

EĞİTİM YAPILARI İÇ MEKANDA GÜN İŐİĐİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK
'DI-ARCIELING' TAVAN TASARIM VE UYGULAMA ÖNERİŐİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜŐÜ

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOĞİ ÜNİVERSİTESİ

ECE ŞEREF

TASARIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARALIK 2025

Bu Yüksek Lisans Tezinin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm koşulları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Serdar SAYAN

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Müdürü

Bu çalışmayı okuduğumu ve çalışmanın kapsam ve içerik olarak Sosyal Bilimler Enstitüsü Tasarım Programı'nda bir Yüksek Lisans Tezi olabilecek yeterlilikte olduğuna kanaat getirdiğimi onaylıyorum.

Yüksek Lisans Tezi Danışmanı

Doç. Dr. Meryem YALÇIN

(TOBB ETÜ, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı)

Yüksek Lisans Tezi Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Bilge SAYIL ONARAN

(Hacettepe Üniversitesi, İç Mimarlık)

Dr. Öğr. Üyesi Esin FAKIBABA DEDEOĞLU

(TOBB ETÜ, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı)

Yüksek Lisans Tezi içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ece ŞEREF

ÖZ

EĞİTİM YAPILARI İÇ MEKANDA GÜN IŞIĞINI ARTIRMAYA YÖNELİK 'DI-ARCIELING' TAVAN TASARIM VE UYGULAMA ÖNERİSİ

ŞEREF, Ece

Yüksek Lisans, Tasarım

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Meryem YALÇIN

Gün ışığının iç mekânlarda birincil aydınlatma kaynağı olarak kullanılması hem enerji tüketiminin azaltılması hem de kullanıcı konforunun artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Ancak özellikle eğitim mekânlarında kullanılan mevcut düz, eğimli veya tek yönlü tavan tipleri, gün ışığını mekânın derin bölgelerine iletmede yetersiz kalmakta; ışık dağılımında homojenlik sağlanamamakta ve görsel konfor düşmektedir. Bu çalışma tam da bu problemden hareketle, bu eksikleri gidermek amacıyla Di-ARCIeling adlı iki yönlü dairesel yüzeylerden oluşan modüler bir tavan sistemi önermektedir. Di-ARCIeling, yüzey geometrisi sayesinde gelen doğal ışığı yalnızca içeri almakla kalmayıp, ışığı mekân içinde yönlendirerek derin alanlara taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem bu yönüyle hem mevcut tavan çözümlerinin performans sınırlılıklarını aşmayı hem de pasif aydınlatma stratejilerini güçlendirmeyi amaçlamaktadır. DIALux EVO simülasyonları, Di-ARCIeling'in tek yönlü tavanlara kıyasla daha yüksek gün ışığı seviyeleri sağladığını, ışığı daha homojen dağıttığını ve özellikle ışığın ulaşmakta zorlandığı bölgelerde görsel konforu belirgin biçimde artırdığını göstermektedir. Ayrıca gün içinde yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji verimliliğine katkı sunmaktadır. Bu bağlamda Di-ARCIeling'i mevcut tavan sistemlerindeki gün ışığı kaybını azaltan, derin mekânlarda aydınlatma kalitesini artıran ve iç mimarlık uygulamalarına katkı sağlayan bir tavan çözümü olarak önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gün Işığı, Dairesel Tavan tasarımı, İki Yönlü, Tasarım Stüdyosu

ABSTRACT

A PROPOSAL FOR UTILIZING DAYLIGHT IN INTERIOR SPACE WITH A TWO-WAY CIRCULAR CEILING SYSTEM IN EDUCATIONAL BUILDINGS; DI-ARCIELING

ŞEREF, Ece

Master of Arts, Design

Supervisor: Assoc. Prof. Meryem YALÇIN

The use of daylight as a primary source of illumination plays a critical role in reducing energy consumption and enhancing user comfort. In interior spaces that are actively used throughout the day, the effective admission and homogeneous distribution of daylight are essential not only for visual comfort but also for sustainability. In this study, a ceiling system called Di-ARCIeling, developed to optimize daylight utilization, is proposed. The system consists of circular surfaces oriented in two different directions and arranged modularly within the interior. Beyond enabling daylight to enter the space, the design aims to guide the light deeper into the environment, allowing it to remain effective for a longer duration. Within the scope of the study, the contribution of the Di-ARCIeling system to daylight integration was analyzed using the Dialux EVO simulation software. The findings indicate that Di-ARCIeling allows more daylight to penetrate the space compared to single-direction ceiling designs and distributes it more uniformly across the environment. The system significantly enhances visual comfort, particularly in areas where daylight typically struggles to reach. In this context, Di-ARCIeling can be considered not only an interior ceiling solution that efficiently utilizes daylight but also an innovative passive lighting strategy that supports energy conservation.

Key Words: Daylight, Circular Ceiling design, Two Way, Design Studio



Aileme...

TEŞEKKÜR SAYFASI

Bu tez alıŐmasının tım aşamalarında bilgi birikimi, ynlendirmeleri ve değerli katkılarıyla bana rehberlik eden danıŐmanım Do. Dr. Meryem Yalçın'a en iten teŐekkrlerimi sunarım. Kendisi yalnızca tez srecimde değil, yüksek lisans eğitimim boyunca da desteğini ve rehberliğini esirgememiŐtir.

Ayrıca, bu süreçte değerli katkıları ve teşvik edici yorumlarıyla yanımda olan yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen Dr. Esin Fakıbaba Dedeoğlu'na, Öğr. Gör. Eren Ynr'e, Öğr. Gör. Onur Kutluoğlu'na ve ArŐ. Gör. AyŐe Setenay zsoy'a ve jüri yesi Prof. Dr. Bilge Sayıl Onaran' a akademik birikimleriyle yaptığı ufuk açıcı yorumlar, kıymetli katkıları ve zaman ayırarak jürimde yer aldığı için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İNTİHAL SAYFASI.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
İTHAF SAYFASI	vi
TEŞEKKÜR SAYFASI	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi	3
1.2. Araştırma Problemi	4
1.3. Araştırma Yöntemi.....	5
BÖLÜM II.....	7
GÖRSEL KONFOR VE GÜN IŞIĞININ İÇ MEKAN TASARIMINDAKİ ROLÜ 7	
2.1. İç Mekanda Gün Işığı Kullanımının Önemi.....	7
2.2. Aydınlatma Terminolojisi ve Ölçüm Yöntemleri	9
2.2.a. Aydınlik Düzeyi (Illuminance) (E, lx)	9
2.2.b. Parıltı (Luminance) (L, cd/m ²)	11
2.3. Gün Işığında Yararlanma Yöntemleri Kapsamında Yapılan Çalışmalar	13
2.3.a. Hibrit ve Akıllı Tavan Sistemleri	14
2.3.b. Eğrisel Işık Rafı Sistemleri	15
2.3.c. Anidolik Tavan Sistemleri.....	16
2.3.d. Gün Işığını Yoğunlaştıran İç Mekan Panjur Sistemi	18
2.4. Gün Işığı Yönlendirme Sistemleri	19
2.4.a. Gün Işığı Rafları	20
2.4.b. Anidolik Sistemler	22
2.4.b.i. Anidolik Açıklık (Anidolik Zenital Açıklığı).....	23

2.4.b.ii. Anidolik Petek (Anidolik Güneşlik)	23
2.4.c. Prizmatik Paneller	25
2.4.d. Lazer Kesim Paneller	26
2.4.e. Holografik Optik Elemanlar.....	27
2.4.f. Heliostat	28
2.4.g. Işık Tüpleri	29
2.4.g.i. Gün Işığı Tüpü.....	30
2.4.g.ii. Heliobus Sistemi	30
2.4.h. Işık Kılavuzu	31
2.4.h.i. Arthelio Sistemi.....	33
2.4.1. Fiber Optik ile Gün Işığı Taşıma	33
2.4.1.i. Himewari Sistemi	34
2.4.1.ii. Hibrit Solar Aydınlatma	35
2.4.1.iii. Parans Fiber Optik Sistem.....	36
2.4.1.iv. Solux Sistemi.....	36
2.4.i. Işık Kılavuz Tavanlar	37
2.4.j. Pasif Sistemler (Çatı Penceresi, Modüler Kuyu)	38
BÖLÜM III	45
TAVAN SİSTEMLERİ VE AYDINLATMAYA ETKİLERİ	45
3.1. Eğitim Mekanlarında Gün Işığı Gereksinimleri.....	45
3.1.a. Bilişsel Performans.....	46
3.1.b. Görsel Konfor.....	47
3.1.c. Sürdürülebilirlik	48
3.2. Optik Malzeme ve Kaplamaların Etkisi	50
BÖLÜM IV	53
TASARIM SÜRECİ VE METODOLOJİ.....	53
4.1. Araştırma Evreni	53
4.1.a. TOBB Etü Tasarım Stüdyosu Özellikleri.....	54
4.1.b. Mevcut Tavan Sisteminin Değerlendirilmesi.....	57
4.2. Tasarım Süreci ve Gerekçeleri	60
4.3. Simülasyon Kriterleri ve Varsayımlar	63
4.3.a. Simülasyon Programı ve Ayarları	64

4.3.b. Çevresel ve Yapısal Parametreler	65
4.3.c. Zaman Dilimleri ve Ölçüm Noktaları	67
4.3.d. Varsayımlar ve Sınırlılıklar.....	69
4.4. Karşılaştırmalı Analiz	71
4.4.a. Enerji Verimliliği Potansiyeli.....	77
BÖLÜM V	79
SONUÇ	79
KAYNAKÇA.....	85



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Gün Işığı Yönlendirme Sistemlerinin Karşılaştırılması	41
Tablo 4.1. Stüdyo Alanının Tanımı ve Gün Işığı Değerleri.....	56
Tablo 4.2. TOBB ETÜ Tasarım Stüdyosu'nda Farklı Tavan Sistemlerine Ait Aydınlık Düzeyleri.....	59
Tablo 4.3. Di-ARCIeling Panel Sisteminin Teknik Özellikleri.....	63
Tablo 4.4. VELUX Daylight Visualizer Simülasyon Ayarları	65
Tablo 4.5. Mekan ve Tavan Elemanlarının Materyal Özellikleri	67
Tablo 4.6. Simülasyon Zaman Dilimleri ve Güneş Açılarını	68
Tablo 4.7. Simülasyon Varsayımları ve Gerçek Koşullarla Karşılaştırma	70
Tablo 4.8. Düz, Diyagonal ve Kavisli Tavan Tiplerinin Mevsim, Ay ve Saatlere Göre Karşılaştırılması (Tasarım Stüdyosu, TOBB ETÜ)	72
Tablo 4.9. Tavan Sistemlerinin Saatlik Performans Karşılaştırması.....	74
Tablo 4.10. Tavan Sistemlerinin Saatlik Performans Karşılaştırması	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik Işık Spektrumu Bölümleri	10
Şekil 2.2. Işık Rafı Çalışma Prensibi	21
Şekil 2.3. Anidolik Tavan Sistemi	22
Şekil 2.4. Anidolik Tepe Açıklığı Sistemi	23
Şekil 2.5. Anidolik Petek(Anidolik Güneşlik) Sistemi	24
Şekil 2.6. Prizmatik Paneller(Simetrik Asimetrik ve Farklı Açılış Değerlerine Sahip Dişler	25
Şekil 2.7. Prizmatik Paneller(Simetrik Asimetrik ve Farklı Açılış Değerlerine Sahip Dişler	26
Şekil 2.8. Lazer Kesim Panel Yansıma Şeması	27
Şekil 2.9. Holografik Elemanın Çalışma Prensibi	27
Şekil 2.10. 1975-1982 Yılları Arasında Geliştirilen Heliostat Modelleri	28
Şekil 2.11. Işık Tüpleri	29
Şekil 2.12. Heliobus Postdamer Platz Örneği (Meydanda Bulunan Gün Işığı Tüpleri ve Metro İstasyonuna Ulaşan Gün Işığı)	31
Şekil 2.13. Prizmatik Işık Kılavuzu Şematik Kesit.....	32
Şekil 2.14. Işık Kılavuzu Kesit	32
Şekil 2.15. Arthelio Toplayıcı Ünite Şematik Gösterim	33
Şekil 2.16. Himewari Sistem Şematik Gösterim	34
Şekil 2.17. Hibrit Solar Aydınlatma Sistemi Şematik Gösterim	35
Şekil 2.18. Parans Sistemi Şematik Gösterim	36
Şekil 2.19. SOLUX Sistemi Şematik Gösterim	37
Şekil 2.20. Skylight (Tavan Penceresi) Kuyu Sistemleri Gösterimi	39
Şekil 4.1. Akış Şeması.....	53
Şekil 4.2. TOBB ETÜ, MTM1 Stüdyo Alanı	54
Şekil 4.3. Referans Stüdyonun Plan ve Kesit Çizimi	55
Şekil 4.4. TOBB ETÜ, MTM1 Stüdyo Mevcut Tavanlı Alanı Işık dağılımı Görselleştirilmesi	57
Şekil 4.5. DI-ARCIELING Panel Tasarımı Teknik Gösterimi	61

Şekil 4.6. TOBB ETÜ, MTM1 Stüdyo Di-ARCIeling Alanı Işık Dağılımı

Görselleştirilmesi 62



KISALTMALAR LİSTESİ

- CIE : Commission Internationale de l'Éclairage
(Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
- IESNA : Illuminating Engineering Society of North America
(Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği)
- HMG : Heschong Mahone Group
- SHC : Solar Heating and Cooling Programme
(IEA – Uluslararası Enerji Ajansı bünyesinde)
- UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
(Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü)
- ETÜ : Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi (TOBB ETÜ)
- Lx : Lux (aydınlık düzeyi birimi)
- cd/m² : Candela per square metre (parıltı birimi)

BÖLÜM I

GİRİŞ

Enerji tüketimi ve çevresel sürdürülebilirlik konusundaki artan ihtiyaçlar, yapı tasarımlarında iç mekân aydınlatmasının enerji verimliliğini ve kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Aydınlatma teknolojisindeki gelişmelere rağmen, doğal gün ışığıyla aynı kalite ve yoğunlukta aydınlatma elde etmek hala üzerinde çalışılan bir konudur (Kontadakis et al., 2018). Yapılan çalışmalar, aydınlatma kontrol sistemlerinin elektrik tüketimini %20 oranında azaltabileceğini ve ideal koşullar altında bu azalmanın %60'a ulaştığını göstermiştir (Gago ve diğerleri, 2015). Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat ve ortalama yıllık toplam radyasyon değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır (Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Avrupa Birliği tarafından geliştirilen ve uygulanan AB Yeşil Işık Programı (European Greenlight Programme, n.d.) ve Kanada hükümeti tarafından ulusal olarak yönetilen Kanada Yeşil Bina Konseyi (Canada Green Building Council, 2009), enerji verimliliği girişimlerinin en güncel ve dikkate değer iki örneğini temsil etmektedir. Artan çevresel zorluklara yanıt olarak, Avrupa Komisyonu 2020 yılında doğal kaynakların sürdürülemez sömürsünü ele almak üzere stratejik bir çerçeve olarak Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nı başlattı. Bu girişim, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca kaynak verimliliğini ve atıkların en aza indirilmesini teşvik ederek çevresel yükü azaltmayı amaçlamaktadır. Plan sürdürülebilirliği artırmayı, inovasyonu teşvik etmeyi ve Avrupa Birliği'nin iklim nötrlüğü ve ekonomik dayanıklılık konusundaki daha geniş hedeflerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (European Commission, n.d.). Tasarımcılar tarafından tasarım aşamasında alınan kararlar ve bu kararlardan türetilen sonraki iyileştirmeler, öncelikle kullanıcının görsel konforunu iyileştirmeyi ve enerji tasarrufu sağlamayı amaçlamaktadır. Gün

ışığı, bir binanın aydınlatma kabuğu içindeki stratejik olarak yerleştirilmiş açıklıklar ve şeffaf yüzeyler aracılığıyla dış mekânla kesintisiz bir bağlantı kurarak iç mekâna ulaşır. Gün ışığı yönlendirme sistemleri, iç mekanlarda yeterli doğal ışığın dağıtımını kolaylaştırarak optimum görsel konfor koşullarının oluşturulmasına katkıda bulunur.

Gün ışığı mekân tasarımının en temel unsurlarından biri olarak hem estetik hem de işlevsel açıdan belirleyici bir rol oynamaktadır. Doğal aydınlatma, yalnızca enerji tüketimini azaltan sürdürülebilir bir strateji değil; aynı zamanda kullanıcı konforu, görsel algı ve psikolojik iyilik hali üzerinde doğrudan etkili bir bileşendir (Heschong, L., 2002). Özellikle eğitim mekânları, günün büyük bölümünde aktif olarak kullanılan iç mekânlar olmaları nedeniyle, gün ışığının kalitesi ve mekâna dağılım biçimi açısından dikkatle ele alınması gereken alanlardır. Bu bağlamda, tavan sistemleri, ışığın yönlendirilmesi, kırılması ve homojen biçimde dağılması açısından önemli bir kontrol elemanı olarak öne çıkmaktadır (Gago ve diğerleri, 2015).

Mevcut tavan sistemleri, çoğunlukla ışığın yalnızca doğrudan girdiği bölgelerde yoğunlaşmasına neden olmakta ve bu durum mekân derinliğinde aydınlık dengesizlikleri yaratmaktadır. Bu durum hem görsel konforun azalmasına hem de mekânsal algının zayıflamasına yol açmaktadır. Son yıllarda geliştirilen dairesel yüzeyli veya yansıtıcı panellerle desteklenen tavan sistemleri, bu probleme alternatif bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Özellikle Di-ARCIeling gibi yenilikçi tavan sistemleri, yüzey formları ve yüksek yansıtıcılı malzemeleri aracılığıyla gün ışığını iç mekâna daha verimli biçimde yönlendirmekte, böylece hem enerji verimliliğini artırmakta hem de homojen bir aydınlatma ortamı sağlamaktadır.

Çalışma, TOBB ETÜ Tasarım Stüdyosu örneği üzerinden farklı tavan sistemlerinin gün ışığı performanslarını karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu stüdyonun seçilmesinin nedeni, mekânın gün ışığını sınırlı düzeyde alması ve derin planlı yapısı nedeniyle mevcut aydınlatma koşullarında belirgin performans sorunları barındırmasıdır. Ayrıca araştırmacının bu mekânı aktif olarak deneyimlemesi ve yerinde gözlem yapma imkânına sahip olması, kullanıcı ihtiyaçlarını ve mevcut ışık problemlerini daha doğru değerlendirme

olanağı sağlayarak çalışma için uygun bir örneklem oluşturmuştur. Çalışma kapsamında mevcut düz tavan sistemi, dairesel tavan sistemi ve Di-ARCIeling panel sistemi, Velux Daylight Visualizer ve DIALux evo programları kullanılarak yılın farklı dönemlerinde simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları, her bir sistemin mekâna sağladığı aydınlık düzeyi, ışık dağılımı ve görsel konfor açısından değerlendirilmiştir.

Bu araştırma, iç mimarlık ve aydınlatma tasarımı alanında tavan geometrisinin önemini ortaya koymayı hedeflemektedir. Tavan sistemlerinin yalnızca estetik bir eleman değil, aynı zamanda gün ışığı yönlendirme stratejisinin temel bileşeni olduğu vurgulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, mimari tasarım süreçlerinde doğal aydınlatmanın etkin kullanımını destekleyecek biçimde hem enerji verimliliği hem de kullanıcı konforu açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.

1.1. Tezin Amacı ve nemi

Binalarda, mevcut gün ışığı entegrasyon stratejileri, öncelikle ışık rafları, gölgelendirme elemanları veya pencere üstü bileşenleri gibi dış yapı elemanları ile ışığı i mekanlara yönlendirmeye odaklanır (Heschong, Wright, & Okura, 2002; Boubekri, Cheung, Reid, Wang, & Zee, 2014). Belirli koşullar altında etkili olsalar da bu sistemler, özellikle mekânın derinleri veya kuzeye bakan cepheler gibi zorlu yönelimlere sahip binalarda, gün ışığının homojen dağılımını sağlamada yetersiz kalmaktadır (Figueiro & Rea, 2016). Bunun yanında, tavan yüzeyleri, i mekandaki gün ışığının dağılımı ve homojenliğini belirlemede önemli bir rol oynar (Pratiwi et al., 2022; Hannoudi et al., 2024). Ayrıca, enerji verimliliğini ve görsel konforu en st düzeye çıkarmak için tavan tasarımını gün ışığını yönlendiren bir unsur olarak kullanan yenilikçi yaklaşımlara dair sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır.

Bu alışma, gün ışığını yalnızca cephe bileşenleri aracılığıyla değil, aynı zamanda dairesel tavan yüzeyleri aracılığıyla da i mekanlara entegre eden yeni bir sistem önererek bu boşluğu gidermeyi amaçlamaktadır. 'Di-ARCIeling' olarak adlandırılan önerilen tavan tasarımı, modüler, dairesel geometrisi sayesinde gün ışığını yakalar, birden fazla yöne yansıtır ve iç mekânın en derin bölgelerinde bile

aydınlatma seviyelerini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu araştırma, Di-ARCIeling'in iç mekânda gün ışığından etkili bir şekilde yararlanmak için yenilikçi ve pasif bir çözüm sunarak enerji tasarrufu sağlama ve kullanıcı refahını artırma potansiyelini vurgulamaktadır.

Çalışmanın amacı, çok yönlü dairesel tavan panellerinden oluşan 'Di-ARCIeling'in TOBB ETU Mimarlık ve Tasarım Fakültesinde örneklem olarak seçilen bir tasarım stüdyosunun gün ışığı performansı üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Tasarım stüdyosunun gün boyunca homojen ve yeterli aydınlatma sağlayamadığı, özellikle de öğleden sonra mekânın arka alanlarında yetersiz ışık olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, iç mekâna giren günışığının miktarını artırmak ve bu ışığı mekânın derinliklerine etkili bir şekilde yönlendirerek iç mekânda uzun süre gün ışığından faydalanabilmesini sağlamaktır. Bu sorunların çözümüne yönelik geliştirilen tasarımda, mevcut tavan tasarımı yaklaşımlarına kıyasla ışık yayılımını artırmak için dairesel panel modülleri iki yönlü olarak kullanılmıştır.

Çalışmada, ışığın iç mekânın farklı derinliklerine ulaşabilmesi, homojen dağılımı ve ışığın kalma süresi değerlendirme ölçütleri olarak ele alınmıştır. Işık, her iç mekânda olduğu gibi eğitim mekânlarında da önemli bir unsurdur. Özellikle tasarım stüdyoları öğrencilerin gün içerisinde uzun saatler süresince içinde buldukları mekânlardır. Işığın sürekliliği ve dengesi, çalışma koşullarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, önerilen sistem yalnızca enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra, kullanıcı dostu bir aydınlatma sağlamaktadır. Bu sayede çalışma, sürdürülebilir, performans odaklı iç mekân tasarımına bir katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1.2. Araştırma Problemi

Bu tez, gün ışığından sadece iç mekânda faydalanma yöntemi değil, aynı zamanda onu etkili bir şekilde yönlendirmeyi ve homojen bir şekilde mekânda dağıtmayı da amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için, mevcut tek ve çift yönlü dairesel tavan çözümlerinin etkileri incelenmiştir. Değişen eğim açalarına sahip ardışık dairesel yüzeylerden oluşan bir Di-ARCIeling sistemi geliştirilmiştir. Bu

sistem, gelen gün ışığını çok yönlü açılardan yansıtarak ışığın yalnızca pencerelerin yakınında yoğunlaşmasını önler ve mekânın derinliklerinde dengeli bir aydınlatma sağlar.

Di-ARCIeling tavan sistemi, belirli tarih ve zaman aralıklarında simülasyon ortamında alınan ışık ölçümleri, aydınlatma seviyeleri (lüks) açısından kapsamlı bir şekilde ölçülmüştür. Simülasyonlar, Di-ARCIeling sisteminin iç mekân ışık dağılımı açısından önemli bir avantaj sağladığını göstermiştir. Bu metodolojik karşılaştırma ile farklı tavan geometrilerinin iç mekân görsel konforuna ve enerji verimliliğine potansiyel katkıları sayısal olarak analiz edilmiştir.

Alt araştırma soruları şu şekildedir:

1. Di-ARCIeling tavan sistemi, tek yönlü tavanlara kıyasla bir tasarım stüdyosunun iç mekânına gün ışığı entegrasyonunu ne kadar lux artırır?
2. Di-ARCIeling tavan sistemi tasarım stüdyosunun iç mekânında gün ışığının yansıma yönü ve mekânsal dağılımı nasıldır?
3. Dairesel tek ve çift yönlü tavan tasarımlarında, bir stüdyonun iç mekânına gün ışığının yönünü nasıl etkiler?

1.3. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma tek ve çift yönlü dairesel tavan sistemlerinin gün ışığını yönlendirme performansını nicel verilere dayalı olarak karşılaştırmaya olanak sağlayan simülasyon tabanlı bir yöntem ile yürütülmüştür. Çalışmanın uygulama alanı olarak TOBB ETÜ Tasarım Stüdyosu seçilmiştir; mevcut tavan sistemi ile bu sisteme alternatif olarak geliştirilen dairesel ve Di-ARCIeling panelli tavan sistemleri üç boyutlu olarak modellenmiştir. Her bir sistemin gün ışığı performansı, yılın farklı aylarında (Ocak–Kasım arası) ve günün üç farklı saatinde (09.30, 12.30, 15.30) ölçülerek karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Belirlenen tarih aralıkları modellenen stüdyonun yıl içinde akademik takvimde yer alan dönemlere göre kullanımına yönelik olarak seçilmiştir.

Simülasyonlar, doğal aydınlatma analizlerinde yaygın olarak kullanılan Kullanılan simülasyon programları, mekan geometrisi, yüzey malzemeleri, yansıtıcılık değerleri ve iklimsel verileri dikkate alarak gün ışığı hesaplama

algoritmalarıyla iç mekandaki doğal aydınlatma performansını sayısal verilerle ortaya çıkarmaktadır. Çalışmada, stüdyo mekânının üç boyutlu modeli Velux Daylight Visualizer programına aktarılmış; yüzeylerin optik özellikleri (yansıtma, geçirgenlik ve yutma değerleri) Radiance sistem parametrelerine uygun biçimde tanımlanmıştır. Her bir tavan senaryosu için aydınlık düzeyi (lux) değerleri hesaplanmış; sonuçlar hem sayısal tablolar hem de renk skalalı aydınlık dağılım haritaları ile görselleştirilerek analiz edilmiştir.

Bu süreçte yalnızca aydınlık miktarları değil, ışığın mekân içindeki dağılımı ve yönlendirilme biçimi ayrıca ışık miktarının ne kadar süre boyunca mekân içerisinde kaldığı da dikkate alınmıştır. Çalışma, sayısal analizlerin yanı sıra tavan geometrisi ve malzeme özelliklerinin gün ışığı kalitesi ve mekânsal atmosfer üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymuştur.

Simülasyonlar, Ankara coğrafi koordinatları (39,9°K, 32,8°D) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde CIE Standard Overcast Sky (standart bulutlu gökyüzü modeli) kullanılmış; bu model, doğrudan güneş ışığının etkilerini devre dışı bırakarak yalnızca difüz ışığı temel aldığından gün ışığı performansının daha tutarlı, karşılaştırılabilir ve en kötü senaryo koşullarında değerlendirilmesini sağlar. Ayrıca literatürde yapılan gün ışığı çalışmalarında en yaygın kullanılan gökyüzü modeli olması nedeniyle, elde edilen sonuçların benzer araştırmalarla karşılaştırılabilirliğini artırmaktadır. Bu model, gün boyunca değişen doğal ışık koşullarının sabit bir difüz dağılım altında değerlendirilebilmesini sağlamıştır. Mekâna ait yüzey yansıtıcılık oranları sırasıyla duvar: 0.7, zemin: 0.7 ve tavan: 0,7 olarak tanımlanmış; Di-ARCIeling sistemine ait toplayıcı ve dağıtıcı yüzeylerin yansıtıcılık değeri 0.996 olarak belirlenmiştir. Ölçüm düzlemi, çalışma yüzeyini temsil edecek biçimde yerden 0,80 m yükseklikte konumlandırılmıştır. Bu konumlandırma stüdyoda çalışan öğrencilerin çalışırken kullandıkları masa yükseklikleri baz alınarak belirlenmiştir. Tüm simülasyonlar, tipik ışık koşullarını temsil etmesi amacıyla 21 Mart (ekinoks), 21 Haziran (yaz gündönümü) ve 21 Aralık (kış gündönümü) tarihleri içinde değerlendirilmiştir.

