



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DERİN OFİS MEKANLARINDA ETKİN GÜN IŞIĞI KULLANIMININ İNSAN
MERKEZLİ AYDINLATMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ**

Uçman TAN

Yüksek Lisans Tezi

**KONYA
Mayıs 2021**

DERİN OFİS MEKANLARINDA ETKİN GÜN IŞIĞI KULLANIMININ İNSAN
MERKEZLİ AYDINLATMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ

Uçman TAN

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül TEREÇİ

Konya
Mayıs 2021

KABUL VE ONAY

Uçman TAN tarafından hazırlanan “Derin Ofis Mekanlarında Etkin Gün Işığ^ı Kullanımının İnsan Merkezli Aydınlatma Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma, 17 Mayıs 2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül TEREÇİ**
KTO Karatay Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Dr. Öğretim Üyesi Halil SEVİM**
KTO Karatay Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Prof. Dr. Mehmet Lütfi HİDAYETOĞLU**
Selçuk Üniversitesi

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Hüseyin Bekir Yıldız
Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

☒ Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir.²

☐ Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

17 Mayıs 2021

Uçman TAN

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü tezle ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül TEREÇİ danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

17 Mayıs 2021

Uçman TAN



Aileme adanmıştır.

TEŞEKKÜR

İlk mimari jürimden bu yana, tüm eğitim hayatım boyunca yalnızca akademik ve mesleki değil, insani anlamda da her türlü desteğini ve yol göstericiliğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan, her koşulda daima daha ileri hedefler için teşvik eden çok sevgili danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül TERCİ'ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çalışmamı gerçekleştirilebilmem adına bilgi ve materyal desteği sağlayan TABANLIOĞLU MİMARLIK'a teşekkür ederim.

İhtiyaç duyduğum her durumda yardımlarını esirgemeyen, hayalperest ve maceracı ruhu ile ilham kaynağı olan çok değerli “fantastik” dostum Arş. Gör. Huriye ÖNAL'a özel teşekkürlerimi sunarım.

Adanmışlıkları ve fedakarlıkları ile bugün olduğum kişi olmamı sağlayan, hayattaki her adımında verdikleri sonsuz ve koşulsuz destekler için annem Kamile TAN TAKA'ya, anneannem Hadiye TAN'a, teyzem Öğr. Gör. Zeynep ORTAPIŞİRİCİ'ye, Dr. Seyit Ali ORTAPIŞİRİCİ'ye ve değerli aileme minnettarım.

Mayıs, 2021

Uçman TAN

ÖZET

Uçman TAN

Yüksek Ofis Yapılarında Derin Ofis Mekanlarının Etkin Gün Işığı Kullanımının

Değerlendirilmesi

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2021

Spektral bileşimi ve zamansal değişkenliği nedeniyle gün ışığı, insan sirkadiyen saati için üstün bir çevresel işaret olarak tanımlanmaktadır ve bu özellikleriyle yapay aydınlatma armatürleri ile yeri doldurulamamaktadır. Bu noktada ofis tasarımlarında, çalışanların görsel ve termal konforu sağlarken ruh halini ve sağlığını destekleyen gün ışığından maksimum oranda faydalanması da sağlanmalıdır. Bu çalışma ile yapıli bir binaya sonradan uygulanma imkânı olan gölgeleme sağlayabilen dört farklı gün ışığı elemanın (ışık rafları, prizmatik paneller, lazer kesim paneller, güneş yönlendirici camlar) etkin gün ışığı kullanımı ve insan merkezli aydınlatma konsepti açısından; yansıma ve gölge oluşumu gibi çevresel etkilerin en aza indiğı çok katli yapılarda bulunan derin ofis mekanlarındaki performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İstanbul’da bulunan Zorlu Levent Ofis binasında bulunan ofis alanı örnek mekân olarak seçilmiştir. Grasshopper eklentisi LadyBug/Honeybee Tools kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları göstermektedir ki yönelim ve zaman değişkenlerine bağılı kalarak iç mekân aydınlatmasında görsel konforu destekleyecek şekilde doğal aydınlatma sistemleri ayrıca insan odaklı aydınlatmaya da yardımcı olabilmektedir. Buna ek olarak elde edilen bulgular prizmatik panel gibi açısal seçici geçirgenliğe ve gölgeleme imkanına sahip elemanların İstanbul’un iklim şartlarında diğere elemanlara göre daha verimli iç mekân aydınlatma performansı sergilediğı sonucu çıkarılabilmektedir. Elde edilen veriler ile ofis mekanlarının aydınlatmasında belirlenen uluslararası standartların karşılaştırılması, çok katli yapılarda bulunan derin ofis mekanları için doğal aydınlatma tasarımı önerilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler

Doğal aydınlatma, insan merkezli aydınlatma, ofis aydınlatması, gölgeleme elemanları

ABSTRACT

Uçman TAN

Evaluation of Effective Daylight Use of Deep Office Spaces in High Office Buildings

Master's Thesis

Konya, 2021

Due to its spectral composition and temporal variability, daylight is defined as a superior environmental sign for the human circadian clock and cannot be replaced by artificial lighting fixtures with these features. At this point, while providing visual and thermal comfort of the employees in office designs, it should also be ensured that the maximum benefit of daylight that supports their mood and health. With this study, the performance of four different shading elements (light shelves, prismatic panels, laser cut panels, sun deflector glasses) that can be applied later on a built building in terms of effective daylight use and human-centered lighting concept in deep office spaces in multi-storey buildings It is aimed to be evaluated. The office space on the 30th floor of the Zorlu Levent Office building in Istanbul, where the effects of the built environment on indoor lighting (shading, glare, etc.) are minimal, was chosen as the sample space. Simulation results using the Grasshopper plug-in LadyBug/Honeybee Tools show that natural lighting systems can also help people-oriented lighting, depending on orientation and time variables, to support visual comfort in indoor lighting. In addition, it can be concluded that elements with angular selective permeability and shading, such as prismatic panels, exhibit more efficient indoor lighting performance in Istanbul's climatic conditions than other elements. Comparing the data obtained with the international standards determined in the lighting of office spaces allows the development of natural lighting design proposals for deep office spaces in multi-storey buildings.

Keywords

Daylighting, human-centric lighting, office lighting, shading devices

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. OFİSLERDE AYDINLATMA	5
2.1. Ofis Mekanlarının Özellikleri	8
2.2. Ofislerde Aydınlatma Standartları.....	11
2.2.1. Parıltı Dağılımı	12
2.2.2. Aydınlik Düzeyi.....	12
2.2.3. Kamaşma	14
2.2.4. Aydınlatma Karakteri	15
2.2.5. Işığın Renksel Özellikleri	16
2.2.6. Işığın Titreşimi.....	18
2.2.7. Günışığı	18
2.3. Ofislerde Doğal Aydınlatma İçin Kullanılan Elemanlar	19
2.3.1. Işık Rafları	20
2.3.2. Prizmatik Paneller.....	24
2.3.3. Lazer Kesim Paneller.....	26
2.3.4. Güneş Yönlendirici Cam	29
2.3.5. Holografik Optik Elemanlı Işık Yönlendirici Cam	31
2.3.6. Anidolik Tavanlar	33
2.3.7. Anidolik Açıklıklar.....	37
2.3.8. Anidolik Petek Sistemleri	40
2.3.9. Işık Tüpleri.....	42

2.3.10. Heliostatlar.....	44
3. İNSAN MERKEZLİ AYDINLATMA	47
4. MATERYAL VE METOT	59
4.1. Materyal.....	59
4.1.1. Örnek Yapı: Zorlu Levent Office	60
4.1.2. Doğal Aydınlatma Simülasyon Programı: Honeybee	63
4.2. Metot	63
5. BULGULAR.....	73
5.1. Aydınlık Seviyesi Değerlerinin Karşılaştırılması.....	73
5.1.1. 14 Mayıs 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	73
5.1.2. 14 Mayıs 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	77
5.1.3. 14 Haziran 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	80
5.1.4. 14 Haziran 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	83
5.1.5. 14 Temmuz 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	86
5.1.6. 14 Temmuz 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	89
5.1.7. 14 Ağustos 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	92
5.1.8. 14 Ağustos 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	95
5.1.9. 21 Haziran 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	98
5.1.10. 21 Haziran 11:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	101
5.1.11. 21 Haziran 14:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	104
5.1.12. 21 Haziran 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	107
5.2. İnsan Merkezli Aydınlatma Tasarımı Değerlendirmesi	110
6. SONUÇ	116
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	129
EK 1. Simülasyonlarda kullanılan doğal aydınlatma elemanlarının mekân içinde görünümleri	130
EK 2. M/P oranları	132

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Ofislerde çalışma alanı ve mekân türüne göre minimum aydınlık düzeyi değerleri.....	13
Tablo 2. Yakın çevrelerin minimum aydınlık düzeyi değerleri	14
Tablo 3. Ofislerde çalışma alanı ve mekân türüne göre UGR değerleri	15
Tablo 4. Benzer renk sıcaklıklarına göre lambalar	16
Tablo 5. Ofislerde çalışma alanı ve mekân türüne göre UGR değerleri	17
Tablo 6. Bazı ışık kaynaklarının M/P oranları ve benzer renk sıcaklıkları.....	53
Tablo 7. 14 Mayıs 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	76
Tablo 8. 14 Mayıs 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	79
Tablo 9. 14 Haziran 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	82
Tablo 10. 14 Haziran 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	85
Tablo 11. 14 Temmuz 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları	88
Tablo 12. 14 Temmuz 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları	91
Tablo 13. 14 Ağustos 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları	94
Tablo 14. 14 Ağustos 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları	97
Tablo 15. 21 Haziran 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	100
Tablo 16. 21 Haziran 11:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	103
Tablo 17. 21 Haziran 14:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	106
Tablo 18. 21 Haziran 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları.....	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Gün ışığının bileşenleri	6
Şekil 2. Birincil ve ikincil aydınlatma bölgeleri	7
Şekil 3. Hücresel plan tipi	9
Şekil 4. Bull-Pen, yönetici çekirdek ve açık yerleşim sistemlerinin karşılaştırılması	10
Şekil 5. Serbest yerleşim ve açık yerleşimin karşılaştırılması	10
Şekil 6. Farklı ışık rafı uygulamalarının yaz ve kış aylarında durumu	21
Şekil 7. Değişken alanlı ışık rafı sistemi	22
Şekil 8. Güneş ışığı açılara göre prizmatik panellerin çalışma prensibi	25
Şekil 9. Laser kesim panel örneği	27
Şekil 10. Lazer kesim panellerin çalışma prensibi	27
Şekil 11. Açısal seçici tavan penceresi uygulaması	28
Şekil 12. Açısal seçici tavan penceresi çalışma prensibi	29
Şekil 13. Güneş yönlendirici cam çalışma prensibi	30
Şekil 14. HOE'li zenithal ışık yönlendirici cam uygulama örneği	32
Şekil 15. Işık yönlendirici cam çalışma prensibi	33
Şekil 16. Anidolik tavan sistemi şematik gösterimi	34
Şekil 17. Anidolik tavan sistemi şematik gösterimi	37
Şekil 18. 47° için tasarlanmış bir anidolik zenithal açıklığın toplama alanı	38
Şekil 19. Bir anidolik zenithal açıklık kesiti	38
Şekil 20. Anidolik petek sistemi	40
Şekil 21. Işık tüpü kesiti	42
Şekil 22. Heliostat çalışma prensibi şeması	45
Şekil 23. Işığın insan üzerindeki etkilerinin modeli	49
Şekil 24. IF ve NIF tepkilerinin spektral hassasiyetinin farklı ışık tipleri ile karşılaştırılması	53
Şekil 25. Örnek ofis şematik planı	60
Şekil 26. Mevcut cepheden fotoğraf ve kesiti	61
Şekil 27. İstanbul yıllık gökyüzü durumu grafiği	62
Şekil 28. İstanbul aylık ortalama ışıınım değerleri	62
Şekil 29. Simülasyon tabanlı çalışma akış şeması	64
Şekil 30. Ana ve alt geometri malzemelerinin parametrik kurgusu	65
Şekil 31. Gökyüzü, tarih ve gölgeleme elemanı kombinasyonlarının denklemi	66

Şekil 32. Işık rafı, prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam profil kesitleri.....	67
Şekil 33. Gölgeleme elemanları malzeme parametreleri	68
Şekil 34. Izgara sistemi ve lejantının parametrik kurgusu	69
Şekil 35. Götüntü tabanlı simülasyon ve lejantının parametrik kurgusu	69
Şekil 36. Kamera bakış açısı ve konumu	70
Şekil 37. Radiance çıktısı görüntü üzerinden RGB değeri hesaplama yöntemi	71
Şekil 38. M/P oranı ölçülen noktaların konumları	72
Şekil 39. Işık rafı M/P değerleri	111
Şekil 40. Prizmatik panel M/P değerleri	112
Şekil 41. Lazer kesim panel M/P değerleri	113
Şekil 42. Güneş yönlendirici cam M/P değerleri	114
Şekil 43. Referans mekân (yatay jaluzi) değerleri	115

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
L_b	Arka plan parlaklığı
I	Işık kaynağının parlaklığı
ω	Işık kaynağının açısı
ρ	Işık kaynağı Guth pozisyon indeksi
T_{CP}	Benzer renk sıcaklığı
K	Kelvin
R_a	Renksel geriverim indeksi
kHz	kilohertz
m	metre
mm	milimetre
nm	nanometre
m ²	metrekare

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
ANSI	American National Standards Institute
BRE	Building Research Establishment
CAD	Computer Aided Drawing
CCT	Correlated Colour Temperature
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CS	Circadian Stimulus
DF	Daylight Factor
EML	Equivalent Melanopic Lux
EN	European Norm
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
HCL	Human-centric Lighting
HOE	Holographic Optical Element
IF	Image Forming
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
İMA	İnsan Merkezli Aydınlatma
ipRGC	Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cell
LCP	Laser-cut Panel
LED	Light Emitting Diode
LP	Light Pipe
M/P	Melanopic/Photopic
NIF	Non-image Forming
PV	Photovoltaic
RGB	Red-Green-Blue
SAD	Seasonal Affective Disorder
SCN	Super Chiasmatic Nuclei
TUB	Technical University of Berlin
UGR	Unified Glare Rating
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

1. GİRİŞ

İnsanlığın bilinen en eski tarihinden bu yana güneş, insanların günlük döngülerini belirleyici bir ışık kaynağı olmuştur. İnsanın, çevresini büyük bir oranda görsel olarak algıladığı göz önünde bulundurulduğunda, ışığa bağımlı olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle 19. yüzyılın sonlarında elektrikle aydınlanmanın icadından önce insanlar güneşe bugün olduğumuzdan daha bağımlı yaşamaktaydılar. Yapay aydınlatmanın yaygınlaşması ve tüketim maliyetlerinin azalması ile birlikte çalışma saatlerini ayarlamak için güneşin varlığına olan bağlılığımız da azalmıştır. (Cupkova, ve diğerleri, 2019), (Yoon, ve diğerleri, 2020), (Papatsimpa, Bonarius, & Linnartz, 2020).

Sirkadiyen döngü olarak da adlandırılan insanların 24 saatlik vücut döngüsü gün ışığının varlığına göre şekillenmektedir. Sirkadiyen döngünün devamlılığını sağlayan, vücudumuzda iki adet hormon bulunmaktadır: kortizol ve melatonin. Sabahları güneşin ilk ışıkları ile birlikte salgılanmaya başlanan kortizol vücudumuzu kan basıncını yükselterek aktive ederken, gün ışığı varlığının sona ermesi ile salgılanan melatonin ile vücut kendini uykuya hazırlamaktadır. Gündüzleri kortizol varlığının en üst noktaya çıktığı vakitlerde melatonin seviyesi en az iken akşam saatlerinde bu hormonların vücuttaki bulunma miktarları tam tersi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum 24 saatlik vücut döngümüzün sürdürülebilir olması için gereklidir. Güneş battıktan sonra maruz kaldığımız yapay aydınlatma kaynaklı ışığın varlığının sirkadiyen döngümüz üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu, hormonal dengemizi bozduğu bilinmektedir. Güneşin varlığının sona ermesi ile birlikte maruz kaldığımız yapay ışık kaynakları, vücudumuzun dinlenmesi için gerekli olan melatonin hormonunun salgılanmasını azaltmakta ve vücudun kendini bir sonraki güne hazırlamasını yavaşlatmaktadır. Işığın insan fizyolojisi üzerindeki etkileri uzun yıllardan beri incelenen bir konu olmasına karşın son yıllarda tıp alanında gerçekleştirilen, insan gözündeki ışığa duyarlı bazı sinir hücrelerinin beynin görüntü işleme bölümü yerine hormon merkezine bilgi iletiminin keşfi ile ışığın sirkadiyen sistem üzerindeki etkilerinin de gözlemlenebileceği ortaya çıkarılmıştır (Cupkova, ve diğerleri, 2019), (Nikolova, Petrinska, Ivanov, & Pavlov, 2019), (Giang, La, Tien, Duong, & Tong, 2020).

Ofis mekanlarında uygulanan aydınlatma stratejileri, kullanıcıların görsel konforunu iyileştirmek ve böylece iş verimini, göz sağlığını, esenlik halini güçlendirmek gibi

fiziksel sağlığını korumayı göz önünde bulundurarak oluşturulmaktadır. Kullanıcıların görsel konfor şartlarının sağlanabilmesi yalnız yapay aydınlatma ile sağlanamamaktadır. Ofislerde iyi bir aydınlatma tasarımı gerçekleştirebilmek için doğal aydınlatmadan da faydalanılması gerekmektedir. Doğal ışığın iç mekanda daha derinlere erişebilmesi cephede bulunan açıklığın yüksekliği ile doğru orantılıdır ve yaygın bir şekilde kullanılan açık ofis uygulamalarıyla birlikte iç mekanların derinleşmesine bağlı olarak gün ışığı bu derin mekanların tamamına erişememektedir. Buna bağlı olarak doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı kısımlarda yapay aydınlatmaya başvurulmakta ve bu da kullanıcıların sirkadiyen döngülerine olumsuz yönde etki edebilmektedir. Sirkadiyen döngüdeki bozulmalar, kullanıcıların stres seviyesinin yükselmesi, dikkat dağınıklıkları ve yorgunluk hissinin oluşması gibi yan etkilere sebebiyet vermektedir. (Ochoa & Capetulo, 2006), (Al-Obaidi, Munaaim, Ismail, & Rahman, 2017).

Çok katlı, yüksek binalarda çevre binalardan kaynaklanan gölge oluşumu, yansıma kaynaklı parıltı oluşumu gibi çevresel faktörlerin iç mekan aydınlatma stratejileri üzerindeki olumsuz etkilerinin alçak binalarla karşılaştırıldığında daha az olduğu bilinmektedir. Bu durum özellikle günün aydınlık kısmının büyük bir bölümünde aktif olarak kullanılan ofis mekanlarında, çevresel faktörlerden bağımsız bir şekilde, yapının içinde var olduğu iklim tipi ve ısıtım (radyasyon) değerleri göz önünde bulundurularak gölgeleme ve doğal aydınlatma stratejileri oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. Bu tarz yapılarda, özellikle aşırı ısınma döneminde batı cephesinde güneş ışınlarının dik bir şekilde iç mekana ulaşması sonucu yüzeylerde meydana gelebilecek konforsuzluk kamaşması ve çok yüksek aydınlık düzeyi oluşumu göz önünde bulundurulduğunda doğal aydınlatmaya ek olarak gölgeleme stratejisi de aydınlatma tasarımı içerisinde önemli bir yer tutmaktadır (Christoffersen, 1995).

Bu tez çalışmasının amacı; çok katlı binalarda yer alan derin ofis mekanlarında, doğal aydınlatma ve gölgeleme stratejileri ile etkin gün ışığı kullanımını ofislerde görsel konfor standartları ve insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterleri çerçevesinde değerlendirmektir. Çalışma alanı olarak seçilen İstanbul Kenti, coğrafi konumu gereği yılın dört ayını aşırı ısınma dönemi olarak geçirmektedir. Bu dönem boyunca yalnızca gün ışığını kullanmak değil ek olarak güneş ışığından korunmak da önem arz etmektedir. Aydınlatma analizi simülasyonlarının gerçekleştirilmesi adına Tabanlıoğlu Mimarlık tarafından 2014 yılında inşası tamamlanmış olan 41 katlı (170 metre) Zorlu Levent

Office binasının 30. katında yer alan ofis katı örnek mekan olarak seçilmiştir. Yapı, bulunduğu bağlamdaki en yüksek yapı olması özelliği ile çevresel faktörlerin iç mekan aydınlatması üzerindeki etkileri yok sayılmıştır. Seçilen ofis mekanının 4 yönde de cephesinin bulunması, gün içinde güneşin konumuna bağlı olarak iç mekandaki aydınlık düzeyi değişimlerinin takibine imkan sağlamıştır. Çalışmada kullanılan bu örnek mekan Rhinoceros 3D, CAD yazılımı ile modellendikten sonra, Grasshopper eklentileri Ladybug ve Honeybee Tools ve Radiance yazılımı yardımıyla parametrik olarak aydınlatma analizi gerçekleştirilmiştir.

Farklı gölgeleme elemanlarının gün boyunca iç mekanda sağladığı görsel konfor şartlarının farklılık göstereceği, aynı gölgeleme elemanının farklı günlerde aynı saatte benzer performans sağlayacağı ve günün farklı saatlerinde güneşin konumuna göre göstermiş olduğu performansın artıp azalabileceği bu çalışmada oluşturulan varsayımlardır.

Tez çalışmasının ilk bölümde çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemi ve sonraki bölümlerin içeriğini özetleyen açıklamalar bulunmaktadır. İkinci bölüm, ofis mekanlarının tanımı ve sınıflandırılması, ofislerde aydınlatma tasarımı standartları ve bu standartların kriterleri ve son olarak ofislerde kullanılan doğal aydınlatma elemanlarının tanımı ve örnek kullanımları hakkında ayrıntılı bilgi içeren bir literatür taramasıdır. Bu bölüm altında ofis tiplerine göre kullanılacak doğal aydınlatma ve gölgeleme elemanlarının sınıflandırılması ve performans çalışmaları özetlenmiştir. Üçüncü bölümde insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterleri, bu kriterlerin önceki aydınlatma tasarımı kriterlerinden farkı ve ölçüm tekniklerine ait bilgiler yer almaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen insan merkezli aydınlatmanın tasarımı değerlendirmesinin yöntemi de bu başlık altında tanıtılmaktadır. Dördüncü bölüm, çalışmanın materyal ve yöntemine dair ayrıntılı açıklamaların yer aldığı kısımdır. Bu bölümde analiz çalışmalarında kullanılan Rhinoceros 3D, Grasshopper, Ladybug/Honeybee Tools, Radiance yazılımları tanıtılıp çalışmada hangi öncelik sırası ve amaç ile kullanıldıkları açıklanmaktadır. Analizi gerçekleştirilecek olan ofis mekanına ait konum, iklim, radyasyon yoğunluğu, malzeme, form ve yönelim gibi parametreler de bu bölümde detaylı olarak verilmektedir. Beşinci bölüm, bilgisayar analizlerinden elde edilen bulguları ve bu bulguların değerlendirmelerini içermektedir. Elde edilen bulgular görsel konfor standartları ve insan merkezli aydınlatma kriterlerine göre iki alt başlık altında irdelenmektedir. İlk başlık

altında, simülasyonlardan elde edilen materyaller tarihlerine göre kategorize edilerek değerlendirmeye alınmaktadır. İkinci alt başlıkta ise elde edilen materyallerden çekilen tüm veri toplu bir şekilde karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Son bölümde ise bulgular özetlenmiş ve öneriler sunulurak tez çalışması sonuçlandırılmıştır.



2. OFİSLERDE AYDINLATMA

Sanayileşmiş toplumlarda insanlar genellikle günlerinin neredeyse yarısını kapalı fiziksel ortamlarda çalışarak geçirirler (Leech, Nelson, Burnett, Aaron, & Raizenne, 2002). Ofis içi aydınlatmada, kullanım zamanı düşünüldüğünde gün ışığı önemli bir unsurdur. Ofis aydınlatmasının temel amacı, konforlu ve verimli bir çalışma ortamı sağlamaktır. Kullanıcının konfor durumu, özellikle ofis alanlarında gün ışığı tasarımı için önemli bir girdidir. Gün ışığı gibi pasif tasarım çözümlerini benimseyerek iyi enerji performanslarını elde eden binaların da daha yüksek kullanıcı memnuniyeti gösterdiğine dair çalışmalar bulunmaktadır (Baker & Steemers, 2003).

Önemli bir enerji tasarrufu tasarım stratejisi olarak kabul edilen ofis binalarındaki gün ışığı kullanımı, maksimum faydaların gerçekleştirilebilmesi için dikkatli bir mimari tasarım gerektirmektedir (Johnson, Connell, Selkowitz, & Arasteh, 1985). Enerji tüketiminin yanı sıra, gün ışığı aydınlatması, iç mekân çevre kalitesi ile ilgilidir. Dahası, gün ışığının iç mekânda kullanımı, kullanıcıların verimliliğini artırmak için önemli bir faktördür. İyi tasarlanmış bir alanda gün ışığı, elektrik aydınlatması ile taklit edilmesi zor ve pahalı olan psikolojik faydalar sunmaktadır (Capeluto, 2003). Faydaları doğrulamak için yapılan bir araştırma, çoğu kullanıcının doğal ışığı yapay ışığa tercih ettiğini ve kullanıcıların konforlu ve verimli çalışabilmesi için en önemli faktörlerin doğal ışık ve doğal havalandırma olduğunu göstermiştir (Doğrusoy & Türeyen, 2007). Ofis çalışanlarında gün ışığının faydalarının, görsel konfor standartlarına sahip olmayanlara kıyasla mümkün olan en iyi görsel konfor şartlarına sahip olduklarında zihinsel işlev ve hafıza hatırlama testlerinde %10 ila %25 daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Bu nedenle, gün ışığı mimari özelliklerini içeren bina tasarımının sadece gün ışığı miktarını değil, aynı zamanda kullanıcıların refahını ve sağlığını da dikkate alması gerekmektedir (Heschung, 1999).

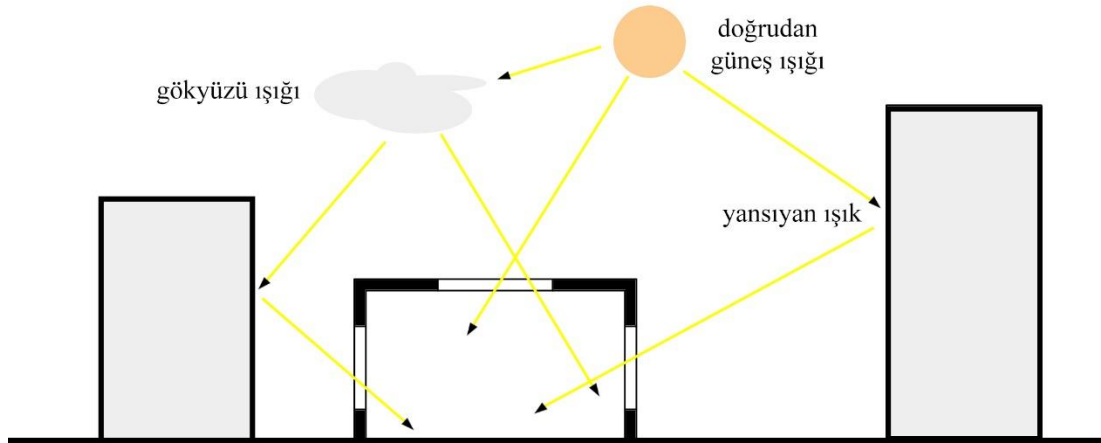
Çalışmalar, binalardaki gün ışığı miktarının genellikle dört ana etkene bağlı olduğunu göstermektedir: iklim, enlem, çevredeki engeller ve yansımalar ve bina tasarımı.

İklim, gün ışığı tasarımında gökyüzü durumu, gün ışığı yeterliliği, güneş konumu, görsel konfor, termal konular ve enerji performansı açısından önemli roller oynamaktadır. Bu nedenle, günışığı aydınlatma tasarımının ilk adımı, mevsimsel iklim koşullarının,

özellikle güneş ışığı olasılığı ve bölgesel bulut örtüsü modellerinin kalitesinin belirlenmesini içermektedir (Reinhart, 2002).

Binaların bulundukları enlem, yılın farklı mevsimlerinde gün ışığını ve güneş enerjisinin kullanılabilirliğini etkilemektedir. Kuzey yarımküre için, güneş yaz aylarında en yüksek seviyede, kışın en düşük seviyesinden yaklaşık iki buçuk kat daha fazladır (Reinhart, 2002).

Başarılı bir gün ışığı tasarımı, konum planlamasından mimariye, iç mekân mobilya düzenine ve aydınlatma tasarımına kadar birçok etmenden oluşmaktadır. Binalardaki gün ışığı doğrudan güneş ışığı, gökyüzü ışığı ve yapıyı çevreleyen unsurlardan yansıyan ışığı içermektedir. Şekil 1, gün ışığının bu bileşenlerini göstermektedir. Parlak bir ışık kaynağı olan (100.000 lükse kadar) doğrudan güneş ışığı, güneşten gelen doğrudan ışınlardır. Güneş ışığı çok parlak ve sıcaktır, bu da görsel ve termal rahatsızlığa yol açmaktadır; öte yandan, gökyüzü ışığı çok daha yumuşaktır. Gökyüzü ışığı, güneşten gelen doğrudan ışınların atmosferde kırılarak gökyüzünde dağılmasıyla oluşur ve doğrudan güneş ışığının mekânda istenmeyen etkileri olmadan verimli ve yumuşak aydınlatmayı ve en iyi görsel kaliteyi sağlamaktadır. Kabul edilebilir gün ışığı tasarımı iki ana stratejiye dayanmaktadır: gökyüzü ışığının kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve doğrudan güneş ışığının nüfuzunu en aza indirmektir (Jones, Alexander, Marsh, & Burnett, 2004).



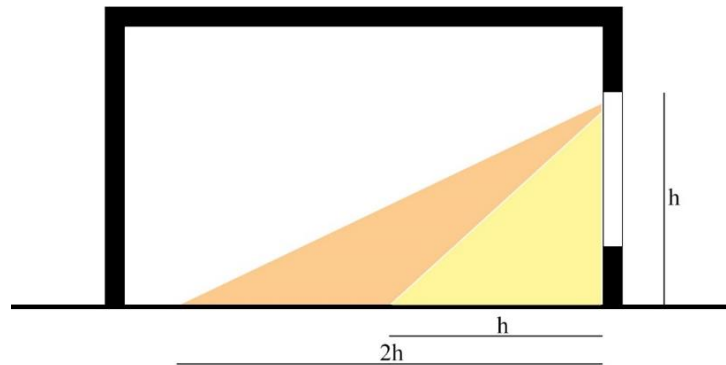
Şekil 1. Gün ışığının bileşenleri

(Kaynak: (Modaresnezhad, 2016) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Yapı alanının çevresindeki engelleri araştırmak, mimarların binaları gün ışığından yararlanma konusunda maksimum gün ışığı getirecek ve çevredeki binalardan yansımayı en aza indirecek şekilde tasarımlarına yardımcı olmaktadır (Reinhart, 2002).

Bir binanın geometrisi, alan içindeki gün ışığının kullanılabilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bina yönlendirmesi, alanda yeterli gün ışığı sağlayan en önemli parametrelerden biridir. Kuzey yarımkürede, kuzeyden gelen ışık esas olarak dağınıktır ve gün boyunca zevkli ve görsel olarak rahat bir ışık sağlamaktadır (Halonen, Tetri, & Bhusal, 2010). Binanın güney cephesi doğrudan güneş radyasyonu maruz kalmaktadır. Güneyde bulunan açıklıklar, doğal ışığın içeri alınabilmesi için en uygun yapı elemanlarıdır ve kış aylarında da iyi bir güneş ısı kazancı kaynağıdır. Binanın güney tarafındaki güneş ışığını kontrol etmek kolay olduğu için, güneşin bu tarafa açılması genellikle en iyisidir (Halonen, Tetri, & Bhusal, 2010).

Gün ışığı, pencereler, çatı pencereleri ve çatı monitörleri gibi çeşitli mimari elemanlarla iç mekâna alınmakta ve bu öğelerin her biri bir gün ışığı bölgesi oluşturmaktadır. Üç gün ışığı bölgesi vardır: birincil yan aydınlatma, ikincil yan aydınlatma ve üst aydınlatma bölgeleri. Birincil ve ikincil yan aydınlatma bölgeleri pencerelerle aydınlatılmışken, üst aydınlatma bölgeleri tavan pencereleri ve çatı monitörleri tarafından aydınlatılmaktadır (Reinhart & Galasiu, 2008). Kabuktan itibaren çekirdeğe doğru bir pencere yüksekliği mesafe birincil yan aydınlatmalı gün ışığı bölgesidir. İkincil yan aydınlatmalı gün ışığı bölgesi ise, birincil aydınlatma bölgesinin bitişinden başlayarak bir pencere boyu mesafedir (Reinhart & Galasiu, 2008). Şekil 2, birincil ve ikincil yan aydınlatmalı gün ışığı bölgelerini göstermektedir.



Şekil 2. Birincil ve ikincil aydınlatma bölgeleri

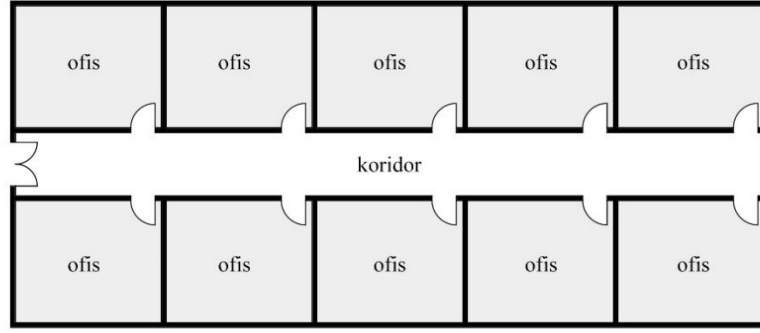
(Kaynak: (Modaresnezhad, 2016) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Binanın g n      aydınlatma tasarımı, kullanılacak olan g n      aydınlatma sistemleri hakkında kararlar alınarak, tasarım sürecinin ilk zamanlarında yapılmalıdır. Bina kabuğunun ilk konsepti, açıklıkların yeri, boyutları ve şekli g n      aydınlatma sistemlerinin bileşenleridir. Yapılan bir çalışma, bir tasarımın ilk aşamalarındaki kararların bitmiş binanın performansı üzerinde büyük bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Örneğin, binanın genel şekli, odaların derinliği ve yüksekliği ve pencerelerin boyutu ile ilgili seçenekler, bitmiş binanın nihai enerji tüketimini yarı yarıya azaltabilmektedir. Özetle, bina tasarımı karmaşık bir s rec  olduğundan, gün ı ı ı performansına ilişkin kritik kararlar şematik tasarım sürecinde dikkate alınmalı ve tartışılmalıdır (Krarti, Erickson, & Hillman, 2005).

2.1. Ofis Mekanlarının  zellikleri

ANSI (Amerikan Ulusal Standartları) / IESNA (Kuzey Amerika Aydınlatıcı Mühendislik Topluluğu) (1993) ofis planlarını iki grupta sınıflandırmaktadır: açık plan ofisler ve hücresel planlı ofisler. Açık plan ofisler ise kendi içinde dört alt sistemle incelenmektedir: Bull-Pen sistemi, yönetici çekirdek sistemi, açık yerleşme sistemi ve serbest yerleşme sistemi.

Hücresel plan tipi,  ekil 3'te de gösterildiği gibi merkezi bir sirkülasyon alanına ba lanan odaların yan yana gelmesi ile oluşturulan plan tipidir. Genel olarak tabandan tavana bölmelerle sınırlanmış nispeten küçük alanlardır ve her ofis sadece bir ya da birkaç kullanıcıya hizmet etmektedir. En eski ve en çok örneğe sahip ofis plan tipi örneğidir. Genellikle doğal aydınlatmaya ba lı kalındı ından bu tip ofislerde me an derinlikleri 5,00-6,00 metre ile sınırlı kalmaktadır. Hücresel plan tipi anlayışı tüm dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen çalışanlar arası iletişimin güçlendirilmesi, yöneticilerin denetleme ihtiya ı, esnek kullanım arayışları ve teknolojik gelişmeler ofis mekanlarının planlamasında farklı yaklaşımların araştırılmasına sebep olmuştur (Tu lu Kar lı, 2008).



Şekil 3. Hücresel plan tipi

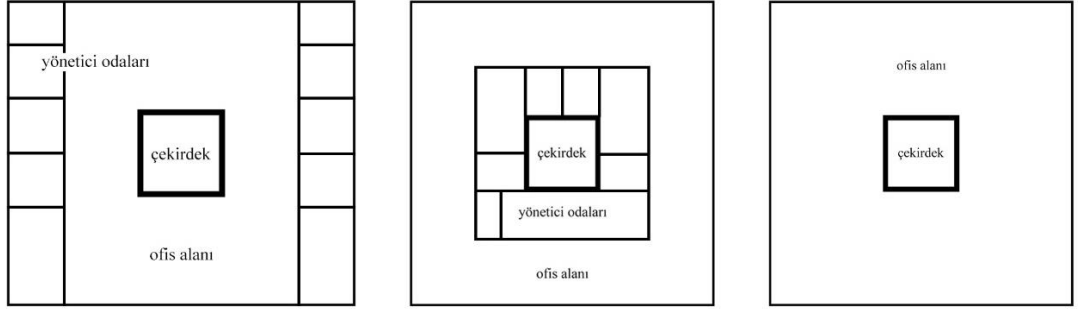
(Kaynak: Yazar tarafından çizilmiştir.)

Esnek kullanım alanlarının sağlanması ve çalışanlar arası iletişimin güçlendirilmesi amacıyla hücresel plan tipi ofislerin duvarları kaldırılarak açık plan tipi uygulanmaya başlanmıştır. Çalışanların ortak bir alanda bulunduğu açık plan ofislerde, birçok farklı türde görev ve faaliyet görülebilmektedir. Genellikle geniş salonlarda toplu çalışılan kurumlar tercih etmektedir. Bu düzende çalışma alanları, hacim içinde mekânlar meydana getirmek üzerine olduğundan alçak bölmeler ve depolama birimleri ile bölümlendirilmekte ya da tamamen açık kullanılmaktadır (Tuğlu Karslı, 2008).

Bir açık plan tipi sistemi olan Bull-Pen, yönetici odalarının ayırıcı duvar ile ana mekândan ayrıldığı ve diğer çalışanların çekirdek ve yönetici odaları arasında yer aldığı plan sistemidir. Kapalı oda kullanımını en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Altınkoç, 2005).

Bull-Pen sisteminde cephede düzenlenen yönetici odalarının çekirdeğin etrafında kurgulanması ve cephe ile yönetici odaları arasında kalan alanının çalışanlara ayrılmasıyla yönetici çekirdek sistemi uygulanmaya başlanmıştır. Açık ofis alanlarının cephe ile ilişkisi artırılarak gün ışığı kullanımının artırılması amaçlanmaktadır (Altınkoç, 2005).

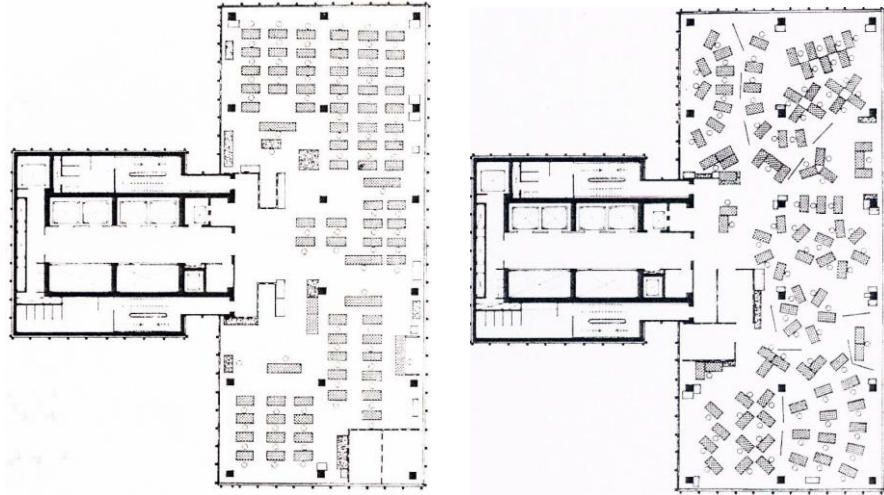
Bull-Pen ve yönetici çekirdek sistemlerinin son aşaması olarak görülen açık yerleşme sistemi, yönetici odalarını ayıran sabit duvarların kaldırılmasıyla ortaya çıkmıştır. Ofis alanlarının daha rasyonel kullanılabilmesi adına bu sistemin uygulandığı düşünülmektedir (Altınkoç, 2005). Şekil 4'te açık ofislerin tiplerinin plan bazında karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4. Bull-Pen, yönetici çekirdek ve açık yerleşim sistemlerinin karşılaştırılması

(Kaynak: (Altınkoç, 2005) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Literatürde ‘Bürolandschaft’, ‘office landscape’ ya da ‘field office system’ olarak geçen serbest yerleşme sistemi, 1960 yılında Alman yönetim ve işletme danışmanlığı firması olan “Quickborner” ekibi tarafından, ofis içi organizasyonu, çalışanlar arası iş akışı etütleri, dosyalama sistemleri ve iletişim konularındaki çalışmalar sonucunda çıkan veriler ışığında önerilen bir plan tipi anlayışıdır. Açık yerleşme sisteminin aksine, bu planlama sisteminde çalışma alanları geometrik olarak değil serbestçe hatta dağınık olarak konumlandırılmaktadır. Bu ofis tipinin özelliği mekân büyüklüğü ve derinliğinin fazla ve bölünmeden bir bütün halinde oluşudur. Önemli olan olabildiğince az kolon ve ayırıcı ile mekânı kurgulamaktır. Bu iki yerleşim şekli Şekil 5’te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Tuğlu Karşı, 2008).



Şekil 5. Serbest yerleşim ve açık yerleşimin karşılaştırılması

(Kaynak: (Çete, 2004)

Ofis mekanlarında derinlik, yapı kabuğundan ana sirkülasyon alanına ya da çekirdeğe kadar olan uzaklık ile belirlenir. Mekân derinliklerine göre ise ofisler dört grupta sınıflandırılmaktadır: derinliği az olan ofisler, orta derinlikte ofisler, derin ofisler ve çok derin ofisler.

Ana bir sirkülasyon ve etrafına sıralanmış odalardan meydana gelen geleneksel (hücreli) ofis tipi anlayışında tasarlanan ofis mekanları genellikle derinliği az olan mekanlarla kurgulanmaktadır. 4,00-5,00 metre derinliğindeki bu mekanlar doğal aydınlatma ve havalandırmaya imkân sağlamaktadır. Orta derinlikteki ofis mekanlarının derinlikleri 5,00 ile 9,00 metre arasında değişmektedir. Her türlü bölüntüye rahat adapte edilebilen bu tip mekanlar doğal aydınlatma ve havalandırma açısından yetersiz kaldığı için yapay sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Derinliği 9,00-19,00 metre arasında değişen ofis mekanları derin mekanlar olarak tanımlanmaktadır. Bu tipte mekanlar kullanım açısından daha verimli olduğu için derinliği genellikle 15,00 metre olacak şekilde kurgulanmaktadır. 15,00 metre üzeri kullanımlar açık ve serbest ofis kullanımlarına uygundur. Derinliği 20,00 metreyi aşan çok derin mekanlarda farklı ana sirkülasyon hatları tasarlanmaktadır. Her noktadaki çalışan için eşit şartların sağlanabilmesi adına bu derinlikte serbest yerleşme sistemi uygulanmaktadır. Derinlik artışına bağlı olarak cephe ile bağlantının azalmasından dolayı doğal aydınlatma ve havalandırma sistemlerine ek yapay sistemler gerekmektedir (Altınkoç, 2005).

2.2. Ofislerde Aydınlatma Standartları

İyi aydınlatma, insanların görsel yorgunluğa ve rahatsızlığa neden olmadan görmelerini, güvenli bir şekilde hareket etmelerini ve görsel görevleri verimli, doğru ve güvenli bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlayan görsel bir ortam yaratmaktadır. Ofis mekanları için iyi aydınlatma uygulamaları, iyi bir görev görünürlüğü sağlamaktan daha fazlasıdır. Görevlerin kolay ve rahat bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bu nedenle aydınlatma, çevrenin talep ettiği nicel ve nitel gereksinimleri karşılamalıdır.

Aydınlatma gereksinimleri, üç temel insan ihtiyacının karşılanması ile belirlenmektedir:

- çalışanların kendilerini iyi hissettikleri görsel konfor (dolaylı bir şekilde yüksek verimlilik seviyesine katkıda bulunur),

- çalışanların görsel görevlerini zor şartlar altında ve daha uzun dönemlerde bile yerine getirebildikleri görsel performans,
- emniyet (EN 12464-1, 2011).

Bu gereksinimlerin karşılanabilmesi ve minimum görsel konfor şartlarının sağlanabilmesi için gerekli parametreler uluslararası standartlarca belirlenmiştir.

2.2.1. Parıltı Dağılımı

Görüş alanındaki parıltı dağılımı, gözlerin adaptasyon seviyesini kontrol etmekte ve bu da görev görünürlüğünü etkilemektedir. Görme keskinliğini, kontrast duyarlılığını (nispeten küçük parıltı farklılıklarının ayırt edilmesi) ve oküler fonksiyonların verimliliğini (göz hareketleri vb.) artırmak için iyi dengelenmiş bir adaptasyon parıltısı gerektirir.

Görüş alanındaki çok yüksek aydınlatmalar (parlamaya neden olmaktadır), çok yüksek parıltı kontrastları (görsel yorgunluğa neden olmaktadır), çok düşük parıltı ve çok düşük parıltı kontrastları (donuk ve uyarıcı olmayan bir çalışma ortamına neden olmaktadır) ve bina içerisinde bölgeden bölgeye geçişte adaptasyon eksikliği gibi kaçınılması gereken çeşitli parıltı dağılımları da görsel konforu etkilemektedir.

Ofis mekanlarında tüm yüzeylerin parıltıları önemlidir ve yüzey parıltısı, yüzeylerin yansımaları ve aydınlığı ile belirlenmektedir. Standartlarda belirlenen büyük iç mekân yüzeyleri için yararlı yansıma aralıkları şöyledir:

- tavan: 0,6-0,9
- duvarlar: 0,3-0,8
- çalışma yüzeyleri: 0,2-0,6
- zemin: 0,1-0,5 (EN 12464-1, 2011) (CIE-008/E, 2002).

2.2.2. Aydınlık Düzeyi

Aydınlik düzeyi ve çalışma alanlarındaki aydınlık dağılımı, bir kişinin görsel görevi ne kadar hızlı, güvenli ve rahat bir şekilde algıladığı ve gerçekleştirdiği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Tablo 1’de verilen değerler, çalışma alanı üzerinde yatay, dikey veya eğimli olarak sağlanmış aydınlık düzeyleridir. Her çalışma alanının ortalama aydınlık düzeyi, yapay aydınlatma kurulumunun yaşı ve durumuna bakılmaksızın Tablo 1’de verilen değerlerin altına düşmemelidir. Değerler normal görsel koşullar için geçerlidir ve güvenlik, ekonomi, görsel görevler için gereksinimler, görsel konfor ve refah, pratik deneyim gibi psikolojik ve fizyolojik yönler dikkate alınmaktadır.

Tablo 1. Ofislerde çalışma alanı ve mekân türüne göre minimum aydınlık düzeyi değerleri

Görev/etkinlik/iç mekân türü	lüks
Dosyalama, kopyalama vb.	300
Yazı yazma, klavye kullanma, okuma ve veri işleme	500
Teknik çizim	750
CAD çalışma alanı	500
Konferans ve toplantı odaları	500
Resepsiyon masası	300
Arşiv	200

Kaynak: (CIE-008/E, 2002)

Görsel koşullar normal varsayımlardan farklıysa aydınlık düzeyi değeri, aydınlatma ölçeğinde (aşağıda) en az bir adım aşağı ya da yukarı olacak şekilde ayarlanabilir. Normal aydınlatma koşullarında, insan yüzünün özelliklerini ayırt etmek için yaklaşık 20 lüks yatay aydınlık düzeyi gereklidir ve bu değer aydınlık düzeyi ölçeği için alınan en düşük değerdir. Önerilen aydınlık düzeyi ölçeği (lüks cinsinden): 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 – 5000’dir (EN 12464-1, 2011).

Çalışanın görsel kapasitesinin normalin altında olduğu, yüksek verimliliğin önem taşıdığı, hataların düzeltilme maliyetlerinin yüksek olduğu, kritik görsel çalışmaların uygulandığı, üzerinde çalışılan işin düşük kontrastlara sahip olduğu durumlarda aydınlık düzeyi artırılmalıdır. Büyük detaylara sahip ve yüksek kontrastlı işler ve çok kısa bir süre için yerine getirilmesi gereken işler için gerekli aydınlık düzeyinin seviyesi ise azaltılabilir. Sürekli çalışma yapılan alanlarda, korunan aydınlatma düzeyi 200 lüksten az olmamalıdır (Raynham, 2012).

Çalışma alanının yakın çevresinin aydınlık düzeyi, çalışma alanının aydınlık düzeyi ile ilgili olmalı ve görüş alanında iyi dengelenmiş bir parıltı dağılımı sağlanmalıdır. Çalışma alanı çevresindeki aydınlık düzeyindeki büyük mekânsal değişiklikler görsel stres ve

rahatsızlığa neden olabilmektedir. Yakın çevrelerin aydınlık düzeyi, çalışma alanı aydınlık düzeyinden daha düşük olabilir, ancak Tablo 2'de verilen değerlerden daha az olmamalıdır.

Tablo 2. Yakın çevrelerin minimum aydınlık düzeyi değerleri

Çalışma alanı aydınlık düzeyi (lüks)	Yakın çevrenin aydınlık düzeyi (lüks)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Çalışma alanı ile aynı

Kaynak: (CIE-008/E, 2002)

Çalışma alanı mümkün olduğunca homojen şekilde aydınlatılmalıdır. Aydınlatmanın homojenliği, minimum aydınlık düzeyi değerinin ortalama değere oranı ile hesaplanmaktadır. Çalışma aydınlık düzeyinin homojenliği 0,7'den, yakın çevrelerinki ise 0,5'ten az olamaz (CIE-008/E, 2002).

2.2.3. Kamaşma

Kamaşma, doğrudan veya yansıyan güneş ışığı veya yapay ışık gibi parlak ışıkların varlığında oluşan görme zorluğu durumudur ve konforsuzluk kamaşması (discomfort glare) ve yetersizlik kamaşması (disability glare) olarak deneyimlenebilmektedir. Yetersizlik kamaşması dış aydınlatmada daha yaygındır, ancak spot ışıklardan veya nispeten zayıf aydınlatılmış bir alandaki bir pencere gibi büyük parlak kaynaklardan dolayı da iç mekânda deneyimlenebilmektedir (EN 12464-1, 2011).

Hatalardan, yorgunluktan ve kazalardan kaçınmak için kamaşmayı sınırlamak önemlidir. İç mekân çalışma alanlarındaki konforsuzluk kamaşması genellikle doğrudan parlak armatürlerden veya pencerelerden kaynaklanmaktadır. Konforsuzluk kamaşma limitleri karşılanırsa, yetersizlik kamaşması iç mekanlarda büyük bir sorun teşkil etmemektedir (EN 12464-1, 2011).

Bir iç mekân aydınlatma sisteminin armatürlerinden gelen konforsuzluk kamaşma derecesi, aşağıdaki formüle dayalı olarak CIE Birleşik Kamaşma Derecelendirmesi (UGR-Unified Glare Rating) tablo yöntemi kullanılarak belirlenmektedir:

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_b} \times \sum \frac{L^2 \times \omega}{p^2} \right)$$

Yukarıdaki denklemde L_b arka plan parlaklığını (cd/m^2), L her bir ışık kaynağının gözlemcinin gözü yönünde parlaklığını (cd/m^2), ω her bir ışık kaynağının gözlemcinin gözüne olan açısını, p ise her bir ışık kaynağının Guth pozisyon indeksini (bakış doğrultusuyla arasındaki mesafe) temsil etmektedir (CIE-008/E, 2002).

Aydınlatma tasarımının UGR değeri, Tablo 3'te verilen değerleri aşmamalıdır. Tabloda verilen UGR limitlerinin değerleri UGR ölçeğinden alınmaktadır. Bu ölçeğe göre 13 algılanan en az konforsuz kamaşmayı temsil etmektedir.

UGR ölçeği: 13 – 16 – 19 – 22 – 25 – 28.

Tablo 3. Ofislerde çalışma alanı ve mekân türüne göre UGR değerleri

Görev/etkinlik/iç mekân türü	UGR_L
Dosyalama, kopyalama vb.	19
Yazı yazma, klavye kullanma, okuma ve veri işleme	19
Teknik çizim	16
CAD çalışma alanı	19
Konferans ve toplantı odaları	19
Resepsiyon masası	22
Arşiv	25

Kaynak: (CIE-008/E, 2002)

2.2.4. Aydınlatma Karakteri

Sadece belirli bir yönde yapılan aydınlatma anlamına gelen doğrultulu aydınlatma, nesneleri vurgulamak, dokuları ortaya çıkarmak ve alan içindeki insanların görünümünü iyileştirmek için kullanılmaktadır. Daha yumuşak bir ışık olan yaygın aydınlatma, dağınık olarak ve her yönden mekânı aydınlattığından sert gölgeler oluşturmamaktadır. Yaygın aydınlatma eşit ve genel bir aydınlatma sağlarken, doğrultulu aydınlatma belirli bir nesneyi ya da çalışma yüzeyini vurgulamaktadır. Bu, ışık dağılımı terimi ile açıklanmaktadır (CIE-008/E, 2002).

Işık dağılımı, yaygın ve doğrudan ışık arasındaki dengeyi ifade etmektedir. Neredeyse tüm iç mekanlarda aydınlatma kalitesi için geçerli bir kriterdir. Bir iç mekânın genel görünümü, form ve doku net ve hoş bir şekilde ortaya çıkarıldığında gelişmektedir. Bu,

ışık bir yönden belirgin bir şekilde geldiğinde ortaya çıkmaktadır. Doğrultulu aydınlatma ile karışıklık olmadan oluşturulan gölgeler iyi ışık dağılımı için gereklidir (CIE-008/E, 2002).

Aydınlatmanın çok doğrultulu olması sert gölgeler oluşmasına, çok yaygın olması ise ışık dağılımı etkisinin tamamen kaybolmasına yol açmaktadır. Bu da aydınlatılmış mekânın sıkıcı olmasına sebebiyet vermektedir. Doğrultulu aydınlatmanın yoğunluğu ile yaygın aydınlatma arasındaki ilişki vektör/skaler oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran, yönlü aydınlatmanın yönsüz veya yansıyan ışığa göreli değerleri düşünüldüğünde yararlı bir kriterdir. 1,2'den 1,8'e bir vektör/skaler oranı, yüzlerin algılanmasının önemli olduğu normal genel aydınlatma koşullarında yeterlidir (Raynham, 2012).

2.2.5. Işığın Renksel Özellikleri

Işık kaynağının kendisinin renk görünümü (colour appearance) ve ışık kaynağı ile aydınlatılan nesnelerin ve kişilerin renk görünümünü etkileyen renksel geriverim (colour rendering) kapasiteleri, ışığın renksel özelliklerini belirten tanımlamalardır. Bu iki özellik ayrı ayrı ele alınmaktadır.

