

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA
YÖNELİK VERİ MADENCİLİĞİNE DAYALI BİR KARAR MODELİ**



DOKTORA TEZİ

Zehra Aybike KILIÇ

**Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Bilimleri Programı**

MAYIS 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA
YÖNELİK VERİ MADENCİLİĞİNE DAYALI BİR KARAR MODELİ**

DOKTORA TEZİ

**Zehra Aybike KILIÇ
(502182409)**

**Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Bilimleri Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER

MAYIS 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**A DATA MINING BASED DAYLIGHTING DESIGN DECISION
MODEL FOR RESIDENTIAL BUILDINGS**

Ph.D. THESIS

**Zehra Aybike KILIÇ
(502182409)**

**Department of Architecture
Construction Science Programme**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER

MAY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502182409 numaralı Doktora Öğrencisi Zehra Aybike KILIÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA YÖNELİK VERİ MADENCİLİĞİNE DAYALI BİR KARAR MODELİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. F. Rengin ÜNVER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Feride ŞENER YILMAZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Rana KUTLU
İstanbul Kültür Üniversitesi

Teslim Tarihi : **06 Nisan 2025**

Savunma Tarihi : **14 Mayıs 2025**





Kendime ve Sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim ve tez çalışmam süresince değerli fikir, bilgi ve tecrübeleri ile çalışmalarımı yönlendiren, yardım ve destekleri ile bugün bulunduğum yerde olmama vesile olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez sürecime zengin bilgi ve tecrübeleri ile değerli katkılarda bulunan başta saygıdeğer tez izleme jürisi hocalarım Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL'a ve Prof. Dr. Rengin ÜNVER'e; tez savunma jürisinde bulunarak değerli katkıları ile tezimi geliştirmemde rol oynayan sevgili Doç. Dr. Feride ŞENER YILMAZ ve Prof. Dr. Rana KUTLU hocalarıma çok teşekkür ederim.

Zorlu ve yorucu, ancak bir o kadar bilgi, deneyim ve tecrübe dolu doktora eğitimi yolculuğumda fiziken ve kalben yanımda olan aile üyelerime ve ailem gibi olan tüm sevdiklerime içtenlikle çok teşekkür ederim. Ancak varlığı ve desteği ile bu süreci ve başarıyı mümkün kılan her zaman, her an ve her yerde benimle bir olan canım annem Nurdan SERT KILIÇ'a en içten teşekkürümü bir borç bilirim. Doktora tezimi başarı ile tamamlarken attığım adımlarda ve aldığım kararlarda bana ilham olan babam Mustafa KILIÇ'a çok teşekkür ederim. Sevgileri ile umutsuzluğa düştüğüm zamanlarda bana umut aşılayan ve en büyük mutluluk kaynağım olan canım yeğenlerim Doğa ve Pars'a, varlıklarını bana hediye ettiği için kardeşim Zeynep İlay KILIÇ'a çok ama çok teşekkür ederim. En zor zamanlarda bir telefon uzağımda olan, elinden gelen desteği yürekten veren, zorlukları keyifli hale getiren ve başından beri bu süreci birlikte kat ettiğim canım yol arkadaşlarım başta sevgili Eda KÖSE MURATHAN olmak üzere Elif RANAER HARPUTLUOĞLU, Halime Firdevs TAŞKIN ve Sümeyye Sena BAS-TEM'e tüm destekleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından Doktora Tez Projesi kapsamında (43767) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından ARDEB 1002-B Acil Destek Modülü kapsamında (125M183) desteklenmiştir. Tez çalışmam süresince sağladıkları akademik ve maddi katkılar dolayısı ile İTÜ BAP Birimi'ne ve TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım. Ek olarak doktora eğitim sürecimde BİDEB 2211-Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında verdikleri mali destek için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ayrıca teşekkür ederim.

Mayıs, 2025

Zehra Aybike KILIÇ
(Yüksek Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Hedefleri	3
1.2 Tezin Yöntemi ve Kapsamı.....	5
1.3 Literatür Araştırması	7
2. KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI 29	
2.1 Konut Mekanlarında Görsel Konfor Gereksinimleri.....	30
2.1.1 Konut mekanı tasarımı ve kullanım biçimleri	31
2.1.1.1 Konut mekanı kavramı ve 21. yy'daki biçimlenişi.....	31
2.1.1.2 Konut mekanlarının kullanım biçimleri ve gerçekleştirilen eylemler	33
2.1.2 Konut mekanlarının kullanım biçimlerine dayalı görsel konfor gereksinimleri	35
2.1.2.1 Fizyolojik gereksinimler.....	36
2.1.2.2 Psikolojik gereksinimler	40
2.2 Doğal Aydınlatma Sistemi Görsel Konfor Performansını Etkileyen Tasarım Parametreleri	43
2.2.1 Doğal çevreye ilişkin tasarım parametreleri.....	43
2.2.2 Yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri	43
2.3 Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımının Görsel Konfor Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemler	57
2.3.1 Güneş ışığı Etkinliği	57
2.3.2 Kamaşma	62
2.3.3 Dış görüş.....	68
2.3.4 Güneş ışığı alımı.....	70
3. DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA VERİ MADENCİLİĞİ KARAR DESTEK MODELİ	73
3.1 Veri Madenciliği Tanımı ve Süreci	74
3.2 Veri Madenciliği Yöntemleri	77
3.2.1 Sınıflandırma ve Regresyon	78
3.2.1.1 Lojistik regresyon	79
3.2.1.2 Bayes sınıflandırması.....	80
3.2.1.3 K-en yakın komşu.....	80
3.2.1.4 Karar ağaçları.....	80
3.2.1.5 Rastgele orman	81

3.2.1.6 Yapay sinir ağı.....	82
3.2.1.7 Destek vektör makinası.....	82
3.2.2 Kümeleme.....	83
3.2.3 Birliktelik kuralları	83
3.3 Günişığı Performansına Dayalı Bina Tasarımına Yönelik Veri Madenciliğı	
Uygulamaları	84
3.4 Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımına Yönelik Veri Madenciliğı	
Yöntemlerinin Değerlendirilmesi.....	87
4. KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA	
YÖNELİK BİR KARAR MODELİ ÖNERİSİ.....	89
4.1 Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Geliştirilmesi	91
4.1.1 Doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım	
parametrelerinin tanımlanması.....	92
4.1.1.1 Doğal çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması.....	92
4.1.1.2 Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması.....	92
4.1.2 Doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım	
parametrelerinin duyarlılık analizi ile belirlenmesi	95
4.1.2.1 Örneklem kümesinin oluşturulması	96
4.1.2.2 Tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterleri üzerindeki	
etkilerinin belirlenmesi	97
4.1.2.3 Regresyon tabanlı duyarlılık analizi yapılması.....	97
4.1.3 Parametrik doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin üretilmesi	99
4.1.3.1 Parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin oluşturulması.....	99
4.1.3.2 Simülasyon modelinin oluşturulması ve doğrulanması	100
4.1.3.3 Doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin üretilmesi	103
4.2 Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Görsel Konfor Performansı	
Bakımından Değerlendirilmesi.....	103
4.2.1 Ele alınan mekanda eyleme bağı görsel konfor gereksinimlerinin	
belirlenmesi	104
4.2.1.1 Ele alınan mekanda gerçekleştirilen eylemlerin ve görsel alanların	
tanımlanması	105
4.2.1.2 Ele alınan mekanda eyleme bağı görsel konfor kriterlerinin	
belirlenmesi.....	107
4.2.1.3 Ele alınan mekanda eyleme bağı görsel konfor önceliklerinin	
belirlenmesi.....	107
4.2.2 Ele alınan mekanda doğal aydınlatma sistemine bağı görsel konfor	
koşullarının belirlenmesi	109
4.2.2.1 Günişığı etkinliğinin değerlendirilmesi	109
4.2.2.2 Kamaşmanın değerlendirilmesi	110
4.2.2.3 Dış görüşün değerlendirilmesi	112
4.2.2.4 Güneş ışığı alımının değerlendirilmesi	113
4.2.3 Ele alınan mekanda görsel konfora dayalı doğal aydınlatma sistemi	
performansının sınıflandırılması	113
4.2.3.1 Görsel konfor kriterlerinin puanlandırılması	114
4.2.3.2 Görsel konfor kriterlerine ağırlık atanması.....	115
4.2.3.3 Görsel konfor sınıflarının tanımlanması	116
4.3 Veri Madenciliğine Dayalı Doğal Aydınlatma Sistemi Karar Modelinin	
Geliştirilmesi	117
4.3.1 Veri ön-işleme	117
4.3.1.1 Verinin düzenlenmesi	118

4.3.1.2 Verinin analiz edilmesi	118
4.3.1.3 Verinin dönüştürülmesi (Verinin normalizasyonu)	118
4.3.2 Modelin geliştirilmesi.....	119
4.3.2.1 Amaca uygun modelin ve algoritmanın seçilmesi.....	119
4.3.2.2 Modelin oluşturulması	121
4.3.3 Modelin değerlendirilmesi ve yorumlanması	123
4.3.3.1 Model doğruluğunun belirlenmesi.....	123
4.3.3.2 Tasarım kurallarının çıkarılması.....	124
4.3.3.3 Karar modelini oluşturan tasarım parametrelerine ait önem katsayılarının belirlenmesi.....	125
5. KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA YÖNELİK KARAR MODELİNİN UYGULANMASI.....	127
5.1 Ele Alınan Mekana İlişkin Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Geliştirilmesi	127
5.1.1 Doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansını etkileyen tasarım parametrelerinin tanımlanması.....	129
5.1.1.1 Doğal çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması	129
5.1.1.2 Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması.....	130
5.1.2 Doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım parametrelerinin duyarlılık analizi ile belirlenmesi	139
5.1.2.1 Örneklem kümesinin oluşturulması	140
5.1.2.2 Tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi	141
5.1.2.3 Regresyon tabanlı duyarlılık analizi yapılması.....	149
5.1.3 Parametrik doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin üretilmesi	151
5.1.3.1 Parametrik geometrik modelin oluşturulması.....	152
5.1.3.2 Parametrik simülasyon modelinin oluşturulması ve doğrulanması.....	153
5.1.3.3 Tasarım alternatiflerinin üretilmesi	159
5.2 Ele Alınan Mekana İlişkin Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Görsel Konfor Bakımından Değerlendirilmesi	160
5.2.1 Günışığı etkinliğinin değerlendirilmesi	161
5.2.2 Kamaşmanın değerlendirilmesi	166
5.2.3 Dış görüşün değerlendirilmesi.....	171
5.2.4 Güneş ışığı alımının değerlendirilmesi.....	179
5.2.5 Ele alınan mekanda görsel konfora dayalı doğal aydınlatma sistemi performansının sınıflandırılması.....	181
5.3 Ele Alınan Mekana İlişkin Veri Madenciliğine Dayalı Doğal Aydınlatma Sistemi Karar Modelinin Geliştirilmesi	183
5.3.1 Veri ön-işleme	184
5.3.1.1 Verinin düzenlenmesi	184
5.3.1.2 Verinin analiz edilmesi	185
5.3.1.3 Verinin dönüştürülmesi	189
5.3.2 Modelin Geliştirilmesi.....	190
5.3.2.1 Karar modelinin ve algoritmanın seçilmesi.....	190
5.3.2.2 Modelin oluşturulması	190
5.3.3 Modelin değerlendirilmesi ve yorumlanması	196
5.3.3.1 Model doğruluğunun belirlenmesi.....	196
5.3.3.2 Tasarım kurallarının çıkarılması.....	198

5.3.3.3 Farklı yerleşme senaryoları için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine ait önem katsayılarının belirlenmesi	213
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	215
KAYNAKLAR.....	227
EKLER.....	251
ÖZGEÇMİŞ.....	259



KISALTMALAR

ADF	: Average Daylight Factor
ASE	: Annual Sunlight Exposure
BRE	: Building Research Establishment
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CIBSE	: The Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage
CS	: Climate Studio
CSA	: Circadian Stimulus Autonomy
DA	: Daylight Autonomy
DAcon	: Continuous Daylight Autonomy
DAmaz	: Maksimum Daylight Autonomy
DF	: Daylight Factor
DGI	: Daylight Glare Index
DGP	: Daylight Glare Probability
DGR	: Daylight Glare Ratio
DVM	: Destek Vektör Makinası
DGPs	: Simplified Discomfort Glare Probability
eDGPs	: Enhanced Simplified Discomfort Glare Probability
EDR	: Energy Daylight Rate
EUI	: Energy Use Intensity
IES	: Illuminating Engineering Society
IESNA	: Illuminating Engineering Society of North America
MURB	: Multi Unit Residential Building
PCC	: Partial Correlation Coefficients
PEAR	: Pearson Product Moment Correlation Coefficient
PRCC	: Partial Rank Correlation Coefficient
rRMSE	: Relative Root Mean Square Error
rMBE	: Relative Mean Bias Error
SE	: Sunlight Exposure
sDA	: Spatial Daylight Autonomy

sDG	: Spatial Disturbing Glare
sGA	: Spatial Glare Autonomy
SH	: Sunlight Hour
SRC	: Standardized Regression Coefficients
SRRC	: Standardized Rank Regression Coefficient
Tvis	: Visible Transmittance
UDI	: Useful Daylight Illumination
UGR	: Unified Glare Index
VCP	: Visual Comfort Probability
VCI	: View Clarity Index
VO	: View Out
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: İç mekanlarda sağlanması beklenen fizyolojik ve psikolojik görsel konfor gereksinimleri (Berköz vd., 1995).....	35
Çizelge 2.2 : Görsel eylemlere bağlı olarak IESNA tarafından konut mekanları için tanımlanan aydınlık düzeyleri (Dogan & Park, 2019a; IESNA, 2011)..	37
Çizelge 2.3 : Konut hacimleri için önerilen aydınlık düzeyleri (IESNA, 2011).....	37
Çizelge 2.4 : Güneş ışığı erişimini belirleyen bazı önemli engel ve gök görüş açıları (Littelfair,2011).....	46
Çizelge 2.5 : Mekan derinliğine bağlı minimum dış görüş sağlayan saydamlık oranları (The Society of Light and Lighting, 2014).....	50
Çizelge 2.6 : Sabit dış ortam gölgeleme elemanı örnekleri (CIBSE, 1999;Lehner, 2015).....	53
Çizelge 2.6 (Devam) : Sabit dış ortam gölgeleme elemanı örnekleri (CIBSE, 1999;Lehner, 2015).....	54
Çizelge 2.7 : Hareketli dış ortam gölgeleme elemanı örnekleri (Lehner, 2015).....	55
Çizelge 2.8 : Konut mekanları için tanımlanan “Faydalı Güneş ışığı Aydınlığı (UDI)” değerleri (Mardaljevic, Andersen, Roy, Christoffersen, vd., 2011).....	61
Çizelge 2.9 : Wienold, (2009) tarafından önerilen güneş ışığı kamaşma sınıfları ve TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardı içerisinde denk gelen karşılıkları.....	65
Çizelge 2.10 : Güneş ışığı Kamaşma Olasılığı yöntemine göre belirlenen kamaşma durumu ve değerleri (Wienold vd., 2019).....	68
Çizelge 2.11 : Belirlenen bir bakış noktasından dış görüşün değerlendirilmesi (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).....	70
Çizelge 2.12 : TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardında günlük güneş ışığı alımı için önerilen süreler (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).....	72
Çizelge 4.1 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin bina tasarım süreçleri kapsamında tanımlanması.....	94
Çizelge 4.2 : Görsel konfor performans kriterlerinin zamansal ve mekansal sağlanma oranlarına göre puanlandırılması.....	114
Çizelge 4.3 : Çok işlevli yaşama mekanında gerçekleştirilen eyleme göre sağlanması beklenen görsel konfor kriterlerine ilişkin ağırlıklar.....	116
Çizelge 4.4 : Doğal aydınlatma sistemi performansının değerlendirilmesine yönelik belirlenen görsel konfor sınıfları ve eşik puanları.....	117
Çizelge 4.5 : N sayıda sınıflandırma problemi için değerlendirme matrisi yapısı.....	123
Çizelge 4.6 : Karar ağacı için performans değerlendirme ölçütleri.....	124
Çizelge 5.1 : Planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında yol genişliklerine bağlı olarak izin verilen maksimum bina kat adetleri (Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 2017).....	131

Çizelge 5.2 : Planlı alanlar imar yönetmeliği göz önünde bulundurularak geliştirilen yerleşme senaryoları ve ortaya çıkan engel açıları.....	133
Çizelge 5.3 : Türkiye’de inşaa edilen bazı konut birimleri ve konut büyüklükleri.....	135
Çizelge 5.4 : En küçük cephe boyutu (3.00 m x 2.75 m) için pencere genişliği ve yüksekliği parametrelerine bağlı olarak geliştirilen pencere boyutu senaryoları.....	137
Çizelge 5.5 : Sabit gölgeleme elemanı tasarımına ilişkin ele alınan değişkenler.....	138
Çizelge 5.6 : Çalışma kapsamında ele alınan cam türlerine ait katmanlaşma detayları ve fiziksel özellikleri.....	139
Çizelge 5.7 : Bina tasarım süreçleri bağlamında çalışmada ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve aldıkları değer aralıkları.....	152
Çizelge 5.8 : Güneş ışığı simülasyonları için hesaplamalarda kabul edilen Radiance parametrelerine ilişkin değerler.....	156
Çizelge 5.9 : Honeybee ve Climate Studio simülasyon programları ile iki farklı yön için hesaplanan Faydalı Güneş ışığı Aydınlanlığı (UDI-a) sonuçları.....	159
Çizelge 5.10 : Doğal aydınlatma sistemi senaryosuna ait örnek puan hesaplaması...	181
Çizelge 5.11 : Üç farklı yerleşme senaryosu için oluşturulan görsel konfor veri seti girdi parametreleri için tanımlayıcı istatistik verileri.....	184
Çizelge 5.11 (Devam) : Üç farklı yerleşme senaryosu için oluşturulan görsel konfor veri seti girdi parametreleri için tanımlayıcı istatistik verileri.....	185
Çizelge 5.12 : Üç farklı yerleşme senaryosu için geliştirilen karar ağacı modellerine ait performans çıktıları.....	197
Çizelge 5.13 : YS-1 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	200
Çizelge 5.14 : YS-1 için yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	200
Çizelge 5.15 : YS-2 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	205
Çizelge 5.15 (Devam) : YS-2 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	206
Çizelge 5.16 : YS-2 için yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	206
Çizelge 5.17 : YS-3 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	210
Çizelge 5.17 (Devam) : YS-3 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	211
Çizelge 5.18 : YS-3 için yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.....	211

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların yıllara göre değişimi.....	7
Şekil 1.2 : Konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların anahtar kelimelerine göre konu analizi.....	8
Şekil 1.3 : Konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların tasarım ölçeklerine göre dağılımı.....	8
Şekil 1.4 : Heidari vd. (2021) tarafından yapılan çalışma kapsamında ele alınan gölgeleme elemanı türleri.....	23
Şekil 1.5 : Pencere camının konumlandırılışının plan (P) ve kesit (K) düzleminde gösterilmesi.....	26
Şekil 2.1 : Konut mekanları ve kullanım amaçları (Alfirević & Alfirević, 2024).....	33
Şekil 2.2 : İç mekanlarda günışığının spektral güç dağılımı örneği (Knoop vd., 2020).....	40
Şekil 2.3 : Binalarda engel açısı ve gök görüş açısının belirlenmesi.....	45
Şekil 2.4 : Yönlere göre günışığı etkinliğine bağlı optimal konut mekanı yerleşimleri (Corrodi vd. (2014) tarafından hazırlanan görselden uyarlanmıştır).....	47
Şekil 2.5 : Pencere Duvar Alanı (WWR) ve Pencere Taban Alanı (WFR) oranları....	49
Şekil 2.6 : Konut mekan kullanımına ve kullanıcılar tarafından gerçekleştirilen eylemlere dayalı dış görüş sağlamak amacıyla pencerelerin konumlandırılması (Corrodi vd., 2014).....	52
Şekil 2.7 : Dış görüşe ilişkin en olumsuz noktanın belirlenmesi amacıyla Gök Görüş Çizgisinin çizilmesi (The Society of Light and Lighting, 2014).....	69
Şekil 3.1 : Veri madenciliği süreci (Kantardzic, 2011).....	75
Şekil 3.2 : Veri madenciliği yöntemleri ve sık kullanılan algoritmalar (Ayoub, 2020; Yan vd., 2020).....	78
Şekil 3.3 : Sınıflandırma modellerinin ana adımları (Ha vd., 2012).....	79
Şekil 3.4 : Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda veri madenciliği yöntemlerinin kullanım amaçları.....	85
Şekil 4.1 : Veri madenciliğine dayalı doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modeline ait iş-akış şeması.....	90
Şekil 4.2 : Bina tasarım süreçleri bağlamında doğal aydınlatma sistemi tasarımının kararlarının verilme süreci (Palabıyık (2011) 'a ait görsel üzerinden uyarlanmıştır).....	93
Şekil 4.3 : Çalışma kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizine yönelik iş akış grafiği.....	96
Şekil 4.4 : Çok işlevli mekanlarda (yaşama mekanında) eyleme bağlı görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi (TSE, 2021).....	105
Şekil 4.5 : Yaşama mekanında gerçekleştirilen eylemlere bağlı olarak tanımlanan görsel eylem alanları.....	106

Şekil 4.6 : İnsan gözünün yatay ve düşey düzlemdeki görme alanı sınırları (URL-2,t,y.).....	112
Şekil 4.7 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım süreçlerine dayalı önerilen karar ağacı yapısı.....	120
Şekil 4.8 : Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik müfredat öğrenimine dayalı karar ağacı modeli eğitim süreci.....	122
Şekil 5.1 : Doğal aydınlatma sistemi karar destek modelinin geliştirilmesine yönelik önerilen yöntem adımları.....	128
Şekil 5.2 : İstanbul ili için aylık ortalama direkt ve yayınık aydınlık düzeyleri.....	129
Şekil 5.3 : Planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında kat adedine bağlı olarak ortaya çıkan engel açıları.....	132
Şekil 5.4 : Mekan boyutlarına yönelik kabuller sonucu geliştirilen yaşama mekanı boyut alternatifleri.....	135
Şekil 5.5 : Tasarım parametrelerinin görsel konfor ölçütleri üzerine etkisinin irdelenmesi için oluşturulan örneklem matrisi.....	141
Şekil 5.6 : Engel açısı parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi.....	142
Şekil 5.7 : Yön parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi.....	143
Şekil 5.8 : Mekana ait genişlik (a) ve derinlik (b) parametrelerinin görsel konfor üzerine etkisi.....	144
Şekil 5.9 : Kat yüksekliği parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi.....	145
Şekil 5.10 : Pencere genişliği parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi.....	146
Şekil 5.11 : Parapetli (a) ve parapetsiz (b) pencereler için pencere yüksekliği parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi.....	147
Şekil 5.12 : Cam türü parametresinin görsel konfor üzerine etkisi.....	148
Şekil 5.13 : Gölgeleme elemanına ait derinlik (a) ve malzeme (b) parametrelerinin görsel konfor üzerine etkisi.....	148
Şekil 5.14 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin (a) UDI-a, (b) sDG, (c) VO ve (d) SE değerleri üzerindeki etki düzeylerini gösteren SRC ve SRRC katsayıları.....	150
Şekil 5.15 : Çaprazlama yöntemi ile oluşturulan senaryoların paralel koordinatlar yöntemi ile gösterilmesi.....	152
Şekil 5.16 : Güneş ışığı ve dış görüş analizleri için yaşama alanında tanımlanan referans hesaplama gridi (a) ve kamaşma analizi için çalışma alanında belirlenen bakış noktaları ve bakış doğrultuları (b).....	155
Şekil 5.17 : İstanbul ili yıllık güneş ışığı etkin zaman dilimine göre oluşturulmuş yaşama mekanı kullanım programı.....	156
Şekil 5.18 : 3x4 m boyutlarına sahip yaşama mekanı için en dar (a) ve en geniş pencere (b) boyutlarına göre değişen kör açı değerleri.....	157
Şekil 5.19 : Yinelemeli parametrik güneş ışığı modeli süreci.....	160
Şekil 5.20 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin UDI-a ölçütüne etkisi.....	165
Şekil 5.21 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin sDG ölçütüne etkisi.....	169
Şekil 5.22 : Gölgeleme elemanı derinliğinin engel açısı ve yönetime bağlı olarak sDG ölçütüne etkisi.....	171
Şekil 5.23 : Doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin dış görüş (VO) düzeyine etkisi.....	174
Şekil 5.24 : Gölgeleme elemanı derinliğinin dış görüş (VO) düzeyi üzerine etkisi...	177
Şekil 5.25 : Yönetime bağlı yatay ve düşey gölgeleme elemanlarının dış görüş (VO) düzeyi üzerine etkisi.....	178

Şekil 5.26 : Yönelim (a) ve gölgeleme elemanı derinliği (b) parametrelerinin güneş ışığı alım süresine (SH) etkisi.....	180
Şekil 5.27 : Farklı engel durumları için yönelime bağlı doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin görsel konfor düzeyi sınıf dağılımları.....	183
Şekil 5.28 : YS-1 (EA:0°) için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve görsel konfor ölçütlerine ilişkin pearson korelasyon katsayıları.....	186
Şekil 5.29 : YS-2 (EA:25°) için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve görsel konfor ölçütlerine ilişkin pearson korelasyon katsayıları.....	187
Şekil 5.30 : YS-3 (EA:45°) için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve görsel konfor ölçütlerine ilişkin pearson korelasyon katsayıları.....	189
Şekil 5.31 : YS-1 için doğal aydınlatma sistemine dayalı yaşama mekanında görsel konfor düzeyini tahmin eden karar ağacı modeli.....	192
Şekil 5.32 : YS-2 için doğal aydınlatma sistemine dayalı yaşama mekanında görsel konfor düzeyini tahmin eden karar ağacı modeli.....	194
Şekil 5.33 : YS-3 için doğal aydınlatma sistemine dayalı yaşama mekanında görsel konfor düzeyini tahmin eden karar ağacı modeli.....	195
Şekil 5.34 : Üç farklı yerleşme senaryosu için belirlenen doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine ait önem katsayıları.....	214



KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA YÖNELİK VERİ MADENCİLİĞİNE DAYALI BİR KARAR MODELİ

ÖZET

Güneş ışığı, gezegendeki tüm canlı türleri için yaşamlarını sürdürebilmeleri adına temel bir ışık kaynağıdır. Bu nedenle güneş ışığı kişilerin barınma, dinlenme, çalışma gibi eylemleri gerçekleştirdiği iç mekanların aydınlatılması amacıyla geçmişten itibaren kullanılan en önemli araç olmaktadır. Önceleri var olmayan yapma aydınlatmaya yönelik ışık kaynaklarının yerine kullanılan güneş ışığı, sonrasında yapma aydınlatma enerji ihtiyacının azaltılması amacıyla mekan aydınlatmasında kullanılmaya devam edilmiştir. Güneş ışığı, aynı zamanda insanların bulundukları mekanlar içerisinde konfor, sağlık, esenlik ve bilişsel aktivitelere yönelik gereksinimleri karşılaması bakımından kritik bir ihtiyaçtır. Günümüzde insanların zamanının büyük bir bölümünü iç mekanlarda geçirdiği düşünüldüğünde, kişilerin hem fizyolojik hem de psikolojik ihtiyaçlarının giderilmesinde güneş ışığının iç mekana alınması temel bir tasarım stratejisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güneş ışığı, doğal aydınlatma sistemleri aracılığı ile iç mekana alınmaktadır. Bu anlamda doğal aydınlatma sistemleri güneş ışığının kontrollü bir şekilde iç mekana alınmasını sağlayan, böylece güneş ışığından optimum fayda elde edilmesine olanak sunan mimari aydınlatma elemanları olmaktadır. Mimari tasarım sürecinde erken tasarım evresinden detay tasarım evresine kadar iç mekan güneş ışığı performansını etkileyen doğal ve yapma çevreye ilişkin pek çok parametre bulunmaktadır. Doğal çevreye ilişkin parametrelere bağlı olarak yapma çevre parametrelerinin uygun değerler aldığı çeşitli kombinasyonlar sonucu görsel konfor ve enerji etkinlik bakımından optimum performans gösteren doğal aydınlatma sistemi tasarımları elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda binaların iç mekanlarda gerçekleştirilen eylemlere yönelik görsel gereksinimleri karşılayan birer doğal aydınlatma sistemleri olarak tasarlanmaları hem kullanıcı görsel konforunun sağlanması hem de aydınlatmaya yönelik enerji tüketimlerinin azaltılması ile sürdürülebilir yapma çevrenin elde edilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Konut mekanları kişilerin günün önemli bir bölümünü içinde geçirdiği, dolayısıyla barınma temel ihtiyacını karşılaması ile birlikte konfor koşullarının sağlanmasının en çok beklendiği mekanların başında gelmektedir. Yaşama mekanları ise konut mekanları arasında kişilerin sosyal gereksinimlerini karşıladığı, beraberinde yemek yeme eyleminden uyuma eylemine kadar farklı eylemleri bir arada gerçekleştirdiği en önemli konut mekanıdır. Gelişen teknoloji ve değişen çevresel koşullar konut mekanlarının farklı kullanımlarını beraberinde getirmiştir. Özellikle Kovid-19 pandemisini takip eden süreç ile birlikte daha yoğun bir şekilde uygulanan uzaktan çalışma pratiği “ev-ofis” kavramını hayatımıza sokmuştur. Ek olarak, evden çalışma pratiği sağladığı avantajlar ile birlikte çevresel koşullardan bağımsız günümüzün ve geleceğin hibrit bir çalışma biçimi olarak günlük hayatımızda yer almaya başlamıştır. Bu doğrultuda günümüz konut mekanları geleneksel kullanımları ile birlikte aynı zamanda gün saatleri içerisinde birer çalışma mekanı olarak işlevlendirilmektedir. Güneş ışığının insan sağlığı,

konforu ve üretkenliği üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, günümüz konut mekanlarında farklı görsel eylemlere yönelik gereksinimlerin karşılanması için günışığının kullanımı vazgeçilmez bir ihtiyaç olmaktadır. Ayrıca, konut mekanlarının çalışma mekanları olarak kullanılmaya başlanması ile artan aydınlatmaya yönelik enerji ihtiyacının minimize edilmesinde en önemli pasif stratejidir.

Belirtilen gereksinimler ve gelişen şartlar doğrultusunda gerçekleştirilen tez çalışmasının üst amacı; artan kullanım süreleri ve değişen kullanım biçimleri ile günlük hayatta önemli bir yer kaplayan konut mekanlarının doğal aydınlatma sistemleri aracılığıyla görsel konfor koşullarının sağlayan sürdürülebilir konut mekanları olarak tasarlanmasıdır. Bu doğrultuda çalışmada konut binalarında çalışma ve yaşam faaliyetleri için görsel konfor koşullarını optimize etmek amacıyla veri madenciliği yöntemini kullanarak doğal aydınlatma sistemleri için bir tasarım karar destek modeli geliştirilmektedir. Spesifik olarak, çalışma kapsamında hedeflenen çıktılar;

- Farklı tasarım aşamalarında dikkate alınan doğal aydınlatma tasarım parametrelerini dikkate alan bir karar ağacı geliştirmek,
- Karar destek sistemi yaklaşımını veri madenciliği aracılığıyla parametrik doğal aydınlatma tasarım modeline entegre etmek,
- Farklı görsel görev aktivitelerinin gerçekleştirildiği konut alanlarında iç mekan görsel konfor koşullarını optimize eden doğal aydınlatma sistemleri için tasarım kuralları türetmek,

olarak belirlenmiştir. Çok işlevli konut mekanlarına ilişkin doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modelinin geliştirildiği tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi açıklanmış, konuyla ilgili güncel literatüre yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde öncelikle konut mekanlarının geçmiş ve günümüz kullanım biçimleri irdelenerek, konut mekanlarında – özellikle yaşama mekanlarında- gerçekleştirilen görsel eylemler ve konfor gereksinimleri belirlenmiştir. Aynı zamanda görsel konfor gereksinimlerine paralel olarak konfor koşullarının değerlendirilmesine ilişkin çeşitli yöntemler/ölçütler analiz edilmiştir. Sonrasında ise konut mekanlarında iç mekan görsel konfor koşullarını etkileyen doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik doğal ve yapma çevreye ilişkin parametreler tanımlanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde karar modelinin geliştirilmesinde karar destek sistemi olarak büyük veri kümelerinden anlamlı bir bilginin çıkarılması amacıyla kullanılan veri madenciliği modelleri incelenmiştir. Bu doğrultuda tez kapsamında tanımlanan probleme yönelik veri madenciliği modellerinden uygun olan modelin seçilmesi konusunda mevcut literatür değerlendirilmiştir. Karar modelinin geliştirilmesinde veri madenciliği sürecinin uygulama aşamaları yine bu bölümde detaylı olarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde çalışmanın amaç ve hedeflerine uygun olarak farklı eylemlerin bir arada gerçekleştirildiği çok işlevli konut mekanı için doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik bir karar modeli önerisi yapılmıştır. Bu doğrultuda farklı görsel eylemlere ilişkin konfor gereksinimlerinin karşılanması amacıyla bir değerlendirme yaklaşımı sunulmuştur. Ele alınan mekanda gerçekleştirilen her bir görsel eylem için eylem alanları belirlenerek ilgili eyleme yönelik görsel gereksinimlerin karşılanma durumları günışığı aydınlığı, kamaşma, dış görüş ve güneş ışığı alımı kriterleri bakımından bütünlük bir şekilde analiz edilmiştir. Model yaklaşımı kapsamında görsel konfor koşullarını etkileyen doğal aydınlatma sistemi parametreleri farklı mimari tasarım süreçleri dikkate alınarak kapsamlı bir şekilde modele dahil edilmiştir. Parametrik bir yaklaşım ile her bir tasarım senaryosunun temsil edilmesinin amaçlandığı

modelde, hesaplama sürelerinin optimize edilmesi için duyarlılık analizi aracılığı ile model kapsamına dahil edilecek parametreler netleştirilmiştir. Parametrik günışığı simülasyon yöntemi aracılığı ile çok işlevli konut mekanlarında görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımlarının belirlenmesi için gerçekleştirilen analizlerinin sonucunda, elde edilen büyük veri kümeleri veri madenciliği sürecinden geçirilmiştir. Böylece niceliksel veri üzerinden doğal aydınlatma sistemi tasarım bilgisi elde edilmiştir. Veri madenciliği sürecinde veri kümesi sırasıyla ön işleme, model kurma ve son işleme (analiz ve değerlendirme) aşamalarından geçirilmiştir. Veri ön işleme aşamasında ilk olarak verinin geçerliliği kontrol edilip düzenlenerek, dönüştürülme işlemine tabi tutulmuştur. Model kurma aşamasında makine öğrenimi aracılığı ile bir tasarım probleminin çözümü bakımından anlaşılması ve yorumlanması kolay olan veri madenciliği modellerinden karar ağacı modeli elde edilmiştir. Son aşamada ise üretilen karar ağacı modellerinden doğal aydınlatma sistemine yönelik tasarım kuralları çıkarılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde birden çok işlevin gerçekleştirildiği her türlü mekan tipolojisi için yaklaşım bazında kullanılabilecek karar modeli önerisi, konut mekanları içerisinde farklı eylemlerin- özellikle gün saatleri içerisinde çalışma eyleminin- bir arada gerçekleştirildiği yaşama mekanları için uygulanmıştır. Modelin uygulanması sonucunda farklı engel açılarının meydana geldiği yerleşme senaryoları için yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor düzeylerine (yetersiz, minimum, orta ve yüksek) yönelik doğal aydınlatma sistemi tasarım yollarını gösteren karar ağaçları üretilmiştir. Karar ağaçlarının performansı ve doğruluğu çeşitli metrikler kullanılarak yeterliliklerinin kanıtlanması adına değerlendirilmiştir. Üretilen her bir karar ağacı üzerinden çok işlevli yaşama mekanında gerçekleşen farklı görsel konfor düzeyleri için doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları belirlenmiştir. Ek olarak her bir engel durumu için çok işlevli yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor düzeyleri üzerinde etkili olan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri tespit edilmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan altıncı bölümde ise modelin kapsamı, kısıtları, geçerliliği, uygulanabilirliği, gelecek çalışmalarda çeşitli yapay zeka modellerine dönüştürülebilirliği, farklı iklim bölgeleri için doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik tasarım rehberlerinde bir altlık olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik geliştirilen karar modeli, farklı eylemlerin bir arada gerçekleştirildiği konut mekanlarında uygulanarak konut kullanıcılarının gün saatleri içerisinde gerçekleştirdikleri görsel eylemler esnasında doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak kendilerini konforlu hissettikleri, memnuniyetlerinin arttığı ve üretkenliklerinin desteklendiği mekanların elde edilmesini sağlamaktadır. Türkiye’deki bina stokunun önemli bir bölümünü oluşturan konut binalarının belirtilen gereksinimler doğrultusunda geliştirilen karar modeli aracılığıyla birer doğal aydınlatma sistemi olarak tasarlanması, aynı zamanda konut binalarında üçüncü en büyük enerji tüketim payına sahip aydınlatmaya yönelik enerji ihtiyacının azaltılmasına da büyük bir katkı sunmaktadır. Böylece geliştirilen karar modeli, günümüzün ve geleceğin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak kullanıcı görsel konforunu ve sağlığını ön planda tutan sürdürülebilir çevrenin tasarlanmasını mümkün kılmaktadır.



A DATA MINING BASED DAYLIGHTING DESIGN DECISION MODEL FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

SUMMARY

Daylight is a vital source of light for all living species on the planet to sustain their lives. For this reason, daylight has historically been the most important tool used to illuminate the interior spaces where people engage in activities such as shelter, rest, and work. Daylight, formerly used as a primary light source, has continued to be utilized in space lighting to reduce energy demand for artificial lighting. In addition to illuminating interiors, daylight is also critical for meeting people's needs for comfort, health, well-being, and cognitive activities in their places of residence. Considering that people spend 90% of their time indoors today, daylighting is a fundamental design strategy for effectively addressing both the physiological and psychological well-being of occupants.

As integral components of architectural design, daylighting systems are employed to regulate and enhance the penetration of natural light into indoor environment, optimizing the advantages of daylight. By channeling natural light indoors in a controlled manner, these systems enhance visual comfort, energy efficiency, and overall well-being within the built environment. From the early design phase to the detailed design phase, there are many parameters related to the natural and built environment that affect the indoor daylight performance. Depending on the parameters related to the natural environment, daylighting system design with optimum performance in terms of visual comfort and energy efficiency can be obtained as a result of various combinations in which the built environment parameters take appropriate values. In this direction, the design of the buildings as daylighting systems that fulfill the visual requirements of activities performed within them is very crucial in terms of both providing user visual comfort and achieving a sustainable built environment by decreasing energy consumption for lighting.

Residential spaces are where people spend a significant portion of their day, making them places where comfort is highly desired, in addition to fulfilling the basic need for shelter. Living spaces, in particular, are the most crucial residential areas, as they allow individuals to meet social needs and engage in various activities together, from eating to sleeping. Advancements in technology and changes in environmental conditions have led to new uses for residential spaces. Especially in the period following the Covid-19 pandemic, the increase in remote work has popularized the concept of the "home office". Moreover, working from home has become a hybrid approach in our daily lives, regardless of environmental conditions, due to the advantages it offers. In this direction, today's residential spaces, in addition to their traditional use, are also function as working spaces during daylight hours. Recognizing the influence of daylight on human health, comfort, and productivity, it is important to prioritize the use of daylight to meet the diverse visual requirements of activities within modern residential spaces. Furthermore, it is the most effective passive strategy for reducing

energy consumption for lighting, especially as residential areas become increasingly used as workspaces.

In line with specified requirements and evolving conditions, the ultimate aim of this thesis is to design sustainable residential spaces where visual comfort conditions are ensured through daylighting systems, considering the increasing usage durations and changing usage patterns that have made residential spaces an essential part of daily life. Accordingly, the study develops a design decision support model for daylighting systems using data mining method to optimize visual comfort conditions for working and living activities in residential buildings. Specifically, the outputs targeted within scope of the thesis are as follows;

- Developing a decision tree that takes into account the daylighting design parameters considered at different design stages
- Integrating a decision support system approach into a parametric daylighting design model through data mining
- To derive design decision rules for daylighting system that optimize indoor visual comfort conditions in residential areas where different visual task activities are performed.

The thesis, in which a daylighting system design decision model for multi-functional residential spaces is developed, consists of 5 main chapters. After outlining the aim and hypothesis of the study and conducting an exploratory literature review in the first part, the second part of the study analyzes the past and present usage patterns of residential spaces. It also identifies the visual activities and comfort requirements specific to these residential areas, particularly focusing on living spaces. At the same time, various metrics for evaluating visual comfort conditions in parallel with visual comfort requirements are analyzed. Afterwards, the parameters related to the natural and built environment for the design of the daylighting system affecting the indoor visual comfort conditions in the residential spaces are defined. In the third part of the study, data mining models used to extract meaningful information from large data sets as a decision support system in the development of the decision model are investigated. In this context, the existing literature was reviewed to select the most suitable data mining model that aligns with the design problem defined in the thesis. The stages of applying data mining in developing the decision model are also analyzed in detail in this section.

In the fourth part of the study, a decision model proposal for the design of daylighting systems in multifunctional residential spaces, where various activities are performed simultaneously in line with the study's aims and objectives, is presented. In this context, an evaluation approach has been proposed to meet the visual comfort requirements of different visual activities. For each visual activity performed in the residential space, activity areas were identified, and the fulfillment of visual requirements for the respective activity was comprehensively analyzed in terms of daylight illuminance, glare, view out, and sunlight exposure criteria. Within the scope of the model approach, the parameters of the daylighting system that affect visual comfort conditions were thoroughly incorporated into the model by considering different architectural design stages. In the model, which aims to represent each design scenario through a parametric approach, sensitivity analysis was employed to clarify the parameters to be included in the model in order to optimize computation times. Following the evaluation of the daylighting system's visual comfort performance using the parametric daylight simulation method, the large datasets obtained were processed through data min-

ing techniques, thereby deriving daylighting system design knowledge from quantitative data. During the data mining process, the dataset underwent pre-processing, model building, and post-processing (analysis and evaluation) stages. In the pre-processing stage, the validity of the data was first checked, organized, and normalized. In the model building stage, a decision tree model, which is easy to understand and interpret in terms of solving a design problem through machine learning, was obtained. In the last stage, design rules for the daylighting system were extracted from the generated decision tree models.

In the fifth part of the study, the proposed decision model, applicable to various spatial typologies where multiple functions are performed, is implemented specifically for residential living spaces where diverse activities — particularly work activities during daylight hours — are carried out concurrently. As a result of the model's implementation, decision trees illustrating daylighting system design paths for various visual comfort levels (poor, minimum, medium, and high) realized in living spaces considering the settlement scenarios with different obstruction angles were generated. The performance and accuracy of the decision trees were evaluated using various metrics to demonstrate their adequacy. Based on each generated decision tree, daylighting system design rules were established for different visual comfort levels (minimum and medium) occurred in multi-functional living spaces. Additionally, the daylighting system design parameters influencing visual comfort levels for each obstruction impact in multi-functional living spaces were identified.

In the final chapter of the study, the sixth part, the results were evaluated in terms of the model's scope, limitations, validity, and applicability, as well as its potential to be transformed into various artificial intelligence models in future studies and its usability as a foundation for design guidelines aimed at daylighting system design in different climate conditions.

Within the scope of this thesis, the decision model developed for the design of daylighting systems in residential buildings can be applied in residential spaces where multiple activities -especially working and living- are performed simultaneously. This model ensures the creation of environments where residents feel comfortable, experience increased satisfaction, and have their productivity supported during visual tasks performed throughout daylight hours. Designing residential buildings — which constitute a significant portion of the building stock in Turkey — as daylighting systems in line with the specified requirements also contributes substantially to reducing the energy demand for lighting, which accounts for the third-largest share of energy consumption in residential buildings. In this way, the proposed decision model facilitates the design of a sustainable environment that prioritizes users' visual comfort and well-being while addressing the needs of both the present and the future.



1. GİRİŞ

Günişığı, insan sağılığı ve üretkenliğini desteklemekle birlikte hem görsel konfor hem de aydınlatma enerji gereksinimi ve maliyetleri üzerindeki önemli etkileri sebebi ile geçmiş zamanlardan beri bina tasarlanmasında önemli bir tasarım girdisidir. Konut binaları açısından bakıldığında iç mekanda günişığı varlığı, görsel konfor koşullarının sağlanması ile kullanıcıların tatmin olduğu bir görsel çevre yaratmak, özellikle sabah erken saatlerde biyolojik ritmi aktive etmek, anksiyete, stres ve depresyon gibi psikolojik sorunlara karşı korunmak amacıyla temel bir ihtiyaç olmaktadır. Çünkü kişilerin vaktinin büyük bir kısmını geçirdiğı konut mekanları, barınma ihtiyacının yanı sıra insanların özel yaşamlarını gerçekleştirdiğı, dinlenme ve konfor gereksinimlerini karşıladığı, bu doğrultuda mekansal konfor koşullarının sağlanmasının temel gereklilik olduğu yaşam alanlarıdır. Günümüzde gelişen teknoloji ve çevresel koşullar nedeni ile değişen çalışma biçimleri sonucu konut mekanları yaşama eylemlerinin yanı sıra, aynı zamanda çalışma eyleminin gerçekleştirildiğı çok işlevli mekanlar olarak kullanılmaktadır. Konut mekanlarının dönüşen kullanım biçimine paralel olarak, çalışma eyleminin gerçekleştirildiğı zaman dilimlerinde görsel konfor koşullarını sağlamak ve üretkenliğı artırmak adına konut mekanlarında günişığının etkin kullanımı giderek daha kritik bir öge haline gelmektedir.

Günişığının kontrollü bir şekilde mekan içerisine alınması doğal aydınlatma sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Günümüzde günişığının kontrol edilerek iç mekana alınmasını sağlayan doğal aydınlatma sistemlerinin öncelikli olarak kullanıcı konforuna dayalı bir yaklaşım ile tasarlanması önerilmektedir (Boubekri, 2008). Literatürde yapılan pek çok çalışma günişığının insanlar üzerinde gerçekleşen birçok önemli psikolojik ve fizyolojik etkisi olduğunu göstererek bu gerekliliğı kanıtlamaktadır (Altomonte, 2009; Aries vd., 2015; Knoop vd., 2020; Münch vd., 2020). Bu bağlamda doğal aydınlatma sistemi tasarımının aydınlık düzeyi gibi tek boyutlu bir ölçüt üzerinden değil, görsel konfora ve kullanıcı sağılığına odaklı çok boyutlu bir yaklaşımla ele alınması gerekliliğı, doğal aydınlatma sisteminden optimum yarar elde edilmesi amacıyla öncelikli strateji olarak düşünölmelidir.

Doğal aydınlatma sistemi aracılığı ile iç mekanda görsel ihtiyaçları karşılayacak günışığı aydınlık düzeylerinin sağlanması, yalnızca konut kullanıcılarının görsel konfor düzeyini artırmakla kalmaz, aynı zamanda enerji tüketimini azaltarak sürdürülebilir bir aydınlatma çözümü sunar. Avrupa’da enerji harcamalarında ikincil payı oluşturan ve toplam enerji tüketiminin %26’sından sorumlu olan konut binalarında (Tzeiranaki vd., 2019), aydınlatmaya yönelik gerçekleştirilen enerji tüketim miktarı (%13.9) mekanların ve kullanım suyunun ısıtılması amacı ile harcanan enerji miktarından sonra en yüksek üçüncü enerji tüketim kalemini oluşturmaktadır (Eurostat, t.y.). Bu oranlara ek olarak günümüzde konut binalarının aynı zamanda kısmi çalışma mekanlarına dönüşmesi sonucu aydınlatma enerji tüketiminin toplam bina enerji tüketimindeki payının arttığı görülmektedir (IEA, t.y.). Bu doğrultuda konut mekanlarında görsel konfor koşullarının günışığı ile sağlanması konut mekanının kullanım süresi boyunca aydınlatmaya yönelik harcanacak enerji miktarının azalmasına, dolayısıyla çevresel sürdürülebilirliğe önemli bir katkı sağlamaktadır. Ek olarak doğal aydınlatmadan elde edilecek başarılı bir enerji tasarrufu, doğal aydınlatma sisteminin kullanıcı ihtiyaçlarını daha çok destekleyecek şekilde tasarlanması ile gerçekleştirilebilir (C. Reinhart & Selkowitz, 2006). Bu doğrultuda iç mekanda farklı görsel eylemlere yönelik konfor gereksinimlerinin her birinin doğal aydınlatma sistemi ile karşılanması, enerji etkin konut mekanlarının sağlanması bakımından önemlidir.

Mimari bağlamda, kentsel ölçekteki planlamalardan malzeme seçimlerine kadar alınan çeşitli tasarım kararları, doğal aydınlatma sisteminin oluşturulmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu durum iç mekanda kullanıcı görsel konforunun üst düzeyde sağlanmasına imkan veren doğal aydınlatma sistemlerinin tasarlanmasında çok farklı ölçeklerde birden fazla tasarım parametresinin parametrik bir şekilde dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, mimari tasarım süreçleri ile bağlantılı olarak kapsamlı bir doğal aydınlatma sistemi tasarımının gerçekleştirilmesi, çok işlevli konut mekanlarında hedeflenen görsel konfor koşullarının sağlanması açısından elzemdir.

Kullanım süreleri ve değişen mekan gereksinimleri göz önüne alındığında, konut mekanlarının enerji tüketimini azaltarak görsel konfor koşullarının sağlanmasına imkan veren doğal aydınlatma sistemleri olarak tasarlanmaları sürdürülebilir bir çevre yaratılması bakımından temel strateji olmaktadır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen tez çalışması, konforlu ve enerji etkin yapma çevrenin tasarlanmasında doğal aydınlatma sisteminin önemine değinerek, hızla artan ve çok işlevli kullanıma sahip konut bina

stoğunun doğal aydınlatma sistemi bakımından görsel konfor koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmasına yönelik karar modeli sunmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Hedefleri

Konut mekanları, günümüzde sadece yaşam alanı olmaktan çıkarak kişilerin özel, okul ve iş yaşamlarını destekleyen hibrit mekanlar haline dönüşmüşlerdir. Bu bağlamda kişilerin fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarının karşılanması ve üretkenliğinin artırılmasında konutlarda konfor kavramı ile en çok ilişkilendirilen güneşiğe (Frontczak vd., 2012) bağlı görsel konfor koşullarının sağlanması büyük rol oynamaktadır. Ayrıca konut binalarında aydınlatma amacıyla tüketilen mevcut enerji miktarı ve gelecekte konut mekanlarının birer çalışma mekanı olarak kullanımı ile ön görülen enerji miktarındaki olası artış göz önüne alındığında, güneşiği ve güneşiğinin etkin kullanımı enerji etkin konut binalarının tasarlanmasında önemli bir tasarım girdisi olmaktadır. Bu anlamda minimum aydınlatma enerjisi tüketerek sağlıklı ve konforlu bir ortam sunan çok işlevli yaşam alanları, gelecekteki konut binalarının görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemleri olarak tasarlanması ile olanaklıdır.

Çalışmanın önemi ve motivasyonu göz önüne alındığında, gerçekleştirilen tez çalışmasının üst amacı konforlu ve enerji etkin konut binalarının elde edilmesi amacıyla erken tasarım evresinden itibaren konut mekanlarının doğal aydınlatma sistemleri olarak tasarlanmasına ilişkin yeni bir yaklaşım geliştirmektir. Bu yaklaşım yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerin erken tasarım evresinden itibaren her bir tasarım süreci içinde performansa dayalı analizinin yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu doğrultuda önceki sürecin çıktısının bir sonraki sürecin girdisi olarak ele alınması ile karar verme aşamasında sistematik bir değerlendirme süreci gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Üst amacı destekleyen çalışmanın alt amaçlarından biri, konut mekanlarının farklı eylemlerin aynı anda gerçekleştirildiği çok işlevli mekanlar olduğu kabulü ile kullanıcı görsel konforunun bütünleşik şekilde değerlendirmesine yönelik bir yöntem sunmaktır. Farklı görsel gereksinimlerin aynı anda ele alınabildiği ve bir doğal aydınlatma sistemi tasarım probleminin değerlendirilmesi sürecinde kullanılabilecek bu yöntem ile günümüzde kullanımları yaygınlaşan hibrit mekanlar için konforlu ve enerji etkin çözümler geliştirilmesi beklenmektedir.

İlgili yönteme dayanarak çalışmanın ikinci alt amacı ise konut binalarında g n şığı performansının bina tasarım süreçleri bağlamında sistematik bir şekilde ele alınması ile iç mekanda görsel konfor koşullarını sağlayarak aydınlatma enerji t ketimeini minimize eden doğal aydınlatma sistemi tasarımının belirlenmesine ilişkin bir karar modeli geliştirilmesidir. Çalışmada optimum performans gösteren tek bir doğal aydınlatma sistemi tasarım seçeneğinin ortaya konmasından ziyade, veri madenciliğine dayalı karar ağacı metodu ile farklı görsel konfor performanslarının elde edildiği doğal aydınlatma sistemi tasarım kararının verilmesine ilişkin yolun tanımlanması, böylelikle grafiksel ve kolay anlaşılır karar verme stratejileri oluşturulması amaçlanmaktadır.

Veri madenciliğine dayalı geliştirilen karar modelin amacı üretilen çok sayıdaki veriden bir tasarım bilgisinin çıkarılmasıdır. Bu bağlamda çalışmanın üçüncü alt amacı, çok işlevli konut mekanlarında mimari tasarım süreçleri ile bağlantılı olarak sistematik bir görsel konfor değerlendirmesi sonucunda farklı görsel eylemlere yönelik gereksinimleri karşılayan doğal aydınlatma sistemi tasarım bilgisini üretmektir. Böylece konut mekanındaki g n şığı performansı üst düzeye çıkarılarak hem kullanıcıların konforu artırılacak hem de yapma aydınlatmaya yönelik enerji tüketimlerinin azalması sağlanabilecektir.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda geliştirilen tez çalışması ile;

- Doğal aydınlatma sistemi tasarım değişkenlerinin görsel konfor performansı bakımından parametrik olarak irdelenmesi,
- Bina tasarım süreçleri bağlamında görsel konfor koşullarını etkileyen yapma  evre tasarım parametrelerin sistematik bir şekilde ele alınması,
- Konut binalarında görsel konfor koşullarının sağlanması bakımından doğal aydınlatma tasarımında öncelikli olarak ele alınması gereken tasarım ölçütlerinin ortaya konulması,
- Veri madenciliği modellerinden karar ağacı modelinin doğal aydınlatma sistemi tasarımı bağlamında kullanılabilirliğinin analiz edilmesi,
- Kolay ve anlaşılır bir karar verme yaklaşımı ile çok işlevli konut mekanlarında optimal performans gösteren doğal aydınlatma sistemi tasarımının belirlenmesine imkan verilmesi,

- Konut binalarının doğal aydınlatma sistemleri olarak tasarlanmasına ilişkin önerilen model ile farklı iklim bölgeleri için tasarım rehberlerine uygulanabilir bir altlık oluşturulması hedeflenmektedir.

Gerçekleştirilen geniş kapsamlı literatür araştırması ve belirlenen amaçlar doğrultusunda, tez çalışması aşağıda belirtilen hipotezler üzerine kurulmuştur.

Hipotez 1: *Doğal aydınlatma sistemleri görsel konfor odaklı tasarlandığı takdirde kullanıcı sağlığı, üretkenliği ve memnuniyetini arttıran yaşama mekanları elde edilebilir.*

Hipotez 2: *Konut mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması, iç mekanda gerçekleştirilen her bir eyleme (dinlenme, okuma, çalışma ve yeme-içme) ilişkin görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması ile olanaklıdır.*

Hipotez 3: *Görsel konfor koşullarını sağlayan bir doğal aydınlatma sistemi başta aydınlatma enerji tüketimi olmak üzere toplam enerji tüketimini azaltır.*

Hipotez 4: *Doğal aydınlatma sistemi tasarımında görsel konfor ve enerji etkinlik konuları sistematik bir bakış açısı ile tasarım sürecine dahil edilebilir.*

1.2 Tezin Yöntemi ve Kapsamı

Konut mekanlarında görsel konfor koşullarının farklı görsel gereksinimlerin sağlanması ve buna yönelik doğal aydınlatma sistemi karar modelinin geliştirilmesi amacıyla geniş bir literatür araştırması yapılmış olup, ilgili konulardaki bilimsel yaklaşımlar analiz edilmiştir. Bu doğrultuda çok işlevli konut mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarım kararının geliştirilmesine ilişkin model; mimari tasarım süreçlerinde doğal aydınlatma sistemi performansına etki eden her bir parametrenin sistematik bir şekilde ele alınabilmesi için *parametrik model yaklaşımına*, konut mekanlarında görsel konfor koşullarına etki eden tasarım parametrelerinin belirlenmesi için *duyarlılık analizine*, doğal aydınlatma sistemine dayalı kullanıcı görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması için *bütüncül bir görsel konfor performansı değerlendirilmesine*, görsel konfor analizleri sonucu elde edilen büyük veri kümesinin anlamlı bir doğal aydınlatma sistemi tasarım bilgisine dönüştürülmesi amacıyla *veri madenciliği sürecine* dayanmaktadır.

Geometrik modelin parametrik olarak geliştirilmesi, simülasyon modeline dönüştürülmesi ve görsel konfor performansı analizlerinin gerçekleştirilmesi süreçlerinde *Rhino-ceros & Grasshopper* modelleme programı ve *Climate Studio (v 1.9)* simülasyon programı kullanılmıştır. Duyarlılık analizleri *Excel* ve *Python* programlarının bir arada kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Veri madenciliği modelinin uygulanması sürecinde ise makine öğrenimine dayalı karar ağacı modeli *Python* programlama dili aracılığı ile *Scikit-learn* makine öğrenimi kütüphanesi kullanılarak üretilmiştir.

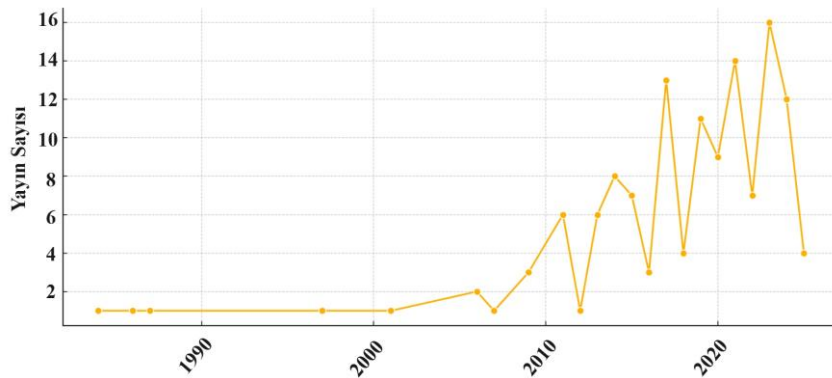
Tezin kapsamı günün önemli bir bölümünün geçirilmesi sebebi ile kullanıcı memnuniyeti, sağlığı ve esenliği bakımından görsel konfor koşullarının sağlanmasının önemli olduğu mekanlardan biri olan konut mekanları olarak belirlenmiştir. Konut mekanlarında görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sisteminin belirlenmesine yönelik önerilen model yaşama, yemek yeme, dinlenme, uyuma gibi konut mekanlarında gerçekleştirilen temel eylemlerin yanı sıra gün saatleri içerisinde çalışma eyleminin çoğunlukla gerçekleştirildiği yaşama mekanları için geliştirilmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen karar modeli çok işlevli yaşama mekanları için geçerli olmakla birlikte, uygulanan yaklaşım günümüzde farklı eylemlerin bir arada yürütüldüğü, farklı türdeki hibrit mekan kullanımları için de uygulanabilir. Geliştirilen modelin uygulanması ile sonuçlar konut yapı stokunun en çok bulunduğu ve evden çalışma pratiğinin nüfusa oranla en çok gerçekleştirildiği İstanbul ili, dolayısı ile ılımlı-nemli iklim bölgesi için elde edilmiştir. Ancak farklı yöreler için doğal aydınlatma sistemine yönelik tasarım bilgisi ilgili yörenin iklim verisinin simülasyon modeline girdi olarak tanımlanması ile elde edilebilir. Son olarak tez çalışması kapsamında veri madenciliği modellerinden karar ağaçları, güvenilirliğinin yüksek, uygulanması ve yorumlanmasının kolay olması sebebi ile doğal aydınlatma sistemi tasarım bilgisinin üretilmesi amacıyla kullanılmıştır. Farklı veri madenciliği yöntemlerinin doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar modelinin oluşturulmasında kullanılabilirliğine ilişkin analizler çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

Geliştirilen modelin kullanıcıları bina tasarım süreçlerinin yürütülmesinde ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik kararların alınmasında etkin rol oynayan bina tasarım profesyonelleri olarak hedeflenmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuç ürünleri, konut mekanı kullanıcılarının mevcut doğal aydınlatma sistemi tasarımlarına bağlı olarak iç mekan görsel konfor koşullarını tahmin etmesi ve iyileştirmesi amacıyla

kullanılabilir olacaktır. Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik üretilen karar modeli çok işlevli konut mekanlarının konforlu ve enerji etkin tasarlanmasına yönelik erken tasarım evresinden detay tasarım evresine kadar karar vericilere bir tasarım rehberi olabilecek özellikte geliştirilmiştir.

1.3 Literatür Araştırması

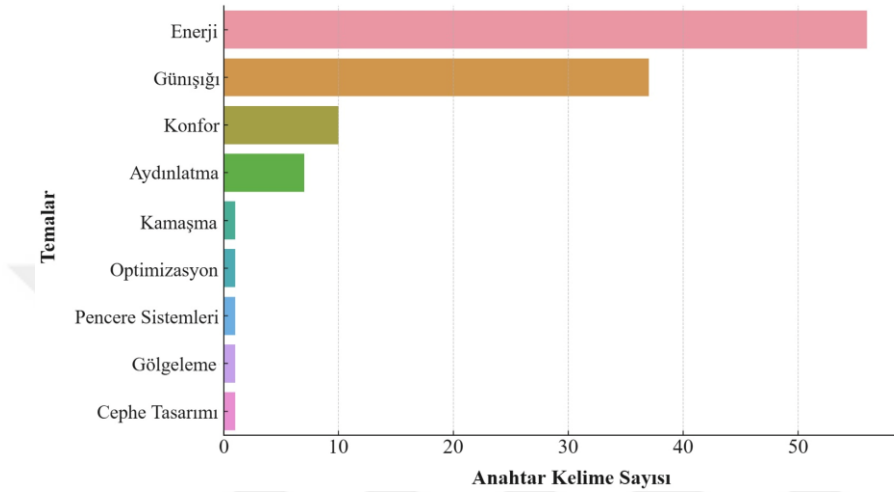
Bu bölümde tez çalışmasına konu olan konut binalarında günışığı performansının değerlendirilmesine ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına ilişkin literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu bağlamda uluslararası alanda 2010-2024 yılları arasında yapılan konut binalarında doğal aydınlatma sistemini ele alan çalışmalar Scopus, Web of Science ve Science Direct veri tabanlarında “*residential building*” AND “*daylight*” OR “*daylighting*” OR “*window design*” AND “*visual comfort*” OR “*lighting energy*” anahtar kelimeleri ile taranarak bulunmuştur. Elde edilen çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 1.1’de verildiği gibi belirlenmiştir. Grafik göz önüne alındığında konut mekanlarında günışığı etkinliğine yönelik gerçekleştirilen çalışmaların zamanla artış gösterdiği, özellikle Kovid-19 pandemisinin bu artış üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu görülmüştür. Diğer yandan literatür araştırması sonucu belirlenen çalışmaların anahtar kelimeleri üzerinden konu analizi yapılarak, çalışmalarda öne çıkan konu-tema başlıkları Şekil 1.2’de verildiği gibi bulunmuştur. Bu anlamda konut mekanlarında doğal aydınlatma sistemine yönelik gerçekleştirilen çalışmaların sırasıyla öncelikli olarak enerji, günışığı ve konfor konularını dikkate aldığı görülmüştür.



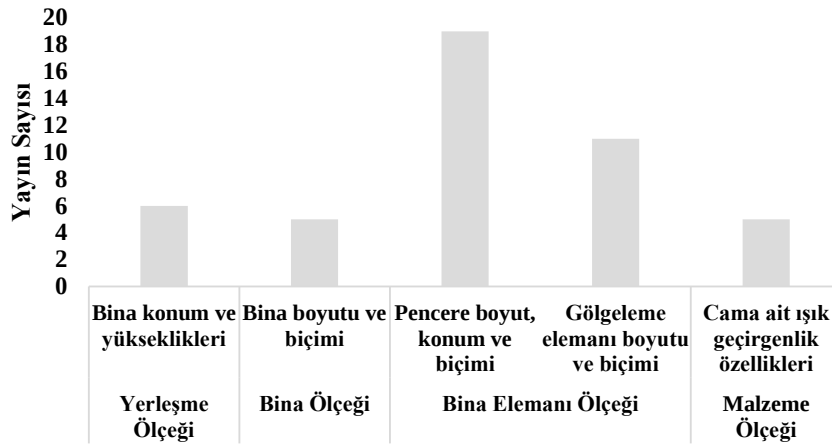
Şekil 1.1 : Konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların yıllara göre değişimi

Son olarak yerleşme ölçeğinden malzeme ölçeğine kadar yapma çevreye ilişkin alınan tasarım kararlarından etkilenen günışığı performansının, konut binaları kapsamında

özellikle bina elemanı ölçeğindeki pencere açıklıkları ve gölgeleme elemanlarına yönelik tasarım kararları çerçevesinde analiz edildiği belirlenmiştir (Şekil 1.3). Bu doğrultuda, konut binalarının doğal aydınlatma performansının değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen uluslararası makale ve bildiri çalışmaları, ele aldıkları tasarım ölçeği bakımından (yerleşme, bina, bina elemanı ve malzeme) gruplandırılarak sırasıyla aşağıda verildiği gibi incelenmiştir.



Şekil 1.2 : Konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların anahtar kelimelerine göre konu analizi



Şekil 1.3 : Konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların tasarım ölçeklerine göre dağılımı

Tez kapsamında erken tasarım evresinde *yerleşme ölçeğine* ilişkin alınan kararların güneşiği performansına etkisinin ele alındığı çalışmalar aşağıda verildiği gibi olmaktadır;

Mesa vd. (2011) Arjantin'in Mendoza şehrinde bina biçimleri ve yönelimlerini dikkate alarak konut binalarında aydınlatma için tüketilen elektrik enerjisi üzerinden güneşiği

etkinliğini karşılaştırmalı olarak değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Simülasyon ve ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada elde edilen bulgulara göre, yerleşme tasarımının iç mekan günışığı etkinliğini hem çevre binalardan yansıyan ışık sonucu iç mekana alınan günışığının artırılması bakımından pozitif yönde hem de engel etkisi sebebiyle iç mekan günışığı aydınlığının azaltılması bakımından negatif yönde etkilediği belirlenmiştir. Binaların maksimum geri çekilme mesafesi ve yükseklikleri, iç mekanda sağlanan günışığı etkinliğini belirleyen temel parametreler olarak tanımlanmıştır. Çalışmada iç mekan günışığı etkinliğini artırarak aydınlatma enerji tüketimini minimize eden bina yüksekliği – bina aralığı (H/W) optimum oranının 2/3 ila 1 arasında olduğu belirlenmiştir (Mesa vd., 2011).

Ayoub (2019b) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Mısır'da yer alan bitişik nizam ve dar sokaklı hibrit kent yerleşimlerinde bulunan konut binaları için, günışığı etkinliği ve enerji tüketimi üzerinde etkili olan tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametreler doğrultusunda erken tasarım aşamasında kullanılabilecek çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda simülasyon yöntemi aracılığı ile yerleşme ölçeğindeki çeşitli tasarım değişkenlerinin aydınlatma ve enerji performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, yatay engel açısı (Horizontal Obstruction Angle) ile dış yüzeylere ait ışık yansıtma katsayısının Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) üzerinde en etkili parametreler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yatay engel açısı ve saydamlık oranı (WWR) Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti (ASE) düzeylerini etkileyen başlıca faktörler olarak bulunmuştur. Saydamlık oranındaki artışın, aydınlatma enerjisi tüketimini %25 oranında azalttığı, toplam enerji tüketimini ise %35 oranında artırdığı saptanmıştır. Yatay engel açısındaki artış, sDA'yı %93 oranında düşürmüş, ASE'yi ise %91 oranında iyileştirmiştir; bu durum aydınlatma enerjisi tüketiminde %96 oranında artış, soğutma enerjisi tüketiminde ise %9 azalmaya neden olmuştur. Ayrıca, dış engellere ait ışık yansıtma katsayısının artırılmasının hem konut mekanında sağlanan günışığı performansını hem de toplam enerji tüketimini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Ayoub, 2019b).

Lu & Du (2019), soğuk iklimde yer alan üç farklı tipik yerleşim planı doğrultusunda, bina cephelerinde ölçülen düşey günışığı aydınlık düzeylerine göre konut mekanlarındaki günışığı etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda, Faydalı Günışığı Aydınlatması (UDI) temelli yeni bir günışığı değerlendirme ölçütü olarak Exterior

Useful Daylight Illuminance (EUDI) geliştirilmiş ve günışığı analizlerinde kullanılmıştır. Çalışma bulgularına göre, yerleşme ölçeğinde gerçekleştirilen düzenlemeler özellikle Güney cephe yönelimli binaların orta ve alt katlarında genel günışığı potansiyelini belirgin şekilde etkilemektedir. Buna karşılık, Kuzey, Doğu ve Batı yönelimli binaların doğal aydınlatma performansının, yerleşme dokusu ile anlamlı bir ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bina biçimi etkisi bakımından kare ve dikdörtgen planlı binaların daha yüksek günışığı performansına imkan sağladığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda kare ve dikdörtgen planlı binalardan oluşan yerleşme modeli, ısısal ve görsel konfor açısından en optimal performansı sunan seçenek olarak öne çıkmıştır. Binaların yönelimi dikkate alındığında, Güney yön en iyi günışığı performansını sağlarken, sırasıyla Batı, Doğu ve Kuzey yönelimleri günışığı etkinliği bakımından daha düşük performans sergilemiştir. Ayrıca, Güney cephelerin orta ve yüksek katlarında, özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında diğer mevsimlere kıyasla çok daha yüksek günışığı potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Lu & Du, 2019).

Jayaweera vd. (2021a), tropikal iklimdeki yüksek katlı konut binalarında yerleşme ölçeğindeki tasarım parametrelerini ele alarak günışığı etkinliğini ve yıllık enerji tasarrufunu artırmayı amaçlamışlardır. Bu anlamda kentsel yapılaşmanın çeşitli simülasyon modelleri kullanılarak soğutma enerjisi, gün saatlerinde tüketilen aydınlatma enerjisi ve Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Konut mekanlarında %75 oranında sDA sağlanmasına imkan veren optimal yerleşme tasarımı ile Doğu ve Batı yönlerinde %28–%36; Güney ve Kuzey yönlerinde %8–%12 oranında yıllık enerji tasarrufu sağlanabileceği belirlenmiştir. Erken tasarım aşaması için yerleşme ölçeğinde önerilen bina çekme mesafelerinin üç farklı bina örneği üzerinden ölçüm yöntemi ile doğrulanması sonucu, çalışma kapsamında önerilen çekme mesafeleri ile iç mekanda %55 oranında sDA elde edilerek Doğu-Batı yönlerinde %26–%31, Güney-Kuzey yönlerinde %9–%15 oranları arasında yıllık enerji tasarrufu sağlanmıştır (Jayaweera vd., 2021a).

Idrissi Kaitouni vd. (2023) yarı kurak iklim koşullarındaki kentsel konut yerleşimlerinde, morfolojik tasarım parametrelerinin (bina tipi, binalar arası mesafe, kentsel ızgara yönelimi, saydamlık oranı) enerji verimliliği ve günışığı etkinliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, binalar arası mesafe, kentsel ızgara yönelimi ve bina tipolojileri gibi yerleşme ölçeğindeki değişkenlerin hem doğal aydınlatma düzeyini hem de BIPV (Building Integrated Photovoltaic) sistemlerinden elde

edilen güneş enerjisi potansiyelini doğrudan etkilediği ortaya konmuştur. Yerleşme ölçeğinde, binalar arası mesafenin 30 m ve bina yönelimlerinin 0° (Güney) olduğu yerleşme senaryoları için hem konut mekanlarında %40 oranının üzerinde Mekansal Güneşliliği Otonomisi değeri hem de yüksek BIPV üretimi sağlamıştır. Binalar arası mesafe artışının, güneş enerjisi üretiminde %244'e varan artışa neden olduğu; yönelimin $\pm 30^\circ$ sapması ise üretimi %12 ila %13 oranında azalttığı belirlenmiştir. Doğu-Batı yönelimli dikdörtgen bina tipi güneşliliği sürekliliği açısından, kare bina tipi ise düşük yüzey alanı oranı nedeniyle ısısal konfor açısından öne çıkmıştır (Idrissi Kaitouni vd., 2023).

Son olarak Plch & Mohelníková (2011) yerleşme ölçeğinde yaptıkları çalışmada, konut binalarında komşu yapılara ait cephe malzemelerinin güneşliliği erişimi ve iç mekan görsel konforu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu anlamda karşısında kırmızı renkli cephe panellerine sahip büyük bir alışveriş merkezi bulunan bir konut yapısı ele alınarak farklı güneşliliği senaryoları için yapılan ölçümler ve WDLS yazılımı ile elde edilen Güneşliliği Faktörü (DF) simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, gölgeleme etkisiyle iç mekanda gerçekleşen aydınlık düzeyi ve Güneşliliği Faktörü değeri önemli ölçüde azalmış; özellikle kırmızı yüzeyin yansıttığı ışığın 380–550 nm dalga boyu aralığında zayıf kaldığı, 670–690 nm aralığında ise spektral yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, yansıyan güneşliliğinin spektral dengesini bozarak doğal güneşliliğine yakınlık açısından düşük sirkadiyen uygunluk değerlerine yol açmış olduğu ortaya konmuştur. Çalışma, yoğun kentsel alanlarda bina cephe renklerinin iç mekan ışık kalitesini etkileyen kritik bir tasarım parametresi olduğunu vurgulamıştır (Plch & Mohelníková, 2011).

Bina ölçeğinde bina boyutları, biçimi, konumu ve yönelimi gibi parametrelerin iç mekan güneşliliği performansına etkisinin değerlendirildiği çalışmalara bakıldığında ise konut tipolojisi özelinde, Ciardiello vd. (2020) yaptıkları çalışmada, konut binalarının erken tasarım aşamasında optimize edilen bina biçiminin güneşliliğine erişim ve görsel konfor üzerindeki etkilerini ele almışlardır. Gerçek konut stokundan türetilmiş olanı boşluklu I, L, O, C T, H, X ve Y biçimli bina tipleri arasından çapraz planlamalı X biçimli bina tipi optimum çözüm olarak belirlenmiştir. Bu bina tipinin Güney cephesinde %40, Doğu ve Batı cephelerinde ise yalnızca %5 saydamlık oranı olacak şekilde tasarlanması sonucu; düşük açılı kış güneşinden maksimum yararlanılırken, sabah ve akşam saatlerinde doğrudan gelen güneş ışığının azaltılması yoluyla kamaşma riski sınırlandırılmıştır. İç avluya sahip plan tipolojileri (X, H, T, Y) kendi gölgeli alanlarını

oluşturarak mekanlara fazla ışık alımını engellemiş, böylelikle daha dengeli ve konforlu bir iç mekan aydınlatması elde edilmiştir. Bu bağlamda çalışmada, bina biçimi ve cephe tasarımının, yalnızca enerji performansı bakımından değil, aynı zamanda günışığına bağlı görsel konforun sağlanmasında da belirleyici bir parametre olarak öne çıktığı belirlenmiştir (Ciardiello vd., 2020).

S. S. Wang vd. (2021) yaptıkları çalışmada, şehrsel ölçekteki tasarım parametrelerini ele alarak yüksek katlı konut binalarına ait plan tasarımını hem iç ortam (günışığı etkinliği, güneş ışığı alımı, dış görüş potansiyeli) hem de dış ortam (ısısal konfor) konfor koşullarına göre optimize etmeyi amaçlayan bir yaklaşım önermektedir. Bu doğrultuda, soğuk iklim özellikleri gösteren Çin'in Beijing şehri için binaların günışığına erişimi Daylight Factor (DF), pencere güneşlenme süresi (WinH) ve gökyüzü görüş oranı (QuVue) gibi görsel konfor değerlendirme ölçütleri aracılığıyla belirlenmiş; binaların yerleşime ölçeğindeki tasarım kararları bina konumları (X, Y) ve yükseklikleri (Z) üzerinden belirlenen toplam 36 geometrik parametreye göre optimize edilmiştir. Yapay sinir ağı (ANN) destekli çok amaçlı optimizasyon süreci sonucunda, optimum performans sağlayan yerleşimlerin Doğu ve Kuzey yönlerine kaydırıldığı, Güneyde konumlanan binaların yüksekliklerinin artırıldığı ve merkezi blokların çevresinin açılarak gökyüzü görüş oranlarının yükseltildiği belirlenmiştir. Bu düzenlemelerle DF, WinH ve QuVue değerlerinde baz senaryoya kıyasla %21'e varan iyileşmeler sağlanmış, konutlarda günışığı erişiminin artırılmasının bina yerleşim stratejileri yoluyla mümkün olduğu ortaya konmuştur (S. S. Wang vd., 2021).

Ji (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise iç mekan günışığı performansını etkileyen mekan boyutlarına ilişkin analizler gerçekleştirilerek, Amerika Seattle'da yer alan konut binasının günışığı etkinliği ve kamaşma bakımından görsel konfor koşullarının irdelenmesi amaçlanmıştır. Diva for Grasshopper simülasyon programı aracılığı ile gerçekleştirilen günışığı simülasyon sonuçlarına göre mekan yüksekliğinin döşemeden döşemeye 2.54 m olduğu durumda iç mekanda en iyi günışığı performansının elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca iç mekanda sağlanan günışığı etkinliğini artırmak için Kuzey yönlü mekanların derinliğinin azaltılması, Güney yönlü mekanların ise derinliğinin artırılması önerilmiştir. İlgili çalışmada aynı zamanda pencere boyutlarının etkisi irdelenerek pencerelerin kafa yüksekliğinin tavana kadar yükseltilmesinin, iç mekan günışığı performansını artırmada en etkili yöntem olduğu ortaya konmuştur.

Diğer yandan, Güneydoğu ve Kuzeydoğu yönlerine bakan cephelerde daha etkili gölgeleme stratejilerinin sağlanması gerektiği belirlenerek, Güney cephe için yatay, Doğu cephesi için ise bütünleşik bir gölgeleme elemanının daha verimli olduğu vurgulanmıştır (Ji, 2020).

Nadji Maachi vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise, konut mekanlarında görsel konforun sağlanması ve aydınlatmaya bağlı enerji tüketiminin azaltılması amacıyla mekanların bina içerisindeki yüksekliklerinin ve yönelimlerinin günışığı performansına etkisi irdelenmiştir. Simülasyon analizleri, belirli gün ve saatler için kabul edilen gök modelleri esas alınarak 3ds Max programı aracılığıyla yapılmış ve sonuçlar saha ölçümleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışma bulgularına göre, doğal aydınlatma performansı ile enerji tüketimi arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Güney ve Batı yönelimleri doğal aydınlatma performansı açısından en uygun yönler olarak belirlenmiş; Kuzey ve Doğu yönleri ise daha düşük bir performans göstermiştir. Görsel konfor açısından zemin katta yer alan mekanlarda bazı saatler dışında yetersiz günışığı performansı elde edilirken, üst katlar özellikle kapalı gök koşullarında daha iyi sonuçlar vermiştir. Çalışma kapsamında aynı zamanda gerçekleştirilen kullanıcı anketleri elde edilen sonuçları destekleyerek üst katta yer alan mekan kullanıcılarının günışığı performansına yönelik memnuniyetinin daha yüksek olduğu ortaya konmuştur (Nadji Maachi vd., 2019).

Bina elemanı ölçeğinde iç mekan günışığı performansını, dolayısıyla doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen en önemli parametreler doğal ışığın iç mekana alınmasını sağlayan cephede ve çatıda yer alan saydam bileşenlere ait tasarım değişkenleri olmaktadır. Ek olarak dış ortam gölgeleme elemanları iç mekanda meydana gelen görsel konfor koşulları üzerinde önemli düzeyde etkisi olan bina elemanı ölçeğinde ele alınan parametrelerden bir diğeridir. Binalarda cephe açıkları olarak görev yapan pencerelerin boyut, biçim ve konumlarının iç mekan günışığı performansına etkisine ilişkin konut binaları özelinde yapılan çalışmalar şu şekildedir;

Vanhoutteghem vd. (2015) tek ailelik neredeyse sıfır enerjili konutlarda pencere tasarımına ilişkin farklı parametrelerin (yönelim, pencere alanı oranı ve cam özellikleri) enerji tüketimi, ısıl konfor ve günışığı erişimi üzerindeki bütüncül etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada farklı genişlik-derinlik oranlarına sahip 9 ayrı oda geometrisi için pencere alanının döşeme alanına oranı (%10–35), pencere yönelimi

(Kuzey/Güney), pencere camına ait parametreler (U, g ve Tvis) irdelenmiştir. Kopenhag iklimi dikkate alınarak konut mekanında gerçekleşen günışığı performansı sDA ve DF ölçütleri aracılığı ile değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, yüksek ışık geçirgenliğine sahip camlarla birlikte %17–%25 aralığında pencere/döşeme oranı (WFR) hem Kuzey hem de Güney cephelerde hedef günışığı aydınlık düzeyine ulaşmak için yeterli bulunmuştur. Kuzey cephe odalarda aşırı ısınma riski olmadığından Güney cephe odalara göre daha büyük pencere oranlarının esnek biçimde kullanılabileceği ve yüksek geçirgenlikli camlarla enerji dengesi korunabileceği belirlenmiştir (Vanhoutteghem vd., 2015).

Acosta vd. (2016) tipik bir konut mekanında pencere boyutu, biçimi ve konumuna bağlı olarak farklı pencere konfigürasyonlarının görsel konfor ve aydınlatma enerjisi tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Kuzeye yönlendirilmiş bir konut mekanı temel alınarak Madrid, Stockholm, Münih ve Londra gibi farklı şehir koşullarında günışığı değerlendirme ölçütlerini (DA, maxDA) karşılayan çeşitli saydamlık oranları analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre yatay pencere biçimi daha düzgün günışığı dağılımı ve yüksek Günışığı Otonomisi (DA) düzeyi sağlayarak enerji verimliliği açısından diğer biçimlere göre üstün performans göstermiştir. Pencere boyutunun, pencereye yakın alanlarda sınırlı etkiye sahip olduğu, ancak mekanın derin kısımlarında aydınlatmaya yönelik enerji tüketimi üzerinde belirleyici rol oynadığı saptanmıştır. %40 ve üzeri pencere-duvar oranı (WWR) için pencere yöneliminin enerji etkinliği üzerinde önemli bir etkisi bulunmadığı, %50 WWR'nin ise optimum görsel konfor koşullarının sağlanması adına uygun bir pencere oranı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Güneye bakan yatay pencere kullanımıyla %18'e varan enerji tasarrufu sağlanabildiği ortaya konmuştur (Acosta vd., 2016).

Acosta vd. (2023), konut binalarında günışığının görsel konfor ve sirkadiyen ritim üzerindeki etkilerini değerlendirerek, uzaktan çalışma alanları için uygun pencere tasarımını belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, farklı iklim koşullarını temsilen seçilen üç Avrupa şehri (Londra, Milano, Sevilla), iki yönlenme (Kuzey-Güney), dört farklı dış engel seviyesi (gökyüzü görüş açısı: 30°, 45°, 60°, 90°) ve değişen saydamlık oranları (%10, %20, %30, %40) dikkate alınmıştır. Görsel konfor ve biyolojik saat açısından günışığı performansı, Daylight Autonomy (DA) ve Circadian Stimulus Autonomy (CSA) ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, %10'luk saydamlık oranının

sirkadiyen uyarım için yetersiz kaldığı, bu durumda görsel konfor koşullarının yalnızca pencereye yakın alanlarda sağlandığı belirlenmiştir. %20–%30 arasındaki saydamlık oranları ise Kuzey cephede odanın ortasına kadar, Güney cephede ise neredeyse tüm mekanda yeterli CSA ($\geq$ %50) sağladığı görülmüştür. Ayrıca, dış engellerin Güney cephede güneş ışığı etkinliğini sınırladığı, ancak Kuzey cephede yansıma etkisiyle CSA düzeyini artırabildiği gözlemlenmiştir (Acosta vd., 2023).

Nebia & Aoul (2017), yaptıkları çalışmada Londra'daki yüksek katlı konutlarda erken tasarım aşamasında güneş ışığı erişimi ile aşırı ısınma riskini birlikte değerlendirecek bir araç geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada farklı saydamlık oranları (%40, %60, %80), kat seviyeleri ve cephe yönelimleri dikkate alınarak Güneş Faktörü (DF) ve iç sıcaklık verileri analiz edilmiştir. Bulgulara göre, saydamlık oranı arttıkça DF değeri yükselmiş ancak özellikle üst katlarda aşırı ısınma riski de belirgin şekilde artmıştır. Bu doğrultuda, %80 WWR hem ısısal hem de görsel konforun birlikte sağlanması adına eşik saydamlık oranı olarak belirlenmiştir. Kuzey ve Doğu cepheleri hem düşük aşırı ısınma riski hem de yeterli güneş ışığı düzeyi sunarken, Güney ve Batı cephelerinde yüksek güneş ışımasını nedeniyle konforsuzluğa neden olan ısı kazançları meydana gelmiştir. Ancak, çift yönlü dairelerde sağlanan çapraz havalandırma sayesinde, daha büyük saydamlık oranlarında fazla ısınma kontrol altına alınabilmiş ve güneş ışığı performansı iyileştirilmiştir (Nebia & Aoul, 2017).

Dabe & Dongre (2018), sıcak ve kuru iklim koşullarında yer alan konut yapılarında, ısısal konfor koşullarından ödün vermeden yaşam alanlarında optimum güneş ışığı performansını sağlayan pencere/tabana alanı oranı (CAWR) değerini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Daysim ve Ecotect yazılımları kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, konut mekanında görsel ve ısısal konforun eş zamanlı sağlanabilmesi için tüm yönelimler için geçerli optimum CAWR (carpet area to window ratio) değeri %12 olarak belirlenmiştir. Yönelime göre farklılaşan optimum değerler ise Doğu, Batı ve Kuzey cepheleri için %13,5; Güney cephesi için ise %10,5 olarak saptanmıştır. Ayrıca, balkon kullanımının doğrudan güneş ışımasını keserek kamaşma sorununu azaltmada etkili olduğu ortaya konmuştur (Dabe & Dongre, 2018).

De Luca vd. (2018) tarafından yapılan çalışma kapsamında, Estonya'da konut binalarında güneş ışığı gereksinimlerini karşılayabilen ve aynı anda aşırı ısınmaya neden olmayan pencere boyutlandırma aralıklarını belirlemeyi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 7812

tasarım varyasyonu üzerinden WWR, WFR, parapet yüksekliği, oda boyutları, yönelim, gölgeleme türü ve havalandırma tipi değerlendirilmiştir. Güneşli performansı %2 eşik değerine sahip ortalama Güneşli Faktörü (mDF) ölçütü üzerinden değerlendirilmiştir. Bulgular, yalnızca doğal havalandırma senaryolarında tüm yönelim ve gölgeleme durumlarında hem görsel hem ısısal konforun sağlanabildiğini; bu koşullarda WWR'nin %10.4–%78.6, WFR'nin ise %8.7–%146.7 aralığında değiştiğini göstermiştir. Mekanik havalandırma senaryolarında ise yalnızca Güney cephe odalarda ve gölgeleme varlığında her iki konfor koşulu sağlanabilmiş; bu durumda pencere boyutlarına ait WWR değerinin %20.8–%41.7 ve WFR değerinin %14.4–%29.2 aralıklarında olması ile sınırlı kalmıştır. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı senaryolarda büyük pencere boyutları aşırı ısınmaya yol açması nedeniyle, özellikle Güney ve Batı cephelerde önerilmemiştir (De Luca vd., 2018).

Hammad vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın amacı, MENA (Middle East North Africa) bölgesinde yer alan konut binalarında pencere tasarımı problemini; güneşli erişimi, güneş ısı kazancı, mahremiyet ve kurulum maliyeti gibi birden fazla kriterlere dayalı olarak optimize etmektir. Yapılan analizler, mahremiyetin en üst düzeye çıkarılmasını hedefleyen pencere düzenlerinin, genellikle en düşük güneşli ve güneş ısı kazancına sahip tasarım çözümlerine karşılık geldiğini ortaya koymuştur. Özellikle pencerenin duvarın alt bölümlerine yerleştirilmesi, hem güneş ışınlamaya bağlı ısı kazancısını azaltmakta hem de iç mekan mahremiyetini artırmakta etkili bir çözüm sunmaktadır. Bulgular, güneş ısı kazanımının büyük ölçüde pencere konumuna bağlı olduğunu, iç mekandaki Güneşli Faktörü (DF) değerlerinin ise pencere büyüklüğü ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Geliştirilen modelin farklı kent koşullarına uygulanması sonucunda, optimum performans gösteren pencere çözümlerinin yerel koşullara bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Hammad vd., 2019).

Zhen vd. (2019) Çin'in Xi'an kentinde yer alan konut binalarında doğal aydınlatmayı etkileyen başlıca parametreleri ortaya koyarak, pencere boyutunu etkileyen çeşitli yapma çevre değişkenlerini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Simülasyon çalışmaları Dialux yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ayrıca dış ortam aydınlık düzeyine bağlı olarak çalışan ve mobil cihaz üzerinden kontrol edilebilen otomatik stor perde sistemi geliştirilmiştir. Araştırma bulgularına göre, binanın bulunduğu yere ait enlemin artması daha büyük pencere boyutlarına sebep olmuş; pencere alanı ile tavan yüksekliği arasında negatif, mekan derinliği ile ise pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Diğer yandan

cama ait ışık geçirgenlik değerin artması büyük pencere alanlarının yaratılma ihtiyacını azaltmıştır. Çalışmada kat yüksekliği, bina şekil faktörü, cam geçirgenliği ve enlem gibi değişkenlerin pencere tasarımı üzerinde belirleyici bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Zhen vd., 2019).

Kharvari (2020) yaptığı çalışmada, sıcak-nemli (Akdeniz) ve sıcak-kuru (karasal) iklim bölgelerini dikkate alarak dört ana cephede yer alan yaşam alanları için pencere boyutlarını günışığına dayalı çok amaçlı optimizasyon yaklaşımıyla değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Honeybee (Radiance 5.1) ve Octopus (Pareto-front HypE) simülasyon araçları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, pencere yüksekliği/genişliği oranına bağlı yeni bir analiz kriteri önerilmiş ve ölçüm verileriyle doğrulanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, sıcak nemli iklim için Güney-Doğu-Kuzey-Batı yönlerinde sırasıyla %20-%20-%25-%20; sıcak kuru iklim için ise %20-%15-%20-%25 oranlarında minimum pencere taban alanı oranları (WFR) önerilmiştir. Düşey pencereler yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) açısından kamaşmanın azaltılmasına yönelik daha iyi performans gösterirken, yatay pencereler günışığı etkinliği ve enerji verimliliği performansı açısından daha üstün bulunmuştur. Çalışmada yatay formdaki pencere biçimleri için optimum pencere boyutları önerilmiştir (Kharvari, 2020).

Abidi & Rajagopalan (2020), Melbourne'de yer alan yüksek katlı konut binalarındaki yatak odalarının günışığı performansını ölçümler yoluyla değerlendirmeyi ve bu doğrultuda pencere boyutlarına ilişkin tasarım önerileri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Simülasyon analizleri Revit yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma bulgularına göre, yatak odalarında LEED kriterlerine göre 2 puan sağlayan sDA_{300lx}, %60 oranında Güney cephede yer alan %25-%30 WFR değerine sahip pencere boyutu ile karşılanabilmiştir. EML (Equivalent Melanopic Lux) değeri, pencereye yakın bölgelerde tüm pencere büyüklükleriyle sağlanabilirken; pencereye uzak bölgelerde ise yalnızca Güneybatıya bakan %100 WFR, Batıya bakan %37,5 WFR, Güneybatıya bakan %62,5 WFR ve Batıya bakan %33 WFR değerine sahip pencere boyutları ile istenilen EML düzeyleri elde edilebilmiştir (Abidi & Rajagopalan, 2020).

Vijay Kumar vd. (2020) , sıcak kuru, sıcak nemli ve ılıman iklim koşullarında saydamlık oranının (WWR) konut binalarındaki günışığı etkinliği ve ısısal konfor üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Design Builder simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu elde edilen sonuçlara göre, %15 WWR oranı tüm iklim tipleri için görsel ve ısı konfor bakımından en uygun değer

olarak belirlenmiştir. Cam türü açısından ise çift camların, tek cam ve üçlü cam kombinasyonlarına kıyasla daha dengeli bir performans sunduğu ve optimum çözüm açısından daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Vijay Kumar vd., 2020).

Chen vd. (2020) tarafından Avustralya'nın tropikal olmayan bölgelerinde yer alan tek katlı konutlar için, yaz aylarında güneş ışınlamına bağlı ısı kazançlarını ve kış aylarında ısı kayıplarını minimize ederken iç mekan günışığı etkinliğini maksimize etmeye yönelik BIM tabanlı bir pencere tasarımı optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Revit (Insight) ve Dynamo (Optimo) yazılımları kullanılarak yapılan simülasyonlarda, aynı zamanda parametrelerin enerji, günışığı ve termal konfor hedeflerine etkisi duyarlılık analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yüksek performanslı pencere seçimlerinin ısı kazançlarını azaltmada etkili olduğu, enerji etkinlik, görsel ve ısısal konfor bakımından optimum saydamlık oranlarının (WWR) Güney, Doğu ve Batı cepheleri için %20; Kuzey için ise %40 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yönelime göre önerilen pencere yükseklikleri Doğuda 190–208 cm, Kuzeyde 75–152.5 cm, Güneyde 152.5–208 cm ve Batıda 77.5–115 cm aralığında tanımlanmıştır. Ek olarak Kuzey yönlü açıklıkların pasif ısıtma açısından avantaj sağladığı, Doğuya bakan pencerelerin ise yazın aşırı ısınma riski nedeniyle enerji etkinlik ve konfor koşulları bakımından sınırlı katkı sunduğunu belirlenmiştir (Chen vd., 2020).

D. A. Chi (2021) tarafından yapılan çalışmada, konut iç mekanlarında günışığını maksimize ederken ısı kazançlarını minimize edecek şekilde enerji performansında denge sağlayan doğal aydınlatma çözümlerini belirlemeyi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, üç farklı iklim bölgesi için değişen oda derinliklerine (WDR 1:1 ve WDR 1:2) göre farklı cephe yönelimlerinde önerilen pencere boyutları analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, Güneye yönlendirilen ve genişlik/derin oranı (WDR) 1:1 olan mekanlarda WDR 1:2'ye göre daha küçük saydamlık oranları (WWR) günışığı etkinliğinin sağlanması için yeterli olurken; ele alınan iklimlerin tamamında Kuzeye yönlendirilen mekanlar için mekan derinliğinden bağımsız olarak %30–%100 WWR aralığı önerilmiştir. Tropikal iklimlerde görsel konforun yanı sıra ısısal konforun sağlanması için pencereye ait saydamlık oranının %80'in üzerine çıkılmaması gerektiği vurgulanmıştır. Doğu cephesinde WDR 1:1 için kuru iklimde %10, ılımlı ve tropikal iklimlerde %10–20 WWR; WDR 1:2 için ise %40 WWR ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Batı cephesinde ise, WDR 1:1 için küçük pencere alanları, WDR 1:2 için ise %10 WWR oranı önerilmiştir (D. A. Chi, 2021).

F. Chi vd. (2020) yaptıkları çalışmada, Çin'in kırsal bölgelerinde yaygın olan geleneksel konut tipolojisi için hem görsel hem de ısısal konfor koşullarını sağlayan optimal saydamlık oranını (WWR) belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde edilen sonuçlar, minimum %2 Güneşli Faktörü sağlayan saydamlık oranı (WWR) değerleri %30–%40 WWR aralığında elde edilmiştir. Güneşli etkinliği açısından optimum WWR aralığı %35–%90 olarak belirlenmiştir. Isıl konfor açısından, iç ortam sıcaklığının 40°C'nin altında tutulabilmesi için WWR oranının %10–%52 arasında olması gerektiği; iç hava akımının 1–5 m/s düzeyinde sağlanabilmesi için ise WWR oranının %10–%90 arasında olması gerektiği ortaya konmuştur. Üç konfor kriterinin birlikte sağlanabilmesi için optimal pencere-duvar oranı %10–%52 aralığında tanımlanmıştır (F. Chi vd., 2020).

Mokhtari vd. (2023) İsfahan'daki konutlarda pencere oranı, şekli, konumu ve yöneliminin güneşli verimliliği ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. 182 senaryonun simülasyonunda, en iyi performansı sağlayan pencere tipi Güney cephe üst konumda yer alan, 1:2 oranlı dikdörtgen pencere ve %40 pencere taban alanı oranına (WFR) sahip pencere tipi ile elde edilmiştir. Bu alternatif ile DF %3.85, sDA %100 ve UDI %43.8 olarak hesaplanmıştır. Kuzey cephesi için ise 1:1.5 oranlı, %30 WFR'li üst konumda yer alan pencere tipi konut mekanında istenilen performansı sağlamıştır. Ayrıca, Kuzey cephesinde yer alan, %50 WFR sahip, 1:2 oranında yatay dikdörtgen biçimli ve üst konumda yerleştirilmiş bir pencere tipinin DF ve sDA açısından yüksek performans sağladığı, ancak sabah ve akşam saatlerinde kamaşmaya neden olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, pencere tasarımının konum ve yönelime bağlı olarak güneşli etkinliğinde belirleyici olduğunu göstermiştir (Mokhtari vd., 2023).