BÖLÜM II

GÖRSEL KONFOR VE GÜN IŞIĞININ İÇ MEKAN TASARIMINDAKİ ROLÜ

2.1. İç Mekanda Gün Işığı Kullanımının Önemi

Geçmişten günümüze gün ışığı temel aydınlatma kaynağı olmuştur. Bir mekanda gün ışığının homojen bir biçimde yer alması hem görmeyi hem de mekanın algılanmasını kolaylaştırır. Mekan uygulamalarında gün ışığının yapı boyunca yayılmasını kolaylaştırmak için genellikle yapıda geniş açıklıklar oluşturulmaktadır (International Energy Agency [IEA], 2000).

Mekanda kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik konforunu sağlamanın ve aynı zamanda enerji tüketimini azaltmanın yanı sıra, aşağıdaki hedefler de önem taşır:

- Enerji verimliliğinin sağlanması,
- Doğru aydınlatmanın sağlanabilmesi kullanıcı konforunun gözetilmesi
- Kamaşma kontrolünün uygulanması

Bu kriterler yapının doğrudan güneş ışığına karşı korunmasıyla sağlanır. Dış mekan ışık seviyelerindeki niceliksel ve niteliksel farklılıkların bilincinde olmak önemlidir böylece iklimlendirme ve gürültü kontrolü de dahil olmak üzere diğer fiziksel çevre sorunlarıyla uyumlu tasarımlar elde edilebilir.

Mekarlarda yeterli görsel konfor düzeyinin sağlanması, belirli koşullara bağlıdır. Bu koşulların başında tasarım aşamasında ışık renkleri, parlaklık seviyesi, kontrast, kamaşma ve yüzey malzemelerinin yansıtıcı özellikleri gibi faktörler yer almaktadır. Bu faktörlerin, optimum görsel konfor düzeyini sağlamak için mekarlarda tutarlılığı koruyarak belirli değer aralıkları içinde tutulması gerekir. Görsel konforun sağlanmasında en önemli faktörler aydınlatma seviyesi ve kamaşmadır (Yılmaz, 2016).

Işık ve kullanıcılar arasındaki ilişki, çevrelerinin tanımlanması ve görünürlüğünün ötesinde süreçleri kapsar. Ayrıca ışığın biyolojik saatin, hormonal aktivitenin ve ruh halinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Dünya çapında

yürütülen çok sayıda bilimsel çalışma ve araştırma, güneş ışığı yoğun olduğunda serotonin seviyelerinin arttığını ve melatonin seviyelerinin azaldığını göstermiştir. Doğal ışığın varlığı sinir ve endokrin sistemleri üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Doğal ışığın insanlar üzerindeki etkileri hem fizyolojik hem de psikolojik açıdan değerlendirilebilir. Fizyolojik etkiler, biyolojik sistem (sirkadiyen sistem), sinir ve endokrin sistemleri, cilt ve görme sistemi üzerindeki etkiler olarak açıklanabilir (Özkum, 2011).

İnsan sirkadiyen ritmi, gün ışığının varlığından etkilenmektedir ve bu da günlük aktiviteleri etkiler. Birçok araştırma, gün ışığının yapay ışıktan sirkadiyen ritim üzerinde daha etkili bir düzenleyici etkiye sahip olduğunu göstermiştir; bu durum, gün ışığının üstün fotometrik özellikleri ile açıklanabilir. Farklı dalga boylarına sahip ışık kaynaklarının kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik konforu üzerindeki etkisi önemli bir unsurdur (Wymelenberg, 2014).

Bazı çalışmalarda doğal ışığa erişimi olan mağazalarda satış oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ofis ortamı için yapılan çalışmalarda ise gün ışığından faydalanma miktarının artmasıyla çalışanların performansının ortalama %15-20 oranında arttığı ve psikolojik sıkıntısı azalan kullanıcıların daha yüksek verimliliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin fabrikada çalışan kullanıcıların odaklanması artarken, hata ve kaza oranlarında da eş zamanlı bir azalma olmuştur. İnsan verimliliğinin yanı sıra ABD Enerji Bakanlığı tarafından yapılan bir araştırma, doğal aydınlatmanın entegrasyonunun gündüz elektrik tüketimini yarı yarıya, toplam elektrik tüketimini ise %13 oranında azalttığını ortaya koymuştur (Eko yapı, 2022).

Ancak, gün ışığı aracılığıyla bir mekanda doğal aydınlatmanın uygulanması, ışığın doğası gereği değişken olması nedeniyle zorluklarla doludur. Güneş ışığının dinamik yapısı ve onu kontrol edememe özelliği de bazı durumlarda problemlere yol açmaktadır (Bayhan, 2018). Bu problemleri çözebilmek ve iç mekana gün ışığını verimli bir biçimde dahil edebilmek için bazı sistemler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

2.2. Aydınlatma Terminolojisi ve Ölçüm Yöntemleri

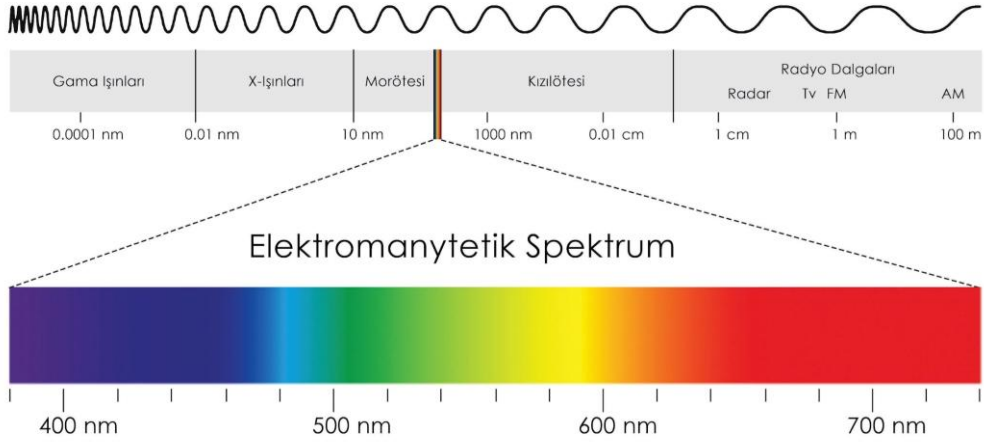
CIE'ye (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) göre aydınlatma, 'çevredeki nesnelere, yüzeylerin ve gölgelerin gerektiği gibi görülebilmesini sağlamak için ışığın uygulanması' aydınlatma olarak tanımlanmıştır (Şirel, 2005). Aydınlatma, ışık kaynağıyla doğrudan ilişkili bir nicelik değildir. Belirli bir yüzeyin birim alanına dik olarak düşen ışık miktarı olarak tanımlanır. Aydınlatma birimi lüx'tür (lx). Buna karşılık, parlaklık kavramı, birim alandan yansıyan ışık miktarını belirtmek için kullanılır (Okutan, 2008).

2.2.a. Aydınlatma Düzeyi (Illuminance) (E, lx)

Işıklı bir yüzey üzerindeki bir noktayı çevreleyen sonsuz küçük bir parçacığın aldığı ışık akısı, o yüzey parçasının alanına bölünür. Işık şiddeti, birim zamanda bir yüzeyin birim alanına düşen ışık akısı miktarı olarak tanımlanır. Bir ışık kaynağından yayılan ve bir yüzeye düşen ışık akısı, metrekare cinsinden yüzey alanına bölündüğünde, söz konusu yüzeyin metrekare cinsinden aydınlatmasını verir. Bu birimin sembolü E'dir ve birimi lüks (Lümen/m²) olarak ölçülür. Bir metrekarelik bir yüzeye düşen ışık akısının bir lüme eşit olması durumunda, söz konusu yüzeydeki bileşke aydınlatma seviyesinin bir lüks veya metrekare başına bir lümen olduğu belirlenmiştir. Bu yüzeyde oluşan aydınlatma seviyesi, yüzey tipinden bağımsızdır. Yüzeyin siyah veya beyaz olması gibi yansıtma özelliklerinden bağımsız olarak, aydınlatma seviyesi yalnızca yüzeye düşen ışık yoğunluğunun bir fonksiyonudur.

$$\text{Aydınlatma Düzeyi (E)} = \text{Lümen } (\Phi) / \text{m}^2 \text{ (Onaygil, t.y.) (LAMP 83, t.y.)}$$

Şekil 2.1. Elektromanyetik Işık Spektrumu Bölümleri (NIST, 2024)



- Elektromanyetik spektrumda, insan gözü 400 nanometre (nm) ile 700 nm arasındaki dalga boylarını algılayabilir. Bu aralığa görünür ışık spektrumu denir (bkz. Şekil 2.2). İç mekan aydınlatmasının kalitesi ve mekan atmosferi, bu spektrumdaki farklı dalga boylarından doğrudan etkilenir.
- Kısa dalga boyları (400-500 nm, mavi-mor ışık): Amaç, daha yüksek enerji taşımak ve mekanda serin, odaklanmayı artıran bir atmosfer yaratmaktır.
- Orta dalga boyları (500-600 nm, yeşil-sarı ışık): Bu dalga boyları, doğal gün ışığında baskındır ve dengeli bir aydınlatma sağlar.
- Uzun dalga boyları (600-700 nm, turuncu-kırmızı ışık): Bu armatürlerin, çevreleyen alanda enerji tüketimini azalttığı gösterilmiştir.
- Gün ışığı, spektrumun geniş bir bölümünü kapsadığı için doğal aydınlatmada renk dengesi için en uygun ışık kaynağıdır. İç mekanlarda gün ışığının optimizasyonu hem görsel konfor hem de enerji verimliliği açısından büyük önem taşır.

Direkt Işıma: Güneş'in yaydığı radyasyon nedeniyle Dünya atmosferinde seçici bir zayıflamaya maruz kaldıktan sonra, doğrudan paralel ışınlar şeklinde Dünya yüzeyine ulaşan ışığı ifade eder. Güneş'ten Dünya yüzeyine belirli bir mesafeden doğrudan doğruya ilerlediği için belirgin bir yönelime sahiptir. Doğrudan radyasyonun maksimum yoğunluğu, genellikle gökyüzünün açık olduğu yaz aylarında öğlen saatlerinde gözlemlenir. Bu durum, ışığın en kısa yolu izlemesi ve yansıma neden olabilecek en az engelle karşılaşmasına bağlanabilir (Şirel, 2011).

Yaygın radyasyon, Güneş'te meydana gelen doğal reaksiyonlar sonucu yayılan radyasyonun oluşturduğu ışık olarak tanımlanır. Bu ışık, Dünya atmosferine girdiğinde havada asılı duran maddeler, bulutlar veya Dünya yüzeyindeki engeller tarafından emilir ve saçılır. Yaygın radyasyonun maksimum yoğunluğu genellikle bulutlu ve kapalı hava koşullarında gözlenir. Bu olgu, gökyüzü bulutlu olduğunda Güneş tarafından yayılan ve Dünya yüzeyine doğru yönlendirilen radyasyonun Dünya atmosferinde en yüksek yansımaya oranına maruz kalmasına bağlanabilir (Şirel, 2011).

Dünya'nın şekli, yüzeyindeki engeller, meteorolojik olaylar, eksen eğikliği ve gezegenin hem kendi eksenini etrafındaki hem de Güneş etrafındaki yörüngesindeki hareketi, güneş radyasyonunun Dünya yüzeyine dik olmayan bir şekilde ulaşmasına katkıda bulunan faktörlerdir. Sonuç olarak, Dünya'da doğrudan radyasyon, dağınık radyasyona göre daha az yaygındır. Örneğin, Ekvator bölgesi ve bitişik alanlar, daha yüksek enlemlerde bulunan kutuplara yakın bölgelere kıyasla yıl boyunca daha yüksek oranda doğrudan radyasyona maruz kalmaktadır.

2.2.b. Parlaltı (Luminance) (L, cd/m²)

Parlama, aydınlatılmış bir alanın belirli bir yüzeyinden veya bölümünden ışığın yansımaları olarak tanımlanabilir ve bu da aşırı parlak bir görünüme neden olur. Güneş ışığı genellikle en parlak ışık olarak kabul edilir. Parlama, görsel algıyı engelleyen yaygın bir aydınlatma sorunudur. Parlama;

- Belirli bir tek yönden fazla ışık gelmesi
- Doğrudan güneş ışınına maruz kalınması,
- Tasarımda güçlü bir yapay aydınlatma elemanının muhafazasız şekilde kullanılması,
- Mekan içerisindeki aydınlık ve karanlık alanların keskin bir biçimde ayrılması, gibi nedenlerden dolayı oluşmaktadır (Okutan, 2008).

Sembol: "L", Birim: Belirtilen birim yerine genellikle "cd/m²" biriminin kullanıldığına dikkat edilmelidir. Parlaklık, gözü etkileyen bir ışık kaynağının ışık yoğunluğu olarak tanımlanır. Birincil ışık kaynağı söz konusu olduğunda, bu

yoğunluk, gözlem yönündeki ışık yoğunluğu "I" ile doğru orantılı ve bu yoğunluğu üreten kaynağın görünür alanı "Sg" ile ters orantılıdır.

Belirli bir yönde 1 cd ışık yoğunluğu üreten ve bu yöne dik düzlemde 1 m² görünür alana sahip bir yüzeyin parlaklığı 1 nit'tir (cd/m²). İkincil ışık kaynaklarının parlaklığı, bu yüzeylerin parlaklık seviyesine ve söz konusu yüzeylerin ışık yansıtma veya ışık geçirme faktörlerine bağlıdır.

Görünür bir yüzeydeki aydınlatma (ışık seviyesi) 1 lüks (lm/m²) olarak ölçüldüğünde, yüzeyin ışık yansıtma veya ışık yansıtma faktörlerinin çarpımının "n" sayısına (cd/m²) bölünmesiyle parlaklık hesaplanabileceği tespit edilmiştir. Aydınlatmanın görsel algıdaki rolü büyük önem taşır. Görsel dünya, parlaklık veya parlaklık eksikliği gibi farklı özelliklere sahip çeşitli yüzeylerden oluşur. Belirli bir konumdaki aydınlatma seviyesi, aydınlatma sorunlarının ele alınmasında kritik bir faktör olmakla birlikte, doğrudan algılanabilir bir nicelik değildir.

Ancak bu aydınlık düzeyinden etkilenen yüzeyler, ışık yansıtma katsayılarına ve parlaklık seviyesi değerine bağlı olarak daha fazla veya daha az parlak görünürler (Ekenci, t.y.). Başka bir deyişle görülen aydınlık düzeyi değil, parlıttır (Lamp 83, t.y., s. 8).

Kamaşma: "Bulanık görme" terimi, çevresel faktörler nedeniyle sağlıklı bir gözde geçici olarak net görememe durumunu ifade eder.

Görme alanındaki birincil ve ikincil ışık kaynakları arasında optimum olmayan parlaklık farklılıklarının varlığı (yani, kontrast algılama eşiğinin gerekli seviyeden düşük olması), görme keskinliğindeki bozulmaya bağlı olarak görsel performansta düşüşe yol açar. Ancak bu fark çok büyükse, kamaşmaya neden olabilir. Kamaşma, parlaklık kontrastında artış olarak tanımlanır. Kamaşma olgusu iki farklı türe ayrılabilir. Yetersiz kamaşmanın, kullanıcının görsel görevleri yerine getirme kapasitesini engellediği gösterilmiştir. Bunun sonucunda, gözün kontrast duyarlılığı azalır.

Yetersiz aydınlatmanın neden olduğu parlama, ışık kaynağının parlaklığı ve alanı ile görsel hedef arasındaki açıyla ters orantılı olarak değişir. Konforsuzluk kamaşması; iç mekanlarda daha sık karşılaşılan ve görsel işlevlerin belirli bir rahatsızlık derecesi altında gerçekleştirilmesine neden olan bir kamaşma türüdür. Rahatsızlık veren kamaşmanın değerlendirilmesi, çeşitli parametrelerin

hesaplanmasıyla belirlenen Parlama Endeksi kriterlerinin uygulanmasını gerektirir. Bu parametreler arasında kamaşma kaynağının parlaklığı, görüş hattına göre konumu, gözlem noktasından algılanan kaynağın mekansal açısı ve ortam parlaklığı değişkenleri bulunur (Onaygil, t.y.).

2.3. Gün Işığından Yararlanma Yöntemleri Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Gün ışığının iç mekan performansını artırmaya yönelik çalışmalar, mimarlık ve aydınlatma araştırmalarında uzun süredir önemli bir yere sahiptir. Literatürde yapılan araştırmalar, gün ışığını yalnızca iç mekana aktarmakla sınırlı olmayan; aynı zamanda ışığın yönünü, yoğunluğunu ve dağılım biçimini kontrol eden çeşitli sistemlerin geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu sistemler, derin planlı mekanlarda gün ışığının hızla azalması, homojen aydınlık düzeyi sağlama güçlüğü, kamaşma riski ve enerji tüketiminin düşürülmesi gibi temel problemlere çözüm üretmeyi amaçlamaktadır.

Mevcut yaklaşım çoğunlukla pencere düzlemi üzerinden ışığın iç mekana girişini en üst düzeye çıkarmaya odaklanırken, güncel çalışmalar ışığın mekan içindeki davranışını yeniden şekillendiren, optik prensiplere dayalı ve geometri kontrollü çözümlere yönelmektedir. Bu doğrultuda tavan yüzeylerinin formunun değiştirilmesi, özel yansıtıcı elemanlar kullanılması, ışığın toplanarak yoğunlaştırılması veya hibrit kontrol sistemleriyle yapay aydınlatma ile senkronize edilmesi gibi yöntemler yaygın biçimde araştırılmaktadır. Bu teknolojilerin ortak amacı, gün ışığını yalnızca miktar olarak artırmak değil, aynı zamanda görsel konforu iyileştiren dengelenmiş, yönlendirilmiş ve sürdürülebilir bir aydınlık düzeni oluşturmaktır.

Bu bölümde, gün ışığından yararlanmayı amaçlayan bu farklı sistemler çalışma prensipleri, avantajları, sınırlılıkları ve mekansal performansları üzerinden incelenecek; ayrıca bu teknolojik ve geometrik yaklaşımların, tez kapsamında önerilen Di-ARCIeling çift yönlü tavan sistemi ile nasıl ilişkilendiği ortaya konmaktadır.

2.3.a. Hibrit ve Akıllı Tavan Sistemleri

Gün ışığının kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik refahı üzerindeki etkisi iki yönlüdür: mekanları aydınlatır ve insan sağlığının bu yönleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu, özellikle eğitim binalarında önemlidir. Son araştırmalar, farklı tavan geometrilerinin iç mekanlardaki gün ışığı performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur (Fakıbaşa Dedeoğlu & Yalçın, 2025). Gün ışığının verimliliği üzerine yapılan bu çalışmada tavan yüzeyinin eğim ve eğrilik oranının artırılmasının mekana gün ışığı girişini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Düz ve eğimli tavanlara kıyasla, dairesel tavanlar ışığı kırma ve derinliklere yayma konusunda önemli ölçüde daha fazla kabiliyete sahiptir. Bu, mekanın arka kısımlarında bile yeterli ışık seviyeleri sağlayarak yapay aydınlatma ihtiyacını en aza indirir. Simülasyon sonuçlarına göre, ışık düz tavanlarda yalnızca yüzeye dik açıyla çarptığında etkilidir; ancak dairesel tavanlar yıl boyunca daha tutarlı bir performans göstermiştir. Çalışma ayrıca tavan yapılarının enerji tüketimi üzerindeki etkisini de değerlendirmiştir. Dairesel tavanlar 150 W enerji tüketerek en verimli sistem iken, düz tavanlar 300 W enerji tüketerek en az verimli sistem olmuştur.

Işık homojenliği açısından, dairesel yüzeyler %90 oranında dengeli bir dağılım sağlarken, düz tavanlar %30 oranında dengeli bir dağılım sağlamıştır. Bu veriler, eğitim binalarında kullanıcı konforunu ve enerji verimliliğini artırmak için tavan tasarımının yeniden düşünülmesinin önemini vurgulamaktadır (Fakıbaşa Dedeoğlu&Yalçın,2025).

Gün ışığının iç mekana alınmasında kullanılan hibrit ve akıllı tavan sistemleri, pasif ve aktif tasarım stratejilerini bir araya getirerek hem homojen ışık dağılımını hem de dinamik ışık kontrolünü mümkün kılmaktadır. Bu sistemlerde, dairesel tavan yüzeyleri, yüksek yansıtıcılı kaplamalar veya mikroprizmatik paneller gibi pasif elemanlar, ışığın mekana kayıpsız taşınmasını sağlarken; sensör destekli paneller, elektro-kromatik camlar ve otomasyon yazılımları gibi aktif teknolojiler, dış koşullara göre ışığın miktarını ve yönünü sürekli olarak ayarlamaktadır (Günaydın, 2017; Kazanasmaz, 2009).

Hibrit ve akıllı sistemlerin bir diğer avantajı, dinamik kontrol imkanıdır. Sensörlerle desteklenen otomasyon sistemleri, günün farklı saatlerinde ya da yılın farklı dönemlerinde değişen güneş ışığına tepki vererek ışık dağılımını optimize

edebilmektedir. Bu, sınıflarda ani ışık değişimlerinden kaynaklanan dikkat dağınıklığını önlemekte ve öğrencilerin odaklanmasını kolaylaştırmaktadır (Bayram vd., 2020). Ayrıca, dijital tahtalar veya projeksiyon cihazlarının kullanıldığı derslerde kamaşmayı azaltmak için ışık yoğunluğu otomatik olarak düzenlenebilmektedir.

Hibrit ve akıllı tavan sistemleri, sürdürülebilirlik, kullanıcı konforu ve pedagojik verimliliği aynı çatı altında toplayan bütüncül çözümler olarak öne çıkmaktadır. Fakıbaba Dedeoğlu & Yalçın'ın (2025) önerdiği Pro-Sun yaklaşımı, bu anlamda gelecekteki eğitim mekanları tasarımları için yol gösterici niteliktedir. Tavan sistemleri yalnızca fiziksel aydınlatma unsurları değil, aynı zamanda öğrenme ortamının kalitesini yükselten aktif bileşenler olarak ele alınmalıdır.

2.3.b. Eğrisel Işık Rafı Sistemleri

Eğrisel ışık rafları, düz yüzeyli rafların tek yönlü yansıma karakterini iyileştirmek amacıyla geliştirilen ve ışığı farklı açılarla kırarak mekanın derinliklerine daha dengeli iletmeyi hedefleyen sistemlerdir. Lee, Seo ve Choi'nin çalışması, eğrisel reflektör geometrisinin ışığın davranışı üzerindeki etkisini ayrıntılı biçimde açıklayan önemli araştırmalardan biridir. Bu çalışmada ışığın eğrisel yüzeye etkileşimi, yüzeye gelen ışının teğet düzlemine göre türetilmiş normali üzerinden geometrik olarak modellenmiş; böylece ışığın mekan içerisine hangi açılarla yönlendirildiği belirlenmiştir (Lee et al., 2019). Araştırma kapsamında 20°, 40°, 60°, 80° ve 100° olmak üzere farklı eğrilik açılarında yansıtıcı yüzeyler test edilmiş ve performansları düz raflarla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgular, özellikle 40° eğrilik değerinin hem aydınlık düzeylerinde hem de aydınlık homojenliğinde en dengeli sonuçları verdiğini göstermektedir. Orta mevsim koşullarında düz raf 30° açıyla düşük homojenlik sunarken, eğrisel rafın aynı şartlarda mekan içi dağılımı belirgin biçimde iyileştirdiği tespit edilmiştir (Lee et al., 2019). Eğrisel rafın ışığı tavana doğru yayarak daha difüz bir dağılım oluşturması ve kamaşmayı azaltması, derin planlı mekanlarda görsel konfor avantajı sağlamaktadır.

Buna karşın çalışma, eğrilik geometrisinin performans üzerinde doğrusal olmayan bir etki yarattığını da ortaya koymaktadır. Eğrilik 40°'nin üzerine çıktığında homojenlik oranı düşmekte; özellikle 60° ve üzerindeki değerlerde ışığın mekana giriş verimi azalmaktadır (Lee et al., 2019). Bu durum, yüzey eğriliği arttıkça ışığın daha büyük bir bölümünün geri yansmasıyla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca sistemin performansının yüzey formuna yüksek derecede duyarlı olması, küçük eğri değişikliklerinin bile sonuçları belirgin biçimde etkilemesi nedeniyle farklı mimari koşullara uyarlanabilirliği sınırlayabilmektedir. Çalışmada kullanılan yapay ışık test düzeneğinin yalnızca güney yönelimli ışığı simüle edebilmesi ise değerlendirmeyi belirli bir güneş konumuna bağımlı hale getiren yöntemsel bir sınırlılık olarak belirtilmiştir (Lee et al., 2019).

Eğrisel ışık raflarına ilişkin bu çalışma, tez kapsamında önerilen Di-ARCIeling çift yönlü dairesel tavan sistemi için kuramsal bir temel oluşturmaktadır. Eğrisel raflarda olduğu gibi kavisli yüzeylerin ışığı çoklu açılarda kırarak mekan içine iletme potansiyeli, Di-ARCIeling tasarımının da dayandığı temel prensiple örtüşmektedir. Bununla birlikte eğrisel raflar yalnızca pencere üzerinde ve tek doğrultuda çalışırken, Di-ARCIeling sistemi çift yönlü dairesel yüzeyler sayesinde ışığı hem yatay hem düşey doğrultuda daha geniş bir alana yayabilmektedir. Bu açıdan eğrisel rafın cepheye bağımlı, sınırlı etkili ve tek yönlü dağıtım karakteri, Di-ARCIeling sisteminin mekana bütünleşik ve modüler yaklaşımıyla karşılaştırıldığında önemli bir eksiklik olarak ortaya çıkmaktadır. Eğrilik arttığında performansın düşmesi yönündeki bulgu ise, Di-ARCIeling'in tasarımında yüzey geometrisinin optimize edilmesi gerekliliğini destekleyen kritik bir teknik veri sağlamaktadır.

2.3.c. Anidolik Tavan Sistemleri

Anidolik tavan sistemleri, dış ortamdan gelen gün ışığını iç mekanın derin bölgelerine kadar taşımak amacıyla eğrisel optik yüzeyler kullanan gelişmiş bir doğal aydınlatma yaklaşımıdır. Bu sistemler, anidolik optik ilkeler doğrultusunda ışığı yalnızca toplamakla kalmaz; aynı zamanda yönlendirerek geniş hacimli mekanlarda homojen bir gün ışığı dağılımı elde etmeyi hedefler. Sorooshnia ve çalışma arkadaşlarının (2023) gerçekleştirdiği araştırma, anidolik tavan

geometrisinin eğrisel formunun parametrik olarak optimize edilmesine odaklanan kapsamlı bir çalışmadır. Araştırma, Sydney iklim koşullarında farklı anidolik tavan eğrilerinin görsel konfor, termal konfor ve enerji tasarrufu üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir.

Çalışmada anidolik tavan yüzeyinin eğriliği, hem ışığın mekan içine giriş açısını hem de iç mekandaki yayılım karakterini belirlediğinden kritik bir tasarım değişkeni olarak ele alınmıştır (Sorooshnia et al., 2023). Parametrik optimizasyon sürecinde tavan yüzeyinin eğrisi, iç mekandaki aydınlık düzeyi, aydınlık homojenliği, kamaşma riski, ısı kazancı ve aydınlatma/soğutma enerji tüketimi gibi çoklu performans göstergeleri dikkate alınarak yeniden şekillendirilmiştir. Bulgular, doğru eğri formunun seçilmesi durumunda anidolik tavan sisteminin hem yapay aydınlatma ihtiyacını azaltabildiğini hem de gün ışığının iç mekan boyunca daha dengeli bir şekilde dağılmasını sağlayabildiğini göstermektedir. Özellikle yaz aylarında optimize edilmiş eğrinin, güneş ışığını iç mekana aşırı ısı kazancı yaratmadan ilettiği; kış aylarında ise düşük güneş açılarında rağmen ışığı yeterli düzeyde toplayabildiği belirtilmiştir (Sorooshnia et al., 2023).

Anidolik tavan sistemlerinin en belirgin sınırlılıklarından biri, performansın yüzey eğrisine yüksek derecede bağımlı olmasıdır. Küçük geometrik değişiklikler bile ışığın mekan içi dağılımını önemli ölçüde etkileyebilmekte; bu nedenle sistemin farklı iklimlerde veya farklı mekansal konfigürasyonlarda yeniden optimize edilmesi gerekebilmektedir. Bununla birlikte, anidolik tavanlar genellikle sabit konfigürasyonlarda tasarlandığı için dinamik ışık koşullarına uyum sağlama kapasitesi sınırlıdır (Sorooshnia et al., 2023).