Bir lambanın "renk görünümü" yayılan ışığın görünen rengini (renklilik) ifade etmektedir. Benzer renk sıcaklığı (T_{CP} -Correlated Colour Temperature) ile ölçülmektedir. Tablo 4'te gösterildiği gibi lambalar benzer renk sıcaklıklarına (T_{CP}) göre üç gruba ayrılmaktadır.

Tablo 4. Benzer renk sıcaklıklarına göre lambalar

Renk görünümü	Benzer renk sıcaklığı
Sıcak	3300 K altında kalan
Orta düzey	3300 K ile 5300 K arası
Soğuk	5300 K üzeri

Kaynak: (CIE-008/E, 2002)

Renk görünümü seçimi psikoloji ve estetik meseledir. Seçim aydınlık düzeyine, odanın ve mobilyaların renklerine, çevredeki iklime ve uygulamaya bağlıdır. Genellikle ılıman iklimlerde daha soğuk bir ışık renk görünümü tercih edilirken, soğuk iklimlerde daha sıcak bir ışık renk görünümü tercih edilmektedir (CIE-008/E, 2002).

300 lüks ya da daha az aydınlık düzeyine sahip odalar için sıcak veya orta düzey renk sıcaklığı olan lambalar tercih edilmesi (soğuk renkli lambalar kasvetli bir görünüme sebep olur), gün ışığı ile karıştırılmak istenilen durumlarda orta düzey renk sıcaklığına sahip lambalar kullanılması ve farklı renk sıcaklığında olan lambaların aynı odada gelişigüzel kullanılmaması gibi genel kurallar ışık kaynağının renk seçiminde yardımcı olmaktadır (Raynham, 2012).

Görsel performans, konfor ve refah hissi için ortamdaki nesnelerdeki ve insan derisindeki renklerin doğal ve doğru görünmesini sağlayacak şekilde oluşturulması önem taşımaktadır. Bir ışık kaynağının renk oluşturma özelliklerinin objektif bir göstergesini sağlamak amacıyla R_a genel renksel geriverim indeksi tanımlanmıştır. R_a 'nın maksimum değeri 100'dür. (DiLaura, Houser, Mistrick, & Steffy, 2011).

R_a değeri 80'den az olan lambalar, insanların uzun süre kaldığı iç mekanlarda kullanılmamalıdır. Yüksek tavan aydınlatmaları ve dış ortam aydınlatmaları bu duruma istisna olabilmektedir. Ancak bu tür yüksek tavanlı iş yerlerinde bile yüksek renksel geriverime sahip lambaların kullanılmasını sağlamak için uygun önlemler alınmalıdır (CIE-008/E, 2002).

Farklı iç mekanlar, görevler veya faaliyetler için genel renksel geriverim indeksinin önerilen minimum değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ofislerde çalışma alanı ve mekân türüne göre UGR değerleri

Görev/etkinlik/iç mekân türü	R_a
Dosyalama, kopyalama vb.	80
Yazı yazma, klavye kullanma, okuma ve veri işleme	80
Teknik çizim	80
CAD çalışma alanı	80
Konferans ve toplantı odaları	80
Resepsiyon masası	80
Arşiv	80

Kaynak: (CIE-008/E, 2002)

2.2.6. Işığın Titreşimi

Alternatif bir akım kaynağından çalışan tüm elektrikli ışık kaynakları, yayılan ışığın miktarı ve spektrumunda düzenli dalgalanmalar üretmektedir. Bu dalgalanmalar görünür hale geldiğinde bunlara titreşim denmektedir (Boyce, 2014).

Titreşim dikkat dağınıklığına ve baş ağrısı gibi fizyolojik etkilere neden olmaktadır. İç mekân kullanıcılarının fizyolojik ve psikolojik sağlığını koruyabilmek adına kurgulanan aydınlatma sistemi titreşimi ve stroboskopik etkileri önleyecek şekilde tasarlanmalıdır (DiLaura, Houser, Mistrick, & Steffy, 2011).

Bir ofis ortamında artık kullanılmayan ya da eski kurum binalarında bulunan manyetik balastlarla ilişkili floresan titreşimi olmamalıdır. Bu tip balastlar yerine daha yeni, yüksek frekanslı (20+ kHz) elektronik balastlar tercih edilmelidir (Samton, 2006).

2.2.7. Güneş Işığı

Güneş ışığı ve güneş ışığı, iç mekân aydınlatmasına yardımcı olmak için kullanılmaktadır ancak ışığın miktarını, dağılımını ve ısı kazancını kontrol etmek için özen gösterilmelidir. Güneş ışığının iç mekâna adaptasyonu sağlanırken, çalışanların ve çalışma alanlarının doğrudan güneş ışığına maruz kalmayacakları, güneş ışığının neden olabileceği aşırı kontrast ve termal rahatsızlıkların meydana gelmeyeceği sistemler tercih edilmelidir (CIE-008/E, 2002).

Güneş ışığı, görsel görevler için aydınlatmanın tamamını veya bir kısmını sağlayabilmektedir. Seviye ve spektral bileşimde güneş ışığında zamanla değişmesi nedeniyle iç mekânda değişkenlik sağlamaktadır.

Yanal pencereler neredeyse yatay olarak iç mekâna ışık akışı sağlaması nedeniyle belirli bir modelleme ve parıltı dağılımı yaratabilmektedir. Yan pencerelerden uzaklaştıkça mekân içindeki güneş ışığı etkisi azalmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak, pencerelerden 3 metre ve yan duvarlardan 1'er metre uzaklıktaki çalışma alanlarının güneş ışığı faktörü %1'in altına düşmemelidir. Aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanan güneş ışığı faktörü (DF), bir mekân içindeki bir çalışma yüzeyindeki aydınlık seviyesinin, bulutlu bir günde yapı dışındaki ışık seviyesine oranıdır. Güneş ışığı faktörü, güneş ışığının

kullanılabilirliğini değerlendirmeye yardımcı olurken iç mekanlarda elektrikli aydınlatma kullanımını da etkilemektedir.

$$\text{Gün ışığı faktörü} = \frac{\text{İç mekan aydınlık seviyesi}}{\text{Dış mekan aydınlık seviyesi}} \times 100$$

Gün ışığı aydınlatmasının yanı sıra, çalışma alanlarındaki gerekli aydınlatmayı sağlamak ve odadaki parıltı dağılımını dengelemek için ek aydınlatma sağlanmalıdır (DiLaura, Houser, Mistrick, & Steffy, 2011).

Kullanıcı deneyimlerinden ve geri bildirimlerinden yola çıkılarak, gün ışığı faktörünün %2'den az olduğu durumlarda mekanın kasvetli olduğu ve gün içinde elektrikli aydınlatmanın zorunlu olduğu, %2 ile %5 arası bir gün ışığı faktörü değerine sahip iç mekanlarda gün ışığı veriminin daha güçlü olduğu ancak ek elektrikli aydınlatmaların gerekebileceği, %5'ten daha fazla gün ışığı faktörüne sahip iç mekanlarda ise gün ışığının şiddetli bir şekilde hissedileceği ve yapılan işe bağlı olarak yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulmayacağı sonucuna varılmıştır (Kwok & Grondzik, 2007).

2.3. Ofislerde Doğal Aydınlatma İçin Kullanılan Elemanlar

Gün ışığının iki bileşeni vardır: kaynağın güneş olduğu güneş ışığı ve güneş ışığının atmosferde kırılarak dağınık olarak bulunduğu gökyüzü ışığı. Bütün gün ışığı aydınlatma sistemleri olmasa da çoğu güneş ışığını yakalamak ve bina içerisine almak için tasarlanmıştır. Her gün ışığı stratejisindeki zorluk, dağıtım sisteminin verimliliğini optimize etmek ve bu nedenle toplama alanının boyutunu en aza indirmektir. Hiçbir gün ışığı sistemi %100 verimliliğe sahip değildir. Bu nedenle, toplama alanının büyüklüğü, sistemin verimliliği ile doğrusal olarak orantılıdır (Boubekri, 2008).

Başarılı bir günışığı aydınlatma stratejisi, bina içindeki gün ışığı seviyelerini en üst düzeye çıkaran ancak kullanıcılar için aydınlık ortamın kalitesini optimize eden stratejidir. Fakat gün ışığı tasarımı sadece ışık seviyelerini en üst düzeye çıkarmakla ilgili değildir. Bir iç mekandaki aşırı güneş ışığı, kullanıcılar için son derece rahatsız edici olabilmektedir. Gün ışığı tasarımıdaki anahtar kelime olan kontrol, sadece ışık seviyelerini değil, aynı zamanda ışığın yönünü ve dağılımını da kapsamaktadır (Tregenza & Wilson, 2013).

Doğal aydınlatma sistemleri gölgeleme yapan ve yapmayan sistemler, yan aydınlatma ve tepe aydınlatma sistemleri gibi farklı alt kategorilerde incelenebilmektedir. Bu çalışmada doğal aydınlatma sistemlerine bütüncül bir yaklaşım sergilenerek, sistemlerin teknik özellik ve kapasiteleri doğrultusunda derin ofis mekanları için ideal olanlarının seçilmesi ön görülmüştür. Bu doğrultuda mevcut tüm doğal aydınlatma sistemleri irdelenerek karşılaştırılmıştır.

2.3.1. Işık Rafları

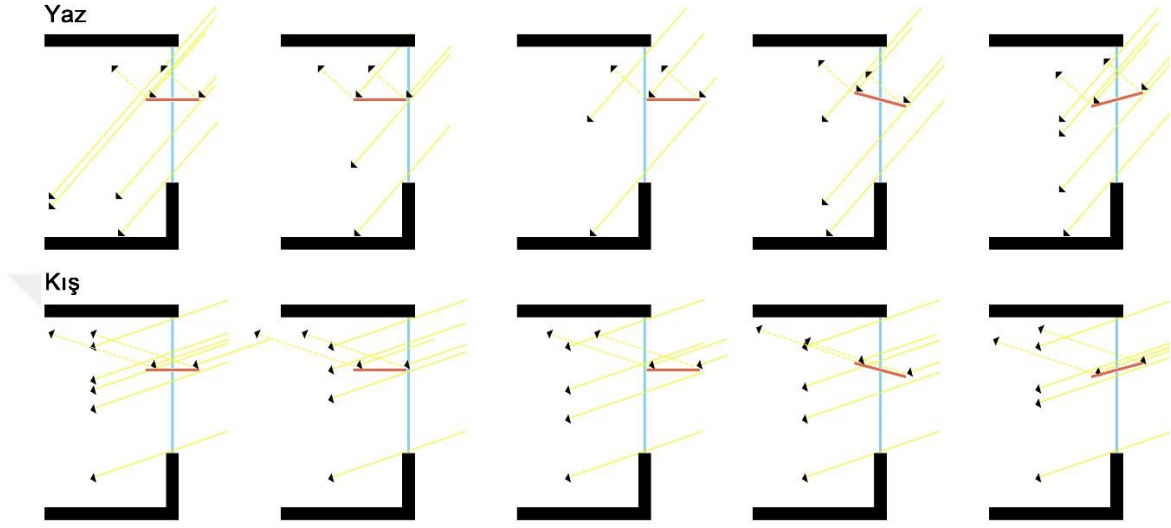
Bir ışık rafı, gün ışığını, özellikle güneş ışığını yakalamak ve tavandan yansıtarak odanın arkasına yönlendirmek için tasarlanmış bir cihazdır. Genellikle yatay veya yataya yakın bir şekilde pencere cephesinin içine ve/veya dışına yerleştirilmektedir. Işık rafı cephenin ayrılmaz bir parçası olabileceği gibi binaya sonradan da monte edilebilmektedir (Kontadakis, Tsangrassoulis, Doulos, & Zerefos, 2018).

Bir ışık rafı genellikle göz seviyesinin üzerine yerleştirilmekte ve pencereyi alt ve üst kısımlara bölmektedir. Işık rafı tipik olarak parlamayı önleyecek ve dışarıya görüşü koruyacak şekilde konumlandırılmaktadır; konumu oda konfigürasyonu, tavan yüksekliği ve mekânda duran bir kişinin göz seviyesine göre belirlenmektedir. Genellikle, raf yüksekliği ile tavandaki parlama ve ışık miktarı ters orantılıdır (Warrier & Raphael, 2017).

Işık raflarının kullanımı bir binanın mimari ve yapısal tasarımını etkilediğinden ve efektif bir şekilde çalışması için nispeten yüksek bir tavana ihtiyaç duyulduğundan tasarım aşamasının başından itibaren dikkate alınmalıdır. Işık rafları, şekil 6'da örnekleri verildiği gibi her pencere yönü, oda konfigürasyonu ve enlem için özel olarak tasarlanmalıdır. Önemli ölçüde doğrudan güneş ışığı alan iklimlerde ve kuzey yarımkürede (güney yarımkürede kuzey yönü) güney yönündeki derin alanlarda uygulanabilmektedirler. Işık rafları doğu ve batı yönlerinde ve bulutlu gökyüzü koşullarının hâkim olduğu iklimlerde iyi performans göstermemektedirler (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Işık rafları yaz aylarında gelen yüksek açılı güneş ışınlarının iç mekâna girmesini engelleyerek hem gölgeleme cihazı olarak hem de gelen ışığı tavana yansıtarak aydınlatma cihazı olarak çalışmaktadır. Böylece birincil ve ikincil yan aydınlatma bölgelerinde parıltı kontrolü sağlarken, oda genelinde aydınlığın homojen dağılmasını

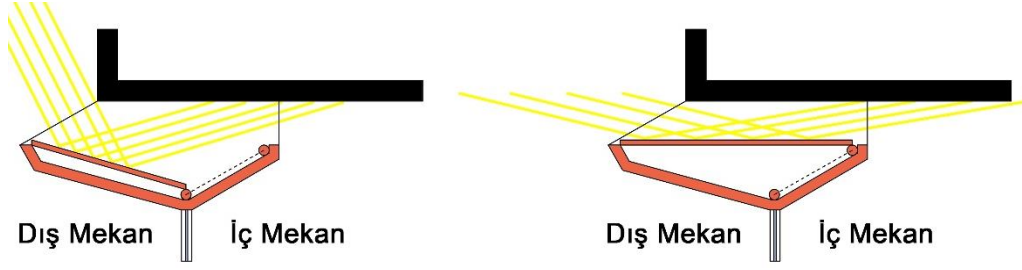
sağlamaktadır. Özellikle dış ışık rafları yaz aylarında gölgeleme elemanı olarak iyi performans vermektedir. Kış aylarında ise daha alçak açılarla gelen güneş ışınlarının iç mekâna nüfuzuna izin vererek ve gelen düşük açılı ışınları geniş açısının verdiği imkanlar dahilinde yaz aylarındakinden daha derine göndererek homojen bir aydınlatma sağlamaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 6. Farklı ışık rafı uygulamalarının yaz ve kış aylarında durumu

(Kaynak: Yazar tarafından çizilmiştir)

Dış ışık rafları iç mekânda daha fazla gölgeleme sağlarken mekânın pencereden uzak kısımlarına daha az ışık yansıtmaktadır. Eğik ışık rafları ise odanın daha derin noktalarına ışığı yansıtabilir ancak yatay bir ışık rafından daha az gölgeleme imkanına sahiptir. Statik ışık rafı sisteminin bir varyasyonu olan değişken alanlı ışık rafı, gün ışığının veya mevsime göre güneş ışığının penetrasyonunu optimize etmek için ışık rafının konumunun hareket ettiği dinamik bir sistem olarak tasarlanmıştır. Şekil 7'de gösterildiği gibi, yansıtıcı bir levha, boşluk içindeki yansımayı optimize etmek için iki konum arasında hareket etmektedir. Bu sistem daha yüksek verimlilik için otomatikleştirilebilmektedir (Boubekri, 2008).



Şekil 7. Değişken alanlı ışık rafı sistemi

(Kaynak: (Boubekri, 2008) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Cam yüksekliği ve ışık rafı derinliği, enlem ve iklim özelliklerine göre seçilmelidir. Bir ışık rafının yönü, cephedeki konumu ve derinliği gün ışığı ve gölgelendirme gereksinimleri arasındaki denge ile belirlenmektedir. Güneye bakan odalar için (kuzey yarımkürede), bir iç ışık rafının derinliğinin kabaca rafın üzerindeki kabin penceresi kafasının yüksekliğine eşit olması önerilmektedir. Işık rafını dışa doğru hareket ettirmek, gölgeli alanın pencere cephesine paralel olarak hareket etmesini sağlamaktadır, bu da pencerenin yakınındaki gün ışığı seviyelerini azaltmakta ve gün ışığı homojenliğini artırmaktadır. Tavan, ışık raf sisteminin önemli bir ikincil parçasıdır, yani ışık, ışık rafıyla tavana doğru yansıtılmakta ve daha sonra tavandan odaya yansıtılmaktadır. Bu işlemi etkileyen tavanın özellikleri yüzey kalitesi, pürüzsüzlüğü ve eğimidir. Aynasal yüzeye sahip bir tavan odaya daha fazla ışık yansıtacak olsa da ışık rafının yakınındaki tavan yansımalarından parlamayı önlemek için özen gösterilmelidir. Parlamayı önlemek için, tavan kaplamasında genellikle beyaz difüzör veya düşük parlak boya tercih edilmektedir (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Danimarka Yapı Araştırma Enstitüsü (The Danish Building Research Institute) tarafından Kopenhag'ın kuzeyinde (56°N, 12°E) gerçekleştirilen bir deneyde, dışarıda bazı dış engellere sahip, cephesi güneye bakan 2 adet aynı özelliklere sahip (genişlikleri 3,6 metre, yükseklikleri 3,0 metre ve derinlikleri 6,0 metre) örnek ofisler ışık rafının aydınlatma performansının analizi için kullanılmıştır. Her iki odada da cephe yüksekliğinde ve oda genişliğinde pencereler bulunmaktadır fakat ölçümler sırasında pencerelerin alt kısımları yerden 0,78 metre yüksekliğe kadar kapatılmıştır. Yüzeyi %75 yansıtma oranına sahip alüminyum ile kaplanmış dış ışık raflarının (0,8 metre genişliğinde) farklı gökyüzü koşulları altındaki performansı test edilmiştir. Kapalı gökyüzü koşulları altında dış ışık rafları, pencere bölgesini gölgelendirirken oda boyunca parıltı farklarını ortadan

kaldırmaktadır. 5 farklı açıda (-30° , -15° , 0° , 15° , 30°) test edilen ışık rafı yukarı kaldırıldığında (30°), aydınlık seviyesinin referans odadaki (ışık rafı kullanılmayan ikinci oda) orta bölgenin aydınlık seviyesine göre arttığı gözlenmiştir. Yaz aylarında açık gökyüzü koşullarında, dış ışık rafının pencere bölgesini doğrudan güneş ışığından koruduğu gözlenmiştir. Yatay ışık rafı kullanımında yansıyan güneş ışınları sadece tavanı aydınlatmış olsa da yukarı doğru eğimli (30°) ışık rafının odanın arkasındaki aydınlık seviyesini artırdığı gözlenmiştir. Aynı koşullar altında yatay ışık rafı aydınlık seviyesini %10 ila %20 oranında, aşağı doğru eğimli ışık rafı ise %30 ila %40 oranında azaltmıştır. Kışın düşük açılı doğrudan güneş ışığı, rafın altındaki ve üstündeki boşluklardan içeri nüfuz ederek ek gölgeleme ihtiyacı ortaya çıkarmıştır (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Yapılan çalışmalar ve ölçüm sonuçlarına göre, yüksek enlem aralığında bulunan ülkelerde gölgeleme cihazı ihtiyacı oluşturduğundan ışık rafı uygulamaları sınırlı tutulmalıdır ve bununla birlikte bulutlu gökyüzü koşullarına sahip konumlarda ışık rafı eğimli kullanılmalıdır. Güneşli iklimlerde veya düşük enlem boylarında yer alan ülkelerde, ışık rafı pencereye yakın alanları gölgelediği gibi aynı zamanda odanın geri kalanındaki aydınlık seviyelerini de optimuma yaklaştırmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Ochoa ve Capeluto, İsrail’de bulunan bir ofis için üç farklı gün ışığı senaryosunda aydınlık ve parıltı sorunlarını Radiance yazılımı üzerinde simüle ederek değerlendirmiştir. Şeffaf çift camlı pencerelere sahip mekânda tavan, duvarlar ve zemin için iç yüzey yansımaları sırasıyla %80, %65 ve %20 olarak varsayılmıştır. Işık rafının yansıtıcılık değeri ise %80 olarak tanımlanmıştır. Simülasyonlar gün dönümü ve ekinoks günlerinde saat 10:00, 12:00, 14:00 ve 16:00’da yapılmıştır. Sonuçlar, aydınlık seviyelerinin pencereden 6 metre uzaklıktan itibaren önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte ışık rafı sistemi, pencereye yakın ve odanın arkasındaki alanlar arasındaki kontrastı azaltarak gün ışığı dağılımının homojenliğini iyileştirmiştir (Ochoa & Capetulo, 2006).

Hindistan’ın Chennai kentinde yürütülen bir araştırmada, ışık raflarının gün ışığını binanın daha derinlerine nüfuz ettirdiği, pencere bölgesinde gölgeleme sağladığı ve homojen bir doğal aydınlatma sağladığı hipotezlerinin, Radiance yazılımı kullanılarak aydınlatma simülasyonları yoluyla değerlendirilmeleri amaçlanmıştır. Bu çalışma ile

geleneksel ışık raflarının hangi koşullarda etkili olduğu, malzeme ve geometrik özelliklerin performansı nasıl etkilediği sorularına cevap aranmıştır. 7,00 x 7,00 x 3,20 metre boyutlarında ve cephesinde yerden 0,90 metre yükseklikte 6,00 x 1,80 metre boyutlarında pencere bulunan alan, açık ve kapalı gökyüzü koşulları altında saat 09:00, 12:00 ve 15:00'te olmak üzere farklı saatlerde simüle edilmiştir. 0,5 metre genişliğinde iç raf ve genişliği 0,1 ila 1,5 metre arasında değişen dış raf; genişliği 0,1 ila 1,5 metre arasında değişen iç raf ve genişliği 1,0 metre olan dış raf; iç raf yok ve genişliği 0,1 ila 1,5 arasında değişen dış raf olmak üzere üç farklı ayarlama simülasyon için kullanılmıştır. Yapılan 1080 değerlendirme arasında 714'ünde (%66,1) ışık rafının gün ışığı penetrasyonunu artırdığı gözlemlenmiştir. Böylece çoğu durumda ışık raflarının gün ışığını binaya daha derinlemesine aktardığı sonucuna varılmıştır. Normalde ışık raflarının pencere bölgesindeki aydınlığı azalttığı ve böylece homojenliği geliştirildiği varsayılsa da simüle edilen hiçbir durumda bu eğilim gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, simüle edilen durumların %30'unda, ışık raflarının, pencere bölgesinde parıltıya sebep olduğu ve homojen aydınlığı azalttığı bulunmuştur (Warrier & Raphael, 2017).

2.3.2. Prizmatik Paneller

Prizmatik paneller, ılıman iklimlerde gün ışığını yönlendirmek veya kırmak için kullanılan şeffaf akrilikten yapılmış ince, düzlemsel, testere dişi cihazlardır. Bir gölgeleme sistemi olarak kullanıldığında, doğrudan güneş ışığını kırarlar, ancak dağınık ışığı iletebilmektedirler. Sabit veya güneş takip düzenlemelerinde cephelere ve çatı pencerelerine; çoğu zaman bakımı ortadan kaldırmak için cam paneller arasında (sabit konfigürasyon), cam ünitesinin iç veya dış tarafına yerleştirilmiş sabit veya hareketli sistemler olarak birçok farklı şekilde uygulanabilmekteler. Prizmatik cam, gelen güneş ışığının yönünü değiştirmek, kırılma ve yansıma yoluyla yönlendirmek için tasarlanmıştır. Prizmatik panellerin temel çalışma prensibi Şekil 8'de gösterilmektedir (Boubekri, 2008).



Şekil 8. Güneş ışığı açılarına göre prizmatik panellerin çalışma prensibi

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Prizmatik paneller enjeksiyon kalıplama ve özel dağlama olarak iki gruba ayrılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama sistemlerde, paneller akrilik polimerden dört farklı açıda (5° , 28° , 36° , 45°) üretilmektedir. Özel dağlama yöntemiyle 1 milimetreden daha az aralıklı prizmalar üretilebilmektedir. Bu yöntemle elde edilen akrilik film hafiftir ancak yine de iyi optik özelliklere sahiptir. Bu tip filmler çift camlı ünitelerin içinde kullanılmaya uygundur (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Işığı yönlendiren prizmatik panelin ana işlevi, doğal ışığın iç mekâna derinlemesine nüfuz etmesini sağlamaktır. Prizmatik panel, binalarda gün ışığının kontrollü kullanımını sağlamak için hem yansımayı hem de kırılmayı kullanmaktadır. Sistem, belirli açılardan gelen ışığı yansıtırken diğer açılardan gelen ışığı iletecek şekilde tasarlanabilmektedir. Kırılma ve toplam iç yansıma (malzemenin kritik açısına bağlı olarak) iletilen ışık ışınlarının yönünü değiştirmek için kullanılabilir. Yansıyan ve kırılan ışığın fraksiyonları isabet açısına, kırılma indekslerine ve gelen ışığın polarizasyon durumuna bağlıdır. Güneş ışığının derinlemesine nüfuz etmesi için prizmatik bir panelin farklı açılardaki güneş yüksekliklerine uyması gerekmektedir. Kırılan ışığın parıltıya sebep olan güneş ışınlarını yansıtmadan mekâna en yüksek düzeyde nüfuzunu sağlayabilmek için panellerin 15° 'nin altındaki açılarla ışığı yakalaması gerekmektedir. Farklı geometrik ve coğrafi durumlarda, mekânın derin alanlarında yüksek aydınlık seviyelerine ulaşabilmek için prizmatik panellerin özel konfigürasyonu gerekmektedir (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Londra yakınlarındaki Garston'da yapılan bir çalışmada, Bina Araştırma Kuruluşu (Building Research Establishment) (BRE) prizmatik film (prizma açıları 62° ve 78°) ve prizmatik panel (prizma açıları 45° ve 90°) sistemlerinin performansını test etmiştir. Bu deney yan yana bulunan aynı iki örnek ofiste gerçekleştirilmiştir. Her odada zeminden

yüksekliği 1,00 metre olan 2,60 metre yüksekliğinde iki adet pencere bulunmaktadır ve pencereler neredeyse tam oda genişliğindedir. Doğrudan güneş ışığı altında prizmatik film güneş ışığını kırmış ve tavanı aydınlatmıştır. Şeffaf camla karşılaştırıldığında prizmatik film odanın ortasında ve arkasındaki aydınlık seviyelerini %10 ila %20 oranında artırmıştır. Kış aylarında ise arka taraftaki aydınlık seviyeleri %30 ila %40 oranında düşmüştür. Bulutlu hava koşulları altında performansı %10 ila %30 düşmesine karşın bu sistemlerle parıltı kontrolü sağlanmıştır. Prizmatik paneller ise, bulutlu koşullar altında, odadaki aydınlık seviyelerinde %35 ila %40 oranında azalmaya sebep olmuştur. Bulutsuz yaz günlerinde, panel güneş ışığını kıldığı ve içeri yansıtmadığı için bu da odadaki genel ışık seviyelerini azaltmıştır. Bulutsuz kış günlerinde, güneşin geliş açıları azaldıkça odanın arkasındaki ışık seviyeleri %50 oranında azalmıştır (Aizlewood, 1993).

Kahire Amerikan Üniversitesi'nde (The American University of Cairo) yürütülen bir çalışmada, prizmatik panellerin doğal aydınlatma performans değerlendirmeleri Radiance yazılımı üzerinden, 3,6 x 8,2 x 2,8 metre ölçülerine ve cephede %10 pencere oranına sahip bir ofis mekânında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan oda boyutları ve iç duvarların yansımaları standart değerlendirmeler için referans ofis odasına göre alınmıştır (Reinhart, Jakubiec, & Ibarra, 2013). Prizma açısı 25° olan sistemde doğal aydınlatma performansı tek camlı panel kullanılan referans odaya göre, yaz aylarında %53 gelişme gösterirken sonbaharda yaklaşık %205 ve kışın %106'lık bir performans artışı göstermiştir. Yine aynı sistemde yaz aylarında gün ışığı faktörü %1,2'den %1,9'a yükselirken, sonbaharda %4,9'a, kışın ise %2,3'ten %6,4'e ulaşmıştır. 35°'lik prizma açılına sahip sistem için yüzdelerdeki artış diğer tasarıma göre biraz daha az olmuştur. Gün ışığı performansı açısından yaz, sonbahar ve kış aylarında sırasıyla %22, %179 ve %63 artış kaydedilmiştir (Mashaly, ve diğerleri, 2017).

2.3.3. Lazer Kesim Paneller

Lazer kesim panel sistemi (LCP), şeffaf akrilik malzemeden yapılmış ince bir panelin lazerle kesilip bir dizi dikdörtgen öğeye bölünerek üretilen bir gün ışığı yönlendirme sistemidir. Kesilen yüzeyler, panele şeffaf bir görünüm sağlarken, büyük miktarda ışığın geniş bir aralıkta mekânın derinliklerine yönlendirilmesine imkân veren küçük iç reflektörler haline gelmektedir. Işığın çoğunun tavan yüzeyine yönlendirilmesini sağlayarak parıltı oluşumunu önler. Lazer kesim bir panelin temel özellikleri şunlardır:

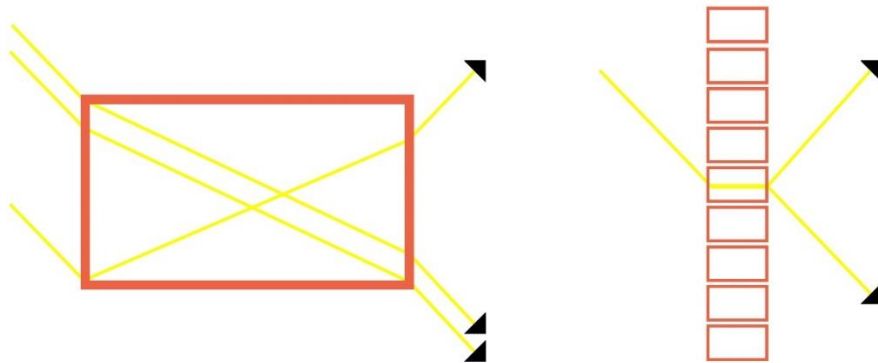
geniş bir açı ($>120^\circ$) ile saptırılan çok yüksek bir ışık oranı ve Şekil 9’da görüldüğü gibi panelden görüşün korunmasını sağlamaktır (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 9. Laser kesim panel örneği

(Kaynak: (Solartran: Laser Cut Panel, 2020))

Işık, Şekil 10’da gösterildiği gibi panelin her bir elemanında kırılma, sonra toplam iç yansıma ve tekrar kırılma yoluyla saptırılır. Tüm sapmalar aynı yönde olduğundan, oldukça verimlidir. Paneller genellikle çift cam arasına sabitlenir, ancak kesilen yüzey cam levhalar arasındaki tabaka ile korunuyorsa harici cam eleman olarak da kullanılabilirler. Normalde paneller, yüzeye dik bir açıda kesilir, ancak saptırılmış ışığın yönü üzerinde ilave kontrol için kesimleri farklı bir açıda yapmak mümkündür (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 10. Lazer kesim panellerin çalışma prensibi

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Şekil 11’de gösterilen açılabilir seçici tavan penceresi, belirli açılarda gelen ışığın seçici iletimini sağlamak için şeffaf tavan penceresi içinde genellikle 6 mm kalınlığında akrilikten kesilen ve kesiklerin 4 mm aralıklı yerleştirildiği lazer kesim panellerin bir piramit veya üçgen konfigürasyonunu içermektedir. Lazer kesim ışık yansıtıcı paneller, çift camdan oluşan şeffaf örtünün içine yerleştirilerek Şekil 12’de gösterildiği gibi daha çok düşük açılı ışık ve daha az yüksek açılı ışık geçirimi için kullanılmaktadır. Işıklıklar paneller için faydalı eğim açıları, yüksek açılı güneş ışığının engellenmesinin kritik olduğu tropik ve subtropikler için 45° ile 55° arasında, düşük rakımlı ışığın geçiriminin daha önemli olduğu yüksek enlemlerde, 25° ve 35° arasında değişmektedir (Ruck, ve diğerleri, 2001).

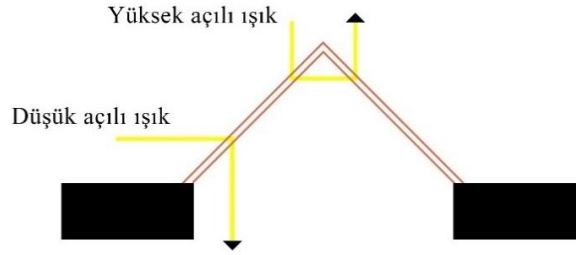


Şekil 11. Açılabilir seçici tavan penceresi uygulaması

(Kaynak: (Specifier, 2020))

Pencere üstü lazer kesim panel sistemlerinin deneysel değerlendirilmesi, Berlin Teknik Üniversitesi (Technical University of Berlin) (TUB) tarafından üç örnek ofiste gerçekleştirilmiştir. Örnek ofisler Berlin’in merkezinde (52°N , 13°E) yer almaktadır. TUB’nin ofisleri aynı alanlara sahip 3 odadan (genişlikleri 3,50 metre, yükseklikleri 3,00 metre ve derinlikleri 4,70 metre) oluşmaktadır. Her odanın genişliği 1,20 metre olan 3 ayrı penceresi bulunmaktadır ve pencereler zeminden 0,95 metre yüksekliktedir. Test odası penceresinin alt üçte ikisi ve referans oda pencerelerinin tümü, hafif kavisli ve 45° derecelik açıyla aşağı doğru eğimli çıtalardan oluşan dış jaluziler (Venetian blinds) ile kaplanmıştır. Bulutsuz gökyüzü koşulları altında aydınlık seviyesi, standart dış jaluzilerle donatılmış referans odaya kıyasla %5 oranında artmıştır fakat bu artış odanın arka

bölgesinde hissedilmemiştir. Sonuç olarak, bulutlu gökyüzü koşullarında, lazer kesim paneller iç mekandaki gün ışığı seviyesini ve ışık dağılımını şeffaf camlara göre önemli ölçüde değiştirmemektedir. Bulutsuz gökyüzü koşullarında, panellerin konumu mevsimsel şartlara ve günün saatlerine göre ayarlanırsa gün ışığı performansı önemli ölçüde artırılabilir. Eğim açısının ayarlanması, sistemin ışığı yönlendirme ve gölgeleme aygıtı olarak çalışma potansiyelini de geliştirmektedir (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 12. Açısal seçici tavan penceresi çalışma prensibi

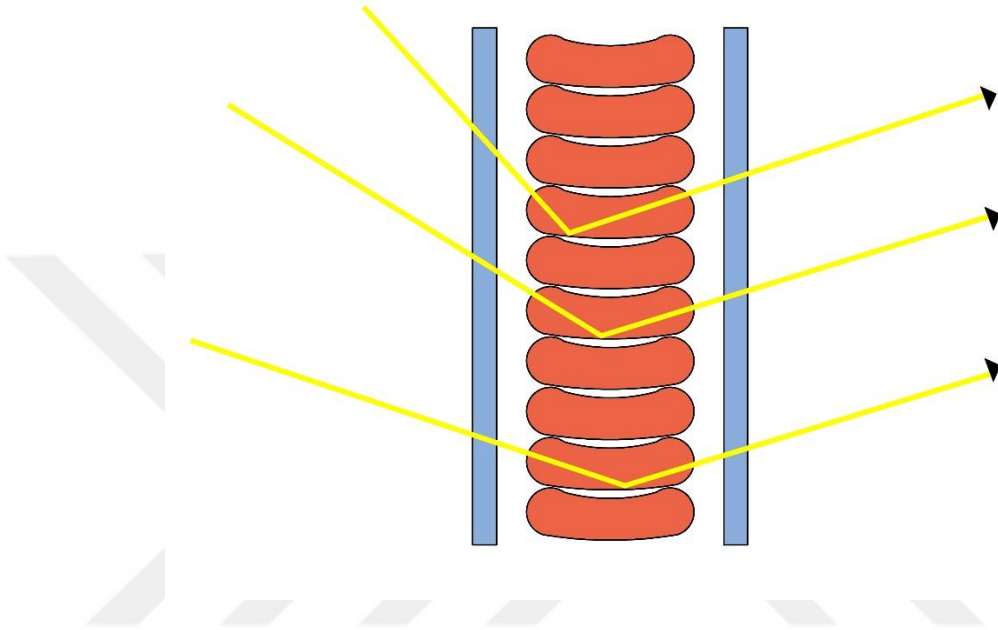
(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Yapılan bir diğer çalışmayla lazer kesim panellerin doğal aydınlatma performans seviyelerinin simülasyon yöntemi ile test edilmesi ile iç mekan aydınlık seviyelerinde 100-200 lüks değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Yüksek açılı güneş ışınlarının kırılarak yansıtılması ve düşük açılı ışınların iç mekana taşınması ile iç mekanda oluşabilecek parıltı da engellenmiştir. Deney simülasyonu 4,00 x 4,00 metre boyutlarında ve 3.00 metre yüksekliğinde bir ofis odasında gerçekleştirilmiştir. Sistem odanın tavanına tepe penceresi olarak yerleştirilmiştir (Maamari, ve diğerleri, 2006).

2.3.4. Güneş Yönlendirici Cam

Güneş yönlendirici camlar, içbükey akrilik elemanların çift camlı bir ünite içinde dikey olarak istiflenmesi ile oluşturulan ve doğrudan güneş ışığını tavana yönlendiren doğal aydınlatma elemanlarıdır. Tasarımı Şekil 13'te şematize edildiği gibi, 25° ve 50° arasındaki açılarla gelen ışığı yönlendirmek ve ışığın yatay düzlemin altında yayılımını önlemek için optimize edilmiştir. Güneş yönlendirici cam sisteminin ana bileşeni olan akrilik elemanları tutan çift camlı sızdırmaz ünite genellikle görüş hizasının üzerinde kalacak şekilde pencere üzerine yerleştirilmektedir. Pencere ünitesinin iç yüzeyinde sinüzoidal (sinüs eğrisi şeklinde) bir örgü, iç mekâna gönderilen ışığı belirli yatay açılarla

yaymak için kullanılmaktadır. Dış cam bölmesinde bulunan holografik bir film ise gelen ışığı dar bir yatay açıya odaklamak için kullanılmaktadır. Sistemin önemli bir parçası, yönlendirilen ışığı alan ve görev alanlarına yansıtan tavandır. Yansıyan ışığı belirli görev alanlarına yoğunlaştırmak için tavanda eğik yansıtıcı elemanlar da kullanılabilmektedir (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 13. Güneş yönlendirici cam çalışma prensibi

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Güneş yönlendirici cam, parıltıyı ve diğer görünürlük etkilerini önlemek için genellikle göz yüksekliğinin üzerindeki pencere alanına yerleştirilmektedir. Güneş yönlendirici camlı alanın yüksekliği çoğu durumda odanın yüksekliğinin yaklaşık %10'u olmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Almanya, Köln'de bulunan Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Işık ve Bina Tekniği Enstitüsü (University of Applied Science, The Institute for Light and Building Technique), genişlikleri 3,00 metre, yükseklikleri 2,50 metre ve derinlikleri 6,00 olan aynı özelliklere sahip ve güneye bakan iki odada (51°N , 7°E) güneş yönlendirme camı sistemlerini test etmiştir. Her iki odada da oda yüksekliğinde pencereler bulunmaktadır ancak ölçümler sırasında pencerelerin alt kısımları zeminden itibaren 0,78 metre örtülmüştür. Güneş yönlendirici cam sistemi, test odasında 2,05 metre yüksekliğe monte edilmiştir. 40 santimetre yüksekliğindeki yönlendirme camları mevcut pencerenin

arkasına yerleştirilmiştir. Test odasındaki güneş yönlendirme camının altında kalan pencere kısımlarına ve referans odasındaki pencerelerin tamamına siyah renkli jaluziler (Venedik storu) monte edilmiştir. Bulutsuz gökyüzü ölçümleri sırasında, her iki odadaki çıtalar güneş ışınlarını engellemek için yazın 40°, kışın 80° ve ekinoks sırasında 60° olacak şekilde eğilmiştir. Bulutlu gökyüzü ölçümleri sırasında, her iki odadaki çıtalar yatay (0°) kalmıştır. Güneşli günlerde, aydınlık seviyeleri 5 metre derinliğe kadar odanın çoğunda 500 lüksün üzerinde ölçülmüştür ve bu da yapay aydınlatma ihtiyacının ortadan kalkmasını sağlamıştır. Referans odası ile karşılaştırıldığında, test odası daha yüksek aydınlık seviyelerine ve nispeten homojen gün ışığı dağılımına sahip olduğu gözlenmiştir. Yılın her dönemi, güneş yönlendirici camın test odasının arkasındaki aydınlığı 100 ila 300 lüks artırdığı da kayıtlara geçmiştir. Sonuç olarak güneş yönlendirme camının güneşli iklimlerde ve doğrudan güneş alan bina cephelerinde en iyi performansla çalıştığı gözlemlenmiştir (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Başka bir araştırmada ise lazer kesim paneller ve güneş yönlendirici cam sistemlerin doğal aydınlatma performanslarını karşılaştırmak üzere 2,00 x 2,00 metre ölçülerinde ve 2,10 metre yüksekliğindeki bir oda simüle edilmiştir. Bu deneyde 7 milimetre kalınlığındaki yönlendirici cam (2,27 mm dış katmanlar ve 4,73 mm ara mazgallar) kullanılmıştır. Radiance simülasyon sonuçlarına göre, yönlendirici cam olan durumlarda, herhangi bir doğal aydınlatma elemanının bulunmadığı durumlara göre aydınlık seviyeleri ortalama 50 lüks azalmıştır. Yönlendirici cam sisteminin iç mekânda oluşturduğu aydınlık seviyelerinin, lazer kesim panellere kıyasla 300 lüks daha az olduğu gözlenmiştir (Maamari, ve diğerleri, 2006).

2.3.5. Holografik Optik Elemanlı Işık Yönlendirici Cam

Zenitten gelen dağınık gökyüzü ışığını iç mekânın derin kısımlarına yönlendirmek üzere tasarlanmış bir doğal aydınlatma elemanı olan bu sistemin bir örneği Şekil 14'te gösterilmiştir. Bu sistemin ana bileşeni, iki cam bölme arasında lamine edilmiş holografik kırınım ızgaralarına sahip polimerik bir filmidir. Holografik eleman, gökyüzünden binaya gelen dağınık ışığı yönlendirerek iç mekân aydınlatmasını sağlamaktadır. Bu sistemin çalışma prensibi Şekil 15'te şematize edilmiştir. Sistem doğrudan güneş ışığına maruz kaldığında renk dağılımına neden olabileceğinden, yalnızca doğrudan güneş ışığı almayan cephelerde kullanılmalıdır. Dikey bir pencere sistemine entegre edilebileceği

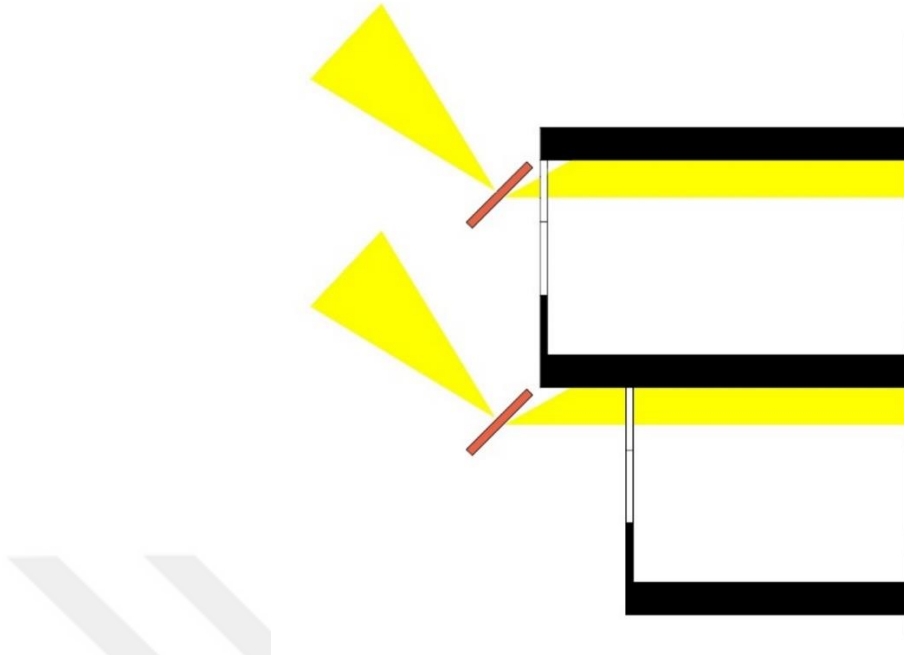
gibi yaklaşık 45° eğimli bir açıyla pencerenin üst kısmının önündeki cepheye de takılabilir. Görünümü bozabileceği ya da engelleyebileceği için genellikle pencerelerin üst kısımlarına uygulanmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 14. HOE’li zenithal ışık yönlendirici cam uygulama örneği

(Kaynak: (Holographical optical elements (HOE) for high efficient illumination, solar contral and PV power in buildings, 2020))

Holografik elemanlar geçirici(transmission) ve yansıtıcı (reflection) olmak üzere iki tipte bulunmaktadır ve her ikisinin de kırınım verimliliği ışık ışınlarının yansıma açısına bağlılık göstermektedir. Özellikle geçirici (ışık yönlendirici) hologramlar, tasarlanmış çalışma açısında hologramdan yansıyan ışımaaya kritik bir şekilde bağlıdır. Gelen ışın, HOE’nin çalışma açısından 5° uzakta ise, kırınım verimliliği %50 azalmaktadır. Dolayısıyla, eğer geçirici holografik elemanlar günde birkaç dakikadan daha uzun bir süre verimli bir şekilde çalışacaksa, gelen ışınların takip edildiği bir sistem gereklidir. Yansıtıcı hologramların daha fazla açı toleransı vardır (25°), bu da bazı uygulamalarda takip sistemine gerek kalmadan kullanılmalarını sağlamaktadır. Bununla birlikte, yansıtıcı HOE sistemleri çevredeki binalar üzerinde kullanımını kabul edilemez hale getirebilecek parıltı oluşturabilmektedir (James & Bahaj, 2005).



Şekil 15. Işık yönlendirici cam çalışma prensibi

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

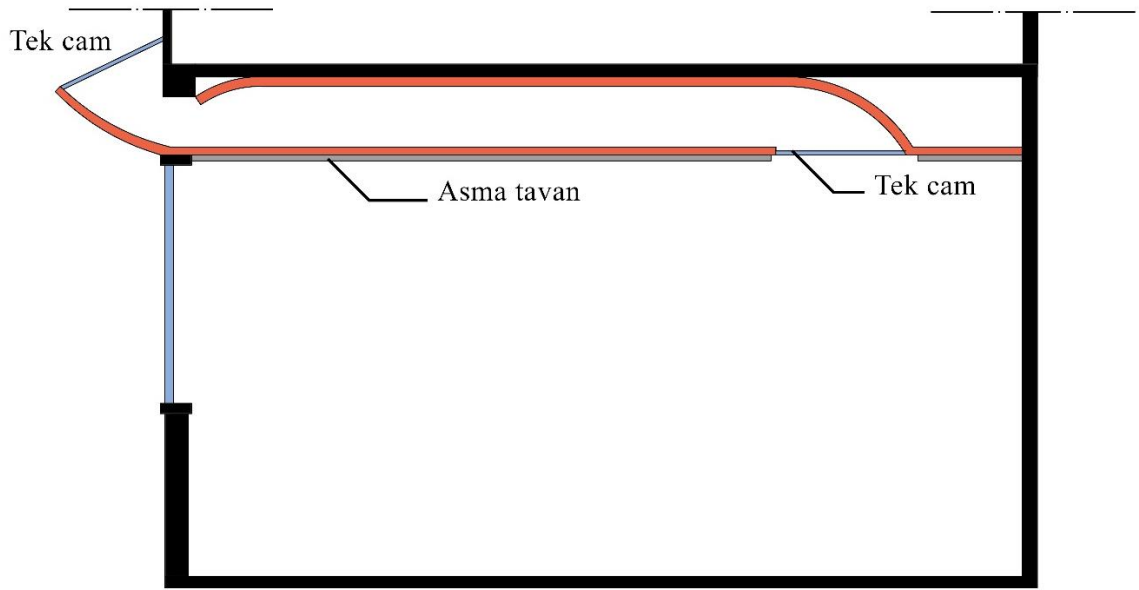
2002 yılında yürütülen bir çalışmada ışık yönlendirici cam levhaların açısıl konumlarının spektral iletim özellikleri üzerindeki etkisi test edilmiştir. Test hologramları, cephesi 56° Güneye bakan bir binanın pencerelerini gölgelemek için tasarlanmış ve üretilmiştir. 45° ve 60°'de sabitlenen iki hologramlı levha, bir yıl boyunca çeşitli güneş irtifaları için bir güneş simülatörü altında test edilmiştir. Gün boyunca farklı saatler için spektral iletim özellikleri sergilemişlerdir. Cephe yönelimine göre maksimum aydınlatmanın saat 11:00'de gerçekleştiği belirlenmiştir. Spektral özelliklerin karşılaştırılmasından, 45°'de kaydedilen gölgeleme hologramının dış ortam ile daha uzun süre görsel ilişki kurulabilmesi ve geçirilen dalga boylarının iç mekan aydınlatmasında daha kabul edilebilir düzeyde olmasından dolayı bu uygulama için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Stojanoff, 2002).

2.3.6. Anidolik Tavanlar

Anidolik tavan sistemleri, gökten dağınık gün ışığını toplamak için bileşik parabolik konsantratörlerin optik özelliklerini kullanmaktadır. Yoğunlaştırıcı eleman, ışığı bir odanın arkasına taşıyan tavan düzleminin üzerindeki aynasal bir ışık kanalına

bağlanmaktadır. Birincil amaç, ağırlıklı olarak bulutlu gökyüzü koşullarında odalara yeterli gün ışığı sağlamaktır (Boubekri, 2008).

Bir anidolik tavan, asma tavandaki bir ışık kanalına bağlanan gün ışığı toplayan optiklerden oluşmaktadır. Sistem, konut dışı binaların yan aydınlatması için tasarlanmıştır. Anidolik optik elemanlar ışık kanalının her iki ucuna yerleştirilmektedir. Binanın dışında, anidolik bir optik yoğunlaştırıcı, tipik olarak bulutlu göklerdeki en parlak alan olan gök kubbenin en üst alanından dağınık ışığı yakalayıp, yoğunlaştırıp etkili bir şekilde kanala sokmaktadır. Gün ışığı, asma tavanın üstünde bulunan ışık kanalını kaplayan çoklu yüksek yansıtıcı reflektörler aracılığı ile odanın daha derinlerine taşınmaktadır. Anidolik elemanlardaki reflektörler, istenen optik kontrolü üretmek için şekil verilmiş çerçevelere tutturulmuş anodize alüminyum yüzeylerden oluşmaktadır. Yansıtıcı yüzeyleri temiz tutmak için kanallar camla kapatılmıştır. Güneşli günlerde, güneş ışığının doğrudan penetrasyonu, giriş camı üzerine yerleştirilecek olan bir kırıcı tarafından kontrol edilebilmektedir. Anidolik tavan sistemi, Şekil 16’da şematik biçimde gösterilmektedir (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 16. Anidolik tavan sistemi şematik gösterimi

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Mevcut uygulamalarında, sistemin birincil amacı, bulutlu gökyüzü koşullarında yeterli gün ışığı sağlamaktır. Yeterli ışık akısı toplamak için, anidolik toplayıcı tipik olarak oda

cephesinin tam genişliğini kapsamalı ve ışık kanalı odanın asma tavanının üzerindeki boşluğu tamamen işgal etmelidir. Bu alana başka bina sistemleri veya yapısal elemanlar yerleştirilmemelidir. Eğer öyleyse, ışık performansı düşecektir. Ek olarak, anidolik tavanların kullanımı diğer birçok bina bileşenini doğrudan etkilediğinden, bu sistemin kullanımı planlama ve inşaatta ek koordinasyon gerektirmektedir. Sistem en iyi, ağırlıklı olarak bulutlu koşullarda bulunan ve gökyüzü kubbesinin büyük bir bölümünde doğrudan güneş ışığına erişimin sınırlı olduğu ya da engellerle karşılaştığı dikey cephelerde kullanılmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Anidolik tavan gün ışığı sistemlerinin deneysel değerlendirmesi, Lozan yakınlarında bulunan EPFL kampüsündeki iki örnek ofiste gerçekleştirilmiştir (46,5°N, 6,6°E). Yükseklikleri ve genişlikleri 3,05 metre, derinlikleri 6,50 metre olan ve aynı iç fotometrik özelliklere sahip ofisler, zeminden yükseklikleri 1,05 metre olan ve tavana kadar devam eden pencerelere sahiptir ve hiçbir iç veya dış gölgeleme cihazı bulunmamaktadır. Yağmur suyunun sistemin temizlenmesine katkıda bulunması ve gök kubbeden gelecek olan gökyüzü ışığına daha uygun geliş açısı sağlaması için giriş bölmesi 25°'lik bir açı ile kurgulanmıştır. Anidolik sisteme sahip test odasında, pencereden 5 metre uzaklıktaki çalışma düzlemindeki gün ışığı faktörü, bulutlu gökyüzü koşulları altında referans odadaki değerin iki katından fazla ölçülmüştür. Anidolik sistemin cephedeki çıkıntısı pencere bölgesindeki aydınlık seviyesini düşürdüğünden mekânın genelinde gün ışığı dağılımının homojenliği artmıştır. Sonuç olarak anidolik tavan sistemi, cepheden odanın arkasına doğru olan ortalama aydınlık seviyelerinin homojenliğini sağlamıştır. Sistem tarafından elde edilen sonuçlar (bulutlu koşullar altında 4-6 metre mesafede %4'ten fazla gün ışığı faktörü), mevcut çoğu yan aydınlatma sisteminkinden daha iyidir. Kullanıcılar tarafından yapılan geri dönüşlerde ise üretkenliğin arttığı gözlemlenmiştir (Courret, 1999).