Han vd. (2017) Çin'in şiddetli soğuk iklim bölgelerinde yer alan konutlarda güneşli konforu, enerji verimliliği ve maliyet arasında denge kurmayı amaçlayan çok kriterli bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmada bina genişliği, çatı yüksekliği, yönelim, pencere yüksekliği ve Güney-Kuzey cephe pencere boyutları karar değişkeni olarak değerlendirilmiştir. Güneşli performansı Güneşli Otonomisi (DA) ve Faydalı Güneşli Aydınlatma (UDI) ile, enerji tüketimi Enerji Kullanım Yoğunluğu (EUI) ile ölçülmüştür. Optimum performans, bina genişliğinin 7.7 m – 12.0 m, yönelimin 0–9°, Güney cephe üst konumda yer alan saydamlık oranının %22–%45 ve Kuzey cephe üst konumda yer alan saydamlık oranının %10–%14 ile %29–%44 aralığında olduğu varyasyonlarda elde

edilmiştir. Ek olarak çalışmada DA ile EUI ve maliyet arasında negatif ilişki gözlenirken, pencere oranlarının arttığı senaryolarda görsel konfor artarken enerji tüketimi de yükselmiştir (Han vd., 2017).

Konut mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik olarak, pencere boyutu, biçimi ve konumunun yanı sıra, *bina elemanı ölçeğinde* tasarlanan gölgeleme elemanlarının günışığı performansı üzerindeki etkisi, çeşitli bilimsel çalışmalar aracılığıyla kapsamlı biçimde analiz edilmiştir. Bu analizler, söz konusu gölgeleme elemanlarının, iç mekanda doğal aydınlatmanın niceliksel ve niteliksel özelliklerini doğrudan etkileyerek, kullanıcı konforunun sağlanmasında belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Konut mekanlarında gölgeleme elemanlarının doğal aydınlatma performansına etkisinin irdelendiği çalışmalar aşağıda verildiği gibi olmaktadır;

Sorooshnia vd. (2021) tarafından günümüzde yoğun biçimde çalışma işlevinin sürdürüldüğü konut mekanlarında, günışığı etkinliği ve kamaşma kontrolü açısından en uygun sabit dış gölgeleme elemanı tasarımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, Avustralya'da kuzey yönelimli bir çalışma odası üzerinden yürütülmüş ve tasarlanan sistem ölçüm yöntemi aracılığı ile doğrulanmıştır. DIVA programı aracılığı gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, pencere yüksekliğinin en az %50'si kadar uzunluktaki yatay gölgeleme elemanlarının, gün ortasında oluşan görsel konforsuzluğun azaltılmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, pencerenin her iki yanında yer alan ve uzunluğu pencere yüksekliğinin %20–30'u kadar olan düşey elemanlar, iç mekan günışığı etkinliği ve dış görüşü olumsuz etkilemeden kamaşma riskini minimize etmede etkili olmuştur. Görsel konfor bakımından en iyi performansı sağlayan çözüm ise, pencerenin üstünde ve her iki yanında konumlanan üç parçalı dış gölgeleme elemanı olarak belirlenmiştir (Sorooshnia vd., 2021).

Xie vd. (2017), Hong Kong'daki yüksek katlı bir konut binasında yaşam mekanlarına yönelik günışığı performansını değerlendirerek, görsel konforu artıran ve enerji tüketimini azaltan saydamlık oranları ile gölgeleme çözümleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda, pencere boyutu ve gölgeleme elemanlarını kapsayan doğal aydınlatma sistemlerinin değerlendirilmesi için Energy Daylight Rate (EDR) adlı yeni bir gösterge sunulmuş, ayrıca Günışığı Otonomisi (DA) yöntemi için eşik aralıkları yeniden tanımlanmıştır. Bulgular, iç mekanda görsel konfor için AveDA_{300lx} değerinin %29.6–%57.8 aralığında olması gerektiğini göstermiştir. Batı ve Güney cepheler yüksek DA değeriyle birlikte yüksek soğutma yükü üretirken, Doğu yönü en az aydınlatma

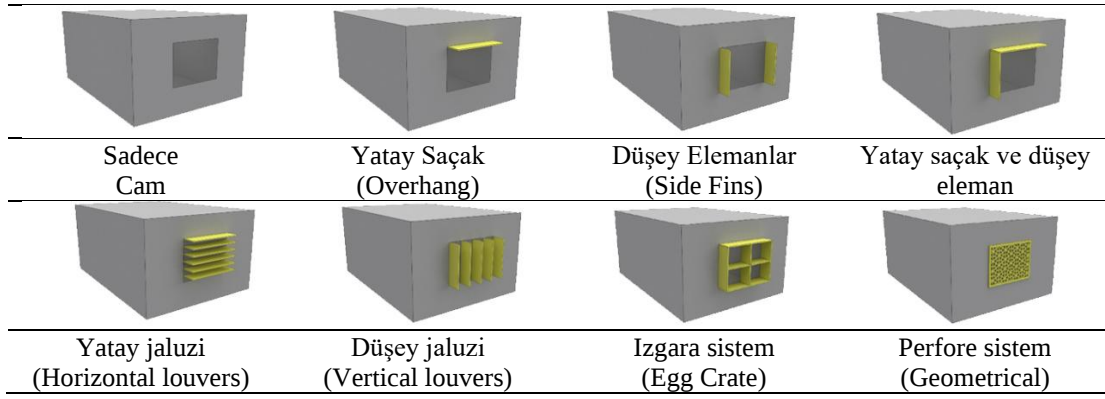
enerjisi gereksinimiyle öne çıkmıştır. Farklı yönlerde yerleştirilen yanal pencereler, tek cephede pencere alanını artırmaya kıyasla daha yüksek günışığı verimi sağlamıştır. Ayrıca, eğimli saçaklara göre uzun yatay saçakların daha düşük aydınlık sağlmasına rağmen görsel konfor açısından daha etkili olduğu belirlenmiştir (Xie vd., 2017).

Ebrahimi-Moghadam vd. (2020) konut yapılarında iç mekana entegre edilen farklı tipteki ışık raflarının görsel konfor, ısı konfor ve toplam bina enerji tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. İran'ın Meşhed kentinde yer alan bir konut kompleksi üzerinde yapılan çalışmada dört farklı cephedeki (Kuzeydoğu, Kuzeybatı, Güneybatı, Güneydoğu) yaşam alanları değerlendirilmiş; her cephe için farklı yönelimlere sahip beş ışık rafı tipi simülasyon ortamında analiz edilmiştir. Belirli bir noktada 22 Aralık ve 22 Haziran tarihleri için hesaplanan iç aydınlık düzeyinin dış aydınlık düzeyine yüzdesel oranı olarak ifade edilen Daylight Ratio (DR) ölçütü üzerinden görsel konfor değerlendirmeleri yapılarak, her cephede DR değeri %25–40 aralığında tutularak düzgün bir günışığı aydınlatması sağlanmıştır. Optimum ışık rafı seçeneği ile enerji tüketiminde yıllık ortalama ısıtma için %11, soğutma için %8, elektrik tüketiminde ise %7'ye kadar azalma elde edilmiştir. Bu sonuçlar, iç ortama konumlandırılan ışık raflarının yönelime göre uygun şekilde tasarlanmasının, konutlarda hem görsel hem de ısı konforunun artırılmasında ve enerji tüketiminin azaltılmasında etkili bir pasif strateji olduğunu ortaya koymuştur (Ebrahimi-Moghadam vd., 2020).

Diğer yandan, Liu vd. (2024) yaptıkları çalışmada İran'daki beş farklı iklim bölgesinde konut binalarında kullanılan güneş enerjili jaluzilerin (venetian blind) yıllık elektrik maliyeti ve görsel konfor üzerindeki etkilerini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, jaluzi tipi, eğim açısı, pencere boyutları, jaluzi-pencere ve kullanıcı-pencere mesafesi ile yönelme dahil sekiz parametre değerlendirilmiş; EnergyPlus ve JEPLUS+EA yazılımlarıyla NSGA-II algoritması kullanılarak çok amaçlı optimizasyon yapılmıştır. Görsel konfor, Daylight Glare Index (DGI) ölçütü ile değerlendirilerek hedef fonksiyon DGI değeri üzerindeki iyileşme yüzdesi ve yıllık enerji tüketimindeki azalma yüzdesi olarak belirlenmiştir. Bulgulara göre, iç mekana yerleştirilen yatay panjurlar, tüm yönlerde en yüksek görsel konfor artışını sağlamış, özellikle Güney cephede %100'e varan DGI iyileşmesi ve %10'a varan enerji korunumuna dayalı maliyet azaltımı sağlamıştır. Görsel konfor ve enerji performansı bakımından en iyi sonuçlar yatay jaluzi seçenekleri için elde edilmiştir (Liu vd., 2024).

Benzer şekilde Chaturvedi vd. (2025), Hindistan'daki dört farklı soğutma ağırlıklı iklim bölgesinde konut binalarına yönelik olarak pencere ve gölgeleme tasarım parametrelerinin görsel konfor, ısı konfor ve enerji performansı üzerindeki etkileşimlerini değerlendirmek amacıyla çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmada dört cephedeki saydamlık oranı (WWR), pencere ve parapet yüksekliği, yatay ve düşey gölgeleme elemanlarının derinliği ve adedi, camın U-değeri, güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve ışık geçirgenliği (Tvis) gibi 26 tasarım değişkeni optimize edilmiştir. Görsel konfor Faydalı Güneşli Aydınlanma (UDI) ölçütü ile değerlendirilmiş; en iyi senaryolarda UDI %14.91–%26.41 oranları arasında artmıştır. Özellikle Güney ve Batı cephelerinde derin yatay panjurların kullanımı, hem parlama riskini azaltarak görsel konforu iyileştirmiş hem de güneşli düzeylerini dengelemiştir. Kuzey cephedeki panjurlar ise kamaşmayı sınırlayarak daha homojen ışık dağılımı sağlamış; düşey kanatlar, özellikle Doğu ve Batı cephelerde yatay doğrultuda gelen güneş ışığının kontrolünde etkili olmuştur. Çalışmada gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise yatay panjur derinliği, pencere yüksekliği ve WWR, tüm iklim bölgeleri için görsel, ısısal konfor ve enerji tüketimi üzerinde en etkili parametreler olarak belirlenmiştir (Chaturvedi vd., 2025).

Heidari vd. (2021), İran'ın sıcak ve yarı kurak iklimine sahip Şiraz kentinde, sabit dış gölgeleme elemanlarının konut binalarındaki güneşli erişimi ve ısı konfor üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada Güney cephede konumlanan ve Şekil 1.1'de verilen farklı sabit gölgeleme elemanı türleri değerlendirilmiş; Ecotect yazılımı ile yapılan simülasyonlarda güneşli performansı Güneşli Faktörü (DF) ölçütü ile değerlendirilmiş, ısı konfor ise sıcaklık analizleri üzerinden yapılmıştır. Bulgulara göre, ızgara sistem (eggcrate), perfore sistem (geometrical) ve düşey panjurlar (vertical louvres), yaz aylarında doğrudan güneş kazancını azaltarak iç mekanda parlama ve aşırı ısınmayı sınırlarken, aynı zamanda yeterli güneşli sağlayarak görsel konforu desteklemiştir. Özellikle perfore sistem, güneşli'nin düzgün dağılımı ve enerji tüketimini azaltma açısından en yüksek performansı göstermiştir. Aşırı gölgeleme durumlarında 500–2000 lux aralığındaki aydınlık düzeylerinde gereğinden fazla düşüş olduğu, dolayısıyla yapay aydınlatma enerji ihtiyacının arttığı tespit edilmiştir (Heidari vd., 2021).



Şekil 1.4 : Heidari vd. (2021) tarafından yapılan çalışma kapsamında ele alınan gölgeleme elemanı türleri

Jayaweera vd. (2021b), yoğun kentsel tropik bölgelerdeki yüksek katlı konutlarda, farklı kat düzeylerinde uygulanan dış cephe gölgeleme senaryolarının günışığı ve enerji performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, 21 katlı tipik bir konut yapısı için balkon, düşey panel ve bu ikisinin birleşiminden oluşan 27 farklı gölgeleme senaryosu modellenmiştir; 2., 11. ve 19. katlarda Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA), Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti (ASE) ve gün saatleri içerisindeki aydınlatma enerji tüketimi hesaplanmıştır. Günışığı performansı açısından en başarılı senaryo, 2. katta hiç gölgeleme elemanı kullanılmayan, 11. katta sadece balkon uygulanan ve 19. katta balkonla birlikte düşey panel (kombine gölgeleme) kullanılan senaryo olmuştur. Bu senaryo, her kat düzeyinde %75 sDA eşiğini sağlarken, yıllık enerji performansı açısından %16–%21 aralığında iyileşme sağlamıştır. Ayrıca, çalışmada Kuzey-Güney yönelimli cephelerin, bağlam etkisi dikkate alındığında, Doğu-Batı cephelerine kıyasla daha yüksek günışığı performansı sunduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kat düzeyine özgü farklılaşan gölgeleme stratejilerinin hem enerji verimliliği hem de doğal aydınlatma açısından optimum performans sağladığını göstermiştir (Jayaweera vd., 2021b).

Kim vd. (2015), eski konut binalarının yenilenmesinde çift cidarlı cephe sistemlerine entegre edilen sabit gölgeleme elemanlarının günışığı performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Radiance yazılımıyla gerçekleştirilen simülasyonlarda, pencerenin tamamını kaplayan gölgeleme elemanlarına ait yatay genişlik (20–30 cm), açı ($\pm 60^\circ$) ve cephe derinliği (30–120 cm) parametreleri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, 20 cm genişliğinde ve 0° ila $\pm 30^\circ$ açıyla yerleştirilen yatay elemanlar, iç mekanda homojen bir aydınlık sağlayarak kamaşmayı en aza indirmiş ve pencereye yakın bölgede aydınlık düzeyini 1000 lux altında tutarak görsel konforu iyileştirmiştir. Ayrıca, 90 cm

derinliğe sahip çift cidarlı cephe hem yaz hem kış koşullarında optimum günışığı iletimini desteklemiş; özellikle yaz aylarında arka mekan aydınlık düzeyini %60'tan fazla artırmıştır (Kim vd., 2015).

(Husin & Harith, 2012) konut binalarında yaygın olarak kullanılan pencere sistemlerinin iç mekan günışığı performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında, iki farklı gölgeleme elemanı tipi (hareketli ve sabit panjurlu) ile üç farklı cam türü (düz, buzlu, renkli) bir araya getirilerek doğal aydınlatma sistemlerinin görsel konfor üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu değerlendirme, aydınlık düzeyi, kamaşma, dış görüş, aydınlığın düzgünlüğü, ısısal konfor, toplam enerji tüketimi parametrelerine dayandırılmıştır. Elde edilen bulgular, buzlu camlı ve hareketli gölgeleme elemanı kombinasyonu ile düz camlı ve sabit panjurlu pencere kombinasyonunun günışığı etkinliği ve görsel konfor koşulları açısından daha yüksek performans sergilediğini ortaya koymuştur (Husin & Harith, 2012).

Dış ortam gölgeleme elemanlarının yanı sıra iç ortam gölgeleme elemanları konut mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması bakımından sıklıkla kullanılan bir gölgeleme stratejisi olmaktadır. Daha çok kullanıma bağlı olarak performansı farklılaşan iç ortam gölgeleme elemanlarının iç mekan görsel konfor koşullarına etkisi Mousavi vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile irdelenmiştir. İlgili çalışmada tropikal iklimde ev-ofis olarak kullanılan mekanlarda görsel konforu artırmak amacıyla iç mekan ayarlanabilir gölgeleme sistemlerinin günışığı performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, yatay ışık rafı, jaluzi ve kaplamalı cam gibi farklı tür gölgeleme stratejilerinin çeşitli kombinasyonları Radiance tabanlı simülasyonlar ile analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, jaluzi ve ışık rafı içeren entegre ayarlanabilir sistemlerin, iç mekan aydınlık seviyesini %32–86 oranında azaltarak yüksek aydınlık düzeylerini sınırlandırdığı, hedef günışığı aydınlık düzeyi değerini %300, aydınlığın düzgünlüğünü %180'e kadar artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan sistem ile Günışığı Kamaşma Olasılığı (DGP) ve CIE kamaşma indeksi (CGI) değerlerinin “tolere edilemez” düzeyden “algılanamaz” düzeye düşürüldüğü görülmüştür. Çalışma, tropikal iklimdeki konutlarda hareketli iç ortam gölgeleme elemanlarının, sabit elemanlara kıyasla hem günışığı aydınlığı hem de düzgünlüğü bakımından üstün performans sağladığını belirlemiştir (Mousavi vd., 2021).

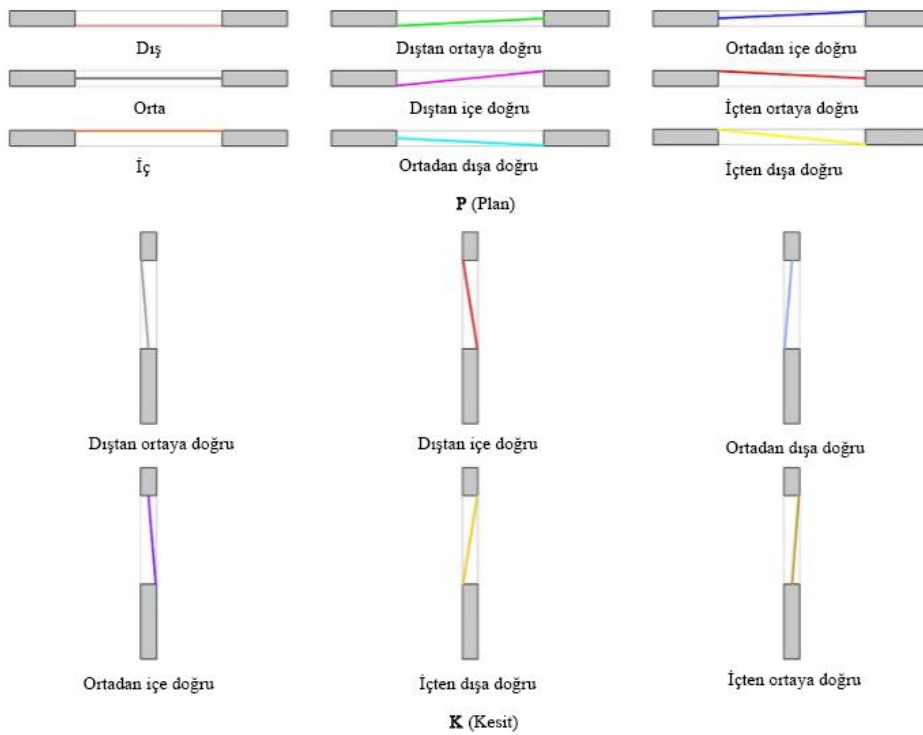
Malzeme ölçeğinde iç mekan günışığı performansını, dolayısı ile doğal aydınlatma sisteminin görsel performansını etkileyen en önemli tasarım değişkenlerinden biri saydam yüzeylere ait malzeme özellikleri olmaktadır. İç mekanda sağlanan günışının niteliği ve niteliği en çok camın ışık geçirgenliğine yönelik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu doğrultuda konut binalarında gerçekleşen günışığı performansının cam malzemesinin özelliklerine göre değişimini irdeleyen çalışmalar şu şekilde olmaktadır;

AL-Dossary & Kim (2020), Suudi Arabistan'ın sıcak iklim koşullarında konut binalarının günışığı ve enerji performansını artırmak amacıyla pencere tasarım değişkenlerini değerlendirmiş; özellikle saydamlık oranı (WWR), dış gölgeleme elemanları ve cam türlerinin etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışmada renkli tek cam, hava dolgulu çift cam, low-E kaplamalı çift cam ve renkli çift cam olmak üzere dört farklı cam türü incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, low-E kaplamalı çift cam hem düşük güneş ısı kazancı hem de yüksek ışık geçirgenliği sayesinde en iyi enerji performansını (%35'e kadar yıllık tüketim azalması) sağlamıştır. Renkli çift cam ise özellikle kamaşma kontrolünde avantaj sağlamış, ancak sDA değerinde yaklaşık %10'luk düşüşe neden olmuştur. Renkli tek cam ve renksiz çift cam, sDA açısından yeterli düzeyde performans sergilerken, aşırı güneş kazancı nedeniyle enerji performansında yetersiz kalmıştır. Tüm cam türlerinde ASE değeri kabul edilebilir aralıklarda kalmış; ancak low-E cam, ışık iletimini korurken ısı kazancını sınırlamada en etkili seçenek olarak öne çıkmıştır (AL-Dossary & Kim, 2020).

Maleki & Dehghan (2020) tarafından yapılan çalışmada, sıcak ve kuru iklim koşullarında yer alan konut mekanlarında, %30 pencere-duvar oranına (WWR) sahip hacimler için farklı yönelimlerde günışığı etkinliğini artıran ve enerji tüketimini azaltan pencere camına ait eğim açıları belirlenmiştir. Araştırma kapsamında yapılan analizlerde, cam eğiminin aydınlatma enerji tüketimi ve güneş ışınlamından yararlanma açısından anlamlı bir etkisinin bulunmadığı; buna karşın ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimleri üzerinde belirleyici olduğu ortaya konmuştur. Yıllık toplam enerji tüketimi ve iç mekan günışığı performansı bakımından en uygun sonuçları sağlayan pencere eğim yönelimi, Güney ve Batı cepheleri için plan (P) düzleminde sırasıyla içten dışa (%4.81 enerji korunumu) ve dıştan orta aksa (%1.6) doğru olarak belirlenmiştir (Şekil 1.2). Kuzey (%3.49) ve Doğu (%3.71) yönelimleri için ise, kesit (S) düzleminde içten dış

aksa doğru eğimli pencere çözümünün optimum performans sağladığı tespit edilmiştir (Maleki & Dehghan, 2020).

Wang vd. (2024), Çin'nin Tibet şehrinde yer alan konut yapılarında dış cephe pencerelerinin fototermal etkilerini dikkate alarak toplam enerji tüketimini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada saydamlık oranı (WWR), pencere yönelimi ve cam türü gibi parametreler değerlendirilmiş; günışığı performansı Daylight Factor (DF) üzerinden analiz edilmiştir. Bulgulara göre, WWR arttıkça DF değeri de artmakta, özellikle WWR'nin %10'un üzerine çıkmasıyla aydınlatma enerjisi tüketimi belirgin şekilde azalmaktadır. Ancak saydamlık oranının %55'in üzerinde olduğu senaryolar için soğutma yükünün artması nedeni ile %55 WWR değeri Güney cephe için optimum pencere boyutu olarak belirlenmiştir. Cam türleri açısından ise, görünür ışık geçirgenliği yüksek olan camların (örneğin tek cam: $VT=0.86$) DF'yi artırdığı, ancak beraberinde yüksek ısı kayıplarına neden olduğu belirlenmiştir. Üçlü cam ($VT=0.72$) ise hem yeterli doğal aydınlatma hem de ısı yalıtımı sağlaması sayesinde enerji verimliliği açısından en dengeli çözüm olarak öne çıkmıştır. Buna karşın, Low-E cam ($VT=0.43$) günışığı geçirgenliği düşük olduğu için DF düzeyini sınırladığı ve bu nedenle görsel konforu azalttığı görülmüştür (X. Wang vd., 2024).



Şekil 1.5 : Pencere camının konumlandırılışının plan (P) ve kesit (K) düzleminde gösterilmesi

Sorooshnia vd. (2025) düşük geçirgenliğe (Low-E) sahip çift camların konut binalarında enerji tasarrufu ve görsel konfor açısından etkinliğini değerlendirmek amacıyla, Sydney (ılıman iklim) ve Tahran (karasal iklim) kentlerinde çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çalışmada, dört farklı cam türü (tek cam, çift cam, argon dolgulu çift cam ve low-E çift cam) karşılaştırılmış; pencerelerin boyutları (yükseklik ve uzunluk) genetik algoritma ile optimize edilmiştir. Güneş ışığı performansı, Mekansal Güneş ışığı Otonomisi (sDA), aydınlık düzeyi (mean illuminance) ve Güneş ışığı Kamaşma Olasılığı (DGP) ölçütleri üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre low-E camlar sDA değerlerini Tahran'da %75, Sydney'de %65 oranında düşürmüş, ancak kamaşmayı sırasıyla %63 ve %66 oranında azaltarak görsel konforu belirgin şekilde iyileştirmiştir. Low-E camlar ayrıca güneş ışımasını geçirgenliğini %78 oranında azaltmış, fakat güneş ışığı düzeyinde ortalama %36 düşüşe yol açmıştır. Optimum saydamlık oranları Tahran için %10.35–%10.99, Sydney için %7–%9 aralığında bulunmuştur. Sonuç olarak, low-E camlar enerji tüketimini azaltmak ve kamaşmayı sınırlamak açısından avantaj sağlarken, güneş ışığına erişimi sınırlandırdığı için tasarım sürecinde pencere boyutlarının dikkatli biçimde optimize edilmesi gerektiği ortaya konmuştur (Sorooshnia vd., 2025).

Lee & Song (2023) ise Güney Kore'deki bir konut binasında akıllı cam tiplerinden olan SPD (suspended particle device) tipi akıllı camların güneş ışığı performansını, görsel konfor ve enerji verimliliği bağlamında deneysel olarak incelemişlerdir. Her zaman karartılmış (C1), iç mekan aydınlık düzeyini 200 lx (C2) ve 400 lx (C3) seviyelerinde tutacak şekilde otomatik kontrol sistemlerine sahip olmak üzere üç farklı kontrol yönteminin güneş ışığı etkinliğine etkisi Faydalı Güneş ışığı Aydınlanma (UDI) ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, SPD camlarını sürekli karartmanın (C1) doğal ışığa erişimi ciddi şekilde sınırlandırdığını, özellikle bulutlu günlerde UDI değerinin %0'a kadar düşürdüğünü göstermiştir. Buna karşın aydınlık düzeyine dayalı otomatik kontrol sistemleri ile pencereye yakın bölgelerde UDI %65–%82 arasında, oda merkezinde ise %29–%47 arasında sağlanmıştır. Ayrıca, tüm gök koşullarında Güneş ışığı Kamaşma İndeksi (DGI) değerleri 22'nin altında tutularak kamaşma engellenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, SPD akıllı camların otomatik kontrol ile kullanıldığında konut mekanlarında hem görsel konforu artırdığını hem de doğal aydınlatmayı verimli şekilde kullanılabilir kıldığını ortaya koymuştur (Lee & Song, 2023).



2. KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI

Konut, insanın temel barınma ihtiyacını karşılamamanın ötesinde, işlevsel, sosyal ve kişisel gereksinimlere yanıt veren, fiziksel ve mekansal özellikler doğrultusunda tasarlanarak bireylerin yaşam alanına dönüşen yapıdır (Kutsal, 2024). Simmons (2009) göre, yapma çevreye ilişkin her türlü tasarım kararında insan etkeninin merkezde yer alması zorunludur (Simmons, 2009). Bu bağlamda, yapma çevrenin yalnızca bireylerin fiziksel gereksinimlerini karşılaması yeterli görülmemekte; aynı zamanda sosyal ve psikolojik ihtiyaçları da göz önünde bulundurarak tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır (Püskülcü Aydın, 2023). Bu anlamda insanı odağına alan ve günümüzde barınma kavramının çok ötesinde kişilerin dinlenme, zaman geçirme, yemek yeme, çalışma gibi çok farklı aktiviteleri gerçekleştirdiği konutlar, *günlük hayatı kolaylaştıran maddi bir rahatlık* olarak tanımlanan konfor kavramının fizyolojik ve psikolojik olarak sağlanmasının beklendiği öncelikli bina tipolojilerinden biri olmaktadır.

Mekansal algı üzerinde en etkili faktör, görme duyusu ve buna bağlı olarak gelişen görsel algıdır. Görsel algının kullanıcıda konfor hissi oluşturmaları, mekansal kalitenin sağlanması ve kullanıcı memnuniyetinin artırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır (Kavasoğulları, 2021). Günışığı ve yapma aydınlatma, bireylerin normal bir yaşam sürdürebilmeleri için temel öğelerdir; iyi tasarlanmış bir aydınlatma, kullanıcıların mekanı nasıl kullandıklarını doğrudan etkilediği gibi, aynı zamanda mekana karşı aidiyet, değer ve gurur duygusu geliştirmelerine de katkıda bulunur (The Society of Light and Lighting, 2022a). İnsan sağlığı, konfor, enerji etkinlik bakımından yüksek performans sağlayan günışığı, görsel algılamaların beraberinde görsel konfor koşullarının sağlanmasına ilişkin geçmişten bu yana yapma çevrenin, özellikle konut mekanlarının tasarlanmasında en önemli tasarım girdisi olmaktadır. Bu doğrultuda konut mekanlarında kişilerin görsel konfora ilişkin gereksinimlerinin optimal düzeyde karşılanması günışığının iç mekanda etkin kullanımına imkan veren doğal aydınlatma sistemi tasarımı ile mümkün olmaktadır. Doğal aydınlatma sistemi tasarımı aracılığı ile konut mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması sonucu bireylerin genel sağlığı, mutluluğu ve günlük yaşam aktivitelerindeki verimliliği doğrudan artırılabilir.

2.1 Konut Mekanlarında Görsel Konfor Gereksinimleri

Bir yapı tasarlanırken ele alınması gereken en önemli hedeflerden biri konforlu mekanlar yaratmaktır. Konforlu bir çevre kişilerin hem fizyolojik hem de psikolojik sağlığı ile yakından ilgilidir. Konutlar, güvenli, konforlu ve bireylerin günlük planlarını ve eylemlerini düzenleyebildikleri ortamlara olanak sağlanması gereken birincil mekanlardır (Keleş & Yılmaz, 2004). Cooper (1975) tarafından konutlarda karşılanması beklenen gereksinimler aşağıda verildiği şekilde hiyerarşik olarak sıralanmıştır (Sümengen, 2015).

- Barınma,
- Güvenlik,
- Konfor,
- Sosyalleşme ve kendini ifade etme,
- Estetik

Bu bakımdan günün büyük bir kısmında kullanılan konut mekanlarının tasarlanmasında insan odaklı konfor ve kullanıcı sağlığına dayalı yaklaşımların geliştirilmesi önemli ve elzem olmaktadır.

Bir mekanın konfor koşulları temelde ısısal, görsel ve işitsel olmak üzere pek çok değişkene bağlı olmaktadır. Bunlardan yaşamın vazgeçilmez bir ögesi olduğu kadar sınırlanan atmosfer parçasının niteliklerinin algılanmasını olanaklı kılması açısından yapı mekanının ayrılmaz bir parçası olan ışığın, mekanda herhangi bir eylemin yerine getirilebilmesi için eylem türüne bağlı olarak uygun bir görme ortamı yaratması, diğer bir deyişle görsel konfor koşullarını sağlaması gerekmektedir (Küçükdoğu, 1976). Sağlıklı bir görme eyleminin gerçekleştirilmesi için bir dizi kriterin sağlanması sonucu elde edilen görsel konfor koşulları açısından konutlar, çeşitli eylemlerin yerine getirildiği mekanları birarada bulunduran, fizyolojik olduğu kadar psikolojik görsel konfor koşullarını da gerçekleştirmesi gereken bir yapı türüdür (Sümengen, 2015). Konutlar yaşama, uyuma, yeme-içme eylemlerine ek olarak günümüzde yoğun bir şekilde çalışma ve öğrenim görme eylemlerinin gerçekleştirildiği çok yönlü bir tipolojiye dönüşmüştür. Bu doğrultuda, gerçekleştirilen eyleme bağlı olarak ortaya çıkan mekanın kullanım amacı, mekanda sağlanması gereken görsel ihtiyaçları belirlemesi sebebiyle, konut mekanlarında gerçekleştirilen her bir eyleme ilişkin çeşitli yatay ve/veya düşey düzlemlerde görsel gereksinimlerin karşılanması gerekmektedir.

Konfor kavramının üst düzeyde sağlanmasının beklendiği konutlarda görsel konfor koşullarının olabildiğince genişliği ile karşılanması kullanıcı sağlığı ve memnuniyeti açısından oldukça önemlidir (Berköz vd., 1995; Xue vd., 2014). Kovid-19 pandemisi ile birlikte kişilerin zamanın %90'nını geçirdiği iç mekanların; özellikle konut (yaşama) mekanlarının doğal ışık ve dış ortamla etkileşiminin bir gereklilik olduğunun farkedilmesi, tasarımcıları/araştırmacıları genişliğin kullanımı konusunda daha ciddi düşünmeye sevk etmiştir (Aslanoğlu, Pracki, vd., 2021; Waskett, 2021). Bu bağlamda D'alessandro vd. (2020) yaptıkları çalışmada konut mekanlarında mümkünse yeşil bir dış görüş ile birlikte iç yüzeylerin yansıtıcılıkları artırılarak yeterli genişliği miktarının sağlanması gerektiğini vurgulamışlardır. Xu & Juan (2021) tarafından yapılan çalışmada ise yeterli genişliği ve güneş ışığı varlığı konut kullanıcıları tarafından mekanın konforlu hissedilmesi ve kullanıcı memnuniyeti bakımından öncelikli ölçütlerden biri olarak belirtilmiştir.

2.1.1 Konut mekanı tasarımı ve kullanım biçimleri

Kişilerin ihtiyaçlarına bağlı olarak konut mekanlarının biçimlenişi ve kullanım amaçları konut kullanıcılarının görsel konfor gereksinimlerinin tanımlanmasında birincil önemde yer almaktadır. 21.yy'da konut mekanlarının biçimlenişi ve bu doğrultuda kişilerin gelişen görsel ihtiyaçları konut mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla tasarlanacak doğal aydınlatma sistemi tasarımına yön vermektedir.

2.1.1.1 Konut mekanı kavramı ve 21. yy'daki biçimlenişi

Konut, en temel anlamda kişi/kişilerin barınma temel hak ve ihtiyacını karşılamasına olanak sağlayan kalıcı veya geçici olarak kullanılan mekanlar bütünü olarak tanımlanmaktadır. İnsanı zararlı ve olumsuz etkilerden koruyan konut; güneş ışığından, manzaradan, temiz havadan yararlanmanın, beslenme ve dinlenmenin bir aracı olduğu gibi; soğuk, yağış, toz ve gürültü gibi genellikle insanı fizyolojik ve psikolojik yönden sağlığına zararlı koşullardan koruma özelliklerini de taşımaktadır (Alga, 2005).

Konut, tarihsel gelişimi içinde doğa koşullarına, toplumun gelenek ve göreneklerine, siyasal yapının özelliklerine, üretim ilişkileri ve biçimine, nüfus yapısı ve özelliklerine, kentleşme tipine ve benzeri sebebe bağlı olarak gelişen dinamik bir mekandır. Konut, bireylerin; ekonomik, sosyal, kişisel yaşamını istediği gibi düzenlemesi için “temel” bir gerekliliktir (Yirmişbeşoğlu vd., 2020). İnsanın temel gereksinimlerini gi-

dermek için yapılan bir dizi eyleme hizmet eden mekanların bir araya gelmesiyle oluşturulan konut birimlerinin tasarlanmasında, en temel anlamda aile büyüklükleri veya kullanıcı sayısı ve niteliği ile sosyo-ekonomik koşulların önemli kriterleri oluşturduğu görülmektedir (Ergün, 2010). Bu bakımdan konutlar kırsal ve kentsel, tek aileli ve çok aileli, sosyal ve lüks konutlar olmak üzere yer, ekonomik ve nüfus yoğunluğu bağlamlarında ele alınarak ilgili konut türüne yönelik tasarım yaklaşımları farklılaşmaktadır.

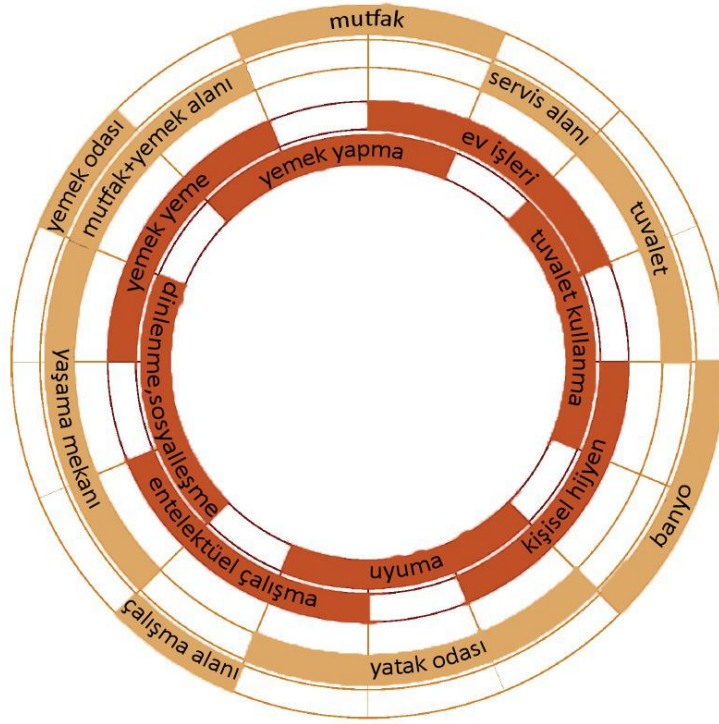
Ulaşım ve iletişim teknolojisindeki gelişmelerin etkisi ile birlikte 21. yüzyılda, kent mekanı sınırları belirginliğini kaybetmeye başlamış, yoğun göç ile birlikte kentlerdeki kalabalıklaşma özel ve bireysel yaşam anlayışı ihtiyacını doğurarak konutları daha önemli hale getirmiştir (Alkan, 2014). Önceleri, sadece barınak ihtiyacına cevap verme amacıyla ortaya çıkan konut, zaman içerisinde insana dayalı her tür değişimden etkilenmiş, barınma ihtiyacının yanında birçok farklı boyuta göre şekillenmeye başlamıştır (Alkan, 2014). Bu anlamda konut, kişilerin değişen yaşam biçimlerine cevap verecek şekilde sosyalleşme, dinlenme ve konfor gereksinimlerini karşılamak adına günün büyük bir kısmını geçirdiği yaşam alanları haline dönüşmüştür.

Pandemi itibarıyla birlikte konutların kullanım süresinin artması ve farklı işlevlerin konut mekanlarına dahil olması sonucu, konut mekanlarının hem kullanıcı konforu ve sağlığı hem de enerji etkinlik bakımından önemini tekrar ortaya çıkararak konut mekanı tasarımına ilişkin yaklaşımların yeniden tartışılmasına neden olmuştur. Bu kapsamda İtalya’da yapılan bir çalışma; Kovid-19 pandemisi sonrası kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak 7 ana başlık altında konforlu, sağlıklı, güvenli ve sürdürülebilir yaşama mekanı çözüm önerileri değerlendirmiştir (D’alessandro vd., 2020). Çin’de gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise pandemi sonrası çok aileli konutlar için kullanıcıların konut tasarım stratejilerine ilişkin tercihlerinin belirlenmesi ve çok aileli konutlara yönelik bir dizi tasarım standardının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 4 farklı ölçekte (sağlık donatımı, konfor, hava kalitesi ve erişim) konut mekanları için farklı tasarım stratejileri önerilmiştir (Xu & Juan, 2021). Başka bir çalışmada ise, Türkiye’de yüksek katlı çok aileli konut binalarında (residans tipi) iç mekan konfor koşulları 3 örneklem bina üzerinden anket çalışması ile ortaya konmuş, pandemi sonrası değişen kullanıcı algısı sonucu günışığı etkinliğinin önemi vurgulanarak konut mekanlarının dış mekan ile bağlantısı ve iç mekan plan organizasyonunda değişiklik yapıl-

ması gerektiği vurgulanmıştır (Gali Taşçi, 2020). Aslanoğlu, Pracki, vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada ise 4 farklı ülkede pandemi dönemi ve sonrası kişilerin yaşama mekanı kullanım biçimleri ve konutlardaki görsel konfor koşulları irdelenmiştir.

2.1.1.2 Konut mekanlarının kullanım biçimleri ve gerçekleştirilen eylemler

Konutlar içlerinde gerçekleştirilen eylemlere göre biçimlenen, kişilerin yaşama, dinlenme, eğlenme, uyuma ve barınma gibi ihtiyaçlarını karşıladıkları mekanları bir arada barındırır. Geçmiş oluşumlardan farklı olarak modern mimarlığın mekan yaratmadaki temel kabulleri dikkate alınarak konutun mekansal düzenlemesi farklı kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde çeşitlenmekte ve alternatifler yaratılmaktadır. Örneğin konutlardaki yaşama ve yatma alanları hem özgün işlevlerine hem de çalışma, oyun, eğitim ve misafir odası gibi diğer işlevlere yanıt verecek biçimde kullanılmaktadır (Kutsal, 2024). Şekil 2.1 konut mekanlarında gerçekleştirilen eylemlere bağlı olarak konut mekanlarının kullanım biçimlerini özetlemektedir.



Şekil 2.1 : Konut mekanları ve kullanım amaçları (Alfirević & Alfirević, 2024)

Konut birimlerinin ana ve en önemli mekanlarından biri yaşama mekanıdır. Yaşama mekanı kişilerin sosyal gereksinimleri için düzenlenmiş bir mekan olup, konut içinde yaşayan bireylerin birlikte oturdukları, sohbet ettikleri, müzik dinledikleri, TV ve radyo gibi araçlar aracılığı ile dolaylı bir şekilde dış dünya ile ilgilendikleri hacimdir.

Geçmişten itibaren yaşama mekanları kültür izlerinin de etkileriyle yemek yeme işlevinden, uyuma işlevine kadar birçok eylemi bir arada barındırmaktadır (Temel, 2021). Günümüzde ise pandemi koşulları ve sonrasında devam eden yaşam-çalışma pratikleri konut mekanlarının sadece konaklama eylemine hizmet etmesi haricinde özellikle çalışma ve eğitim mekanları olarak kullanımlarını beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda konut mekanları kişilerin sağlık ve temizlik konuları bakımından dış ortamdan izole olduğu bir mekan haline dönüşmüştür (Spennemann, 2021). Aslanoğlu, Pracki, vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada pandemi süreci ile birlikte yaşama mekanlarında en çok yapılan aktivitenin bilgisayarla çalışma (%60) olduğu belirtilirken; McKinsey tarafından yapılan anket çalışmasına göre pandemi sonrası katılımcıların %80'ninin evden çalışma yönteminden memnun olduğu, bu kişilerin %41'inin ofis ortamından daha üretken %28'inin ise ofis ortamındaki kadar üretken oldukları tespit edilmiştir (McKinsey&Company, 2020). Bu bakımdan gelecek projeksiyonu olarak çeşitli araştırmaya verileri şirketlerin büyük bir kısmının hibrit çalışma sistemi ile devam edeceğini göstermektedir (McKinsey&Company, 2021). Çalışanların ise ortaya çıkan hibrit çalışma biçimini daha çok tercih ettikleri görülmektedir (Peters & Halleran, 2021; Vasquez, Amorim, vd., 2022)

Diğer yandan, gelişen teknolojiyle birlikte pandemi sonrası dönemde uygulanan uzaktan eğitim yönteminin öğrenci başarısı bakımından olumlu yanlarını ortaya konması sonucu (Adedoyin & Soykan, 2020; Muthuprasad vd., 2021), gelecekte eğitim süreçlerinin hibrit bir sistem ile yürütüleceği ön görülmektedir (Adedoyin & Soykan, 2020). Bu anlamda yapılan çalışmalar, güncel yaklaşım gereği farklı mekansal işlevlerin eklenmesi ile birlikte günün büyük bir bölümünde kullanılan konut mekanlarında, özellikle yaşama mekanlarında, farklı ihtiyaçlara yönelik mekansal planlamanın daha esnek olmasının ve iç ortam konfor koşullarının sağlanmasının önemli bir gereklilik olduğunu ortaya koymaktadır (Peters & Halleran, 2021; Vasquez, Amorim, vd., 2022). Günümüz ihtiyaçları doğrultusunda bazı yeşil bina sertifikasyon sistemleri, bir veya iki yatak odalı konut birimlerinin yaşama mekanlarında veya uygun bir alanda (yemek veya yatak odası) çalışma mekanının düzenlenmesi durumu için ek bir puanlama getirerek ortaya çıkan bu gereksinimi vurgulamıştır (BRE, 2022).

2.1.2 Konut mekanlarının kullanım biçimlerine dayalı görsel konfor gereksinimleri

İç mekanda fizyolojik ve psikolojik gereksinmelerin karşılanması adına görsel konfor koşulları, görme eylemi için gerekli olan ışığın nitelik ve niceliksel parametrelerinin kabul edilebilir düzeylerde ya da belirli değerlerde sağlanması ile karşılanabilmektedir. Görsel konfor koşullarını sağlayan enerji etkin bir doğal aydınlatma sisteminin, konut hacminde yer alan her mekan için içinde gerçekleştirilen eylem(ler)e bağlı olarak Çizelge 2.1’de belirtilen görsel konfor parametrelerini tanımlanan belirli değerlerde sağlanması gerekir. Fizyolojik konfor gereksinimleri görme eyleminin konforlu bir şekilde yerine getirilebilmesi için sağlanması temel gereklilik olan parametrelerdir. Bunlar; istenilen aydınlık düzeyinin sağlanması, kamaşmasız bir çevre, kabul edilebilir bir parlıltı kontrastı ve aydınlatmanın yer ve zaman bakımından düzgünlüğü olarak sıralanmaktadır (Berköz vd., 1995). Mekanlarda fizyolojik gereksinimlerin yanı sıra aynı zamanda ışığın kullanıcı üzerinde mekanın algılanmasında ve kullanımında hoşnutluk duyulması açılarından oldukça önemli olan psikolojik parametrelerin sağlanması beklenmektedir. Özellikle konut tipolojileri için çok önemli olan psikolojik görsel konfor gereksinimleri güneş ışığının iç mekana alınması, dış görüş sağlanması, dışarıdan içeriye görülmemesinin engellenmesi ve hacim ve yüzeylerin görünümüne ilişkin istekler olarak sıralanmaktadır (Berköz vd., 1995).

Çizelge 2.1: İç mekanlarda sağlanması beklenen fizyolojik ve psikolojik görsel konfor gereksinimleri (Berköz vd., 1995).

Fizyolojik Görsel Konfor Parametreleri	Psikolojik Görsel Konfor Parametreleri
Aydınlık Düzeyi	Güneş ışığını görme isteği
Kamaşma Düzeyi/Parıltı miktarı	Dış Görüş
Düzgünlük	Mahremiyet
Işığın Renksel Özellikleri	Hacim ve yüzeylerin görünümüne ilişkin istekler (Renk, Doku, Düzen vb.)

Günüşiği performansına bağlı olarak görsel konfor parametrelerinin konutlarda öneme değinen çalışmalardan; Xue vd. (2014) yaptığı anket çalışması ile konut kullanıcılarının doğal aydınlatma sistemine yönelik memnuniyetinin düzgünlük ve güneş ışınımı alımı konfor parametrelerine göre büyük oranda etkilendiğini ifade etmiştir. Aslanoğlu, Pracki, vd. (2021) konut mekanlarında günüşiği aydınlık düzeyi ve düzgünlü-

gün anket çalışması sonucu kullanıcı konforunun en önemli göstergeleri olduğunu ortaya koymuştur. Vasquez (2021) tarafından yapılan çalışmaya göre ise Güney Amerika ve Avrupa bölgesinde yaşayan insanların konutlarda iç mekan günışığı etkinliğinden tatmin olma durumlarının; kamaşma oluşmaması, günışığının düzgün dağılımı, günışığı altında doğal renklerin görülmesi, yumuşak gölgeler ve yayınlık ışık yansımalarının gerçekleştiği koşullarda sağlandığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda konut mekanlarında doğal aydınlatma sistemine bağlı kullanıcı görsel konfor durumu üzerinde ön plana çıkan fizyolojik görsel konfor kriterlerinden aydınlık düzeyi, kamaşma ve renk, psikolojik görsel konfor kriterleri arasından ise güneş ışığı alımı ve dış görüş kriterleri detaylı olarak alt başlıklar altında irdelenmiştir.

2.1.2.1 Fizyolojik gereksinimler

Konut mekanlarında kullanıcı görsel konforunu fizyolojik olarak etkileyen değişkenler; yüzeye gelen ışık miktarına bağlı olarak belirlenen aydınlık düzeyi, göze gelen parıltıya bağlı olarak hissedilen kamaşma ve günışığının renksel özellikleri olarak ele alınmaktadır. Her yaştan kullanıcıya hitap etmesi gereken, birbirinden farklı işlevleri bir arada bulunduran; çok işlevli bir mekanlar bütünü olan konutlarda fizyolojik konfor koşullarının optimum düzeyde sağlanması; öncelikli olarak emniyet, güvenlik ve sağlık açısından gerekli görülmektedir (Sümengen, 2015).

Aydınlık Düzeyi; Görme eyleminin güvenilir ve sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için görsel alanda çeşitli standart ve rehberlerde belirtilen aydınlık düzeyi, parıltı ve renk etkenlerinin belirli değerlerde karşılanması gerekir (Berköz vd., 1995). Birden fazla eylemin gerçekleştirildiği mekanlarda ise görsel gereksinimi en yüksek olan eyleme ait aydınlık düzeyinin baz alınması gerekmektedir (TS EN 12464-1: Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, 2021). Genel anlamda düzenli olarak kullanılan mekanlarda ortalama zorluktaki eylemlerin gerçekleştirilmesi için 300 lux aydınlık düzeyinin sağlanması önerilmektedir (BS EN 17037: Daylight in buildings, 2018). Konut özelinde ise IESNA tarafından görsel eyleme bağlı olarak konut mekanlarında sağlanması beklenen aydınlık düzeyleri Çizelge 2.2’ de belirtildiği gibi tanımlanmaktadır (Almaiya & Elkadi, 2012; Dogan & Park, 2019a). IES ve çeşitli standartlardan derlenerek farklı eylemlere yönelik konut mekanları için aydınlık düzeyleri Çizelge 2.3’te verildiği gibi önerilmektedir (Sümengen,

2015). Standartlarda tanımlanan bu değerler, belirli bir görevin uygun ‘renk görünümü’ ve ‘renk kontrastı ve yüzlerin modellenmesi ’ için yeterince aydınlatılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak konut binalarında günışığının kullanımının, kişilerin uyanıklığını, ruh halini ve üretkenliği artırıcı şekilde ele alınması gerektiği ifade edilmektedir (Dogan & Park, 2019a).

Çizelge 2.2 : Görsel eylemlere bağlı olarak IESNA tarafından konut mekanları için tanımlanan aydınlık düzeyleri (Dogan & Park, 2019a; IESNA, 2011).

Mekan veya Eylem Türü	Görsel İş	Yatay Aydınlık Düzeyi (lux)
Vestiyer, koridorlar ve merdivenler	Yönlendirme	30 veya 50
Yatak odası, Banyo, yaşama mekanı, çocuk odası	Basit derecede görme alanı: görsel algılama önemli değil	100
Genel ev işleri; yemek pişirme, kişisel bakım, çamaşır, okuma, yazma, el işleri	Genel görme alanı: yüksek kontrast ile büyük detaylar	300
Yemek yapma, çizim, detaylı el işleri	Orta derecede görme alanı: yüksek kontrast ile küçük detaylar veya düşük kontrast ile büyük detaylar	500
Kritik el işleri	Kritik derecede görme alanı; düşük kontrast ile küçük detaylar	1000

Çizelge 2.3 : Konut hacimleri için önerilen aydınlık düzeyleri (IESNA, 2011).

Konut Hacimleri	İşlev	E(lux) / E _h
Banyo-WC	Genel	100
	Hazırlık – Ayna	300
Ebevyin Yatak Odası	Genel Giyinme	100
Mutfak	Genel	200
	Hazırlık Tezgâhı	500
Koridor – Antre	Genel	100
Oturma Odası-Salon	Genel	100
TV-Sinema	LCD-Plazma	20
Yemek Bölümü	Genel	300
Okuma Köşesi-Çalışma Odası	Dijital	300
	Okuma – Yazma	500
Çocuk Odası	Oyun Odası	300

İç mekan günışığı etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik olarak “TS EN 17037: Binalarda Gün ışığı” standardı kapsamında aydınlık düzeyine dayalı bir ölçüt tanımlanmaktadır. Bu bağlamda mekan türünden bağımsız olarak herhangi bir iç mekanda en düşük seviyede günışığı etkinliğinin sağlanması için mekanın kullanım saatlerinin %50’sinde iç mekanda tanımlanan referans düzleminin %50’sinde 300 lux, %95’inde ise 100 lux aydınlık düzeyin sağlanması beklenmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda

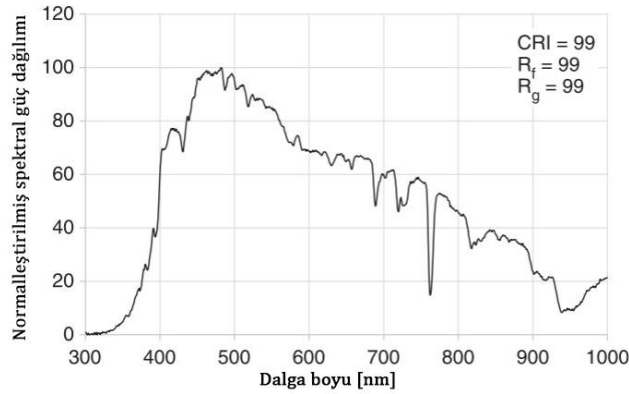
Gün ışığı, 2022). Konut mekanlarında günışığı etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik ise çalışmalarda genel olarak 300 lux aydınlık düzeyinin ele alındığı görülmektedir (Almaiyyah & Elkadi, 2012; Mohelnikova & Hirs, 2016). Genel anlamda 300 lux aydınlık düzeyi değerinin konut mekanlarındaki değerlendirmeler için güvenilir (Peters vd., 2020) ve kullanıcıları memnun edici bir aydınlık düzeyi seviyesi olduğu belirtilmektedir (The Society of Light and Lighting, 2009; Vanhoutteghem vd., 2015; Yao, 2014). Diğer yandan 200 lx aydınlık düzeyine eşit veya daha yüksek aydınlık düzeylerinin yaşama mekanı için “yeterli” olduğu düşünülmektedir (Philips, 2000; Sherif vd., 2012). Shin vd. (2013) tarafından kişilerin yaşama mekanlarında aydınlık ve parlaltı düzeylerine ilişkin davranışlarının analiz edilmesinin amaçlandığı çalışmada ise, yatay düzlemdeki aydınlık düzeyinin 500 lux altına düştüğü durumda kişilerin aydınlık düzeyini arttırmak istedikleri belirtilmektedir. Düşey düzlemde ise 750 lux aydınlık düzeyinin kişilerde görsel konforsuzluğa neden olduğu tespit edilmiştir (Shin vd., 2013). Bir diğer görüş olarak ise yaşama mekanlarında oturma ve konuşma gibi genel eylemlere yönelik 100 lux ila 300 lux arası aydınlık düzeylerinin kabul edilebilir olduğu ifade edilmektedir (Dogan & Park, 2019a). Peters & Kesik (2018) tarafından çok katlı konut binalarında yaşama mekanı özelinde yapılan çalışmada 0.5 m üzeri yatay hesap düzlemlerinde 300 lux aydınlık düzeyinin mekanın kullanım saatlerinin %50’sinde sağlanmasının mümkün olmadığı, bu sebeple konutlarda farklı kullanım amaçları doğrultusunda daha düşük seviyede eşik aydınlık düzeylerinin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir (Peters & Kesik, 2018).

Kamaşma; fizyolojik olarak görüşü engelleyen bir çeşit görsel rahatsızlık durumudur. Doğal veya yapma ışık kaynağı nedeniyle göze gelen parlaltı miktarının çok yüksek olması veya bakış alanında oluşan parlaltı farklılıklarının çok büyük olması, sırasıyla kişiler tarafından en çok deneyimlenen yetersizlik kamaşması (disability glare) ve konforsuzluk kamaşması (discomfort glare) durumlarının ortaya çıkmasındaki en büyük nedenlerdir. Kamaşma, ışık kaynağının parlaltısı, izleyicinin gözünün adaptasyon durumu ve görüş açısı olmak üzere birçok parametreye bağlıdır (The Society of Light and Lighting, 2014). Günışığı veya yapma aydınlatmadan kaynaklanan yüksek parlaltı düzeyleri veya parlaltı farklılıkları nedeniyle oluşan konforsuzluk kamaşması üzerine yapılan araştırmalar, kullanıcıların hafif rahatsızlık veren bir kamaşmanın günışığından kaynaklanması durumunda yapma aydınlatmaya göre bu duruma daha yüksek bir tolerans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Knoop vd., 2020).

Günüşiğına bağılı olarak kamaşma, çoğunlukla yanal pencereler kaynaklı meydana gelmektedir. Bu anlamda pencereden bakıldığında parıltısı yüksek bir gökyüzü görüş alanına girebilir veya güneşten gelen ışıık doğrudan ve/veya yansıma yoluyla görüş alanında parıltı yaratabilir. Bu durum ekranlarda, kağıtlarda veya klavyelerde yansımalara yol açabilir (The Society of Light and Lighting, 2014). Görsel konforsuzluğına maruz kalınan bu gibi durumlarda herhangi bir günüşiğı açıklığına sahip mekanda kamaşma riskinin azaltılması için gölgeleme elemanlarının kullanılması önerilmektedir. Böylece doğrudan güneş ve/veya gök ışıığının parıltısı sebebi ile meydana gelebilecek kamaşma engellenebilir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Konut ölçeğindeki ortamlarda, kullanıcıların serbestçe hareket edebilmesi ve gölgeleme elemanlarını kullanabilmesi durumunda, güneş kaynaklı parıltının etkisi sınırlı olup, güneş ışıığının iç mekana girişi çoğunlukla istenen bir durumdur. Ancak, kullanıcıların belirli bir masa veya çalışma alanı gibi sabit bir konumda bulunmaları gerektiğı durumlarda, doğrudan güneş ışığı önemli bir parıltı kaynağı oluşturabilir (The Society of Light and Lighting, 2014). Bu anlamda özellikle (Manu vd., 2024) tarafından ortaya konulan evden çalışan kişilerin günüşiğına bağılı meydana gelen kamaşmadan rahatsız olma durumları gölgeleme elemanları ile minimize edilerek, kişilere görsel anlamda konforlu bir ortam sağlanması gerekmektedir.

Renksel özellikleri bakımından günüşiğı; tayfsal dağılımı ve gün içerisinde değışen renk sıcaklığı çeşitliliğı sayesinde insan fizyolojik sağılığı üzerinde yapma ışıık kaynaklarına kıyasla daha fazla avantaj sağlayarak öne çıkmaktadır. Günüşiğının tayfsal güç dağılımı, optimum renk geriverimi sağlar ve çoğı yapma aydınlatma ışıık kaynağına kıyasla daha iyi renk ayrımı yapılmasına imkan tanır (Knoop vd., 2020). Şekil 2.2 bir iç mekanda sağlanan günüşiğının tayfsal dağılımını göstermektedir. Bu anlamda gök ışıığının sabah ile akşam saatleri arasında değışiklik göstermesine ve güneş ışığı tarafından daha da güçlendirilmesine rağmen, yalnızca günüşiğı gerçek bir renk olarak tanımlanmakta ve diğere renkler için renk referansı olarak kabul edilmektedir (The Society of Light and Lighting, 2014). Günüşiğının tayfsal özelliklerini vurgulamak için yapılan çalışmalar, statik aydınlatmaya kıyasla, günüşiğının sabah saatlerindeki değışimini taklit eden dinamik bir aydınlatmanın renk sıcaklığında (1090 K'den 2750 K'ye) ve göz hizasındaki aydınlık düzeyinde (0–250 lx) gerçekleşen değışimle, kişilerin öznel ruh hali ve iyilik hâlinde iyileşme, bilişsel performansta artış sağladığı ve kritik

sabah saatlerinde kardiyak hassasiyete karşı potansiyel bir koruyucu etki oluşturabildiğini göstermiştir (Knoop vd., 2020).



Şekil 2.2 : İç mekanlarda günışığının spektral güç dağılımı örneği (Knoop vd., 2020)

Günışığının renk sıcaklığı ve renksel geriverim özelliklerinin görsel performans açısından ideal koşulları sağlaması nedeniyle, mekanların aydınlatılmasında öncelikli olarak gün ışığından yararlanılması büyük önem taşımaktadır. Bu anlamda çeşitli ve değişken işlevlerin bir arada yapılması sebebiyle doğru görme ve algılamanın önemli olduğu konut hacimlerinin öncelikle günışığı ile aydınlatılarak mekanlarda günışığından kaynaklı renksel geriverimin optimum düzeyde sağlanması gerekmektedir (Kılıç, 2018).

2.1.2.2 Psikolojik gereksinimler

Kişilerin üretkenlik, sinirlilik, mutluluk, depresyon gibi psikolojik iyi halini etkileyen görsel konfor kriterleri yeterli dış görüş sağlanması ve yeterli düzeyde güneş ışığının iç mekana alınması olarak ifade edilebilir. Dış görüşün sağlanması kişilerde görsel performansın artırılmasının yanı sıra, yenilenme, canlılık, rahatlama gibi duygu durumlarının gerçekleşmesine imkan vererek kişilerin genel halinin iyileşmesine önemli bir katkıda bulunmaktadır. Diğer yandan başta konut mekanlarında olmak üzere güneş ışığının iç mekana alınması kişilerin genel konfor durumunun artırılmasına olanak sağlamaktadır.

Dış Görüş; iç mekanlarda aydınlatma işlevine ek olarak, doğal aydınlatma sistemleri aracılığı ile dış çevreyle görsel temas kurulmasına olanak sağlanması kişi sağlığı ve konforu için önemli bir tasarım gereksinimi olmaktadır. Dış görüş kişileri psikolojik olarak stres ve rahatlama (Veitch & Galasiu, 2011), iyilik, mutluluk ve huzur (Sharam vd., 2023) durumları üzerinden etkilemektedir. Aynı zamanda dış görüşün doğal ışık

ile birlikte kişilerin performansının ve üretkenliğinin artırılmasında da önemli katkıları olmaktadır (Jamrozik vd., 2019). Fizyolojik olarak ise bir dış görüşün varlığı günışığına bağlı algılanan kamaşmanın şiddetinin, dolayısı ile görsel konforsuzluğun azaltılmasında etkili olabilmektedir (Tuaycharoen & Tregenza, 2007).

İç mekanda görsel performansın gerçekleştirilmesi için yeterli aydınlık düzeyleri elde edilse bile dış ortamla ilişki kuracak bir görüşün sağlanmaması mekan kullanıcılarının görsel konfora yönelik bütüncül değerlendirmelerinde önemli bir memnuniyetsizlik yaratmaktadır. Dış görüşün önemi kullanıcı türüne ve mekanın kullanımına göre değişebilmektedir. Bir çok durumda kullanıcıların daha uzun süreler geçirdiği mekanlarda dış görüşün sağlanması daha da önemli hale gelmektedir (The SLL Code for Lighting, 2018). Psikolojik ve fizyolojik rahatlama ve dinlenme gereksinimlerinin öncelikli olarak beklendiği konut mekanlarında, kullanıcıların geçirdiği süre de göz önüne alındığında dış görüşün sağlanması temel bir doğal aydınlatma sistemi tasarım kriteri olmaktadır.

Dış görüşe giren katman sayısı kişilerin dış görüşe yönelik memnuniyeti ile birinci dereceden ilişkili olmaktadır (Vasquez, Amorim, vd., 2022). Bu anlamda ideal bir pencere ön planda çevre görüşünün genel bir resmi olmak üzere çevre ve gök görüşünü birlikte sunmalıdır (The Society of Light and Lighting, 2014). Özellikle dış görüşün doğal ve çekici öğeler barındıran bir manzara olması durumunda kişilerin genel mutluluk ve tatmin olma haline katkısı daha büyük oranda gerçekleşmektedir (Kaplan, 2001).

Diğer yandan bir mekanda dışarıya doğru iyi bir görüş sağlanabilmesi için, odada insanların bulunabileceği tüm konumlardan, oda derinliğinin en az yarısı uzunluğunda bir pencerenin görülebilir olması gerekmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Bu doğrultuda yüksekliği 1.8 ila 2.4 metre arasında değişen ve pencere genişliğinin, pencere yüksekliğinden büyük olan pencere boyutlarının kullanıcılar tarafından daha çok tercih edildiği belirlenmiştir (Keighley, 1973; Veitch & Galasiu, 2011). Keighley (1973) tarafından ofisler için elde edilen bu sonuçların dış görüşün sağlanmasına yönelik konut oturma odalarına genellenebileceği kabul edilmektedir (Veitch & Galasiu, 2011). Ancak yeterli bir dış görüş sağlayacak pencerenin boyutları ve yerleşimine yönelik karar verilirken belirli bir odadaki faaliyetin niteliği ve birincil görüş yönünün dikkate alınması önemli olmaktadır. Bu bağlamda mekandaki mobilya düzeni ile birlikte mekanda oturanların ayakta mı yoksa oturarak mı duracakları dış

görüşün değerlendirilmesine yönelik göz önünde bulundurulmalıdır (The Society of Light and Lighting, 2014).

Güneş Işığı Alımı; iç mekan konfor ve kalitesini belirleyen temel kriterlerden biri olmaktadır. Güneşin ışık ve sıcaklık sağladığı, odaların aydınlık ve neşeli görünmesini sağladığı ve aynı zamanda tedavi edici, sağlık verici bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir (Littlefair J.Paul vd., 2022). Özellikle Kovid-19 pandemisi sürecinde, güneş ışığına erişimin biyolojik sağlığı destekleyerek çeşitli hastalıklara karşı koruyucu bir rol üstlendiği ortaya konulmuştur (Ratnesar-Shumate vd., 2020). Ayrıca, gün ışığına maruz kalma süresinin artırılması, yaşamlarının büyük bir bölümünü konutlarında geçiren bireyler için daha sağlıklı bir sirkadiyen ritim entegrasyonu sağlamak amacıyla etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Veitch & Galasiu, 2011). Bu nedenle doğal aydınlatma sistemlerinin yalnızca günışığının değil, uzun zaman dilimlerinin geçirildiği konutlarda, hastanelerde ve bakım evlerinde kişilerin sağlığı için önemli olan güneş ışığına erişim olanağını da sağlaması beklenmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

Konut binaları özelinde güneş ışığına erişim konut kullanıcılarının görsel konfor durumlarına yönelik tanımlayıcı kriterlerden biri olmaktadır (Lau vd., 2011; Xue vd., 2014). Bu anlamda konut kullanıcıları kış aylarında daha çok olmak üzere yılın büyük bir bölümünde güneş ışığına yeterli sürelerde erişimi talep etmektedirler. Çin’de yapılan bir araştırma konut kullanıcılarının yaz aylarında en az 3-4 sa güneş ışığı almak istediklerini göstermektedir (Xue vd., 2014). Buna ek olarak, Lau vd. (2011) tarafından konut kullanıcıları üzerinden yapılan anket çalışması konut mekanlarında güneş ışığına erişimin dış görüşe erişimden daha önemli olduğunu ifade etmektedir.

Güneş ışığının kişilerin konfor ve sağlık durumlarına etkisi göz önüne alındığında, başta konut binaları olmak üzere bütün tipolojilerde ihtiyaca bağlı olarak güneş ışığına erişimin sağlanması önemli olmaktadır. Ancak güneş ışığının konforsuzluğa neden olan etkilerinden korunmak için iç mekanlarda gölgeleme elemanlarının kullanımına imkan sağlanmalıdır. Binaların güneş ışığına erişimi, yılın belirli zaman aralıkları için tanımlanan minimum güneş ışığı alımı saatleri üzerinden değerlendirilebilmektedir. Binalarda Güneş ışığı standardında göre 1 Şubat- 21 Mart tarihleri arasında belirlenen bulutsuz bir gün için mekanların en az 1.5 sa güneş ışığı alması beklenmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). 2010 yılında MATPUM (ODTÜ Mimarlık Fakültesi Araştırma Tasarım Planlama Ve Uygulama Merkezi) tarafından TOKİ için

yapılan ‘Toplu Konut Alanlarında Kentsel Çevresel Standartlar İçin Bir Değerler Sistemi Önerisi’ tasarım ilkeleri kapsamında ise meskenlerdeki her salon veya oturma odasının Eylül-Mart ayları arasında en az 3 saat güneş alması önerilmektedir (MAT-PUM, 2010).

2.2 Doğal Aydınlatma Sistemi Görsel Konfor Performansını Etkileyen Tasarım Parametreleri

İç mekan görsel konfor koşullarının sağlanmasında ve aydınlatmaya yönelik enerji tüketim miktarında etkili olan doğal aydınlatma sistemi tasarımını etkileyen tasarım parametreleri en genel anlamda doğal ve yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Tasarımcının kontrolü dışında olan doğal çevreye ilişkin tasarım parametreleri dış aydınlık koşullarını belirlemede etkili olurken, aynı zamanda doğal olarak var olan fiziksel öğelere yönelik parametreleri ifade etmektedirler. Yapma çevreye ilişkin tasarım değişkenleri ise tamamen tasarımcının kontrolünde olan tasarım parametrelerini tanımlamaktadırlar.

2.2.1 Doğal çevreye ilişkin tasarım parametreleri

Enleme dayalı meydana gelen iklimsel koşullara ve doğal çevreye bağlı olarak şekillenen yapının yerleştiği yere/bölgeye göre tanımlanan tasarım parametreleridir. Doğal çevreye ilişkin parametrelerin iç mekan günışığı performansına etkisi ancak yapma çevre elemanlarına belirli performans özellikleri kazandırılarak kontrol altına alınabilmektedir. (Berköz vd., 1995) göre iç mekan günışığı aydınlığı üzerinde etkili olan doğal çevre tasarım parametreleri;

- Gögün parıltı dağılımı ve aydınlığı
- Güneşin pozisyonu, parıltı ve aydınlık etkisi
- Yer örtüsünün ışık yansıtma özellikleri
- Doğal engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri olarak sıralanmaktadır.

2.2.2 Yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri

Yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri mevcut ve yeni yerleşmelerde kısmen veya tamamen tasarımcının kontrolünde olan ve iç mekandaki görsel konfor koşulla-

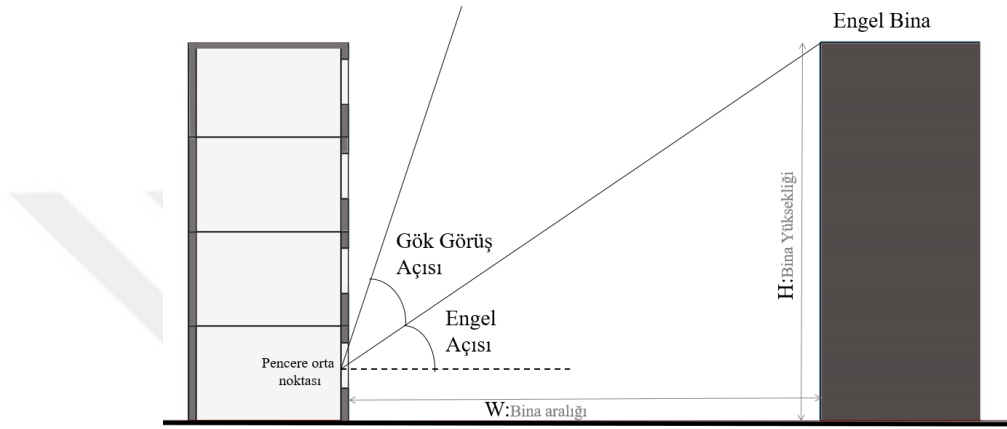
rını etkileyen parametreleri ifade etmektedir. Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin çeşitli şekillerde kombinasyonları ile iç mekanda optimal düzeyde görsel konfor koşullarının oluşumuna imkan sağlanabilmektedir (Berköz vd., 1995). Belirlenen bir yer (iklim bölgesi) için iç mekan günışığı performansına etki eden yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri şu şekilde sıralanmaktadır (Berköz vd., 1995; Dubois & Blomsterberg, 2011);

- Yapma engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri
- Mekan boyutları
- Pencerelelerin baktığı yön
- Pencerelelerin boyut, biçim ve yerleştiriliş düzenleri
- Pencerelelerin ışık geçirme özellikleri
- İç yüzeylerin ışık yansıtma özellikleri
- Gölgeleme elemanı etkisi

Bu parametrelerden yerleşme ölçeğinde ele alınan yapma engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri her zaman tasarımcının kontrolünde olmamakla birlikte, doğal aydınlatma performansını etkileyen en önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Konut binalarında ise kullanıcılar tarafından görsel konforu etkileyen en önemli fiziksel faktörlerden biri olarak belirlenmiştir (Xue vd., 2014). Büyük engeller pencere yüzeyine gelen günışığı miktarı ve iç mekanda gerçekleşen günışığı dağılımı üzerinde etkilidirler. Günışığı performansı bakımından ele alınan bir mekana yönelik yapma engellerin etkisi “Düşey Gök Bileşeni (Vertical Sky Component)” veya “Engel Açısı (Obstruction Angle)” ile irdelenerek değerlendirilir (Littlefair J.Paul vd., 2022). Engel Açısı (Θ); pencerenin merkezinden engelin tepe noktasına çizilen doğrunun yatayla yaptığı açı iken, Görünür Gök Açısı (Visible Sky Angle); pencere orta noktasından pencere üst noktası ve engelin tepe noktasına çizilen iki farklı doğru arasında kalan açıyı ifade etmektedir (Şekil 2.3). Erken tasarım evresinde mekan büyüklüğü ve/veya pencere konum/boyut gibi tasarım değişkenlerinin belirsiz olduğu bir binanın günışığına erişiminin belirlenmesinde, önemli bir yaklaşım binaya ait her bir ana cephe için yerden 1.6 m yükseklikte ve 5 m’den daha az aralıklı olacak şekilde bir dizi nokta için Görünür Gök Açısının ve/veya Engel Açısının analiz edilmesidir (Littlefair, 2011). Literatürde binalarda günışığı performansını etkileyen engel açısı ve görünür gök açısı ile bu açıların iç mekan günışığı performansına etki durumları Çizelge 2.4’te verildiği

gibi belirlenmiştir (Littlefair, 2011). Belirtilen görünür gök açıları engelin devamlı olduğu durumda iç mekanda günışığı performansında meydana gelen değişimi ifade etmektedir. Engelin süreksiz olduğu durum için yatay gök bileşeni (HSC) bilgisayar programları veya proraktör ile belirlenmelidir. Bu durumda ele alınan mekan için gök görüş açısı Eşitlik 2.1’de verilen bağıntı ile hesaplanabilmektedir;

$$VSC = 2 \times HSC + 0.2 \times (100 - HSC)^\circ \quad (2.1)$$



Şekil 2.3 : Binalarda engel açısı ve gök görüş açısının belirlenmesi

Çeşitli dış engellere bağlı günışığı performansının irdelendiği çalışmalar literatürde çok yer almamakla birlikte, Ayoub (2019b), sıcak çöl ikliminde yer alan hibrit bir yerleşme için konut binalarında günışığı performansını etkileyen parametrelerden engel etkisini bina aralıklarına ve yüksekliklerine bağlı olarak belirlenen yatay engel açısı (HOA) ile irdemiştir (Ayoub, 2019b). Çalışmada 2-8 katlı binalar (h:6.60-29.0 m) ve 4, 6 ve 8 m sokak genişliği üzerinden çeşitli engel açısı (12-83°) değerleri için iç mekanda meydana gelen günışığı performansını değerlendirmiştir. Ekici vd. (2021) tarafından yüksek katlı binalarda günışığı performansının irdelenmesi amacıyla yapılan çalışmada ise az, orta ve yüksek yoğunluklu şehir yapılaşması içerisinde 50 m ile 150 m arasında değişen bina yükseklikleri ele alınarak ofis mekanına ilişkin günışığı performanları analiz edilmiştir (Ekici vd., 2021). Berköz vd. (1995) tarafından konut binalarında günışığı performansının belirlenmesine ilişkin yapılan projede ise bina yükseklikleri ve bina aralıklarına ilişkin sayısal değerler belirlenmemiş olup, çalışma kapsamında 0°, 10°, 20°, 30° ve 40° derece engel açısının oluşabileceği durumlar için irdelemeler yapılmıştır (Berköz vd., 1995).

Çizelge 2.4 : Güneş ışığı erişimini belirleyen bazı önemli engel ve gök görüş açıları (Littlefair, 2011).

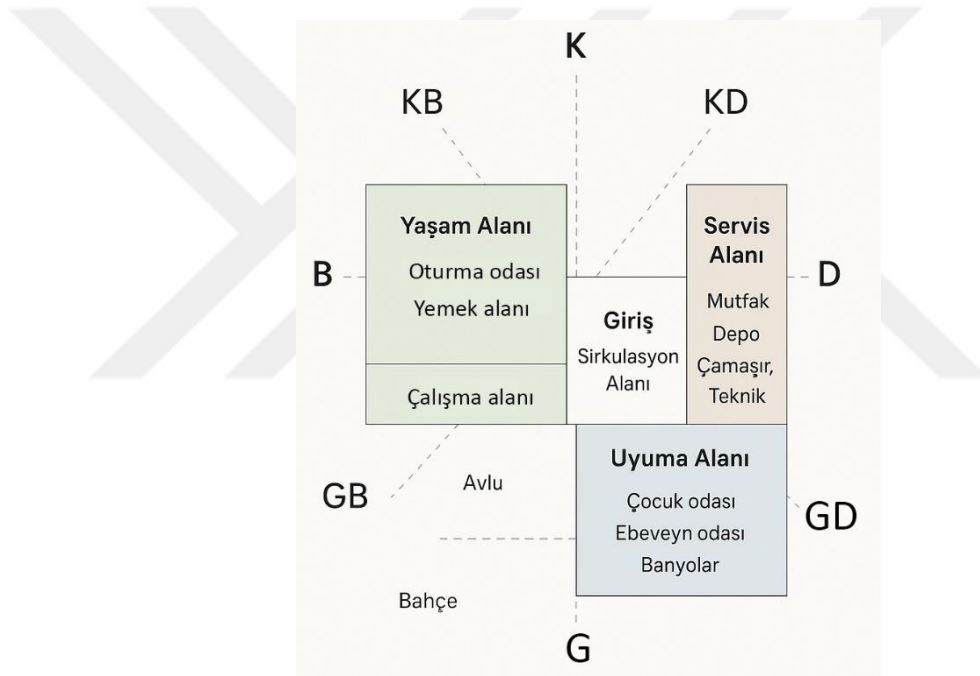
Engel Açısı (Θ)	Düşey Gök Bileşeni (VSC)	Güneş ışığı Performansına Etkisi
$\Theta < 25^\circ$	$27^\circ \leq \text{VSC}$	İç mekanda yeterli güneş ışığı performansı sağlanabilir.
$25^\circ < \Theta < 45^\circ$	$15^\circ < \text{VSC} < 27^\circ$	Mekanda yeterli güneş ışığını sağlamak için çeşitli stratejiler geliştirilmelidir. (Pencere boyutu arttırmak veya mekan boyutlarını değiştirmek vb.)
$45^\circ < \Theta < 65^\circ$	$5^\circ < \text{VSC} < 15^\circ$	İç mekanda yeterli güneş ışığı sağlamak, çok büyük pencereler kullanılmadığı takdirde oldukça zordur.
$65^\circ < \Theta$	$\text{VSC} \leq 5^\circ$	Bütün cephe cam yapılsa bile iç mekanda yeterli güneş ışığı etkinliği sağlamak neredeyse imkansızdır.

Dış yüzeylere ilişkin malzeme özellikleri, iç mekan güneş ışığı performansının belirlenmesinde dış yüzey yansıtma çarpanı ile güneş ışığı aydınlığına etki etmektedir. Işık yansıtma katsayısına bağlı olarak dikkate alınan engellere ait dış yüzey malzeme özelliklerinden dış duvarlara ilişkin ışık yansıtma katsayısı genellikle 0.2 – 0.4 aralığında olmaktadır (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Dış ortam zemin malzemelerinin asfalt, çim, beton vb. koyu ve mat yüzeyler olduğu göz önüne alındığında yer örtüsüne ilişkin ışık yansıtma katsayısı ise genellikle hesaplamalarda 0.20 olarak kabul edilmektedir (Berköz vd., 1995; TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

Pencerelerin baktığı yön; Bina açıklıklarının yönelimi güneşin konumuna, günlük ve saatlik değişimine bağlı olarak gök ışığı ile birlikte iç mekanda meydana gelen güneş ışığı miktarında önemli bir etkiye sahiptir. İklimsel konfor koşullarının belirli düzeylerde tutulması durumunda, özellikle konut binalarında güneş ışıınımı dikkate alınan bir tasarım girdisi olmaktadır. Doğal aydınlatma sistemi bakımından kuzey yarım küre için Güney yön en iyi yön olarak tanımlanırken, Kuzey yön yaygın gök ışığının niteliği sebebi ile ikinci en iyi yön olarak değerlendirilmektedir. Doğu ve Batı yönleri ise güneş ışıınımlarının düşük açı ile gelmesi sonucu kontrol edilmesi zor, kamaşma ve ısı kazancına neden olması bakımından dezavantajlı yönler olarak kabul edilmektedir.

Konut mekanlarının yönlendirilmesi bakımından ise yaşama ve dinlenme, çocuk ve çalışma mekanları gibi günün büyük bir kısmının geçirildiği mekanların güneyli yönlerde konumlandırılması önerilmektedir (Şekil 2.4). Bu anlamda (Littlefair, 2011) mümkün olduğu durumda yaşama mekanlarının güneyli ve batılı yönlerde, mutfakla-

rın ise kuzeyli ve doğulu yönlerde konumlandırılması gerektiğini belirtmiştir. Özellikle ılıman iklimlerde doğal ışığın hem ısısal hem de görsel konfor bakımından en iyi şekilde kullanılması amacıyla yaşama mekanlarının Güneydoğu-Güney-Güneybatı yönelimlerde konumlandırılması, yatak odalarının doğu yönünde ve çalışma odalarının kamaşmanın engellenmesi ve yaygın gök ışığının sağlanması amacı ile kuzeyli yönelimlerde planlanması tercih edilmektedir (D'alessandro vd., 2020). Toplu konut yerleşmelerinin tasarlanmasında ise kentsel tasarım ve vaziyet planında alınan yönelme kararı ile her konut biriminin en az 2 odasının güneş ışığından yararlanması dikkate alınmalıdır. Bu anlamda her konut biriminin en çok zaman geçirilen odası veya salonunun tercihen Güneydoğu, Güney, Güneybatı veya Batıya bakması önerilmektedir (MATPUM, 2010).



Şekil 2.4 : Yönlere göre günışığı etkinliğine bağlı optimal konut mekanı yerleşimleri (Corrodi vd. (2014) tarafından hazırlanan görselden uyarlanmıştır)

Mekan Boyutları, genişlik (a), derinlik (d) ve yükseklik (h) olarak tanımlanan boyutları ve bu boyutların birbirlerine oranları günışığı yoluyla gerçekleşen aydınlık düzeyi üzerinde etkili olmaktadır (Yener, 2005). Aynı zamanda hacim boyutları kullanıcı tarafından pencere boyutunun algılanmasında da önemli bir etkiye sahiptir (Moscoso vd., 2020). Genel bir tasarım kuralı olarak mekanın genişliği artırılıp, derinliğinin azaltılması ile iç mekan günışığı etkinliği artırılabilir. Bu bakımdan etkin günışığı aydınlığı sağlayan mekan boyutlarının elde edilmesi için mekanın derinliğinin sınır-

landırılması gerekmektedir. Kabul edilebilecek minimum günışığı aydınlığının sağlanması için genişliği bilinen bir mekanın derinliği Eşitlik 2.2’de verilen bağıntı ile belirlenebilmektedir (CIBSE, 1999).

$$L/W+L/H_w < 2/(1-R_b) \quad (2.2)$$

(R_b), iç mekan yüzeylerinin ortalama ışık yansıtma katsayıları

(H_w), pencereye ait lento yüksekliği

(W), mekan genişliği

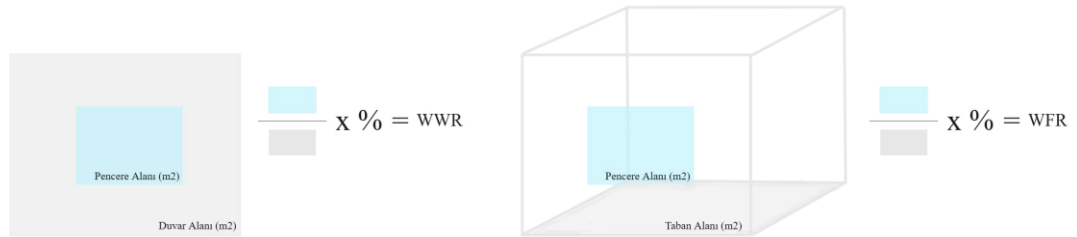
(L), mekan derinliği

Konut hacimlerinin boyutları, ilgili eyleme bağlı olarak gerekli ihtiyaçların karşılanmasına olanak verecek şekilde belirlenmelidir. Kişilerin en çok zaman geçirdiği mekanlardan biri olan yaşama mekanlarının, aydınlık, ferah ve kullanışlı olacak boyutlarda tasarlanması sağlanmalıdır (Alga, 2005). Diğer yandan çeşitli yönetmelikler kapsamında konut hacimlerinin boyutlarına ilişkin getirilen sınırlamalar doğal aydınlatma sistemi tasarımında etkili olan mekan boyutlarının belirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’ne göre yaşama mekanlarının kısa kenarı minimum 3 m olacak şekilde net 12 m²’den daha küçük tasarlanamamaktadır (T.C. Resmi Gazete, 2017). Avrupa’da bulunan dört ülkeyi (Türkiye, Polonya, İngiltere, İsveçre) kapsayan bir anket çalışmasına göre yaşama mekanlarının %45’inin 10-20 m² arasında, %30’unun 30-40 m² arasında, %13’ünün ise 40 m²’den büyük olduğu belirlenmiştir (Aslanoğlu, Pracki, vd., 2021). Aynı çalışmanın Türkiye özelindeki sonuçları ise kişilerin çoğunlukla kullandığı yaşama mekanlarının ortalama 31 m² olduğunu ortaya koymaktadır (Aslanoğlu, Ulusoy, vd., 2021).

Mekanı üçüncü boyutta ifade eden ve mekanın alan büyüklüğünden sonra mekanın algılanmasında ikincil öneme sahip bir diğer değişken mekan yüksekliği olmaktadır. Mekan yükseliğine ilişkin olarak kişiler genellikle standartlarda tanımlanan yüksekliklerden daha fazla tavan yüksekliklerini tercih etmekte ve bu tercihleri de mekan içerisinde yapılan eylem ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Mekan yüksekliği aynı zamanda iç mekan günışığı performansı üzerinde etkili olmaktadır. Bu anlamda en ve boy boyutları değişmeyen bir mekanın yüksekliği arttıkça iç mekan günışığı performansı doğru orantılı olarak artmaktadır (Ji, 2020). Ancak mekan boyutlarına nazaran kat yüksekliğine yönelik yasal mevzuatlar ile izin verilen değişiklikler daha sınırlı

olmaktadır (Corrodi vd., 2014). Bu doğrultuda Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamında konut mekanlarının döşemeden döşemeye kat yüksekliği maksimum 3.60 m, iskan edilen katların iç yüksekliği (tavan yüksekliği) minimum 2.60 m olacak şekilde sınırlandırılmaktadır (Resmi Gazete, t.y.). Anket odaklı yapılan bir çalışma kapsamında ise Türkiye’de yaşama mekanlarının kat yüksekliklerinin büyük bir çoğunluğunun 3 m’den az (%52), bir kısmının 3 ile 4 m arasında (%31,2), çok az bir kısmının (%6,4) ise 4 ile 5 m arasında olduğu belirlenmiştir (Aslanoğlu, Pracki, vd., 2021).

Pencerelerin boyut, biçim ve yerleştiriliş düzeni; iç mekandaki günışığı aydınlığının niceliğini ve niteliğini belirleyen ve kullanıcılara dış görüş sağlayan doğal aydınlatma sisteminin en önemli tasarım parametreleridir. Bir mekanda yeterli günışığı aydınlığının sağlanmasına yönelik niceliksel açıdan ilk yaklaşım pencerenin boyutunun belirlenmesidir (Hopkins, R., G., Petherbridge, P., Longmore, 1966). Pencere büyüklüğü genellikle pencere alanının pencerenin bulunduğu duvarın alanına oranı (WWR: Window Wall Ratio) veya pencere alanının bulunduğu mekanın taban alanına oranı (WFR: Window Floor Ratio) üzerinden tanımlanmaktadır (Şekil 2.5). Bina tipolojisi ve mekan büyüklüğü, kullanıcı konforu bakımından pencere boyutunun belirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır (Moscoso vd., 2020). Bu doğrultuda doğru bir pencere boyutu, mekanda gerçekleştirilen aktiviteyle ilişkili olarak gerekli aydınlık düzeyi ve gök koşullarına bağlı belirlenmektedir (Baker & Steemers, 2002).



Şekil 2.5 : Pencere Duvar Alanı (WWR) ve Pencere Taban Alanı (WFR) oranları

Pencere geometrisinin boyutlandırılması yapılırken aynı zamanda iç mekanda yeterli dış görüşün sağlanıp sağlanmadığı dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda çeşitli standart ve tasarım rehberlerinde yeterli aydınlık düzeyinin ve dış görüşün sağlanması amacıyla pencere boyutuna ilişkin çeşitli minimum sınır değerler önerilmektedir. Bu doğrultuda TS EN 17037+A1:Binalarda Gün Işığı standardında yeterli dış görüşün sağlanmasına ilişkin 4 m’den daha derin mekanlarda minimum pencere boyutları 1.00 m x 1.25 m (genişlikxyükseklik) olarak tanımlanmaktadır (TS EN 17037+A1:Binalarda

Gün ışığı, 2022). Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik İngiltere Bina Servis Mühendisleri Topluluğu tarafından (CIBSE) hazırlanan tasarım rehberinde ise yeterli dış görüşün sağlanması için farklı oda derinliklerine bağlı olarak tek bir cephede yer alan pencereye ait minimum saydamlık oranları belirtilmektedir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : Mekan derinliğine bağlı minimum dış görüş sağlayan saydamlık oranları (The Society of Light and Lighting, 2014).

Dış duvardan mekanın maksimum derinliği (m)	İçeriden görünen minimum pencere-duvar oranı (%)
8<	20
8-11	25
11-14	30
14>	35

İki boyutta bir değerlendirme sunması ile belirlenmesinin ve anlaşılabilmesinin kolay olması bakımından pencere boyutu genellikle pencere alanının pencerenin bulunduğu duvar alanına oranı, diğer bir deyişle saydamlık oranı (WWR) üzerinden belirlenmektedir. İyi bir günışığı performansı için konut dışı binalarda %30-%40 WWR arasında pencere boyutlarının tercih edilmesi önerilirken (Robinson & Selkowitz, 2013), benzer şekilde (Keighly, 1973b) tarafından yapılan çalışma saydamlık oranı %15 ve altında olan pencere boyutlarının kullanıcılar tarafından tercih edilmediğini, %30 ve üzeri saydamlık oranının ise neredeyse bütün kullanıcılar için tatmin edici olduğunu ortaya koymuştur. Genellikle ılıman iklim ve ofis tipolojisi için belirlenen bu değerlerin farklı iklim ve bina türlerine göre değişebileceği belirtilmektedir (Boyce, 2014). Bu anlamda literatürde farklı iklim bölgeleri için konforlu ve/veya enerji etkin mekan/bina tasarımına ilişkin yapılan çalışmalarda yönelime bağlı çeşitli saydamlık oranları önerilmektedir. Genel bir yaklaşım olarak iç mekanda konfor koşullarını sağlayan ve enerji etkin çözüm sunan cephe açıklığının ise %30 WWR değeri ile elde edildiği görülmektedir (Bölüm 1.3). Ancak çoğunlukla ‘yaklaşık sıfır enerjili bina tasarımı’ hedefi ile önerilen bu değerin, çevre binalar sebebi ile sıkışık ve yoğun yerleşimlere sahip şehirlerde iç mekanda etkili bir günışığı performansı sağlamak için oldukça yetersiz olduğu belirtilmektedir (Waskett, 2021). Bu anlamda Czachura vd. (2024) İsveç’te yer alan Malmö şehri için yaptıkları çalışmada düşük yapılaşma yoğunluğunun olduğu şehir bölgelerinde ($VSC \geq \%27$) EN 17037+A1:Daylight in Buildings standardında belirtilen günışığı faktörü değerinin sağlanması için pencere boyutlarının %60- %80 WWR arasında olması gerektiğini ortaya koymuşlardır (Czachura vd., 2024).

Konfor koşullarının sağlanması amacıyla yapılan pek çok çalışmanın aksine, Bournas (2020) mekanların günışığı etkinliğinin tanımlanması bakımından Saydamlık Oranının (WWR) güvenilir bir gösterge olmadığını ifade etmiştir. Bu anlamda pencere boyutunun değerlendirilmesine ilişkin çalışmalarda karşılaşılan bir diğer ölçüt olan pencere alanının taban alanına oranı (WFR: Window Floor Ratio), saydamlık oranına göre mekanın derinliğini göz önünde bulundurması sebebi ile günışığı performansının belirlenmesi adına daha ifadeli bir ölçüt olarak düşünülmektedir (Kharvari, 2020). Genel bir çıkarım olarak pencere boyutu ile minimum %20 WFR değerinin elde edildiği durumda iç mekanda yaklaşık olarak %4 DF (gerekli yerlerde yapma aydınlatma ilaveli günışığı miktarı) değerinin sağlandığı belirtilmektedir (Hopkings, R., G., Petherbridge, P., Longmore, 1966). Diğer yandan Avusturalya imar yönetmeliği kapsamında yaşama mekanlarında pencere boyutunun minimum %10 WFR 'ye eşit olması, Japon bina yönetmeliğine göre ise sık kullanılan mekanlarda pencere boyutunun minimum %14 WFR oranını sağlaması önerilmiştir (Boubekri, 2008).

Pencere biçimine ilişkin kararlar, günışığının hacim içerisindeki dağılımına ve dış görüş potansiyeline etki etmesi bakımından doğal aydınlatma sistemi tasarımında dikkate alınması gereken bir diğer parametre olmaktadır (CIBSE, 1999). Pencerenin biçimi iç mekanda özellikle dış görüşün sağlanması bakımından dikkate alınmalıdır (Altomonte, 2009). Mekan kullanıcıları genellikle dış görüşte bölünmelere sebep olmayan yatay, düzenli ve geniş pencereleri tercih etmektedirler (Corrodi vd., 2014; Keighly, 1973a). Diğer yandan dış görüşe ilişkin üç önemli katmanın (gök, manzara, yer) aynı anda görülmesine daha çok imkan vermesi bakımından düşey pencerelerin kullanıcı görsel konforu üzerinde daha olumlu sonuç vereceği düşünülmektedir (Altomonte, 2009). Pencere biçiminin değerlendirilmesi amacıyla pencerenin yüksekliği ve genişliğine bağlı çeşitli sınırlamalar (minimum pencere yüksekliği, yükseklik/genişlik oranı, biçim oranı) standartlarda ve çalışmalarda ölçüt olarak kullanılmaktadır. Bu anlamda, DIN 5034 standardında pencere doğraması dahil olmak üzere oturan bir kişi için birincil bakış doğrultusundaki pencere yüksekliğinin yeterli dış görüş sağlaması için minimum 1.3 m, pencere genişliğinin ise 1.0 m olması gerektiği belirtilmektedir (Corrodi vd., 2014). Kharvari (2020) tarafından yapılan çalışmaya göre ise iç mekanda dış görüş ve günışığı performansı bakımından optimize edilmiş bir çözüm için pencereye ait yükseklik/genişlik oranının 0.5 - 1 aralığında sağlanması önerilmiştir (Kharvari, 2020).

Pencerelerin yerleştiriliş düzeni ve konumu, pencerenin bir veya birden fazla duvarda yer alması durumuna ve pencerenin bulunduğu duvar üzerindeki konumuna bağlı olarak irdelenmektedir. Mekanlarda mümkün olduğu takdirde parıltı farklılıklarını azaltmak ve günışığının iç mekandaki homojen dağılımını arttırmak için birden fazla duvarda yanıl pencerelerin tasarlanması daha uygun olmaktadır (Lehner, 2015). Ancak parıltı farklılıklarının minimize edilmesi adına pencerelerin karşılıklı duvarlarda yer alması daha etkin sonuç vermektedir (CIBSE, 1999). Tek bir duvarda pencere olması durumunda ise kişiler genellikle duvarın orta aksına konumlandırılmış yatay pencereleri tercih etmektedir (Keighly, 1973b). Genel bir yaklaşım olarak ise pencerelerin duvar üzerindeki konumlarının yükseltilmesi günışığının mekanın derin kısımlarına iletilmesini, böylece mekanda günışığının düzgün dağılımını sağlamaktadır (CIBSE, 1999). Dış görüş sağlanması bakımından ise özellikle konut mekanlarında pencerelerin duvar üzerindeki konumlarının mekanda gerçekleştirilen eylemler göz önüne alınarak belirlenmesi önemli olmaktadır. Şekil 2.6 bazı konut mekanlarında uygun dış görüşün sağlanması için gerçekleştirilen eylemlere bağlı olarak kişilerin mekanı kullanım biçimlerini dikkate alan pencere konumlandırmalarını göstermektedir.