Tüm bu bulgular, anidolik tavan sistemlerinin özellikle kavisli yüzeylerle gün ışığını yönlendirme prensibi açısından geliştirilen Di-ARCIeling sistemiyle önemli paralellikler taşıdığını göstermektedir. Her iki yaklaşım da gün ışığını yalnızca mekana almakla kalmayıp, onu iç mekan boyunca yeniden dağıtmayı hedeflemektedir. Ancak anidolik tavanlar çoğunlukla optik toplama ve yönlendirme prensipleri üzerine kurulu olan, daha monolitik ve bütüncül sistemlerdir. Di-ARCIeling ise modüler, mekan içinde serbest yerleşimli ve çift yönlü dairesel yüzeylerden oluşan yapısıyla daha esnek bir çözüm sunar. Dolayısıyla anidolik tavan çalışması, eğrisel yüzey kullanımı ve ışığın yeniden yönlendirilmesi

konusunda tasarlanan sistemin kavramsal çerçevesini destekleyen önemli bir referans niteliğindedir.

2.3.d. Gün Işığını Yoğunlaştıran İç Mekan Panjur Sistemi

Gün ışığının iç mekanlarda daha verimli kullanılmasını amaçlayan yaklaşımlardan biri de gün ışığını yoğunlaştırarak iç mekana yönlendiren panjur (louver) sistemleridir. Lee ve Kang'ın (2024) geliştirdiği "daylight-concentrating indoor louver system", özellikle tavan kotuna yakın bir bölgede yerleştirilen yansıtıcı lameller aracılığıyla dış ortamdan gelen ışığın belirli bir açıyla toplanmasını ve iç mekan içinde daha etkin şekilde dağıtılmasını hedeflemektedir. Bu sistem, yalnızca pasif bir yönlendirme elemanı olarak değil, aynı zamanda LED kontrollü hibrit bir aydınlatma senaryosu ile çalışarak toplam enerji tüketimini azaltmayı amaçlamaktadır.

Çalışmada panjur sisteminin geometrisi, lamellerin eğim açısı ve yansıtıcılık özellikleri farklı senaryolar altında test edilmiştir. Bulgular, lamellerin belirli bir açıyla optimize edildiğinde gün ışığını pencere bölgesinden uzak iç mekan bölgelerine taşıyabildiğini ve böylece yapay aydınlatma kullanımının önemli ölçüde azaltılabildiğini göstermektedir (Lee & Kang, 2024). Ayrıca sistem, gün ışığının yoğun olduğu zaman dilimlerinde LED aydınlatmanın otomatik olarak kısılmasına imkan tanıyan kontrol mekanizmasıyla çalışmakta; bu sayede hem enerji tasarrufu sağlanmakta hem de iç mekanda gereksiz aydınlık düzeyi yükselmelerinin önüne geçilmektedir.

Araştırmada yapılan simülasyon ve deneysel ölçümler, yoğunlaştırıcı panjur sisteminin özellikle gün boyunca değişken ışık koşullarına karşı esnek tepki verebildiğini, mekanın derin bölgelerinde daha stabil bir aydınlık düzeyi oluşturduğunu ve görsel konforu artırdığını ortaya koymuştur (Lee & Kang, 2024). Bununla birlikte sistemin performansının lamel açısına, tavan yüksekliğine ve mekanın yönlenmesine oldukça duyarlı olduğu; dolayısıyla mekansal değişimlerde yeniden optimizasyon gerektirdiği belirtilmiştir.

Bu tür yoğunlaştırıcı panjur sistemleri, tez kapsamında önerilen Di-ARCIeling tasarımıyla benzer şekilde iç mekan boyunca gün ışığı dağılımını

iyileştirmeyi hedeflemektedir. Ancak iki yaklaşım arasında temel bir fark bulunmaktadır: Panjur sistemi daha çok yatayda ışığı yönlendiren, dar yüzeyli optik lamellerle çalışırken, Di-ARCIeling tasarımı çift yönlü dairesel tavan yüzeyleri ile ışığı daha geniş bir yüzey üzerinden kırarak mekanın geneline yaymaktadır. Bu yönüyle panjur sistemi, “akıllı ve hibrit kontrol tabanlı gün ışığı sistemleri” sınıfına girerken; Di-ARCIeling daha çok yüzey geometrisiyle ışığı yeniden şekillendiren mimari bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla yoğunlaştırıcı panjur sistemine ilişkin çalışma, özellikle gün ışığının kontrollü yönlendirilmesi ve yapay ışık ile hibrit kullanımın optimizasyonu açısından tezdeki tavan önerisinin performans kriterleriyle ilişkili önemli bir referans sunmaktadır.

2.4. Gün Işığı Yönlendirme Sistemleri

Tarih boyunca insanlık, ışık ve enerji kaynağı olarak güneşten yararlanmaya çalışmıştır. Gün ışığının mimari tasarımda temel bir ilke olarak kullanımı, antik Yunan, Roma ve Mısır geleneklerinde açıkça görülmektedir. Gün ışığı, tarihsel olarak yapı tasarımı alanının ayrılmaz bir parçası olmuş ve mevcut tasarımcıların tasarladığı yapılar üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. Tasarım ve inşaat aşamalarında gün ışığından en iyi şekilde yararlanmak için duvarlardaki açıklıklar ve çatılarda oluşturulan saçaklar özenle tasarlanmıştır. 20. yüzyılın başlarında meydana gelen teknolojik gelişmelerle eş zamanlı olarak, yaşamın her alanına nüfuz eden makineleşme, üretim ve kullanımda enerji talebini artırmıştır.

Aynı yüzyılın ikinci yarısından itibaren, artan enerji talebinin karşılanmaması nedeniyle ortaya çıkan krizler, fosil enerji kaynakları üzerine araştırmaların genişlemesine ve yapılan araştırmaların sayısının artmasına yol açmıştır. Bu araştırmaların bulguları, fosil enerji kaynaklarının sınırlı olduğunu ve bu olgunun insan yaşamı üzerindeki etkilerinin toplumsal düşüncede bir dönüşüme yol açtığını göstermiştir.

Son araştırma bulguları ve bilim insanları tarafından ortaya atılan teoriler, enerji gereksinimlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yoluyla karşılanmasına yönelik artan bir eğilim olduğunu göstermektedir.

Bu eğilim, makineleşme ve diğer faktörlerden kaynaklanan değişen aydınlatma taleplerine uyum sağlayabilen, artan gelişmiş aydınlatma talebini karşılayabilen, küresel iklim dengesinin korunmasına katkıda bulunabilen ve gün ışığının ve bileşenlerinin optimum kullanımını kolaylaştıran çözümlere olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu bağlamda amaç, çağdaş teknolojik gelişmelerden yararlanarak mevcut mimaride kullanılan aydınlatma sistemlerini çağdaşlaştırmak ve geliştirmektir. Bu yaklaşım, bu sistemlerin verimliliğini optimize etmeyi ve istenen performans sonuçlarını elde etmeyi amaçlamaktadır.

Gün ışığının daha etkin kullanımını sağlamak amacıyla, "Gün Işığı Sistemleri" olarak bilinen bir dizi çağdaş çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen 'Gün Işığı Yönlendirme Sistemlerinin hedefleri olarak:

- İç Mekanda gün ışığının nicelik ve nitelik olarak kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak yeterlilikte olmasını sağlamak,
- Gün ışığının ulaşamadığı hacimlere gün ışığını ulaştırarak iç mekanda yeterli ve homojen aydınlık düzeyi elde etmek,
- Yeterli seviyede gün ışığının içeri alınması sırasında oluşacak kamaşmanın engellenmesini sağlamak,
- Aydınlatma enerjisi için harcanan enerji miktarını minimum seviyeye indirmek,
- Farklı işlevlerde kullanılan hacimlerde yeterli gün ışığı seviyesini oluşturmak gibi maddelerden bahsedilebilir (IEA, 2010).

Binalarda mevcut gün ışığından faydalanma yöntemleri, öncelikle ışık rafları, gölgelendirme elemanları veya pencere üstü bileşenleri gibi dış elemanlar aracılığıyla ışığı iç mekanlara yönlendirmeye odaklanır (Heschong et al., 2002). Belirli koşullar altında etkili olsalar da bu sistemler, özellikle derin kat planlarına veya kuzeye bakan cepheler gibi zorlu yönelimlere sahip binalarda, genellikle homojen gün ışığı dağılımı sağlamada yetersiz kalmaktadır (Figueiro & Rea, 2016).

2.4.a. Gün Işığı Rafları

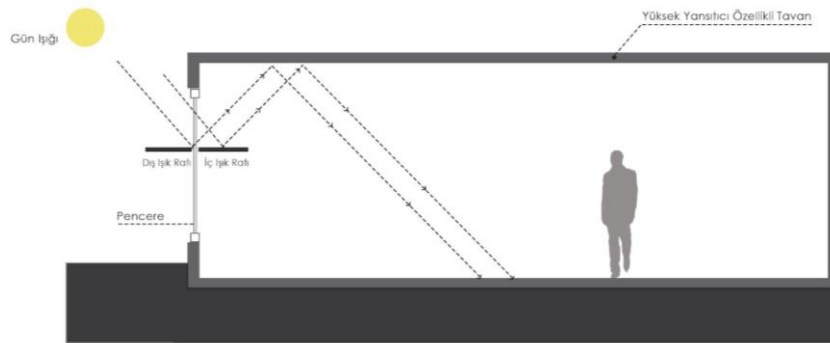
Bu sistemin genel tasarım amacı, pencereye yakın alanda gölgeleme sağlayarak gün ışığının iç mekana girişini kolaylaştırmak ve genel olarak homojen bir aydınlatma sağlamaktır. Işık raflarının iç mekanlardaki gün ışığı seviyesi

üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ancak, ışık seviyesini dağıtarak hem görsel hem de termal konfor açısından daha konforlu bir iç mekan ortamı yarattıkları görülmüştür. Eşdeğer yükseklikteki pencerelerle karşılaştırıldığında, ışık raflarının odadaki gün ışığı faktörleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir.

Işık rafı, doğrudan ışığı ve parlamayı engelleyen fiziksel bir bariyer sağlayarak termal koşulların düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Cepheye entegre edilmesi veya pencerenin iç, dış veya hem iç hem de dış yüzeylerinde, göz seviyesinden yaklaşık iki metre yükseklikte yatay olarak yerleştirilmesi mümkündür. Işık rafının bu belirli yüksekliğe stratejik olarak yerleştirilmesi, engelsiz bir dış görüş sağlarken aynı zamanda ışık rafının üst yüzeyinde oluşabilecek ve görsel konforu olumsuz etkileyebilecek olası parlama etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır (Scartezini & Courret, 2002).

Pencereye yakın konumlandırılan ışık rafı, dışarıdan ilave ışık girişini kolaylaştırarak mekanın genel aydınlatmasını artırmaya yarar. Aynı zamanda, gün ışığını en uzak noktalara ileterek mekan içinde homojen aydınlatma koşullarının yaratılmasını kolaylaştırır (IEA SHC, 2000). Ancak ışık raflarının etkisinin pencereye yakın bölgelerle sınırlı kalması ve mekanın derinliklerinde aydınlatma performansını yeterince iyileştirememesi, daha kapsamlı ve bütüncül bir gün ışığı yönlendirme sistemine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Şekil 2.2. Işık Rafı Çalışma Prensibi Kaynak (IEA SHC, 2000).



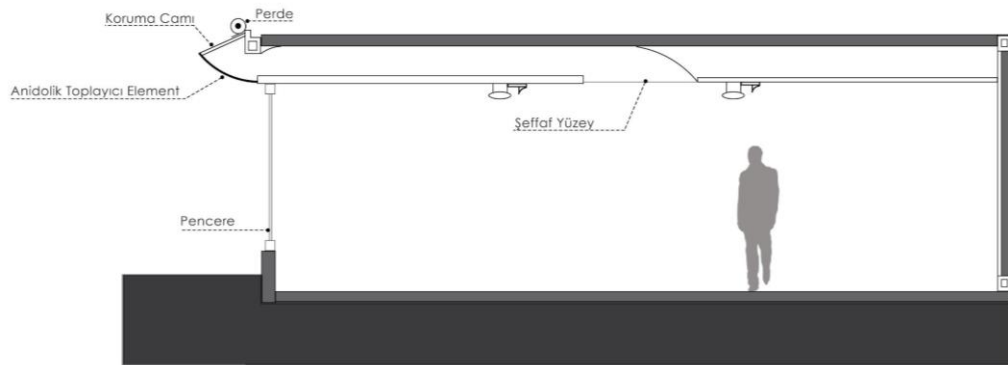
2.4.b. Anidolik Sistemler

Anidolik sistemlerin temel amacı ve işlevi, çoğunlukla kapalı iklim bölgelerinde bulunan binalarda gün ışığını etkili bir şekilde toplamak ve toplanan bu ışığın yeterli gün ışığı almayan iç mekanların derinliklerine iletilmesini sağlamaktır. Bu bağlamda gün ışığı iletimi sağlanarak derin mekanlarda parlama olmadan homojen bir aydınlatma sağlamak hedeflenir. (Erel, 2004).

Cepheye kurulan anidolik toplama sistemi, bulutlu havalarda bile dağınık gün ışığı bileşenlerini toplayabilir. Bu sistem, optik özelliklerini kullanarak toplanan ışığı yoğunlaştırır ve yansıtıcı bir iç yüzeye sahip tüpe iletir. Tüp, kolektör tarafından kendisine yönlendirilen ışınları anidolik dağıtıcı elemana iletmekle görevli sistemin parçasıdır. Işık ışınları bu tüp aracılığıyla aydınlatılması gereken alana iletilir. Kanalın iç yüzeyi, ışınların enerji kaybını en aza indirmek için yüksek yansıtıcılığa sahip bir malzemeyle kaplanmıştır (Gürsoy, 2019).

Tüp, içinden geçen ışınları tüpün ucunda bulunan anidolik difüzöre yönlendirir. Parabolik bir reflektör formundaki difüzör, aydınlatılacak hacim Sistemin çalışma şeması şekil 2.6.'te şematik olarak gösterilmiştir. Anidolik sistemler, derin mekanlarda gün ışığını iletme potansiyeli taşımakla birlikte, cepheye entegre edilen toplama ve dağıtma elemanları sayesinde işlev görürler. Ancak bu sistemlerin tasarım ve uygulama açısından karmaşık yapıları, her projeye kolayca entegre edilememeleri ve mimari esneklik kısıtları, iç mekanlarda daha yalın, tavan düzlemine entegre edilebilecek alternatif çözümler arayışını gündeme getirmiştir.

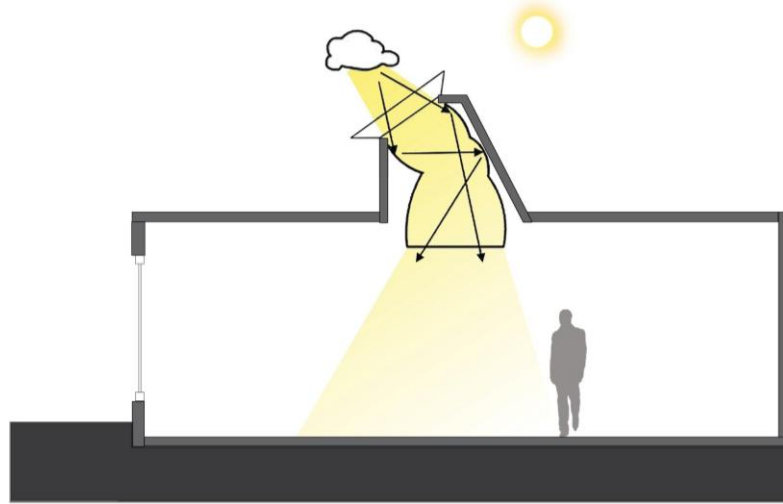
Şekil 2.3. Anidolik Tavan Sistemi Kaynak: (Scartezzini & Courret, 2002)



2.4.b.i. Anidolik Açıklık (Anidolik Zenital Açıklığı)

Anidolik tavan pencereleri, görsel imgeler oluşturmak için optik prensiplerden yararlanan özel bir gün ışığı açıklığı türünü temsil eder. Yüksek açısal seçicilikleri ile öne çıkan anidolik cihazlar, gökyüzünün önemli bir bölümünden dağınık gün ışığını toplarken doğrudan güneş ışığını etkili bir şekilde engellemek üzere tasarlanmıştır. Anidolik zenital açıklıklar, çok katlı binaların, tek katlı binaların ve atriyumların üst katlarında kullanılmaktadır. Anidolik zenital açıklık sistemi iki bileşenden oluşur: bir optik yoğunlaştırıcı ve bir dağıtıcı. Optik yoğunlaştırıcı, görüntü oluşturmayan, iki boyutlu ve uzunlamasına olan ve doğu-batı yönünde yönlendirilmiş birleşik bir parabolik toplayıcıdan oluşur (IEA SHC, 2000). Anidolik tavan pencereleri, üst açıklıklardan gün ışığını toplayarak mekanın derinliklerine iletebilme potansiyeli taşımaktadır. Bununla birlikte, sistemin büyük ölçüde çatıya ve üst açıklıklara bağımlı olması, tüm iç mekan boyunca homojen dağılımı sağlamakta sınırlı kalmasına neden olmaktadır.

Şekil 2.4. Anidolik Tepe Açıklığı Sistemi Kaynak: (Yenidoğan, 2017)

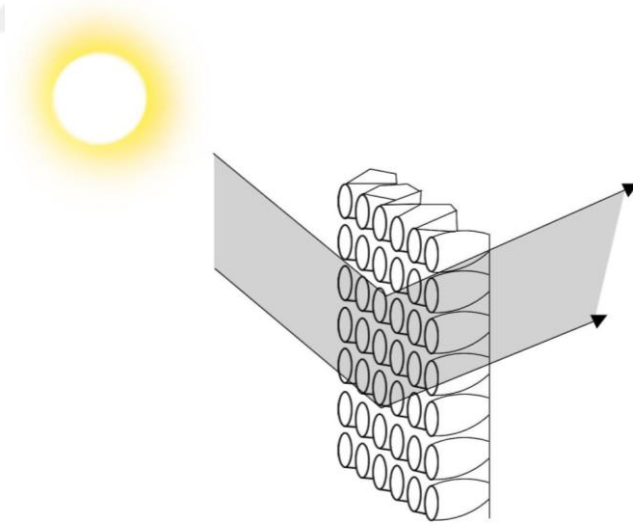


2.4.b.ii. Anidolik Petek (Anidolik Güneşlik)

Anidolik Petek Sistemleri, daha önce bahsedilen anidolik sistemlerin aksine, doğrudan güneş ışığı bileşenlerinin kullanımını kolaylaştıran üç boyutlu bir

konfigürasyona sahiptir. Sonuç olarak, yalnızca açık gökyüzü koşulları için tasarlanmış diğer sistemlerin aksine, bu sistem kapalı hava koşullarının hakim olduğu bölgelerde de kullanılabilir. Sistem, her biri iki adet üç boyutlu birleşik parabolik toplayıcıdan oluşan içi boş yansıtıcı elemanlardan oluşur. Yansıtıcı elemanlar, soğuk kalıplama teknikleri kullanılarak silikon kalıplarda plastik malzemelerden üretilirken, iç yüzeyleri buhar biriktirme adı verilen özel bir teknik kullanılarak alüminyum ile kaplanır. Bu cihazlar, ışık iletimi sırasında yüksek açısız seçicilik sunacak şekilde tasarlanmıştır, böylece güneş ışığını düzenler ve parlamayı azaltır (IEA SHC, 2000). Anidolik Petek Sistemleri, üç boyutlu konfigürasyonu sayesinde doğrudan güneş ışığını yönlendirebilmesiyle dikkat çekmektedir. Ancak üretim sürecinde ihtiyaç duyulan özel malzemeler ve kaplama teknikleri, bu sistemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Dolayısıyla, benzer optik prensiplerden yararlanarak daha sade ve yapısal olarak uygulanabilir bir çözüm ihtiyacını da beraberinde getirmektedir.

Şekil 2.5. Anidolik Petek(Anidolik Güneşlik) Sistemi Kaynak: (IEA SHC, 2000)



İç yüzeylerinde bulunan reflektörlere zarar gelmemesi adına sistem çift cam arasına yerleştirilerek uygulanmaktadır (IEA SHC, 2000).

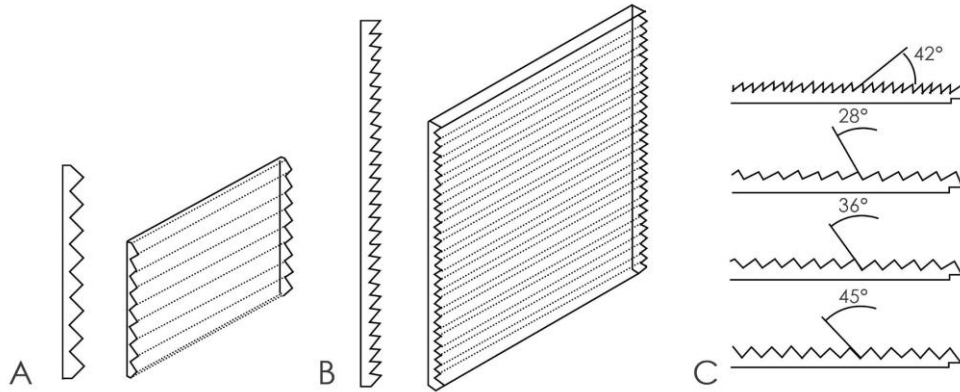
Anidolik petek sistemini diğer anidolik sistemlerden ayıran en önemli fark, uygulama alanını özelleştiren belirli iklim, coğrafi ve çevresel faktörlere göre dönüşebilme imkanındır. Dışa bakan Kombine Parabolik Kolektörün üç boyutlu

konfigürasyonu, belirli kullanım ihtiyaçlarına uyarlanmış ve açısal seçicilik sergileyen bir toplama sektörü sağlar. Hacim odaklı Kombine Parabolik Kolektör, toplanan ışığı hacmin arka bölümlerine yönlendirir. Bu yaklaşımın amacı, hacmin derinliklerindeki ışık seviyesini artırarak homojen bir aydınlatma sağlamaktır. Optimum konfor sağlamak için ışık ışınları tavana doğru 25° açılı olarak yönlendirilir ve böylece parlama azaltılır (Scartezini & Courret, 2002).

2.4.c. Prizmatik Paneller

Şeffaf akrilikten üretilen prizmatik paneller, ince, düz ve testere dişi yapısıyla öne çıkan gün ışığı sistemleridir. Bu cihazlar, ılıman iklim bölgelerinde gün ışığını yönlendirmek ve yansıtmak için kullanılır. Belirlenen gün ışığı stratejisine bağlı olarak, sabit veya güneşi takip eden hareketli sistemlerle birlikte kullanılabilirler ve çatı pencereleri ve cepheler dahil olmak üzere çeşitli uygulama seçenekleri mevcuttur (Kazanasmaz et al., 2011). Prizmatik paneller, basit ve düz formlarıyla gün ışığını yönlendirme potansiyeli sunmakla birlikte, çoğunlukla cephe veya çatıya entegre çözümler olarak uygulanmaktadır. Ancak bu panellerin mekanın derin bölgelerinde ışık dağılımını iyileştirme performansı sınırlı kalmaktadır.

Şekil 2.6. Prizmatik Paneller(Simetrik Asimetrik ve Farklı Açılı Değerlerine Sahip Dişler Kaynak: (Kazanasmaz et al., 2011)



Şekil 2.7. Prizmatik Paneller(Simetrik Asimetrik ve Farklı Açı Değerlerine Sahip Dişler Kaynak: (Kazanasmaz et al., 2011)

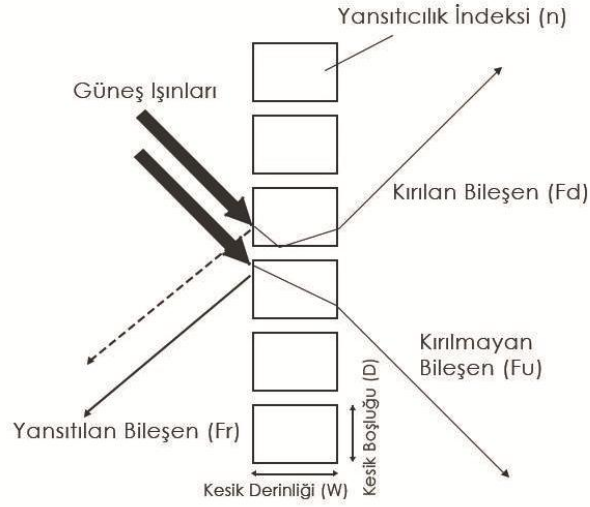


Gün ışığının odanın derinliklerine ulaşmasını sağlayacak şekilde tasarlanan prizmatik paneller, optik özellikleri sayesinde doğrudan gün ışığı bileşenlerinin kontrolünü mümkün kılar. Sistem, gökyüzünün önemli bir bölümünden gelen gün ışığını yönlendirecek şekilde tasarlanmıştır ve böylece açık gökyüzü koşullarında optimum performans sağlar. Ancak, kapalı hava koşullarının hakim olduğu bölgelerde uygulanması zorluk oluşturmaktadır (Sarıtaş, 2008).

2.4.d. Lazer Kesim Paneller

Söz konusu gün ışığı sistemi, şeffaf akrilik panellerin belirli açılarla kesilmesi için olan bir lazer kullanılarak ince dikdörtgen şekillerin üretilmesini içerir. Bu kesiklerin panel üzerindeki stratejik yerleşimi, aynalara benzer şekilde davranan etkili ışık yönlendiricilerinden oluşan bir ağ oluşturur (IEA SHC, 2000). Akrilik panellerin stratejik kesimlerle ışığı yönlendirebilmesi, optik olarak etkili bir çözüm sunmaktadır. Ancak sistemin yüksek hassasiyetli üretim süreci ve cepheye bağımlı uygulama biçimi, mekanın genelinde homojen aydınlatma sağlamada sınırlılıklara neden olmaktadır.

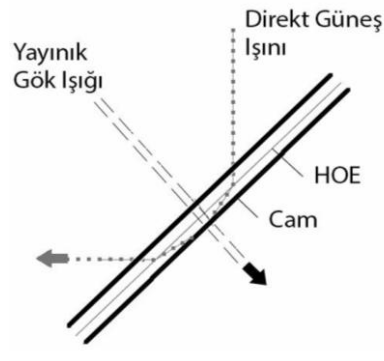
Şekil 2.8. Lazer Kesim Panel Yansıma Şeması(Edmonds & Greenup, 2002)



2.4.e. Holografik Optik Elemanlar

Holografik optik elemanlar (HOE'ler), iki cam panel arasına lamine edilmiş holografik ızgaralardan oluşan polimerik bir film tabakasından oluşur. Bu sistem, ışığın kırılma özelliklerini kullanarak onu yönlendirmektedir (IEA SHC, 2000).

Şekil 2.9. Holografik Elemanın Çalışma Prensibi(Manav et al., n.d.)



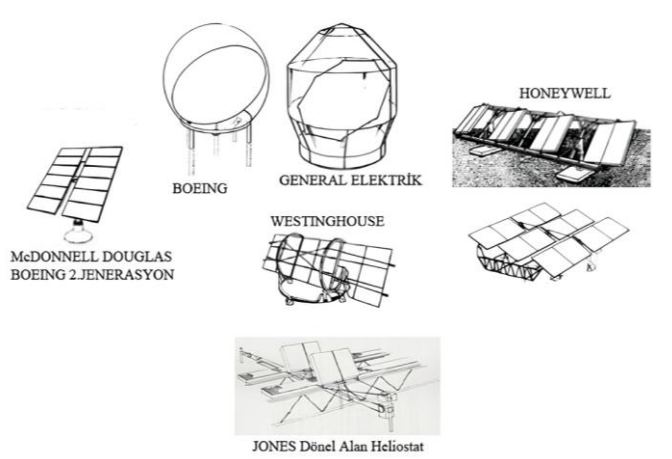
Gün ışığının dağınık bileşenlerinden yararlanmak üzere özel olarak tasarlanan sistem, doğrudan güneş ışığına maruz kaldığında renk bozulmasına ve parlamaya neden olmaktadır. Bu nedenle, doğrudan güneş ışığına maruz kalan cephelerde kullanılmamalıdır. HOE'ler, belirli ışık dalga boylarına duyarlı olacak şekilde üretilebilir. Bu sayede, istenen dalga boyunda ışık radyasyonunun iletimi ve

kontrolü sağlanarak iç mekanda görsel ve termal konfor sağlanabilmektedir (Erel, 2004). Holografik optik elemanlar, dalga boyu seçiciliği sayesinde ışığın yönlendirilmesine imkan tanımaktadır; ancak doğrudan güneş ışığında renk bozulması ve parlama riskleri barındırmaları, sistemin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu sınırlılıklar, daha esnek ve geniş mekanlarda homojen aydınlatma sağlayabilecek, aynı zamanda görsel konforu koruyacak bir çözüm arayışını gündeme getirmektedir.