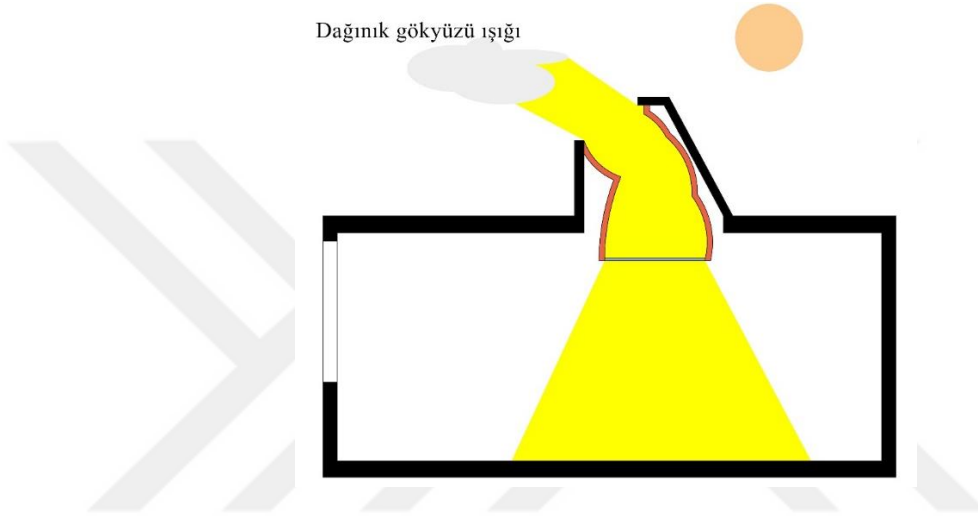
Anidolik tavan sistemlerinin doğal aydınlatma performanslarını ve tropikal iklimde doğal aydınlatma verimliliğini optimize edecek uygun tasarım önerilerini analiz etmek amacı ile iki bölümden meydana gelen bir çalışma yürütülmüştür. Birinci bölüm olan deneysel modellemede 1:10 ölçekli fiziksel bir maket (1,37°N, 103,98°E), seçilen anidolik doğal aydınlatma sisteminin gerçek gökyüzü koşulları altındaki performansı hakkında veriler vermiştir. İkinci bölümde Radiance yazılımı kullanılarak ölçekli fiziksel maketin bilgisayar ortamında gün ışığı performansı simülasyonu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak

elde edilen veriler karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. İkinci bölümün bir sonraki aşamasında çeşitli kritik tasarım değişkenlerinin (anidolik tavanın genişliği, boyu, yansıtma değerleri, şekli) gün ışığı performansı test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Simülasyon değerlendirmeleri 21 Mart, 22 Haziran ve 22 Aralık tarihlerinde; saat 9:00, 12:00 ve 15:00'te gerçekleştirilmiştir. Yapılan gözlemlerde sonuç olarak ofis ortamlarında yeterli aydınlatmayı elde etmek için anidolik tavan sistemlerinin güneş ışığını etkili bir şekilde dağıtabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, anidolik tavan sisteminin tüm yönelimler için yeterli performans gösterdiğini, ancak güney yönelimli performansının diğer yönelimlere göre daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca bulgular, dikdörtgen şeklinde üç metrelik kanal genişliğine sahip anidolik sistemin, bulutlu ve parçalı bulutlu gökyüzü koşullarında diğer durumlara göre daha yüksek aydınlık değerine sahip olduğunu göstermiştir. Bunun yanı sıra sonuçlar, bulutlu gökyüzü koşulları altında penceresi olmayan bir ofiste anidolik sistemin verimli gün ışığını 12,5 metreye ve parçalı bulutlu gökyüzü koşulları altında 20 metreye kadar aktarabildiğini göstermiştir (Roshan & Barau, 2016).

Ölçümleri açık gökyüzü koşullarında ocak ayında Biskra, Cezayir (34.48 enlem, 5.44 boylam) şehrinde bulunan 1:4 ölçekli maket kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, anidolik tavan sistemlerinin nicel ve nitel değerlendirmesi iki farklı senaryo ile yapılmıştır. İlk senaryoda, genişliği 6,00 metre, derinliği 12,00 metre ve yüksekliği 3,50 metre olan, duvar, zemin ve tavan yüzey yansımaları sırası ile %50, %40 ve %92 olan standart bir ofis odası kullanılmıştır ve sistem uzun duvara monte edilmiştir. İkinci senaryoda ise tavanın yansıtma oranı %96'ya çıkarılmış ve anidolik sistem kısa duvara monte edilmiştir. Her iki senaryoda da odanın genelindeki aydınlık seviyeleri 300 lüks ile 600 lüks arasında ölçülmüştür. Pencere alanı ve odanın arka alanı arasındaki aydınlık seviyesi farkını azaltarak daha homojen gün ışığı dağılımı oluşturulmuştur. Ayrıca sonuçlar, her iki ölçümde de anidolik tavan sisteminin parıltı oluşumunu önleyemediğini ortaya koymuştur. Varılan sonuçlar, yüksek ışıklı (high luminous) gökyüzü koşullarında derin ofis binalarında anidolik tavanların kullanımının daha homojen bir gün ışığı dağılımı sağlayarak ve konforsuzluk kamaşmasını azaltarak rahat ve hoş bir aydınlık ortam sağladığını göstermiştir (Daich, ve diğerleri, 2017).

2.3.7. Anidolik Açıklıklar

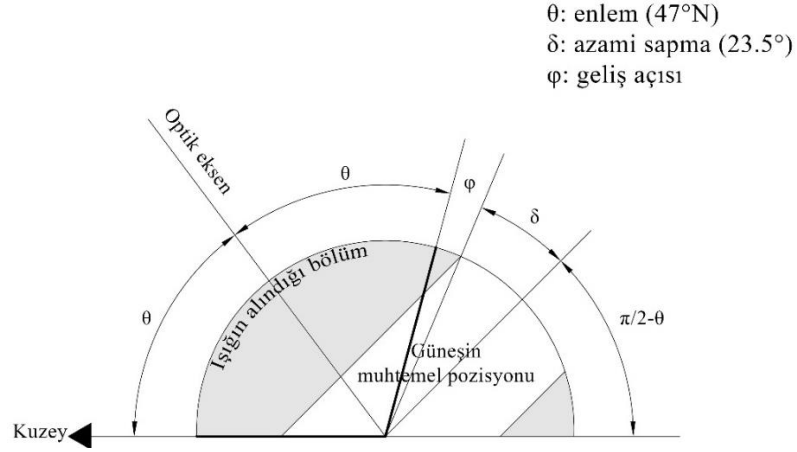
Anidolik cihazın yüksek açısal seçiciliği, doğrudan güneş penetrasyonuna izin vermeden gök kubbenin büyük bir kısmından dağınık gökyüzü ışığını toplamak için kullanılmaktadır. Bu çatı penceresi sistemi en iyi şekilde tek katlı binalara, atriyum alanlarına veya çok katlı binaların üst katına gün ışığı sağlamak için kullanılmaktadır. Anidolik açıklık uygulamalarının şematik gösterimi Şekil 17’de verilmiştir (Palma Santos, 2009).



Şekil 17. Anidolik tavan sistemi şematik gösterimi

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

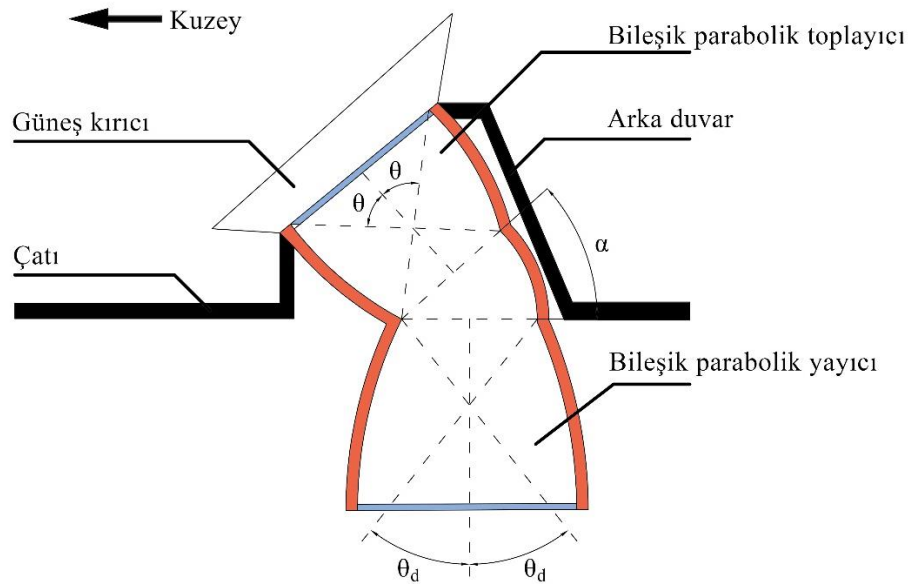
Anidolik açıklık sistemi, bir optik yoğunlaştırıcı eleman (toplayıcı) ve bir yayıcı elemandan (yayıcı) oluşmaktadır. Toplayıcı eleman, uzun ekseni doğu-batı yönelimli, doğrusal, iki boyutlu, anidolik, bileşik bir parabolik yoğunlaştırıcıya dayanmaktadır. Açıklık, kuzey yarım küredeki yerler için kuzeye doğru eğilmektedir ve dağınık ışığı topladığı alan kuzey ufku ile güneşin güney gökyüzündeki en yüksek konumu arasındaki bütün gökyüzünü içerecek şekilde tasarlanmaktadır. Şekil 18’de gösterildiği gibi, güneş ilkbahar ve sonbahar ekinoksu arasında, günün başı ve sonu hariç ışığın toplandığı alana asla girmemektedir. Güneş koruması, açıklığın üzerine eşit ve 0,5 metre aralıklı olarak yerleştirilmiş bir dizi dikey çıta ile oluşturulmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 18. 47° için tasarlanmış bir anidolik zenithal açıklığın toplama alanı

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

Yukarıda bahsedilen toplayıcıya benzer ancak tersine çevrilmiş bileşik parabolik dağıtıcı, gün ışığını iç mekânın tabanına doğru yönlendirmek için açıklığın yayma ucuna yerleştirilmektedir. Toplayıcı ve dağıtıcı arasındaki bağlantı, silindirik reflektörün bir bölümü ile yapılmaktadır. Tüm cihaz, Şekil 19’da gösterilen anidolik zenithal açıklığı oluşturmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).



Şekil 19. Bir anidolik zenithal açıklık kesiti

(Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir)

10 metre genişlikte, 15 metre uzunlukta ve 7 metre yüksekliğindeki bir test binasında anidolik açıklık gün ışığı sistemleri sayısal simülasyon yöntemi ile incelenmiştir. Anidolik açıklık kullanan bir ofis mekânı, benzer boyuttaki ofis mekanlarındaki çalışma alanlarında sağlanandan iki kat daha fazla aydınlık seviyesine ulaşmıştır. %58 geçirgenliğe sahip bir tepe penceresinin sağladığı performansa eşit bir performans sergilese de anidolik açıklıklar geleneksel bir ışıklık sisteminin aksine, direkt güneş ışınlarını engellediğinden aşırı ısınmayı önlemektedir. Böylece tavan seviyesinde aşırı parıltı olmadan gerekli aydınlatma sağlanmaktadır. Sayısal simülasyon sonuçları, sadece %15'lik çatı oranı açıklığı kullanılarak iç mekânda 500 lükslük bir aydınlatma elde edilebileceğini göstermiştir. Geleneksel ışıklıklardan daha iyi parıltı kontrolü sağladığından, görsel konforun gerekli olduğu spor salonları, müzeler, atriumlar ve pazar yerleri gibi mekanlarda kullanılması daha doğrudur. Anidolik açıklıklar bir binanın tasarımına düzgün bir şekilde entegre edilmesi gerektiği için tasarım sürecinin erken aşamalarında dikkate alınmalıdır (Courret, 1996).

Toplayıcı en ve boy oranları değiştirilerek performanslarının karşılaştırılması ve anidolik açıklık tasarımında standart bir yöntem belirleyebilmek adına gerçekleştirilen çalışmalarda, farklı anidolik açıklıklar farklı gökyüzü koşulları altında ölçekli bir model üzerinden test edilmiştir. Yapılan çalışmalarda toplayıcı ağızının genişliğinin artırılması ile ışık açıklıklarının performanslarının niceliksel ve niteliksel olarak iyileştiği gözlemlenmiştir. 80°'lik giriş açısı ile en iyi performansı gösteren toplayıcı kapalı gökyüzü koşulları altında kabul edilebilir (ek yapay aydınlatma elemanları ile arzu edilen seviyeye ulaştırılabilecek) bir performansa sahipken, açık gökyüzü koşullarında iç mekân aydınlığında minimum aydınlık değerlerinin üzerinde bir performans göstermiştir. Yapılan gözlemler ve incelemeler sonucunda anidolik açıklıkların, binalara nötr gün ışığı getirmek için ideal cihazlar oldukları ve bunun yanı sıra ikame edici değil yapay aydınlatmayı tamamlayıcı olarak kullanılmalarının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. İç mekân aydınlatmasına katkıları ve enerji tasarrufunun yanı sıra hem fizyolojik hem de psikolojik açıdan görsel konfor koşullarını iyileştirmiştir (Molteni, Courret, Paule , Michel, & Scartezini, 2001).

2.3.8. Anidolik Petek Sistemleri

Anidolik petek sistemleri, her biri üç boyutlu bileşik parabolik yoğunlaştırıcıdan oluşan içi boş yansıtıcı elemanlardan meydana gelen bir ızgara sistemidir. Sistem, cepheden aydınlatma sağlamak üzere tasarlanmıştır ve iç mekânda oluşabilecek parıltıyı kontrol etmek için açısız olarak seçici ışık iletimi sağlamaktadır. Diğer anidolik sistemlere (anidolik tavanlar, anidolik açıklıklar) kıyasla anidolik petek sistemlerinin özelliği, üç boyutlu yansıtıcı elemanların kullanım şekli ve boyutlarıdır. Güneşten gelen yüksek açılı güneş ışınlarını reddetmek, dağınık gökyüzü ışığını ve düşük açılı (kış güneşi) güneş ışınlarını iletmek üzere tasarlanmıştır. Peteği oluşturan yansıtıcı elemanların, ışığı iç mekâna ileten kısımları ışığı 25°'lik bir açıyla tavana doğru iletmek üzere özelleştirilmiştir. Bu tasarım, iletilen ışığın parıltı yaratmadan yayılmasına imkân sağlamaktadır. Genellikle pencere üzeri kullanıma sahip olan bu sistem, toza karşı koruma için iki cam bölmesi arasına yerleştirilmektedir. Anidolik petek sistemin bir örneği Şekil 20'de verilmiştir (Scartezzini & Courret, 2002).



Şekil 20. Anidolik petek sistemi

Kaynak: (Ruck, ve diğerleri, 2001)

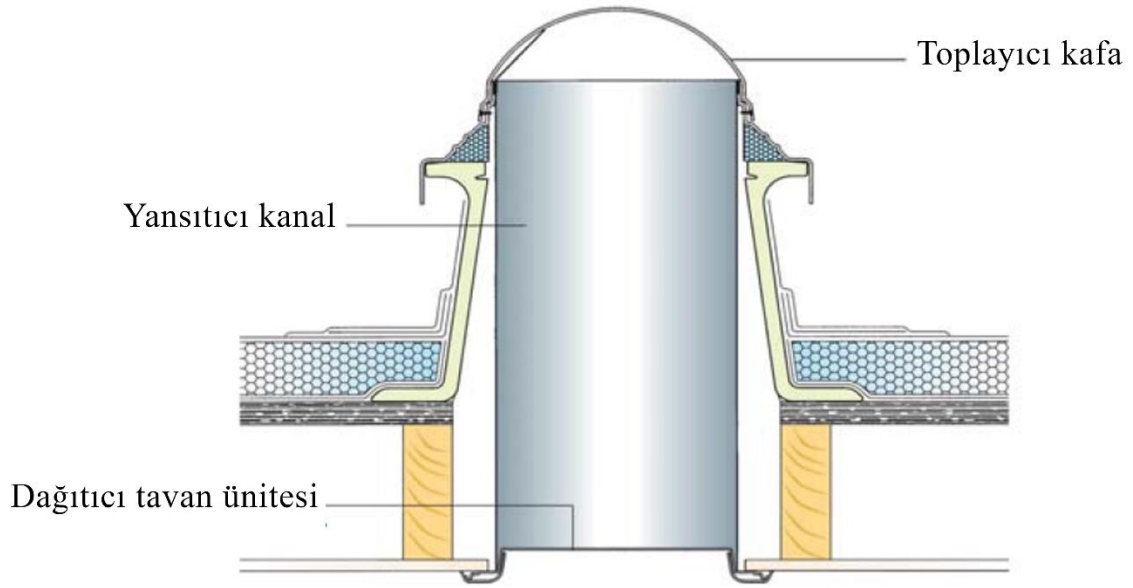
Anidolik petek sistemi, güneşe bakan veya bol güneş ışığı alan cephelerde gün ışığı ve termal kazançları kontrol etmek üzere tasarlanmış bir sistemdir. Sistem, iç mekânın aşırı ısınmasını önlerken birçok farklı gökyüzü koşulları altında gün ışığını iç mekâna iletmeyi amaçlamaktadır. Güneşli iklimlerde gün ışığını kontrol etmek için tasarlanmış olsa da ağırlıklı olarak bulutlu gökyüzü koşulları altında kullanılmaktadır (Ruck, ve diğerleri, 2001).

Petek sistemlerinin karşılaştırmalı performansını değerlendirmek üzere yan yana 1:1 tam ölçekli test odalarında eş zamanlı gün ışığı ölçümleri yapılmıştır. İki test modülünün her biri 6,50 metre derinliğinde ve 2,65 metre yüksekliğindedir ve aynı fotometrik özelliklere sahiptir. Referans odasında, gün ışığının içeri nüfuzunu sağlarken aynı zamanda çalışma alanlarını direkt gün ışığından koruyan yüksek kaliteli jaluziler (Venetian blinds) kullanılmıştır. Jaluzi çıtaları, anidolik cihaz ile aynı güneş korumasını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Her odanın merkezi boyunca masa yüksekliğinde yedi adet yatay aydınlık sensörü yerleştirilmiştir. Bulutsuz gökyüzü koşulları altında odanın arka tarafındaki aydınlık seviyesi 50-150 lüks artmıştır ve böylece ön kısımda ölçülen aydınlık seviyeleri arkadakilere eşit duruma gelmiştir. Yine bulutsuz gökyüzü koşulları altında, aydınlık seviyesi yaz mevsiminde (65° güneş yüksekliği) kış mevsiminden (29° güneş yüksekliği) düşüktür, bu sonuçla istenen mevsimsel seçicilik elde edilmiştir (Ruck, ve diğerleri, 2001).

2013 yılında İspanya'nın 4 farklı kentinde bulunan ofis yapılarının güneye bakan cephelerinde, güneş ışığı toplama cihazlarının optimizasyonu üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışma, konut dışı binalara yönelik doğal aydınlatma sistemlerinden biri olan anidolik petek sisteminin iç mekandaki aydınlık seviyesi ve ışığın homojen dağılımını optimize etmeye odaklanmıştır. Bu doğrultuda, standart petek sistemlerindeki tek bir yansıtıcı elemanın yansıtma ve kırma açıları ve yansıtılan ve kırılan ışığın dalga boyu seviyeleri incelenerek iç mekân aydınlık seviyelerini yükseltirken homojenliği bozmayacak bir eleman ve o elemanlardan oluşan petek sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu doğal aydınlatma sisteminin modüler topolojisi, ona herhangi bir ofis yapısı veya konut dışı binalar için uygun hale getiren büyük bir esneklik sağlamıştır. Sistemin optimizasyon öncesinde, güneş ışığının farklı gelme açılarındaki (insidans açısı) yeterlilik değerleri (yayılan ışık akısı/çalışma yüzeyindeki ışık akısı) 0,2-0,7 iken, optimizasyon sonrası bu değerler 0,5-0,9'a kadar yükselmiştir. Optimize edilmiş olan kollektörler çalışma alanlarına, çalışma saatleri boyunca yeterli ışık akısı iletilmesini sağlamıştır. Tasarlanan kollektörler, sistemin güneş etkisine bağımlılığını en aza indiren bir toplama sistemine dayandığından çalışma saatleri boyunca neredeyse yılın her zamanı için eşit ve yeterli iç mekân aydınlığı anlamına gelmektedir (Molini, ve diğerleri, 2013).

2.3.9. Işık Tüpleri

Işık tüpleri, bir binanın karanlık çekirdeğine veya yeraltı kısımlarına doğal ışığın iletilmesini sağlayan doğal aydınlatma sistemleridir. Şekil 21’de verilen kesitte olduğu gibi ışık tüpleri, toplama kafası, kanal ve yayıcı (difüzör) olmak üzere üç üniteden oluşmaktadır. Tüpün gökyüzünden ışığı topladığı kısım en fazla ışık miktarını sağlayabilmek adına genellikle kubbe biçimindedir. Kanal kısmında, yansıtılan ışığı en az kayıpla iç mekâna taşıyabilmek için çok yansıtıcı (%99 yansıtma kabiliyeti) malzemeler kullanılmaktadır. Kanalın sonunda, yansıtılan ışığı iç mekâna eşit biçimde yayabilmek için bir ışık saçıcı kullanılmaktadır. Işık tüpleri, yapay aydınlatma ve sensörlü kontrol elemanları ile entegre edildiğinde en iyi performans göstermekte ve günün bulutlu veya karanlık saatlerinde eşit miktarda ışığın korunumunu sağlamaktadır (Tregenza & Wilson, 2013).



Şekil 21. Işık tüpü kesiti

(Kaynak: (Allen, ve diğerleri, 2008))

Işık tüplerinin performanslarının ve verimlilik özelliklerinin analizi için Atina Kapodistrian Üniversitesi kampüsünde (enlem, boylam: 37.97, 23.79) bulunan 5,76 metre uzunluğunda, 2,75 metre genişliğinde ve 2,35 metre yüksekliğindeki prefabrik odada deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu oda içindeki 4,00 metreye 2,75 metrelik bir boşluğun tüm yüzeyleri ara yansımaları önlemek ve yüzeylerin yansımalarını ölçme

ihtiyacını ortadan kaldırmak için yansıtma değeri 0,1'den düşük siyah mat kumaşla kaplanmıştır. Odanın tavanı ise 0,1 yansıtıcılık değerinde siyah, mat bir boya ile boyanmıştır. Işık tüpü, 4,00 metreye 2,75 metrelik alanın ortasına gelecek şekilde odaya uygulanmıştır. Işık tüpünün altında kalan alana yüksekliği 0,74 metre olan masalar yerleştirilmiştir ve duvarları örten siyah kumaş ile kaplanmıştır. Sistem 0,30 metre çapında bir ışık borusundan oluşmaktadır. Sistemin kubbesi, güneş düşük irtifa açısında iken ışığın maksimize edilmesini sağlayan elmas şeklindedir ve ışık geçirgenliği yaklaşık %90'dır. Yansıtıcı tüpün alüminyum filminden yapılmış olan iç yüzeyinin yansıtma oranı ise 0,98'dir. Deney süresince iç mekân aydınlatmasının ortalaması yaklaşık 100 lüks değerinde olmuştur ve 0 ila 1204 lüks arasında değişkenlik göstermiştir. Ortalama saatlik aydınlatma, yani deney odasındaki tüm sensörlerin ortalaması 5-393 lüks arasında değişmiştir. Açık gökyüzü koşullarında ortalama iç mekân aydınlatması neredeyse tamamen bulutlu koşulların yaklaşık beş katı daha yüksek ölçülmüştür. Deney odasındaki iç mekân aydınlatmasının dağılımı ve örüntüleri de gökyüzü koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Açık gökyüzü koşullarında, bir gün boyunca iç mekân aydınlatması sıfır ile 450 lüks arasında değişkenlik göstermiştir. En yüksek değer öğlen saatlerinde, en düşük değer ise sabah erken ve öğleden sonra saatlerinde görülmüştür. En yüksek değerler her zaman odanın ortasında ve ışık tüpünün altında, en düşükleri ise odanın kenarlarında kaydedilmiştir. Bulutlu günlerde, iç mekân aydınlatması sıfır ile 150 lüks arasında değişmiştir ve ön görüldüğü gibi en yüksek değerler öğle saatlerinde kaydedilmiştir. Parçalı bulutlu koşullarda, açık gökyüzü koşullarına benzer şekilde, iç mekân aydınlatması sıfır ile 450 lüks arasında değişiklik göstermiştir (Vasilakopoulou, ve diğerleri, 2017).

Farklı boyutlardaki ışık tüplerinin farklı güneş pozisyonları, gökyüzü koşulları ve ışık tüpü konfigürasyonları altındaki performanslarını belirlemek üzere bir dizi simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda modellemeye girdi olarak kullanılan parametreler: enlem (0°, 20°, 40°, 60°), ISO 15469: 2004'e uygun gökyüzü modelleri (model 7: parçalı bulutlu ve tamamen homojen; model 8: parçalı buutlu ve oldukça homojen; model 12: berrak güneş tacı ve bulutsuz) ve ışık tüplerinin optik özellikleridir (0,92 cam kubbenin ışık geçirgenliği; 0,7 yayıcının ışık geçirgenliği; 0,95 tüpün ışık yansımaları; 1,8m ve 3,6m tüp uzunlukları; 0,52m tüp çapı). Simülasyonlarda d=0,52m çapında ve D=1,8m (LP1) ve D=3,6m (LP2) uzunluklarında iki ışık tüpü kullanılmıştır.

LP1 ve LP2 için ışık geçirgenliği, asimetri parametresi ve iç aydınlatma dağılımı değerleri analiz edilmiştir. Işık geçirgenliği, LP1 için %48 ila %65 ve P2 için %64 ila %78 arasında değişkenlik göstermiştir. Güneş yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda ($\alpha_s > 50^\circ$) asimetri parametresi 0,8 değerine yaklaşmış ve gelen ışığın çoğu az sayıda yansımaya maruz kaldığından en alt noktaya kadar iletilmiştir. $\alpha_s < 50^\circ$ ve parçalı bulutlu gökyüzü için, asimetri parametresi 0,65 ile 0,75 değerleri arasındadır ve bu da ışığın yatay olarak yayılmak yerine çalışma düzlemine doğru dağıldığını göstermektedir. Çalışma düzlemindeki aydınlatma dağılımları yalnızca ışık tüpünden kaynaklanacak şekilde hazırlanan simülasyonda, oda içindeki yansımalar da göz ardı edilmiştir. $\alpha_s \cong 50^\circ$ ile çok düşük seviyedeki güneş yükseklikleri için hesaplanan aydınlatma modellerinde çalışma düzlemindeki aydınlatma dağılımları merkezde 60 lüks seviyelerinde iken merkezden 1 metre uzaklıkta 10 lükse kadar düşmüştür. $\alpha_s = 50^\circ$ için aydınlatma haritalarında ise merkezdeki aydınlık 1000 lüks değerinde iken merkezden 3 metre uzaklıkta bu değer 100 lüks seviyelerindedir. Güneş yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda, güneş ışınlarının daha az kırılmaya uğrayarak iç mekâna taşınmasından dolayı çalışma düzlemi çok aydınlık (3162 lüks) olmakla birlikte odanın arka taraflarındaki değerler çok düşüktür (10 lüks) (Tsang, Kocifaj, Li, Kundracik, & Mohelnikova, 2018).

2.3.10. Heliostatlar

Çalışma prensibi Şekil 22’de gösterilen heliostatlar, genellikle ışığı bir tür alıcıya odaklamak için güneşi takip eden sabit cihazlardır. Daha yoğun ışığın fotovoltaik panellere, hafif teleskoplara ve hafif taşıma sistemlerine odaklanması gibi çeşitli amaçlar için kullanılırlar. Heliostatların birçok türü ve işlevi bulunmaktadır. Bazıları, ışığın tek bir alana odaklanmasını artırmak için kesilmiş ve şekillendirilmiş sabit aynalardan oluşmaktadır. Bazıları ise günün farklı zamanları ve mevsimlere göre aynaları çeviren zamanlayıcıları ve saatleri kullanarak, gün boyunca gökyüzünde güneşin konumunu doğrudan takip eder. Bu cihazlar daha pahalı olmalarına ve ekstra bakım gerektirmelerine rağmen çok daha verimlidir. Heliostatlar sistem kayıplarının göz ardı edildiği varsayıldığında, doğrudan güneş ışığı tarafından aydınlatılan 1 metrekarelik alan ile iç mekânda 200 metrekarelik bir alanı 500 lükse kadar aydınlatabilmektedirler (Tregenza & Wilson, 2013).

(Rajamangala University of Technology), 14.03 kuzey enleminde, 7,46 metre yüksekliğinde kule ile donatılmış bir heliostatın verimlilik performansı test edilmiştir. Kurulan sistem düz tipte bir heliostat reflektörü, bir alıcı ekran ve bir heliostat kontrolü olmak üzere üç ana bölümden meydana gelmiştir. Bu çalışma için, 3,10 x 3,60 metrekare efektif alana sahip çok aynalı tipte bir heliostat kullanılmıştır. Heliostat reflektörleri yatay konumda iken yerden yükseklikleri 2,10 metredir. Kule üzerine zemin seviyesinden 9,55 metre yükseklikte, 8 derecelik açı ile 2,40 x 2,40 metrekare mavi perde hedefi yerleştirilmiştir. Bu perde ekran, gelen radyasyonun pozisyonlarını gözlemlemek için ölçeklenmiştir. Heliostat sistemi, şubat ayında açık gökyüzü koşulları altında beş gün boyunca test edilmiştir. Test ve veri kaydı saat 10:00'dan 16:00'ya kadar yapılmıştır. Veriler, ölçekli okuma (mavi ekran üzerinden) ve fotoğraf anlık görüntüsü kullanılarak her yarım saatte bir kaydedilmiştir. Heliostatların verimlilik performansları, gelen radyasyonun alıcı üzerindeki faydalı yansıyan radyasyona oranı ile değerlendirilmektedir. Sonuçlar, heliostatın verimliliğinin 0,6 olduğunu göstermiştir. Verimlilik gün içerisinde zamanla artış göstererek, saat 10:00 civarında %50 iken saat 16:00 civarında %70'lik en yüksek verimlilik değerlerinde ulaşmıştır. Kullanılan heliostatın yükseklik ve azimut açıları sırasıyla 31-36 ve 27-30 derece aralığında değişiklik göstermiştir. Testin daha güvenilir olması için bu testin bir yıl boyunca yapılması önerilmiştir. Ayrıca çalışma sonuçları test sırasında 10 derecelik düşüşün (şubat ayında), bu heliostatın verimliliğinin %50 ila %70 aralığında değiştiğini göstermiştir (Prasartkaew & Ngernplabpla, 2013).

3. İNSAN MERKEZLİ AYDINLATMA

İnsanlar ve vücut fonksiyonları günlük ve mevsimsel ritimleri takip etmektedirler. Hücreden organlara kadar her birim kendi zamansal programını kontrol etmektedir. Biyokimyasal olarak kontrol edilen tüm işlevlerin gün boyunca kendine özgü yüksek ve alçak noktaları bulunmaktadır. Gün boyunca salgılanan hormonlar yüksek ve alçak noktaların oluşmasını etkilemektedir. Yaş, çevresel faktörler, mevsimler, günlük alışkanlıklar, yaşam tarzı ve çalışma ritmi gündüze ve geceye tepki vermektedir. İnsan vücudu bu etkenlere bağlı olarak iç saatini ayarlamaktadır ancak ana zamanlayıcı her zaman gün ışığıdır (Van Bommel & Van den Beld, 2004), (Giang, La, Tien, Duong, & Tong, 2020).

Serotonin, melatonin ve kortizol, bu devam eden sürecin temel olarak kritik unsurlarıdır. Kortizol ve melatonin döngüleri ters yönde çalışmaktadır. Kortizol sabah 09:00 civarında en yüksek seviyeye ulaştığında, melatonin en düşük seviyededir. Saat 18:00'den sonra melatonin artmaya başlamakta ve sabah 03:00 civarında zirveye ulaşmaktadır. Melatonin, insan vücudunun işlevlerini yavaşlatan ve uykuya hazırlayan bir hormondur. Ayrıca vücut ısısını, kan basıncını ve hormon seviyelerini düzenlemeye yardımcı olmaktadır. Bu süreçte insan vücudu büyüme hormonu üretmekte ve gece boyunca hücrelerin onarımına yardımcı olmaktadır. Melatonin baskılanmasının etkisinin artırılması dikkat, stres algısı, uyku kalitesi ve esenlik gibi görsel olmayan etkiler üzerinde çok önemlidir. Kortizol, doğanın yerleşik alarm sistemi gibi hareket eden bir stres hormonudur. Düzenli olarak sabah 03:00 civarında üretilmeye başlamakta, melatonin seviyesini düşürmekte ve insan vücudunu gündüze hazırlamaktadır. Bu aşamada vücut, hipofiz yoluyla yeterince serotonin salgılanmasını sağlamaktadır (Veitch, 2005).

Günümüzde ışığın sadece görsel ihtiyaçlara hizmet etmediği, aynı zamanda insanlar üzerinde duygusal ve biyolojik etkileri olduğu açıktır. Bu nedenle modern aydınlatma konseptleri yalnızca görsel değil, görsel olmayan aydınlatma etkilerini de hesaba katmakta ve kişinin refahını, ruh halini ve sağlığını desteklemektedir (Rahman, Hilaire, & Lockley, 2017).

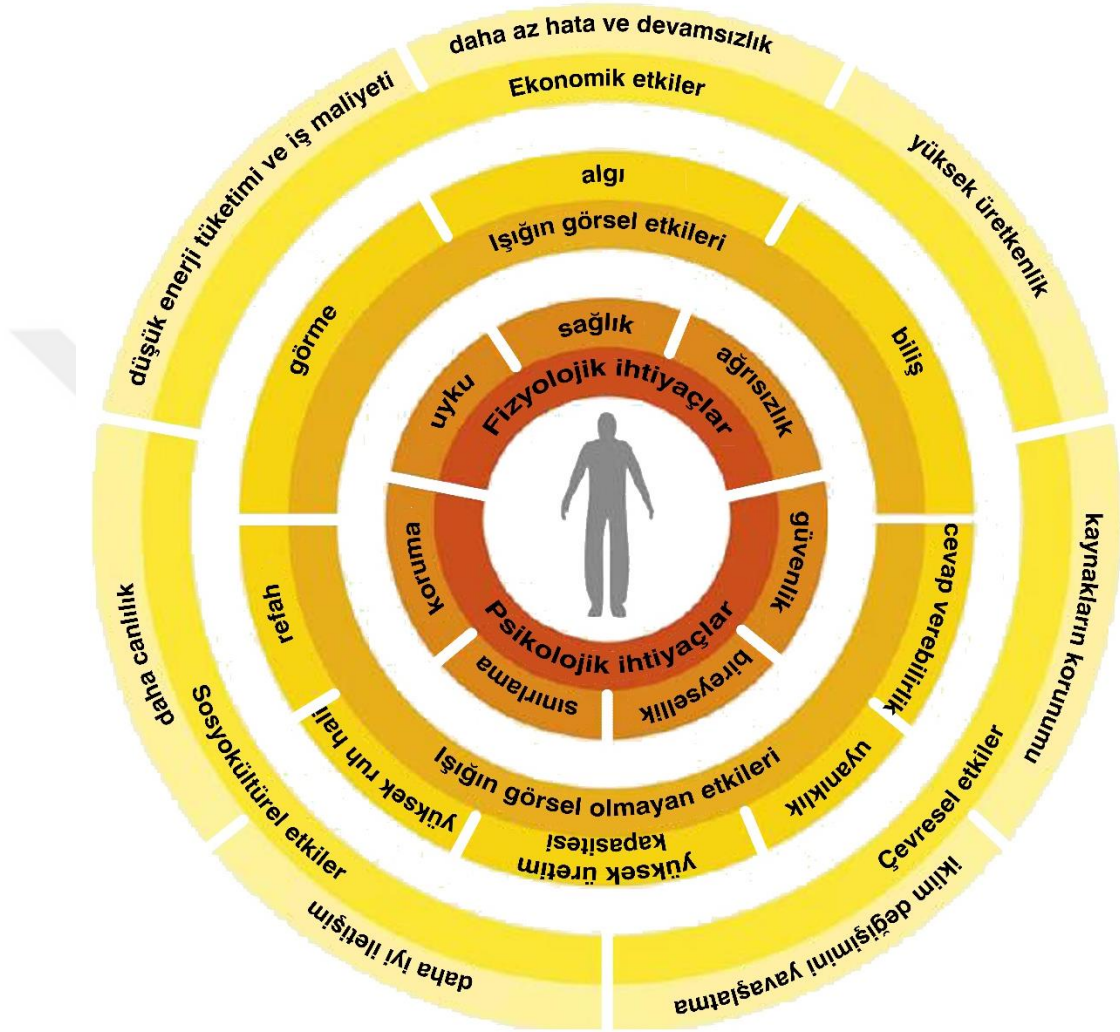
Spektral bileşimi ve zamansal değişkenliği nedeniyle gün ışığı, insan sirkadiyen saati için üstün bir çevresel işaret olarak tanımlanmaktadır ve bu nedenle yapay aydınlatma armatürleri ile yeri doldurulamamaktadır. Bu nedenle, iç mekanlarda bulunanların aldığı

gün ışığı miktarı büyük önem taşımaktadır, çünkü özellikle gelişmiş ve kentleşmiş dünya nüfusu, zamanlarının ortalama %85'inden fazlasını binaların içinde geçirmektedir (Potočnik & Mitja, 2020). Endüstri öncesi zamanlarda insanlar zamanlarının önemli miktarlarını, esas olarak tarım, inşaat veya zanaat temelli ve güneşin doğuşu ve batışı ile sınırlı olan verimli saatler boyunca gün ışığına maruz kalarak geçirmişlerdir. 19. ve 20. yüzyıllarda, sanayileşmiş işgücü piyasaları nedeniyle kentsel yoğunlaşmadaki artış ve elektrikli aydınlatma, inşaat teknikleri ve iç mekân iklim kontrol teknolojilerindeki ilerlemeler, iç mekân kullanım sürelerinin giderek uzamasına neden olmuştur. Bunun sonucu olarak 41 ile 46 kuzey enlemleri arasında yaşayan ortalama bir insanın günde yaklaşık 2 saatini dışarıda geçirdiği tahmin edilmektedir. Sanayileşme sonrası şehir sakinlerinin görsel ve görsel olmayan sistemlerinin gece ve gündüz saatlerinde önemli ölçüde yapay aydınlatma seviyelerine maruz bırakılması ile dışarıda geçirilen bu süre son 8 yılda 0,5 saat daha azalmıştır (Amundadottir, Rockcastle, Khanie, & Andersen, 2017).

Son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalar, yapıları iç mekân ortamında yeterli gün ışığı koşullarının önemini ana hatlarıyla ortaya koymaktadır, çünkü ışık uyaranlarının eksikliği, bina sakinlerinin sağlığını ve ruh halini etkileyen çok sayıda olumsuz etkiye neden olmaktadır. Uygun olmayan ışık uyaranlarının en belirgin yan etkilerinden bazıları depresyon, uyku bozukluğu ve bunun yanı sıra insan vücudunun sirkadiyen ritimlerinin genel olarak bozulmasıdır. Nitekim, hormonal denge, uyanıklık, uyku ve uyanma döngüsü, ruh hali ve öznel uyanıklık gibi insan işleyişinin çeşitli psikolojik ve fizyolojik yönlerinin günlük düzenlenmesinden sirkadiyen sistem sorumludur (Potočnik & Mitja, 2020).

Elektrikle aydınlatma, gün ışığı olmadığında üretken, sosyal ve rekreasyonel faaliyetler için faydalı aydınlatma sağlayabilirken, insanların çeşitli ve bazen çelişen fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçları ortaya çıkabilmektedir. İnsanlar uyanıklık durumlarını ve faaliyetlerini aydınlık saatlerle ilişkilendirirken, uyku ve dinlenme döngüleri genellikle karanlığa bağlıdır. Işık ortamındaki bu öngörülebilir değişiklik, yapıları çevredeki insan sirkadiyen saatini sıfırlayan en önemli faktörlerden biridir. Işık, sirkadiyen saati düzenlemeye ek olarak Şekil 23'te gösterildiği gibi insanlarda hormon üretimi, uyanıklık ve bilişsel performans dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere bir dizi doğrudan görüntü oluşturmayan (dışarıdan algılanamayan) fizyolojik ve davranışsal tepkilere neden olmaktadır. Bazı görsel görevler nispeten düşük ışık seviyeleri altında

gerçekleştirilebilmesine rağmen (mevcut dış mekân aydınlatmasıyla karşılaştırıldığında), bu seviyeler sirkadiyen ritimleri 24 saatlik güne senkronize etmek veya diğer fizyolojik ve davranışsal görüntü oluşturmaya tepkileri teşvik etmek için yeterli ışığı sağlamamaktadır (Pauley, 2004); (Amundadottir, Lockley, & Andersen, 2017).



Şekil 23. Işığın insan üzerindeki etkilerinin modeli

(Kaynak: (Impact of Light on Human Beings, 2014))

Işık, insan sağlığını ve refahını sirkadiyen ritim ve hormonlarla ayarlama da kritik bir role sahip olsa da aydınlatma genel olarak yalnızca görsel ihtiyaçları sağlayacak şekilde planlanmaktadır. Bu sebeple ışığın, insanların görsel olmayan sistemlerini nasıl etkilediğini anlamak için daha az çalışma bulunmaktadır. Son yıllara kadar ışığın görsel olmayan etkileri göz ardı edilmiş veya görsel ihtiyaçlara göre daha az dikkat edilmiştir.

Hem doğal hem de yapay görsel aralıktaki tüm ışık türlerinin biyolojik saat üzerinde bir miktar etkisi olduğu, parlak ışığın loş ışıktan daha etkili olduğu ve beyaz ışık veya gün ışığının renkli ışıktan daha etkili olduğu kanıtlanmıştır (Küller, 2002).

2013 yılında LightingEurope ve Alman Elektrik ve Elektronik Üreticileri Derneği'nin (ZVEI) birlikte yürüttükleri çalışmanın sonucu olarak İnsan Merkezli Aydınlatma (Human Centric Lighting - HCL), iş yerlerinde insan sağlığını, konsantrasyonunu, güvenliğini ve verimliliğini iyileştirmek için yararlı bir tasarım odaklı yaklaşım olarak tanıtılmıştır. İnsan merkezli aydınlatma (İMA), LightingEurope tarafından “ışığın görsel, biyolojik ve duygusal faydalarını birleştirerek insanların sağlığını, refahını ve performansını destekleyen” bir aydınlatma türü olarak tanımlanmaktadır (Nicolantonio, Rossi, Deli, & Marano, 2020) ;(Karolina, 2019).

İnsan merkezli aydınlatma, belirli çevrelerdeki insanların bireysel ihtiyaçlarına karşılık vermek için ışık, iklim ve mekânın karşılıklı etkileşimini eşleştirmektedir. İnsan merkezli aydınlatmanın amacı, daha fazla refah ve performans kapasitesi için aydınlatma durumunu önemli ölçüde iyileştirmenin yanı sıra dış ortamla optimum senkronizasyon elde etmektir. İnsan merkezli aydınlatma, biyolojik olarak etkili aydınlatma kavramını bütünsel planlamaya genişletmekte ve ışığın görsel, duygusal ve biyolojik etkilerini içermektedir (Cupkova, ve diğerleri, 2019).

Bütünleştirici, sağlıklı, biyodinamik veya sirkadiyen aydınlatma olarak da bilinen insan merkezli aydınlatma yaklaşımı, binaların aydınlatmasını bireylerin fiziksel ve ruhsal sağlığı ile ilgili olan görüntü oluşturan (Image Forming - IF) ve görüntü oluşturmeyen (Non-Image Forming - NIF) tepkilerine uyarlamayı amaçlamıştır. Görüntü oluşturan tepkiler, ışığın retinaya ulaştıktan sonra görme ve görüntü oluşumuyla sonuçlanan, insan gözünün foto-reseptörleri, çomak ve koni (rods and cones) hücreleri ve beyin arasındaki biyolojik süreci ifade etmektedir. Görsel tepki etkileri özellikle insan görsel performansı ve enerji sorunları açısından aydınlatma biliminde geniş çaplı olarak incelenmiştir (Parsaee, ve diğerleri, 2020).

Yakın zamandaki biyolojik çalışmalar, doğası gereği ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri (intrinsically photosensitive retinal ganglion cell - ipRGC) olarak bilinen insan gözünün yeni foto-reseptörlerini keşfetmiştir. Bu foto-reseptörler, görüntü oluşturma süreçleriyle doğrudan bağlantılı değildir, bunun yerine insan beyninde yer alan ve

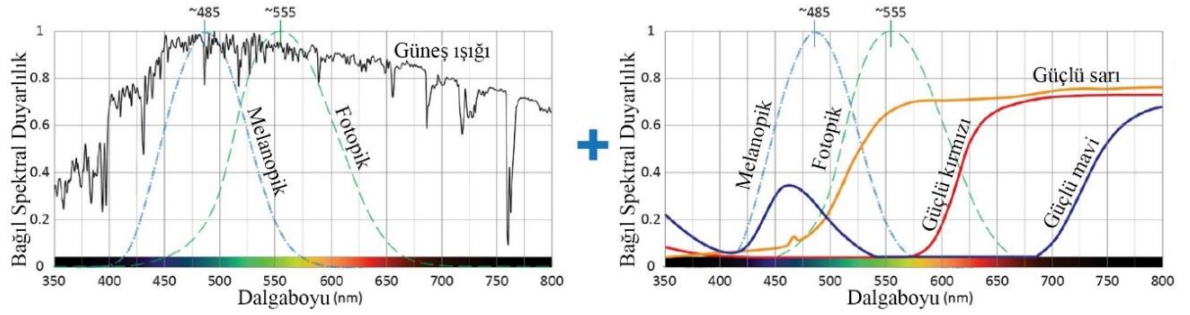
yukarıda bahsedilen günlük döngüsel vücut süreçlerini düzenleyen Süper Kiazmatik Çekirdekler (Super Chiasmatic Nuclei-SCN) ile iç güdümlü bir bağlantı sağlamaktadırlar. Siyanolabe, eritrolabe, klorolabe ve rodopsin foto-pigmentleri yoluyla foto-transdüksiyonu gerçekleştirilen görsel sistemin uyarılarına benzer şekilde sirkadiyen foto-transdüksiyon, ipRGC içinde melatonin salgılanmasından sorumlu bir foto-pigment olan melanopsin tarafından etkinleştirilmektedir. Daha yüksek benzer renk sıcaklıkları (Correlated Color Temperature - CCT) ve daha yüksek parlaklığa sahip ışığa maruz bırakılması, bina sakinlerinde daha yüksek melatonin baskılanmasına neden olmaktadır. Bu da daha düşük benzer renk sıcaklığı ve daha düşük parlaklıktaki ışığa kıyasla sirkadiyen ritim üzerinde daha belirgin bir etkiye neden olmaktadır (Cajochen, Zeitner, Czeisler, & Dijk, 2000); (Chellappa, ve diğerleri, 2011).

Görüntü oluşturmayan tepkiler, ışığın insan gözünde bulunan ve vücut iç saatini (sirkadiyen saati), uyanıklığı, performansı ve ruh halini düzenleyen ipRGC'ler üzerindeki etkilerini ifade etmektedir. Sirkadiyen saatler neredeyse her 24 saatte bir yenilenmekte ve yerel foto-periyodlarla, yani mevsimsel gündüz/gece döngüleri ile senkronize edilmektedirler. Bu nedenle, gün ışığı ve foto-periyodlar, görüntü oluşturmayan tepkilerin uyarılmasında önemli bir rol oynamaktadırlar (Arendt & Middleton, 2018); (Refinetti, 2016).

CIE'nin (Commission internationale de l'éclairage) yapmış olduğu foto-biyolojik çalışmalar, kapsamlı sağlık ve esenlik faydaları sebebiyle iç mekandaki ana aydınlatma kaynağı olarak gün ışığının önceliklendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur (CIE, 2018). Foto-biyolojik çalışmalar, görüntü oluşturmayan tepkilerin gereksinimleri için uygun olmayan bir aydınlatmanın sirkadyen saatinde senkronizasyon bozukluğu, uyku problemleri, mevsimsel duygusal bozukluk (seasonal affective disorder - SAD), kardiyovasküler hastalık ve düşük enerji gibi çeşitli sağlık sorunlarına sebep olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle insan merkezli aydınlatma, bina içerisinde çeşitli faaliyetlerde bulunan kullanıcıların farklı aydınlatma kalitesi talepleri için foto-biyolojik gereksinimlerine özel dikkat gösterilmesi gerekmektedir (Russart & Nelson, 2018); (Schlangen, 2019).

İnsan merkezli aydınlatma, bir mekânın aydınlatma kalitesini fotopik ve melanopik birimler ve renk sıcaklığı açısından bireylerin görüntü oluşturan ve görüntü oluşturmayan

tepkilerini etkileyen ana faktörler olarak değerlendirmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, görüntü oluşturan ve görüntü oluşturmeyan tepkilerin ışığın yoğunluğu, spektrumu, zamanlaması ve süresinin yanı sıra bireylerin ışığa maruz kalma geçmişine bağlı olarak farklı duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur (Parsaee, ve diğerleri, 2020). Etkili spektrum açısından, insan görüntü oluşturan tepkilerinin spektral gücü, 555 nm'de pik yapan fotopik eğri ile, görüntü oluşturmeyan tepkilerinin spektral gücü, 485 nm'de zirve yapan melanopik eğri ile Şekil 24'te gösterilmiştir. Bir ışık kaynağının ya da bir mekânın fotopik ve melanopik yoğunlukları, çeşitli fotopik ve melanopik verimlilikler nedeniyle farklı olmaktadır. Örneğin, bir akkor ışığın 200 fotopik lüksü, 220 eşdeğer melanopik lüks (equivalent melanopic lux - EML) üretmektedir. Bir ışık kaynağının veya bir mekânın hem görüntü oluşturan hem de görüntü oluşturmeyan tepki eğrilerinin değerlendirilmesinde melanopik ve fotopik değerlerin oranının dikkate alınması önerilmektedir (International WELL Building Institute, 2018). M/P oranı 1 olduğunda, bu, ışık kaynağının veya mekânın eşit melanopik ve fotopik yoğunluklara sahip olduğu ve eşit görüntü oluşturan ve görüntü oluşturmeyan tepkiler oluşturduğu anlamına gelmektedir. M/P oranı 1'den yüksek olduğunda, örneğin 1,20 değerine sahip bir aydınlatma elemanının melanopik yoğunluğunun daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Aksi senaryolarda yani M/P oranının 1'den küçük olduğu durumlarda ise mekânın ya da aydınlatma elemanının fotopik yoğunluğunun daha yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır. M/P oranına ek olarak, ışığın benzer renk sıcaklığı da foto-biyolojik ve insan merkezli aydınlatma çalışmalarında dikkate alınmaktadır. Sıcak ışıklar (CCT<~5000 K) genellikle daha yüksek fotopik değerlere (M/P<1) sahipken, soğuk ışıklar (CCT>~ 5000 K) çoğunlukla daha yüksek melanopik değerlere (M/P>1) sahiptirler (Parsaee, ve diğerleri, 2020). (Enezi, ve diğerleri, 2011)



Şekil 24. IF ve NIF tepkilerinin spektral hassasiyetinin farklı ışık tipleri ile karşılaştırılması

(Kaynak: (Parsaee, ve diğerleri, 2020))

Ayrıca farklı sıcak veya soğuk ışık kaynaklarının fotopik ve melanopik yoğunlukları farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, 3450 K renk sıcaklığına ($M / P = 0,56$) sahip tipik bir beyaz flüoresan, 2810 K renk sıcaklığına ($M / P = 0,64$) sahip tipik bir akkor lambadan daha yüksek bir fotopik yoğunluğa sahiptir. Benzer şekilde, 7500 K renk sıcaklığına sahip bir D75 günışığı, 5500 K renk sıcaklığına ($M / P = 1.2$) sahip bir D55 gün ışığından daha yüksek bir melanopik yoğunluğa ($M / P = 1.43$) sahiptir. Tablo 6, bazı ışık kaynaklarının farklı renk sıcaklıkları için M/P oranlarını göstermektedir (Berman & Clear, 2014) (Berman & Clear, 2019).

Tablo 6. Bazı ışık kaynaklarının M/P oranları ve benzer renk sıcaklıkları

Kaynak	CCT	M/P oranı
Yüksek basınçlı cıva	2970	0.29
Beyaz (flüoresan)	3540	0.56
Akkor lamba	2810	0.64
Günışığı flüoresan	5140	1.07
Flüoresan (6500 K)	6380	.018
D55 (günışığı 5500 K)	5500	1.20
D65 (günışığı 6510 K)	6510	1.33
D75 (günışığı 7500 K)	7500	1.43

Kaynak: (Berman & Clear, 2019)

Günün farklı saatlerinde ve farklı etkinlikler için foto-biyolojik aydınlatma gereksinimleri de farklılık göstermektedir. Gerçekleştirilen son çalışmaların çoğu, ofislerdeki gündüz aktiviteleri için sabahları yüksek melanopik yoğunluklu soğuk aydınlatma önermektedir; bunu öğleden sonra ve akşamları düşük melanopik yoğunluklu soğuk aydınlatma takip etmektedir. Bu nedenle insan merkezli aydınlatma, kullanıcıların foto-biyolojik

ihtiyaçlarını karşılamak için günün uygun saatinde uygun fotopik ve melanopik değerler ve aydınlatma renk sıcaklığı sağlamaya odaklanmaktadır (Parsace, Demers, Hbert, Lalonde, & Potvin, 2020).

Sabahın erken saatlerinde ışığa maruz kalmak, bireylerin sirkadiyen ritmini artırabilirken, akşamları parlak ışığa maruz kalmak, ilerleyen bir sirkadiyen faz kaymasına neden olarak normal sirkadiyen saatin bozulmasına ve bu da insanların çoğu için i saatin 24 saatten biraz daha uzun sürmesine yol açabilir. Bu nedenle, normal sirkadiyen saatin Dünya'nın astronomik günüyle eşzamanlılığını korumak için periyodik (yani günlük) olarak sıfırlanması gerekmektedir. İnsan sirkadiyen sisteminin yukarıda bahsedilen karmaşık davranışını yeterince tanımlamak ve ölçmek için, son on yılda insanların ışık uyaranlarına tepkisini kolaylaştıran birkaç ölçüm önerilmiştir. Literatürde en sık kullanılan iki yöntem, (Rae, Figueiro, Bierman, & Hammer, 2012) tarafından nerilen Sirkadiyen Uyarıcı (Circadian Stimulus - CS) ve (Lucas, ve diğerleri, 2014) tarafından önerilen bir karşılaştırma metriği olan eşdeğer melanopik lüks metriğidir (Equivalent Melanopic Lux - EML). İlki (yani CS), insan görsel ve sirkadiyen sistemlerinin bilinen nöroanatomi ve fizyolojisini göz önünde bulundurarak, ışığın gece melatonin baskılanması üzerindeki biyolojik olarak ağırlıklı etkilerini ifade etmektedir. Öte yandan önerilen diğer ölçüt, insan gözünde seçilen foto-pigmente dayalı olarak etkili bir aydınlıkta görsel olmayan ışık uyaranlarının sonuçlarını sunmaktadır. İkinci yöntem, ışığın görsel olmayan yönlerini değerlendirmek için CIE tarafından önerilen yaklaşımdır. Sirkadiyen sistemin ihtiyaç duyduğu mutlak miktarı, kaliteyi ve zamanlamayı belirleme alanında önemli araştırmalar yapılmış olsa da "en sağlıklı" ışık dozajına ilişkin kesin bir öneri seti henüz hazırlanmamıştır. Bununla birlikte, son saha çalışmalarında da görüldüğü gibi 0,3'n üzerindeki bir CS değeri, potansiyel olarak ofis alışanlarında azalmış uykulu olma durumu, artan canlılık ve uyanıklıkla doğrudan bağlantılıdır. Öte yandan, WELL bina sertifikasyon standardı, çalışma ortamları için iş istasyonlarının minimum %75'inin 9:00 ile 13:00 saatleri arasında zeminden 1,2 metre yükseklikte dikey bir düzlemde en az 200 EML alması gerektiğini belirtmektedir (Figueiro, ve diğerleri, 2019); (Chen, Zhang, & Du, 2019).Yakından incelendiğinde, insan merkezli aydınlatma konsepti çok daha zahmetlidir ve sadece aydınlatma ve renk sıcaklığının uyarlanması çok ötesine geçmekte ve aydınlatmanın etkisi bütünsel olarak ele alınmaktadır. İnsan merkezli aydınlatma, görsel, duygusal ve özellikle ışığın biyolojik etkilerinin bütüncül planlanması

ve uygulanması yoluyla insanoğlunun sağlığını, refahını ve performansını hedefli ve uzun vadeli bir şekilde desteklemektedir. İnsan merkezli aydınlatma tasarımı, bir projenin konsept safhasından başlayarak inşaat safhasına kadar her aşamasında düşünölerek planlanmalıdır (Seiferlein & Kohlert, 2018).