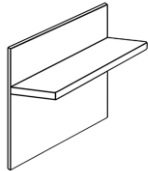
Şekil 2.6 : Konut mekan kullanımına ve kullanıcılar tarafından gerçekleştirilen eylemlere dayalı dış görüş sağlamak amacıyla pencerelerin konumlandırılması (Corrodi vd., 2014)

Doğal aydınlatma sistemi tasarımı kapsamında ele alınan bir diğer parametre gölgeleme elemanlarına ait özellikler olmaktadır. Günışığının iç mekana alındığı durumda mekan içerisinde görsel ve ısısal konforu sağlamak için güneş ışığının çeşitli gölgeleme stratejileri ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Dış veya iç ortamda gölgeleme elemanı kullanımı, günışığının mekana yönlendirilmesi, görsel konforun artırılması, kamaşma kontrolünün sağlanması ve soğutma yüklerinin azaltılması amacıyla uygulanan en önemli stratejilerden biridir (Bulgurcu & Özer, 2017). Özellikle okuma,

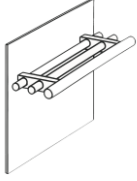
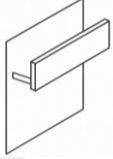
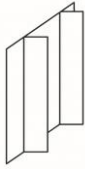
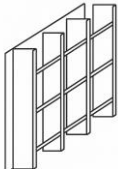
yazma veya ekrana bakma gibi aktivitelerin gerçekleştirildiği mekanlarda görsel konforsuzluğu azaltmak için gölgeleme elemanı kullanımı sağlanmalıdır (BS EN 17037: Daylight in buildings, 2018). Pencere sisteminin iç ve dış kısmındaki yerleşimlerine göre sınıflandırılan gölgeleme elemanlarından dış ortam gölgeleme elemanları, hem yeterli günışığı aydınlığı hem de kesintisiz bir dış görüş sağlaması bakımından genel olarak iç ortam gölgeleme elemanlarına göre daha iyi bir performans göstermektedirler (The Society of Light and Lighting, 2014). Görsel konfor koşullarının yanı sıra güneş ışınlamına bağlı ısı kazancının engellenmesi amacıyla gölgeleme elemanlarının pencerenin dış kısmına yerleştirilmesi daha iyi bir strateji olmaktadır (Kim vd., 2012). Bu bakımdan iç mekanlarda hem görsel hem de ısısal konfor koşullarının sağlanması adına dış ortam gölgeleme elemanlarının kullanımları ön plana çıkmaktadır. İç ortam gölgeleme elemanları dış ortam gölgeleme elemanlarını çeşitli açılardan (mahremiyet, kamaşma vb.) desteklemek amacıyla kullanılmalıdır (Lehner, 2015).

Dış ortam gölgeleme elemanları sabit ve hareketli olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilmektedir. Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7 yaygın bir şekilde kullanılan bazı sabit ve hareketli dış ortam gölgeleme elemanlarını ve bu elemanların kullanım prensiplerini göstermektedir. Doğal aydınlatma sistemi tasarımında önerilen dış ortam gölgeleme elemanının iyi bir performans sağlayabilmesi için görsel alanda meydana gelen kamaşmayı minimize etmesi, dış görüşe imkan vermesi ve ek bir yapma aydınlatma yüküne sebep olmaması beklenmektedir.

Çizelge 2.6 : Sabit dış ortam gölgeleme elemanı örnekleri (CIBSE, 1999; Lehner, 2015).

Sabit Gölgeleme Elemanı Türü	Görseli	Kullanım Yönü	Kullanım Prensipleri
Saçak (Yatay Panel)		Güney, Doğu, Batı	*Güney yönelimli pencerelerde kışın güneş ışınlamını içeri almak, yazın engellemek için kullanılır. *Eğimli biçimleri kullanılabilir, ancak gök ışığını azaltırlar ve dış görüşü engeller.

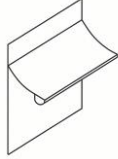
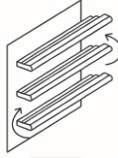
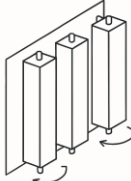
Çizelge 2.6 (Devam) : Sabit dış ortam gölgeleme elemanı örnekleri (CIBSE, 1999; Lehner, 2015).

Sabit Gölgeleme Elemanı Türü	Görseli	Kullanım Yönü	Kullanım Prensipleri
Boşluklu Yatay Saçak Panel (Pergola)		Güney, Doğu, Batı	*Yatay panel saçak ile benzer bir etkiye sahiptir. *Havalandırmada etkilidir. *Daha hafif olması ve gök ışığını daha az engellemesi bakımından avantajlıdır.
Saçak (Düşey Panel)		Güney, Doğu, Batı	*Eğik güneş ışınlarını engelleyerek etkili bir gölgeleme sağlar. *Doğal havalandırma sağlar. *Dış görüşü engeller.
Düşey Panel		Kuzey Doğu Batı	*Doğu ve Batı yönlerinde özellikle Güneyden gelen güneş ışığını perdelmek kanatlar için Kuzey yöne doğru eğimliyse etkili olurlar. *Dış görüşü engeller.
Eğimli Düşey Paneller		Doğu Batı	*Sıcak iklimlerde kanatlar kuzeye doğru, soğuk iklimlerde güneye doğru eğilmelidir. *Duvarın mesafeli konumlandırılınca ısı kazanımını engeller. *Dış görüşü ciddi anlamda etkilemektedir.
Izgara Sistem		Doğu Batı	*Çok sıcak iklimlerde kullanılmalıdır. *Dış görüşü büyük ölçüde engeller. *Sıcak havayı hapsedir.

Konut kullanıcılarının davranışlarını ve güneş ışığına karşı bakış açılarını doğrudan etkileyen gölgeleme elemanları iç mekanda kamaşma ve aşırı ısınma problemlerini azaltmakta oldukça etkili olmaktadır (Xue, Mak, Cheung, vd., 2016). Bu anlamda konut binalarında ısınma riski olmadan pencere alanının büyütülmesini sağlamak adına sabit dış ortam gölgeleme elemanlarının kullanımı etkili olurken (Sepúlveda vd., 2020), iç mekanda meydana gelen çeşitli kamaşma problemleri perde, stor vb. elemanlar ile kullanıcılar tarafından kabul edilebilir sınırlara indirilebilmektedir. Benzer şekilde dış görüşü engellemeyen yatay düz/eğimli sabit gölgeleme elemanları veya yarı saydam/saydam parapetli balkonlar kamaşmanın engellenmesi amacıyla konut kullanıcıları tarafından tercih edilmektedir (Xue, Mak, Cheung, vd., 2016). Sabit elemanların yanı sıra,

manuel veya otomatik olarak kontrol edilebilen hareketli gölgeleme elemanları hem görsel hem de ısısal konfor bakımından özellikle sıcak iklimlerde daha etkili bir çözüm olabilmektedir (Lehner, 2015; Raji vd., 2016; Skarning vd., 2017). Ancak konut mekanlarında otomatik kontrol sistemlerine bağlı gölgeleme elemanları kişiler tarafından genellikle tercih edilmemektedir (Frontczak vd., 2012)

Çizelge 2.7 : Hareketli dış ortam gölgeleme elemanı örnekleri (Lehner, 2015).

Hareketli Gölgeleme Elemanı Türü	Görseli	Kullanım Yönü	Kullanım Prensipleri
Tente Yatay Saçak		Güney Doğu Batı	*Saatlik, Günlük ve yıllık olarak tamamen ayarlanabilir. *Sıcak havayı hapseder *Dış görüş sağlaması bakımından iyidir. *Rüzgardan etkilenmemesi için geri çekilebilir.
Hareketli Yatay Gölgeleme elemanı (Jaluzi)		Güney Doğu Batı	*Yatay düzlemde hareket edebilen parçalardan oluşur. *Dış görüşü ve katlanamadığı takdirde kış güneşini engeller.
Hareketli Düşey Gölgeleme Elemanı		Doğu Batı Güneydoğu Güneybatı Kuzeydoğu Kuzeybatı	*Sabit düşey elemanlardan daha etkilidir. *Eğimli sabit düşey elemanlardan daha az dış görüşü sınırlarlar.
Panjur		Doğu Batı Güneydoğu Güneybatı Kuzeydoğu Kuzeybatı	*Tamamen açılır veya kapanır. *Gölgeleme elemanı kullanıldığında dış görüş tamamen kapanır. *Güvenlik ve mahremiyet sağlar.

Pencereye ait ışık geçirme özellikleri, günışığının cam yüzeyine ulaşmasından itibaren iç mekanda gerçekleşen günışığı performansı üzerinde etkili olmaktadır. Pencere camının ışık geçirme çarpanı, pencere camı kirlilik çarpanı ve pencere doğraması kalınlığı çarpanı olarak tanımlanan pencerelerin ışık geçirme özellikleri aldıkları belirli değerlere bağlı olarak iç mekan günışığı etkinliğini azaltmaktadırlar (Berköz vd., 1995). Günışığı performansına etkisi bakımından cama ait ışık geçirgenlik, yansıtma ve renksel geriverim özellikleri en önemli tasarım parametreleri olarak sıralanmaktadır (The SLL Code for Lighting, 2014). Bu parametreler arasından iç mekanda meydana gelen günışığı aydınlığı büyük oranda pencere camının ışık geçirgenlik değerine bağlı ol-

maktadır (Hee vd., 2015). Çeşitli optik ve termofiziksel özellikler ile tanımlanan camlar, iç mekan günışığı performansını ışık geçirgenlik değerine ve renksel özelliklerine bağlı olarak niceliksel ve niteliksel yönden etkilerken, aynı zamanda termofiziksel özelliklerine bağlı olarak ısı kayıp ve kazançlarını belirlerler. Doğal aydınlatma sistemi tasarımı sürecinde görsel konfor ve bina enerjisi korunumu açılarından bu değerlerin titizlikle üzerinde durulması önemlidir.

Konut binalarında doğal ışığın mümkün olduğunca içeri alınabilmesi amacıyla ışık geçirgenlik değeri 0.70 ve üstü cam türlerinin seçilmesi önerilmektedir (Zhen vd., 2019). Aynı zamanda iç mekan görsel konfor koşullarının sağlanmasında ve kişilerin memnuniyetinin artırılmasında önemli olan dış görüşün sağlanması ve günışığının dinamik yapısının gün içerisinde algılanmasına imkan verilmesi amacıyla pencere camının malzemesi net, bozulmamış ve nötr renkli olarak algılanan bir görünüm sağlaması beklenmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Diğer yandan pencere camı iç mekanda direkt güneş ışıınımları sebebi ile meydana gelen görsel ve ısısal konforsuzluğun azaltılması/önlenmesi bakımından önemli bir role sahiptir (Skarning vd., 2017). Bu bağlamda iç mekanda görsel konforun yanı sıra hem ısısal konfor koşullarının sağlanması hem de toplam bina enerji tüketiminin azaltılması amacıyla güneş ışıınımdan ısı kazancı katsayısı (Solar Heating Gain Coefficient) değerinin düşük olduğu camların seçilmesi önemli olmaktadır.

Yapma çevreye ilişkin doğal aydınlatma sistemi tasarımına etki eden son parametre ise iç mekan yüzeylerine ait malzeme özellikleri olmaktadır. İç mekan yüzey malzemelerine ait ışık yansıtma özellikleri, yüzeylerin ışık yansıtma katsayıları oranında mekanda var olan ikincil bir ışık kaynağı gibi davranmasına sebep olurlar. Bu anlamda iç yüzeylerde, özellikle tavan ve duvarlarda ışık yansıtma katsayısı yüksek olan renklerin seçilmesi önerilmektedir. Bu anlamda açık renklere sahip iç mekan yüzeyleri mekân içerisinde hem yansıtma yolu ile ışık miktarının artırılmasına hem de ışığın içeride düzgün yayılmasına olanak sağlar (Lehner, 2015). Günışığı performansının analiz edileceği her bir mekân için iç mekânı ait yüzey ışık yansıtma katsayıları (yansıtma faktörü) referans bir değer olarak tavan için 0.7 – 0.9, duvar için 0.5 – 0.8 ve döşeme için 0.2 – 0.6 arasında seçilmesi önerilmektedir (The Society of Light and Lighting, 2022b). Binalarda Günışığı standardı kapsamında farklı olarak döşeme için ışık yansıtma katsayısının 0.2-0.4 arasında kabul edilmesi gerektiği belirtilmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

2.3 Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımının Görsel Konfor Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemler

Gök ve güneş ışığının birleşiminden oluşan günışığının doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak kullanıcı görsel konfor düzeyi üzerindeki fizyolojik etkisi ışığın niceliksel özellikleri üzerinden geliştirilen çeşitli ölçütler aracılığı ile belirlenmektedir. Işığın fotometrik özelliklerini tanımlayan ışık akısına dayalı aydınlık düzeyi ve parıltıya dayalı kamaşma seviyesi günışığı performansının değerlendirilmesinde dikkate alınmaktadır.

Doğal aydınlatma sisteminin kullanıcı görsel konfor durumu üzerindeki psikolojik etkisi ise dış görüş ve güneş ışığı alımı kriterlerine yönelik geliştirilen rasyonel ölçütler aracılığı ile değerlendirilmektedir. Bu bağlamda dış görüşe erişim, dış görüşün netliği, dış görüşe giren katman türleri dış görüş potansiyelinin belirlenmesine yönelik dikkate alınan ölçütler olurken, güneş ışığı alımı iç mekanda güneş ışığının sağlanma süresi üzerinden hesaplanmaktadır.

2.3.1 Günışığı Etkinliği

İç mekan günışığı etkinliği aydınlık düzeyine dayalı çeşitli ölçütler aracılığı ile değerlendirilmektedir. Günışığı etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik ölçütler temelde günışığının bir bileşeni olan güneş ışığının dinamik yapısını dikkate alan dinamik (iklime dayalı) veya almayan statik ölçütler olmak üzere iki farklı türde ele alınmaktadır.

İç mekan günışığının etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik kullanılan en yaygın statik ölçütlerden biri belirli bir düzlem üzerinde yer alan bir noktadaki doğrudan veya dolaylı olarak alınan ışık nedniyle oluşan aydınlık düzeyinin engelsiz ve güneş ışığı etkisinin göz ardı edildiği gök koşulu altında yatay düzlemde oluşan dış ortam aydınlık düzeyine oranı olarak tanımlanan Günışığı Faktörü (Daylight Factor) olmaktadır (CIE, 2020) . TS EN 17037+A1: Binalarda Gün Işığı standardında çeşitli enlemler için iç mekanda yeterli günışığı aydınlığının sağlanması amacıyla zorunlu (100 lux) ve düşük, orta, yüksek olarak derecelendirilen hedef aydınlık düzeylerine (300 lux, 500 lux, 750 lux) göre çeşitli günışığı faktörü değerleri tanımlanmıştır (TS EN 17037+A1: Binalarda Gün ışığı, 2022). İngiltere özelinde ise konutlarda yatak odaları için 100 lux, yaşama mekanları için 150 lux ve mutfaklar için 200 lux olarak tanımlanan hedef aydınlık düzeylerinin yıllık günışığı etkin saatlerin en az %50'sinde sağlanması beklenmekte-

dir. Birden fazla amaç için kullanılan mekanlar için ise mekanın aydınlık düzeyi değerinin yüksek olanı için tasarlanması önerilmektedir (BS EN 17037: Daylight in buildings, 2018).

Günüşığı faktörüne benzer bir şekilde; iç mekan günüşığı etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik kullanılan bir diğer ölçüt “Ortalama Günüşığı Faktörü (Average Daylight Factor)” olmaktadır. Ortalama Günüşığı Faktörü, ele alınan herhangi bir düzleme düşen toplam günüşığı akısının o düzlemin alanına oranının, engelsiz kapalı gök koşulu altında yatay düzlemdeki dış ortam aydınlık düzeyine oranı olarak hesaplanmaktadır. Pencere tasarımının değerlendirilmesi amacıyla çeşitli standart ve tasarım rehberlerinde eşik “Ortalama Günüşığı Faktörü (ADF)” değerleri belirtilmiştir. Buna göre $ADF < 2\%$, yetersiz; $2\% < ADF < 5\%$, ek bir yapma aydınlatma ihtiyacı; $ADF > 5\%$, konforsuzluğa neden olabilecek günüşığı aydınlığı olarak tanımlanmaktadır (CIBSE, 1999).

Konut mekanlarında günüşığı performansının değerlendirilmesine yönelik geçmişten bu yana Günüşığı Faktörü (DF) ve Ortalama Günüşığı Faktörü (ADF) gibi statik değerlendirme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Hammad vd., 2019; Maleki & Dehghan, 2020; Mangkuto vd., 2016; Nasrollahi & Shokry, 2020; Vanhoutteghem vd., 2015). Bu ölçütler kapalı gök koşullarında iç mekanda ne kadar günüşığı aydınlığı elde edileceğini belirlemek adına hızlı bir değerlendirme sunduğu için günümüz standart ve değerlendirme sistemlerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (BS EN 17037: Daylight in buildings, 2018). Ancak Günüşığı Faktörü (DF) yöntemi iklim, bina yönelimi ve konum gibi değişkenleri göz önüne almamakta, bu nedenle kamaşma riskine yönelik yüksek aydınlık düzeylerini değerlendirmemektedir (C. F. Reinhart vd., 2006). Bu bağlamda Günüşığı Faktörü (DF)’nin görsel ve ısısal konforsuzluğa neden olabilecek pencere büyüklüklerine sebebiyet vermesi bakımından doğal aydınlatma sistemi tasarımlarının değerlendirilmesi adına doğru bir ölçüt olamayacağı belirtilmektedir (Cantin & Dubois, 2011).

Statik değerlendirme ölçütlerinin güneş ışığını hesaba katmaması ve günüşığının dinamik hareketinin görsel konfor ve enerji etkinlik üzerindeki öneminin anlaşılması, günüşığı etkinliğine yönelik değerlendirmelerin günümüzde daha çok dinamik ölçütler aracılığı ile yapılmasına neden olmuştur. Çoğunlukla ofis mekanları üzerinden geliştirilen bu ölçütlerin konut mekanlarında günüşığı etkinliğinin değerlendirilmesi için kullanımı, iklime dayalı ölçütler ile elde edilen sonuçlar ve kullanıcıların gün ışığı seviyelerini genellikle çok düşük olduğunu hissetme olasılığı ile karşılaştırılarak yeterli ve

uygun bulunmuştur (J. A. Jakubiec vd., 2020). Literatürde geliştirilen birçok iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemi bulunmakla birlikte (DA, DAcon, DAmx, DAv vb.), doğal aydınlatma sistemine dayalı günışığı etkinliğini değerlendiren çalışmaların genelinde Günışığı Otonomisi (DA), Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) ve Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Konut mekanları özelinde bu ölçütlerin kullanımı değerlendirildiğinde ise; eşik aydınlık düzeyinin sadece günışığı tarafından karşılandığı saatlerin bir yıl boyunca mekanın toplam kullanım saatlerine oranını ifade eden Günışığı Otonomisi (DA) ölçütünün, özellikle günışığına bağlı enerji korunumunun değerlendirilmesi adına güvenilir bir ölçüt olduğu ortaya konmuştur (Xue, Mak, & Huang, 2016). Aynı çalışmada konut binalarında görsel konforun sağlanmasına yönelik anket çalışması ile Ortalama Günışığı Otonomisi eşik değeri %29.6 (AveDA_{300lx,%29.6}) olarak belirlenmiştir. Benzer bir şekilde Acosta vd. (2016) yaptıkları çalışmada pencere tasarımının enerji etkinliğinin belirlenmesine yönelik DA yöntemini yetkin bir ölçüt olarak nitelendirmişlerdir. Xie vd. (2017) yaptıkları anket çalışması ile görsel konfor koşullarının Ortalama Günışığı Otonomisi değerinin (AveDA_{300lx}) %29.6-%57.8 arasında olduğu durumlarda sağlandığını tespit etmişlerdir. Günışığı Otonomisi yönteminin kullanıcı konforunu ifade etmesine yönelik yapılan anket çalışması sonucunda ise Günışığı Otonomisi (DA_{300lx,%50}) yöntemi ile kullanıcı memnuniyeti arasında yüksek oranda ilişki bulunmuştur (C. F. Reinhart & Weissman, 2012).

IES tarafından günışığı performansı değerlendirme yöntemlerine yeni bir yaklaşım olarak 2012 yılında ortaya konan “Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA)” yöntemi ise günışığı etkinliğini mekansal olarak değerlendirmeye alarak, mekanın kullanım saatlerinin %50’sinde elde edilen 300 lux aydınlık düzeyinin mekanın taban alanının %50’sinde sağlanmasını beklemektedir (LM-83-12: Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), 2013). Mekansal Günışığı Otonomisi değerinin 300 lux hedef aydınlık düzeyi üzerinden mekanın %50’sinde kullanım saatlerinin %55’inden fazla sağlandığı durum nötr veya kabul edilebilir bir düzey olarak ifade edilirken, kullanım saatlerinin %75’inden fazla sağlandığı durum tercih edilebilir olarak değerlendirilmiştir (LM-83-12: Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), 2013). Konut mekanlarında günışığı etkinliğinin Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) ölçütü ile değerlendirildiği pek çok çalışma bulunmaktadır (Acosta vd., 2016; Ahadi vd., 2017; Mangkuto vd., 2016; Xie vd., 2017). (J. Wang

vd., 2020) ortalama $sDA_{300lx, \%50}$ ve ortalama ASE değerlerinin konut kullanıcı memnuniyetleri ile yüksek ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Diğer yandan Mekansal Güneş Işığı Otonomisi ölçütünün hesaplamalarda herhangi bir saatte güneş ışığı düzeyinin belirlenen alanının %2'sinden fazla olduğu durumlarda dinamik güneş kontrol elemanını kullanımını kabul etmesi sebebi ile, güneş ışığına ilişkin daha tolere edilebilir bir davranış gösterilen, hatta güneş ışığı alımı arzu edilen konut mekanlarında kullanımının doğru bir değerlendirme sunmayacağı belirtilmektedir (Dogan & Park, 2019a; Peters vd., 2020). Ayrıca Lo Verso vd. (2017) sDA yönteminin, enerji korunumu bakımından DA ve DAcon yöntemlerine göre daha az duyarlı bir veri sunduğunu ifade etmektedir.

İç mekanda güneş ışığı etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik bir diğer ölçüt ise sabit bir aydınlık düzeyi yerine kişilerin faydalı olarak nitelendirdikleri aydınlık düzeyi aralıklarını ele alan “Faydalı Güneş Işığı Aydınlığı (UDI)” yöntemidir. Bu yöntemde, Güneş Işığı Otonomisi ölçütündeki gibi sabit bir aydınlık seviyesi belirlemek yerine (örneğin, ofis yapılarında okuma için 500 lx), kullanıcıların gün ışığını etkin ve yararlı olarak algıladıkları farklı aydınlık düzeyleri dikkate alınmakta ve bu değerler bir aralık oluşturacak şekilde eşik değerler olarak kullanılmaktadır (Mardaljevic, Andersen, Roy, & Christoffersen, 2011). Faydalı güneş ışığı aydınlığı aralığının tanımlanmasına yönelik çalışmalar ilk olarak ofis tipolojisi için gerçekleştirilmiştir (Nabil & Mardaljevic, 2005). Daha sonra, Mardaljevic, Andersen, Roy, Christoffersen, vd. (2011) tarafından konut tipolojisine özel hacimlerde oluşan güneş ışığının “faydalı” olma aralıkları ile birlikte elektrik enerjisi kullanımını da belirleyen aralıklar Çizelge 2.8’de verildiği gibi tanımlanmıştır. Faydalı Güneş Işığı Aydınlığı’na ilişkin değerlendirme aralıkları, kullanıcı profiline ve gerçekleştirilen eylem türüne bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Öte yandan, Faydalı Güneş Işığı Aydınlığı genellikle binanın kullanım saatlerini ele alırken, aynı zamanda yıl boyunca güneş ışığının etkin olduğu saatler üzerinden de değerlendirme yapmaktadır (IEA Technical Report Task 50, 2016).

Faydalı Güneş Işığı Aydınlığı ölçütünün kullanıldığı çalışmalara bakıldığında; Bournas (2020) şehir içerisinde yer alan konut mekanlarında sağlanan etkin güneş ışığı düzeyi ile Faydalı Güneş Işığı Aydınlığı (UDI) ölçütünün ele aldığı aralıklar arasında güçlü bir ilişki olduğunu tespit etmiştir (Bournas, 2020). Diğer yandan J. A. Jakubiec vd. (2020) yaptıkları çalışmada tropik iklimde yer alan konut mekanlarından mutfaklar için UDI ölçütünün kullanıcı memnuniyetleri ile yüksek oranda ilişkili olduğunu belirlemişlerdir

(J. A. Jakubiec vd., 2020). Peters vd. (2020), UDI ölçütünün çok karanlık ve/veya kamaşmaya neden olabilecek günışığı alanlarını belirlemesi sebebi ile MURB (Multi Unit Residential Building) tipolojisi için balkon tasarımının iç mekan günışığı performansına etkisinin irdelenmesi amacıyla daha iyi bir değerlendirme sunabileceğini bulmuşlardır (Peters vd., 2020).

Çizelge 2.8 : Konut mekanları için tanımlanan “Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI)” değerleri (Mardaljevic, Andersen, Roy, Christoffersen, vd., 2011).

Faydalı Günışığı Aydınlığı Sınıfı	Günışığı Aydınlik Düzeyi Aralığı
Yetersiz Günışığı Aydınlığı	$E < 100 \text{ lux}$
Ek Yapma Aydınlatma İlavesi Gerektiren	$100 \text{ lux} < E < 300 \text{ lux}$
Faydalı Günışığı Aydınlığı	$300 \text{ lux} < E < 3000 \text{ lux}$
Faydalı Günışığı Aydınlığı Otonomisi	$3000 \text{ lux} < E$
Görsel ve Isısal Konforsuzluğa Neden Olabilecek Günışığı Aydınlığı	

Günümüzde tasarımcılara referans olması amacıyla hem enerji hem de görsel konfor bakımından bir ölçüt sağlayabilecek uygulanabilirliği kolay olan değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi önemli olmaktadır. Buna yönelik olarak Günışığı Otonomisi ve Faydalı Günışığı Aydınlığı değerlendirme yönteminin tek bir değerlendirme ölçütüne indirgenmesini amaçlayan “Günışığı Etkinliği (Daylight Availability)” değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir (C. F. Reinhart & Wienold, 2011). Günışığı Etkinliği (D_{av}) değerlendirme yöntemi, faydalı olarak değerlendirilen günışığı aydınlık düzeylerinin mekanın kullanım saatleri içerisinde günışığı ile sağlanmasını ele almaktadır. Günışığı Etkinliği değerlendirme yöntemine göre değerlendirme aralığına ilişkin belirlenen hedef aydınlık düzeyinin, mekanın yıllık kullanım saatinin en az %50’sinde sadece günışığı ile sağlanması beklenmektedir. Günışığı etkinliği değerlendirme yöntemi aşağıda tanımlanan 4 bölümde sınıflandırılmaktadır (D. A. Chi vd., 2017).

- Yetersiz Günışığı Etkinliği ($D_{av} < 150 \text{ lux}, \geq \%50$)
- Kısmi Günışığı Etkinliği ($D_{av} 150-300 \text{ lux}, \geq \%50$)
- Yeterli Günışığı Etkinliği ($D_{av} 300-3000 \text{ lux}, \geq 50\% + D_{av} > 3000 \text{ lux}, < \%5$)
- Aşırı Günışığı Etkinliği ($D_{av} > 3000 \text{ lux}, \geq \%5$)

Günün farklı zamanlarında kullanılan ve aynı anda farklı eylemlerin gerçekleştirilebildiği konut mekanlarının günışığı etkinliğinin değerlendirmesi bakımından çalışmalarda sıklıkla kullanılan iklime dayalı değerlendirme yöntemlerinin belirli bir eyleme yönelik tek bir aydınlık düzeyini eşik değer olarak kabul etmesi ve genellikle günışığı

varlığını mekanın kullanım saatleri üzerinden değerlendirilmesi sebebi ile yetersiz olacağı düşünülmektedir. Bu bakımdan yukarıda ifade edilen ölçütler haricinde (Dogan & Park, 2020) konut mekanlarında günışığı etkinliğinin değerlendirilmesine özgü yeni bir yöntem (Residential Daylight Score) önermişlerdir. Soğuk ve ılımlı iklim tipleri için önerilen bu ölçüt diğerlerinden farklı olarak Günışığı Otonomisi ile birlikte direkt güneş ışığı varlığını da değerlendirmeye katmakta ve kullanım saati yerine günışığı ve güneş ışığı varlığının günün üç farklı zaman dilimi için belirlenen eşik düzeyi üzerinde sağlanma durumunu irdelemektedir (Dogan & Park, 2020).

2.3.2 Kamaşma

Kamaşma bakış alanında çok yüksek parlaltı düzeylerinin varlığı ve/veya bakış alanı ile bakış alanı dışında kalan alandaki ışığın çok yüksek aydınlık düzeylerinde düzgün olmayan dağılımları durumunda meydana gelen görsel konforsuzluk durumudur (Boyce, 2014). Kamaşmanın özellikle okuma, yazma, dijital bir ekrana bakma gibi eylemlerin gerçekleştirildiği ve kişinin konumunun değiştirilemediği mekanlarda analiz edilmesinin zorunlu olduğu belirtilmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Yetersizlik ve konforsuzluk kamaşması şeklinde ortaya çıkan iki türü için iç mekanda meydana gelen rahatsızlık düzeyinin belirlenmesine yönelik çeşitli değerlendirme ölçütleri geliştirilmiştir. Yetersizlik kamaşmasının belirlenmesi daha net ve kolay iken, daha karmaşık bir yapıya sahip olan konforsuzluk kamaşmasının tanımlanmasına ve değerlendirilmesine ilişkin literatürde daha fazla çalışma yapılmaktadır (Carlucci vd., 2015). Yapma ışık kaynakları gibi küçük ışık kaynakları sebebi ile meydana gelen konforsuzluk kamaşmasının değerlendirilmesine ilişkin çeşitli değerlendirme ölçütleri geliştirilmiştir; “Görsel Konfor İhtimali (VCP)”, “Konforsuzluk Kamaşması Oranı (DGR)”, “Unified Glare Rating (UGR)” (Boyce, 2014).

Yapma ışık kaynaklarının sebep olduğu kamaşma düzeyine ilişkin yapılan çalışmaların yanı sıra, pencere gibi büyük ışık kaynakları nedeniyle ortaya çıkan kamaşma düzeyini değerlendiren çeşitli ölçütler geliştirilmiştir. Günışığına bağlı konforsuzluk ölçütleri olarak nitelendirilen bu ölçütlerden ilki Cornell eşitliğinin Chauvel tarafından geliştirilmesi ile bulunan “Günışığı kamaşma İndisi (DGI)” yöntemi olmaktadır (Hopkins, R., G., Petherbridge, P., Longmore, 1966). Çeşitli çalışmalar Günışığı Kamaşma İndisi (Daylight Glare Index) değerlendirme aralıklarının geniş gökyüzü görüntüsü için yapılan kullanıcı değerlendirmeleri ile yüksek düzeyde ilişkili olduğunu

belirtirken (Konstantzos, I., Tzempelikos, A., 2017), diğer yandan TOKURA vd. (1996) iç mekanda pencereye doğru bakış açısı ile görüş alanı dışında kalan alan arasında farklı parıltı düzeylerinin meydana geldiği durum için DGI değer aralıklarının kullanıcı konforu bakımından tanımlanan şekilde bir ölçüt sunmadığını ortaya koymuştur.

Parıltı değerinin pencere yüzeyinde düzgün dağılım gösterdiğini kabul ederek kamaşma düzeyini ortaya koyan DGI yönteminin aksine, Wienold & Christoffersen (2006) tarafından gün içerisinde güneşin konumuna ve gök durumuna göre pencere yüzeyinde değişiklik gösteren parıltı değerlerinin ele alındığı “Günişliği Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability)” yöntemi ortaya atılmıştır. DGP ölçütünün konfor aralıkları sırasıyla;

- $DGP \geq 45$, tolere edilemez kamaşma düzeyi
- $45 > DGP \geq 40$, rahatsız edici kamaşma düzeyi
- $40 > DGP > 35$, algılanabilir kamaşma düzeyi
- $35 \geq DGP$, algılanmaz kamaşma düzeyi

olarak tanımlanmıştır. DGP ölçütü günişliğinden kaynaklı kamaşmanın değerlendirilmesine ilişkin hem görsel alandaki günişliği kaynaklı meydana gelen parıltıyı hem de bakış alanı ve dışında kalan alanlar arasındaki parıltı farklılıklarını tek bir ölçütte birleştirmesi bakımından literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır (Shafavi vd., 2020). DGP ölçütü ile günişliği varlığının olduğu her mekan için kamaşma analizi yapılabilirken, günişliği açıklığından çok uzak veya düşük günişliği aydınlık düzeylerinin olduğu bir referans noktası için bu ölçütün yeterli olmayacağı belirtilmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Benzer şekilde çeşitli çalışmalar kamaşmanın değerlendirilmesine ilişkin gözlemcinin görüş alanı içerisinde yer alan parıltı kaynağı nedeniyle gerçekleşen ve sadece göz seviyesindeki düşey aydınlık düzeyini hesaba katarak kamaşmayı ele alan DGP yönteminin kamaşmanın değerlendirilmesine yönelik doğru bir veri sunamayacağını ifade etmektedir (J. A. Jakubiec & Reinhart, 2012; K. Van den Wymelenberg & Johnson, 2010). Ancak yine de DGP ölçütünün kişilerin kamaşma durumunu tahmin etmeye yönelik kullanıcı değerlendirmeleri ile yüksek benzerlik sağlayarak en güvenilir ölçüt olduğu ortaya konmuştur (Wienold vd., 2019).

Wienold (2009) tarafından aynı zamanda uzun süren DGP hesaplamalarının yükünü azaltmak için göz hizasında meydana gelen düşey aydınlık düzeyine (E_v) dayalı “Sadeleştirilmiş Günişığı Kamaşma Olasılığı (*Simplified Discomfort Glare Probability*)” ölçütü geliştirilmiştir (DGPs). Ancak bu ölçütün gözlemcinin gözüne direkt güneş ışınlarının veya yansıyan güneş ışınlarının çarpmadığı durum için kullanılabileceği ifade edilmiştir. Bu bakımdan güneş kontrol elemanlarının göze direkt gelen güneş ışınlarını engellediği düşünüldüğünde performanslarının değerlendirilmesi amacıyla doğru bir veri sunacağı belirtilmiştir.

Bakış alanı içerisine kamaşmaya neden olabilecek direkt ve yansıyan ışınların girdiği durumlar için ise sadeleştirilmiş yöntem geliştirilerek “Geliştirilmiş Sadeleştirilmiş Günişığı Kamaşma Olasılığı (*Enhanced Simplified Discomfort Glare Probability*)” ölçütü ortaya atılmıştır (Wienold, 2009). “eDGPs” ölçütüne göre konforsuzluğa neden olan kamaşma düzeyi, düşey aydınlık düzeyini ve kamaşmaya neden olan parıltıyı dikkate alarak Eşitlik 2.3’te verilen formül üzerinden hesaplanmaktadır (Wienold, 2009). Eşitlikte yer alan ve deneysel yöntemler ile belirlenen kalibrasyon katsayılarının (c_1 , c_2 , c_3 ve c_4) sübjektif kamaşma değerlendirmeleri ile en yüksek doğruluk gösteren değerleri sırası ile $c_1 = 5.87 \times 10^{-5}$; $c_2 = 9.18 \times 10^{-2}$; $c_3 = 0.16$; $c_4 = 1.87$ olarak belirlenmiştir (Wienold & Christoffersen, 2006).

$$DGP = c_1 \cdot E_v + c_2 \cdot \log(1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \cdot \omega_{s,i}}{E_v^{c_4} \cdot P_i^2}) + c_3 \quad (2.3)$$

E_v : tüm kaynakların gözde oluşturduğu düşey aydınlık (lux)

L_s : kaynak parıltısı (candela/m²)

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

P : aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı Guth indisi

Farklı cephe veya gölgeleme elemanı alternatiflerinin karşılaştırmalı değerlendirmesinin yapılabilmesi için iç mekanda belirli bir zaman dilimi (yıllık, aylık vb.) içerisinde gerçekleşen kamaşma düzeyine dayalı bir değerlendirme yaklaşımı gerekliliği doğmuştur. Bu doğrultuda, Wienold (2009) kullanıcı değerlendirme sonuçlarına dayanarak yeniden tanımlanan parıltı düzeylerine göre dayalı günişığı kamaşma konfor sınıfları önermiştir. Çizelge 2.9’da verilen kamaşma sınıfları ile mekanın yıllık kullanım saatinin %95’inde elde edilen kamaşma düzeyinin çeşitli kategorilerde tanımlanan

maksimum DGP düzeylerini aşmaması (veya verilen ortalama DGP değerini kullanım saatinin %5'inde aşmaması) durumuna göre gölgeleme elemanının veya cephe tasarımının kamaşmaya dayalı görsel konfor performansı analiz edilebilmektedir.

Kişilerde kamaşmaya bağlı konforsuzluk oluşturan durumlar, yukarıda belirtilen ölçütlere ek olarak bazı çalışmalarda pencere yüzeyinde (ışık kaynağı) elde edilen parıltı/ışıklılık seviyesine bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda Cheong vd. (2014) İsveç Ulusal Tasarım Rehberi'nde (NUTEK) belirtilen ışık kaynağı parıltı düzeylerini baz alarak görsel konfor koşullarını irdeledikleri çalışmada, kamaşmanın oluşmaması için normal görüş alanında ışık kaynağına ait (pencere yüzeyi) parıltı değerinin 1000 cd/m²'nin altında tutulması, genel olarak ise parıltı düzeyinin 2000 cd/m²'nin altında sağlanması gerektiğini ifade etmişlerdir (Cheong vd., 2014). Shin vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise yaşama mekanında oturan kişilerin pencere yüzeyindeki ortalama parıltı düzeyinin 4000 cd/m² olması durumunda kamaşmaya bağlı görsel konforsuzluk nedeni ile güneş kontrol elemanı kullanımına yöneldiği belirlenmiştir (Shin vd., 2013).

Çizelge 2.9 : Wienold (2009) tarafından önerilen günışığı kamaşma sınıfları ve TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardı içerisinde denk gelen karşılıkları.

Ölçüt	A (En iyi sınıf) <i>Kullanım süresinin %95'inde gerçekleşen kamaşma düzeyi algılanamaz kamaşma düzeyinden daha zayıf</i>	B (İyi sınıf) <i>Kullanım süresinin %95'inde gerçekleşen kamaşma düzeyi algılanabilir düzeyden daha zayıf</i>	C (Kabul edilebilir sınıf) <i>Kullanım süresinin %95'inde gerçekleşen kamaşma düzeyi rahatsızlık verici kamaşma düzeyinden daha zayıf</i>
TS EN 17037+A1: Binalarda Gün ışığı	Yüksek	Orta	Kötü
Max DGP sınırı	≤0.35	≤0.40	≤0.45
Ortalama DGP sınırı (%5 lik dilim içerisinde)	0.38	0.42	0.53

* Örneğin A sınıfını elde etmek için $DGP_{max} \leq 0.35$, %95 veya $DGP_{ort} \leq 0.38$, %5 olabilir.

Kamaşma bakış alanındaki ışık kaynağının büyüklüğü ile doğru orantılı olan parıltı dağılımına ve kişinin mekandaki konumu ile birlikte bakış doğrultusuna yüksek düzeyde bağlıdır (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Bu bağlamda kamaş-

manın değerlendirilmesine yönelik yukarıda belirtilen ölçütlerden her biri parıltı düzeyinin referans bir konum için belirli bir bakış doğrultusunda belirlenmesi ile ortaya konmuştur. Antropometrik ölçülere dayandırılarak göz seviyesindeki referans nokta oturan bir kişi için 1.20 m, ayakta duran kişi için ise 1.70 m olarak belirlenmiştir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Farklı eylemlerin bir arada gerçekleştirildiği konut mekanları için ise referans noktalar, Sorooshnia vd. (2021) tarafından yapılan DGP ölçütüne dayalı kamaşma analizinin yapıldığı çalışma kapsamında oturan kişi için 1.1 m, 1.2 m, 1.3m ve ayakta duran kişi için 1.5 m, 1.6 m, 1.7 m olarak tanımlanmıştır.

Kamaşma özelinde geliştirilen ölçütlerin yanı sıra, görsel ve ısısal konforsuzluğa neden olabilecek fazla güneş ışıınım düzeyini değerlendiren çeşitli iklime dayalı günışığı değerlendirme ölçütleri önerilmiştir. Bu bağlamda geliştirilen ölçütlerden biri mekanın kullanım saatleri içerisinde güneş ışığına maruz kalınan süre üzerinden değerlendirme yapan “Yıllık Güneş Işığı Maruziyeti (Annual Sunlight Exposure)” ($ASE_{1000lx, 250hrs}$) ölçütüdür. Yöntemde hedef olarak alınan ve güneşten kaynaklı meydana gelen 1000 lux aydınlık düzeyinin mekanın yıllık kullanım saatleri içerisinde 250 saatten fazla gerçekleşmesi ve kullanılabilir taban alanının %10’dan fazla oluşması durumunda görsel konforsuzluğun meydana gelebileceği belirtilmektedir (LM-83-12 : Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), 2013). Genellikle konforsuzluk oluşturabilecek güneş ışıınımlarına ilişkin üst bir sınır değer belirtmeyen sDA yöntemi ile birlikte mekanların günışığı performansının değerlendirilmesi amacıyla kullanılması amaçlanmıştır. Ancak güneş ışıınımını engelleyerek donuk alanların tasarlanabilmesine yol açtığı düşünülen ASE ölçütünün katı bir değerlendirme sunduğu belirtilmektedir (C. Reinhart, 2015).

Benzer şekilde iklime dayalı bir ölçüt olan Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI) yöntemi fazla güneş ışıınımına bağlı görsel konforsuzluğu engellemek için belirli üst sınır değerleri ele almaktadır. Bu yaklaşıma göre konut binaları için 3000 lux üzeri aydınlık düzeylerinin iç mekanda kamaşmaya bağlı görsel konforsuzluğa neden olacağı belirtilmektedir. Mardaljevic, Andersen, Roy, Christoffersen, vd. (2011) 8 farklı iklim ve 4 farklı yönelim için meydana gelen görsel konfor koşullarını değerlendirdikleri konut mekanında, özellikle iki farklı Faydalı Günışığı Aydınlığı ölçütü aralıklarının ($300 \text{ lux} < UDI-a < 3000 \text{ lux}$ ve $UDI-e > 3000 \text{ lux}$) sadeleştirilmiş DGP (DGPs) sonuçları ile karşılaştırılması sonucunda UDI-e (Useful Daylight Illuminance-exceed) ölçütünün

kamaşmadan kaynaklı görsel konforsuzluğun değerlendirilmesine yönelik kullanılabilişliğine ilişkin gl bir ilişki belirlemişlerdir.

Kamaşmadan kaynaklı görsel konforsuzluğun belirlenmesine yönelik geliştirilen ltlerden hiçbirinin tam olarak doğruluğu kanıtlanmış değildir. İlave olarak, kamaşma özelinde veya güneş ışığı kaynaklı konforsuzluğun değerlendirilmesi amaçlı geliştirilen değerlendirme yöntemlerinin neredeyse hepsi ofis mekanları üzerinden doğrulanmış ltlerdir. Diğer yandan konut binalarında düşük günışığı aydınlık düzeyinin aksine, direkt güneş ışığı sebebi ile meydana gelen kamaşmadan kaynaklı görsel konforsuzluk perde, jaluzi gibi kolay yöntemler ile azaltılabileceğinin varsayılması sebebi ile daha tolere edilebilir olarak kabul edilmektedir (Dogan & Park, 2019a). Bu nedenlerle konut binalarında görsel konfor koşullarının değerlendirilmesine ilişkin yapılanalışmalarda genellikle yüksek güneş ışığı varlığını belirlemeye yönelik iklime dayalı günışığı değerlendirme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir (Abidi & Rajagopalan, 2020; Acosta vd., 2016). Ancak günümüzde kamaşma analizlerinin saatlik bir zaman diliminden ziyade yıllık zaman dilimini kapsayacak şekilde yapılmasının, ek olarak gelişen simülasyon teknolojileri sayesinde yıllık olarak yapılan kamaşma analizinin tek bir bakış noktası yerine mekanın bütünü için irdelenmesinin daha kapsamlı bir sonuç verdiğieşitlialışmalar ile ortaya konmaktadır. Bu doğrultuda DGP yöntemine ilişkin geliştirilen kamaşma konfor sınıflarını ve sınır değerlerini ele alarak hem zamansal (yıllık) hem de mekansal bir değerlendirme yapan “Spatial Disturbing Glare (sDG)” ölçütü önerilmiştir. sDG ölçütüne greizelge 2.10’da verilen güncel “Günışığı Kamaşma Olasılığı (DGP)” sınır değerlerinden rahatsızlığa neden olan kamaşma düzeyi ve üzerindeki değerlerin ($0.38 \leq DGP$) mekanın kullanım saatinin %5’inden fazla elde edildiği bakış noktalarının mekansal yüzdesi tespit edilmektedir (URL-1, t.y.). Böylece günışığına bağlı kamaşmanın mekansal etkisi dikkate alınarak doğal aydınlatma sistemine yönelik gncelalışmalarda karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmaktadır (Seplveda, De Luca, & Kurnitski, 2022; Seplveda, De Luca, Varjas, vd., 2022).

Çizelge 2.10 : Günışığı Kamaşma Olasılığı yöntemine göre belirlenen kamaşma durumu ve değerleri (Wienold vd., 2019).

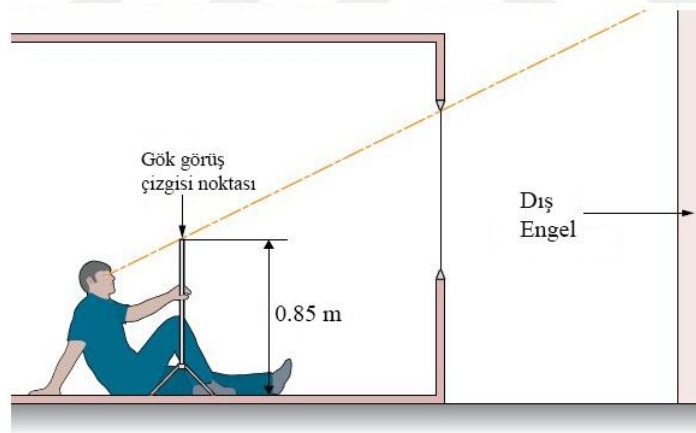
Kamaşma Durumu	Algılanamaz Kamaşma Düzeyi	Algılanabilir Kamaşma Düzeyi	Rahatsız Edici Kamaşma Düzeyi	Tolere Edilemez Kamaşma Düzeyi
DGP Aralığı	DGP<35	35≤DGP<40	40≤DGP<45	45≤DGP
<i>*güncellenmiş</i> DGP Aralığı	DGP<34	34≤DGP<38	38≤DGP<45	45≤DGP

2.3.3 Dış görüş

İnsanlar bulundukları mekanlarda yenilenmek, rahatlamak, dış ortam ile bağlantı kurarak görsel algıda farklılık hissetmek için dış görüşün sağlanmasına ihtiyaç duyarlar (Sümengen, 2015). Dış görüş kişilerin üretkenliğini artırır, stresi azaltır, hastaların iyileşme süresini kısaltır, göz kaslarında rahatlama sağlar (Altomonte, 2009; Aries vd., 2010). Aynı zamanda dış görüş aynı miktarda kamaşma düzeyinin olduğu mekanlarda kamaşmaya bağlı konforsuzluğun azaltılmasında rol oynar (Tuaycharoen & Tregenza, 2007). Bu bakımdan iç mekanda günışığı etkinliğinin artırılmasının yanı sıra yeterli dış görüşün sağlanması görsel konforun elde edilmesi açısından doğal aydınlatma sistemi tasarımının temel parametrelerinden bir diğeri olmaktadır. Diğer tipolojiler ile karşılaştırıldığında dış görüş konut mekanlarında da kişilerin pencere tasarımına ilişkin dikkate aldığı en önemli faktörlerden biridir (Siu vd., 2010).

Doğal aydınlatma sistemi tasarımının değerlendirilmesine ilişkin en zor ve önemli konulardan biri dış görüşün değerlendirilmesidir. Bu nedenle bir mekanın dış görüş performansının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş henüz kesin ve doğru değerlendirme sunan bir yöntem bulunmamaktadır. Ancak dış görüşün değerlendirilmesi amacıyla geçmişten itibaren standart ve tasarım rehberlerinde çeşitli basit (gök görüş çizgisi, pencere yüksekliği tanımı vb.) ve gelişmiş yöntemler (HDR Fotoğraf, Balık Gözü, Görüş Faktörü vb.) kullanılmaktadır. Genel anlamda dış görüş pencerenin konumu, boyutu, biçimi ve detaylarına bağlı olarak sağlanır (CIBSE, 1999). Dış görüşün kalitesi ise dış görüşe giren bileşenlerin bakış noktasına uzaklığı, bileşenlerin türü ve miktarına/yoğunluğuna göre belirlenmektedir. Bu doğrultuda Kent & Schiavon (2020) tarafından yapılan çalışmada dış görüşe giren bileşenlerin bakış alanından uzak olmasının kişileri memnun ettiği, dış görüşe giren bileşenin doğa parçası olması durumunda engel uzaklığının şehir parçası olmasına göre daha az önemli olduğu belirlenmiştir (Kent & Schiavon, 2020).

Dış görüşün değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen en temel yöntem gök görüş çizgisinin (no sky line) oluşturulmasıdır (Şekil 2.7). Bu bağlamda görüş noktasından dış mekanda yer alan bir objeye/binaya çizilen çizgi plan ve kesit düzleminde pencereden geçiyorsa cismin görüş alanına girdiği, geçmiyorsa görüş alanına girmediği varsayılmaktadır (CIBSE, 1999). TS EN 17037+A1:Binalarda Gün Işığı standardı kapsamında ise bu yöntemle dayandırılarak çeşitli kategorilere göre plan düzleminde pencere genişliğine göre sağlanması gereken yatay görüş açısı (HSA) ve kesit düzleminde yeterli dış görüşün elde edilmesine ilişkin pencereden uzaklıklar Çizelge 2.11'deki gibi tanımlanmıştır (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Ancak Waczynska vd. (2021) tarafından EN 17037+A1:Daylight in Buildings'de tanımlanan yöntemin okul tipolojisi üzerinden değerlendirildiği çalışmada, katılımcıların öznel değerlendirmeleri ile standartta tanımlanan dış görüş derecelendirmelerinin (düşük-orta-yüksek) birbirine uymadığı, kullanıcıların dış görüşü standartta tanımlanan dış görüş derecelerinden bir derece daha aşağıda değerlendirdikleri belirlenmiştir. Bu bağlamda Ko vd. (2023) yaptıkları çalışmada minimum dış görüş gereksiniminin sağlanması için Çizelge 2.11'de tanımlanan en düşük yatay görüş açısının 35° 'ye çıkarılması önerilmiştir.



Şekil 2.7 : Dış görüşe ilişkin en olumsuz noktanın belirlenmesi amacıyla Gök Görüş Çizgisinin çizilmesi (The Society of Light and Lighting, 2014)

Dış görüşün değerlendirilmesine yönelik geliştirilen bir diğer yaklaşım ise, 90° 'lik görüş alanı içerisinde dış görüş düzeyine ve kalitesine bağlı olarak belirlenen “Dış Görüş Faktörü (Visual Factor)” ölçütü olmaktadır (Heschong vd., 2003). Oturan bir kişi için yapılan Dış Görüş Faktörü değerlendirmesine göre 1’den 5’e kadar gök görüş açısına ve dış görüşün türüne göre puanlandırma yapılmaktadır. Bu anlamda dış görüşün hem niteliği hem de niceliği tek bir ölçüt düzeyinde değerlendirilebilmektedir.

Çizelge 2.11 : Belirlenen bir bakış noktasından dış görüşün değerlendirilmesi (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

Dış Görüş Düzeyi	Yatay Bakış/ Görüş Açısı	Manzaranın Uzaklığı (pencere yüzeyinden)	İç mekanda kullanılan alanın en az %75'inden görülebilen dış görüş katman sayısı ; - gök, -manzara(doğa/şehir) -zemin
Düşük	$\geq 14^\circ$	$\geq 6,0$ m	Sadece manzara katmanı görülebilir
Orta	$\geq 28^\circ$	$\geq 20,0$ m	Manzara ve ek bir adet katman görülebilir
Yüksek	$\geq 54^\circ$	$\geq 50,0$ m	Bütün katmanlar görülebilir

Diğer yandan Turan vd. (2019) dış görüşün kalitesini hesaplamaktan ziyade, genel görsel deneyime katkıda bulunan ve manzaraya ait kompozisyonu oluşturan öğeleri ele alan dış görüşün değerlendirilmesine yönelik ofis tipolojisi üzerinden yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşıma göre mekanda belirlenen her bir referans noktası için kişinin bulunduğu konumdan 120° 'lik görüş alanı içerisinde dış görüşün derinliği, dış görüşün çeşitliliği ve dış görüşün türü değişkenlerine bağlı olarak bir değerlendirme ölçütü geliştirilmiştir (Turan vd., 2019). Pilechiha vd. (2020) ise ofis binalarındaki görüş kalitesini enerji performansı ve gün ışığı etkinliği ile tek bir ölçüt üzerinden değerlendirmek amacıyla dış görüş faktörüne dayalı yeni bir yaklaşım önermişlerdir (Pilechiha vd., 2020) . Güneş kontrol elemanlarının kullanıldığı durumlarda dış görüşün kalitesi üzerinde önemli bir etken olan görüş netliğinin (view clarity) tanımlanmasına ilişkin ise açıklık oranına dayalı (openness factor) “View Clarity Index (VCI)” değerlendirme ölçütü geliştirilmiştir (Konstantzos vd., 2015). Bu ölçüte göre gölgeleme elemanından dışarının görünürlüğünü ifade eden açıklık oranına ve cama ait ışık geçirgenlik değerine göre dış görüşün netliğini belirlemek için basitleştirilmiş bir büyüklük hesaplanmaktadır. VCI değeri ne kadar 1'e yakın olursa dış görüşün netliği o kadar engellenmiş olarak kabul edilmektedir.

2.3.4 Güneş ışığı alımı

Güneş ışığı iç mekan ile dış ortam arasında, dolayısıyla kişinin gün içerisinde zaman ve güneşin pozisyonuna bağlı olarak doğa ile bağlantı kurmasını sağlar (Boubekri, 2008). Güneş ışığı aynı zamanda kişilerin hem fizyolojik hem de psikolojik sağlığı üzerinde oldukça etkilidir (Aguilar-Shea, 2021; Burns vd., 2021; Cui vd., 2021; Park vd., 2021). Bu anlamda mimarlık alanında geçmişten itibaren mekan kullanıcılarının güneş ışığına erişmek isteğiyle bina tasarımlarını güneş ışığına göre şekillendirdiği

görülmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalar, konutlarda (Littlefair J.Paul vd., 2022; Xue vd., 2014), okullarda ve ofislerde (Abboushi vd., 2021) kullanıcıların güneş ışığı alımından memnun olduğunu ve güneş ışığı varlığının kişileri olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Diğer tipolojilerden farklı olarak özellikle konut binalarında iç mekana güneş ışığının alınması kullanıcı görsel konforu için temel gereklilik olarak belirtilmektedir. Bu anlamda konut binalarında güneş ışığı varlığının kullanıcılar üzerinde olumlu etkilere neden olduğu (Xue vd., 2014), yaşama mekanları için kullanıcıların özellikle öğleden sonraki güneş ışınlarını memnuniyetle karşıladığı belirlenmiştir (Littlefair, 2011). Bu nedenle günümüzde binalarda yeterli güneş ışığı alımına imkan sağlayacak tasarım çözümlerinin üretilmesi için çeşitli standart ve tasarım rehberlerinde minimum gereklilikler tanımlanmaktadır.

Bir mekanda yeterli güneş ışığının varlığı gün içerisinde mekanın güneş ışığı aldığı saatlerin belirlenmesi yolu ile değerlendirilmektedir. Bu anlamda toplu konut yapılaşmasına ilişkin oluşturulan tasarım rehberine göre konut binalarındaki her bir salon veya oturma odasının Eylül-Mart ayları arasında en az 3 saat güneş ışığı almasının sağlanması gerekliliği vurgulanmaktadır (MATPUM, 2010). Diğer yandan TS EN 17037+A1:Binalarda Gün Işığı standardı kapsamında konutlarda sıklıkla kullanılan en az bir mekanda güneş ışığı alımının Çizelge 2.12’de belirtilen saatler üzerinden 1 Şubat- 21 Mart tarihleri arasında belirlenen bir gün için düşük düzeyde sağlanması beklenmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). İlgili yöntem gereğince bir mekanın gün boyunca aldığı güneş ışığı saatleri pencere orta noktasında ve yerden 1.20 m yükseklikte ve pencere camının iç yüzeyinde konumlandırılan analiz noktası (P noktası) için hesaplanmaktadır. Diğer yandan yöntem güneş ışığı alımı analizi için belirlenecek zaman diliminin güneşin gök kürede yer almaya başladığı saatten (güneş yükseklik açısı $\geq 0^\circ$) itibaren değil, iç mekanda etkin bir güneş ışığı maruziyeti oluşturacak güneş ışınlarının analiz edilen mekanın bulunduğu konuma (enleme) göre iklim verilerinden yararlanarak belirlenen özel minimum güneş yükseliş açısı ve üzerindeki saatler için elde edilme durumunun belirlenmesini önermektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Başka bir yaklaşıma göre ise güneş yükseklik açısının 5° ’den küçük olduğu durumda gök kürede meydana gelen daire dilimi içerisinde genellikle herhangi bir pencerenin güneş ışığı alımını etkileyecek doğal veya yapma bir engel olacağı kabulüyle güneş yükseliş açısının 5° ’ye eşit ve büyük olduğu saatler için ilgili analizin yapılması gerektiği belirtilmektedir (Darula & Malikova,

2017). Benzer şekilde güneş yükseklik açısının 10°'den küçük olduğu durumda güneş ışınlarının peyzaj elemanları ile engellenebilmesi nedeniyle hesaba katılmaması gerektiği önerilmektedir (Littlefair J.Paul vd., 2022).

Çizelge 2.12 : TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardında günlük güneş ışığı maruziyeti için önerilen süreler (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

Güneş Işığı Alım Düzeyi	Güneş Işığı Alım Süresi
Düşük	1.5 sa
Orta	3 sa
Yüksek	4.5 sa

Binalarda günışığı standardında belirtilen yöntemle dayandırılarak güneş ışığı alımının değerlendirilmesine yönelik en güncel önerilen ölçütlerden biri ise “Güneş Işığı Otonomisi (Sunlight Autonomy (SA))” ölçütüdür (Dervishaj & Gudmundsson, 2024). SA güneş ışığı alım süresini zamansal olarak günlük veya yıllık bir sürede (daily or annual SA) ve mekansal olarak noktasal değerlendirmeye ek bina cephesi üzerinde (spatial SA) belirleyerek standardın yöntemini daha kapsamlı hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu ölçüte göre “Yıllık Güneş Işığı Otonomisi (annual SA)” hedeflenen sürede güneş ışığı alımının sağlandığı gün sayısının bir yıldaki gün sayısına oranı olarak tanımlanırken, “Mekansal Güneş Işığı Otonomisi (spatial SA)” Yıllık Güneş Işığı Otonomisi’nin tanımlanmış bir eşiğin üzerinde sağlandığı cephe alanı yüzdesi olarak belirlenmektedir.

3. DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA VERİ MADENCİLİĞİ KARAR DESTEK MODELİ

Büyük veri çağının başlamasıyla birlikte, binalar yalnızca enerji tüketimleri açısından değil, aynı zamanda ürettikleri ve işledikleri veri miktarı bakımından da yoğun yapılar haline gelmiştir (Zhao vd., 2020). Gelişmiş sensör teknolojileri, bina otomasyon sistemleri ve kullanıcı etkileşimlerine dair veri toplama araçlarının yanı sıra, tasarım sürecinde gerçekleştirilen iklim verisi tabanlı simülasyonlar, aydınlatma, ısıtma ve soğutmaya yönelik bina enerji tüketimi ve kullanıcı konforu gibi çeşitli performans parametrelerine ilişkin büyük ve çok boyutlu veri setlerinin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, bina tasarımı ve işletimi süreçlerinde yalnızca fiziksel ve enerjiyle ilişkili kriterlerin değil, aynı zamanda veri tabanlı analiz ve karar destek sistemlerinin de giderek daha fazla önem kazanmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, veri madenciliği gibi büyük veri analitiğine dayalı yöntemler, mimarlık alanında sürdürülebilir, kullanıcı odaklı ve performans temelli tasarım kararlarının verilmesini destekleyen kritik araçlar arasında yer almaya başlamıştır.

Karar verme; bir problemi çözmek ve istenilen amaca ulaşmak için birtakım kriterler doğrultusunda, hali hazırdaki tüm alternatifler arasından bir ya da birkaçını seçme işlemi olarak tanımlanabilir (Arslan, 2015). Çeşitli doğal ve yapma değişkenlere bağlı olarak kullanıcıların fiziksel ve psiko-sosyal ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir mimari tasarımın gerçekleştirilmesi ise sistematik bir karar verme sürecini gerektirmektedir. Bu süreç problem çözme eylemlerini izleyen ve çözüm alternatifleri arasından seçim yapılan bir süreç olarak gerçekleşir.

Karar verme süreci işlemlerinin ve aşamalarının denetlenebilir ve modellenabilir biçime getirmesiyle problemlerin çözülmesinin amaçlandığı birçok sistematik tasarım yöntemi geliştirilmiştir (Palabıyık, 2011). Karar probleminde kullanılacak analiz yöntemleri problemin yapısına, amaç ve kriter sayısına göre farklılık göstermektedir (Arslan, 2015). Karar verme yöntemleri; tek amaçlı ve çok amaçlı karar verme yöntemleri olmak üzere literatürde genel anlamda ikiye ayrılmaktadır. Tek amaçlı karar verme

yöntemleri çözüm probleminde tek bir amaca veya tek bir kriteri gerçekleştirmeye yönelirken (Lezki, 2014), çok kriterli karar yöntemleri (AHP,MACBEHT,ATM vb.) çelişen somut ve soyut ölçütlere veya niteliklere göre karar seçeneklerinden en iyisini seçmek, seçenekleri sıralamak ya da sınıflandırmak için kullanılan yöntemleri ifade etmektedir (Guitouni & Martel, 1998). Tasarım alanında kullanılabilecek karar verme yöntemleri değerlendirildiğinde, birden fazla ve genellikle birbiri ile çelişen kriterlerin bulunduğu durumlarda alternatifler arasından tercih yapmayı ifade eden çok kriterli karar verme yöntemleri ön plana çıkmaktadır (Arpacıoğlu, 2010; K. Çelik, 2018; Palabıyık, 2011; Yıldız & Aktaş, 2017).

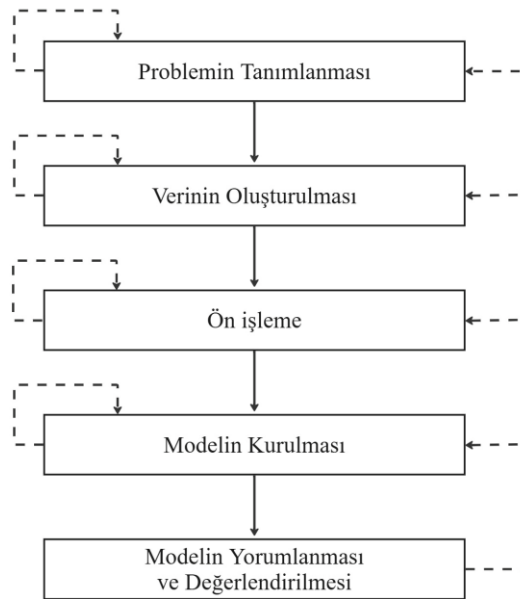
Karar verme süreci, toplanmış bilgilerden faydalanarak karar vermeyi kolaylaştıran çeşitli sistemlerin kullanımını gerektirmektedir. Karar destek sistemleri olarak adlandırılan bu sistemler; değişik kaynaklardan topladığı bilgileri düzenleyerek, kararı modelleyerek, bilgileri analiz ederek ve değerlendirme sonuçlarını sunarak karar vericiye seçim sırasında destek veren bilgisayar tabanlı yazılımlar olmaktadır (Arslan, 2015). Karar destek sistemleri model ve veri tabanlı olmak üzere iki farklı kategoride ele alınmaktadır. Günümüzde karar almayı etkileyen değişkenlerin sayısının artması ve karar ortamlarının karmaşılaşması “veri madenciliği” disiplininin veri tabanlı karar destek sistemleri içerisinde yer alması sonucunu doğurmuştur. Bu noktada veri madenciliği, geleceğe yönelik karar vermelerde/tahminlerde akıllı algoritmaları kullanarak insan algısının ve sezgisinin ulaşamayacağı sonuçları matematiksel temellere dayanan kanıtlar aracılığı ile ortaya çıkarmaktadır (Bozkır, 2009). Çok ve tek amaçlı karar verme yöntemlerinin veri madenciliği disiplini ile birleştirildiğinde doğruluğu artırılmış, etkin sonuçların alınmasını sağlayan karar modellerinin oluşturulması ile tasarım problemine ilişkin anlaşılır ve efektif bir çözüm veya tahmin sunulabilmektedir. Bu anlamda karar verme sürecinde karar destek sistemleri, veri madenciliği ve karar yöntemleri birbirini tamamlayıcı yöntemler olmaktadır (Khademolqorani & Hamadani, 2013).

3.1 Veri Madenciliği Tanımı ve Süreci

“Bir karar verici için verilen kararın doğruluğu, onun yeteneklerine, deneyimine ve bilgi birikimine olduğu kadar sahip olduğu veri kümesinin yeterliliğine de bağlıdır. Diğer bir deyişle kararın başarısında, verilerin doğru depolanması, doğru sınıflanması, doğru ayıklanıp işlenmesi ve doğru yorumlanması çok önemli bir rol oynar (M. Çelik,

2009).” Bu bağlamda veri madenciliği verilen büyük ve karmaşık veri kümelerindeki model, ilişki ve örüntülerin açığa çıkarılma süreci olarak tanımlanmaktadır(Kantardzic, 2011). Diğer bir deyişle, değeri olan bilginin açığa çıkarılması olan veri madenciliği, karar verme süreçlerine girdi oluşturarak problemleri daha anlaşılabilir hale getirmektedir (M. Çelik, 2009). Böylece veri madenciliği, karar verme süreçlerinde tanımlanan probleme ilişkin verileri düzenleyip doğruluğu arttırılmış bir veri seti haline getirerek tasarım girdilerini anlamlı bir tasarım bilgisine dönüştüren karar modelinin oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. Veri madenciliği yaklaşımı ile geçmiş çözümlerden elde edilen bilginin özümsemesi ile oluşturulan model gelecekteki benzer senaryoların çözümleri için kullanılabilir (Ramakrishnan vd., 2023).

Veri madenciliği süreci, istatistiksel ya da makine öğrenmesi yöntemlerinin rastgele uygulanmasından ziyade, en kullanışlı, yararlı ve doğruluğu yüksek olan bilginin belirlenmesine yönelik dikkatle planlanmış, sistematik bir yaklaşımı ifade etmektedir (Kantardzic, 2011). Veri madenciliği bilimi kullanılarak veriden bilgiye giden yolda genel bir süreç takip edilmektedir. En iyi uygulamalara dayanarak veri madenciliği araştırmacıları ve uygulayıcıları veri madenciliği projelerindeki başarıyı en üst düzeye çıkarmak için birkaç işlem önermişlerdir (Sebetci, 2020). Bu süreç, doğası gereği yinelenmeli bir iş akışı izlemekte olup, her adımda sürekli değerlendirme ve iyileştirme içermektedir (Kantardzic, 2011). Genel olarak veri madenciliği süreci Şekil 3.1’de gösterilen beş temel adımda gerçekleştirilmektedir (Akpınar, 2018; Kantardzic, 2011);



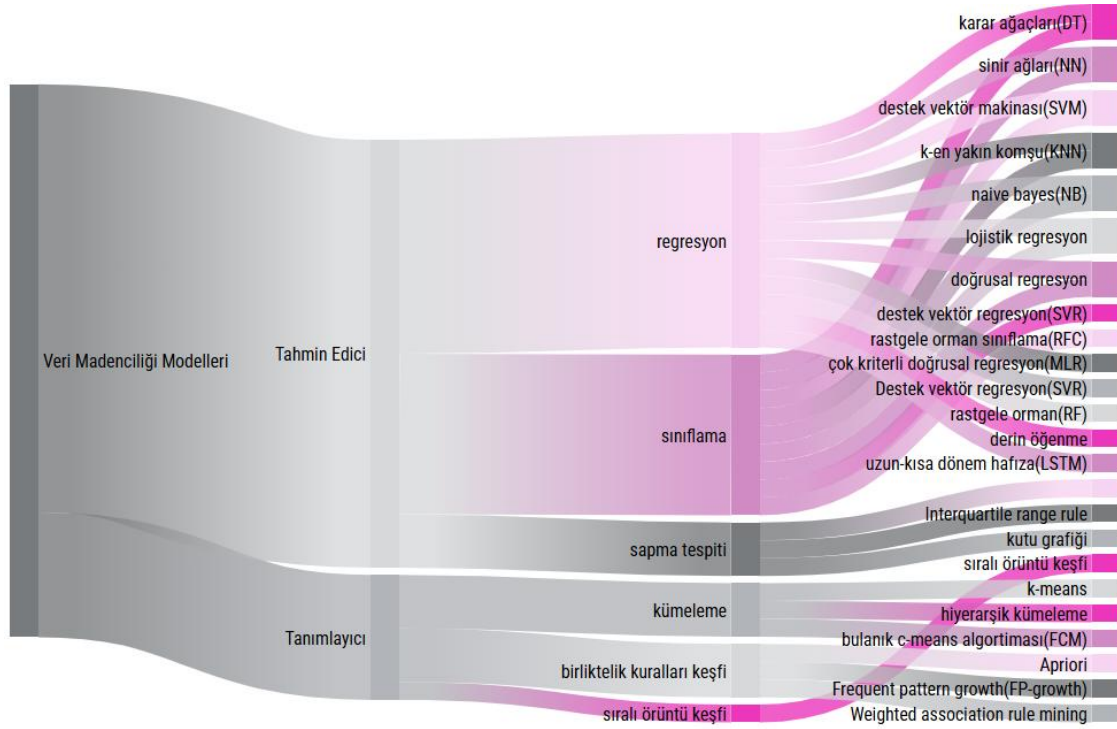
Şekil 3.1 : Veri madenciliği süreci (Kantardzic, 2011)

1. Problemin (hipotezin) tanımlanması: genellikle ilgili alan bilgisine dayalı bir problemin tanımlanması beklenir. Bu aşamada bir problem için birden fazla hipotez tanımlanabilir ve veri uzmanı her bir hipotez için veri setleri oluşturur.
2. Verinin oluşturulması: Bu adımda önemli olduğu ön görülen veri oluşturulur veya mevcut veri içerisinde seçilir. Bu adımdan sonra veri madenciliği işlemi hedef veri olarak tanımlanan bu veri seti üzerinden gerçekleştirilir.
3. Ön işleme (pre-processing): Veri madenciliği çalışmalarında iyi bir sonuç elde edilebilmesi başlangıçta hazırlanan verinin uygunluğuna ve kalitesine bağlıdır. Bu adımın amacı önceki adımda tanımlanan veya hazırlanan verileri almak ve veri madenciliği yönteminin uygulanması için hazırlamaktır (Sebetci, 2020). Bu doğrultuda mevcut veri havuzu içerisinde bulunan sorunlu verinin temizlenmesi, eksik verinin tanımlanması gibi işlemlerin gerçekleştirildiği *verinin düzenlenmesi*, birbiri ile uyuşmayan verilerin tek bir formata dönüştürülmesini kapsayan *verinin dönüştürülmesi* ve *öz niteliklerin oluşturulması* bu aşamanın önemli adımları olmaktadır.
4. Model kurma (model constructing): Belirlenen amaçlara uygun mevcut veri madenciliği yöntemlerinin kullanılması aşamasıdır. Bu adımda belirli iş gereksinimlerini karşılamak için önceden hazırlanmış bir veri setine çeşitli modelleme teknikleri seçilmekte ve uygulanmaktadır (Sebetci, 2020). Genellikle süreç tek bir yöntem üzerine kurulmaz, birden fazla yöntemin denenerek en iyi sonucun alındığı model seçilir (Kantardzic, 2011). İyi kurulmuş bir model eğitim, doğrulama ve test için geniş giriş ve çıkış aralıklarını içeren yeterli ve tarafsız veri tabanları gerektirmektedir (Ayoub, 2020).
5. Modelin yorumlanması ve değerlendirme (post-processing): Modelin oluşturulmasından ve çıktıların elde edilmesinden sonraki süreç elde edilen verinin bazı aşamalardan geçirilerek bilgiye dönüştürülmesini kapsamaktadır. Bu aşamalar verinin filtrelenmesi-diğer bir deyişle kuralların çıkarılması ve gereksiz bilginin budanması-, verinin yorumlanması ve açıklanması, verinin test edilerek doğruluğunun değerlendirilmesi ve elde edilen veri ile uzman bilgisinin entegre edilmesi olmaktadır (Bruha, 2001). Geliştirilen modeller doğrulukları ve genelleştirilebilirlikleri bakımından değerlendirilerek, oluşturulan örüntülerin yeterli bilgiyi içerip içermediği kontrol edilir. İnceleme sonucu seçilen modelin ve oluşturulan örüntünün hedefi yerine getirmediği tespit edilirse önceki adımlar tekrar edilir.

3.2 Veri Madenciliği Yöntemleri

Veri madenciliği yöntemleri geleneksel yöntem olarak istatistik bilimini esas alırken, günümüzde makine öğrenimi yöntemleri ve yapay zekâ teknolojileri ile entegre bir şekilde kullanılmaktadır. Veri madenciliği yöntemleri temelde tahmin edici (predictive) ve tanımlayıcı (descriptive) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Makine öğrenimi ile birlikte kullanılması sonucu öğrenme biçimlerine göre bu ayrım denetimli (supervised learning) ve denetimsiz öğrenme (unsupervised learning) olarak yapılmaktadır. Tahmin edici diğer bir deyişle denetimli öğrenme, diğer nitelikler yardımıyla hedeflenen bir niteliğin değerinin tahmin edilmesine dayalı modellerdir. Tahmin edilecek niteliğe bağımlı değişken, diğer niteliklere ise bağımsız değişken adı verilmektedir. Bu yöntemler veri setindeki pek çok girdi değişkenleri ile çıktı değişkenlerinden biri arasında bağlantı kuran bir model oluşturmak için genelleştirilen veri setini analiz ederler (Ayoub, 2020). Tanımlayıcı (denetimsiz) yöntemler ise herhangi bir çıktı verisi olmadan hedef değişkenleri belirlemek için veriseti içerisindeki bilinmeyen oluşumları ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır (Ayoub, 2020). Daha basit bir ifade ile karar vermede yardımcı olabilecek mevcut veri içerisindeki örüntüleri saptayan yöntemler olarak tanımlanabilmektedir.

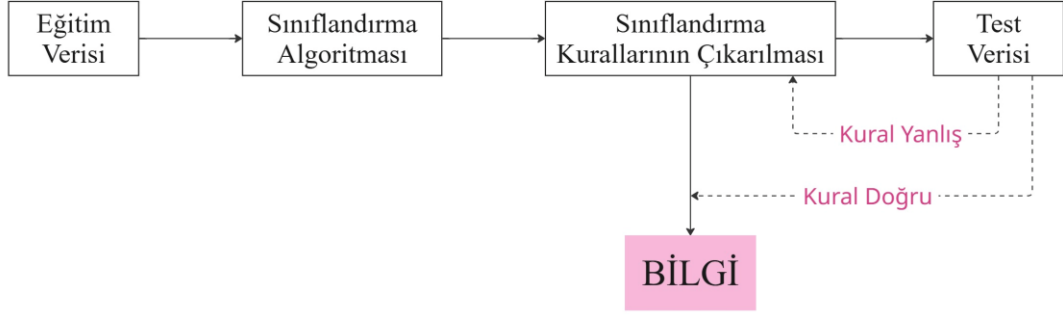
Veri madenciliği yöntemleri işlevlerine göre tahmin (denetimli) edici modeller altında ele alınan sınıflandırma ve regresyon yöntemleri, tanımlayıcı (denetimsiz) modeller kapsamında yer alan kümeleme ve birliktelik kuralları yöntemleri olmak üzere 3 ana başlık altında uygulanmaktadır (Özekes, 2003). Tahmin edici ve tanımlayıcı modeller altında yer alan her bir yöntem için pek çok algoritma geliştirilmiştir. Tanımlanan probleme ve veri setine uygun veri madenciliği yöntemi ve algoritması, veri havuzunun oluşturulmasından sonra eldeki verilerin analiz edilmesi sonucu kesin olarak belirlenebilmektedir. Öğrenme tekniklerine göre geliştirilen, tahmin edici ve tanımlayıcı yöntemler içerisinde sık kullanılan veri madenciliği yöntemleri ve algoritmaları Şekil 3.2’de verildiği gibidir. Bina sektöründe veri madenciliği yöntemlerinden en çok regresyon tabanlı tahmin yöntemleri kullanılırken, sınıflandırma ve kümeleme yöntemleri ise tahmin yöntemlerinden sonra en çok kullanılan yöntemlerdir (Yan vd., 2020).



Şekil 3.2 : Veri madenciliği yöntemleri ve sık kullanılan algoritmalar (Ayoub, 2020; Yan vd., 2020)

3.2.1 Sınıflandırma ve Regresyon

Sınıflama ve regresyon veri analizi tahmin modellerinin iki ana türüdür. Bunlardan sınıflama kategorik değerleri tahmin ederken, regresyon süreklilik belirten sayısal (nümerik) verilerin tahmin edilmesinde kullanılır (Ha vd., 2012). Bunlardan sınıflandırma, veri sınıflarını veya kavramlarını tanımlayan ve ayırt eden bir model (veya işlem) bulma sürecidir (Ha vd., 2012). Sınıflandırma süreci temelde öğrenim (learning) ve sınıflandırma (classification) olmak üzere 2 ana adımdan oluşur. Öğrenme aşamasında test verisi sınıflandırma algoritması tarafından öğrenilir ve sınıflandırma kuralı algoritma tarafından tanımlanır. Sınıflandırma aşamasında ise test verisi sınıflandırma kuralının doğruluğunu tahmin etmek için kullanılır. Sınıflandırma kuralı doğru ise kurulan model başka verilerin sınıflandırılması için uygulanır (Ha vd., 2012). Şekil 3.3 genel bir sınıflandırma sürecini ve ana adımlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.3 : Sınıflandırma modellerinin ana adımları (Ha vd., 2012)

Regresyon analizi çoğunlukla sayısal tahmin yapmaya yönelik istatistiki bir yöntemdir (Ha vd., 2012). Regresyon modelinin süreci sınıflandırma ile oldukça benzerdir. Model oluşturma (eğitim) sürecinde, bir regresyon algoritması, eğitim verisindeki her durum için tahmin edicilerin bir fonksiyonu olarak hedef değeri tahmin eder. Tahmin ediciler ve hedef değerler arasındaki bu ilişkiler bir modelde özetlenir ve bu model daha sonra hedef değerlerin bilinmediği farklı bir veri setine uygulanabilir. Regresyon modelleri, tahmin edilen değerler ile beklenen değerler arasındaki farkı ölçen çeşitli istatistikler hesaplanarak test edilir (*Data Mining Concepts*, t.y.). Test sonucu model doğruluğuna ilişkin yeterli performansı sağlıyorsa, modelden yeni bilgi sağlanmış olur. Veri madenciliğinde sıklıkla kullanılan sınıflandırma ve regresyon modelleri Lojistik Regresyon, Bayes Sınıflandırması, K-En Yakın Komşu, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Sinir Ağları ve Destek Vektör Makinası olarak sıralanmaktadır.

3.2.1.1 Lojistik regresyon

Lojistik regresyon analizi (LRA), yanıt değişkeninin ikili ya da çoklu, açıklayıcı değişkenlerin ise kategorik, sıralı veya sürekli olması durumunda belirli bir dağılım varsayımına bağlı kalmaksızın yanıt değişkeni ile açıklayıcı değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin belirlenmesinde ve aynı zamanda açıklayıcı değişkenlerin etkilerine dayanarak verilerin sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntemdir (Sevindik & Şiray Üstündağ, 2018). Lojistik regresyon analizi genellikle diskriminant (ayırma) analizi ile birlikte sınıflandırma amacıyla kullanılır. Ancak diskriminant analizi tüm öngörü değişkenlerinin normal dağıldığı varsayımı, nominal öngörü değişkenlerinin kullanılamaması ve sınıfları ayıran sınırların doğrusal olması gibi sebeplerle veri madenciliğinde pek yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bir kategorik bağımlı değişkenin öngörülmesinde, bütün bağımsız değişkenler sürekli ve normal dağılıma sahip ise diskrimi-

nant analizi, bütün bağımsız değişkenler kategorik ise lojit analizi, birtakım değişkenler sürekli diğerleri kategorik ise ve sürekli değişkenlerin dağılımı hakkında varsayımında bulunulmuyorsa lojistik regresyon analizi kullanılmaktadır (Akgün, 2019).

3.2.1.2 Bayes sınıflandırması

İstatistiki bir sınıflandırma yöntemi olan bayes sınıflandırması bayes teoremine dayanmaktadır. Bayes teoremine göre bir sınıflandırma problemi herhangi bir özelliğin herhangi bir sınıfa ait olma olasılığı üzerine kurulmuştur. Bu doğrultuda bayes sınıflandırması ile bir değişkenin bir sınıfın üyesi olma olasılığı tahmin edilmesi amaçlanmaktadır (Ha vd., 2012). Hesaplamalarda olasılığı en yüksek olan değişkenin ilgili sınıfa ait olduğu kabul edilir (Şahinaslan vd., 2022). Bayes sınıflandırması özellikle büyük veri setleri için uygulanması durumunda yüksek doğruluk düzeyinde ve hızlı bir performans göstermektedir (Ha vd., 2012). Bunların içinde en sık kullanılanı Naive Bayes sınıflandırma yöntemidir. Yöntem hesaplamaları basitleştirmek için veri setindeki her bir niteliğin sınıf içerisindeki diğer niteliklerden bağımsız olduğunu kabul eder (Şahinaslan vd., 2022).

3.2.1.3 K-en yakın komşu

K-en yakın komşu modelleri veri setindeki benzer ve hatırlanan vakalara atıfta bulunarak, görünmeyen vakaları sınıflandırmayı amaçlar. Böylece algoritma sınıfı bilinen bir vakayı hatırlayarak yeni vakanın aynı sınıfa sahip olup olacağını tahmin etmeye çalışır (Akgün, 2019). Sınıflandırma örnek kümedeki gözlemlerin her birinin sonradan belirlenen bir gözlem değerine olan uzaklıklarının hesaplanması ve en küçük uzaklığa sahip k sayıda gözlemin seçilmesi esasına dayanmaktadır (Özkan, 2008).

Sınıflandırmanın yanı sıra K-en yakın komşu modelleri aynı zamanda, bilinmeyen örneklem için bir gerçek değerinin tahmininde de kullanılabilir. Bellek tabanlı olan bu modellerde, tahminler bellekte tutulan gözlemlerin geri çağırılması ve gereken değerin hesaplanması ile yapılmaktadır (Akgün, 2019).

3.2.1.4 Karar ağaçları

Analiz edilen yöntemler içerisinde tahmin edici yöntem grubunun içine giren ve sınıflandırma yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntem olan karar ağaçları, grafiksel olarak karar problemlerinin gösterilmesi ve probleme ilişkin geriye dönük katlama

yöntemi ile çözüm üretilmesine imkan vermesi bakımından ön plana çıkmaktadır. Karar ağaçları yöntemi, aynı zamanda tasarım problemleri gibi birden fazla kararın ardışık olarak verilmesini gerektiren problemlerde oldukça faydalı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Lezki, 2014). Karar ağaçları, tek amaçlı karar verme yöntemi doğrultusunda tek bağımlı değişken ve çok sayıda bağımsız değişkenin olduğu durumlarda sonuçları bilinen verilerden hareket ederek bir model geliştirilmesi ve bu modelden yararlanarak sonuçları bilinmeyen problemler için sonuç değerlerin “if-then-else” mantığı ile tahmin edilmesini hedeflemektedir (Ahmed, Otreba, vd., 2011; M. Çelik, 2009).

Karar ağaçları temelde iki adımda oluşturulur; birinci adım ağacın kurulması, ikinci adım ise sınıflandırmanın gerçekleştirilmesidir (Altunkaynak, 2017). Karar ağacı algoritması, her dallanma bölünmesinde (düğümler) hangi özniteliklerin kullanılacağına karar vermek için dahili optimizasyon gerçekleştirir. Her bölünmede, homojenlik metriği- kullanılan algoritmaya göre değişmek üzere- ikili dallanmanın her iki tarafındaki öznitelik değerlerini belirlemek için kullanılır. Bu özellik, her bölme kriterini karşılayan vakaların ağırlıklı olarak bir hedef değere sahip olmasını sağlar. Karar ağaçları çok boyutlu verileri işleyebilmesi, insanlar tarafından kolay anlaşılabilir olması, model kurma sürecinde öğrenme ve sınıflandırma adımlarının hem basit hem de hızlı olması ve genel olarak yüksek doğruluk oranlarına sahip olmaları bakımında sınıflandırma problemlerinde ön plana çıkmaktadırlar (Ha vd., 2012).

3.2.1.5 Rastgele orman

Rastgele Orman (Random Forest), temel olarak sınıflandırma ve regresyon ağaçlarını kullanan, çoğunlukla büyük bir sonuç üreten, esnek, kullanımı basit ve verimli olan bir denetimli öğrenme algoritmasıdır (Kumral vd., 2022). Rastgele orman yöntemi ormanı oluşturan birden fazla ağacın sınıflandırma ve regresyon amacı ile kullanılmasıdır. Rastgele ormanı meydana getiren her karar ağacı paralel ve bağımsız bir biçimde oluşturulur ve ormandaki tüm ağaçlar için aynı dağılımla örneklenen rastgele bir vektörün değerlerine bağlıdır. Sınıflandırma sırasında her ağaç oylama yapar ve en popüler sınıf döndürülür (Ha vd., 2012; Kumral vd., 2022).

Rastgele Orman algoritması, büyük veri setleri içerisinde yararlı olan ancak gizli durumdaki bilgileri ayrıştırabilmek için kullanılan yaygın bir yöntem haline gelmiştir.

Rastgele bir ormanda, ilk olarak önyükleme yöntemi aracılığıyla eğitim setleri oluşturulmaktadır. Sonrasında her eğitim seti için bir karar ağacı oluşturulur. Gerçekleştirilen işlemler sonucunda algoritma sonucu elde edilmektedir (Kumral vd., 2022).

Rastgele Orman hem regresyon hem de sınıflandırma problemlerine uygulanması, diğer yöntemlere göreli olarak daha hızlı eğitilmesi ve tahmin hızının daha yüksek olması, düzenleme parametre sayısının daha az olması, çok boyutlu problemlere doğrudan uygulanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı dikkat çekmektedir (Demirezen & Çetin, 2021).

3.2.1.6 Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağı (YSA), bir öğrenme süreci boyunca verilerdeki modeli tanımak veya sınıflandırmak için kullanılan matematiksel ve hesaplamalı bir modeli ifade etmektedir (Akgün, 2019). YSA, temel olarak denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli öğrenme teknikleri aracılığıyla sayısal tahminler gerçekleştiren doğrusal olmayan bir fonksiyon yaklaştırma algoritmasıdır (Ayoub, 2020). Gözleme dayalı, özellikle eksik bilgi, hata veya yanlışlıklar ile karakterize edilen veri setleri ve yüksek boyutlu veri tabanlarına uyum konusunda önemli bir performans göstermektedir (Akgün, 2019; Giudici & Figini, 2009). Bu anlamda karmaşık ve doğrusal özellik göstermeyen problemlerin çözümüne ilişkin tahmin yürütülmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağları, genel anlamda nöron adı verilen çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmanlar girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olarak tanımlanmaktadır. Ek olarak girdi ve çıktı katmanları arasında, dış ortamlara doğrudan temas halinde olmadığı için gizli katman adı verilen bir veya daha fazla orta seviye katman olabilmektedir. Bu katmanlar sadece analiz amaçlıdır; onların işlevi, giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi almak ve verileri daha yakından uyarlamaktır (Akgün, 2019; Giudici & Figini, 2009). Yapay sinir ağları modelinin oluşturulma aşamasında bu katmanlardan yararlanılarak insan beyninin öğrenmesine benzetilen bir öğrenme süreci uygulanarak çıktı bilgisi elde edilmektedir.

3.2.1.7 Destek vektör makinası

Destek vektör makinaları (DVM) sınıflandırma ve regresyon amacı ile denetimli öğrenme tekniklerini içerirler. Sınıflandırma amacıyla DVM modelleri hedef sınıfları birbirinden ayırırken, tahminleme (regresyon) için veri noktalarını kullanarak sürekli

fonksiyon oluşturular. Destek vektör makinası yöntemi, veriyi birbirinden ayırmak için en uygun fonksiyonun tahmin edilmesi esasına dayanır (Özkan, 2008). Burada en uygun ayırıcı hiper düzlem, destek vektörleri olarak adlandırılan en yakın vektörler tarafından geometrik olarak tanımlanır. Bu noktaya kadar, verilerin doğrusal olarak ayrılabilir olduğu varsayılır; burada verileri mükemmel bir şekilde sınıflandıracak bir ayırıcı hiper düzlem bulmak mümkündür. Ancak bu durum gerçek hayatta nadiren gerçekleşir. Bu nedenle, DVM'nin verileri doğru sınıflandırmasına ve aşırı uyum riskine izin vermek yerine, modele her bir veri vektör için bir ceza, yani gevşek değişken eklenerek bazı hatalara kasıtlı olarak izin verilir (Ayoub, 2020). DVM veri boyutuna duyarsız olup modelin eğitilmesi için az sayıda örnek yeterli olabilmektedir. DVM sınıflandırma ve regresyon yöntemleri içerisinde en güvenilir ve doğru algoritmalarından biri olarak değerlendirilmektedir (Dabab vd., 2018).

3.2.2 Kümeleme

Kümeleme, veriyi sınıflara veya kümelere ayırma işlemi olarak ifade edilmektedir. Kümeleme işlemi yönteminde amaç üyelerinin birbirlerine çok benzediği, fakat özellikleri bakımından birbirlerinden çok farklı olan kümelerin ortaya çıkarılması ve veri tabanındaki kayıtların bu farklı olan kümelere ayrılmasıdır (Taş, 2018). Sınıflandırma yönteminden farklı olarak kümeleme modelinde, sınıfları bulunmayan veriler gruplar halinde kümelere ayrılırlar. Kümeleme işlemi tekniği sınıflandırma işleminin tersine, veri setini önceden sınıflara ayırmak yerine verileri dağılımlarına göre değerlendirerek doğal sınıflandırmalar oluşturur (Taş, 2018). Bu anlamda bazı uygulamalarda kümeleme modeli, sınıflama modelinin bir ön işlemi gibi kullanılabilir. Kümeleme veri madenciliği, istatistik, biyoloji ve makine öğrenimi gibi pek çok alanda uygulanmaktadır (Özekes, 2003). Literatürde kullanılan başlıca kümeleme yöntemleri; Bölme yöntemleri (Partitioning methods); Hiyerarşik yöntemler (Hierarchical methods); Yoğunluk tabanlı yöntemler (Density-based methods); Izgara tabanlı yöntemler (Grid-based methods); Model tabanlı yöntemler (Model-based methods) olarak sıralanmaktadır (Ha vd., 2012; Özekes, 2003).

3.2.3 Birliktelik kuralları

Birliktelik analizi, verilen bir veri kümesinde sıkça tekrarlanan nitelik koşullarını gösteren birliktelik kurallarının araştırılmasıdır (Oğuzlar, 2004). Bu yöntemler, birlikte olma kurallarını belirli olasılıklarla ortaya koyar (Özkan, 2008). Diğer bir ifade ile

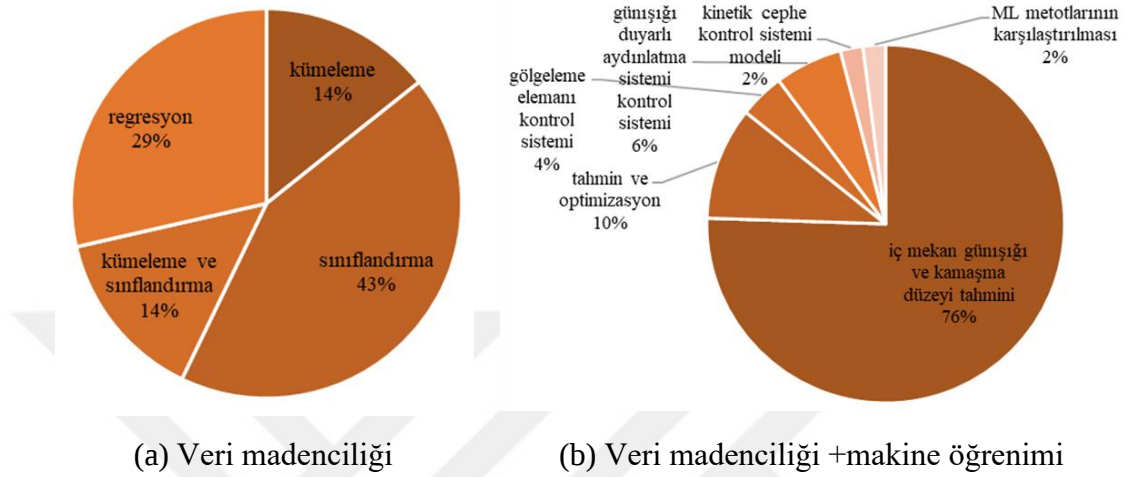
birliktelik analizi, belli bir destek ve güven eşik değeri yardımıyla birlikte sık görülen işlemlerin, kayıtların veya verilerin tespit edilip analiz edilmesidir. Böylece destek ve güven eşik değerleri kullanılarak veri seti içindeki en önemli ilişkiler analiz edilerek tanımlanabilmektedir (Sabah & Bayraktar, 2020). Bir birliktelik algoritması uygulanmadan önce kurallar belirlenmelidir. Birliktelik kurallarını çıkarma işi büyük bir işlemsel veri tabanı içinde tekrarlanan bir tarama işlemi yapmayı gerektirmektedir (Taş, 2018).

3.3 Günişığı Performansına Dayalı Bina Tasarımına Yönelik Veri Madenciliği Uygulamaları

Veri madenciliği yöntemleri, mimarlık alanında genellikle bina yaşam döngüsü sürecinde; enerji performansının belirlenmesi, bina kullanımı ve kullanıcı davranışlarının analiz edilmesi, bütçe yönetimi, malzeme performansının değerlendirilmesi, güvenlik yönetimi ve bina tasarımı gibi konularda kullanılmaktadır. Bina tasarımı perspektifinden veri madenciliği yöntemleri genellikle erken tasarım evresinde farklı tasarımların çevre performansının değerlendirilmesi veya tahmin edilmesine yönelik karar verme yöntemlerine adapte edilmektedir (Yan vd., 2020). Özellikle yaygınlaşan parametrik çalışmalar sonucu büyük veri setlerini ortaya çıkması, veri setlerinin detaylı analiz edilmesine olanak sağlayarak veri içerisinde saklı bulunan örüntü ve eğilimleri belirlemek amacıyla kullanılan veri madenciliği yöntemlerinin literatürdeki kullanım artışını beraberinde getirmektedir.

Literatürde yer alan günişığı performansına dayalı çalışmalar irdelendiğinde Şekil 3.4'te verildiği üzere veri madenciliği modellerinin çoğunlukla doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak iç mekanda meydana gelen aydınlık düzeylerini sınıflandırma ve regresyon yöntemleri aracılığıyla tahmin etme amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Bu doğrultuda sınıflandırma modellerinden biri olan karar ağaçları, tasarım problemlerinin çözümü (Loche vd., 2021; Qiu vd., 2021), aydınlatma enerji performansının belirlenmesi (Ahmed, Korres, vd., 2011) ve kullanıcı davranışlarının enerji tüketimlerine etkisinin tahmin edilmesinde ön plana çıkan modellerin başında gelmektedir (D'Oca & Hong, 2014; Ouf vd., 2019). Örneğin; Loche vd. (2021) tropik iklim bölgesi için ofis binalarında balkon kullanımının iç mekan günişığı performansına etkisini ele aldıkları çalışma kapsamında, balkon tasarımı ile iç mekan günişığı performansının arttırılmasına yönelik karar ağacı yöntemi aracılığı ile karar verme modeli

önermişlerdir. Bu doğrultuda çalışmada, doğru tasarlandığı takdirde balkonların etkili bir güneş kontrol elemanı olduğu ve iç mekana günışığını yayıcı bir özellik gösterebildiği ortaya konarak geliştirilen model ile iç mekanda daha yüksek Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI) düzeyleri elde etmek için daha derin balkon tasarımlarına izin veren tasarım kombinasyonları önerilmiştir (Loche vd., 2021).



Şekil 3.4 : Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda veri madenciliği yöntemlerinin kullanım amaçları

Diğer yandan Ouf vd. (2019) iki farklı veri madenciliği yöntemi kullanarak günışığı etkinliğine bağlı yapma aydınlatma sistemi kullanımı ile tasarım parametrelerinin arasındaki ilişkiyi tanımlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada saydamlık oranı ve yön parametrelerinin yapma aydınlatma kullanım süresinin belirlenmesinde önemli bir etkisi olduğu belirtilerek, karar ağacı modeli ile tasarım parametrelerinin aldığı değerlere bağlı olarak standart çerçevesinde tanımlanan az, orta ve yüksek yoğunluklu yapma aydınlatma kullanım sürelerinin ofis mekanı özelinde belirlenmesine ilişkin bir yaklaşım önerilmiştir (Ouf vd., 2019).

Ahmed, Otreba, vd. (2011) veri madenciliği yönteminin karar verme süreçlerinde kullanılabilirliğini ve iç mekan günışığı değerlendirme metotlarının uygulanabilirliğinin yararlarını ortaya koymayı amaçladıkları çalışma kapsamında, veri madenciliği yönteminin diğer analitik yöntemlerden daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu belirlemişlerdir. Karar ağacı yöntemi kullanılarak gök koşullarına ve tasarım kriterlerine bağlı olarak iç mekanda gerçekleşen ‘Günışığı Faktörü (DF)’ değerinin belirlenmesine ilişkin bir model geliştirilen çalışmada, farklı günışığı tasarım kriterleri kullanılarak bina performansının değerlendirilmesinin hızlandırılması için sınıflandırma modellemesi kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Ahmed, Otreba, vd., 2011).