2.4.f. Heliostat

Güneşi otomatik olarak takip eden sistem, bir Fresnel lens ve bir veya daha fazla aynadan oluşur. Bu aynalar, güneş enerjisini toplamak amacıyla kullanılır. Bu tür sistemlere heliostat denir. Heliostatlar bir aydınlatma teknolojisi değildir; temel işlevleri, güneş ışığını belirli bir noktaya odaklamak veya toplamak veya güneş izleme sistemleri için güneş ışığına ihtiyaç duyan sistemlere yönlendirmektir (Erel, 2004).

Şekil 2.10. 1975-1982 Yılları Arasında Geliştirilen Heliostat Modelleri Kaynak: (Şenol, 2009)



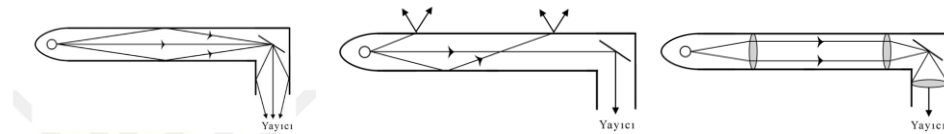
Heliostatlar, güneş ışınlarını yansıtıp yönlendirerek ve tek bir noktaya odaklayarak gün ışığı sistemlerinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, gün ışığı sistemlerinde kullanılan heliostatlar çoğunlukla binaların çatılarına monte edilir. Heliostatlar, güneş ışığını yoğunlaştırma ve belirli noktalara yönlendirme kapasitesiyle öne çıkmakla birlikte, esasen aydınlatma amacıyla geliştirilmemiş

olmaları ve yalnızca çatıya monte edilerek kullanılabilmeleri, iç mekanlarda homojen gün ışığı dağılımı sağlamada sınırlı kalmalarına neden olmaktadır.

2.4.g. Işık Tüpleri

Işık tüpü sistemleri, prizmatik veya alternatif malzemelerden oluşan ve gün ışığını toplayarak uzaktaki iç mekanlara ileten optik sistemler olarak tanımlanır. Işık tüpleri çeşitli şekil ve formlarda üretilebilir; ancak temel amaçları gün ışığını aydınlatılması gereken alanlara iletmektir. Işık tüpünün iç yüzeyine çarpan ışınlar, yüksek yansıtıcılığa sahip yüzeyler tarafından yansıtılarak tüp boyunca uzun mesafeler boyunca iletilebilmelerini sağlar. Sistemin üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler şu şekilde sınıflandırılabilir: toplayıcı heliostat (aktif veya pasif), taşıyıcı tüpler ve dağıtıcı (difüzör) eleman (Garcia Hansen & Edmonds, 2007). Toplayıcı Heliostat (Aktif veya Pasif); bu cihazlar, genellikle çatıya monte edilen bir toplayıcı heliostat aracılığıyla güneş ışığını aktif (hareket sensörleriyle) veya pasif (hareketsiz, sabit) olarak odaklayarak taşıyıcı tüplere yansıtılmasını kolaylaştırır.

Şekil 2.11. Işık Tüpleri Kaynak: (Öztürk, 2006)



Bu sistemler dağıtıcı, difüzör olarak da bilinir ve gün ışığının ışık tüpleri aracılığıyla iç mekana dağıtılmasını sağlar. Dağıtıcılar, ışık tüpleri üzerindeki ayırıcı elemanlar veya açıklıklar olarak tanımlanabilir. Sistemin verimliliği, ışık tüplerinin ışık geçirgenliğine bağlıdır. Kesin sonuç ise ışık tüpünün uzunluğuna, çapına, iç yüzey kaplama malzemesinin yansıtma oranına, iç yüzeylerinin temizliğine ve ışık tüpüne iletilen ışığın yoğunluğuna bağlıdır.

İleri teknolojilerin ortaya çıkışı, ışık tüplerinin iç yüzey kaplamalarında kullanılmak üzere cam benzeri özelliklere sahip yüksek kaliteli filmlerin geliştirilmesini hızlandırmıştır (Görgülü, 2011). Işık tüpü sistemleri, gün ışığını derin mekanlara iletme kapasitesiyle öne çıkmaktadır; ancak çatıya bağımlı

yapıları, taşıyıcı tüplerin uzunluğuna ve yüzey koşullarına bağlı performans değişkenliği, sistemin esnekliğini sınırlamaktadır.

2.4.g.i. Gün Işığı Tüpü

Gün ışığı tüpü sistemleri, doğrudan ve dağınık güneş ışığından yararlanmak ve ayrıca güneş ışığının neden olduğu parlamaya ve diğer olumsuz etkileri önlemek için geliştirilmiş sistemlerdir. Gün ışığının iletimini kolaylaştırmak için ışık tüpleri kullanan aydınlatma sistemleri gün ışığının dış mekanlardan iç mekanlara dağıtımını, görsel ve termal konfor koşullarını olumsuz etkilemeyecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Burada amaç, soğutma yüklerini artırmadan mekan içindeki parlaklık seviyesini belirlemektir. Genellikle binaların çatılarına monte edilen kolektör ünitesi, doğrudan ve dağınık ışınları toplar ve bunları taşıyıcı ünite olarak adlandırılabilir ışık tüpüne iletir. Çatıda bulunan kolektör, şeffaf bir kubbe şeklindedir. Şeffaf polikarbonattan üretilen kubbe şeklindeki kolektörler, güneş ışığının ultraviyole (UV) bileşenlerini yansıtacak ve böylece sisteme girmelerini engelleyecek şekilde tasarlanmıştır (Erel, 2004). Gün ışığı tüpü sistemleri, doğrudan ve dağınık ışığı iç mekana iletebilme ve parlamaya riskini azaltma açısından avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, çatıya bağımlı yapıları ve yalnızca belirli açıklıklar üzerinden ışık aktarabilmeleri, mekanın bütününde homojen bir aydınlatma elde etmeyi güçleştirmektedir.

2.4.g.ii. Heliobus Sistemi

Heliobus, bir tür ışık tüpü sistemidir. Esasen bir ışık taşıma sistemi olan bu sistem, sabit bir kolektör ve üst yüzeye yerleştirilmiş, gün ışığına ulaşabilen dikey prizmatik bir ışık tüpü kullanarak tüm katları aydınlatır. Sistemin bilinen örnekleri Berlin ve St. Gallen'de bulunur. Almanya, Berlin'de, Potsdamer Platz şehir meydanında, gün ışığını metro istasyonuna getirmek için çeşitli yerlerde ışık tüpleri kullanılmaktadır. Başka bir örnek ise İsviçre, Saint Gallen'deki bir anaokulu binasının merkezinde yer almaktadır. Binanın koridorları için gün ışığı aydınlatması sağlar. Sistem gün ışığını taşır. Uzak ve derin yerlere gider. Metro gibi yerlere

gider. Bu sistem mekanın karanlık kalmasını önlemek için yapay ışık kaynaklarıyla desteklenebilir. Meteorolojik koşullar veya akşamın başlangıcı nedeniyle gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda faydalıdır.

Şekil 2.12. Heliobus Postdamer Platz Örneği (Meydanda Bulunan Gün Işığı Tüpleri ve Metro İstasyonuna Ulaşan Gün Işığı) Kaynak: (De Vecchi et al., 2004)



İsviçre, Saint Gallen'de uygulanan Heliobus sisteminin çatısına kurulan kolektör ünitesi buna bir örnektir. Gelen güneş ışığını toplar ve binanın ortasındaki dikey bir ışık tüpüne yönlendirir. Kolektör ünitesi içbükey bir yapıya sahiptir. Alüminyum çerçevesi yüksek yansıtıcı bir malzemeyle kaplanmıştır. Işık tüpü, mümkün olduğunca fazla güneş ışığı alacak şekilde tasarlanmıştır (Özgün, 2007). Heliobus sistemleri, çok katlı yapılarda gün ışığını derin iç mekanlara ulaştırabilmesi açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Ancak dikey ışık tüpü prensibine dayalı yapısı ve çatıya konumlanan kolektörlere bağımlı olması, sistemin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

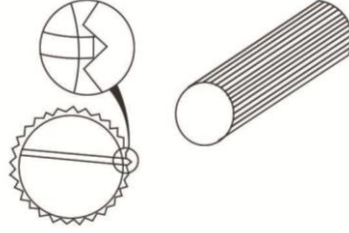
2.4.h. Işık Kılavuzu

Işık kılavuzları, farklı malzemelerden yapılmış optik bileşenlerden oluşan ve ışığı, ışığa ihtiyaç duyulan daha uzak bir noktadaki bir hacme iletmek için kullanılan bir tür ışık tüpü sistemidir.

Bu sistemler, uzunluğu boyunca dar şerit şeklinde bir boşluğa sahip metal bir tüpten oluşan belirli bir ışık borusu türüdür. Güneş ışığı, ayna benzeri bir özellik gösteren bir iç yüzeye sahip metal tüp boyunca iletilir. Işığın dağılımı, doğrusal bir

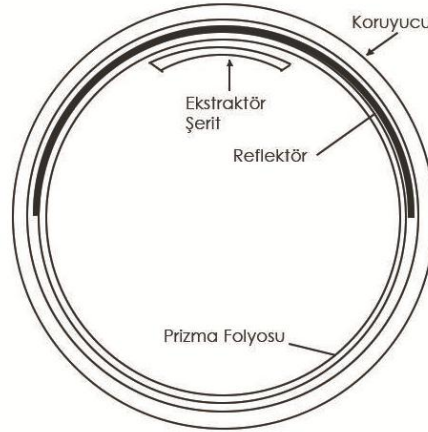
konfigürasyonda uzanan yarıktan ışığın yayılmasıyla sağlanmaktadır. Kullanılan metal tüpün iç yüzeyinin düşük yansıtma katsayısı, ışığın enerjisinin hızla azalmasına neden olmuştur (Garcia Hansen & Edmonds, 2007).

Şekil 2.13. Prizmatik Işık Kılavuzu Şematik Kesit Kaynak: (Opdal, 2001)



Işık tüpü, gün ışığının iç mekana iletilmesini kolaylaştıran ince şeritler olan aspiratörlerle donatılmıştır. Bu şeritlerin işlevi, üzerlerine düşen ışık ışınlarını dağıtarak prizmatik ışık kılavuzundan çıkmalarını sağlamaktır.

Şekil 2.14. Işık Kılavuzu Kesit Kaynak: (Kloss, 2001)



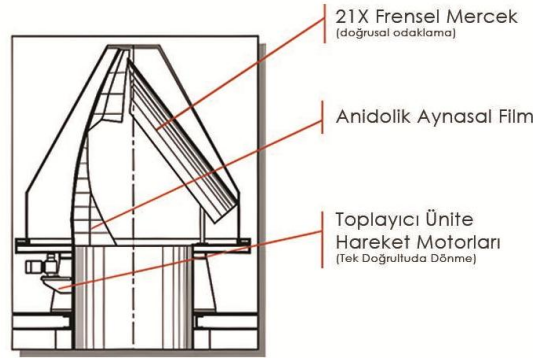
İç yüzeyi yansıtıcı olan tüp vasıtasıyla taşınan ışık ışınları ışık kaynağının oluşturduğu ısıyı taşımazlar ve çevresel etkenlerden etkilenmemektedir. Bu özelliği sebebiyle patlayıcı madde depolanan alanlarda, yangın riski yüksek hacimlerde, vb. sabit sıcaklığa ihtiyaç duyulan mekanlarda kullanımı uygundur (Kloss, 2001). Işık kılavuzları, uzun mesafelerde gün ışığını iletme kapasiteleri sayesinde özellikle özel kullanım alanlarında avantaj sağlamaktadır. Ancak düşük yansıtma katsayısına sahip iç yüzeylerin performans kaybına yol açması ve sistemin daha çok endüstriyel

ya da özel güvenlik gerektiren mekanlarla sınırlı kalması, eğitim yapıları gibi geniş ve farklı kullanım ihtiyaçlarına sahip mekanlarda uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır.

2.4.h.i. Arthelio Sistemi

Arthelio sistemi, iki farklı sistemin bir sentezidir: gün ışığı ve yapay aydınlatma. Yapay aydınlatma sisteminin temel işlevi, belirlenen mekanın aydınlatma gereksinimlerini karşılamaktır (Mayhoub, 2014). Arthelio sistemi, gün ışığı ve yapay aydınlatmayı bütünleştiren hibrit yapıyla farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak sistemin ağırlıklı olarak yapay ışık desteğine dayalı olması, gün ışığının mekanın bütününde etkin ve sürekli bir biçimde yönlendirilmesini sağlayamamaktadır.

Şekil 2.15. Arthelio Toplayıcı Ünite Şematik Gösterim Kaynak: (Mingozzi & Bottiglioni, 2001)



2.4.1. Fiber Optik ile Gün Işığı Taşıma

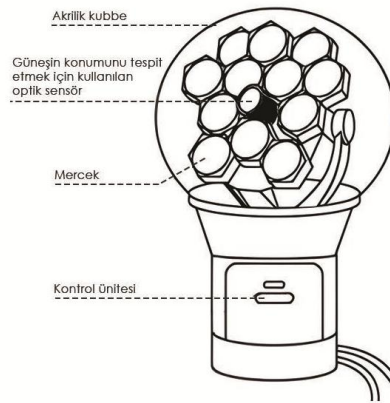
Fiber optik kablolar kesit olarak küçük olmaları ve iç yansıtıcılık yüzeyleri yüksek malzemelerden oluşan fiber lifler sayesinde çok katlı yapıların gün ışığı alamayacak derin bölümlerinde kullanılmaya elverişlidirler. Buna ek olarak yangın, patlama gibi elektriğin taşınması sırasında oluşabilecek olumsuz durumların istenmediği tesislerde veya ortamlarda ihtiyaç duyulan aydınlatmayı sağlayabilmek için fiber optik kablolar ile taşınan gün ışığı kullanılarak yapılan aydınlatma

istenilen görsel koşulları sağlayabilmektedir (Okutan, 2008). Ancak sistemin özellikle özel altyapı gereksinimleri ve yüksek maliyetli uygulamaları, eğitim yapıları gibi geniş ölçekli mekanlarda yaygın bir çözüm olarak benimsenmesini sınırlamaktadır.

2.4.1.i. Himewari Sistemi

Himewari sistemlerine dışarıdan bakıldığında, yapılarının akrilik bir kubbe olduğu ortaya çıkmaktadır. Altıgen mercekler, kubbenin içine yerleştirilmiş özel bir heliostat sistemi oluşturmaktadır. Sistemin merkezinde bir sensör bileşeni yer almaktadır. Yapı, akrilik kubbenin içine yerleştirilmiş altıgen kolektörlerden oluşmaktadır. Kubbe şeklindeki akrilik koruyucu kapak, şekli sayesinde kesintisiz koruma sağlamaktadır. Hem güneş ışığı toplayıcı hem de kolay temizlenen bir yüzey olma özelliğine sahiptir. Himewari sistemleri, kubbe formundaki akrilik yapıları ve entegre heliostat mekanizması sayesinde gün ışığını toplamaya yönelik yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Ancak sistemin karmaşık yapısı, özel sensör ve kolektör bileşenlerine olan bağımlılığı, mimari ölçekli uygulamalarda esneklik ve entegrasyon açısından sınırlılıklar yaratmaktadır.

Şekil 2.16. Himewari Sistem Şematik Gösterim Kaynak: (Jadhav et al., 2016)



2.4.1.ii. Hibrit Solar Aydınlatma

Hibrit aydınlatma, gün ışığı ve yapay ışık kaynaklarının bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir sistemdir. Parabolik güneş kolektörleri tarafından toplanan güneş ışığı iki amaçla kullanılır: birincisi, iç mekanları aydınlatmak ve ikincisi, depolama için fotovoltaik hücrelerde elektrik enerjisine dönüştürülmesi süreci de önemli bir husustur. Sistem, iki eksenli hareketi kolaylaştıran bir motorla güçlendirilmiştir. Kolektör, daha fazla gün ışığı toplamak amacıyla güneşin hareketlerini takip edebilir (Jadhav et al., 2016). Hibrit aydınlatma sistemleri, gün ışığı ve yapay ışığı bir arada kullanarak hem aydınlatma hem de enerji üretimi açısından avantaj sağlamaktadır. Ancak bu tür sistemler, mekanik parçalar ve fotovoltaik entegrasyon gerektirmeleri nedeniyle yapısal karmaşıklık taşımakta ve özellikle iç mekanlarda homojen gün ışığı dağılımı hedefinden uzaklaşmaktadır. Bu bağlamda, yalnızca gün ışığının mekan içindeki dağılımına odaklanan ve tavan düzlemi üzerinden doğrudan yönlendirme sağlayan Di-ARCIeling paneli, hibrit sistemlerin karmaşık yapısına kıyasla daha yalın ve işlevsel bir çözüm olarak geliştirilmiştir.

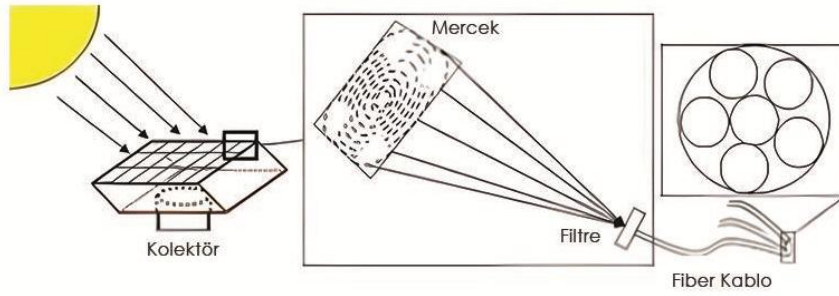
Şekil 2.17. Hibrit Solar Aydınlatma Sistemi Şematik Gösterim Kaynak:(Jadhav et al., 2016)



2.4.1.iii. Parans Fiber Optik Sistem

Sistem, gün ışığının fiber optik üzerinden taşınmasında kullanılan altyapıya benzer bir altyapı kullanmaktadır. Parans sistemi ile yukarıda bahsedilen sistemler arasındaki en önemli fark, bir gün ışığı toplayıcısının dahil edilmesidir. Parans sistemi, diğer sistemlere kıyasla farklı bir metodoloji kullanır; burada toplayıcılar, parabolik Fresnel mercekleri veya parabolik aynaları yüksek yansıtıcı malzemelerle kaplayarak oluşturulur. Buna karşılık, Parans sistemi aynı amaca ulaşmak için bir düzlem üzerine yerleştirilmiş küçük kare Fresnel mercekleri kullanır. Bu mercekler, gün ışığını toplama ve odaklama kapasitesine sahiptir. Parans sistemi, küçük Fresnel mercekleri kullanarak gün ışığını toplama ve odaklama kapasitesiyle diğer fiber optik temelli sistemlerden ayrılmaktadır. Ancak sistemin toplayıcı ve mercek altyapısına bağımlılığı, uygulama alanlarını belirli koşullarla sınırlamakta ve homojen iç mekan aydınlatması sağlamada kısıtlar yaratmaktadır.

Şekil 2.18. Parans Sistemi Şematik Gösterim Kaynak: (Lingfors & Volotinen, 2013)

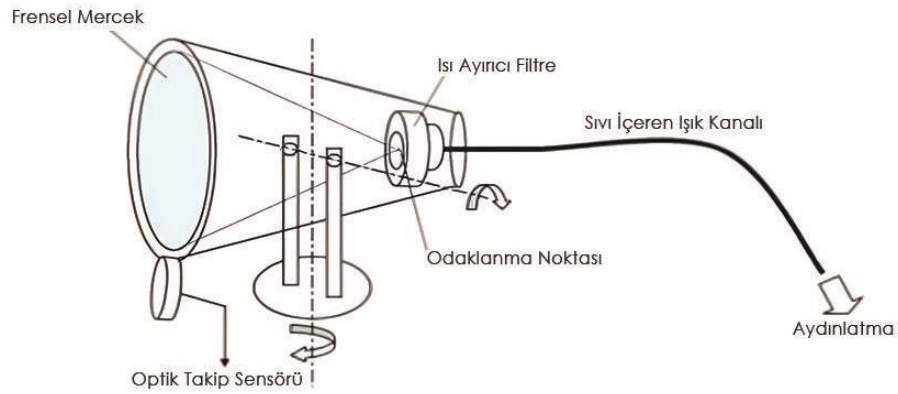


2.4.1.iv. Solux Sistemi

Solux, gün ışığının bir Fresnel lens aracılığıyla iletilmesini sağlayan bir aydınlatma sistemidir. Sistemin geliştirilmesi, Almanya merkezli bir şirket olan Bomin Solar Research (BSR) tarafından üstlenilmiştir (Jadhav et al., 2016). Güneş ışığını yakalamak için stratejik olarak konumlandırılmış Fresnel lensli gün ışığı toplayıcısı, bu cihazın işlevi güneş ışınlarını toplamak ve odaklamaktır. Toplayıcıya, gün boyunca güneşin hareketini takip edebilen bir sensör entegre

edilmiştir. Sensör, iki ekseninde hareket edebilen bir mekanizma ve sistemin güneş hareketlerini takip edebilmesini sağlayan özel bir yazılımla donatılmıştır. Bu, toplayıcının daha verimli çalışmasını sağlar. Daha sonra, yoğunlaşan güneş ışınları, sistemin ısı ayırıcı filtre olarak adlandırılan bir sonraki bileşenine yönlendirilir. Bu durumda, güneş ışınlarının ısı üreten bileşenleri (morötesi (UV) ve kızılötesi (IR)) ayrılır. Solux sistemi, Fresnel lensler ve sensör destekli takip mekanizmasıyla güneş ışığını yoğunlaştırarak iletme kapasitesine sahiptir. Ancak sistemin karmaşık yapısı, hareketli parçalar ve ek filtreleme bileşenlerine duyduğu ihtiyaç, uygulama süreçlerini zorlaştırmakta ve mimari projelerde yaygın olarak kullanılmasını sınırlamaktadır.

Şekil 2.19. SOLUX Sistemi Şematik Gösterim Kaynak: (Jadhav et al., 2016)



2.4.i. Işık Kılavuz Tavanlar

Işık kılavuzlu tavan sistemleri, gün ışığına ihtiyaç duyan derin iç mekanlara gün ışığını iletmek için geliştirilmiş sistemlerdir. Işık kılavuzlu tavan sistemi üç bölümden oluşur: alıcı, odaklayıcı ayna ve dağıtım kanalı. Kolektör, binanın dışına yerleştirilir. Üzerine düşen doğrudan ve dağınık güneş ışığını toplar ve iletir. Odaklayıcı ayna, kolektör ve dağıtıcıya bağlı ara bölümdür. Toplanan güneş ışığını odaklar ve dağıtıcı kanal adı verilen ışığı taşıyan bölüme yönlendirir.

Dağıtıcı kanal, odaklama bölümü tarafından odaklanan gün ışığını, yüksek yansıtıcı özelliklere sahip malzemelerle kaplı iç yüzeyleri sayesinde gerekli iç

mekana yönlendirir. Dağıtıcı kanal, odaklama bölümü tarafından yönlendirilen gün ışığını, yüksek yansıtıcı özelliklere sahip malzemelerle kaplı iç yüzeyleri sayesinde gerekli iç mekana taşır. Dağıtıcı üzerine yerleştirilen aydınlatma elemanları veya şeffaf yüzeyler, kontrollü ışık dağılımı sağlar. Dağıtıcı sadece gün ışığını taşımakla kalmaz, aynı zamanda kontrol de eder. Dağıtıcı sadece gün ışığını iletmekle kalmaz, aynı zamanda gün ışığı kontrolünün sağlandığı bölüm olarak da görev yapar (Özgün, 2007). “Işık kılavuzlu tavan sistemleri, derin mekanlara gün ışığı iletmeye potansiyeli taşımakla birlikte, kolektör, odaklayıcı ve dağıtıcı bileşenlerin karmaşık entegrasyonu nedeniyle uygulama ve bakım açısından zorluklar barındırmaktadır. Ayrıca sistemin performansı, kullanılan yansıtıcı yüzeylerin kalitesine ve düzenli bakımına yüksek derecede bağlıdır.

2.4.j. Pasif Sistemler (Çatı Penceresi, Modüler Kuyu)

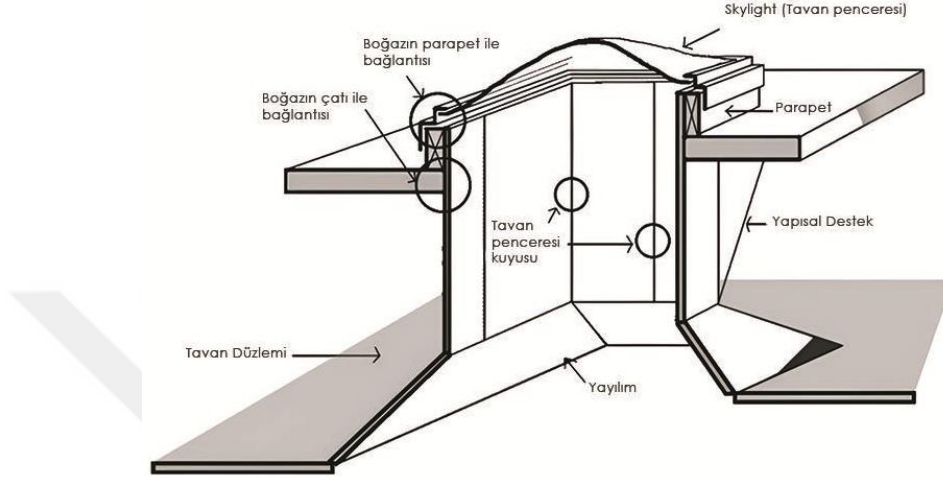
Çatı penceresi sistemleri için potansiyel pazar, çatı penceresi tasarımından faydalanabilecek ve asma tavan sistemlerinin uygulanmasını gerektiren bina tiplerini kapsamaktadır. Yukarıda belirtilen yapılar genellikle ofis, perakende alanı, market ve okul gibi tesisleri kapsayan alçak katlı ticari binalardır.

Bu dört bina tipi birlikte, Kaliforniya'daki tüm yeni ve yenilenmiş inşaat metrekarelerinin %54'ünü oluşturmaktadır. Kaliforniya'daki yıllık ticari inşaat hacminin 156,5 milyon fit kare olduğu tahmin edilmektedir (Brooks, 2002). Bunun yaklaşık 84,8 milyon fit karesi yeni inşaatlardan oluşmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilen yıllık inşaat hacminin 1.109 milyon fit kare olduğu tahmin edilmektedir. EIA'nın 1999 tarihli raporuna göre, eğitim, perakende ve ofis alanları ülke genelindeki ticari inşaat hacminin %49'unu oluşturmakta ve toplam alanı 543 milyon fit karedir.

Çağdaş inşaat metodolojilerinde, titizlikle tasarlanmış ve yerinde inşa edilmiş tavan penceresi sistemlerinin kullanımı yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Ancak, yerinde inşaatın bitmiş yapının kalitesi ve estetiği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceğini unutmamak önemlidir. İç mekanlarda gün ışığının dağılımı yalnızca sınırlı bir kontrole tabidir. Tavan penceresi bileşenlerinin inşaat sırasında özel olarak sipariş edilmesi, yeniden kesilmesi veya yeniden

bükülmesi genellikle gerekli olduğundan, işçilik maliyetleri ile tasarım ve montaj süresi artar. Sonuç olarak, tavan pencereleri ve asma tavan sistemleri uyumsuz olarak kabul edilebilmektedir.

Şekil 2.20. Skylight (Tavan Penceresi) Kuyu Sistemleri Gösterimi Kaynak: (Heschong Mahone Group, Inc)



Modüler ışık kuyusu sistemleri binalarda gün ışığına olan talebin artması ve asma tavanların yaygın kullanımı göz önüne alındığında, bu iki sistemin uyumluluğunu kolaylaştıran sistemlere olan talebin de artacağı varsayılabilir. Açılı modüler tavan penceresi sistemi, yukarıda belirtilen sorunları gidermek için geliştirilmiştir. Sistem, bir boğaz ve açılı bir bölümden oluşan iki parçalı bir ışık kuyusu sistemi konsepti etrafında geliştirilmiştir.

Modüler bir çatı penceresi sisteminin mimari tasarıma entegre edilmesi, asma tavanlı binalara çatı pencerelerinin dahil edilmesini artırma potansiyeline sahiptir. Bu gelişme, mimarlara ve tasarımcılara tasarımlarına çatı pencereleri ve asma tavanları dahil etmeleri için daha geniş bir fırsat yelpazesi sunarak yaratıcı bina projeleri için olanakları genişlemektedir. Bu tür bir sistemin yokluğunda, bina sahipleri ve tasarımcılar, özel tasarım ve imalat maliyetlerinin yanı sıra ek maliyetlerinden kaçınmak için muhtemelen iki seçenekten birini tercih edecektir (Manglani et al., 2004, s. 5).