Tüm bu bilgiler ışığında, ışığın insanın iç saatini senkronize etmek için birincil dış ortam etkeni olduğu söylenebilir. Gün ışığı, insanın gün içindeki vücut süreçlerini, hormonlarını, uyanma-uyku ritimlerini ayarlamaktadır. Işık insan bedeni süreci üzerinde çok önemli bir özelliğe sahip olduğu açıktır. Bu nedenle, bir aydınlatma konsepti tasarlarırken kullanıcılar her zaman odak noktasında olmalıdır. Bu da insan merkezli aydınlatmanın temelini oluşturmaktadır. İnsan merkezli aydınlatma konsepti, bir insan için melanopik etkili aydınlatma sağlamayı; gün ışığının karanlığı, parlaklığı ve dinamizmini iç mekanlara uyarlamayı amaçlanmaktadır.

Işık insan sirkadiyen sistemi üzerindeki mutlak biyolojik etkisi ve mutlak ölçüm şekli, bu konuyla ilgili araştırma eksikliğinden dolayı hala yeterince anlaşılamamıştır. Yine de hem yapay aydınlatma elemanlarının (LED ampuller) hem de günışığının insan sirkadiyen sistemi üzerindeki etkilerini araştırmak üzere, insan merkezli aydınlatma konsepti dahilinde birçok farklı parametre göz önünde bulundurularak farklı yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan günışığının etkilerini değerlendiren çalışmalarda, doğal aydınlatma elemanlarının yüzey parametreleri, iç mekân yüzeylerinin yansıtıcılık ve renk özellikleri gibi değişkenler göz önünde bulundurulmuştur.

2020 yılında, bir ofis ortamında günışığı ile oluşan görüntü oluşturmeyen tepkilere cam ve duvar renklerinin etkilerini incelemek üzere bir dizi deney ve simölasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Sunulan deneyler ve simölasyonlar, tipik bir hücresel ofisin üç yansıtma seviyesinde seçilen yedi cam türü ve altı duvar kaplaması tonunun günışığının görüntü oluşturmeyen tepki potansiyeli üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Ayrıca, seçilen cam ve duvar rengi kombinasyonlarının iki tipik gökyüzü koşulunda (yani açık ve kapalı gökyüzü) algılanan ışıklı ortam üzerindeki etkisi, tipik bir ofis iş günü süresince simölasyonlar kullanılarak incelenmiştir. Sunulan çalışmanın sonuçları, gün ışığının sirkadiyen etkilerini değerlendirirken iç mekân opak yüzeylerinin ve şeffaf bina kabuğu elemanlarının spektral özelliklerinin dikkate alınmasının önemini açıkça vurgulamıştır. Genel olarak, daha yüksek görsel geçirgenlik (τ_{vis}) ve görsel yansıma (R_{vis}) değerleri ile

karakterize edilen yapı elemanlarına sahip iç mekân ortamlarının daha yüksek görüntü oluşturmayan tepki potansiyeline yol açacağı tespit edilmiştir. Çalışma yüzeyinin pencereye paralel yönlendirilmesi durumunda hem camdan hem de renkli duvarlardan sağlanan günışığının, görüntü oluşturmayan tepki potansiyeline hemen hemen eşit katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Ancak, kişinin bakış yönü ilgi noktalarına göre değişebileceğinden, kullanıcının görüşünün sabit olmadığı kabul edilmelidir. Bu, cam özelliklerinin katkısının kullanıcının sürekli değişen bakış yönü nedeniyle daha önemli olabileceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, görsel iletimin artmasının, cam rengini değiştirmekten daha büyük bir etkiye sahip olması nedeniyle, görüntü oluşturmayan tepkileri uyarıcı ortam oluşturmak için daha yüksek görsel geçirgenliğe ve nötr renklendirmeye sahip cephe elemanlarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, binanın aşırı ısınmasını önleme nedenlerinden dolayı renkli güneş kontrol camı kullanılacaksa, mavi renkli cam, görüntü oluşturmayan tepki potansiyeli açısından daha iyi bir alternatif olarak düşünülmüştür (Potočnik & Mitja, 2020).

Bir diğer çalışmada ise renk, yansımaya, yönelim ve açıklık dahil olmak üzere gölgeleme panellerinin konfigürasyonlarının insan merkezli performansı, günışığı fotopik ve melanopik değerleri ve benzer renk sıcaklığı açısından incelenmiştir. Bu çalışma, gölgeleme panellerinin özelliklerinin günışığı üzerindeki etkilerini, görüntü oluşturan ve görüntü oluşturmayan tepkiler olarak tanımlanan, insan gözlerinin potansiyel biyolojik tepkilerini temsil eden parametreler (fotopik-melanopik değerler ve benzer renk sıcaklığı) açısından laboratuvar ölçekli bir modelde gerçekleştirmiştir. Araştırma, gölgeleme panellerinin renginin (mavi, kırmızı, beyaz, kontrplak), yansımaya değerlerinin (parlak, mat), uygulama yönünün (yatay, dikey) ve açıklığının (geniş, dar) günışığı spektrumunu değiştirerek binaların içindeki fotopik ve melanopik birimlerin modifikasyonuna yol açabileceğini varsaymaktadır (Parsaee, ve diğerleri, 2020).

Araştırma sonuçlarının gösterdiği üzere, soğuk beyazımsı paneller, ortamdaki melanopik değerleri ve benzer renk sıcaklığını artırırken; sıcak beyaz renk, fotopik değerleri artırmaktadır. Bu nedenle, mavimsi ve soğuk beyazımsı paneller, artan melanopik değerler ve benzer renk sıcaklığı aracılığıyla görüntü oluşturmayan tepkileri etkileyebilmektedir. Aksine, sarımsı ahşap kırmızı paneller gibi kırmızı bazlı ve sıcak renkler, daha yüksek fotopik değerlere ve daha düşük benzer renk sıcaklığına katkıda bulunmakta ve potansiyel görüntü oluşturan tepki modifikasyonlarıyla sonuçlanan daha

sıcak günışığı üretmektedirler. Çalışma, gölgeleme panellerinin renk, yansıma, yönelim ve açıklık gibi tasarım değişkenlerinin, alan içindeki insan merkezli aydınlatma performansı üzerindeki etkilerinin potansiyel olarak kullanıcıların fotobiyolojik tepkilerini değiştirebileceğini ortaya koymuştur. Panellerin renginin, görüntü oluşturan ve görüntü oluşturmamayan tepkileri temsil eden temel faktörler olan fotopik ve melanopik birimler ve gün ışığının benzer renk sıcaklığı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu belirlenmiştir. Renk kullanımı, panellerin melanopik değerleri ve benzer renk sıcaklığını artırma veya fotopik değerleri artırma ve ortamdaki benzer renk sıcaklığını azaltma davranışı için belirleyici faktör olarak öne çıkmıştır. Mavi tabanlı ve soğuk renklere sahip paneller, çalışılan modeller için mekandaki melanopik değerleri ve renk sıcaklığını %30'a kadar artırabilmektedir. Araştırma sonuçlarının gösterdiği üzere, soğuk beyazımsı gölgeleme panelleri aynı zamanda ortamdaki melanopik değerleri ve benzer renk sıcaklığını artırabilmektedir. Sıcak beyaz renk, fotopik değerleri artırdığından, mavimsi ve soğuk beyazımsı paneller, artan melanopik değerler ve benzer renk sıcaklığı yoluyla görüntü oluşturmamayan tepkileri potansiyel olarak etkileyebilmektedir. Aksine, sarımsı ahşap kırmızı paneller gibi kırmızı bazlı ve sıcak renkler, daha yüksek fotopik değerlere ve daha düşük renk sıcaklığına katkıda bulunmakta ve potansiyel görüntü oluşturan tepki modifikasyonları ile sonuçlanan daha sıcak gün ışığı üretmektedirler. Bu nedenle sıcak beyaz renk fotopik değerleri artırabilmektedir. Bu tür davranışlar, panellerin renginin gün ışığı spektrum içeriğini değiştirdiği ve melanopik ve fotopik değerleri etkilediği ve potansiyel olarak farklı görüntü oluşturan ve görüntü oluşturmamayan tepkilerle sonuçlanabilecek araştırma hipotezini doğrulamaktadır. Ayrıca, araştırma sonuçları, panellerin yansımasının, renklerin alan içindeki etkilerinin büyüklüğünü etkilediğini göstermektedir. Mat renkli gölgeleme panellerinin etkisi, benzer renkteki parlak kaplama panellerine kıyasla ortamın her yerinde yoğunlaşmış ve artmıştır. Parlak ve mat davranışlar, panellerin yansıma değerlerinin insan merkezli günışığı performansını etkilediğini doğrulamaktadır. Araştırma, açık bir gökyüzü ve doğrudan güneş ışığı altında gerçekleştirildiğinden, renk ve yansıma davranışları, farklı renk, günışığı ve gökyüzü koşulları altında farklılık gösterebileceği ön görülmektedir (Parsae, ve diğerleri, 2020).

Panellerin güney yönüne yönelik oryantasyonunun incelenmesi, yatay gölgeleme panellerinin, tüm alan boyunca günışığının insan merkezli özelliklerini etkilediğini ve cepheden arka duvara kadar oldukça etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Paneller

arasındaki açıklığın azaltılması, yatay ve dikey panellerin alandaki gün ışığı özellikleri üzerindeki etkilerini artırmıştır. Küçük bir açıklığa sahip dikey paneller, daha geniş açıklığa sahip dikey panellere kıyasla, iç mekânın cepheden uzak arka yüzeyinde daha fazla etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yatay ve dikey panellerin açıklığının küçük olmasının da ortamdaki parıltı riskini azalttığı gözlemlenmiştir (Parsaee, ve diğerleri, 2020).

Galabov'un 2019 yılında gerçekleştirmiş olduğu deneyde, LED kullanan yapay aydınlatma elemanlarındaki doğru ve yumuşak renk sıcaklığı değişimlerinin insan merkezli aydınlatma tasarımı gereksinimlerini karşılayıp karşılayamadığı test edilmiştir. Almanya'nın Münih kentinde bulunan ve çalışmada kullanılan deney ofis mekanının ışık alan cephesi güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Genişliği 2,49 metre derinliği 5,34 metre olan odanın güney cephesi tamamı pencere ile geçilmiştir. Yüksekliğin 2,88 metre olduğu mekânda, 2,65 metre uzunluğundaki lineer yapay aydınlatma elemanı yerden 2,25 metre yükseklikte ve cepheye dik bir şekilde tavana sabitlenmiştir. Aydınlatma elemanının cepheden ve yan duvarlardan uzaklıkları sırası ile 0,92 metre ve 1,26 metredir. Aydınlatma elemanının, doğal ışığın gün içindeki konumu ve aydınlık düzeyinin değişmesine bağlı olarak iç mekânın farklı noktalarındaki ışık dalga boylarına etkilerini inceleyebilmek adına ikisi cephe kenarı, biri aydınlatma elemanının altı ve biri de dip duvar kenarında olmak üzere 4 farklı ölçüm cihazı mekân içerisinde yerleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, mevcut aydınlatma teknolojileri ile insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine uygun ofis aydınlatması tasarımı gerçekleştirilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçlar, dijital parametreleri ayarlamak için mevcut sistemlerin verilen komutları doğru ve büyük sapmalar olmadan gerçekleştirebildiğini göstermiştir. İncelenen armatür, ışık akısı değişse bile, ayarlanan renk sıcaklığı parametrelerinin kabul edilebilir sapma içinde tuttuğu saptanmıştır (Galabov, 2019).

Hem LED ve OLED yapay aydınlatma elemanları hem de doğal aydınlatma ve gölgeleme elemanları ile gerçekleştirilen çalışmalar göstermiştir ki iç mekânda görsel konfor şartları sağlanırken insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerini de yerine getirmek mümkündür. Yapay aydınlatma elemanları henüz gün ışığının yerini tutamasa da doğal aydınlatmayı destekleyici bir şekilde iç mekân aydınlatma tasarımı içinde yer alması önem arz etmektedir.

4. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışması, bina sakinlerinin psikolojik ve fizyolojik sağlığını olumsuz yönde etkileyen, gün ışığı penetrasyonundan yoksun derin açık plan ofis alanlarında gün ışığının insan merkezli aydınlatma tasarımı parametreleri üzerindeki farklı gölgeleme elemanlarının etkilerini incelemeyi amaçlayan simülasyon tabanlı bir çalışma sunmaktadır. Çalışmada kullanılan doğal aydınlatma bileşenlerinin seçiminde mevcut bir binaya uygulanabilirlikleri ve ölçüm yapılacak olan iklim şartları dikkate alınmıştır. Bu nedenle cephelerde dış mekân ışık rafları, prizmatik paneller, lazer kesim paneller ve güneş yönlendirici cam sistemlerinin kullanılmasına, iklim ve gölgeleme ihtiyacı ön planda tutularak karar verilmiştir.

4.1. Materyal

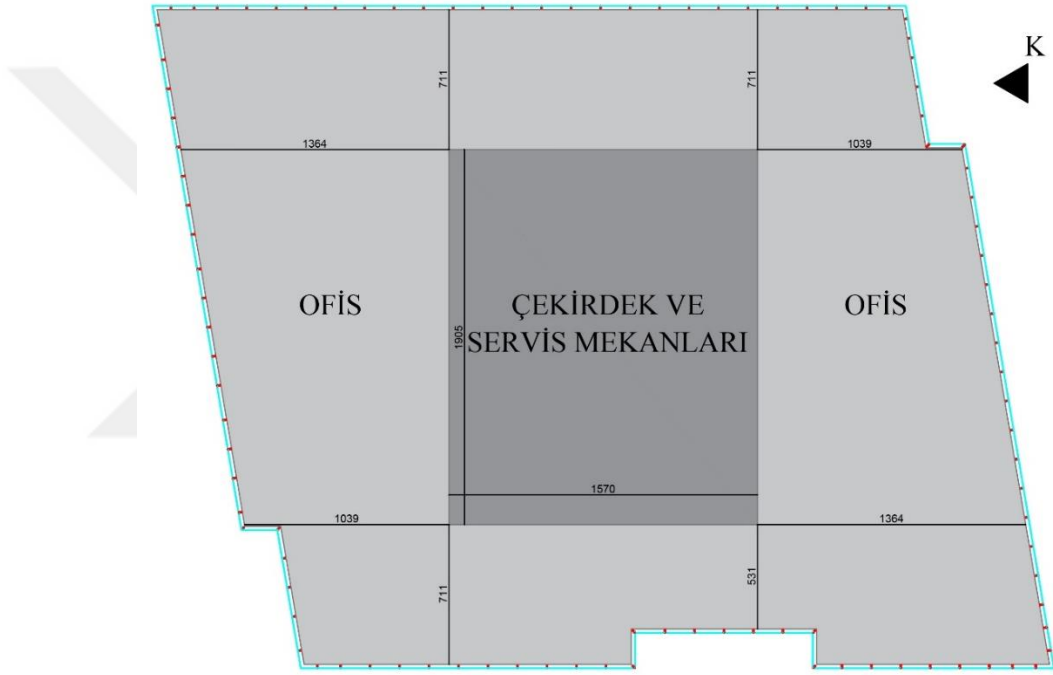
Bir iç mekandaki gün ışığı kalitesini ve miktarını çok sayıda parametre etkilemektedir. Bu parametreler dört ana grup altında toplanabilmektedir. Öncelikle boyutlar (genişlik, derinlik ve yükseklik), yönelim ve iç yüzeylerin yansımaları gibi mekânın mimari özellikleriyle ilgili değişkenler. İkinci olarak, pencere alanı, cam tipi, pencere düzeni ve gölgeleme cihazları gibi cephe geometrisi ile ilgili olanlar. Üçüncüsü, enlem ve yerel hava durumu verileri gibi parselle ilgili parametreler. Son olarak, güneş azimutu ve rakım gibi zamana bağlı değişkenler. Gerçekleştirilen çalışmalarda gerçeğe en yakın sonuçları elde edebilmek adına dört ana parametre de girdi olarak kullanılmıştır. Tüm bu veriler materyal kısmında detaylı olarak açıklanmaktadır.

Derin ofis alanlarında gün ışığının etkin kullanımını, çevre binalardan kaynaklanabilecek gölge oluşumu ve yansımaları en aza indirecek şekilde değerlendirmek için bu çalışmada çok katlı ofis binaları tercih edilmiştir. Bu kapsamda İstanbul'da açık planlı bir ofis yapısının 30. katı (+ 116,40m) referans alan olarak seçilmiştir.

Aydınlatma simülasyon çalışmaları, Rhinoceros 7 içerisinde bulunan Grasshopper yazılımında, Radiance temelli Ladybug/Honeybee Tools eklentileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha doğru sonuçlar elde edebilmek adına çalışmada konum temelli gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. İstanbul için EenergyPlus hava durumu bilgileri simülasyona girdi olarak eklenmiştir.

4.1.1. Örnek Yapı: Zorlu Levent Office

Bu çalışmada simülasyonlar için İstanbul'da 41° 04' 49" K, 29° 00' 37" D matematiksel konumunda bulunan Zorlu Levent Office (Levent 199) binası ele alınmıştır. Şekil 25'te şematik planı gösterilen ofis alanı, yaklaşık 980 metrekare büyüklüğündedir ve 30. katta (+116,40m) yer almaktadır. Bina, doğu-batı doğrultusunda 39 metre, kuzey-güney ekseninde 33 metre uzunluğundadır. Yapı, doğu ve batı cephelerinin kuzey ve güney cephelerine 80°'lik açılarla birleştiği rhombus (baklava şekli) formundadır. Kat yüksekliği 3,80m, tabandan tavana yükseklik 2,90m olarak ölçülmüştür.



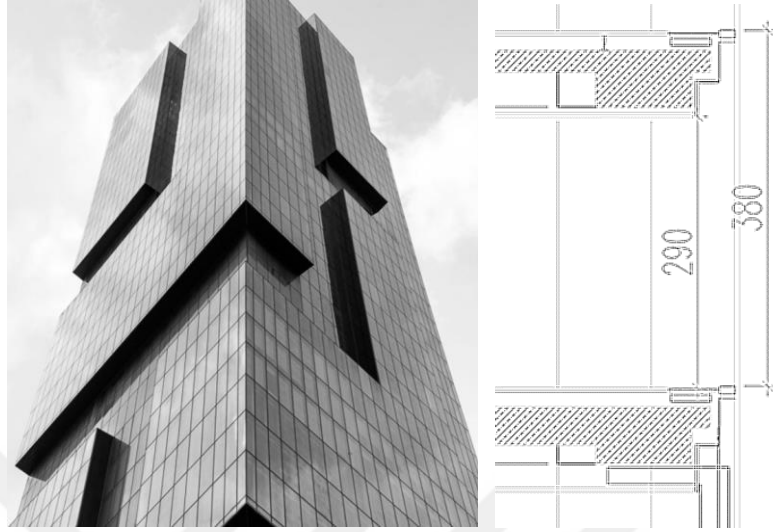
Şekil 25. Örnek ofis şematik planı

(Kaynak: (Tabanlıoğlu Mimarlık Arşivi, 2021))

Tavanda ve yan duvarlarda açık gri renkli, yansıtma katsayıları 0,5 olan yüzey elemanları, zeminde ise daha koyu renkte yansıtma katsayısı 0,2 olan halıflex kaplama bulunmaktadır.

Kesiti ve mevcut durumu Şekil 26'da verilmiş olan cephelerde kat yüksekliğinde ve 150 cm genişliğinde giydirme cephe elemanları kullanılmıştır. Kullanılan giydirme sistemde bulunan doğramalar antrasit renktedir ve 0,2 yansıtıcılık değerine sahiptir. Kullanılan cam panellerde kromatik renkte ve sıklıkla tercih edilen 0,78 geçirgenlik katsayısına sahip

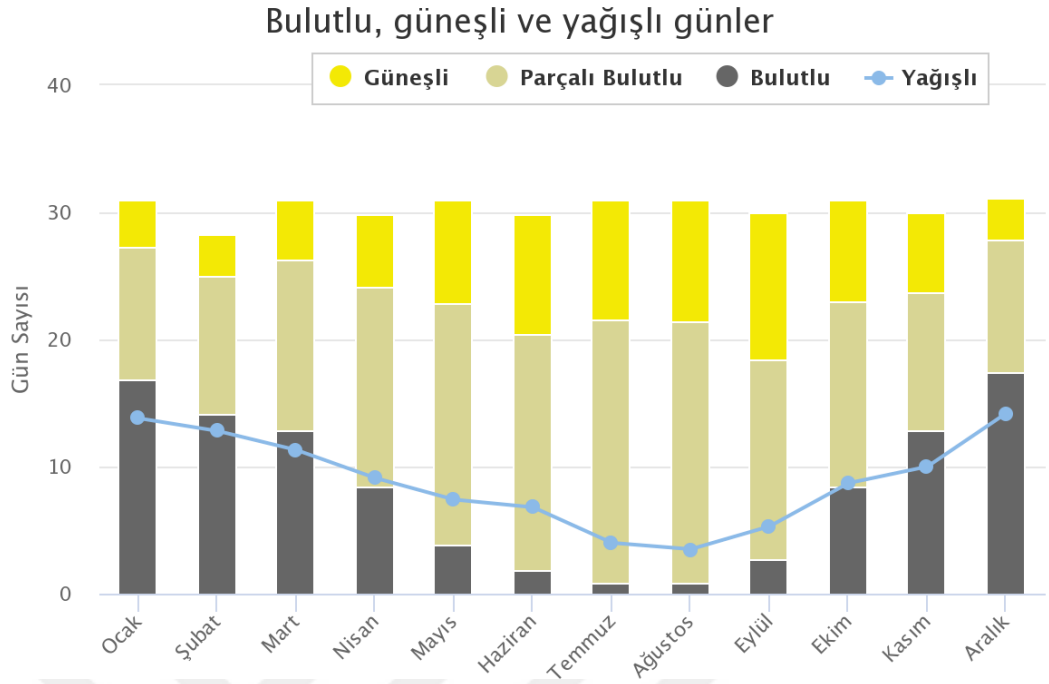
malzeme bulunmaktadır. Cephelerin çekirdekten uzaklıkları kuzey güney aksında 7,00 metre, doğu batı aksında ise en az 10,00 en fazla 13,50 metredir.



Şekil 26. Mevcut cepheden fotoğraf ve kesiti

(Kaynak: (Tabanlıoğlu Mimarlık Arşivi, 2021))

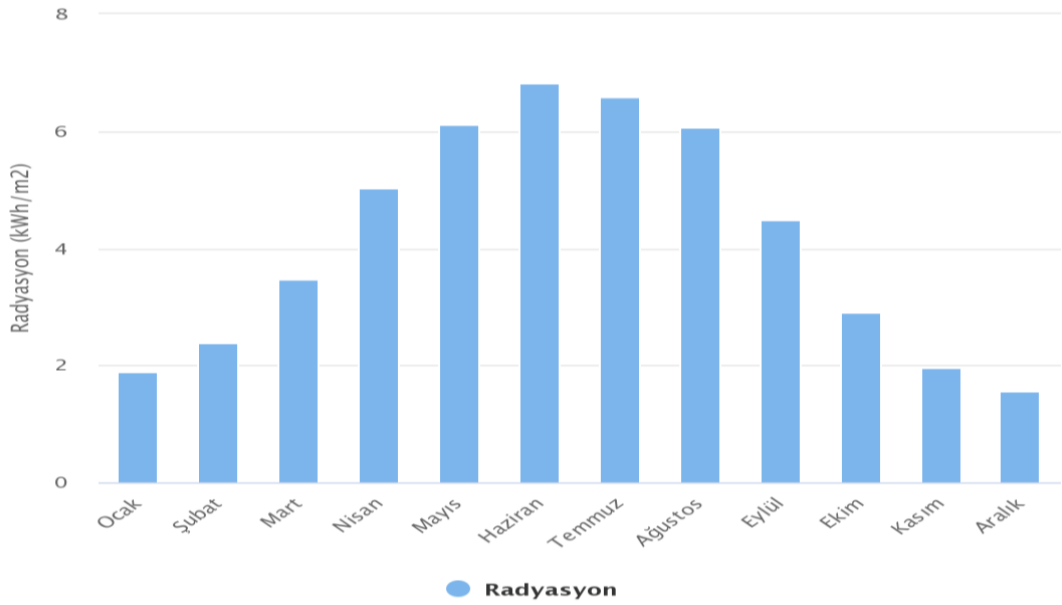
Türkiye'nin en kalabalık kenti olan İstanbul, Marmara Bölgesi'nde bulunmaktadır ve konumu itibariyle hem Asya hem de Avrupa kıtasında yer kaplamaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde ise Marmara denizine sınırı olan kenti İstanbul Boğaz'ı ikiye ayırmaktadır ve Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliği göstermektedir. Kuzey ve güneyinde iki farklı denize sınırı olması ve topoğrafik yapısı sebebiyle kent içinde farklı mikro-iklimler görülmektedir. Yerleşimin daha yoğun olduğu güney kesimi Akdeniz iklimine daha yakın karaktere sahiptir. Kış aylarında sıcaklık değerleri 3-16 derece arasında değişkenlik gösterirken yaz aylarında ise 16-27 derece arasında ölçülmektedir. Kışın yağış miktarı 83 mm'yi bulan kentte yaz aylarındaki yağış miktarı 14mm seviyelerinde seyretmektedir. İstanbul için yıl boyunca güneşli ve bulutlu günlerin aylık dağılımlarının verildiği Şekil 27'den de anlaşılacağı üzere yıl boyunca parçalı bulutlu günler çok sıklıkla görülmektedir. Özellikle simülasyonların gerçekleştirildiği Mayıs-Ağustos aralığında aylık ortalama 19 gün parçalı bulutlu, 9 gün ise güneşli olarak geçmektedir. Grafikte %20'den az bulutlu günler güneşli, %20-%80 arasındaki bulutlu günler parçalı bulutlu ve %80'den fazla olanlar kapalı günler olarak kabul edilmiştir (İstanbul'un İklimi, 2021).



Şekil 27. İstanbul yıllık gökyüzü durumu grafiği

(Kaynak: (İstanbul'un İklimi, 2021))

İstanbul için aylık ortalama radyasyon seviyesinin gösterildiği Şekil 28'de ise yıl boyunca 6 kWh/m² değerinin üzerinde ışınlam olan aylar Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos olarak kaydedilmiştir.



Şekil 28. İstanbul aylık ortalama ışınlam değerleri

(Kaynak: (Türkiye Güneş Radyasyon Dağılımı, 2021))

4.1.2. Doğal Aydınlatma Simülasyon Programı: Honeybee

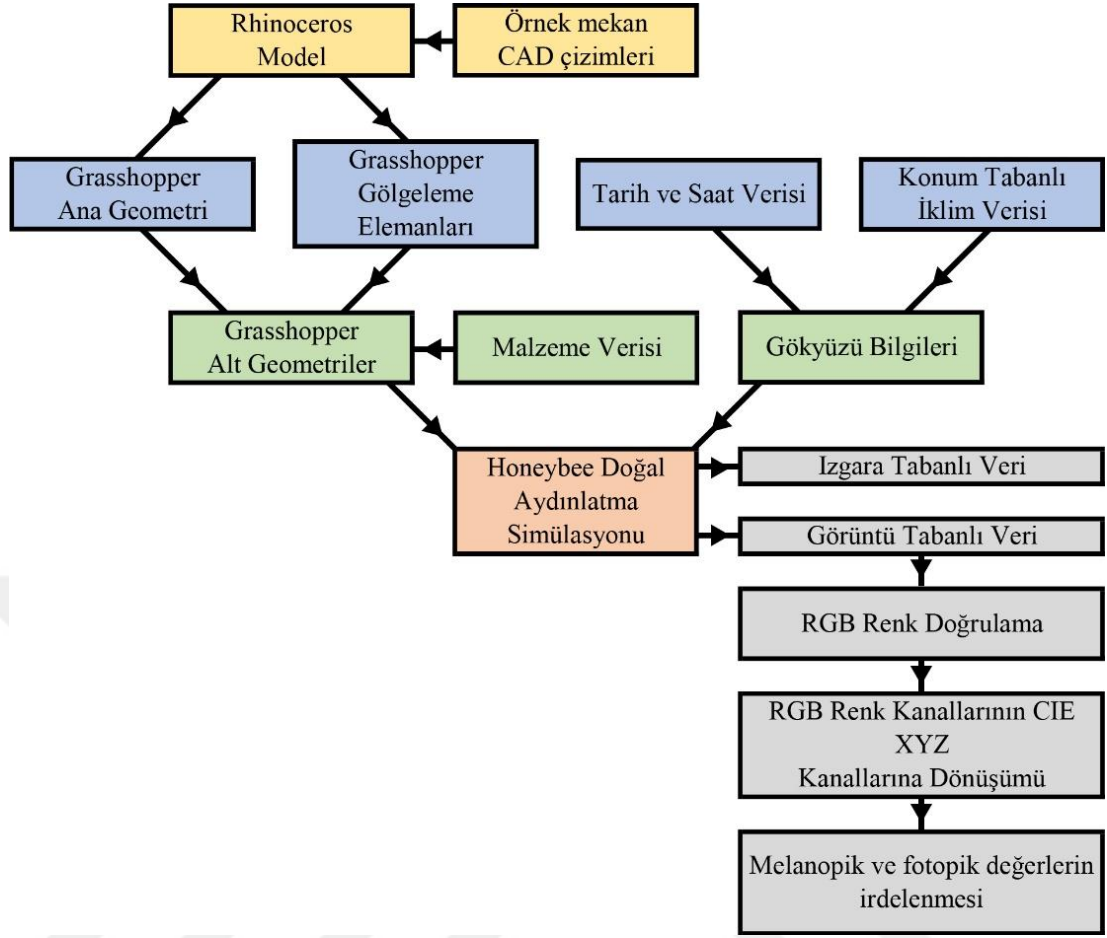
Honeybee, günümüzde daha çok parametrik tasarımlar için kullanılan Grasshopper yazılımı için açık kaynaklı ücretsiz bir eklentidir. Eklenti küçük odalardan kentsel ölçeğe kadar geniş yelpazedeki aydınlatma analizi çalışmalarında kullanılmaktadır.

Grasshopper, Rhinoceros 3D bilgisayar destekli tasarım (CAD) uygulaması içinde çalışan görsel bir programlama dili ve ortamıdır. Yazılım, Robert McNeel & Associates'de David Rutten tarafından oluşturulmuştur. Planlar, bileşenler bir tuvale sürüklenerek oluşturulmaktadır. Bu planların çıktıları, bileşenlerin girişlerine ve kombinasyonlarına bağlıdır. Grasshopper'ın bileşenlerinin çoğu üç boyutlu geometri oluşturmaktadır. Planlar ayrıca sayısal, metinsel ve görsel-işitsel uygulamalar dahil olmak üzere başka türden algoritmalar içerebilmektedir. Grasshopper'ın gelişmiş kullanımları, yapısal mühendislik, mimari ve imalat için parametrik modellemeyi, çevre dostu mimari için aydınlatma performansı analizini ve bina enerji tüketimini içermektedir (Tedeschi, 2011) (Willis, Braham, Muramoto, & Barber, 2016) (Grasshopper, 2021).

Honeybee, girdi dosyaları ile bina geometrisi, malzemeleri, armatürleri, gölgeleme elemanları, saat ve tarih bilgileri ve gökyüzü koşulları belirtildikten sonra hesaplanan değerleri spektral ışıma, ışık şiddeti ve parlama indekslerini içeren simülasyon sonuçlarını renkli görüntüler (render), sayısal değerler ve kontur grafikleri olarak verebilmektedir. Python yazılım dili ile hazırlanmış olan Honeybee, bu akışı gerçekleştirebilmek için Radiance alt yazılımını kullanmaktadır (Honeybee, 2021).

4.2. Metot

Konum bazlı iklim ve güneşlenme verileriyle birlikte yapılı çevrede kullanılan malzemeler sabit tutularak, farklı gölgeleme elemanlarının iç mekânda etkin gün ışığı kullanımına etkilerini incelemek için yürütülen çalışmanın akış şeması Şekil 29'da gösterildiği gibidir.

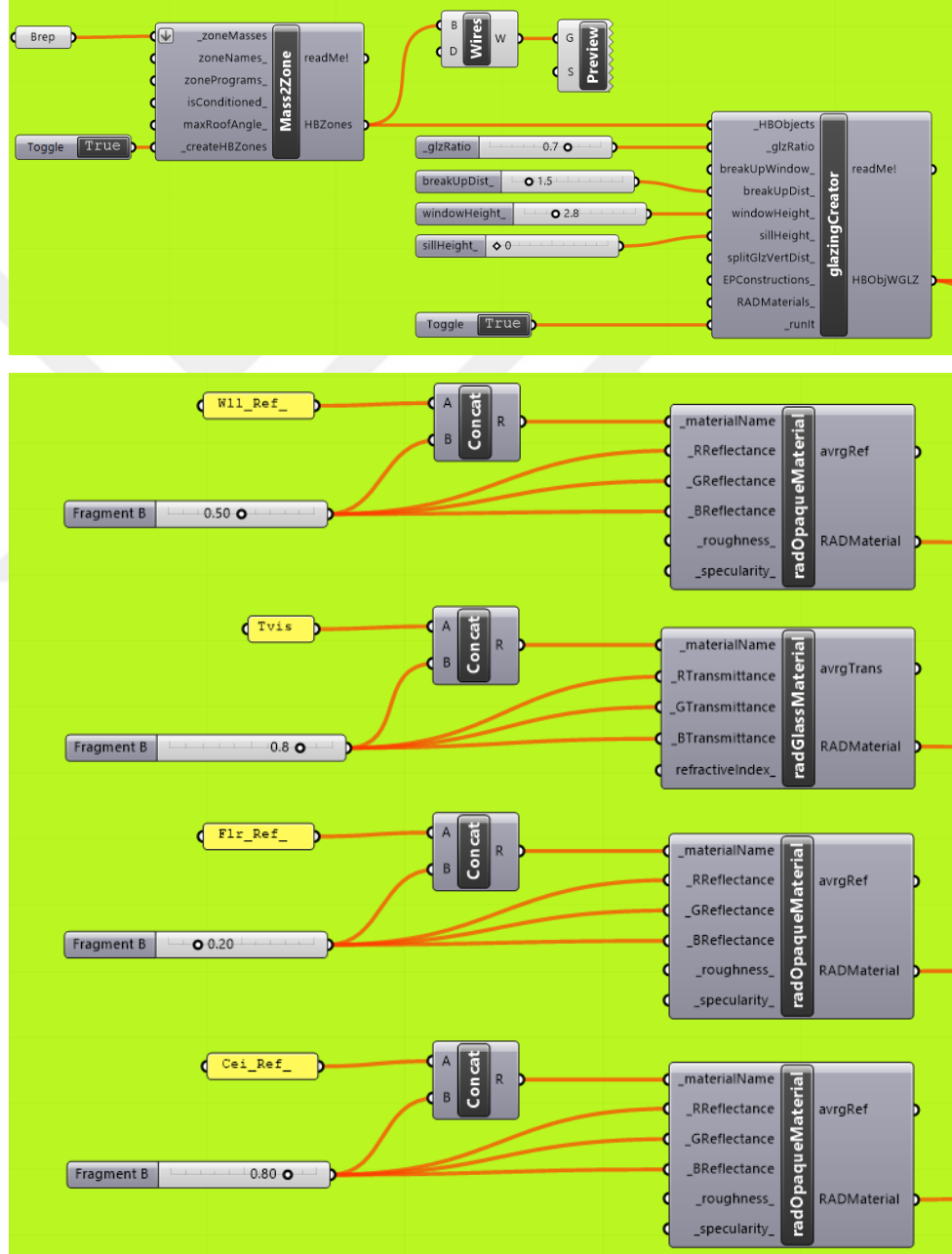


Şekil 29. Simülasyon tabanlı çalışma akış şeması

(Kaynak:Yazar)

Seçilmiş olan örnek ofis katı, mimari kesit ve planları referans alınarak şematik biçimde (kabuk, zemin, tavan ve çekirdekten oluşan basit model) Rhinoceros 7 programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Daha sonra bu model Grasshopper içerisine ana geometri olarak tanıtılmıştır. Tanıtılan geometri ilk olarak dış duvarlar, iç duvarlar, zemin ve tavan olmak üzere 4 alt geometriye ayrılmıştır. Sonrasında dış duvar alt geometrisi üzerinde pencere duvar oranı, pencerelerin yüksekliği ve genişliği bilgileri ile cephe sistemi oluşturulmuştur. Daha sonrasında bu alt geometrilere Honeybee içerisinde yer alan Radiance malzeme kütüphanesinden, materyal başlığı altında özellikleri verilmiş olan malzemeler referans alınarak malzeme parametreleri atanmıştır. Şekil 30'da yer verilmiş olan devre bölümleri, ana geometrinin 'brep' olarak Grasshopper içerisine tanıtılmasını ve alt geometrilerin kırmızı, yeşil ve mavi renk ışığı yansıtıcılık ve kırıcılık bilgilerini içermektedir. Yapının kabuğunu oluşturan giydirme cephenin doğrama ve cam panel

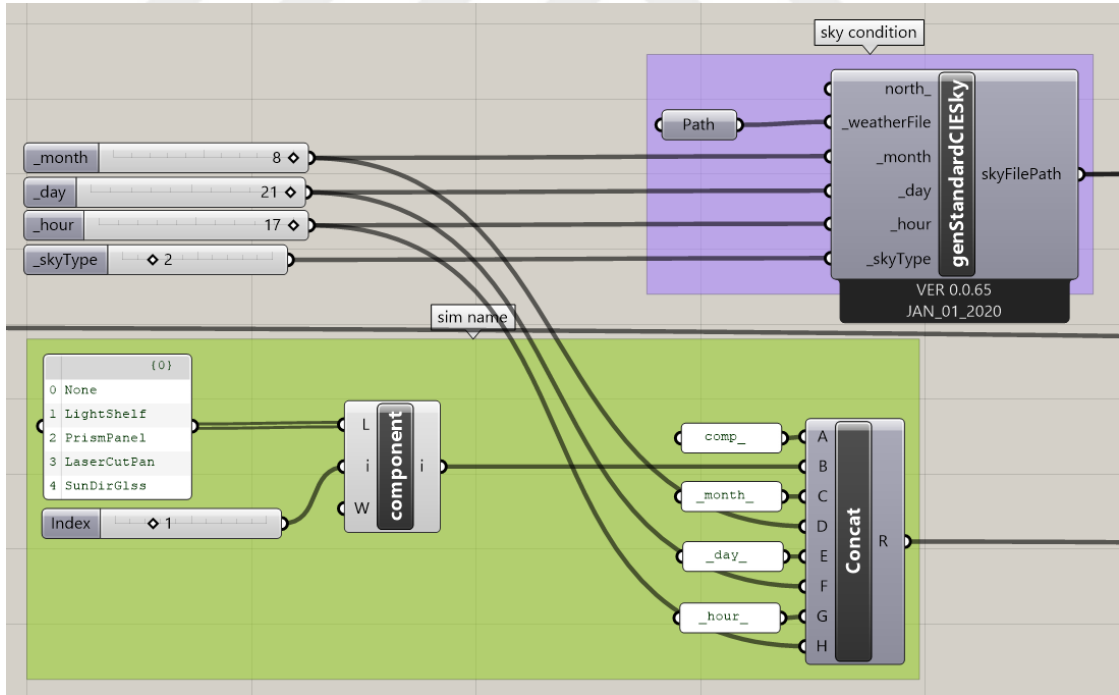
ölçüleri kullanılarak pencere duvar oranı, pencere yüksekliği ve pencerenin zeminden yüksekliği tanımlanarak Grasshopper içerisinde yeniden oluşturulmuştur. Çekirdek duvarı (iç duvar), zemin kaplaması, asma tavan ve cephede kullanılan cam panel elemanlardan meydana gelen alt geometrilere atanmış olan yüzey malzemesi bilgileri, referans mekandaki yüzeylerde kullanılan malzemelerin renk ve doygunluk değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.



Şekil 30. Ana ve alt geometri malzemelerinin parametrik kurgusu

(Kaynak:Yazar)

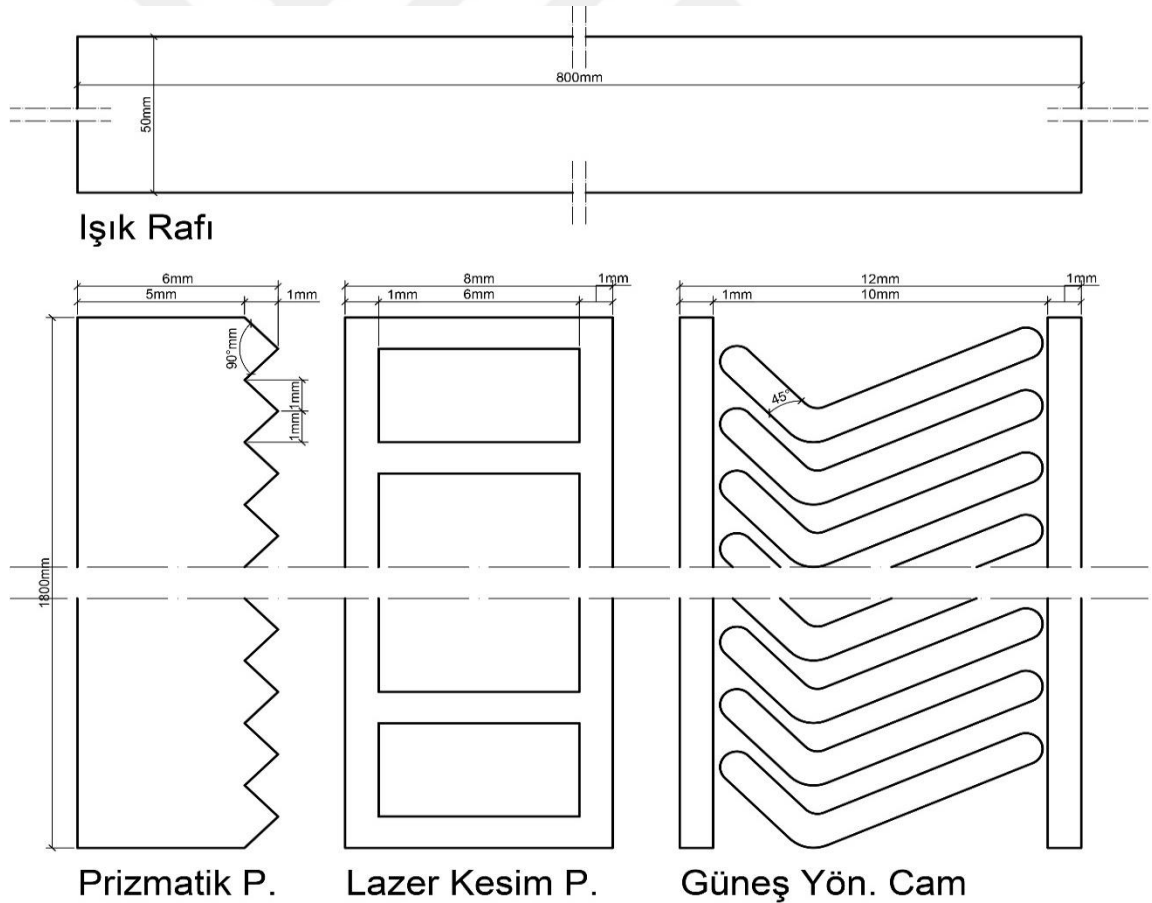
Güneşin dik açılarla uzun süre etki ettiği bu aralık İstanbul için gölgeleme dönemi ya da aşırı ısınma dönemi olarak adlandırılmaktadır. Aşırı ısınma döneminde İstanbul'da gerçekleştirilmiş olan simülasyon ve deney çalışmaları referans alınarak Mayıs'tan Ağustos'a kadar olan zaman dilimi, ölçümlerin yapılacağı aralık olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, İstanbul'un gökyüzü modeli için CIE ortalama (intermediate) ve CIE açık (clear) gökyüzü, aşırı ısınma döneminde güneş ışığı olasılıkları ve açık ve kapalı günlerin yüzdesi dikkate alınarak seçilmiştir. Güneşli ve ortalama gökyüzü koşulları için iç mekân aydınlatma seviyesi ve parlaklık dağılımı değerleri aşırı ısınma probleminin yaşanabileceği Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının 7, 14 ve 21'inci günleri 08:00, 11:00, 14:00 ve 17:00 saatleri için simüle edilmiştir. Mesai saatlerinin 08:00-17:00 arasında olduğu durumda, mesai başlangıcından sonuna kadar geçen sürede güneşin iç mekâna tesirini gözlemleyebilmek adına üçer saatlik aralarla ölçüm saatleri belirlenmiştir. Gökyüzü, tarih ve doğal aydınlatma elemanı değişkenlerinin simülasyona dahil edilme yöntemleri Şekil 31'de gösterilmiştir (Kutlu, Yener, Manav, & Küçükdoğu, 2012).



Şekil 31. Gökyüzü, tarih ve gölgeleme elemanı kombinasyonlarının denklemi

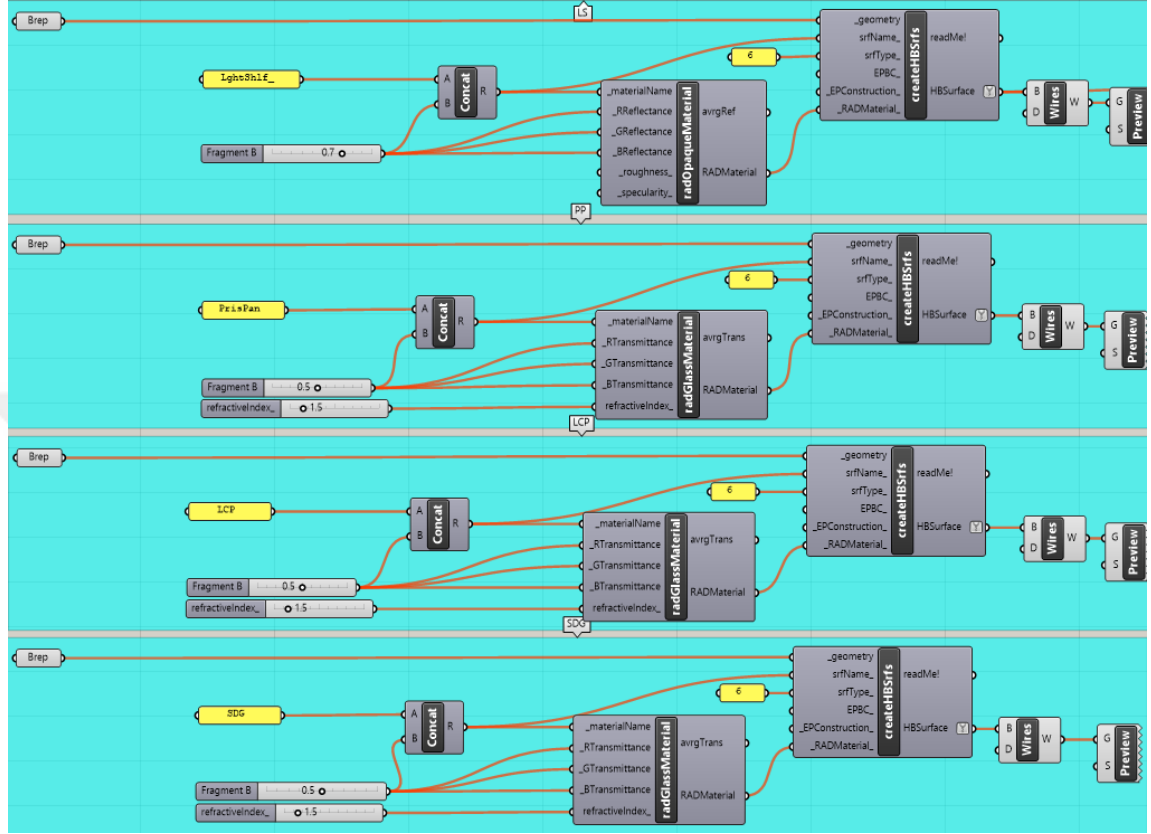
Çalışmada kullanılan doğal aydınlatma elemanlarının seçiminde mevcut bir binaya uygulanabilirliği dikkate alınmıştır. Bu sebeple iklim ve gölgeleme ihtiyaçları da ön

planda tutularak, cephelerde dış mekân ışık rafları, prizmatik paneller, lazer kesim paneller ve güneş yönlendirici cam sistemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Yansıtma katsayısı (R_{vis}) 0,7, genişliği 80 cm ve kalınlığı 5 cm olan dış mekân ışık rafları, yansıtılan ışığın kullanıcıları rahatsız etmeyeceği bir seviyede göz hizasından yukarıda olacak şekilde, zemin seviyesinin 180 cm üzerinde konumlandırılmıştır. Şekil 32’de milimetre cinsinden ölçüleri ile kesitleri gösterilen, geçirgenlik katsayısı (T_{vis}) 0,5 ve kırıcılık açıları sırasıyla 45°, 45° ve 30° olan prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemleri tüm cephe boyunca zeminden 120 cm yukarıdan başlayarak pencere üst hizasına kadar kapatacak şekilde uygulanmışlardır. Referans mekandaki cephelerde, 0,8 yansıtma katsayısı (R_{vis}), 0,05 geçirgenlik katsayısı (T_{vis}) ve 1,6 cm genişliğinde ve 1,2 cm aralıklı 45°’lik yatay panjurlar uygulanmıştır (Ruck, ve diğerleri, 2001). Kullanılan elemanların mekân içinde görünümüne dair görselleştirmeler EK 1’de sunulmaktadır.



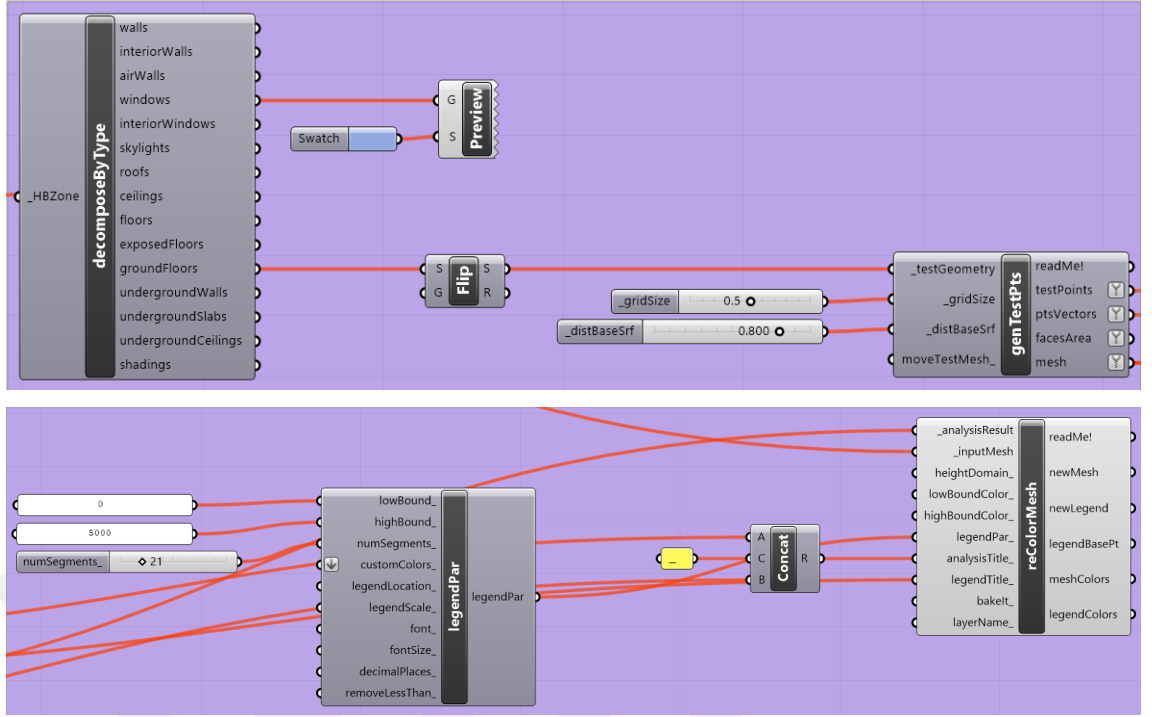
Şekil 32. Işık rafı, prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam profil kesitleri

‘Brep’ olarak Grasshopper içerisinde tanıtılmış olan doğal aydınlatma elemanlarına ilişkin parametrik kurguların verilmiş olduğu Şekil 33’te, bu elemanlara ait yüzey tipi, yansıtıcılık ve kırıcılık bilgileri yer almaktadır.



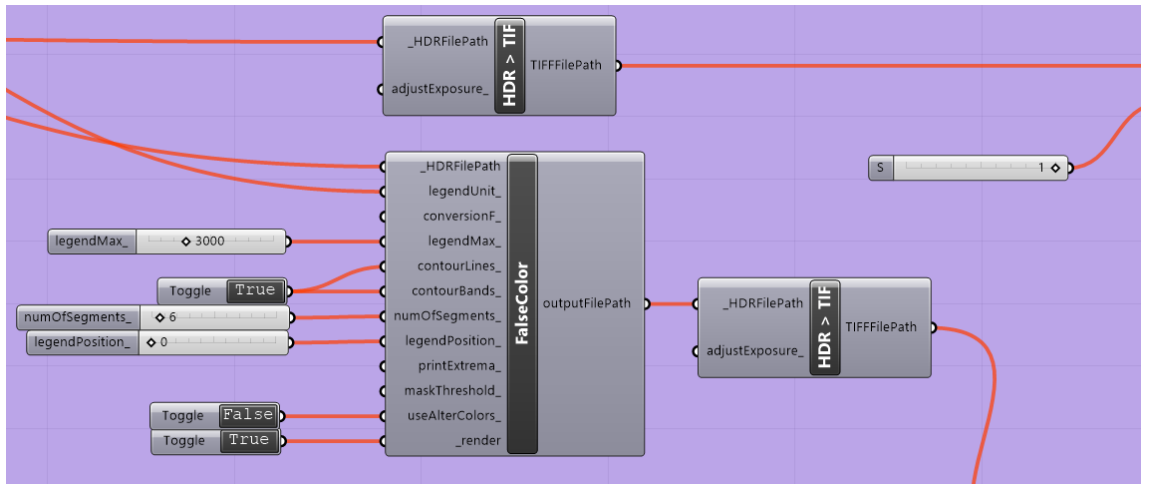
Şekil 33. Gölgeleme elemanları malzeme parametreleri

Aydınlık ve parlaklık değerlerinin ölçümü için hem ızgara tabanlı (grid-based) hem de görüntü tabanlı (image-based) olmak üzere toplam 1920 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Ana geometri oluşturulup, malzemeler atandıktan ve gölgeleme elemanları da denkleme dahil edildikten sonra aydınlatma performansı değerlendirilecek olan ofis mekânında, daha önce yapılmış olan ofis mekanlarında aydınlatma analizi çalışmaları referans alınarak zemin seviyesinden 0,80m yükseklikteki çalışma düzlemi hizasında 50cm aralıklardan oluşan hayali bir ızgara sistemi oluşturulmuştur (Ayoub, 2020), (Roshan & Barau, 2016), (McNeil, Lee, & Johnsson, 2017). Bu ızgara sistem üzerinde yatay ve dikey çizgilerin arasında kalan alanlardaki gün ışığı değerleri hesaplanmıştır. Iızgara sistemini oluşturan parametrik denklem Şekil 34’te verilmiştir.