Xia & Li (2023) tarafından yapılan çalışmada ise Çin'nin Hangzhou bölgesindeki 1680 konut bloğundan elde edilen veriler analiz edilerek, meso (orta) ölçekli kentsel morfolojinin iç ve dış mekan aydınlatma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Veri madenciliği yaklaşımı ile günışığı performansı üzerinde etkisi bulunan önemli kentsel morfoloji göstergeleri çıkarılmış ve bu göstergeler üzerinden aydınlatma performansı analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bina yoğunluğu ve taban alanı oranı (Floor Area Ratio) gibi kriterlerin hem iç hem de dış mekan aydınlatma performansını etkilediğini göstermiştir. Önerilen tasarım stratejileri ise bina kütlelerinin alana yayılarak optimize edilmesi gerektiğine işaret etmiştir (Xia & Li, 2023).

Veri madenciliği yönteminin enerji etkin aydınlatma tasarımı çerçevesinde ele alındığı çalışmalara bakıldığında ise Motta Cabrera & Zareipour (2013) okul tipolojisi üzerinden aydınlatma enerji tüketimi ve sınıf doluluk verileri arasındaki ilişkisel kuralları belirlemek ve enerji israfına yönelik nedenleri keşfetmek için veri madenciliğini kritik bir araç olarak kullanmışlardır. Bir yıl boyunca üç farklı sınıftan toplanan veriler üzerinden Apriori algoritması uygulanarak enerji israfına dair ilişkisel kurallar çıkarılmıştır. Çıkarılan kurallar sayesinde sınıfların hangi zamanlarda ve koşullarda aydınlatmaya yönelik gereksiz enerji tüketimi yaptıkları belirlenmiş, bu israfı önlemek için öneriler geliştirilmiştir (Motta Cabrera & Zareipour, 2013).

Ouf vd. (2019) yaptıkları çalışma kapsamında, kullanıcı davranışlarını ve günışığı performansını dikkate alan yapma aydınlatma sistemi kullanım programları üreterek, aydınlatma enerji tüketimini minimize etmeye yönelik kritik tasarım değişkenlerini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda çalışmada iki farklı veri madenciliği modeli uygulanarak yapma aydınlatma sistemi kullanım programı üzerinde aydınlatma enerji tüketimini minimize edecek en etkili tasarım parametreleri pencere boyutu (WWR) ve bina yönelimi olarak belirlenmiştir (Ouf vd., 2019).

Son yıllarda gelişen teknoloji sonucu veri madenciliği yaklaşımı makine öğrenimi modelleri kullanılarak gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda günışığı performansına dayalı kullanıcı görsel konforu ve bina enerji tüketimi tahminlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla makine öğrenimi modellerinin çalışmalarda daha çok tercih edildiği görülmektedir. Şekil 3.4 (b) ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik çalışmalarda veri madenciliği yaklaşımının makine öğrenimi ile birlikte kullanımının yaygın bir şekilde uygulandığı konuları göstermektedir. Bu kapsamda Ayoub (2020) tarafından yapılan literatür araştırmasında makine öğrenimi algoritmalarının en

çok iç mekan günışığı etkinliğinin tahmin edilmesi amacıyla kullanıldığı, ek olarak iç mekan görsel konfor koşulları, gök modeli, güneş kontrol elemanı performansı, HDR fotoğraf üzerinden aydınlık düzeyinin belirlenmesi ve yapma aydınlatma sisteminin tahmin edilmesi konularında kullanıldığı görülmektedir (Ayoub, 2020). Benzer şekilde, Ngarambe vd. (2022) makine öğrenimi algoritmalarının genellikle iç mekan günışığı performansının belirlenmesi ve aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanıcı davranışının tahmin edilmesine yönelik yapılan günışığı çalışmalarında kullanıldığını ortaya koymuştur (Ngarambe vd., 2022).

3.4 Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımına Yönelik Veri Madenciliği Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Hedefe yönelik uygun veri madenciliği yönteminin ve algoritmasının seçimi karar destek modelinin oluşturulmasında oldukça kritik bir öneme sahiptir. Yöntemin seçiminde, amaçlanan çıktı ile birlikte veri setinin yapısı önemli olmaktadır. Tasarım sürecinin bilginin depolandığı, organize edildiği, üzerinde işlem yapıp kararların alındığı sistematik bir karar verme süreci olduğu dikkate alındığında (Palabıyık, 2011); görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımı probleminin çözümünde bilgisayar teknolojisi ile birlikte kullanımı yaygınlaşan veri madenciliği yöntemi kullanılarak karar örüntüsünün geliştirilmesi, optimal tasarım kararının verilmesinde önemli bir yardımcı olmaktadır. Özellikle elde edilecek karar modelinin birçok tasarım çözümüne cevap verebilmesi için erken tasarım aşamasından itibaren çeşitli tasarım değişkenlerinin dikkate alınmasını sağlayan parametrik yaklaşım sonucu elde edilen çok sayıdaki verinin bir tasarım bilgisine dönüştürülmesinde veri madenciliği karar vericiler için bir kolaylık sunmaktadır.

Bölüm 3.2’de belirtilen veri madenciliği yöntemlerinden çalışmanın amacı olan pek çok görsel konfor kriterine bağlı olarak doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi ve gelecekte ele alınan tasarım parametrelerine ilişkin farklı değerler ile çok işlevli yaşama mekanının doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı görsel konfor sınıfının tahmin edilmesi problemine cevaben sınıflandırma yöntemlerinin en uygun çözümü vereceği düşünülmektedir. Sınıflandırma yöntemleri içerisinde kullanılan sınıflandırma modelleri değerlendirildiğinde ise Karar Ağaçları (DT) yüksek doğruluk düzeyiyle öne çıkarken (Ahmed, Korres, vd., 2011; Coşkun & Baykal, 2011; Ha vd., 2012; Mazurek & Bąk-Patyna, 2023; Tan vd., 2023), aynı zamanda tahmini bilgileri

kişiler tarafından anlaşılabilir kurallar biçiminde ortaya çıkarması bakımından oldukça avantajlı olmaktadır (Ahmed, Otreba, vd., 2011). Bu özellikleri nedeniyle çeşitli standart ve tasarım rehberlerine entegre edilmeleri kolay olmaktadır (Ouf vd., 2019). Diğer yandan Yapay Sinir Ağları (ANN) özellikle genişliği aydınlık düzeyi gibi nümerik değerlerin tahmin edilmesinde Karar Ağaçları (DT), Rastgele Orman (RF) ve Destek Vektör Makinası (SVM) modellerine göre daha yüksek doğruluk değerleri sağladığı görülmektedir (Arbab vd., 2021; Canlı vd., 2021).

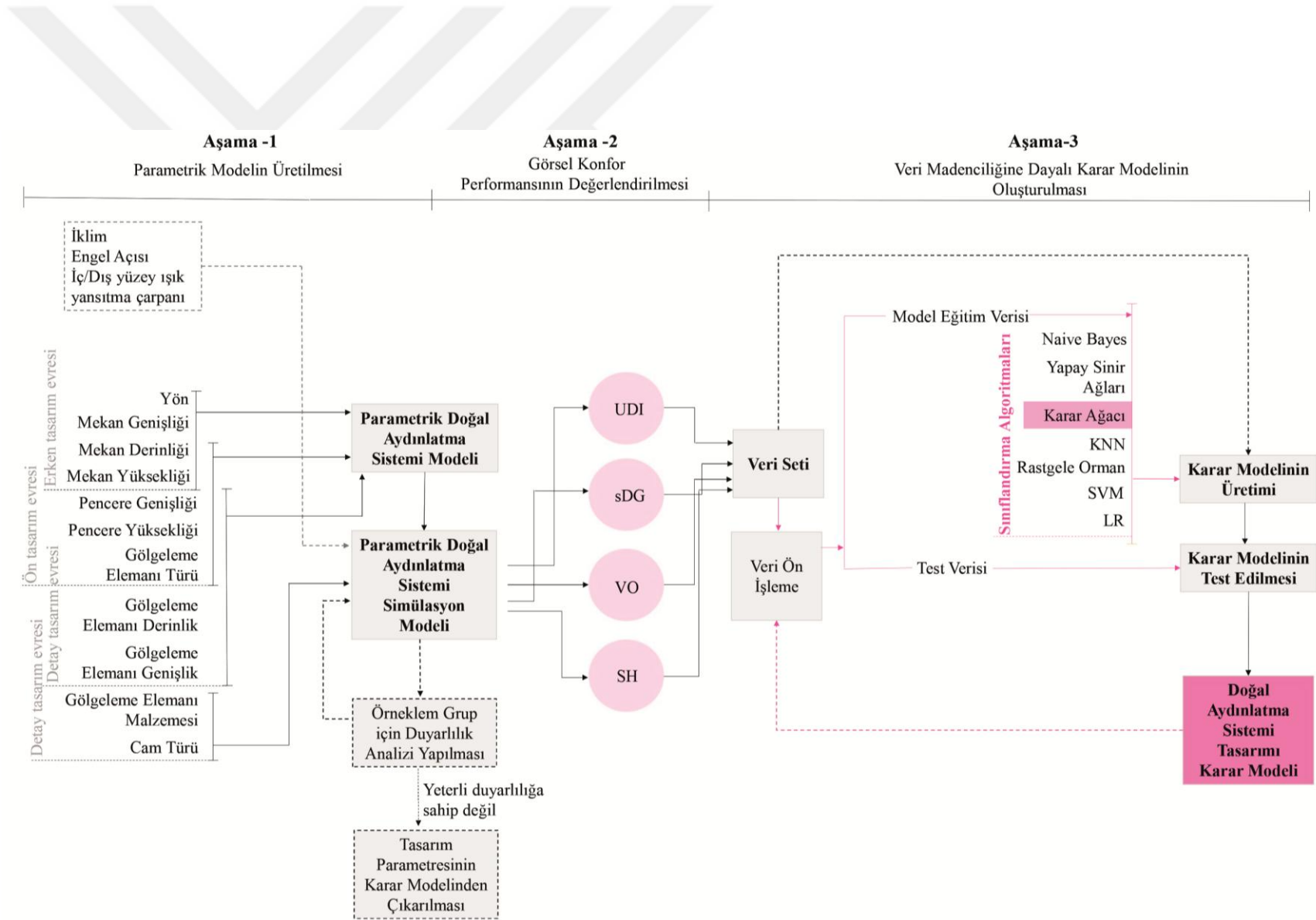
Ancak Karar Ağaçları kolay uygulanabilirlikleri, okunabilirlikleri ve tasarım rehberlerine entegre edilebilme özellikleri ile birlikte, modele ait çıktıların doğruluk düzeyleri göz önüne alındığında sınıflandırma yöntemleri içerisinde çok işlevli yaşama mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modelinin geliştirilmesine yönelik en uygun veri madenciliği modeli olarak değerlendirilmektedir. Böylece çalışmanın özgün değerini ifade eden çalışmanın çıktısı olarak belirli amaç doğrultusunda karar verme yaklaşımının gerçekleştirilmesinin yanı sıra, görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımı performansının belirlenmesine yönelik tahmin modeli oluşturulabilecektir.

4. KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA YÖNELİK BİR KARAR MODELİ ÖNERİSİ

Geliştirilen tez çalışması kapsamında günümüzde konut binalarında kişilerin çalışma eylemi için en çok kullandığı (Aslanoğlu, Pracki, vd., 2021), hibrit yaşamın gerçekleştiği yaşama mekanı odak alınarak, konut mekanlarında görsel konfor koşullarının günışığı ile sağlanmasına imkan veren doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik bir karar modeli önerilmektedir. Böylece kullanıcı görsel sağlığını, memnuniyetini ve üretkenliğini destekleyen, aynı zamanda aydınlatmaya yönelik enerji tüketimi ihtiyacının azaltılmasına katkı sağlayabilecek doğal aydınlatma sistemi tasarım kararlarının alınması hedeflenmektedir. Karar modelinin geliştirilmesine yönelik çalışmanın yöntemi 3 ana aşamadan oluşmaktadır;

- 1-) Doğal aydınlatma sistemine yönelik parametrik modelin üretilmesi,
- 2-) Doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının değerlendirilmesi,
- 3-) Veri madenciliği yöntemine dayalı karar ağacı modelinin oluşturulması.

Şekil 4.1’de veri madenciliğine dayalı doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik geliştirilen karar modeline ait iş akış şeması verilmektedir. Önerilen karar modelinin birinci aşamasında doğal ve yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri tanımlanmakta, mimari tasarım süreçlerine dayalı olarak erken tasarım evresinden detay tasarım evresine kadar iç mekan görsel konfor koşullarına etki eden yapma çevreye ait doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri parametrik bir yaklaşım ile ele alınmaktadır. İkinci aşamada konut mekanlarında günışığına dayalı meydana gelen görsel konfor koşulları günışığı etkinliği, kamaşma, dış görüş ve güneş ışığı alımı kriterlerine dayalı olarak kapsamlı bir şekilde güvenilir simülasyon araçları ile değerlendirilmektedir. Üçüncü aşamada ise parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin görsel konfor performansına yönelik elde edilen nicel veriler veri madenciliği yaklaşımı ile analiz edilerek sınıflandırma yöntemlerinden biri olan karar ağacı yöntemi aracılığı ile doğal aydınlatma sistemine yönelik veriye dayalı tasarım bilgisi sunan bir karar modeli üretilmektedir.



Şekil 4.1 : Veri madenciliğine dayalı doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modeline ait iş-akış şeması

4.1 Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Geliştirilmesi

Doğal aydınlatma, günümüz modern binalarını sürdürülebilir yaşam alanlarına dönüştürmek için uygulanan en önemli tasarım stratejilerinden biridir (Wong, 2017). Mekanların günışığı ile aydınlatılmasına imkan sağlayan doğal aydınlatma sistemleri, erken tasarım evresinden itibaren pek çok doğal ve yapma çevreye ilişkin tasarım değişkenine bağlıdır. Bu anlamda doğal aydınlatma sistemlerinin mimari tasarım süreçleri ile entegre bir şekilde iç mekan günışığı performansına etki eden tüm tasarım değişkenlerini göz önüne alan bütüncül bir tasarım süreci doğrultusunda tasarlanması optimum performansın sağlanması adına önemli olmaktadır.

Parametrik tasarım, modern mimarlığın gerektirdiği karmaşık yapıların tasarlanmasında, sistemlerin birbiriyle ve çevreleriyle eş zamanlı etkileşimini sağlayan matematiksel eşitliklere dayalı güncel bir yaklaşımdır (Eltaweel & SU, 2017). Bu yöntem, birçok parametrenin dahil olduğu tasarım problemlerine daha doğru ve uygun tasarım sonuçlarını bulmayı mümkün kılarak mimari süreçleri optimize eder. İç mekanda sağlanan günışığı performansının, doğal ve yapma çevreye ilişkin olmak üzere birçok parametreye bağlı olduğu göz önüne alındığında; günışığının iç mekana alınmasını sağlayan doğal aydınlatma sistemlerinin tasarlanmasında erken tasarım evresinden itibaren parametrik yaklaşımdan yararlanılması, iç mekanlarda günışığı etkinliğinin artırılmasına, konforun iyileştirilmesine ve enerji verimliliğinin sağlanmasına önemli düzeyde katkıda bulunur (Eltaweel & SU, 2017).

Tez çalışması kapsamında parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin geliştirilmesi, doğal aydınlatma sistemi tasarımında etkili olan doğal ve yapma çevreye ilişkin parametrelerin tanımlanması, doğal aydınlatma sistemi performansına etki eden tasarım değişkenlerinin belirlenmesi ve parametrik doğal aydınlatma sistemi alternatiflerinin üretilmesi alt adımlarından oluşmaktadır. Birbirine bağlantılı olarak ilerleyen adımlar doğrultusunda öncelikle Bölüm 2.2’de detaylı olarak açıklanan ve model kapsamında ele alınan doğal ve yapma çevreye ilişkin iç mekan günışığı performansına etki eden tasarım parametreleri tanımlanmaktadır. Daha sonra duyarlılık analizi yöntemi ile ele alınan tasarım parametrelerinin konut mekanında görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik olarak doğal aydınlatma sistemi performansına etki dereceleri belirlenmektedir. Duyarlılık analizi sonucu doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansı üzerinde etki düzeyi yüksek olan tasarım parametreleri doğal aydınlatma

sistemi modeline tanımlanarak ele alınan konut mekanı için çeşitli modelleme araçlarının kullanımı ile doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifleri parametrik olarak üretilmektedir.

4.1.1 Doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım parametrelerinin tanımlanması

Doğal çevreye ilişkin tasarım parametreleri tasarımcının kontrolü dışında olan parametreleri ifade ederken, yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri ise tamamen tasarımcının kontrolünde olan tasarım parametreleri olarak tanımlanmaktadır. Önerilen model kapsamında doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansını etkileyen doğal ve yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri Bölüm 2.2’de verilen bilgiler ışığında belirlenmiştir.

4.1.1.1 Doğal çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması

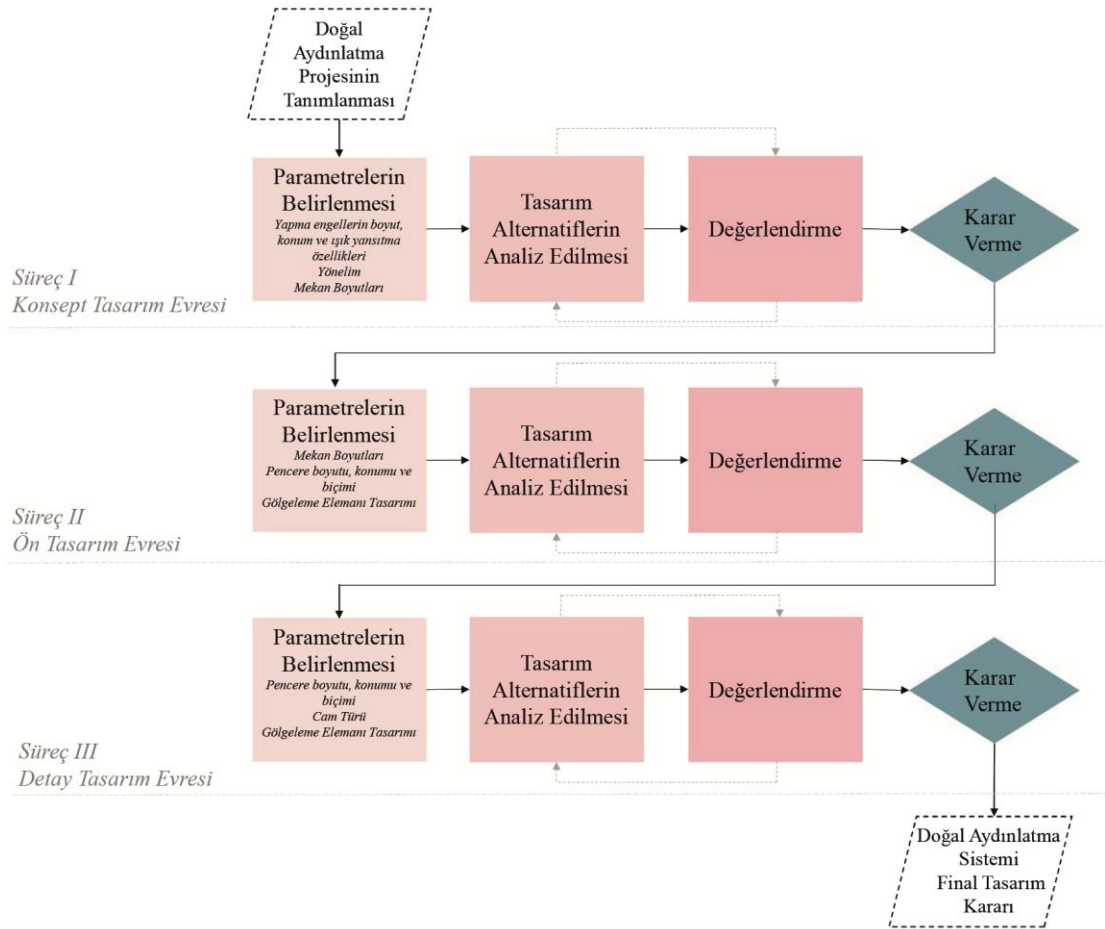
Kara modelinin oluşturulmasında tasarımcının kontrolünde olmayan doğal çevreye ilişkin göğün parıltı dağılımı ve aydınlığı, güneşin pozisyonu, parıltı ve aydınlık etkisini belirleyen iklimsel özellikler ile doğal yer örtüsünün ışık yansıtma özellikleri ve doğal engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri sabit parametreler olarak kabul edilmiştir.

4.1.1.2 Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması

Bina tasarımında önemli bir bileşen olan günışığının içeri alınmasına yönelik oluşturulan doğal aydınlatma sistemi tasarım stratejileri ile mimari tasarım stratejileri birlikte ilerleyen bütünleşik tasarım kararlarıdır. Bu doğrultuda iç mekan görsel konfor koşulları üzerinde etkili olan yapma çevreye ait doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin erken tasarım evresinden itibaren sistematik bir şekilde ele alınması ile final tasarım kararının verilmesinde kapsamlı bir doğal aydınlatma sistemi tasarım yaklaşımı geliştirilmesi önemlidir.

Mimari ve görsel çevre tasarımları birbirini takip eden yinelemeli bir süreç izlerler (TSE, 2021). Bu doğrultuda geliştirilen karar modeli kapsamında mimari tasarım süreci özelinde ‘*Bilgi toplama-Analiz-Sentez-Değerlendirme-Karar*’ olarak aşamalandırılan karar verme süreci (Palabıyık, 2011), doğal aydınlatma sistemi tasarımı özelinde Şekil 4.2’de verildiği gibi kurgulanmaktadır. Böylece bina tasarım süreçleri bağlamında erken tasarım evresinden detay tasarım evresine kadar doğal aydınlatma sistemi

tasarım problemine yönelik her bir evrede ele alınan farklı tasarım parametrelerine ilişkin kararların bir sonraki süreçte bir girdi olacak şekilde tasarım kararına yön vermesi amaçlanmaktadır.



Şekil 4.2 : Bina tasarım süreçleri bağlamında doğal aydınlatma sistemi tasarımı kararlarının verilme süreci (Palabıyık (2011) 'a ait görsel üzerinden uyarlanmıştır.)

Mimari tasarım süreçleri ile bağlantılı olarak doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen yapma çevre tasarım parametreleri, bina tasarım süreçlerinde farklı biçimlerde ele alınmaktadır;

- *Erken/Konsept Tasarım Evresi:* Bu evrede doğal aydınlatma sistemi tasarımı, bina boyutları, mekansal oranlar ve açıklıklara ilişkin alınan temel kararlar ile ilişkilidir ve bu kararlardan etkilenir (IESNA, 2011). Aynı zamanda çevre yapışmasına göre bina yönelimi ve formu değerlendirilir (Brophy & Lewis, 2011).
- *Ön/Şematik Tasarım Evresi:* Bir binanın tasarımı geliştirilirken doğal aydınlatma tasarım stratejileri, yapının her bir bölümü için ayrı ayrı düşünülmelidir.

Bu anlamda cephe ve iç mekan tasarımı, doğal aydınlatma sistemlerinin seçimi ve projeye entegre edilmesi, aynı zamanda bu sistemlerin işletilmesi (doğal aydınlatma sistemi ile entegre şekilde oluşturulan yapma aydınlatma sistemi de dahil olmak üzere) gibi özelleşen tasarımlar, binanın günışığı ile aydınlatma tasarım planı ile ilgili olan ön tasarım aşamasında gerçekleştirilmektedir (IESNA, 2011). Bu evrede verilen kararlar günışığının iç mekandaki dağılımı ve iç mekan ile dış mekanın görsel ilişkisine yönelik olmaktadır (TSE, 2021). Bu anlamda yapının formu ve planına ilişkin günışığı etkinliği bakımından optimizasyonu yapılmalıdır. Güneş kontrolüne ilişkin ilk kararlar verilmelidir (Brophy & Lewis, 2011).

- *Kesin/Detay Tasarım Evresi:* Bina yönelimi, formu, mekansal büyüklükler ve açıklık oranlarına ilişkin verilen kararlar analiz edilerek kesinleştirilir. Cephe oranları ve var ise dış ortam gölgeleme elemanının tasarımı netleştirilir (Brophy & Lewis, 2011). Doğal aydınlatma sistemini meydana getiren bileşenlere yönelik malzeme ve ürün seçimi yapının günışığı ile aydınlatma stratejileri tarafından etkilenir (IESNA, 2011). Açıklıklara yönelik geometrik, optik ve termodinamik özellikler, iç mekan ve güneş kontrol elemanı yüzeylerine ait özellikler bu evrede sonuçlandırılır (TSE, 2021). Bu anlamda doğal aydınlatma sistemine yönelik son detaylar yapım planı ile birlikte detay tasarım evresinde şekillenmektedir.

Farklı mimari tasarım süreçlerine yönelik belirtilen doğal aydınlatma sistemi tasarımı amaçları doğrultusunda, yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin bina süreçleri bağlamında Çizelge 4.1’de ifade edildiği gibi doğal aydınlatma sistemi karar modeline dahil edilmektedir.

Çizelge 4.1 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin bina tasarım süreçleri kapsamında tanımlanması.

Erken/Konsept Tasarım Evresi	Ön/Şematik Tasarım Evresi	Kesin/Detay Tasarım Evresi
1-Yapma engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri	1-Mekan Boyutları	1-Pencere Boyut, Konum ve Biçimi
2-Yön	2-Pencere Boyutları	2-Cam Türü
3-Mekan Boyutları	3-Pencerenin Konumu	3-Gölgeleme Elemanı
	4-Pencerenin Biçimi	Tasarımı
	5-Gölgeleme Elemanı	
	Tasarımı	

4.1.2 Doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım parametrelerinin duyarlılık analizi ile belirlenmesi

Duyarlılık analizi, her bir tasarım değişkeninin tasarım çözümünün toplam performansına katkısını belirlemek için uygulanan bir yöntemdir (Heiselberg vd., 2009). Bu yöntem, binaların görsel konfor (Primanti vd., 2020; Singh vd., 2022), ısısal konfor (Baba vd., 2023) ve enerji tüketimi (Hosney Lila & Lannon, 2017) bakımından performanslarının değerlendirilmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında Hopfe ve Hansen tarafından duyarlılık/belirsizlik analizinin dört önemli avantajından biri olarak tanımlanan modele ilişkin girdi parametrelerinin taranmasının gerçekleştirilmesi ile modelin basitleştirilmesini sağlaması (Hopfe & Hensen, 2011) bakımından duyarlılık analizi çalışmanın yöntemine dahil edilmiştir. Bu doğrultuda erken tasarım evresinden detay tasarım evresine kadar doğal aydınlatma sistemi tasarımına (dolayısı ile iç mekan günışığı performansına) etki eden parametrelerin çok işlevli konut mekanında meydana gelen görsel konfor koşullarına etki düzeyleri belirlenerek tasarım parametrelerinin karar modeli kapsamına dahil edilip edilmeyeceği, model kapsamına alınacaksa değer aralıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

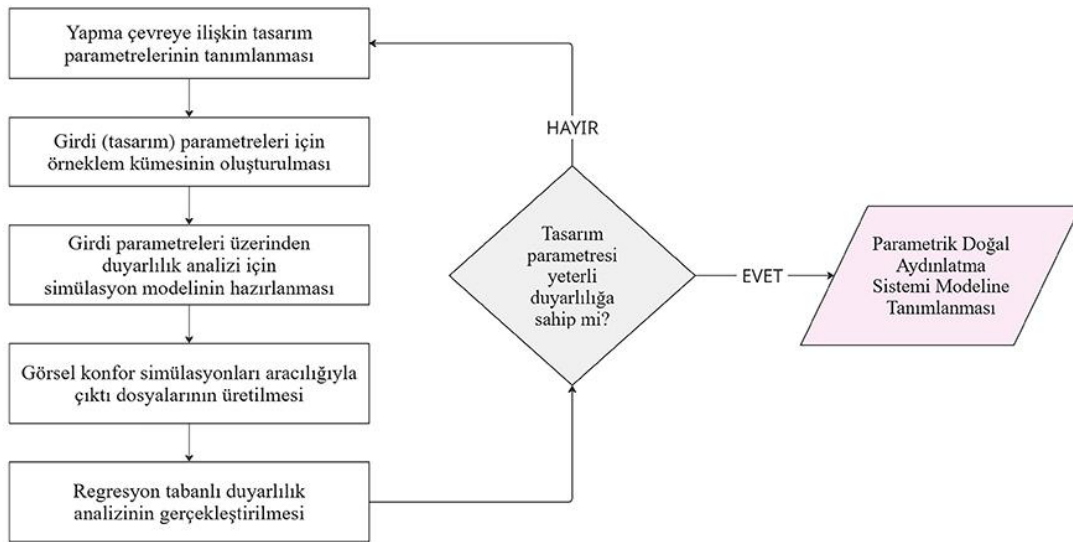
Lilburne ve Tarantola duyarlılık analizinin gerçekleştirilme aşamalarını 6 ana adımda tanımlamışlardır (Lilburne & Tarantola, 2009). Bunlar;

- Araştırmanın amacını tanımlamak ve hedef fonksiyonu belirlemek,
- İlgilenilen girdileri seçmek,
- Girdilerle ilişkili belirsizlikleri belirlemek -örneğin değişken aralığı-,
- Bir örnekleme stratejisi seçmek ve belirsizliklerine göre girdiler için örnek senaryolar oluşturmak,
- Örnek senaryolarının tanımlanan hedef fonksiyonları için çıktılarını elde etmek,
- Girdilerin önem sıralamasını elde etmek için bir duyarlılık analizi gerçekleştirmek

olarak sıralanmaktadır. Belirtilen adımlar ışığında önerilen doğal aydınlatma sistemi karar modelinin geliştirilmesi için modeli sadeleştirmek, bu anlamda hesaplama süresini azaltmak amacıyla Çizelge 4.1’de tanımlanan doğal aydınlatma sistemi tasarımı

parametrelerinin (girdi değişkenleri) görsel konfor performans ölçütleri (çıktı değişkenleri) üzerindeki etkisi duyarlılık analizi aracılığı ile Şekil 4.3'te belirtilen iş-akış şeması doğrultusunda belirlenmiştir.

Oluşturulan iş-akış grafiğine göre Bölüm 4.1.1'de açıklandığı gibi öncelikle yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri tanımlanmaktadır. Daha sonra n sayıdaki girdi parametresinin aldığı değerler üzerinden bir örneklem kümesi oluşturulmaktadır. Girdi parametrelerine yönelik örneklem değişkenlerin ve her birine ait aralıkların seçilmesini takiben hedef değişkenlere ait simülasyon sonuçlarının elde edilmesi adına 3B simülasyon modeli oluşturulmaktadır. Son olarak örneklem kümesini oluşturulan girdi dosyaları ve görsel konfor simülasyonları aracılığı ile hedef fonksiyonlar için doğal aydınlatma simülasyonları sonucunda elde edilen çıktı dosyaları üzerinden regresyon tabanlı duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.3 : Çalışma kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizine yönelik iş akış grafiği

4.1.2.1 Örneklem kümesinin oluşturulması

Duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için n sayıdaki girdi değişkeni üzerinden bir örneklem kümesinin oluşturulması gerekmektedir. Duyarlılık analizinde girdilerin belirsizliklerinin bütün modele yayılması- duyarlılık analizinin modelin tamamı için geçerli olması- amacıyla analitik, yaklaşımsal ve nümerik olmak üzere çeşitli örnekleme teknikleri bulunmaktadır (Pang vd., 2020). Bina performans analizine yönelik en çok kullanılan teknikler nümerik teknikler olmaktadır (Pang vd., 2020). Örnekleme tabanlı

yöntemler olan nümerik yöntemler, örneklemelerin rastgele seçilerek oluşturulduğu *olasılıksal* (probability) ve örneklem belirlenmesi için belirli bir hedef doğrultusunda oluşturulduğu *olasılıksal olmayan* (non-probability) yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Önerilen model kapsamında doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine ait değerlerin çeşitli kombinasyonları sonucu oluşan tasarım alternatifleri içerisinde örneklem grubu seçimi olasılıksal olmayan örneklem seçim tekniklerinden *amaca yönelik/yargısal* örneklem (Purposive or judgmental sampling) tekniği ile gerçekleştirilmektedir. İlgili örneklem tekniği ile diğer seçeneklerden elde edilemeyen önemli bilgileri sağlamak için belirli ortamlardaki kişiler, olaylar veya senaryolar kasten seçilmektedir (Taherdoost, 2016). Bu doğrultuda çalışmada her bir tasarım parametresi için çeşitli sınırlamalara dayalı, amaçsal olarak belirlenen değer aralıkları tanımlanarak duyarlılık analizi için doğal aydınlatma sistemi tasarımı örneklem kümesi belirlenmiştir.

4.1.2.2 Tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Örneklem kümesinin belirlenmesini takiben doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin görsel konfor ölçütleri üzerindeki etkisi simülasyon yöntemi aracılığı ile belirlenmektedir. Simülasyon modeli Robert McNeel & Associates tarafından geliştirilen 3 boyutlu modelleme programı *Rhinoceros* aracılığı ile oluşturulmaktadır. Doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak konut mekanında gerçekleşen görsel konfor koşulları Solemma grubu tarafından geliştirilen *Climate Studio* simülasyon aracı ile değerlendirilmektedir (URL-1, t.y.). Çizelge 4.1’de tanımlanan doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin her birinin çalışma kapsamında belirlenen dört farklı görsel konfor ölçütü üzerindeki etkisi sütun grafiği aracılığı ile analiz edilmektedir.

4.1.2.3 Regresyon tabanlı duyarlılık analizi yapılması

Duyarlılık analizi yöntemleri genel olarak lokal ve global yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Pang vd., 2020). Lokal duyarlılık analizi yöntemi doğrusal (linear) modellerde tek bir değişkenin çıktı değerleri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Hamby, 1994). Daha az simülasyon gerektirmesi, dolayısıyla kolay uygulanabilir olmasına karşın doğrusal olmayan bina sistemleri nedeni ile bina performans analizleri için önerilmemektedir (Pang vd., 2020). Örneklem tabanlı bir model olan global duyarlılık analizi girdi parametreleri arasındaki ilişkileri de dikkate alması ve doğrusal olmayan ilişkilerde de anlamlı bir bilgi vermesi bakımından daha güvenilir

olarak değerlendirilmektedir (Ş. Solmaz, 2015). Global duyarlılık analizi temelde regresyon, görüntüleme tabanlı, varyans tabanlı ve meta-modele dayalı yöntemler olmak üzere 4 ana yonteme dayalı olarak yapılmaktadır (Wei, 2013). Bunlardan regresyon tabanlı yöntemler hızlı hesaplanabilmeleri ve kolay anlaşılır olmaları bakımından bina performans analizi çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntem olmaktadır (Ş. Solmaz, 2015).

Doğrusal ve monotonik modeller (aldıkları değerler belirli bir sıraya göre artan veya azalan modeller) için lokal duyarlılık analizi yöntemi ve regresyon/korelasyon tabanlı yöntemler (PEAR, SRC, PCC) yeterli olurken, model monotonik ancak doğrusal değilse, regresyon/korelasyon tabanlı yöntemlerin sıra dönüşümlü olanlarının (SSRC, PRCC) kullanılması gerekmektedir (Pang vd., 2020). Bu anlamda önerilen modelde girdi parametrelerinin (tasarım parametreleri) çıktı parametreleri (görsel konfor performans göstergeleri) üzerindeki etkilerini belirlemek için Global Duyarlılık Analizi yöntemlerinden biri olan *Regresyon Tabanlı Duyarlılık Analizi* yöntemi kullanılmaktadır.

Herhangi bir girdinin duyarlılık derecesi monotonik ve doğrusal modeller için *Standartlaştırılmış Regresyon Katsayısı (SRC)*'na dayalı olarak belirlenir. Eşitlik 4.1 doğrusal bir modeldeki girdi ile çıktı arasındaki ilişkinin formülüzasyonunu göstermektedir. Eşitlikte y_i modeldeki çıktı değişkenini, b_j girdi değişkenine ait katsayıyı, x_{ij} örneklem matrisindeki değeri ve E_i hata payını belirtmektedir. Regresyon denkleminin başarısını belirlemede kullanılan R^2 (Belirleme Katsayısı) modelin doğrusallığı hakkında bilgi veren en önemli değişkendir. Belirleme katsayısı ne kadar yüksek olursa modelin o kadar doğrusal olduğundan bahsedilebilir. Monotonik ancak doğrusal olmayan modeller için ise *Standartlaştırılmış Sıralı Regresyon Katsayısı (SSRC)* aracılığı ile ilgili parametreye ait duyarlılık düzeyi hesaplanmaktadır (Pang vd., 2020). SSRC hesaplanırken SRC katsayılarının en küçük değeri birinci sıraya konulur ve geri kalan değerler de örneklem sayısına kadar sıralanır (Joint Research Centre-European Commission, 2008). Bu doğrultuda önerilen model kapsamında doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin her biri için duyarlılık düzeyinin belirlenmesi için öncelikle modelin doğrusal olup olmadığı belirleme katsayısına (R^2) bağlı olarak analiz edilmiştir. Doğrusal olan modeller için tasarım parametrelerine yönelik Excel programı aracılığı ile Eşitlik 4.1'de verilen formülasyona dayalı Standartlaştırılmış Regresyon Katsayısı (SRC) katsayısı hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan modeller için ise Standartlaştırılmış Sıralı

Regresyon Katsayısı (SSRC) Phyton programlama diline dayalı *NumPY* ve *Pandas* programları aracılığı ile belirlenmiştir. Son olarak yeterli duyarlılık düzeyine sahip olan değişkenler direkt olarak parametrik doğal aydınlatma sistemi modeline tanımlanırken, istenilen duyarlılık düzeyine sahip olmayan parametreler model kapsamından çıkartılmış veya değer aralıkları artırılarak modele etkisi azaltılmıştır. SRC ve SRRC katsayıları modelden bağımsız olmamaları nedeni sonuçlar geliştirilen simülasyon modeli ile ilişkili olarak belirlenmiştir.

$$y_i = b_0 + \sum_j^k b_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (4.1)$$

y_i : Modele ait çıktı değerleri

b_j : Bulunması gereken katsayılar

x_{ij} : Örneklem matrisindeki girdi parametrelerine ait değerler

ε_i : Hata payı

4.1.3 Parametrik doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin üretilmesi

Modelin bu aşamasında parametrik doğal aydınlatma sistemi alternatiflerinin üretilmesi için sırasıyla parametrik modelin oluşturulması, parametrik simülasyon modelinin oluşturulması ve tasarım alternatiflerinin üretilmesi adımları gerçekleştirilmektedir.

4.1.3.1 Parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin oluşturulması

Çalışmada konu edinilen konut mekanı ve doğal aydınlatma sistemi, yapma ve doğal çevreye ilişkin tasarım değişkenlerinin alacağı değerlerin parametrik olarak modele tanımlanması sonucu Rhinoceros üç boyutlu modelleme programının bir eklentisi olarak çalışan Grasshopper programı aracılığı ile parametrik olarak modellenmektedir. Parametrik yazılımlar tüm tasarım öğelerini tek tek veya entegre olarak kontrol edebilmesi ve değiştirebilmesi bakımından ön plana çıkmaktadır. Grasshopper, parametrik grafiksel algoritma yazılım programları arasında en yaygın kullanılan programdır. İlgili program, aynı simülasyon yaklaşımıyla farklı disiplinler arasındaki ilişkiyi kolaylaştırmak için birden fazla eklentiye bağlanacak şekilde geliştirilmiştir (Eltaweel & SU, 2017). Çalışma mantığı her bir komutun matematiksel işlemler ile tanımlanmasından gelmektedir. Böylece bütün bileşenler parametrize edilebilir hale gelmektedir.

Çalışma kapsamında modellenen konut mekanının, mevcut ya da yeni tasarlanacak bir binanın zemin katında ve tek bir yanal açıklığa sahip olacak şekilde konumlandığı varsayılmıştır. Ancak modelde görsel konfor koşulları farklı engel açıları altında inceleneceğinden, ilgili model binanın farklı katlarında yer alan konut mekanları için de geçerli kabul edilebilecektir. Diğer yandan tek cephede açıklık olması koşulu ile herhangi bir konut binasında yer alan köşe hacimler için oluşturulan model ve modele bağlı yapılan simülasyon sonuçları geçerli olabilecektir.

4.1.3.2 Simülasyon modelinin oluşturulması ve doğrulanması

Grasshopper arayüzü disiplinler arasındaki ilişkiyi kolaylaştırmak, dolayısıyla tek bir model üzerinde farklı simülasyonların gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla birbirine bağlanan eklentiler temelinde geliştirilmiştir. Bu doğrultuda pek çok çalışma ile günışığı ve görsel konfor analizlerine ilişkin yüksek doğruluk yüzdesi ile sonuçlar verdiği kanıtlanan Radiance ve Daysim programlarını arka planda hesaplama motorları olarak kullanan ve Grasshopper eklentisi olarak çalışan çeşitli simülasyon programları üretilmiştir. Bu kapsamda yer alan ve çalışmalarda sıklıkla kullanılan simülasyon programlarından en önemli iki tanesi Honeybee ve Ladybug programlarıdır. Ladybug programı gerçek iklim verilerinden yararlanarak tasarımın ilk aşamalarından itibaren karar verme sürecini desteklemek için Grasshopper ortamında çeşitli 2D ve 3D tasarımcı dostu etkileşimli grafikler sunar. Honeybee programı ise daha ileri seviyedeki analizleri gerçekleştirmek üzere Radiance, DAYSIM ve Energyplus hesaplama araçları ile bağlantılı bir şekilde günışığı performansına bağlı kamaşma ve aydınlatma enerji performansı analizlerini gerçekleştirmektedir (Roudsari & Pak, 2013). Diğer yandan 2020 yılında DIVA programının genişletilmiş çevresel performans analizlerinin yapılabilmesi amacıyla geliştirilmesi ve hızlandırılması sonucu Climate Studio (CS) programı geliştirilmiştir (URL-1, t.y.). Climate Studio programı arka planda yeni Radiance-based path tracing teknolojisi ve Energy Plus motorlarını kullanarak güvenilir ve hızlı bir şekilde günışığı etkinliği ve enerji sonuçlarının alınması amacıyla çıkarılmıştır. Ladybug ve Honeybee programlarından farklı olarak Climate Studio programı aynı zamanda mevcut bazı standart ve sertifikalar (EN 17037, LEED vb.) özelinde tanımlanan değerlendirme yöntemleri üzerinden hesap yaparak, tasarım alternatiflerinin ilgili standart veya sertifika kriterlerine uygunluğunun kontrol edilmesini sağlamaktadır (URL-1, t.y.).

Çalışma kapsamında parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin parametrik simülasyon modeline dönüştürülmesi ve doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının analiz edilmesi amacıyla Grasshopper programı arayüzünde çalıştırılan Climate Studio (CS) simülasyon programı kullanılmaktadır. Climate Studio programı, günışığı modelinin yine kendisinden türetilen diğer görsel konfor analiz modelleri ile kolayca entegre edilebilmesi ve model oluşturma sürecinin basitliğiyle ön plana çıkmaktadır. Ek olarak program Radiance hesaplama motoruna dayalı olarak hem iklime dayalı günışığı performansının değerlendirilmesi (Santos vd., 2021), hem de günışığı sebebi ile gerçekleşen kamaşma düzeylerinin analiz edilmesi bakımından (De Luca vd., 2022) güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Ek olarak CIE Test Case üzerinden özellikle gök bileşenine bağlı elde edilen aydınlık düzeyi ve gök ve dış yansımış bileşenin etkisine yönelik sonuçlarının doğruluğu belirlenmiştir (Aguilar-Carrasco vd., 2023). Bu doğrultuda ele alınan konut mekanına yönelik doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı görsel konfor analizlerinin yapılabilmesi amacıyla Grasshopper programı arayüzünde oluşturulan parametrik model, Climate Studio (CS) programı eklentisi kullanılarak *günışığı simülasyon modeline* dönüştürülmüştür.

Bölüm 4.2’de detaylı olarak tanımlanan görsel konfor kriterlerinin değerlendirilmesine yönelik simülasyon modeli oluşturulduktan sonra modelin kalibrasyonunun yapılması ve hesaplamaların yapıldığı simülasyon programına ait sonuçların doğrulanması gerekmektedir. Modelin kalibrasyonu elde edilecek simülasyon sonuçları ile gerçek durumda meydana gelecek koşullar arasındaki farkın daraltılmasına imkan tanır (Nazari & Matusiak, 2024). Kalibrasyon genelde manuel, diğer bir deyişle gerçek bir mekanda gerçekleşen sonuçların veya malzemelere ait özelliklerin ölçüm yöntemi ile belirlenmesi ve model sonuçları ile karşılaştırması aracılığı ile veya otomatik olarak yapılabilmektedir (Nazari & Matusiak, 2024). Ancak gerçek bir mekanın/modelin olmadığı durumda literatürde daha önceden yapılmış çalışmaların sonuçları modelin kalibrasyonu için baz alınabilir (Ş. Solmaz, 2015).

Günışığı simülasyonlarının doğrulanması, tasarım ve analizlerde simülasyonların doğruluklarını ve uygulanabilirliklerini sağlamak için gereklidir. Doğrulama üç yöntemle gerçekleştirilebilir: (a) simülasyon sonuçlarının aynı zamanda analitik (hesaplamalı) yöntem ile değerlendirilebilen aydınlatma senaryolarıyla karşılaştırılması, (b) programlar arası karşılaştırma ve (c) ölçümlerle karşılaştırma (C. Reinhart, 2019). Bunlar-

dan ilk yöntem, matematiksel formüllere dayalı analitik olarak çözülebilecek senaryolar için elde edilen hesaplamaya dayalı sonuçların simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmasıdır. İkinci yöntem farklı simülasyon programları ile elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu yöntem, analitik çözümlerin mümkün olmadığı durumlarda araştırmacıların belirli bir yazılımın endüstri tarafından kabul edilen standartlarla karşılaştırılabilir sonuçlar üretilip üretilmediğini doğrulamasına olanak sağlar (Queiroz vd., 2020). Ancak, bu yaklaşım karşılaştırılan programlardan en az birinin zaten doğrulanmış olduğunu varsayar ve modelleme kabullerindeki ve hesaplama yöntemlerindeki farklılıklar nedeniyle programlar arasında tutarsızlıklar ortaya çıkabilir. Diğer yandan simülasyon programlarının karşılaştırmalı doğrulanmasına yönelik BRE ve CIE tarafından örnek test modellerini ve sonuçlarını içeren çeşitli veri tabanları (BRE-IDMP ve CIE 171:2006 Test Cases) yayınlanmıştır (Ashdown vd., 2006; Mardaljevic, 2001). İlgili veri tabanlarında verilen test modelleri ve analiz sonuçları ile geliştirilen simülasyon modeline ait sonuçların doğruluğu test edilebilir. Üçüncü ve literatürde en çok uygulanan doğrulama yöntemi ise simülasyon sonuçlarının gerçek model üzerinden yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılmasıdır. Bu yaklaşım, fiziksel ortamlarda günışığına yönelik ölçümler yapmayı ve bunları simülasyon yazılımının çıktılarıyla karşılaştırmayı gerektirir.

Elde edilen simülasyon sonuçlarının gerçekleştirilen ölçüm değerleri veya farklı simülasyon programları ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmasına yönelik çeşitli istatistiksel modeller kullanılmaktadır. Günışığı çalışmalarında kullanılan matematiksel modeller Göreceli Hata (Relative Error), Ortalama Kare Hata Karekökü (The Root Mean Square Error) ve Ortalama Kare Hatası (Mean Square Error), olmaktadır (Mardaljevic, 2000; Nazari & Matusiak, 2024). Bunlardan günışığı sonuçlarına yönelik hesaplanan Göreceli Ortalama Kare Hata Karekökü (rRMSE) ve Göreceli Yanlılık Kare Hatası (rMBE) değerlerinin %20 ve altında olması genel olarak sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğunu ifade etmektedir (Sepúlveda, De Luca, Varjas, vd., 2022).

Çalışmada oluşturulan günışığı simülasyon modelinin doğruluğu modelin fiziksel bir mekan modeli olmaması nedeni ile Grasshopper programına eklenti olarak çalıştırılan Climate Studio ve Honeybee simülasyon araçları ile hesaplanan günışığı etkinliği sonuçlarının karşılaştırmalı değerlendirmesi ile analiz edilmektedir. İki farklı simülasyon modeli ile hesaplanan sonuçlara ait farklılık/hata oranı Göreceli Ortalama Kare Hata

Karekökü (rRMSE) ve Göreceli Ortalama Kare Hatası (rMSE) aracılığı ile belirlenmektedir. Göreceli Ortalama Kare Hata Karekökü (rRMSE) ve Göreceli Ortalama Kare Hatası (rMSE) değerlerinin N tane tahmin değeri için hesaplanmasına yönelik matematiksel modeller Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3'te verilmiştir. Formülde tahmin edilen değer *Climate Studio* programı ile görsel konfor ölçütüne yönelik elde edilen değer, ölçülen değer ise *Honeybee* programı ile aynı görsel konfor ölçütü değerine yönelik hesaplanan değer olarak tanımlanmaktadır.

$$MBE = 100 \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{Tahmin\ edilen\ değer_i - \ddot{O}l\ddot{c}\ddot{u}len\ değer_i}{\ddot{O}l\ddot{c}\ddot{u}len\ değer_i} \quad (4.2)$$

$$RMSE = 100 \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{Tahmin\ edilen\ değer_i - \ddot{O}l\ddot{c}\ddot{u}len\ değer_i}{\ddot{O}l\ddot{c}\ddot{u}len\ değer_i} \right)^2} \quad (4.3)$$

i = Analiz noktası veya doğrultusu

4.1.3.3 Doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin üretilmesi

Doğal aydınlatma sistemi tasarım senaryoları, iç mekan görsel konfor düzeyine, dolayısıyla doğal aydınlatma sistemi tasarımına etki eden tasarım parametrelerine yönelik tanımlanan değerlerin çaprazlanması sonucu belirlenmektedir. Bu doğrultuda Çizelge 4.1'de tanımlanan doğal aydınlatma sistemi tasarım değişkenleri *Rhinoceros 3B* programına eklenti olarak çalıştırılan *Grasshopper* parametrik modelleme aracı ile belirlenen değer aralıkları için birer parametre olarak tanımlanmaktadır. Her bir değişkenin biribiri ile bağlantılı ve parametrik olarak tanımlanan değerleri alması sonucu doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifleri üretilmektedir.

4.2 Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Görsel Konfor Performansı Bakımından Değerlendirilmesi

Doğal aydınlatma, insanların görsel, görsel olmayan, psikolojik ve bilişsel gereksinimlerini bütüncül bir şekilde karşılayan doğal ışığın kontrollü bir şekilde iç mekana alınmasıdır (Altomonte, 2009; Ayoub, 2019a). Bu doğrultuda doğal aydınlatma sistemlerinin, iç mekanda kullanıma bağlı olarak ortaya çıkan görsel konfor gereksinimlerini

günüşiği ile karşılaması beklenmektedir. Geliştirilen modelde doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor bakımından performansı aşağıda belirtilen 3 temel adım doğrultusunda değerlendirilmektedir;

- Ele alınan mekanın kullanımına bağlı görsel eylemlerin tanımlanması ve kullanıcıların görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesi
- Belirlenen görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması amacıyla doğal aydınlatma sistemi bağlı görsel konfor koşullarının ölçütler aracılığı ile ortaya konması
- Görsel konfor ölçütlerine dayalı doğal aydınlatma sistemi performansının görsel eylem önceliğine bağlı olarak sınıflandırılması

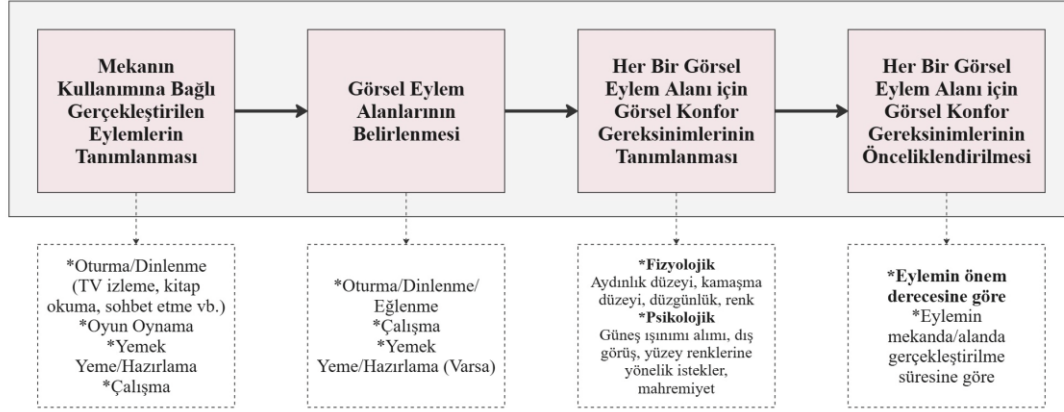
Tez çalışmasının yaklaşımı gereği farklı kullanım biçimlerine sahip mekanlarda çeşitli görsel eylem alanları tanımlanarak, gerçekleştirilen görsel eyleme paralel görsel gereksinimlerin belirlenmesi ve bu gereksinimlerin kullanıcı görsel konfor ihtiyacına bağlı olarak önceliklendirmesine dayalı bir performans değerlendirmesi gerçekleştirilmektedir. Böylece çalışmada ele alınan yaşama mekanı gibi birden fazla kullanım amacına sahip mekanlarda gerçekleştirilen her bir görsel eyleme yönelik görsel konfor gereksinimini karşılayan doğal aydınlatma sistemleri tasarlanabilmektedir.

4.2.1 Ele alınan mekanda eyleme bağlı görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesi

Herhangi bir aydınlatma sistemine yönelik tasarım aşamasına geçilmeden önce, kullanıcıların görsel gereksinimlerinin doğru ve kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi aydınlatma sisteminin yeterli bir performans göstermesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Kullanıcı ile doğrudan bir etkileşimi gerektiren bu analiz sırasıyla ele alınan mekanda kullanım biçimlerinin tanımlanması, kullanım biçimlerine bağlı olarak gerçekleştirilen görsel eylemlere ait alanların ve gereksinimlerin belirlenmesi, ve görsel eylem gereksinimlerinin önceliklendirilmesi adımlarının izlenmesi ile gerçekleştirilmektedir (TSE, 2021).

Giderek artan kullanım biçimi ve çok işlevli konfor gereksinimi göz önünde bulundurulduğunda, tez çalışması kapsamında doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı karar destek modelinin geliştirilmesi amacıyla günümüzde yaşama eylemi ile birlikte çalışma eyleminin en çok gerçekleştirildiği (Aslanoğlu, Kazak, vd., 2021; Vasquez,

Rupp, vd., 2022) ve dolayısı ile görsel konfor ihtiyaçlarının farklılaştığı tip bir yaşama mekanı ele alınmaktadır. Şekil 4.4 çok işlevli mekanlarda (yaşama mekanında) eyleme bağlı görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesine yönelik adımları detaylı olarak göstermektedir.



Şekil 4.4 : Çok işlevli mekanlarda (yaşama mekanında) eyleme bağlı görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi (TSE, 2021)

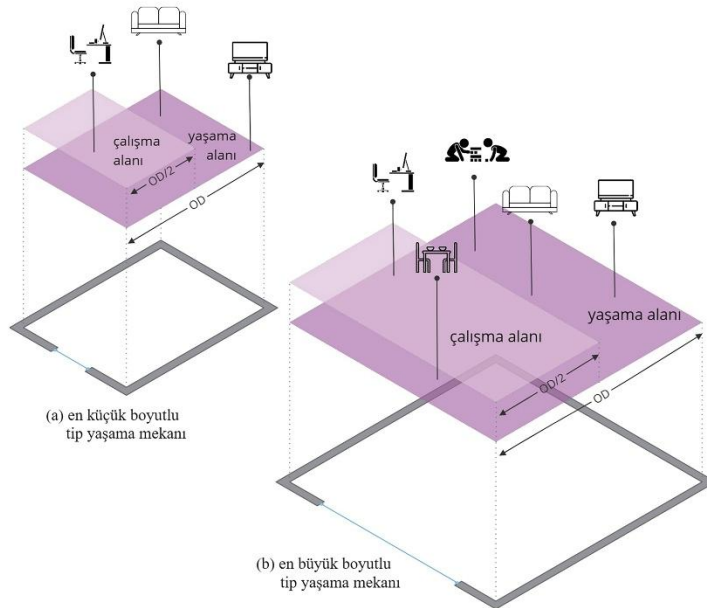
4.2.1.1 Ele alınan mekanda gerçekleştirilen eylemlerin ve görsel alanların tanımlanması

Birden fazla görsel eylemin gerçekleştirildiği mekanlarda, tüm mekanda aynı görsel konfor koşullarını sağlamayı hedeflemek konforlu ve enerji etkin tasarım çözümlerinin elde edilmesi açısından uygun bir yaklaşım sunmamaktadır. Buna ek olarak, doğal aydınlatma açısından ele alınan mekanın tamamında aynı görsel konfor koşullarının sağlanmasına imkan verecek bir tasarım yaklaşımı çok mümkün olmamaktadır. Bu doğrultuda çeşitli eylemlere ilişkin görsel gereksinimlerin irdelenmesi için mekanda ilgili eylem/aktivite alanlarının ve referans düzlemlerin tanımlanması konforlu mekanların sağlanması açısından daha etkin bir yaklaşım sunmaktadır (David vd., 2011).

Konutlar, 21.yy. itibari ile kişilerin değişen yaşam biçimlerine cevap verecek şekilde sosyalleşme, dinlenme ve konfor gereksinimlerini karşılamak adına günün büyük bir kısmını geçirdiği yaşam alanları olarak kullanılmaktadır (Alkan, 2014). Bu doğrultuda yaşama mekanlarında gerçekleştirilen aktivitelerin, dolayısı ile mobilya yerleşimlerinin genel olarak pencereye yakın bölgelerde oturma alanı, mekanın daha derin bölgelerinde ise yemek yeme ve eğlence alanı olmak üzere 3 farklı alanda yapıldığı görülmektedir (Temel, 2021). Ancak günümüzde farklılaşan çalışma biçimleri konut me-

kanlarının aynı zamanda çalışma, öğrenme mekanları olarak kullanımlarını ortaya çıkarmıştır (D'alessandro vd., 2020; Keser Aschenberger vd., 2023; Muthuprasad vd., 2021; Salamone vd., 2021; Spennemann, 2021). Çalışma eyleminin eklenmesi ile birlikte çalışmalar kişilerin genellikle pencereye yakın bölgeleri çalışma alanı olarak belirlediğini, mevcut mekandaki tefrişlerini ise bu seçime göre düzenlendiğini ortaya koymuştur (Temel, 2021; Vasquez, 2021; Vasquez, Amorim, vd., 2022). Çalışma eyleminin gerçekleştirildiği konut mekanlarının başında ise yaşama mekanları gelmektedir (Keser Aschenberger vd., 2023; Özer & Jones, 2024)

Literatürde çok işlevli yaşama mekanlarının kullanım biçimlerine yönelik yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, model kapsamında ele alınan tip yaşama mekanında pencereye yakın alanda görsel eylem hiyerarşisi bakımından çalışma eylemine yönelik görsel gereksinimlerin yaşama ve dinlenme eylemlerine yönelik görsel gereksinimlere göre ön plana çıkacağı varsayılmaktadır. Pencereye daha uzak alanda ise genellikle yaşama, dinlenme ve yemek yeme vb. eylemlerin gerçekleştirileceği kabul edilmektedir. Bu doğrultuda yaşama mekanında günışığı açıklığının bulunduğu duvardan başlayarak mekan derinliğinin $\frac{1}{2}$ 'si oranında alan çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Mekanın tamamı ise oturma, eğlence ve yemek yeme/hazırlama (varsa) eylemlerinin gerçekleştirileceği alan olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.5 model kapsamında oluşturulan tip yaşama mekanı için gerçekleştirilen eylemlere bağlı olarak görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesi amacıyla tanımlanan görsel eylem alanlarını göstermektedir.



Şekil 4.5 : Yaşama mekanında gerçekleştirilen eylemlere bağlı olarak tanımlanan görsel eylem alanları

4.2.1.2 Ele alınan mekanda eyleme bağı görsel konfor kriterlerinin belirlenmesi

Konut mekanlarında gerçekleştirilen eylemlere bağı olarak gereksinim duyulan fizyolojik ve psikolojik görsel konfor kriterleri Bölüm 2.1.2’de detaylı olarak tanımlanmıştır. Çok işlevli yaşama mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması için konut mekanlarında sağlanması beklenen görsel konfor kriterlerinden yaşama mekânında gerçekleştirilen eylemler ve eyleme bağı olarak ortaya çıkan görsel konfor gereksinimleri göz önüne alınarak görsel konfor kriterleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda sadece yaşama eyleminin gerçekleştirildiği konut mekanlarında, yüksek düzeyde günışığı aydınlığı ve güneş ışığına erişim kriterleri kullanıcı görsel konforu üzerinde etkili olurken (Aslanoğlu, Kazak, vd., 2021; Xue, Mak, & Ai, 2016; Xue vd., 2014), çalışma eylemi ile birlikte yeterli aydınlık düzeyine ek olarak konut kullanıcılarının kamaşmaya bağı meydana gelen görsel konforsuzluğu da dikkate aldığı görülmektedir (Awada vd., 2021; Vasquez, 2021). İç mekanda yeterli dış görüş sağlanması ise hem konut mekânı kullanıcılarının iyi hal durumlarını desteklemek hem de çalışma eylemi ve öğrenme eylemlerinin gerçekleştirildiği mekanlarda üretkenliği artırmak bakımından görsel konforu etkileyen önemli ölçütlerden biri olmaktadır (Kaplan, 2001; Manu vd., 2024; Siu vd., 2010; Vasquez, Rupp, vd., 2022). İlgili literatür göz önüne alındığında çok işlevli yaşama mekânında hem dinlenme hem de çalışma eylemleri için gerekli görsel konfor kriterleri; yeterli günışığı aydınlığının sağlanması, günışığına bağı kamaşmanın engellenmesi, yeterli dış görüşün sağlanması ve güneş ışığı alımı kriterleri olarak belirlenmiştir.

4.2.1.3 Ele alınan mekanda eyleme bağı görsel konfor önceliklerinin belirlenmesi

Etkin bir aydınlatma tasarımı için kullanıcıların geri bildirimleri doğrultusunda gerçekleştirilen eylemler ve eylemler için ihtiyaç duyulan görsel gereksinimlerin eylemin önemine veya eylemin gerçekleştirilme süresine göre önceliklendirilmesi gerekmektedir (TSE, 2021). Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında ele alınan yaşama mekânında gerçekleştirilen eylemlere bağı olarak Bölüm 4.2.1.1’de çalışma alanı ve yaşama alanı olmak üzere görsel eylem alanları tanımlanmıştır. Her bir eylem alanı için Bölüm 4.2.1.2’de belirlenen görsel gereksinimler eylemin gerçekleştirilme süresi ve önemi bakımından derecelendirilmiştir.

İlgili literatür göz önüne alındığında, çalışma alanı için günışığına yönelik aydınlık düzeyi en önemli konfor parametresi olurken (Amorim vd., 2021; Vasquez, Amorim,

vd., 2022), konut mekanlarında kamaşmaya yönelik rahatsızlıkların kişilerin memnuniyetleri ve görsel konfor düzeyleri üzerinde daha etkili olmaya başladığı görülmektedir (Amorim vd., 2021; Vasquez, 2021). Diğer yandan çalışma eylemi esnasında memnuniyet verici bir dış görüş sağlanması kullanıcı iyi hal ve esenliği üzerinde etkili olan önemli parametrelerden biri olmaktadır (Fakhari & Fayaz, 2023; Vasquez, Rupp, vd., 2022). Diğerlerinin aksine güneş ışınlamına erişimin çalışma eylemi esnasında kişilerin görsel konfor düzeyleri üzerinde olumlu yönde herhangi bir etkisi olmamaktadır (Abboushi vd., 2021). Bu doğrultuda günün büyük bir bölümünde çalışma alanında çalışma eyleminin gerçekleştirileceği göz önüne alınarak yaşama eyleminden ziyade çalışma eylemine yönelik görsel gereksinimler önceliklendirilmiştir. Çalışma eylemi esnasında kullanıcı görsel konfor durumunu etkileyen görsel konfor kriterlerine ait önem sıralaması ise yeterli aydınlık düzeyinin sağlanması, kamaşmanın engellenmesi ve dış görüşün sağlanması olmak üzere belirlenmiştir.

Mekanın tamamı olarak tanımlanan yaşama alanı için ise ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde, yeterli genişliği ve güneş ışığına erişimin en önemli görsel konfor kriterleri olduğu görülmektedir (Aslanoğlu, Kazak, vd., 2021; Lau vd., 2011; Xue, Mak, & Ai, 2016; Xue vd., 2014). Bununla birlikte konut mekanında sağlanan dış görüş de kullanıcıların iyi hal ve sağlıkları üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır (Andargie vd., 2019; Batool vd., 2021; Kaplan, 2001; Siu vd., 2010). Kamaşma konut mekanlarında perde, jaluzi gibi iç ortam gölgeleme elemanlarının kullanımı ile kolay bir şekilde engellenebilmesi sayesinde tolere edilebilir bir konforsuzluk durumu olarak nitelendirilmektedir (Dogan & Park, 2019a). Bu doğrultuda yaşama mekanı alanı olarak tanımlanan alanda yaşama, dinlenme vd. eylemler önceliklendirilerek kullanıcı görsel konfor gereksinimlerine yönelik önem sıralaması yeterli aydınlık düzeyinin sağlanması, güneş ışığı alımı ve dış görüş olarak belirlenmiştir. Farklı görsel eylem alanları için görsel konfor gereksinimlerine yönelik yapılan bu derecelendirme doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi adımlarından görsel konfor performansının sınıflandırması aşamasında kriter ağırlıklarının belirlenmesine yönelik modele girdi sağlamaktadır.

4.2.2 Ele alınan mekanda doğal aydınlatma sistemine bağlı görsel konfor koşullarının belirlenmesi

Çizelge 4.1’de tanımlanan parametrelere göre oluşturulan doğal aydınlatma sistemi senaryolarının her birinin performansı yaşama mekanında gerçekleştirilen eylemlere yönelik tanımlanan görsel konfor kriterlerini sağlaması bakımından analiz edilmektedir. Bu doğrultuda çok işlevli yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor koşulları her bir görsel konfor kriterlerine göre Bölüm 2.3’te detaylı olarak açıklanan ve uluslararası normlar ile belirlenen çeşitli görsel konfor ölçütleri aracılığı ile ortaya konmuştur. Geliştirilen doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin görsel konfor ölçütleri üzerinden yapılan doğal aydınlatma sistemine ait görsel konfor performansı analizleri, aynı zamanda ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterlerine etkisinin belirlenmesi için kutu grafikleri (box plot) aracılığıyla değerlendirilmiştir. Kutu grafikleri her bir tasarım parametresinin aldığı değerlerin görsel konfor ölçütleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla veriyi özetlemesi ve anlaşılması kolay bir şekilde gruplar arasında karşılaştırma sunması bakımından avantaj sağlamaktadırlar.

4.2.2.1 Günişığı etkinliğinin değerlendirilmesi

Ele alınan yaşama mekanının günişığı etkinliği iklimle dayalı yöntemlerden biri olan ve konut tipolojisine özel olarak geliştirilen “Faydalı Günişığı Aydınlik Düzeyi (Useful Daylight Illuminance (UDI))” değerlendirme ölçütü aracılığı ile yıllık olarak belirlenmektedir (Nabil & Mardaljevic, 2005). Bu doğrultuda “Faydalı Günişığı Aydınlik Düzeyi” değerlerinin yaşama mekanının kullanım saatlerinin %50 ve üzerinde sağlanması beklenmektedir. Faydalı Günişığı Aydınlik Düzeyi (UDI) değerinin simülasyon yöntemi aracılığı ile hesaplanmasında aşağıda belirtilen adımların izlenmesi gerekmektedir;

- Analiz edilecek aydınlık düzeyi aralığının belirlenmesi
- Hesap düzleminin tanımlanması
- Mekanın kullanım saatlerine dayalı kullanım programının belirlenmesi

Belirtilen adımlar doğrultusunda çok işlevli yaşama mekanında günişığı etkinliğinin değerlendirilmesi için; öncelikli olarak konut mekanlarında herhangi ek bir yapma aydınlatma ihtiyacı gerektirmeyecek ve kullanıcılar tarafından faydalı olarak belirlenen

300 lux ila 3000 lux arasındaki “Faydalı Güneş ışığı Aydınlatma Otonomisi (UDI_{autonomous})” sınıfını ifade eden aydınlık düzeyleri, analiz edilecek aydınlık düzeyi değer aralıkları olarak belirlenmiştir (Mardaljevic, Andersen, Roy, Christoffersen, vd., 2011). Daha sonra faydalı güneş ışığı aydınlık düzeyinin belirlenmesi için Bölüm 4.2.1.1’de tanımlanan eylem alanları için yatay hesap düzlemleri tanımlanarak her biri için hesap gridleri oluşturulmuştur. Çalışmada kapsamında her bir görsel eylem alanı için yatay düzlemde oluşturulan hesaplama gridi boyutları ve hesap noktaları arasındaki uzaklıklar Eşitlik 4.4’te verilen formül göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (TS EN 17037+A1:Binarlarda Gün ışığı, 2022). Son olarak konut mekanlarının net bir kullanım saatine sahip olmaması ve çalışma eyleminin günümüzde esnek saatler içerisinde gerçekleştirilmesi sebebi ile çalışma kapsamında yapılan güneş ışığı hesaplamaları için kullanılan zaman dilimi “güneş ışığı etkin saatler” olarak kabul edilmiştir. Böylece geliştirilen model ile sabit bir bina tipolojisine bağlı belirlenen kullanım süresinin ele alınmasından ziyade, binanın kullanım amacının/fonksiyonunun değiştiği durum için de geçerli olabilecek bir değerlendirme yapılabilmektedir (Ayoub, 2020; Mardaljevic & Christoffersen, 2013).

$$p = 0,5 \times 5^{\log_{10} d} \quad (4.4)$$

p: Maksimum hücre boyutu(m)

d: Analiz edilen alanın uzun kenarı (m)

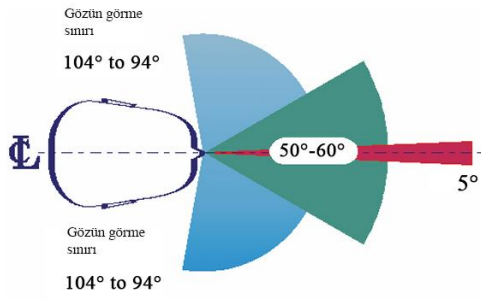
4.2.2.2 Kamaşmanın değerlendirilmesi

Doğal aydınlatma sistemine bağlı güneş ışığı kamaşması, özellikle çalışma eylemine yönelik kullanıcıda güneş ışığı nedeni ile meydana gelen görsel konfor rahatsızlık düzeyini belirlemek amacı ile analiz edilmelidir. Güneş ışığı nedeni ile meydana gelen kamaşma olasılığının değerlendirilmesine yönelik noktasal (DGP, DGI vb.) ve mekansal (ASE, sGA, sDG vb.) olmak üzere parıltı düzeyine dayalı (luminance-based) çeşitli ölçütler geliştirilmiştir. Bölüm 2.3.2’de detaylı olarak açıklanan kamaşma analizine yönelik metrikler arasından gözde meydana gelen noktasal kamaşma düzeyini değerlendiren “Güneş ışığı Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability (DGP)) ölçütü, güneş ışığına bağlı konforsuzluk kamaşmasının değerlendirilmesine yönelik en güvenilir sonuç veren ölçüt olarak belirlenmiştir (Wienold vd., 2019). Aynı zamanda binarlarda güneş ışığı standardı kapsamında DGP ölçütünün özellikle okuma, yazma, dijital bir ekrana

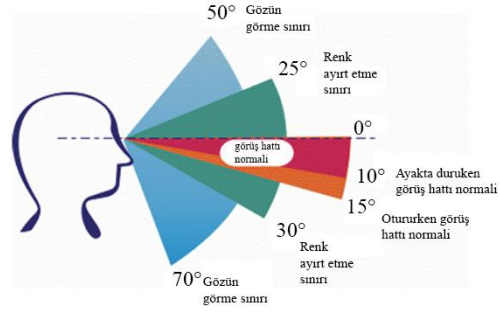
bakma gibi eylemlerin gerçekleştirildiği ve kişinin konumunun değiştirilemediği durumda kamaşmanın değerlendirilmesi amacıyla kullanımı önerilmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Önerilen karar modeli kapsamında çalışma eylemi esnasında görsel konforsuzluğa neden olabilecek günışığı kamaşması, konut mekanlarında değişen tefriş planlaması ve dolayısı ile farklılaşan bakış doğrultuları nedeni ile “Günışığı Kamaşma Olasılığı (DGP)” ölçütüne dayanarak mekansal bir değerlendirme sunan “Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (Spatial Disturbing Glare (sDG))” ölçütü kullanılarak analiz edilmiştir. Bu ölçüt ile belirlenen bakış doğrultuları için mekanın kullanım saatlerinin %5’inden fazla rahatsız edici kamaşmaya neden olabilecek DGP değerlerinin ($0.38 \leq DGP$) mekanda gerçekleşme oranına dayalı bir değerlendirme gerçekleştirilmektedir (URL-1, t.y.). Aynı bakış doğrultuları için gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ile yüksek uyumluluk gösteren sDG sonuçları (De Luca vd., 2022), genel olarak ne kadar yüksek olursa kullanıcının ilgili mekanda rahatsız edici kamaşma düzeyini tecrübe etme sıklığı artmaktadır. Çok işlevli yaşama mekanında çalışma alanı için günışığına bağlı kamaşma analizi Radiance tabanlı olarak geliştirilmiş Climate Studio programı ile gerçekleştirilmektedir. Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG) düzeyinin belirlenmesi için aşağıda verilen adımlar izlenmiştir;

- Kamaşma analizi yapılacak görsel eylem alanının tanımlanması
- Görsel eylem alanı içerisinde bakış noktalarının belirlenmesi
- Her bir bakış noktası için bakış doğrultularının belirlenmesi

Bölüm 4.2.1.1’de belirtilen konular çerçevesinde çalışma eylemine yönelik pencereye yakın alan çalışma eylem alanı olarak belirlenmiştir. İlgili alanda yerden 1.20 m yüksekliğinde ve günışığı etkinliği analizleri doğrultusunda belirlenen hesap noktası aralığı baz alınarak bakış noktaları tanımlanmıştır. Her bir bakış noktası için Şekil 4.6’da verilen insan gözünün yatay ve düşey düzlemde etkin görme alanları dikkate alınarak bakış doğrultuları belirlenmiştir. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere yatay düzlemde her bir insan gözü için görme alanının merkezi yaklaşık olarak 50° - 60° arasında olurken, toplamda 210° - 220° ’lik bir alan yatay düzlemde görülebilmektedir. Düşey düzlemde ise 120° - 150° derece arasında bir alan toplamda görülebilen, detaylı ve net bir şekilde görme eyleminin yapılabildiği alan 30° - 40° arasındaki görüş alanı ile sınırlanmaktadır.



(a) Yatay düzlemde görme alanı



(b) Düşey düzlemde görme alanı

Şekil 4.6 : İnsan gözünün yatay ve düşey düzlemdeki görme alanı sınırları (URL-2, t.y.)

4.2.2.3 Dış görüşün değerlendirilmesi

Doğal aydınlatma sisteminin dış görüş performansı, dış görüşü nitelik ve nicelik bakımından ele alan TS EN 17037+A1:Binalarda Gün Işığı standardında tanımlanan yöntemle değerlendirilmiştir. Bu yöntem ile kullanıcının dış görüşe erişimi ve dış görüşün kalitesi bakış noktasından belirlenen yatay görüş açısı, dış engelin pencereye uzaklığı ve dış görüşe giren görsel katmanlar olmak üzere 3 farklı kriter üzerinden analiz edilmiştir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışıǒı, 2022). Yöntemle göre yaşama mekanında düşük, orta ve yüksek düzeyde dış görüşün sağlanması için üç farklı kriterin alması gereken sınır değerler Çizelge 2.11’de verilmiştir. Belirtilen kriterler üzerinden her bir bakış noktasının dış görüş düzeyi, hesaplanan verilerin yöntem kapsamında tanımlanan sınır değerlerin üzerinde veya altında kalma durumlarına göre belirlenmektedir. Her bir bakış noktasının genel dış görüş düzeyi, değerlendirilen üç kriter içerisinde elde edilen en kötü dış görüş düzeyine eşit kabul edilmektedir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışıǒı, 2022; URL-1, t.y.). Her bir nokta için belirlenen genel dış görüş düzeyi sayısının mekanda tanımlanan hesap noktalarının sayısına oranlanması sonucu ise dış görüş düzeyi mekansal olarak belirlenmektedir. Doğal aydınlatma sistemine baǒlı olarak yaşama mekanının dış görüş potansiyeli Climate Studio programı aracılığı ile aşağıda verilen adımlar izlenerek gerçekleştirilmektedir;

- Dış görüş analizinin gerçekleştirileceǒi görsel eylem alanlarının tanımlanması
- Dış görüş analizinin gerçekleştirilmesi için bakış noktalarının belirlenmesi

Çok işlevli yaşama mekanında dış görüş analizlerinin gerçekleştirilmesi için çalışma ve yaşama eylemlerine yönelik görsel eylem alanları Bölüm 4.2.1.1’de belirtildiği şekilde tanımlanmıştır. Belirlenen görsel eylem alanları için yerden 1.20 m yükseklikte boyutları günışığı analizleri ile aynı olacak şekilde bir hesaplama gridi oluşturularak, grid sisteminin kesişim noktaları dış görüş analizi için ele alınan bakış noktaları olarak belirlenmiştir.

4.2.2.4 Güneş ışığı alımının değerlendirilmesi

Konut mekanlarında sağlanması gereklilik olan güneş ışınlamına erişim, çalışma kapsamında TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardında tanımlanan yaklaşım göz önüne alınarak değerlendirilmiştir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Buna göre ilgili standartta tanımlanan yaklaşıma dayalı olarak güneş ışığı alım süresinin belirlenmesi amacıyla Mart ayını temsilen 15 Mart tarihi referans gün olarak seçilmiştir (Kutlu, 2008). Konut mekanının güneş ışığı alım süresi zeminden 1.20 m yukarıda ve pencere yüzeyinde belirlenen analiz noktası için belirlenmiştir.

4.2.3 Ele alınan mekanda görsel konfora dayalı doğal aydınlatma sistemi performansının sınıflandırılması

Doğal aydınlatma sistemine yönelik veri madenciliğine dayalı karar modeli yaklaşımı gereği çok işlevli yaşama mekanında doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak meydana gelen görsel konfor koşullarının sınıflandırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen model kapsamında Bölüm 4.2.2’de açıklanan dört farklı görsel konfor ölçütü üzerinden dört farklı görsel konfor sınıfı tanımlanmıştır. Görsel konfor karar kategorilerinin tanımlanmasında çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan “*Ağırlıklandırılmış Kriter Değerlendirme Matrisi (Weighted Criteria Evaluation/Decision Matrix)*” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre her bir seçeneğin karar vermede ele alınan değerlendirme kriteri için likert ölçeğinde verilen puanı ile kriter ağırlığı çarpılarak ağırlıklandırılmış puanı hesaplanmaktadır. Birden fazla kriter olması durumunda her bir kritere göre elde edilen ağırlıklandırılmış puanlar toplanarak seçeneğin toplam puanı hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda konut mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar ağacının oluşturulmasında öncelikle karar sınıfını oluşturacak her bir ölçütün sağladığı oranlar için çeşitli puanlar tanımlanmıştır. Daha sonra verilen puanlar performans ölçütünün belirlenen kriter ağırlığı ile çarpılarak konfor sınıfının toplam puanı hesaplanmıştır. Hesaplanan puanlar üzerinden konfor sınıflarının aldığı

puan aralıkları belirlenmiştir. Konfor sınıflarının belirlenmesine yönelik yürütülen süreç ve hesaplamalar alt başlıklarda detaylı olarak verilmiştir.

4.2.3.1 Görsel konfor kriterlerinin puanlandırılması

Çok işlevli yaşama mekanlarında eylemlere bağlı olarak kullanıcılar tarafından gereksinim duyulan görsel konfor kriterleri Bölüm 4.2.1.2’de detaylı olarak verilmektedir. Ele alınan bu görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması amacıyla kullanılan doğal aydınlatma sistemi performans ölçütleri ise Bölüm 4.2.2’de verildiği gibi Faydalı Günışığı Aydınlanlığı (UDI-a), Mekansal Günışığı Kamaşma (sDG), Dış Görüş Düzeyi (view-out) ve Güneş Işığı Alım süresi (SH) olarak belirlenmiştir. Geliştirilen model kapsamında *Ağırlıklandırılmış Kriter Değerlendirme Matrisi* yöntemine dayalı olarak performans ölçütünün görev/eylem alanında ve mekanın kullanım saatlerinde gerçekleşen sağlanma oranları “Yetersiz=0, Düşük=1, Orta=2, Yüksek=3” olacak şekilde puanlandırılmıştır. Çizelge 4.2 her bir değerlendirme ölçütünün mekansal veya zamansal sağlanma oranlarına göre aldığı puanı ve kategorisini göstermektedir. Diğer kriterlerden farklı olarak dış görüş kriterinin TS EN 17037+A1:Binalarda Gün Işığı standardında tanımlanan değerlendirme yöntemine göre analiz edilmesi sebebi ile, dış görüşün puanlandırılması “Eğer” kuralına göre yapılmıştır. Bu doğrultuda bir senaryonun dış görüş kriteri puanı, standart kapsamında belirtilen düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeylerinin mekansal sağlanma oranı fazla olan düzeye göre belirlenmiştir. Örneğin, düşük dış görüş düzeyi oranının mekansal sağlanma yüzdesi yetersiz, orta ve yüksek dış görüş düzeylerinin sağlanma yüzdesinden fazla ise mekanın genel dış görüş düzeyi düşük olmaktadır.

Çizelge 4.2 : Görsel konfor performans kriterlerinin zamansal ve mekansal sağlanma oranlarına göre puanlandırılması.

Değerlendirme Türü	Performans Ölçütü	Puanlandırma			
		0 (Yetersiz)	1 (Düşük)	2 (Orta)	3 (Yüksek)
Zamansal	UDI-a	<%25	<%50	<%75	%75≤
Değerlendirme	SH	<1,5 sa	1,5 sa≤	3 sa≤	4 sa<
	sDG	≥%75	≥%50	<%50	≤%25
Mekansal	View-out	Yetersiz	Düşük	Orta	Yüksek
Değerlendirme		Dış görüş	Dış görüş	Dış görüş	Dış görüş
		Düzeyi (%)	Düzeyi (%)	Düzeyi (%)	Düzeyi (%)

4.2.3.2 Görsel konfor kriterlerine ağırlık atanması

Ağırlık, söz konusu kritere diğer kriterlere göre önemini gösteren bir değerin atanması olarak tanımlanabilmektedir (Durmuş, 2015). Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinde kriterlerin önem düzeyini gösteren ağırlıklandırma işlemi genellikle objektif ve subjektif olmak üzere iki türlü yapılmaktadır (Shemshadi vd., 2011). Subjektif ağırlıklandırma karar vericinin değerlendirmelerini kapsarken, objektif ağırlıklandırmada karar vericiden bağımsız olarak alternatiflerin sahip olduğu nicel özellikler dikkate alınmaktadır (Bakır & Atalık, 2018). Matematik modeller üzerinden kriter ağırlığını belirleyen objektif ağırlıklandırma yöntemleri için sonuçların olması gerekmektedir. ÇKKV yöntemlerinde genellikle kullanılan öznel ağırlıklandırma yöntemleri; doğrudan puanlama yöntemi, ikili karşılaştırma yöntemi, Max100 ve Min10 yöntemi, ödünleşim yöntemi, puan dağıtım yöntemi, salınım yöntemi, SIMOS, sıralama yöntemi, SMART ve SWARA yöntemleri olarak sıralanmaktadır (Durmuş, 2015).

Görsel konfor sınıflarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan değerlendirme matrisinde performans kriterlerine ilişkin ağırlıklandırma işlemi “Puan Dağıtım Yöntemi (Point Allocation Method)” ile gerçekleştirilmiştir. Puan Dağıtım Yöntemi’ne göre karar verici kriterlerin göreceli önemleri belirleyerek sahip olduğu puan bütçesini kriterlere uygun olarak dağıtır (Durmuş, 2015; Roberts & Goodwin, 2003). Bu doğrultuda farklı eylemlere yönelik tanımlanan görev alanlarında ele alınan değerlendirme kriterlerinin görsel konfor sınıfının tanımlanmasındaki puan dağılımı, görsel eylemin önemi göz önünde bulundurarak hangi ölçütlerin görsel çevrenin tasarlanmasında en önemli veya daha az önemli olduğuna karar verilmesi ile gerçekleştirilmiştir (TSE, 2021). Bu doğrultuda Bölüm 4.2.1.3’te verildiği üzere; çalışma alanı için *yeterli aydınlık düzeyinin sağlanması, kamaşmanın engellenmesi ve dış görüşün sağlanması* sırasıyla en önemli görsel konfor kriterleri olarak belirlenirken, yaşama alanı için görsel konfor kriterleri önem derecesine göre *yeterli aydınlık düzeyinin sağlanması, güneş ışığı alımı ve dış görüşün sağlanması* olarak sıralanmıştır. Çizelge 4.3 çok işlevli yaşama mekanında gerçekleşmesi ön görülen her bir eylem için görsel konfor gereksinimlerinin karşılanmasına ilişkin belirlenen performans ölçütlerine ait puanları ve puanların normalize edilmesi sonucu (0-1) bulunan kriter ağırlıklarını göstermektedir.

Çizelge 4.3 : Çok işlevli yaşama mekanında gerçekleştirilen eyleme göre sağlanması beklenen görsel konfor kriterlerine ilişkin ağırlıklar.

Gerçekleştirilen Eylem	Günüşiği Etkinliği (UDI-a)	Dış görüş (View out)	Güneş Işığı Alım Süresi (SH)	Kamaşma (sDG)	Toplam
Dinlenme TV izleme (Yaşama alanı)	50/0.5*0.5	30/0.3*0.5	20/0.2*0.5	0/0.0*0.5	100/1.0
Çalışma Okuma-yazma (Çalışma alanı)	40/0.4*0.5	20/0.2*0.5	0/0.0*0.5	40/0.4*0.5	100/1.0
Toplam (Yaşam mekanı)	0.45	0.25	0.1	0.2	2.0/1.0

Dinlenme, TV izleme ve yemek-yeme eylemlerinin gerçekleştirildiği düşünülen yaşama alanı için günüşiği etkinliği, dış görüş, güneş ışığına erişim ve kamaşma kriterlerine ait puanlar toplamaları 100 olacak şekilde sırasıyla 50, 30, 20 ve 0 puan olarak belirlenmiştir. Okuma, yazma ve ekrana bakma, tefrişe bağlı olarak yemek-yeme gibi eylemlerin gerçekleştirildiği ön görülen çalışma alanı için ise kriter puanları aynı sıra ile 40, 20, 0 ve 40 olarak tanımlanmıştır. Kriterlerin ağırlıkları verilen puanların toplamaları 1'e eşit olacak şekilde normalize edilerek belirlenmiştir. Son olarak yaşama mekanında tanımlanan her bir görev alanı (dolayısıyla görsel eylem) için belirlenen kriter ağırlıklarının "ağırlıklı ortalaması" alınarak yaşama mekanının tamamını etkileyecek olan doğal aydınlatma sistemi tasarımının performans sınıfını tanımlayan nihai kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

4.2.3.3 Görsel konfor sınıflarının tanımlanması

Bölüm 4.2.3.1 ve Bölüm 4.2.3.2'de belirlenen puanlamaya ve kriter ağırlıklarına göre doğal aydınlatma sistemi performansının değerlendirilmesi amacı ile tanımlanan görsel konfor sınıfları ve her bir konfor sınıfı için hesaplanan eşik puanı Çizelge 4.4'te verildiği gibi olmaktadır. Buna göre çok işlevli yaşama mekanlarında sağlanması beklenen her bir görsel konfor kriterinin konfor sınıfına göre nihai puanı, Bölüm 4.2.3.1'de zamansal veya mekansal düzlemde sağlanma oranına göre aldığı puanının Bölüm 4.2.3.2'de belirlenen ölçütün ağırlık katsayısı ile çarpılması sonucu belirlenmektedir. Bölüm 4.2.3.1'de sağlanma oranları üzerinden tanımlanan görsel konfor sınıflarının her biri için yaşama mekanının görsel konfor düzeyini değerlendirmek amacıyla ele alınan ölçütlerin nihai puanlarının toplamı ise konfor sınıfının alt sınır değerini vermektedir. Çizelge 4.4'te hesaplanan eşik puanlar göz önünde bulundurulduğunda model kapsamında tanımlanan görsel konfor sınıflarına ait puan aralıkları aşağıda verildiği gibi belirlenmiştir;

- Yetersiz konfor düzeyi için *Senaryo puanı* < 1.45
- Düşük konfor düzeyi için $1.45 \leq \text{Senaryo puanı} < 2.0$
- Orta konfor düzeyi için $2.0 \leq \text{Senaryo puanı} < 3.0$
- Yüksek konfor düzeyi için $3.0 \leq \text{Senaryo puanı}$

Çizelge 4.4 : Doğal aydınlatma sistemi performansının değerlendirilmesine yönelik belirlenen görsel konfor sınıfları ve eşik puanları.

Konfor Sınıfları	Yetersiz Konfor Düzeyi	Düşük Konfor Düzeyi	Orta Konfor Düzeyi	Yüksek Konfor Düzeyi
Konfor Sınıfı Eşik Puanı*	0.45	1.45	2.0	3.0
Günlü ışık etkinliği (UDI-a)	1 x 0.45	2 x 0.45	2 x 0.45	3 x 0.45
Dış Görüş (VO)	0 x 0.25	1 x 0.25	2 x 0.25	3 x 0.25
Güneş ışığı alımı (SH)	0 x 0.10	1 x 0.10	2 x 0.10	3 x 0.10
Kamaşma (sDG)	0 x 0.20	1 x 0.20	2 x 0.20	3 x 0.20

4.3 Veri Madenciliğine Dayalı Doğal Aydınlatma Sistemi Karar Modelinin Geliştirilmesi

Tez çalışması kapsamında geliştirilen karar modelinin son aşaması veri madenciliğine dayalı olarak bir karar destek modelinin geliştirilmesidir. Bu bağlamda tipik bir veri madenciliği sürecinde yer alan verinin üretilmesinden sonra, verinin işlenmesi, verinin dönüştürülmesi, modelin geliştirilmesi ve modelin performansının değerlendirilmesi aşamaları çok işlevli yaşama mekanında görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımının karar verilmesine yönelik olarak uygulanmıştır. Dört farklı görsel konfor ölçütü üzerinden çok işlevli yaşama mekanında sağlanan görsel konfor koşullarına ilişkin veri elde edildikten sonra karar destek modelinin geliştirilmesi amacıyla veri madenciliği sürecinde gerçekleştirilen adımlar aşağıda verilen alt başlıklar altında açıklanmaktadır.

4.3.1 Veri ön-işleme

Kaliteli verinin oluşturulması kaliteli ve iyi çalışır bir model üretilmesinde önemli bir adımdır. Ön işleme süreci kaliteli verinin oluşturulması amacıyla verinin temizlenmesi, verinin analiz edilerek gerekirse azaltılması, verinin dönüştürülmesi ve verinin ayrıştırılması adımlarından oluşur (Ha vd., 2012).

4.3.1.1 Verinin düzenlenmesi

Verinin düzenlenmesi adımımda çeşitli yöntemler ile verideki hatalı, eksik ve/veya uyuşmaz verilerin belirlenmesi ve temizlenmesi gerçekleştirilir. Bu doğrultuda ele alınan her bir görsel konfor ölçütü için parametrik olarak simülasyon verisinin üretilmesinden sonra veriler kontrol edilmiştir. Tespit edilen bazı mantık dışı/hatalı veriler günışığı simülasyonlarının tekrar edilmesi ile yeniden hesaplanarak düzeltilmiştir.

4.3.1.2 Verinin analiz edilmesi

Verinin analiz edilmesi adımımda, gerekli ise verinin azaltılmasına yönelik bağımsız ve bağımlı verilerin uygunluğunun kontrol edilmesi sonucu uygunsuz verilerin çıkarılma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu anlamda veride herhangi bir aşırı-uyum (overfitting) durumu olmaması için girdi değişkenleri (bağımsız veri) arasında zayıf bir ilişki ($r < 0.5$) olması beklenmektedir (Ha vd., 2012). Aynı zamanda modelin informatif olması bakımından girdi değişkenlerinin hedef çıktılar (bağımlı veri) ile güçlü bir ilişki göstermesi istenmektedir. Bu doğrultuda Bölüm 4.1’de tanımlanan doğal aydınlatma sistemi tasarımı bağımsız değişkenlerinin birbiri ve hedef çıktılar (görsel konfor ölçütleri) ile ilişkisi Pearson korelasyon matrisi aracılığı ile analiz edilmiştir. Pearson korelasyon analizinde değeri “-1” ile “1” arasında değişkenlik gösteren rho’s (r) katsayısı aracılığı ile değişkenler arası zayıf ($0.10 \leq r \leq 0.29$), orta ($0.30 \leq r \leq 0.49$) ve güçlü ilişki ($0.50 \leq r \leq 1$) durumu belirlenmiştir (Akoglu, 2018). Pearson korelasyon analizine yönelik rho katsayısı Phyton programlama dili kullanılarak Pandas programı ile hesaplanmıştır.

4.3.1.3 Verinin dönüştürülmesi (Verinin normalizasyonu)

Verinin dönüştürülmesi adımı, verinin gerekiyorsa çeşitli yöntemler aracılığı ile normalize edilmesini, veri aralığının 0-1 arasına indirgenmesini kapsamaktadır. Normalizasyon işlemine yönelik pek çok yöntem olmakla birlikte karar modelinin oluşturulmasında kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinden değer aralığı 0 - 1 arasında olmayanlar için normalizasyon işlemi için max-min yöntemi seçilmiştir. Eşitlik 4.5’te belirtilen formül kullanılarak girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler max-min yöntemine göre normalize edilmiştir.

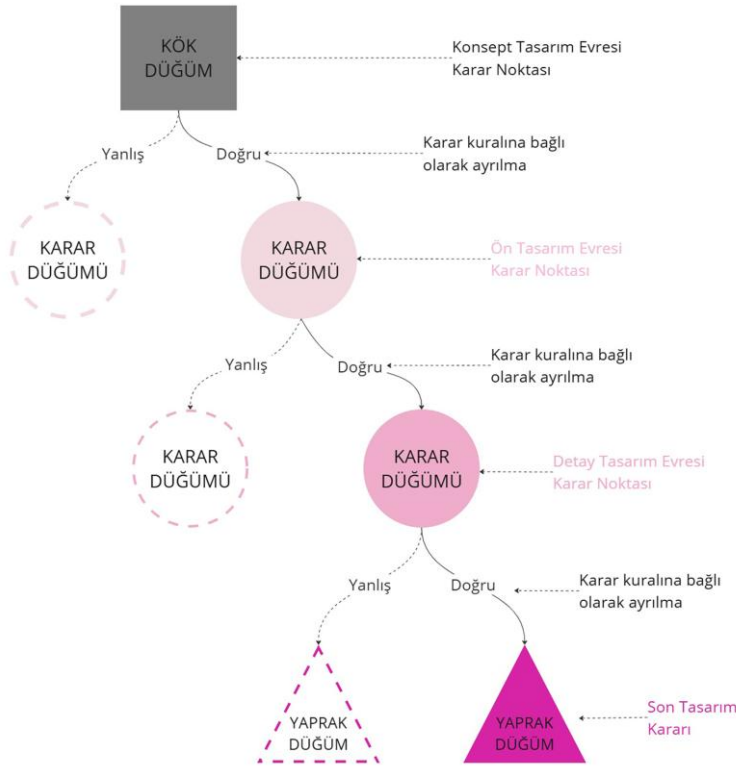
$$v'_i = \frac{v_i - \min_A}{\max_A - \min_A} (\text{new_max}_A - \text{new_min}_A) + \text{new_min}_A \quad (4.5)$$

4.3.2 Modelin geliştirilmesi

Bu adımda belirlenen amaçlara uygun mevcut veri madenciliği yönteminin seçilmesi ve modelin kurulumu gerçekleştirilmektedir. Veri madenciliği sürecinde karar modelinin geliştirilmesi için öncelikle hedeflenen amaca uygun olarak problemin tanımlanması ve çözüm modelinin seçilmesi gerekmektedir. İlgili süreçte gerçekleştirilen adımlar aşağıda verilen alt başlıklar altında detaylı olarak belirtilmektedir.

4.3.2.1 Amaca uygun modelin ve algoritmanın seçilmesi

Tez çalışması kapsamında çok eylemli yaşama mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı kullanıcı görsel konfor durumunun tahmin edilmesi, dolayısı ile doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaca uygun olarak görsel konfor koşullarını ifade eden kategorilere dayalı tahmin modelinin geliştirilmesi için sınıflandırma modellerinden karar ağacı sınıflandırması en uygun veri madenciliği modeli olarak belirlenmiştir. Karar ağaçları, sınıf etiketli eğitim kümelerinden öğrenilerek çıkarılan karar ağacı yapısında bir tümevarım yöntemidir (Ha vd., 2012). Böylece oluşturulan modelden yararlanarak sonuçları bilinmeyen problemler için sonuç değerlerin “if-then-else” mantığı ile tahmin edilmesi hedeflenir (Ahmed, Otreba, vd., 2011). Karar ağacının yapısal modelinde her bir kök düğüm bir girdi özelliğini, her bir karar düğümü test sonucunu, her bir yaprak düğüm ise sınıfı ifade eder. Şekil 4.7 doğal aydınlatma sistemine yönelik tasarım süreçlerinin her birinde alınacak eklemeli karar yaklaşımına uygun olacak şekilde oluşturulan karar ağacı yapısını göstermektedir. Oluşturulan karar ağacında kök düğüm, sonrasında gelen karar düğümü ve yaprak düğümü erken tasarım evresinde alınacak doğal aydınlatma sistemi tasarım kararlarını ifade ederken, devamında oluşan karar ve yaprak düğümleri sırasıyla önce ön tasarım aşamasında alınacak doğal aydınlatma sistemi tasarım kararlarını, sonrasında ise detay tasarım aşamasında alınacak doğal aydınlatma sistemi tasarım kararlarını tanımlamaktadır. Bu doğrultuda karar ağaçlarının doğal yapısı doğal aydınlatma tasarım süreçlerinde alınan kararlara entegre edilebilmektedir.