Tartışılan ürün, bir tavan penceresinin asma tavan sistemine basit ve etkili bir şekilde bağlanmasını kolaylaştıran modüler bir tavan penceresi kuyusudur.

İnşaat sektöründe henüz belirgin bir yer edinememiş yeni bir yaklaşımdır. Şu anda, modüler tavan penceresi kuyusu olarak adlandırılacak birkaç ticari ürün bulunmaktadır. Ancak bu ürünler inşaat sektörünün resmi yapısına uymamakta ve CSI (İnşaat Spesifikasyon Enstitüsü) spesifikasyon sistemine dahil edilmemektedir. Ürün ve performansını tartışmak için ortak bir terminoloji bulunmamaktadır. Ürünlerin performans kriterleri ve üreticilerin ilgili sorumlulukları konusunda fikir birliği yetersizdir. Şu anda, Uluslararası Kod Konseyi'nden (ICC) herhangi bir değerlendirme raporu bulunmamaktadır ve tasarımcılar için ışık kuyularının güvenliği konusunda kolayca erişilebilir bir bilgi bulunmamaktadır (Manglani et al., 2004, s. 5).



Sistem / Yöntem	Çalışma Prensibi	Avantajları	Dezavantajları
Işık Rafı	Pencere üzerine yatay panel yerleştirilir, ışığı tavana yansıtır.	Kamaşmayı azaltır, arka alanlara ışık taşır.	Sınırlı etki, cepheye bağımlı.
Anidolik Sistemler	Optik elemanlarla gökyüzünden ışık toplar, difüz şekilde mekana iletir.	Kapalı iklimlerde bile çalışır, homojenlik yüksek.	Karmaşık tasarım, yüksek maliyet.
Prizmatik Paneller	Işığı kırarak farklı açılara yönlendirir.	Kamaşmayı azaltır, homojenlik sağlar.	Optik kayıplar, bakım zorluğu.
Lazer Kesim Paneller	Mikro-oyuklarla ışığı tavana yansıtır.	Estetik, modern çözümler.	Yüksek üretim maliyeti.
Holografik Optik Elemanlar	Holografik filmlerle ışığı seçici açıyla geçirir.	Esnek kullanım, yenilikçi teknoloji.	Karmaşık üretim, pahalı.
Heliostat	Aynalarla güneşi takip ederek ışığı sabit yöne yansıtır.	Geniş alanlarda güçlü aydınlatma.	Büyük alan ve yatırım gerektirir.
Işık Tüpleri	Yüksek yansıtıcı tüplerle ışık taşır.	Derin hacimlere ışık iletir.	Çatıya bağımlı, difüzyon sınırlı.
Fiber Optik Sistemler	Güneş ışığını fiber kablolarla taşır.	Noktasal dağılım, yenilikçi.	Yüksek maliyet, teknoloji bağımlılığı.
Işık Kılavuz Tavanlar	Kolektör + ayna + dağıtıcı kanalla ışığı yönlendirir.	Kontrollü ve geniş dağılım.	Kurulum maliyetli.
Curve (Dairesel) Tavan	Dairesel yüzeylerle ışığı mekanın arkasına yansıtır.	Homojenliği artırır, görsel konfor sağlar.	Uygulama maliyeti yüksek.
Hibrit/Akıllı Sistemler	Sensör, otomasyon, akıllı malzemelerle dinamik kontrol.	Değişken koşullara uyum, sürdürülebilirlik.	Yüksek maliyet, bakım gerektirir.
Işık Kuysu	Üstten alınan gün ışığını dikey shaft aracılığıyla alt katlara ve iç hacimlere iletir.	Derin planlı binalarda doğal aydınlatmayı artırır; gün boyu stabil ışık sağlar, enerji maliyetini düşürür.	Büyük yapı alanı gerektirir; mimari tasarıma müdahale zorunludur, düşük güneş açılarında verim düşebilir.
Di-ARCIeling Panelleri	Optik panellerle ışığı difüz ve homojen dağıtır.	Yüksek homojenlik, enerji verimliliği.	İlk yatırım yüksek.

Tablo 2.1. Gün Işığı Yönlendirme Sistemlerinin Karşılaştırılması (Jadhav et al., 2016; Lingfors & Volotinen, 2013; Kazanasmaz et al., 2011 kaynaklarından derlenmiştir)

Tablo 2.1’de görüldüğü üzere, literatürde yaygın olarak kullanılan sistemler (ışık rafları, anidolik sistemler, prizmatik paneller, lazer kesim paneller, holografik optik elemanlar, heliostatlar, ışık tüpleri, fiber optik sistemler ve ışık kılavuz tavanlar) kendi bağlamlarında çeşitli avantaj ve dezavantajlar sunmaktadır. Bu sistemler, genellikle enerji verimliliği ve homojen ışık dağılımını artırma hedefiyle geliştirilmiş olmakla birlikte, uygulama maliyetleri, bakım gereksinimleri veya yapısal koşullara bağımlılık gibi sınırlılıklar taşımaktadır.

Bu bağlamda, tez kapsamında incelenen dairesel tavan ve geliştirilen Di-ARCIeling panelli tavan sistemi, literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında özellikle görsel konfor ve homojenlik açısından dikkat çekici avantajlar ortaya koymuştur. Dairesel tavan yüzeyleri, ışığı sınıfın derin bölgelerine taşıyarak aydınlık dağılımını iyileştirmekte; Di-ARCIeling panelleri ise bu etkiyi daha da ileri taşıyarak hem görsel eşitlik hem de enerji tasarrufu açısından güçlü sonuçlar sunmaktadır. Bunun yanında, hibrit ve akıllı sistemler geleceğe dönük en esnek çözümleri temsil etmekte; sensörler ve otomasyon teknolojileri sayesinde gün boyunca sabit bir aydınlık düzeyi sağlayabilmektedir. Ancak bu tür sistemlerin yüksek maliyetleri ve bakım gereklilikleri, yaygın uygulamaların önünde bir engel oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, tabloya yansıyan karşılaştırma; gün ışığı yönlendirme sistemlerinin tek başına değil, birbirini tamamlayıcı nitelikte çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Tez kapsamında geliştirilen Di-ARCIeling panelli sistem, eğitim mekanlarında gün ışığının homojen ve konforlu bir şekilde yönlendirilmesi için yenilikçi ve uygulanabilir bir alternatif olarak öne çıkmakta; literatürdeki diğer sistemlerle birlikte değerlendirildiğinde, çağdaş tasarım yaklaşımları için önemli bir katkı sunmaktadır.

İkinci bölümde, ışığın fiziksel özellikleri, iç mekan tasarımında gün ışığının önemi, görsel konforun bileşenleri ve gün ışığı yönlendirme sistemlerinin temel türleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, gün ışığının yalnızca bir aydınlatma unsuru değil, aynı zamanda mekansal kaliteyi, kullanıcı sağlığını ve sürdürülebilirliği etkileyen bütüncül bir tasarım girdisi olduğu ortaya konmuştur.

Bir sonraki bölümde, bu kuramsal çerçeve eğitim yapıları özelinde derinleştirilerek, tavan sistemlerinin gün ışığı performansındaki rolü, kullanıcı gereksinimleri ve sürdürülebilir iç mekan tasarımıyla ilişkisi üzerinden ele alınacaktır.





BÖLÜM III

TAVAN SİSTEMLERİ VE AYDINLATMAYA ETKİLERİ

3.1. Eğitim Mekanlarında Gün Işığı Gereksinimleri

Eğitim yapılarında aydınlatma koşulları, mekanın fonksiyonlarını, kullanıcıların deneyimlerini ve öğrenme süreçlerini doğrudan etkileyen temel bir tasarım unsurudur. Özellikle gün ışığı, yalnızca doğal bir aydınlatma kaynağı olarak değil, aynı zamanda insan sağlığı, psikolojik durum ve bilişsel performans üzerinde yarattığı etkiler nedeniyle her iç mekanda olduğu gibi eğitim mekanlarının da niteliğini belirleyen en önemli unsurlardan biridir (Beltrán, 1994; Heschong Mahone Group, 1999). Yapay aydınlatma sistemleri, belirli koşullarda görsel ihtiyaçları karşılayabilse de doğal ışığın sunduğu biyolojik, psikolojik ve çevresel faydaları aynı ölçüde sağlayamamaktadır (Bilgi, 2007).

Bu konuda yapılan çok sayıda çalışma, gün ışığının doğru kurgulandığında öğrencilerin dikkat sürelerini uzattığını, akademik başarılarını artırdığını ve mekanın kullanım konforunu değiştirdiğini ve geliştirdiğini göstermektedir (Akoğlu, 2016; Eralehtepe, 2011). Bununla birlikte, gün ışığı eğer kontrolsüz biçimde mekana alınırsa, mekanda kamaşma, aşırı ısınma veya yetersiz homojenlik gibi sorunlara yol açabilmektedir (Van Den Wymelenberg & Inanici, 2014). Bu nedenle gün ışığının eğitim mekanlarına entegrasyonu, yalnızca miktar olarak değil, aynı zamanda nitelik, dağılım ve süreklilik açısından da ele alınması gereken çok boyutlu bir tasarım ögesidir.

Eğitim mekanlarında gün ışığının sağladığı katkılar üç temel boyutta ele alınabilir. İlk olarak, gün ışığı öğrencilerin bilişsel performanslarını doğrudan etkileyerek öğrenme süreçlerine katkı sağlar. İkincisi, gün ışığının mekana dengeli ve homojen biçimde alınması, kullanıcıların görsel konfor koşullarını iyileştirmekte ve uzun süreli çalışma ortamlarını desteklemektedir. Bu bağlamda, gün ışığının yapay aydınlatmaya olan bağımlılığı azaltılması hem enerji tüketimini düşürmekte hem de çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır.

3.1.a. Bilişsel Performans

Eğitim mekanlarında gün ışığı kullanımı yalnızca görsel algıyı değil, aynı zamanda kullanıcıların bilişsel performansını da değiştirmesi öğrencilerin dikkat süreleri, öğrenme hızları ve hafıza performansları, ortamın aydınlatma koşullarına bağlı olarak etkilenmektedir (Beltrán, 1994). Özellikle doğal ışık altında çalışan öğrencilerin, yapay ışık altında çalışan öğrencilere kıyasla daha yüksek başarı gösterdiği birçok çalışmada ortaya konmuştur (Heschong Mahone Group, 1999). Bu durum, gün ışığının biyolojik ritimler üzerindeki düzenleyici rolünden kaynaklanmakta, sirkadiyen sistemin ışık aracılığıyla dengelenmesi, bilişsel süreçlerin verimliliğini artırmaktadır (Öney, 2021).

Yapılan araştırmalarda genellikle yapılarında pencere açıklıkları gün ışığı faktörleri üzerinden değerlendirilmektedir. Örneğin Kaliforniya’da yapılan geniş ölçekli bir çalışmada, gün ışığına daha fazla maruz kalan sınıflardaki öğrencilerin matematik ve okuma testlerinde %20’ye varan oranda daha yüksek başarı elde ettikleri gözlemlenmiştir (Heschong Mahone Group, 1999). Bu bulgu, eğitim mekanlarında gün ışığının yalnızca estetik bir unsur olmadığını, öğrenme çıktıları üzerinde somut bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Gün ışığının kullanıcı üzerindeki bir diğer önemli boyutu, psikolojik durum üzerindeki dolaylı etkileridir. Gün ışığı, öğrencilerin ruh halini olumlu yönde etkilemekte, motivasyonu artırmakta ve uzun süreli dikkat gerektiren görevlerde performansın düşmesini engellemektedir (Bilgi, 2007; Akoğlu, 2016). Yetersiz aydınlatma koşulları ise dikkat dağınıklığı, yorgunluk ve hata oranlarında artışla sonuçlanmaktadır (Altan, 1983). Bu nedenle, eğitim mekanlarının tasarımında gün ışığının mekana etkin biçimde yönlendirilmesi, yalnızca görsel ihtiyaçların değil, bilişsel süreçlerin de desteklenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Gün ışığının niteliksel özellikleri de bilişsel performans üzerinde etkili olmaktadır. Örneğin, ışığın rengi ve sıcaklığı, öğrencilerin psikolojik algılarını ve öğrenme motivasyonlarını şekillendirmektedir (Akoğlu, 2016). Beyaz gün ışığı, dikkat gerektiren bilişsel görevlerde uyanıklığı artırırken, daha sıcak ışık tonları öğrencilerin rahatlama ve odaklanma süreçlerine katkıda bulunmaktadır (Bayram, 2009). Bu nedenle gün ışığı koşullarının eğitim mekanlarında yalnızca miktar açısından değil, nitelik açısından da kontrol edilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, gün ışığının eğitim mekanlarında bilişsel performans üzerindeki olumlu etkileri çok boyutludur. Doğru aydınlatma koşulları, öğrencilerin dikkat sürelerini, akademik başarılarını ve psikolojik durumlarını geliştirmektedir. Bu nedenle, eğitim yapılarında gün ışığının mekana dengeli ve yeterli biçimde yönlendirilmesi, öğrenme sürecinin kalitesini artırmak adına vazgeçilmez bir tasarım kriteri olarak ele alınmalıdır.

3.1.b. Görsel Konfor

Eğitim mekanlarında aydınlatmanın kalitesi yalnızca yeterli aydınlık düzeyi ile ölçülmez; kullanıcıların görsel konfor koşullarının sağlanması da en az bunun kadar önemlidir. Görsel konfor, öğrencilerin mekanı algılayış biçimini, çalışma sürekliliğini ve öğrenme performansını doğrudan etkilemektedir (Bilgi, 2007). Işığın dağılımı, gölgelenme biçimi, parlaklık farklılıkları ve renk sıcaklığı gibi parametreler, görsel konforun temel belirleyicileri arasında yer almaktadır (Manav, 2005).

Doğal aydınlatma, görsel konfor açısından yapay aydınlatmaya kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır. Gün ışığı, spektral özellikleri sayesinde gözün doğal algı mekanizmalarıyla uyumlu bir ışık sunar ve görsel yorgunluğu azaltmaktadır (Eraleltepe, 2011). Buna karşın, kontrolsüz gün ışığı kullanımında kamaşma (glare) ve yüksek kontrastlı alanlar oluşabilmekte, bu durum da öğrencilerin odaklanmasını zorlaştırmaktadır (Van Den Wymelenberg & Inanici, 2014). Dolayısıyla eğitim yapılarında gün ışığının mekan içine alınması kadar, yönlendirilmesi ve kontrol edilmesi de görsel konfor açısından kritik bir tasarım parametresidir.

Çalışmalar, pencere boyutları ve konumlarının kullanıcıların görsel konfor deneyimlerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Geniş açıklıklardan giren kontrolsüz ışık, kamaşma sorununu artırabilirken; küçük açıklıklar ise mekanın derin bölgelerinde aydınlık düzeyinin düşmesine yol açmaktadır (Kazanasmaz, 2009). Bu nedenle homojen bir aydınlatma sağlamak için tavan, duvar ve cephe yüzeylerinin yansıtma özellikleri büyük önem taşımaktadır. Yüksek yansıtıcı yüzeyler ışığı daha dengeli dağıtarak görsel konforu desteklerken, düşük yansıtıcı

yüzeyle mekan içinde kontrast dengesizliklerine yol açabilmektedir (Cekilmez, 2017).

Görsel konforun sağlanmasında yalnızca ışığın miktarı değil, niteliği de belirleyicidir. Araştırmalar, renk sıcaklığının öğrencilerin mekan algısını etkilediğini, serin beyaz ışığın uyanıklık ve dikkat süreçlerini desteklerken, sıcak beyaz ışığın daha rahatlatıcı ve huzurlu bir atmosfer yarattığını ortaya koymuştur (Akoğlu, 2016; Bayram, 2009). Bu nedenle eğitim mekanlarında gün ışığının renk özelliklerinin yapay aydınlatma ile dengelenmesi, görsel konfor açısından son derece gereklidir.

Bir diğer önemli parametre ise gölgeleme ve modelleme etkisidir. Doğru gölgeleme, mekanın hacimsel algısını güçlendirirken, aşırı sert gölgeler öğrencilerin görsel konforunu olumsuz etkilemektedir (Efe, 2007). Eğitim mekanlarında kullanılan ışık yönlendirme sistemlerinin gölge kalitesini iyileştirmesi, öğrencilerin mekanı daha rahat algılamalarına olanak tanımaktadır (Altan, 1983).

Görsel konforun eğitim mekanlarında sağlanması, yalnızca öğrencilerin mekan deneyimini değil, öğrenme verimliliğini de doğrudan etkilemektedir. Gün ışığının doğru miktar ve nitelikte mekana alınması, yönlendirilmesi ve kontrol edilmesi; aydınlık düzeyinin homojenliği, kamaşma riskinin azaltılması ve uygun renk sıcaklığının sağlanmasıyla birlikte görsel konfor koşulları iyileştirilebilmektedir. Bu bağlamda, eğitim yapılarında kullanılan gün ışığı yönlendirme çözümlerinin temel amacı yalnızca aydınlatma değil, aynı zamanda görsel konforun sürdürülebilir biçimde sağlanması olmalıdır.

3.1.c. Sürdürülebilirlik

Eğitim yapılarında gün ışığının kullanımı, yalnızca öğrencilerin bilişsel performansını ve görsel konforunu değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği de doğrudan etkilemektedir. Aydınlatma, binalarda toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle gün ışığının etkin kullanımı, yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacı azaltarak enerji tüketimini ve dolayısıyla karbon salımını düşürmektedir (Djalilova, 2020). Özellikle eğitim kurumları, geniş ölçekli kullanım alanlarına ve uzun süreli işlevlerine bağlı olarak

yüksek enerji tüketimine sahiptir. Gün ışığının bu tür yapılara entegre edilmesi, enerji verimliliğini artırırken çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Sürdürülebilirlik bağlamında gün ışığının kullanımı yalnızca enerji tüketiminin azaltılmasıyla sınırlı değildir. Doğal aydınlatma, kullanıcıların sağlığı ve refahı üzerinde de uzun vadeli etkiler yaratmaktadır. Doğru kurgulanan gün ışığı stratejileri, öğrencilerin görsel konforunu artırmakta, öğrenme süreçlerini desteklemekte ve yapay ışık kaynaklarının neden olduğu sağlık risklerini azaltmaktadır (Eko Yapı, 2022). Bu yönüyle gün ışığının entegrasyonu, sürdürülebilir mimarlık anlayışının sosyal boyutunu da kapsamaktadır.

Literatürde, gün ışığının enerji tüketimine olan katkısı üzerine yapılan pek çok çalışma, doğru tasarlanmış aydınlatma sistemlerinin yapay aydınlatma gereksinimlerini %40'a varan oranlarda azalttığını göstermektedir (Edmonds & Greenup, 2002). Benzer şekilde, Türkiye'de yapılan araştırmalarda da doğal aydınlatmanın eğitim yapılarında enerji verimliliğini artırdığı, özellikle dersliklerde elektrik kullanımını önemli ölçüde düşürdüğü açıklanmaktadır (Eralelítepe, 2011). Bu sonuçlar, gün ışığının sürdürülebilirlik bağlamında yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik faydalar da sunduğunu göstermektedir.

Sürdürülebilir tasarım anlayışı, yalnızca gün ışığını mekana almakla değil, aynı zamanda bu ışığın yönlendirilmesi ve kontrol edilmesiyle de ilişkilidir. Kontrolsüz gün ışığı, aşırı ısınma, kamaşma ve yüksek soğutma yükleri gibi sorunlara yol açabilmektedir (Scartezzini & Courret, 2002). Bu nedenle eğitim yapılarında kullanılacak gün ışığı sistemlerinin hem aydınlatma hem de termal konfor açısından optimize edilmesi gerekmektedir. Özellikle yüksek yansıtıcı tavan panelleri veya gün ışığı yönlendirme sistemleri, ışığın homojen dağılımını sağlayarak sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir (Irakoze et al., 2020).

Eğitim mekanlarında gün ışığının sürdürülebilirlik bağlamındaki katkıları yalnızca enerji ve çevreyle sınırlı değildir; aynı zamanda uzun vadeli ekonomik tasarruflar da sağlamaktadır. Yapay aydınlatmaya olan bağımlılığın azalması, elektrik faturalarında önemli düşümlere yol açmakta ve eğitim kurumlarının işletme maliyetlerini azaltmaktadır (Heschong Mahone Group, 2003b). Bu durum, sürdürülebilirlik kavramının ekonomik boyutunu güçlendirmekte ve doğal

aydınlatmanın tüm yapılarda olduğu gibi eğitim yapılarında da vazgeçilmez bir tasarım kriteri olduğunu ortaya koymaktadır.

Gün ışığının eğitim yapılarında sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmesi, çevresel, ekonomik ve sosyal faydaları bir araya getirmektedir. Doğru aydınlatma stratejileri sayesinde enerji verimliliği artırılmakta, karbon salımı azaltılmakta, kullanıcı sağlığı desteklenmekte ve işletme maliyetleri düşürülmektedir. Bu bağlamda, eğitim mekanlarında gün ışığının entegrasyonu sürdürülebilir tasarımın ayrılmaz bir parçası olarak görülmeli ve gelecek nesiller için sağlıklı, verimli ve çevre dostu mekanların oluşturulmasında öncelikli bir kriter olarak benimsenmektedir.

3.2. Optik Malzeme ve Kaplamaların Etkisi

Tavan sistemlerinde kullanılan optik malzemeler ve yüzey kaplamaları, gün ışığının iç mekana yönlendirilme kalitesini belirleyen en temel unsurlardan biridir. Yansıtıcılık katsayısı yüksek yüzeyler, ışığın kayıpsız bir şekilde mekan boyunca ilerlemesine olanak tanıyarak özellikle derin planlı hacimlerde aydınlık düzeyinin artırılmasında kritik rol oynamaktadır. Alüminyum paneller, parlak boyalı yüzeyler ve mikroprizmatik filmler gibi yüksek yansıtıcılı kaplamalar, ışığı hem daha uzağa taşıyabilmekte hem de mekan içinde daha homojen bir dağılım yaratabilmektedir (Kazanasmaz, 2009). Buna karşılık mat veya düşük yansıtıcılı yüzeyler ışığın büyük bir kısmını soğurarak, mekanın orta ve arka bölgelerinde yetersiz aydınlatmaya neden olabilmektedir.

Optik malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli parametre, yüzeyin difüzyon (yayılm) kapasitesidir. Mikroprizmatik paneller veya hafif dokulu difüz yüzeyler, ışığın geliş açısını kırarak kamaşmayı azaltmakta ve iç mekanda daha dengeli bir aydınlık düzeyi oluşturmaktadır (Yıldırım, 2021). Bu özellik özellikle eğitim mekanlarında önem taşımaktadır; zira tahtaya bakan öğrenciler için kamaşma problemi hem görsel konforu hem de öğrenme verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Difüz yüzeyler bu açıdan daha yumuşak bir ışık atmosferi oluşturarak kullanıcı dostu bir ortam sağlar.

Optik kaplamaların enerji tüketimi üzerindeki etkisi de göz ardı edilemez. Yüksek yansıtıcı yüzeylerin kullanıldığı tavan sistemlerinde gün ışığı mekanın daha geniş bir alanına yayılmakta, bu da yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacı azaltarak enerji tüketiminde belirgin bir tasarruf sağlamaktadır (Bayram vd., 2020). Bu bağlamda optik malzemeler yalnızca ışığın yönlendirilmesini değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen bir tasarım parametresi olarak değerlendirilmelidir.

Güncel araştırmalar ayrıca optik malzemelerin geometrik olarak şekillendirilmiş tavan yüzeyleriyle etkileşiminin performansı daha da artırabileceğini göstermektedir. Örneğin, eğrisel yüzeylere sahip tavan sistemlerinde kullanılan yüksek yansıtıcı veya mikroprizmatik kaplamalar, ışığın kırılma ve yansıma açılarını optimize ederek yüzey geometrisinin sunduğu avantajları güçlendirmektedir. Bu durum, özellikle Di-ARCIeling gibi yönlendirme kapasitesi üzerine kurulu tavan tasarımlarında malzeme seçiminin performans açısından belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Yüzey geometrisi ışığın yönünü belirlerken, optik kaplamalar bu yönlendirme sürecinin etkinliğini ve verimliliğini artırmaktadır.

Ayrıca optik malzeme parametrelerinin simülasyon ortamlarında doğru tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Yüzey yansıtıcılığı, pürüzlülüğü ve difüzyon katsayısı gibi değerlere bağlı olarak simülasyon çıktıları önemli ölçüde değişebilmekte; bu nedenle malzeme optiği, performans analizinin ayrılmaz bir bileşeni olarak ele alınmalıdır.

Bu bağlamda, malzeme seçimi yalnızca teknik performansı değil, mekan algısını ve kullanıcı deneyimini de doğrudan etkileyen bir unsurdur. Parlak yüzeyler mekanı daha geniş ve aydınlık hissettirirken, difüz yüzeyler daha sakin, yumuşak ve dengeli bir atmosfer sunmaktadır. Bu farklılıklar, özellikle eğitim mekanlarında öğrencilerin mekanla kurduğu psikolojik ilişkiyi etkileyerek öğrenme performansı üzerinde dolaylı bir rol oynayabilmektedir. Dolayısıyla optik malzemeler, tavan tasarımının hem işlevsel hem de algısal niteliğini belirleyen çok katmanlı bir tasarım aracıdır.



BÖLÜM IV

TASARIM SÜRECİ VE METODOLOJİ

Şekil 4.1. Akış Şeması (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)



4.1. Araştırma Evreni

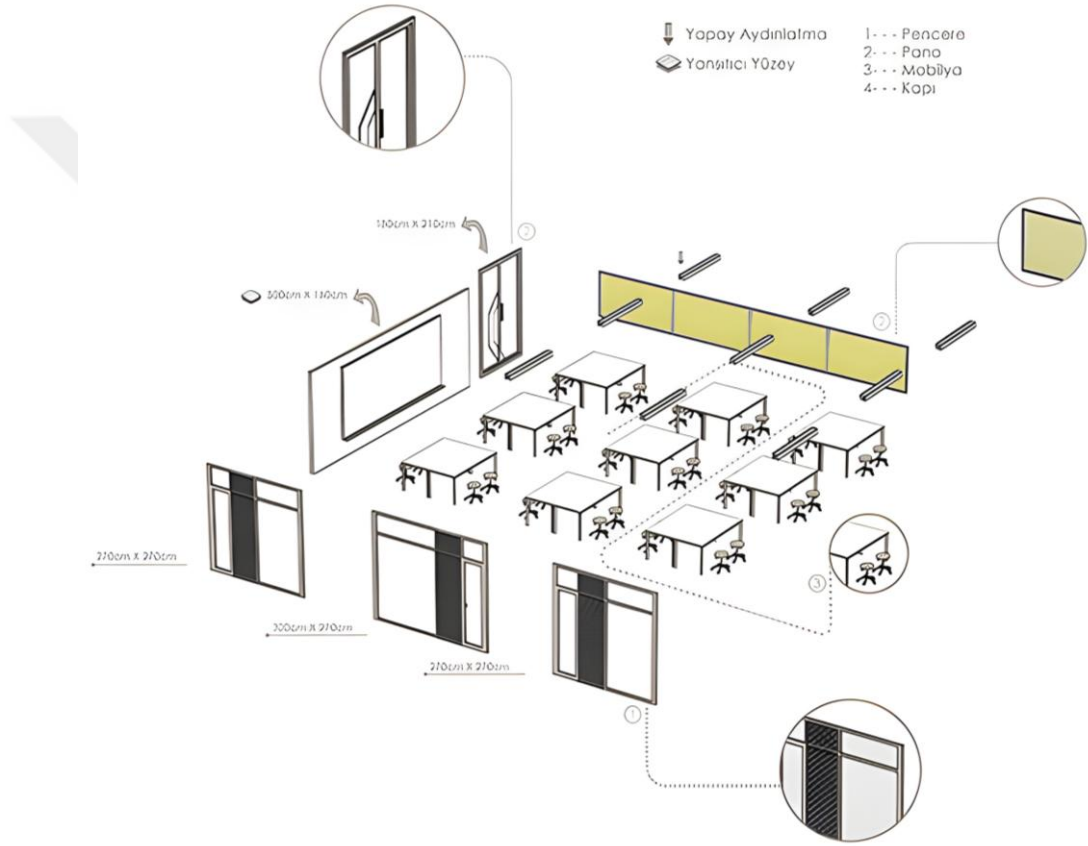
Bu çalışmanın uygulama alanı, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi bünyesindeki bir tasarım stüdyosudur. Seçim kriterleri üç temel faktöre dayanmaktadır. İlk olarak, mekanın akademik takvim boyunca yoğun kullanımı. İkinci olarak, kuzeye bakan cephesi. Üçüncü olarak da mevcut aydınlatma eksiklikleri. Üniversitenin üç dönemlik akademik sistemi (güz, bahar, yaz), stüdyonun yıl boyunca kesintisiz kullanılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, gün ışığı performansının mevsimsel değişkenlik açısından değerlendirilmesi önemlidir.