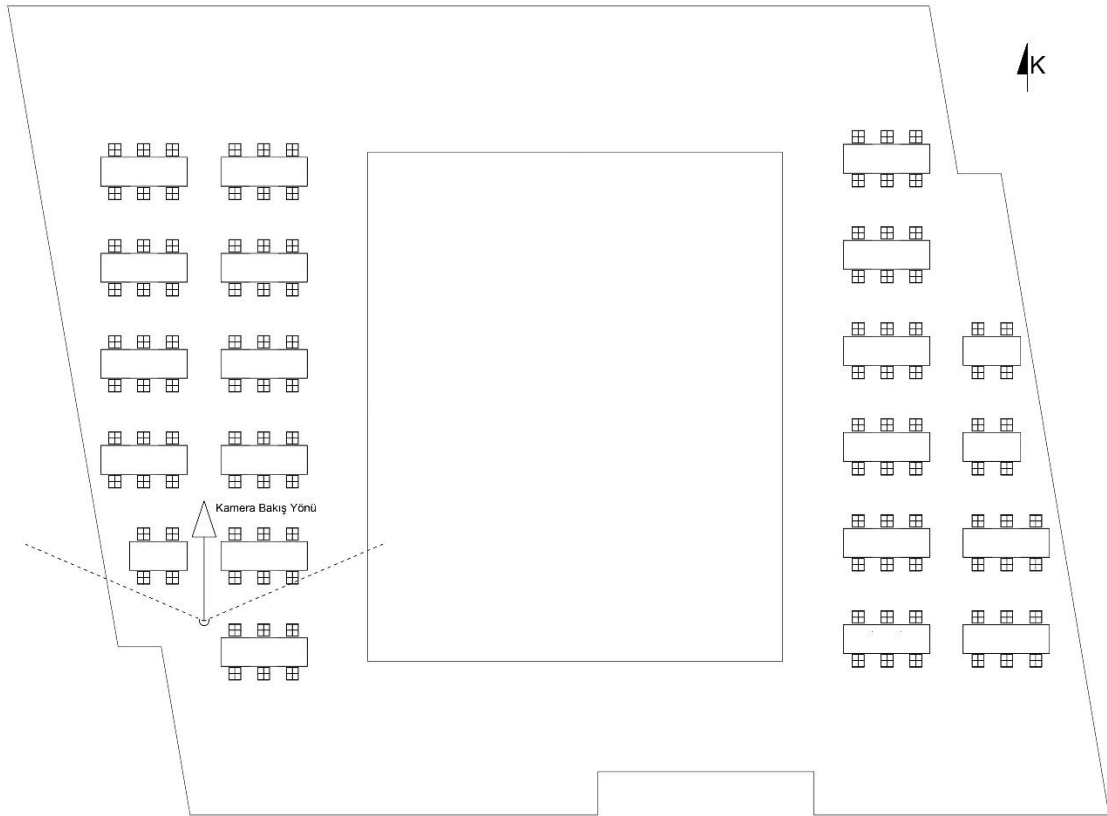
Şekil 34. Izgara sistemi ve lejantının parametrik kurgusu

Mekân içine yerleştirilmiş olan bakış noktasından alınan veri, Grasshopper içerisinde yer alan dönüştürücü elemanlar ile TIF formatlı görüntülere dönüştürülmüştür. Her vakit için ayrı ayrı olmak üzere elde edilen bu görsel veri, daha rahat okunabilmesi ve işlenebilmesi adına ‘False Color’ haritası çıkartılmıştır. Böylece belirli bir aralıkta bulunan aydınlık düzeyi ve parlıltı dağılımı verisinin görüntü üzerinden okunması sağlayan dönüşüm Şekil 35’te verilmiş olan parametrik denklem ile sağlanmıştır.



Şekil 35. Götüntü tabanlı simülasyon ve lejantının parametrik kurgusu

Bu alanda daha önce gerçekleştirilmiş olan görüntü tabanlı simülasyon ve kamera kullanılarak gerçekleştirilen deney çalışmaları referans alınarak, görüntü temelli simülasyonların gerçekleştirilebilmesi adına mekân içine insan göz seviyesi hizasında (160cm) hayali bir kamera yerleştirilmiştir (Amundadottir, Rockcastle, Khanie, & Andersen, 2017), (Parsaee, ve diğerleri, 2020), . Kamera açık ofis alanının batı kısmının tamamını güneyinden kuzeyine doğru görebilecek şekilde, iç mekânın güney batı kısmına yerleştirilmiştir. Batı cephesinde bulunan mekanlarda gölgeleme ihtiyacının diğer cephelerle kıyasla daha fazla olmasından dolayı görüntü temelli simülasyonlar bu kısımda gerçekleştirilmiştir (Lee, Cho, & Jo, 2021), (Do & Chan, 2020), (Yao, 2020). Böylece direkt güneş ışınlarına maruz kalmadan yalnızca gökyüzü ışığı ile iç mekân aydınlanması ve hem gökyüzü ışığı hem de güneş ışığının varlığı ile iç mekân aydınlanmasının değerlendirilmesine imkân sağlanmıştır. Şekil 36’da plan düzleminde kameranın konumu ve bakış yönü gösterilmiştir.



Şekil 36. Kamera bakış açısı ve konumu

İç mekandaki etkin gün ışığı kullanımına farklı gölgeleme elemanlarının etkisinin değerlendirilmesi adına aydınlık seviyesi değerlerinin bulunduğu görüntü ve ızgara tabanlı simülasyon çıktıları karşılaştırılmıştır.

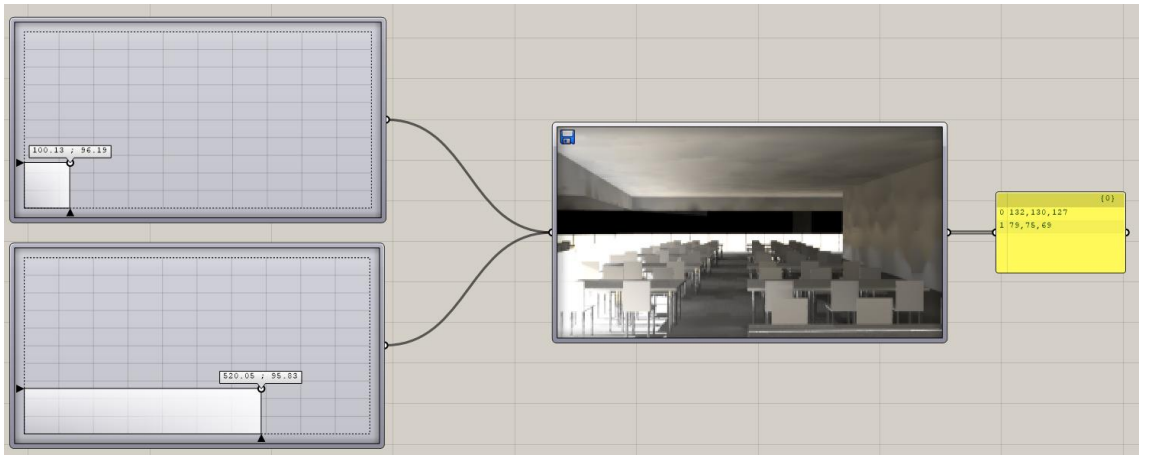
Parlaklık dağılımı için elde edilen görüntü tabanlı simülasyon verileri, 2019 yılında aynı alanda gerçekleştirilen bir çalışmada belirtilen yöntemler kullanılarak fotopik ve melanopik değerlerin oranı çalışma düzlemi seviyesinde insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine uygunluğu incelenmiştir (Jung & Inanici, 2019). Bu yöntemle öncelikle oluşturulan görüntü tabanlı simülasyon çıktıları üzerinde referans noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar aynı hizada bulunan biri cepheye yakın diğeri uzak iki çalışma yüzeyinin orta noktaları olarak belirlenmiştir. Sonrasında belirlenen bu noktaların Şekil 37’de gösterildiği gibi RGB (Red, Green, Blue) değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerlerle birlikte RGB'den XYZ'ye dönüşüm matrisleri, doğrusal dönüşüm teknikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Radiance RGB dönüşümü: } \begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.5142 & 0.3239 & 0.1620 \\ 0.2651 & 0.6701 & 0.0648 \\ 0.021 & 0.1228 & 0.8530 \end{bmatrix} \times \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix}$$

179'luk standart ışık efekti kullanılarak piksel parlaklığı değerleri, aşağıdaki Radiance tabanlı görüntü denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Y_{RadRGB} = 179 \times (0,2651 \times R + 0,6701 \times G + 0,0648 \times B)$$

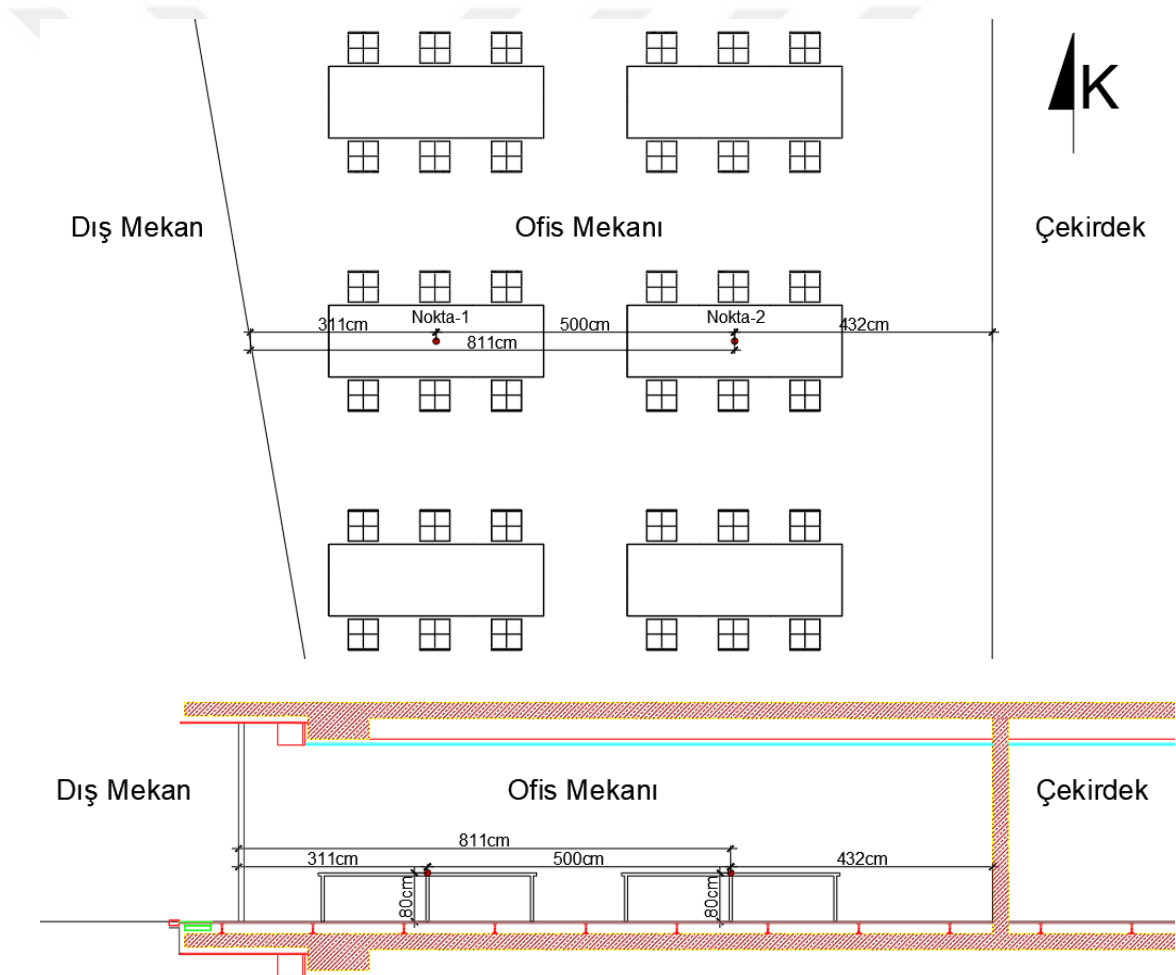
Burada elde edilen X ve Y değerleri sırasıyla iç mekandaki melanopik ve fotopik parlaklık seviyelerini cd/m² cinsinden temsil etmektedir.



Şekil 37. Radiance çıktısı görüntü üzerinden RGB değeri hesaplama yöntemi

Elde edilen CIE X ve Y değerleri CIE 1931 (CIE, 1932) renk koordinat sistemi kullanılarak, çalışma yüzeyleri üzerinde belirlenmiş olan noktaların renk sıcaklık değerleri Kelvin cinsinden hesaplanmıştır. Böylece iç mekandaki etkin gün ışığı kullanımının, insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine uygunluğunu değerlendirmek üzere tüm gerekli veri sağlanmıştır.

EK 1’de detaylı şekilde sunulmuş olan bu sayısal veri melanopk/fotopik (M/P) oranı kullanılarak, simülasyon gerçekleştirilen her gün ve saat için Şekil 38’de plan ve kesit düzleminde mekan içindeki matematiksel konumu gösterilen Nokta-1 ve Nokta-2 üzerindeki parıltı dağılımı ve renk sıcaklığının insan merkezli aydınlatma kriterlerine göre değerlendirilmesi sağlamıştır.



Şekil 38. M/P oranı ölçülen noktaların konumları

(Kaynak: Yazar)

5. BULGULAR

Bu çalışma cephelerde kullanılan dört farklı gölgeleme elemanının, derin ofis mekanlarındaki insan merkezli doğal aydınlatma ve etkin gün ışığı kullanımı üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Yöntem kısmında açıklanan iş akışı ile elde edilen bulgular, ofis mekanlarında aydınlatma uluslararası standartları ve insan merkezli aydınlatma tasarım parametreleri çerçevesinde karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Aydınlik seviyesine dair bulgular simüle edilen tarih ve saatlerine göre alt başlıklarda irdelenmektedir. İnsan merkezli aydınlatma tasarımı değerlendirmesi ise bütüncül bir yaklaşım ile ölçüm yapılan tüm gün ve saatlerin M/P oranları tek bir tabloda karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Bu doğrultuda ilk olarak iç mekân aydınlık seviyeleri, sonrasında melanopik ve fotopik oranları değerlendirmeye alınmaktadır. Bulguların karşılaştırmalı olarak incelenmesi ile ofis mekanları için tercih edilebilecek gölgeleme elemanlarının performanslarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

5.1. Aydınlik Seviyesi Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu alt başlık altında belirli tarih ve saatler için elde edilmiş olan aydınlık seviyesi ızgara ve görüntü tabanlı verisi karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Böylece aşırı ısınma dönemi boyunca ve günün farklı saatlerinde gölgeleme elemanlarının değişen koşullar altındaki performansı karşılaştırmalı olarak test edilmektedir. Karşılaştırma için belirlenen tarih ve saatler her ayın karakteristik gününü yansıtmaları açısından 14. gün ve doğu batı ekseninde yer alan derin ofis alanlarının güneşe en fazla maruz kaldığı saatler olan 08:00 ve 17:00 olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra gündüz gün dönümü olan 21 Haziran tarihinde gerçekleştirilen tüm simülasyon verisi her saat için karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

5.1.1. 14 Mayıs 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 7’de karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Haziran saat 08:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarındaki aydınlık seviyelerinde 100-200 lüks aralığında artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme

elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 500 lüks'e kadar daha iyi performans göstermişlerdir. Bu durum referans mekanda tam tersi şekilde meydana gelmiştir.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı ışığın homojen olarak çekirdek duvarına kadar iletimini sağlayabilen tek gölgeleme elemanı olmuştur. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemler, ışığı cepheden 2-3 metre kadar içeri ideal aydınlatma düzeyinin üzerinde kalacak şekilde 500-750 lüks aralığında taşımışlardır. Prizmatik panel bulunan senaryoda ise cepheden 3-4 metrelik mesafe boyunca 2000 lüks üzeri aydınlık düzeyi ölçülmüşken sonrasında bu değerler dramatik olarak düşerek 0-250 lüks seviyesine gerilediği gözlemlenmiştir.

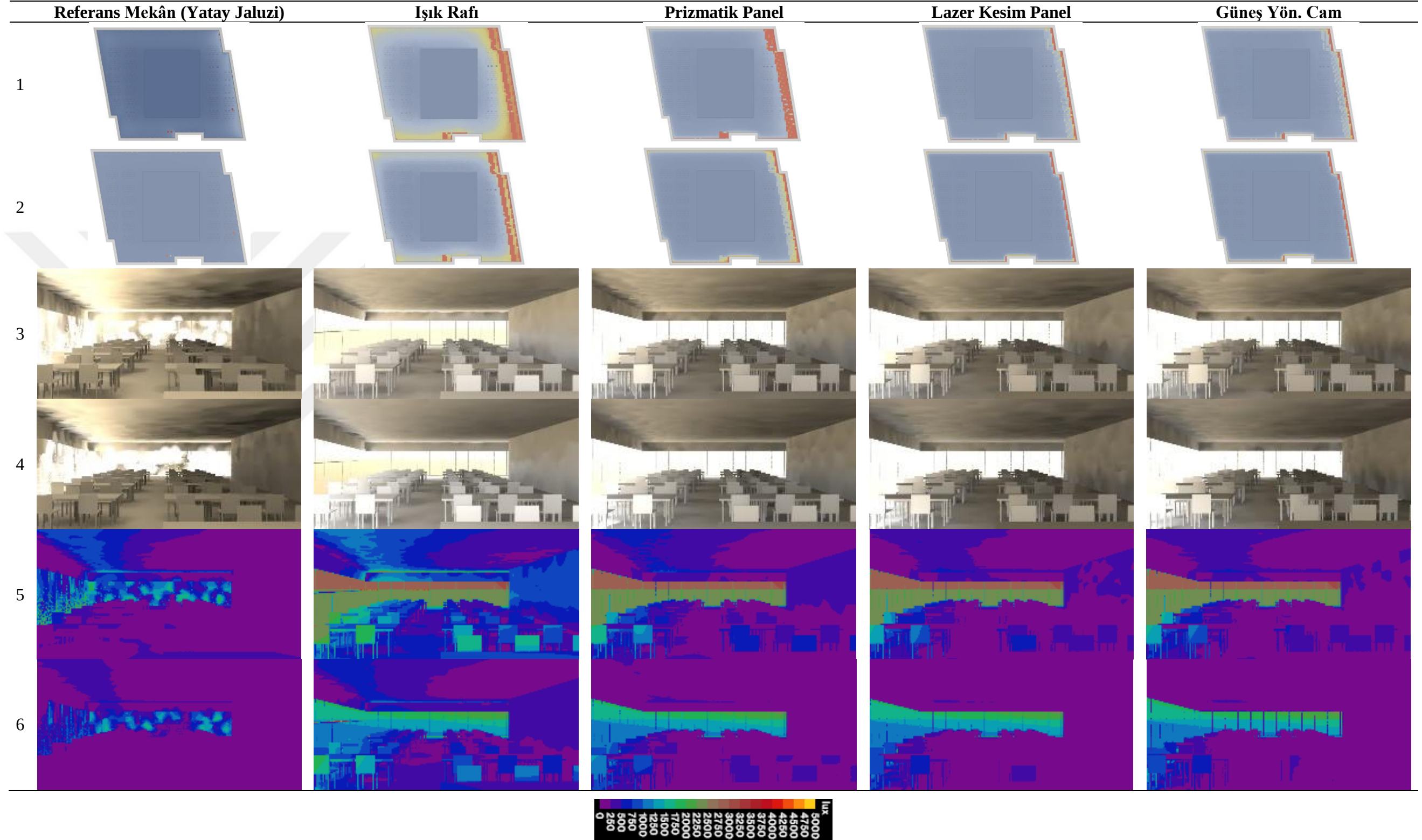
Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan senaryolarda cepheden itibaren başarılı bir gölgeleme performansı sergilenmiştir. Cepheden 4 metre uzaklığa kadar gölgeleme sağlayamasa da prizmatik paneller bu noktadan çekirdek duvarına kadar etkili bir gölgeleme performansı sergilemiştir. Işık rafı bulunan senaryoda, iç mekanın orta kısımlarında bulunan çalışma düzlemlerinde 1000 lükse ulaşan aydınlık düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı ve prizmatik panel bulunan senaryolarda benzer aydınlık düzeyi değerleri kaydedilmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam bulunan senaryolarda mekanın hiçbir noktasındaki çalışma düzleminde yeterli aydınlık düzeyine ulaşamamıştır ve bu düzeyler 0-250 lüks aralığında seyretmiştir.

Ortalama gökyüzü koşullarında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam benzer gölgeleme performansı göstermişlerdir. İki gölgeleme elemanı da cepheden itibaren aydınlık düzeyinin 750 lüksün üzerine çıkmasını önlemeyi başarmıştır. Işık rafı ve prizmatik panel bulunan senaryoda ise cepheden 4-5 metre uzaklığa kadarki alanda bulunan çalışma düzlemlerinde 1000-2000 lüks aralığında aydınlık düzeyi ölçümleri kaydedilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemlerinin açık gökyüzü altında iç mekan aydınlık düzeyine etkilerinin ideale daha yakın sonuçlar verdiği kaydedilmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camlar ortalama gökyüzü koşullarına göre açık gökyüzü altında ışığı 2-3 metre kadar daha derine iletebilmişlerdir. Işık rafları açık gökyüzü bulunan senaryoda ortalama gökyüzüne göre mekanın cepheye yakın kısımlarında bulunan çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyinin 2000 lüksün üzerine çıkmasını engelleyemediği saptanmıştır. Prizmatik panel sistem ise ortalama gökyüzü simüle edilen senaryoda daha başarılı performans sergilemiştir ve açık gökyüzü koşulları altında 2000 lükse kadar ulaşan cephe kenarı çalışma düzeyinde 750-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyi sağlayabilmiştir.

Tablo 7. 14 Mayıs 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Ortalama gökyüzü koşullar

5.1.2. 14 Mayıs 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 8’de karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Haziran saat 17:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 1250 lüks, ortalama gökyüzü altında 500 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı ve prizmatik panel, ışığı mekan içinde daha derinlere taşımış olmalarına rağmen ışığın kontrolünü sağlayamamış, cephe kenarı ve orta kısım çalışma düzlemlerinde 750 lüks üzerinde aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan simülasyonlarda mekanın derin kısımlarında bulunan çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri 0-250 lüks aralığında kalmışken cepheye yakın kısımlarda 1000-1250, orta kısımlarda ise 500-750 lüks aralığında ölçülmüştür. Çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyi ışık rafı için 750-1750, prizmatik panel için 250-750, lazer kesim panel için 250-500 ve güneş yönlendirici cam için 0-500 aralığında ölçülmüştür. Yatay jaluzilerin kullanıldığı referans durumda ise orta ve derin kısımda bulunan çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri 0-250 lüks, cepheye yakın kısımdakilerde 250-750 lüks; çekirdek duvarı üzerinde ise 250-500 lüks aralığında ölçülmüştür.

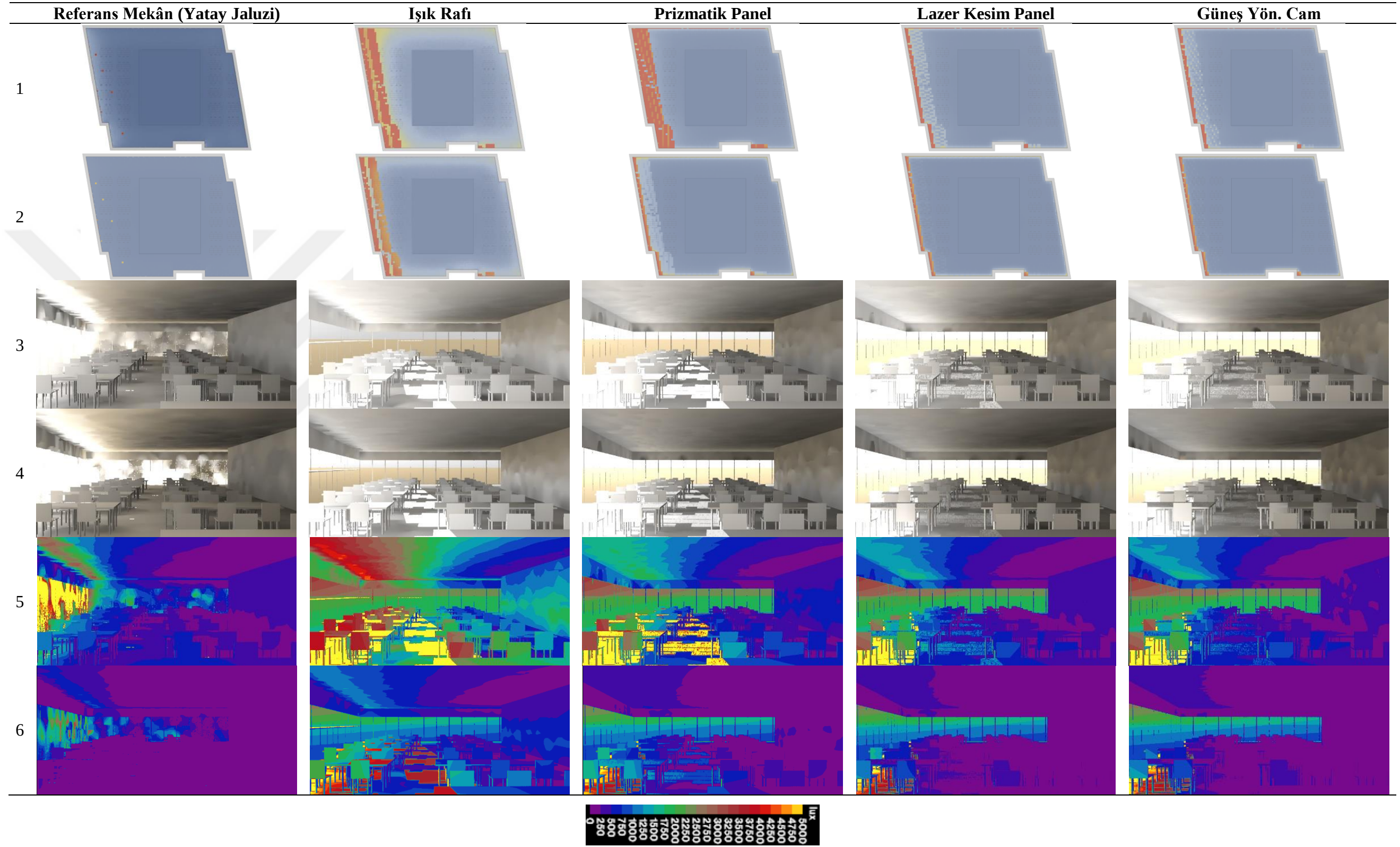
Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafı ve prizmatik panel bulunan senaryolarda cephe kenarı çalışma düzlemlerine direkt güneş ışığının düştüğü görülmüştür. Bu sebeple bu düzlemlerde aydınlık düzeyleri 5000 lüks’e kadar çıkmıştır. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam istenen gölgelemeyi sağlayamamış olsa da çalışma düzlemi seviyesinde direkt güneş ışınlarının etkili olmasını önlemişlerdir. Bu iki sistemin irdelendiği durumlarda cepheye yakın çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri 750-1500 lüks aralığında seyrederken, çekirdeğe yakın çalışma düzlemlerinde bu aralık 0-500 lüks olarak kayda geçmiştir.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı diğer üç gölgeleme elemanından da yatay jaluzilerden de çok daha başarılı bir performans göstermiştir ve bu ışık rafı bulunan senaryoda derin kısımdaki çalışma düzlemlerinde ve çekirdek duvarı üzerinde aydınlık düzeyi 250-500 lüks aralığında ölçülmüştür. Buna karşılık olarak diğer üç gölgeleme elemanının bulunduğu durumlarda bu yüzeylerde ölçülen aydınlık düzeyi 250 lüksün üzerine çıkamamıştır. Cephe kısmında bulunan çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri prizmatik panel kullanılan senaryoda 750 lükse kadar çıkabilmişken lazer kesim ve güneş yönlendirici cam bulunan durumlarda 250 lüks değerini geçememiştir.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam cepheden odanın en derinine kadar gölgeleyebilmiş olmaları mekan genelinde arzu edilen aydınlık düzeyinin altında değerler ölçülmesine sebebiyet vermiştir. Işık rafı dışında kalan gölgeleme elemanlarının simüle edildiği senaryolarda cepheden 1-2 metrelik kısma kadar olan zeminde çok yüksek aydınlık ölçülmüş olsa da bu değerler çalışma düzlemlerine etki etmemiştir. Işık rafları cepheye yakın bölümleri gölgeleyemediğinden burada bulunan çalışma düzlemlerinde 3500 lükse kadar çıkan değerler ölçülmüştür.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında ışık rafı ve prizmatik panel, ortalama gökyüzü koşulları altında ise lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 8. 14 Mayıs 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Ortalama gökyüzü koşulları

5.1.3. 14 Haziran 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 9’da karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Haziran saat 08:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarındaki aydınlık seviyelerinde en az 100 lüks artış gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 50-250 lüks aralığında daha iyi performans göstermişlerdir. Bu durum referans mekanda tam tersi biçimde gözlemlenmiştir.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı gözle görülür bir farkla en başarılı performansı göstermiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemler, ışığı cepheden 2-3 metre kadar içeri ideal aydınlatma düzeyinin üzerinde kalacak şekilde 500-750 lüks aralığında taşımışlardır. Prizmatik panel bulunan senaryoda ise cepheden 3-4 metrelik mesafe boyunca 1000 lüks üzeri aydınlık düzeyi ölçülmüşken sonrasında bu değerler dramatik olarak düşerek 0-250 lüks seviyesine gerilediği gözlemlenmiştir.

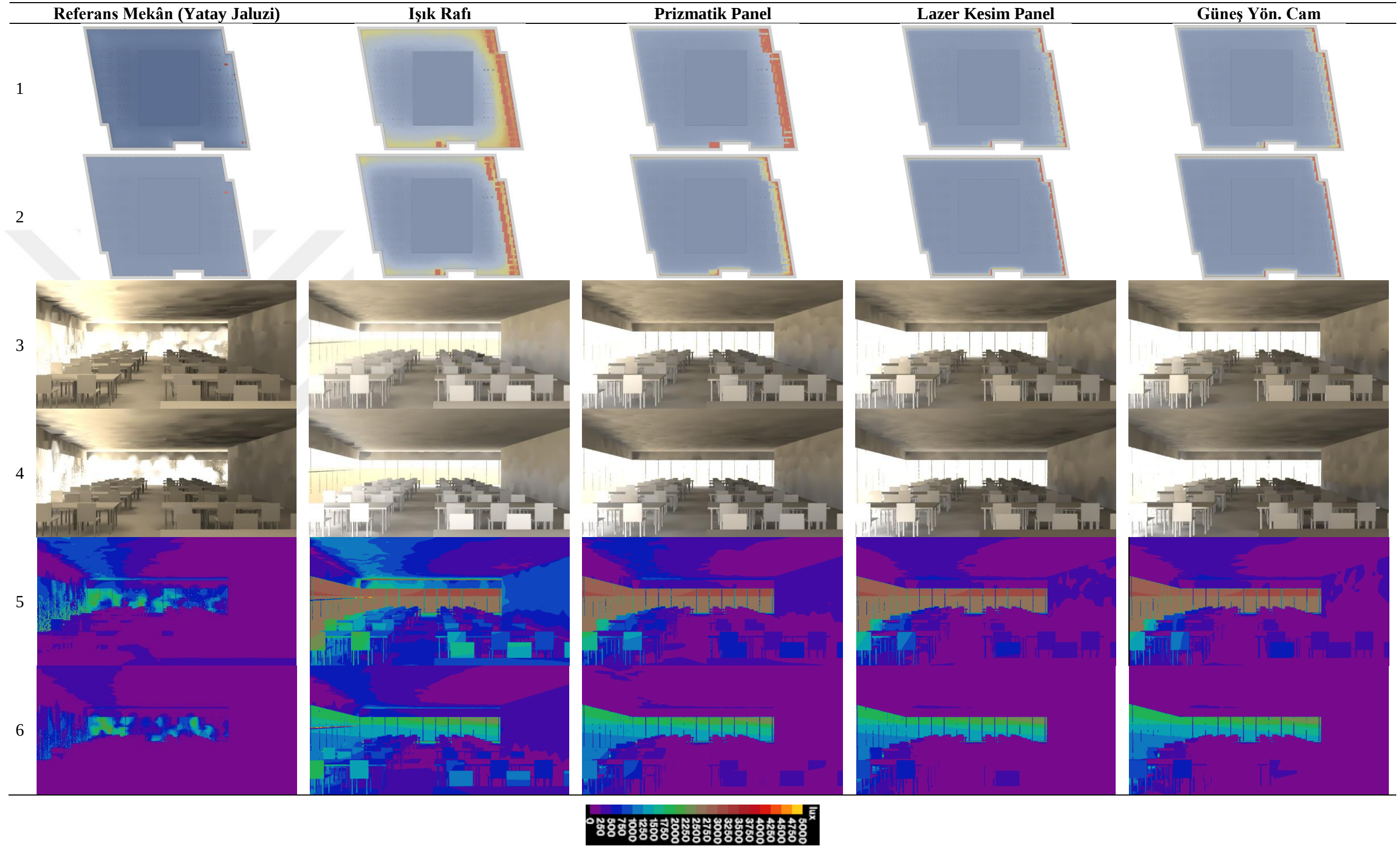
Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemler en iyi sonuçları vermişlerdir. Cepheden 4 metre uzaklığa kadar gölgeleme sağlayamasa da prizmatik paneller bu noktadan çekirdek duvarına kadar etkili bir gölgeleme performansı sergilemiştir. Işık rafı bulunan senaryodaki iç mekanın orta kısımlarına kadar güneş ışınlarının direkt nüfuz edebildiği kaydedilmiştir.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı ve prizmatik panel bulunan senaryolarda benzer aydınlık düzeyi değerleri kaydedilmiş olsa da ışık rafı ışığın homojen dağıtımı noktasında daha başarılı sonuçlar vermiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam bulunan senaryolarda mekanın hiçbir noktasındaki çalışma düzleminde yeterli aydınlık düzeyine ulaşamamıştır ve 0-250 lüks aralığında kalmıştır.

Ortalama gökyüzü koşullarında ışık rafı dışında diğer gölgeleme elemanları benzer gölgeleme performansı göstermişlerdir. Üç gölgeleme elemanı da cepheden belirli bir mesafeye kadar (0-3 metre) olan bölümdeki çalışma düzlemlerinde yeterli gölgelemeyi sağlayamadıkları da tespit edilmiştir. Bu bölümlerdeki aydınlık düzeyleri 500 lüks üzerinde kaydedilmiştir. Işık rafları bulunan senaryoda ise cepheden 5 metre uzaklığa kadarki alanda bulunan çalışma düzlemlerinde 1000 lüks üzerinde aydınlık düzeyi ölçümleri kaydedilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında ışık rafı, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemlerinin açık gökyüzü altında iç mekan aydınlık düzeyine etkilerinin ideale daha yakın sonuçlar verdiği kaydedilmiştir. Işık rafları açık gökyüzü bulunan senaryoda ortalama gökyüzüne göre mekanın derin kısımlarında 200 lüks'e kadar aydınlık düzeyini artırmıştır. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camlar ise ortalama gökyüzü koşullarına göre açık gökyüzü altında ışığı 2-3 metre kadar daha derine iletebilmişlerdir. Prizmatik panel sistem ise ortalama gökyüzü simüle edilen senaryoda daha başarılı performans sergilemiştir ve açık gökyüzü koşulları altında 2000 lükse kadar ulaşan cephe kenarı çalışma düzeyinde 750-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyi sağlayabilmiştir.

Tablo 9. 14 Haziran 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Ortalama gökyüzü koşulları

5.1.4. 14 Haziran 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 10'da karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Haziran saat 17:00'de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 2000 lüks, ortalama gökyüzü altında 1000 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı ve prizmatik panel en fazla etkiyi gösteren gölgeleme elemanları olmuştur. Izgara tabanlı simülasyon verisi göz önünde bulundurulduğunda prizmatik panel ve ışık rafı kullanılan senaryolarda cepheden 3-4 metre derinliğe kadar olan kısımda çok yüksek aydınlık düzeyleri ölçülmüştür fakat bu noktadan sonrasında ışığın iletimi noktasında ışık rafı daha iyi performans göstermiştir. Prizmatik panel bulunan durumda bu seviyeden sonra aydınlık düzeyi sert bir biçimde 3000 lüks kadar düşüşe uğrarken, ışık rafı kullanılan durumda bu düşüş daha homojen bir şekilde sağlanmıştır. Yine ızgara tabanlı simülasyon verisinden çıkarılacağı üzere lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam cephe kenarında çok yüksek aydınlık oluşmasını önlemiş ve 3-4 metre derinliğe kadar ışığı taşıyabilmiş olmasına rağmen bu noktadan sonrasında yeterli miktarda ışığın iletimini başaramamıştır. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan simülasyonlarda mekanın derin kısımlarında bulunan çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri 0-250 lüks aralığında kalmışken cepheye yakın kısımlarda 500-1000, orta kısımlarda ise 250-500 lüks aralığında ölçülmüştür. Buna karşın ışık rafı ve prizmatik panel için derin, orta ve cephe kenarı çalışma düzlemleri için aydınlık düzeyleri sırasıyla 500-1000, 1500-2000, 5000; 0-500, 250-500, 5000 olarak ölçülmüştür. Çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyi ışık rafı için 1000-1500, prizmatik panel için 250-750, lazer kesim panel için 0-500 ve güneş yönlendirici cam için 0-500 aralığında ölçülmüştür. Yatay jaluzilerin kullanıldığı referans durumda ise orta ve derin kısımda bulunan çalışma düzlemlerindeki

aydınlık düzeyleri 0-250 lüks, cepheye yakın kısımdakilerde 250-750 lüks; çekirdek duvarı üzerinde ise 250-500 lüks aralığında ölçülmüştür.

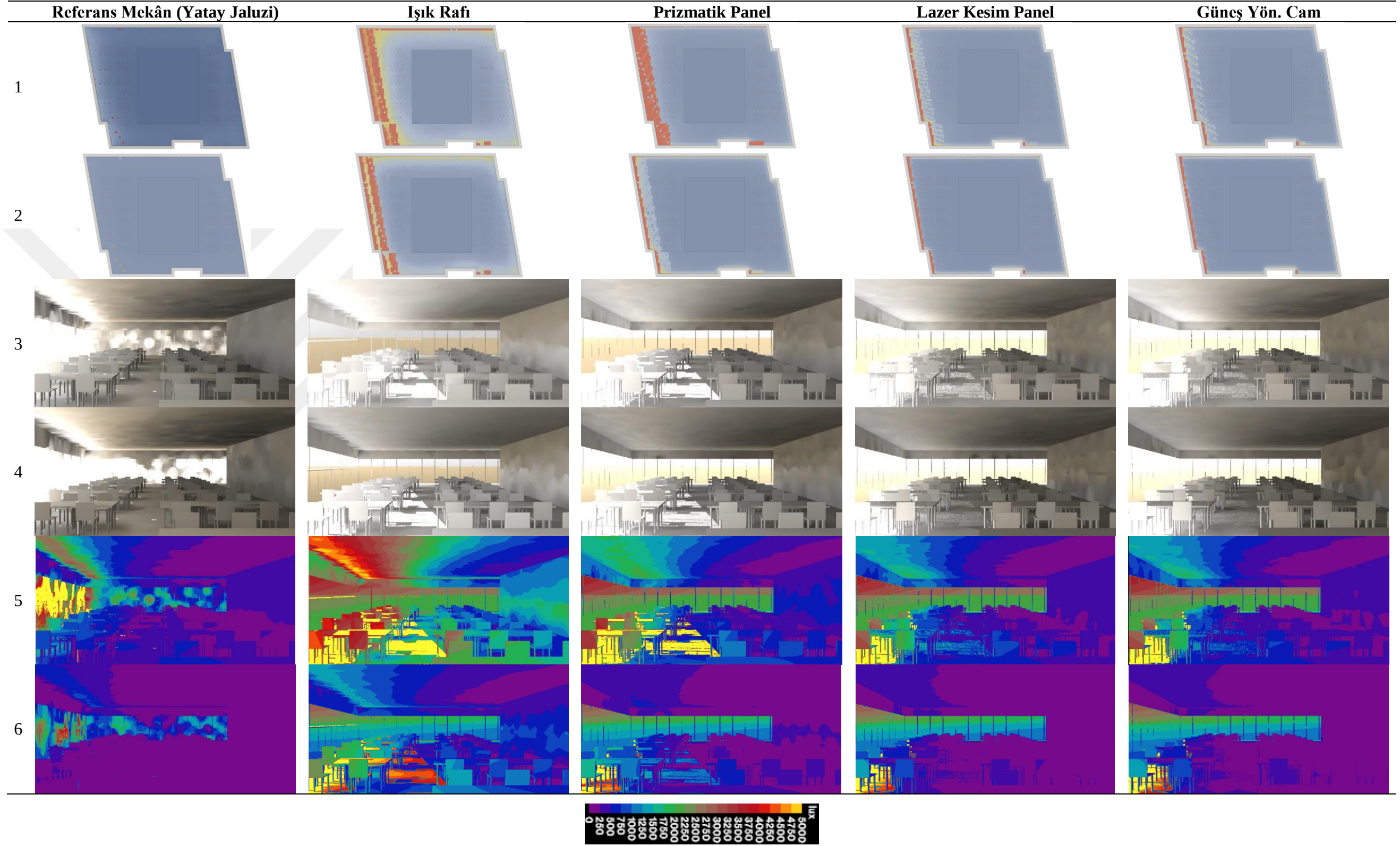
Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam bulunan senaryolarda ışığın iç mekanın orta kısımlarına kadar kontrollü bir şekilde alındığı görülmüştür ve parıltıya sebebiyet verecek yüksek aydınlık düzeylerine rastlanmamıştır. Işık rafı ve prizmatik panel kullanılan simülasyon çalışmalarında güneş ışığının mekanın orta kısımlarına kadar (cepheden 4-6 metre) direkt olarak etki ettiği görülmüştür. Işık rafı cephe kenarında bulunan çalışma düzlemi üzerinde kısıtlı bir gölgeleme sağlamış olsa da tüm düzlem için yeterli olmamıştır.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda prizmatik panel elemanının ışığı daha kontrollü şekilde iç mekana aldığı görülmüştür. Prizmatik paneller derin çalışma düzlemlerinde yeterli aydınlatmayı sağlayamamış (0-250 lüks) olsa da diğer gölgeleme elemanları ile karşılaştırdığında cepheden başlayarak çekirdek duvarına kadar en homojen ışık dağılımını gerçekleştirmiştir. Işık rafı, prizmatik panel, lazer kesim panel, güneş yönlendirici cam için cephe kenarı, orta ve derin kısımlardaki çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri sırasıyla 2000-5000, 250-750, 250-500; 1000-1500, 0-500, 0-250; 0-500, 0-250, 0-250; 0-500, 0-250, 0-250 aralığında ölçülmüştür.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafının cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde kısmi bir gölgeleme sağlasa da tüm mekanın gölgelenmesinde yetersiz kaldığı, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın ışığın iç mekana iletimini tamamen kesitiği, prizmatik panelin ise cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde ideale en yakın gölgelemeyi sağladığı tespit edilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı ve prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 10. 14 Haziran 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.5. 14 Temmuz 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 11’de karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Temmuz saat 08:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 1000 lüks, ortalama gökyüzü altında 250 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1250 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı iç mekanın en dip noktalarına hatta çekirdek duvarının ötesine kadar ışığın iletimini sağlamıştır. Buna karşın cepheden başlayarak orta kısımlara kadar olan çalışma düzlemlerinde çok yüksek aydınlık düzeylerinin oluşmasına sebebiyet vermiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam ışığı derine taşıyamamış olsa da cepheden odanın üçte birlik kısmına kadarki alanda bulunan çalışma düzlemlerinde homojen dağılım sağladığı kaydedilmiştir. Prizmatik panel ise hem gün ışığını orta bölümden ileriye taşıyamamış hem de cephe önünde homojen bir dağılım sağlayamamıştır.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın benzer sonuçlar vermiş olduğu ve cepheden itibaren 2-3 metre derinliğe kadar kademeli olarak 2000 lüksten 500 lükse azalan bu noktadan itibaren sabit aydınlık düzeyi sağladığı gözlemlenmiştir. Prizmatik panel cepheden itibaren ilk 2-3 metrelik alandaki çalışma düzlemlerine direkt güneş ışığının düşmesini engelleyememiş olsa da bu hizada sonrasında aydınlık düzeylerinin dramatik olarak azaldığı saptamıştır. Işık rafı da prizmatik panele benzer bir çalışma performansı göstermiştir fakat buna ek olarak aydınlık düzeyinde sert bir düşüş yerine çekirdek duvarına kadar kademeli olarak azalma görülmüştür.

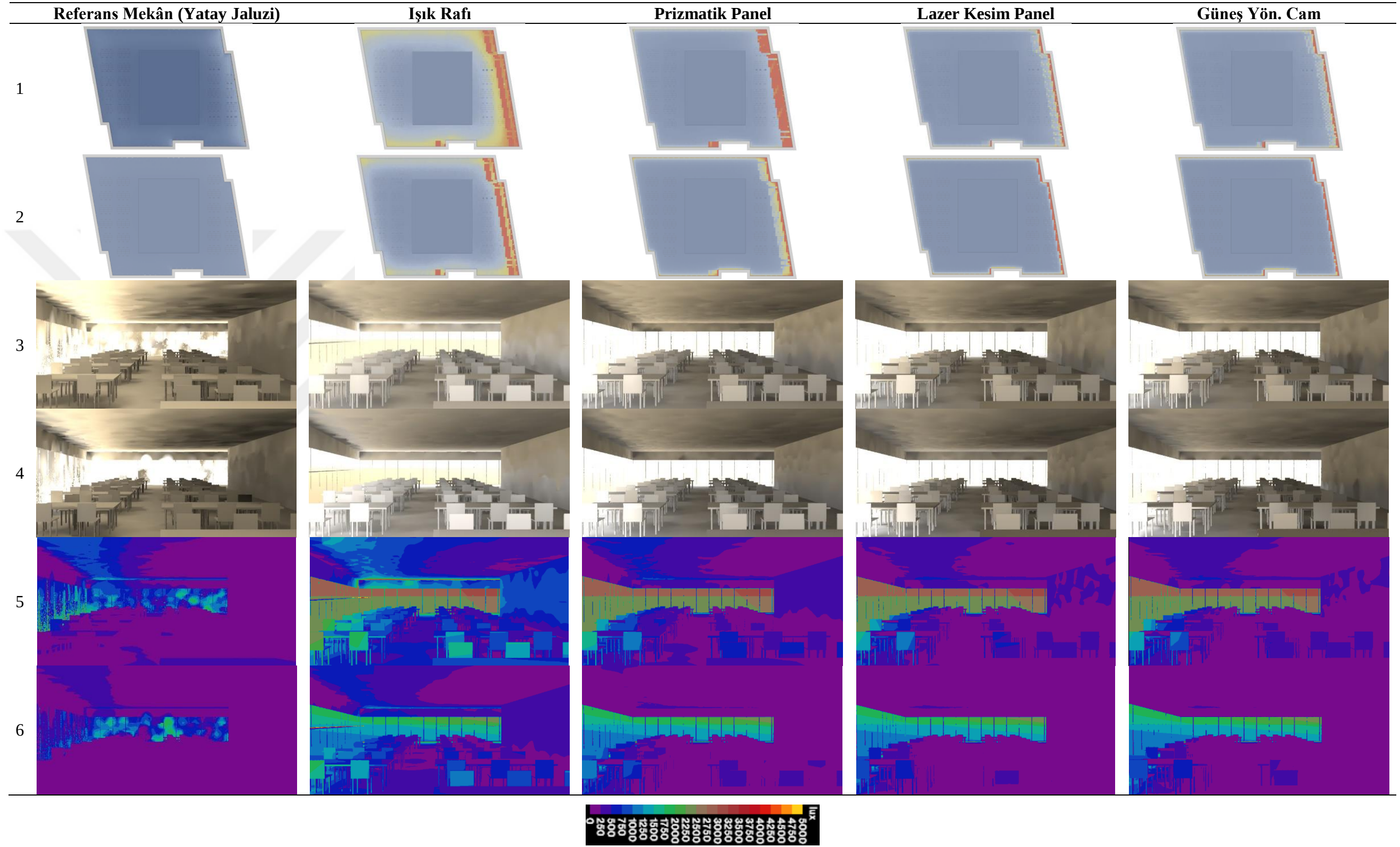
Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam benzer sonuçlar vermiş ve iç mekanın tümünde tüm çalışma

düzlemlerinde ölçülen aydınlık düzeyi 0-250 lüks aralığında kalmıştır. Prizmatik panellerde de cepheden 2-3 metre derinlikte bulunan çalışma düzeylerine kadar 2000 lüksü bulan aydınlık seviyeleri dışında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Işık rafı cephe kenarında açık gökyüzü altında vermiş olduğu sonuçlara yakın bir veri sunmuştur fakat ortalama gökyüzü altında ışığın derindeki çalışma düzlemlerine iletimi ve homojen dağıtımını noktasında zayıf kalmış ve bu bölümdeki aydınlık düzeyleri 0-250 lüks aralığında kalmıştır.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam benzer sonuçlar vermiş ve iç mekanın tümünde eşit gölgeleme sağlamışlardır. Prizmatik panel bulunan senaryoda cepheden itibaren 2-3 metrelik kısımda bulunan çalışma düzlemlerinde yetersiz gölgelemeden ötürü 2000 lüks üzeri aydınlık düzeyi ölçülmüştür. Işık rafı da prizmatik panele benzer bir performan sergilemiştir fakat cephe kenarında hiç gölgeleme sağlayamadığında 5000 lükse varan ölçümler kaydedilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı ve prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 11. 14 Temmuz 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.6. 14 Temmuz 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 12’de karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Temmuz saat 17:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 2000 lüks, ortalama gökyüzü altında 1000 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan ofis mekanlarının çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyi ölçümleri referans mekandaki ölçümlerle büyük oranda benzerlik göstermiş ve 250-500 lüks aralığında kaydedilmiştir. Yine bu aydınlatma elemanlarının kullanıldığı senaryolarda aydınlık düzeyleri orta ve derindeki çalışma düzlemlerinde 250-500 lüks, cephe kenarında 500-1250 lüks aralığında ölçülmüştür. Işık rafı ışığı mekan içerisinde homojen dağıtmış olsa da aydınlık düzeyleri ofis mekanları için önerilen seviyelerin çok üzerinde kalmıştır. Prizmatik panel bulunan durumda cephe kenarı çalışma düzlemlerinde aydınlık seviyesi 5000 lükse ulaşırken, derin kısımdakilerde 1000 lükse kadar düşmüştür ve çekirdek duvarında 250-750 lüks aralığında değerler tespit edilmiştir.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafı ve prizmatik panelin iç mekanın orta kısımlarına kadar güneş ışığının direkt penetrasyonunu önleyemediği görülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam benzer sonuçlar vermişlerdir ve cephe kenarı çalışma düzlemlerinden itibaren güneşin direkt etkisini önlemişlerdir. Böylece cepheden orta kısımlara olan kısımda aydınlık düzeyini 750 lüksün altında tutmayı başarmışlardır. Referans mekanda bu bölümdeki aydınlık düzeyleri 250 lüksün üstüne çıkamamıştır.

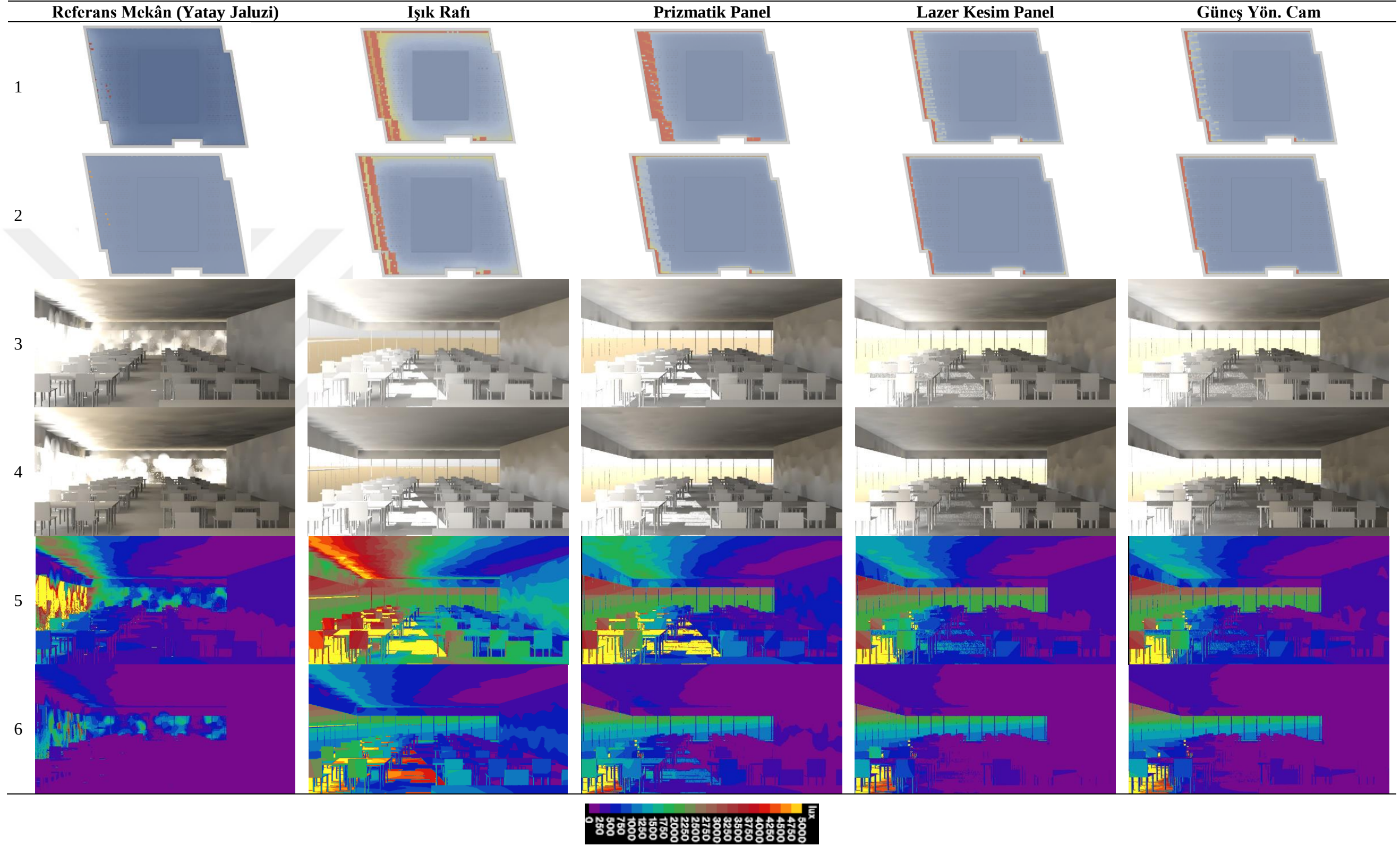
Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda prizmatik

panellerin diğerk üç gölgeleme elemanına göre daha iyi performans gösterdiğigözlemlenmiştir; cephe kenarında 1500 lüks ölçülen aydınlık düzeyi derin kısımdaki çalışma düzlemlerinde 250 lükse kadar kademeli olarak azalmıştır. En derindeki çalışma düzlemlerine ve çekirdek duvarına en yüksek aydınlığı ışık rafı iletmış olsa da cephe kenarındaki çalışma düzlemlerinde 5000 lüks ölçülen aydınlık düzeyi ota kısımlara gelindiğinde sert bir düşüşle 500-750 lüks aralığına gerilemiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam cephe kenarı çalışma düzlemi üzerindeki küçük bir alanda 250-500 lüks aralığında aydınlık sağlamış geriye kalan düzlemlerde 250 lüksü aşamamıştır. Referans mekanda bulunan tüm çalışma düzeylerinde aydınlık düzeyi 250 lüksün altında kalmıştır.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafının cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerinde gölgeleme sağlayamadığı görülmüştür. Prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan senaryolarda benzer gölgeleme sonuçları gözlenmiş ve cephe kenarı çalışma düzlemlerine güneşin direkt nüfuzu engellenmiştir. Fakat prizmatik panel simülasyon sonuçlarına göre bu kısımlarda aydınlık düzeyi 500-1500 lüks aralığında ölçülürken, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camda 0-500 lüks aralığında kalmıştır.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı ve prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 12. 14 Temmuz 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.7. 14 Ağustos 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 13'te karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Ağustos saat 08:00'de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 2000 lüks, ortalama gökyüzü altında 1000 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı kullanılan senaryoda cepheden ilk 3-4 metre mesafeye kadar olan bölümdeki çalışma düzlemlerinde 3000 lüks çok yüksek aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Bu hizada sonra aydınlık düzeyi sert bir düşüşle 1000 lüks seviyelerine gerilemiş ve çekirdek duvarına kadar kademeli olarak azalarak 250-750 lüks aralığında aydınlık sağlamıştır. Prizmatik panel de cephe kenarında ışık rafına benzer bir performans göstermesine karşın orta ve derin bölümlere ışın taşınımını ve homojen dağıtımını sağlayamamıştır. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan senaryolarda ışık iç mekanın derinliklerine iletilmiştir fakat cepheye yakın kısımlarda çalışma düzlemi aydınlık seviyeleri homojen olarak dağılmış ve 250-750 lüks aralığında seyretmiştir. Referans mekanda tüm çalışma yüzeyleri ve çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyleri 250 lüks altında kalmıştır.