Şekil 4.7 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım süreçlerine dayalı önerilen karar ağacı yapısı

Karar ağaçları temelde öğrenme ve sınıflandırma adımlarından oluşur. Öğrenme adımı çeşitli algoritmalar (ID3, C4.5, J48, CART vd.) kullanılır. Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar ağacı modelinin geliştirilmesinde bu algoritmalar arasında en güncel ve güvenilir algoritma olan CART (Classification and Regression Trees) kullanılmıştır (Breiman vd., 2017). CART algoritmasında her bir düğümdeki ikili öz nitelik bölünmesi “gini index”e göre yapılmaktadır. Buna göre, “i” verisinin C sınıfında olma olasılığına ($p_i = |C_i, D|/|D|$) bağlı olarak her bir öz niteliğin (D) bilgi kazancı Eşitlik 4.6’ya göre hesaplanır. CART algoritması aynı zamanda lineer ilişkide olmayan ancak sınıflandırmanın lineer olarak yapılabileceği problemlerin çözümü için uygun bir algoritma olmaktadır.

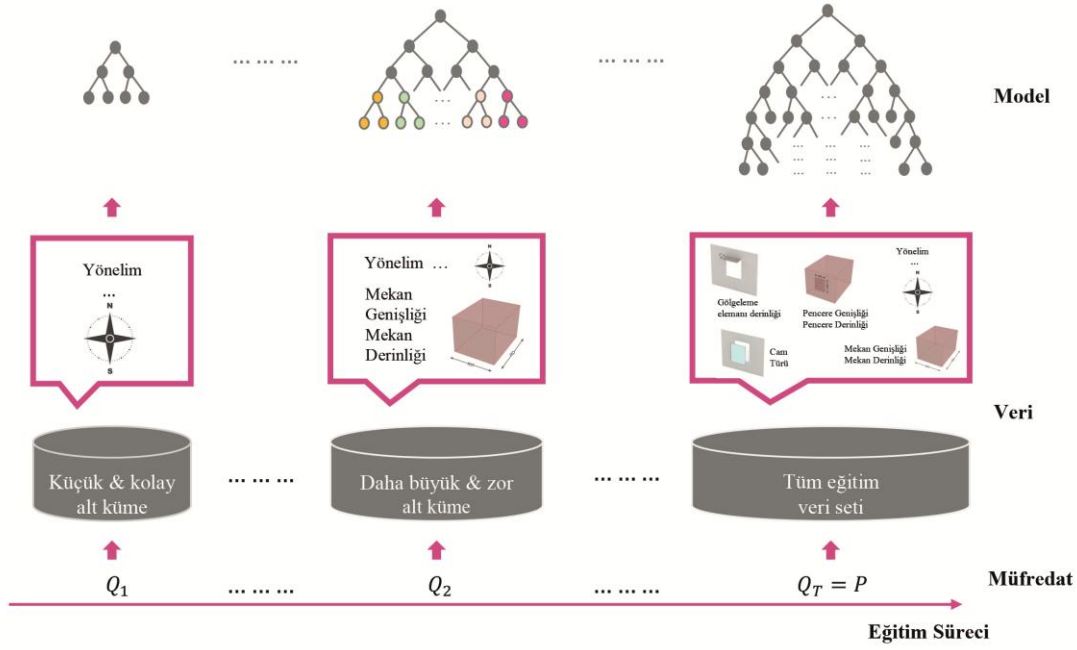
$$Gini(D) = 1 - \sum_{i=1}^m p_i^2 \quad (4.6)$$

$m = \text{sınıf sayısı}$

4.3.2.2 Modelin oluşturulması

Tez çalışması kapsamında modelin eğitimi sırasında örneklemelerin rastgele seçildiği standart karar ağacı öğrenimi yerine veriyi insan öğrenimine benzer şekilde basit kavramlardan başlayıp daha karmaşık olanlara doğru anlamlı bir sıralamada işleyen (X. Wang vd., 2022), bu bakımdan tasarım problemine uygun bir çözüm sunan müfredat öğrenimine (curriculum learning) dayalı karar ağacı modeli geliştirilmiştir. Şekil 4.8, görsel konfor düzeyi sınıflandırma görevi için bir dizi karar ağacı aracılığıyla t düzeyinde müfredat öğrenimini göstermektedir. Eğitim süreci daha basit tasarım verilerinden daha karmaşık tasarım verilerine doğru ilerleyecek şekilde planlanmıştır. Model geliştirme perspektifinden bakıldığında, başlangıç aşaması karar ağacı modelinin küçük, yönetilebilir bir veri kümesi üzerinde eğitilmesini içerir. Eğitim süreci ilerledikçe, her aşamada model, eklenen veri kümeleri ve yeni ağaç modelleri ile derinliği artırılarak geliştirilir. Model eğitim sürecindeki müfredat öğrenimi aşağıda verildiği gibi üç farklı aşamada gerçekleşmektedir:

- 1- **Başlangıç Noktası:** İlk eğitim aşaması Q1, verilerin "küçük ve kolay bir alt kümesi" ile başlar ve bu, şeklin en solundaki basit bir karar ağacı ile temsil edilir. Bu aşamada kullanılan veriler, yönelim (örneğin, 0° , 90° , 180° ve 270°) gibi temel tasarım parametrelerini içerir.
- 2- **Orta Aşama:** Orta bölüm Qt, "daha büyük ve zor bir alt küme" üzerinde yapılan eğitimi gösterir ve bu, daha karmaşık bir karar ağacı ile belirtilir. Bu aşama, mekan genişliği, mekan derinliği gibi daha karmaşık mekansal büyüklükleri ve yönelimi içeren ek tasarım parametrelerini de kapsayarak ilk oluşumların üzerine inşa edilir.
- 3- **Son Aşama:** Şeklin en sağındaki bölüm, "tüm eğitim verisi kümesi" kullanılarak yapılan son eğitim aşaması QT'yi temsil eder. Bu aşamadaki karar ağacı en karmaşık olanıdır ve detay tasarım kararları ile karmaşık mekan kombinasyonlarını içerir.



Şekil 4.8 : Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik *müfredat öğrenimine dayalı karar ağacı* modeli eğitim süreci

Müfredat öğrenimine dayalı karar ağacının oluşturulması sırasında eş zamanlı olarak ağacın daha basit ve yorumlanması kolay hale getirilmesi için ağaç budama işlemi gerçekleştirilmektedir. Ağaç budama, görünmeyen veriler üzerinde aykırı ve gürültülü dalların belirlenmesi ve kaldırması yolu ile sınıflandırma doğruluğunu artırmayı amaçlamaktadır (Ha vd., 2012). Özellikle derinliği fazla olan ağaç oluşumlarında kararlar üzerinde çok etkili olmayan dallanmaların eksiltilmesiyle önemli olan kuralların ön plana çıkarılarak ağacın sadeleştirilmesi bakımından gerekli bir işlem olmaktadır. Ön-budama (prepruning) ve son-budama (postpruning) olarak iki farklı yaklaşımın izlendiği süreçte (Ha vd., 2012), doğal aydınlatma sistemine yönelik müfredat karar ağacının oluşturulması esnasında ön budama yaklaşımı uygulanmıştır. Bu doğrultuda modelin oluşturulması aşamasında her bir tasarım evresinde gerçekleştirilen ağaç inşası ağaca ait belirli bir derinlik değeri atanarak durdurulmuştur. Diğer bir deyişle yaklaşım gereği belirli bir düğümdeki eğitim çiftlerinin alt kümesini daha fazla bölmemeye veya bölümlenmemeye karar verilmiştir (Ha vd., 2012). Böylece karar ağacı tanımlanan maksimum derinlik değerine bağlı olarak geliştirilmiş olup, model oluşumu esnasında budama işleminden geçirilmiştir.

4.3.3 Modelin değerlendirilmesi ve yorumlanması

Modelin geliştirilmesinden sonra veriden bir tasarım bilgisinin çıkarılması için modelin sadeleştirilmesi, bilginin yorumlanması ve modelin doğruluğunun değerlendirilmesi adımları gerçekleştirilmektedir (Bruha, 2001). Doğal aydınlatma sistemi tasarımı tahmin modelinin değerlendirilmesine ve yorumlanmasına yönelik uygulanan adımlar aşağıdaki gibi olmaktadır.

4.3.3.1 Model doğruluğunun belirlenmesi

Sınıflandırma modelinin oluşturulmasından sonra, model çıktılarının modele sağlanan veriler ile uyumunun ölçülmesi amacıyla modelin doğruluğu değerlendirilir (Ahmed, Korres, vd., 2011). Modelin doğruluğunun değerlendirilmesi ve validasyonunun gerçekleştirilmesi için veri setinin %20'si modelin test edilmesi, %80'i modelin eğitilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında sınıflandırma modelinin performansını derinlemesine anlamak ve hataları görsel olarak görmek için model doğruluğu "Karışıklık Matrisi (Confusion Matrix)" kullanılarak analiz edilmektedir. Modeldeki sınıf sayısı kadar satır ve sütunun olduğu matriste, satırlar sınıflandırılan veri sayısını sütunlar ise model tarafından tahmin edilen sınıf sayısını ifade etmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 : N sayıda sınıflandırma problemi için değerlendirme matrisi yapısı.

	Tahmin Edilen Sınıf 1	Tahmin Edilen Sınıf 2		Tahmin Edilen Sınıf n
Gerçek Sınıf 1	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YN)		Yanlış Negatif (YN)
Gerçek Sınıf 2	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Pozitif (DP)		Yanlış Negatif (YN)
....				
....				
Gerçek Sınıf 3	Yanlış Pozitif (YP)	Yanlış Pozitif (YP)		Doğru Pozitif (DP)

Değerlendirme matrisine ek olarak geliştirilen modelin performansının değerlendirilmesi için kesinlik (precision), hassasiyet (recall) ve doğruluk (accuracy) testleri yapılmaktadır. Modelin performansının kolaylıkla incelenmesini sağlayan doğruluk ölçütü, bir sınıflandırma modelinin doğru tahminlerinin, tüm veri noktalarına göre yüzdesini hesaplayan temel bir metriktir. Doğruluk ölçütünden farklı olarak kesinlik ölçütü yalnızca pozitif olarak tahmin edilenlerin doğruluğunu ölçer. Hassasiyet ise gerçek pozitif örneklerin ne kadarının pozitif olarak tahmin edildiğini değerlendirir. Her bir doğruluk

testi için kullanılan eşitlikler Çizelge 4.6’da verilmektedir. Bu eşitliklerde “TP” sınıflandırma modelinde doğru tahmin edilen pozitif değerleri, “TN” sınıflandırma modelinde doğru tahmin edilen negatif değerleri, “FP” modelde yanlış tahmin edilen pozitif değerleri ve “FN” sınıflandırma modelinde yanlış tahmin edilen negatif değerleri ifade etmektedir.

Çizelge 4.6 : Karar ağacı için performans değerlendirme ölçütleri.

Performans Ölçütü	Eşitlik
Doğruluk (Accuracy)	$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$
Kesinlik (Precision)	$\frac{TP}{TP + FP}$
Hassasiyet (Recall)	$\frac{TP}{TP + FN}$

4.3.3.2 Tasarım kurallarının çıkarılması

Karar ağaçları büyük olması ve anlaşılması bakımından karmaşık yapılar olabilirler. Bu nedenle verinin bilgiye dönüştürülmesinde anlaşılabilirliği artırmak için görsel olarak oluşturulan karar ağacı karar kurallarına dönüştürülür. Bir karar ağacından kural çıkarmak için, kökten yaprak düğüme giden her yol için bir kural oluşturulur. Belirli bir yol boyunca her bölme kriteri, kural öncülünü (“EĞER” kısmı) oluşturmak için mantıksal olarak “VE” bağlacı ile ilişkilendirilir. Yaprak düğüm, kural sonucunu (“O HALDE” kısmı) oluşturan sınıf tahminini tutar (Ha vd., 2012) (*Bknz:Şekil 4.7*). Ek olarak kuralların karar ağacından daha karmaşık bir hal almaması, bu anlamda kişilerin kuralları yorumlamasının kolaylaşması için kurallar üzerinde de budama (pruning) işleminin yapılması gerekebilir. Bu doğrultuda belirli bir kural öncülü için, kuralın tahmini doğruluğunu artırmayan herhangi bir koşul kaldırılabilir, böylece kural genelleştirilebilir (Ha vd., 2012). Belirtilen yöntem göz önünde bulundurularak tez çalışmasında çok işlevli yaşama mekanında farklı yerleşme senaryoları için görsel konfor sınıflarının tahmin edilmesine yönelik oluşturulan karar ağaçlarından Bölüm 4.2.3’te belirlenen her bir görsel konfor sınıfı için çeşitli tasarım kuralları çıkarılmaktadır. Böylece farklı eylemlere ait görsel gereksinimleri çeşitli görsel konfor düzeylerinde (görsel konfor sınıfları) karşılayacak doğal aydınlatma sistemi tasarım bilgisi elde edilmektedir.

4.3.3.3 Karar modelini oluşturan tasarım parametrelerine ait önem katsayılarının belirlenmesi

Karar ağacının oluşumunda kritik rol oynayan parametrelerin belirlenmesi karar ağacının yorumlanması aşamasında bir diğer adım olmaktadır. Bu doğrultuda doğal aydınlatma sistemine yönelik tasarım kurallarının çıkarılmasının yanı sıra geliştirilen her bir karar ağacı için doğal aydınlatma sistemi tasarım kararının verilmesinde önemli olan tasarım parametreleri belirlenmektedir. Böylece geliştirilen karar ağacı aracılığıyla doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik bilgi üretimi sağlanmaktadır.



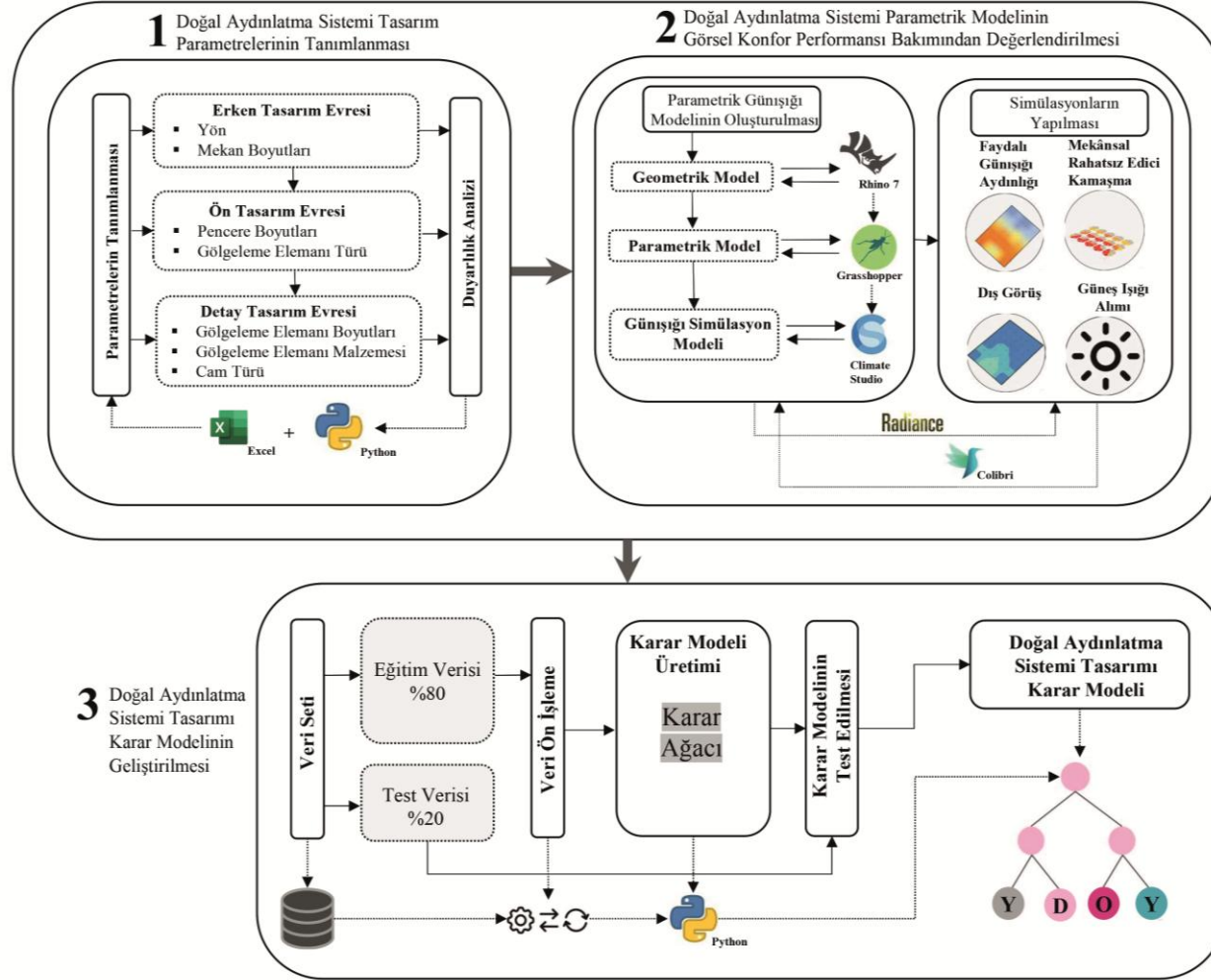


5. KONUT BİNALARINDA DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINA YÖNELİK KARAR MODELİNİN UYGULANMASI

Çalışmanın bu bölümünde 4. Adımda detaylı olarak belirtilen doğal aydınlatma sistemi tasarımında karar modelinin yaşama mekanı üzerinden uygulaması yapılarak üç farklı yerleşme seçeneği için yaşama mekanında doğal aydınlatma sistemi tasarımı performansının belirlenmesine yönelik karar ağacı modeli geliştirilmektedir. Şekil 5.1 çalışmanın yöntemi adımlarını detaylı bir şekilde göstermektedir. Çalışmanın yöntemi gereği olarak ilk aşamada yaşama mekanının doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım parametreleri bina tasarım süreçleri doğrultusunda belirlenmekte, daha sonra parametrik doğal aydınlatma sistemi modeli geliştirilmektedir. Çalışmanın ikinci adımı olarak tanımlanan parametrelere dayalı üretilen doğal aydınlatma sistemi performansı görsel konfor bakımından değerlendirilmektedir. Çalışmanın son aşamasında ise elde edilen sayısal veriler veri madenciliği yöntemi aracılığı ile doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesine yönelik bir karar ağacı modeline dönüştürülmektedir. Konut binlarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar modelinin uygulanması sürecinde gerçekleştirilen adımlar aşağıda verilen alt başlıklar altında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

5.1 Ele Alınan Mekana İlişkin Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Geliştirilmesi

Doğal aydınlatma sistemi modeline yönelik bir karar destek modelinin üretilmesi için çalışma kapsamında konut mekanları içerisinde temel ve en önemli mekan olan yaşama mekanı esas alınmıştır. Yaşama mekanına ait parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin geliştirilmesi; doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım parametrelerinin tanımlanması, yaşama mekanı için doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen parametrelerin duyarlılık analizi ile belirlenmesi ve yaşama mekanı için parametrik doğal aydınlatma sistemi tasarımı alternatiflerinin üretilmesi adımlarından meydana gelmektedir.



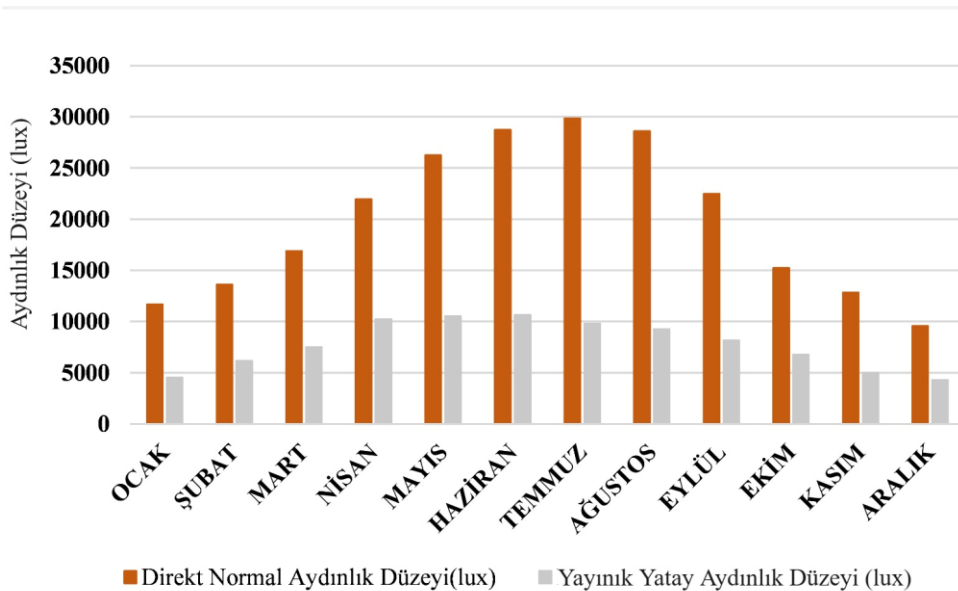
Şekil 5.1 : Doğal aydınlatma sistemi karar destek modelinin geliştirilmesine yönelik önerilen yöntem adımları

5.1.1 Doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansını etkileyen tasarım parametrelerinin tanımlanması

Çalışmanın yöntemi kapsamında Bölüm 4.1’de belirtilen doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansını etkileyen tasarım parametreleri detaylı bir şekilde doğal ve yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri olmak üzere iki bölümde ele alınmaktadır.

5.1.1.1 Doğal çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması

Doğal aydınlatma sistemi görsel performansı, mekanın/binanın bulunduğu yöreye (enleme) bağlı dış aydınlık düzeyi ve yapma çevrede bulunan doğal engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri gibi tasarımcının kontrolü dışında olan doğal çevreye ilişkin çeşitli tasarım parametrelerinden etkilenmektedir (Berköz vd., 1995). Ele alınan yaşama mekanının doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansına yönelik analizler üniversite mezunu ve üzeri eğitim seviyesine sahip kişi sayısına bağlı olarak konut mekanlarının aynı zamanda sıklıkla çalışma mekanları olarak kullanıldığı İstanbul (ılımlı-nemli iklim) ili için gerçekleştirilmiştir. İstanbul iline ait iklim verisi olarak 2007-2021 yılları arasındaki saatlik iklim verileri kullanılarak oluşturulan İstanbul Atatürk Havaalanı Tipik Meteorolojik Yıl (TMY) iklim verisi kullanılmıştır. Şekil 5.2 İstanbul iklim verisine bağlı olarak aylık ortalama direkt normal ve yayınlık yatay aydınlık düzeylerinin dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.2 : İstanbul ili için aylık ortalama direkt normal ve yayınlık yatay aydınlık düzeyleri

5.1.1.2 Yapma çevreye ilişkin tasarım parametrelerinin tanımlanması

Mevcut ve yeni yerleşmelerde kısmen veya tamamen tasarımcının kontrolünde olan ve doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansını etkileyen yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri yerleşme ve bina ölçeği için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Yerleşme ölçeği için yapma engellerin boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri ile birlikte yer örtüsünün ışık yansıtıcılığı doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansını etkileyen tasarım parametreleri olarak belirlenmiştir. Bina ölçeğinde ise bina tasarım süreçleri ile entegre bir şekilde doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ele alınarak konsept tasarım evresi için pencerenin baktığı yön ve mekan boyutları; ön tasarım evresi için pencerelerin boyut, biçim ve yerleştiriliş düzeni, gölgeleme elemanı türü, boyutları ve malzemesi; detay tasarım evresi için cama ait ışık geçirgenlik ve iç yüzey malzemelerine ilişkin ışık yansıtma özellikleri doğal aydınlatma sistemi görsel performansını etkileyen tasarım değişkenleri olarak tanımlanmıştır. İç mekan yüzey ışık yansıtma özellikleri çalışma kapsamında bir parametre olarak tanımlanmayıp, sabit bir değişken olarak alınmıştır.

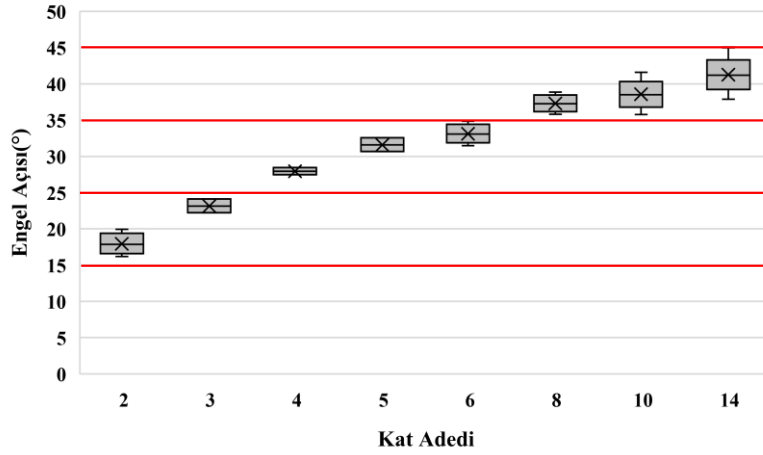
Yapma Engellerin Boyut, Konum ve Işık Yansıtma Özellikleri

Herhangi bir yerleşmedeki binalar ve doğal ve/veya yapma çevreye ait diğer öğeler gök görüşünü ve güneş ışınlamına erişimi engelleyerek pencere yüzeyine gelen günışığı miktarı, dolayısıyla iç mekan günışığı aydınlığı üzerinde etkili olurlar (Brophy & Lewis, 2011). Özellikle günümüzde konut binalarının yoğun şehir yapılaşmaları içerisinde yer aldığı göz önünde bulundurulduğunda çevre yapılaşmasına bağlı olarak meydana gelen engel durumunun, doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansına etkisinin değerlendirilmesi önemli olmaktadır. Bu doğrultuda yeni konut alanları için planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında Çizelge 5.1’de tanımlanan yol genişliğine bağlı maksimum kat adedi sayıları üzerinden yerleşme senaryoları geliştirilerek doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesine yönelik çeşitli engel açıları tanımlanmıştır. Yerleşme senaryoları engelin sürekli olduğu, dolayısı ile günışığı performansının en olumsuz durumunu temsil eden bitişik yapı nizamı için oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1 : Planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında yol genişliklerine bağlı olarak izin verilen maksimum bina kat adetleri (Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 2017).

Yol Genişliği (m)	Kat Adedi	Yol Genişliği (m)	Kat Adedi
$YG \leq 7$	2	$15 < YG \leq 20$	6
$7 < YG \leq 10$	3	$20 < YG \leq 25$	8
$10 < YG \leq 12$	4	$25 < YG \leq 35$	10
$12 < YG \leq 15$	5	$35 < YG \leq 50$	14

Engel açısının hesaplanması için geliştirilen her bir yerleşme senaryosunda binalar arası mesafenin belirlenmesine yönelik yönetmelik kapsamında tanımlanan yol genişliğine ek olarak, ön bahçe ve yaya yolu mesafeleri eklenmiştir. Bu anlamda planlı alanlar imar yönetmeliği gereği ön bahçe mesafesi minimum 5 m (Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 2017) ve yaya yolu tasarım standardı gereği kaldırım genişliği en az 1.5 m olarak alınmıştır (Şehir içi yollar - Yaya yolu ve yaya bölgeleri tasarım kuralları, 2017). Hesaplamalarda günışığı etkinliği bakımından en olumsuz durumun ortaya konması amacı ile binalar arası mesafenin belirlenmesinde yol genişliği olarak planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında kat adedine göre tanımlanan en küçük yol genişliği kabul edilmiştir. Belirlenen her bir bina aralığı için yerleşmede bulunan bina yükseklikleri, planlı alanlar imar yönetmeliğinde tanımlanan azami kat yüksekliğinin (3.6 m) yol genişliğine bağlı olarak izin verilen maksimum kat âdeti ile çarpımı sonucu hesaplanmıştır. 14 kat üzeri bina yüksekliğine sahip olan binalar ($H > 50.4$ m) çok yüksek katlı bina kategorisine ($H > 51.5$ m) girmesi ve planlamada özel gereksinimlere tabi tutulmaları sebebi ile çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Binalar arası mesafelere ilişkin yapılan kabuller ve imar yönetmeliği kapsamında izin verilen maksimum kat yüksekliği göz önüne alınarak kat adetine bağlı olarak ortaya çıkabilecek engel açıları belirlenerek Şekil 5.3'te verilmiştir. Yönetmelik kapsamında belirtilen kat adetleri ve olası tüm yol genişliklerine göre bitişik nizamlı yerleşmeler için gerçekleşen en küçük ve en büyük engel açıları sırasıyla 15° ve 45° olarak hesaplanmıştır. Kat adedi bazında 2 ve 3 katlı binalar için maksimum 15° ila 25° , 4-6 katlı binalar için maksimum 25° ila 35° , 8-14 katlı binalar için ise maksimum 35° ila 45° arasında engel açıları meydana geldiği belirlenmiştir.

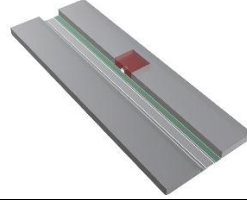
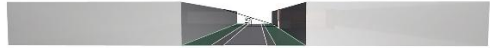
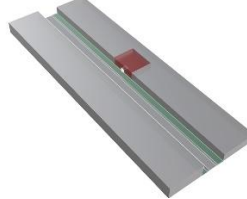
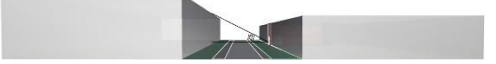
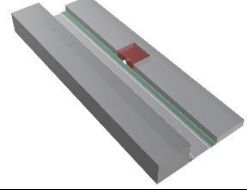
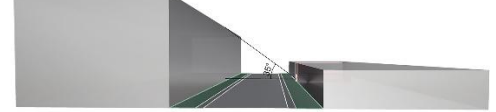
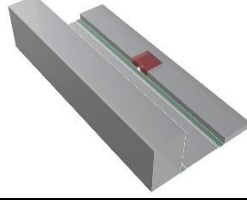
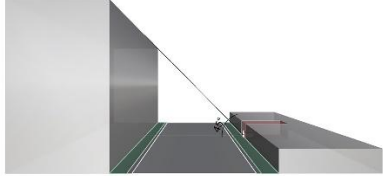


Şekil 5.3 : Planlı alanlar imar yönetmeliği kapsamında kat adedine bağlı olarak ortaya çıkan engel açıları

Planlı alanlar imar yönetmeliğinde belirtilen tasarım değişkenlerine ait büyüklüklere göre hesaplanan engel açıları dikkate alınarak çalışma kapsamında geliştirilen yerleşme senaryoları ve her bir yerleşme senaryosu için meydana gelen engel açıları Çizelge 5.2’de verildiği gibi belirlenmiştir. Geliştirilen yerleşme senaryolarının H/W (bina yüksekliği/sokak genişliği) oranları ve engel açıları sayısal olarak analiz edildiğinde aralarında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışma için planlı alanlar imar yönetmeliğinde tanımlanan çeşitli yol genişlikleri ve bina yüksekliklerine yönelik az ve orta yoğunluklu şehir yapılaşmalarını tanımlayan çeşitli H/W oranları (0.35, 0.50, 0.75, 1.0) için belirlenen 15°, 25°, 35°, 45° engel açıları üzerinden yaşama mekanının doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının parametrik olarak analiz edilmesine karar verilmiştir.

Dış yüzeylere ilişkin malzeme özellikleri, doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesinde dış yüzeylere ait ışık yansıtma çarpanı ile hesaplamalara etki etmektedir. TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardı kapsamında dış duvarlara ilişkin ışık yansıtma katsayısı 0.2 – 0.4 aralığında tanımlanırken, dış ortam zeminine ait ışık yansıtma katsayısı genellikle 0.2 olarak kabul edilmiştir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Bu bağlamda sabit bir değer olarak yerleşmede bulunan engel binaya ait yüzey ışık yansıtma katsayısı 0.30; dış zemin malzemelerinin genellikle asfalt, çim, beton vb. koyu ve mat yüzeyler olduğu düşünüldüğünde, yer örtüsüne ait ışık yansıtma katsayısı ise 0.20 olarak kabul edilmiştir (Berköz vd., 1995; TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

Çizelge 5.2 : Planlı alanlar imar yönetmeliği göz önünde bulundurularak geliştirilen yerleşme senaryoları ve ortaya çıkan engel açıları.

Yapılaşma Yoğunluğu	H/W	Engel Açısı(Θ)	Yol Genişliği (m)	Min. Bina Aralığı (m)	Maks. Bina Yüksekliği (m)	Yerleşme Görseli (Perspektif)	Yerleşme Görseli (Kesit)
Az Yoğunluklu	0.35	15°	$Y.G \leq 7$	20	7.20 (2 katlı)		
	0.50	25°	$7 < Y.G:8 \leq 10$	21	10.8 (3katlı)		
	0.75	35°	$15 < Y.G:16 \leq 20$	29	21.60 (6 katlı)		
Orta Yoğunluklu	1.01	45°	$35 < Y.G:36 \leq 50$	49	50.40 (14 Katlı)		

Pencerenin Baktığı Yön (Bina Yönelimi)

Güneşin etkisi bina cephe yüzeylerinin her biri için yönelime bağlı olarak farklılık göstermekte, dolayısı ile ele alınan mekanda meydana gelen günışığı aydınlığını değiştirmektedir. Literatürde yaşama, dinlenme, çalışma, oyun oynama gibi günün büyük bir kısmının geçirildiği konut mekanlarının güneşin ısı ve ışınlımından faydalanılması amacı ile genellikle güneyli yönlerde konumlandırılması önerilmektedir (Dogan & Park, 2019; Neufert & Neufert, 2012). Ancak, gerçek uygulamalarda söz konusu konut mekanlarının yalnızca Güney yönüyle sınırlı kalmayarak farklı yönlere de yönlendirildiği gözlemlenmektedir. Bu bağlamda pencerenin baktığı çeşitli yönlerin doğal aydınlatma sistemi görsel performansına etkisinin analiz edilmesi amacı ile yön parametresi Kuzey okunun saat yönünün tersine 45°'lik açılarla döndürülmesiyle belirlenerek 4 ana ve 4 ara yön (Kuzey, Kuzeydoğu, Doğu, Güneydoğu, Güney, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı) için parametrize edilmiştir.

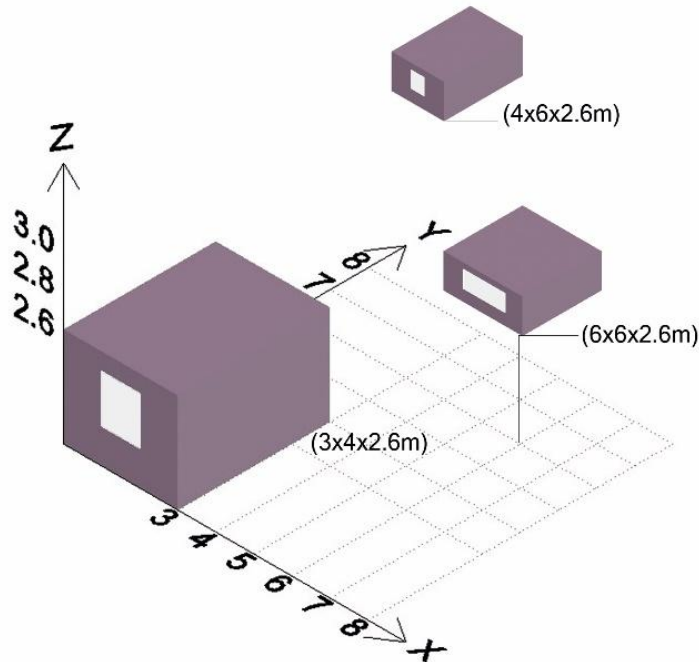
Mekan Boyutları; Mekan Genişliği, Mekan Derinliği, Mekan Yüksekliği

Doğal aydınlatma sistemi tasarımı görsel konfor performansı üzerinde önemli bir etkisi olan mekan boyutları, Türkiye'de uygulanan konut büyüklükleri ve planlı alanlar imar yönetmeliğinde yaşama mekanı için tanımlanan minimum mekan boyutları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Çizelge 5.3 Türkiye'de genellikle inşaa edilen 1+1, 2+1 ve 3+1 konut birimlerini ve konut büyüklüklerini göstermektedir. Günümüzde küçülen hane halkı boyutu ve bununla orantılı olarak küçülen konut büyüklükleri dikkate alındığında (TUIK, 2021); çalışma eyleminin başka diğer bir eylem ile birlikte gerçekleştirileceği düşünülen konut büyüklüklerinin ele alınması amacıyla çalışmanın kapsamı 1+1 ve 2+1 konut birimleri ile sınırlandırılmıştır. Bu doğrultuda farklı işlevlerin bir arada gerçekleştirileceği en küçük yaşama mekanı için mekan boyutları, en dar yeri minimum 3 m ve net kullanım alanı minimum 12 m² olacak şekilde 3 m x 4 m (genişlikxderinlik) olarak belirlenmiştir (Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 2017) En küçük boyutlu yaşama mekanı üzerinden genişlik ve derinlik boyutları 1'er m artırılarak yaşama mekanının alanı maksimum 36 m² olacak şekilde mekanı boyutları parametrize edilmiştir.

Çizelge 5.3 : Türkiye’de inşaa edilen bazı konut birimleri ve konut büyüklükleri.

Konut Birimi	Konut Büyüklüğü	Mekanlar
1+1	$25\text{m}^2 < X \leq 50\text{ m}^2$	Yaşama mekanı ek/ayrı mutfak, yatak odası, banyo
2+1	$50\text{m}^2 < X \leq 90\text{ m}^2$	Yaşama mekanı ek/ayrı mutfak, 2 adet yatak odası, banyo
3+1	$90\text{m}^2 < X < 140\text{ m}^2$	Yaşama mekanı, mutfak, 3 adet yatak odası, banyo

Yaşama mekanının kat yüksekliği, mekan boyutları ile benzer şekilde planlı alanlar imar yönetmeliği referans alınarak belirlenmiştir. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’ne göre konut mekanlarının döşemeden döşemeye kat yüksekliği maksimum 3.60 m, iskan edilen katların iç yüksekliği (tavan yüksekliği) minimum 2.60 m olabilmektedir (Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 2017). Türkiye’de yaşama mekanlarına ait kat yüksekliklerinin büyük bir çoğunluğunun 3 m’den az (%52) olduğu gözününe alındığında (Aslanoğlu, Kazak, vd., 2021), yaşama mekanına ait iç (net) yükseklik en az 2.60 m ve en fazla 3.00 m olacak şekilde 0.20 m’lik artışlar ile parametrize edilmiştir. X, Y ve Z düzlemlerinde mekan boyutlarına ilişkin yapılan sayısal kabuller sonucu geliştirilen bazı boyutsal alternatifler Şekil 5.4’te gösterilmiştir.

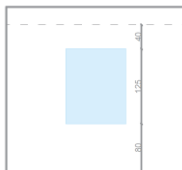
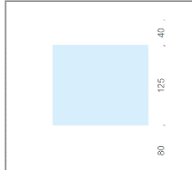
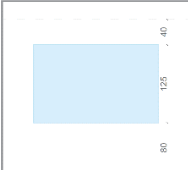
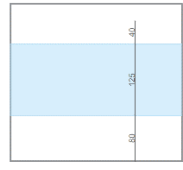
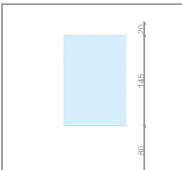
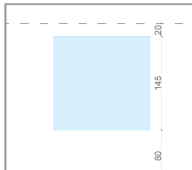
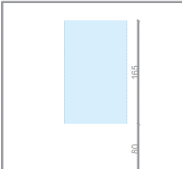
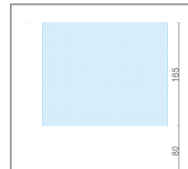
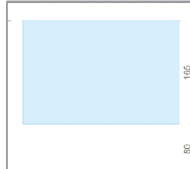
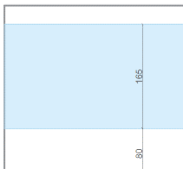
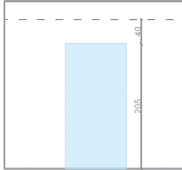
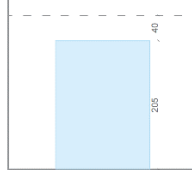
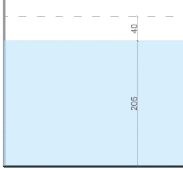
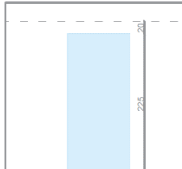
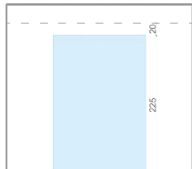
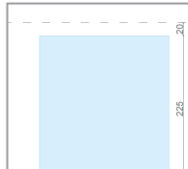
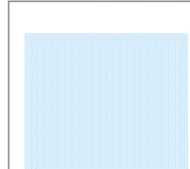
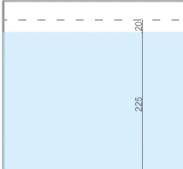
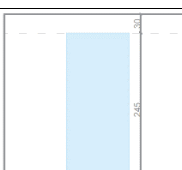
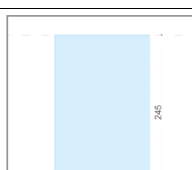
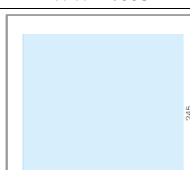
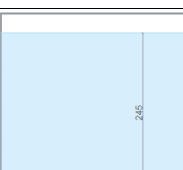


Şekil 5.4 : Mekan boyutlarına yönelik kabuller sonucu geliştirilen yaşama mekanı boyut alternatifleri

Pencerelerin boyut, biçim ve yerleştiriliş düzeni

Pencereler doğal aydınlatma sisteminin temel bileşeni olarak günışığının iç mekana alınmasında birincil öneme sahip tasarım değişkenlerindendir. Pencerelerin boyutları içeri alınan günışığı miktarını, biçim ve konumu ise iç mekanda elde edilen günışığı dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Pencere boyutlarının belirlenmesinde çeşitli standart ve tasarım rehberlerinde yeterli aydınlık düzeyinin ve dış görüşün sağlanmasına ilişkin pencere boyutuna yönelik minimum sınır değerler önerilmektedir. Bu sınır değerler göz önünde bulundurularak tez çalışması kapsamında derinliği 4 m ve üzeri olan mekan boyutları için en küçük pencere boyutu 1 m x 1.25 m (genişlikxyükseklik) olarak belirlenmiştir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Doğal aydınlatma sistemi alternatiflerinin geliştirilmesi için pencere genişliği minimum 1.00 m olmak üzere cephe genişliğine bağlı olarak pencere orta aksından simetrik olarak 0.50 m; pencere yüksekliği minimum 1.25 m olmak üzere parapetli (0.80) ve parapetsiz (0.00) olma durumlarına ve temiz kat yüksekliğine bağlı olarak 0.20 m artacak şekilde parametrize edilmiştir. Pencere üst kotu belirlenirken kaba döşeme kotundan 0.30 m sarkık giriş yüksekliği ve 0.15 m döşeme kalınlığı dikkate alınmıştır. Pencerenin biçimi ve konumu çalışma kapsamında bir değişken olarak tanımlanmamış olup, geliştirilen pencere modellerinde pencerelerin duvarın orta ekseninde yer aldığı ve pencere genişliğinin simetrik olarak artırılacağı kabul edilmiştir. Çizelge 5.4 çalışma kapsamında belirlenen en küçük cephe boyutları (3.00 m x 2.75 m) için pencere genişlik ve yüksekliğine bağlı olarak parametrize edilen pencere boyutu alternatiflerini göstermektedir. Mekan boyutlarının artması ile birlikte değişen her bir cephe boyutu için pencere genişlik ve yükseklikleri değişerek pencere boyutuna ilişkin ortaya çıkan alternatiflerin sayısı artmaktadır.

Çizelge 5.4 : En küçük cephe boyutu (3.00 m x 2.75 m) için pencere genişliği ve yüksekliği parametrelerine bağlı olarak geliştirilen pencere boyutu senaryoları.

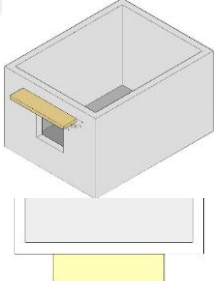
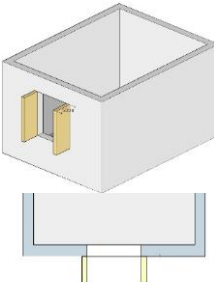
		Pencere Genişliği					
		1.00 m	1.50 m	2.0 m	2.5 m	3.0 m	
Pencere Yüksekliği	Parapetli	1.25 m					
		1.45 m					
		1.65 m					
	Parapetsiz	2.05 m					
		2.25 m					
		2.45 m					

Gölgeleme Elemanı Türü, Boyutları ve Malzeme Özellikleri

Doğal aydınlatma sistemi tasarımında dış görüşe engel olmadan kamaşmaya neden olabilecek direkt güneş ışığının engellenmesi amacıyla çeşitli gölgeleme elemanlarının kullanılması gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında yaşama mekanında yaşama ve dinlenme eylemlerinin yanı sıra çalışma eyleminin de gerçekleştirileceği göz önüne

alındığında doğal aydınlatma sistemine yönelik iki tür sabit gölgeleme elemanı ele alınmıştır. Güneşin pozisyonu dikkate alınarak Güney yöneline sahip yaşama mekanı senaryoları için yatay eleman, Doğu ve Batı yönelimlerine sahip yaşama mekanı senaryoları için düşey elemanlar önerilmiştir (Çizelge 5.5). Yatay gölgeleme elemanının genişliği pencere genişliği ile aynı olacak şekilde parametrize edilirken, elemana ait derinlik boyutları 0.5 m ve 1.0 m olarak tanımlanmıştır. Yatay gölgeleme elemanı ile benzer şekilde düşey gölgeleme elemanına ait derinlik değerleri 0.5 m ve 1.0 m olarak belirlenmiş olup, elemanın yüksekliği pencere yüksekliğine eşit olacak şekilde parametrize edilmiştir. Yatay gölgeleme elemanı pencere açıklığının hemen üzerinde ve düşey gölgeleme elemanı pencere açıklığının hemen yanında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Yatay ve düşey gölgeleme elemanlarına ait ışık yansıtma katsayıları ise gölgeleme elemanlarının ahşap ve metal malzemeden yapılma durumları göz önüne alınarak sırasıyla %13.3 (Ahşap) ve %49.8 (Metal) olarak parametrize edilmiştir (A. J. Jakubiec, 2022).

Çizelge 5.5 : Sabit gölgeleme elemanı tasarımına ilişkin ele alınan değişkenler.

Gölgeleme Elemanı	Perspektif/Plan	Yön	Konum	Parametrize Edilen Özellikleri	Değerler
Yatay Sabit Eleman		G GB GD	Pencere Açıklığının 0.0 m üzeri	Genişlik	Pencere genişliğine göre değişecektir.
				Derinlik	0.5 m 1.0 m
				Işık Yansıtma Katsayısı	Ahşap (%13.3) Metal (%49.8)
				Derinlik	0.5 m 1.0 m
Düşey Sabit Eleman		GB GD D B	Pencere Açıklığının 0.0 m yanı	Uzunluk	Pencere yüksekliğine göre değişecektir.
				Işık Yansıtma Katsayısı	Ahşap (%13.3) Metal (%49.8)
				Derinlik	0.5 m 1.0 m
				Uzunluk	Pencere yüksekliğine göre değişecektir.

Pencerelerin ışık geçirme özellikleri

Çalışmanın yöntemi kapsamında yapının saydam bileşeni olan pencerelere ilişkin ışık geçirme özelliklerinden cama ait ışık geçirgenlik katsayısının doğal aydınlatma sistemi görsel performansına etkisinin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Pencereye ilişkin doğrama faktörü ve cama ilişkin kirlilik çarpanı tez çalışması kapsamında yöntemde dahil

edilmemiştir. Bu doğrultuda doğal aydınlatma sistemi seçeneklerinin oluşturulmasına ilişkin konut mekanlarında günışığının etkin bir şekilde alınabilmesi için günışığı ışık geçirgenlik değeri (T_{vis}) minimum 0.70 (Zhen vd., 2019) ve güneş enerjisi toplam geçirgenlik katsayısı (SHGC) değeri düşük olacak şekilde konut binalarında kullanılabilecek 2 farklı cam türü (Low-e ve Solar Low-e) belirlenmiştir. Belirlenen cam türlerinin aynı zamanda TS 825: Binalarda ısı yalıtım kuralları standardında belirtilen U değerlerine uygunluğu göz önünde bulundurulmuştur. Cam türlerine ait katmanlaşma detayları ve cama ait fiziksel özellikler Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Çalışma kapsamında ele alınan cam türlerine ait katmanlaşma detayları ve fiziksel özellikleri.

Cam Türü	Katmanlaşma	Işık Geçirgenlik (VT_n)	U değeri [$W/K.m^2$]	SHGC _n	Gölgeleme Katsayısı (SC/g)
C1	Low-E / Air/ Flat (4+16+4 mm)	0.79	1.30	0.56	0.64
C2	Solar Low-E / Air/Flat/Air/Low-E (4+16+4+16+4 mm)	0.69	0.7	0.48	0.53

İç Yüzey Malzemelerine İlişkin Işık Yansıtma Özellikleri

Tez çalışması kapsamında belirlenen her bir yaşama mekanı alternatifi için iç yüzey ışık yansıtma özellikleri doğal aydınlatma sistemine ait parametrelerin analiz edilmesi amacıyla değişken olarak değerlendirilmemektedir. Doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının analiz edileceği her bir mekan alternatifi için iç mekana ait yüzey ışık yansıtma katsayıları referans bir değer olarak tavan, döşeme ve zemin için sırasıyla 0.7, 0.5, 0.2 olarak kabul edilmiştir (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

5.1.2 Doğal aydınlatma sistemi performansını etkileyen tasarım parametrelerinin duyarlılık analizi ile belirlenmesi

Bu bölümde çalışma yöntemi kapsamında ele alınan tasarım parametrelerinin görsel konfor ölçütleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizinin yapılması, tez çalışması kapsamında belirlenen tasarım parametrelerinin çeşitli kombinasyonlarından oluşan örneklem grubunun belirlenmesi, oluşturulan doğal aydınlatma sistemi tasarımı alternatifleri için görsel konfor simülasyonlarının gerçekleştirilmesi ve regresyon analizi yöntemi ile tasarım parametrelerinin görsel konfor ölçütlerine etkisinin analiz edilmesi aşamalarını kapsamaktadır.

5.1.2.1 Örneklem kümesinin oluşturulması

Bölüm 5.1.1’de tanımlanan doğal aydınlatma sistemi tasarımı parametrelerinin çaprazlanması sonucu 473.220 adet konut mekanı modeli ve 792.120 adet doğal aydınlatma sistemi alternatifi elde edilmiştir. Senaryolar 5 farklı engel durumu, 8 farklı yön, 4 farklı mekan genişliği, 4 farklı mekan derinliği, 3 farklı kat yüksekliği, 12 farklı pencere genişliği, 9 farklı pencere yüksekliği, 2 farklı cam türü, 2 farklı gölgeleme elemanı türü, 2 farklı gölgeleme elemanı derinliği ve 2 farklı malzeme türü üzerinden türetilmiştir. Çaprazlama sonucu hesaplanan doğal aydınlatma sistemi senaryolarından çalışmanın yöntemi doğrultusunda yapılan kabul gereği Kuzey, Kuzeybatı ve Kuzeydoğu yönleri için gölgeleme elemanı alternatifleri çıkarılmıştır. Tasarım değişkenlerine ait değerlerin çeşitli kombinasyonları sonucu oluşan tasarım alternatifleri içerisinde örneklem grubu seçimi olasılıksal olmayan örneklem seçim tekniklerinden amaca yönelik/yargısal örnekleme tekniği ile yapılmıştır. İlgili örnekleme tekniği ile diğer seçeneklerden elde edilemeyen önemli bilgileri sağlamak için belirli ortamlardaki kişiler, olaylar veya senaryolar kasten seçilmektedir (Taherdoost, 2016). Bu doğrultuda görsel konfor parametreleri üzerine etkisi analiz edilecek tasarım değişkenleri, literatür araştırması sonucu ilgili tasarım değişkeninin görsel konfor parametrelerine etki derecesinin net bir şekilde irdelenmediği (kat yüksekliği, gölgeleme elemanı malzemesi) veya irdelense bile parametrenin aldığı değerlere göre etki derecesinin hassaslığının ortaya konmadığı (pencere genişliği, pencere yüksekliği, gölgeleme elemanı derinliği) değişkenler olarak belirlenmiştir. Bazı tasarım değişkenleri ise sadece görsel konfor kriterlerine etki derecesinin belirlenmesi amacıyla ele alınmıştır (engel açısı, cam türü).

Seçilen tasarım değişkenlerinin alacağı değerler her bir tasarım değişkeninin anlamlı sonuçlarının alınabileceği ön görülen değerler üzerinden belirlenmiştir. Bu değerler çalışmanın yöntemi kapsamında ilgili tasarım değişkeni için tanımlanan değerlerin tamamı olabilirken bazı değişkenler için ilgili tasarım değişkenini tanımlayan en alt ve en üst sınır değerler olarak belirlenmiştir. Diğer yandan yön, mekan genişliği, mekan derinliği ve güneş kontrol (gölgeleme) elemanı türü parametrelerinin etkisi değerlendirme kapsamına alınmamış olup, belirlenen tasarım değişkenleri Güney yöne bakan ve 3.0 m x 4.0 m boyutlarına sahip konut mekanı üzerinden güneş kontrol elemanının olmadığı ve/veya yatay güneş kontrol elemanı olduğu durumlara göre analiz edilmiştir. Tasarım değişkenleri ve aldıkları değerlere göre oluşturulan örneklem matrisi Şekil 5.5’te verilmektedir. Örneklem matrisinde sütunlar çalışma kapsamında ele alınan her bir tasarım değişkenini ve ilgili

değişken için seçilen değerleri, satırlar ise bu değerlerin kombinasyonu ile oluşan her bir tasarım senaryosunu ifade etmektedir. Kombinasyonlar sonucu değerlendirme için analiz edilecek örneklem sayısı 334 olarak hesaplanmıştır.

Engel Açısı	Yön	Mekan Genişliği	Mekan Derinliği	Kat Yüksekliği	Pencere Genişliği	Pencere Yüksekliği	Cam türü	Güneş Kontrol Elemanı	Derinlik	Malzeme
0°	0°	3	4	2.6	1	1.25	0.79	yatay	0.0	%13,3
45°	45°	4	5	2.8	1.5	1.45	0.69	yatay	0.5	%49,8
*	90°	5	6	3	2.0	1.65	*	yatay	1.0	%13,3
*	135°	*	*	*	2.5	2.05	*	*	0.0	*
*	*	*	*	*	3	2.25	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	2.45	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

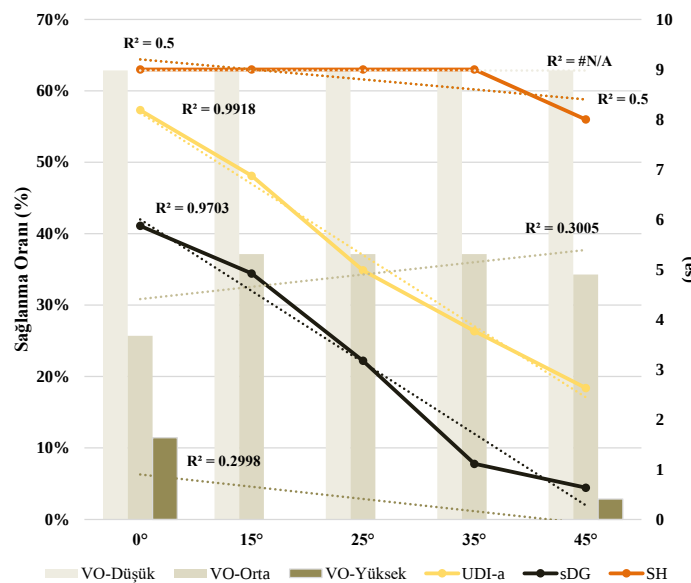
Şekil 5.5 : Tasarım parametrelerinin görsel konfor ölçütleri üzerine etkisinin irdelenmesi için oluşturulan örneklem matrisi

5.1.2.2 Tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

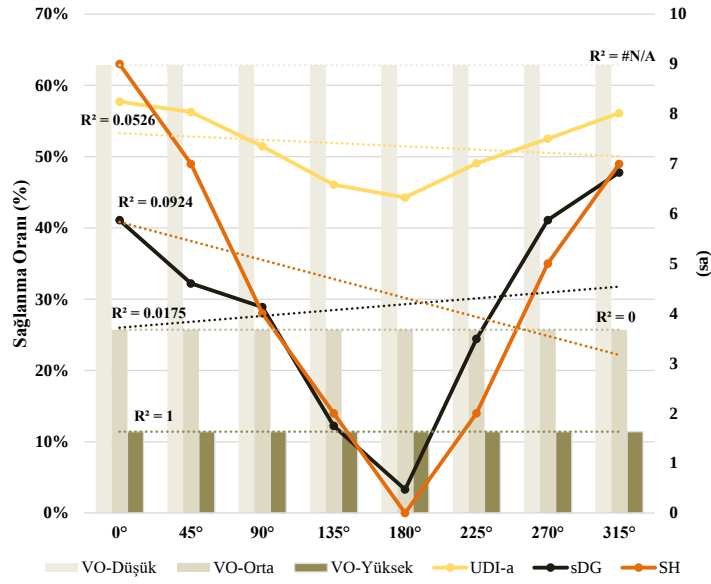
Tez çalışması kapsamında ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin görsel konfor koşullarına etkisinin belirlenmesi için öncelikle her bir parametreye ilişkin oluşturulan örneklem dosyasındaki her bir satır simülasyon modeline bir girdi olarak atanmıştır. Toplam 334 adet senaryo için Solemma grubu tarafından geliştirilen ve Rhinoceros 3B modelleme programı ile bağlantılı olarak çalışan Climate Studio programı aracılığı ile görsel konfor kriterlerine yönelik simülasyon çıktıları elde edilmiştir (URL-1, t.y.). Sonuçlar her bir tasarım parametresi için Bölüm 4.2.2’de detaylı olarak açıklanan Faydalı Güneşli Aydınlanma (UDI-a), Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG), Dış Görüş (VO) ve Güneş Işığı Alımı (SE) görsel konfor değerlendirme yöntemleri aracılığı ile ortaya konmuştur. Yapılan değerlendirmelerde ele alınan tasarım parametresi dışındaki bütün parametreler simülasyonlarda sabit değişken olarak kabul edilmiştir. Analizlerde aynı zamanda oluşturulan her bir regresyon modelinin doğrusallığı R^2 değerine (belirleme katsayısı) bağlı olarak bir sonraki adım olan duyarlılık analizi için belirlenmiştir. Bu doğrultuda R^2 değeri 0.70 ‘den büyük olan regresyon modellerinin doğrusal olduğu kabul edilmiştir (Cariboni vd., 2007; Pang & O’Neill, 2019).

Sonuçlar incelendiğinde engel açısı artışı 3.0 m x 4.0 m x 2.6 m mekan boyutlarına ve 1.00 m x 1.25 m pencere boyutlarına sahip güneye yönlendirilmiş yaşama mekanındaki UDI-a düzeyi üzerinde (-) %8 ila (-) %13.2 arasında bir azalmaya neden olmuştur. Engel açısının artması ile mekansal rahatsız edici kamaşma düzeyi (sDG) (-) %3.3 ila (-) %14.4 oranı arasında azalmıştır. Engel açısının değişiminin yüksek dış görüş düzeyi üzerindeki etkisi (-) %11.4 ila (+) %2.9 oranları arasında gerçekleşmiştir. Engel açısının artması ile yaşama mekanında sağlanan saatlik güneş ışığı alım süresinde (-/+) %0 ila (-) %11 oranında değişim görülmüştür (Şekil 5.6). Elde edilen sonuçlar engel açısının UDI-a ($R^2:0.9918$) ve sDG ($R^2:0.9703$) üzerinde doğrusal ve yüksek düzeyde, SH ($R^2:0.5$) ve VO ($R^2:0.5$) üzerinde zayıf ve doğrusal olmayan bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Yaşama mekanının 8 farklı yönelime sahip olması durumunda, yönelime bağlı olarak iç mekan görsel konfor düzeyindeki değişim Şekil 5.7’de verildiği gibi olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre yön parametresinin değişimi yaşama mekanında sağlanan UDI-a değerinde (-) %4.8 ila (+) %4.8 oranlarında değişime sebep olmuştur. Çalışma alanı için elde edilen sDG değerinde ise (-) %16.7 ila (+) %16.7 oranlarında bir değişim gerçekleşmiştir. Yaşama mekanının baktığı yön değiştikçe yaşama mekanının güneş ışığı alım süresi (-) %33 ila (+) %33 oranları arasında değişmiştir. Yön parametresi dış görüş sonuçları üzerinde bir değişime neden olmamıştır. Sonuçlar yönelim parametresinin UDI-a ($R^2:0.0526$), sDG ($R^2:0.0175$) ve SH ($R^2:0.0925$) üzerinde doğrusal olmayan, zayıf düzeyde bir etkiye sebep olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.6 : Engel açısı parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi

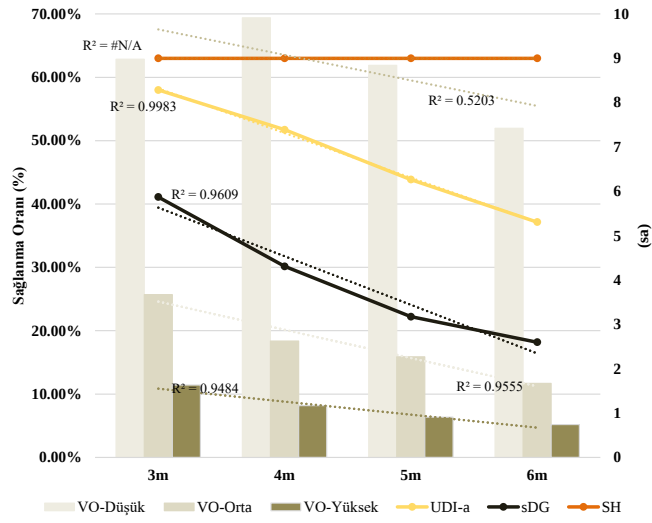


Şekil 5.7 : Yön parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi

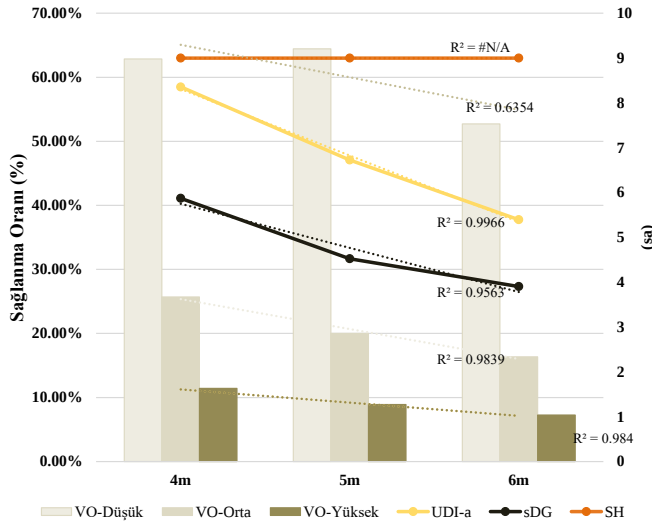
Yaşama mekanının genişliği arttırıldıkça çalışma içerisinde ele alınan görsel konfor performans ölçütlerindeki değişim Şekil 5.8 (a)'da verildiği gibi olmaktadır. Bu anlamda yaşama mekanında sağlanan UDI-a değeri mekan genişliğinin artışına bağlı olarak (-) %7.9 ile (-) %6.7 oranları arasında değişmiştir. Çalışma alanında gerçekleşen sDG değeri ise mekan genişliği arttıkça (-) %11 ile (-) %4 oranları arasında azalma göstermiştir. Pencere boyutlarının sabit kalmasına rağmen yöntem gereği dış görüş performansının mekansal olarak değerlendirilmesi sebebi ile mekan genişliğinin artması dış görüş düzeyinin değişimine neden olmuştur. Bu doğrultuda mekan genişliği arttıkça düşük dış görüş düzeyi (-) %10 ile (+) %6.5, orta dış görüş düzeyi (-) %0.07 ile (-) %0.04, yüksek dış görüş düzeyi (-) %0.03 ile (-) %0.03 oranları arasında değişiklik göstermiştir. Mekan genişliği arttıkça dış görüş sağlanamayan bakış noktalarının yaşama mekanındaki oranı ise (+) %0.04 ile (+) %0.15 arasında artmıştır. Mekan genişliğinin yaşama mekanının güneş ışığı alım süresi üzerinde ise herhangi bir etkisi belirlenmemiştir. Elde edilen sonuçlar mekan genişliği parametresinin UDI-a ($R^2:0.9983$), sDG ($R^2:0.9609$), VO-Yüksek ($R^2:0.9484$) ve VO-Orta ($R^2:0.955$) değerleri üzerinde doğrusal ve güçlü bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Mekan derinliğinin artması ile yaşama mekanının günışığı etkinliği, kamaşma düzeyi, dış görüş ve güneş ışıınımı maruziyeti ölçütleri üzerinde meydana gelen değişim Şekil 5.8(b)'de gösterildiği gibi olmaktadır. Sonuçlara göre mekan derinliğinin artması UDI-a değerinde (-) %11.4 ve (-) %9.3 oranında, çalışma alanında gerçekleşen sDG değeri üzerinde ise (-) %9.4 ve (-) %4.3 oranında azalmaya neden olmuştur. Mekan derinliği

artışı yaşama mekanında dış görüş sağlanamayan bakış nokta sayısı üzerinde (+) %6.7 ve (+) %17.0 oranı üzerinde artışa neden olarak, dış görüş düzeyi üzerinde düşük düzey için (+) 1.6% ve (-) 11.7%, orta düzey için (-) %5.7 ve (-) %3.6, ve yüksek düzey için (-) 2.5% ve (-) 1.6% oranlarında bir etki göstermiştir. Mekan derinliği yaşama mekanında sağlanan güneş ışığı alım süresinde herhangi bir değişime neden olmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre mekan derinliğinin artışı UDI-a ($R^2:0.9966$), sDG ($R^2:0.9563$) ve VO ($R^2:0.64-0.98$) düzeyleri üzerinde doğrusal ve önemli bir etkiye neden olmuştur.



(a)

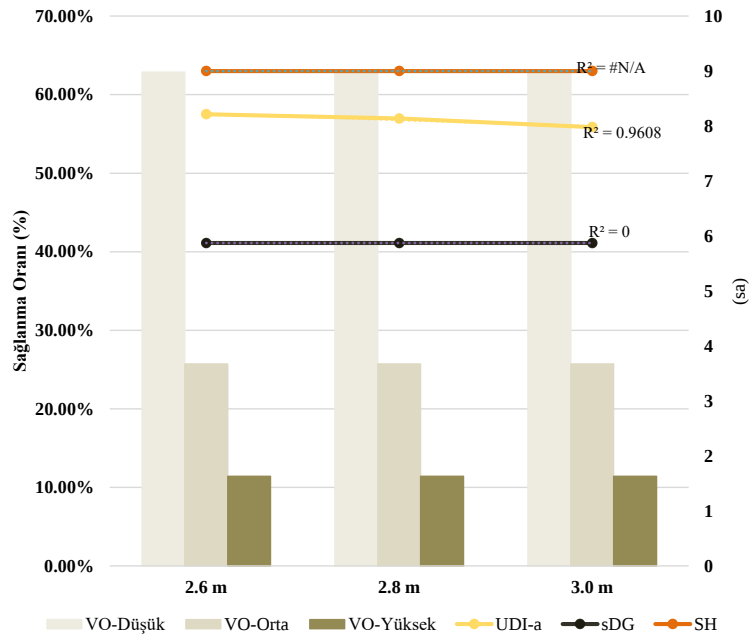


(b)

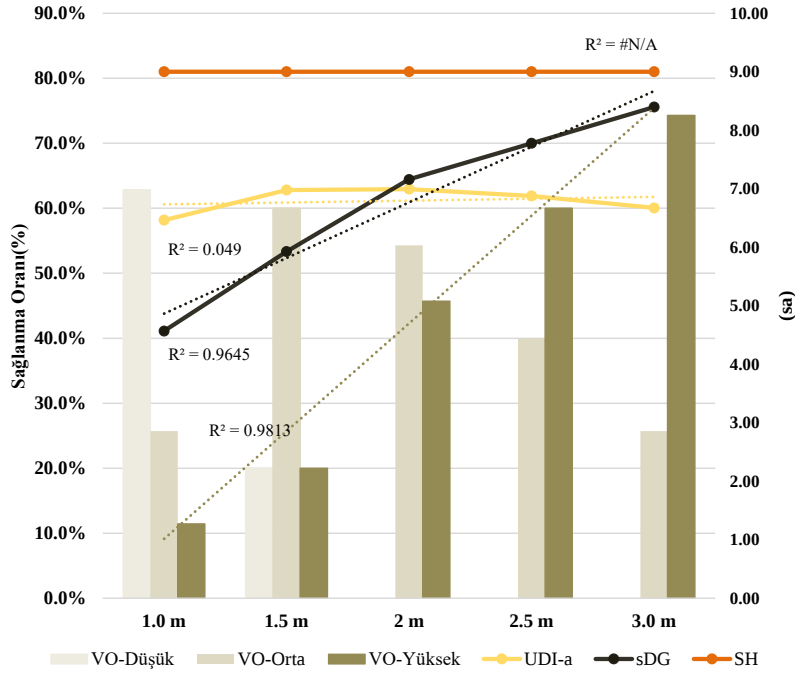
Şekil 5.8 : Mekana ait genişlik (a) ve derinlik (b) parametrelerinin görsel konfor üzerine etkisi

Diğer yandan yaşama mekanının kat yüksekliğinin 2.6 m'den 2.8 m ve 3.0 m'ye artırılması, UDI-a değerinde (-) %0.5 ila (-) %1.1 oranında bir azalmaya sebep olmuştur. Kat yüksekliğinin artırılması veya azaltılması sonucu yaşama mekanının kamaşma, dış görüş ve güneş ışığı alımı süresinde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kat yüksekliğinin görsel konfor ölçütleri ile herhangi bir ilişkisinin ve görsel konfor üzerinde önemli düzeyde bir etkisinin (>%10) olmadığı görülmüştür (Şekil 5.9).

Pencere genişliğinin artışı, UDI-a değerinde öncelikle (+) %4.6 ve (+) %0.1 oranlarında artış, sonrasında ise (-) %1.1 ve (-) %1.8 oranlarında bir azalışa neden olmuştur (Şekil 5.10). sDG düzeyi pencere genişliğinin değişimi ile (+) %5.6 ila (+) %12.2 oranları arasında artış göstermiştir. Pencere genişliğinin artışı dış görüş üzerinde olumlu bir etki göstererek; düşük dış görüş düzeyinde (-) %42.9 ila (+/-) %0.0, orta dış görüş düzeyinde (-) %14.3 ila (+) %34.3, yüksek dış görüş düzeyinde ise (+) %8.6 ila (+) %25.7 oranları arasında değişim meydana gelmiştir. Pencere genişliğinin SH üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır. Elde edilen sonuçlar pencere genişliği ile UDI-a arasında doğrusal olmayan ($R^2:0.049$) ve zayıf bir ilişki olduğunu ortaya koyarken, pencere genişliği ile sDG ($R^2:0.9645$) ve VO ($R^2:0.9813$) arasında doğrusal ve güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir.

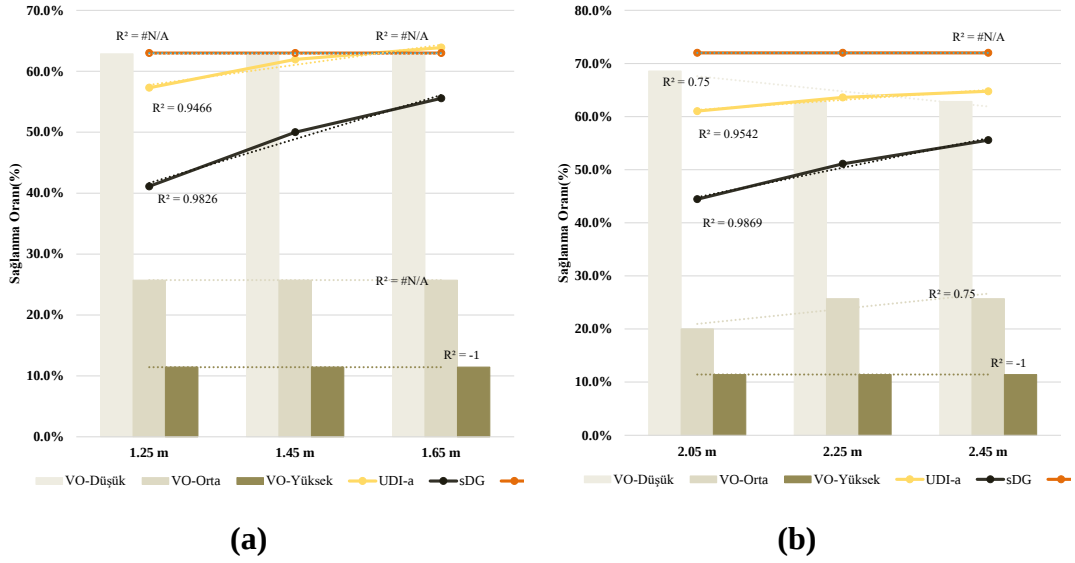


Şekil 5.9 : Kat yüksekliği parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi



Şekil 5.10 : Pencere genişliği parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi

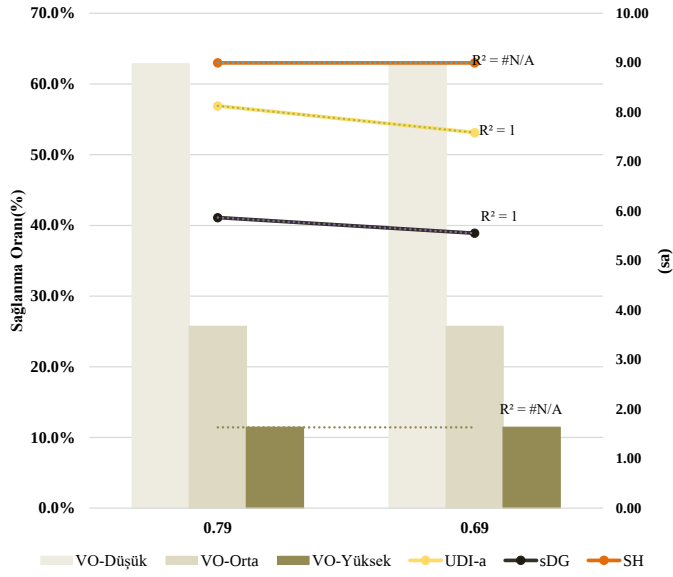
Şekil 5.11’de verilen en küçük pencere genişliği (1.0 m) için pencere yüksekliğindeki değişimin görsel konfor sonuçlarına etkisi pencerenin parapetli (1.25 m, 1.45 m, 1.65 m) ve parapetsiz (2.05 m, 2.25 m, 2.45 m) olma durumuna göre ayrı incelenmiştir. Parapetli pencere için pencere yüksekliğindeki artış UDI-a ve sDG düzeylerinde (+) %4.7 ila (+) %1.9 ve (+) %8.9 ila (+) %5.6 oranlarında artışa neden olurken, parapetsiz pencere için bu oranlar (+) %2.6 ila (+) %1.2 ve (+) %6.7 ila (+) %4.5 arasında gerçekleşmiştir. Pencere yüksekliğinin parapetli pencere için VO ve SH üzerinde ise herhangi bir etkisi olmazken, parapetsiz pencere için pencere yüksekliğinin artması ile birlikte düşük dış görüş düzeyi (-) %5.7 azalarak orta dış görüş düzeyi (+) %5.7 artmıştır. Sonuçlar parapet yüksekliğinden bağımsız olarak pencere yüksekliği ile UDI-a ($R^2:0.95$) ve sDG ($R^2:0.98$) arasında doğrusal ve çok güçlü bir ilişki olduğunu, ek olarak parapetsiz pencereler için pencere yüksekliği ile VO ($R^2:0.75$) arasında doğrusal ve kısmen güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir.



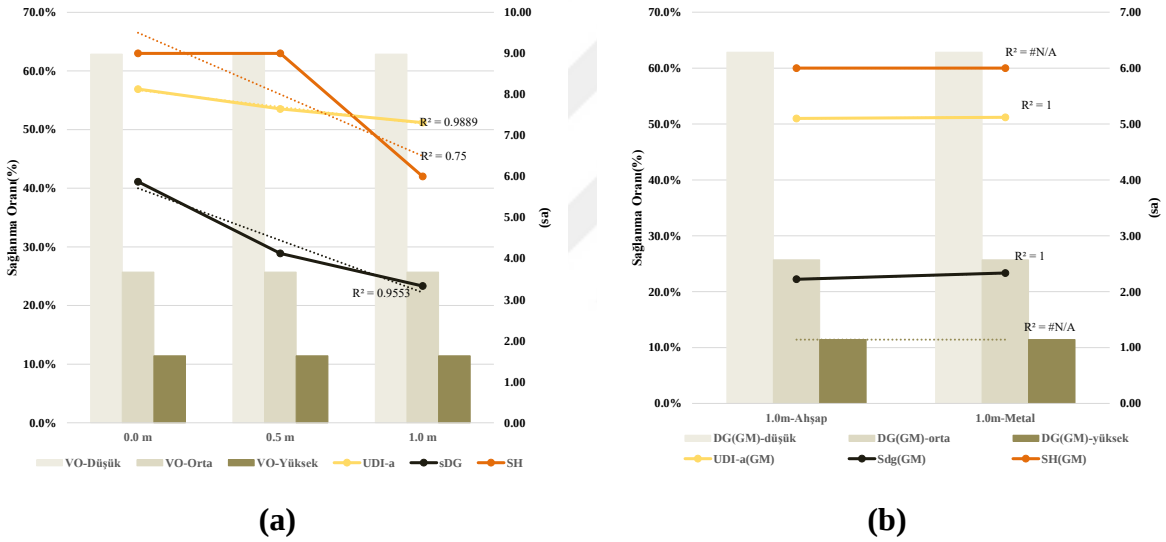
Şekil 5.11 : Parapetli (a) ve parapetsiz (b) pencereler için pencere yüksekliği parametresinin görsel konfor düzeyine etkisi

Cam türü değişimine bağlı cama ait ışık geçirime katsayısının en küçük pencere boyutu için 3.0 m x 4.0 m x 2.6 m boyutlara sahip yaşama mekanında sağlanan UDI-a, sDG, VO ve SH üzerindeki etkisi Şekil 5.12’de verildiği gibi olmaktadır. Sonuçlara göre Low-E cam türünün Solar Low-E cam türü ile değiştirilmesi sonucu UDI-a değerinde (-) %3.8, sDG değerinde ise (-) %2.2 oranında bir azalış meydana gelmiştir. Cam türü değişimin yaşama mekanının dış görüş düzeyi ve güneş ışığı alımı üzerinde ise herhangi bir etkisi olmamıştır. Sonuçlar cam türüne bağlı ışık geçirgenlik katsayısı ile UDI-a ($R^2:1.0$) ve sDG ($R^2:1.0$) arasında doğrusal ve güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Yatay gölgeleme elemanının görsel konfor performansına etkisi gölgeleme elemanının derinliğine bağlı olarak Şekil 5.13(a)’da verildiği gibi olmaktadır. Gölgeleme elemanı derinliğinin artırılması ile UDI-a sırasıyla (-) %3.4 ve (-) %2.3 oranlarında azalmıştır. sDG değeri ise benzer şekilde gölgeleme elemanı derinliği artışı ile birlikte sırasıyla (-) %12.2 ve (-) %5.6 oranlarında düşmüştür. Gölgeleme elemanı derinliğinin artması dış görüş üzerinde engelsiz yerleşme durumunda herhangi bir etki göstermemiştir. SH gölgeleme elemanının artışına bağlı olarak sırası ile (-/+) %0 ve (-) %33.3 oranında değişim göstermiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında gölgeleme elemanı derinliği ile UDI-a ($R^2:0.9889$), sDG ($R^2:0.9553$) ve SH ($R^2:0.75$) arasında doğrusal ve önemli bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 5.12 : Cam türü parametresinin görsel konfor üzerine etkisi



Şekil 5.13 : Gölgeleme elemanına ait derinlik (a) ve malzeme (b) parametrelerinin görsel konfor üzerine etkisi

Gölgeleme elemanı malzemesine bağlı olarak gölgeleme elemanına ait ışık yansıtma katsayısının görsel konfor üzerindeki etkisi, ahşap (%13.3) ve metalik (%49.8) malzemelere ait ışık yansıtma katsayıları üzerinden değerlendirilmiştir (Şekil 5.13 (b)). Derinliği 1.0 m olan gölgeleme elemanı için gölgeleme elemanına ait ışık yansıtma katsayısının değişimi ile UDI-a ve sDG değerlerinde (+) %0.2 ve (+) %1.1 oranında artış meydana gelmiştir. Gölgeleme elemanı malzemesinin değişimi VO ve SH değerlerine üzerinde herhangi bir etkiye sebep olmamıştır. Bu anlamda sonuçlar gölgeleme ele-

manına ait ışık yansıtma katsayısı ile UDI-a ($R^2:1.0$) ve sDG ($R^2:1.0$) arasında doğrusal düzeyde bir ilişki olduğunu, VO ve SH düzeyleri ile ise herhangi bir ilişki olmadığını göstermiştir.

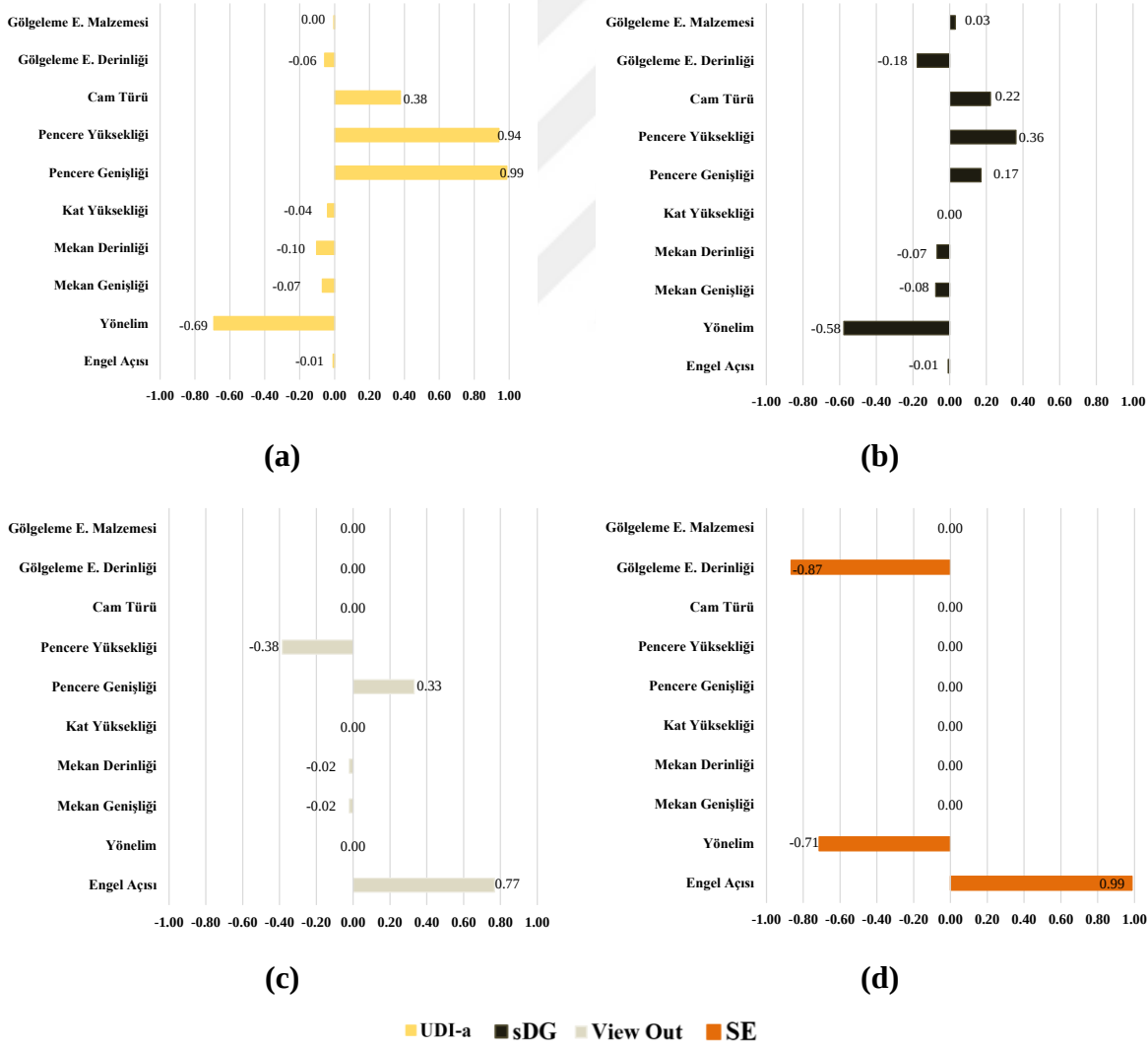
5.1.2.3 Regresyon tabanlı duyarlılık analizi yapılması

Bu bölümde doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterleri üzerindeki etkisine bağlı olarak önem sıralamasının belirlenmesi için regresyon tabanlı duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda görsel konfor kriterleri ile arasında doğrusal bir ilişki olan tasarım parametrelerinin görsel konfor kriterine etkisinin belirlenmesi için *Basit Regresyon Katsayısı (Standard Regression Coefficient)*, görsel konfor kriterleri ile arasında doğrusal bir ilişki olmayan tasarım parametreleri için *Standartlaştırılmış Sıralı Regresyon Katsayısı (Standard Rank Regression Coefficient)* hesaplanmıştır. Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin her bir görsel konfor kriteri ile ilişkisinin doğrusal olup olmadığı Belirleme Katsayısı'na (R^2) bağlı olarak Bölüm 5.1.2.2'de belirlenmiştir. Buna göre yönelim parametresinin UDI-a, sDG ve SH, engel açısı parametresinin SH ve VO, pencere genişliği parametresinin UDI-a, pencere yüksekliği parametresinin UDI-a, sDG ve VO ve gölgeleme elemanı derinliği parametresinin SH ölçütleri ile arasında doğrusal olmayan (non-linear) bir ilişki olduğu görülmüştür ($R^2<0.70$). Her bir tasarım değişkeninin kalan diğer ölçütler ile ise doğrusal bir ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.14'te ele alınan doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin Faydalı Güneş Işığı Aydınlanlığı (UDI-a), Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG), Dış Görüş (VO) ve Güneş Işığı Alımı (SE) görsel konfor kriteri üzerindeki etki düzeyini ifade eden ve doğrusal olup olmama durumlarına bağlı olarak hesaplanan regresyon katsayıları (SRC ve SRRC) verilmiştir.

Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin Faydalı Güneş Işığı Aydınlanlığı (UDI-a) üzerindeki etkisi bakımından sıralama yapıldığında, ilk beş sırada *pencere genişliği* (0.99), *pencere yüksekliği* (0.94), *yönelim* (0.69), *cam türü* (0.38) ve *mekan derinliği* (0.10) parametrelerinin olduğu görülmektedir. Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG) düzeyine etkisi bakımından parametreler önem sıralamasına göre değerlendirildiğinde, en önemli ilk beş parametre sırası ile *yönelim* (0.58), *pencere yüksekliği* (0.36), *cam türü* (0.22), *gölgeleme elemanı derinliği* (0.18) ve *pencere genişliği* (0.17) olmaktadır. Güneş Işığı etkinliği kriterinden farklı olarak yönelim, cam türü ve gölgeleme

elemanı derinliği parametrelerinin günışığına bağlı kamaşma düzeyi üzerinde daha çok etkili olduğu görülmüştür.

Dış görüş kriteri bakımından *engel açısı* (0.77), pencere boyutlarına ilişkin *pencere yüksekliği* (0.38) ve *pencere genişliği* (0.33) parametreleri en önemli ilk üç parametre olarak belirlenmektedir. Mekan genişliği ve derinliğine ilişkin büyüklükler düşük düzeyde olmak üzere dış görüş analizini etkileyen diğer tasarım parametreleri olmaktadır. İç mekana alınan güneş ışığı alım süresini etkileyen en önemli doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri *engel açısı* (0.99), *gölgeleme elemanı derinliği* (0.87) ve *yönelim* (0.71) olarak sıralanmaktadır. Tez çalışması kapsamında ele alınan doğal aydınlatma sistemi performansına etki eden diğer parametrelerin güneş ışığı alımı kriteri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.14 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin (a) UDI-a, (b) sDG, (c) VO ve (d) SE değerleri üzerindeki etki düzeylerini gösteren SRC ve SRRC katsayıları

Duyarlılık analizi sonuçlarından elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, pencere boyutlarına ilişkin değişkenler olan pencere genişliği ve yüksekliğinin günışığı etkinliği, mekansal rahatsız edici kamaşma düzeyi ve dış görüş üzerinde güçlü bir etkisi olduğu görülmektedir. Benzer şekilde yönelim parametresi dış görüş kriteri hariç diğer görsel konfor kriterleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Engel açısı parametresi ise özellikle dış görüş ve güneş ışığı alımı kriterleri üzerinde önemli bir etki göstermektedir. Diğer yandan mekan boyutlarına yönelik tasarım değişkenlerinden mekan genişliği ve derinliği parametreleri görsel konfor kriterleri üzerinde daha az etkili olurken, kat yüksekliği parametresinin görsel konfor üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Benzer şekilde gölgeleme elemanına ait ışık yansıtma katsayısının ele alınan görsel konfor kriterlerine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Bu bölümden elde edilen sonuçlar doğal aydınlatma sistemi karar modelinin iyileştirilmesi ve simülasyon sürelerinin optimize edilmesi bakımından parametrik doğal aydınlatma sistemi alternatiflerinin üretilmesinde ve karar modelinin geliştirilmesinde girdi olarak kullanılmaktadır.

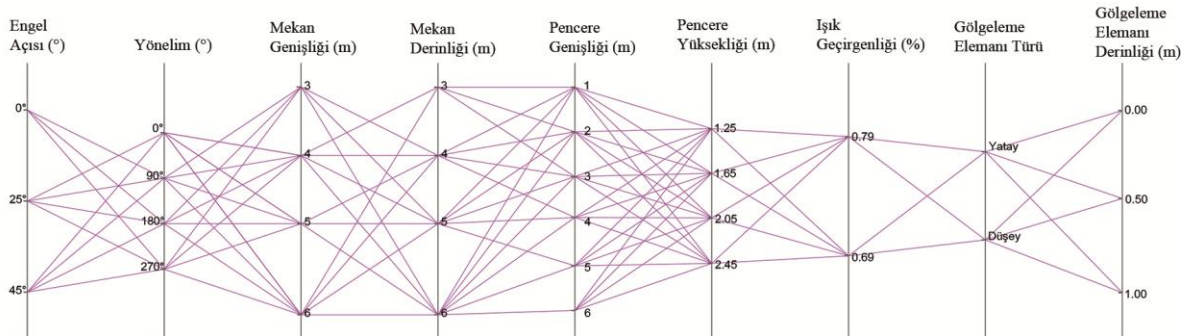
5.1.3 Parametrik doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin üretilmesi

Doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifleri Bölüm 5.1.1 ve 5.1.2’de belirtilen adımların tamamlanması sonucu doğal aydınlatma sistemi görsel performansı üzerinde etkili olan tasarım parametrelerinin çaprazlanması ile üretilmiştir. Bölüm 5.1.2.3’de gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda görsel konfor kriterleri üzerinde önemli bir etki düzeyine sahip olmayan kat yüksekliği ve gölgeleme elemanına ait ışık yansıtma katsayısı parametreleri doğal aydınlatma sistemine yönelik karar modeli kapsamında değişken olmaktan çıkarılmıştır. Aynı zamanda her bir parametrenin önem derecesine ilişkin hesaplanan regresyon katsayıları göz önünde bulundurularak simülasyon sürelerinin optimize edilmesi amacıyla pencere genişliği, pencere yüksekliği, yönelim ve engel açısı parametrelerine yönelik tanımlanan değer aralıkları artırılmıştır. Bu doğrultuda doğal aydınlatma sistemine yönelik karar modelinin geliştirilmesi amacıyla bina tasarım süreçlerine bağlı olarak belirlenen tasarım parametreleri ve her bir parametrenin aldığı değer aralıkları Çizelge 5.7’de verildiği gibi belirlenmiştir. Yönelim parametresi için belirtilen değer Kuzey oku yönünü ifade etmektedir. Kuzey okunun saat yönünün tersine dönmesi sonucu 90° Doğu yönünü, 180° Kuzey yönü, 270° Batı yönü ve 0° Güney yönünü belirtmektedir.

Çizelge 5.7 : Bina tasarım süreçleri bağlamında çalışmada ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve aldıkları değer aralıkları.

Tasarım Evresi	Parametre	Minimum Değer	Maksimum Değer	Birim	Artış Oranı
Erken Tasarım Evresi	Yönelim(Y)	0	360	(°)	90
	Mekan Genişliği (MG)	3	6	(m)	1
	Mekan Derinliği (MD)	3	6	(m)	1
Ön Tasarım Evresi	Pencere Genişliği (PG)	1	6	(m)	1
	Pencere Yüksekliği (PY)	1.25	2.45	(m)	0.40
Detay Tasarım Evresi	Yatay Gölgeleme Elemanı Uzunluğu	P _{G_min}	P _{G_mak}	(m)	1
	Düşey Gölgeleme Elemanı Uzunluğu	P _{Y_min}	P _{Y_mak}	(m)	0.40
	Gölgeleme Elemanı Derinliği (GD)	0	1	(m)	0.5
	Işık Geçirgenlik Katsayısı (T _{vis})	0.69	0.79	(%)	0.1

Çalışma kapsamında belirlenen yapma çevre tasarım değişkenlerinin çeşitli değerler alması sonucunda belirlenen tasarım alternatifleri paralel koordinatlar grafiği yöntemi ile Şekil 5.15'te gösterilmektedir. Çaprazlama yöntemi ile yapılan hesaplama sonucunda 3 farklı engel durumu için 60 adet konut mekanı modeli ve ona bağlı toplam 16.560 adet doğal aydınlatma sistemi senaryosu belirlenmiştir.



Şekil 5.15 : Çaprazlama yöntemi ile oluşturulan senaryoların paralel koordinatlar yöntemi ile gösterilmesi

5.1.3.1 Parametrik geometrik modelin oluşturulması

Bölüm 5.1.6 kapsamında belirlenen doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve onlara ilişkin yapılan kabullere göre yaşama mekanı modeli Grasshopper programı aracılığı ile üç boyutlu parametrik model haline getirilmiştir. Yaşama mekanı herhangi mevcut veya yeni tasarlanacak konut binasının zemin katında yer alacağı ve mekanın

iki farklı iç hacmin ortasında konumlandırılacağı varsayılarak modellenmiştir. İlk olarak ayakkabı kutusu (shoe-box) yaklaşımı ile 3 m x 4 m x 2.6 m mekan boyutlarına ve 1 m x 1.25 m pencere boyutlarına sahip dikdörtgen tip yaşama mekanı oluşturulmuştur. Daha sonra Çizelge 5.7’de tanımlanan tasarım parametreleri ilgili değer aralıklarını alacak şekilde modele çeşitli “component”ler ve “number slider”lar aracılığı ile bağlanarak tip yaşama mekanı parametrik modele dönüştürülmüştür.

Yaşama mekanı modelinin yanı sıra iç mekan günışığı performansını etkileyen engel bina ve dış zemin yüzeyinin geometrik modeli oluşturulmuştur. Günışığı simülasyonlarında sonuçların doğruluğunu etkilemesi bakımından dış zemin yüzeyinin günışığı modeli içerisindeki en büyük nesneden daha büyük olmayacak, ancak değerlendirilen bina alanının en az iki katı olacak büyüklükte modellenmesi önerilmektedir (Littlefair J.Paul vd., 2022). Bu doğrultuda engelsiz senaryolar için zemin büyüklüğü, konut mekanının yer aldığı ve çalışma kapsamında kabul edilen konut binası taban alanı büyüklüğünün en az iki katı olacak şekilde herhangi bir engel varlığı durumunda ise engel binayı kaplayacak büyüklükte Grasshopper arayüzünde modellenmiştir. Engel boyutları ise bina derinliği sabit kalacak şekilde planlı alanlar imar yönetmeliğine göre belirlenen bina yüksekliklerine ve yol genişliklerine göre parametrik olarak modele tanımlanmıştır.