Bu stüdyo, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü öğrencileri tarafından 09:30 - 17:00 saatleri arasında günlük çalışma amaçlı kullanılmaktadır. Eskiz, teknik çizim ve maket yapımı gibi görsel yoğunluk gerektiren tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği özel bir öğrenme ortamı olarak işlev görmektedir. Bu nedenle, bu alanda sağlanan görsel konfor koşullarının dikkate alınması, yalnızca enerji verimliliği açısından değil, aynı zamanda pedagojik verimlilik açısından da kritik öneme sahiptir. Mevcut yapı, özellikle öğleden sonra saatlerinde mekanın arka

kisimlarında gün ışığı performansında belirgin yetersizlikler sergilemektedir. Bu durum, yapay aydınlatmaya olan bağımlılığın artmasına ve kullanıcı konforu açısından dengesizliklerin oluşmasına yol açmaktadır.

4.1.a. TOBB Etü Tasarım Stüdyosu Özellikleri

Şekil 4.2. Tobb Etü, MTM1 Stüdyo Alanı (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)

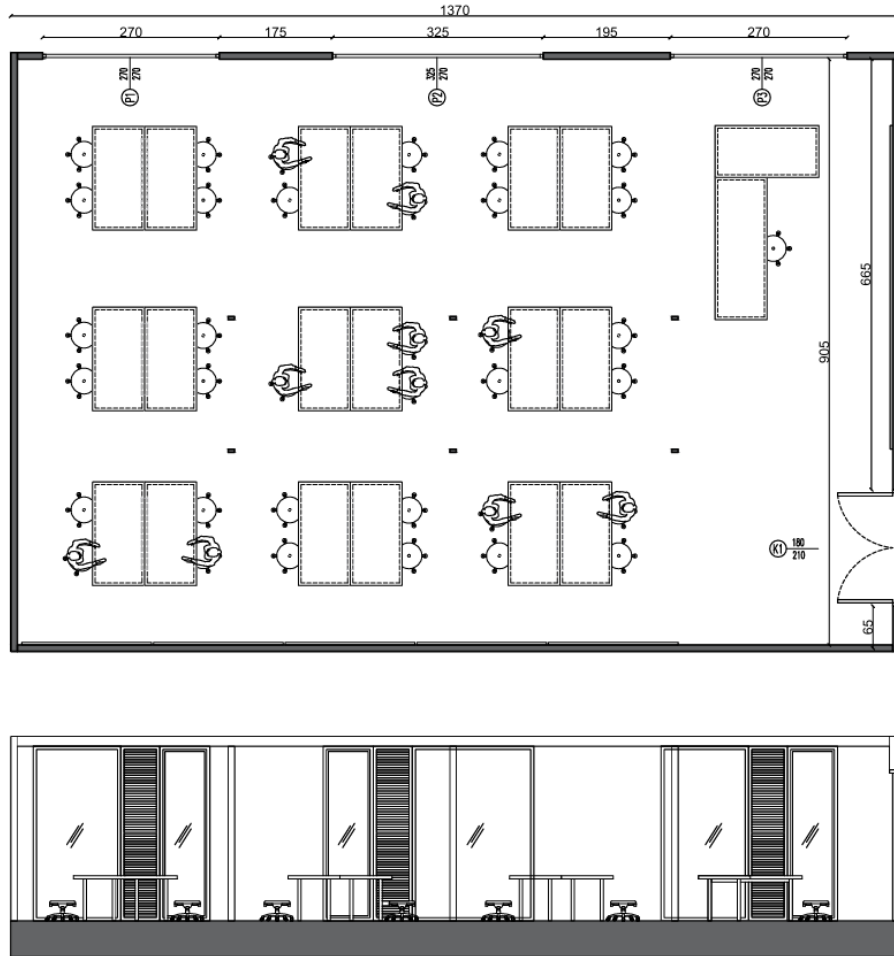


Bu çalışmada incelenen tasarım stüdyosunun boyutları 13,50 m genişlik, 9,00 m derinlik ve 3,60 m yükseklik olup, toplam 121,5 m² kullanılabilir alan sağlamaktadır. Mekanın kuzeye bakan cephesinde farklı boyutlarda üç pencere açıklığı bulunmaktadır: P1 ve P2 pencerelerinin boyutları 330 cm x 325 cm, P3 penceresinin boyutları ise 270 cm x 325 cm'dir. Tüm pencereler 12 mm kalınlığında çift cam sistemiyle donatılmış olup, ışık geçirgenlik özellikleri standart bina camı parametrelerine göre modellenmiştir.

İç mekan yüzeylerinin, doğal optik özellikleri göz önüne alındığında, aydınlatma performansını belirlemede ne kadar önemli olduğunu kabul etmek zorunludur. Zemin, açık gri tonlarında (%62 yansıtma oranı) mikro beton zemin kaplamasıyla kaplanmış, duvarlar ve tavan ise mat beyaz sıva (%30 yansıtma oranı) ile kaplanmıştır. Bu yansıtma oranlarının belirlenmesi, VELUX Daylight Visualizer programının belirlenmiş ışımaya malzemesi parametrelerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modeline çalışma masaları ve taburelerin dahil edilmesi, gerçek dünya kullanım koşullarını göstermektedir.

Stüdyo Ankara'da (39,9°K, 32,8°D) bulunmaktadır. Konum, ılıman karasal iklim koşulları altında değerlendirilmiştir; ortalama yıllık güneş radyasyonu ve gökyüzü kapsama oranları, standart CIE gökyüzü modelleri kullanılarak simülasyon hesaplamalarında temsil edilmiştir.

Şekil 4.3. Referans Stüdyonun Plan ve Kesit Çizimi (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)



Stüdyo Alanı Boyutları ve Malzemeleri

Boyut	1350cm(g) x 900 (d) x 360(y)
Yansımaya Katsayısı	Tavan %30, Duvar %30, Zemin %62

Pencere Boyutları ve Malzemeleri

	Boyut	Geçirgenlik
P1	330cm(g) x 325(d) x 270(y)	Çift Cam 12mm
P2	330cm(g) x 325(d) x 270(y)	Çift Cam 12mm
P3	270cm(g) x 325(d) x 270(y)	Çift Cam 12mm

Gün Işığı

		21 Şubat	21 Ocak	21 Mart
Bahar Dönemi	09.30	Mevcut (1,259.4 lx)	Mevcut (1,609.5 lx)	Mevcut (531.5 lx)
	12.30	Mevcut (1,260.8 lx)	Mevcut (1,630.7 lx)	Mevcut (1,987.5 lx)
	15.30	Mevcut (207.7 lx)	Mevcut (531.5 lx)	Mevcut (1,956.1 lx)
		21 Mayıs	21 Haziran	21 Temmuz
Yaz Dönemi	09.30	Mevcut (819.4 lx)	Mevcut (1,292.8 lx)	Mevcut (1,376.4 lx)
	12.30	Mevcut (2,496.3 lx)	Mevcut (2,482.0 lx)	Mevcut (2,436.9 lx)
	15.30	Mevcut (2,395.8 lx)	Mevcut (2,479.8 lx)	Mevcut (2,420.4 lx)
		21 Eylül	21 Ekim	21 Kasım
Güz Dönemi	09.30	Mevcut (1,941.9 lx)	Mevcut (1,617.9 lx)	Mevcut (1,280.4 lx)
	12.30	Mevcut (1,845.9 lx)	Mevcut (1,447.1 lx)	Mevcut (1,129.7 lx)
	15.30	Mevcut (671.5 lx)	Mevcut (270.1 lx)	Mevcut (1.4 lx)

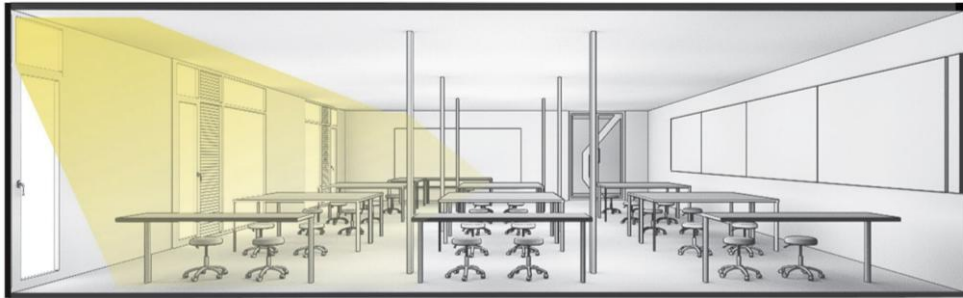
Tablo 4.1. Stüdyo Alanının Tanımı ve Gün Işığı Değerleri

Mekanın boyutları, yüzey yansımaya katsayıları ve pencere açıklıklarıyla birlikte farklı tarihlerde elde edilen gün ışığı değerleri, çalışmanın mekansal çerçevesini ortaya koymaktadır. Bu veriler, yalnızca fiziksel özellikleri tanımlamakla kalmaz; aynı zamanda mekanın gün ışığına verdiği tepkilerin tasarım açısından nasıl yorumlanması gerektiğini de gösterir. Örneğin, duvar ve tavan yüzeylerinde belirlenen düşük yansımaya oranları, ışığın mekan içinde daha sınırlı bir dağılıma sahip olduğunu işaret etmektedir. Bu durum, özellikle derinlik algısının ve arka bölgelerdeki aydınlık düzeyinin yetersiz kalmasına yol açabilir.

Farklı mevsimlerde ve günün çeşitli saatlerinde ölçülen aydınlık değerleri, ışığın mekan atmosferini nasıl dönüştürdüğünü göstermektedir. Kış aylarında sabah saatlerinde düşük seviyelerde kalan aydınlık, öğrencilerin erken saatlerde mekanı daha loş bir atmosferde deneyimlemesine neden olurken; yaz aylarında öğle saatlerinde kaydedilen çok yüksek değerler, görsel konfor açısından kamaşma riskini gündeme getirmektedir. Bu çeşitlilik, eğitim mekanlarının yıl boyunca değişen ışık koşullarına duyarlılığını gözler önüne sermektedir.

4.1.b. Mevcut Tavan Sisteminin Değerlendirilmesi

Şekil 4.4. TOBB ETÜ, MTM1 Stüdyo Mevcut Tavanlı Alanı Işık dağılımını Görselleştirilmesi (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)



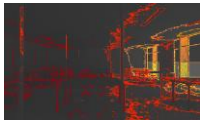





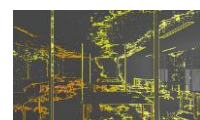










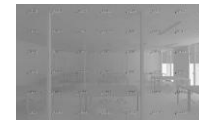
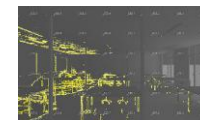


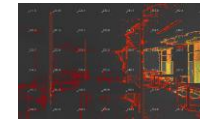


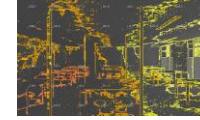


Stüdyoda mevcut olan düz tavan sistemi, mevcut yapı uygulama tekniklerine uygun olarak tasarlanmış, yatay bir yüzey konfigürasyonuna sahiptir. Bu sistem, mimari açıdan sade ve ekonomik bir çözüm sunmakla birlikte, gün ışığının iç

mekana yönlendirilmesi ve homojen dağıtılması açısından önemli sınırlılıklar taşımaktadır.

Ön değerlendirme aşamasında gerçekleştirilen yerinde gözlemler ve ölçümler, düz tavan yüzeyinin gelen ışığı yansıtma veya yönlendirme kapasitesinin düşük olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle sabah (09:30) ve öğleden sonra (15:30) saatlerinde, ışığın cepheye yakın bölgelerde yoğunlaşıp mekanın orta ve arka kısımlarında hızla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, kullanıcıların çalışma masalarında deneyimledikleri aydınlık düzeylerinde belirgin farklılıklara yol açmakta; cepheye yakın sıralardaki öğrenciler aşırı parlaklık ve kamaşma sorunuyla karşılaşırken, arka sıralardaki öğrenciler yetersiz aydınlatma koşullarında çalışmak durumunda kalmaktadır.

Mevcut sistemin bir diğer önemli sorunu, günün ilerleyen saatlerinde doğal aydınlatmanın dramatik biçimde düşmesidir. Özellikle kış aylarında, öğleden sonra 15:30'da yapılan ölçümlerde aydınlık düzeyinin 1-200 lux aralığına düştüğü tespit edilmiştir. Bu değerler, eğitim mekanları için önerilen minimum aydınlık standartlarının (EN 12464-1'e göre 300-500 lux) oldukça altındadır. Sonuç olarak, öğleden sonra saatlerinde yapay aydınlatmanın tam kapasiteyle devreye girmesi zorunlu hale gelmekte; bu durum hem enerji tüketimini artırmakta hem de karma aydınlatmadan kaynaklanan renk sıcaklığı uyumsuzlukları nedeniyle görsel konforu olumsuz etkilemektedir.

Dönem	Ay	Tavan Tipi/Işık Akısı (lux)		
		Mevcut		
Yaz Dönemi	21 Ocak	 9.30	 12.30	 15.30
	21 Şubat	 9.30	 12.30	 15.30
	21 Mart	 9.30	 12.30	 15.30
Bahar Dönemi	21 Mayıs	 9.30	 12.30	 15.30
	21 Haziran	 9.30	 12.30	 15.30
	21 Temmuz	 9.30	 12.30	 15.30
Güz Dönemi	21 Eylül	 9.30	 12.30	 15.30
	21 Ekim	 9.30	 12.30	 15.30
	21 Kasım	 9.30	 12.30	 15.30

Tablo 4.2. TOBB ETÜ Tasarım Stüdyosu'nda Mevcut Tavan Sistemine Ait Aydınlık Düzeyleri

Stüdyonun mevcut tavan sistemi üzerinden elde edilen lüks değerleri, mekanın yıl boyunca ışık performansındaki dalgalanmaları görselleştirmektedir. Veriler, sabah, öğle ve öğleden sonra yapılan ölçümlerde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kış aylarında sabah saatlerinde düşük kalan değerler, çalışma ortamının yeterli aydınlatma sunmadığını gösterirken; yaz döneminde öğle saatlerinde gözlenen aşırı yüksek değerler, kamaşma ve görsel rahatsızlık riskini artırmaktadır. Bu çeşitlilik, mevcut tavan sisteminin ışığı mekana homojen biçimde aktarmakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Mekanın ön bölümlerinde fazla yoğunlaşan ışık, arka kısımlarda yetersiz kalmakta; bu da öğrencilerin mekanı deneyimleme biçiminde eşitsizlik yaratmaktadır. İç mimarlık açısından bu durum, mekanın işlevselliğini sınırlayan önemli bir problem olarak değerlendirilebilir.

4.2. Tasarım Süreci ve Gereçekleri

Mevcut düz tavan sisteminin belirlenen yetersizliklerine karşı geliştirilen Di-ARCIeling tasarımı, optik prensipler ve mimari form ilişkisine dayanan yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir. Tasarım sürecinin başlangıç noktası, ışığın düz yüzeylerden tek açıyla yansımalarının aksine, dairesel yüzeylerden çok yönlü olarak kırılması ve dağılması prensibine dayanmaktadır.

Sistem, anidolik aydınlatma sistemlerinin çalışma mantığından esinlenerek geliştirilmiştir. Anidolik sistemlerde kullanılan "topla-taşı-dağıt" prensibi, Di-ARCIeling tasarımında tavan panelleri aracılığıyla pasif bir biçimde uygulanmaktadır. Bu bağlamda, her bir panel modülü iki temel yüzeye sahip olacak şekilde tasarlanmıştır: üst kısımdaki toplayıcı yüzey (collector surface), gelen ışığı yakalayıp yüksek yansıtıcılık oranıyla (%99,6) iç mekana yönlendirirken; alt kısımdaki dağıtıcı yüzey (diffuser surface), yansıyan ışığı mekanın derin bölgelerine homojen biçimde yayma işlevini üstlenmektedir.

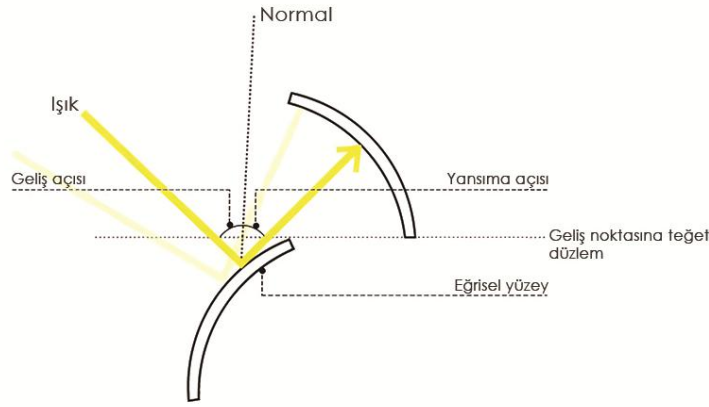
Panel geometrisinin belirlenmesinde, güneşin yıl boyunca değişen geliş açıları dikkate alınmıştır. Ankara enleminde (39,9°K), güneşin yaz gündönümünde (21 Haziran) maksimum yükseklik açısı yaklaşık 73,5°, kış gündönümünde (21 Aralık) ise 26,5° olmaktadır. Bu geniş açı değişkenliği göz önünde bulundurularak,

panellerin eğim açıları 15° ile 45° arasında değişen bir aralıkta kademeli olarak düzenlenmiştir. Böylece, yılın farklı dönemlerinde gelen ışık demetlerinin en az bir panel yüzeyiyle etkileşime girmesi ve iç mekana yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Panellerin malzeme seçiminde, yüksek yansıtıcılık oranına sahip alüminyum esaslı yüzey kaplamaları tercih edilmiştir. Bu kaplamaların spektral yansıtma katsayısı (%99,6), ışığın yansıma sırasında minimum enerji kaybına uğramasını garantilemektedir. Ayrıca, yüzey bitişinin mat değil hafif parlak olarak tasarlanması, yansıyan ışık ışınlarının dağınık değil yönlendirilmiş biçimde ilerlemesini sağlamıştır.

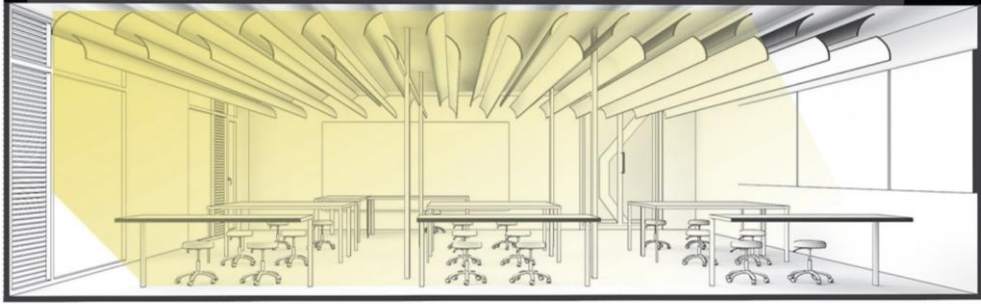
Tasarımın modüler karakteri, uygulamada esneklik ve ölçeklenebilirlik avantajı sunmaktadır. Her bir panel modülü $60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ standart asma tavan ölçülerine uyumlu olarak tasarlanmış; böylece mevcut yapı sistemleriyle entegrasyon kolaylaştırılmıştır. Panellerin tavana monte edilme biçimi, bakım ve temizlik işlemlerinin kolaylıkla gerçekleştirilebilmesine olanak tanımaktadır.

Şekil 4.5. Di-ARCIeling Panel Tasarımı Teknik Gösterimi (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)



Di-ARCIeling panel modülünün teknik detayı. Toplayıcı ve dağıtıcı yüzeylerin konumları, eğim açıları ve ışık yansıma yönleri gösterilmektedir. Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, dairesel yüzey formu ışığın mekan boyunca daha dengeli bir şekilde dağılmasına imkan tanımaktadır.

Şekil 4.6. TOBB ETÜ, MTM1 Stüdyo Di-ARCIeling Alanı Işık Dağılımı Görselleştirilmesi (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)



Şekil 4.5'te panelin mekan içindeki yerleşim önerisi verilmiştir. Bu yönleriyle Di-ARCIeling, mevcut sistemlere alternatif oluşturan yenilikçi bir gün ışığı yönlendirme çözümü olarak değerlendirilmektedir. Di-ARCIeling tasarımının bir diğer gerekçesi, uygulanabilirlik ve sürdürülebilirlik boyutlarıdır. Karmaşık mekanik bileşenlere ihtiyaç duymadan yalnızca optik prensiplere dayalı bir sistem geliştirilmesi, bakım ve üretim maliyetlerini azaltırken, uzun vadede kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca panelin yüksek yansıtma özellikleri sayesinde, bulutlu hava koşullarında dahi yeterli gün ışığı yönlendirmesi gerçekleştirilebilmekte, böylece iç mekanda yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyaç azaltılmaktadır. Bu yönüyle Di-ARCIeling sistemi, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak, Di-ARCIeling panelinin tasarımı, literatürde incelenen gün ışığı sistemlerinin güçlü ve zayıf yönlerinin sentezinden doğmuştur. Panelin geliştirilmesindeki temel gerekçeler; mekanın derin bölgelerine gün ışığı iletimini artırmak, aydınlatmada homojenliği sağlamak, enerji tüketimini azaltmak ve mimari bütünlük ile uygulanabilirliği korumaktır.

Özellik	Değer/Açıklama
Panel Boyutu	60 cm × 60 cm
Panel Kalınlığı	0.8 cm
Eğim Açısı Aralığı	15° - 45° (kademeli)
Toplayıcı Yüzey Malzemesi	Alüminyum esaslı yüksek yansıtıcı kaplama
Yansıtma Katsayısı	%99,6
Dağıtıcı Yüzey Malzemesi	Mikroprizmatik difüzör
Yüzey Bitişi	Yarı parlak
Montaj Sistemi	Standart T-grid asma tavan uyumlu

Tablo 4.3. Di-ARCIeling Panel Sisteminin Teknik Özellikleri

Panelin ölçüleri, kalınlığı ve montaj sistemi, yalnızca üretim ve uygulama kolaylığı açısından değil, aynı zamanda mekana entegre olurken yarattığı mekansal bütünlük bakımından da önem taşımaktadır. 60 × 60 cm'lik modüler boyut, stüdyo mekanlarında yaygın olarak kullanılan asma tavan sistemleriyle uyum sağlayarak hem estetik bütünlüğü hem de pratik uygulanabilirliği güçlendirmektedir. Yüksek yansıtma katsayısına sahip alüminyum esaslı toplayıcı yüzey, gün ışığının maksimum verimle yakalanmasını sağlarken, mikro prizmatik difüzörlü dağıtıcı yüzey ışığın mekan içinde yumuşak ve homojen bir biçimde dağılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu iki unsurun birlikteliği, ışığın yalnızca miktarını değil, niteliğini de dönüştürerek görsel konforu desteklemektedir. Ayrıca yüzeyin yarı parlak bitişi, aşırı parlamayı engellerken mekanda daha rafine bir atmosfer yaratmaktadır. Panelin eğim açılarıyla oynamaya imkan tanıyan tasarımı ise ışığın farklı derinliklere yönlendirilmesini sağlayarak esnek bir kullanım senaryosu sunmaktadır. Böylece panel, yalnızca teknik bir gün ışığı elemanı değil; aynı zamanda mekanın karakterini ve kullanıcı deneyimini dönüştüren bir iç mimarlık çözümü olarak konumlanmaktadır.,

4.3. Simülasyon Kriterleri ve Varsayımlar

Bu çalışmada, farklı tavan sistemlerinin gün ışığı performanslarının değerlendirilmesi amacıyla simülasyon tabanlı bir metodoloji benimsenmiştir. Simülasyon yaklaşımının tercih edilmesinin temel nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Gerçek ölçümlerin yıl boyunca tutarlı biçimde tekrarlanması pratik zorlukları,
- Di-ARCIeling gibi henüz uygulanmamış bir sistemin performansının deneysel olarak test edilemeyeceği,
- Parametrik değişkenlerin kontrollü ortamda izole edilerek karşılaştırılabilmesi gerekliliği.

Simülasyon sürecinde, VELUX Daylight Visualizer 3.0 yazılımı kullanılmıştır. Bu program, Radiance hesaplama motorunu temel alan, bilimsel doğruluğu kanıtlanmış bir daylight simülasyon aracıdır. Programın tercih edilmesinde, gün ışığı koşullarını CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) standartlarına uygun biçimde modelleyebilmesi, materyal optik özelliklerinin detaylı tanımlanabilmesi ve aydınlık düzeyi (lux) hesaplamalarında yüksek doğruluk sunması belirleyici olmuştur.

4.3.a. Simülasyon Programı ve Ayarları

VELUX Daylight Visualizer programında gerçekleştirilen simülasyonlar, aşağıdaki temel ayarlar ve parametreler çerçevesinde kurgulanmıştır:

Gökyüzü Modeli: Çalışmada, CIE Standard Overcast Sky (Standart Bulutlu Gökyüzü) modeli kullanılmıştır. Bu model, dağınık gün ışığının homojen dağılımını temsil eden, doğrudan güneş ışığının olmadığı koşulları simüle etmektedir. Kuzeye bakan bir cepheye sahip olan stüdyo için bu modelin seçilmesi, doğrudan güneş ışığından ziyade gökyüzü parlaklığının etkisini değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, özellikle kapalı hava koşullarının sık yaşandığı Ankara iklimi için gerçekçi bir temsil sunmaktadır.

Hesaplama Çözünürlüğü: Aydınlık düzeyi hesaplamaları, zemin seviyesinden 80 cm yükseklikte tanımlanan çalışma düzlemi (work plane) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu yükseklik, standart çalışma masası seviyesini temsil etmekte olup, EN 12464-1 standardıyla uyumludur. Hesaplama ızgarası (calculation grid), 50 cm × 50 cm aralıklarla düzenlenmiş, toplam 486 ölçüm noktasından oluşmaktadır. Bu yoğunluk, mekan içindeki ışık dağılımının detaylı biçimde haritalandırılmasına imkan vermektedir.

Ray Tracing Parametreleri: Radiance hesaplama motorunun temel parametreleri şu şekilde ayarlanmıştır:

- Ambient bounces (ab): 5 (Işığın yüzeyler arasında maksimum yansıma sayısı)
- Ambient divisions (ad): 1000 (Dolaylı aydınlatma hesaplama hassasiyeti)
- Ambient resolution (ar): 300 (Ambient önbellek çözünürlüğü)
- Ambient accuracy (aa): 0.15 (Ambient interpolasyon doğruluğu)

Bu parametreler, yüksek doğrulukta hesaplama sonuçları elde etmek için literatürde önerilen değerlere uygun olarak belirlenmiştir (Reinhart & Walkenhorst, 2001).

Parametre	Değer	Açıklama
Yazılım	VELUX Daylight Visualizer 3.0	Radiance tabanlı
Gökyüzü Modeli	CIE Standard Overcast Sky	Radiance tabanlı
Çalışma Düzlemi Yüksekliği	80 cm	Radiance tabanlı
Hesaplama Izgara Aralığı	50 cm × 50 cm	Radiance tabanlı

Tablo 4.4. VELUX Daylight Visualizer Simülasyon Ayarları

Kullanılan yazılımın Radiance tabanlı olması, ışığın mekan içindeki davranışını gerçekçi bir şekilde modellemeyi mümkün kılmaktadır. Bu durum, elde edilen verilerin yalnızca teorik değil, aynı zamanda mekansal deneyimi temsil eden güvenilir sonuçlar sunduğunu göstermektedir. CIE Standard Overcast gökyüzü modelinin seçilmesi, mekanın özellikle homojen ışık dağılımının beklendiği eğitim ortamlarında performansının test edilmesine olanak tanımaktadır.

Ölçüm düzleminin 80 cm olarak belirlenmesi, stüdyo kullanıcılarının oturarak çalıştıkları masa yüksekliğini temsil eder. Bu, elde edilen sonuçların doğrudan kullanıcı deneyimiyle ilişkilendirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca 50 × 50 cm'lik hesaplama ızgarası, mekanın ışık dağılımını detaylı biçimde analiz etmeye olanak tanırken, tasarım kararlarının yalnızca genel aydınlık düzeyine değil, aynı zamanda mekansal homojenliğe de odaklanmasına imkan verir.

4.3.b. Çevresel ve Yapısal Parametreler

Simülasyon modelinin fiziksel doğruluğunu sağlamak amacıyla, mekana ait tüm yapısal elemanlar ve malzeme özellikleri titizlikle tanımlanmıştır:

Geometrik Model: Stüdyonun üç boyutlu geometrik modeli, SketchUp Pro yazılımında 1:1 ölçekte oluşturulmuş ve .obj formatında VELUX Daylight Visualizer'a aktarılmıştır. Modelde, duvarlar, tavan, zemin, pencere açıklıkları ve temel mobilyalar (çalışma masaları, tabureler) yer almaktadır.