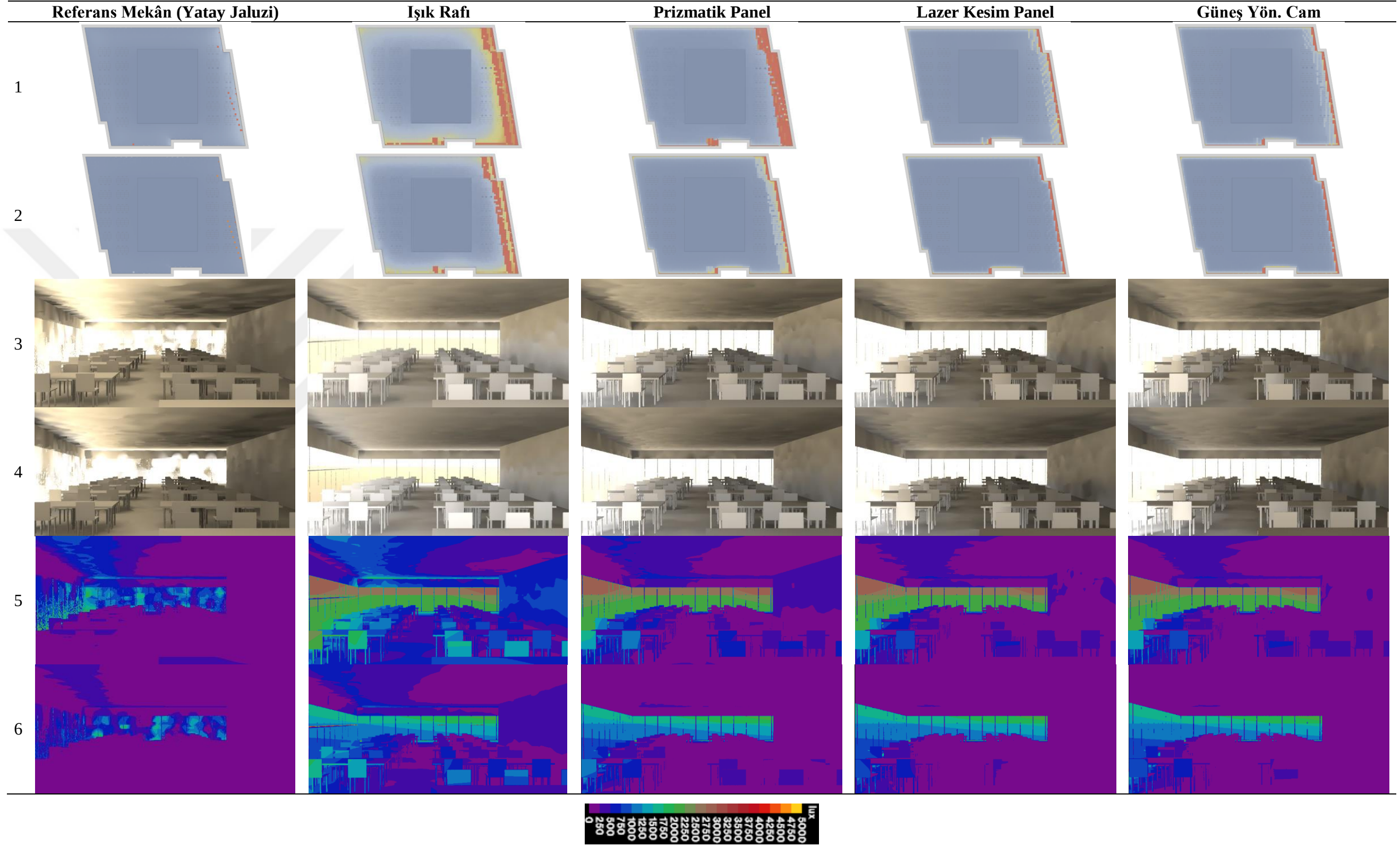
Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafı ve prizmatik panel elemanlarının cephe kenarı çalışma düzlemlerinde gölgeleme sağlayamadığı ve güneş ışınlarının direkt olarak çalışma düzlemine düşmesi sonucu 3000 lüks üzeri aydınlatma elde edilmiştir. Güneş yönlendirici cam ve lazer kesim panelin cephe önü çalışma düzlemlerine direkt güneş ışığının düşmesini engellediği gözlemlenmiştir. Bu veriler ışığında, bu iki gölgeleme elemanının bulunduğu durumda cepheden çekirdek duvarına kadarki çalışma düzlemlerinde ışık dağılımının daha homojen olduğu belirlenmiştir.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda tüm gölgeleme elemanlarının derin kısımdaki çalışma düzlemlerine yeteri kadar ışığı yönlendiremediği ve bu kısımlarda aydınlığın 250 lüksü aşamadığı görülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın cephe kenarı çalışma düzlemlerinde de 250 lüksü aşamadığı buna karşın ışık rafı ve prizmatik panel kullanılan durumlarda bu bölgedeki aydınlık düzeylerinin 2000 lükse kadar yükseldiği fakat orta kısımlarda sert bir şekilde 500 lüks seviyesine gerilediği gözlemlenmiştir. Çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyinin 250 lüks üzerine çıktığı tek senaryo ise ışık rafının bulunduğu olmuştur.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafı ve prizmatik panelin cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerinde gölgeleme sağlayamadığı ve 2000 lüksü aşan aydınlığa sebebiyet verdiği görülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerinde gölgeleme sağlayabilmiş olmasına karşın yeterli ışığın içeri alınması noktasında istenen performansı sergileyememiştir ve mekan genelinde aydınlık düzeyi 250 lüks altında seyretmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir. Işık rafı her iki gökyüzü altında da arzu edilen sonuçlar vermemiştir.

Tablo 13. 14 Ağustos 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.8. 14 Ağustos 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 14'te karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 14 Ağustos saat 17:00'de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 2000 lüks, ortalama gökyüzü altında 750 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1250 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam bulunan senaryolarda ışığın mekanın tamamına daha homojen yayıldığı görülmüştür. Cephe kenarı çalışma düzlemlerinde 1000-1250 lüks aralığında ölçülen aydınlık düzeyi kademeli şekilde azalarak derin çalışma düzlemi ve çekirdek duvarı üzerinde 0-500 lüks aralığına gerilemiştir. Prizmatik panel kullanılan simülasyon sonuçları derin kısımlarda lazer kesim ve güneş yönlendirici camınkine benzerlik gösterse de cephe kenarında 5000 lükse varan aydınlık düzeylerine ulaşılmıştır. Mekanın orta kısımlarına kadar bu seviyede devam eden aydınlık düzeyi derin kısımlara yaklaştıkça sert bir şekilde 1000 lüks seviyesine gerilemiştir. Işık rafı ise cephe kenarı ve orta kısımlarda prizmatik panellerle benzer performans göstermiştir ve aydınlık düzeyi 5000 lüksü bulmuştur. Derin kısımlara görece daha homjen ışık dağılımı sağlanmış olsa da standartlarca belirlenen düzeylerin çok üstünde (2000 lüks) ölçümler kaydedilmiştir.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde etkin gölgeleme sağladığı, aydınlık düzeyini 250-750 lüks aralığında tuttuğu ve geride kalan düzlemlerin de karanlıkta kalmadığı gözlemlenmiştir. Prizmatik panel ve ışık rafı hiçbir gölgeleme sağlayamadığı ve cephe kenarından iç mekanın orta kısımlarına kadar güneş ışınlarının direkt nüfuzunu engelleyemediği görülmüştür.

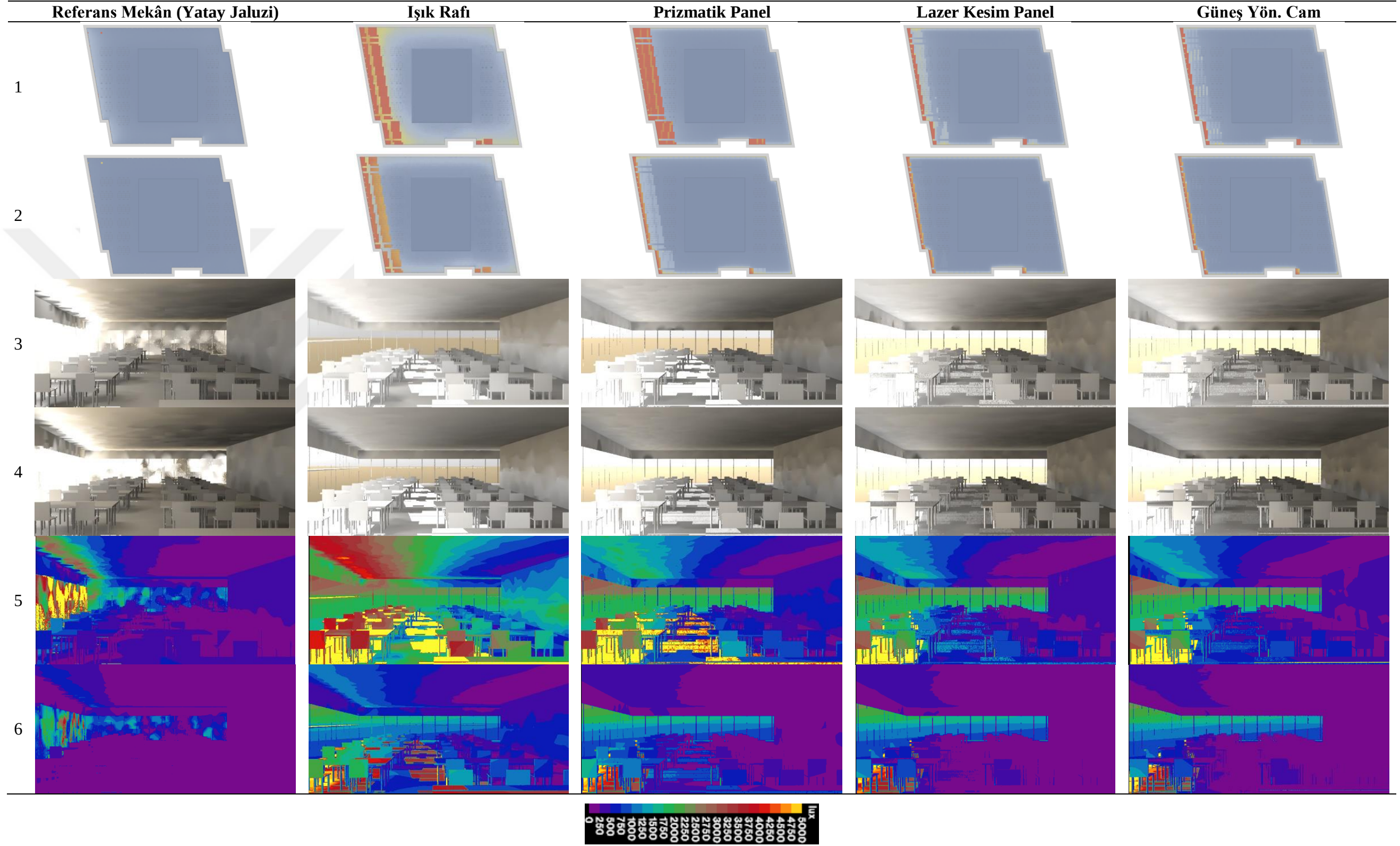
Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı derindeki

Çalışma düzlemleri ve çekirdek duvarı üzerine 250-750 aralığında aydınlık sağladığı tespit edilmiştir. Yine ışık rafı bulunan senaryoda cephe kenarındaki çalışma düzlemlerinde yapılan lmler 4000 lükse kadar ulaşsa da bu kısımdan sonrasında ışık kontrol altına alınmış ve homojen bir dağılım sağlanmıştır. Prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam sistemler derin kısımlarda ve çekirdek duvarı üzerinde benzer deręerler sağlamışlardır ve aydınlık düzeyi 250 lüksün altında kalmıştır. Cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde 0-500 lüks aydınlık sağlayan lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camdan farklılaşarak prizmatik panel bu düzlemlerde 1500 lükse kadar aydınlık sağlamıştır.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafının cephe kenarı çalışma düzlemi üzerine direkt güneş ışığı düşmesini engelleyemediği, prizmatik panellerin direkt nüfuzu engellese de yetersiz kaldıkları gözlemlenmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam çalışma düzlemi seviyesinde gölgeleme imkanı sağlamasına karşın aydınlık düzeyi mekanın tamamında 250 lüksün altında kalmıştır ve referans mekandakine benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı ve prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 14. 14 Ağustos 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.9. 21 Haziran 08:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 15'te karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 21 Haziran saat 08:00'de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında, aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 1000 lüks, ortalama gökyüzü altında 250 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ızgara tabanlı simülasyon sonuçlarına göre ışık rafının ışığın daha derinlere homojen bir şekilde dağıtılmasında daha etkin olduğu görülmüştür. Işık rafının cepheden iç mekanın orta kısımlarına kadar standartların üzerinde aydınlığa (1000-5000 lüks) sebep olduğu bu noktadan itibaren arzu edilen 500 lüks aydınlık düzeyi seviyelerinde performans gösterdiği tespit edilmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam cephe kenarında 3-4 metrelik bir kısımda homojen bir aydınlık dağılımı göstermiş olsa da bu noktadan itibaren 500 lüksün altına düşmüş ve tekdüze devam etmiştir. Prizmatik panel kullanılan durumda çalışma düzlemleri üzerindeki aydınlık düzeyi ise cephe kenarında 4-5 metrelik derinlikte 5000 lükse ulaşan aydınlık düzeyine ulaşılmış sonrasında dramatik bir düşüşle 500-750 lüks aralığına gerilemiştir.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde prizmatik panelin cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde etkin gölgeleme sağlayamadığı, güneş ışınlarının direkt olarak çalışma düzlemine düştüğü ve bu sebeple 5000 lükse ulaşan aydınlık ölçümleri yapıldığı görülmüştür. Fakat bu noktadan itibaren çekirdek duvarına kadar gölgeleme sağlayabilmiştir. Işık raflarının ise mekanın bütününde gölgeleme sağlayamadığı tespit edilmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam elemanların cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde kontrollü aydınlatmaya olanak veren gölgeleme performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. Fakat bu cepheden 2-3 metre

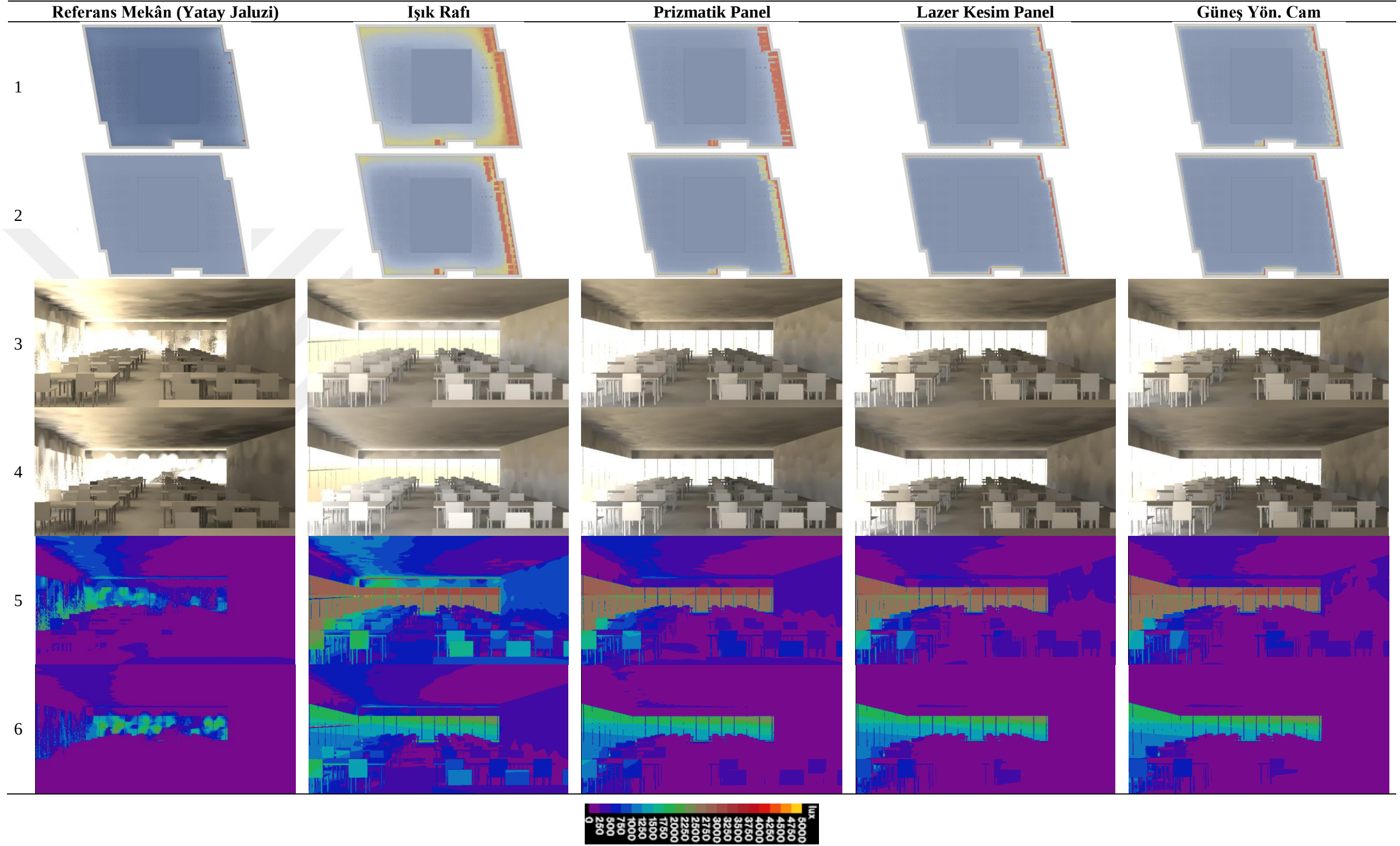
derinlikte, kısıtlı bir alanda gerçekleşmiştir. Bu noktadan itibaren gölgeleme çekirdek duvarına kadar sabit şekilde devam etmiştir.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan simülasyonlarda ışığın iç mekana yeteri kadar nüfuz edemediği, aydınlık düzeyinin mekanın bütününde 250 lüks altında kaldığı gözlemlenmiştir. Prizmatik panelin cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerinde yüksek aydınlık seviyelerine (2000 lüks) sebep olduğu fakat diğer kısımlara ışığın iletilemediği tespit edilmiştir. Işık rafı bulunan durumda ise prizmatik panele benzer sonuçlar elde edilmiştir fakat bu senaryoda ışık derin kısımlara homojen bir biçimde dağıtılmıştır.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan simülasyonlarda iç mekanın tümünde eşit gölgeleme performansı sağlanmış olduğu gözlemlenmiştir. Prizmatik panelin cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerinde yeterli gölgelemeyi sağlayamadığı fakat mekanın geri kalan bölümlerinde yüksek aydınlık değerleri oluşumunu engellediği görülmüştür. Işık rafı bulunan senaryoda ise cephe kenarı çalışma düzlemlerinde kısmi gölgeleme sağlandığı kaydedilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı ve prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 15. 21 Haziran 08:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.10. 21 Haziran 11:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 16’da karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 21 Haziran saat 11:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında, aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 1500 lüks, ortalama gökyüzü altında 250 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1250 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda ışık rafı kullanılan simülasyon sonuçlarında ışığın mekanın derin kısımlarına homojen bir şekilde iletebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ışık rafı bulunan senaryoda çekirdeğin dört yöndeki duvarlarına da ışığın düştüğü kaydedilmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camların da ışığı homojen dağıttığı fakat mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemleri ve çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyinin 250 lüksün altında kaldığı alanlar olduğu tespit edilmiştir. Prizmatik panel elemanları da bu iki gölgeleme elemanına benzer sonuçlar vermiştir fakat iç mekanın tamamında aydınlık düzeyi 250-750 lüks aralığında seyretmiştir.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ızgara temelli simülasyon sonuçlarına göre lazer kesim panel ve güneş yön camı kullanılan senaryolarda mekanın bütününün de etkin ve eşit bir gölgeleme sağlandığı çıkarımı yapılabilmektedir. Prizmatik panellerin cepheden 3-4 metre derinliğe kadar olan kısımda hiçbir gölgeleme sağlayamadığı fakat geri kalan bölümlere ışığın geçmesini engellediği gözlemlenmiştir. Işık raflarının ise ışığın kontrolünü ve iç mekanın tamamında etkin gölgeleme sağlayamadığı tespit edilmiştir.

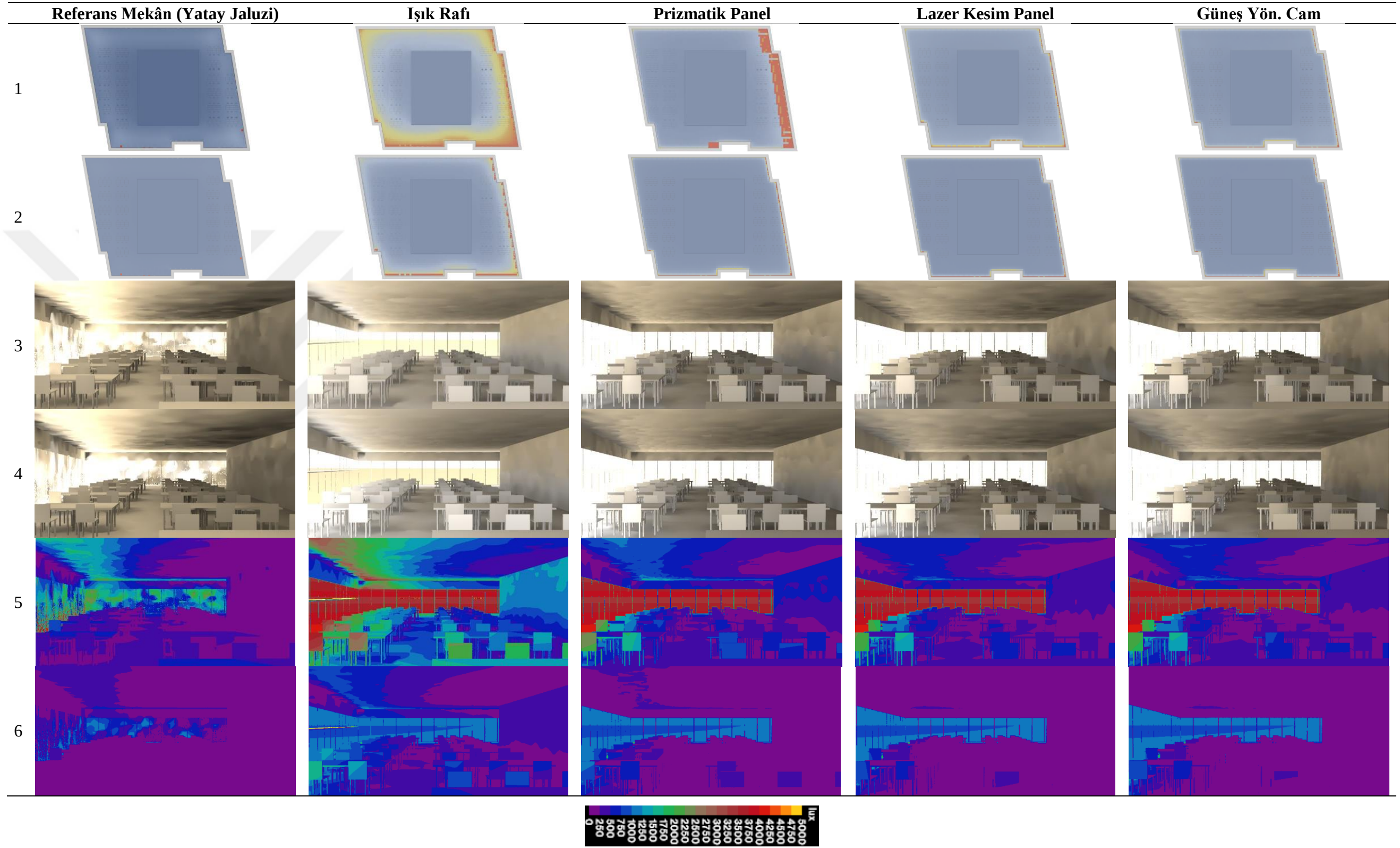
Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda çalışma düzlemi seviyesi aydınlık düzeyleri ışık rafı dışındaki diğer üç gölgeleme elemanı için referans mekandaki değerlerle benzerlik göstermiştir ve 250 lüks altında kalmıştır. Işık rafı

kullanılan simülasyonda cephe kenarı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi 500-1250 lüks, orta kısımlardakilerde 250-500 lüks ve derin kısımlardakilerde ise 0-250 lüks aralığında ölçülmüştür. Yalnızca ışık rafı bulunan mekandaki çekirdek duvarı üzeri aydınlık düzeyi 250-500 lüks aralığına ulaşmışken diğer senaryolarda bu 0-250 lüks aralığında kalmıştır.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde dört gölgeleme elemanının da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. İç mekanın bütününde kamaşmaya sebebiyet verebilecek yüksek aydınlık düzeylerine rastlanmamıştı fakat ışık rafı dışındaki gölgeleme elemanlarının bulunduğu mekanlarda genel iç mekan aydınlık düzeyi 250 lüksün altında kalmıştır.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 16. 21 Haziran 11:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.11. 21 Haziran 14:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 17’de karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 21 Haziran saat 14:00’te referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında, aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 1000 lüks, ortalama gökyüzü altında 500 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 500-1000 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda tüm gölgeleme elemanlarının iç mekana alınan ışığı çekirdek duvarına kadar iletebildikleri görülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın diğer elemanlara göre ışığı daha homojen dağıttığı, cephe kenarından derin kısımlardaki çalışma düzlemlerine kadar 250-500 lüks aralığında aydınlık düzeyi sağladığı kaydedilmiştir. Yine bu iki gölgeleme elemanının bulunduğu senaryoda çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyi 0-500 lüks arasında değişkenlik göstermiştir. Prizmatik panel kullanılan simülasyon sonuçlarına göre cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde 750-1500 lüks, orta ve derin çalışma düzlemleri üzerinde ise 250-500 lüks aralığında aydınlık düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Işık rafı bulunan senaryoda ise derin kısım çalışma düzlemleri üzerinde aydınlık düzeyi 500-1500, orta kısımlarda 1500-2000, cephe kenarında 2000-5000 lüks aralığında ölçülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan senaryoda iç mekanın bütünündeki aydınlık düzeyi seviyeleri referans mekandaki değerler ile yüksek benzerlik göstermiştir.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafının cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde gölgeleme sağlayamadığı ve iç mekanın orta kısımlarına dek yüksek aydınlık düzeyi oluşumunu engelleyemediği görülmüştür. Prizmatik panellerin cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerine direkt güneş ışığının nüfuz etmesini önlediği ve arka kısımlardaki çalışma düzlemleri ve çekirdek duvarı üzerindeki aydınlık düzeyinin 500 lüksün altına düşmediği gözlemlenmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam cephe kenarında etkili bir gölgeleme performansı

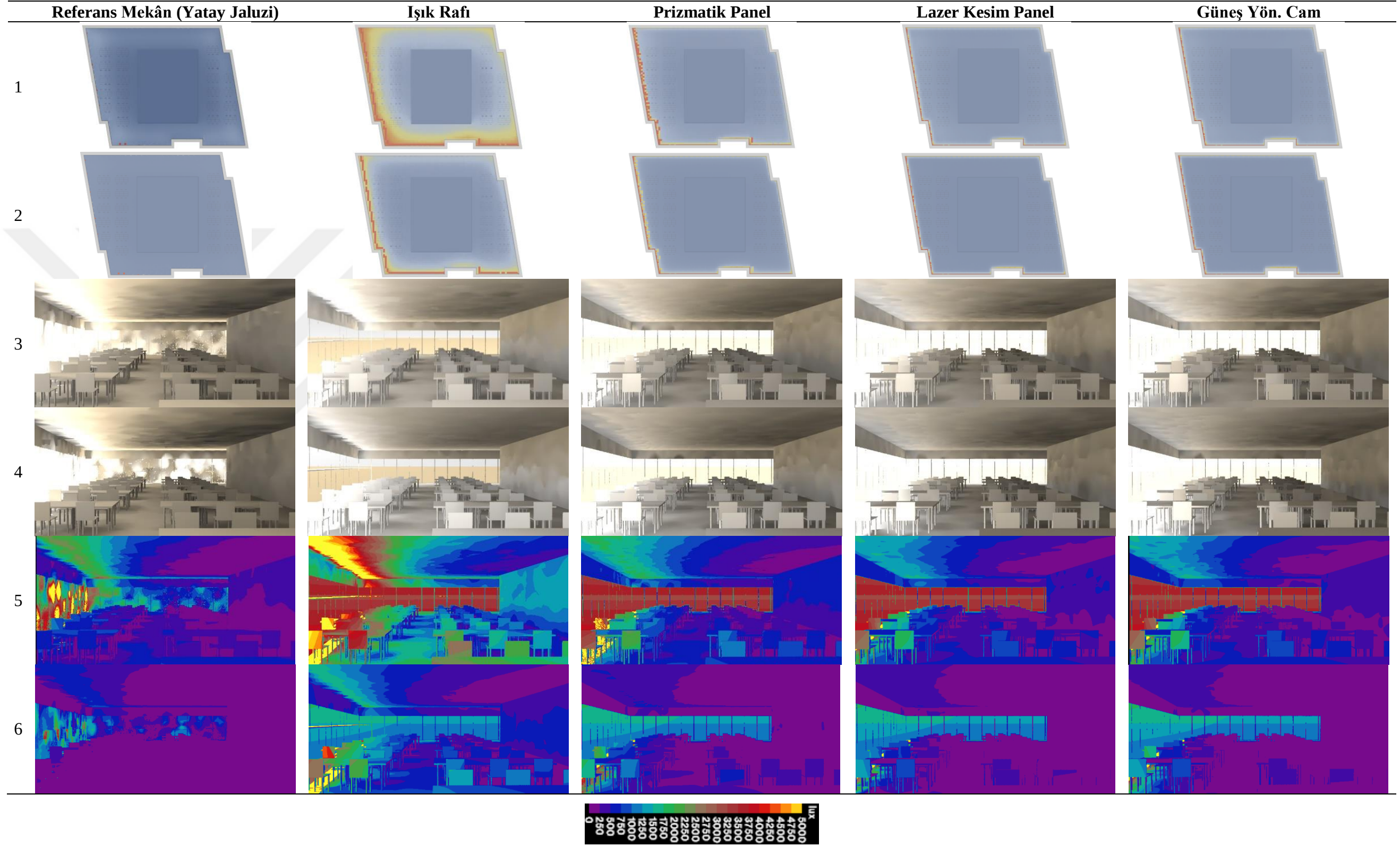
göstermiş ve tüm çalışma düzlemlerindeki aydınlık seviyeleri 250-500 lüks arasında kalmıştır.

Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın ışığın orta ve derin kısımlardaki çalışma düzlemlerine ve çekirdek duvarına iletimini sağlayamadığı gözlemlenmiştir. Bu kısımlardaki aydınlık düzeyi 250 lüksün altında kalmıştır. Cephe kenarındaki çalışma düzlemlerinde ise prizmatik panel kullanılan senaryoda aydınlık düzeyi 500 lükse kadar yükselmiş fakat lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam kullanılan durumlarda yine 250 lüks altında kalmıştır. Işık rafları ise orta ve derin kısımlardaki çalışma düzlemlerinde 250-750 lüks aralığında aydınlık sağlarken, cephe kenarındakilerde 1500-2500 lüks aydınlık ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın mekanın tamamında eşit gölgeleme sağladığı tespit edilmiştir. Prizmatik paneller de bu iki gölgeleme elemanına benzer sonuçlar vermiş ve bunlara ek olarak cephe kenarında daha fazla aydınlanma imkanı sağlamıştır. Işık raflarının cephe kenarı çalışma düzlemlerini gölgelemede yetersiz kalmış olduğu belirlenmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında prizmatik panel, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 17. 21 Haziran 14:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.1.12. 21 Haziran 17:00 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 18’de karşılaştırmalı olarak gösterilen, açık ve ortalama gökyüzü koşulları altında 21 Haziran saat 17:00’de referans model ve dört gölgeleme elemanı için gerçekleştirilen ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçlarına göre, gölgeleme elemanlarının kullanıldığı dört senaryoda da referans mekandaki çekirdek duvarında, aydınlık seviyelerinde açık gökyüzü altında 2000 lüks, ortalama gökyüzü altında 750 lükse kadar artış olduğu gözlemlenmiştir. Gölgeleme elemanları açık gökyüzü koşulları altında, ortalama gökyüzüne göre genel iç mekan aydınlık düzeyinin artırılması noktasında cepheden uzaklık durumuna göre 250-1500 lüks aralığında aydınlık düzeyini daha fazla artırmıştır.

Açık gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda tüm gölgeleme elemanlarının ışığı çekirdek duvarına kadar taşıyabildiği çıkarımı yapılabilmektedir. Lazer kesim panel ve ışık yönlendirici cam, referans mekandaki yatay jaluzilerin gösterdiği performansa benzer sonuçlar verdiği ve çekirdek duvarıyla derin kısımdaki çalışma düzlemleri üzerinde 0-500 lüks aralığında aydınlık sağladığı görülmüştür. Cephe kenarı çalışma düzlemlerinde ise aydınlık düzeyi 1000-1750 lüks aralığında ölçülmüştür. Prizmatik panel ve ışık rafı bulunan simülasyonlarda cephe kenarı çalışma düzleminde aydınlık düzeyi 5000 lüks ölçülmüştür. Orta ve derin kısımdaki çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri ise ışık rafı ve prizmatik panel için sırasıyla 1000-2000, 500-750; 500-1250, 250-500 lüks arasında ölçülmüştür.

Açık gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde ışık rafı ve prizmatik panelin cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde hiçbir gölgeleme sağlayamadığı gözlemlenmiştir. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam ise cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde etkin gölgeleme sağlamış, orta ve derin kısım çalışma düzlemlerinin ise karanlıkta kalmasına sebep olmamıştır. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın cephe kenarı gölgeleme performansı verilerinin referans mekandakilerle benzerlik gösterdiği görülmüştür.

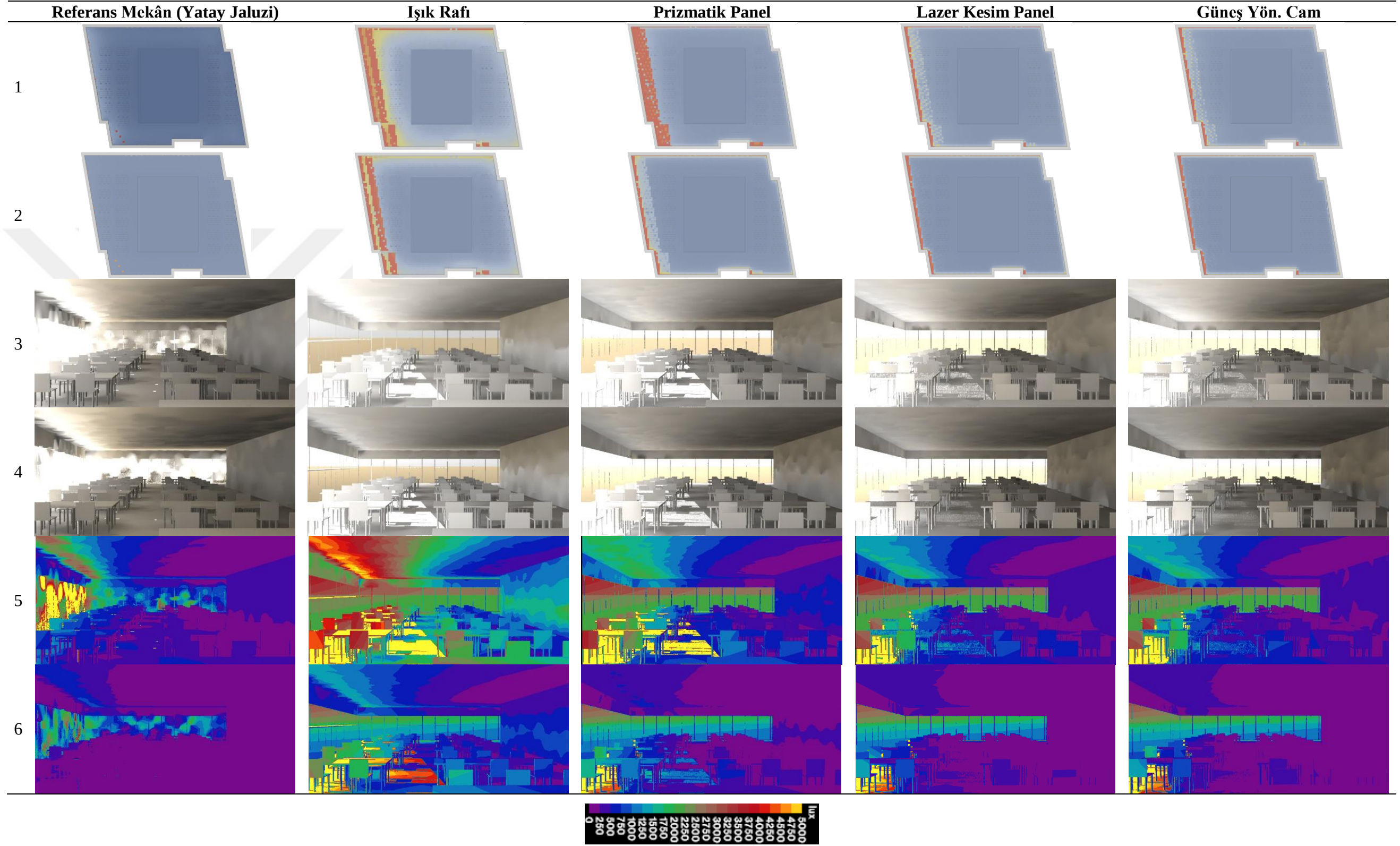
Ortalama gökyüzü koşulları altında gün ışığının mekanın derin kısımlarındaki çalışma düzlemine iletimi ve homojen dağıtımı göz önünde bulundurulduğunda lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam bulunan mekanlardaki çekirdek duvarı, orta ve derin kısımdaki

Çalışma düzlemlerinin tamamının ve cephe kenarı çalışma düzlemlerinin orta alana yakın kısımlarının üzerindeki aydınlık düzeyinin 250 lüksün altında kaldığı gözlemlenmiştir. Benzer bir şekilde referans mekanda da bu alanlar 250 lüksün altında kalırken, ek olarak cephe kenarı çalışma düzlemleri de 250 lüks değerinin altında ölçülmüştür. Prizmatik kullanılan simülasyonda derin çalışma düzlemlerinin tamamında ve çekirdek duvarının büyük bölümünde aydınlık düzeyi 250 lüksün altında kalmıştır fakat cephe kenarında bu değer 1500 lükse kadar yükselmektedir. Işık raflarında ise cephe kenarı çalışma düzlemi üzerinde 5000 lüks aydınlık düzeyi ölçümü yapılırken, orta ve derin kısımlardakilerde bu değerin 250-750 lüks aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Ortalama gökyüzü simülasyon sonuçları gölgeleme performansına göre değerlendirildiğinde cephe kenarı çalışma düzlemleri üzerinde ışık rafının gölgeleme sağlayamadığı, prizmatik panelin ise yetersiz kaldığı görülmüştür. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam bulunan senaryolarda ise cephe kenarı çalışma düzlemlerinin ve derin kısımların yeterli ışığı alamadığı tespit edilmiştir.

Gölgeleme elemanlarının farklı gökyüzü koşulları altında göstermiş olduğu performanslar karşılaştırıldığında açık gökyüzü koşulları altında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam, ortalama gökyüzü koşulları altında ise ışık rafı ve prizmatik panel daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 18. 21 Haziran 17:00 ızgara ve görüntü tabanlı simülasyon sonuçları



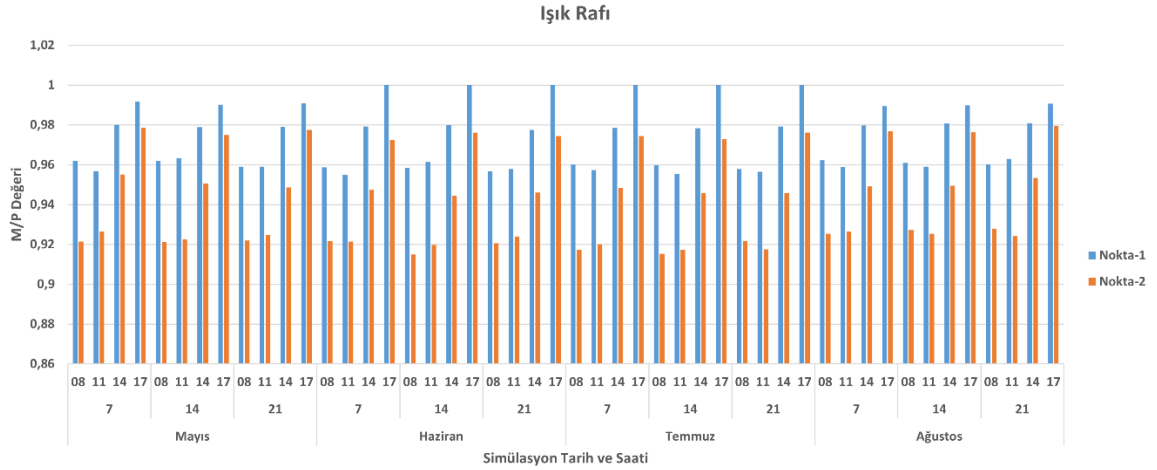
1,3,5: Açık gökyüzü koşulları; 2,4,6: Orta düzey gökyüzü koşulları

5.2. İnsan Merkezli Aydınlatma Tasarımı Değerlendirmesi

Gölgeleme elemanlarının ofis mekanında sağlamış olduğu doğal aydınlatma performansı, insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine göre bu alt başlık altında irdelenmektedir. Parıltı dağılımı verisi görüntü tabanlı simülasyon çıktılarından çekilerek, metot kısmında detaylı bir şekilde açıklanmış olan veri işleme yöntemi ile sayısal olarak melanopik ve fotopik veriye dönüştürülmüştür.

Nokta-1 ve Nokta-2'den son ürün olarak elde edilen sayısal veri her gölgeleme elemanı ve referans mekan için öncelikle kendi içinde daha sonra ise karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Böylece İstanbul kentinde aşırı ısınma dönemi boyunca seçili gölgeleme elemanlarının insan merkezli aydınlatma performansındaki değişimi izlenebilmiş ve birbirleri ile karşılaştırma imkanı elde edilmiştir.

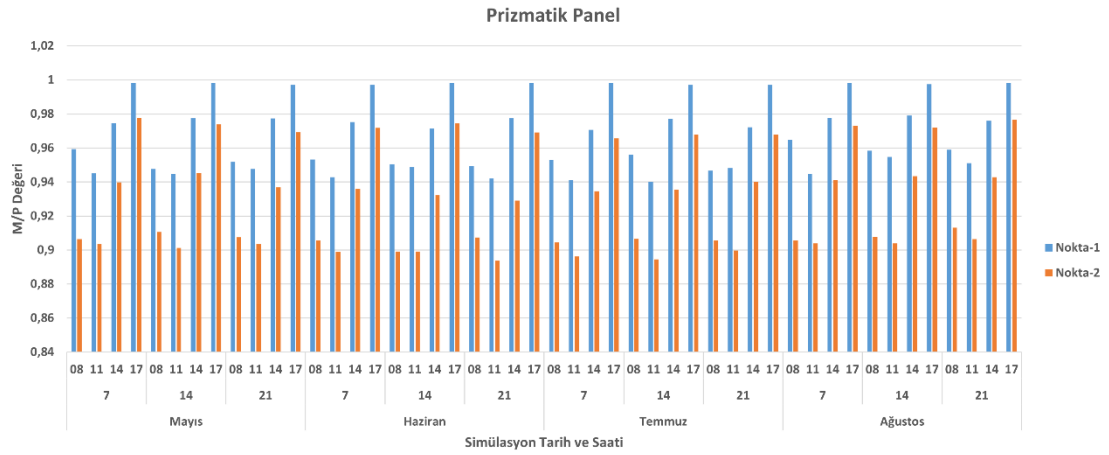
Şekil 39'da ışık rafı kullanımı ile elde edilen sayısal verilerin toplu biçimde görüldüğü sütun grafik yer almaktadır. Grafikteki bilgiler ışığında ölçüm yapılan her simülasyon zamanı için Nokta-1'deki M/P değerinin aynı zamandaki Nokta-2'de kaydedilen değerden yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Haziran ve temmuz aylarında Nokta-1'de kaydedilen bazı değerler dışında tüm M/P değerlerinin 1,00'in altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu da simülasyonun gerçekleştirildiği şartlar ve kullanılan parametreler altında fotopik dalga boyunun melanopik dalga boyuna göre daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. Haziran ve temmuz aylarında saat 08:00 ve 11:00'de yapılan ölçümlerle 14:00 ve 17:00'de yapılan ölçümler arasındaki M/P değeri farkı Nokta-1 için 0,020-0,040 aralığında, Nokta-2 için 0,025-0,060 aralığında kaydedilmişken; Mayıs ve Ağustos aylarında sırasıyla 0,020-0,035 ve 0,025-0,055 aralığında ölçülmüştür. Simülasyonların gerçekleştirildiği zaman aralığının başından sonuna dek Nokta-2 üzerindeki M/P değerleri çok az değişiklik göstermişken (0,002 kadar), Nokta-1 üzerindeki değişkenliğin bunun 5 katı kadar (0,010) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 39. Işık rafı M/P değerleri

(Kaynak: Yazar)

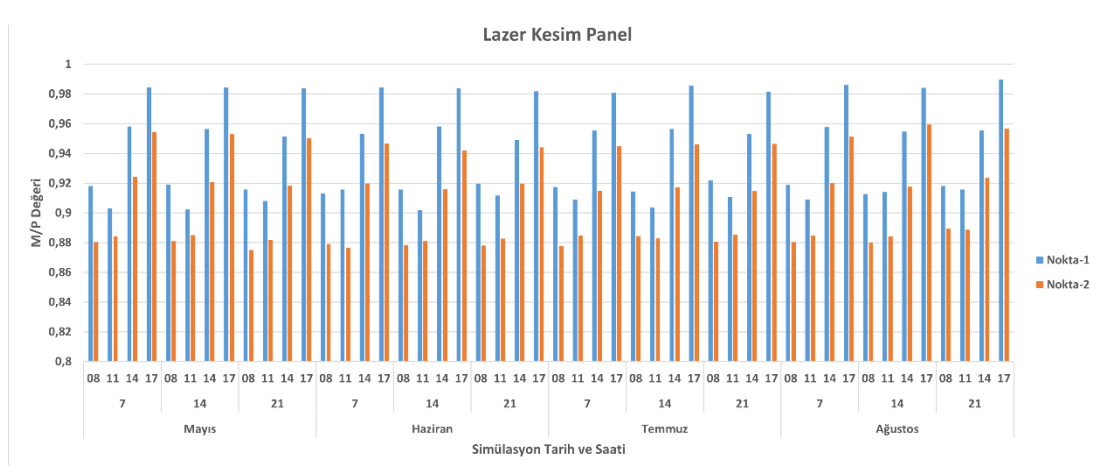
Şekil 40'ta prizmatik panel kullanımı ile elde edilen sayısal verilerin toplu biçimde görüldüğü sütun grafik yer almaktadır. Grafikteki bilgiler ışığında ölçüm yapılan her simülasyon zamanı için Nokta-1'deki M/P değerinin aynı zamandaki Nokta-2'de kaydedilen değerden yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Saat 17:00'de Nokta-1'de kaydedilen tüm değerlerin 0,98-1,00 aralığında, geri kalan tüm M/P değerlerinin ise 0,98'in altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu da simülasyonun gerçekleştirildiği şartlar ve kullanılan parametreler altında fotopik dalga boyunun melanopik dalga boyuna göre daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. Simülasyon gerçekleştirilen aşırı ısınma zaman aralığında, aynı saatlerde yapılan ölçümler benzer sonuçlar vermişlerdir. Nokta-1 için saat 08:00 ve 11:00'de elde edilen veri 0,90-0,92 aralığında, 14:00'te elde edilen veri 0,94-0,96 ve 17:00'de elde edilen veri 0,96-0,98 aralığında hareketlilik göstermiştir. Aynı zaman aralıklarında elde edilen verinin Nokta-2 için ise sırasıyla 0,86-0,90, 0,90-0,94 ve 0,94-0,96 aralığında olduğu görülmüştür. Nokta-1 ve Nokta-2'deki M/P değeri farkı saat 08:00'de yapılan ölçümlerde 0,04-0,05, 11:00'de 0,040-0,045, 14:00'te 0,035-0,040, 17:00'de 0,020-0,025 aralığında değişkenlik gösterdiği kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre saat 08:00 ve 11:00'de iki nokta arasındaki M/P değeri farkının 14:00 ve 17:00'dekinden daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 40. Prizmatik panel M/P değerleri

(Kaynak: Yazar)

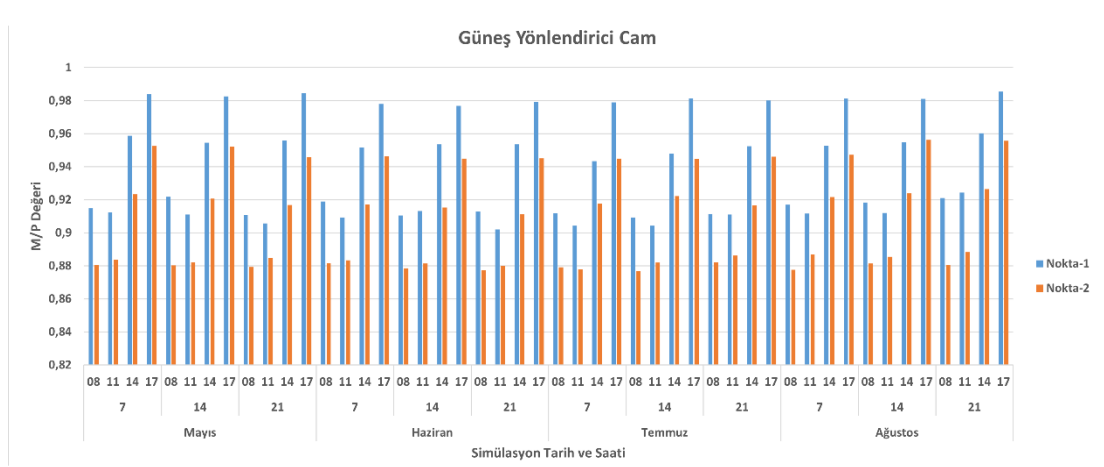
Şekil 41’de lazer kesim panel kullanımı ile elde edilen sayısal verilerin toplu biçimde görüldüğü sütun grafik yer almaktadır. Grafikteki bilgiler ışığında ölçüm yapılan her simülasyon zamanı için Nokta-1’deki M/P değerinin aynı zamandaki Nokta-2’de kaydedilen değerden yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Saat 17:00’de Nokta-1’de kaydedilen tüm değerlerin 0,98’in üzerinde, geri kalan tüm M/P değerlerinin ise 0,96’nın altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu da simülasyonun gerçekleştirildiği şartlar ve kullanılan parametreler altında fotopik dalga boyunun melanopik dalga boyuna göre daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. Simülasyon gerçekleştirilen aşırı ısınma zaman aralığında, aynı saatlerde yapılan ölçümler benzer sonuçlar vermişlerdir. Nokta-1 için saat 08:00 ve 11:00’de elde edilen veri 0,90-0,92 aralığında, 14:00’te elde edilen veri 0,94-0,96 ve 17:00’de elde edilen veri 0,98-1,00 aralığında hareketlilik göstermiştir. Aynı zaman diliminde yapılan ölçümlerden elde edilen verinin Nokta-2 için ise sırasıyla 0,87-0,89, 0,91-0,93 ve 0,94-0,96 aralığında olduğu görülmüştür. Nokta-1 ve Nokta-2’deki M/P değeri farkı saat 08:00’de yapılan ölçümlerde 0,03-0,04, 11:00’de 0,02-0,03, 14:00’te 0,03-0,04, 17:00’de 0,03-0,04 aralığında değişkenlik gösterdiği kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre saat 08:00, 14:00 ve 17:00’de iki nokta arasındaki M/P değeri farkının 11:00’dekinden daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 41. Lazer kesim panel M/P değerleri

(Kaynak: Yazar)

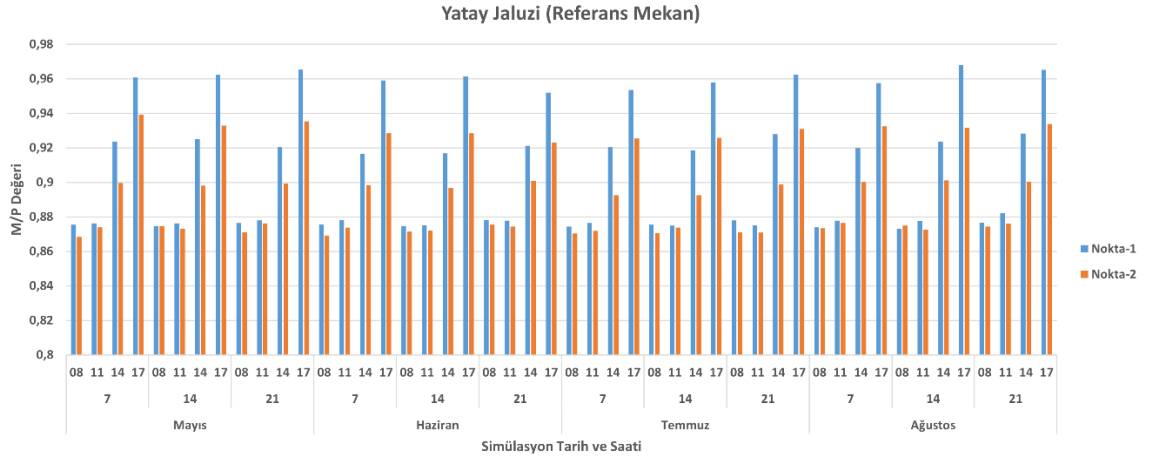
Şekil 42’de güneş yönlendirici cam kullanımı ile elde edilen sayısal verilerin toplu biçimde görüldüğü sütun grafik yer almaktadır. Grafikteki bilgiler ışığında ölçüm yapılan her simülsayon zamanı için Nokta-1’deki M/P değerinin aynı zamandaki Nokta-2’de kaydedilen değerden yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Saat 17:00’de Nokta-1’de kaydedilen tüm değerlerin 0,97’nin üzerinde, geri kalan tüm M/P değerlerinin ise 0,96’nın altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu da simülasyonun gerçekleştirildiği şartlar ve kullanılan parametreler altında fotopik dalga boyunun melanopik dalga boyuna göre daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. Simülasyon gerçekleştirilen aşırı ısınma zaman aralığında, aynı saatlerde yapılan ölçümler benzer sonuçlar vermişlerdir. Nokta-1 için saat 08:00 ve 11:00’de elde edilen veri 0,90-0,94 aralığında, 14:00’te elde edilen veri 0,94-0,96 ve 17:00’de elde edilen veri 0,96-1,00 aralığında hareketlilik göstermiştir. Aynı zaman diliminde yapılan ölçümlerden elde edilen verinin Nokta-2 için ise sırasıyla 0,86-0,90, 0,90-0,94 ve 0,94-0,96 aralığında olduğu görülmüştür. Nokta-1 ve Nokta-2’deki M/P değeri farkı saat 08:00’de yapılan ölçümlerde 0,03-0,04, 11:00’de 0,02-0,03, 14:00’te 0,03-0,04, 17:00’de 0,03-0,04 aralığında değişkenlik gösterdiği kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre saat 08:00, 14:00 ve 17:00’de iki nokta arasındaki M/P değeri farkının 11:00’dekinden daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Bu değerler ve açıklıklar aynı zamanda lazer kesim panel ile de yüksek oranda benzerlik göstermiştir.