5.1.3.2 Parametrik simülasyon modelinin oluşturulması ve doğrulanması

Doğal aydınlatma sistemi tasarımı görsel konfor performansının günışığı etkinliği, kamaşma, dış görüş ve güneş ışığı alım kriterleri bakımından analiz edilmesi amacıyla Grasshopper programı arayüzünde parametrik olarak oluşturulan geometrik model, Climate Studio (CS) programının Grasshopper eklentisi kullanılarak parametrik simülasyon modeline dönüştürülmüştür (*URL-1*, t.y.). Geometrik modelin günışığı simülasyon modeline dönüştürülmesi aşamasında aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilmiştir;

- Geometrik modelin iç ve dış mekanında yer alan opak (duvar, zemin, tavan, engel bina, dış zemin, gölgeleme elemanı) yüzeylere ait ışık yansıtma katsayılarına ve saydam (cam) yüzeylere ait ışık geçirgenlik katsayılarına bağlı olarak çeşitli malzemeler atanmıştır. Bunlardan opak yüzeylere ait ışık yansıtma katsayıları programa sabit bir girdi olarak tanımlanırken, saydam yüzey olan cama

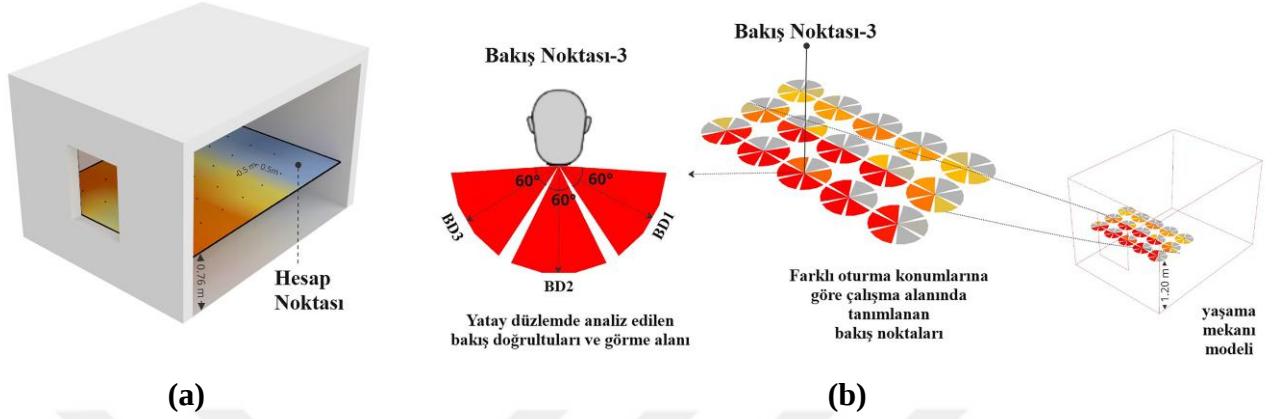
ait ışık geçirgenlik katsayısı doğal aydınlatma sisteminin bir değişkeni olması sebebi ile parametrik olarak tanımlanmıştır.

- Tez çalışması için referans il olarak seçilen İstanbul iline ait iklim verisi (TMY) programa tanımlanmıştır (URL-3, 2023).
- Yönelim parametresine ilişkin pencereye ait azimut açısı modele parametrik olarak tanımlanmıştır (0° , 90° , 180° , 360°).

Geometrik yaşama mekanı modelinin simülasyon modeline dönüştürülmesinin yanı sıra yaşama mekanında doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak gerçekleşen görsel konfor koşullarının belirlenmesi için programa çeşitli hesap düzlemlerinin, hesap/bakış noktalarının ve bakış doğrultularının tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda;

- Yaşama mekanındaki günışığı etkinliğinin belirlenmesi amacıyla Bölüm 4.2.1’de belirtilen yaşama ve çalışma görsel eylem alanlarına yerden 0.76 m yüksekliğinde ve duvarlar ile arasındaki uzaklık 0.5 m olacak şekilde yatay referans hesap düzlemi oluşturulmuştur. Oluşturulan hesap düzlemi üzerinde yer alan hesap noktaları arasındaki uzaklık TS EN 17037+A1: Binalarda Gün Işığı standardında maksimum grid boyutları için tanımlanan formüle göre kontrol edilerek bütün mekan boyutları için geçerli olacak şekilde 0.5 m olarak belirlenmiştir (Şekil 5.16(a)). Yaşama mekanı için çalışma kapsamında tanımlanan mekan büyüklükleri için TS EN 17037+A1: Binalarda Gün Işığı standardına göre hesaplanan maksimum grid boyutları EK A’da verilmiştir.
- Çalışma eyleminin gerçekleştirildiği görsel eylem alanındaki mekansal kamaşma düzeyinin analiz edilmesi için oturma pozisyonundaki göz hizasını ifade eden yerden 1.20 m yüksekliğinde yatay bir referans hesap düzlemi oluşturulmuştur (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022). Daha sonra hesap düzlemi üzerinde bakış noktalarını temsilen aralarında 0.5 m mesafe olacak şekilde hesap noktalarının yer aldığı bir hesap gridi tanımlanmıştır. Hesap gridi tanımlanırken hesap düzleminin duvarlardan uzaklığı en kötü durumu sonuçlara dahil etmek amacıyla en küçük çalışma masası genişliği (0.6 m) dikkate alınarak 0.5 m olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının boyutlarına bağlı olarak hesap gridinde yer alan bakış noktası sayısı değişmektedir. Her bir bakış noktası için bakış doğrultusu, yatay düzlemde insan gözünün kamaşma riskinin en çok hissedilebileceği merkez görme alanını dikkate alarak 180° ’lik bakış alanı

içerisinde pencereye dik, pencere normaline göre sağa ve sola olmak üzere 60°'lik daire dilimlerini kapsayacak şekilde 3 doğrultuda belirlenmiştir (Şekil 5.16 (b)).



Şekil 5.16 : Güneş ışığı ve dış görüş analizleri için yaşama alanında tanımlanan referans hesaplama gridi (a) ve mekansal kamaşma analizi için çalışma alanında belirlenen bakış noktaları ve bakış doğrultuları (b)

- Yaşama mekanının dış görüş düzeyinin belirlenmesi amacıyla oturan bir kişinin göz hizasını ifade eden yerden 1.20 m yükseklikte ve duvarlardan 0.5 m içeride yaşama mekanı görsel eylem alanı için yatay bir referans hesap düzlemi tanımlanmıştır. Hesap düzlemi üzerinde bakış noktalarını temsilen oluşturulan hesap noktaları aralarında 0.5 m aralık olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her bir bakış noktasındaki bakış doğrultusu pencereye dik olacak şekilde kabul edilmiştir.
- Yaşama mekanına alınan güneş ışığı alım süresinin hesaplanması için pencere yüzeyinin orta noktasında ve dış zeminden 1.20 m yükseklikte (Parapetin 0.3 m üzerinde) yer alan bir hesap noktası programa tanımlanmıştır.

Referans hesap düzlemleri ve hesap noktalarına ek olarak, iklimle dayalı güneş ışığı etkinliği ve kamaşma düzeyi değerlendirme yöntemleri gereği simülasyon programına yaşama mekanına ait kullanım programının (occupancy schedule) tanımlanması gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında bina fonksiyonu ile ilişkili sabit bir kullanım programının kullanılması yerine, konut mekanlarının diğer tipolojiler gibi (ofis, okul vb.) net bir kullanım saatine sahip olmaması ve çalışma eyleminin günümüzde esnek saatler içerisinde gerçekleştirilmesi sebebi ile iklimle bağlı yıllık saatlik yayınlık yatay aydınlık düzeyi (diffuse horizontal illuminance) değerleri üzerinden oluşturulan yıllık

güneş ışığı etkin saat dilimi yaşama mekanının kullanım programı olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda İstanbul güncel iklim verisi (TMY) içerisinden yıllık saatlik olarak tanımlanan yayınlık yatay aydınlık düzeyi verileri çekilmiş olup (4648 sa), güneş yükseklik açısının 0° ve üzerinde olduğu saatler (direct normal illuminance > 0 lux) dikkate alınarak İstanbul için etkin güneş ışığı saatlerini tanımlayan güneş ışığı etkin zaman dilimi yıllık 4389 sa olarak belirlenmiştir. İstanbul ili için yıllık saatlik olarak belirlenen güneş ışığı etkin zaman dilimine dayalı yaşama mekanına ait kullanım programı Climate Studio programına Şekil 5.17’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 5.17 : İstanbul ili yıllık güneş ışığı etkin zaman dilimine göre oluşturulmuş yaşama mekanı kullanım programı

Yukarıda belirtilen adımların gerçekleştirilmesi sonucu gerekli bilgilerin programa tanımlanması ve parametrik modelin güneş ışığı simülasyon modeline dönüştürülmesi sonrasında Radiance hesaplama motoru aracılığı ile her bir doğal aydınlatma sistemi alternatifinin görsel konfor performansının belirlenmesi amacıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda radiance programına ait hesaplama parametreleri Çizelge 5.8’de verildiği gibi kabul edilmiştir.

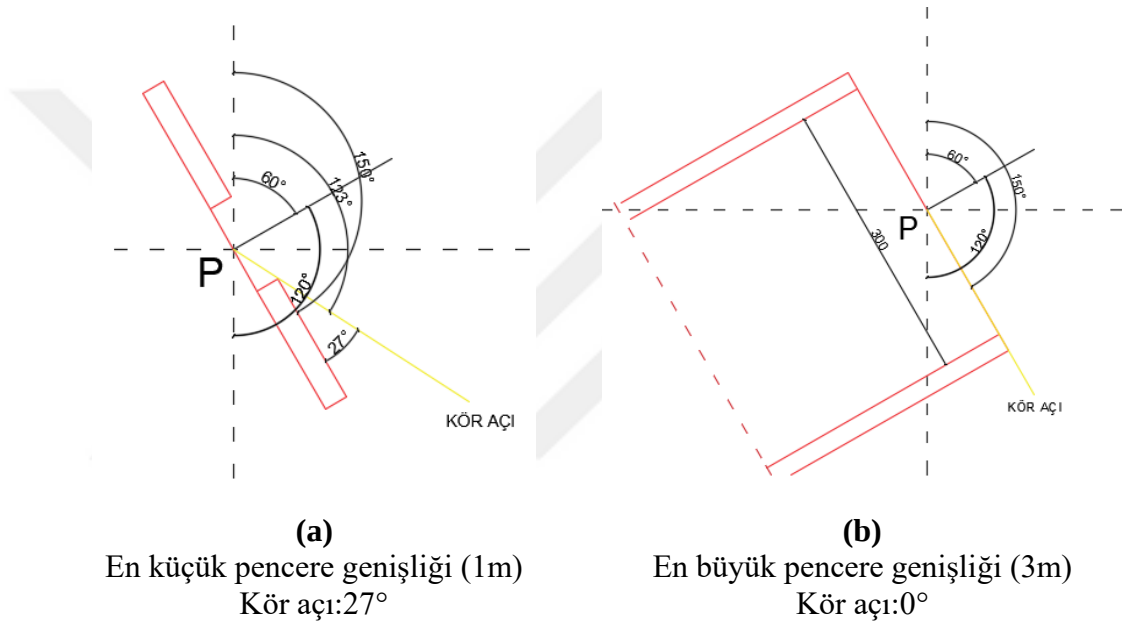
Çizelge 5.8 : Güneş ışığı simülasyonları için hesaplamalarda kabul edilen Radiance parametrelerine ilişkin değerler.

Radiance Parametreleri	Programa girilen değerler
Ambient bounces(ab)	6
Limit weight	0.01
Samples per pass	64
Maximum number passes	100

Güneş ışığı etkinliği ve güneş ışığına bağlı kamaşma düzeyi hesaplamalarına yönelik hesaplama sürelerinin belirlenmesinin yanı sıra, simülasyon programına yaşama mekanının güneş ışığı alım düzeyinin belirlenmesi amacıyla referans gün olarak seçilen 15 Mart 2023 tarihi için etkin güneş ışığı alım zaman aralığının tanımlanması gerekmektedir. İstanbul ili için 15 Mart 2023 tarihinde güneş ışığı etkin zaman dilimi Darula & Malikova (2017) tarafından geliştirilen enleme bağlı güneşlenme süresinin hesaplanması

yaklaşımı izlenerek belirlenmiştir. Bu doğrultuda aşağıda verilen hesaplama adımları izlenerek çalışmada ele alınan İstanbul ili için günışığı etkin zaman aralığı 09:00 - 18:00 olarak belirlenmiştir.

- **Kör açının belirlenmesi (1.Adım) :** Cam yüzeyinin iç duvar yüzeyinin devamı olarak kabulü ile yerden 1.20 m yükseklikte ve pencere genişliğinin orta noktasında bulunan analiz noktası (P noktası) için hesaplanan kör aç değeri en küçük ve en büyük pencere genişlikleri için 0° ile 27° (max olabilecek kör aç değeri) arasında değişmektedir (Şekil 5.18(a) ve Şekil 5.18(b)). Hesaplama duvar kalınlığı sabit ve 20 cm olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.18 : 3x4 m boyutlarına sahip yaşama mekanı için en dar (a) ve en geniş pencere (b) boyutlarına göre değişen kör aç değerleri

- **Minimum azimut açısının belirlenmesi (2.Adım) :** Zemin katta yer alan bir mekanın koridor şeklindeki bir şehir yerleşiminde güneş ışınımı alabilmesi için pencere normalinin Güney ile yaptığı açı (Kuzeyden 60°) maksimum 120° olarak belirlenmiştir (Darula & Malikova, 2017). Çalışma kapsamında minimum azimuth açısının belirlenmesine yönelik pencere normalinin Güney ile yaptığı açı maksimum 120° kabul edildiğinde, 3x4 m boyutlarındaki yaşama mekanının en küçük (1m) ve en büyük (3m) pencere genişlikleri için **cephe/pencere azimut açıları (PA);**

$$PA_{1m} = 150^\circ - 27^\circ (\text{kör aç}) = 123^\circ$$

$$PA_{3m} = 150^\circ - 0^\circ (\text{kör aç}) = 150^\circ \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

- Yaklaşımına göre cephenin minimum azimut değeri güneşin girebileceği minimum azimut açısı olarak kabul edilmektedir. SunCalc programı aracılığı ile 15 Mart 2023 tarihi için en küçük pencere genişliği için güneşin azimut açısının 123° olduğu saat (yerel) **10:06** olarak belirlenmiştir. En büyük pencere genişliği için güneşin azimut açısının 150° olduğu saat (yerel) **11:48** olarak belirlenmiştir.
- **Minimum yükseklik açısının belirlenmesi (3.Adım) :** TS EN 17037+A1:Binarlarda Gün ışığı standardı kapsamında minimum güneşlenme süresi olarak tanımlanan 1.5 saatin, pencerenin minimum azimut açısının elde edildiği saat-ten çıkarılması ile pencerenin güneş ışınlamı almaya başladığı saat belirlenmektedir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında pencereye ait minimum azimut açısının 123° olduğu 10:06 yerel saatinden 1.5 saat çıkarılması sonucu güneşlenme süresinin başladığı saat 08:36 olarak hesaplanmıştır. SunCalc programı aracılığı ile 15 Mart 2023 tarihi için saat 08:36'da güneşin yükseklik açısı **13.91°** olarak bulunmuştur. Bu anlamda 15 Mart tarihi için minimum yükseliş açısına ($\gamma_{s,min}$) göre analiz zaman aralığı en küçük pencere genişliği için 08:36 - 17:49 olarak belirlenmiştir. Pencereye ait azimut açısının 150° olduğu 11:48 yerel saatinden 1.5 sa çıkarıldığında ise güneşlenme süresinin başladığı saat 10:18 olarak bulunmuştur. SunCalc programı aracılığı ile 15 Mart 2023 tarihi için saat 10:18'da güneşin yükseklik açısı **31.23°** olarak belirlenmiştir. Farklı pencere genişliklerine göre değişen yükseliş açıları sebebiyle parametrik bir tasarımı analizini hedefleyen çalışma kapsamında, 15 Mart tarihi için daha fazla güneş ışığı erişimi sağlayacak 13.91° minimum yükseliş açısı ($\gamma_{s,min}$) olarak kabul edilerek ilgili açının üzerinde güneş yükseliş açıları meydana gelen 09:00 - 18:00 aralığı ise güneş ışığı alımı analizlerinde referans alınacak zaman dilimi olarak belirlenmiştir.

Doğal aydınlatma sistemi performansının analiz edilmesi amacıyla gerçekleştirilen günışığı simülasyonları çeşitli çalışmalar ile günışığı etkinliği ve kamaşma analizleri için doğruluğu kanıtlanmış *Climate Studio* programı ile gerçekleştirilmiştir (De Luca vd., 2022; Santos vd., 2021). Halihazırda doğrulanmış bir simülasyon programı olarak literatürde yaygın bir şekilde kullanılan *Climate Studio* programının (Aguilar-Carrasco vd., 2023), tez çalışması kapsamında sonuçlarının doğrulanması günışığı etkinliğinin

belirlenmesi üzerinden yapılmıştır. Simülasyon modelinin doğrulanmasına ilişkin günışığı çalışmalarında genellikle deneysel, karşılaştırmalı ve analitik yöntemler kullanılmaktadır (Nazari & Matusiak, 2024). Oluşturulan doğal aydınlatma sistemi modelinin ayakkabı kutusu (shoe-box) modeli üzerinden parametrik olarak geliştirilen hipotetik bir model olması sebebi ile modelin validasyonu iki farklı simülasyon programı tarafından elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi ile yapılmıştır. Bu doğrultuda Radiance hesaplama motorunu kullanan ve çeşitli çalışmalar ile doğruluğu kanıtlanmış Honeybee ve Climate Studio simülasyon araçları ile 45° engel açısı etkisi altında 3 m x 4 m x 2.6 m mekan boyutları ve 1 m x 1.25 m pencere boyutlarına sahip Güney (0°) ve Kuzey (180°) yöne bakan doğal aydınlatma sistemi modeli ile elde edilen UDI-a sonuçları Çizelge 5.9’da verildiği gibi bulunmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçlarının doğruluğu Bölüm 4.3.1’de verilen formüller aracılığı ile rRMSE (Relative Root Mean Square Error) ve rMBE (Relative Mean Bias Error) katsayıları hesaplanarak belirlenmiştir. rMBE ve rRMSE değerinin %20 ve altı olması genel olarak sonuçlar arasında iyi bir uyum derecesi olduğunu göstermektedir (Sepúlveda, De Luca, Varjas, vd., 2022). İki farklı simülasyon programı ile elde edilen Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a) sonuçlarına göre hesaplanan rRMSE ve rMBE değerleri sırasıyla %10.53 ve %10.21 olarak belirlenmiştir. Belirlenen değerlerin referans değerlerden daha az olması göz önüne alındığında, tez çalışması kapsamında kullanılan simülasyon modelinin yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini ve kullanılan simülasyon aracının geçerliliğini kanıtlamaktadır.

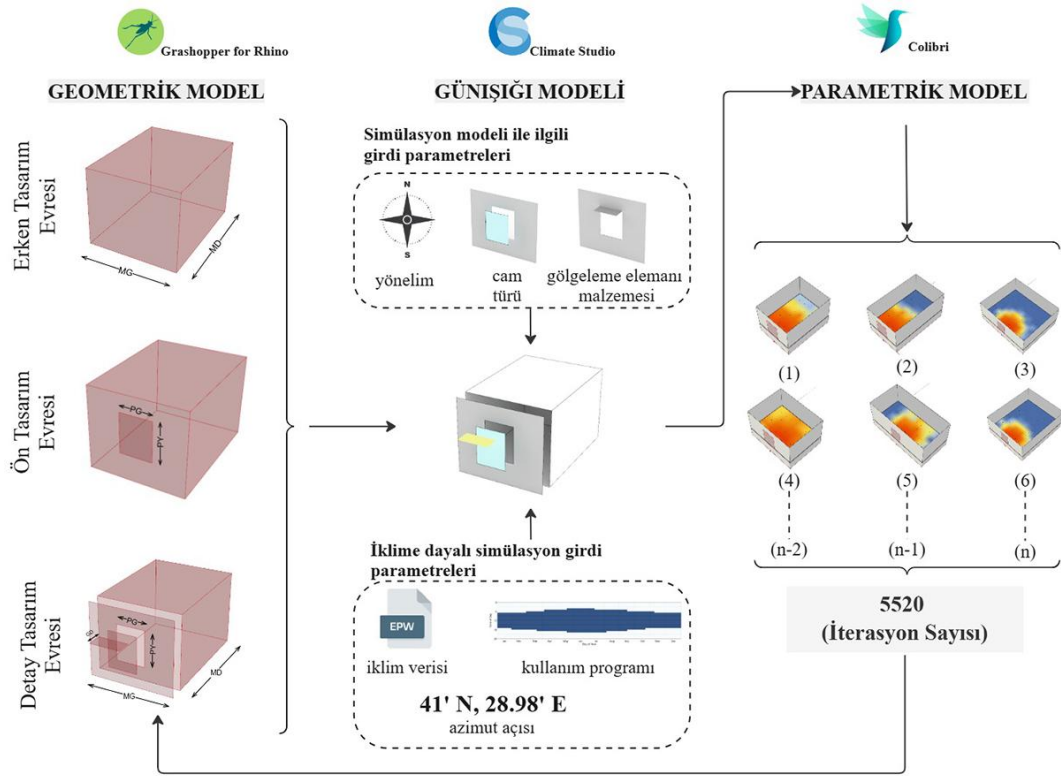
Çizelge 5.9 : Honeybee ve Climate Studio simülasyon programları ile iki farklı yön için hesaplanan Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a) sonuçları.

Yönelim (°)	Climate Studio (Grasshopper)	Honeybee (Grasshopper)
0°	%20.29	%12.8215
180°	%32.78	%22.0467

5.1.3.3 Tasarım alternatiflerinin üretilmesi

Parametrik geometrik modelin üretilmesi ve ilgili modelin günışığı simülasyon modeline dönüştürülmesini takiben simülasyon süresinin hızlandırılması ve yineleme işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla Grasshopper arayüzünde bir eklenti olarak çalışan Colibri aracı kullanılmıştır. Böylece her bir doğal aydınlatma sistemi alternatifi için simülasyonların teker teker çalıştırılması yerine her bir yerleşme senaryosunun 4 farklı yönelimi için tek seferde simülasyon çıktı dosyaları üretilmiştir. Bu şekilde tek seferde

Güney, Doğu ve Batı yönelimleri için 1656 adet, Kuzey yönelimi için 552 adet doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifi simüle edilerek 4 farklı görsel konfor kriterine ilişkin toplam 5520 adet çıktı dosyası elde edilmiştir. Ayakkabı kutusu (shoe-box) geometrik model üzerinden parametrik günışığı modelinin oluşturulmasına ve her bir doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifinin üretilerek görsel konfor performansı analizlerinin gerçekleştirilmesine ilişkin yinelemeli akış Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 : Yinelemeli parametrik günışığı modeli süreci

5.2 Ele Alınan Mekana İlişkin Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Görsel Konfor Bakımından Değerlendirilmesi

Bu bölümde üç farklı engel durumuna (EA:0°, 25°, 45°) bağlı oluşturulan yerleşme senaryoları (YS-1, YS-2, YS-3) için doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansına yönelik elde edilen veri setleri kutu grafikleri aracılığı ile analiz edilmektedir. Kutu grafikleri ile çalışma kapsamında ele alınan her bir tasarım değişkeni (yön, mekan genişliği, mekan derinliği, pencere genişliği, pencere yüksekliği, cam türü, gölgeleme elemanı derinliği) için görsel konfor kriterleri ölçütlerine (UDI-a, sDG, VO, SH) göre veri setinin istatistiki dağılımı ve merkezi eğilimleri (medyan ve ortalama değeri)

leri) görselleştirilerek ortaya konmaktadır. Diğer yandan her bir doğal aydınlatma sistemi tasarım parametresinin dört farklı görsel konfor ölçütüne etkisi üzerinden veri kümeleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

Kutu grafiği ele alınan veri setini dörtte birlik dilimlere (quartile) bölmesine dayanır (Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4). Bu anlamda her bir çeyrek dilimi gösteren sınır (bıyık) çizgileri veri setinin ilgili %25'lik diliminde aldığı değeri göstermektedir. İlk ve üçüncü çeyrek dilimleri tanımlayan çizgiler veri setinin merkezinde yer alan %50 oranındaki verinin aldığı değerleri belirtirken, ikinci %25'lik dilimi (Q_2) ifade eden çizgi veri setinin medyan değerini ifade etmektedir. Veri gruplarını karşılaştırmak amacıyla gruplar genel olarak medyan değeri üzerinden sıralanmaktadır.

5.2.1 Güneşli etkinliğin değerlendirilmesi

Doğal aydınlatma sistemi tasarımı parametrelerinin yaşama mekanının güneşli etkinliği üzerindeki etkisi Climate Studio programı aracılığı ile belirlenen Faydalı Güneşli Aydınlanma (UDI-a) değeri üzerinden Şekil 5.20'de verildiği gibi kutu grafikleri aracılığı ile ortaya konmuştur. Ele alınan her bir tasarım değişkeninin aldığı değerlerin güneşli etkinliğine etkisi medyan değerleri üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Herhangi bir engel durumunun olmadığı Yerleşme Senaryosu – 1 (EA:0°) için yönleme bağlı UDI-a değerleri sırasıyla Güney yön için %27 ila %70, Doğu yönü için %15 ila %75, Kuzey yönü için %9 ila %83 ve Batı yönü için %24 ila %65 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında Kuzey yönelimin yaşama mekanında sağlanan Faydalı Güneşli Aydınlanma (UDI-a) değeri üzerinde sırasıyla Doğu, Güney ve Batı yönelimlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Engel açısının 25° olduğu yerleşme senaryosu (YS-2) için Güney, Doğu, Kuzey ve Batı yönelimlerine sahip yaşama mekanında sırasıyla %5 ila %67; %7 ila %74; %8 ila %81 ve %8 ila %69 arasında UDI-a değeri elde edilmektedir. Sonuçlara göre Kuzey ve Doğu yönelimleri diğer yönlerle göre yaşama mekanında daha yüksek düzeyde faydalı güneşli aydınlığa imkan verirken, engelsiz yerleşme senaryosundan farklı olarak Batı yönelimine sahip yaşama mekanında Güney yönleme sahip yaşama mekanına göre daha yüksek oranda Faydalı Güneşli Aydınlanma elde edildiği görülmektedir. Engel açısının 45° olduğu yerleşme senaryosu (YS-3) için elde edilen sonuçlara bakıldığında yönleme bağlı yaşama mekanında sağlanan UDI-a değerleri Güney, Doğu, Kuzey ve

Batı yönelimleri için sırasıyla %2 ila %66; %6 ila %69; %7 ila %74; %5 ila %71 arasında değişmektedir. 25° engel açısına sahip yerleşme ile benzer şekilde yaşama mekanında sağlanan UDI-a değeri bakımından en olumlu sonuç veren yönler sırasıyla Kuzey, Doğu, Batı ve Güney olmaktadır.

Mekan genişliği parametresi bakımından veri seti analiz edildiğinde, yaşam mekanının önünde herhangi bir engel olmadığı durum (YS-1) için mekan genişliğinin 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m olduğu senaryolara ait UDI-a değerleri sırasıyla %24 ila %80, %30 ila %83, %20 ila %83 ve %24 ila %83 değerleri arasında değişirken, engel açısının 25° olduğu yerleşme senaryosu (YS-2) için bu değerler %9 ila %77, %6 ila %79, %5 ila %80 ve %6 ila %81 arasında, engel açısının 45° olduğu yerleşme senaryosu (YS-3) için ise %5 ila %69, %3 ila %73, %2 ila %74 ve %2 ila %74 arasındadır (Şekil 5.20). Bu anlamda mekan genişliğine bağlı yaşama mekanında elde edilen UDI-a değerinde büyük farklılıklar meydana gelmediği görülmektedir. Mekan genişliklerinin günışığı etkinliği üzerindeki etkisinin ortaya konması bakımından medyan değerine bağlı olarak mekan genişliği artışının UDI-a değeri üzerinde olumlu bir etkiye sebep olduğu söylenebilmektedir. Özellikle 4 m ve üzeri mekan genişlikleri üç farklı engel durumu için daha olumlu sonuçlar vermektedir.

Şekil 5.19’da verilen grafik üzerinden mekan derinliğinin yaşama mekanında gerçekleşen günışığı etkinliği etkisine bakıldığında UDI-a, engel açısının 0°, 25° ve 45° olduğu yerleşme senaryoları için mekan derinliğine bağlı olarak sırasıyla 3 m için %22 ila %83, %5 ila %81 ve %5 ila %74 arasında, 4 m için %34 ila %82, %7 ila %81 ve %5 ila %74 arasında, 5 m için %21 ila %79, %6 ila %79 ve %2 ila %67 arasında ve 6 m için %9 ila %76, %6 ila %80 ve %2 ila %63 arasında değerler almaktadır. Üç farklı engel durumu (EA: 0°, 25°, 45°) için mekan derinliklerine bağlı olarak elde edilen veri setindeki medyan değerleri 3 m için %61, %43, %40; 4 m için %61, %45, %37; 5 m için %60, %43, %35; 6 m için %55, %43, %33 olmaktadır. Sonuçlar her bir veri setine ait medyan değerleri göz önüne alındığında mekan derinliğinin artmasının genel bir eğilim olarak UDI-a değerini azalttığını, yaşama mekanına etkileyen engel büyüklüğünün artmasına bağlı olarak mekan derinliği artışının UDI-a değeri üzerinde daha olumsuz bir etkiye neden olduğunu göstermektedir.

Pencere genişliğine bağlı UDI-a değerindeki değişime bakıldığında, engel etkisinin olmadığı Yerleşme Senaryosu-1 için yaşama mekanında farklı mekan boyutlarına göre pencere genişliklerinin 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m olması durumunda UDI-a

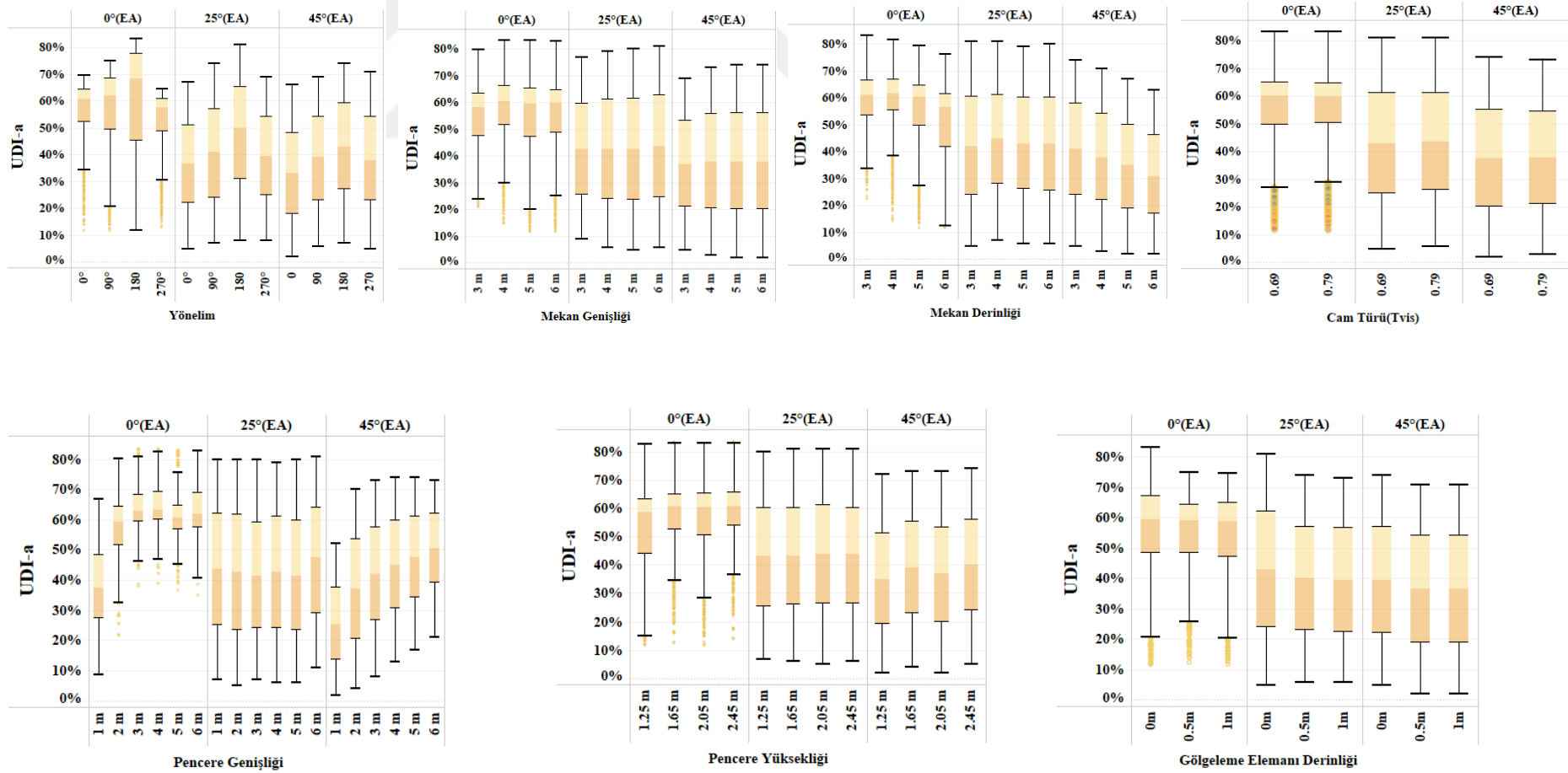
sırasıyla %9 ila %67, %33 ila %80, %46 ila %81, %47 ila %82, %45 ila %76 ve %41 ila %83 arasında değerler almaktadır. Yerleşme Senaryosu-2 için UDI-a değerleri pencere genişliği artışına bağlı olarak sırasıyla %7 ila %80, %5 ila %80, %7 ila %80, %6 ila %79, %6 ila %80 ve %11 ila %81 arasında, engel açısının 45° olduğu Yerleşme Senaryosu-3 için ise sırasıyla %2 ila %52, %4 ila %70, %8 ila %73, %13 ila %74, %17 ila %74 ve %21 ila %73 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre herhangi bir engel etkisinin olmadığı durumda pencere genişliğinin 1'er metrelik artışlar ile 1 m (UDI-a_{medyan}: %37)'den 4 m (UDI-a_{medyan}: %63)'ye çıkarılması sonucu iç mekanda sağlanan Faydalı Güneşli Aydınlatma (UDI-a) artarken, 5 m (UDI-a_{medyan}: %61) ve üzerindeki pencere genişlikleri için yaşama mekanında elde edilen Faydalı Güneşli Aydınlatma (UDI-a) değeri 3000 lux üzeri aydınlık düzeylerinin (UDI-e) artması nedeni ile düşüş eğilimi göstermektedir. Yerleşme Senaryosu-2 için pencere artışına bağlı olarak yaşama mekanında sağlanan UDI-a değerinde önemli bir değişim görülmezken, 45° engel açısına sahip yerleşme senaryosu için pencere genişliğinin artırılması UDI-a değerinde önemli bir artış sağlamaktadır. Örneğin pencere genişliğinin 1 m olduğu senaryoların veri kümesinin UDI-a için medyan değeri %26 iken, 6 m pencere genişliğinin sağlandığı yaşama mekanı alternatifleri için elde edilen UDI-a medyan değeri %51 olmaktadır.

Parapetli ve parapetsiz olarak ele alınan iki farklı pencere biçimi için pencere yüksekliğinin arttırılması sonucu yaşama mekanında elde edilen UDI-a değerleri Şekil 5.20'de verilmektedir. Herhangi bir engel etkisinin olmadığı durumda parapetli pencere için pencere yüksekliğinin artırılması ile UDI-a değeri sırasıyla %11 ila %83 (1.25 m) ve %29 ila %83 (1.65 m) arasında, parapetsiz pencere için %22 ila %83 (2.05 m) ve %33 ila %83 (2.45 m) arasında değişmektedir. Engel açısının 25° ve 45° olduğu senaryolarda pencere yüksekliğinin parapetli pencere için 1.25 m ve 1.65 m olması durumunda UDI-a sırasıyla %7 ila %80 ve %6 ila %81 arasında, ve %2 ila %72 ve %4 ila %73 arasında değer alırken, parapetsiz pencere yükseklikleri olan 2.05 m ve 2.45 m olması durumunda UDI-a değeri sırasıyla %5 ila %81 ve %6 ila %81 arasında, ve %2 ila %73 ve %5 ila %74 arasında değişmektedir. Sonuçlar pencere yüksekliğindeki artışın YS-1 ve YS-3 için UDI-a değerinde çok az düzeyde bir artışa neden olduğunu, 25° engel açısının gerçekleştiği senaryo için pencere yüksekliğindeki artışın UDI-a değeri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Diğer yandan her bir

pencere yüksekliği için oluşturulan veri setlerine ait meydan değerleri göz önüne alındığında, özellikle engel etkisinin olmadığı yaşama mekanı senaryoları için parapetli pencerelerde pencere yüksekliği artışının UDI-a değerine etkisi, parapetsiz pencerelere göre daha fazla olmaktadır.

İki farklı ışık geçirgenlik katsayısı üzerinden (0.69, 0.79) cam türüne bağlı yaşama mekanında sağlanan UDI-a değeri, engelsiz yerleşme senaryosu (YS-1) için ışık geçirgenlik katsayısının 0.69 ve 0.79 olduğu durumda sırasıyla %18 ila %83 ve %22 ila %83 arasında değişirken, 25° ve 45° engel açıları (YS-2 ve YS-3) için bu değerler %5 ile %81 ve %6 ila %81 arasında ve %2 ila %74 ve %3 ila %73 arasında gerçekleşmektedir. Sonuçlara göre pencere camına ait ışık geçirgenlik katsayısının artması ile UDI-a değeri üzerinde çok düşük düzeyde artış sağlandığı görülmektedir.

Diğer yandan gölgeleme elemanı derinliğinin 0 m, 0.5 m ve 1.0 m olması durumuna göre engel açısının 0°, 25° ve 45° olduğu yerleşme senaryoları için UDI-a sırasıyla %21 ila %83, %26 ila %75, %20 ila %75 arasında; %5 ila %81, %6 ila %74, %6 ila %73 arasında; %5 ila %74, %2 ila %71, %2 ila %71 arasında değerler almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre gölgeleme elemanı derinliğinin artışı özellikle pencereye etki eden herhangi bir engel varlığı durumunda yaşama mekanında elde edilen UDI-a değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Ancak bu düşüş gölgeleme elemanı derinliğinin 0.5 m'den 1.0 m'ye artırılması durumunda daha az oranda gerçekleşmektedir. Engel durumu etkisinin ele alındığı yerleşme senaryolarında (YS-2 ve YS-3) gölgeleme elemanı derinliğinin 0.5 m'den 0.1 m'ye artırılması yaşama mekanında sağlanan UDI-a değerinde genel olarak önemli bir değişime neden olmamaktadır.



Şekil 5.20 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin UDI-a ölçütüne etkisi

5.2.2 Kamaşmanın değerlendirilmesi

Doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin Bölüm 4.2.1.1’de detaylı olarak tanımlanan yaşama mekanı içerisindeki çalışma eyleminin gerçekleştirildiği alanı için Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG) düzeyine etkisi Şekil 5.21’de gösterilen kutu grafikleri aracılığı ile ortaya konmuştur. Verilen grafikler üzerinden üç farklı engel durumuna göre oluşturulan yerleşme senaryoları için yaşama mekanında meydana gelen mekansal kamaşma düzeyinin her bir tasarım değişkenine bağlı olarak değişimi medyan değerleri üzerinden okunabilmektedir.

Engel açısının 0° , 25° ve 45° olduğu durumda yaşama mekanında yer alan pencerenin baktığı yöne bağlı olarak sDG değeri 0° (Güney), 90° (Doğu), 180° (Kuzey) ve 270° (Batı) yönelimleri için sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %29 ila %100 arasında; %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %98 ve %0 ila %100 arasında; %0 ila %49, %0 ila %98, %0 ila %98 ve %0 ila %98 arasında değerler almaktadır. Herhangi bir engel etkisinin olmadığı durumda (YS-1) çalışma alanındaki sDG değeri her bir yöneline bağlı olarak meydana gelen veri setlerinin medyan değerleri göz önüne alındığında sırasıyla en yüksek Batı (%98), Güney (%80), Doğu (%80) ve Kuzey (%16) olarak elde edilmektedir. 25° engel açısı etkisi altında yöneline bağlı sDG değerleri engelsiz yerleşme senaryosu ile benzer şekilde en yüksek Batı (%60) yönünde olmak üzere sırasıyla Güney (%44), Doğu (%42) ve Kuzey (%27) yönde meydana gelmektedir. Engel etkisinin en fazla olduğu 45° engel açısına sahip yerleşme senaryoları için çalışma alanında elde edilen sDG değerleri diğer YS-1 ve YS-2’den farklı olarak en yüksek Doğu (%31) ve Kuzey (%31) yönlerde olurken, Batı (%27) ve Güney (%7) yönlerde sDG değerleri diğer yönlerle göre daha az belirlenmiştir. Bu anlamda çalışma alanında engel etkisine bağlı olarak meydana gelen mekansal kamaşma düzeylerinin önemli derecede değiştiği söylenebilmektedir. Engel etkisinin olmadığı veya engel etkisinin az olduğu durumda sırasıyla Batı, Güney, Doğu ve Kuzey yönleri mekansal kamaşma düzeyi bakımından en olumsuz yönler olurken, engel etkisinin fazla olduğu (EA: 45°) durumda Doğu ve Kuzey yönleri, sırasıyla Batı ve Güney yönlerine göre daha yüksek kamaşma seviyelerine neden olmaktadır.

Mekan genişliğinin çalışma alanında meydana gelen mekansal kamaşma düzeyine etkisi ise üç farklı yerleşme senaryosuna göre değişmektedir (Şekil 5.21). 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m mekan genişlikleri için çalışma alanında elde edilen sDG değerleri YS-1 için

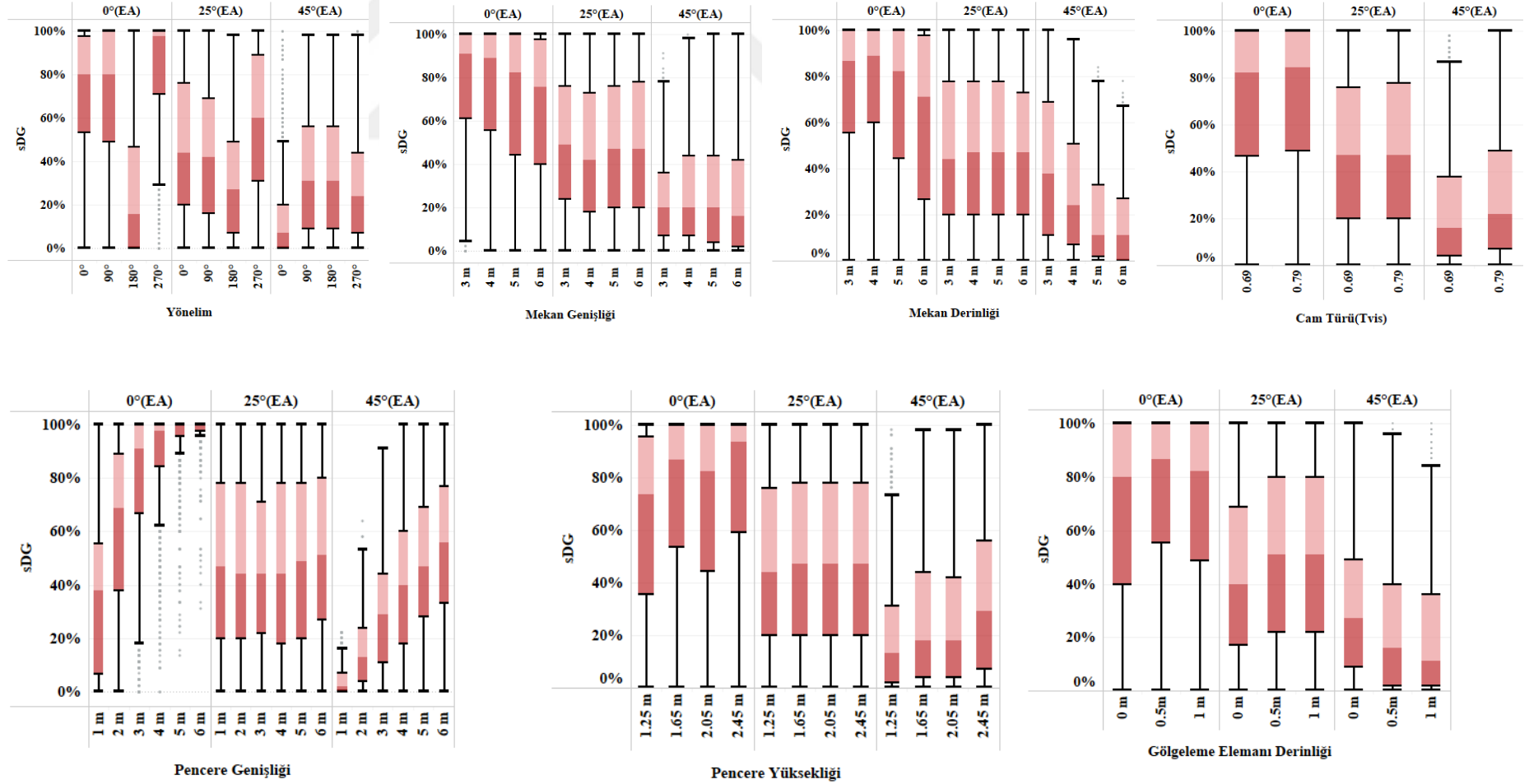
sırasıyla %4 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında, YS-2 için %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında, YS-3 için %0 ila %78, %0 ila %98, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında değişmektedir. Her bir mekan genişliği için oluşturulan veri setlerinin medyan değeri göz önüne alındığında herhangi bir engel etkisinin olmadığı durumda mekan genişliği arttıkça çalışma alanında elde edilen sDG değerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Buna göre engelsiz yerleşme senaryosu için en yüksek kamaşma değerleri 3 m mekan genişliği için elde edilirken, en düşük sDG değeri 6 m mekan genişliğine sahip yaşama mekanı senaryoları için elde edilmektedir. Herhangi bir engel etkisi varlığında ise mekan genişliğine bağlı olarak sDG değerinde önemli bir değişim gerçekleşmemektedir.

Mekan derinliğine bağlı sDG düzeyindeki değişim 0° ve 25° engel açıları için mekan derinliği sırasıyla 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m olduğu durumda %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında değişirken, 45° engel açısı için sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %96, %0 ila %78 ve %0 ila %67 arasında değer almaktadır. Her bir mekan derinliği için meydana gelen veri setlerinin medyan değerlerine bakıldığında YS-1 için çalışma alanındaki en düşük sDG düzeyleri 6 m mekan derinliği için elde edilirken, sDG değerleri 5 m, 3 m ve 4m mekan genişlikleri için sırasıyla daha yüksek olmaktadır. YS-2 için sDG değerleri en düşük 3 m (sDG_{medyan} : %42) mekan derinliği ile elde edilirken, 4 m, 5 m ve 6 m mekan derinlikleri için sDG düzeylerine ait medyan değeri (sDG_{medyan} : %47) aynı olmaktadır. YS-3 için mekan derinliği artışına bağlı sDG değerinde önemli düzeyde bir düşüş gerçekleşmektedir. Buna göre en düşük sDG değeri 5 m (%11) ve 6 m (%11) mekan derinlikleri için elde edilirken, 3 m (%38) ve 4 m (%24) mekan derinlikleri için sDG değeri daha yüksek seviyelerde meydana gelmektedir.

Farklı pencere genişlikleri için çalışma alanında meydana gelen sDG düzeylerine yönelik değişim Şekil 5.21’de görülmektedir. Elde edilen grafiğe göre herhangi bir engel etkisinin olmadığı yerleşme senaryosunda (YS-1), 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m pencere genişlikleri için meydana gelen sDG değerleri sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %100, %18 ila %100, %62 ila %100, %89 ila %100 ve %96 ila %100 arasında değişmektedir. 25° engel açısının etkili olduğu durumda (YS-2) bütün pencere genişlikleri için çalışma alanında gerçekleşen sDG düzeyi %0 ila %100 arasında olmaktadır. Ancak medyan değerleri göz önüne alındığında 1 m (%47), 5 m (%49) ve 6 m (%51) pencere genişlikleri ile elde edilen sDG değerleri 2 m (%44), 3 m (%44) ve 4 m (%44)

pencere genişliklerine göre daha yüksek olmaktadır. 45° engel açısının gerçekleştiği senaryo (YS-3) için 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m pencere genişlikleri ile çalışma alanında sırasıyla %0 ila %16, %0 ila %53, %0 ila %91, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında sDG değerleri elde edilmektedir. Her bir pencere genişliğine ait medyan değerleri dikkate alındığında en yüksek sDG değeri sırasıyla 6 m (%56), 5 m (%47), 4 m (%40), 3 m (%29), 2 m (%13) ve 1 m (%2) pencere genişlikleri ile elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında pencereye yönelik engel etkisinden bağımsız olarak pencere genişliği artışı ile mekansal kamaşma düzeyinin arttığı, dolayısı ile görsel konfor düzeyinin azaldığı söylenebilmektedir. Engel etkisi dikkate alındığında ise engel etkisinin olmadığı veya yüksek düzeyde olduğu yerleşme senaryoları için pencere genişliği artışı çalışma alanında meydana gelen mekansal kamaşma düzeyini artırırken, engel etkisinin daha az olduğu yerleşme senaryoları için pencere genişliğine bağlı sDG değerinde önemli düzeyde artışlar görülmemektedir. Diğer yandan engel etkisi arttıkça çalışma alanında gerçekleşen mekansal kamaşma düzeyinin önemli derecede azaldığı görülmektedir.

Pencere genişliği ile benzer olarak pencere yüksekliğinin artırılması ile sDG değerinin genel anlamda arttığı görülmektedir. Özellikle engel açısının 0° ve 45° olduğu yerleşme senaryoları (YS-1 ve YS-3) için parapetli ve parapetsiz pencere biçimlerine yönelik pencere yüksekliğinin artırılması ile meydana gelen sDG değerleri 1.25 m, 1.65 m, 2.05 m ve 2.45 m pencere yükseklikleri için sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %73, %0 ila %98, %0 ila %98, %0 ila %100 arasında değişmektedir. Engel açısının 25° olduğu durumda bütün pencere yüksekleri için elde edilen sDG değerleri %0 ila %100 arasında olmaktadır. Her bir pencere yüksekliği için elde edilen medyan değerlerine göre pencere yüksekliğinin artması 0° ve 45° derece engel açısının gerçekleştiği senaryolar için sDG değerini arttırırken, 25° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryosu (YS-2) için pencere yüksekliğine bağlı sDG düzeyinde önemli bir değişim gerçekleşmemektedir. Diğer yandan parapetsiz pencerelerde (PY: 2.05 m, 2.45 m) pencere yüksekliği artışının, parapetli pencerelere (PY:1.25 m, 1.65 m) göre sDG değeri üzerinde daha yüksek bir atışa neden olduğu görülmektedir (Şekil 5.21).



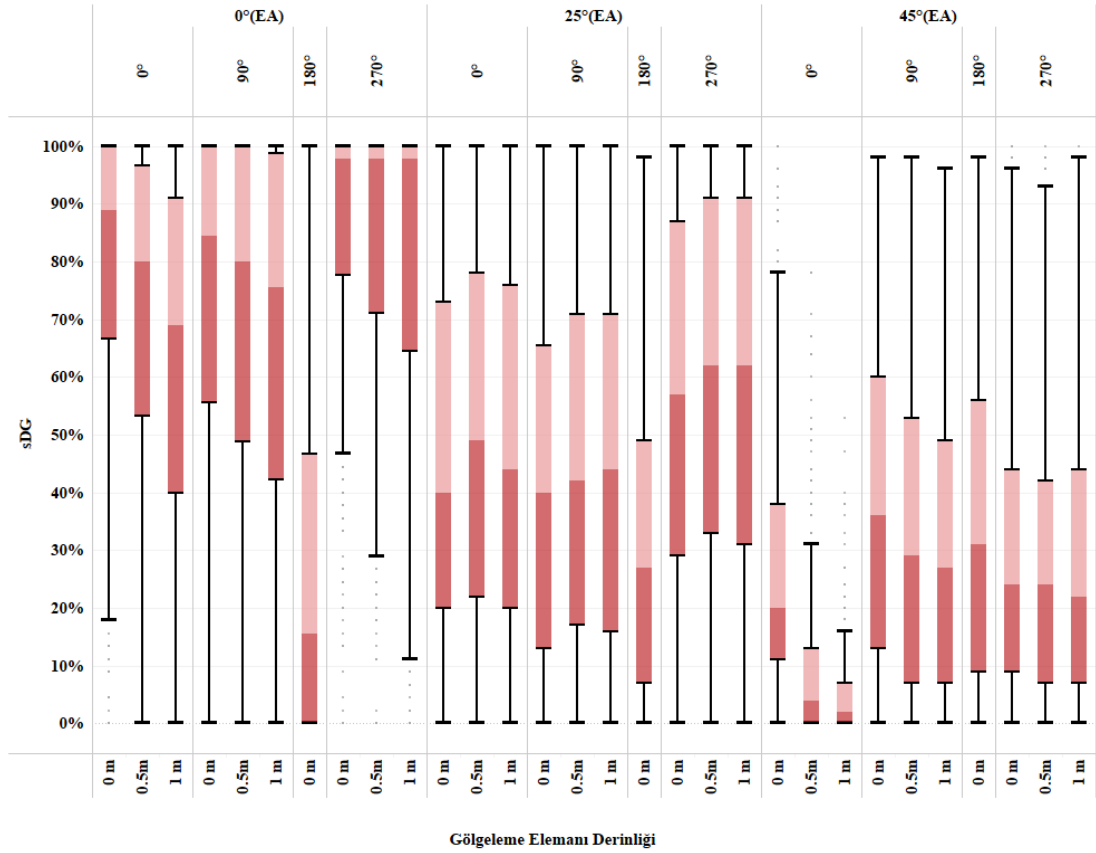
Şekil 5.21 : Doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin sDG ölçütüne etkisi

Cama ait ışık geçirgenlik katsayısına bağlı olarak farklı cam türlerinin sDG değerine etkisine bakıldığında ise üç farklı engel durumu (EA: 0°,25°,45°) için 0.69 ve 0.79 ışık geçirgenlik katsayısına sahip cam türleri ile elde edilen sDG değerleri sırasıyla %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında, %0 ila %87 ve %0 ila %100 arasında gerçekleşmektedir. Her bir cam türü için elde edilen medyan değerlerine göre en yüksek etki 45° engel açısının gerçekleştiği Yerleşme Senaryosu-3'te olmak üzere 0° ve 45° engel açılarının etkisi altında cama ait ışık geçirgenlik katsayısındaki artışın sDG değerinde artışa neden olduğu görülmektedir (Şekil 5.21). Diğerlerinden farklı olarak 25° engel açısı etkisinin olduğu durumda (YS-2) ise cama ait ışık geçirgenlik katsayısına bağlı olarak çalışma alanında elde edilen sDG değerinde önemli bir değişim olmamaktadır.

Gölgeleme elemanı derinliğine bağlı olarak sDG değerinde meydana gelen değişim 0°, 25° ve 45° engel açılarının gerçekleştiği YS-1, YS-2 ve YS-3 için sırasıyla %0 ila %100 (0 m), %0 ila %100 (0.5 m) ve %0 ila %100 (1 m) arasında, %0 ila %100 (0 m), %0 ila %100 (0.5 m) ve %0 ila %100 (1 m) arasında, %0 ila %100 (0 m), %0 ila %96 (0.5 m) ve %0 ila %84 (1 m) arasında değişmektedir. Engel etkisinin olmadığı durum için gölgeleme elemanı derinliğinin 0.5 m (%87) ve 1.0 m (%82) olması durumunda sDG değeri gölgeleme elemanının derinliğinin 0.0 m (%80) olduğu duruma göre artarken, gölgeleme elemanı derinliğinin 1.0 m olması durumunda çalışma alanında gerçekleşen sDG değeri derinliğin 0.5 m olması durumuna göre %5 oranında azalmaktadır. Benzer şekilde 25° engel açısının gerçekleştiği durumda gölgeleme elemanı derinliğinin artışı (%51) gölgeleme elemanının olmadığı duruma (%40) göre sDG düzeyini %11 oranında artırmaktadır. Ancak engel açısının 45° olduğu durumda gölgeleme elemanına ait derinliğin 0.0 m (%27)'den 0.5 m (%16) ve 1.0 m (%11)'ye çıkarılması sonucu çalışma alanında elde edilen sDG düzeyi % 11 ila %16 arasında azalmaktadır. Buna göre gölgeleme elemanı derinliği artışının sDG düzeyinin azaltılması üzerindeki en büyük etkinin engel etkisinin en fazla olduğu durum YS-3 için gerçekleştiği görülmektedir.

Gölgeleme elemanı derinliğinin Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG) düzeyine etkisini daha iyi anlayabilmek için yönelime bağlı analizinin gerçekleştirilmesine gerekmektedir. Bu anlamda Şekil 5.22'de farklı engel açıları etkisi altında yönelime bağlı olarak gölgeleme elemanı derinliğine yönelik artışın sDG değerine etkisi gösterilmek-

tedir. Elde edilen sonuçlara göre herhangi bir engel etkisinin olmadığı YS-1 için Güney ve Doğu yönelimlerinde kullanılan gölgeleme elemanlarına ait derinlik artışının sDG değerinde azalma sağladığı, Batı yönü için gölgeleme elemanı derinliği artışının sDG düzeyi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. YS-1 (EA: 0°) ile benzer şekilde YS-3 (EA: 45°) için Güney ve Doğu yönlerinde gölgeleme elemanı derinliğinin artışı sonucu, Batı yönelimine göre sDG düzeyinde önemli bir azalma sağlanmaktadır. YS-2 (EA: 25°) için ise gölgeleme elemanı derinliğine bağlı olarak sDG değerinde, diğer yerleşme senaryolarına göre düşüş yerine artış gerçekleşmektedir.



Şekil 5.22 : Gölgeleme elemanı derinliğinin engel açısı ve yönelime bağlı olarak sDG ölçütüne etkisi

5.2.3 Dış görüşün değerlendirilmesi

Doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin dış görüş performansına etkisi, dış görüş erişim, pencereden engele olan uzaklık ve dış görüşe giren katmanlaşmaya bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Yaşama mekanında belirlenen her bir bakış noktası için dış görüş kriterlerinin sağlanma oranı, üç kriter içerisinde en düşük düzeyde sağlanan kriterlere göre tanımlanmaktadır (TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı, 2022).

Tez çalışması kapsamında ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinden yönelim ve cam türüne bağlı ışık geçirgenlik katsayısı (T_{vis}) parametrelerinin dış görüşten bağımsız olması nedeni ile doğal aydınlatma sistemi dış görüş performansı üzerinde bir etkisi olmamaktadır. Dış görüş performansı üzerinde etkili olan mekan genişliği, mekan derinliği, pencere genişliği, pencere yüksekliği ve gölgeleme elemanı derinliği parametrelerine bağlı olarak yaşama mekanında elde edilen dış görüş düzeyleri Şekil 5.23'te verildiği gibi olmaktadır.

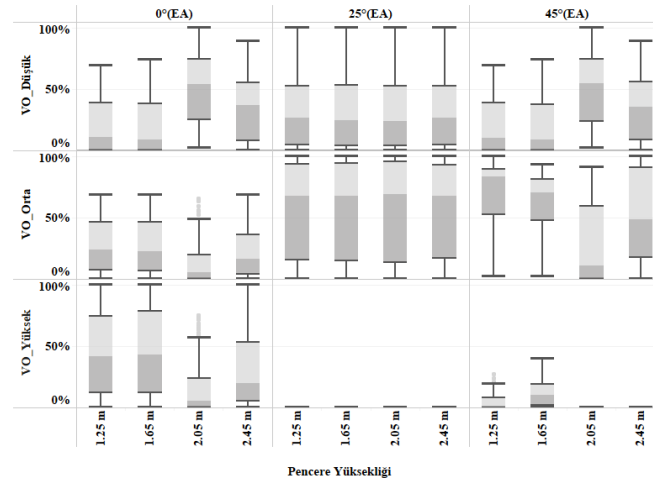
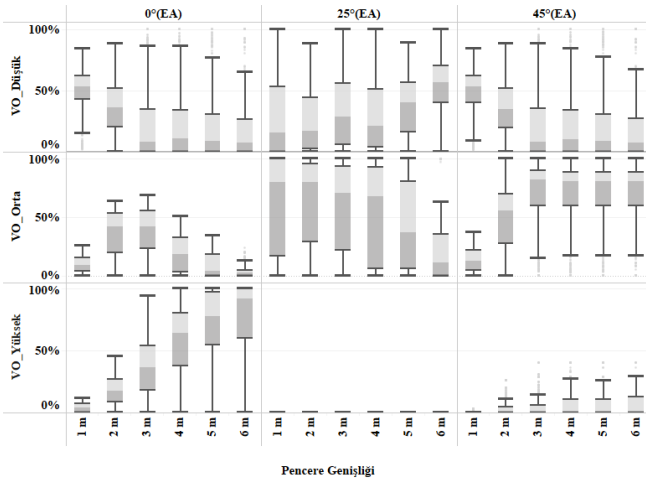
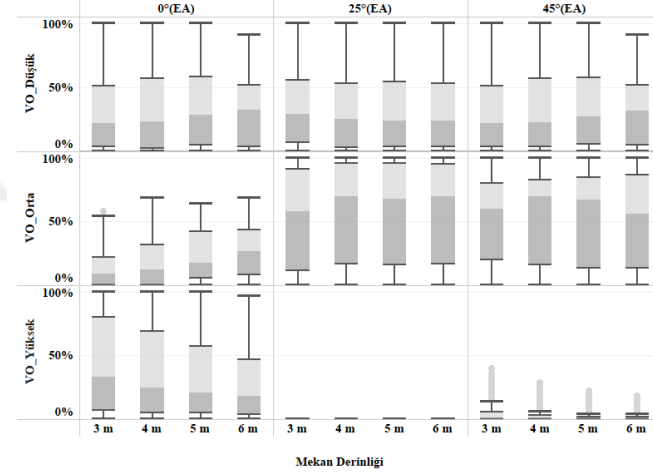
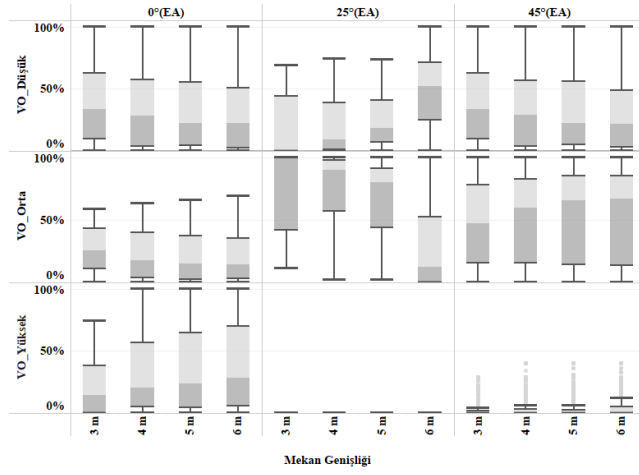
Mekan genişliğine bağlı olarak yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyi üç engel durumu için farklı değerler almaktadır. Herhangi bir engel etkisinin olmadığı ($EA:0^\circ$) YS-1 için 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m mekan genişliklerine bağlı olarak sırasıyla düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeyleri %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında; %0 ila %58, %0 ila %63, %0 ila %66 ve %0 ila %69 arasında; %0 ila %74, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında değerler almaktadır. Medyan değerleri üzerinden bakıldığında engelsiz durum için mekan genişliği arttıkça pencere genişliğinin artmasına bağlı olarak yaşama mekanında sağlanan düşük dış görüş düzeyinin azaldığı, yüksek dış görüş düzeyinin ise arttığı görülmektedir. Engel açısının 25° olduğu YS-2 için 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m mekan genişliklerine bağlı olarak yaşama mekanında düşük ve orta dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %69, %0 ila %74, %0 ila %73, %0 ila %100 arasında ve %11 ila %100, %2 ila %100, %2 ila %100, %0 ila %100 arasında sağlanırken, yüksek dış görüş düzeyi (%0) sağlanamamaktadır. YS-2 için engelsiz durumdan farklı olarak mekan genişliğinin artması ile yaşama mekanında sağlanan orta ve yüksek dış görüş düzeyleri azalırken, düşük dış görüş düzeyi artmaktadır. Engel açısının 45° olduğu YS-3 için 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m mekan genişliklerine göre yaşama mekanında elde edilen dış görüş düzeyleri %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 oranları arasında düşük; %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 oranları arasında orta ve %0 ila %4, %0 ila %6, %0 ila %6, %0 ila %12 oranları arasında yüksek olmaktadır. Engelsiz yerleşme senaryosu ile benzer şekilde mekan genişliğinin artması ile birlikte düşük dış görüş düzeyi azalırken, orta ve yüksek görüş düzeyleri artmaktadır.

Dış görüşün değerlendirilmesine yönelik kullanılan yöntem gereği dış görüşün mekan-sal olarak değerlendirilmesi nedeni ile mekan derinliği artışına bağlı yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyi genel olarak azalmaktadır. Şekil 5.23'te verilen grafik

incelendiğinde, engel açısının 0° olduğu YS-1 için 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m mekan derinliklerine bağlı yaşama mekanında sağlanan düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %91 arasında, %0 ila %54, %0 ila %69, %0 ila %64, %0 ila %69 arasında, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %97 arasında değişmektedir. Medyan değerleri üzerinden her bir mekan derinliği için oluşturulan veri setleri karşılaştırıldığında herhangi bir engelin dış görüş üzerinde etkili olmadığı durum için mekan derinliği arttıkça düşük ve orta dış görüş düzeylerinin arttığı, yüksek dış görüş düzeyinin azaldığı görülmektedir.

Engel açısının 25° olduğu YS-2’de ise yaşama mekanında yüksek dış görüş sağlanamazken, yaşama mekanında elde edilen düşük ve orta dış görüş düzeyleri bütün mekan derinliği değerleri için %0 ila %100 arasında değerler almaktadır. Her bir veri setine ait medyan değeri üzerinden bir değerlendirme yapıldığında düşük dış görüş düzeyinin mekan derinliği arttıkça çok az bir düzeyde azaldığı (-1%), orta dış görüş düzeyinin ise 4 m ve üzeri mekan derinlikleri için 3 m mekan derinliğine göre arttığı, ancak 4 m mekan derinliği üzeri için herhangi bir değişim göstermediği görülmektedir. Engel açısının 45° olduğu YS-3 için yaşama mekanında sağlanan düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %91 arasında, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 arasında, %0 ila %14, %0 ila %6, %0 ila %4, %0 ila %4 arasında değerler almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre YS-1 ile benzer şekilde mekan derinliği arttıkça düşük ve orta dış görüş düzeyi artarken, yüksek dış görüş düzeyi azalmaktadır.

Pencere genişliğine bağlı olarak yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyi analiz edildiğinde ise, engel etkisinin olmadığı durum için düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeylerinin yaşama mekanında sağlanma oranları 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m pencere genişlikleri için sırasıyla %15 ila %84, %0 ila %88, %0 ila %86, %0 ila %86, %0 ila %77, %0 ila %65 arasında; %0 ila %26, %0 ila %63, %0 ila %69, %0 ila %50, %0 ila %34, %0 ila %12 arasında, %0 ila %11, %0 ila %46, %0 ila %94, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100 arasında değişmektedir. Buna göre pencereye etki eden herhangi bir engel olmadığı durumda pencere genişliği arttıkça düşük ve orta dış görüş düzeyi azalmakta, yüksek dış görüş düzeyi ise artmaktadır.



Şekil 5.23 : Doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin dış görüş (VO) düzeyine etkisi

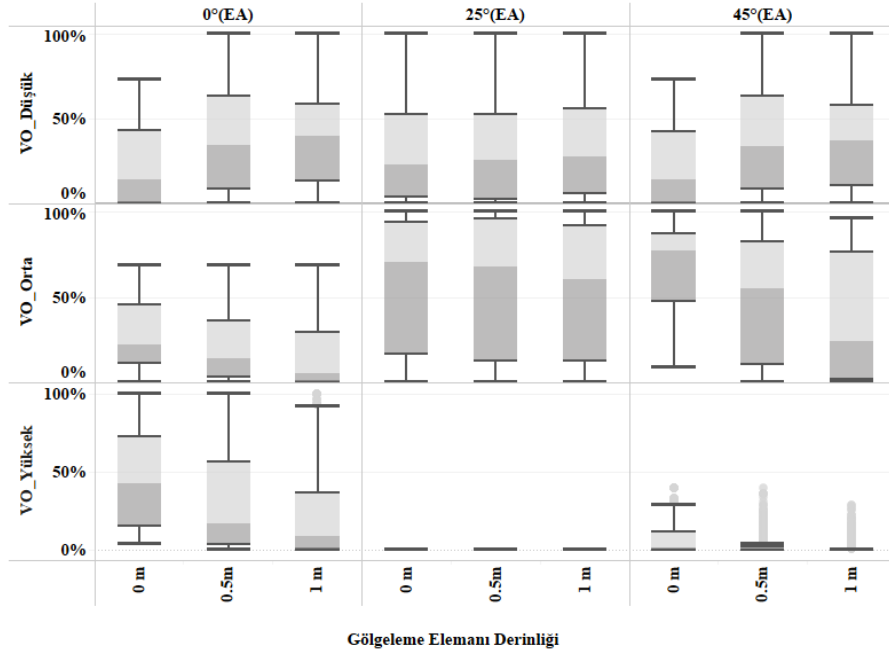
25° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryosu (YS-2) için ise 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m pencere genişlikleri için yaşama mekanında sağlanan düşük ve orta dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %100, %0 ila %88, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %89, %0 ila %100 arasında ve %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %63 arasında değerler almaktadır. YS-1 ile benzer şekilde yaşama mekanında düşük dış görüş düzeyi azalırken orta dış görüş düzeyi artmaktadır. Ancak yüksek dış görüş düzeyi 25° engel açısının gerçekleştiği senaryo için sağlanamamaktadır. 45° engel açısının gerçekleştiği YS-3 için yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyleri düşük, orta ve yüksek düzey için 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m pencere genişliklerinin olduğu durumda sırasıyla %9 ila %84, %0 ila %88, %0 ila %88, %0 ila %84, %0 ila %77, %0 ila %67 arasında, %0 ila %37, %0 ila %100, %15 ila %100, %17 ila %100, %17 ila %100, %17 ila %100 arasında ve %0 ila %4, %0 ila %11, %0 ila %14, %0 ila %27, %0 ila %26, %0 ila %29 arasında olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre engel açısının 0° ve 45° olduğu durumda (YS-1 ve YS-3) pencere genişliği arttıkça düşük dış görüş düzeyinin azaldığı, buna bağlı olarak yüksek ve orta dış görüş düzeylerinin arttığı görülmektedir. Hernagi bir engelin varlığı durumunda yaşama mekanında yüksek dış görüş düzeyi sağlanamazken, engel etkisinin olmadığı durumda 4 m ve üzeri pencere genişlikleri (Medyan >%65) ile oluşturulan doğal aydınlatma sistemi senaryolarının büyük bir kısmı ile yaşama mekanında yüksek dış görüş düzeyi sağlanabilmektedir.

Parapetli (PY: 1.25 m, 1.65 m) ve parapetsiz (PY: 2.05 m, 2.45 m) pencere biçimleri için pencere yüksekliğindeki değişimin yaşama mekanında sağlanan düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeylerine etkisi Şekil 5.23'te verilmektedir. Elde edilen grafiklere göre YS-1 için 1.25 m, 1.65 m, 2.05 m ve 2.25 m pencere yükseklikleri için elde edilen düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %69, %0 ila %74, %2 ila %100, %0 ila %89 arasında, %0 ila %69, %0 ila %69, %0 ila %49, %0 ila %69 arasında ve %0 ila %100, %0 ila %100, %0 ila %57, %0 ila %100 arasında değişmektedir. Medyan değerleri göz önüne alındığında parapetli pencere biçimi için pencere yüksekliğinin artması düşük oranlarda düşük ve orta dış görüş düzeyinin azalmasına (-%2), yüksek dış görüş düzeyinin artmasına (+%1) neden olmaktadır. Parapetli pencerelerin aksine, parapetsiz pencere biçimi için pencere yüksekliğindeki artış düşük dış görüş düzeyinin önemli bir oranda azalmasını (%-18), orta (+%10) ve yüksek (+15%) dış

görüş düzeylerinin ise artmasını sağlamaktadır. YS-2 için ise pencere yüksekliği yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyinde önemli bir değişikliğe neden olmayarak, düşük ve orta dış görüş düzeyleri tüm pencere yükseklikleri için %0 ila %100 arasında sağlanmaktadır. Yüksek dış görüş düzeyi hiçbir pencere yüksekliği ile elde edilememektedir. YS-3 için pencere yüksekliğinin yaşama mekanında elde edilen dış görüş düzeyine etkisine bakıldığında, 1.25 m, 1.65 m, 2.05 m ve 2.25 m pencere yükseklikleri ile yaşama mekanında sağlanan düşük, orta ve dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %69, %0 ila %74, %2 ila %89, %0 ila %89 arasında, %2 ila %100, %2 ila %93, %0 ila %91, %0 ila %100 arasında, %0 ila %19, %0 ila %40 arasında elde edilmektedir. Parapetsiz pencere yükseklikleri ile yüksek dış görüş düzeyi sağlanamamaktadır. Bu anlamda parapetli pencere yükseklikleri ile pencere yüksekliği arttıkça yaşama mekanındaki düşük ve orta dış görüş düzeyi azalırken, yüksek dış görüş düzeyi artmaktadır. Diğer yandan parapetsiz pencere yüksekliklerindeki artış düşük dış görüş düzeyini azaltarak orta dış görüş düzeyini artırırken, yüksek dış görüş düzeyinin sağlanmasına yüksek engel açılarının etkisi altında imkan vermemektedir.

Gölgeleme elemanı derinliğinin dış görüş düzeyine etkisi genel olarak gölgeleme elemanının derinliğinin artması ile doğru orantılı bir şekilde yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyinin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 5.24). Engel etkisinin olmadığı durumda (YS-1) 0.0 m, 0.5 m ve 1.0 m gölgeleme elemanı derinlikleri için yaşama mekanında elde edilen düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeyleri sırasıyla %0 ila %73, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında, %0 ila %69, %0 ila %69 ve %0 ila %69 arasında, %3 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %92 arasında değişmektedir. 25° engel açısının gerçekleşmesi durumunda (YS-2) bu değerler sırasıyla düşük ve orta dış görüş düzeyi için tüm gölgeleme elemanı derinlikleri için %0 ila %100 arasında değerler almaktadır. Medyan değerleri üzerinden bakıldığında 0.5 m ve 1.0 m gölgeleme elemanı derinlikleri için düşük dış görüş düzeyinin herhangi bir gölgeleme elemanının kullanılmadığı duruma göre sırasıyla %3 ve %5 oranlarında arttığı, orta dış görüş düzeyinin ise %3 ve %7 oranlarında azaldığı görülmektedir. Yüksek dış görüş oranı ise ilgili yerleşme senaryosu ile gölgeleme elemanı derinliğinden bağımsız olarak sağlanamamaktadır. 45° engel açısı (YS-3) için gölgeleme elemanı derinliğine bağlı yaşama mekanında sağlanan düşük, orta ve yüksek dış görüş düzeyleri 0.0 m, 0.5 m ve 1.0 m değerleri için sırasıyla %0 ila %73, %0 ila %100 ve %0 ila %100 arasında, %9 ila %100, %0 ila %100 ve %0 ila %96 arasında, %0 ila %29, %0 ila %4 ve %0 ila %1

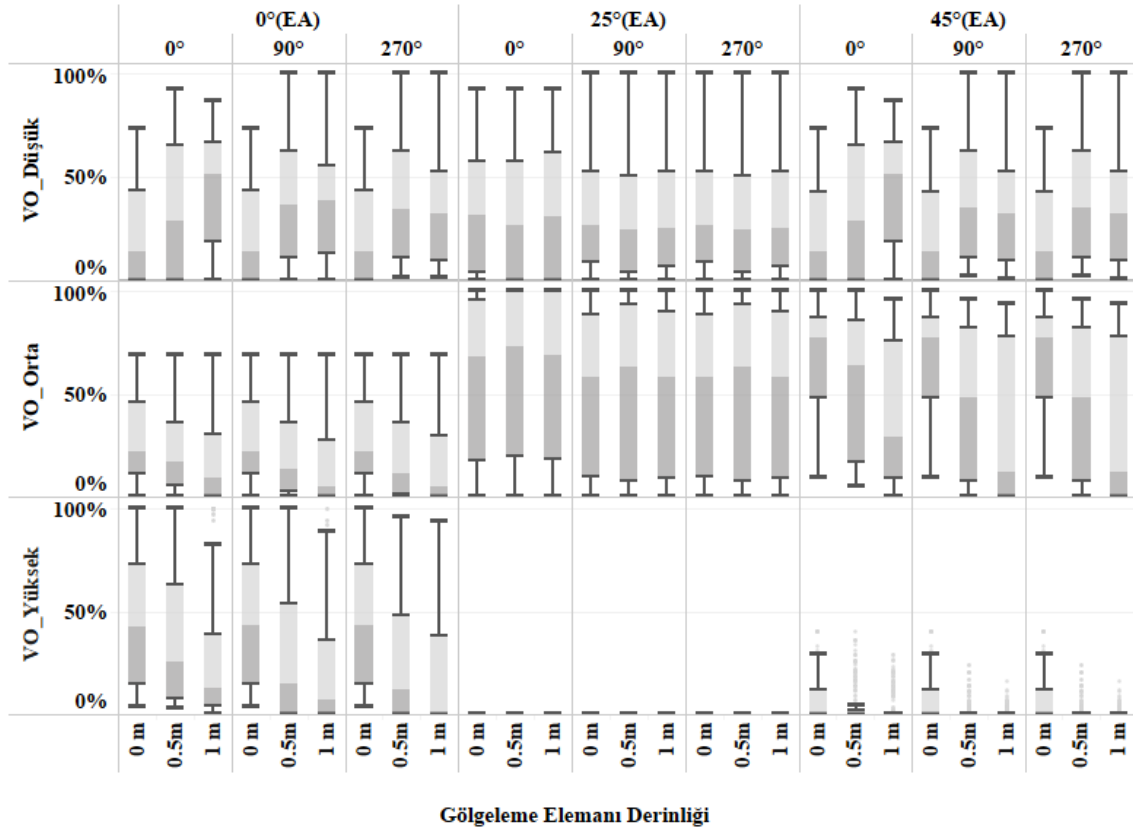
arasında olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre gölgeleme elemanı derinliğinin artışı düşük dış görüş düzeyini artırırken, yaşama mekanında sağlanan orta ve yüksek dış görüş düzeyinin azaltmaktadır.



Şekil 5.24 : Gölgeleme elemanı derinliğinin dış görüş (VO) düzeyi üzerine etkisi

Gölgeleme elemanı türü bakımından sonuçlar detaylı olarak analiz edildiğinde ise Şekil 5.25'te görüldüğü gibi üç yerleşme senaryosu için benzer sonuçlar olmak üzere Doğu ve Batı yönlerinde düşey gölgeleme elemanı kullanımı Güney yönde kullanılan yatay gölgeleme elemanına göre düşük dış görüş düzeyinin daha çok artmasına, 0° ve 45° engel açıları için orta ve yüksek dış görüş düzeyinin ise daha çok azalmasına neden olmaktadır. Bu anlamda YS-1 için yatay gölgeleme elemanı derinliğinin 0.5 m ve 1.0 m'ye çıkarılması düşük dış görüş düzeyi sırasıyla %15 ve %37 oranlarında artmasına, orta ve yüksek dış görüş düzeyinin ise sırasıyla %5 ve %13, %18 ve %30 oranlarında azalmasına neden olmaktadır. Düşey gölgeleme elemanına ait derinliğin 0.5 m ve 1.0 m'ye çıkarılması sonucu ise sırasıyla düşük dış görüş düzeyi %22 ve %24 oranında artarken, orta dış görüş düzeyi %9 ve %15 oranlarında, yüksek dış görüş düzeyi ise %29 ve %37 oranlarında azalmaktadır. Diğer yandan YS-2 için 25° engel açısı etkisi altında yatak gölgeleme elemanı derinliğinin 0.5 m'ye çıkarılması ile düşük dış görüş düzeyi %5 oranında azalırken, orta dış görüş düzeyi %5 oranında artmıştır. Gölgeleme elemanı derinliğinin 1.0 m olması durumunda ise gölgeleme elemanının olmadığı duruma (GD:0.0 m) göre düşük dış görüş düzeyi %1 oranında azalmış, orta dış görüş

düzeyinde ise bir değişiklik olmamıştır. Düşey gölgeleme elemanının kullanılması sonucu ise 0.5 m ve 1.0 m gölgeleme elemanı derinlikleri için yaşama mekanında sağlanan düşük dış görüş düzeyleri sırasıyla %2 ve %1 oranlarında azalmış, orta dış görüş düzeyleri ise %8 ve %0 oranında artmıştır.



Şekil 5.25 : Yöneline bağlı yatay ve düşey gölgeleme elemanlarının dış görüş (VO) düzeyi üzerine etkisi

YS-3 için 0.5 m ve 1.0 m yatay gölgeleme elemanı kullanılması sonucu yaşama mekanında sağlanan düşük dış görüş düzeyi sırasıyla %15 ve %23 oranında artarken, orta dış görüş düzeyi %14 ve %35 oranlarında, yüksek dış görüş düzeyi %25 ve %4 oranlarında azalmaktadır. Düşey gölgeleme elemanının kullanımı ile yaşama mekanında elde edilen düşük dış görüş düzeyi gölgeleme elemanının 0.5 m ve 1.0 m'ye çıkarıldığı durumda gölgeleme elemanının derinliğinin 0.0 m olduğu duruma göre sırasıyla %21 ve %19 oranında artmaktadır. Orta dış görüş düzeyi ise gölgeleme elemanının olmadığı duruma göre 0.5 m ve 1.0 m derinlikleri için sırasıyla %30 ve %36 oranlarında azalmaktadır. Benzer şekilde yüksek dış görüş düzeyi de gölgeleme elemanı derinliğinin artışı ile doğru orantılı olarak 0.5 m için %25 oranında, 1.0 m için %4 oranında azalarak yaşama mekanında sağlanan yüksek dış görüş düzeyi %0 olmaktadır. Elde

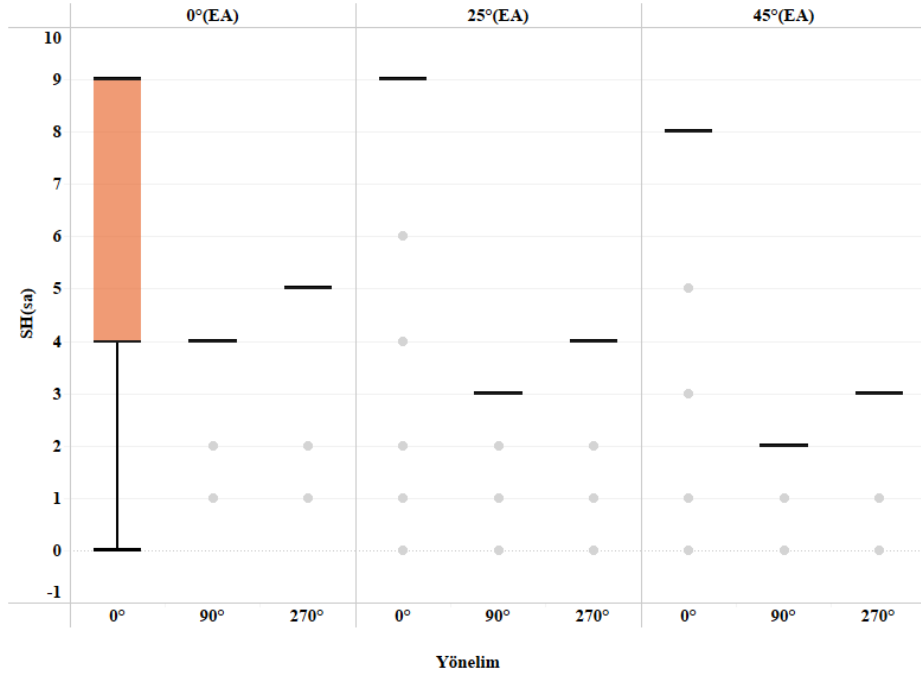
edilen sonuçlar, yatay gölgeleme elemanlarının, düşey gölgeleme elemanlarına kıyasla dış görüş sağlama açısından daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Ancak, yatay gölgeleme elemanının derinliğindeki artış, düşey gölgeleme elemanının derinliğindeki artışa göre dış görüş seviyesini daha belirgin bir şekilde azaltmaktadır.

5.2.4 Güneş ışığı alımının değerlendirilmesi

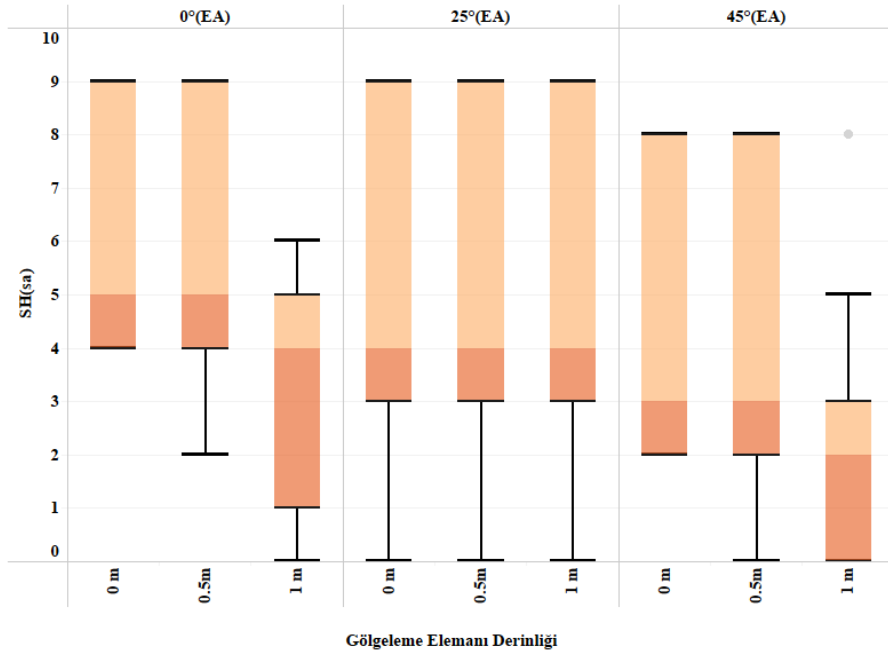
Yaşama mekanına alınan güneş ışığı alım süresi, doğal aydınlatma sistemi parametrelerinden yönelim ve gölgeleme elemanı derinliğine göre değişmektedir. Şekil 5.26'da üç farklı yerleşme senaryosu için yönelim ve gölgeleme elemanı derinliğine göre değişen güneş ışığı alım süreleri gösterilmektedir. Pencereye etki eden herhangi bir engel durumunun olmadığı senaryoda (YS-1) Güney yön için yaşama mekanında sağlanan güneş ışığı alım süresi 0 ila 9 sa arasında değişirken, Doğu ve Batı yönleri için genellikle 4 sa ve 5 sa olarak gerçekleşmektedir. 25° engel açısının etkili olduğu YS-2 için Güney, Doğu ve Batı yönlerinde yaşama mekanına alınan güneş ışığı süresi doğal aydınlatma sistemi senaryolarının büyük bir bölümü için 9 sa, 3 sa ve 4 sa olmaktadır. Engel açısının 45° olduğu YS-3 için yaşama mekanında sağlanan güneş ışığı alım süresi YS-2'ye göre 1 sa azalarak doğal aydınlatma sistemi senaryolarının büyük bir kısmı için 8 sa, 2 sa ve 3 sa olarak gerçekleşmektedir. Her bir yönelim için oluşturulan veri setine ait medyan değerleri göz önüne alındığında 0°, 25° ve 45° engel açısına sahip yerleşme senaryoları (YS-1, YS-2, YS-3) için güneş ışığı alım süresinin en fazla sağlandığı yönler sırasıyla Güney (9 sa, 9 sa, 8 sa), Batı (5 sa, 4 sa, 3 sa) ve Doğu (4 sa, 3 sa, 2 sa) yönleri olmaktadır.

Gölgeleme elemanı derinliğine bağlı olarak yaşama mekanında gerçekleşen güneş ışığı alım süreleri YS-1 için 0.0 m, 0.5 m ve 1.0 m gölgeleme elemanı derinlikleri için sırasıyla 4 ila 9 sa, 2 ila 9 sa, 0 ila 6 sa arasında gerçekleşmektedir. YS-2 için 0.0 m, 0.5 m ve 1.0 m gölgeleme elemanı derinliklerine bağlı yaşama mekanında sağlanan güneş ışığı alım süreleri 0 ila 9 sa arasında değerler almaktadır. YS-3 için gölgeleme elemanı derinliğinin 0.0 m, 0.5 m ve 1.0 m olması durumunda elde edilen güneş ışığı alım süreleri sırasıyla 2 ila 8 sa, 0 ila 8 sa ve 0 ila 5 sa arasında olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre gölgeleme elemanı derinliğinin artışı ile birlikte güneş ışığı alım süresinin azaldığı, engel etkisinin artması ile güneş ışığı alım süresindeki düşüşün daha fazla olduğu görülmektedir. Bu anlamda YS-1 (EA:0°) ve YS-3 (EA:45°) için aynı

olmak üzere gölgeleme elemanı derinliğinin 1.0 m'ye çıkarılması güneş ışığı alım süresini önemli oranda (1 sa) azaltırken, YS-2 (EA:25°) için gölgeleme elemanı derinliğindeki değişim güneş ışığı alım süresi üzerinde etki göstermemektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.26 : Yönelim (a) ve gölgeleme elemanı derinliği (b) parametrelerinin güneş ışığı alım süresine (SH) etkisi

5.2.5 Ele alınan mekanda görsel konfora dayalı doğal aydınlatma sistemi performansının sınıflandırılması

Doğal aydınlatma sistemi senaryolarının görsel konfor performansının sınıflandırılması Bölüm 4.2.3'te detaylı bir şekilde açıklanan puanlandırma yöntemine dayalı olarak yapılmıştır. Doğal aydınlatma sistemi senaryolarının her biri için ele alınan görsel konfor kriterlerine ve ağırlıklandırmalarına bağlı olarak yapılan örnek puan hesaplaması Çizelge 5.10'da verilmektedir. Buna göre "A" doğal aydınlatma sistemi senaryosu için günışığı etkinliği, kamaşma, dış görüş ve güneş ışığı alımı görsel konfor ölçütlerinin toplam puanı her bir ölçütün sağlanma oranlarına göre senaryonun aldığı puan ile ilgili kriterin ağırlığının çarpımı sonucu bulunan değerlerin toplanması sonucu hesaplanmıştır. Bölüm 4.2.3.3'te belirlenen konfor sınıflarına ait puan aralıkları dikkate alındığında örnek "A" doğal aydınlatma sistemi senaryosunun görsel konfor sınıfı düşük konfor düzeyi ($1.45 \leq \text{Senaryo Puanı} < 2.0$) olarak belirlenmiştir

Çizelge 5.10 : Doğal aydınlatma sistemi senaryosuna ait örnek puan hesaplaması.

Görsel Konfor Kriter Ölçütü	Kriter Ağırlığı (Bölüm 4.2.3.2)	Senaryo #A	
		Kriter Puanı (Bölüm 4.2.3.1)	Ağırlıklandırılmış Puan
Günışığı Etkinliği (UDI-a)	0.45	2	0.9
Dış Görüş (VO)	0.25	2	0.5
Güneş ışığı alımı (SH)	0.1	1	0.1
Kamaşma (sDG)	0.2	2	0.4
		Senaryo Puanı (Toplam):	1,9

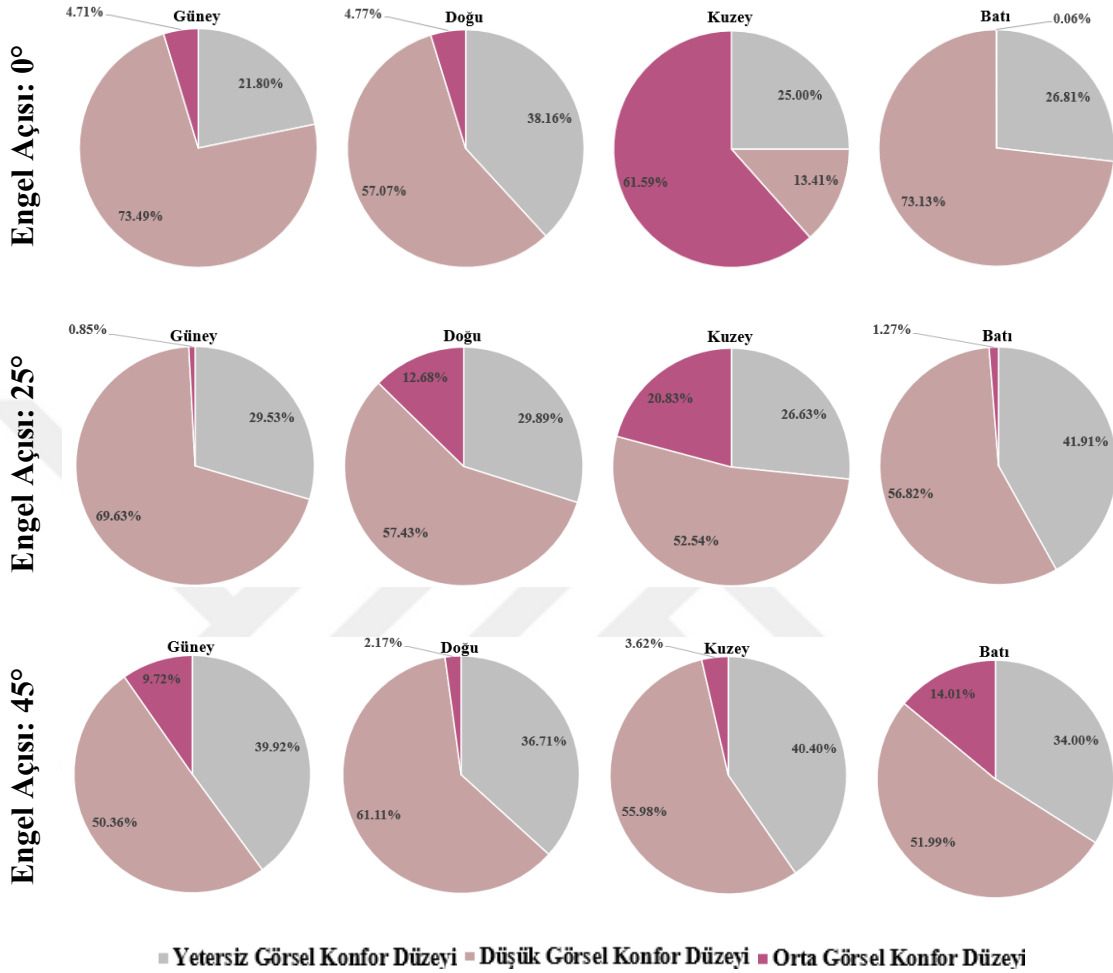
Her bir yerleşme senaryosu için örneklem üzerinden belirtilen puanlandırmaya bağlı olarak belirlenen doğal aydınlatma sistemi görsel konfor sınıflarının dağılımı Şekil 5.27'de verildiği gibi olmaktadır. Buna göre engel etkisinin olmadığı durum (YS-1) için 5520 adet doğal aydınlatma sistemi senaryosu için belirlenen görsel konfor sınıflarından 1575 tane yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfı (%28.5), 3447 tane düşük görsel konfor düzeyi sınıfı (%62.4), 498 tanesi orta görsel konfor düzeyi sınıfı (%9) olarak belirlenmiştir. Yüksek görsel konfor düzeyi sınıfı YS-1 için hiçbir doğal aydınlatma sistemi senaryosu ile sağlanamamıştır. Yönelime bağlı bu sınıfların dağılımı ise Güney yön için 361 adet yetersiz, 1217 adet düşük, 78 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfı; Doğu yönü için 632 adet yetersiz, 945 adet düşük, 79 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfı, Kuzey yön için 138 adet yetersiz, 74 adet düşük, 340 adet orta görsel konfor

düzeyi sınıfı ve Batı yönü için 444 adet yetersiz, 1211 adet düşük, 340 adet orta görsel konfor düzeyi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında Doğu yönelimi yaşama mekanında görsel konfor düzeyi sınıfının sağlanabilmesi için en olumsuz sonuçları verirken, en yüksek görsel konfor düzeyi sınıfının elde edildiği yönler sırasıyla Kuzey, Batı, Doğu ve Güney yönelimleri olarak sıralanmaktadır.

Herhangi bir engel durumunun varlığında ise doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak yaşama mekanında elde edilen görsel konfor sınıfları farklılık göstermektedir. 25° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryosu (YS-2) için 5520 adet doğal aydınlatma sistemi senaryosundan 1825 adeti yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfını (%33.1), 3335 adeti düşük görsel konfor düzeyi sınıfını (%60.4), 360 (%6.5) adeti ise orta görsel konfor düzeyi sınıfını sağlamaktadır. Güney yön için yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyi sınıfları 489 adet yetersiz, 1153 adet düşük, 14 adet orta olurken, Doğu yönü için 495 adet yetersiz, 951 adet düşük, 210 adet orta görsel konfor düzeyi, Kuzey yön için 147 adet yetersiz, 290 adet düşük, 115 adet orta görsel konfor düzeyi, Batı yönü için 694 adet yetersiz, 941 adet düşük, 21 adet orta görsel konfor düzeyi olarak gerçekleşmektedir. Bu anlamda 25°'lik engel açısı etkisi altında yaşama mekanında sağlanan orta görsel konfor düzeyi sınıfları bakımından en olumlu yönler sırasıyla Kuzey (%20.83), Doğu (%12.68), Batı (%1.27) ve Güney (%0.85) yönleri olurken, yetersiz görsel konfor düzeyinin gerçekleşmesi bakımından en olumsuz yönler sırasıyla Batı (%41.91), Doğu (%29.89), Güney (%29.53) ve Kuzey (%26.63) yönleri olmaktadır.

45° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryosu (YS-3) için elde edilen sonuçlara bakıldığında yaşama mekanında 5520 adet doğal aydınlatma sistemi senaryosundan 2055 adeti ile yetersiz görsel konfor düzeyi (%37.2), 3016 adeti ile düşük görsel konfor düzeyi (%54.6), 449 adeti ile orta görsel konfor düzeyi (%8.1) sağlanmaktadır. Güney yöne bakan doğal aydınlatma sistemi senaryoları ile yaşama mekanında 661 adet yetersiz, 834 adet düşük, 161 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfı sağlanırken, Doğu yönü için görsel konfor düzeyi sınıfları 608 adet yetersiz, 1012 adet düşük, 36 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfı; Kuzey yön için 223 adet yetersiz, 309 adet düşük, 20 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfı; Batı yönü için 563 adet yetersiz, 861 adet düşük, 232 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfı olmaktadır. Yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyi sınıfı bakımından 45° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryosunda orta düzey görsel konfor sınıfının elde edilmesi bakımından sırasıyla Batı

(%14.01), Güney (%9.72), Kuzey (%3.62) ve Doğu (%2.17) yönleri en avantajlı yönler olurken, yetersiz görsel konfor düzeyinin en çok gerçekleştiği yönler sırasıyla Kuzey (%40.40), Güney (%39.92), Doğu (%36.71) ve Batı (%34.00) olmaktadır.



Şekil 5.27 : Farklı engel durumları için yönelime bağlı doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin görsel konfor düzeyi sınıf dağılımları

5.3 Ele Alınan Mekana İlişkin Veri Madenciliğine Dayalı Doğal Aydınlatma Sistemi Karar Modelinin Geliştirilmesi

Bu bölümde doğal aydınlatma sistemine bağlı olarak yaşama mekanında elde edilen görsel konfor koşullarını ortaya koymak için 4 farklı görsel konfor ölçütü aracılığı ile üretilen veri seti üzerinden doğal aydınlatma sistemine yönelik bir karar destek modeli üretilenektir. Geliştirilen yaklaşımın bu aşamasında tez çalışması kapsamında karar destek sistemi olarak belirlenen karar ağacı modelinin geliştirilmesi amacıyla veri ön işleme, modelin üretilmesi, modelin doğruluğunun belirlenmesi ve tasarım kurallarının çıkarılması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Tez çalışması kapsamında üç farklı

engel durumuna bağlı oluşturulan yerleşme senaryoları için ayrı ayrı oluşturulan doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar ağacı modellerine ilişkin adımlar sonraki başlıklarda detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.3.1 Veri ön-işleme

Veri ön işleme aşaması, karar ağacı modelini oluşturmak için kullanılacak verinin istatistiki analizi yapılarak aykırı/boş/tanımsız verilerin olması durumunda verinin düzeltilmesi veya ayıklanması, veri setindeki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin korelasyon analizi ile uyumunun kontrol edilmesi ve verinin normalize edilerek dönüştürülmesi işlemini kapsamaktadır.

5.3.1.1 Verinin düzenlenmesi

Üç farklı engel durumu için oluşturulan veri setlerine ait tanımlayıcı istatistik verisi Çizelge 5.11’de verildiği gibi olmaktadır. Üç adet veri seti içerisinde tanımsız (N/A) veri bulunmadığı görülmüştür. Yaşama mekanında görsel konfor sınıfının tahmin edilmesine yönelik karar ağacı modelinin oluşturulması için belirlenen 7 özellikten (doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri) 2 tanesi kategorik, 5 tanesi nümerik veri olarak düzenlenip modele tanımlanmıştır. Bölüm 5.2’de üç farklı engel durumuna ait yerleşme senaryoları için oluşturulan veri setlerinin kutu grafikleri aracılığı ile detaylı olarak incelenmesi sonucunda her bir veri seti için oluşan aykırı değerler simülasyon yöntemi ile tekrar hesaplanmış ve doğrulukları teyit edilmiştir. Bu anlamda veri seti içerisinde herhangi bir aykırı veri belirlenmemiş olup, veri seti içerisinde yer alan veriler aynen korunmuştur.

Çizelge 5.11 : Üç farklı yerleşme senaryosu için oluşturulan görsel konfor veri seti girdi parametreleri için tanımlayıcı istatistik verileri.

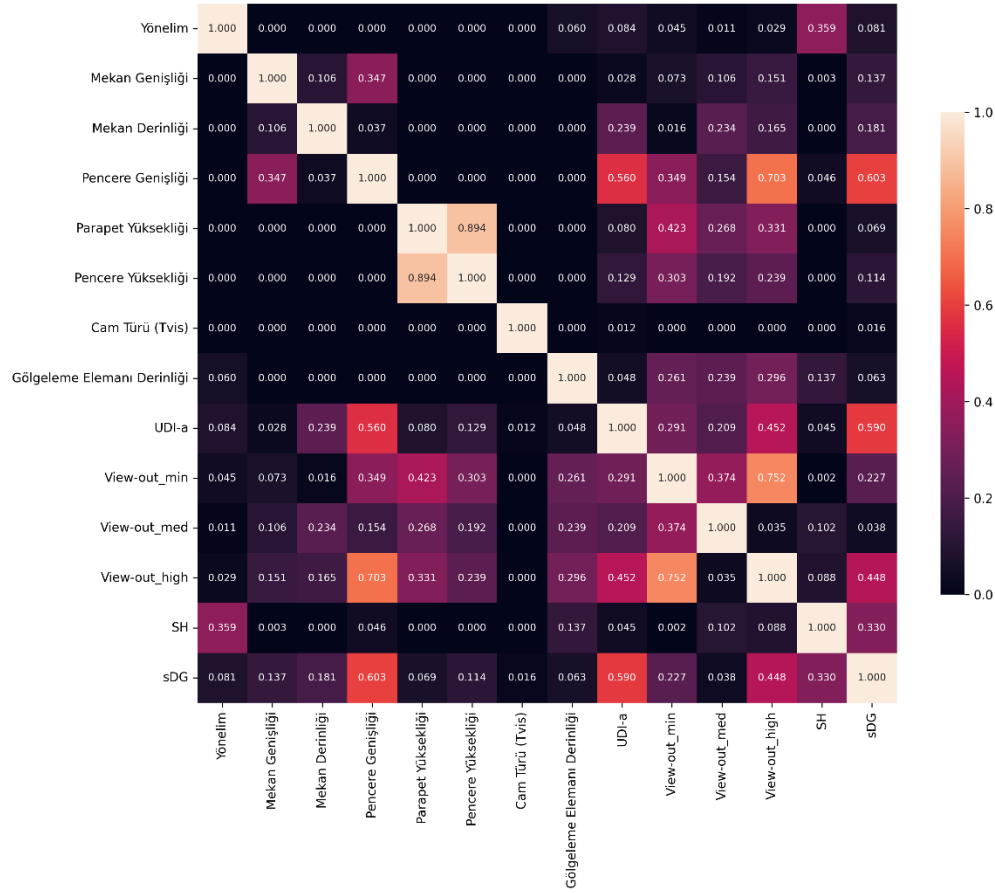
	Yönelim	Mekan Genişliği	Mekan Derinliği	Pencere Genişliği	Pencere Yüksekliği	Gölgeleme Elemanı Derinliği	Işık Geçirgenlik Katsayısı (Tvis)
Standart Sapma	108.009	1.039	1.096	1.497	0.447	0.415	0.050
Min.	0.0	3.0	3.0	1.0	1.25	0.0	0.69
Ortalama	126.0	4.855	4.565	2.927	1.85	0.45	0.74
Mak.	270.0	6.0	6.0	6.0	2.45	1.0	0.79
Sayı	5520.0	5520.0	5520.0	5520.0	5520.0	5520.0	5520.0
75%	270.0	6.0	6.0	4.0	2.150	1.0	0.79
50%	90.0	5.0	5.0	3.0	1.85	0.5	0.74

Çizelge 5.11 (Devam) : Üç farklı yerleşme senaryosu için oluşturulan görsel konfor veri seti girdi parametreleri için tanımlayıcı istatistik verileri.

	Yönelim	Mekan Genişliği	Mekan Derinliği	Pencere Genişliği	Pencere Yüksekliği	Gölgeleme Elemanı Derinliği	Işık Geçirgenlik Katsayısı (Tvis)
25% Veri Türü	0.0	4.0	4.0	2.0	1.55	0.0	0.69
	Kategorik	Nümerik	Nümerik	Nümerik	Nümerik	Nümerik	Kategorik
#NA veri	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5.3.1.2 Verinin analiz edilmesi

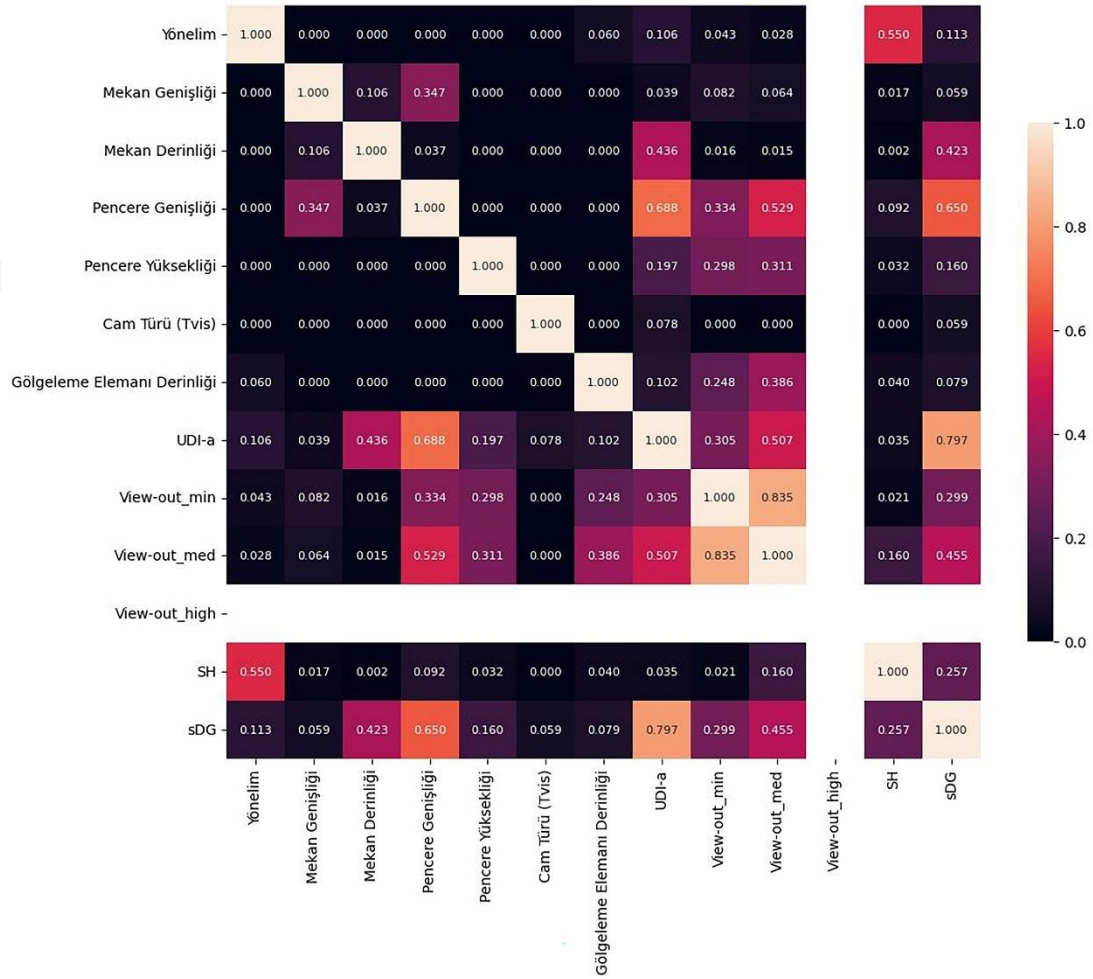
Yerleşme senaryolarına göre oluşturulan üç farklı veri seti için bağımlı değişkenler (UDI-a, sDG, VO, SH) ve bağımsız değişkenler (Y, MG, MD, PG, PY, CT, GD) arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Herhangi bir engel durumunun olmadığı YS-1 (EA:0°) için değişkenler arası pearson korelasyon katsayılarını (r) gösteren pearson korelasyon matrisi Şekil 5.28’de verildiği gibi olmaktadır. Korelasyon matrisine göre pencere genişliği ve mekan genişliği dışındaki tüm doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri birbirleriyle zayıf korelasyon göstermektedir ($r < 0.3$). Bu da veri setindeki her bir değişkenin karar modeli için çok önemli olduğunu kanıtlamaktadır. Pencere genişliği ve mekan genişliği arasında, pencere genişliğinin mekan genişliğine bağlı olarak tanımlanmasının bir sonucu olarak orta düzeyde bir ilişki ($r:0.35$) gerçekleşmektedir. Yönelim ile SH arasında orta düzeyde bir ilişki ($r:0.36$) olduğu görülmektedir. Pencere genişliği sDG ($r:0.6$) ve UDI-a ($r:0.56$) ile, özellikle de VO_high ($r:0.70$) ile güçlü bir ilişki göstermektedir. Bu durum, pencere genişliğinin yaşama mekanında elde edilen görsel konfor düzeyinin belirlenmesinde en önemli tasarım değişkenlerinden biri olduğunun bir göstergesi olmaktadır. Ayrıca, pencere yüksekliği ile VO_min ($r:0.30$) ve parapet yüksekliği ile VO_min ($r:0.42$) ve VO_high ($r:0.33$) arasında orta düzeyde bir ilişki bulunmuştur. Bu durum, parapet ve pencere yüksekliğinin yaşama mekanındaki dış görüş düzeyini etkileyen ana parametreler olduğunu göstermektedir. Son olarak, korelasyon matrisi UDI-a (300-3000lx) ve sDG ($0.38 \leq DGP$) arasında güçlü bir ilişki ($r:0.59$) olduğunu ortaya koyarak, UDI-a’nın mekansal kamaşma düzeyi hakkında bilgi sağlayabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.28 : YS-1 (EA:0°) için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve görsel konfor ölçütlerine ilişkin pearson korelasyon katsayıları

25° engel açısının gerçekleştiği YS-2 için oluşturulan veri setine bakıldığında, karar modelini oluşturan bağımsız değişkenler arasında engel açısının 0° olduğu durum ile benzer bir şekilde mekan genişliği ve pencere genişliği (r:0.37) parametreleri hariç zayıf bir ilişki meydana gelmektedir (Şekil 5.29). Mekan genişliği ve pencere genişliği arasında ise orta düzeyde bir ilişki gerçekleştiği görülmektedir. Diğer yandan, yönelim parametresi SH değişkeni ile güçlü bir ilişki kurarken (r:0.55), pencere genişliği UDI-a (r:0.69), sDG (r:0.65) ve VO_med (r:0.53) bağımlı değişkenleri ile güçlü bir ilişki göstermektedir. Mekan derinliği parametresi ise UDI-a (r:0.44) ve sDG (r:0.42) bağımlı değişkenleri ile orta düzeyde bir ilişki ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar bağımsız değişkenler arasında zayıf bir korelasyon olduğunu, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasında ise orta ve güçlü bir korelasyon olduğunu ortaya koyarak karar modeli için veri setinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara ek olarak UDI-a ve sDG arasında oldukça güçlü bir korelasyon (r:0.78), VO_med ile arasında ise orta düzeyde korelasyon (r:0.51) sağlandığı görülmektedir. Bu durum UDI-a ölçütünün yaşama mekanında elde edilen mekansal kamaşma düzeyi ve orta derecedeki dış

görüş düzeyi ile ilişki kurulabileceğini ifade etmektedir. Benzer şekilde sDG ve VO_med arasında meydana gelen orta düzeydeki korelasyon ilişkisi ($r:0.45$), mekansal kamaşma düzeyi ve dış görüş arasında bir bağlantı olabileceğini göstermektedir. 25° engel açısının gerçekleştiği YS-2 kapsamında VO_high sınıfının hiçbir doğal aydınlatma sistemi senaryosu ile sağlanamaması nedeni ile VO_high bağımlı değişkeninin herhangi bir bağımlı veya bağımsız değişkenle ilişkisi belirlenememiştir.

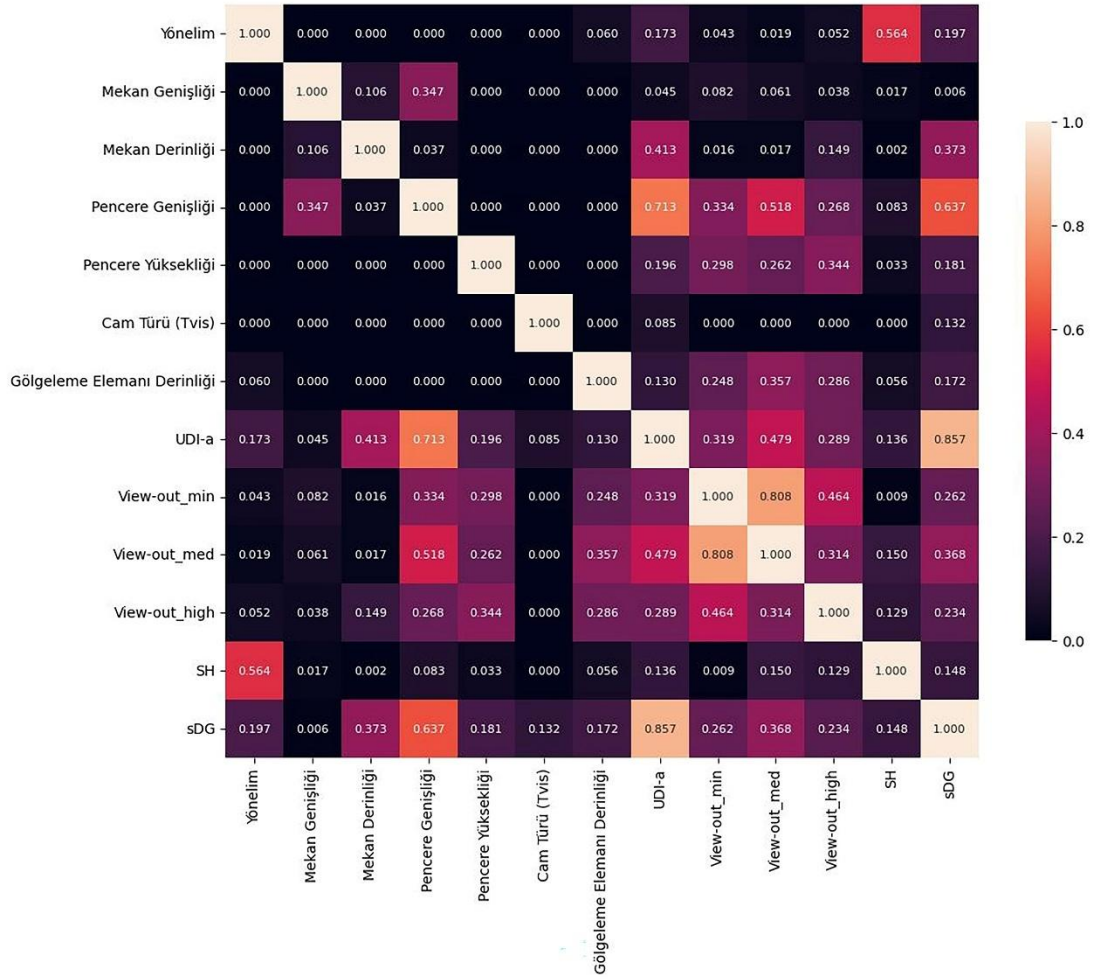


Şekil 5.29 : YS-2 (EA: 25°) için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve görsel konfor ölçütlerine ilişkin pearson korelasyon katsayıları

Şekil 5.30'da verilen YS-3 (EA: 45°) için elde edilen korelasyon matrisine bakıldığında, doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik ele alınan bağımsız değişkenlerin birbirleri ile ilişkisi YS-1 ve YS-2 ile aynı olmak üzere zayıf olarak belirlenmiştir ($r<0.3$). Mekan genişliğine bağlı olarak pencere genişliklerinin tanımlanması nedeni ile pencere genişliği ve mekan genişliği arasında orta düzeyde bir ilişki ortaya çıkmıştır ($r:0.35$). Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler ile ilişkisi değerlendirildi-

ğinde, yönelim parametresinin SH (r:0.56) ile pencere genişliği parametresinin ise sırasıyla UDI-a (r:0.71), sDG (r:0.64) ve VO_med (r:0.52) ile güçlü bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Aynı zamanda mekan derinliği parametresinin UDI-a (r:0.41) ve sDG (r:0.37) arasında orta düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan bağımlı değişkenler arasında meydana gelen ilişki incelendiğinde, UDI-a ve sDG arasında 0° ve 25° engel açılarının gerçekleştiği senaryolara göre çok daha güçlü bir ilişki meydana geldiği görülmektedir (r:0.86). VO_med ile UDI-a (r:0.46) ve sDG (r:0.37) arasında ise orta düzeyde bir ilişki meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar engel açısı arttıkça yönelim parametresi ile SH arasındaki ilişki düzeyinin arttığını, pencere genişliği ile UDI-a ve sDG arasındaki ilişkinin artarken, VO ile arasındaki ilişkisinin azaldığını göstermektedir. Mekan derinliğinin UDI-a ve sDG ile ilişkisi ise pencereye herhangi bir engel etkisinin varlığı durumunda ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde engel açısının artması ile UDI-a ve sDG arasındaki ilişkinin arttığı, bu anlamda engel açısı arttıkça UDI-a ölçütünün mekansal kamaşma düzeyi (sDG) ile daha çok ilişkili olabileceği söylenebilmektedir.

Üç farklı yerleşme senaryosu için oluşturulan veri setleri, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında belirlenen korelasyon katsayıları üzerinden değerlendirildiğinde; genel olarak bağımsız değişkenlerin oluşturulacak karar ağacı modelleri için bir aşırı öğrenme (overfitting) problemi yaratmayacak şekilde birbirinden bağımsız değişkenler olduğu, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasında kurulan güçlü ilişkiler nedeni ile ele alınan bağımlı değişkenlerin sınıflandırma probleminin çözümü için karar ağacında önemli performans göstergeleri olacağı görülmektedir. Bu anlamda elde edilen sonuçlar herhangi bir değişkenin geliştirilecek karar ağacı modelinden çıkarılmasına gerek olmadığını, ele alınan görsel konfor ölçütlerinin ise karar ağacı modelinin geliştirilmesi için uygun performans göstergeleri olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 5.30 : YS-3 (EA:45°) için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri ve görsel konfor ölçütlerine ilişkin pearson korelasyon katsayıları

5.3.1.3 Verinin dönüştürülmesi

Karar ağacı modelinin geliştirilmesine yönelik girdi ve çıktı parametrelerinin netleştirilmesinden sonra her bir veri seti içerisinde yer alan değerler karar ağacı modeli öğreniminin kolaylaştırılması ve doğruluğunun artırılması adına normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu bakımından veri ön işleme aşamasının son adımı olarak 0-1 aralığında değer almayan bağımsız değişkenlerden yönelim, mekan genişliği, mekan derinliği, pencere genişliği ve pencere yüksekliği parametreleri ile bağımlı değişkenlerden güneş ışığı alım süresi (SH) Bölüm 4.3.1.3'te belirtilen formül esas alınarak eğitim verisinin ortalama ve standart sapma değerlerine göre normalize edilmiştir.

5.3.2 Modelin Geliştirilmesi

Çok eylemli yaşama mekanlarında görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar destek modelinin geliştirilmesi için bu bölümde sınıflandırma modellerinden karar ağacı modeli üretilmiştir. Üç farklı engel açısına dayalı olarak tanımlanan yerleşme senaryolarının her biri için oluşturulan görsel konfor veri setleri üzerinden karar ağacı modelinin oluşturulma aşamaları aşağıda belirtildiği gibi olmaktadır.

- Veri setlerine ilişkin veri ön işleme adımının tamamlanmasından sonra düzenlenen veri seti %80 eğitim verisi ve %20 test verisi olarak ayrılmıştır.
- Python Scikit-learn kütüphanesi kullanılarak makine öğrenimi aracılığıyla eğitim veri seti üzerinden karar ağacının üretimi gerçekleştirilmiştir.
- %100 doğrulukla üretilen karar ağacı modeline budama (pruning) işlemi yapılarak yorumlanabilir nihai karar ağacı modelleri çıkarılmıştır.

5.3.2.1 Karar modelinin ve algoritmanın seçilmesi

Doğal aydınlatma sistemi karar modelinin geliştirilmesi için geleneksel karar ağacı modeli eğitiminin yerine Bölüm 4.3.2.1’de gerekçeleri detaylı olarak belirtilen müfredat öğrenimi (curriculum learning) yaklaşımına dayalı müfredat karar ağacı (curriculum decision tree) üretimi gerçekleştirilmiştir. Yönteme göre her bir yerleşme senaryosu için karar ağacı üretilirken bina tasarım süreçlerine bağlı olarak doğal aydınlatma sistemi parametreleri ayrı ayrı ele alınıp modele eklemeli olarak öğretilmiştir.

Karar ağacının öğrenme aşamasında ise çeşitli karar ağacı algoritmaları içerisinde en güncel ve güvenilir algoritma olan CART (Classification and Regression Trees) kullanılmıştır (Breiman vd., 2017). CART algoritmasına göre karar ağacının her bir bölünmesi, modele tanımlanan doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin öğrenme düzeylerine bağlı olarak hesaplanan “gini indeksine” göre yapılmıştır.

5.3.2.2 Modelin oluşturulması

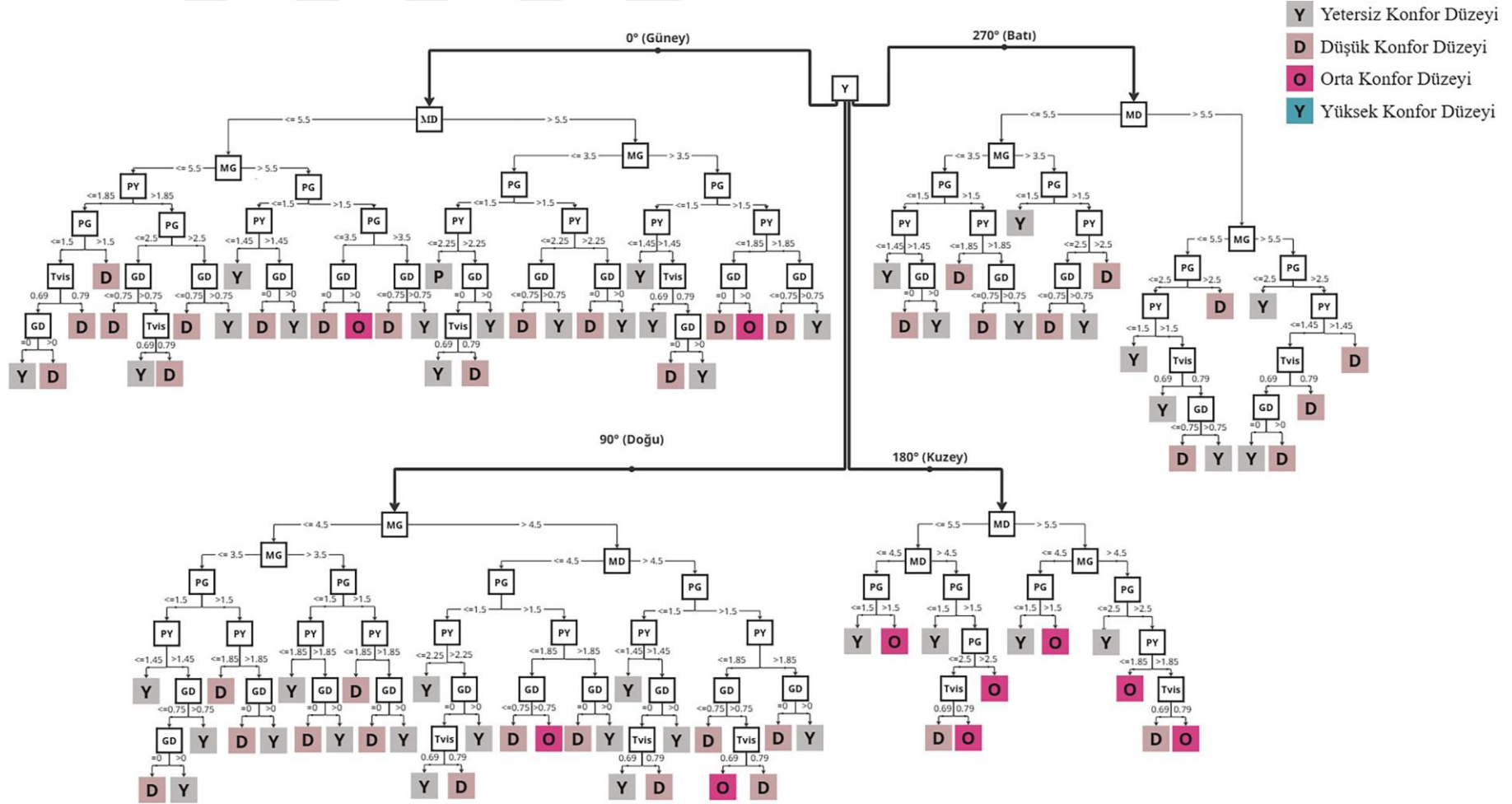
Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar ağacı, farklı tasarım aşamalarında alınan tasarım kararlarının birbirine eklenmesini gerektiren tasarım karar sürecine paralel olarak, her biri şematik (konsept), ön ve kesin (detay) tasarım aşamaları için ayrı ayrı eğitilen alt karar ağaçlarının birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Küçük ve kolay

bir alt küme olarak ilk aşamada karar ağacı sadece yönelim parametresi ile eğitilmiştir. İkinci aşamada ise ilk aşamadaki yapraklardan mekan genişliği ve mekan derinliği bilgileri eklenerek yeni karar ağaçları oluşturulmuş ve modelin daha detaylı tasarım bilgisini öğrenmesi sağlanmıştır. Bunu takiben, pencere genişliği ve pencere yüksekliği bilgileri modele sunulmuştur. Son olarak karar ağacı ışık geçirgenlik katsayısına bağlı cam türü ve gölgeleme elemanı derinlik parametrelerini de dikkate alacak şekilde derinlemesine genişletilerek nihai tahmin modeli elde edilmiştir.

0°,25° ve 45° engel açılarına dayalı üç farklı yerleşme senaryosu (YS-1, YS-2, YS-3) için doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik yaşama mekanındaki görsel konfor düzeyinin tahmin edilmesine imkan veren ve %100 doğrulukta oluşturulan karar ağaçları tasarımcıya doğal aydınlatma sisteminin tasarlanmasına yönelik anlaşılması kolay bir karar yolu sunması amacıyla budama (pruning) işlemine tabi tutulmuştur. Budama işlemi gerçekleştirilen ve son haline getirilen karar ağaçları üç farklı yerleşme senaryosu için aşağıda verildiği gibi elde edilmiştir.

Yerleşme Senaryosu-1 (EA:0°)

Pencereye herhangi bir engel etkisinin olmadığı yerleşme senaryosu (YS-1) için bina tasarım süreçleri ile entegre şekilde doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar destek modeli sağlayacak karar ağacı modeli Şekil 5.31’de gösterildiği gibi elde edilmektedir. Toplamda 22.080 (5520x4) adet veriden oluşan verisetinin %71.5’i ile kabul edilebilir (düşük ve orta) görsel konfor düzeyinde sonuçlar elde edilmesi nedeni ile doğal aydınlatma sistemine bağlı görsel konfor sınıfının tanımlanması ve tahmin edilmesine yönelik karar ağacı modelinin tasarım kararının verilmesinde yeterli performansı sağladığı görülmektedir. 4 ana yön için elde edilen tasarım yolları incelendiğinde Bölüm 5.2.5’te verilen yaşama mekanında sağlanan görsel konfor sınıf dağılımları ile benzer şekilde Güney ve Batı yönelimlerinde doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatifleri ile çoğunlukla yeteriz ve düşük görsel konfor düzeyleri sağlanırken, Kuzey ve Doğu yönelimlerinde doğal aydınlatma sistemleri ile yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sağlanabilmektedir. Diğer yandan Güney, Batı ve Kuzey yönlerinin aksine, Doğu yöneliminde daha az mekan genişlikleri ile yaşama mekanında yeterli görsel konfor düzeyini sağlamak mümkün olmaktadır.



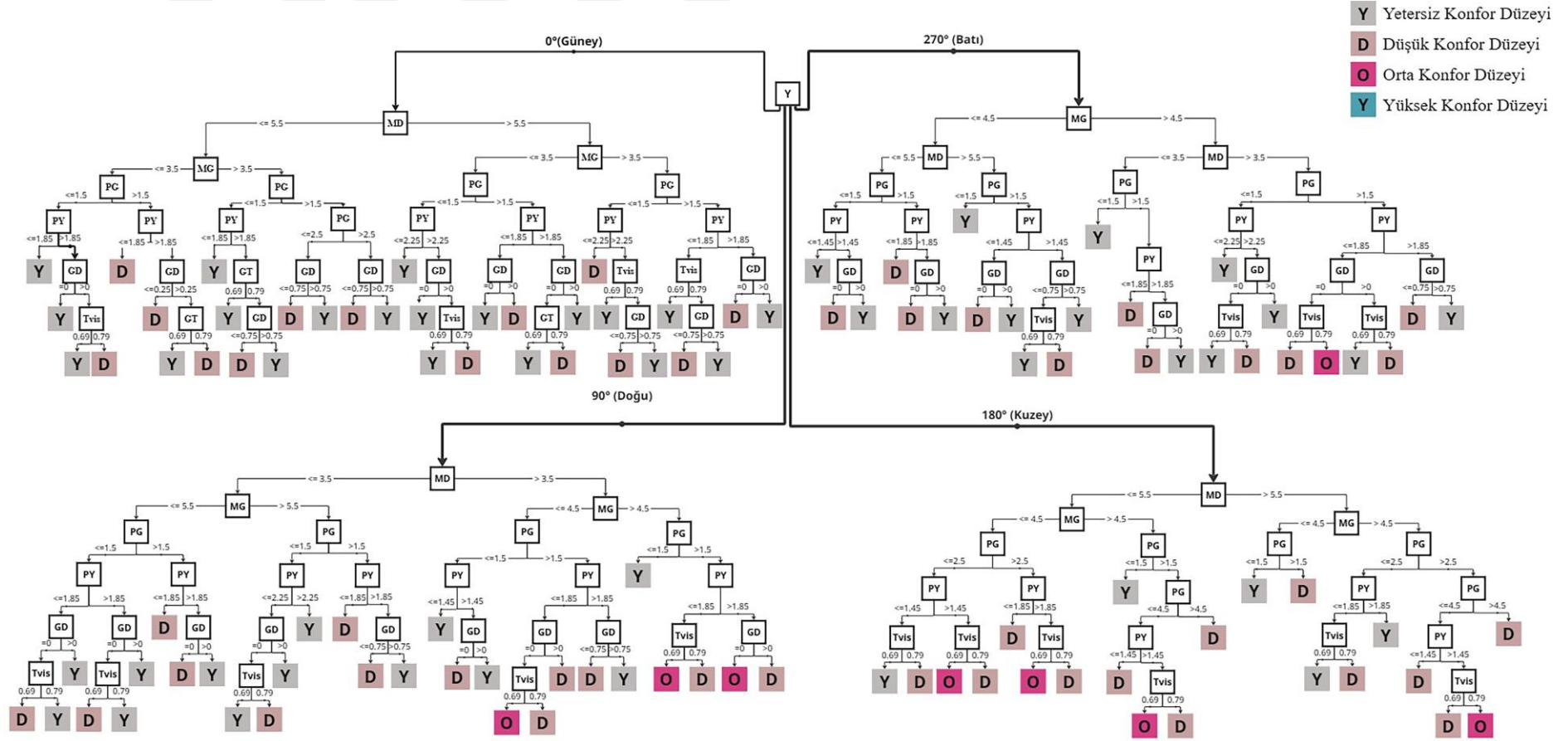
Şekil 5.31 : YS-1 için doğal aydınlatma sistemine dayalı yaşama mekanında görsel konfor düzeyini tahmin eden karar ağacı modeli

Yerleşme Senaryosu-2 (EA:25°)

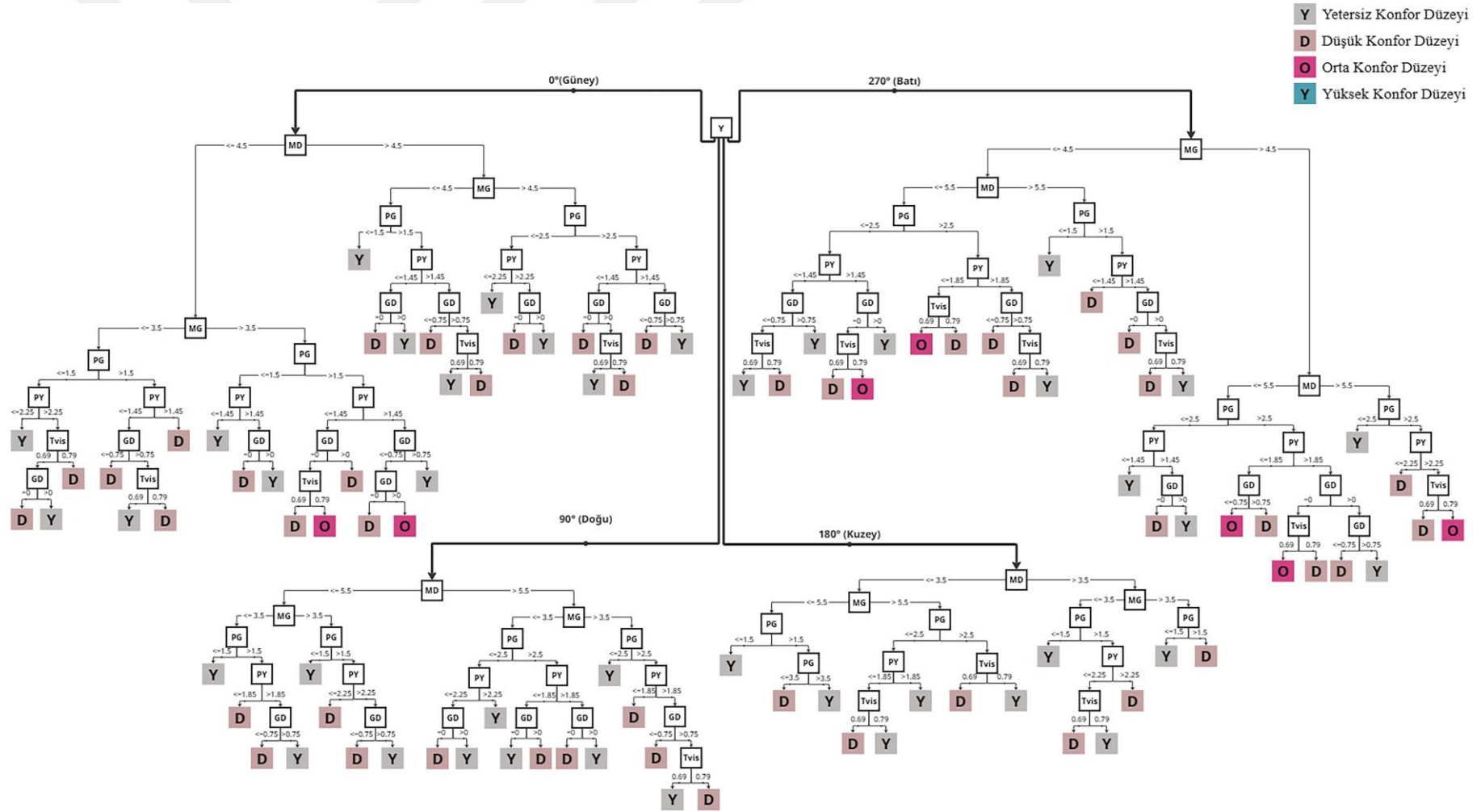
Pencereye 25°'lik bir açı ile engel etkisi olduğu durumda (YS-2) yaşama mekanında doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak gerçekleşen görsel konfor sınıflarını tahmin etmesi amacıyla üretilen karar ağacı modeli Şekil 5.32'de verildiği olmaktadır. Elde edilen karar ağacı modeli konsept tasarım aşaması için yönelim, mekan genişliği ve mekan derinliği parametrelerine yönelik karar aşamalarından sonra, ön tasarım aşamasında pencere genişliği ve pencere yüksekliğine yönelik tasarım kararlarının, detay(kesin) tasarım aşamasında ise cam türü ve gölgeleme elemanı derinliği kararlarının verilmesine imkan sağlayacak şekilde üretilmiştir. 22.080 (5520x4) adet veri üzerinden oluşturulan verisetinin %66.9'u ile yaşama mekanında yeterli (düşük ve orta) görsel konfor düzeyinin sağlandığı belirlenmiştir. YS-1'e göre aynı doğal aydınlatma sistemi senaryoları ile Güney ve Kuzey yönde daha düşük görsel konfor sınıflarının sağlanmakta, Batı ve Doğu yönelimlerinde ise daha yüksek görsel konfor sınıflarının elde edilebildiği tasarım yolları gerçekleşmektedir. Genel olarak Kuzey yönde daha küçük mekan genişliği ve derinlikleri ile yaşama mekanında görsel konfor düzeyleri artmakta, Doğu ve Batı yönelimlerinde ise tersine daha büyük mekan genişlikleri ve mekan derinlikleri ile daha iyi görsel konfor düzeyleri sağlanmaktadır.

Yerleşme Senaryosu-3 (EA:45°)

45° engel açısı etkisinin gerçekleştiği yerleşme senaryosu (YS-3) için doğal aydınlatma sistemi tasarımına dayalı yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeylerinin tahmin edilmesine yönelik geliştirilen karar ağacı Şekil 5.33'te verilmektedir. Toplamda 22.080 (5520x4) adet veri kullanılarak oluşturulan karar ağacının %62.7'si ile yaşama mekanında yeterli (düşük ve orta) görsel konfor düzeyi sağlanmaktadır. YS-3 için doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik geliştirilen karar ağacında engel etkisine bağlı olarak Güney ve Batı yönelimleri için daha yüksek görsel konfor düzeyi sınıflarının elde edildiği görülmektedir. Bunun aksine Doğu ve Kuzey yönelimleri için doğal aydınlatma sistemi senaryoları ile elde edilen görsel konfor sınıfı düzeyleri düşük olmaktadır. Diğer yandan Batı ve Kuzey yönelimi için yaşama mekanında yeterli düzeyde görsel konfor sınıfının sağlanması YS-1 ve YS-2'ye göre daha az mekan genişlikleri ve mekan derinlikleri ile mümkün olmaktadır. Aynı zamanda Güney yönelimde daha küçük mekan derinlikleri ve daha büyük mekan genişliklerinin diğer yerleşme senaryolarından farklı olarak yaşama mekanında daha yüksek görsel konfor sınıflarına imkan verdiği görülmektedir.



Şekil 5.32 : YS-2 için doğal aydınlatma sistemine dayalı yaşama mekanında görsel konfor düzeyini tahmin eden karar ağacı modeli



Şekil 5.33 : YS-3 için doğal aydınlatma sistemine dayalı yaşama mekanında görsel konfor düzeyini tahmin eden karar ağacı modeli

5.3.3 Modelin değerlendirilmesi ve yorumlanması

Veri madenciliğine dayalı üç farklı yerleşme senaryosu için karar ağacı modelinin geliştirilmesinden sonra bu bölümde üretilen karar ağacı modellerinin performansının belirlenmesi ve her bir karar ağacı modelinden elde edilen bilginin yorumlanmasına ilişkin tasarım kurallarının çıkarılması adımları gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda yaşama işlevi ile birlikte çalışma işlevinin de gerçekleştirildiği çok işlevli yaşama mekanlarında farklı düzeylerde görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımı kuralları ortaya çıkarılmıştır.

5.3.3.1 Model doğruluğunun belirlenmesi

Üretilen karar ağacı modellerinin doğruluğu hata/karışıklık matrisi (confusion matrix) kullanılarak analiz edilmiştir. Modelin doğruluğunun test edilmesi ve validasyonunun gerçekleştirilmesi için çalışmada veri setinin %80'i modelin eğitilmesi %20'si ise modelin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Her bir yerleşme senaryosu için geliştirilen modeldeki sınıf sayısı kadar satır ve sütunun olduğu hata matrisinde, satırlar sınıflandırılan veri sayısını sütunlar ise model tarafından tahmin edilen sınıf sayısını ifade etmektedir. Yetersiz, Düşük ve Orta görsel konfor düzeyi sınıfı olmak üzere sınıf sayısına göre oluşturulan 3x3 hata matrisine ek olarak karar ağacı modellerinin performansının değerlendirilmesi için Bölüm 4.3.3.1'de verilen eşitlikler üzerinden kesinlik (precision), hassasiyet (recall) ve doğruluk (accuracy) testleri yapılmıştır. Yerleşme senaryosu-1 (YS-1), Yerleşme senaryosu-2 (YS-2) ve Yerleşme senaryosu-3 (YS-3) için geliştirilen karar ağacı modellerinin doğruluk değerlendirmelerine ilişkin veriler Çizelge 5.12'de sunulmuştur.

Sonuçlara göre, YS-1 için doğal aydınlatma sistemine yönelik önerilen karar ağacı, 0.8063 doğruluk, 0.8063 kesinlik ve 0.8222 duyarlılık değerlerini sağlayarak başarılı bir performans göstermiştir. Hata matrisine bakıldığında ise modelin 1575 adet yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfından 1322 tanesini (%83.9), 3447 adet düşük görsel konfor düzeyi sınıfından 2735 tanesini (%79.3) ve 498 adet orta görsel konfor düzeyi sınıfından 394 tanesini (%79.1) doğru tahmin etmiştir. Bu sonuçlar, modelin her üç sınıfta da tutarlı bir şekilde iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.12 : Üç farklı yerleşme senaryosu için geliştirilen karar ağacı modellerine ait performans çıktıları.

		Nihai Karar Ağacı Modeli (Curriculum Decision Tree)	Budama Yapılmamış Karar Ağacı Modeli (Preliminary Decision Tree)																																
Yerleşme Senaryosu-1 (EA:0°)	Hata Matrisi	<table><tr><th>Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer</th><th>Yetersiz</th><th>Düşük</th><th>Orta</th></tr><tr><th>Yetersiz</th><td>1322</td><td>229</td><td>24</td></tr><tr><th>Düşük</th><td>444</td><td>2735</td><td>268</td></tr><tr><th>Orta</th><td>2</td><td>102</td><td>394</td></tr></table>	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta	Yetersiz	1322	229	24	Düşük	444	2735	268	Orta	2	102	394	<table><tr><th>Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer</th><th>Yetersiz</th><th>Düşük</th><th>Orta</th></tr><tr><th>Yetersiz</th><td>1575</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Düşük</th><td>0</td><td>3447</td><td>0</td></tr><tr><th>Orta</th><td>0</td><td>0</td><td>498</td></tr></table>	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta	Yetersiz	1575	0	0	Düşük	0	3447	0	Orta	0	0	498
	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta																															
	Yetersiz	1322	229	24																															
	Düşük	444	2735	268																															
Orta	2	102	394																																
Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta																																
Yetersiz	1575	0	0																																
Düşük	0	3447	0																																
Orta	0	0	498																																
Doğruluk (Accuracy)	0.8063	1.0																																	
Kesinlik (Precision)	0.8222	1.0																																	
Duyarlılık (Recall)	0.8063	1.0																																	
Yerleşme Senaryosu-2 (EA:25°)	Hata Matrisi	<table><tr><th>Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer</th><th>Yetersiz</th><th>Düşük</th><th>Orta</th></tr><tr><th>Yetersiz</th><td>1397</td><td>395</td><td>33</td></tr><tr><th>Düşük</th><td>688</td><td>2358</td><td>289</td></tr><tr><th>Orta</th><td>12</td><td>204</td><td>144</td></tr></table>	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta	Yetersiz	1397	395	33	Düşük	688	2358	289	Orta	12	204	144	<table><tr><th>Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer</th><th>Yetersiz</th><th>Düşük</th><th>Orta</th></tr><tr><th>Yetersiz</th><td>1825</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Düşük</th><td>0</td><td>3335</td><td>0</td></tr><tr><th>Orta</th><td>0</td><td>0</td><td>360</td></tr></table>	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta	Yetersiz	1825	0	0	Düşük	0	3335	0	Orta	0	0	360
	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta																															
	Yetersiz	1397	395	33																															
	Düşük	688	2358	289																															
Orta	12	204	144																																
Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta																																
Yetersiz	1825	0	0																																
Düşük	0	3335	0																																
Orta	0	0	360																																
Doğruluk (Accuracy)	0.7063	1.0																																	
Kesinlik (Precision)	0.7222	1.0																																	
Duyarlılık (Recall)	0.7063	1.0																																	
Yerleşme Senaryosu-3 (EA:45°)	Hata Matrisi	<table><tr><th>Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer</th><th>Yetersiz</th><th>Düşük</th><th>Orta</th></tr><tr><th>Yetersiz</th><td>1619</td><td>424</td><td>12</td></tr><tr><th>Düşük</th><td>454</td><td>2282</td><td>280</td></tr><tr><th>Orta</th><td>49</td><td>215</td><td>185</td></tr></table>	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta	Yetersiz	1619	424	12	Düşük	454	2282	280	Orta	49	215	185	<table><tr><th>Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer</th><th>Yetersiz</th><th>Düşük</th><th>Orta</th></tr><tr><th>Yetersiz</th><td>2055</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>Düşük</th><td>0</td><td>3016</td><td>0</td></tr><tr><th>Orta</th><td>0</td><td>0</td><td>449</td></tr></table>	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta	Yetersiz	2055	0	0	Düşük	0	3016	0	Orta	0	0	449
	Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta																															
	Yetersiz	1619	424	12																															
	Düşük	454	2282	280																															
Orta	49	215	185																																
Gerçek Değer \ Tahminlenen Değer	Yetersiz	Düşük	Orta																																
Yetersiz	2055	0	0																																
Düşük	0	3016	0																																
Orta	0	0	449																																
Doğruluk (Accuracy)	0.7402	1.0																																	
Kesinlik (Precision)	0.7424	1.0																																	
Duyarlılık (Recall)	0.7402	1.0																																	

Diğer yandan YS-2 için geliştirilen modele ait doğruluk, kesinlik ve duyarlılık performans ölçütleri için sırasıyla 0.7063, 0.7222 ve 0.7063 değerleri elde edilmiştir. Hata matrisi incelendiğinde, geliştirilen model ile yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfında %76.5, düşük görsel konfor düzeyi sınıfında %70.7 ve orta görsel konfor düzeyi sınıfında %56.6 oranında doğru tahminler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, modelin özellikle yetersiz ve düşük görsel konfor düzeyi sınıflarında tutarlı bir şekilde başarılı olduğu, orta düzey görsel konfor sınıfının tahmininde ise kabul edilebilir seviyede bir performans gösterdiği görülmüştür.

Son olarak YS-3 senaryosu için geliştirilen karar ağacı modelinin performans değerlendirmesine yönelik doğruluk, kesinlik ve duyarlılık değerleri sırasıyla 0.7402, 0.7424 ve 0.7402 olarak belirlenmiştir. Karar ağacına ait hata matrisine bakıldığında elde edilen karar ağacı modeli ile yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfında %78.8, düşük görsel konfor düzeyi sınıfında %75.6 ve orta görsel konfor düzeyi sınıfında %41.2 oranında doğru tahminler yapıldığı görülmüştür. YS-3 için geliştirilen karar ağacı modelinin YS-1 ve YS-2'ye göre orta görsel konfor düzeyi sınıfını daha düşük düzeyde tahmin ettiği belirlenmiştir. Modelin orta görsel konfor düzeyi sınıfı tahminine yönelik performansının düşük olmasına karşın, yetersiz ve düşük görsel konfor düzeyi sınıflarının tahmininde başarılı bir performans göstermiştir.

Üç farklı yerleşme senaryosu için doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar ağaçlarının oluşturulmasında kullanılan verinin dengesiz dağılımı (imbalanced dataset) göz önüne alındığında, sonuçlar modelin performansının yaşama mekanında görsel konfor seviyesini tahmin ederek doğal aydınlatma sistemi performansını daha doğru ve gerçekçi bir şekilde değerlendirmek için oldukça yeterli olduğunu kanıtlamaktadır. Diğer yandan nihai karar ağaçları ile elde edilen performans değerlerinin budama yapılmamış (ham) karar ağacı ile elde edilen performans değerlerinden daha düşük olmasına karşın, budama yapılmış nihai karar ağacı modeli tasarım rehberi olarak kullanılabilmesi sayesinde yaşama mekanlarında görsel konfor seviyesi tahmin problemi gerekliliklerine uygunluğu ve yorumlanabilirliği bakımından üstün performans göstermektedir.

5.3.3.2 Tasarım kurallarının çıkarılması

Üç farklı yerleşme senaryosu için doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik üretilen karar ağacı modeli yapısından, analizi detaylı hale getirmek, modeli anlaşılabilir kılmak

ve veriyi tasarım bilgisine dönüştürmek amaçlarıyla farklı görsel konfor düzeyi sınıflarına göre çeşitli tasarım kuralları çıkarılmıştır. Her bir yerleşme senaryosu için çıkarılan tasarım kuralları, yeterli görsel konfor düzeyi sınıfları olarak tanımlanan düşük, orta ve yüksek görsel konfor düzeyi sınıflarının sağlanma oranlarına göre tanımlanmıştır. Yetersiz görsel konfor düzeyinin tasarım sürecinde dikkate alınması planlanan bir tasarım hedefi olmaması nedeni ile yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfına neden olan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları bu bölümde detaylı bir şekilde analiz edilmemiş olup, EK B’de verilmiştir.

Kurallar, karar ağacı yapısı ile paralel olarak doğal aydınlatma sistemi tasarım süreci doğrultusunda alınan karar sıralamasına göre oluşturulmuştur. Her bir kural, günışığı tasarım parametreleri arasında “VE” bağlacı kullanılması sonucu kararı yaşama mekanının görsel konfor düzeyi sınıfına ulaştırmaktadır. Kurallar yorumlanırken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar şu şekildedir; 1) Güney yön için SDD yatay gölgeleme elemanı derinliğini, Doğu ve Batı yönleri için SDD düşey gölgeleme elemanı derinliğini ifade etmektedir. 2) Pencere yüksekliğine yönelik 2.05 m ve üzerindeki pencere yükseklikleri ise parapetsiz (boydan) pencere olarak yorumlanmalıdır. 3) Karar ağacında “-” işareti ile sembolize edilen parametreler, o parametrenin belirlenen görsel konfor düzeyi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını ve/veya parametrenin alacağı bütün değerler için görsel konfor düzeyi sınıfının aynı olacağını göstermektedir. 4) Bir tasarım parametresinin aynı karar yolu üzerinde iki veya daha fazla tekrarlama durumunda ise ilgili parametreye ilişkin tasarım kuralı bir aralık ile tanımlanır.

Yerleşme Senaryosu-1 (EA:0°)

Engel etkisinin olmadığı durum için doğal aydınlatma sistemine yönelik geliştirilen karar ağacı modelinden çok eylemli yaşama mekanında düşük ve orta düzey görsel konfor sınıfının sağlanmasına yönelik çıkarılan önemli tasarım kuralları Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14’te verildiği gibi olmaktadır. Karar ağacı modeli aracılığı ile elde edilen görsel konfor düzeyi sınıf sayısı dağılımına bağlı olarak 30 adet düşük konfor düzeyi ve 10 adet orta konfor düzeyi olmak üzere yaşama mekanında görsel konfor koşullarını sağlayan toplam 40 adet doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralı çıkarılmıştır.

Çizelge 5.13 : YS-1 için yaşama mekanında *düşük görsel konfor düzeyi* sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 1.5	≤ 1.85	> 0	0.69
2	0	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.85	> 0.75	0.79
3	0	≤ 5.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	≤ 0.75	-
4	0	> 5.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.45	= 0	-
5	0	≤ 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	0.79
6	0	≤ 3.5	> 5.5	> 1.5	≤ 2.25	≤ 0.75	-
7	0	≤ 3.5	> 5.5	> 1.5	> 2.25	= 0	-
8	0	> 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 1.45	= 0	0.79
9	0	> 3.5	> 5.5	> 1.5	≤ 1.85	= 0	-
10	0	> 3.5	> 5.5	> 1.5	> 1.85	≤ 0.75	-
11	90	≤ 3.5	-	≤ 1.5	> 1.45	≤ 0.75	-
12	90	≤ 3.5	-	> 1.5	> 1.85	= 0	-
13	90	3.5<MG≤ 4.5	-	≤ 1.5	> 1.85	= 0	-
14	90	3.5<MG≤ 4.5	-	> 1.5	> 1.85	= 0	-
15	90	> 4.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	0.79
16	90	> 4.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.85	≤ 0.75	-
17	90	> 4.5	≤ 4.5	> 1.5	> 1.85	= 0	-
18	90	> 4.5	> 4.5	≤ 1.5	> 1.45	= 0	0.79
19	90	> 4.5	> 4.5	> 1.5	≤ 1.85	> 0.75	0.79
20	90	> 4.5	> 4.5	> 1.5	> 1.85	= 0	-
21	180	-	4.5<MD≤ 5.5	1.5<PG≤ 2.5	-	-	0.69
22	180	> 4.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	-	0.69
23	270	≤ 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.45	= 0	-
24	270	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	> 1.85	≤ 0.75	-
25	270	> 3.5	≤ 5.5	1.5<PG≤ 2.5	-	≤ 0.75	-
26	270	> 3.5	≤ 5.5	> 2.5	-	-	-
27	270	≤ 5.5	> 5.5	1.5<PG≤ 2.5	-	≤ 0.75	0.79
28	270	≤ 5.5	> 5.5	> 2.5	-	-	-
29	270	> 5.5	> 5.5	> 2.5	≤ 1.45	> 0	0.69
30	270	> 5.5	> 5.5	> 2.5	> 1.45	-	-

Çizelge 5.14 : YS-1 için yaşama mekanında *orta görsel konfor düzeyi* sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	> 5.5	≤ 5.5	1.5<PG≤ 3.5	-	> 0	-
2	0	> 3.5	> 5.5	> 1.5	≤ 1.85	> 0	-
3	90	> 4.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.85	> 0.75	-
4	90	> 4.5	> 4.5	> 1.5	≤ 1.85	> 0.75	0.69
5	180	-	≤ 4.5	> 1.5	-	-	-
6	180	-	4.5<MD≤ 5.5	1.5<PG≤ 2.5	-	-	0.79
7	180	-	4.5<MD≤ 5.5	> 2.5	-	-	-
8	180	≤ 4.5	> 5.5	> 1.5	-	-	-
9	180	> 4.5	> 5.5	> 2.5	≤ 1.85	-	-
10	180	> 4.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	-	0.79

Elde edilen tasarım kurallarının yorumlanması sonucu Yerleşme Senaryosu-1 (YS-1) için doğal aydınlatma sistemine yönelik çıkarılan tasarım yaklaşımları yaşama mekanının baktığı yöne göre detaylı şekilde belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışma eyleminin gerçekleştirildiği yaşama mekanının Güney yöne bakması durumunda;

- Minimum düzeyde görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için mekan genişlik ve derinliği 5.5 m'den küçük olan yaşama mekanlarında parapetli pencerenin yüksekliği 1.85 m'den küçük ise pencere genişliği 1.5m'den büyük olmalıdır. Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyükse pencere genişliğinden bağımsız minimum görsel konfor düzeyi sağlamak için yatay gölgeleme elemanı için gölgeleme elemanına ait derinlik maksimum 0.75 m ile sınırlandırılmalıdır.
- Mekan genişliğinin 5.5m'den büyük olduğu yaşama mekanlarında pencere genişliği 1.5 m ile 3.5 m arasında olursa, pencere yüksekliğinden bağımsız orta düzey görsel konfor sınıfı sağlamak için 0.5 m ve üzeri derinlikte yatay gölgeleme elemanı kullanılmalıdır.
- Bütün senaryolar için Solar Low-E ($T_{vis}:0.69$) cam türü kullanılması durumunda yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyi sınıfı genellikle yetersiz olmaktadır. Solar Low-E cam kullanımında yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyini artırmak için yatay gölgeleme elemanı kullanılması gerekmektedir.

Yaşama mekanının Doğu yönüne bakması durumunda;

- Mekan genişliği 4.5 m ve küçük olan yaşama mekanları için $1 m < PG < 4.5 m$ olursa bütün pencere yükseklikleri için minimum görsel konfor koşullarının sağlanması için düşey gölgeleme elemanı derinliği 0 m olmalıdır.
- Mekan genişliği 4.5 m'den büyük ve mekan derinliği 4.5 m'den küçük yaşama mekanında minimum görsel konfor koşullarının sağlanması için pencere genişliği 1.5 m'den büyük, parapetli pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük ve gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'den küçük olmalıdır. Orta görsel konfor düzeyinin sağlanması için düşey gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'den büyük olmalıdır.
- Mekan derinliği 4.5 m'den büyük olduğu durumda pencere genişliği 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük olan pencereler için orta düzey

görsel konfor sınıfının sağlanması için Solar Low-E cam kullanılmalı ve düşey gölgeleme elemanı için gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'den büyük olmalıdır. Low-E cam ($T_{vis}:0.79$) kullanılan senaryolar için gölgeleme elemanı derinliği maksimum 0.75 m ile sınırlandırılmalıdır. Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük ise minimum görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için gölgeleme elemanı kullanımından kaçınılmalıdır.

Yaşama mekanının Batı yönüne bakması durumunda;

- Mekan derinliği 5.5 m'den ve mekan genişliği 3.5 m'den küçük mekanlar için minimum düzeyde görsel konfor sınıfı sağlanması amacıyla pencereler pencere genişliği 1.5 m'den ve pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olacak şekilde tasarlanmalıdır. Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük ise yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyinin sağlanması için gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'den küçük olmalıdır.
- Mekan genişliği 3.5 m'den büyük yaşama mekanlarında minimum görsel konfor düzeyinin elde edilmesi için bütün pencere yükseklikleri için pencere genişliği 2.5 m'den büyük olmalıdır. Eğer pencere genişliği 1.5 m ile 2.5 m arasında ise düşük görsel konfor düzeyinin sağlanması için düşey gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'ye eşit veya küçük olmalıdır.
- Mekan derinliğinin 5.5 m'den büyük olduğu yaşama mekanları için pencere genişliği 2.5 m'den büyük, cama ait ışık geçirgenlik katsayısı (T_{vis}) 0.79 ve gölgeleme elemanı derinliği 0 m'den büyük ise minimum düzeyde görsel konfor sınıfı elde edilebilmektedir.

Yaşama mekanının Kuzey yönüne bakması durumunda;

- Mekan derinliği 4.5 m'den az ise orta düzeyde görsel konfor sınıfı sağlanması için pencere genişliği 1.5 m'den büyük olmalıdır. Mekan derinliği 4.5 m'den fazla ise orta görsel konfor düzeyi sağlamak için 2.5 m'den küçük pencere genişlikleri için Low-E cam ($T_{vis}:0.79$) kullanılmalıdır. Pencere genişliği 2.5 m'den büyük ise hem Low-E hem Solar Low-E cam türü ile yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi elde edilebilmektedir.
- Mekan derinliği 5.5 m'den fazla ve mekan genişliği 4.5 m'den az ise yaşama mekanında orta düzey görsel konfor sınıfının sağlanması için pencere genişliği

1.5 m'den büyük olmalıdır. Derinliği 4.5 m'den büyük olan mekanlar için pencereler genişliği minimum 2.5 m olacak şekilde tasarlanmalıdır. Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük olan pencereler ile orta düzey görsel konfor sınıfının sağlanması için Low-E cam ($T_{vis}:0.79$) türü kullanılmalıdır.

Yerleşme Senaryosu-2 (EA:25°)

25° engel açısı etkisinin meydana geldiği yerleşme senaryosu için yaşama mekanında gerçekleşen düşük ve orta düzey görsel konfor sınıflarını sağlayan doğal aydınlatma sistemine yönelik tasarım kuralları sırasıyla Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16'da verildiği gibi olmaktadır. Yerleşme senaryosu-2 (YS-2) için geliştirilen karar ağacı modeli aracılığı ile yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfının sağlanması için 48 adet, orta görsel konfor düzeyi sınıfının sağlanması için 8 adet toplamda 56 adet görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralı elde edilmiştir. Çıkarılan tasarım kurallarının detaylı analiz edilmesi sonucu YS-2 için çalışma eyleminin gerçekleştirildiği yaşama mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarım yaklaşımları yönelime bağlı olarak aşağıda belirtildiği şekilde belirlenmiştir.

Yaşama mekanının Güney yöne bakması durumunda;

- Mekan genişliği 3.5 m'den ve mekan derinliği 5.5 m'den daha küçük olan yaşama mekanı boyutları için minimum görsel konfor koşulları pencere boyutunun 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliğinin 1.85 m'den küçük olması durumunda gölgeleme elemanı derinliğine ve cam türüne bağlı olmaksızın sağlanabilmektedir. Pencereye ait yükseklik 1.85 m'den fazla ise gölgeleme elemanına ait derinlik değeri 0.25 m'den az olmalı veya 0.25 m'den fazla ise cama ait ışık geçirgenlik değeri 0.79 olmalıdır. Pencere genişliğinin 1.5 m'den az olması durumunda minimum görsel konfor düzeyi sınıfı ancak pencere genişliğinin 1.85 m'den ve gölgeleme elemanı derinliğinin 0 m'den daha büyük olması durumunda Low-E cam türü ($T_{vis}:0.79$) ile sağlanabilmektedir.
- Mekan genişliğinin 3.5 m'den fazla olması durumunda tasarlanabilecek bütün pencere boyutları için yaşama mekanında minimum görsel konfor düzeyinin sağlanabilmesi için gölgeleme elemanı derinliğinin 0.75 m'den az olması gerekmektedir. Pencere genişliğinin 1.5 m'den az olması durumunda pencere yüksekliği 1.85 m'den fazla (parapetsiz pencere) ve cama ait ışık geçirgenlik değeri 0.79 olmalıdır.

- Mekan genişliği 3.5 m'den ve mekan derinliği 5.5 m'den büyük olan yaşama mekanları için görsel konfor koşullarının sağlanması için pencere genişliğinin 1.5 m'den küçük olması durumunda pencere yüksekliğinin 2.25 m'den küçük veya 2.25 m'den büyük ve gölgeleme elemanı derinliğinin 0.75 m'den küçük olması gerekmektedir. 1.5 m'den daha geniş pencere genişlikleri için pencere yüksekliği 1.85 m ve altı ise gölgeleme elemanı derinliğinin 0.75 m den az ve cama ait ışık geçirgenlik katsayısı 0.79 olarak seçilmelidir.

Yaşama mekanının Doğu yönüne bakması durumunda;

- Mekan genişliği 5.5 m ve mekan derinliği 3.5 m'den küçük olan yaşama mekanlarında pencere genişliği 1.5 m ve altı ise gölgeleme elemanı kullanılmaması ve Solar Low-E cam türü kullanılması sonucu minimum düzeyde görsel konfor koşulu sağlanabilmektedir. Pencere genişliğinin 1.5 m'den büyük olması durumunda pencere yüksekliğinin 1.85 m'den küçük veya 1.85 m'den büyük ve gölgeleme elemanı derinliğinin 0 m'den büyük olması gerekmektedir.
- Mekan derinliğinin 3.5 m'den büyük olması durumunda pencere genişliği 1.5 m'den küçükse pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olmalıdır. Pencere genişliği 1.5 m'den büyükse pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük ve gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'den küçük olmalıdır.
- Mekan genişliğinin 4.5 m'den ve mekan derinliğinin 3.5 m'den büyük olduğu yaşama mekanları için minimum düzeyde görsel konfor sınıfının sağlanabilmesi için pencere genişliğinin 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliğinin 1.85 m'ye eşit veya küçük ve cama ait ışık geçirgenlik katsayısının 0.79 olması veya pencere yüksekliğinin 1.85 m'den büyük ve gölgeleme elemanı derinliğinin 0 m'den büyük olması gerekmektedir.
- Yaşama mekanında orta düzey görsel konfor sınıfının sağlanabilmesi için mekan genişliğinin 4.5 m'den küçük ve mekan derinliğinin 3.5 m'den büyük olması durumunda pencerenin genişliği 1.5 m'den büyük, yüksekliği 1.85 m'ye eşit ve daha küçük olacak şekilde tasarlanması ve Solar Low-E cam kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Mekan genişliğinin 4.5 m'den büyük olması durumunda pencere genişliğinin 1.5 m'den büyük olması ile birlikte pencere yük-

sekliğı 1.85 m'den küçük ve cam türü Solar Low-E ($T_{vis}:0.69$) olmalı veya pencere yüksekliğı 1.85'ye eşit ve daha büyük ise gölgeleme elemanı tasarlanmalıdır.

Çizelge 5.15 : YS-2 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliğı (m)	Mekan Derinliğı (m)	Pencere Genişliğı (m)	Pencere Yüksekliğı (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliğı (m)	T_{vis}
1	0	≤ 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.85	> 0	$= 0.79$
2	0	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	≤ 1.85	-	-
3	0	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	> 1.85	≤ 0.25	-
4	0	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	> 1.85	> 0.25	$= 0.79$
5	0	> 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.85	≤ 0.75	$= 0.79$
6	0	> 3.5	≤ 5.5	$1.5 < PG \leq 2.5$	-	≤ 0.75	-
7	0	> 3.5	≤ 5.5	> 2.5	-	≤ 0.75	-
8	0	≤ 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 2.25	> 0	$= 0.79$
9	0	≤ 3.5	> 5.5	> 1.5	≤ 1.85	> 0	-
10	0	≤ 3.5	> 5.5	> 1.5	> 1.85	$= 0$	$= 0.79$
11	0	> 3.5	> 5.5	≤ 1.5	≤ 2.25	-	-
12	0	> 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 2.25	≤ 0.75	$= 0.79$
13	0	> 3.5	> 5.5	> 1.5	≤ 1.85	≤ 0.75	$= 0.79$
14	0	> 3.5	> 5.5	> 1.5	> 1.85	$= 0$	-
15	90	≤ 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	-	$= 0$	$= 0.69$
16	90	≤ 5.5	≤ 3.5	> 1.5	≤ 1.85	-	-
17	90	≤ 5.5	≤ 3.5	> 1.5	> 1.85	$= 0$	-
18	90	> 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	≤ 2.25	$= 0$	$= 0.79$
19	90	> 5.5	≤ 3.5	> 1.5	≤ 1.85	-	-
20	90	> 5.5	≤ 3.5	> 1.5	> 1.85	≤ 0.75	-
21	90	≤ 4.5	> 3.5	≤ 1.5	> 1.45	$= 0$	-
22	90	≤ 4.5	> 3.5	> 1.5	≤ 1.85	$= 0$	$= 0.79$
23	90	≤ 4.5	> 3.5	> 1.5	≤ 1.85	> 0	-
24	90	≤ 4.5	> 3.5	> 1.5	> 1.85	≤ 0.75	-
25	90	> 4.5	> 3.5	> 1.5	≤ 1.85	-	$= 0.79$
26	90	> 4.5	> 3.5	> 1.5	> 1.85	> 0	-
27	180	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	-	-	$= 0.79$
28	180	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	≤ 1.85	-	-
29	180	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	-	$= 0.79$
30	180	> 4.5	≤ 5.5	$1.5 < PG \leq 4.5$	≤ 1.45	-	-
31	180	> 4.5	≤ 5.5	$1.5 < PG \leq 4.5$	> 1.45	-	$= 0.79$
32	180	> 4.5	≤ 5.5	> 4.5	-	-	-
33	180	≤ 4.5	> 5.5	> 1.5	-	-	-
34	180	> 4.5	> 5.5	≤ 2.5	≤ 1.85	-	$= 0.79$
35	180	> 4.5	> 5.5	$2.5 < PG \leq 4.5$	≤ 1.45	-	-
36	180	> 4.5	> 5.5	$2.5 < PG \leq 4.5$	> 1.45	-	$= 0.69$
37	180	> 4.5	> 5.5	> 4.5	-	-	-
38	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.45	$= 0$	-
39	270	≤ 4.5	≤ 5.5	> 1.5	≤ 1.85	-	-
40	270	≤ 4.5	≤ 5.5	> 1.5	> 1.85	$= 0$	-

Çizelge 5.15 (Devam) : YS-2 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
41	270	≤ 4.5	>5.5	>1.5	≤ 1.45	= 0	-
42	270	≤ 4.5	>5.5	>1.5	> 1.45	≤ 0.75	= 0.79
43	270	> 4.5	≤ 3.5	>1.5	≤ 1.85	-	-
44	270	> 4.5	≤ 3.5	>1.5	> 1.85	= 0	-
45	270	> 4.5	> 3.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	= 0.79
46	270	> 4.5	> 3.5	>1.5	≤ 1.85	= 0	= 0.69
47	270	> 4.5	> 3.5	>1.5	≤ 1.85	> 0	= 0.79
48	270	> 4.5	> 3.5	>1.5	> 1.85	≤ 0.75	-

Çizelge 5.16 : YS-2 için yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	90	≤ 4.5	> 3.5	> 1.5	≤ 1.85	= 0	= 0.69
2	90	> 4.5	> 3.5	> 1.5	≤ 1.85	-	= 0.69
3	90	> 4.5	> 3.5	> 1.5	> 1.85	= 0	-
4	180	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.45	-	= 0.69
5	180	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	-	= 0.69
6	180	> 4.5	≤ 5.5	1.5 < PG ≤ 4.5	> 1.45	-	= 0.69
7	180	> 4.5	> 5.5	2.5 < PG ≤ 4.5	> 1.45	-	= 0.79
8	270	> 4.5	> 3.5	>1.5	≤ 1.85	= 0	= 0.79

Yaşama mekanının Kuzey yöne bakması durumunda;

- Yaşama mekanına ait genişlik 4.5 m'den ve derinlik 5.5 m'den az ise minimum görsel konfor koşulunun sağlanması için pencere genişliği 2.5 m'den az ve cam türü Low-e cam olmalıdır. Pencere genişliği 2.5 m'den büyük olması durumunda pencere yüksekliğinin 1.85 m'ye eşit veya daha küçük veya 1.85 m'den büyük ve Low-e cam türü kullanılmalıdır.
- Mekan genişliği 4.5 m'den fazla ise pencere genişliği $1.5 < PG \leq 4.5$ arasında ve pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olmalıdır. Buna ek olarak Solar Low-E cam kullanılması sonucunda yaşama mekanına ait görsel konfor sınıfı orta düzey olmaktadır. Pencere genişliği 4.5 m'den büyük ise pencere yüksekliği, cam türü ve gölgeleme elemanı derinliğinden bağımsız olarak düşük görsel konfor düzeyi yaşama mekanında elde edilmektedir.

- Mekan genişliği ile birlikte mekan derinliğinin 5.5 m'den büyük olduğu yaşama mekanlarında minimum düzeyde görsel konfor sınıfının sağlanabilmesi için pencere genişliği 2.5 m'ye eşit ve daha az ise pencere yüksekliğinin 1.85 m'ye eşit ve daha az olması ve cama ait ışık geçirgenlik katsayısının 0.79 olması gerekmektedir. Pencere genişliği $2.5 < PG \leq 4.5$ boyutlarında bir değer alırsa pencere yüksekliği 1.45 m'ye eşit veya daha küçük olmalı ya da 1.45 m'den büyük ve cam türü Solar Low-E olmalıdır. Pencere genişliği 4.5 m'den büyük olması durumunda yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi tüm doğal aydınlatma sistemi alternatifleri için sağlanabilmektedir.
- Yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyinin sağlanması için mekan genişliği 4.5 m'den ve derinliği 5.5 m'den küçük olmalı, pencere genişliği 2.5 m'ye eşit ve daha küçükse pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük ve cama ait ışık geçirgenlik katsayısı 0.69 olmalıdır. Pencere genişliği 2.5 m'den büyükse pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük olmalı ve Solar Low-E cam türü kullanılmalıdır.

Yaşama mekanının Batı yönüne bakması durumunda;

- Mekan genişliği 4.5 m'den ve mekan derinliği 5.5 m'den küçük olan yaşama mekanları için pencere genişliği 1.5 m'ye eşit ve daha küçük ve pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olmalıdır. Diğer yandan pencere genişliğinin 1.5 m'den büyük olduğu durumda pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük veya büyük olabilir. Pencere yüksekliğinin 1.85 m'den büyük olduğu durumda yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi gölgeleme elemanı kullanılmadığı durum için sağlanmaktadır.
- Mekan derinliğinin 5.5 m'den daha fazla olması durumunda yaşama mekanında minimum görsel konfor düzeyini elde edebilmek için pencere genişliği 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük, gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'ye eşit ve daha küçük ve cam türü Low-E cam olmalıdır.
- Mekan genişliğinin 4.5 m'den büyük ve mekan derinliğinin 3.5 m'den küçük olduğu durumda pencere genişliği 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük veya 1.85 m'den büyük ve gölgeleme elemanı derinliği 0 m olmalıdır.

- Mekan genişliğinin 4.5 m'den ve mekan derinliğinin 3.5 m'den büyük olduğu yaşama mekanlarında pencere genişliği 1.5 m'den büyük olursa düşük görsel konfor düzeyi sınıfının elde edilmesi için pencere yüksekliği 1.85 m'ye eşit veya daha küçük ve gölgeleme elemanı derinliği 0 m'den büyük olmalıdır. Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük ise gölgeleme elemanına ait derinlik 0.75 m'ye eşit veya daha az olacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Pencere genişliğinin 1.5 m'den fazla ve pencere yüksekliğinin 1.85 m'ye eşit ve daha az olması durumunda gölgeleme elemanı kullanılmaması ile yaşama mekanında orta düzeyde görsel konfor sınıfı elde edilmektedir.

Yerleşme Senaryosu-3 (EA:45°)

45° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryosu için geliştirilen karar ağacı modeli üzerinden yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyi sınıflarına yönelik çıkarılan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları düşük ve orta görsel konfor düzeyi sınıfları için sırasıyla Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de verildiği gibi belirlenmektedir. Yaşama mekanında düşük konfor düzeyi sınıfına yönelik 46 adet, orta görsel konfor düzeyi sınıfına yönelik 7 adet olmak üzere toplam 53 adet görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralı çıkarılmıştır. Yaşama mekanında yer alan pencerenin baktığı yöne bağlı olarak görsel konfor düzeyi sınıflarının sağlanması amacıyla doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik belirlenen tasarım yaklaşımları detaylı olarak aşağıda verildiği gibi olmaktadır.

Yaşama mekanının Güney yöne bakması durumunda;

- Mekan genişliği 3.5 m ve mekan derinliğinin 4.5 m'den daha az olduğu yaşama mekanları için pencere genişliği 1.5 m'den az ve pencere yüksekliği 2.25 m'den fazla olmalıdır. Gölgeleme elemanı kullanıldığı durumda minimum görsel konfor koşullarının sağlanması için cama ait ışık yansıtma katsayısının 0.69 olması gerekmektedir. Pencere genişliğinin 1.5 m'den büyük olduğu tasarım seçenekleri için pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olmalı veya 1.45 m'den küçük olup gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'den az olmalıdır.
- Mekan genişliğinin 3.5 m'den daha fazla olduğu yaşama mekanları için pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olmalıdır. Gölgeleme elemanı kullanıldığı durumda pencere genişliği 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliği 1.45 m'den küçük olmalıdır. Gölgeleme elemanı kullanılmadığı durumda minimum görsel

konfor koşullarının sağlanması için cam türü olarak Solar Low-E cam ($T_{vis}:0.69$) kullanılmalıdır.

- Mekan derinliğinin 4.5 m'den büyük, mekan genişliğinin 4.5 m'den küçük olduğu yaşama mekanı senaryoları için pencere genişliği 1.5 m'den büyük ve gölgeleme elemanı kullanılmadığı durumda pencere yüksekliği 1.45 m'ye eşit veya küçük, gölgeleme elemanı kullanıldığı durumda 1.45 m'den büyük olmalıdır.
- Mekan genişliği ve derinliğinin 4.5 m'den büyük olduğu durumda ise pencere genişliği 2.5 m'ye eşit veya küçükse minimum görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için pencere yüksekliği 2.25 m'den büyük olmalıdır. Pencere genişliğinin 2.5 m'den büyük olması durumunda pencere yüksekliği 1.45 m'den küçük ve gölgeleme elemanı derinliği 0 m'den büyük olmalıdır. Gölgeleme elemanı derinliğinin 0.75 m'ye eşit ve küçük olması durumunda pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olarak tasarlanmalıdır.
- Mekan genişliğinin 3.5 m'den büyük ve mekan derinliğinin 4.5 m'den küçük ve pencere genişliği 1.5 m'den büyük olduğu durumda pencere yüksekliği 1.45m'ye eşit ve küçük olursa veya 1.45 m'den büyük ve gölgeleme elemanı derinliği $0 < GD \leq 0.75$ arasında olursa yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sağlanabilmektedir.

Yaşama mekanının Doğu yönüne bakması durumunda;

- Mekan genişliğinin 3.5 m ve mekan derinliğinin 5.5 m'den küçük olduğu yaşama mekanı boyutları için minimum görsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla pencere genişliğinin 1.5 m'den büyük ve pencere yüksekliğinin 1.85 m'ye eşit ve küçük olması gerekmektedir. Gölgeleme elemanı derinliğinin 0.75 m ve düşük olması durumunda pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük olmalıdır.
- Mekan genişliğinin 3.5 m'den daha büyük olması durumunda pencere genişliği 1.5m'den büyük ve pencere yüksekliği 2.25 m'den daha küçük veya 2.25 m'den daha büyük ve gölgeleme elemanı derinliğinin 0.75 m'den daha küçük olması gerekmektedir.

- Mekan derinliğinin 5.5 m'den büyük olduğu durumda mekan genişliğinden bağımsız olarak pencere genişliği 2.5 m'den daha geniş olmalıdır. Mekan genişliğinin 3.5 m'den daha küçük olması durumunda pencere yüksekliği 1.85 m'den daha fazla olmalıdır. Mekan genişliğinin 3.5 m'den daha büyük olması durumunda gölgeleme elemanı derinliği 0 m'den büyükse pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük olmalıdır. Gölgeleme elemanı kullanılmaması durumunda pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük tasarlanmalıdır.

Çizelge 5.17 : YS-3 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	≤ 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	= 0.69
2	0	≤ 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 2.25	-	= 0.79
3	0	≤ 3.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.45	≤ 0.75	-
4	0	≤ 3.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.45	> 0.75	= 0.79
5	0	≤ 3.5	≤ 4.5	> 1.5	> 1.45	-	-
6	0	> 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 1.45	= 0	-
7	0	> 3.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.45	= 0	= 0.69
8	0	> 3.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.45	> 0	-
9	0	> 3.5	≤ 4.5	> 1.5	> 1.45	= 0	-
10	0	≤ 4.5	> 4.5	> 1.5	≤ 1.45	= 0	-
11	0	≤ 4.5	> 4.5	> 1.5	> 1.45	≤ 0.75	-
12	0	≤ 4.5	> 4.5	> 1.5	> 1.45	> 0.75	= 0.79
13	0	> 4.5	> 4.5	≤ 2.5	> 2.25	= 0	-
14	0	> 4.5	> 4.5	> 2.5	≤ 1.45	= 0	-
15	0	> 4.5	> 4.5	> 2.5	≤ 1.45	> 0	= 0.79
16	0	> 4.5	> 4.5	> 2.5	> 1.45	≤ 0.75	-
17	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	≤ 1.45	≤ 0.75	= 0.79
18	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.45	= 0	= 0.69
19	270	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	≤ 1.85	-	= 0.79
20	270	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	≤ 0.75	-
21	270	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0.75	= 0.69
22	270	≤ 4.5	> 5.5	> 1.5	≤ 1.45	-	-
23	270	≤ 4.5	> 5.5	> 1.5	> 1.45	= 0	-
24	270	≤ 4.5	> 5.5	> 1.5	> 1.45	> 0	= 0.69
25	270	> 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.45	= 0	-
26	270	> 4.5	≤ 5.5	> 2.5	≤ 1.85	> 0.75	-
27	270	> 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	= 0	= 0.79
28	270	> 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	0 < GD ≤ 0.75	-
29	270	> 4.5	> 5.5	> 2.5	≤ 2.25	-	-
30	270	> 4.5	> 5.5	> 2.5	> 2.25	-	= 0.69
31	90	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	≤ 1.85	-	-

Çizelge 5.17 (Devam) : YS-3 için yaşama mekanında düşük görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
32	90	<= 3.5	<= 5.5	> 1.5	> 1.85	<= 0.75	-
33	90	> 3.5	<= 5.5	> 1.5	<= 2.25	-	-
34	90	> 3.5	<= 5.5	> 1.5	> 2.25	<= 0.75	-
35	90	<= 3.5	> 5.5	<= 2.5	<= 2.25	= 0	-
36	90	<= 3.5	> 5.5	> 2.5	<= 1.85	> 0	-
37	90	<= 3.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	= 0	-
38	90	> 3.5	> 5.5	> 2.5	<= 1.85	-	-
39	90	> 3.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	<= 0.75	-
40	90	> 3.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0.75	= 0.79
41	180	<= 5.5	<= 3.5	1.5<PG<=3.5	-	-	-
42	180	> 5.5	<= 3.5	<= 2.5	<= 1.85	-	= 0.69
43	180	> 5.5	<= 3.5	> 2.5	-	-	= 0.69
44	180	<= 3.5	> 3.5	> 1.5	<= 2.25	-	= 0.69
45	180	<= 3.5	> 3.5	> 1.5	> 2.25	-	-
46	180	> 3.5	> 3.5	> 1.5	-	-	-

Çizelge 5.18 : YS-3 için yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	> 3.5	<= 4.5	> 1.5	<= 1.45	= 0	= 0.79
2	0	> 3.5	<= 4.5	> 1.5	> 1.45	0<GD<= 0.75	-
3	270	<= 4.5	<= 5.5	<= 2.5	> 1.45	= 0	= 0.79
4	270	<= 4.5	<= 5.5	> 2.5	<= 1.85	-	= 0.69
5	270	> 4.5	<= 5.5	> 2.5	<= 1.85	<= 0.75	-
6	270	> 4.5	<= 5.5	> 2.5	> 1.85	= 0	= 0.69
7	270	> 4.5	> 5.5	> 2.5	> 2.25	-	= 0.79

Yaşama mekanının Kuzey yönüne bakması durumunda;

- Mekan genişliğinin 5.5 m'den ve mekan derinliğinin 3.5 m'den küçük olduğu yaşama mekanları için pencere genişliğinin 1.5 m <PG <=3.5 m arasında olması sonucu minimum görsel konfor koşulları sağlanabilmektedir.
- Mekan genişliğinin 5.5 m'den büyük ve mekan derinliğinin 3.5 m'ye eşit ve daha küçük olduğu yaşama mekanı boyutları için pencere genişliğinin 2.5 m'ye eşit ve daha küçük, pencere yüksekliğinin 1.85 m'ye eşit ve daha küçük ve cama ait ışık yansıtma katsayısının 0.69 olması gerekmektedir. Pencere genişliğinin 2.5 m'den büyük olması durumunda minimum görsel

konfor düzeyinin sağlanması için Solar Low-E ($T_{vis}:0.69$) cam türü kullanılmalıdır.

- Mekan derinliğinin 3.5 m'den daha büyük olduğu yaşama mekanları için pencere genişliği 1.5 m'den ve pencere yüksekliği 2.25 m'den büyük olmalıdır. Pencere yüksekliğinin 2.25 m'ye eşit ve daha küçük olduğu durumda cam türü olarak Solar Low- E cam tercih edilmelidir.

Yaşama mekanının Batı yönüne bakması durumunda;

- Mekan genişliği 4.5 m'den ve mekan derinliği 5.5 m'den küçük olan yaşama mekanları için minimum görsel konfor koşulları pencere genişliği 2.5 m'den küçük ve pencere yüksekliği 1.45 m'den büyük olması durumunda sağlanabilmektedir. Pencere genişliğinin 2.5 m'den büyük olduğu durumda pencere yüksekliği gölgeleme elemanının kullanılmadığı durumda 1.85 m'ye eşit veya küçük, gölgeleme elemanı derinliğinin 0 m'den büyük olduğu durumda 1.85 m'den büyük olmalıdır.
- Mekan genişliğinin 4.5 m ve üzeri olduğu durumda yaşama mekanında görsel konfor koşullarını sağlamak için pencere genişliği 2.5 m'den ve pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük, gölgeleme elemanı derinliği 0.75 m'ye eşit ve küçük olmalıdır. 5.5 m'den büyük mekan genişlikleri için pencere yüksekliği 2.25 m'den büyük ve cama ait ışık geçirgenlik katsayısı 0.69 olmalıdır.
- Yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyi sınıfının sağlanması için mekan genişliğinin 4.5 m'ye eşit veya küçük, mekan derinliğinin 5.5 m'ye eşit veya küçük, pencere genişliğinin 2.5 m'ye eşit veya küçük ve pencere yüksekliğinin 1.45 m'den büyük olması gerekmektedir. Pencere genişliği 2.5 m'den büyükse orta düzey görsel konfor sınıfının sağlanması için pencere yüksekliği 1.85'e eşit veya küçük olmalı ve gölgeleme elemanına ait derinlik 0.75 m'ye eşit veya küçük olmalıdır.
- Mekan genişliğinin 4.5 m'den büyük olduğu durumda pencere genişliği 2.5 m'den ve pencere yüksekliği 1.85 m'den büyükse orta düzey görsel konfor sınıfının sağlanabilmesi için cam türü Solar Low-E ($T_{vis}:0.69$) olarak seçilmelidir. Cam türünün Low-E ($T_{vis}:0.79$) olması durumunda 2.25 m'den büyük pencere yükseklikleri ile yaşama mekanında orta düzey görsel konfor sınıfı sağlanabilmektedir.

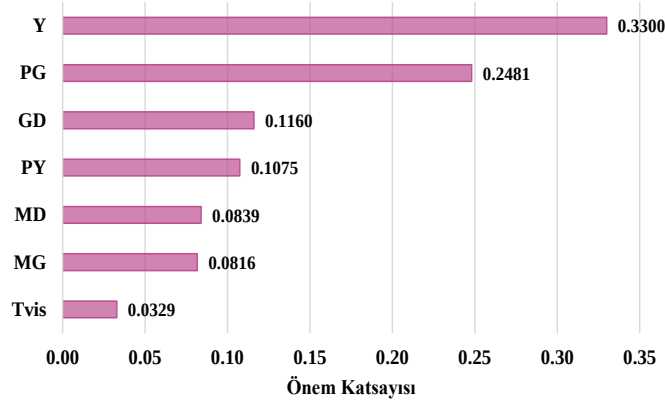
5.3.3.3 Farklı yerleşme senaryoları için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine ait önem katsayılarının belirlenmesi

0°, 25° ve 45° engel açılarının gerçekleştiği yerleşme senaryoları (YS-1, YS-2, YS-3) için geliştirilen doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik karar ağacı modelleri üzerinden aynı zamanda farklı engel etkisi altında yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor koşulları üzerinde etkili olan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri belirlenmiştir. Şekil 5.34'te Yerleşme Senaryosu-1 (YS-1), Yerleşme Senaryosu-2 (YS-2) ve Yerleşme Senaryosu-3 (YS-3) için çalışma eyleminin gerçekleştirildiği yaşama mekanında görsel konfor koşullarının sağlanmasında doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine ait önem katsayıları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre YS-1 için yönelim (Y) parametresi yaşama mekanındaki görsel konfor sınıfının belirlenmesinde en önemli doğal aydınlatma sistemi parametresi olurken, pencere genişliği (PG) ve gölgeleme elemanına ait derinlik (GD) görsel konfor sınıfını belirleyen diğer önemli parametreler olmaktadır. Pencere yüksekliği, mekan boyutları ve cam türü engel etkisinin olmadığı doğal aydınlatma sistemi senaryoları için iç mekan görsel konfor düzeyi üzerinde etki düzeyi daha düşük parametreler olarak belirlenmektedir.

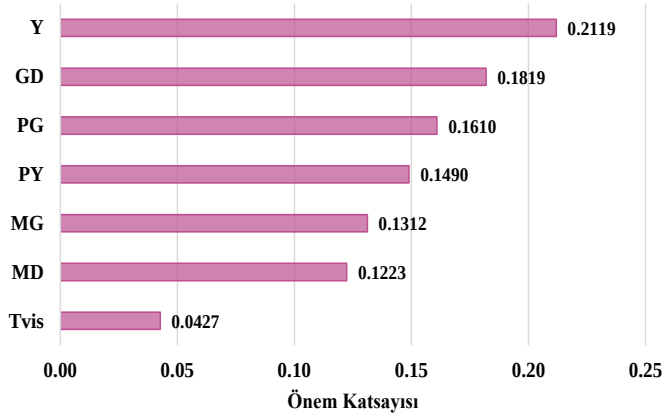
YS-1 ile benzer şekilde YS-2 senaryosu için yaşama mekanında sağlanan görsel konfor sınıfı üzerinde en etkili olan parametreler yönelim, gölgeleme elemanı derinliği ve pencere genişliği olarak sıralanmaktadır. Engel etkisinin olmadığı duruma göre 25° engel açısı etkisinin olduğu senaryoda gölgeleme elemanına ait derinlik parametresi görsel konfor düzeyi sınıfının belirlenmesinde pencere genişliğine göre daha önemli olmaktadır. Pencere yüksekliği, mekan boyutları ve cam türü tasarım parametrelerinin yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor koşullarının tahmin edilmesinde diğer parametrelere göre sırasıyla etkisi daha az olmaktadır.

45° engel açısının gerçekleştiği YS-3 için doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor sınıfları üzerindeki etkisi YS-1 ve YS-2 senaryolarından farklılaşmaktadır. YS-1 ve YS-2 senaryolarının aksine, YS-3 senaryosu için yaşama mekanında sağlanan görsel konfor koşulları üzerinde sırasıyla pencere genişliği (PG), gölgeleme elemanı derinliği (GD) ve pencere yüksekliği (PY) tasarım parametrelerinin etkisi en yüksek olmuştur. Özellikle pencere genişliği parametresinin engel etkisinin fazla olduğu doğal aydınlatma sistemi senaryoları için görsel konfor koşulları üzerindeki etkisi kritik önemde gerçekleşmektedir. Diğer yerleşme

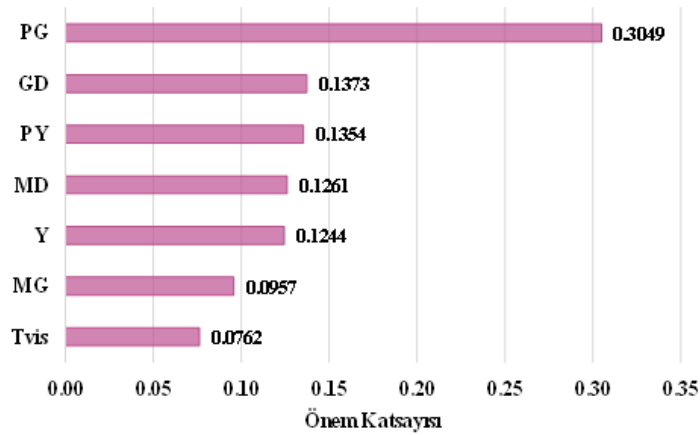
senaryolarından farklı olarak yönelim parametresinin yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyi sınıfının tahmin edilmesinde etkisi oldukça düşüktür. Benzer şekilde mekan genişliği ve cam türü parametrelerinin görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik doğal aydınlatma sistemi tasarım kararları üzerindeki etkisi geliştirilen karar ağacı kapsamında önemli düzeyde olmamaktadır.



Yerleşme Senaryosu-1 (EA:0°)



Yerleşme Senaryosu -2 (EA:25°)



Yerleşme Senaryosu -3 (EA:45°)

Şekil 5.34 : Üç farklı yerleşme senaryosu için belirlenen doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerine ait önem katsayıları

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Günlük yaşam süresinin önemli bir bölümünün geçirildiği ve bu nedenle konfor koşullarının sağlanmasının büyük önem taşıdığı başlıca bina tipolojilerinden biri konutlardır. Konut binaları aynı zamanda kullanım zamanına bağlı olarak tüketilen enerji miktarı bakımından diğer tipolojiler ile karşılaştığında bina sektöründe önemli bir pay üstlenmektedir. Bu doğrultuda konut mekanlarının tasarımında doğal aydınlatma, hem konut kullanıcılarının sağlık, esenlik ve konfor düzeylerinin artırılması hem de enerji tüketimlerinin pasif sistemler aracılığı ile azaltılması bakımından geçmişten itibaren kritik bir rol oynamaktadır.

Önceleri barınma amacıyla inşa edilmeye başlayan konutlar, tarihsel süreç boyunca oturma, dinlenme, yemek yapma, eğlenme gibi farklı aktiviteler için zaman geçirilen yaşama mekanları olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise konut mekanlarının tek boyutlu geleneksel kullanımları değişerek, yaşama eylemlerine ek okuma, yazma, çalışma gibi çok farklı eylemlerin bir arada gerçekleştirildiği çok işlevli mekanlara dönüşmüştür. Bu durum aynı zamanda konut mekanı tasarımında doğal aydınlatmanın kullanım biçiminin değişmesine neden olmuştur. Günümüzde, doğal aydınlatma sistemlerinin, çeşitli fizyolojik ve psikolojik görsel konfor gereksinimlerini yeterli düzeylerde sağlayacak, böylece kullanıcı sağlık ve konforunu artıracak şekilde tasarlanması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda tasarlanan doğal aydınlatma sistemleri ile aynı zamanda enerji korunumunun da sağlanması hedeflenmektedir.

Konut mekanlarının değişen kullanım biçimleri ve doğal aydınlatma sistemlerinden beklenen performans göz önüne alındığında konut mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu doğrultuda, tez çalışması kapsamında günümüzde kullanımları giderek artan çok işlevli konut mekanlarında gerçekleştirilen her bir görsel eylem için görsel konfor koşullarının sağlanmasına imkan veren doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik bir karar modeli geliştirilmektedir. Doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik geliştirilen karar modeli ile gün saatleri boyunca hem yaşama hem de çalışma mekanı olarak

kullanılan konut mekanlarının, kullanıcıların görsel gereksinimlerini karşılayarak konforlu hissedeceği, kişi sağlık ve esenliğinin artırılacağı ve gün içerisinde yapma aydınlatma kullanımını en aza indirecek şekilde tasarlanması mümkün olabilecektir. Ayrıca üç farklı yerleşme senaryosu için ayrı ayrı geliştirilen karar modelleri sayesinde, farklı engel durumlarının iç mekanda sağlanan görsel konfor koşullarına etkisi göz önüne alınarak görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımı kararı verilebilecektir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında konut binalarının doğal aydınlatma sistemlerine yönelik kapsamlı bir literatür araştırmasını takiben, ikinci bölümde konut kullanıcılarının görsel konfor gereksinimleri ve konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri detaylı bir şekilde incelenmiştir; üçüncü bölümde bir karar destek modeli olarak veri madenciliği disiplini analiz edilmiştir; dördüncü bölümde üç temel aşamadan oluşan çok işlevli konut mekanlarına yönelik karar modeli açıklanmıştır; beşinci bölümde ise karar modelinin üç farklı yerleşme senaryosu için uygulamasına yer verilmiş ve modele ait çıktılar değerlendirilmiştir.

Veri madenciliği disiplininden yararlanılarak geliştirilen doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modeli üç temel adımda oluşturulmuştur;

- Parametrik Doğal Aydınlatma Sistemi Modelinin Geliştirilmesi
- Doğal Aydınlatma Sistemi Görsel Konfor Performansının Değerlendirilmesi
- Veri Madenciliğine Dayalı Müfredat Karar Ağacı Modelinin Oluşturulması

Parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin geliştirilmesi adımı; Mimari tasarım süreçleri ile entegre olarak her bir tasarım aşamasında görsel konfor koşullarına etki eden doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri kapsamlı bir şekilde modele dahil edilmiştir. Bu doğrultuda kompleks tasarım senaryoları üretmek ve üretilen senaryolara yönelik doğru sonuçlar elde etmek amacıyla parametrik simülasyon modeli oluşturulmuştur. Ancak oluşturulan parametrik modele ait hesaplama yükünün çok fazla olması, dolayısıyla simülasyon sürelerinin kabul edilebilir seviyelerin üzerine çıkması, veri setinin oluşturulması esnasındaki hesap yükünün azaltılması amacıyla görsel konfor koşulları üzerinde daha az etkili olan tasarım parametrelerinin model kapsamından çıkarılmasını gerektirmiştir. Bu anlamda hesaplama süresinin optimize edilmesi amacıyla ele alınan kapsamlı tasarım parametrelerine yönelik duyarlılık analizi yapılarak doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin iç mekan görsel

konfor koşulları üzerindeki etki düzeyleri belirlenmiştir. Böylece görsel konfor koşulları üzerinde daha az etkili olan tasarım parametreleri model kapsamından çıkarılarak hesaplama ve model yükü azaltılmış olup, parametrik model veri setinin oluşturulması adına son haline getirilmiştir.

Parametrik doğal aydınlatma sistemi modelinin geliştirilmesi bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde; Belirleme Katsayısı (R^2) dikkate alınarak yönelim parametresinin Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a), Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma Düzeyi (sDG) ve Güneş Işığı Alım Süresi (SH) ölçütleri ile, engel açısı parametresinin SH ve Dış Görüş (VO) ölçütleri ile, pencere genişliği parametresinin UDI-a ölçütü ile, pencere yüksekliği parametresinin UDI-a, sDG ve VO ölçütleri ile ve gölgeleme elemanı derinliği parametresinin SH ölçütü ile arasında doğrusal olmayan (non-linear) bir ilişki olduğu görülmüştür ($R^2 < 0.70$). Model doğrusallığına bağlı olarak Basit Regresyon Katsayısı (SRC) ve Standartlaştırılmış Sıralı Regresyon Katsayıları (SSRC) üzerinden gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçlarına göre doğal aydınlatma sistemi parametrelerinin görsel konfor kriterleri üzerindeki önem dereceleri şu şekilde belirlenmiştir;

- Engel açısı parametresi özellikle dış görüş ve güneş ışığı alımı kriterleri üzerinde önemli bir etki göstermektedir.
- Yönelim parametresi dış görüş kriteri hariç diğer görsel konfor kriterleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
- Mekan genişliği ve derinliği parametreleri genel olarak görsel konfor kriterleri üzerinde daha az etkili olurken, kat yüksekliği parametresinin görsel konfor üzerindeki etkisi belirsiz düzeyde gerçekleşmektedir.
- Pencere genişliği ve yüksekliği Faydalı Günışığı Aydınlığı, Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma Düzeyi ve Dış Görüş üzerinde güçlü bir etki göstermektedir.
- Gölgeleme elemanı derinliği Güneş Işığı Alımı ve Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma düzeyi üzerinde önemli bir etkiye sahipken, Dış Görüş üzerinde önemli düzeyde bir etkiye neden olmamaktadır. Gölgeleme elemanına ait ışık yansıtma katsayısının ele alınan görsel konfor kriterleri üzerinde etkisi oldukça düşüktür.
- Işık geçirgenlik katsayısına bağlı olarak cam türü Faydalı Günışığı Aydınlığı ve Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma Düzeyi'ni önemli derecede etkilemektedir.

Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, çok işlevli konut mekanlarında görsel konfor koşulları üzerinde etkisi belirlenen engel açısı, yönelim, mekan genişliği ve derinliği, pencere genişliği ve yüksekliği, cam türü ve gölgeleme elemanı derinliği parametreleri doğal aydınlatma sistemi parametrik modelinin oluşturulmasında dikkate alınmıştır. Böylece çok işlevli yaşama mekanlarında görsel konfor koşullarını doğru bir şekilde belirleyecek, aynı zamanda hesap sürelerinde azaltım sağlayacak doğal aydınlatma sistemi parametrik modelinin üretilmesi sağlanmıştır.

Doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının değerlendirilmesi adımında; konut mekanlarında gerçekleştirilen eylemler tanımlanarak her bir eylem için ihtiyaç duyulan görsel konfor gereksinimleri dikkate alınmıştır. İlgili eylem alanlarında tanımlanan görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması için doğal aydınlatma sistemi performansı güncel standartlar göz önüne alınarak günışığı etkinliği, günışığına bağlı kamaşma düzeyi, dış görüş ve güneş ışığı alımı kriterleri bakımından kapsamlı bir şekilde niceliksel olarak değerlendirilmiştir. Çok işlevli yaşama mekanında sağlanan görsel konfor düzeyi doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının belirlenmesi için *ağırlıklandırılmış değerlendirme matrisi* yöntemi aracılığı ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yaşama mekanında gerçekleştirilen her bir eylem için görsel gereksinimlerin puanlandırılması ve buna bağlı görsel konfor kriterlerinin ağırlıklandırılmasına dayalı olarak yapılmıştır. Son olarak üç farklı yerleşme senaryosu göz önüne alınarak doğal aydınlatma sistemi görsel performansına yönelik elde edilen sonuçlar ile doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modelinin oluşturulması için veri setleri üretilmiştir.

Doğal aydınlatma sistemi görsel konfor performansının değerlendirilmesi bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde; çalışmada ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametrelerinin Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a), Mekansal Kamaşma Düzeyi (sDG), Dış görüş (VO) ve Güneş Işığı Alım Süresi (SH) ölçütleri üzerinde farklı etkilere neden olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a) ölçütü bakımından elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibi belirlenmiştir;

- Kuzey ve Güney yönelimleri Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a) düzeyi bakımından en iyi performans gösteren yönler olarak belirlenmiştir.
- Pencere genişliği, günışığı aydınlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olup, pencere genişliğinin 4 m'ye kadar artırılması UDI-a düzeyinde olumlu bir artışa

neden olmuş, ancak 4 m ve üzeri pencere genişlikleri görsel ve ısısal konforsuzluğa neden olabilecek günışığı aydınlığı aralığına (UDI-e) ait aydınlık düzeylerinin artması nedeni ile UDI-a değerinde düşüşe yol açmıştır.

- Pencere yüksekliği genel anlamda UDI-a değerinde belirgin bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak parapetli pencerelerde, pencere yüksekliğinin artışı iç mekanda günışığı etkinliğini artırmıştır.
- Çalışma kapsamında ele alınan Low-E (Tvis :0.79) ve Solar Low-E (Tvis :0.69) cam türlerinin farklılaşması UDI-a düzeyinde önemli bir değişikliğe neden olmazken, gölgeleme elemanlarından yatay elemanların Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI-a) üzerinde olumlu yönde, dikey elemanların ise olumsuz yönde etkisi olduğu belirlenmiştir.

Mekansal Rahatsız Edici Kamaşma (sDG) düzeyi açısından elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

- Yönelimin gerçekleşen parıltı düzeyleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğu, özellikle Batıya bakan mekanlarda kamaşmanın yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.
- Mekan genişliği ve derinliğinin artması yaşama mekanında meydana gelen kamaşmayı bir miktar azaltmış ancak büyük bir fark yaratmamıştır.
- 3 m ve üzerinde genişliğe sahip pencereler, kamaşma düzeyini önemli ölçüde artırarak pencereye yakın alanlarda görsel konforu olumsuz etkilemiştir.
- Benzer şekilde pencere yüksekliğinin artırılması kamaşma düzeyinin artmasına neden olmuştur.
- Cam türüne bağlı olarak cama ait ışık geçirgenlik katsayısının düşürülmesinin kamaşmayı olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ancak yatay gölgeleme elemanı kullanımının kamaşmayı azaltmada dikey elemanlara ve kaplamalı camlara (Solar Low-E) göre daha etkili bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

Dış görüş (VO) açısından elde edilen sonuçlara göre;

- Pencere boyutlarına ve gölgeleme elemanlarının derinliğine yönelik büyüklükler dış görüş düzeyi üzerinde önemli bir rol oynamıştır. Daha geniş ve yüksek pencereler, dış görüşe erişimi artırırken, diğer yandan parapetli pencereler, parapetsiz pencerelere göre daha iyi bir dış görüş sağlamıştır.

- Düşey gölgeleme elemanları dış görüş açısından olumsuz bir etki yaratırken, yatay gölgeleme elemanları dış görüşü düşey elemanlara göre daha düşük seviyelerde engellemiştir.
- Mekan genişliğinin artması yaşama mekanında sağlanan dış görüş düzeyini kısmen artırsa da, derinliği fazla olan mekanlarda yatay görüş açısının daralması nedeniyle dış görüş sağlanma oranı azalan yönde bir eğilim göstermiştir.

Güneş ışığı alımı (SE) kriteri bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde ise;

- Güney yön en avantajlı yön olmuştur.
- Yatay gölgeleme elemanı kullanımı, derinliğine bağlı olarak düşey gölgeleme elemanlarına kıyasla güneş ışığı alım süresini daha fazla oranda azaltmıştır.

Veri madenciliğine dayalı müfredat karar ağacı modelinin oluşturulması adımında; çok işlevli yaşama mekanları için doğal aydınlatma sistemine bağlı üretilen görsel konfor veri setlerinin anlamlı bir tasarım bilgisine dönüştürülmesi amacıyla veri madenciliği süreci uygulanmıştır. Bu doğrultuda öncelikle üretilen veri seti eksik veya hatalı verilerin belirlenmesi, düzeltilmesi ve dönüştürülmesi adımlarının uygulanması ile ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Daha sonra hazırlanan veri seti müfredat karar ağacı modelinin üretilmesi için seçilen algoritma ile makine öğrenimi teknolojisi kullanılarak eğitilmiştir. Eğitilen karar ağacı modelinin doğruluğu eğitilen modelin test verisinin kullanımı ile test edilmesi sonucu kanıtlanmıştır. Modelin oluşturulmasını takiben son işleme sürecinde ise karar ağacı modelinin bir tasarım bilgisine dönüştürülmesi amacıyla her bir yerleşme senaryosu için farklı yönelimler dikkate alınarak çok işlevli yaşama mekanlarında görsel konfor koşullarını çeşitli düzeylerde sağlayan tasarım kuralları üretilmiştir. Aynı zamanda farklı engel etkisi altında çok işlevli yaşama mekanlarında gerçekleşen görsel konfor koşulları üzerinde etkili olan doğal aydınlatma sistemi tasarım parametreleri belirlenmiştir.

Veri madenciliğine dayalı oluşturulan müfredat karar ağacı modelleri bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde; üç farklı yerleşme senaryosu için üretilen müfredat karar ağaçlarına dayalı olarak çok işlevli yaşama mekanında doğal aydınlatma sistemi tasarım senaryoları ile sağlanan görsel konfor koşulları aşağıda verildiği gibi olmaktadır;

- Yerleşme senaryosu-1 (EA:0°) için veri setinin %71.5'i ile kabul edilebilir (düşük ve orta) görsel konfor düzeyini sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım yolları elde edilmiştir. Güney ve Batı yönelimlerinde doğal aydınlatma sistemi

tasarım alternatifleri ile çoğunlukla yeteriz ve düşük görsel konfor düzeyleri elde edilirken, Kuzey ve Doğu yönelimlerinde doğal aydınlatma sistemi senaryoları ile yaşama mekanında orta görsel konfor düzeyleri sağlanabilmektedir.

- Yerleşme senaryosu-2 (EA:25°) için verisetinin %66.9'u ile çok işlevli yaşama mekanında yeterli (düşük ve orta) görsel konfor düzeyinin sağlandığı doğal aydınlatma sistemi tasarım yolları geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarım yolları ile Güney ve Kuzey yönde daha düşük görsel konfor sınıfları elde edilirken, Batı ve Doğu yönelimlerinde ise daha yüksek görsel konfor sınıflarının sağlanabildiği tasarım yolları oluşmuştur.
- Yerleşme senaryosu-3 (EA:45°) için geliştirilen doğal aydınlatma sistemi tasarım yolları aracılığıyla veri setinin %62.7'si ile çok işlevli yaşama mekanında yeterli (düşük ve orta) görsel konfor düzeyi sağlanmıştır. Geliştirilen tasarım yolları ile Güney ve Batı yönelimlerinde daha yüksek görsel konfor düzeyi sınıfları elde edilmiştir. Bunun aksine Doğu ve Kuzey yönelimleri için doğal aydınlatma sistemi senaryoları ile elde edilen görsel konfor sınıfları daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir.

Üç farklı yerleşme senaryosu için karar ağaçları aracılığı ile elde edilen doğal aydınlatma sistemi tasarımı yollarından aynı zamanda farklı yönelimler için çeşitli tasarım kuralları çıkarılmıştır. Bu doğrultuda engel etkisinin olmadığı *Yerleşme Senaryosu-1* için;

- Mekan genişliği ve derinliği bakımından, mekan genişliği 5.5 m'ye eşit ve küçük olduğu durumda pencere yüksekliği 1.85 m'den küçükse, pencere genişliği 1.5 m'den büyük olmalıdır.
- Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyükse, yatay gölgeleme elemanı maksimum 0.75 m olmalıdır. Mekan genişliği 5.5 m'den büyük olduğu durumda, pencere genişliği 1.5 m - 3.5 m arasında ise, 0.5 m veya daha derin yatay gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Genel olarak minimum görsel konfor düzeyi sınıfını sağlamak için pencere genişliği 1.5 m'ye eşit veya daha büyük olmalıdır. Pencere genişliği 2.5 m ve üzerinde, mekanda sağlanan görsel konfor düzeyi sınıfı artmaktadır.

- Pencere yüksekliğinin 1.85 m'den fazla olduğu boy pencerelerin kullanılması durumunda gölgeleme elemanı derinliğine yönelik belirli sınırlamalar getirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yatay gölgeleme elemanı için gölgeleme elemanının derinliği geniş mekanlarda 0.5 m ve üzeri olmak üzere maksimum 0.75 m olmalıdır. Düşey gölgeleme elemanı için belirli senaryolarda minimum derinlik 0.75 m olarak belirlenmelidir. Bazı özel durumlarda (örneğin Doğu yönüne bakan küçük mekanlarda) ise düşey gölgeleme elemanı kullanılmamalıdır.
- Cam türü seçimine ilişkin Solar Low-E cam (T_{vis} : 0.69) kullanıldığında, genellikle yetersiz görsel konfor düzeyi elde edilir ve gölgeleme elemanı kullanımı gerekmektedir. Diğer yandan Low-E Cam (T_{vis} : 0.79), özellikle geniş pencerelerde ve derin mekanlarda daha iyi görsel konfor koşullarının sağlanmasına olanak tanır. Pencere genişliği büyükse, hem Low-E hem Solar Low-E camlarla orta düzey görsel konfor sağlanabilmektedir.

Yerleşme senaryosu-2 için elde edilen tasarım kuralları;

- Küçük boyutlu mekanlarda (Genişlik ≤ 3.5 m, Derinlik ≤ 5.5 m) minimum görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik pencere genişliği 1.5 m'den büyük ve kamaşmayı sınırlandırmak için pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük olmalıdır. Pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük ise, gölgeleme elemanı derinliği 0.25 m'den az veya cam türü Low-E (T_{vis} : 0.79) olmalıdır. Pencere genişliği 1.5 m'den küçük ise pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük olmalı ve Low-E cam (T_{vis} : 0.79) kullanılmalıdır.
- Daha geniş mekanlarda (Genişlik > 3.5 m, Derinlik > 5.5 m) pencere genişliği 1.5 m'den küçük ise, pencere yüksekliği 2.25 m'den küçük; pencere genişliği 1.5 m'den büyük ise, pencere yüksekliği 1.85 m'den küçük olmalı ve cam türü olarak Low-E cam seçilmelidir.
- Genel olarak çok işlevli yaşama mekanında görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için minimum pencere genişliği 1.5 m olmalıdır. Orta görsel konfor düzeyinin sağlanması için ise genişliği 2.5 m'ye eşit veya daha küçük pencereler tasarlanmalıdır. Pencere genişliği 2.5 m'den büyükse, pencere yüksekliği 1.85 m'den büyük olmalıdır.
- Gölgeleme elemanı tasarımı bakımından görsel konfor koşullarının sağlanması için gölgeleme elemanına ait genişlik maksimum 0.75 m olmalıdır. Pencere

yüksekliğinin 1.85 m'den büyük olduğu ve pencere genişliğinin 1.5 m'den küçük olduğu durumlarda gölgeleme elemanı kullanılmaması görsel konfor koşullarının sağlanması bakımından daha uygun bir yaklaşım olmaktadır.

- Cam türü seçimi bakımından çok işlevli yaşama mekanında 25° engel açısı etkisi altında orta düzey görsel konfor koşulunun sağlanması için Solar Low-E camların gölgeleme elemanı ile birlikte kullanılması gerekmektedir.
- Low-E camlar derin mekanlar ve büyük saydamlık oranları için daha yüksek konfor düzeylerini sağlamaktadır. Low-E camlar pencere genişliğinin 2.5 m'den az olduğu durumlarda minimum görsel konfor düzeyinin sağlanması için tercih edilmelidir.

Yerleşme senaryosu-3 için elde edilen tasarım kuralları;

- Küçük boyutlara sahip çok işlevli yaşama mekanlarında (genişlik veya derinlik 3.5 m'den küçük) pencere yüksekliği artırılmalı veya ışık yansıtma katsayısı yüksek cam türleri tercih edilmelidir. Orta büyüklükteki yaşama mekanlarında (genişlik 3.5 m – 4.5 m veya derinlik 3.5 m – 5.5 m) pencere genişliği 1.5 m – 3.5 m arasında olmalı, pencereler gölgeleme elemanlarıyla desteklenmelidir. Yaşama mekanı boyutlarının daha büyük olduğu durumda (genişlik veya derinlik 4.5 m'den büyük) pencere genişliği 2.5 m'den büyükse, pencere yüksekliği 1.85 m veya daha küçük olmalıdır.
- Pencere boyutlarına ilişkin genel olarak pencere genişliği küçükse (≤ 1.5 m), pencere yüksekliği artırılmalıdır (≥ 2.25 m). Geniş pencerelerde (≥ 2.5 m), pencere yükseklikleri kamaşmayı sınırlandırmak için belirli sınırlar içerisinde (≤ 1.85 m veya ≥ 2.25 m) tutulmalıdır.
- Çok işlevli yaşama mekanında görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik 2.5 m'nin üzerindeki pencere genişlikleri için gölgeleme elemanı kullanılması gerekmektedir. Ancak gölgeleme elemanına ait derinlik değeri en fazla 0.75 m olmalıdır.
- Cam türü bakımından genel olarak Low-E camlar iç mekan günışığı aydınlık düzeyinin artırılması için seçilmelidir. Solar Low-E camlar ise özellikle büyük pencerelerde veya Doğu-Batı yönlü mekanlarda kamaşma kontrolünün sağlanması bakımından önerilmektedir.

Her bir yerleşme senaryosu için belirlenen doğal aydınlatma sistemi tasarım önerilerinin yanı sıra farklı engel durumları etkisi altında çok işlevli yaşama mekanında gerçekleşen görsel konfor koşulları üzerinde etkili olan tasarım parametreleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda herhangi bir engel etkisinin olmadığı durumda (YS-1) yönelim, pencere genişliği ve gölgeleme elemanına ait derinlik parametreleri yaşama mekanındaki görsel konfor sınıfının belirlenmesinde en önemli doğal aydınlatma sistemi parametreleri olmaktadır. Benzer şekilde 25° engel açısının gerçekleştiği durumlar (YS-2) için çok işlevli yaşama mekanı görsel konfor düzeyi üzerinde etkili olan parametreler yönelim, gölgeleme elemanı derinliği ve pencere genişliği olarak sıralanmaktadır. 45° engel açısının gerçekleştiği yerleşme senaryoları (YS-3) için ise görsel konfor düzeyi üzerinde etkili olan doğal aydınlatma sistemi parametreleri pencere genişliği, gölgeleme elemanı derinliği ve pencere yüksekliği olarak belirlenmektedir.

Tez çalışması kapsamında çok işlevli yaşama mekanlarına yönelik geliştirilen karar modeli hem kullanılan yöntem hem de elde edilen sonuçlar bakımından güncel literatüre aşağıda belirtilen özgün katkıları sunmaktadır;

- Farklı işlevlerin aynı anda gerçekleştirildiği mekanlarda görsel konfor gereksinimlerinin belirlenmesine yönelik bütüncül bir yaklaşım geliştirilmesi.
- Çok işlevli mekanlarda farklı görsel eylemlere ilişkin görsel konfor koşullarının sağlanması için doğal aydınlatma sistemi performansının ağırlıklı sınıflandırmaya dayalı olarak kategorik değerlendirilmesi.
- Görsel konfor koşullarına yönelik elde edilen büyük ölçekteki simülasyon verisinin veri madenciliği aracılığıyla anlaşılabilir ve uygulanabilir bir doğal aydınlatma sistemi tasarım bilgisine dönüştürülmesi, böylece farklı disiplinler tarafından kullanılan bir yöntemin yenilikçi bakış açısı ile bina tasarımı alanında kullanılması.
- Geliştirilen müfredat karar ağacı tahmin modeli sayesinde tasarım rehberlerine altlık olabilecek bir tasarım karar destek modelinin üretilmesi.
- Çok işlevli konut mekanlarında görsel konfor koşullarını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımına yönelik tasarım bilgisinin elde edilmesi.

*“Konut Binalarında Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımına Yönelik Veri Madenciliğine Dayalı Karar Modeli”*nin uygulanması ile tasarım sürecinde modelleme ve simülasyon aşamaları için harcanan uzun sürelerin azaltılması, böylelikle tasarım sürecinin

hızlandırılması beklenmektedir. Model aynı zamanda tasarım sürecinde verilen belirli bir tasarım kararının performansı hakkında uygulama öncesinde bir öngörü sunarak, önerilen tasarım seçeneğinin yaşama mekanında sağlayacağı görsel konfor koşulları hakkında ön fikir vermektedir. Geliştirilen modelin kullanılması ile çok işlevli konut mekanlarında farklı görsel eylemlere ilişkin görsel ihtiyaçların karşılandığı, böylece kullanıcıların kendilerini konforlu hissettiği konut mekanlarının tasarlanması için bir altlık oluşturulmaktadır. Görsel konforun yanı sıra geliştirilen modelin kullanımı sonucu doğal aydınlatma sistemine dayalı tasarlanan çok işlevli konut mekanlarının, kişilerin sağlık ve esenliğinin iyileştirilmesine, çalışma performanslarının artırılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Diğer yandan geliştirilen karar modeli yardımı ile kişilerin görsel açıdan konforlu hissettiği mekanların tasarlanması, günümüzde bina tipolojilerine bağlı enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan konut binalarında önemli bir parametre olan aydınlatmaya yönelik enerji tüketimlerinin azaltılmasına imkan vermektedir. Bu doğrultuda geliştirilen model konut binalarında iç ortam konforunun artırılmasına ek olarak günümüzde kritik öneme sahip olan enerji etkin bina tasarımı bağlamında bir tasarım rehberi olabilecek niteliktedir. Çok işlevli konut mekanlarında geliştirilen doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modelinin uygulanması ile başta aydınlatma enerji tüketimi olmak üzere toplam bina enerji tüketiminde düşüş sağlanarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunulabilecektir.

Geliştirilen model kapsamında kullanılan veri madenciliği yöntemi aracılığı ile doğal aydınlatma sistemi tasarım sürecinde alınacak kararların daha bilinçli, nesnel ve performans odaklı şekilde verilmesi mümkün olmaktadır. Aynı zamanda farklı görsel konfor kriterlerinin eş zamanlı olarak ele alınması ile görsel konfor koşullarının bütüncül bir şekilde değerlendirilmesine imkan sağlanmaktadır. Böylece, veri madenciliği, doğal aydınlatma sistemi tasarımı gibi karmaşık tasarım problemlerine rasyonel çözümler geliştirilmesini kolaylaştırarak, daha konforlu ve sürdürülebilir binaların tasarlanmasına zemin hazırlamaktadır.

Ayrıca, geliştirilen karar modeli gelecekte konut mekanlarında doğal aydınlatma sistemi tasarımına dayalı görsel konfor koşullarını tahmin eden bir yapay zeka modeline dönüştürülebilir özelliktedir. Gelişen teknoloji ile birlikte bina tasarım pratiğinde yapay zeka teknolojilerinin ağırlığının arttığı göz önüne alındığında, önerilen model ge-

leceğin konforlu ve enerji etkin yapı tasarımına ilişkin bina profesyonellerince kullanılacak önemli bir yapay zeka destekli karar destek aracı adayıdır. Böylece tasarımcıların, belirli engel etkileri altında farklı görsel eylemleri dikkate alarak konut mekanlarında görsel konfor koşullarını sağlayan mekan ve doğal aydınlatma sistemi tasarımını entegre bir şekilde yürütebilecekleri bir tasarım destek sistemi geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

Geliştirilen modelin farklı yöreler için kullanımı, ilgili yörenin meteorolojik verilerinden günışığı etkin saatlerin belirlenmesi ve modele girdi olarak sunulması ile mümkün olabilmektedir. Diğer yandan çok işlevli yaşama mekanları üzerinden uygulanan karar modeli, günümüzde ortaya çıkan interaktif ofis mekanları ve eğitim mekanları için de gerçekleştirilen eylemlere yönelik tanımlamaların yeniden yapılması ile uygulanabilir. Bu doğrultuda farklı görsel eylemler için konfor gereksinimlerini sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarımları geliştirilen model ve uygulanan yöntem yardımıyla gerçekleştirilebilir.

Gerçekleştirilen tez çalışması, elde edilen modele ve sunulan sonuçlara ek olarak; çok işlevli konut mekanlarında ele alınan eylemlere yönelik kullanıcı geri bildirimleri ile görsel konfor sınıflandırmasına ilişkin doğrulanmış kriter ağırlıklarının elde edilmesi, enerji ve konforun bütünsel analizinin bir arada gerçekleştirilmesi ve farklı veri madenciliği modellerinin uygulanması ile model hatalarının minimuma indirilmesi, böylelikle gerçek senaryolar ile uyumluluk oranı artırılmış doğal aydınlatma sistemi tasarımı karar modellerinin elde edilmesi bakımından gelecek çalışmalar için öneriler sunmaktadır. Ancak hali hazırda çalışmadan elde edilen sonuçlar, konut binalarında doğal aydınlatma sistemi tasarım kararını verme sürecini etkin hale getirebilmede modelin önemli bir potansiyele sahip olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. Dahası, günün büyük bir bölümünde kullanılan ve farklı görsel eylemlerin sıklıkla gerçekleştirildiği günümüzün çok işlevli konut mekanlarında kullanıcı görsel konfor ihtiyaçlarının enerji etkin bir şekilde karşılanmasına yönelik ilgili çalışma alanına yenilikçi bir katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abboushi, B., Elzeyadi, I., Van Den Wymelenberg, K., Taylor, R., Sereno, M., & Jacobsen, G.** (2021). Assessing the Visual Comfort, Visual Interest of Sunlight Patterns, and View Quality under Different Window Conditions in an Open-Plan Office. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 17(4), 321-337. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1785309>
- Abidi, S., & Rajagopalan, P.** (2020). Investigating daylight in the apartment buildings in Melbourne, Australia. *Infrastructures*, 5(10). <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES5100081>
- Acosta, I., Campano, M. Á., Bellia, L., Fragliasso, F., Diglio, F., & Bustamante, P.** (2023). Impact of Daylighting on Visual Comfort and on the Biological Clock for Teleworkers in Residential Buildings. *Buildings*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/buildings13102562>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.005>
- Adedoyin, O. B., & Soykan, E.** (2020). Covid-19 pandemic and online learning: the challenges and opportunities. *Interactive Learning Environments*, 0(0), 1-13. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1813180>
- Aguilar-Carrasco, M. T., Díaz-Borrego, J., Acosta, I., Campano, M. Á., & Domínguez-Amarillo, S.** (2023). Validation of lighting parametric workflow tools of Ladybug and Solemma using CIE test cases. *Journal of Building Engineering*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105608>
- Aguilar-Shea, A. L.** (2021). Vitamin D, the natural way. *Clinical Nutrition ESPEN*, 41, 10-12. <https://doi.org/10.1016/J.CLNESP.2020.12.001>
- Ahadi, A. A., Saghafi, M. R., & Tahbaz, M.** (2017). The study of effective factors in daylight performance of light-wells with dynamic daylight metrics in residential buildings. *Solar Energy*, 155, 679-697. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.005>
- Ahmed, A., Korres, N. E., Ploennigs, J., Elhadi, H., & Menzel, K.** (2011). Mining building performance data for energy-efficient operation. *Advanced Engineering Informatics*, 25(2), 341-354. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.10.002>
- Ahmed, A., Otreba, M., Korres, N. E., Elhadi, H., & Menzel, K.** (2011). Assessing the performance of naturally day-lit buildings using data mining. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 364-379. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.09.002>

- Akgün, A.** (2019). *Veri Madenciliği Sınıflandırma Yöntemlerinin Etkinliğinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi: Seyahat Acentası Örneği*. (Doktora Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Akoglu, H.** (2018). User's guide to correlation coefficients. *İçinde Turkish Journal of Emergency Medicine* (C. 18, Sayı 3). <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- Akpınar, H.** (2018). *DATA: Veri Madenciliği Veri Analizi* (2. bs). Papatya Bilim.
- AL-Dossary, A. M., & Kim, D. D.** (2020). A Study of Design Variables in Daylight and Energy Performance in Residential Buildings under Hot Climates. *Energies*, 13(21), 5836. <https://doi.org/10.3390/en13215836>
- Alfirević, Đ., & Alfirević, S. S.** (2024). *Principles of Residential Space Configuration*. Planeta print d.o.o. Belgrad, Sırbistan.
- Alga, R.** (2005). *Yaşam Döngüsüne Bağlı Olarak Konut Tasarımını Etkileyen Faktörler*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alkan, L.** (2014). 1980 Sonrası Konut Politikalarının Mekansal Yansımaları: Ankara Örneği. *İDEALKENT*, 5(12), 103-131.
- Almaiyah, S., & Elkadi, H.** (2012). Study on the Visual Performance of a Traditional Residential Neighborhood in Old Cairo. *Journal of Urban Technology*, 19(4), 59-86. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.649913>
- Altomonte, S.** (2009). Daylight for Energy Savings and Psycho-Physiological Well-Being in Sustainable Built Environments. *Journal of Sustainable Development*, 1(3), 3-16. <https://doi.org/10.5539/jsd.v1n3p3>
- Altunkaynak, B.** (2017). *Veri Madenciliği Yöntemleri ve R Uygulamaları* (2.Basım). Seçkin Yayıncılık.
- Amorim, C. N. D., Vásquez, N. G., Kanno, J. R., & Matusiak, B.** (2021). Lighting Conditions In Brazilian And Colombian Home Offices: A Preliminary Study Based On Occupant'S Perception. *Proceedings of the Conference CIE 2021*, 280-289. <https://doi.org/10.25039/x48.2021.OP33>
- Andargie, M. S., Touchie, M., & O'Brien, W.** (2019). A review of factors affecting occupant comfort in multi-unit residential buildings. *Building and Environment*, 160(June), 106182. <https://doi.org/10.1016/j.builenv.2019.106182>
- Arbab, M., Rahbar, M., & Arbab, M.** (2021). A Comparative Study of Artificial Intelligence Models for Predicting Interior Illuminance. *Applied Artificial Intelligence*, 35(5). <https://doi.org/10.1080/08839514.2021.1882794>
- Aries, M. B. C., Aarts, M. P. J., & Van Hoof, J.** (2015). Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research and Technology*, 47(1), 6-27. <https://doi.org/10.1177/1477153513509258>
- Aries, M. B. C., 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.

- Arpacioğlu, Ü. T.** (2010). *Günüşiği Öncelikli Fiziksel Çevre Tasarım Destek Modeli*. (Doktora Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslan, R.** (2015). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bütünleştirilmesi: OECD Verileri Üzerine Bir Uygulama*. (Doktora Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Ashdown, I., Bedocs, L., Carroll, W., & De Boer, J.** (2006). *CIE 171:2006 Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs* (F. Mamari, Ed.). Commission International d'Eclairage (CIE) Technical Committee TC3.33. Wien.
- Aslanoğlu, R., Kazak, J. K., Yekanielibeglou, S., Pracki, P., & Ulusoy, B.** (2021). An international survey on residential lighting: Analysis of winter-term results. *Building and Environment*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108294>
- Aslanoğlu, R., Pracki, P., Kazak, J. K., Ulusoy, B., & Yekanielibeglou, S.** (2021). Short-term analysis of residential lighting: A pilot study. *Building and Environment*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107781>
- Aslanoğlu, R., Ulusoy, B., Racki, P., Kazak, J. K., & YEKANİALİBEİĞLOU, S.** (2021). Konut Aydınlatmasına İlişkin Uluslararası Bir Araştırma. *13.Ulusal Aydınlatma Kongresi*, 1-7. <https://doi.org/978-975-561-524-0>
- Awada, M., Becerik-Gerber, B., Lucas, G., & Roll, S. C.** (2021). Associations Among Home Indoor Environmental Quality Factors and Worker Health While Working From Home During COVID-19 Pandemic. *Journal of Engineering for Sustainable Buildings and Cities*, 2(4). <https://doi.org/10.1115/1.4052822>
- Ayoub, M.** (2019a). 100 Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. *Solar Energy*, 194(August), 360-390. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.072>
- Ayoub, M.** (2019b). A multivariate regression to predict daylighting and energy consumption of residential buildings within hybrid settlements in hot-desert climates. *Indoor and Built Environment*, 28(6), 848-866. <https://doi.org/10.1177/1420326X18798164>
- Ayoub, M.** (2020). A review on machine learning algorithms to predict daylighting inside buildings. *Solar Energy*, 202(January), 249-275. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.104>
- Baba, F. M., Ge, H., Zmeureanu, R., & Wang, L. (Leon).** (2023). Optimizing over-heating, lighting, and heating energy performances in Canadian school for climate change adaptation: Sensitivity analysis and multi-objective optimization methodology. *Building and Environment*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110336>
- Baker, N., & Steemers, K.** (2002). *Daylight Design Of Building*. James & James.
- Bakır, M., & Atalık, Ö.** (2018). Entropi ve Aras Yöntemleriyle Havayolu İşletmelerinde Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 617-638.

- Batool, A., Rutherford, P., McGraw, P., Ledgeway, T., & Altomonte, S. (2021).** Window Views: Difference of Perception during the COVID-19 Lock-down. *LEUKOS*, 17(4), 380-390. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1854780>
- Berköz, E., Küçükdoğu, M. Ş., Yılmaz Aygün, Z., Enarun, D., Ünver, R., Koca-aslan, G., Yıldız, E., Köknel Yener, A., Ak, F., & Yıldız, D. (1995).** *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Proje No: İNTAG 201.*
- Boubekri, M. (2008).** *Daylighting, Architecture and Health Building Design Strategies* (First). Architectural Press Elsevier Ltd.
- Bournas, I. (2020).** Daylight compliance of residential spaces: Comparison of different performance criteria and association with room geometry and urban density. *Building and Environment*, 185, 107276. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107276>
- Boyce, P. (2014).** *Human Factors in Lighting* (Third Edit). Taylor & Francis Group.
- Bozkır, A. S. (2009).** *Olap ve Veri Madenciliği Teknolojilerinden Yararlanılarak Web Tabanlı Bir Karar Destek Sisteminin Gerçekleştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- BRE. (2022).** *BREEAM International New Construction Version 6.0- Technical Manual:SD250.*
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (2017).** Classification and regression trees. İçinde *Classification and Regression Trees*. <https://doi.org/10.1201/9781315139470>
- Brophy, V., & Lewis, J. O. (2011).** *A Green Vitruvius Principles And Practice Of Sustainable Architectural Design* (2nd bs). Earthscan.
- Bruha, I. (2001).** *Pre- and Post-processing in Machine Learning and Data Mining*. 258-266. https://doi.org/10.1007/3-540-44673-7_13
- British Standard Institute. (2018).** *BS EN 17037: Daylight in buildings*. <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030342286>
- Bulgurcu, H., & Özer, C. (2017).** *Bina Gölgeleme Sistemleri ile Binalarda Enerji Verimliliği*. <https://www.iskteknik.com/makale/bina-golgeleme-sistemleri-ile-binalarda-enerji-verimliliği>
- Burns, A. C., Saxena, R., Vetter, C., Phillips, A. J. K., Lane, J. M., & Cain, S. W. (2021).** Time spent in outdoor light is associated with mood, sleep, and circadian rhythm-related outcomes: A cross-sectional and longitudinal study in over 400,000 UK Biobank participants. *Journal of Affective Disorders*, 295, 347-352. <https://doi.org/10.1016/J.JAD.2021.08.056>
- Canlı, İ., Işeri, O. K., & Gürsel Dino, İ. (2021, Ekim).** Comparison of Different Data-Driven Models on Prediction of Useful Daylight Illuminance (UDI). *Second International Symposium on Architecture, Technology, and Innovation, 'Designing for Uncharted Territories' ATI 2021.*
- Cantin, F., & Dubois, M.-C. (2011).** Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity. *Lighting Research and Technology*, 43, 291-307.

- Cariboni, J., Gatelli, D., Liska, R., & Saltelli, A.** (2007). The role of sensitivity analysis in ecological modelling. *Ecological Modelling*, 203(1-2). <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.10.045>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.03.062>
- Chaturvedi, P. K., Kumar, N., Lamba, R., & Mehta, K.** (2025). Multi-objective optimization of glazing and shading configurations for visual, thermal, and energy performance of cooling dominant climatic regions of India. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/S10098-024-03114-4/FIGURES/9>
- Chen, Z., Hammad, A. W. A., 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), 1-27. <https://doi.org/10.3390/buildings10110206>
- Cheong, C., Kim, T., & Leigh, S.-B.** (2014). Thermal and Daylighting Performance of Energy-Efficient Windows in Highly Glazed Residential Buildings: Case Study in Korea. *Sustainability*, 6(10), 7311-7333. <https://doi.org/10.3390/su6107311>
- Chi, D. A.** (2021). An approach to determine specific targets of daylighting metrics and solar gains for different climatic regions. *Journal of Daylighting*, 8(1), 1-19. <https://doi.org/10.15627/jd.2021.1>
- Chi, D. A., Moreno, D., Esquivias, P. M., & Navarro, J.** (2017). Optimization method for perforated solar screen design to improve daylighting using orthogonal arrays and climate-based daylight modelling. *Journal of Building Performance Simulation*, 10(2). <https://doi.org/10.1080/19401493.2016.1197969>
- Chi, F., Wang, Y., Wang, R., Li, G., & Peng, C.** (2020). An investigation of optimal window-to-wall ratio based on changes in building orientations for traditional dwellings. *Solar Energy*, 195(November 2019), 64-81. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.033>
- Ciardiello, A., Rosso, F., Dell'Olmo, J., Ciancio, V., Ferrero, M., & Salata, F.** (2020). Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design. *Applied Energy*, 280(October). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115984>
- CIBSE.** (1999). *LG10: Daylighting and Window Design (Lighting Guide)*. The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- CIE.** (2020). *CIE International Lighting Vocabulary*. CIE. <https://cie.co.at/e-ilv>
- Cooper, C. C.** (1975). *Easter Hill Village: some design implications*. Free Press.
- Corrodi, M., Spechtenhauser, K., & Auer, G.** (2014). *Illuminating: Natural Light in Residential Architecture* (G. 'Auer, Ed.). Brickhauser Verlag AG.
- Coşkun, C., & Baykal, A.** (2011). Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Algoritmalarının Bir Örnek Üzerinde Karşılaştırılması. *Akademik Bilişim*, 1-8.

- Cui, Y., Gong, Q., Huang, C., Guo, F., Li, W., Wang, Y., & Cheng, X.** (2021). The relationship between sunlight exposure duration and depressive symptoms: A cross-sectional study on elderly Chinese women. *PLOS ONE*, 16(7), e0254856. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254856>
- Czachura, A., Kanters, J., Wall, M., & Gentile, N.** (2024). Enhancing daylighting predictions in urban planning: A workflow for setting bespoke Vertical Sky Component (VSC) targets. *Building and Environment*, 266, 112066. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112066>
- Çelik, K.** (2018). *Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı İçin Bütüncül Bir Yaklaşım*. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, M.** (2009). *Veri Madenciliğinde Kullanılan Sınıflandırma Yöntemleri ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Dabab, M., Freiling, M., Rahman, N., & Sagalowicz, D.** (2018). A Decision Model for Data Mining Techniques. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 1-8.
- Dabe, T. J., & Dongre, A. R.** (2018). Analysis of performance of the daylight into critical liveable area of ‘type design’ dwelling unit on the basis of daylight metrics for hot and dry climate. *Indoor and Built Environment*, 27(1), 129-142. <https://doi.org/10.1177/1420326X16669844>
- D’alessandro, D., Gola, M., Appolloni, L., Dettori, M., Fara, G. M., Rebecchi, A., Settimo, G., & Capolongo, S.** (2020). COVID-19 and living space challenge. Well-being and public health recommendations for a healthy, safe, and sustainable housing. *Acta Biomedica*, 91(July), 61-75. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i9-S.10115>
- Darula, S., & Malikova, M.** (2017). Sunlight Exposure: Minimum Solar Altitude. *Proceedings of the 22nd International Conference SVETLO / LIGHT 2017*.
- Data Mining Concepts.** (t.y.). Erişim tarihi: 19 Nisan 2025. Erişim Adresi: https://docs.oracle.com/cd/B28359_01/datamine.111/b28129/registration.htm#DMCON005
- David, M., Donn, M., Garde, F., & Lenoir, A.** (2011). Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. *Building and Environment*, 46(7), 1489-1496. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.01.022>
- De Luca, F., Dogan, T., & Kurnitski, J.** (2018). Methodology for determining fenestration ranges for daylight and energy efficiency in Estonia. *Simulation Series*, 50(7), 47-54. <https://doi.org/10.22360/simaud.2018.simaud.007>
- De Luca, F., Sepúlveda, A., & Varjas, T.** (2022). Multi-performance optimization of static shading devices for glare, daylight, view and energy consideration. *Building and Environment*, 217, 109110. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109110>

- Demirezen, S., & Çetin, M.** (2021). Rassal Orman Regresyonu Ve Destek Vektör Regresyonu İle Piyasa Takas Fiyatının Tahmini. *Nicel Bilimler Dergisi*, 3(1), 1-15.
- Dervishaj, A., & Gudmundsson, K.** (2024). Sunlight Autonomy for Buildings: A New Methodology for Evaluating Sunlight Performance in Urban and Architectural Design. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*. <https://doi.org/10.1080/15502724.2023.2297967>
- D'Oca, S., & Hong, T.** (2014). A data-mining approach to discover patterns of window opening and closing behavior in offices. *Building and Environment*, 82, 726-739. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.021>
- Dogan, T., & Park, Y. C.** (2019). A critical review of daylighting metrics for residential architecture and a new metric for cold and temperate climates. *Lighting Research and Technology*, 51(2), 206-230. <https://doi.org/10.1177/1477153518755561>
- Dogan, T., & Park, Y. C.** (2020). Testing the residential daylight score: Comparing climate-based daylighting metrics for 2444 individual dwelling units in temperate climates. *İçinde Lighting Research and Technology* (C. 52, Sayı 8, ss. 991-1008). <https://doi.org/10.1177/1477153520924838>
- Dubois, M. C., & Blomsterberg, Å.** (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future north european, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43(10), 2572-2582. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.001>
- Durmuş, M.** (2015). *Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Uşak Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uşak.
- Ebrahimi-Moghadam, A., Ildarabadi, P., Aliakbari, K., Arabkoohsar, A., & Fadaee, F.** (2020). Performance analysis of light shelves in providing visual and thermal comfort and energy savings in residential buildings. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(9), 1-18. <https://doi.org/10.1007/S40430-020-02565-2/FIGURES/18>
- Ekici, B., Kazanasmaz, Z. T., Turrin, M., Taşgetiren, M. F., & Sariyildiz, I. S.** (2021). Multi-zone optimisation of high-rise buildings using artificial intelligence for sustainable metropolises. Part 1: Background, methodology, setup, and machine learning results. *Solar Energy*, 224(July), 373-389. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.083>
- Eltaweel, A., & SU, Y.** (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(February), 1086-1103. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.011>
- Ergün, A. N.** (2010). *İstanbul'da 90'lardan Günümüze Gelişen Konut Tipleri, Mekan Çözümleri Ve Tercihlerin Karşılaştırmalı Analizi*. (Yüksek Lisans). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Eurostat.** (t.y.). *Energy consumption in households*. Erişim tarihi: 21 Mart 2025. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households
- Fakhari, M., & Fayaz, R.** (2023). Investigating the interrelation of influential parameters on indoor daylight quality using structural equation modeling. *Solar Energy*, 256, 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.04.008>
- Frontczak, M., Andersen, R. V., & Wargocki, P.** (2012). Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment*, 50, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.012>
- Gali Taşçı, G.** (2020). Analysis of Comfort Conditions in Luxury High-Rise Residences under the Effect of Pandemic Period. *Journal of Urban Culture and Management*, 13, 2146-9229.
- Giudici, P., & Figini, S.** (2009). *Applied Data Mining for Business and Industry*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Guitouni, A., & Martel, J. M.** (1998). Tentative Guidelines To Help Choosing An Appropriate MCDA Method. *European Journal Of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Ha, J., Kambe, M., & Pe, J.** (2012). Data Mining: Concepts and Techniques. İçinde *Data Mining: Concepts and Techniques*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61819-5>
- Hamby, D. M.** (1994). A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32(2), 135-154. <https://doi.org/10.1007/BF00547132/METRICS>
- Hammad, A., Akbarnezhad, A., Grzybowska, H., Wu, P., & Wang, X.** (2019). Mathematical optimisation of location and design of windows by considering energy performance, lighting and privacy of buildings. *Smart and Sustainable Built Environment*, 8(2), 117-137. <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2017-0070>
- Han, Y., Yu, H., & Sun, C.** (2017). Simulation-Based Multiobjective Optimization of Timber-Glass Residential Buildings in Severe Cold Regions. *Sustainability* 2017, Vol. 9, Page 2353, 9(12), 2353. <https://doi.org/10.3390/SU9122353>
- Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., & Sopian, K.** (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 323-343. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.020>
- Heidari, A., Taghipour, M., & Yarmahmoodi, Z.** (2021). The Effect of Fixed External Shading Devices on Daylighting and Thermal Comfort in Residential Building. *Journal of Daylighting*, 8(2), 165-180. <https://doi.org/10.15627/jd.2021.15>

- Heiselberg, P., Brohus, H., Hesselholt, A., Rasmussen, H., Seinre, E., & Thomas, S.** (2009). Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings. *Renewable Energy*, 34(9), 2030-2036. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2009.02.016>
- Heschong, L., Aumann, D., & Oaks, F.** (2003). *Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*. California Energy Commission, USA.
- Hopfe, C. J., & Hensen, J. L. M.** (2011). Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. *Energy and Buildings*, 43(10), 2798-2805. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.034>
- Hopkins, R., G., Petherbridge, P., Longmore, J.** (1966). *Daylighting*. Heinemann.
- Hosney Lila, A. M., & Lannon, S.** (2017). A parametric sensitivity analysis of the impact of built environment geometrical variables on building energy consumption. *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive, PLEA 2017*, 2.
- Husin, S. N. F. S., & Harith, Z. Y. H.** (2012). The Performance of Daylight through Various Type of Fenestration in Residential Building. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 36(June 2011), 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.022>
- Idrissi Kaitouni, S., Pfafferott, J., Jamil, A., Ahachad, M., & Brigui, J.** (2023). A holistic digital workflow methodology to shifting towards net zero energy urban residential buildings in a semi-arid climate. *Solar Energy*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111959>
- IEA.** (t.y.). *Lighting*. Erişim tarihi 21 Mart 2025, Erişim adresi: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/lighting>
- IEA Technical Report Task 50.** (2016). *Advanced Lighting Solution For Retrofitting Buildings / Daylight Assessment Methods*.
- IES.** (2013). *LM-83-12 : Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. American National Standard.
- IESNA.** (2011). *Illuminating Engineering Society, The Lighting Handbook Tenth Edition: Reference and Application* (D. L. DiLaura, K. W. Houser, R. G. Mistrick, & G. R. Steffy, Ed.; 10th bs). Illumination Engineering Society of North America.
- Jakubiec, A. J.** (2022). *Spectral Materials Database*. <https://spectraldb.com/>
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C.** (2012). The 'Adaptive Zone' – a concept for assessing glare throughout daylit spaces. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 149-170.
- Jakubiec, J. A., Srisamranrungruang, T., Kong, Z., Quek, G., & Talami, R.** (2020). Subjective and Measured Evidence for Residential Lighting Metrics in the Tropics. *Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA*, 16(September), 1151-1159. <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210898>

- Jamrozik, A., Clements, N., Hasan, S. S., Zhao, J., Zhang, R., Campanella, C., Loftness, V., Porter, P., Ly, S., Wang, S., & Bauer, B.** (2019). Access to daylight and view in an office improves cognitive performance and satisfaction and reduces eyestrain: A controlled crossover study. *Building and Environment*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106379>
- Jayaweera, N., Rajapaksha, U., & Manthilake, I.** (2021a). A parametric approach to optimize solar access for energy efficiency in high-rise residential buildings in dense urban tropics. *Solar Energy*, 220(September 2020), 187-203. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.054>
- Jayaweera, N., Rajapaksha, U., & Manthilake, I.** (2021b). Enhancing The Daylight And Energy Performance Of External Shading Devices In High-Rise Residential Buildings In Dense Urban Tropics. *Journal of Green Building*, 16(3), 87-108. <https://doi.org/10.3992/JGB.16.3.87>
- Ji, G.** (2020). Daylight Availability and Occupant Visual Comfort in Seattle Multi-Family Housing. *ASHRAE Topical Conference Proceedings. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., September*, 93-102.
- Joint Research Centre-European Commission.** (2008). SimLab v.2.2 reference manual. Erişim tarihi: 10 Nisan 2025, Erişim adresi: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://valko.alkmat.hu/sites/default/files/Manual_Ver2.2.pdf>
- K. Van den Wymelenberg, M. I., & Johnson, P.** (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment. *Journal of the Illuminating Engineering Society (IES)*, 7(2), 103-122.
- Kantardzic, M.** (2011). *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms* (2nd Edition). Wiley-IEEE Press.
- Kaplan, R.** (2001). The Nature of the View from Home: Psychological Benefits. *Environment And Behavior*, 33(4), 507-542.
- Kavasoğulları, A.** (2021). Konut İç Mekan Tasarımında Renk ve Aydınlatma Sisteminin Kullanıcı Konforuna Etkileri. *Mimarlık ve Yaşam*, 6(2), 583-593.
- Keighley, E. C.** (1973). Visual requirements and reduced fenestration in office buildings — A study of window shape. *Building Science*, 8(4), 311-320. [https://doi.org/10.1016/0007-3628\(73\)90016-9](https://doi.org/10.1016/0007-3628(73)90016-9)
- Keighly, E. C.** (1973a). Visual requirements and reduced fenestration in office buildings – A study of window shape. *Build. Sci*, 8, 311–320.
- Keighly, E. C.** (1973b). Visual requirements and reduced fenestration in offices – A study of multiple apertures and window area. *Build. Sci*, 8, 321–331.
- Keleş, R., & Yılmaz, M.** (2004). Sürdürülebilir konut tasarımı ve doğal çevre. *Tarihi Kentler Birliği Dergisi*, 13, 48-51.
- Kent, M., & Schiavon, S.** (2020). Evaluation of the effect of landscape distance seen in window views on visual satisfaction. *Building and Environment*, 183(July), 107160. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107160>

- Keser Aschenberger, F., Radinger, G., Brachtel, S., Ipser, C., & Oppl, S. (2023).** Physical home learning environments for digitally-supported learning in academic continuing education during COVID-19 pandemic. *Learning Environments Research*, 26(1), 97-128. <https://doi.org/10.1007/s10984-022-09406-0>
- Khademolqorani, S., & Hamadani, A. Z. (2013).** An Adjusted Decision Support System through Data Mining and Multiple Criteria Decision Making. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 73, 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.02.066>
- Kharvari, F. (2020).** A field-validated multi-objective optimization of the shape and size of windows based on daylighting metrics in hot-summer mediterranean and dry summer continental climates. *Journal of Daylighting*, 7(2), 222-237. <https://doi.org/10.15627/jd.2020.19>
- Kılıç, Z. A. (2018).** *Cephe Açıklıklarının İç Mekandaki Güneşli Performansına Etkisinin Konut Örneğinde İncelenmesi*. (Yüksek Lisans). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kim, G., Lim, H. S., & Kim, J. T. (2015).** Sustainable lighting performance of refurbished glazed walls for old residential buildings. *Energy and Buildings*, 91, 163-169. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.12.058>
- Kim, G., Soo, H., Sub, T., Schaefer, L., & Tai, J. (2012).** Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings. *Energy & Buildings*, 46, 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.040>
- Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., Hobday, R., Wirz-Justice, A., Martiny, K., Kantermann, T., Aarts, M. P. J., Zemmouri, N., Appelt, S., & Norton, B. (2020).** Daylight: What makes the difference? *Lighting Research and Technology*, 52(3), 423-442. <https://doi.org/10.1177/1477153519869758>
- Ko, W. H., Schiavon, S., Santos, L., Kent, M. G., Kim, H., & Keshavarzi, M. (2023).** View access index: The effects of geometric variables of window views on occupants' satisfaction. *Building and Environment*, 234, 110132. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.110132>
- Konstantzos, I., Chan, Y. C., Seibold, J. C., Tzempelikos, A., Proctor, R. W., & Protzman, J. B. (2015).** View clarity index: A new metric to evaluate clarity of view through window shades. *Building and Environment*, 90, 206-214. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.04.005>
- Konstantzos, I., Tzempelikos, A. (2017).** Daylight glare evaluation with the sun in the field of view through window shades. *Build. Environ.*, 113, 65-77.
- Kumral, C. D. Y. T., TOPAL, A., ERSOY, M., ÇOLAK, R., & Yiğit, T. (2022).** Random Forest Algoritmasının FPGA Üzerinde Gerçekleştirilerek Performans Analizinin Yapılması. *ECJSE*, 9(4), 1315-1327.
- Kutlu, R. (2008).** *İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Yaklaşım* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kutsal, S.** (2024). *Çok Aileli Konut Tasarımının Geleceği: Senaryo Tabanlı Bir Öngörü Modeli*. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Küçükdoğu, M. Ş.** (1976). *İklimsel Konfor ve Aydınlık Seviyesine Bağlı Görsel Konfor Gereksinimleri Açısından, Pencerelelerin Tasarlanmasında Kullanılabilecek Bir Yöntem*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Lau, K. L., Ng, E., & He, Z. J.** (2011). Residents' preference of solar access in high-density sub-tropical cities. *Solar Energy*, 85(9), 1878-1890. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.04.026>
- Lee, S. J., & Song, S. Y.** (2023). Energy efficiency, visual comfort, and thermal comfort of suspended particle device smart windows in a residential building: A full-scale experimental study. *Energy and Buildings*, 298, 113514. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2023.113514>
- Lehner, N.** (2015). *Heating, Cooling, Lighting*. John Wiley & Sons.
- Lezki, Ş.** (2014). Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Karar Ağacı Kullanımı. *Siirt Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisadi Yenilik Dergisi*, 2(1).
- Lilburne, L., & Tarantola, S.** (2009). Sensitivity analysis of spatial models. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(2). <https://doi.org/10.1080/13658810802094995>
- Littlefair J.Paul, King Stephanie, Howlett Gareth, Ticleanu Cosmin, & Longfield Adam.** (2022). *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice* (3rd Edition). S&P Global 2022.
- Littlefair, P. J.** (2011). *BRE Report Site Layout Planning for daylight and sunlight: A good practice* (2nd Edition). Building Research Establishment, Watford, U.K.
- Liu, J., Baghoolizadeh, M., Basem, A., Hamza, H., Sudhamsu, G., Al-Musawi, T. J., Sultan, A. J., Salahshour, S., & Alizadeh, A.** (2024). Geometrical optimization of solar venetian blinds in residential buildings to improve the economic costs of the building and the visual comfort of the residents using the NSGA-II algorithm. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 157, 107723. <https://doi.org/10.1016/J.ICHE-ATMASSTRANSFER.2024.107723>
- Lo Verso, V. R. M., Mihaylov, G., Pellegrino, A., & Pellerey, F.** (2017). Estimation of the daylight amount and the energy demand for lighting for the early design stages: Definition of a set of mathematical models. *Energy and Buildings*, 155, 151-165. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.014>
- Loche, I., Bleil de Souza, C., Spaeth, A. B., & Neves, L. O.** (2021). Decision-making pathways to daylight efficiency for office buildings with balconies in the tropics. *Journal of Building Engineering*, 43, 102596. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102596>
- Lu, M., & Du, J.** (2019). Dynamic evaluation of daylight availability in a highly-dense Chinese residential area with a cold climate. *Energy and Buildings*, 193, 139-159. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.03.045>

- Maleki, A., & Dehghan, N.** (2020). Optimization of energy consumption and daylight performance in residential building regarding windows design in hot and dry climate of Isfahan. *Science and Technology for the Built Environment*, 27(3), 351-366. <https://doi.org/10.1080/23744731.2020.1812294>
- Mangkuto, R. A., Rohmah, M., & Asri, A. D.** (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*, 164, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.046>
- Manu, S., Burgholz, T. M., Nabilou, F., Rewitz, K., El-Mokadem, M., Yadav, M., Chinazzo, G., Rupp, R. F., Azar, E., Syndicus, M., Sadick, A.-M., Schweiker, M., Crosby, S., Kong, M., Vakalis, D., Rysanek, A., Müller, D., Fels, J., van Treeck, C., ... Christoforou, R.** (2024). A state-of-the-art, systematic review of indoor environmental quality studies in work-from-home settings. *Building and Environment*, 259, 111652. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2024.111652>
- Mardaljevic, J.** (2000). *Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients* (Doktora Tezi). Loughborough University.
- Mardaljevic, J.** (2001). The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. *Lighting Research & Technology*, 33(2), 117-134. <https://doi.org/10.1177/136578280103300209>
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., & Christoffersen, J.** (2011). Daylighting Metrics For Residential Buildings. *4th VELUX Daylight Symposium*, May 4-5.
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., Christoffersen, J., Mardaljevic, J., A., Marilyne, R., & Nicolas, C. J.** (2011). Daylighting metrics for residential buildings. *Proceedings of the 27th Session of the CIE* (2011).
- Mardaljevic, J., & Christoffersen, J.** (2013). A roadmap for upgrading national/EU standards for daylight in buildings. *CIE Midterm conference – Towards a new century of Light*. www.cibsejournal.com
- MATPUM.** (2010). *Toplu Konut Alanlarında Kentsel Çevresel Standartlar İçin Bir Değerler Sistemi Önerisi (TOKİ)*. Filmsan-Matsa Basımevi.
- Mazurek, G., & Bąk-Patyna, P.** (2023). Application of Data Mining Techniques to Predict Luminance of Pavement Aggregate. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/app13074116>
- McKinsey&Company.** (2020). *Reimagining the office and work life after COVID-19*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/people-and-organizational-performance/our-insights/reimagining-the-office-and-work-life-after-covid-19>
- McKinsey&Company.** (2021). *What executives are saying about the future of hybrid work*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/people-and-organizational-performance/our-insights/what-executives-are-saying-about-the-future-of-hybrid-work>

- Mesa, N. A., Corica, L., & Pattini, A.** (2011). Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment. A study in Mendoza, Argentina. *Renewable Energy*, 36(9), 2414-2423. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.02.005>
- Mohelnikova, J., & Hirs, J.** (2016). Effect of externally and internally reflective components on interior daylighting. *Journal of Building Engineering*, 7, 31-37. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2016.04.009>
- 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). <https://doi.org/10.22059/jser.2022.349312.1258>
- Moscoso, C., Chamilothon, K., Wienold, J., Andersen, M., & Matusiak, B.** (2020). Window Size Effects on Subjective Impressions of Daylit Spaces: Indoor Studies at High Latitudes Using Virtual Reality. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 2724. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1726183>
- Motta Cabrera, D. F., & Zareipour, H.** (2013). Data association mining for identifying lighting energy waste patterns in educational institutes. *Energy and Buildings*, 62, 210-216. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2013.02.049>
- Mousavi, S. M., Khan, T. H., & Mohammadi, A.** (2021). Adjustable Internal Shading for Home Office Daylighting in Tropical Climates. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 16(6). <https://doi.org/10.18280/ijdne.160601>
- Muthuprasad, T., Aiswarya, S., Aditya, K. S., & Jha, G. K.** (2021). Students' perception and preference for online education in India during COVID -19 pandemic. *Social Sciences & Humanities Open*, 3(1), 100101. <https://doi.org/10.1016/J.SSAHO.2020.100101>
- Münch, M., Wirz-Justice, A., Brown, S. A., Kantermann, T., Martiny, K., Stefani, O., Vetter, C., Wright, K. P., Wulff, K., & Skene, D. J.** (2020). The Role of Daylight for Humans: Gaps in Current Knowledge. *Clocks & Sleep*, 2(1), 61-85. <https://doi.org/10.3390/clockssleep2010008>
- Nabil, A., & Mardaljevic, J.** (2005). Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 37(1). <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>
- Nadji Maachi, I., Mokhtari, A., & Slimani, M. E. A.** (2019). The natural lighting for energy saving and visual comfort in collective housing: A case study in the Algerian building context. *Journal of Building Engineering*, 24(February), 100760. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100760>
- Nasrollahi, N., & Shokry, E.** (2020). Parametric analysis of architectural elements on daylight, visual comfort, and electrical energy performance in the study spaces. *Journal of Daylighting*, 7(1), 57-72. <https://doi.org/10.15627/jd.2020.5>

- Nazari, M., & Matusiak, B.** (2024). Daylighting simulation and visualisation: Navigating challenges in accuracy and validation. *Energy and Buildings*, 312, 114188. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2024.114188>
- Nebia, B., & Aoul, K. T.** (2017). Overheating and daylighting; assessment tool in early design of London's high-rise residential buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/su9091544>
- Neufert, E., & Neufert, P.** (2012). *Neufert Architects' Data* (4th edition). Wiley-Blackwell.
- 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*, 223(July), 109507. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109507>
- Oğuzlar, A.** (2004). Veri Madenciliğinde Birliktelik Kuralları. *Öneri Dergisi*, 6(22), 315-321.
- Ouf, M. M., Gunay, H. B., & O'Brien, W.** (2019). A method to generate design-sensitive occupant-related schedules for building performance simulations. *Science and Technology for the Built Environment*, 25(2), 221-232. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1514855>
- Özekes, S.** (2003). Veri Madenciliği Modelleri ve Uygulama Alanları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3), 65-82.
- Özer, S., & Jones, A.** (2024). Changing socio-spatial definitions of sufficiency of home: evidence from London (UK) before and during the Covid-19 stay-at-home restrictions. *International Journal of Housing Policy*, 24(2), 290-315. <https://doi.org/10.1080/19491247.2022.2147354>
- Özkan, Y.** (2008). *Veri Madenciliği Yöntemleri*. Papatya Yayıncılık.
- Palabıyık, S.** (2011). *MİMARİ TASARIM SÜRECİNDE KARAR VERME: BULANIK AHS YÖNTEMİ* [Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Pang, Z., & O'Neill, Z.** (2019). A comparison study of various sensitivity analysis methods in building applications. *Building Simulation Conference Proceedings*, 7, 4498-4506. <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210209>
- Pang, Z., O'Neill, Z., Li, Y., & Niu, F.** (2020). The role of sensitivity analysis in the building performance analysis: A critical review. *Energy and Buildings*, 209, 109659. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109659>
- Park, J.-W., Kim, K.-A., Lee, M.-G., & Park, J.-Y.** (2021). Effect of Short-Term Sunlight Exposure on Blood Pressure and Pulse Rate in Vitamin D₃-Insufficient, Prehypertensive Patients: A Pilot Study. *Complementary Medicine Research*, 28(3), 206-215. <https://doi.org/10.1159/000510902>
- Peters, T., Alkhalili, N., Kesik, T., & Brien, W. O.** (2020). *Challenging Conventional Approaches For Climate-Based Daylight Simulations Of Multi-Unit Residential Buildings*. Ryerson University , Toronto , Canada University of Toronto , Toronto , Canada. 103-110.

- Peters, T., & Halleran, A.** (2021). How our homes impact our health: using a COVID-19 informed approach to examine urban apartment housing. *Archnet-IJAR*, 15(1), 10-27. <https://doi.org/10.1108/ARCH-08-2020-0159>
- Peters, T., & Kesik, T.** (2018). Daylight Simulation for Multi-Unit Residential Buildings: Occupant-Centered Approaches to Assessment. *Proceedings of eSim 2018 May 9-10 Montreal Canada*, 1-10.
- Philips, D.** (2000). *Lighting Modern Buildings*. Architectural Press Elsevier Ltd.
- Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Pour Rahimian, F., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S.** (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
- Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği**, T.C. Resmi Gazete (2017). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=23722&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Plch, J., & Mohelníková, J.** (2011). Influence of colour of shading obstacles on indoor daylighting. *Przeglad Elektrotechniczny*, 87(4), 35-37.
- Primanti, A. H., Loonen, R. C. G. M., Mangkuto, R. A., De Vries, S. B., & Koerniawan, M. D.** (2020). *Sensitivity Analysis on Daylighting, Visual Comfort, and Energy Consumption of Automated Venetian Blinds for Open-Plan Offices in Tropical Climate*.
- Püskülcü Aydın, A.** (2023). *Konut Alanları Tasarımını Etkileyen Mimari Tasarım Kriterleri: Teoride ve Uygulamada Türkiye Örneği*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Qiu, Z., Wang, J., Yu, B., Liao, L., & Li, J.** (2021). Identification of passive solar design determinants in office building envelopes in hot and humid climates using data mining techniques. 196(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107566>
- Queiroz, N., Westphal, F. S., & Ruttkay Pereira, F. O.** (2020). A performance-based design validation study on EnergyPlus for daylighting analysis. *Building and Environment*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107088>
- Raji, B., Tenpierik, M. J., & Dobbeltstein, A. Van Den.** (2016). An assessment of energy-saving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: A case study in the Netherlands. *Energy Building*, 124, 210–221.
- Ramakrishnan, J., Liu, T., Zhang, F., Seshadri, K., Yu, R., & Gou, Z.** (2023). A decision tree-based modeling approach for evaluating the green performance of airport buildings. *Environmental Impact Assessment Review*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107070>

- Ratnesar-Shumate, S., Williams, G., Green, B., Krause, M., Holland, B., Wood, S., Bohannon, J., Boydston, J., Freeburger, D., Hooper, I., Beck, K., Yeager, J., Altamura, L. A., Biryukov, J., Yolitz, J., Schuit, M., Wahl, V., Hevey, M., & Dabisch, P.** (2020). Simulated Sunlight Rapidly Inactivates SARS-CoV-2 on Surfaces. *Journal of Infectious Diseases*, 222(2). <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa274>
- Reinhart, C.** (2015). Opinion: Climate-based daylighting metrics in LEEDv4 - A fragile progress. *Lighting Research and Technology*, 47(4), 388-388. <https://doi.org/10.1177/1477153515587613>
- Reinhart, C.** (2019). Daylight Performance Predictions. J. L. M. Hensen & R. Lamberts (Ed.), *Building Performance Simulation for Design and Operation* (2nd Edition). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780429402296>
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z.** (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 3(1), 7-31. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>
- Reinhart, C. F., & Weissman, D. A.** (2012). The daylit area- Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Building and Environment*, 50, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.024>
- Reinhart, C. F., & Wienold, J.** (2011). The daylighting dashboard- A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment*, 46(2). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.08.001>
- Reinhart, C., & Selkowitz, S.** (2006). Daylighting-Light, form, and people. *Energy and Buildings*, 38(7), 715-717. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.005>
- Roberts, R., & Goodwin, P.** (2003). Weight approximations in multi-attribute decision models. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11, 291-303.
- Robinson, A., & Selkowitz, S.** (2013). *Tips for Daylighting With Windows*. 1-107. <http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/dlg.pdf>
- Roudsari, M. S., & Pak, M.** (2013). Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association*, 3128-3135.
- Sabah, L., & Bayraktar, H.** (2020). Veri Madenciliği Birliktelik Kuralları Yöntemi Kullanarak Binaların Risk Durumlarının Belirlenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 70-78.
- Salamone, F., Barozzi, B., Bellazzi, A., Belussi, L., Danza, L., Devitofrancesco, A., Ghellere, M., Meroni, I., Scamoni, F., & Scrosati, C.** (2021). Working from home in Italy during COVID-19 lockdown: A survey to assess the indoor environmental quality and productivity. *Buildings*, 11(12), 660. <https://doi.org/10.3390/buildings11120660>

- Santos, L., Caetano, I., Leitão, A., & Pereira, I.** (2021). *Uncertainty in daylight simulations of algorithmically generated complex shading screens*. Proceeding of the 17th IBPSA Conference, (pp:2261 – 2268), Bruges, Belgium, 1-3 Eylül. <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.31068>
- Sebetci, Ö.** (2020). *Karar Destek Sistemleri (Veri Ambarı- Veri Madenciliği- Klinik ADS) Akademi Derleme* (1. bs). Hiperlink Yayınları.
- Sepúlveda, A., De Luca, F., & Kurnitski, J.** (2022). Daylight and overheating prediction formulas for building design in a cold climate. *Journal of Building Engineering*, 45. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103532>
- Sepúlveda, A., De Luca, F., Thalfeldt, M., & Kurnitski, J.** (2020). Analyzing the fulfillment of daylight and overheating requirements in residential and office buildings in Estonia. *Building and Environment*, 180(May), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107036>
- Sepúlveda, A., De Luca, F., Varjas, T., & Kurnitski, J.** (2022). Assessing the applicability of the European standard EN 17037:2018 for office spaces in a cold climate. *Building and Environment*, 225, 109602. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109602>
- Sevindik, S., & Şiray Üstündağ, G.** (2018). Diskriminant Analizi ve Bazı Alternatif Regresyon Analizleri. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(9), 117-125.
- Shafavi, N. S., Tahsildoost, M., & Zomorodian, Z. S.** (2020). Investigation of illuminance-based metrics in predicting occupants' visual comfort (case study: Architecture design studios). *Solar Energy*, 197, 111-125. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.12.051>
- Sharam, L. A., Mayer, K. M., & Baumann, O.** (2023). Design by nature: The influence of windows on cognitive performance and affect. *Journal of Environmental Psychology*, 85, 101923. <https://doi.org/10.1016/J.JENV.2022.101923>
- Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., & Tarokh, M. J.** (2011). A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert Systems with Applications*, 38(10). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.03.027>
- Sherif, A. H., Sabry, H. M., & Gadelhak, M. I.** (2012). The impact of changing solar screen rotation angle and its opening aspect ratios on Daylight Availability in residential desert buildings. *Solar Energy*, 86(11), 3353-3363. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.006>
- Shin, H. Y., Kim, G., & Kim, J. T.** (2013). Effect of occupants' behaviour of daylight controls on residential visual environment. *Indoor and Built Environment*, 22(1), 191-202. <https://doi.org/10.1177/1420326X12469735>
- Simmons, R.** (2009). *Good design: the fundamentals*. London: CABI - Commission for Architecture and the Built Environment, 1. <https://www.design-council.org.uk/our-resources/archive/reports-resources/good-design-fundamentals/>

- Singh, R., Buddhi, D., Thapa, S., Prakash, C., Singh, R., Sharma, A., Sheoran, S., & Saxena, K. K.** (2022). Sensitivity Analysis for Decisive Design Parameters for Energy and Indoor Visual Performances of a Glazed Façade Office Building. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/su142114163>
- Siu, S., Lau, Y., & Gou, Z.** (2010). Users' perceptions of domestic windows in Hong Kong: Challenging daylighting-based design regulations. *Journal of Building Appraisal*, 6, 81-93. <https://doi.org/10.1057/jba.2010.12>
- Skarning, G. C. J., Hviid, C. A., & Svendsen, S.** (2017). The effect of dynamic solar shading on energy, daylighting and thermal comfort in a nearly zero-energy loft room in Rome and Copenhagen. *Energy and Buildings*, 135, 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.053>
- Sorooshnia, E., Rashidi, M., Rahnamayiezekavat, P., Mahmoudkelayeh, S., Pourvaziri, M., Kamranfar, S., Gheibi, M., Samali, B., & Moezzi, R.** (2025). A novel approach for optimized design of low-E windows and visual comfort for residential spaces. *Energy and Built Environment*, 6(1), 27-42. <https://doi.org/10.1016/J.ENBENV.2023.08.002>
- Sorooshnia, E., Rashidi, M., Rahnamayiezekavat, P., Rezaei, F., & Samali, B.** (2021). Optimum external shading system for counterbalancing glare probability and daylight illuminance in Sydney's residential buildings. *Engineering, Construction and Architectural Management, ahead-of-p*(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2021-0191>
- Spennemann, D. H. R.** (2021). Residential Architecture in a post-pandemic world: implications of COVID-19 for new construction and for adapting heritage buildings. *Journal of Green Building*, 16(1), 199-215. <https://doi.org/10.3992/jgb.16.1.199>
- Sümengen, Ö.** (2015). *Türkiye İçin Konut Binalarının Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bir Yaklaşım*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ş. Solmaz, A.** (2015). *Bina Enerji Performansını Geliştirmede Optimum Çözümleri Belirlemeye Yönelik Simülasyon ve Çok Amaçlı Optimizasyon Tabanlı Bir Karar Destek Modeli*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Şahinaslan, Ö., Dalyan, H., & Şahinaslan, E.** (2022). Naive Bayes Sınıflandırıcısı Kullanılarak YouTube Verileri Üzerinden Çok Dilli Duygu Analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 15(2), 221-229.
- Şehir içi yollar - Yaya yolu ve yaya bölgeleri tasarım kuralları** (2017). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097047068119074100102121077109072>
- Taherdoost, H.** (2016). Sampling Methods in Research Methodology; How to Choose a Sampling Technique for Research. İçinde *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)* (C. 5, Sayı 2). <https://ssrn.com/abstract=3205035>

- Tan, Y., Peng, J., Luo, Y., Li, H., Wang, M., Zhang, F., Ji, J., & Song, A.** (2023). Daylight-electrical-thermal coupling model for real-time zero-energy potential analysis of vacuum-photovoltaic glazing. *Renewable Energy*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.116>
- Taş, Y.** (2018). *BirlikteK Kuralları Madenciligi ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Temel, H.** (2021). Konut Yaşama Alanları Mobilya Düzenlemesinde Farklılıklar, Site Örneği. *Online Journal of Art and Design*, 9(4), 294-302.
- The Society of Light and Lighting.** (2018). *The SLL Lighting Handbook*. CIBSE.
- The Society of Light and Lighting.** (2009). *The SLL Lighting Handbook*. İçinde *Illuminating Engineering*.
- The Society of Light and Lighting.** (2014). *LG10: Daylighting — a guide for designers*. CIBSE.
- The Society of Light and Lighting.** (2022a). *Lighting Guide 9: Lighting for communal residential buildings*.
- The Society of Light and Lighting.** (2022b). *The SLL Code for Lighting*. CIBSE.
- Tokura, M., Iwata, T., & Shukuya, M.** (1996). Experimental Study On Discomfort Glare Caused By Windows Part 3 : Development of a method for evaluating discomfort glare from a large light source. *Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)*, 61(489), 17-25. https://doi.org/10.3130/aija.61.17_8
- TS EN 12464-1: Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları**, Pub. L. No. 91.160.01, Türk Standartları Enstitüsü (2021). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>
- TS EN 17037+A1: Binalarda Gün ışığı**, Pub. L. No. 91.160.01, Türk Standartları Enstitüsü (2022). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>
- TSE** (2021). *TS ISO 16817: Bina Çevre tasarımı – İç çevre – Görünen çevre için tasarım işlemi*, Pub. L. No. 91.040.01, Türk Standartları Enstitüsü (2021). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>
- Tuaycharoen, N., & Tregenza, P. R.** (2007). View and discomfort glare from windows. *Lighting Research and Technology*, 39(2), 185-200.
- TUIK.** (2021). *İstatistiklerle Aile, 2020*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=İstatistiklerle-Aile-2020-37251>
- Turan, I., Reinhart, C., & Kocher, M.** (2019). Evaluating Spatially-Distributed Views in Open Plan Work Spaces Evaluating Spatially-Distributed Views in Open Plan Work Spaces. *Proceedings of the 16th IBPSA Building Simulation Conference*, 1098-1105.
- Tzeiranaki, S. T., Bertoldi, P., Diluiso, F., Castellazzi, L., Economidou, M., Labanca, N., Serrenho, T. R., & Zangheri, P.** (2019). Analysis of the EU residential energy consumption: Trends and determinants. *Energies*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/en12061065>

- Vanhoutteghem, L., Skarning, G. C. J., Hviid, C. A., & Svendsen, S.** (2015). Impact of façade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses. *Energy and Buildings*, 102, 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.018>
- Vasquez, N. G.** (2021). Working and studying from home: are our daylight conditions adequate for it? *9th Velux Daylight Symposium*.
- Vasquez, N. G., Amorim, C. N. D., Matusiak, B., Kanno, J., Sokol, N., Martyniuk-Peczek, J., Sibilio, S., Scorpio, M., & Koga, Y.** (2022). Lighting conditions in home office and occupant's perception: Exploring drivers of satisfaction. *Energy and Buildings*, 261. <https://doi.org/10.1016/J.EN-BUILD.2022.111977>
- Vasquez, N. G., Rupp, R. F., Andersen, R. K., & Toftum, J.** (2022). Occupants' responses to window views, daylighting and lighting in buildings: A critical review. *Building and Environment*, 219, 109172. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109172>
- Veitch, J. A., & Galasiu, A. D.** (2011). The physiological and psychological effects of windows, daylight and view at home. *National Research Council of Canada*, 60. <https://doi.org/10.1037/e554552013-001>
- Vijay Kumar, D. R., Sandeep Kumar, N., Narsimha, K., Shiva Ram Reddy, K., & Vamsee Krishna, E.** (2020). Spatial Day Light Autonomy and Energy Analysis of a Residential Building for Different Climatic Conditions and Window-to-Wall Ratios. *E3S Web of Conferences*, 184, 0-3. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018401117>
- Waczynska, M., Sokol, N., & Martyniuk-Peczek, J.** (2021). Computational and experimental evaluation of view out according to European Standard EN17037. *Building and Environment*, 188, 107414. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107414>
- Wang, J., Wei, M., & Ruan, X.** (2020). Characterization of the acceptable daylight quality in typical residential buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 182, 107094. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107094>
- Wang, S. S., Yi, Y. K., & Liu, N. X.** (2021). Multi-objective optimization (MOO) for high-rise residential buildings' layout centered on daylight, visual, and outdoor thermal metrics in China. *Building and Environment*, 205(August). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108263>
- Wang, X., Chen, Y., & Zhu, W.** (2022). A Survey on Curriculum Learning. İçinde *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* (C. 44, Sayı 9). <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3069908>
- Wang, X., Wu, Y., Dong, X., Liu, M., Lei, B., & Mai, X.** (2024). Optimization of global energy consumption of buildings based on photothermal coupling effect of exterior windows in Qinghai-Tibet plateau. *Journal of Building Engineering*, 85, 108710. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.108710>

- Waskett, R. K.** (2021). Opinion: Daylight in homes must be safeguarded. *Lighting Research and Technology*, 53(2), 96. <https://doi.org/10.1177/14771535211000141>
- Wei, T.** (2013). A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *İçinde Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 20, ss. 411-419). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.014>
- Wienold, J.** (2009). Dynamic daylight glare evaluation. 11. *International IBPSA Conference: Building Simulation*, 944-951.
- Wienold, J., & Christoffersen, J.** (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38(7), 743-757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017>
- Wienold, J., Iwata, T., Sarey Khanie, M., Erell, E., Kaftan, E., Rodriguez, R., Yamin Garreton, J., Tzempelikos, T., Konstantzos, I., Christoffersen, J., Kuhn, T., Pierson, C., & Andersen, M.** (2019). Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. *Lighting Research & Technology*, 51(7), 983-1013. <https://doi.org/10.1177/1477153519826003>
- Wong, I. L.** (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(March), 959-968. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061>
- Xia, B., & Li, Z.** (2023). Optimization of residential urban-block morphology based on its synthetic effects on indoor and outdoor natural lighting environments. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104698. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104698>
- Xie, J. C., Xue, P., Mak, C. M., & Liu, J. P.** (2017). Balancing energy and daylighting performances for envelope design: A new index and proposition of a case study in Hong Kong. *Applied Energy*, 205(100), 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.115>
- Xu, Y., & Juan, Y. K.** (2021). Design Strategies for Multi-Unit Residential Buildings During the Post-pandemic Era in China. *İçinde Frontiers in Public Health* (C. 9). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.761614>
- Xue, P., Mak, C. M., & Ai, Z. T.** (2016). A structured approach to overall environmental satisfaction in high-rise residential buildings. *Energy and Buildings*, 116, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.006>
- Xue, P., Mak, C. M., & Cheung, H. D.** (2014). The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. *Building and Environment*, 81, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.011>
- Xue, P., Mak, C. M., Cheung, H. D., & Chao, J.** (2016). Post-occupancy evaluation of sunshades and balconies' effects on luminous comfort through a questionnaire survey. *İçinde Building Services Engineering Research and Technology* (C. 37, Sayı 1, ss. 51-65). <https://doi.org/10.1177/0143624415596472>

- Xue, P., Mak, C. M., & Huang, Y.** (2016). Quantification of luminous comfort with dynamic daylight metrics in residential buildings. *Energy and Buildings*, 117, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.026>
- Yan, H., Yang, N., Peng, Y., & Ren, Y.** (2020). Data mining in the construction industry : Present status , opportunities , and future trends. *Automation in Construction*, 119(June), 103331. <https://doi.org/10.1016/j.aut-con.2020.103331>
- Yao, J.** (2014). An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements. *Building and Environment*, 71, 24-32. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2013.09.011>
- Yener, A. K.** (2005). *Binalarin enerji etkin aydinlatma sistemleri olarak tasarlanmasi*. 151-155. https://www.emo.org.tr/ekler/d77279f7d325eec_ek.pdf
- Yıldız, B., & Aktaş, B.** (2017). Decision Making in the Architectural Design Process: Fuzzy Logic Based Facade Model Proposal. *Mstas.2017, August*, 172-181.
- Yirmişbeşoğlu, F., Özçevik, Ö., Şener, S. M., & Öztekin, Ö.** (2020). *Konut Araştırma Raporu Dezavantajlı Grupların Barınma ve Konut İhtiyacının Karşılmasına Yönelik Kamu ve Özel Sektörün Yapabileceklerinin Belirlenmesi*. Erişim Tarihi: 12 Şubat 2025, Erişim Tarihi: chrome -extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fdosya.csb.gov.tr%2Fdb%2Fmesleki hizmetler%2Fmenu%2Frapor-ozeti20210531050213. pdf&cLen=6136550&chunk=true web-
- Zhao, Y., Zhang, C., Zhang, Y., Wang, Z., & Li, J.** (2020). A review of data mining technologies in building energy systems: Load prediction, pattern identification, fault detection and diagnosis. *Energy and Built Environment*, 1(2), 149-164. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2019.11.003>
- Zhen, M., Du, Y., Hong, F., & Bian, G.** (2019). Simulation analysis of natural lighting of residential buildings in Xi'an, China. *Science of the Total Environment*, 690, 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.353>
- URL-1.** <<https://www.solemma.com/climatestudio>> Erişim Tarihi: t.y
- URL-2.** <https://www.epd.gov.hk/eia/files/applications/en/pp_294/eia_1894/progress/action_1842/ES-Eng/pdf/Text/SHD%20Top-side%20EIA%20ES%20Eng_clean.pdf> Erişim Tarihi: 15 Şubat 2025.
- URL-3.** <https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkiye/index.html#IDIB_Istanbul->> Erişim Tarihi: 7 Nisan 2023.



EKLER

EK A : Mekan büyüklüklerine göre günüşiğı performansı hesap düzlemi analiz aralıkları

EK B : YS-1, YS-2 ve YS-3 yerleşme senaryoları için yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfının meydana geldiğı doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları





EK A : Mekan büyüklüklerine göre günışığı performansı hesap düzlemi analiz aralıkları

Çizelge A.1 : TS EN 17037+A1:Binalarda Gün ışığı standardına göre konut mekanı büyüklüklerine bağlı olarak izin verilen maksimum hesap grid büyüklükleri.

Konut Mekanı Genişliği	Konut Mekanı Derinliği	Genişlik/Derinlik Oranı	Maksimum Grid Büyüklüğü
3	4	0,75	1,32
3	5	0,60	1,54
3	6	0,50	1,75
4	3	1,33	1,32
4	4	1,00	1,32
4	5	0,80	1,54
4	6	0,67	1,75
5	3	1,67	1,54
5	4	1,25	1,54
5	5	1,00	1,54
5	6	0,83	1,75
6	3	2,00	1,08
6	4	1,50	1,75
6	5	1,20	1,75
6	6	1,00	1,75



EK B : YS-1, YS-2 ve YS-3 yerleşme senaryoları için yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfının meydana geldiği doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları

Çizelge B.1 : YS-1 (EA:0°) için yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 1.5	≤ 1.85	= 0	=0.69
2	0	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.85	> 0.75	=0.69
3	0	≤ 5.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0.75	-
4	0	> 5.5	≤ 5.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
5	0	> 5.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.45	> 0	-
6	0	> 5.5	≤ 5.5	> 3.5	-	> 0.75	-
7	0	≤ 3.5	> 5.5	≤ 1.5	≤ 2.25	-	-
8	0	≤ 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	=0.69
9	0	≤ 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 2.25	> 0	-
10	0	≤ 3.5	> 5.5	> 1.5	≤ 2.25	> 0.75	-
11	0	≤ 3.5	> 5.5	> 1.5	> 2.25	> 0	-
12	0	> 3.5	> 5.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
13	0	> 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 1.45	-	=0.69
14	0	> 3.5	> 5.5	≤ 1.5	> 1.45	> 0	=0.79
15	0	> 3.5	> 5.5	> 1.5	> 1.85	> 0.75	-
16	90	≤ 3.5	-	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
17	90	≤ 3.5	-	≤ 1.5	> 1.45	≤ 0.75	-
18	90	≤ 3.5	-	≤ 1.5	> 1.45	> 0.75	-
19	90	≤ 3.5	-	> 1.5	> 1.85	> 0	-
20	90	3.5<MG ≤ 4.5	-	≤ 1.5	≤ 1.85	-	-
21	90	3.5<MG ≤ 4.5	-	≤ 1.5	> 1.85	> 0	-
22	90	>3.5 to ≤ 4.5	-	> 1.5	> 1.85	> 0	-
23	90	> 4.5	≤ 4.5	≤ 1.5	≤ 2.25	-	-
24	90	> 4.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	=0.69
25	90	> 4.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 2.25	> 0	-
26	90	> 4.5	≤ 4.5	> 1.5	> 1.85	> 0	-
27	90	> 4.5	> 4.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
28	90	> 4.5	> 4.5	≤ 1.5	> 1.45	= 0	=0.69
29	90	> 4.5	> 4.5	≤ 1.5	> 1.45	> 0	-
30	90	> 4.5	> 4.5	> 1.5	> 1.85	> 0	-
31	180	-	≤ 4.5	≤ 1.5	-	-	-
32	180	-	4.5<MD≤5.5	≤ 1.5	-	-	-
33	180	≤ 4.5	> 5.5	≤ 1.5	-	-	-
34	180	> 4.5	> 5.5	≤ 2.5	-	-	-
35	270	≤ 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
36	270	≤ 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.45	> 0	-
37	270	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	> 1.85	> 0.75	-
38	270	> 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	-	-	-
39	270	> 3.5	≤ 5.5	1.5<PG≤2.5	-	> 0.75	-
40	270	≤ 5.5	> 5.5	≤ 1.5	-	-	-

Çizelge B.1 (Devam): YS-1 (EA:0°) için yaşama mekanında *yetersiz görsel konfor düzeyi* sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
41	270	≤ 5.5	> 5.5	1.5<PG≤2.5	-	-	=0.69
42	270	≤ 5.5	> 5.5	1.5<PG≤2.5	-	> 0.75	=0.79
43	270	> 5.5	> 5.5	≤ 2.5	-	-	-
44	270	> 5.5	> 5.5	> 2.5	≤ 1.45	= 0	=0.69

Çizelge B.2 : YS-2 (EA:25°) için yaşama mekanında *yetersiz görsel konfor düzeyi* sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	≤ 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	-	-	-
2	0	≤ 3.5	≤ 5.5	>1.5	> 1.85	>0.25	= 0.69
3	0	> 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	≤ 1.85	-	-
4	0	> 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.85	-	= 0.69
5	0	> 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	> 1.85	>0.75	= 0.79
6	0	> 3.5	≤ 5.5	1.5<PG≤2.5	-	>0.75	-
7	0	> 3.5	≤ 5.5	>2.5	-	>0.75	-
8	0	≤ 3.5	>5.5	≤ 1.5	≤ 2.25	-	-
9	0	≤ 3.5	>5.5	≤ 1.5	>2.25	= 0	-
10	0	≤ 3.5	>5.5	> 1.5	≤ 1.85	= 0	-
11	0	≤ 3.5	>5.5	> 1.5	>1.85	> 0	-
12	0	> 3.5	>5.5	≤ 1.5	>2.25	-	= 0.69
13	0	> 3.5	>5.5	≤ 1.5	>2.25	>0.75	= 0.79
14	0	> 3.5	>5.5	> 1.5	≤ 1.85	-	= 0.69
15	0	> 3.5	>5.5	> 1.5	≤ 1.85	>0.75	= 0.79
16	0	> 3.5	>5.5	> 1.5	>1.85	> 0	-
17	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
18	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 1.5	>1.45	> 0	-
19	270	≤ 4.5	≤ 5.5	>1.5	> 1.85	> 0	-
20	270	≤ 4.5	>5.5	≤ 1.5	-	-	-
21	270	≤ 4.5	>5.5	>1.5	≤ 1.45	> 0	-
22	270	≤ 4.5	>5.5	>1.5	> 1.45	≤ 0.75	= 0.69
23	270	≤ 4.5	>5.5	>1.5	> 1.45	> 0.75	-
24	270	> 4.5	≤ 3.5	≤ 1.5	-	-	-
25	270	> 4.5	≤ 3.5	>1.5	> 1.85	> 0	-
26	270	> 4.5	> 3.5	≤ 1.5	≤ 2.25	-	-
27	270	> 4.5	> 3.5	≤ 1.5	> 2.25	= 0	= 0.69
28	270	> 4.5	> 3.5	≤ 1.5	> 2.25	> 0	-
29	270	> 4.5	> 3.5	>1.5	≤ 1.85	> 0	= 0.69
30	270	> 4.5	> 3.5	>1.5	> 1.85	> 0.75	-
31	90	≤ 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	-	= 0	= 0.79
32	90	≤ 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	-	> 0	-

Çizelge B.2 (Devam) : YS-2 (EA:25°) için yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
33	90	≤ 5.5	≤ 3.5	> 1.5	> 1.85	> 0	-
34	90	> 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	≤ 2.25	= 0	= 0.69
35	90	> 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	≤ 2.25	> 0	-
36	90	> 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	> 2.25	-	-
37	90	> 5.5	≤ 3.5	> 1.5	> 1.85	> 0.75	-
38	90	≤ 4.5	> 3.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
39	90	≤ 4.5	> 3.5	≤ 1.5	> 1.45	> 0	-
40	90	≤ 4.5	> 3.5	> 1.5	> 1.85	> 0.75	-
41	90	> 4.5	> 3.5	≤ 1.5	-	-	-
42	180	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	≤ 1.45	-	= 0.69
43	180	> 4.5	≤ 5.5	≤ 1.5	-	-	-
44	180	≤ 4.5	> 5.5	≤ 1.5	-	-	-
45	180	> 4.5	> 5.5	≤ 2.5	≤ 1.85	-	= 0.69
46	180	> 4.5	> 5.5	≤ 2.5	> 1.85	-	-

Çizelge B.3 : YS-3 (EA:45°) için yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
1	0	≤ 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	≤ 2.25	-	-
2	0	≤ 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 2.25	> 0	= 0.69
3	0	≤ 3.5	≤ 4.5	> 1.5	≤ 1.45	> 0.75	= 0.69
4	0	> 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	≤ 1.45	-	-
5	0	> 3.5	≤ 4.5	≤ 1.5	> 1.45	> 0	-
6	0	> 3.5	≤ 4.5	> 1.5	> 1.45	> 0.75	-
7	0	≤ 4.5	> 4.5	≤ 1.5	-	-	-
8	0	≤ 4.5	> 4.5	> 1.5	≤ 1.45	> 0	-
9	0	≤ 4.5	> 4.5	> 1.5	> 1.45	> 0.75	= 0.69
10	0	> 4.5	> 4.5	≤ 2.5	≤ 2.25	-	-
11	0	> 4.5	> 4.5	≤ 2.5	> 2.25	> 0	-
12	0	> 4.5	> 4.5	> 2.5	≤ 1.45	> 0	= 0.69
13	0	> 4.5	> 4.5	> 2.5	> 1.45	> 0.75	-
14	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	≤ 1.45	≤ 0.75	= 0.69
15	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	≤ 1.45	> 0.75	-
16	270	≤ 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.45	> 0	-
17	270	≤ 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0.75	= 0.79
18	270	≤ 4.5	> 5.5	≤ 1.5	-	-	-
19	270	≤ 4.5	> 5.5	> 1.5	> 1.45	> 0	= 0.79
20	270	> 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	≤ 1.45	-	-
21	270	> 4.5	≤ 5.5	≤ 2.5	> 1.45	> 0	-
22	270	> 4.5	≤ 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0.75	-
23	270	> 4.5	> 5.5	≤ 2.5	-	-	-
24	90	≤ 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	-	-	-

Çizelge B.3 (Devam) : YS-3 (EA:45°) için yaşama mekanında yetersiz görsel konfor düzeyi sınıfını sağlayan doğal aydınlatma sistemi tasarım kuralları.

Kural No.	Yönelim (°)	Mekan Genişliği (m)	Mekan Derinliği (m)	Pencere Genişliği (m)	Pencere Yüksekliği (m)	Gölgeleme Elemanı Derinliği (m)	T _{vis}
25	90	≤ 3.5	≤ 5.5	> 1.5	> 1.85	> 0.75	-
26	90	> 3.5	≤ 5.5	≤ 1.5	-	-	-
27	90	> 3.5	≤ 5.5	> 1.5	> 2.25	> 0.75	-
28	90	≤ 3.5	> 5.5	≤ 2.5	≤ 2.25	> 0	-
29	90	≤ 3.5	> 5.5	≤ 2.5	> 2.25	-	-
30	90	≤ 3.5	> 5.5	> 2.5	≤ 1.85	= 0	-
31	90	≤ 3.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0	-
32	90	> 3.5	> 5.5	≤ 2.5	-	-	-
33	90	> 3.5	> 5.5	> 2.5	> 1.85	> 0.75	= 0.69
34	180	≤ 5.5	≤ 3.5	≤ 1.5	-	-	-
35	180	≤ 5.5	≤ 3.5	> 3.5	-	-	-
36	180	> 5.5	≤ 3.5	≤ 2.5	≤ 1.85	-	= 0.79
37	180	> 5.5	≤ 3.5	≤ 2.5	> 1.85	-	-
38	180	> 5.5	≤ 3.5	> 2.5	≤ 1.45	-	= 0.79
39	180	> 5.5	≤ 3.5	> 2.5	> 1.45	-	= 0.79
40	180	≤ 3.5	> 3.5	≤ 1.5	-	-	-
41	180	≤ 3.5	> 3.5	> 1.5	≤ 2.25	-	= 0.79
42	180	> 3.5	> 3.5	≤ 1.5	-	-	-

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

: Zehra Aybike KILIÇ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Arel Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Mimarlık Bölümü (%100 ÖSYM Burslu), Bölüm Birincisi
- **Yüksek Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015-2017:** **Proje Mimarı** / Çeşitli mimari proje ofislerinde Avan-Uygulama projeleri üzerine proje mimarı
- 2017-** : **Araştırma Görevlisi** / İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kılıç,Z.A., Yener, A.K. (2025)** . A Framework for Integrating Zoning Regulations and Site Layout Design to Enhance Visual Comfort-A Study Based on Zoning Regulation and EN 17037. *Journal of Daylighting*, vol 12(1), p.148-166.
- **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*, vol:103, p.112141.
- **Kılıç,Z.A., Yener, A.K. (2024)**. Doğal Aydınlatma Sistemi Tasarımında Veri Madenciliği Modellerinin Kullanımına Yönelik Bir Araştırma. 4. *Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi*, 2-4 Mayıs 2024, İstanbul.
- **Kılıç,Z.A., Yener, A.K. (2023)**. İç Mekan Günışığı Performansının Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği Kapsamında Değerlendirilmesi. *XI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 2 Kasım 2024, İzmir.