Malzeme Tanımlamaları: Yüzey malzemelerinin optik özellikleri, Radiance materyal kütüphanesinden seçilen parametrelerle aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- Duvarlar: Mat beyaz sıva - Yansıtma: 0.30 (Diffuse, RGB: 0.30/0.30/0.30)
- Zemin: Açık gri mikro beton - Yansıtma: 0.62 (Diffuse, RGB: 0.62/0.62/0.62)
- Tavan (Düz sistem): Mat beyaz sıva - Yansıtma: 0.30 (Diffuse)
- Di-ARCIeling Panelleri:
- Toplayıcı yüzey: Yansıtma: 0.996
- Dağıtıcı yüzey: Yansıtma: 0.996
- Pencere Camları: Çift cam 12 mm - Geçirgenlik: 0.76 (Glass, Kırılma indeksi: 1.52)

Coğrafi Konum ve İklim: Simülasyonlarda Ankara koordinatları (39.9°K, 32.8°D) kullanılmış; zaman dilimi UTC+3 olarak ayarlanmıştır. Gökyüzü parlaklığı değerleri, Ankara için standart meteorolojik verilerden (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023) alınmış ortalama değerlere göre kalibre edilmiştir.

	Yüzeyle	Optik Özellikleri			
		Radiance Materyali	Yansıtma Çarpanı	Geçirgenlik Çarpanı	Kırılma İndeksi
Mekan	Duvarlar	Opak	0,7	—	—
	Zemin	Opak	0,7	—	—
	Tavan	Opak	0,7	—	—
Tavan Elemanları	Toplayıcı	Aynalı	0,996	—	—
	Dağıtıcı	Aynalı	0,996	—	—

Tablo 4.5. Mekan ve Tavan Elemanlarının Materyal Özellikleri Kaynak: (IEA SHC, 2021)

Yüzeyle ait yansıtma katsayıları, farklı malzemelerin ışıqla etkileşimlerini ortaya koyan ölçümlere dayalı verilerdir. Duvar, zemin ve tavan için belirlenen 0,70 değeri, iç mekanlarda sıklıkla kullanılan standart malzemelerin ışıqlı orta seviyede yansıttığını göstermektedir. Bu durum, mekanın ne aşırı parlayan ne de ışıqlı tamamen soğuran bir karaktere sahip olmasını engelleyerek dengeli bir görsel konfor oluşturur.

Di-ARCIeling elemanlarında görülen 0,996'lık yüksek yansıtma katsayısı ise, alüminyum veya özel kaplamalı yüzeylelerin ışıqlı neredeyse kayıpsız biçimde yansıttığını gösterir. Böyle bir özellik, sistemin gün ışıqlını derin mekanlara taşıma kapasitesini artırmakta ve homojen aydınlatma sağlama amacını desteklemektedir.

4.3.c. Zaman Dilimleri ve Ölçüm Noktaları

Gün ışıqlının mevsimsel ve günlük değişkenliğini kapsamlı biçimde değerlendirebilmek amacıyla, simülasyonlar yılın belirli ayları ve günün üç farklı saati için tekrarlanmıştır:

Ay Seçimi: Her ayın 21. günü, simülasyon tarihi olarak seçilmiştir. Bu seçimin gerekçeleri şunlardır:

- Yaz (21 Haziran) ve kış (21 Aralık) gündönümü tarihlerinin dahil edilmesi, yıllık güneş açısı değişkenliğinin uç noktalarını temsil etmektedir
- İlkbahar (21 Mart) ve sonbahar (21 Eylül) ekinokslarının dahil edilmesi, geçiş dönemlerinin değerlendirilmesine imkan vermektedir

- Her ayın 21. gününün kullanılması, tüm simülasyonlarda zaman tutarlılığı sağlamak ve karşılaştırılabilirlik güvenilirliğini artırmaktadır

Simülasyonlar, ocak ayından kasım ayına kadar 11 ay için gerçekleştirilmiştir. Aralık ayının dışlanması, akademik takvimin yaz tatili dönemine denk gelmesi ve mekan kullanımının olmaması nedeniyledir.

Saat Seçimi: Her ay için simülasyonlar, günün üç farklı saatinde tekrarlanmıştır:

- **09:30** - Sabah çalışma başlangıcı, düşük güneş açısı
- **12:30** - Öğle saati, maksimum gökyüzü parlaklığı
- **15:30** - Öğleden sonra çalışma süreci, azalan ışık koşulları

Bu saatler, stüdyonun aktif kullanım saatlerini (09:30-17:00) temsil etmekte olup, tasarım stüdyosu derslerinin tipik zaman dilimlerine karşılık gelmektedir.

Ay	Tarih	Saat	Güneş Yükseklik Açısı (°)
Ocak	21.01	09.30	18,2°
		12.30	26,8°
		15.30	26,8°
Mart	21.03	09.30	32,5°
		12.30	50,2°
		15.30	32,4°
Haziran	21.06	09.30	54,8°
		12.30	73,6°
		15.30	54,7°
Kasım	21.11	09.30	20,4°
		12.30	30,2°
		15.30	20,3°

Tablo 4.6. Simülasyon Zaman Dilimleri ve Güneş Açıları

Açılar Ankara koordinatları (39,9°K, 32,8°D) için hesaplanmıştır. Belirlenen tarih ve saatlerde hesaplanan güneş yükseklik açıları, simülasyonların mekansal gerçeklikle uyumlu biçimde yürütülmesini sağlamaktadır. Ocak ayında sabah ve öğleden sonra düşük kalan açılar, mekana giren gün ışığının sınırlı olduğunu ve aydınlık düzeylerinde yetersizlik oluşturduğunu göstermektedir. Buna karşın haziran ayında öğle saatinde 73,6°'ye ulaşan yüksek değerler, ışığın doğrudan ve

yoğun bir biçimde içeri girmesine neden olmakta, bu da görsel konfor açısından kamaşma ve aşırı parlaklık riskini gündeme getirmektedir.

Ekinoks tarihlerinde (21 Mart ve 21 Kasım) elde edilen açılar dengeli bir dağılım sunması ise yıl boyunca kullanıcıların karşılaşacağı ortalama ışık senaryolarının anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Bu çeşitlilik, eğitim mekanlarının yıl içindeki ışık koşullarına duyarlılığını gözler önüne sererken, aynı zamanda tasarım kararlarının mevsimsel değişkenlikleri dikkate alması gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.3.d. Varsayımlar ve Sınırlılıklar

Simülasyon tabanlı araştırma yönteminin doğası gereği, gerçek koşulların basitleştirilmesi ve belirli varsayımların yapılması kaçınılmazdır. Bu çalışmada benimsenen temel varsayımlar ve metodolojik sınırlılıklar şu şekilde belirlenmiştir:

Gökyüzü Koşulları: CIE Standard Overcast Sky modelinin kullanılması, bulutlu gökyüzü koşullarında homojen bir parlaklık dağılımı varsaymaktadır. Bu varsayım, gerçek hayatta gözlemlenebilecek kısmen bulutlu (overcast) veya tamamen açık (clear sky) koşulları temsil etmemektedir. Ancak, kuzeye bakan bir cephe için doğrudan güneş ışığının etkisinin sınırlı olması ve dağınık gün ışığının baskın olması nedeniyle, bu model çalışmanın amaçları doğrultusunda uygun bulunmuştur.

Dış Engelleme Faktörleri: Simülasyon modelinde, binanın çevresindeki diğer yapılar, ağaçlar veya gölge oluşturabilecek dış elemanlar dikkate alınmamıştır. Bu varsayım, tavan sistemlerinin performansını izole biçimde değerlendirmeyi ve karşılaştırmaları net biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Gerçek uygulamada, bina çevresindeki faktörler gün ışığı performansını etkileyebilir.

Sabit Yüzey Özellikleri: Yüzey yansıtıcılık değerlerinin zaman içinde değişmediği varsayılmıştır. Gerçek koşullarda, kir birikimi, aşınma ve yaşlanma gibi faktörler yüzey özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Özellikle Di-ARCIeling panellerinin yüksek yansıtıcılık performansını koruması, düzenli temizlik ve bakım gerektirecektir.

İç Mekan Düzeni: Mobilya yerleşimi ve iç mekan organizasyonu, simülasyon boyunca sabit tutulmuştur. Gerçek kullanımda, öğrencilerin farklı projelere göre

masa düzenlerini değiştirmeleri, maket ve çalışma malzemelerinin konumlanması gibi faktörler ışık dağılımını etkileyebilir.

Pencere Temizliği ve Geçirgenlik: Pencere camlarının temiz olduğu ve ışık geçirgenlik değerlerinin standart çift cam özelliklerini koruduğu varsayılmıştır. Gerçek koşullarda, pencere kirinin geçirgenliği %10-20 oranında azaltılabileceği bilinmektedir.

İklimsel Veriler: Her ayın 21. günü için kullanılan standart gökyüzü parlaklığı değerleri, uzun dönemli ortalamalara dayanmaktadır. Belirli bir yıldaki gerçek hava koşulları, bu ortalamalardan sapma gösterebilir. Dolayısıyla, simülasyon sonuçları "tipik koşulları" temsil etmekte, ekstrem hava olaylarını (yoğun kar yağışı, sis vb.) içermemektedir.

Kullanıcı Davranışı: Kullanıcıların perde, stor veya güneşlik gibi gün ışığı kontrol elemanlarını kullanma davranışları, simülasyon kapsamı dışında bırakılmıştır. Gerçek uygulamada, kullanıcılar kamaşma veya aşırı ısınma durumunda bu elemanları kullanarak doğal ışık girişini kısıtlayabilir.

Yapay Aydınlatma Entegrasyonu: Bu çalışma, münhasıran doğal aydınlatma performansını değerlendirmektedir. Hibrit aydınlatma sistemlerinde (gün ışığı + yapay ışık), otomatik kontrol sistemlerinin ve sensörlerin davranışı, ayrı bir araştırma konusudur.

Parametre	Simülasyon Varsayımı	Gerçek Koşullar	Potansiyel Sapma
Gökyüzü Durumu	CIE Overcast (Sabit)	Değişken bulutluluk	±15-25% lux
Pencere Temizliği	Temiz (%76 geçirgenlik)	Kirli (%60-70)	-10-20% lux
Yüzey Yansıtıcılığı	Sabit değerler	Zamanla azalır	-5-15% (5 yıl)
Dış Engelleyiciler	Yok	Var olabilir	-20-40% (konuma bağlı)
Kullanıcı Müdahalesi	Yok	Perde kullanımı	-30-60% (kontrol edilen saatlerde)
İklim Verileri	Uzun dönem ortalama	Yıllık değişkenlik	±10-20%

Tablo 4.7. Simülasyon Varsayımları ve Gerçek Koşullarla Karşılaştırma

Varsayılan simülasyon koşulları ile gerçek kullanım senaryoları arasındaki farklar, tasarım kararlarının ne ölçüde idealize edildiğini gösteren önemli bir göstergedir. CIE Overcast gökyüzü modeli üzerinden yürütülen hesaplamalar, ışığın homojen dağılımını test etmek açısından doğru bir tercih olsa da gerçek hayattaki

değişken bulutluluk bu değerlere $\pm\%25$ 'e kadar sapma getirebilmektedir. Benzer şekilde, camların temiz kabul edilmesiyle elde edilen $\%76$ 'lık geçirgenlik değeri, zamanla yüzeylerin kirlenmesiyle $\%60-70$ 'e düşerek iç mekandaki aydınlık seviyelerini $\%20$ 'ye yakın oranda azaltabilmektedir.

Yüzeylerin yansıtıcılığının sabit kabul edilmesi de idealize edilmiş bir varsayımdır. Ancak zaman içinde malzeme yüzeylerinde tozlanma ve aşınma nedeniyle $\%5-15$ arasında kayıplar yaşanabilmektedir. Kullanıcıların perde kullanımı veya dış engelleyicilerin varlığı gibi öngörülemeyen koşullar ise ışık dağılımında daha belirgin dengesizliklere neden olabilir. Bu noktada özellikle perde müdahalesi, homojenliği bozan en kritik etkenlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

İç mimarlık perspektifinden bakıldığında, bu sapmalar yalnızca niceliksel hataları değil, mekanın gerçek deneyiminde oluşabilecek farklılıkları da işaret etmektedir. Önemli bir nokta olarak; bu olası sapmaları öngörerek önerilen sistemin yalnızca ideal koşullarda değil, gerçek kullanım senaryolarında da tutarlı performans göstermesini sağlamaktır.

4.4. Karşılaştırmalı Analiz

Bu bölümde, üç farklı tavan sisteminin (düz tavan, dairesel tavan, Di-ARCIeling) gün ışığı performansları, simülasyon sonuçlarına dayanarak karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmektedir. Analiz, hem niceliksel veriler (lux değerleri) hem de niteliksel değerlendirmeler (ışık dağılım homojenliği, görsel konfor) üzerinden yürütülmüştür.

Yıl boyunca gerçekleştirilen simülasyonlar, tavan sistemleri arasında belirgin performans farklılıkları olduğunu ortaya koymuştur. Düz tavan sisteminde, aydınlık düzeylerinin mevsimsel değişkenliğe karşı oldukça hassas olduğu; özellikle kış aylarında (Ocak, Şubat, Kasım) öğleden sonra saatlerinde dramatik düşüşler yaşandığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Kasım ayı 15:30 ölçümünde düz tavan sisteminde ortalama aydınlık düzeyi 1,4 lux'a kadar gerilemiştir. Bu değer, eğitim mekanları için kabul edilemez bir düzeydedir ve tam kapasiteyle yapay aydınlatma kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Di-ARCIeling tavan sistemi, düz tavana kıyasla tüm aylarda ve tüm saatlerde daha yüksek performans göstermiştir. Aynı Kasım ayı 15:30 ölçümünde, dairesel sistem 1313,2 lux değerine ulaşarak, düz tavana göre yaklaşık 938 kat daha yüksek aydınlık sağlamıştır. Bu dramatik fark, dairesel yüzeylerin ışığı yönlendirme kapasitesinin ne denli etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Di-ARCIeling sistemi ise, tüm ölçüm noktalarında en yüksek ve en kararlı performansı sergilemiştir. Özellikle kritik öğleden sonra saatlerinde (15:30), Di-ARCIeling sistemi diğer sistemlere göre belirgin üstünlük göstermiştir:

Dönem	Ay	Saat	Işık Akısı (lux)		
			Mevcut	Dairesel	Di-ARCIeling
Yaz	21 Ocak	09.30	1259.4 lx	2916.5 lx	3117.1 lx
		12.30	1260.8 lx	2929.2 lx	2078.3 lx
		15.30	207.7 lx	1509.8 lx	2098.7 lx
	21 Şubat	09.30	1609.5 lx	3717.5 lx	3971.8 lx
		12.30	1630.7 lx	3.957.1 lx	4032.5 lx
		15.30	531.5 lx	1522.5 lx	2961.8 lx
	21 Mart	09.30	1987.5 lx	4843.5 lx	4901.6 lx
		12.30	1956.1 lx	4086.8 lx	4852.8 lx
		15.30	819.4 lx	3100.8 lx	3716.5 lx
Bahar	21 Mayıs	09.30	2496.3 lx	6093.8 lx	6125.4 lx
		12.30	2395.8 lx	5557.8 lx	5907.8 lx
		15.30	1292.8 lx	4024.3 lx	5223.1 lx
	21 Haziran	09.30	2482.0 lx	5978.1 lx	6207.2 lx
		12.30	2479.8 lx	5653.6 lx	6075.2 lx
		15.30	1376.4 lx	4217.2 lx	4998.1 lx
	21 Temmuz	09.30	2436.9 lx	5636.6 lx	6058.4 lx
		12.30	2420.4 lx	5665.8 lx	5997.0 lx
		15.30	1349.4 lx	4075.0 lx	4926.1 lx
Güz	21 Eylül	09.30	1941.9 lx	4659.9 lx	5021.7 lx
		12.30	1845.9 lx	4417.7 lx	4722.9 lx
		15.30	671.5 lx	1611.8 lx	3448.5 lx
	21 Ekim	09.30	1617.9 lx	3972.3 lx	4150.5 lx
		12.30	1447.1 lx	3473.2 lx	3715.4 lx
		15.30	270.1 lx	943.7 lx	2442.6 lx
	21 Kasım	09.30	1280.4 lx	3049.2 lx	3279.3 lx
		12.30	1129.7 lx	2847.8 lx	2885.1 lx
		15.30	1.4 lx	1313.2 lx	1676.7 lx

Tablo 4.8. Düz, Dairesel ve Kavisli Tavan Tiplerinin Mevsim, Ay ve Saatlere Göre Karşılaştırılması (Tasarım Stüdyosu, TOBB ETÜ) (Fakıba Dedeoğlu & Yalçın, 2025)


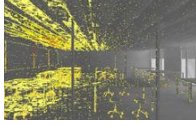
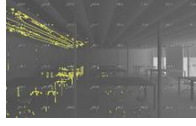
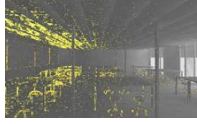




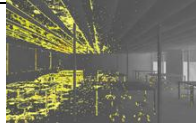

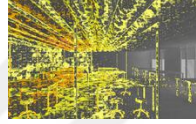



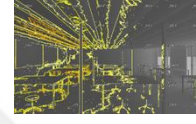

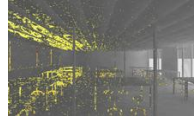
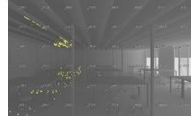
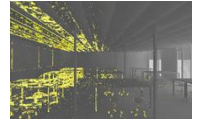
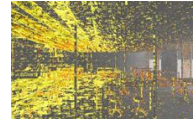
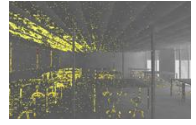
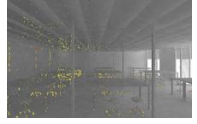

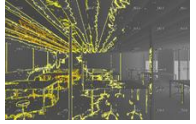
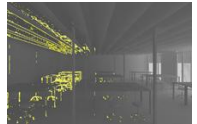
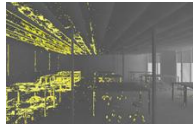

Tablo günün farklı saatlerindeki (09:30, 12:30, 15:30) performans analizi, her bir tavan sisteminin ışık koşullarındaki değişime nasıl tepki verdiğini ortaya koymaktadır.

Sabah Saati (09:30): Güneşin düşük açıda olduğu sabah saatlerinde, tüm sistemler nispeten yüksek aydınlık değerleri sergilemektedir. Ancak, Di-ARCIeling sistemi bu saatlerde bile belirgin üstünlük göstermektedir. Örneğin haziran ayı 09:30 ölçümünde:

- Düz tavan: 2482,0 lux
- Dairesel tavan: 5978,1 lux (%141 artış)
- Di-ARCIeling: 6207,2 lux (%150 artış)

Öğle Saati (12:30): Maksimum gökyüzü parlaklığının gözlemlendiği öğle saatlerinde, Di-ARCIeling sisteminin diğer sistemlere olan üstünlüğü nispeten azalmaktadır. Bu durum, ışık yoğunluğunun yüksek olduğu koşullarda tavan sisteminin yönlendirme kapasitesine olan ihtiyacın azalmasıyla açıklanabilir. Ancak yine de Di-ARCIeling, tüm ölçümlerde en yüksek değerleri korumaktadır.

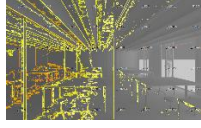

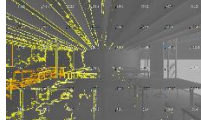
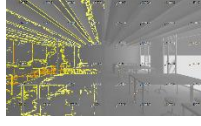
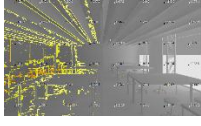
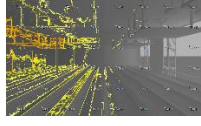

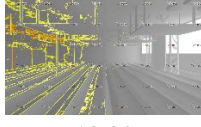
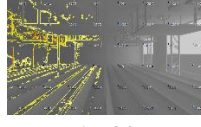

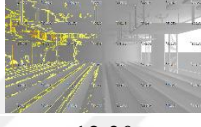
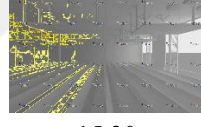


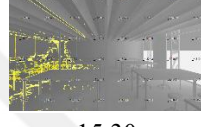
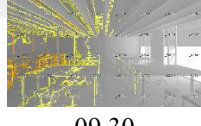
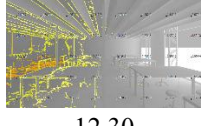
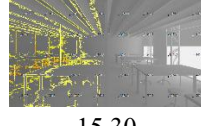
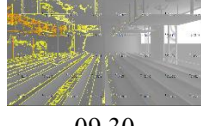
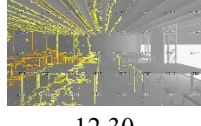
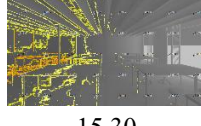
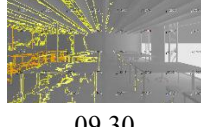
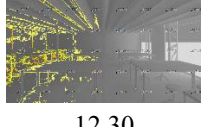
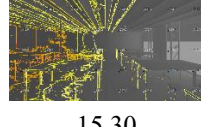
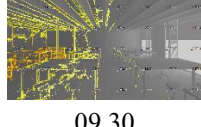
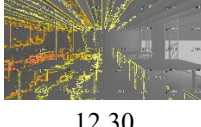
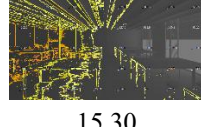
Öğleden Sonra (15:30): En kritik sonuçlar, öğleden sonra saatlerinde elde edilmiştir. Güneş açısının düşmeye başladığı ve gökyüzü parlaklığının azaldığı bu dönemde, Di-ARCIeling sisteminin üstünlüğü maksimum düzeye ulaşmaktadır. Düz tavan sisteminin neredeyse tamamen başarısız olduğu kış aylarında bile, Di-ARCIeling sistemi kabul edilebilir aydınlık düzeylerini sürdürmektedir.

Dönem	Ay	Tavan Tipi/Işık Akısı (lux)			
		Dairesel			
Yaz	21 Ocak	 9.30	 12.30	 15.30	
	21 Şubat	 9.30	 12.30	 15.30	
	21 Mart	 09.30	 12.30	 15.30	
	21 Mayıs	 9.30	 12.30	 15.30	
	Bahar	21 Haziran	 9.30	 12.30	 15.30
		21 Temmuz	 9.30	 12.30	 15.30
Güz	21 Eylül	 9.30	 12.30	 15.30	
	21 Ekim	 9.30	 12.30	 15.30	
	21 Kasım	 9.30	 12.30	 15.30	

Tablo 4.9. Tavan Sistemlerinin Saatlik Performans Karşılaştırması (Ortalama Lux)

Dairesel tavan için elde edilen aydınlık düzeyi dağılımları, mekana giren gün ışığının sadece yoğunluğunu değil aynı zamanda yayılım biçimini de görünür

kılmaktadır. Farklı gün ve saatlerde ölçülen lux değerleri, özellikle mekanın arka kısımlarına ulaşan ışığın homojenliğini değerlendirmek açısından önem taşır. Görseller, tavan geometrisinin ışığı nasıl yönlendirdiğini ve dağıttığını doğrudan gözlemlemeyi mümkün kılarken, düz tavana kıyasla daha dengeli bir ışık dağılımının sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu durum, görsel konfor koşullarının iyileştirilmesi ve gölge–parlaklık dengesinin korunması açısından kritik bir bulgudur. Ayrıca, dairesel formun farklı mevsimlerde güneş ışığının geliş açılarından bağımsız olarak benzer bir dağılım sağlayabilmesi, tasarımın sürdürülebilir kullanım potansiyeline işaret eder. Mekanın bütününde ışığın daha derinlere ulaşması, öğrenme alanlarının gün boyunca daha tutarlı bir aydınlık seviyesinde kalmasına katkı sunmakta ve bu yönüyle eğitim mekanlarında gün ışığı kullanımının performansını artırmaktadır

Dönem	Ay	Tavan Tipi/Işık Akısı (lux)		
		Di-ARCieling		
Yaz	21 Ocak	 09.30	 12.30	 15.30
	21 Şubat	 09.30	 12.30	 15.30
	21 Mart	 09.30	 12.30	 15.30
Bahar	21 Mayıs	 09.30	 12.30	 15.30
	21 Haziran	 09.30	 12.30	 15.30
	21 Temmuz	 09.30	 12.30	 15.30
Güz	21 Eylül	 09.30	 12.30	 15.30
	21 Ekim	 09.30	 12.30	 15.30
	21 Kasım	 09.30	 12.30	 15.30

Tablo 4.10. Tavan Sistemlerinin Saatlik Performans Karşılaştırması (Ortalama Lux)

Di-ARCIeling paneline ait lux dağılımlarını gösteren veriler, sistemin dairesel tavana kıyasla çok daha etkin bir yönlendirme sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle sabah ve öğleden sonraki saatlerde gözlemlenen değerler, ışığın yalnızca pencere yakınında yoğunlaşmadığını, mekanın arka bölgelerine kadar dengeli bir şekilde taşındığını göstermektedir. Bu durum, derinlik algısını güçlendirirken aynı zamanda öğrencilerin çalışma alanlarında daha tutarlı bir görsel konfor yaratmaktadır.

Yaz ve bahar aylarında elde edilen sonuçlar, yüksek güneş açılarında bile homojen bir aydınlık düzeyinin korunabildiğini göstermekte; güz aylarında ise düşen güneş ışığına rağmen panelin yönlendirici özelliğinin devam ettiği dikkat çekmektedir. Böylece, Di-ARCIeling sistemi farklı mevsimsel koşullarda performans istikrarı sağlayarak eğitim mekanlarında süreklilik arz eden bir gün ışığı kalitesi sunmaktadır. Bu, yalnızca enerji tasarrufu potansiyeli değil, aynı zamanda öğrencilerin odaklanma, dikkat ve görsel konfor ihtiyaçları açısından da önemli bir katkı sağlamaktadır.

4.4.a. Enerji Verimliliği Potansiyeli

Doğal aydınlatma performansının artırılması, doğrudan yapay aydınlatma enerjisi tüketimine yansımaktadır. Bu çalışmada, yapay aydınlatma sistemi detaylı olarak modellenme miş olmasa da EN 12464-1 standardının önerdiği minimum aydınlık düzeyleri (500 lux) referans alınarak, her tavan sisteminin "yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulan saat" miktarı hesaplanabilmektedir.

Düz Tavan Sistemi: Simülasyon verilerine göre, düz tavan sisteminde öğleden sonra saatlerinde (özellikle kış aylarında) doğal aydınlatma neredeyse tamamen yetersiz kalmakta; bu nedenle 15:30 sonrası saatlerde tam kapasiteyle yapay aydınlatma gereksinimi doğmaktadır. Yıllık bazda değerlendirildiğinde, düz tavan sisteminin kullanıldığı bir stüdyoda, günlük ortalama 4-5 saat yapay aydınlatma kullanımı kaçınılmaz görünmektedir.

Dairesel Tavan Sistemi: Dairesel sistem, öğleden sonra saatlerinde dahi kabul edilebilir aydınlık düzeylerini sürdürebilmekte; bu sayede yapay aydınlatma ihtiyacı

günlük ortalama 2-3 saate düşmektedir. Yıllık enerji tasarrufu potansiyeli, düz tavana göre yaklaşık %40-50 olarak tahmin edilmektedir.

Di-ARCIeling Sistemi: En yüksek enerji verimliliği potansiyeli, Di-ARCIeling sisteminde gözlemlenmektedir. Sistem, yılın çoğu döneminde (özellikle Mart-Ekim arası) 17:00'ye kadar yapay aydınlatma gereksinimi olmaksızın yeterli aydınlık düzeylerini sağlayabilmektedir. Yalnızca kış aylarında (Aralık-Şubat) öğleden sonra geç saatlerde minimal yapay aydınlatma desteği gerekmektedir. Yıllık enerji tasarrufu potansiyeli, düz tavana göre %60-70 düzeyine ulaşmaktadır.

Dördüncü bölümde, TOBB ETÜ Tasarım Stüdyosu örneği üzerinden yürütülen uygulama süreci, simülasyon yöntemi, değerlendirme kriterleri ve elde edilen sayısal bulgular sunulmuştur. Bu bulgular, dairesel ve optik yansıtıcılı tavan yüzeylerinin, ışığın mekan içinde daha dengeli ve homojen biçimde dağılmasına olanak sağladığını göstermiştir. Sonraki ve son bölümde ise, elde edilen veriler bütüncül biçimde değerlendirilerek araştırma sorularına yanıt verilmekte; farklı tavan sistemlerinin gün ışığı yönlendirme performansları, görsel konfor ve enerji verimliliği boyutlarıyla birlikte tartışılmaktadır.

BÖLÜM V

SONUÇ

Tez çalışma kapsamında çok yönlü kırılma hareketinin, özellikle öğleden sonra yapılan ölçümlerde belirgin bir avantaj sağladığı görülmüştür. Güneş açısının değişmesiyle tek yönlü tavanlar altında oluşan gölgelenme ve aydınlık dengesizliği, çift yönlü dairesel yüzeylerde minimize edilmiştir. Böylece Di-ARCIeling yalnızca bir tavan elemanı olmaktan çıkarak, mekanın ışık dolaşımını düzenleyen bir optik sistem gibi işlev görmüştür. Bu bulgu, tavan geometrisinin gün ışığı performansında yapısal bir parametre olarak kritik öneme sahip olduğunu doğrulamaktadır.

İç mekan tasarımında gün ışığının yönlendirilmesine ilişkin stratejileri yeniden değerlendirme amacıyla, farklı tavan sistemlerinin doğal aydınlatma üzerindeki etkilerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Özellikle eğitim yapıları bağlamında ele alınan araştırma, düz, dairesel ve Di-ARCIeling panelli tavan sistemlerinin gün ışığı dağılımı, yoğunluğu ve homojenliği üzerindeki performans farklılıklarını ortaya koymuştur. Di-ARCIeling sistemi üzerinde ölçeklendirilerek gerçekleştirilen simülasyonlar, tavan geometrisinin gün ışığını iç mekanlara entegre etme ve dağıtmadaki kritik rolünü açıkça ortaya koymaktadır.

Bulgular, düz tavan sistemlerinin, özellikle kuzeye bakan, derin planlı mekanlarda gün ışığı performansını idealize etmede yetersiz olduğunu doğrulamıştır. Bu tür tavanlar ışığı tek yönlü olarak yansıtarak, mekanın büyük bir bölümünde düşük aydınlatma seviyelerine neden olur ve bu da hem görsel konforu hem de enerji verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Öte yandan, tek yönlü dairesel tavan sisteminin simülasyon sonuçları, düz bir tavana kıyasla aydınlatma seviyelerinde önemli bir iyileşme olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni, dairesel yüzeylerin ışığı daha geniş açılardan yansıtıp kırarak gün ışığının mekanın merkezi alanlarına daha etkili bir şekilde ulaşmasını sağlamasıdır. Ancak bu sistem, ışığı tüm mekana eşit olarak dağıtma konusunda sınırlı kapasiteye sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Tez kapsamında oluşturulan araştırma sorularının sonuçları şu şekilde değerlendirilmiştir;

1. Di-ARCIeling tavan sistemi, tek yönlü tavanlara kıyasla bir tasarım stüdyosunun iç mekanına gün ışığı entegrasyonunu ne kadar lux artırır?

Yapılan ölçümler sonucunda, Di-ARCIeling'in özellikle mekan derinliklerinde yer alan ölçüm noktalarında belirgin bir aydınlık düzeyi artışı sağladığını ortaya koymaktadır. Tek yönlü dairesel tavanlarda ışık, çoğunlukla panel eğiminin izin verdiği belirli bir doğrultuda ilerlediğinden, mekanın arka bölgelerinde ışık kaybı meydana gelmektedir. Buna karşın, Di-ARCIeling sisteminin değişen eğim açlarına sahip ardışık yüzeylerden oluşan iki yönlü geometrisi, ışığın farklı doğrultularda kırılmasını ve daha geniş bir alana yayılmasını mümkün kılmıştır. Özellikle yılın ekinoks ve gündönümü tarihlerinde, 09:30–15:30 aralığında yapılan ölçümlerde bu sistemin aydınlık düzeyini anlamlı biçimde artırdığı görülmüştür. Bu artış yalnızca ışığın miktarında değil, mekandaki aydınlık sürekliliğinde de kendini göstermiş; ışığı derinliklere taşıma kapasitesi sayesinde Di-ARCIeling mekanın genel görsel konforunu tek yönlü tavanlara göre belirgin ölçüde yükseltmiştir.

2. Di-ARCIeling tavan sistemi bir tasarım stüdyonun iç mekanında gün ışığının yansıma yönü ve mekansal dağılımı nasıldır?

Di-ARCIeling tasarımının temel etkisi, yalnızca ışığın içeri alınması değil, aynı zamanda yansıtıcı yüzeylerin oluşturduğu çok yönlü kırılma hareketleriyle ışığın mekan içinde dolaşımını artırmasıdır. Yüzey yansıtıcılık değerinin yüksek olması (0.996), panele çarpan ışığın büyük kısmının emilmeden geri yönlendirilmesini sağlamıştır. Bu durum, özellikle pencereden uzak bölümlerde homojenliği artırmış, tek yönlü tavanlarda görülen “ışık yoğunluğu kümelenmesi” problemi belirgin biçimde azalmıştır.

Çalışma aynı zamanda Di-ARCIeling'in, güneş ışığının gün içindeki açısal değişimlerine uyum göstererek sabit bir dağılım düzeni üretebildiğini de ortaya koymaktadır. Öğle saatlerinde yoğunlaşan dik ışınlar panel geometresi sayesinde mekana yumuşak biçimde yayılırken, sabah ve öğleden sonra açılı gelen ışık ışınları tavan yüzeylerince yönlendirilerek mekanın orta ve arka bölgelerinde kayıp yaşamadan dağıtılmıştır. Dolayısıyla Di-ARCIeling sistemi, hem yönlendirici bir

pasif optik eleman gibi davranmış hem de mekansal atmosferin gün boyunca dengeli kalmasına katkıda bulunmuştur.

3. Dairesel tek ve çift yönlü tavan tasarımlarında, bir stüdyonun iç mekanına gün ışığının yönünü nasıl etkiler?

Tek yönlü dairesel tavanlar, yüzey eğimlerinin tek bir yönde ışık akışı oluşturması nedeniyle doğal ışığın mekan derinliklerine sınırlı aktarılmasına neden olmuştur. Bu durum, pencereden uzak bölgelerde ışığın zayıflamasıyla sonuçlanmış; ışığın hareketi daha doğrusal ve tek odaklı kalmıştır. Buna karşılık çift yönlü yüzeylerden oluşan Di-ARCIeling geometrisi, iki eksende kırılma ve yansıma hareketi yaratarak ışığı yalnızca belirli bir doğrultuda değil, geniş bir mekansal yelpazeye yaymıştır.

Simülasyon analizleri, tavan formunun ışığın iç mekana dağılışı biçimini doğrudan etkilediğini açık biçimde ortaya koymuştur. Düz tavanlarda, ışığın pencere açıklığına yakın bölgelerde yoğunlaştığı, mekan derinliklerine doğru ise hızlı biçimde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, mekanın arka kısımlarında görsel konforu azaltmakta ve kullanıcılar açısından aydınlatma dengesizliği yaratmaktadır. Dairesel panelli tavan sistemlerinde, yüzeyin ışığı farklı açılarda yansıtma özelliği sayesinde bu dengesizliği kısmen gidermiş; ışığın daha derin noktalara taşınmasını sağlamıştır. Ancak daha homojen dağılımın Di-ARCIeling panel sisteminde gerçekleştiği görülmüştür. Panellerin optik geçirgenliği ve yüksek yansıtıcılı yüzey yapısı, ışığın yönlendirilmesini optimize etmiş hem doğrudan hem de dolaylı yansımaları dengeleyerek gün boyu kararlı bir aydınlık düzeyi sağlamıştır. Bu sonuçlar, mekansal derinlik boyunca ışığın eşit biçimde dağılmasının yalnızca açıklık oranlarına değil, tavan yüzeyinin biçimsel sürekliliği ve malzeme özelliklerine de bağlı olduğunu göstermektedir.

Tavan geometrisiyle birlikte malzemenin optik özellikleri de aydınlatma performansında belirleyici olmuştur. Elde edilen ölçümler, düz tavanlarda ortalama 220–300 lx olan aydınlık düzeylerinin, dairesel tavan sisteminde 350–420 lx'a, Di-ARCIeling panellerinde ise 480–550 lx'a yükseldiğini ortaya koymuştur. Bu artış yalnızca ışık miktarındaki nicel bir iyileşmeye değil, aynı zamanda görsel konforun niteliksel olarak artmasına da işaret etmektedir. Yüksek yansıtıcılı paneller, ışığın kayıpsız biçimde yeniden yönlendirilmesine olanak tanırken, kamaşma ve kontrast

farklılıklarını da azaltmıştır. Bu bulgular, iç mekanlarda doğal aydınlatma tasarımının yalnızca açıklık boyutlarının hesaplanmasıyla değil, üst yüzey geometrisinin ve malzeme seçiminin birlikte değerlendirilmesiyle bütüncül biçimde ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Araştırmanın bir diğer önemli sonucu, Di-ARCIeling panel sisteminin enerji verimliliği açısından sunduğu avantajlardır. Gün boyunca daha dengeli bir ışık dağılımı sağlanması, yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji tüketiminde yaklaşık %30–35 oranında tasarruf potansiyeli yaratmıştır. Bu durum, doğal ışığın sadece görsel konfor açısından değil, sürdürülebilirlik ve enerji yönetimi açısından da etkin bir tasarım aracı olduğunu göstermektedir. Eğitim yapılarında gün ışığının optimum düzeyde kullanımı, kullanıcı refahı, konsantrasyon süresi ve bilişsel performans üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Dolayısıyla, Di-ARCIeling sistemi, yalnızca ışığın yönlendirilmesine değil, aynı zamanda kullanıcı odaklı ve enerji etkin mekanlar oluşturulmasına da katkı sunmaktadır. Bu bağlamda çalışma, tavan yüzeylerinin pasif aydınlatma elemanları olmaktan çıkarak, ışık kontrolünde aktif rol üstlenen tasarım bileşenleri haline gelebileceğini göstermektedir.

Elde edilen bulgular, iç mekanda gün ışığıyla biçim arasındaki ilişkinin yeniden düşünülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Mevcut yaklaşımlar tavanı çoğunlukla statik, yapısal bir eleman olarak değerlendirirken, bu çalışma tavanın mekan atmosferini belirleyen dinamik bir ışık aracı olduğunu kanıtlamıştır. Di-ARCIeling panel sistemi, biçimsel süreklilik ile optik performansı birleştirerek hem estetik hem işlevsel düzeyde yenilikçi bir çözüm önermektedir. Bu durum, mimari aydınlatma tasarımında form, malzeme ve ışık ilişkisini bütünleştiren yeni bir paradigma önermektedir. Ayrıca çalışma, eğitim mekanları özelinde test edilmiş olsa da elde edilen sonuçlar ofisler, kütüphaneler ve kamusal yapılar gibi farklı işlevlere sahip mekanlarda da uygulanabilir niteliktedir.

TOBB ETÜ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi stüdyosu için özel olarak geliştirilen ve doğal gün ışığının iç mekanlarda bütünleşmesini ve homojen dağılımını artırmayı amaçlayan yenilikçi bir tavan sistemi olan "Di-ARCIeling" önerilmiştir. Sistemin performansı simülasyonlar aracılığıyla değerlendirilmiştir. Temel bulgular, Di-ARCIeling'in mevcut düz ve tek yönlü dairesel tavan sistemlerine kıyasla üstün gün ışığı performansı sunduğunu açıkça göstermektedir.

Dolayısıyla, Mevcut düz tavanlarda, özellikle mekanın en derin kısımlarında ve günün düşük ışık saatlerinde yetersiz aydınlatma seviyeleri sağlayarak önemli sınırlamalar sergilemiştir.

- Tek yönlü dairesel tavan, düz bir tavana kıyasla aydınlatma seviyelerinde genel bir iyileşme sağlamış, ancak ışığı mekana eşit olarak dağıtma yeteneği sınırlı kalmıştır.
- Farklı eğim açılarında konumlandırılmış iki yönlü dairesel yüzeyleri sayesinde Di-ARCIeling sistemi, gün ışığını birden fazla yönde yansıtarak iç mekanda en yüksek ve en tutarlı aydınlatma değerlerini sağlar. Bu, özellikle ışığın sınırlı olduğu sabah, akşam ve kış aylarında görsel konforun sağlanması için kritik bir başarıdır.
- Di-ARCIeling'in ışığı mekanın derinliklerine taşıma ve homojen bir şekilde dağıtma yeteneği, enerji verimliliği ve kullanıcı refahı açısından önemli avantajlar sunar.
- Bu çalışma, mekan tasarımında sürdürülebilir çözümler sunmak için tavanların pasif bir aydınlatma aracı olarak yenilikçi kullanımının potansiyelini vurgulamaktadır.

Bu araştırma, özellikle eğitim binaları gibi uzun vadeli binalarda, iç mekanlarda gün ışığının daha etkili kullanımı için yenilikçi bir iç tasarım çözümü sunarak enerji tasarrufunu ve kullanıcı refahını artırma potansiyelini ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmalar, Di-ARCIeling sisteminin farklı iklim bölgelerindeki performansını, çeşitli pencere oranları ve yönleriyle entegrasyonunu, enerji tüketimi üzerindeki gerçek zamanlı etkilerini ve maliyet-fayda analizlerini içerebilir. Ayrıca, sistemin kullanıcı algısı ve memnuniyeti üzerindeki öznel etkileri, anketler veya gözlemsel çalışmalar yoluyla değerlendirilebilir.

Bununla birlikte, araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Simülasyonlar yalnızca TOBB ETÜ Tasarım Stüdyosu örneği üzerinden, belirli tarih ve saat aralıklarında gerçekleştirilmiştir; farklı iklim koşulları, cephe yönelmeleri ve yıl boyunca değişken ışık yoğunlukları kapsam dışı kalmıştır. Ayrıca, görsel konfor değerlendirmeleri yalnızca sayısal verilere dayandırılmış; kullanıcı deneyimlerine ilişkin nitel veriler elde edilmemiştir. Bu nedenle, ilerleyen araştırmalarda sistemin farklı coğrafi bölgelerde, çeşitli iklim tiplerinde ve değişken

cephe yönlenmeleriyle test edilmesi önerilmektedir. Ek olarak, kullanıcı algısını ölçen anket, gözlem veya sanal gerçeklik tabanlı deneyler aracılığıyla sistemin mekansal atmosfer üzerindeki etkilerinin nitel olarak da incelenmesi, bulguların kapsamını genişletecektir. Böylece, Di-ARCIeling sisteminin performansı yalnızca fiziksel parametrelerle değil, insan merkezli mekan deneyimi bağlamında da faydalı bulunmuştur.

Çok yönlü dairesel panellerin tavan sistemlerinin karşılaştırmalı analizi, biçim ve malzeme seçiminin doğal ışığın yönlendirilmesi, görsel konforun sağlanması ve enerji verimliliğinin artırılması üzerinde belirleyici olduğunu kanıtlamıştır. Di-ARCIeling panel sistemi, doğal ışığın mekansal etkinliğini artırarak kullanıcı konforu, enerji tasarrufu ve estetik bütünlük açısından güçlü bir alternatif sunmaktadır. Dolayısıyla, iç mekanda tavan sistemlerinin yeniden tanımlanmasına yönelik önemli bir adım atmakta; doğal ışığın mekanın biçimsel kimliğiyle bütünleştiği yeni bir aydınlatma anlayışının temelini oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akoğlu, M. (2016). *Işık ve renk kullanımının mekan algılamasındaki önemi üzerine bir araştırma (Antalya-Cumhuriyet)* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Isparta.
- Altan, İ. (1983). *Mimaride ışık-gölge ilişkilerinin psikolojik etkileri üzerine bir araştırma* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Apikoğlu, S. (2014). *Ofislerdeki aydınlatma koşullarının görsel konfor, memnuniyet ve ruh durumu üzerindeki etkileri: TWBA binası örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baker, N., & Steemers, K. (2002). *Daylight design of buildings*. James & James (Science Publishers).
- Bayhan, D. (2018). *Gün ışığı almayan kapalı mekanlarda gün ışığı etkisi yaratan uygulamaların kullanıcı algısına etkisi üzerine bir çalışma* (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara.
- Bayram, İ., Kale, Ö. A., & Baradan, S. (2020). Eğitim binalarının aydınlatma performansı açısından değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 783-798.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/54907/558171>
- Bayram, F. (2009). Işık ve aydınlatma: Işığın televizyon ve sinemada işlevsel kullanımı üzerine bir değerlendirme. *Akademia*, 122–131.
- Beltrán, L. O. (1994). *Daylighting design in schools: An architectural case study of daylighting performance and its effects on the visual environment* (Doktora Tezi). University of Michigan.

Belyakov, V. (2019). *Diffraction Optics of Complex-Structured Periodic Media*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43482-7>

Bilgi, A. (2007). *İnsan-mekan-ışık etkileşimi ve ışığın mekandaki psikolojik etkilerinin değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Brooks, M. (2002, April 16). *California electricity outlook: Commercial building systems*. Sunum, PIER Buildings Program HVAC Diagnostics Meeting, Oakland, CA.

Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C. H., & Zee, P. C. (2014). *Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study*. **Journal of Clinical Sleep Medicine**, 10(6), 603–611.

Canada Green Building Council. (2009). *LEED green building rating system: Reference package for new construction & major renovations: LEED Canada-NC version 1.0*. Green Building Council.

Cekilmez, S. A. (2017). *Aydınlatmada modelleme göstergesinin - gölgenin açıklık koyuluk derecesinin - belirlenmesine yönelik bir yaklaşım* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

De Vecchi, A., Colojanni, S., & Sammataro, S. (2004). Daylight transfer systems: Physiological and energetic advantages. In *Sustainability of the housing projects* (pp. 56–62). Trento: RotoOffset Paganella.

Djalilova, L. (2020). Sürdürülebilir okul tasarımında gün ışığı kullanımına ilişkin yöntemler. *Mimarlık Araştırmaları Dergisi*. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/963869>

Edmonds, I. R., & Greenup, P. J. (2002). Daylighting in the tropics. *Solar Energy*, 73(2), 111–121. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00039-7)

Efe, E. (2007). *Aydınlatmada gölge niteliğinin irdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ekenci. (2009). *Aydınlatma bilgileri*. Ekenci.
http://www.ekenci.com.tr/aydinlatma_bilgileri.htm

Eko Yapı. (2022). İnsan sağlığı, çevre ve ekonomi için: Gün ışığı. *Eko Yapı Dergisi*.
<https://www.ekoyapidergisi.org/insan-sagligi-cevre-ve-ekonomi-icin-gun-isisi>

European Commission. (n.d.). *Circular economy action plan*.
https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

European Greenlight Programme. (n.d.). *European Greenlight Programme*.
<http://www.eu-greenlight.org>

Eraletitepe, İ. (2011). Eğitim yapılarının doğal aydınlatma performansı. *Megaron*, 6(1), 39–51.
https://jag.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON_6_1_39_51.pdf

Erel, B. (2004). *Gün ışığı aydınlatma alanında geliştirilen yeni teknolojiler hakkında bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ertem, F. (2016). *Aydınlanmanın niceliği–niteliği üzerine: Bilişim çağında yeni çalışma mekanları haline gelen kafelerde aydınlatma kalitesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Fakıbbaba Dedeoğlu, E., & Yalçın, M. (2025). A proposal for the improvement of daylight integration and distribution in the educational interior space through a (Pro-Sun) ceiling design with curved surfaces. *Sustainability*, 17(3), 1096.

<https://doi.org/10.3390/su17031096>

Figueiro, M., & Rea, M. (2016). *Office lighting and personal light exposures in two seasons: Impact on sleep and mood*. *Lighting Research & Technology*, 48(3), 352–364.

Garcia Hansen, V., & Edmonds, I. (2007). Natural illumination of deep-plan office buildings: Light pipe strategies. *ISES 2003*, 17(July), 5–18.

Görgülü, S. (2011). *Işık borusuyla aydınlatılan odanın şebeke destekli yapay aydınlatma ile kontrolü ve görüntülenmesi* (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gago, E. J., Muneer, T., Knez, M., & Köster, H. (2015). Natural light controls and guides in buildings: Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1–13.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>

Günaydın, T. (2017). Eğitim yapılarında aydınlatma tasarımı. *Journal of Social*.

Gürsoy, S. (2019). *Gün ışığının etkin kullanımı amacıyla anidolik tavan sistemi tasarımına yönelik bir çalışma* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hannoudi, L., Saleeb, N., & Dafoulas, G. (2024). *The sustainable configuration optimisation of office multi-angled façade systems*. *Energies*, 17, 5295.

Hasol, D. (2010). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü*. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.

Heschong, L., Wright, R. L., & Okura, S. (2002). *Daylighting impacts on retail sales performance*. Journal of the Illuminating Engineering Society, 31(1), 21–25.

Heschong Mahone Group. (1999). *Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance*. California Energy Commission.

Heschong Mahone Group. (2003a). *Daylight and retail sales*. California Energy Commission, Public Interest Energy Research Program.

Heschong Mahone Group. (2003b). *Photocontrol systems: Design guidelines*. Southern California Edison.

IEA. (2010). *Daylight in buildings*. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. http://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_29_PSR.pdf

IEA SHC. (2000). *Daylight in buildings: A source book on daylighting systems and components*. IEA SHC Task 21 - ECBCS Annex 29.

IEA SHC. (2021). *Analysis and evaluation of BSDF characterization of daylighting systems* (Technical Report T61.C.2.2). IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 61 / EBC Annex 77. <https://task61.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task61--Technical-Report-C2.2-Analysis-and-Evaluation-of-BSDF-Characterization.pdf>

Irakoze, A., Lee, J., & Kim, M. (2020). Daylight redirecting systems for efficient daylighting in buildings: A review. *Energies*, 13(21), 5638. <https://doi.org/10.3390/en13215638>

Jadhav, A., Gode, P., Gardi, K., & Bhandari, S. (2016). Photoplumbing (optical fiber lighting). *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 4–8.

Kasap, M. (2016). *Mekansal aydınlatmanın bir çağdaş sanat ürünü olarak ele alınması ve örnekleme* (Yüksek Lisans Tezi). Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kazanasmaz, T. (2009). *Binalarda doğal aydınlatma tasarımı*. Elektrik Mühendisleri Odası Yayını.

Kazanasmaz, T., Fırat, P., & Tosun, M. (2011). Prizmatik ve lazer kesim panellerin doğal aydınlatma performansı açısından değerlendirilmesi. *VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir.

Kloss, S.-H. (2001). *Ein Goniophotometer zur Messung des Lichtstromes und der Lichtstärkeverteilung von hohlen Lichtleitern* (Doktora Tezi). Technische Universität Berlin. https://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/diss/2003/tu-berlin/diss/2001/kloss_sven.pdf

Kontadakakis, A., Tsangrassoulis, A., Doulos, L., & Zerefos, S. (2018). *A review of light shelf designs for daylight environments*. **Sustainability**, **10**(1), 71. <https://doi.org/10.3390/su10010071>

Kutlu, R. (2019). Bir tasarım ögesi olarak günışığı. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication*, *9*(2), 230–243. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/685315>

Lamp83. (2009a). *Aydınlık düzeyleri* [PDF]. Lamp83. http://www.lamp83.com.tr/download/aydinlik_duzeyleri/aydinlik_duzey.pdf

Lamp83. (2009b). *Temel bilgi*. Lamp83. http://www.lamp83.com.tr/pro_temelbilgi.php?m=15

Lee, K., Seo, J., & Choi, H. (2019). Performance evaluation of curved light shelves to improve daylighting and reduce lighting energy consumption. *Energies*, 12(22), 4295.

Lee, J. H., & Kang, J.-S. (2024). Study on lighting energy savings by applying a daylight-concentrating indoor louver system with LED dimming control. *Energies*, 17(14), 3425.

Lingfors, D., & Volotinen, T. (2013). Illumination performance and energy saving of a solar fiber optic lighting system. *Optics Express*, 21(S4), A642.
<https://doi.org/10.1364/OE.21.00A642>

Manav, B. (2005). *Ofislerde aydınlık düzeyi, parlıltı farkı ve renk sıcaklığının görsel konfor koşullarına etkisi: Bir model çalışması* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
<https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/16591>

Manglani, P., McHugh, J., Heschong, L., & Dee, R. (2004). Modular skylight systems: Best practices for designing skylights with suspended ceilings. In *Proceedings of the 2004 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. American Council for an Energy-Efficient Economy.
https://www.aceee.org/files/proceedings/2004/data/papers/SS04_Panel13_Paper18.pdf

Mayhoub, M. S. (2014). Innovative daylighting systems' challenges: A critical study. *Energy and Buildings*, 80, 394–405.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.019>

Mingozzi, A., & Bottiglioni, S. (2001). An innovative system for daylight collecting and transport for long distances and mixing with artificial light coming from hollow light guides. *Proceedings of the 9th LuxEuropa*, 1, 12–21.

National Institute of Standards and Technology. (2024). *Electromagnetic spectrum graphic*. <https://www.nist.gov/image/electromagnetic-spectrum-graphic>

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

Onaygil, S. (t.y.). *Fotometrik büyüklükler ve aralarındaki bağlantılar*.

Öney, B. (2021). Sirkadiyen ritmin sağlıktaki rolü. *Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 45–54. <https://doi.org/10.51536/tusbad.922995>

Opdal, K. (2001). Prismatic hollow light guides for general interior illumination of professional buildings. *Proceedings Lux Europa 2001*, 244–245.

Özgün, Ö. (2007). *Tubular light guidance systems as advanced daylighting strategy* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özkum, E. (2011). *Doğal ve yapay aydınlatmanın insan psikolojisi üzerindeki etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İstanbul.

Öztürk, Ç. (2006). *Gelişmiş doğal aydınlatma sistemleri ve uygulama örnekleri* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. M., & Pedrotti, L. S. (2017). *Introduction to Optics* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108552493>

Pratiwi, S. N., Kridarso, E. R., & Tiriwibowo, D. (2022). *Quality evaluation of natural lighting and visual comfort in the classroom*. In International Webinar on Digital Architecture 2021 (IWEDA 2021). Atlantis Press.

Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 683-697. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5)

Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources. (2024, September 9). *Güneş enerjisi*. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>

Sarıtaş, N. (2008). *Yapılarda gün ışığı denetiminde cam malzeme kullanımının değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Scartezzini, J. L., & Courret, G. (2002). Anidolic daylighting systems. *Solar Energy*, 73(2), 123–135. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00040-3)

Sorooshnia, E., Rahnamayiezekavat, P., Rashidi, M., Sadeghi, M., & Samali, B. (2023). Curve optimization for the anidolic daylight system counterbalancing energy saving, indoor visual and thermal comfort for Sydney dwellings. *Energies*, 16(3), 1090.

Şahin, P. (2006). *Aydınlatma tasarımı ve mağaza kimliğine katkısı* (Sanatta Yeterlilik Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Şahin, T. (2012). *Yapı içi aydınlık düzeyinin yapı biyolojisi açısından irdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şenol, R. (2009). *Güneş kulelerinden elektrik enerjisi üretiminin araştırılması ve optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Sipahi, G. Ş. (2022). *Binalarda gün ışığı ve insan ilişkisinin sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.

Şirel, P. Ş. (2005). *Aydınlatma. Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları* Yayını.

Sirel, Ş. (1997). *Aydınlatma sözlüğü*. YEM Yayınevi.

Sıvacı, F. U. (2017). *Doğal aydınlatma nitelik ve nicelik bağlamında çağdaş işlevli tarihi medrese yapılarında incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Steffy, G. (2002). *Architectural lighting design*. John Wiley & Sons.

Tuncel, A. (2009). *Lokanta, yeme içme ve eğlence mekanlarında aydınlatma tasarımı: Işık ve rengin atmosfer oluşumuna etkisi* (Sanatta Yeterlik Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ünver, R. (1985). *Yapıların içinde ışık-renk ilişkisi* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Yapı Fiziği Bilim Dalı, İstanbul.

Uzun, İ. (2014). *Işığın fotoğraf sanatındaki öneminin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fotoğraf Ana Sanat Dalı, Erzurum.

Van Den Wymelenberg, K., & Inanici, M. (2014). A critical investigation of common lighting design metrics for predicting human visual comfort in offices with daylight. *LEUKOS*, 10(3), 145–164. <https://doi.org/10.1080/15502724.2014.881720>

VS Technology. (t.y.). *Lighting choice* [Web sayfası].

<https://vst.co.jp/en/support/lighting-choice/>

Yenidoğan, C. (2017). Gelişmiş doğal aydınlatma sistemlerinin iç mekanda kullanımı açısından incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Yıldırım, A. (2021). Sürdürülebilirlik yaklaşımlarına göre LEED sertifikasyon sisteminde iç mekan malzeme kullanımı (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı, Ankara.