Şekil 42. Güneş yönlendirici cam M/P değerleri

(Kaynak: Yazar)

Şekil 43'te referans mekana yerleştirilen yatay jaluzi kullanımı ile elde edilen sayısal verilerin toplu biçimde görüldüğü sütun grafik yer almaktadır. Grafikteki bilgiler ışığında mayıs ve ağustos aylarındaki bazı ölçümler haricinde ölçüm yapılan her simülsayon zamanı için Nokta-1'deki M/P değerinin aynı zamandaki Nokta-2'de kaydedilen değerden yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. 21 Haziran, 7 Temmuz ve 14 Temmuz tarihleri dışında saat 17:00'de gerçekleştirilen simülasyonlarda Nokta-1'de kaydedilen tüm değerlerin 0,96 veya üzerinde üzerinde, geri kalan tüm M/P değerlerinin ise 0,94'ün altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu da simülasyonun gerçekleştirildiği şartlar ve kullanılan parametreler altında fotopik dalga boyunun melanopik dalga boyuna göre daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. Simülasyon gerçekleştirilen aşırı ısınma zaman aralığında, aynı saatlerde yapılan ölçümler benzer sonuçlar vermişlerdir 0,002'lik bir sapma kaydedilmiştir. Nokta-1 için saat 08:00 ve 11:00'de elde edilen veri 0,86-0,88 aralığında, 14:00'te elde edilen veri 0,90-0,94 ve 17:00'de elde edilen veri 0,94-0,98 aralığında hareketlilik göstermiştir. Aynı zaman diliminde yapılan ölçümlerden elde edilen verinin Nokta-2 için ise sırasıyla 0,86-0,88, 0,88-0,90 ve 0,92-0,94 aralığında olduğu görülmüştür. Saat 08:00 ve 11:00'de yapılan ölçümlerde Nokta-1 ve Nokta-2 arasında kaydadeğer bir farka rastlanmazken, saat 14:00 ve 17:00'de 0,02-0,03 aralığında değişikliklerin olduğu saptanmıştır. Elde edilen bu değerlere göre saat 14:00 ve 17:00'de iki nokta arasındaki M/P değeri farkının 08:00 ve 11:00'dekinden daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 43. Referans mekân (yatay jaluzi) değerleri

(Kaynak: Yazar)

Yukarıdaki grafiklerden elde edilen bilgiler ışığında dört gölgeleme elemanı arasında M/P değerinin her iki nokta için de en yüksek kaydedildiği gölgeleme elemanının ışık rafı olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Nokta-1 için en düşük değerler prizmatik panelin kullanıldığı senaryoda, Nokta-2 için en düşük değerler ise hem prizmatik panel hem de güneş yönlendirici cam kullanılan durumda elde edilmiştir. Referans mekanda her iki nokta üzerindeki M/P değerinin de gölgeleme elemanlarının verdiği sonuçların altında kaldığı görülmektedir.

Saatlik, günlük ve gölgeleme elemanı bazlı karşılaştırma sonucunda elde edilen veri göz önünde bulundurulduğunda, prizmatik panel ve güneş yönlendirici camın iç mekanda sağladığı aydınlığın fotopik değerlerinin diğer gölgeleme elemanlarından yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Melanopik ve fotopik oranının 1'e (eşit yoğunluğa) en yakın olduğu ölçümler her iki nokta için de ışık rafı kullanılan şartlar altında gerçekleşmiştir.

Elde edilen M/P değerlerinin farklı gölgeleme elemanları kullanımı ile birlikte dramatik değişikliklere uğramamasının sebebi iç mekanda kullanılan yüzey malzemelerinin ve cephe elemanının renk, yansıtıcılık ve kırıcılık parametrelerinin sabit tutulması olarak gösterilebilir.

6. SONUÇ

Bu tez çalışması çok katlı ofis yapılarında bulunan derin ofis mekanlarında (10+ metre derinlik), cepheye uygulanabilen farklı gölgeleme elemanlarının kullanımının iç mekan aydınlatma kalitesine etkisini incelemeye odaklanmaktadır.

Gün ışığının insan sirkadiyen saatini ayarlama da olan kritik rolü ve buna karşılık günümüzde insanların güneşin tepede olduğu zaman diliminin büyük bir kısmını kapalı çalışma ortamlarında geçiriyor olması dolayısıyla derin ofis alanlarında doğay ışığın yetersiz olması ve aşırı ısınma dönemlerinde meydana gelen kamaşma sorunuyla birlikte doğan gölgeleme ihtiyacı bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesine zemin hazırlamıştır.

Gelişmiş doğal aydınlatma sistemlerinin gün ışığını iç mekanın derinliklerine kadar aktardığı ve bu sayede kullanıcılarının fiziksel ve mental konforuna olumlu yönde etki ettiği bilinmektedir. Bu çalışmada, güneş ışınlarını iç mekana yansıtarak doğal aydınlatma imkanı sağlaması ve aynı zamanda gölgeleme özelliği bulundurması kriterler ışığında seçilmiş olan doğal aydınlatma sistemlerinin derin ofis mekanlarındaki aydınlık düzeyi üzerindeki etkileri uluslararası aydınlatma standartları ve insan merkezli aydınlatma tasarımı kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bu tasarım kriterleri belirlenirken, uluslararası kuruluşların belirlemiş olduğu ölçüm parametreleri ve bu alanda gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda yöntemler referans alınmıştır. Bu değerlendirme ile çok katlı yapılarda bulunan derin ofis mekanlarında uygulanabilecek doğal aydınlatma ve gölgeleme stratejileri için uygun elemanların seçimi ve iklim temelli optimizasyonu için gerekli verinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın gerçek mekan verisi ile tutarlılığı ve uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak İstanbul'da çok katlı bir ofis yapısında bulunan ofis alanı bu çalışmanın referans mekanı olarak seçilmiştir. Bugüne kadarki insan merkezli aydınlatma tasarımı değerlendirme çalışmalarında gerçekleştirilmiş olan fiziksel mekanda elde edilen materyalin bilgisayar ortamında işlenmesi ile veri elde etme yöntemi yerine tamamı dijital ortamda gerçekleştirilen bir yöntem bu çalışmada kullanılmıştır. Bu yöntemle birlikte bilgisayarda modellenmiş olan fiziksel mekan üzerinden parametrik yöntemlerle elde edilmiş materyaller yine bilgisayar ortamında işlenerek son veri haline getirilmiştir.

Elde edilen bulgular, çalışmada kullanılan gölgeleme elemanlarının kullanıcıların görsel konforu üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi noktasında faydalı olmuştur.

Bu bulgular ışığında lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın açık gökyüzü, ışık rafının ortalama gökyüzü koşulları altında kullanıcıların görsel konforunu daha olumlu etkilediği sonucu çıkarılmaktadır. Lazer kesim panel ve güneş yönlendirici cam direkt güneş ışığını kırarak iç mekanın gölgelenmesinde etkin rol oynarken dağınık gökyüzü ışığının iç mekanın derinliklerine iletiminde yetersiz kaldıkları belirlenmiştir. Işık raflarının ise özellikle açık gökyüzü koşullarında ek gölgeleme elemanları ile entegre kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Prizmatik panellerin, her iki gökyüzü koşulunda da görsel konforu optimum düzeyde olumlu yönde etkilediği ve güneşin geliş açısına göre gölgeleme performansının değişkenlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

İnsan merkezli aydınlatma tasarımı kriterleri çerçevesinde, tercih edilen gölgeleme elemanları değerlendirildiğinde ışık rafının en yüksek etkiye sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır. Dört gölgeleme elemanı arasından melanopik dalga boyunun en yüksek ölçüldüğü eleman ışık rafı, en düşük ölçüldüğü ise prizmatik panel ve güneş yönlendirici cam olmuştur.

Elde edilen bulgulara dayalı yapılan değerlendirmeler ışığında, test edilen dört gölgeleme elemanının farklı gökyüzü tiplerinde ideal sonuçlar verdiği sonucu çıkarılmaktadır. Buna göre, ışık raflarının ortalama gökyüzü, lazer kesim panel ve güneş yönlendirici camın açık gökyüzü ve prizmatik panelin ise her iki gökyüzü altında kullanılmalarının uygun olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Bunlara ek olarak, İstanbul gibi aşırı ısınma döneminde genellikle ortalama gökyüzü koşulları yaşanan iklim tipinde bulunan ofis yapılarının cephelerinde kullanılacak olan gölgeleme elemanlarının seçiminde prizmatik panel gibi açısal geçirgenlik özelliği bulunan elemanlar tercih edilebilir. Yine bu iklim tipi için uygulanacak olan doğal aydınlatma tasarımında yalnızca ışığın iç mekana aktarımı değil, açık gökyüzü koşullarında dik açıyla gelen direkt güneş ışınlarından korunmak için gölgeleme stratejileri de düşünülmelidir. Gölgeleme ve doğal aydınlatma stratejileri, yapının tasarım aşamasından başlayarak iç mekan bilgisi, iklim verisi, çevresel koşullar, yapının formu ve yönelimi gibi parametreler göz önünde bulundurularak kapsamlı bir şekilde oluşturulması aydınlatma tasarımının performansını güçlendirecektir.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen gölgeleme elemanlarının performans verisine dair daha kapsamlı sonuçlar elde etmek için, farklı iklim ve gökyüzü koşulları altında aydınlık

düzeyine ve görsel konfora olan etkilerini test eden ileri çalışmalar yapılabilir. Benzer bir biçimde çevresel faktörler sabit tutularak, kullanılan elemanların yansıtıcılık ve kırıcılık parametreleri farklılaştırılarak elde edilen bulgular bu çalışmada elde edilenlerle karşılaştırmalı olarak incelenebilir. Ayrıca farklı iklim ve gökyüzü koşulları altında gerçekleştirilen çalışmaların yalnızca aşırı ısınma döneminde değil, yıl boyunca görsel konfor ve aydınlık düzeyine etkileri irdelenerek cephede kullanılan gölgeleme elemanlarının daha kapsamlı bir verisi de elde edilebilir.

Son olarak, bu tez çalışmasında ele alınan ve irdelenen başlıkların yalnızca derin ofis alanlarında değil tüm mimari iç mekanların tasarımında ön planda tutulması gerektiği ve işlevlerine göre farklılaşmış alanlarda standartlara uygun düzenlemeler ve tasarımlar düşünülmesi gerektiğinin vurgulanmasında fayda vardır.

KAYNAKLAR

- Aizlewood, M. (1993). Innovative daylighting systems: An experimental evaluation. *Lighting Research & Technology*, (14)4.
- Allen, M., Wolfgang, S., Montgomery, C., Lee, A., Murray, B., & Rosenthal, S. (2008). *Elements of daylighting*. Norfolk: Clark Nexsen Architecture and Engineering.
- Al-Obaidi, K., Munaaim, M., Ismail, M., & Rahman, A. (2017). Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings. *Solar Energy*, 85-101.
- Altınkoç, Y. (2005). Büro binaları tasarımında temel ilkeler ve iç mekân organizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Amundadottir, M., Lockley, S., & Andersen, M. (2017). Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health. *Light Research & Technology*, 49(6), 673-696.
- Amundadottir, M., Rockcastle, S., Khanie, M., & Andersen, M. (2017). A human-centric approach to assess daylight in buildings for non-visual health potential, visual interest and gaze behavior. *Building and Environment*, 113, 5-21.
- Arendt, J., & Middleton, B. (2018). Human seasonal and circadian studies in Antarctica (Halley, 75 S). *General and Comparative Endocrinology*, 250-258.
- Ayoub, M. (2020). A review on light transport algorithms and simulation tools to model daylighting inside buildings. *Solar Energy*, 198, 623-642.
- Baker, N., & Steemers, K. (2003). *Energy and environment in architecture: a technical design guide*. London: Taylor & Francis.
- Berman, S., & Clear, R. (2014). Implications of the Relationship between S/P and Melanopic Efficiency: Illum Eng. Soc Conference report.
- Berman, S., & Clear, R. (2019). A practical metric for melanopic metrology. *Lighting Research & Technology*, 51(8), 1178-1191.

- Boubekri, M. (2008). *Daylighting, architecture and health: building design strategies*. Routledge.
- Boyce, P. (2014). *Human factors in lighting, third ed.* Taylor&Francis.
- Cajochen, C., Zeitner, J., Czeisler, C., & Dijk, D.-J. (2000). Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. *Behavioural Brain Research*, 75-83.
- Capeluto, I. (2003). The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. *Building and Environment*, 38, 745-752.
- Chellappa, S., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., & Cajochen, C. (2011). Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? *PLoS one*, 6(1).
- Chen, X., Zhang, X., & Du, J. (2019). Glazing type (colour and transmittance), daylighting, and human performances at a workspace: A full-scale experiment in Beijing. *Building and Environment*, 153: 168-185.
- Christoffersen, J. (1995). Daylighting utilisation in office buildings. *Ph. D. Dissertation*. Danish Building Research Institute.
- CIE. (1932). *Commission internationale de l'eclairage proceedings, 1931*. Cambridge: Cambridge University.
- CIE, S. (2018). 026/E: 2018 CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipEGC-Influenced Responses to Light. Vienna: CIE.
- CIE-008/E. (2002). Lighting of indoor working places. *International Standard*. CIE Central Bureau.
- Courret, G. (1996). Anidolic zenithal openings: daylighting and shading. *Lighting Research and Technology* 28(1), 11-17.
- Courret, G. (1999). Systèmes anidoliques d'éclairage naturel. (No. *THESIS*). EPFL.
- Cupkova, D., Kajati, E., Mocnej, J., Papcun, P., Koziorek, J., & Zolotova, I. (2019). Intelligent human-centric lighting for mental wellbeing improvement. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(9), 1550147719875878.

- Çete, N. (2004). Çalışma ortamlarında verimliliğin artırılmasının büro mekânlarıyla ilişkilendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. YTÜ FBE, İstanbul.
- Daich, S., Zammouri, N., Morello, E., Piga, B., Saadi, M., & Daiche, A. (2017). Assessment of anidolic integrated ceiling effects in interior daylight quality under real sky conditions. *Energy Procedia*, 122, 811-816.
- DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., & Steffy, G. (2011). *The lighting handbook 10th edition: reference and application*. Illuminating Engineering Society of North America.
- Do, C., & Chan, Y.-C. (2020). Evaluation of the effectiveness of a multi-sectional facade with Venetian blinds and roller shades with automated shading control strategies. *Solar Energy*, 212, 241-257.
- Doğrusoy, I., & Türeyen, M. (2007). A field study on determination of preferences for window in office environments. *Building and Environment*, 42(10), 3660-3668.
- EN 12464-1. (2011). Lighting of work places - part 1: indoor work places. *European Standard*. European Committee for Standardization.
- Enezi, J., Revell, V., Brown, T., Wynne, J., Schlangen, L., & Lucas, R. (2011). A "melanopic" spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights. *Journal of Biological Rhythms*, 26(4), 314-323.
- Figueiro, M., Kalsher, M., Steverson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., & Rae, M. (2019). Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers. *Lighting Research & Technology*, 51(2), 171-183.
- Galabov, B. (2019). Experimental study of LED luminaire for Human Centric Lighting. *11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)* (s. 1-4). IEEE.
- Giang, D., La, T., Tien, T., Duong, P., & Tong, Q. (2020). A simple designed lens for human centric lighting using LEDs. *Applied Sciences*, 10(1), 343.
- Grasshopper. (2021, 02 28). Grasshopper3d: <https://www.grasshopper3d.com/> adresinden alındı

- Halonen, L., Tetri, E., & Bhusal, P. (2010). *Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings*. Espoo, Finland: Department of Electrical Engineering.
- Heschung, L. (1999). *Daylighting in schools: An investigations into the relationship between daylighting and human performance*.
- Holographical optical elements (HOE) for high efficient illumination, solar contral and PV power in buildings*. (2020, Nisan 9). Energy and Climate Change Division Sustainable Energy Research Group: <http://www.energy.soton.ac.uk/holographical-optical-elements-hoe/> adresinden alındı
- Honeybee*. (2021, 28 02). Ladybug Tools: <https://www.ladybug.tools/honeybee.html> adresinden alındı
- Impact of Light on Human Beings. (2014). *licht.wissen*, 7.
- International WELL Building Institute. (2018, Şubat 02). The WELL Building Standard.
- İstanbul'un İklimi*. (2021, 02 28). İklim İstanbul: <https://www.iklim.istanbul/iklim/#:~:text=%C4%B0stanbul%20ili%2C%20yazlar%C4%B1%20s%C4%B1cak%20ve,ger%C3%A7ekle%C5%9Fti%C4%9Fi%20bir%20b%C3%B6lgede%20yer%20al%C4%B1r>. adresinden alındı
- James, P., & Bahaj, A. (2005). Holographic optical elements: various principles for solar control of conservatories and sunrooms. *Solar Energy*, 78(3), 441-454.
- Johnson, R., Connell, D., Selkowitz, S., & Arasteh, D. (1985). Advanced optical materials for daylighting in office buildings. *10th National Passive Solar Conference*. Raleigh, NC, USA.
- Jones, P., Alexander, D., Marsh, A., & Burnett, J. (2004). Evaluation of methods for Modelling daylight and sunlight in high rise Hong Kong residential buildings. *Indoor and Built Environment*, 13(4), 249-258.
- Jung, B., & Inanici, M. (2019). Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. *Lighting Research & Technology*(51(5)), 742-763.
- Karolina, Z.-D. (2019). Human Centric Lighting: The New X Factor? *ARC Lighting in Architecture*, 081-086.

- Kontadakis, A., Tsangrassoulis, A., Doulos, L., & Zerefos, S. (2018). A review of light shelf designs for daylit environments. *Sustainability*, 71.
- Krarti, M., Erickson, P., & Hillman, T. (2005). A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building and Environment*, 40(6), 747-754.
- Kutlu, R., Yener, A., Manav, B., & Küçükdoğu, M. (2012). Daylight analysis and lighting energy management for schools in hot-temperate climates. *A| Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*(9(1), 149-164).
- Küller, R. (2002). The influence of light on circarhythms in humans. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, s. 21(2), 87-91.
- Kwok, A., & Grondzik, W. (2007). *The green studio handbook*. UK: Elsevier Inc.
- Lee, D., Cho, Y.-H., & Jo, J.-H. (2021). Assessment of control strategy of adaptive façades for heating, cooling, lighting energy conservation and glare prevention. *Energy and Buildings*, 235, 110739.
- Leech, J., Nelson, W., Burnett, R., Aaron, S., & Raizenne, M. (2002). It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 12(6), 427-432.
- Lucas, R., Peirson, S., Berson, D., Timothy, M., Cooper, H., Czeisler, C., . . . Brainard, G. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neuroscience*, 37(1), 1-9.
- Maamari, F., Andersen, M., Boer, J., Carroll, W., Dumortier, D., & Greenup, P. (2006). Experimental validation of simulation methods for bi-directional transmission properties at the daylighting performance level. *Energy and Buildings*, 878-889.
- Mashaly, I., Nassar, K., El-Henawy, S., Mohamed, M., Galal, O., Derwish, A., . . . Safwat, A. (2017). A prismatic daylight redirecting fenestration system for southern skies. *Renewable Energy*, 109, 202-212.
- McNeil, A., Lee, E., & Johnsson, J. (2017). Daylight performance of a microstructured prismatic window film in deep open plan offices. *Building and Environment*, 113, 280-297.

- Modaresnezhad, M. (2016). A comparative study of workstation partitions in an existing side-lit open plan office with daylight results using annual climate-based simulations. *Master of Science*. The Faculty of The Graduate School at The University of North Carolina.
- Molini, D., Montes, M., Balbuena, A., Botella, A., Pohl, W., Galan, T., & Bernabeu, E. (2013). Horizontal daylighting system for office buildings. *Energy and Buildings*, 67, 525-530.
- Molteni, S., Courret, G., Paule, B., Michel, L., & Scartezzini, J. (2001). Design of anidolic zenithal lightguides for daylighting of underground spaces. *Solar Energy*, 69, 117-129.
- Nicolantonio, M., Rossi, E., Deli, A., & Marano, A. (2020). The human centric lighting approach for the design of age-friendly products. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-20.
- Nikolova, K., Petrinska, I., Ivanov, D., & Pavlov, D. (2019). Investigation of the Photobiological Risk from Blue Light of a Human-Centric Lighting System-Case Study. *11th Electrical Engineering Faculty Conference* (s. 1-4). IEEE.
- Ochoa, C. E., & Capetulo, I. G. (2006). Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates. *Building and Environment*, 41(8), 1128-1135.
- Palma Santos, S. (2009, Ekim). Advanced daylighting systems: comparative study of prismatic panels, laser-cut panels and channel panels. *Yüksek Lisans Tezi*. Universidade Tecnica de Lisboa Instituto Superior Tecnico, Lizbon.
- Papatsimpa, C., Bonarius, J., & Linnartz, J.-P. (2020). Human Centric IoT Lighting Control based on Personalized Biological Clock Estimations. *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (s. 1-6). IEEE.
- Parsaee, M., Demers, C., Hébert, M., Lalonde, J.-F., & Potvin, A. (2020). Biophilic, photobiological and energy-efficient design framework of adaptive building façades for Northern Canada. *Indoor and Built Environment*, 1420326X20903082.

- Parsaee, M., Demers, C., Lalonde, J.-F., Potvin, A., Inanici, M., & Hébert, M. (2020). Human-centric lighting performance of shading panels in architecture: A benchmarking study with lab scale physical models under real skies. *Solar Energy*, 354-368.
- Pauley, S. (2004). Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses*, 63(4), 588-596.
- Potočník, J., & Mitja, K. (2020). Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office. *Building and Environment*, 171, 106627.
- Prasartkaew, B., & Ngernplabpla, A. (2013). Experimental investigation on the intensity efficiency of a solar heliostat system. *Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies (AEDCEE)*. Bangkok, Thailand.
- Rae, M., Figueiro, M., Bierman, A., & Hammer, R. (2012). Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research & Technology*, 44(4), 386-396.
- Rahman, S., Hilaire, M., & Lockley, S. (2017). The effects of spectral tuning of evening ambient light on melatonin suppression, alertness and sleep. *Physiology & Behavior*, 177, 221-229.
- Raynham, P. (2012). *The SLL code for lighting*. The Society of Lighting and Light.
- Refinetti, R. (2016). *Circadian Physiology*. New York: CRC Press.
- Reinhart, C. (2002). Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. *Proceedings of the 2002 American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE) Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 3, 309-322.
- Reinhart, C. F., & Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard—A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment*, 46(2), 386-396.
- Reinhart, C., & Galasiu, A. (2008). Current daylighting design practice: a survey. *Building Research & Information*, 36(2), 159-174.
- Reinhart, C., Jakubiec, J., & Ibarra, D. (2013). Definition of a reference office for standardized evaluations of dynamic façade and lighting technologies. *BS2013*:

- 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, (s. 3645-3652). France.
- Roshan, M., & Barau, A. (2016). Assessing anidolic daylighting system for efficient daylight in open plan office in the tropics. *Journal of Building Engineering*, 8, 58-69.
- Ruck, N., Aschehoug, O., Chirstoffersen, J., Jakobiak, R., Johnsen, K., Lee, E., & Selkowitz, S. (2001). *Daylighting in Buildings: A source book on daylighting systems and components*.
- Russart, K., & Nelson, R. (2018). Light at night as an environmental endocrine disruptor. *Physiology & Behavior*, 190, 82-89.
- Samton, G. (2006). *Manual for quality, energy efficient lighting*. USA: New York City Department of Design & Construction.
- Scartezzini, J.-L., & Courret, G. (2002). Anidolic daylighting systems. *Solar Energy*, (2)123-135.
- Schlangen, L. (2019). *CIE position statement on non-visual effects of light: recommending proper light at the proper time*. Vienna: CIE Central Bureau.
- Seiferlein, W., & Kohlert, C. (2018). *Die Vernetzten Gesundheitsrelevanten Faktoren Für Bürogebäude*. Wiesbaden, Germany: Springer.
- Solar resource maps of Turkey*. (2021, 03 07). Solargis: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey> adresinden alındı
- Solartran: Laser Cut Panel*. (2020, Mart 31). Solartran Web sitesi: <http://www.solartran.com.au/lasercutpanel.htm> adresinden alındı
- Specifier*. (2020, Nisan 7). Specifier Web sitesi: <https://specifier.com.au/products/doors-windows/pyramid-skylight/> adresinden alındı
- Stojanoff, C. (2002). Holographic optical elements for window shading in buildings. *Holography*, 13, 5.
- Tabanlıoğlu Mimarlık Arşivi. (2021). İstanbul.
- Tedeschi, A. (2011). *Parametric architecture with Grasshopper®: primer*. Le Penseur.

- Tregenza, P., & Wilson, M. (2013). *Daylighting: architecture and lighting design*. Routledge.
- Tsang, E., Kocifaj, M., Li, D., Kundracik, F., & Mohelnikova, J. (2018). Straight light pipes' daylighting: A case study for different climatic zones. *Solar Energy*, 170, 56-63.
- Tuğlu Karşlı, H. (2008). Sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde ofis yapılarının değerlendirilmesi ve çevresel performans analizi için bir model önerisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye Güneş Radyasyon Dağılımı*. (2021, 03 07). Meteoroloji Genel Müdürlüğü: https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=istanbul adresinden alındı
- Ullah, I. (2019). Heliostats daylighting system for multi-floor buildings. *Journal of Daylighting*, 6(2), 202-209.
- Van Bommel, W., & Van den Beld, G. (2004). Lighting for work: a review of visual and biological effects. *Lighting Research & Technology*, 36(4), 255-266.
- Vasilakopoulou, K., Kolokotsa, D., Santamouris, M., Kousis, I., Asproulis, H., & Giannarakis, I. (2017). Analysis of the experimental performance of light pipes. *Energy and Buildings*, 151, 242-249.
- Veitch, J. (2005). Light, lighting, and health: issues for consideration. *Light & Engineering*, 4, 6-13.
- Warrier, G., & Raphael, B. (2017). Performance evaluation of light shelves. *Energy and Buildings*, 140, 19-27.
- Willis, D., Braham, W. W., Muramoto, K., & Barber, D. A. (2016). *Energy accounts: Architectural representations of energy, climate, and the future*. Routledge.
- Yao, J. (2020). The uncertainty of manual shade control on west-facing facades and its influence on energy performance. *Applied Thermal Engineering*, 165, 114611.
- Yoon, S., Lee, K., Cha, J., Mariappan, V., Lee, M., Deok Gun Woo, & Kim, J. (2020). Indoor Surveillance Camera based Human Centric Lighting Control for Smart

Building Lighting Management. *International Journal of Advanced Culture Technology*, 8(1), 207-212.

Zhang, X., Muneer, T., & Kubie, J. (2002). A design guide for performance assessment of solar light-pipes. *Lighting Research & Technology* 34(2), 149-168.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Uçman TAN

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : 2018, KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller : Almanca, İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

İŞ DENEYİMİ

Stajlar :2015, Stajyer Mimar, Eryavuz İnşaat. 2016, Asistan Mimar, Stefan Morgenstern Event Design. 2017, Stajyer Mimar, Kentsel Strateji.

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar : 2018, Mimar, Mimartzi Mimarlık. 2020, Mimar, Miryap Kentsel Tasarım Mimarlık.

Tarih: 10 Mayıs 2021

EK 1. Simülasyonlarda kullanılan doğal aydınlatma elemanlarının mekân içinde görünüşleri



Işık rafı kullanımı



Prizmatik panel kullanımı



Lazer kesim panel kullanımı



Güneş yönlendirici cam kullanımı

EK 2. M/P oranları

YATAY JALUZİ																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Mayıs	7	08:00	0	164	148	121	27184,37	26938,07	1811	23566,89	0,87	123	112	90	20424,51	20314,80	1815	17663,74	0,87
Mayıs	7	11:00	0	168	153	124	27929,42	27762,42	1814	24244,31	0,87	126	114	93	20903,58	20731,85	1812	18130,73	0,87
Mayıs	7	14:00	0	161	152	136	27575,13	27449,49	1816	25474,40	0,93	110	102	87	18561,19	18463,64	1815	16632,57	0,90
Mayıs	7	17:00	0	156	152	146	27404,90	27328,22	1817	26558,16	0,97	91	86	80	15681,76	15561,67	1813	14744,57	0,95
Mayıs	14	08:00	0	162	147	119	26884,31	26700,02	1813	23278,90	0,87	120	109	88	19916,45	19789,40	1814	17235,32	0,87
Mayıs	14	11:00	0	173	157	128	28737,54	28525,87	1813	24960,73	0,88	128	116	95	21261,62	21089,85	1812	18488,73	0,88
Mayıs	14	14:00	0	165	156	141	28320,20	28177,09	1815	26298,98	0,93	112	104	89	18919,23	18821,64	1815	16990,57	0,90
Mayıs	14	17:00	0	164	160	153	28808,05	28748,62	1818	27881,58	0,97	92	87	80	15831,78	15729,07	1814	14814,99	0,94
Mayıs	21	08:00	0	162	147	119	26884,31	26700,02	1813	23278,90	0,87	121	110	89	20095,47	19968,40	1814	17414,32	0,87
Mayıs	21	11:00	0	171	155	128	28437,50	28191,07	1812	24819,89	0,88	129	117	96	21440,64	21268,85	1812	18667,73	0,88
Mayıs	21	14:00	0	172	162	146	29457,35	29286,94	1814	27264,81	0,93	115	107	92	19456,28	19358,64	1815	17527,57	0,91
Mayıs	21	17:00	0	172	168	162	30269,19	30192,22	1818	29422,16	0,97	93	89	82	16097,77	16039,62	1817	15172,58	0,95
Haziran	7	08:00	0	162	147	119	26884,31	26700,02	1813	23278,90	0,87	123	111	90	20366,53	20194,85	1812	17593,73	0,87
Haziran	7	11:00	0	169	152	125	27992,49	27701,52	1810	24283,30	0,88	125	114	93	20811,54	20684,40	1814	18130,32	0,88
Haziran	7	14:00	0	167	156	138	28417,29	28237,20	1814	25974,06	0,92	113	104	89	19011,27	18869,09	1813	16990,98	0,90
Haziran	7	17:00	0	163	160	154	28745,00	28712,76	1819	27989,75	0,97	92	88	80	15889,76	15849,02	1818	14885,00	0,94
Haziran	14	08:00	0	162	146	119	26826,34	26580,07	1811	23208,89	0,87	119	108	87	19737,44	19610,40	1820	17056,32	0,87
Haziran	14	11:00	0	172	156	126	28529,52	28335,27	1813	24673,15	0,87	130	118	96	21590,66	21436,25	1813	18738,15	0,87
Haziran	14	14:00	0	164	154	136	27967,21	27831,74	1815	25615,65	0,92	113	104	89	19011,27	18869,09	1813	16990,98	0,90
Haziran	14	17:00	0	161	156	149	28184,02	28080,07	1816	27165,99	0,97	96	91	83	16518,85	16433,47	1815	15422,41	0,94
Haziran	21	08:00	0	163	148	120	27063,33	26879,02	1813	23457,90	0,87	121	109	89	20037,49	19848,45	1811	17344,31	0,87
Haziran	21	11:00	0	169	153	125	28050,46	27821,47	1812	24353,31	0,88	130	118	96	21590,66	21436,25	1813	18738,15	0,87
Haziran	21	14:00	0	167	157	140	28533,26	28380,34	1815	26261,23	0,93	112	104	89	18919,23	18821,64	1815	16990,57	0,90
Haziran	21	17:00	0	157	152	145	27467,94	27364,07	1816	26449,99	0,97	91	86	78	15623,76	15538,47	1815	14527,41	0,93
Temmuz	7	08:00	0	160	144	117	26468,30	26222,07	1811	22850,89	0,87	120	109	87	19887,45	19777,80	1815	17126,74	0,87
Temmuz	7	11:00	0	172	155	127	28500,54	28226,92	1811	24711,72	0,88	127	116	94	21140,58	21030,80	1815	18379,74	0,87
Temmuz	7	14:00	0	169	158	140	28775,32	28595,20	1814	26332,06	0,92	115	105	89	19253,33	19083,94	1812	17061,81	0,89
Temmuz	7	17:00	0	162	157	149	28334,04	28247,47	1817	27236,41	0,96	91	87	79	15710,74	15670,02	1818	14706,00	0,94
Temmuz	14	08:00	0	163	148	121	27092,33	26890,62	1813	23566,48	0,88	120	109	88	19916,45	19789,40	1814	17235,32	0,87
Temmuz	14	11:00	0	169	154	125	28108,44	27941,42	1814	24423,31	0,87	128	117	95	21319,60	21209,80	1815	18558,74	0,88
Temmuz	14	14:00	0	167	156	139	28446,29	28248,80	1813	26082,64	0,92	115	106	90	19340,31	19215,49	1814	17240,40	0,90
Temmuz	14	17:00	0	170	165	159	29824,17	29702,67	1816	28885,57	0,97	94	90	82	16247,79	16207,02	1818	15243,00	0,94
Temmuz	21	08:00	0	164	148	121	27184,37	26938,07	1811	23566,89	0,87	125	113	91	20695,57	20541,25	1813	17843,15	0,87
Temmuz	21	11:00	0	169	153	125	28050,46	27821,47	1812	24353,31	0,88	125	113	92	20724,57	20552,85	1812	17951,73	0,87
Temmuz	21	14:00	0	174	165	148	29873,36	29764,89	1816	27692,82	0,93	116	107	92	19548,32	19406,09	1813	17527,98	0,90
Temmuz	21	17:00	0	160	156	150	28120,97	28044,22	1817	27274,16	0,97	94	89	82	16189,82	16087,07	1814	15172,99	0,94
Ağustos	7	08:00	0	161	147	119	26792,27	26652,56	1815	23278,48	0,87	121	110	89	20095,47	19968,40	1814	17414,32	0,87
Ağustos	7	11:00	0	169	153	125	28050,46	27821,47	1812	24353,31	0,88	127	115	94	21082,60	20910,85	1812	18309,73	0,88
Ağustos	7	14:00	0	164	154	137	27996,21	27843,34	1815	25724,23	0,92	113	104	89	19011,27	18869,09	1813	16990,98	0,90

EK 2 devam

YATAY JALUZİ																				
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2	
Ağustos	7	17:00	0	160	155	148	28005,00	27901,07	1816	26986,99	0,97	92	88	81	15918,76	15860,62	1816	14993,58	0,95	
Ağustos	14	08:00	0	162	147	119	26884,31	26700,02	1813	23278,90	0,87	122	110	89	20187,51	20015,85	1812	17414,73	0,87	
Ağustos	14	11:00	0	171	155	127	28408,50	28179,47	1812	24711,31	0,88	133	121	98	22098,71	21961,65	1814	19166,57	0,87	
Ağustos	14	14:00	0	166	156	139	28354,24	28201,34	1815	26082,23	0,92	115	106	92	19398,30	19238,69	1812	17457,57	0,91	
Ağustos	14	17:00	0	174	171	167	30772,19	30704,96	1818	30175,91	0,98	92	89	82	16005,73	15992,16	1819	15172,17	0,95	
Ağustos	21	08:00	0	160	145	118	26555,28	26353,62	1813	23029,48	0,87	120	109	89	19945,45	19801,00	1813	17343,90	0,88	
Ağustos	21	11:00	0	170	154	126	28229,48	28000,47	1812	24532,31	0,88	128	117	96	21348,60	21221,40	1814	18667,32	0,88	
Ağustos	21	14:00	0	165	156	140	28291,20	28165,49	1816	26190,40	0,93	110	102	88	18590,19	18475,23	1814	16741,15	0,91	
Ağustos	21	17:00	0	165	161	156	29045,06	28950,82	1817	28277,74	0,98	91	87	81	15768,74	15693,22	1815	14923,16	0,95	
Mayıs	7	08:00	2	135	122	100	22398,77	22199,71	1811	19454,56	0,88	102	92	74	16868,10	16733,74	1812	14517,65	0,87	
Mayıs	7	11:00	2	159	145	119	26492,23	26317,76	1814	23137,65	0,88	118	107	87	19587,42	19443,00	1820	16985,90	0,87	
Mayıs	7	14:00	2	151	142	125	25755,95	25647,89	1816	23575,82	0,92	102	94	80	17158,05	17043,23	1814	15309,15	0,90	
Mayıs	7	17:00	2	144	138	128	24966,74	24870,73	1816	23618,66	0,95	94	89	80	16131,82	16063,87	1816	14955,83	0,93	
Mayıs	14	08:00	2	138	126	103	22993,80	22856,65	1814	20061,57	0,88	106	96	79	17613,17	17461,34	1812	15342,23	0,88	
Mayıs	14	11:00	2	157	143	117	26134,20	25959,76	1814	22779,65	0,88	119	108	87	19737,44	19610,40	1814	17056,32	0,87	
Mayıs	14	14:00	2	151	141	124	25668,98	25516,34	1814	23397,23	0,92	106	97	82	17758,14	17616,09	1812	15737,98	0,89	
Mayıs	14	17:00	2	141	136	127	24545,66	24476,87	1817	23368,83	0,95	90	84	75	15328,77	15216,32	1813	14061,24	0,92	
Mayıs	21	08:00	2	137	125	103	22843,78	22689,25	1814	19991,15	0,88	104	94	76	17226,14	17091,74	1813	14875,65	0,87	
Mayıs	21	11:00	2	155	141	115	25776,16	25601,76	1813	22421,65	0,88	119	108	88	19766,43	19622,00	1813	17164,90	0,87	
Mayıs	21	14:00	2	146	136	118	24744,89	24609,74	1815	22393,65	0,91	103	95	80	17308,06	17210,64	1815	15379,57	0,89	
Mayıs	21	17:00	2	146	141	132	25440,75	25371,87	1817	24263,83	0,96	91	85	76	15507,79	15395,32	1813	14240,24	0,92	
Haziran	7	08:00	2	143	130	107	23801,92	23620,11	1813	20777,98	0,88	106	96	77	17555,17	17438,14	1814	15125,07	0,87	
Haziran	7	11:00	2	155	141	116	25805,16	25613,36	1813	22530,23	0,88	116	105	85	19229,38	19085,00	1813	16627,90	0,87	
Haziran	7	14:00	2	155	144	126	26269,07	26089,20	1813	23826,06	0,91	109	100	85	18295,20	18153,09	1813	16274,98	0,90	
Haziran	7	17:00	2	138	132	121	23863,64	23785,13	1817	22436,07	0,94	90	84	74	15299,77	15204,73	1814	13952,66	0,92	
Haziran	14	08:00	2	144	131	107	23951,94	23787,51	1813	20848,40	0,88	109	98	80	18034,25	17855,20	1811	15592,06	0,87	
Haziran	14	11:00	2	152	139	114	25355,08	25207,91	1814	22171,82	0,88	115	104	84	19050,36	18906,00	1813	16448,90	0,87	
Haziran	14	14:00	2	155	144	126	26269,07	26089,20	1813	23826,06	0,91	111	102	86	18624,23	18499,49	1814	16524,40	0,89	
Haziran	14	17:00	2	150	144	135	26069,85	25956,32	1816	24801,24	0,96	91	85	75	15478,79	15383,73	1814	14131,66	0,92	
Haziran	21	08:00	2	135	123	102	22514,75	22342,85	1813	19741,73	0,88	102	93	76	16984,07	16876,89	1814	14804,82	0,88	
Haziran	21	11:00	2	156	142	117	25984,18	25792,36	1813	22709,23	0,88	119	108	88	19766,43	19622,00	1813	17164,90	0,87	
Haziran	21	14:00	2	151	141	124	25668,98	25516,34	1814	23397,23	0,92	103	95	81	17337,06	17222,23	1814	15488,15	0,90	
Haziran	21	17:00	2	134	128	116	23118,57	23057,53	1817	21611,49	0,94	90	84	73	15270,78	15193,13	1815	13844,07	0,91	
Temmuz	7	08:00	2	136	123	101	22577,79	22378,71	1812	19633,56	0,88	103	93	76	17076,12	16924,34	1811	14805,23	0,87	
Temmuz	7	11:00	2	160	145	119	26584,27	26365,21	1812	23138,06	0,88	119	108	87	19737,44	19610,40	1814	17056,32	0,87	
Temmuz	7	14:00	2	150	140	124	25518,96	25348,94	1814	23326,81	0,92	104	95	80	17400,11	17258,09	1812	15379,98	0,89	
Temmuz	7	17:00	2	142	135	124	24492,73	24369,58	1815	22973,49	0,94	91	85	74	15449,79	15372,13	1815	14023,07	0,91	
Temmuz	14	08:00	2	142	129	105	23593,90	23429,51	1815	20490,40	0,87	104	94	76	17226,14	17091,74	1813	14875,65	0,87	
Temmuz	14	11:00	2	155	141	115	25776,16	25601,76	1814	22421,65	0,88	117	106	86	19408,40	19264,00	1813	16806,90	0,87	
Temmuz	14	14:00	2	156	145	127	26448,09	26268,20	1813	24005,06	0,91	106	97	81	17729,14	17604,49	1813	15629,40	0,89	

EK 2 devam

YATAY JALUZİ																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Temmuz	14	17:00	2	138	132	121	23863,64	23785,13	1817	22436,07	0,94	90	84	73	15270,78	15193,13	1815	13844,07	0,91
Temmuz	21	08:00	2	140	127	105	23293,86	23094,71	1812	20349,56	0,88	105	94	77	17347,18	17150,80	1809	14984,64	0,87
Temmuz	21	11:00	2	154	140	114	25597,14	25422,76	1813	22242,65	0,87	118	107	86	19558,42	19431,40	1814	16877,32	0,87
Temmuz	21	14:00	2	156	147	131	26680,04	26554,49	1815	24579,40	0,93	107	98	83	17937,16	17795,09	1812	15916,98	0,89
Temmuz	21	17:00	2	152	146	136	26398,88	26302,73	1816	25050,66	0,95	91	85	75	15478,79	15383,73	1814	14131,66	0,92
Ağustos	7	08:00	2	145	131	107	24043,98	23834,96	1812	20848,81	0,87	109	100	81	18179,20	18106,69	1816	15840,66	0,87
Ağustos	7	11:00	2	156	142	117	25984,18	25792,36	1813	22709,23	0,88	117	106	87	19437,40	19275,60	1812	16915,48	0,88
Ağustos	7	14:00	2	156	146	128	26535,07	26399,74	1815	24183,65	0,92	107	98	84	17966,16	17806,69	1812	16025,57	0,90
Ağustos	7	17:00	2	139	133	123	24071,65	23975,73	1816	22723,66	0,95	92	86	76	15657,81	15562,73	1814	14310,66	0,92
Ağustos	14	08:00	2	142	129	105	23593,90	23429,51	1813	20490,40	0,87	107	97	80	17792,19	17640,34	1812	15521,23	0,88
Ağustos	14	11:00	2	158	144	118	26313,21	26138,76	1814	22958,65	0,88	117	106	86	19408,40	19264,00	1813	16806,90	0,87
Ağustos	14	14:00	2	154	144	128	26235,03	26064,94	1814	24042,81	0,92	104	96	81	17487,08	17389,64	1815	15558,57	0,89
Ağustos	14	17:00	2	143	137	128	24816,72	24703,32	1816	23548,24	0,95	87	81	71	14762,72	14667,73	1814	13415,66	0,91
Ağustos	21	08:00	2	143	130	107	23801,92	23620,11	1813	20777,98	0,88	106	96	78	17584,17	17449,74	1813	15233,65	0,87
Ağustos	21	11:00	2	161	147	123	26908,26	26698,96	1813	23712,81	0,89	117	106	86	19408,40	19264,00	1813	16806,90	0,87
Ağustos	21	14:00	2	155	145	130	26443,04	26255,54	1813	24330,40	0,93	102	93	79	17071,07	16911,69	1811	15130,57	0,89
Ağustos	21	17:00	2	144	138	129	24995,74	24882,32	1816	23727,24	0,95	89	83	73	15120,76	15025,73	1814	13773,66	0,92

IŞIK RAFI																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Mayıs	7	08:00	0	118	113	105	20457,25	20371,47	1816	19360,41	0,95	91	84	73	15362,82	15240,58	1812	13844,49	0,91
Mayıs	7	11:00	0	132	126	116	22818,53	22722,73	1816	21470,66	0,94	97	91	80	16523,90	16446,13	1815	15097,07	0,92
Mayıs	7	14:00	0	157	154	148	27670,89	27638,76	1819	26915,75	0,97	103	98	91	17800,98	17698,07	1814	16783,99	0,95
Mayıs	7	17:00	0	154	152	150	27336,81	27279,71	1818	26991,66	0,99	110	108	105	19431,02	19392,11	1818	19007,08	0,98
Mayıs	14	08:00	0	119	114	105	20607,27	20538,87	1817	19430,83	0,95	90	84	73	15270,78	15193,13	1815	13844,07	0,91
Mayıs	14	11:00	0	131	125	117	22697,50	22566,92	1814	21508,82	0,95	98	91	80	16615,94	16493,58	1813	15097,49	0,92
Mayıs	14	14:00	0	156	152	146	27404,90	27328,22	1817	26558,16	0,97	101	97	89	17500,92	17460,02	1818	16496,00	0,94
Mayıs	14	17:00	0	155	154	151	27573,80	27578,66	1820	27240,67	0,99	112	110	106	19760,06	19738,51	1819	19256,50	0,98
Mayıs	21	08:00	0	118	112	103	20341,27	20228,32	1815	19073,24	0,94	91	85	74	15449,79	15372,13	1815	14023,07	0,91
Mayıs	21	11:00	0	134	128	118	23176,56	23080,73	1816	21828,66	0,95	96	90	79	16344,88	16267,13	1815	14918,07	0,92
Mayıs	21	14:00	0	155	151	145	27225,88	27149,22	1817	26379,16	0,97	102	97	89	17592,96	17507,47	1815	16496,41	0,94
Mayıs	21	17:00	0	150	148	146	26620,74	26563,71	1818	26275,66	0,99	109	106	103	19165,03	19081,56	1816	18649,49	0,98
Haziran	7	08:00	0	120	114	105	20699,31	20586,32	1815	19431,24	0,94	91	84	73	15362,82	15240,58	1812	13844,49	0,91
Haziran	7	11:00	0	133	126	116	22910,57	22770,18	1814	21471,07	0,94	97	91	80	16523,90	16446,13	1815	15097,07	0,92
Haziran	7	14:00	0	150	147	141	26417,77	26385,76	1819	25662,75	0,97	101	97	89	17500,92	17460,02	1818	16496,00	0,94
Haziran	7	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	107	105	101	18864,97	18843,51	1819	18361,50	0,97
Haziran	14	08:00	0	120	114	105	20699,31	20586,32	1815	19431,24	0,94	88	81	70	14825,76	14703,58	1812	13307,49	0,91
Haziran	14	11:00	0	132	126	117	22847,52	22734,32	1815	21579,24	0,95	96	90	79	16344,88	16267,13	1815	14918,07	0,92
Haziran	14	14:00	0	158	154	148	27762,94	27686,22	1817	26916,16	0,97	102	96	88	17505,99	17375,92	1813	16317,82	0,94

EK 2 devam

IŞIK RAFI																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Hazi ran	14	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	108	106	102	19043,99	19022,51	1819	18540,50	0,97
Hazi ran	21	08:00	0	118	113	103	20399,25	20348,27	1818	19143,24	0,94	90	84	73	15270,78	15193,13	1815	13844,07	0,91
Hazi ran	21	11:00	0	132	126	116	22818,53	22722,73	1816	21470,66	0,94	98	92	81	16702,92	16625,13	1816	15276,07	0,92
Hazi ran	21	14:00	0	152	148	142	26688,83	26612,22	1817	25842,16	0,97	100	95	87	17234,93	17149,47	1815	16138,41	0,94
Hazi ran	21	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	108	105	102	18986,01	18902,56	1816	18470,49	0,98
Tenmuz	7	08:00	0	118	112	103	20341,27	20228,32	1815	19073,24	0,94	87	81	70	14733,72	14656,13	1815	13307,07	0,91
Tenmuz	7	11:00	0	131	124	114	22552,53	22412,18	1814	21113,07	0,94	96	89	78	16257,91	16135,58	1813	14739,49	0,91
Tenmuz	7	14:00	0	154	150	144	27046,86	26970,22	1817	26200,16	0,97	102	97	89	17592,96	17507,47	1815	16496,41	0,94
Tenmuz	7	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	108	105	102	18986,01	18902,56	1816	18470,49	0,98
Tenmuz	14	08:00	0	115	109	101	19833,22	19702,92	1814	18644,82	0,95	89	82	71	15004,78	14882,58	1812	13486,49	0,91
Tenmuz	14	11:00	0	129	123	113	22281,47	22185,73	1816	20933,66	0,94	94	88	76	15957,85	15897,53	1816	14451,49	0,91
Tenmuz	14	14:00	0	154	150	143	27017,87	26958,62	1818	26091,58	0,97	103	98	90	17771,98	17686,47	1815	16675,41	0,94
Tenmuz	14	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	104	102	97	18298,92	18294,91	1820	17715,92	0,97
Tenmuz	21	08:00	0	117	112	102	20220,23	20169,27	1818	18964,24	0,94	88	82	72	14941,74	14846,73	1814	13594,66	0,92
Tenmuz	21	11:00	0	132	126	116	22818,53	22722,73	1816	21470,66	0,94	96	89	78	16257,91	16135,58	1813	14739,49	0,91
Tenmuz	21	14:00	0	154	150	144	27046,86	26970,22	1817	26200,16	0,97	103	98	89	17742,98	17674,87	1816	16566,83	0,94
Tenmuz	21	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	108	106	102	19043,99	19022,51	1819	18540,50	0,97
Ağustos	7	08:00	0	116	110	101	19983,24	19870,32	1815	18715,24	0,94	87	81	71	14762,72	14667,73	1814	13415,66	0,91
Ağustos	7	11:00	0	131	124	114	22552,53	22412,18	1814	21113,07	0,94	99	93	82	16881,94	16804,13	1816	15455,07	0,92
Ağustos	7	14:00	0	155	152	146	27312,86	27280,76	1819	26557,75	0,97	103	98	90	17771,98	17686,47	1815	16675,41	0,94
Ağustos	7	17:00	0	159	157	154	28202,90	28163,11	1819	27778,08	0,99	112	110	107	19789,06	19750,11	1818	19365,08	0,98
Ağustos	14	08:00	0	120	114	105	20699,31	20586,32	1815	19431,24	0,94	87	81	71	14762,72	14667,73	1814	13415,66	0,91
Ağustos	14	11:00	0	129	123	113	22281,47	22185,73	1816	20933,66	0,94	99	93	82	16881,94	16804,13	1816	15455,07	0,92
Ağustos	14	14:00	0	155	151	146	27254,88	27160,82	1817	26487,74	0,98	103	98	90	17771,98	17686,47	1815	16675,41	0,94
Ağustos	14	17:00	0	149	148	145	26499,70	26504,66	1820	26166,67	0,99	112	110	107	19789,06	19750,11	1818	19365,08	0,98
Ağustos	21	08:00	0	119	114	105	20607,27	20538,87	1817	19430,83	0,95	88	82	73	14970,74	14858,32	1813	13703,24	0,92
Ağustos	21	11:00	0	132	126	117	22847,52	22734,32	1815	21579,24	0,95	97	90	79	16436,93	16314,58	1813	14918,49	0,91
Ağustos	21	14:00	0	158	154	149	27791,93	27697,82	1817	27024,74	0,98	103	98	91	17800,98	17698,07	1814	16783,99	0,95
Ağustos	21	17:00	0	148	146	144	26262,70	26205,71	1818	25917,66	0,99	110	108	105	19431,02	19392,11	1818	19007,08	0,98
Mayıs	7	08:00	2	135	132	127	23761,50	23712,36	1818	23086,33	0,97	82	77	70	14041,60	13939,07	1813	13024,99	0,93
Mayıs	7	11:00	2	159	155	148	27912,96	27853,62	1818	26986,58	0,97	96	90	82	16431,88	16301,92	1812	15243,82	0,94
Mayıs	7	14:00	2	198	196	192	35155,60	35132,51	1820	34650,50	0,99	102	98	93	17766,93	17673,82	1815	17000,74	0,96
Mayıs	7	17:00	2	181	179	178	32199,29	32124,31	1818	31933,24	0,99	95	93	90	16745,75	16707,11	1818	16322,08	0,98
Mayıs	14	08:00	2	135	132	128	23790,50	23723,96	1817	23194,91	0,98	82	78	70	14099,58	14059,02	1817	13095,00	0,93
Mayıs	14	11:00	2	156	153	147	27491,88	27459,76	1819	26736,75	0,97	97	91	82	16581,90	16469,32	1813	15314,24	0,93
Mayıs	14	14:00	2	191	189	185	33902,47	33879,51	1819	33397,50	0,99	102	98	92	17737,93	17662,22	1816	16892,16	0,96
Mayıs	14	17:00	2	179	178	176	31899,23	31886,25	1820	31645,25	0,99	96	93	90	16837,80	16754,56	1815	16322,49	0,97
Mayıs	21	08:00	2	132	128	124	23166,47	23055,41	1815	22479,32	0,98	79	74	67	13504,55	13402,07	1813	12487,99	0,93
Mayıs	21	11:00	2	158	154	148	27762,94	27686,22	1817	26916,16	0,97	96	91	82	16489,86	16421,87	1816	15313,83	0,93
Mayıs	21	14:00	2	198	196	192	35155,60	35132,51	1819	34650,50	0,99	99	95	89	17200,88	17125,22	1816	16355,16	0,96

EK 2 devam

IŞIK RAFI																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRaRGB-1	YRaRGB-1	KELVIN-1	EMLRaRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRaRGB-2	YRaRGB-2	KELVIN-2	EMLRaRGB-2	M/P Oranı -2
Mayıs	21	17:00	2	178	177	175	31720,21	31707,25	1820	31466,25	0,99	98	96	93	17282,81	17244,11	1818	16859,08	0,98
Haziran	7	08:00	2	134	131	126	23582,48	23533,36	1818	22907,33	0,97	83	78	71	14220,62	14118,07	1813	13203,99	0,94
Haziran	7	11:00	2	150	146	139	26301,79	26242,62	1818	25375,58	0,97	98	92	82	16731,92	16636,73	1815	15384,66	0,92
Haziran	7	14:00	2	191	189	185	33902,47	33879,51	1819	33397,50	0,99	100	96	89	17350,90	17292,62	1817	16425,58	0,95
Haziran	7	17:00	2	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	94	92	88	16537,74	16516,51	1819	16034,50	0,97
Haziran	14	08:00	2	133	130	125	23403,46	23354,36	1818	22728,33	0,97	75	71	63	12846,45	12806,02	1817	11842,00	0,92
Haziran	14	11:00	2	155	152	146	27312,86	27280,76	1819	26557,75	0,97	95	89	79	16194,86	16099,73	1814	14847,66	0,92
Haziran	14	14:00	2	196	193	190	34739,59	34654,56	1818	34222,49	0,99	100	96	89	17350,90	17292,62	1817	16425,58	0,95
Haziran	14	17:00	2	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	97	95	92	17103,79	17065,11	1818	16680,08	0,98
Haziran	21	08:00	2	132	129	124	23224,44	23175,36	1818	22549,33	0,97	77	72	65	13146,51	13044,07	1812	12129,99	0,93
Haziran	21	11:00	2	151	147	141	26509,81	26433,22	1817	25663,16	0,97	96	90	81	16402,88	16290,32	1813	15135,24	0,93
Haziran	21	14:00	2	188	185	181	33278,44	33210,96	1818	32681,91	0,98	102	98	91	17708,94	17650,62	1817	16783,58	0,95
Haziran	21	17:00	2	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	97	95	91	17074,79	17053,51	1819	16571,50	0,97
Temmuz	7	08:00	2	133	130	126	23432,46	23365,96	1817	22836,91	0,98	77	73	65	13204,49	13164,02	1817	12200,00	0,93
Temmuz	7	11:00	2	150	147	141	26417,77	26385,76	1819	25662,75	0,97	93	87	78	15865,83	15753,32	1813	14598,24	0,93
Temmuz	7	14:00	2	187	185	181	33186,40	33163,51	1819	32681,50	0,99	98	94	88	17021,86	16946,22	1816	16176,16	0,95
Temmuz	7	17:00	2	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	97	95	91	17074,79	17053,51	1819	16571,50	0,97
Temmuz	14	08:00	2	133	130	125	23403,46	23354,36	1818	22728,33	0,97	79	74	66	13475,55	13390,47	1814	12379,41	0,92
Temmuz	14	11:00	2	151	147	140	26480,81	26421,62	1818	25554,58	0,97	95	90	80	16281,84	16231,27	1817	15026,24	0,93
Temmuz	14	14:00	2	193	191	188	34289,51	34249,11	1819	33864,08	0,99	98	94	87	16992,86	16934,62	1817	16067,58	0,95
Temmuz	14	17:00	2	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	97	95	92	17103,79	17065,11	1818	16680,08	0,98
Temmuz	21	08:00	2	134	130	126	23524,50	23413,41	1815	22837,32	0,98	78	74	66	13383,51	13343,02	1817	12379,00	0,93
Temmuz	21	11:00	2	155	151	144	27196,88	27137,62	1818	26270,58	0,97	94	88	78	16015,85	15920,73	1814	14668,66	0,92
Temmuz	21	14:00	2	186	183	180	32949,41	32864,56	1818	32432,49	0,99	98	94	88	17021,86	16946,22	1816	16176,16	0,95
Temmuz	21	17:00	2	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	97	95	92	17103,79	17065,11	1818	16680,08	0,98
Ağustos	7	08:00	2	143	140	137	25251,64	25167,56	1817	24735,49	0,98	79	75	68	13591,52	13533,62	1816	12666,58	0,94
Ağustos	7	11:00	2	158	154	149	27791,93	27697,82	1817	27024,74	0,98	97	92	83	16668,87	16600,87	1816	15492,83	0,93
Ağustos	7	14:00	2	193	191	187	34260,51	34237,51	1819	33755,50	0,99	100	96	90	17379,90	17304,22	1816	16534,16	0,96
Ağustos	7	17:00	2	180	179	177	32078,25	32065,25	1820	31824,25	0,99	102	100	96	17969,88	17948,51	1819	17466,50	0,97
Ağustos	14	08:00	2	137	134	130	24148,53	24081,96	1817	23552,91	0,98	80	75	69	13712,56	13592,67	1812	12775,57	0,94
Ağustos	14	11:00	2	160	157	151	28207,95	28175,76	1819	27452,75	0,97	94	89	80	16131,82	16063,87	1816	14955,83	0,93
Ağustos	14	14:00	2	199	197	193	35334,62	35311,51	1819	34829,50	0,99	101	97	91	17558,92	17483,22	1816	16713,16	0,96
Ağustos	14	17:00	2	174	173	171	31004,14	30991,25	1820	30750,25	0,99	98	96	92	17253,81	17232,51	1819	16750,50	0,97
Ağustos	21	08:00	2	140	137	132	24656,59	24607,36	1820	23981,33	0,97	81	76	69	13862,58	13760,07	1813	12845,99	0,93
Ağustos	21	11:00	2	164	160	155	28866,04	28771,82	1817	28098,74	0,98	98	93	84	16847,89	16779,87	1816	15671,83	0,93
Ağustos	21	14:00	2	196	194	190	34797,56	34774,51	1819	34292,50	0,99	100	97	91	17466,87	17435,76	1818	16712,75	0,96
Ağustos	21	17:00	2	177	176	174	31541,20	31528,25	1820	31287,25	0,99	104	102	99	18356,92	18318,11	1818	17933,08	0,98

EK 2 devam

PRİZMATİK PANEL																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Mayıs	7	08:00	0	109	104	96	18846,09	18760,47	1816	17749,41	0,95	85	78	67	14288,71	14166,58	1812	12770,49	0,90
Mayıs	7	11:00	0	110	104	93	18851,13	18773,13	1816	17424,07	0,93	90	83	71	15154,80	15049,98	1813	13556,91	0,90
Mayıs	7	14:00	0	138	133	127	24095,60	23974,67	1815	23157,57	0,97	99	94	86	17055,91	16970,47	1815	15959,41	0,94
Mayıs	7	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	103	101	98	18177,90	18139,11	1818	17754,08	0,98
Mayıs	14	08:00	0	109	103	92	18672,12	18594,13	1816	17245,07	0,93	86	80	68	14525,71	14465,53	1816	13019,49	0,90
Mayıs	14	11:00	0	110	104	93	18851,13	18773,13	1816	17424,07	0,93	91	84	71	15304,82	15217,38	1815	13627,32	0,90
Mayıs	14	14:00	0	136	132	127	23853,54	23759,82	1816	23086,74	0,97	97	92	84	16697,87	16612,47	1815	15601,41	0,94
Mayıs	14	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	103	100	97	18090,92	18007,56	1816	17575,49	0,98
Mayıs	21	08:00	0	109	103	95	18759,11	18628,92	1813	17570,82	0,94	84	77	66	14109,69	13987,58	1812	12591,49	0,90
Mayıs	21	11:00	0	110	104	94	18880,13	18784,73	1815	17532,66	0,93	91	83	71	15246,84	15097,43	1811	13557,32	0,90
Mayıs	21	14:00	0	135	131	126	23674,52	23580,82	1816	22907,74	0,97	97	92	83	16668,87	16600,87	1816	15492,83	0,93
Mayıs	21	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	102	100	96	17969,88	17948,51	1819	17466,50	0,97
Haziran	7	08:00	0	106	101	93	18309,03	18223,47	1816	17212,41	0,94	84	78	66	14167,67	14107,53	1816	12661,49	0,90
Haziran	7	11:00	0	108	102	92	18522,10	18426,73	1815	17174,66	0,93	88	81	68	14767,77	14680,38	1814	13090,32	0,89
Haziran	7	14:00	0	135	131	124	23616,53	23557,62	1818	22690,58	0,96	96	91	82	16489,86	16421,87	1816	15313,83	0,93
Haziran	7	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	103	101	97	18148,90	18127,51	1819	17645,50	0,97
Haziran	14	08:00	0	108	103	94	18638,07	18569,87	1816	17461,83	0,94	84	77	65	14080,69	13975,98	1813	12482,91	0,89
Haziran	14	11:00	0	111	106	96	19146,13	19095,27	1817	17890,24	0,94	90	83	70	15125,80	15038,38	1814	13448,32	0,89
Haziran	14	14:00	0	135	131	124	23616,53	23557,62	1818	22690,58	0,96	96	90	81	16402,88	16290,32	1813	15135,24	0,93
Haziran	14	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	104	101	97	18240,94	18174,96	1817	17645,91	0,97
Haziran	21	08:00	0	108	102	93	18551,09	18438,32	1814	17283,24	0,94	85	78	66	14259,71	14154,98	1813	12661,91	0,89
Haziran	21	11:00	0	108	102	92	18522,10	18426,73	1815	17174,66	0,93	88	81	68	14767,77	14680,38	1814	13090,32	0,89
Haziran	21	14:00	0	137	133	127	24003,56	23927,22	1817	23157,16	0,97	96	90	80	16373,88	16278,73	1814	15026,66	0,92
Haziran	21	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	102	99	96	17911,90	17828,56	1816	17396,49	0,98
Temmuz	7	08:00	0	107	102	93	18459,05	18390,87	1816	17282,83	0,94	82	75	64	13751,66	13629,58	1812	12233,49	0,90
Temmuz	7	11:00	0	109	103	92	18672,12	18594,13	1816	17245,07	0,93	89	82	69	14946,79	14859,38	1814	13269,32	0,89
Temmuz	7	14:00	0	133	128	121	23171,51	23068,07	1816	22153,99	0,96	97	91	82	16581,90	16469,32	1813	15314,24	0,93
Temmuz	7	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	102	100	96	17969,88	17948,51	1819	17466,50	0,97
Temmuz	14	08:00	0	107	102	93	18459,05	18390,87	1816	17282,83	0,94	85	78	67	14288,71	14166,58	1812	12770,49	0,90
Temmuz	14	11:00	0	108	102	91	18493,10	18415,13	1816	17066,07	0,93	89	81	68	14859,81	14727,83	1812	13090,74	0,89
Temmuz	14	14:00	0	133	129	124	23316,49	23222,82	1816	22549,74	0,97	97	91	82	16581,90	16469,32	1813	15314,24	0,93
Temmuz	14	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	101	98	94	17703,89	17637,96	1816	17108,91	0,97
Temmuz	21	08:00	0	107	101	91	18343,08	18247,73	1815	16995,66	0,93	83	76	65	13930,68	13808,58	1812	12412,49	0,90
Temmuz	21	11:00	0	108	102	93	18551,09	18438,32	1814	17283,24	0,94	90	82	70	15067,83	14918,43	1811	13378,32	0,90
Temmuz	21	14:00	0	133	129	122	23258,49	23199,62	1818	22332,58	0,96	98	92	84	16789,91	16659,92	1813	15601,82	0,94
Temmuz	21	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	102	99	95	17882,91	17816,96	1816	17287,91	0,97
Ağustos	7	08:00	0	111	107	100	19320,10	19261,62	1817	18394,58	0,95	83	76	65	13930,68	13808,58	1812	12412,49	0,90
Ağustos	7	11:00	0	112	105	94	19122,19	18999,58	1814	17603,49	0,93	90	83	70	15125,80	15038,38	1814	13448,32	0,89
Ağustos	7	14:00	0	138	134	129	24211,58	24117,82	1816	23444,74	0,97	98	93	85	16876,89	16791,47	1815	15780,41	0,94
Ağustos	7	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	104	102	98	18327,92	18306,51	1819	17824,50	0,97

EK 2 devam

PRİZMATİK PANEL																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı - 1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı - 2
Ağustos	14	08:00	0	109	105	97	18933,06	18892,02	1818	17928,00	0,95	81	75	64	13659,62	13582,13	1815	12233,07	0,90
Ağustos	14	11:00	0	111	106	97	19175,12	19106,87	1817	17998,83	0,94	90	83	70	15125,80	15038,38	1814	13448,32	0,89
Ağustos	14	14:00	0	138	135	130	24298,55	24249,36	1818	23623,33	0,97	98	93	85	16876,89	16791,47	1815	15780,41	0,94
Ağustos	14	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	104	102	98	18327,92	18306,51	1819	17824,50	0,97
Ağustos	21	08:00	0	112	107	98	19354,14	19285,87	1817	18177,83	0,94	85	79	69	14404,68	14309,73	1814	13057,66	0,91
Ağustos	21	11:00	0	113	107	97	19417,19	19321,73	1815	18069,66	0,94	91	83	71	15246,84	15097,43	1811	13557,32	0,90
Ağustos	21	14:00	0	139	135	129	24361,60	24285,22	1817	23515,16	0,97	99	94	86	17055,91	16970,47	1815	15959,41	0,94
Ağustos	21	17:00	0	255	255	255	45649,56	45645,00	1820	45645,00	1,00	105	102	99	18448,96	18365,56	1816	17933,49	0,98
Mayıs	7	08:00	2	120	116	112	21018,25	20907,41	1815	20331,32	0,97	74	69	60	12551,46	12483,87	1815	11375,83	0,91
Mayıs	7	11:00	2	132	128	121	23079,47	23020,62	1818	22153,58	0,96	89	82	71	15004,78	14882,58	1812	13486,49	0,91
Mayıs	7	14:00	2	166	164	160	29427,03	29404,51	1819	28922,50	0,98	92	88	80	15889,76	15849,02	1818	14885,00	0,94
Mayıs	7	17:00	2	223	222	221	39805,02	39773,85	1819	39629,83	1,00	94	92	89	16566,74	16528,11	1818	16143,08	0,98
Mayıs	14	08:00	2	120	116	111	20989,25	20895,82	1819	20222,74	0,97	76	71	63	12938,50	12853,47	1814	11842,41	0,92
Mayıs	14	11:00	2	129	125	118	22542,42	22483,62	1817	21616,58	0,96	86	80	69	14554,70	14477,13	1815	13128,07	0,91
Mayıs	14	14:00	2	166	164	160	29427,03	29404,51	1819	28922,50	0,98	92	88	82	15947,75	15872,22	1815	15102,16	0,95
Mayıs	14	17:00	2	230	229	228	41058,14	41026,85	1819	40882,83	1,00	88	85	82	15405,65	15322,56	1815	14890,49	0,97
Mayıs	21	08:00	2	119	116	109	20839,22	20825,16	1819	20005,17	0,96	77	72	63	13088,52	13020,87	1815	11912,83	0,91
Mayıs	21	11:00	2	130	126	119	22721,44	22662,62	1818	21795,58	0,96	88	82	71	14912,74	14835,13	1815	13486,07	0,91
Mayıs	21	14:00	2	162	160	156	28710,96	28688,51	1819	28206,50	0,98	90	85	78	15473,74	15371,07	1814	14456,99	0,94
Mayıs	21	17:00	2	232	231	229	41387,18	41373,25	1820	41132,25	0,99	88	85	81	15376,65	15310,96	1816	14781,91	0,97
Haziran	7	08:00	2	116	112	106	20244,18	20168,22	1816	19398,16	0,96	76	71	62	12909,50	12841,87	1815	11733,83	0,91
Haziran	7	11:00	2	126	121	113	21889,39	21803,47	1816	20792,41	0,95	89	82	71	15004,78	14882,58	1812	13486,49	0,91
Haziran	7	14:00	2	171	169	166	30351,11	30311,11	1819	29926,08	0,99	92	88	80	15889,76	15849,02	1818	14885,00	0,94
Haziran	7	17:00	2	234	233	231	41745,22	41731,25	1820	41490,25	0,99	92	90	86	16179,70	16158,51	1819	15676,50	0,97
Haziran	14	08:00	2	113	109	103	19707,13	19631,22	1816	18861,16	0,96	73	67	58	12285,47	12173,32	1811	11018,24	0,91
Haziran	14	11:00	2	127	123	116	22184,38	22125,62	1817	21258,58	0,96	87	80	69	14646,75	14524,58	1812	13128,49	0,90
Haziran	14	14:00	2	162	160	155	28681,96	28676,91	1820	28097,92	0,98	92	87	79	15802,78	15717,47	1815	14706,41	0,94
Haziran	14	17:00	2	237	236	235	42311,27	42279,85	1819	42135,83	1,00	86	87	83	15366,52	15479,15	1827	15138,26	0,98
Haziran	21	08:00	2	115	111	105	20065,17	19989,22	1816	19219,16	0,96	75	70	62	12759,48	12674,47	1814	11663,41	0,92
Haziran	21	11:00	2	122	117	109	21173,32	21087,47	1816	20076,41	0,95	86	79	67	14438,73	14333,98	1813	12840,91	0,90
Haziran	21	14:00	2	172	170	167	30530,13	30490,11	1819	30105,08	0,99	91	86	78	15623,76	15538,47	1815	14527,41	0,93
Haziran	21	17:00	2	238	237	236	42490,29	42458,85	1819	42314,83	1,00	89	85	81	15468,70	15358,41	1813	14782,32	0,96
Temmuz	7	08:00	2	115	111	106	20094,16	20000,82	1816	19327,74	0,97	74	69	60	12551,46	12483,87	1815	11375,83	0,91
Temmuz	7	11:00	2	129	124	116	22426,44	22340,47	1816	21329,41	0,95	89	82	70	14975,78	14870,98	1813	13377,91	0,90
Temmuz	7	14:00	2	158	155	151	27907,91	27840,96	1818	27311,91	0,98	92	88	80	15889,76	15849,02	1818	14885,00	0,94
Temmuz	7	17:00	2	239	238	237	42669,30	42637,85	1819	42493,83	1,00	86	83	78	14989,62	14941,36	1817	14315,33	0,96
Temmuz	14	08:00	2	119	115	111	20839,23	20728,41	1815	20152,32	0,97	72	66	58	12135,45	12005,92	1810	10947,82	0,91
Temmuz	14	11:00	2	126	121	113	21889,39	21803,47	1816	20792,41	0,95	86	80	68	14525,71	14465,53	1816	13019,49	0,90
Temmuz	14	14:00	2	162	160	156	28710,96	28688,51	1819	28206,50	0,98	91	86	79	15652,76	15550,07	1814	14635,99	0,94
Temmuz	14	17:00	2	237	236	234	42282,27	42268,25	1820	42027,25	0,99	89	86	82	15555,67	15489,96	1816	14960,91	0,97

EK 2 devam

PRİZMATİK PANEL																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Temmuz	21	08:00	2	117	113	107	20423,20	20347,22	1816	19577,16	0,96	75	70	61	12730,48	12662,87	1815	11554,83	0,91
Temmuz	21	11:00	2	129	124	117	22455,44	22352,07	1816	21437,99	0,96	86	79	68	14467,73	14345,58	1812	12949,49	0,90
Temmuz	21	14:00	2	164	161	157	28982,02	28914,96	1818	28385,91	0,98	95	90	83	16368,83	16266,07	1814	15351,99	0,94
Temmuz	21	17:00	2	231	230	228	41208,16	41194,25	1820	40953,25	0,99	88	85	81	15376,65	15310,96	1816	14781,91	0,97
Ağustos	7	08:00	2	120	117	113	21105,23	21038,96	1817	20509,91	0,97	75	70	61	12730,48	12662,87	1815	11554,83	0,91
Ağustos	7	11:00	2	128	123	117	22305,42	22184,67	1815	21367,57	0,96	86	80	70	14583,70	14488,73	1814	13236,66	0,91
Ağustos	7	14:00	2	164	162	158	29068,99	29046,51	1819	28564,50	0,98	93	88	81	16010,80	15908,07	1814	14993,99	0,94
Ağustos	7	17:00	2	233	232	231	41595,20	41563,85	1819	41419,83	1,00	91	88	85	15942,71	15859,56	1815	15427,49	0,97
Ağustos	14	08:00	2	120	116	111	20989,25	20895,82	1816	20222,74	0,97	73	69	60	12459,42	12436,42	1818	11375,41	0,91
Ağustos	14	11:00	2	136	132	126	23824,54	23748,22	1817	22978,16	0,97	86	80	70	14583,70	14488,73	1814	13236,66	0,91
Ağustos	14	14:00	2	171	169	165	30322,12	30299,51	1819	29817,50	0,98	95	91	84	16455,81	16397,62	1817	15530,58	0,95
Ağustos	14	17:00	2	220	220	218	39325,94	39356,80	1821	39162,84	1,00	92	90	86	16179,70	16158,51	1819	15676,50	0,97
Ağustos	21	08:00	2	123	120	116	21642,28	21575,96	1817	21046,91	0,98	76	71	62	12909,50	12841,87	1815	11733,83	0,91
Ağustos	21	11:00	2	134	130	124	23466,51	23390,22	1817	22620,16	0,97	87	81	71	14762,72	14667,73	1814	13415,66	0,91
Ağustos	21	14:00	2	166	164	160	29427,03	29404,51	1819	28922,50	0,98	92	88	81	15918,76	15860,62	1816	14993,58	0,95
Ağustos	21	17:00	2	225	224	223	40163,05	40131,85	1819	39987,83	1,00	94	92	89	16566,74	16528,11	1818	16143,08	0,98

LAZER KESİM PANEL																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K- 1	Y- 1	M- 1	XRadRGB- 1	YRadRGB- 1	KELVIN- 1	EMLRadRGB- 1	M/ P Oranı - 1	K- 1	Y- 1	M- 1	XRadRGB- 2	YRadRGB- 2	KELVIN- 2	EMLRadRGB- 2	M/ P Oranı - 2
Mayıs	7	08:00	0	97	90	78	16407,93	16302,98	1814	14809,91	0,91	82	74	61	13606,69	13474,83	1811	11837,74	0,88
Mayıs	7	11:00	0	97	89	75	16262,96	16148,23	1813	14414,15	0,89	89	81	67	14830,81	14716,23	1813	12982,15	0,88
Mayıs	7	14:00	0	128	124	117	22363,40	22304,62	1817	21437,58	0,96	99	93	83	16910,94	16815,73	1815	15563,66	0,93
Mayıs	7	17:00	0	154	152	149	27307,81	27268,11	1819	26883,08	0,99	94	91	86	16421,76	16373,36	1817	15747,33	0,96
Mayıs	14	08:00	0	98	92	81	16702,92	16625,13	1816	15276,07	0,92	83	75	61	13756,70	13642,23	1812	11908,15	0,87
Mayıs	14	11:00	0	100	92	79	16829,01	16696,83	1812	15059,74	0,90	90	82	69	15038,83	14906,83	1812	13269,74	0,89
Mayıs	14	14:00	0	124	120	112	21618,33	21577,02	1818	20613,00	0,96	98	91	81	16644,94	16505,18	1812	15206,07	0,92
Mayıs	14	17:00	0	160	158	156	28410,92	28353,71	1818	28065,66	0,99	97	94	89	16958,82	16910,36	1817	16284,33	0,96
Mayıs	21	08:00	0	96	89	77	16228,91	16123,98	1814	14630,91	0,91	84	76	62	13935,72	13821,23	1812	12087,15	0,87
Mayıs	21	11:00	0	102	94	81	17187,04	17054,83	1813	15417,74	0,90	91	82	68	15101,87	14942,69	1810	13161,57	0,88
Mayıs	21	14:00	0	123	118	110	21352,34	21266,47	1816	20255,41	0,95	97	91	81	16552,90	16457,73	1814	15205,66	0,92
Mayıs	21	17:00	0	158	156	153	28023,88	27984,11	1819	27599,08	0,99	95	91	86	16513,81	16420,82	1815	15747,74	0,96
Haziran	7	08:00	0	94	87	74	15841,88	15754,38	1815	14164,32	0,90	85	77	63	14114,74	14000,23	1812	12266,15	0,88
Haziran	7	11:00	0	100	92	80	16858,01	16708,43	1812	15168,32	0,91	88	80	65	14622,80	14525,64	1814	12694,57	0,87
Haziran	7	14:00	0	124	120	111	21589,33	21565,42	1819	20504,41	0,95	97	91	81	16552,90	16457,73	1814	15205,66	0,92
Haziran	7	17:00	0	188	186	184	33423,42	33365,71	1818	33077,66	0,99	96	92	87	16692,82	16599,82	1815	15926,74	0,96
Haziran	14	08:00	0	99	93	81	16852,94	16792,53	1817	15346,49	0,91	84	76	62	13935,72	13821,23	1812	12087,15	0,87
Haziran	14	11:00	0	99	91	77	16620,99	16506,23	1813	14772,15	0,89	89	81	67	14830,81	14716,23	1813	12982,15	0,88
Haziran	14	14:00	0	125	121	113	21797,35	21756,02	1818	20792,00	0,96	97	90	80	16465,92	16326,18	1812	15027,07	0,92
Haziran	14	17:00	0	151	148	145	26683,78	26599,56	1817	26167,49	0,98	93	89	83	16126,77	16051,22	1815	15281,16	0,95

EK 2 devam

LAZER KESİ M PANEL																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Hazi ran	21	08:00	0	102	95	84	17332,02	17209,58	1813	15813,49	0,92	82	75	61	13664,66	13594,78	1815	11907,74	0,88
Hazi ran	21	11:00	0	100	93	81	16944,98	16839,98	1814	15346,91	0,91	91	82	68	15101,87	14942,69	1810	13161,57	0,88
Hazi ran	21	14:00	0	123	118	109	21323,34	21254,87	1817	20146,83	0,95	97	90	80	16465,92	16326,18	1812	15027,07	0,92
Hazi ran	21	17:00	0	154	151	148	27220,83	27136,56	1817	26704,49	0,98	94	91	85	16392,77	16361,76	1818	15638,75	0,96
Tenmuz	7	08:00	0	97	90	79	16436,93	16314,58	1813	14918,49	0,91	82	74	61	13606,69	13474,83	1811	11837,74	0,88
Tenmuz	7	11:00	0	98	91	77	16528,95	16458,78	1816	14771,74	0,90	89	81	67	14830,81	14716,23	1813	12982,15	0,88
Tenmuz	7	14:00	0	123	118	110	21352,34	21266,47	1816	20255,41	0,95	95	89	78	16165,87	16088,13	1815	14739,07	0,92
Tenmuz	7	17:00	0	148	146	142	26204,71	26182,51	1819	25700,50	0,98	94	91	85	16392,77	16361,76	1818	15638,75	0,96
Tenmuz	14	08:00	0	97	90	78	16407,93	16302,98	1814	14809,91	0,91	84	76	63	13964,72	13832,83	1811	12195,74	0,88
Tenmuz	14	11:00	0	100	92	78	16800,01	16685,23	1813	14951,15	0,90	90	82	68	15009,83	14895,23	1813	13161,15	0,88
Tenmuz	14	14:00	0	123	118	110	21352,34	21266,47	1816	20255,41	0,95	97	91	81	16552,90	16457,73	1814	15205,66	0,92
Tenmuz	14	17:00	0	191	189	187	33960,47	33902,71	1818	33614,66	0,99	93	89	84	16155,77	16062,82	1814	15389,74	0,96
Tenmuz	21	08:00	0	97	90	78	16407,93	16302,98	1814	14809,91	0,91	82	74	60	13577,69	13463,23	1812	11729,15	0,87
Tenmuz	21	11:00	0	102	95	83	17303,02	17197,98	1814	15704,91	0,91	87	80	66	14559,75	14489,78	1815	12802,74	0,88
Tenmuz	21	14:00	0	122	117	109	21173,32	21087,47	1816	20076,41	0,95	97	91	80	16523,90	16446,13	1815	15097,07	0,92
Tenmuz	21	17:00	0	146	143	139	25759,69	25692,96	1818	25163,91	0,98	96	92	87	16692,82	16599,82	1815	15926,74	0,96
Ağustos	7	08:00	0	97	90	78	16407,93	16302,98	1814	14809,91	0,91	82	74	61	13606,69	13474,83	1811	11837,74	0,88
Ağustos	7	11:00	0	101	94	81	17095,00	17007,38	1815	15417,32	0,91	90	82	68	15009,83	14895,23	1813	13161,15	0,88
Ağustos	7	14:00	0	126	121	114	21918,39	21815,07	1815	20900,99	0,96	98	92	82	16731,92	16636,73	1815	15384,66	0,92
Ağustos	7	17:00	0	173	171	168	30709,15	30669,11	1819	30284,08	0,99	96	92	87	16692,82	16599,82	1815	15926,74	0,96
Ağustos	14	08:00	0	96	90	79	16344,88	16267,13	1815	14918,07	0,92	81	73	61	13456,67	13307,43	1809	11767,32	0,88
Ağustos	14	11:00	0	103	96	83	17453,04	17365,38	1815	15775,32	0,91	90	82	68	15009,83	14895,23	1813	13161,15	0,88
Ağustos	14	14:00	0	124	120	112	21618,33	21577,02	1818	20613,00	0,96	97	91	81	16552,90	16457,73	1814	15205,66	0,92
Ağustos	14	17:00	0	164	162	160	29126,99	29069,71	1818	28781,66	0,99	96	93	89	16808,80	16742,96	1816	16213,91	0,97
Ağustos	21	08:00	0	99	93	82	16881,94	16804,13	1816	15455,07	0,92	83	76	64	13901,68	13796,98	1813	12303,91	0,89
Ağustos	21	11:00	0	102	95	82	17274,02	17186,38	1815	15596,32	0,91	89	81	68	14859,81	14727,83	1812	13090,74	0,89
Ağustos	21	14:00	0	126	121	114	21918,39	21815,07	1815	20900,99	0,96	98	92	83	16760,92	16648,32	1814	15493,24	0,93
Ağustos	21	17:00	0	168	166	164	29843,06	29785,71	1818	29497,66	0,99	96	93	89	16808,80	16742,96	1816	16213,91	0,97
Mayıs	7	08:00	2	90	85	76	15415,75	15347,87	1816	14239,83	0,93	72	65	54	11961,48	11839,58	1810	10443,49	0,88
Mayıs	7	11:00	2	99	93	81	16852,94	16792,53	1817	15346,49	0,91	84	77	64	14051,70	13964,38	1814	12374,32	0,89
Mayıs	7	14:00	2	111	107	100	19320,10	19261,62	1817	18394,58	0,95	89	83	74	15149,75	15037,32	1813	13882,24	0,92
Mayıs	7	17:00	2	132	130	127	23369,42	23330,11	1818	22945,08	0,98	79	76	70	13707,50	13676,76	1818	12953,75	0,95
Mayıs	14	08:00	2	88	83	73	15028,71	14978,27	1817	13773,24	0,92	73	67	56	12227,47	12150,13	1814	10801,07	0,89
Mayıs	14	11:00	2	94	88	75	15928,85	15885,93	1817	14342,91	0,90	83	75	62	13785,70	13653,83	1811	12016,74	0,88
Mayıs	14	14:00	2	118	114	107	20573,22	20514,62	1817	19647,58	0,96	86	80	71	14612,70	14500,32	1813	13345,24	0,92
Mayıs	14	17:00	2	130	128	124	22982,38	22960,51	1819	22478,50	0,98	79	75	69	13620,52	13545,22	1815	12775,16	0,94
Mayıs	21	08:00	2	90	84	75	15328,77	15216,32	1813	14061,24	0,92	73	66	54	12111,50	12006,98	1812	10513,91	0,88
Mayıs	21	11:00	2	101	94	82	17124,00	17018,98	1814	15525,91	0,91	85	77	64	14143,74	14011,83	1811	12374,74	0,88
Mayıs	21	14:00	2	113	109	101	19649,13	19608,02	1818	18644,00	0,95	85	79	69	14404,68	14309,73	1814	13057,66	0,91
Mayıs	21	17:00	2	134	133	129	23785,43	23808,06	1821	23373,09	0,98	77	73	67	13262,49	13187,22	1815	12417,16	0,94

EK 2 devam

LAZER KESİ M PANEL																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Hazi ran	7	08:00	2	89	84	75	15236,73	15168,87	1816	14060,83	0,93	72	65	54	11961,48	11839,58	1810	10443,49	0,88
Hazi ran	7	11:00	2	104	98	87	17777,03	17699,13	1816	16350,07	0,92	84	77	63	14022,70	13952,78	1815	12265,74	0,88
Hazi ran	7	14:00	2	113	109	102	19678,13	19619,62	1817	18752,58	0,96	84	79	69	14312,64	14262,27	1817	13057,24	0,92
Hazi ran	7	17:00	2	123	121	117	21729,26	21707,51	1819	21225,50	0,98	77	73	66	13233,49	13175,62	1816	12308,58	0,93
Hazi ran	14	08:00	2	86	81	71	14670,68	14620,27	1817	13415,24	0,92	72	65	54	11961,48	11839,58	1810	10443,49	0,88
Hazi ran	14	11:00	2	94	88	76	15957,85	15897,53	1816	14451,49	0,91	83	75	62	13785,70	13653,83	1811	12016,74	0,88
Hazi ran	14	14:00	2	120	115	109	20873,28	20752,67	1814	19935,57	0,96	84	78	68	14225,67	14130,73	1814	12878,66	0,91
Hazi ran	14	17:00	2	138	136	133	24443,52	24404,11	1818	24019,08	0,98	75	71	64	12875,45	12817,62	1816	11950,58	0,93
Hazi ran	21	08:00	2	86	80	71	14612,70	14500,32	1813	13345,24	0,92	71	64	53	11782,46	11660,58	1810	10264,49	0,88
Hazi ran	21	11:00	2	97	91	79	16494,90	16434,53	1816	14988,49	0,91	86	78	65	14322,76	14190,83	1811	12553,74	0,88
Hazi ran	21	14:00	2	112	108	100	19470,12	19429,02	1818	18465,00	0,95	87	82	72	14849,70	14799,27	1817	13594,24	0,92
Hazi ran	21	17:00	2	133	131	127	23519,44	23497,51	1819	23015,50	0,98	75	71	64	12875,45	12817,62	1816	11950,58	0,93
Temmuz	7	08:00	2	86	80	71	14612,70	14500,32	1813	13345,24	0,92	71	65	53	11840,44	11780,53	1815	10334,49	0,88
Temmuz	7	11:00	2	100	94	83	17060,96	16983,13	1816	15634,07	0,92	85	78	65	14230,71	14143,38	1814	12553,32	0,89
Temmuz	7	14:00	2	120	116	109	20931,26	20872,62	1817	20005,58	0,96	86	80	70	14583,70	14488,73	1814	13236,66	0,91
Temmuz	7	17:00	2	137	135	131	24235,51	24213,51	1819	23731,50	0,98	77	73	66	13233,49	13175,62	1816	12308,58	0,93
Temmuz	14	08:00	2	86	80	71	14612,70	14500,32	1813	13345,24	0,92	72	66	55	12048,45	11971,13	1814	10622,07	0,89
Temmuz	14	11:00	2	100	93	81	16944,98	16839,98	1814	15346,91	0,91	86	79	65	14380,73	14310,78	1815	12623,74	0,88
Temmuz	14	14:00	2	119	114	108	20694,26	20573,67	1814	19756,57	0,96	87	80	70	14675,74	14536,18	1811	13237,07	0,91
Temmuz	14	17:00	2	134	132	128	23698,45	23676,51	1819	23194,50	0,98	77	73	66	13233,49	13175,62	1816	12308,58	0,93
Temmuz	21	08:00	2	92	87	79	15802,78	15717,47	1815	14706,41	0,94	74	68	57	12406,49	12329,13	1814	10980,07	0,89
Temmuz	21	11:00	2	97	90	78	16407,93	16302,98	1814	14809,91	0,91	85	78	65	14230,71	14143,38	1814	12553,32	0,89
Temmuz	21	14:00	2	115	110	103	19949,19	19846,07	1815	18931,99	0,95	84	78	68	14225,67	14130,73	1814	12878,66	0,91
Temmuz	21	17:00	2	135	133	130	23906,47	23867,11	1818	23482,08	0,98	76	72	65	13054,47	12996,62	1816	12129,58	0,93
Ağustos	7	08:00	2	92	87	78	15773,78	15705,87	1816	14597,83	0,93	72	65	54	11961,48	11839,58	1810	10443,49	0,88
Ağustos	7	11:00	2	97	91	79	16494,90	16434,53	1816	14988,49	0,91	84	77	64	14051,70	13964,38	1814	12374,32	0,89
Ağustos	7	14:00	2	117	113	106	20394,20	20335,62	1817	19468,58	0,96	84	79	69	14312,64	14262,27	1817	13057,24	0,92
Ağustos	7	17:00	2	143	141	138	25338,61	25299,11	1818	24914,08	0,98	79	75	69	13620,52	13545,22	1815	12775,16	0,94
Ağustos	14	08:00	2	85	78	68	14317,71	14178,18	1811	12879,07	0,91	73	66	54	12111,50	12006,98	1812	10513,91	0,88
Ağustos	14	11:00	2	99	93	82	16881,94	16804,13	1816	15455,07	0,92	83	76	63	13872,68	13785,38	1814	12195,32	0,88
Ağustos	14	14:00	2	116	111	104	20128,21	20025,07	1815	19110,99	0,95	84	78	68	14225,67	14130,73	1814	12878,66	0,91
Ağustos	14	17:00	2	126	124	120	22266,31	22244,51	1819	21762,50	0,98	79	75	70	13649,52	13556,82	1813	12883,74	0,95
Ağustos	21	08:00	2	85	80	70	14491,66	14441,27	1817	13236,24	0,92	72	66	55	12048,45	11971,13	1814	10622,07	0,89
Ağustos	21	11:00	2	97	91	81	16552,90	16457,73	1814	15205,66	0,92	84	76	64	13993,72	13844,43	1810	12304,32	0,89
Ağustos	21	14:00	2	113	108	101	19591,16	19488,07	1815	18573,99	0,95	85	80	70	14491,66	14441,27	1817	13236,24	0,92
Ağustos	21	17:00	2	150	148	146	26620,74	26563,71	1818	26275,66	0,99	82	78	72	14157,58	14082,22	1815	13312,16	0,95

EK 2 devam

GÜNEŞ YÖNLENDİRİCİ CAM																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Mayıs	7	08:00	0	97	91	79	16494,90	16434,53	1816	14988,49	0,91	83	75	62	13785,70	13653,83	1811	12016,74	0,88
Mayıs	7	11:00	0	103	96	83	17453,04	17365,38	1815	15775,32	0,91	92	84	69	15338,87	15241,64	1814	13410,57	0,88
Mayıs	7	14:00	0	129	125	118	22542,42	22483,62	1817	21616,58	0,96	99	93	83	16910,94	16815,73	1815	15563,66	0,93
Mayıs	7	17:00	0	160	158	156	28410,92	28353,71	1818	28065,66	0,99	95	92	87	16600,78	16552,36	1817	15926,33	0,96
Mayıs	14	08:00	0	105	98	87	17869,07	17746,58	1813	16350,49	0,92	85	77	63	14114,74	14000,23	1812	12266,15	0,88
Mayıs	14	11:00	0	102	94	81	17187,04	17054,83	1813	15417,74	0,90	91	83	68	15159,85	15062,64	1814	13231,57	0,88
Mayıs	14	14:00	0	125	120	113	21739,37	21636,07	1815	20721,99	0,96	100	93	83	17002,98	16863,18	1812	15564,07	0,92
Mayıs	14	17:00	0	142	140	137	25159,60	25120,11	1818	24735,08	0,98	93	90	85	16242,75	16194,36	1817	15568,33	0,96
Mayıs	21	08:00	0	96	89	76	16199,91	16112,38	1815	14522,32	0,90	84	76	62	13935,72	13821,23	1812	12087,15	0,87
Mayıs	21	11:00	0	101	93	80	17008,03	16875,83	1813	15238,74	0,90	90	82	68	15009,83	14895,23	1813	13161,15	0,88
Mayıs	21	14:00	0	125	120	113	21739,37	21636,07	1815	20721,99	0,96	97	91	81	16552,90	16457,73	1814	15205,66	0,92
Mayıs	21	17:00	0	147	145	142	26054,69	26015,11	1819	25630,08	0,99	94	91	85	16392,77	16361,76	1818	15638,75	0,96
Haziran	7	08:00	0	99	91	79	16678,99	16529,43	1811	14989,32	0,91	86	78	64	14293,76	14179,23	1812	12445,15	0,88
Haziran	7	11:00	0	103	96	83	17453,04	17365,38	1815	15775,32	0,91	90	81	67	14922,85	14763,69	1810	12982,57	0,88
Haziran	7	14:00	0	124	119	111	21531,36	21445,47	1816	20434,41	0,95	96	90	80	16373,88	16278,73	1814	15026,66	0,92
Haziran	7	17:00	0	144	142	138	25488,63	25466,51	1819	24984,50	0,98	94	90	85	16334,79	16241,82	1815	15568,74	0,96
Haziran	14	08:00	0	97	90	77	16378,93	16291,38	1815	14701,32	0,90	84	76	62	13935,72	13821,23	1812	12087,15	0,87
Haziran	14	11:00	0	103	96	83	17453,04	17365,38	1815	15775,32	0,91	89	82	67	14888,79	14836,18	1817	13052,16	0,88
Haziran	14	14:00	0	124	119	111	21531,36	21445,47	1816	20434,41	0,95	96	90	79	16344,88	16267,13	1815	14918,07	0,92
Haziran	14	17:00	0	143	141	137	25309,62	25287,51	1819	24805,50	0,98	92	89	83	16034,73	16003,76	1818	15280,75	0,95
Haziran	21	08:00	0	99	92	79	16736,97	16649,38	1815	15059,32	0,90	85	77	62	14085,74	13988,64	1813	12157,57	0,87
Haziran	21	11:00	0	95	90	76	16165,85	16184,88	1821	14591,92	0,90	90	82	67	14980,83	14883,64	1814	13052,57	0,88
Haziran	21	14:00	0	123	117	109	21265,36	21134,92	1814	20076,82	0,95	97	91	80	16523,90	16446,13	1815	15097,07	0,92
Haziran	21	17:00	0	156	154	151	27665,85	27626,11	1819	27241,08	0,99	92	89	82	16005,73	15992,16	1819	15172,17	0,95
Temmuz	7	08:00	0	99	91	79	16678,99	16529,43	1811	14989,32	0,91	85	77	63	14114,74	14000,23	1812	12266,15	0,88
Temmuz	7	11:00	0	102	94	80	17158,05	17043,23	1814	15309,15	0,90	91	82	67	15072,87	14931,09	1811	13052,98	0,87
Temmuz	7	14:00	0	119	114	105	20607,27	20538,87	1817	19430,83	0,95	97	91	80	16523,90	16446,13	1815	15097,07	0,92
Temmuz	7	17:00	0	144	141	138	25430,66	25346,56	1817	24914,49	0,98	92	89	83	16034,73	16003,76	1818	15280,75	0,95
Temmuz	14	08:00	0	95	87	74	15933,92	15801,83	1812	14164,74	0,90	83	75	61	13756,70	13642,23	1812	11908,15	0,87
Temmuz	14	11:00	0	102	94	80	17158,05	17043,23	1814	15309,15	0,90	91	82	68	15101,87	14942,69	1810	13161,57	0,88
Temmuz	14	14:00	0	123	118	109	21323,34	21254,87	1817	20146,83	0,95	98	91	81	16644,94	16505,18	1812	15206,07	0,92
Temmuz	14	17:00	0	177	175	172	31425,22	31385,11	1819	31000,08	0,99	93	90	84	16213,75	16182,76	1818	15459,75	0,96
Temmuz	21	08:00	0	96	89	77	16228,91	16123,98	1814	14630,91	0,91	83	75	62	13785,70	13653,83	1811	12016,74	0,88
Temmuz	21	11:00	0	102	94	81	17187,04	17054,83	1813	15417,74	0,90	91	83	69	15188,85	15074,23	1813	13340,15	0,88
Temmuz	21	14:00	0	125	120	111	21681,38	21612,87	1817	20504,83	0,95	99	93	82	16881,94	16804,13	1816	15455,07	0,92
Temmuz	21	17:00	0	148	146	142	26204,71	26182,51	1819	25700,50	0,98	93	89	84	16155,77	16062,82	1814	15389,74	0,96
Ağustos	7	08:00	0	100	94	83	17060,96	16983,13	1816	15634,07	0,92	84	76	62	13935,72	13821,23	1812	12087,15	0,87
Ağustos	7	11:00	0	104	97	84	17632,05	17544,38	1815	15954,32	0,91	91	83	69	15188,85	15074,23	1813	13340,15	0,88
Ağustos	7	14:00	0	124	118	110	21444,38	21313,92	1814	20255,82	0,95	98	92	82	16731,92	16636,73	1815	15384,66	0,92
Ağustos	7	17:00	0	159	158	154	28260,88	28283,06	1821	27848,09	0,98	96	92	87	16692,82	16599,82	1815	15926,74	0,96

EK 2 devam

GÜNEŞ YÖNLENDİRİCİ CAM																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Ağustos	14	08:00	0	99	92	81	16794,96	16672,58	1813	15276,49	0,92	82	74	61	13606,69	13474,83	1811	11837,74	0,88
Ağustos	14	11:00	0	105	98	85	17811,07	17723,38	1815	16133,32	0,91	91	83	69	15188,85	15074,23	1813	13340,15	0,88
Ağustos	14	14:00	0	124	119	111	21531,36	21445,47	1816	20434,41	0,95	96	90	80	16373,88	16278,73	1814	15026,66	0,92
Ağustos	14	17:00	0	151	149	146	26770,76	26731,11	1819	26346,08	0,99	95	92	87	16600,78	16552,36	1817	15926,33	0,96
Ağustos	21	08:00	0	99	92	81	16794,96	16672,58	1813	15276,49	0,92	83	75	62	13785,70	13653,83	1811	12016,74	0,88
Ağustos	21	11:00	0	99	91	80	16707,99	16541,03	1810	15097,90	0,91	91	83	69	15188,85	15074,23	1813	13340,15	0,88
Ağustos	21	14:00	0	128	124	117	22363,40	22304,62	1817	21437,58	0,96	98	92	83	16760,92	16648,32	1814	15493,24	0,93
Ağustos	21	17:00	0	152	151	148	27036,75	27041,66	1820	26703,67	0,99	95	92	88	16629,78	16563,96	1816	16034,91	0,97
Mayıs	7	08:00	2	90	84	74	15299,77	15204,73	1814	13952,66	0,92	73	67	55	12198,47	12138,53	1815	10692,49	0,88
Mayıs	7	11:00	2	102	96	84	17389,99	17329,53	1817	15883,49	0,92	85	78	65	14230,71	14143,38	1814	12553,32	0,89
Mayıs	7	14:00	2	114	110	103	19857,15	19798,62	1817	18931,58	0,96	87	81	72	14791,72	14679,32	1813	13524,24	0,92
Mayıs	7	17:00	2	124	122	118	21908,28	21886,51	1819	21404,50	0,98	79	75	69	13620,52	13545,22	1815	12775,16	0,94
Mayıs	14	08:00	2	91	86	76	15565,77	15515,27	1817	14310,24	0,92	75	69	57	12556,51	12496,53	1815	11050,49	0,88
Mayıs	14	11:00	2	101	94	83	17153,00	17030,58	1813	15634,49	0,92	87	79	66	14501,77	14369,83	1811	12732,74	0,89
Mayıs	14	14:00	2	114	110	102	19828,15	19787,02	1818	18823,00	0,95	84	78	69	14254,67	14142,32	1812	12987,24	0,92
Mayıs	14	17:00	2	127	124	121	22387,35	22303,56	1816	21871,49	0,98	79	75	69	13620,52	13545,22	1815	12775,16	0,94
Mayıs	21	08:00	2	89	84	74	15207,73	15157,27	1817	13952,24	0,92	75	69	57	12556,51	12496,53	1815	11050,49	0,88
Mayıs	21	11:00	2	97	90	78	16407,93	16302,98	1814	14809,91	0,91	84	77	64	14051,70	13964,38	1814	12374,32	0,89
Mayıs	21	14:00	2	115	110	103	19949,19	19846,07	1815	18931,99	0,95	85	80	69	14462,66	14429,67	1818	13127,66	0,91
Mayıs	21	17:00	2	135	133	130	23906,47	23867,11	1818	23482,08	0,98	79	75	68	13591,52	13533,62	1816	12666,58	0,94
Haziran	7	08:00	2	94	89	80	16131,82	16063,87	1816	14955,83	0,93	74	67	56	12319,51	12197,58	1811	10801,49	0,89
Haziran	7	11:00	2	99	92	80	16765,96	16660,98	1814	15167,91	0,91	85	78	65	14230,71	14143,38	1814	12553,32	0,89
Haziran	7	14:00	2	112	108	100	19470,12	19429,02	1818	18465,00	0,95	84	78	68	14225,67	14130,73	1814	12878,66	0,91
Haziran	7	17:00	2	121	118	114	21284,25	21217,96	1817	20688,91	0,98	77	73	66	13233,49	13175,62	1816	12308,58	0,93
Haziran	14	08:00	2	91	85	75	15478,79	15383,73	1814	14131,66	0,92	74	68	56	12377,49	12317,53	1815	10871,49	0,88
Haziran	14	11:00	2	101	94	83	17153,00	17030,58	1813	15634,49	0,92	85	77	64	14143,74	14011,83	1811	12374,74	0,88
Haziran	14	14:00	2	115	112	104	20094,15	20097,57	1820	19180,58	0,95	86	80	70	14583,70	14488,73	1814	13236,66	0,91
Haziran	14	17:00	2	120	118	113	21163,21	21158,91	1820	20579,92	0,97	78	74	67	13412,51	13354,62	1816	12487,58	0,94
Haziran	21	08:00	2	90	85	75	15386,75	15336,27	1817	14131,24	0,92	74	67	56	12319,51	12197,58	1811	10801,49	0,89
Haziran	21	11:00	2	97	90	77	16378,93	16291,38	1815	14701,32	0,90	85	77	64	14143,74	14011,83	1811	12374,74	0,88
Haziran	21	14:00	2	117	113	106	20394,20	20335,62	1817	19468,58	0,96	84	78	67	14196,67	14119,13	1815	12770,07	0,90
Haziran	21	17:00	2	120	118	113	21163,21	21158,91	1820	20579,92	0,97	77	73	67	13262,49	13187,22	1815	12417,16	0,94
Temmuz	7	08:00	2	89	83	73	15120,76	15025,73	1814	13773,66	0,92	72	65	54	11961,48	11839,58	1810	10443,49	0,88
Temmuz	7	11:00	2	99	92	80	16765,96	16660,98	1814	15167,91	0,91	84	76	63	13964,72	13832,83	1811	12195,74	0,88
Temmuz	7	14:00	2	109	104	95	18817,09	18748,87	1817	17640,83	0,94	90	84	74	15299,77	15204,73	1814	13952,66	0,92
Temmuz	7	17:00	2	120	117	113	21105,23	21038,96	1817	20509,91	0,97	78	74	67	13412,51	13354,62	1816	12487,58	0,94
Temmuz	14	08:00	2	88	82	73	14970,74	14858,32	1813	13703,24	0,92	73	67	55	12198,47	12138,53	1815	10692,49	0,88
Temmuz	14	11:00	2	99	92	80	16765,96	16660,98	1814	15167,91	0,91	85	77	64	14143,74	14011,83	1811	12374,74	0,88
Temmuz	14	14:00	2	113	108	100	19562,16	19476,47	1816	18465,41	0,95	89	83	74	15149,75	15037,32	1813	13882,24	0,92
Temmuz	14	17:00	2	121	118	114	21284,25	21217,96	1817	20688,91	0,98	77	73	66	13233,49	13175,62	1816	12308,58	0,93

EK 2 devam

GÜNEŞ YÖNLENDİRİCİ CAM																			
Ay	Gün	Saat	Gökyüzü	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-1	YRadRGB-1	KELVIN-1	EMLRadRGB-1	M/P Oranı -1	K-1	Y-1	M-1	XRadRGB-2	YRadRGB-2	KELVIN-2	EMLRadRGB-2	M/P Oranı -2
Temmuz	21	08:00	2	88	82	72	14941,74	14846,73	1814	13594,66	0,92	75	69	57	12556,51	12496,53	1815	11050,49	0,88
Temmuz	21	11:00	2	101	94	83	17153,00	17030,58	1813	15634,49	0,92	85	78	65	14230,71	14143,38	1814	12553,32	0,89
Temmuz	21	14:00	2	120	115	108	20844,28	20741,07	1815	19826,99	0,96	86	80	70	14583,70	14488,73	1814	13236,66	0,91
Temmuz	21	17:00	2	127	125	121	22445,33	22423,51	1819	21941,50	0,98	77	73	66	13233,49	13175,62	1816	12308,58	0,93
Ağustos	7	08:00	2	86	80	70	14583,70	14488,73	1814	13236,66	0,91	73	67	55	12198,47	12138,53	1815	10692,49	0,88
Ağustos	7	11:00	2	99	93	81	16852,94	16792,53	1817	15346,49	0,91	86	79	66	14409,73	14322,38	1814	12732,32	0,89
Ağustos	7	14:00	2	118	113	106	20486,25	20383,07	1815	19468,99	0,96	87	82	72	14849,70	14799,27	1817	13594,24	0,92
Ağustos	7	17:00	2	123	121	117	21729,26	21707,51	1819	21225,50	0,98	78	74	67	13412,51	13354,62	1816	12487,58	0,94
Ağustos	14	08:00	2	89	84	74	15207,73	15157,27	1817	13952,24	0,92	75	69	57	12556,51	12496,53	1815	11050,49	0,88
Ağustos	14	11:00	2	99	93	81	16852,94	16792,53	1817	15346,49	0,91	84	77	64	14051,70	13964,38	1814	12374,32	0,89
Ağustos	14	14:00	2	116	112	105	20215,19	20156,62	1817	19289,58	0,96	91	85	76	15507,79	15395,32	1813	14240,24	0,92
Ağustos	14	17:00	2	116	114	110	20476,13	20454,51	1819	19972,50	0,98	79	75	70	13649,52	13556,82	1813	12883,74	0,95
Ağustos	21	08:00	2	92	86	77	15686,81	15574,32	1813	14419,24	0,93	73	67	55	12198,47	12138,53	1815	10692,49	0,88
Ağustos	21	11:00	2	106	100	91	18193,06	18080,32	1814	16925,24	0,94	83	76	64	13901,68	13796,98	1813	12303,91	0,89
Ağustos	21	14:00	2	117	112	106	20336,23	20215,67	1814	19398,57	0,96	88	82	73	14970,74	14858,32	1813	13703,24	0,92
Ağustos	21	17:00	2	132	130	127	23369,42	23330,11	1818	22945,08	0,98	79	75	69	13620,52	13545,22	1815	12775,16	0,94

	Yüksek Ofis Yapılarında Derin Ofis Mekanlarının Etkin Gün Işığı Kullanımının Değerlendirilmesi Uçman TAN 2021	KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Ofis Yapılarında Derin Ofis Mekanlarının Etkin Gün Işığı Kullanımının Değerlendirilmesi Uçman TAN Yüksek Lisans Tezi KONYA Mayıs, 2021
--	--	--



KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Programı

Yüksek Ofis Yapılarında Derin Ofis Mekanlarının Etkin
Gün Işığı Kullanımının Değerlendirilmesi
21870025
Uçman TAN
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül TEREÇİ
Referans Numarası:



KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Mimarlık Bilim Dalı
Yüksek Lisans Programı

Yüksek Ofis Yapılarında Derin Ofis Mekanlarının Etkin Gün Işığı Kullanımının
Değerlendirilmesi
21870025
Uçman TAN
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül TEREÇİ
Referans Numarası: