

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜN IŞIĞI İLE AYDINLATMA ALANINDA GELİŞTİRİLEN
YENİ TEKNOLOJİLER HAKKINDA BİR ARAŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Burak EREL**

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : Fiziksel Çevre Kontrol

OCAK 2004

**GÜN IŞIĞI İLE AYDINLATMA ALANINDA GELİŞTİRİLEN
YENİ TEKNOLOJİLER HAKKINDA BİR ARASTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Burak EREL
(502001504)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Ocak 2004**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Alpin YENER (İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Dilek ENARUN (İ.T.Ü.)**

OCAK 2004

ÖNSÖZ

İnsanların ilk ışık kaynağı olan güneşi ve gün ışığının tekrar önem kazandığı bu yüzyılda geliştirilen ve geliştirilmeye devam edilen doğal aydınlatma sistemlerinin ülkemizde de önem kazanmasına katkıda bulunmak dileğiyle,

tezimi hazırlamamda, değerli görüşleri ve yapıcı eleştirileri ile bana yol gösteren, tez öğrencisi olmaktan gurur duyduğum hocam Sayın **Prof. Dr. Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU**' ya,

bugünlere gelmemde; değişilmez sevgileri, sabırları, güvenleri ile en büyük payı olan çok sevdiğim **aileme**, vazgeçilmez arkadaşlıkları ile tüm dostlarıma

teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2004

Burak EREL

Mimar

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Hedefi	2
1.2. Araştırmanın Kapsam ve Yöntemi	3
2. GELİŞMİŞ GÜN IŞIĞI AYDINLATMA SİSTEMLERİ	4
2.1. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin Ortaya Çıkma Nedenleri	4
2.2. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin Amaç ve Hedefleri	6
2.3. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin İşlevleri	6
2.4. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin Sınıflandırılması ve Sistem Matrisi	7
3. YAYINIK GÜN IŞIĞINI BİNA İÇERİSİNE ALAN SİSTEMLER	9
3.1. Işık Rafları	9
3.1.1. Pencere İçine Yerleştirilen Işık Rafları	13
3.1.2. Pencere Dışına Yerleştirilen Işık Rafları	22
3.2. Anidolik Sistemler	26
3.2.1. Pencere Üstüne Yerleştirilen Anidolik Sistemler	29
3.2.2. Çatıya Yerleştirilen Anidolik Sistemler	38
3.3. Prizmatik Paneller	45
3.3.1. Pencere Üstüne Yerleştirilen Prizmatik Sistemler	49
3.3.2. Pencere Camının Arasına Yerleştirilen Prizmatik Sistemler	53
3.3.3. Pencere Önüne veya Arkasına Yerleştirilen Prizmatik Sistemler	55
3.3.4. Çatıya Yerleştirilen Prizmatik Sistemler	57
3.4. Holografik Optik Elemanlar	57
3.4.1. Pencere Üstüne Yerleştirilen Holografik Optik Elemanlar	59
3.4.2. Pencere ve Çatıya Yerleştirilen Holografik Optik Elemanlar	63
4. DİREKT GÜNEŞ IŞIĞINI BİNA İÇERİSİNE ALAN SİSTEMLER	70
4.1. Işık Rafları	70
4.1.1. Pencere İçine Yerleştirilen Işık Rafları	70
4.2. Yansıtıcılar: Kanatçıklar ve Güneşlikler	73
4.3. Anidolik Sistemler	92
4.3.1. Pencere Arasına Yerleştirilen Anidolik Sistemler	92
4.4. Prizmatik Paneller	98
4.4.1. Pencere Camlarının Arasına Yerleştirilen Prizmatik Paneller	98

4.4.2. Pencere Camlarının Arasına Yerleştirilen Prizmatik Filmler	102
4.5. Lazer Kesim Panelleri	106
4.6. Işık Yönlendirici Camlar	116
4.7. Işık Taşıyıcı Sistemler	124
4.7.1. Heliostat ve Işık Kılavuz Düzeneği	124
4.7.1.1.Heliostat	124
4.7.1.2.Işık Kılavuzları	127
4.7.2. Güneş Tüpü	131
4.7.3. Işık Kılavuz Tavanları	146
4.7.4. Himewari Sistemi	151
5. DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR	154
5.1. Değerlendirme	154
5.2. Tartışma	154
5.3. Sonuçlar	158
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	162

KISALTMALAR

bk	: Bakınız
BPD	: Birleşik Parabolik Dağıtıcı
BPT	: Birleşik Parabolik Toplayıcı
CIE	: Commission Internationale De L'Eclairage (International Commission On Illumination)
CPC	: Compound Parabolic Concentrator
CPD	: Compound Parabolic Deconcentrator
DAN	: Danimarka
EE	: Elde Edilemedi
Evg	: Küresel Dış Yatay Aydınlık Düzeyi
Evgs	: Küresel Dış Düşey Aydınlık Düzeyi
GF	: Gün Işığı Faktörü
HOE	: Holografik Optik Eleman
IEA	: International Energy Agency
K	: Kuzey
LKP	: Lazer Kesim Panel
örn	: Örnek
ref	: Referans
U	: Isı Geçirgenlik Katsayısı
UK	: United Kingdom ,İngiltere
v.b.	: Ve Benzeri
yy	: Yüzyıl

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 : Sandvika, Norveç'te 59° kuzey enleminde bulunan ofis odasında, mevsimlere göre odanın üç ayrı bölümünde ölçülen gün ışığı faktörü değerleri	18
Tablo 3.2 : Norveç'te 59° kuzey enleminde bulunan ofis odasında, mevsimlere göre odanın, yarı saydam yüzeye sahip ışık rafı ile, üç ayrı bölümünde ölçülen gün ışığı faktörü değerleri	20
Tablo 3.3 : Danimarka'da 56° kuzey enleminde bulunan ofis odasında, mevsimlere göre odanın, dış ışık rafı ile, üç ayrı bölümünde ölçülen gün ışığı faktörü değerleri	24
Tablo 3.4 : Şubat haziran ayları arasında, test ve referans odalarında gözlenen aydınlatma enerjisi tüketimini gösteren grafik	33
Tablo 3.5 : Anidolik tavan yerleştirilen test odasındaki elektrik aydınlatmasının kontrolün değişik tiplerinin toplam kullanımdaki oranlarını gösteren tablo	36
Tablo 3.6 : Anidolik Zenital Açıklık Sistemi'nin Gün ışığı özerkliğini gösteren tablo	43
Tablo 3.7 : Prizmatik panelin dört mevsimde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen aydınlık düzeyleri ve gün ışığı faktörleri	53
Tablo 3.8 : Prizmatik panel ve birlikte kullanıldığı güneşliğin Berlin'de yapılan, dört mevsim için açık ve kapalı gök koşulları altında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen aydınlık düzeyleri ve gün ışığı faktörleri	57
Tablo 3.9 : Holografik optik elemanın yerleştirildiği ofis odası içinde olduğu ve olmadığı zaman ölçülen gün ışığı faktörleri	63
Tablo 4.1 : İngiltere'de 52°Kuzey enleminde, açık renkteki geleneksel güneşliklerle yapılan gün ışığı ölçümleri sonuçları	78
Tablo 4.2 : Sabit ve Otomatik olarak kontrol edilen güneşliklerin, İngiltere'de 37° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri	81
Tablo 4.3 : Yarı saydam güneşliklerin, İngiltere'de 52° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri	83
Tablo 4.4 : Sabit kanatçıkların, Avusturya'da 47° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri	86
Tablo 4.5 : Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, İngiltere'de 52° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri ve gün ışığı faktörü değerleri	89
Tablo 4.6 : Ters çevrilmiş yarısı gümüşle kaplı yarı saydam güneşliklerin, Danimarka'da, 56° kuzey enleminde sağladığı aydınlık düzeyi ve gün ışığı faktörü değerleri	91
Tablo 4.7 : Lazer kesim panellerinin, test odasının üç bölgesinde yıl içinde sağladığı gün ışığı faktörlerinin yer aldığı tablo	113
Tablo 4.8 : Lazer kesim panellerin yıl içinde test odasında sağladığı gün ışığı faktörleri	116
Tablo 4.9 : Işık yönlendiricim camların, Almanya'da, 51° kuzey enleminde sağladığı aydınlık düzeyi ve gün ışığı değerleri	122

Tablo 4.10 : Heliostat düzeneğinin bileşenlerinin, ışıksal yansıtma, geçirme çarpanları ve kirlilik faktörü değerleri	132
Tablo 4.11 : Çeşitli çaplardaki güneş tüplerinin sağladığı ışık aksı ve karşılık geldiği güç miktarı	140

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1	: Geleneksel ışık rafının yaz ve kış aylarındaki davranışı	12
Şekil 3.2	: Kaliforniya'daki SMUD genel merkezinde iç/dış ışık rafının görünüşü	13
Şekil 3.3	: İç ışık rafı	14
Şekil 3.4	: İç ışık rafının kapalı gök koşullarında sağladığı aydınlık düzeyindeki değişimler	15
Şekil 3.5	: Yaz aylarında, açık gök koşulları altında ışığı dağıtıcı yüzeye sahip bir ışık rafının kullanımı sonucunda aydınlık düzeylerinde meydana gelen değişim	15
Şekil 3.6	: Bahar aylarında, yarı aynasal bir ışık rafı kullanıldığında aydınlık düzeylerinde meydana gelen değişim	16
Şekil 3.7	: Kışın açık gök yüzü altında, aynasal ışık rafı kullanıldığında, aydınlık düzeylerindeki değişim	16
Şekil 3.8	: Yarı yansıtıcı ışık rafının oda içinde oluşturduğu gün ışığı faktörleri	17
Şekil 3.9	: Yarı yansıtıcı ışık rafının yazın saat:12.00'da oda içinde oluşturduğu aydınlık düzeyleri	18
Şekil 3.10	: 1.0 m uzunluğundaki yarı yansıtıcı ışık rafının sonbahar (solda) ve kış (sağda) aylarında saat 12:00'da içeride oluşturduğu aydınlık düzeyleri	19
Şekil 3.11	: Yansıtıcı camdan yapılmış iki kademeli yarı saydam yüzeye sahip iç	20
Şekil 3.12	: Yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafının pencereden uzaklığa göre gün ışığı faktörü değişimi	21
Şekil 3.13	: Yarı saydam iç ışık rafının sonbahar (solda) ve kış (sağda) aylarında oda içinde sağladığı aydınlık düzeyleri	21
Şekil 3.14	: Yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafı yerleştirilmiş test odasının içeriden görünüşü	22
Şekil 3.15	: Dış ışık rafının dışarıdan görünüşü	23
Şekil 3.16	: Dış ışık rafının (0.8 m) kapalı gök koşullarında sağladığı gün ışığı faktörü değerleri	25
Şekil 3.17	: Dış ışık (0.8) rafının yaz (sol) ve kış (sağ) aylarında gösterdiği performans	26
Şekil 3.18	: Anidolik bir sistemin şematik gösterimi	27
Şekil 3.19	: Pencereden görülen, göğün üst kısmından gelen, yayınık gök ışınlarını toplayan anidolik bir sistemin şematik bir kesiti	28
Şekil 3.20	: İki boyutlu simetrik olmayan anidolik sistemin (birleşik parabolik yansıtıcı) çalışma ilkesi	28
Şekil 3.21	: Anidolik tavan sisteminin, dışarıda yer alan toplayıcı ünitesi ve güneşliğini, tavandaki aynasal tüpünü ve içerideki ışık yayıcı ünitesini gösteren şematik kesit	30
Şekil 3.22	: İki gün ışığı aydınlatma modülünün ön görünüşü	34
Şekil 3.23	: İsviçre'deki DEMONA test odasına yerleştirilen anidolik tavanın odada sağladığı gün ışığı faktörü değerleri	35
Şekil 3.24	: LESO deneysel amaçlı binasının yenilenmiş cephesinden bir görünüş	38
Şekil 3.25	: 47° kuzey enlemi için tasarlanan Anidolik Zenital Toplayıcının kabul sektörünü gösteren şema	39
Şekil 3.26	: Birleşik parabolik toplayıcının (solda) ve anidolik zenital açıklığın (sağda) kesitleri	41
Şekil 3.27	: Aradaki bağlayıcı elemanın uç noktalarından geçen ışınlar	42
Şekil 3.28	: Tessin Arşivleri binasının anidolik zenital açıklık bulunan atriumu	44

Şekil 3.29	: Alternatif üç çatı ışıklığı tasarımı için, görsel konfor olasılıklarının gösterildiği şematik kesitler	44
Şekil 3.30	: Dört farklı kırılma açısına göre üretilen dört farklı prizmatik panel	45
Şekil 3.31	: Düşey yerleştirilen prizmatik bir panelden süzülen ışık tavana doğru yönlendirilmektedir	46
Şekil 3.32	: Gün ışığının yaygın ve direkt bileşenlerinin; (solda) sabit bir prizmatik gölgeleme elemanındaki ve (sağda) hareketli bir prizmatik gölgeleme elemanındaki davranışının görüldüğü şematik çizim	47
Şekil 3.33	: Prizmatik bir elemanın doğrultusal geçirgenlik eğrisi	48
Şekil 3.34	: İsviçre'nin Basel şehrindeki CNA-SUVA ofis binasında, çift kademeli giydirme cephenin üst kısmına yerleştirilmiş bir prizmatik sistemin içten görünüşü	48
Şekil 3.35	: CNA-SUVA binasının giydirme cephesinin dışarıdan görünüşü	49
Şekil 3.36	: Üçgen prizmatik ışık rafına gelen ışığın davranışını şematik olarak gösteren kesit	50
Şekil 3.37	: Üçgen prizmatik ışık rafı sisteminin bilgisayar simülasyonu ile çizilmiş ışık ışınları	51
Şekil 3.38	: Prizmatik ışık rafının üzerine doğru gelen gün ışığının yükseliş açısına bağlı olarak geçirgenlik çarpanının gösterildiği grafik	51
Şekil 3.39	: Prizmatik ışık rafının ışık yeğirlik eğrisi	52
Şekil 3.40	: Prizmatik ışık rafına gelen ışınların izledikleri yolu gösteren şematik çizim	53
Şekil 3.41	: Düşey prizmatik panelin Norveç'te 59° kuzey enleminde, kapalı gök koşullarında test odasında sağladığı gün ışığı faktörlerinin odanın derinliklerine dağılımını gösteren grafik	54
Şekil 3.42	: Düşey prizmatik panelin Norveç'te 59° kuzey enleminde, açık gök koşullarında, yaz (sağda) ve kış (solda) aylarında, test odasında sağladığı aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine dağılımını gösteren grafikler	55
Şekil 3.43	: Prizmatik Paneller ile Birlikte Kullanılan Boşluklu Güneşlik Sistemi	56
Şekil 3.44	: Prizmatik Paneller ile Birlikte Kullanılan Boşluklu Güneşlik Sistemi (HÜPPE Sistemi)'nin bahar ve yaz aylarında test odası içinde sağladığı aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine dağılımını gösteren grafikler	57
Şekil 3.45	: Holografik görüntü oluşturma işlemi	58
Şekil 3.46	: Zenital Işık Kılavuz Sistemleri	60
Şekil 3.47	: Yayınık gök ışığını holografik elemanın üzerinde yer alan ızgara sisteminde kırarak tavana ve odanın derinliklerine doğru yansıtıldığını gösteren şematik kesit	61
Şekil 3.48	: Zenital ışık kılavuz camlarının içten görünüşü	62
Şekil 3.49	: Pencere ve Çatıya Yerleştirilebilen Holografik Optik Elemanlar – Doğrultuya Bağlı Seçicilik Özelliği Olan Holografik Optik Sistemlerin çalışmasını gösteren şematik çizim	63
Şekil 3.50	: Rewe Merkezi'nin çatısındaki saydam gölgeleme sisteminin uygulaması	64
Şekil 3.51	: Fotovoltaik güneş ışığı toplayıcı sistemlerinin teknik çizimleri	64
Şekil 3.52	: Saydam gölgeleme sisteminin çatı uygulamasının çalışma ilkesi	66
Şekil 3.53	: Fotovoltaik güneş ışığı toplayıcı sistemlerin bilgisayar simülasyonu ile hazırlanmış bir resmi	66
Şekil 3.54	: Rewe Merkezi'ndeki holografik saydam gölgeleme sisteminin yer aldığı çatı ışıklılığındaki hareketli elemanlarının içeriden görünüşü	67
Şekil 3.55	: Rewe Merkezi'ndeki holografik saydam gölgeleme sisteminin hareketli elemanlarının dışarıdan görünüşü	67

Şekil 3.56	: Rewe Merkezi'nin atriumunun üzerine yerleştirilen gölgeleme sisteminin içeriden görünüşü	68
Şekil 3.57	: Güneş ışığı toplayıcı sistemler; IGA Sıra Evleri, Stuttgart, Almanya	68
Şekil 4.1	: Optik olarak iyileştirilmiş dört değişik ışık rafı sistemi	71
Şekil 4.2	: Çift camlı bir pencerenin ışık yeğirlik eğrisi	76
Şekil 4.3	: Dış yansıtıcı yerleştirilmiş bir ışık yeğirlik eğrisi	76
Şekil 4.4	: Geleneksel açık gri güneşliklerin yazın saat 12:00'de sağladığı aydınlık düzeyi değerleri	78
Şekil 4.5	: Açık gri güneşliklerle ilk baharda (solda)ve kışın (sağda) elde edilen aydınlık	79
Şekil 4.6	: Otomatik kontrol edilen güneşliklerin yaz aylarında saat 9:00'da test odası içinde meydana getirdiği aydınlık düzeyleri	79
Şekil 4.7	: Otomatik olarak kontrol edilen güneşliklerin bahar aylarında saat 15:00'da test odası içinde meydana getirdiği aydınlık düzeyleri	81
Şekil 4.8	: Yarı saydam güneşliklerin farklı konumlarda (yatay, 45° ve kapalı) iken test odasında meydana getirdiği gün ışığı faktörleri	81
Şekil 4.9	: Yarı saydam güneşliklerin bahar aylarında saat 12:00'de test odasında meydana getirdiği aydınlık düzeyleri	83
Şekil 4.10	: Sabit kanatçıklar-"Fish sisteminin şematik çizimleri	83
Şekil 4.11	: Test (sağda) ve referans odalarının (solda) içeriden görünüşleri	84
Şekil 4.12	: Sabit kanatçık sisteminin Avusturya'da 47° kuzeyde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen gün ışığı faktörleri değerleri	85
Şekil 4.13	: Sabit kanatçık sisteminin yazın saat 12:00'de test odasında meydana getirdiği aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine göre dağılımı	86
Şekil 4.14	: Sabit kanatçık sisteminin bahar aylarında saat 9:00 (solda) ve saat 12:00'de (sağda) test odasında meydana getirdiği aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine göre dağılımı	86
Şekil 4.15	: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, İngiltere'de 52° kuzey enleminde, sağladığı gün ışığı faktörü değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı	87
Şekil 4.16	: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, İngiltere'de 52° kuzey enleminde, yazın, saat 15:00'te, sağladığı aydınlık düzeyi değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı	89
Şekil 4.17	: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, Danimarka'da 56° kuzey enleminde, kapalı gök koşullarında, sağladığı gün ışığı faktörü değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı	89
Şekil 4.18	: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, Danimarka'da 56° kuzey enleminde, açık gök koşullarında, yaz ve bahar aylarında sağladığı aydınlık düzeyi değerlerinin odadaki dağılımı	91
Şekil 4.19	: Solda, gerekli olan ve hesaplanan geri yansıtılan ışınların oranı karşılaştırılmaktadır. Sağda, Anidolik Güneşliklerin üç boyutlu bilgisayar modelinin kesiti görülmektedir	91
Şekil 4.20	: Anidolik güneşlik sisteminin çıkış tarafından çekilmiş bir fotoğraf	93
Şekil 4.21	: Üç boyutlu anidolik pencere sisteminin ölçülmüş ve teorik açısal seçiciliğini gösteren grafik	93
Şekil 4.22	: 29° ve 65° güneş yükseliş açıları için (genişlik açısı = 0°, açık gök koşulları altında ölçülen iç aydınlık düzeyleri gösterilmektedir	95
Şekil 4.23	: Test odasının cephesinin görünümü ve odanın arka kısmındaki bir balık gözü kameradan çekilmiş bir fotoğraf	97
Şekil 4.24	: Prizmatik bir panelin direkt güneş ışınlarını yönlendirmesi	97
Şekil 4.25	: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, kapalı gök koşullarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik	98

Şekil 4.26	: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, kapalı gök koşullarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik	99
Şekil 4.27	: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, yaz aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	100
Şekil 4.28	: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, sonbahar aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	101
Şekil 4.29	: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, kış aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	102
Şekil 4.30	: Prizmatik film sisteminin şematik çizimi.	102
Şekil 4.31	: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, kapalı gök koşullarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	103
Şekil 4.32	: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, yaz aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	104
Şekil 4.33	: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, sonbahar aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	105
Şekil 4.34	: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, kış aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik.	105
Şekil 4.35	: Bir lazer kesim panelin lazer kesiklerine gelen ışınların davranışını gösteren şematik çizim.	106
Şekil 4.36	: Bir lazer kesim panelinin fotoğrafı.	107
Şekil 4.37	: Lazer kesim panellerden oluşan kanatçık sistemi.	108
Şekil 4.38	: LKP'den yönlendirilen ışığın gelen ışığa olan oranının üç farklı D/W (kesik aralığı/ kesik derinliği) için oda derinliğine göre çizildiği grafik.	109
Şekil 4.39	: Pencereelerde ışık yönlendirici sistemin üzerine düşen ışınların davranışı.	109
Şekil 4.40	: Paris 48.8° kuzey enleminde doğuya bakan açısız seçici bir pencereye güneş ışınımı.	110
Şekil 4.41	: Pencerenin üst kısmına yerleştirilen ir LKP'nin içeriden görünüşü.	111
Şekil 4.42	: Lazer kesim panellerinin kapalı gök koşullarında sağladığı gün ışığı faktörleri.	111
Şekil 4.43	: Lazer kesim panellerinin yaz (solda) ve kış (sağda) aylarında meydana getirdiği aydınlık düzeyleri.	112
Şekil 4.44	: Solda önünde 20° açıyla yerleştirilmiş lazer kesim paneli bulunan test odası, sağda normal çift camlı penceresi olan referans odası çizimi.	113
Şekil 4.45	: Berlin'deki test odasının içeriden ve dışarıdan görünüşü.	113
Şekil 4.46	: Test odasının penceresinin alttaki üçte ikilik bölümünün dış güneşlikle kapatıldığı zamanki içten görünüşü.	114
Şekil 4.47	: Berlin, 52° kuzey enleminde yerleştirilen bir LKP'ni, kapalı gök koşulları altında sağladığı gün ışığı faktörleri.	114
Şekil 4.48	: Yaz aylarında saat 12:00 (solda) ve 15:00'da (sağda) lazer kesim panellerinin sağladığı ortalama aydınlık düzeyleri.	115
Şekil 4.49	: Pencerenin üstüne yerleştirilen ışık yönlendiriciyi gösteren şematik kesit.	116
Şekil 4.50	: Bir binanın atriumuna yerleştirildiğinde, ışık yönlendirici camın davranışını gösteren kesit.	117

Şekil 4.51	: Işık yönlendirici camların içinde bulunan akrilik profillerin detayı.	118
Şekil 4.52	: Işık yönlendirici camın holografik optik eleman (solda) ve pürüzlü cam yüzeyi ile birlikte kullanımı.	120
Şekil 4.53	: 9 Aralık 1994'te (kapalı gök koşullarında ve 3 Mayıs 1995'te öğlen saatlerinde ölçülen iç aydınlık düzeyleri görülmektedir.	121
Şekil 4.54	: Cologne'deki Geyssel Ofis Binası'nda bulunan, üst kısmında ışık yönlendirici cam uygulanan pencereleri olan ofisin içeriden görünüşü.	122
Şekil 4.55	: Cologne'deki Geyssel Ofis Binası'nda bulunan, üst kısmında ışık yönlendirici cam uygulanan pencerelerin 28 Ocak 1999'da kapalı gök koşullarında yapılan gün ışığı faktörü ölçümleri.	123
Şekil 4.56	: Cologne'deki Geyssel Ofis Binası'nda bulunan, üst kısmında ışık yönlendirici cam uygulanan pencerelerin, 17 Mayıs 1999'da açık gök koşulları altında yapılan aydınlık düzeyi ölçümleri.	123
Şekil 4.57	: Cologne'deki Geyssel Ofis Binası'nda bulunan, üst kısmında ışık yönlendirici cam uygulanan pencereleri, 4 Nisan 1999'da elde edilen aydınlık düzeyleri.	124
Şekil 4.58	: Cologne'deki Geyssel Ofis Binası'nda bulunan, üst kısmında ışık yönlendirici cam uygulanan pencereleri, 29 Aralık 1999'da elde edilen aydınlık düzeyleri.	124
Şekil 4.59	: Berlin Teknik Üniversitesi'nde kurulan heliostat düzeneği.	127
Şekil 4.60	: Gün ve yapay ışığın taşındığı ışık kılavuz tüpleri ve kükürtlü lambanın sisteme dahil olduğu düğüm noktası.	127
Şekil 4.61	: Kükürtlü lambanın devreye girmesini ve iki ışık kaynağının birbirine birleşmesini gösteren şematik çizim.	128
Şekil 4.62	: Dört değişik ışık kılavuz sistemi. Aynalı 'dar açıklıklı' ışık kılavuzları; prizmatik ışık kılavuzları; dikdörtgen kesitli ışık kılavuzları; dairesel ve silindirik şekle sahip ışık kılavuzları.	129
Şekil 4.63	: Işık kılavuz tüpü.	131
Şekil 4.64	: Çatıya yerleştirilen güneş tüpü.	135
Şekil 4.65	: Güneş tüpünün içine giren ışınların tüpün içine yansıtılması.	136
Şekil 4.66	: Güneş tüpünün çatı bileşenleri.	136
Şekil 4.67	: İki dirsekle kırılan ve içine giren ışığı bir çok yansıma ile dağıtıcıya ulaştıran güneş tüpü uygulaması.	137
Şekil 4.68	: Büyük çaplı özel üretim güneş tüpü.	138
Şekil 4.69	: Özel üretim güneş tüpünün binaya yerleştirilmesi.	138
Şekil 4.70	: Güneş tüpünün uzunluğu arttıkça veriminin düştüğünü gösteren şekil.	140
Şekil 4.71	: Prizmatik dairesel bir dağıtıcının açık gök koşullarında sağladığı aydınlık düzeyleri.	141
Şekil 4.72	: İtalya'da bir binaya yerleştirilen güneş tüpü uygulaması.	142
Şekil 4.73	: Işık toplayıcı başlık ünitesi.	142
Şekil 4.74	: Işık toplayıcı başlığın kullandığı Fresnel merceği sayesinde güneşin değişik konumları için güneş ışığını toplama özelliğini gösteren çizim.	144
Şekil 4.75	: İtalya'daki binada kullanılan güneş tüpü sisteminin tüp ünitesinin görünümü.	145
Şekil 4.76	: Değişik dalga boylarına göre tüpün üzerindeki film tabakasının yansıtıcı çarpanı grafiği.	145
Şekil 4.77	: a) Dağıtıcı ünite (sol); b) dağıtıcı üniteyle birleştirilmiş ışık kılavuz tüpleri.	146
Şekil 4.78	: Dağıtıcı başlık.	146
Şekil 4.79	: Dağıtıcı başlığın gündüz ve gece, kükürtlü lambaya bağlı ışık kılavuz sistemine bağlanması.	147
Şekil 4.80	: Dışarıda yer alan ışık alıcısı.	148
Şekil 4.81	: Sistemin 8.00 (solda) ve 12.00 (sağda) saatlerindeki çalışma şemaları	149

Şekil 4.82	: Sistemin içerdeki ışık iletim ve aynı zamanda ışık dağıtım parçası.	149
Şekil 4.83	: İki farklı eğim açısı için simülasyon programıyla çizilen yansımış ışınlar.	149
Şekil 4.84	: Üstte; açık ve kısmen kapalı hava koşullarında 15 alıcı tarafından elde edilen verilerin karşılaştırılması gösterilmektedir.	150
Şekil 4.85	: Üstte; açık ve kısmen kapalı hava koşullarında 5 alıcı tarafından elde edilen verilerin karşılaştırılması gösterilmektedir.	150
Şekil 4.86	: Ark Mori binası	152
Şekil 4.87	: Fiber optik kablo ile aydınlatılan bir oda.	153

ÖZET

GÜN IŞIĞI İLE AYDINLATMA ALANINDA GELİŞTİRİLEN YENİ TEKNOLOJİLER HAKKINDA BİR ARAŞTIRMA

Bu çalışmada, gün ışığı ile binaların aydınlatılması ihtiyacına cevap verebilecek olan sistemler ve bu sistemlerle ilgili geliştirilen yeni teknolojiler ve malzemeler hakkında toplanılan bilgiler sunulmaktadır. Sürdürülebilir mimari ve enerji tasarrufu konularında ümit verici ufuklar açan bu sistemleri kullanıcılara, tasarımcılara ve üreticilere tanıtmayı amaçlayan bu çalışmada; gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin teknik özellikleri, tasarım hedefleri, bazı sistemlerle ilgili uygulanmış örnekler ve maliyet ve enerji tasarrufları hakkında bilgi verilmektedir.

Yukarıda belirlenen amaca yönelik olarak çalışma beş bölümden oluşmaktadır:

Giriş bölümünde, çalışmanın amaçları, içeriği, yöntemi ve kapsamı belirlenmektedir.

İkinci bölümde; gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin, ne olduğu, ortaya çıkma nedenleri ve bu nedenlere giden süreç kısa bir şekilde anlatılmıştır. Bu sistemlerin tasarım amaçları ve uygulama hedefleri ortaya koyulduktan sonra, buna bağlı olarak; gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin yerine getirdikleri işlevler hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Son olarak bu sistemlerin sınıflandırılmasında izlenen yöntem ve sistem matrisi ortaya konmuştur. Bu matriste; gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri iki ana gruba ayrılmıştır: yayınlık gök ışığını bina içerisine alan sistemler ve direkt güneş ışığını bina içerisine alan sistemler.

Üçüncü bölümde; yayınlık gün ışığını ana ışık kaynağı olarak kullanan ve buradan gelen ışığı bina içerisine çeşitli yöntemlerle alan sistemler anlatılmıştır. Bu bölümde yer alan sistemler, kendi içlerinde de bina içindeki konumlarına (pencere bölgesi veya çatıda) göre ayrılmaktadır. Ayrıca sistemlerin teknik tanımları, fiziksel özellikleri ve çalışma ilkeleri, amaçları, işlevleri, maliyet ve enerji tasarrufları ve uygulanmış örnekleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde; direkt güneş ışığını birincil öncelikli olarak bina içerisine almayı hedefleyen sistemler anlatılmıştır. Bu sistemlerin bazılarının başlıkları veya benzerleri 3. bölümde de yer almakta olduğundan bunların özellikleri üzerinde fazla durulmamış bazılarında direkt uygulanmış örnekler sistem grubunu oluşturmuştur. Dolayısıyla bu sistemlerin bina içindeki konumlarına göre değil uygulamalarına göre sıralanmıştır. En son teknoloji ürünü olan ışık taşıyıcı sistemlere de bu bölümün sonunda yer verilmiştir. 3. bölümde olduğu gibi bu bölümde de, sistemlerin teknik tanımları, fiziksel özellikleri ve çalışma ilkeleri, amaçları, işlevleri, maliyet ve enerji tasarrufları ve uygulanmış örnekleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, genel bir değerlendirmeden sonra, tartışma bölümünde sistemler özetlenmiş ve sonuçlar kısmında da elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

A RESEARCH ON NEW TECHNOLOGIES DEVELOPED IN DAYLIGHTING

In this study,an information about new technologies and materials which are developed for daylighting buildings are presented. This study's aim is to present innovative daylighting systems to users, desiners and manufacturers. Innovative daylighting systems offer new aspects for daylighting. These systems' technical description, purpose, functions, physical characteristics and principles, cost and energy savings and examples are described.

The thesis is comprises five chapters;

In the first chapter, the aim, concept and methods of the work are defined.

In the second chapter, definition of innovative daylighting systems and reasons that cause these systems to be developed. Moreover, systems design goals and aim to be developed, their functions are generally explained. Lastly, systems are divided in two main groups: Systems admit uniform sky light in building interiors and systems admit direct sun light in building interiors.

The third chapter, systems admit uniform sky light in building interiors are; light shelves, anidolic systems, prismatic systems and holografik optical elements. These sytems are divided subgroups acording to their position in building.

The fourth chapter, Systems admit direct sun light in building interiors are; light shelves, anidolic sysytems, prismatic systems, laser cut panel, light directing glass and under headline light conveying systems, heliostats, solotube, hollow light guides and light guiding ceilings. Systems' technical description, their purpose, functions, physical characteristics and principles, cost and energy savings and builded examples are described under these systems.

The fifth chapter, conclusion, an evaluation about performance of these systems an abstract of these systems were presented.

1. GİRİŞ

Bu bölümde çalışmanın amaçları, kapsamı, yöntemi ve sınırları tartışılacaktır.

“Gün ışığı doğanın bir armağanıdır. Modern insan kendini doğal ışığa bağımlılıktan kurtaran yapay ışığı kullanmayı öğrenince gün ışığını takdir etmeyi de öğrenir ve onun avantajlarının farkına varmaya başlar.” [1]

Artan küresel ısınma, ozon tabakasının bozulması, fosil yakıtlarının azalması, enerji dar boğazına girilmesi gibi ekolojik ve ekonomik sorunlar ve bu sorunlar altında ezilen insanlar için, psikolojik olarak daha sağlıklı çevre yaratma gereksinimleri yenilenebilir enerji kaynaklarına ve dolayısıyla bu kaynakları kullanan sistemlere olan ilgiyi arttırmıştır.

“Yenilenebilir enerji kaynakları” ile, fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında tükenmesi söz konusu olmayan enerji kaynakları kastedilmekte ve bunların başında da güneş gelmektedir. Yüzyıllardır birincil enerji kaynağı olarak insanoğlunun hizmetinde olan bu sonsuz enerji kaynağı, 20yy’da fosil yakıtlarının ve elektrik enerjisinin kullanım alanlarının artması ve teknolojik gelişmeler sonucunda bir kenara itilmiştir.

1973 yılında ortaya çıkan ve özellikle 21.yy’a girdiğimiz son dönemde artan enerji krizi, devletleri enerji politikalarını yavaş yavaş değiştirmeye zorlamıştır. Özellikle kalkınmış olan ülkelerde bu daha çok ön plandadır. Devlet politikalarının yanında üniversitelerde ve özel sektörde de enerji tüketimini azaltmaya ve yeni kaynak aramaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Fazla tüketimi olan enerji türlerinde tasarrufu sağlayacak yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sistemler geliştirmektedirler.

Elektrik enerjisi, tüm enerji türleri içinde tüketimi en fazla olanıdır. Bu tüketim içinde aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinin ise oranı yıldan yıla kademeli olarak yükselmektedir. Aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinde tasarrufu sağlamak için iki yol izlenmektedir. Birincisi yapay aydınlatma sisteminde kullanılan elektrik enerjisinin miktarının azaltılması, ikincisi ise yapay aydınlatma sisteminin kullanım süresinin azaltılmasıdır. Birinci yöntemde sistemlerin kullandıkları elektrik

enerjisinin miktarını azaltmak için sistem elemanlarının etkinliği arttırılmakta, kontrol sistemleri geliştirilmektedir. İkinci yöntemde ise; gün ışığının yeterli olduğu zamanlarda yapay aydınlatma devreden çıkarılıp binalar doğal ışıkla aydınlatılmaktadır.

Gündüz saatlerinde; özellikle okul, hastane, ofis, müze, sanayi yapıları ve benzeri yapılarda aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi, toplam elektrik tüketimi içinde büyük bir yüzdeye sahiptir. Güneş ışığı ve onun atmosferdeki dağılımından oluşan gök ışığının bileşkesi olan gün ışığından yararlanarak gündüzleri aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi azaltılabileceği ve hatta sıfıra indirilebileceği yapılan araştırmalar ve hesaplamalar sonucunda ortaya konmuştur. Yapılan bu araştırmaların ışığında gün ışığını verimli şekilde kullanan ve yaşama mekanlarını kullanıcılar için görsel konfor koşulları açısından daha nitelikli hale getirecek teknikler ve sistemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu tekniklere ya da sistemlere çağdaş ya da yeni gün ışığı aydınlatma sistemleri denilmektedir.

Bu sistemler ağırlıklı olarak, özellikle; İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Avustralya ve Japonya gibi kalkınmış olan ülkelerde geliştirilmektedir. Geliştirilme süreçleri 30 yıllık bir döneme dayanan ve yavaş yavaş yaygınlaşmakta olan bu sistemlere Türkiye’de olan ihtiyaç bu ülkelerden daha az değildir. Bununla birlikte bu sistemler bir yana, bu sistemlerde kullanılan gün ışığı ile aydınlatma mantığı ve enerji tasarrufu anlayışı ne yazık ki ülkemizde mevcut değildir. Gün ışığı ile aydınlatma anlamında geleneksel pencereler, çatı ışıklıkları veya giydirme cephelerden başka bir sistem kullanılmayan, enerjinin bilinçsiz bir şekilde kullanıldığı ülkemizde bu tip sistemlerin ve tekniklerin arayışı içinde olan tasarımcılara, bilinçli tüketici ve üreticilere kaynak ve rehber olabileceği düşüncesiyle bu çalışmanın fikir alt yapısı oluşturulmuştur.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Hedefi:

Araştırmanın hedefi; enerji etkin bina tasarımı ile ilgilenen tasarımcılara, mimarlara ve mühendislere tüm dünyada geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan çağdaş gün ışığı aydınlatma teknikleri ve sistemleri hakkında yararlı olabilecek bir kaynak oluşturabilmektir. Türkiye’de bu sistemlerin ve tekniklerin olmaması yanında, bunlarla ilgili detaylı bilgi veren bir kaynak da mevcut değildir. Bu eksikliği gidermesi düşünülen bu çalışmanın, sadece tasarımcılara değil aynı zamanda

kullanıcılara ve üreticilere de rehberlik etmesi için sistemlerin teknik açıklamaları ve işleyiş mekanizmalarının anlatıldığı bölümler hariç sade bir dille hazırlanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amaçlarını sıralayacak olursak:

- Gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin tasarım, araştırma ve deneme aşamasında olan veya uygulanmış örnekleri hakkında detaylı bilgi vermek
- Gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri arasında karşılaştırma yapabilmeyi sağlamak
- Değişik iklim, coğrafi konum, bina tipolojisi, eylem tipi için bu sistemlerden hangilerinin uygun olduğunu belirlemek
- Değişen gök koşullarına göre hangi sistemin uygun olduğunu ortaya koymak.

1.2. Araştırmanın Kapsam ve Yöntemi:

Çalışmada önce genel bilgi olarak gün ışığının mimarlıktaki yeri ve önemine, bina tasarımında gün ışığının kullanımından ve performans kriterlerinden bahsedilmiştir.

Çalışmanın konusu olan gelişmiş gün ışığı ile aydınlatma sistemlerinin anlatıldığı 2. bölümde sistemlerin ortaya çıkma nedenleri ve amaçları anlatılmıştır. Bu bölümde aynı zamanda bu sistemlerin sınıflandırılması yapılmıştır.

Çalışmanın gövde kısmı olan 3. ve 4. bölümlerde ise 2. bölümde ortaya koyulan sınıflandırmada iki genel gruba ayrılan gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri ele alınmıştır. Bu iki genel grubun altında alt gruplar oluşturulup sistemler bu alt gruplara yerleştirilerek detaylandırılmıştır.

Sonuçlar bölümünde de araştırmanın sonucunda elde ettiğimiz veriler ortaya konmuştur.

2. GELİŞMİŞ GÜN IŞIĞI AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Gün ışığının kullanımı daha antik Roma mimarisi döneminde önemli bir ilkeydi. O zamandan beri bina tasarımı ve üretimi, duvar açıklıklarından gün ışığının alınması gereksinimi üzerine kurulmuştur. Duvar açıklıklarının yönü ve büyüklüğü bölgesel gereksinimlere ve meteorolojik koşullara göre değişmektedir. Geniş pencereler ve yüksek tavanlara sahip binaların bulunduğu Kuzey Avrupa’da kapalı hava koşullarında dahi yeterli bir aydınlık düzeyi sağlamaktadır. Diğer taraftan Akdeniz bölgesindeki mimarideki düşünce yaz aylarında aşırı ısınmayı önlemektir. Bu yüzden açıklıkların ölçüsü küçük tutulmuştur.

Bütün bunlara rağmen pencerelerin, içeri alınan ışığı odanın derinliklerine ulaştıracak özellikleri yoktur. Işığı ulaştırmak için pencerelerin yardımcı optik elemanlar ile donatılmaları gerekmektedir. Bu optik elemanların kombinasyonlarına “gün ışığı aydınlatma sistemleri” denmektedir. Genellikle sınıflandırıcılar tarafından bu isme, yeni malzemeler veya çağdaş ürünler kullanılarak yapıldıklarını, yeni gelişmeleri içerdiklerini vurgulamak için “gelişmiş”, “çağdaş” veya “yeni” gibi sıfatlar da eklenmektedir.

Bu çalışma boyunca; geleneksel mimarinin gün ışığı aydınlatma özelliklerini geliştiren ve geleneksel olana yeni, çağdaş çözümler getiren bu sistemler, “Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemleri” adıyla anılacaktır.

2.1. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin Ortaya Çıkma Nedenleri

20. yy da yapay aydınlatmanın gelişimi gün ışığının kullanımının ihmal edilmesine sebep olmuştur. Bununla birlikte; bugün doğal kaynakların sınırlı olduğunun farkına varan insanların sayısının artması, kullanıcıların iyileştirilmiş aydınlatma kalitesine olan taleplerinin çoğalması ve küresel iklim dengelerinin tehlikede olması sonucu, geleneksel mimarideki gün ışığı aydınlatma ilkelerinin güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Geleneksel mimarinin gün ışığı aydınlatma özelliklerini geliştiren

ve geleneksel olana yeni, çağdaş çözümler getiren “Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemleri” böylece ortaya çıkmıştır.

Bu sistemlerin ortaya çıkmasının temel nedenleri sıralanacak olursa:

- Doğal kaynakların sınırlı olması sonucu her enerji türünde olduğu gibi elektrik enerjisinden de tasarruf etmek için; harcanan elektrik enerjisinde büyük bir orana sahip olan yapay aydınlatmanın gündüz kullanımının azaltılması veya mümkünse sıfıra indirilmesi gereksinimi
- Kullanıcıların, sürdürülebilir mimari akımının bir parçası olarak enerji etkin binalara olan ilgisinin artması, tasarımcıların da bu tip binaların tasarımlarına ve çözümlerine ağırlık vermesi
- Değişen kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verecek yeterli gün ışığının kullanım mekanlarına girmesini ve dağılımını sağlayabilme ihtiyacı
- Gün ışığından ve bileşenlerinden en verimli biçimde yararlanabilmek

Geleneksel mimarideki gün ışığı aydınlatma sistemleri; pencereler, çatı ışıklıkları ve bunlara eklenen yansıtıcı ışık raflarından oluşmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, yeni malzemeler ve teknikler ortaya çıkmıştır. Bu yeni malzemeler ve teknolojiler, geleneksel gün ışığı aydınlatma sistemlerinde kullanıldığında ortaya çıkan sistemlere gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri ya da yeni gün ışığı aydınlatma sistemleri denilmektedir. Bu sistemler, gün ışığını mekanlara değişik araçlar kullanarak ve ışığın optik özelliklerinden yararlanarak alırlar. Işık ışınları, sistem elemanları ile yansıtılarak, kırılarak, yutulur ve kırılıp yansıtılarak temasa geçmektedir. Bu optik özelliklerin sadece birini kullanan sistemler olduğu gibi hepsini birden içinde bulunduran karmaşık sistemler de vardır. Bu sistemlerden hangilerinin nerede kullanılacağı sistemlerin amaçlarına bağlıdır.

Yukarıda sıralanan temel nedenler sonucunda ihtiyaç duyulan gün ışığı sistemlerinin amaçları da bu nedenler doğrultusunda oluşmuş ve her amaç için farklı bir veya birkaç sistem ortaya çıkmıştır.

2.2. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin Amaçları

Sistemin amaçlarının belirlenmesi, gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin tasarım sürecinin başlangıç aşamasıdır. Sorunun temeli doğru bir biçimde ortaya konursa doğru çözümlerde kaçınılmaz olarak beraberinde gelecektir. Gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin amaçları:

- Kullanıcıları teşvik edici bir ortam sağlayabilmek
- Pencerelerden içeriye alınan gün ışığının nicelik ve nitelik olarak kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak yeterlilikte olmasını sağlamak
- Kapalı gök koşullarında içeri alınan gün ışığı kalitesini arttırabilmek
- Gerekli olan gün ışığını içeri alırken güneş ışığının rahatsız edici kamaşma etkisini uzaklaştırmak
- Güneş ışığının ulaşamadığı mekanlara hem güneş hem de gök ışığını ulaştırabilmektir.

2.3. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin İşlevleri

Bu sistemlerin istenilen işlevleri amaçları ile paralellik gösterir. Sistemlerin amaçları kesin olarak belirlendiğinde önerilen gün ışığı aydınlatma sistemlerinin çalıştırılacağı yöntemin detaylı bir analizi gerekir. Herhangi bir gün ışığı aydınlatma sistemi üç ana işlevi yerine getirebilmelidir: çevreden gelen ışığı toplamak, bina kabuğundan onu taşımak ve son olarak onu içeriye ulaştırmak [2].

Bu sistemlerin yerine getirmesi beklenebilecek alt işlevleri şunlardır:

- Değişen teknoloji ve zamana bağlı olarak mekanlarda değişen aydınlatma gereksinimlerine cevap vermek. Özellikle bilgisayar ekranlarının v.b.lerinin bulunduğu yerlerde yansımadan doğan kamaşmanın azaltılması ve gerekli aydınlık düzeylerini sağlayacak olan gün ışığının içeriye girmesini sağlamak
- Güneşli iklimlerde direkt güneş ışığını engellemek
- Gelişen teknoloji ile yer altı mekanlarının kullanımının artması sebebiyle, yeraltında kullanılan mekanlara gün ışığının ulaştırılmasını sağlamak

- Yüksek katlı binaların artması ve mevcut dar sokakların sonucu içeri gün ışığı alamayan mekanlara göğün engelsiz alanından gün ışığı almak
- Büyük binalarda binanın derinliklerine gün ışığını ulaştırabilmek
- Endüstriyel tesislerde yeterli gün ışığı aydınlatması sağlayabilmektir.

2.4. Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemlerinin Sınıflandırılması ve Sistem Matrisi

Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemleri çeşitli kaynaklarda çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Bir kaynakta sistemler gölgeleme elemanı olarak kullanılıp kullanılmadığına göre iki ana gruba ayrılıp daha sonra direkt güneş ışığı ile kullanılanlar ve yayınlık gök ışığı ile kullanılanlar olarak iki alt gruba ayrılmaktadır. Daha sonra da sistemler bu alt gruplar arasına dağıtılmaktadır [2]. Bu sınıflandırmada sistemler işlevsel olarak ayırdıktan sonra kullandıkları ışık kaynağına göre ayrılmaktadır.

Bu sınıflandırma altında sistemleri performans kriterlerine, uygun oldukları iklimlere, uygun oldukları pencere tiplerine göre karşılaştırmak mümkündür. Bununla birlikte bu tam anlamıyla bir sınıflandırma oluşturmamaktadır. Bu sınıflandırma sistemlerin içeri aldıkları gün ışığının niteliğine göre yapıldığı için bazı sistemler birden fazla grubun içine girmektedir. Genellikle bu sistemleri nasıl sınıflandırırsak sınıflandırılabilir bir veya birkaç sistem birden fazla gruba düşebilir. Bu, sistemlerin ve amaçlarının karmaşık yapısına bağlıdır. Bu bölümde verilmiş olan matris sistemler arasında karşılaştırma yapılabilmesini sağlamak için kullanılacaktır.

Bu çalışmada ise sistemlerin öncelikle hangi ışık kaynağını kullandığı göz önünde bulundurulmuştur. Çünkü kullanılan mekanın aydınlatma niteliği, bulunduğu iklim bölgesinin güneşli ya da kapalı bir gök yüzüne sahip olmasına bağlıdır. Buna göre sistemler iki ana gruba ayrılmıştır:

- Güneşi dışarıda bırakarak yayınlık gök ışığını alan sistemler
- Direkt güneş ışığını bina içerisine alan sistemler

Bundan sonraki adımda sistemlerde kullanılan tekniklere ve malzemelere (ışık rafı, anidolik sistemler, prizmatik sistemler, holografik elemanlar, lazer kesim paneller, ışık taşıyıcıları) yer verilmiştir. Bu teknik ve malzemelerin alt başlık olarak işlendiği

bu bölümlerde malzeme ve teknikler hakkında teknik bilgi verildikten sonra, bu teknik ve malzeme ile oluşturulan sistemler, binadaki konumlarına (pencere üstünde, pencere önünde, pencere içinde, pencere camı arasında, çatıda) göre ayrılmışlardır. Dördüncü bölümde yer alan teknik ve malzemeler beşinci bölümde yer alan sistemlerde de kullanıldıkları için burada da yer almaktadırlar. Ancak bu bölümde bunlar hakkında teknik bilgi verilmede sistemler tanıtılacaktır.

3. YAYINIK GÖK IŞIĞINI BİNA İÇERİSİNE ALAN SİSTEMLER

Bu sistemler, başlıktan da anlaşılacağı gibi ağırlıklı olarak yayınik gök ışığını kullanan ya da gök ışığı ile kullanıldığında daha verimli olan sistemlerdir. Yayınik gök ışığını kullanan bu sistemlerin direkt güneş ışığını engellemesi zorunlu değildir. Bunlardan bazıları yayınik gök ışığı ile birlikte güneş ışığını da kullanabilmektedir (örn.: ışık rafları, prizmatik sistemler). Bu sistemlerin bu tip örnekleri, direkt güneş ışığını içeri alan sistemler bölümünde gösterilecektir.

3.1. Işık Rafları

Bir ışık rafı eski Mısır'dan beri bilinen, gök ışığını üst yüzeyi ile gölgelemesi ve yansıtması ve güneşten kaynaklanacak kamaşmayı engellemesi için tasarlanmış tipik bir gün ışığı aydınlatma sistemidir [3].

Teknik Tanımı

Bir ışık rafı genellikle bir cephe boşluğunda taban seviyesinden yaklaşık 2m yukarıda yatay veya yataya yakın bir levhadan oluşmaktadır. Bu levha içeriye ve/ya dışarıya taşabilir. Böylece boşluğun iki fonksiyonu kesin olarak ayrılmaktadır. Işık rafı, üzerine yerleştirilen yansıtıcı yüzey ile güneş ışınlarını tavana ve odanın arka kısımlarına yansıtırken altında yer alan bir pencere de dışarıyla görsel teması sağlar. Eğer ışık rafı cepheden dışarıya taşarsa bu pencere, aynı zamanda, yüksek yükseliş açısından gelen güneş ışınlarından korunmuş olur [2].

Bir ışık rafı bina kabuğu içinde büyük bir eleman olduğundan bunun mimari ve yapısal tasarım üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu yüzden ışık rafının bina kabuğu ile bütünleşmesi ön proje safhasında düşünülmelidir [2].

Amaçları

Bu sistemlerin amacı; güneş ışığını odanın içine yansıtırken istenmeyen açılarda gelen direkt güneş ışığının içeriye girmesini engellemektir. Sistemin tasarım hedefi oda içinde düzgün bir aydınlık düzeyi sağlamaktır.

Bir ışık rafının asıl etkisi odanın arka kısımlarında, düzgün bir gün ışığı faktörü dağılımı sağlamaktır. Ancak yapılan araştırmalarda görülmüştür ki; odanın arka kısımları etkilenmezken cepheye yakın yerlerde gün ışığı faktörlerinde kayda değer bir düşüş gözlenmiştir. Bu yüzden, düzgünlük çarpanında önemli bir iyileşme sağlanmıştır ki; bu, odanın daha iyi aydınlatıldığı hissini doğurmakta ve aynı zamanda odayı kullananlardan yapay aydınlatmayı kullanacakların sayısını azaltmaktadır [2].

Özellikle kış aylarında bu sistemler aydınlatma talebini azaltmaktadır. Bununla birlikte; düşük yükseliş açısından gelen güneş ışınları hala kullanıcılar için konforsuzluk kamaşması oluşturmaktadır. Yaz aylarında ise, ışık rafı üzerine direkt güneş ışığı gelmesi istenmeyen bir durumdur. Böylece sistemin tasarımına yönelik yeni alt amaçlar ortaya çıkmaktadır. Dikkatli tasarım bu problemleri ortadan kaldırabilir fakat bir ışık rafı tek başına bir gölgeleme elemanı olarak düşünülmemelidir.

İşlevleri

Bir ışık rafından gün ışığı aydınlatma aracı olarak beklenebilecek işlevlerinden biri de odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeyinin arttırılmasıdır. Ancak yapılan çeşitli deneyler ve simülasyonlar [4-7] sonucunda ışık raflarının gerçekte, odanın arka kısımlarında oluşan aydınlık düzeylerinde önemli bir değişikliğe neden olmadıklarını göstermiştir.

Bu çalışmalarda; ışık raflarının pencere yakınındaki yüksek aydınlık düzeyini düşürerek ortamdaki aydınlık düzeyi düzgünlüğünü (uniformity) arttırdığı kanıtlanmıştır [7]. Bu, en yüksek ve en düşük aydınlık düzeyi arasındaki farkın azaltılması demektir. Pencere yakınındaki yüksek aydınlık düzeyi değerlerinin ortadan kalkması sonucu, odanın ön ve arka kısımları arasındaki aydınlık düzeyi farkı azalmakta ve bu da odanın daha iyi aydınlatıldığı hissini doğurmaktadır.

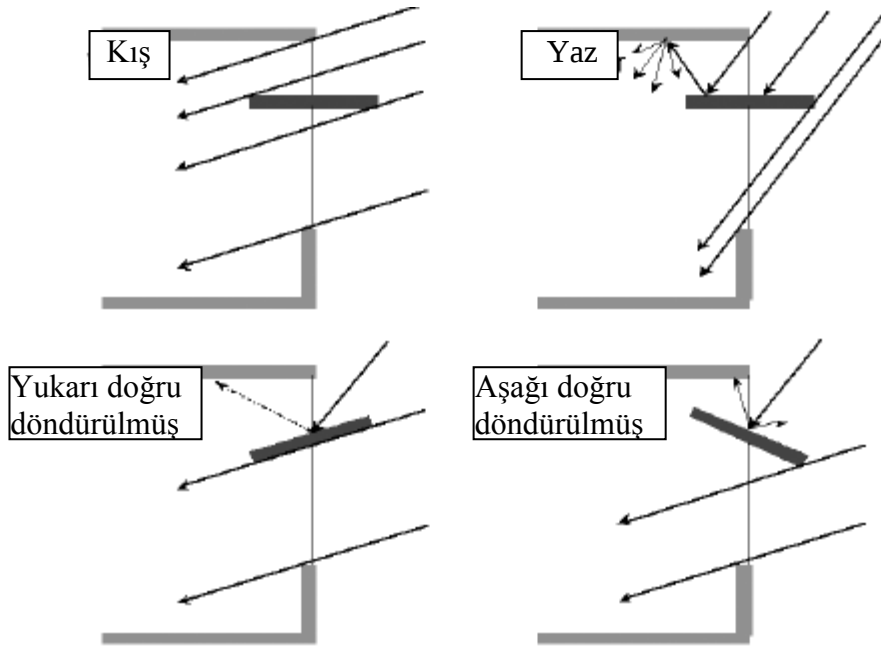
Işık raflarının ikincil işlevi ise; özellikle yaz aylarında güneş ışınlarına karşı iyi gölgeleme sağlamaktır. Bir dış ışık rafı pencere yakınlarını gölgelerken bir iç ışık rafı

odanın derinliklerine kadar gölgeleme sağlar. Bununla birlikte yeterli ölçülerde bir ışık rafının yeterli uzunlukta, geniş bir dış engel olmadıkça düşük yükseliş açısından gelen güneş ışınlarını engellemesi mümkün değildir. Bu durumlar için ayarlanabilir güneşlik ve gölgeleme araçlarının ışık rafını desteklemesi gerekir [3].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Bir ışık rafının cephedeki konumu (içeride, dışarıda veya her iki tarafta) ve boyutları gölgeleme ve gün ışığı ile aydınlatma ihtiyaçlarına göre belirlenir. Işığı yönlendiren ve yansıtan, içeride yer alan bir ışık rafı, içeriye iletilen ışığın miktarını azaltır. Işık rafını dışarıya (cepheye) doğru çektikçe, pencere önünde oluşan aydınlık düzeyi değerleri düşürülmekte ve gün ışığı düzgünlük faktörü iyileştirilmektedir. Cam yüzeyin yüksekliği ve ışık rafının derinliği enlem ve iklim özelliklerine dayanarak belirlenmelidir. Bu işlem yapılırken, Şekil 3-1’de, sağ üst köşedeki kesitte de görüldüğü gibi güneş ışınları, o bölgede gölgeleme istenen zaman aralığında güneşin bulunduğu konumdaki yükseklik açısı ile pencere düzlemine doğru çizilir ve pencerenin ne kadarı gölgelenmek isteniyorsa o noktadan çizilen ışına kadar ışık rafının dış parçası uzatılır. Aynı şekilde üstteki pencerenin yüksekliği de içeriye direkt güneş ışığını almayacak şekilde ayarlanır.

Düşük enlemlerde, iç ışık rafının boyu üstteki pencereden gelen direkt güneş ışığını engelleyecek kadar uzatılabilir (bk. Şekil 3-1). Daha yüksek enlemlerde ve doğuya veya batıya bakan cephelerde; ışık rafı ve tavan arasındaki boşluktan bir miktar direkt güneş ışığı içeriye girer ve ek gölgeleme elemanı ihtiyacı ortaya çıkar. Rafın derinliğinin artırılması, sorunu çözebilir. Ancak bunun sonucunda, istenen gün ışığı ve pencereden görülen alan da engellenecektir. Işık rafının hareketli olması da bu sorunu çözebilir. Işık rafı aşağı doğru çevirerek pencere düzlemi gölgelenirse tavana yansıtılan ışığın miktarını azaltır. Işık rafı yukarı doğru döndürüldüğünde ise tavana yansıtılan ışık artırılırken gölgeleme etkisi azaltılmış olur. Yatay bir ışık rafı gün ışığı dağılımı ve gölgeleme ihtiyacı arasında en iyi dengeyi kuran bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3-1: Geleneksel ışık rafının yaz ve kış aylarındaki davranışı [3].

Tavan ışık rafı sisteminin ikinci en önemli parçasıdır. Çünkü ışık, raftan tavana doğru, tavandan da odaya yansıtılır. Bu işleme etki eden tavanın özellikleri, yüzey kaplaması, düzgünlüğü ve eğimidir. Aynasal bir tavan daha fazla ışık yansıtılmasına rağmen, ışık rafı yakınında oluşabilecek kamaşmaya karşı dikkatli olmak gerekir. Kamaşmayı önlemek için; tavan yüzeyi pürüzlü ve beyaz veya aynasal yüzey oluşturmayacak bir renkte olmalıdır.

Işık rafı sisteminden ışığın odaya yayılması, tavanın eğimine bağlıdır. Pencereden odanın ortasına doğru yükselen bir tavan tipi, ışık rafından binaya yayılan ışığın izleyeceği derinliği artırır. Düz bir tavan için ışık rafından gelen ışık, çoğunlukla pencere yakınına yansıtılır ki; bu durumda ışığın odaya dağılımı daha yalın olur [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufu

Pencere yüzeyine düşen ışık miktarının ışık rafı ile azaltılması yapay aydınlatmanın kullanımının artmasına sebep olabilir fakat ışığın oda içindeki düzgün dağılımı; kullanıcılarda, odanın iyi aydınlatıldığı izleniminin oluşmasına sebep olabilir. Bu da kullanıcıların elektrik aydınlatmasını açma olasılığını düşürebilir. İçeri giren gün ışığının miktarı, bir dış ışık rafı kullanılarak, rafın geometrisine ve yüzey davranışına bağlı olarak, artırılabilir. Bununla birlikte; genellikle çoğu geleneksel ışık rafı

odanın arkalarında yüksek aydınlık düzeyi değerleri oluşturamadığı için enerji tasarrufu fazla olmaz [3].



Şekil 3-2: Kaliforniya'daki SMUD genel merkezinde iç/dış ışık rafının görünüşü [3].

3.1.1. Pencere İçine Yerleştirilen Işık Rafları

Bu tip ışık rafları, pencerenin iç tarafında yer alıp gün ışığını pencereden geçtikten sonra yönlendiren sistemlerdir.

Teknik Tanım

Bu sistemde ışık rafının pencere düzleminde dışarı taşan bir parçası yoktur. Tamamı içeride yer alan sistemin, yapısı ve bileşenleri değişiklik gösterebilir. Işık rafı sadece yatay opak bir düzlemden oluşabileceği gibi, iki kademeli yarı saydam ya da saydam raflardan da oluşabilir. Buna ek olarak; kendi içine kapalı bütünlüklü bir sistem de olabilmektedir. Sistem bileşenleri, sistemin tasarlanma amacına göre değişiklik gösterebilmektedir.

Amaçları

Pencerenin iç kısmında yer alan ışık raflarının temel amacı; binanın cephesi için belirleyici bir mimari etki oluşturmadan bina içindeki kullanım mekanlarının aydınlatma kalitesini arttırmaktır. Bu temel amacın yanında, ışık rafının pencere içinde yer almasının bir diğer nedeni; pencerenin üst kısmından gelen direkt güneş ışığının oluşturacağı (Şekil 3-1) kamaşmayı ortadan kaldırmaktır. Gün ışığı aydınlatmasında temel ilke; güneş ışınlarının pencere yüzeyine ulaşmadan kontrolünü sağlamak olduğundan, bu sistemlerin güneşten kaynaklanan aşırı ısınmaya sebep olmaları kaçınılmazdır.

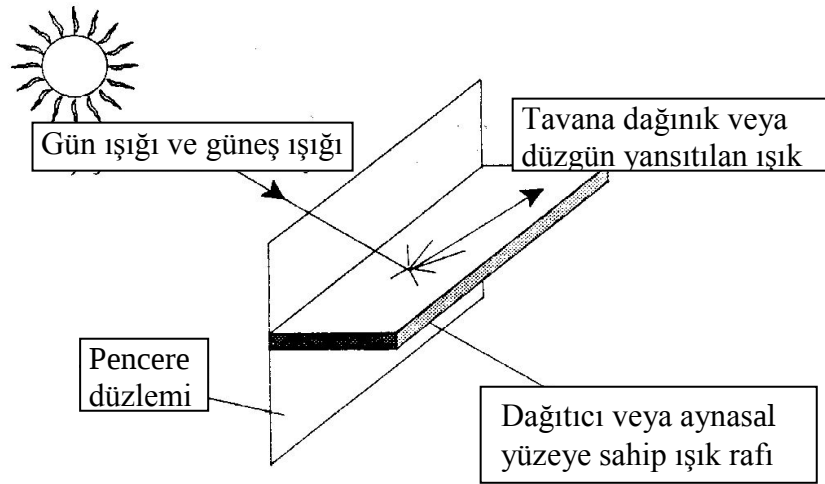
Uygulanmış Bazı Örnekler ve Bunların Değerlendirmeleri

Burada pencere içine yerleştirilen ışık rafları başlığı altında üç sistem incelenecektir:

- Geleneksel iç ışık rafı
- Yarı yansıtıcı yüzeye sahip iç ışık rafı
- Yarı saydam yüzeye sahip ışık rafı

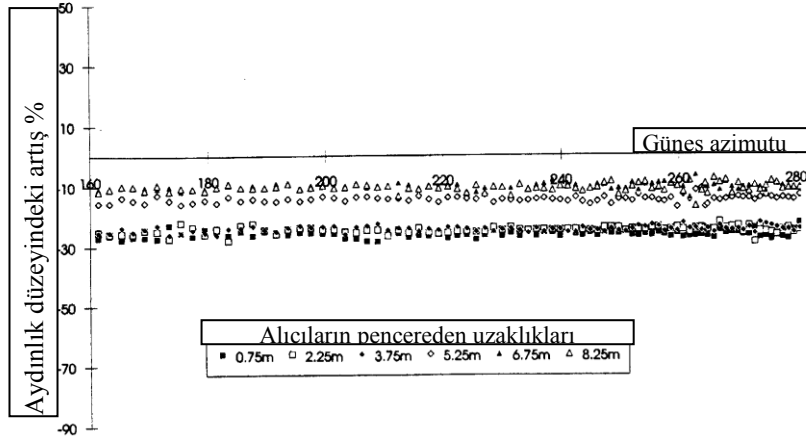
a. Geleneksel İç Işık Rafı

Pencere içinde yer alan geleneksel bir ışık rafı gün ışığı aydınlatma sistemleri içinde en basit olanıdır. Burada incelenecek olan ışık rafı şekil 3-3'te görülen sistemdir. Buradaki ışık rafı döşemeden 2.08 m yüksekte ve 1.00 m derinliğindedir. İlk bahar ve yaz aylarında yapılan testler için beyaz mat bir yüzey seçilmiş; son bahar ve kış aylarında yapılan testler için aynasal bir yüzey kullanılmıştır.



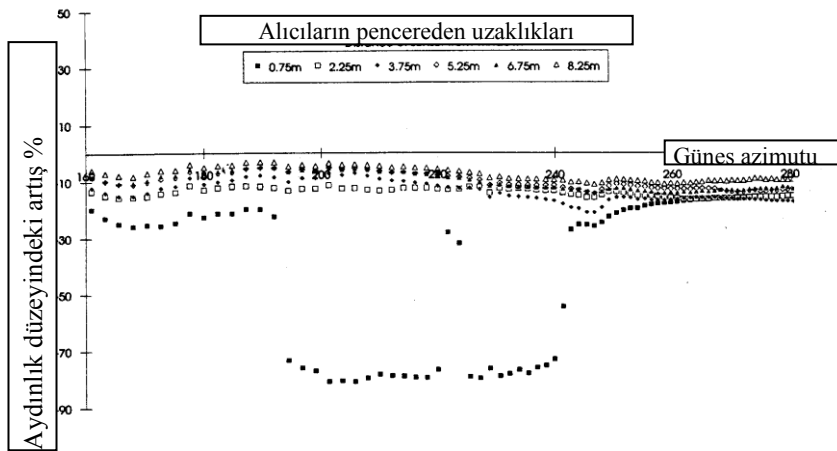
Şekil 3-3: : İç ışık rafı [8].

Bütün yıl boyunca sistemin kapalı gök koşullarındaki performansı güneşin pozisyonuna bağlı ve istikrarlıdır (Şekil 3-4). Aydınlık düzeylerinde, odanın arka kısımlarında en düşük olmak üzere, %5 ile %30 arasında azalma meydana gelmektedir.



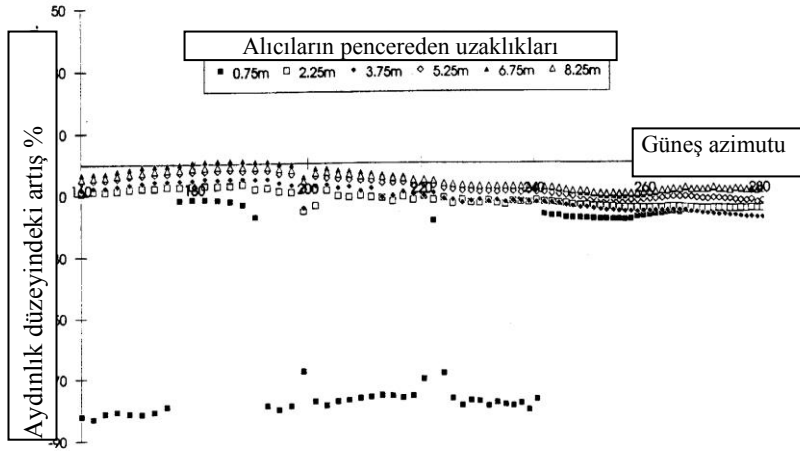
Şekil 3-4: İç ışık rafının kapalı gök koşullarında sağladığı aydınlık düzeyindeki değişimler [8].

Yaz aylarında açık gök koşullarında; pencere yakınındaki bir alana direkt güneş ışığının düşmesi tamamen engellenmektedir. Yansıtılan ışınlar rafın üstündeki ve ilerisindeki tavanı aydınlatmaktadır. bu yansıtılan ışınlar odanın 2.25 m ve 3.75 m derinliklerindeki aydınlık düzeylerini arttırmaktadır ancak odanın daha arka kısımlarında çok küçük bir etki yaratmaktadır (Şekil 3-5) [8].



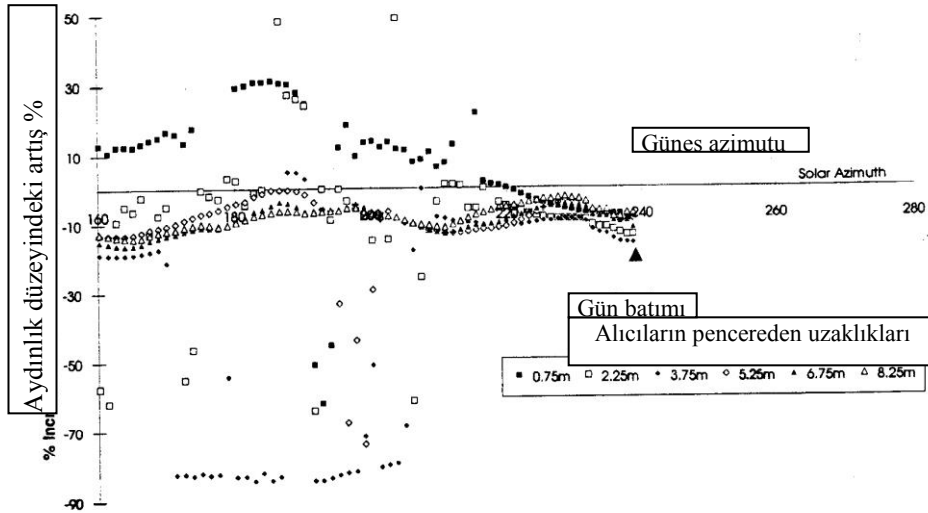
Şekil 3-5: Yaz aylarında, açık gök koşulları altında ışığı dağıtıcı yüzeye sahip bir ışık rafının kullanımı sonucunda aydınlık düzeylerinde meydana gelen değişim [8].

Bahar aylarında, açık gök koşulları altında; dağıtıcı ışık rafı yaz aylarındakine benzer bir davranış göstermektedir. Işık rafının yüzeyi küçük aynasal bir bileşene sahiptir ve buradan yönlendirilen gün ışığı odanın arka kısımlarına ulaşmaktadır. Böylece; odanın arka kısımlarına doğru, aydınlık düzeyleri bir parça arttırılmaktadır (Şekil 3-6).



Şekil 3-6: Bahar aylarında, yarı aynasal bir ışık rafı kullanıldığında aydınlık düzeylerinde meydana gelen değişim [8].

Sonbahar ve kış aylarında ışık rafının üstü yansıtıcılığı yüksek olan metal bir örtü ile kaplanmıştır. Raftan yansıtılan ışığın tavanda yarattığı görüntü daha belirgin hale getirilmiştir. Metal örtüdeki küçük kusurlar ve hafif eğrilikler bazı saçılmalara neden olmaktadır. Şekil 3-7'de 3.75 m deki algılayıcının raf tarafından gölgelendiği görülmektedir. Yansıtılan ışık tavanı 1.5 ile 2.0 m ye kadar aydınlatmaktadır. 0.75 m deki algılayıcı pencere denizliği tarafından gölgelenmektedir ve bu yüzden aydınlık düzeyindeki artış bu bölgede fazladır.



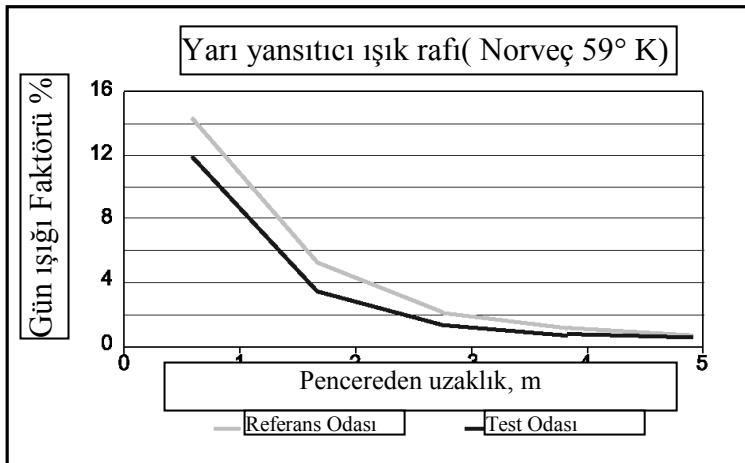
Şekil 3-7: Kışın açık gök yüzü altında, aynasal ışık rafı kullanıldığında, aydınlık düzeyindeki değişim [8].

Kış aylarının ortasında, daha düşük bir güneş yükseliş açısıyla; yansıtılan ışığın görüntüsü, odanın biraz daha içine doğru hareket eder. Işık rafı tavandan 62 cm uzaktadır. Böylece, güneş sadece çok düşük yükseliş açılarındayken, yansıtılan ışık odanın derinliklerine yayılmaktadır. Diğer sistemlerde olduğu gibi; daha yüksek bir tavanın olması yararlıdır. Ancak ışık rafı sistemi, yatay bir sistem olduğu için güneş gök yüzünde alçaldıkça, ışık rafının gölgeleme ve yönlendirme yeteneklerinde azalma meydana gelmektedir. Bu durumda, ek gölgeleme ve yönlendirme araçlarına ihtiyaç duyar [8].

Yarı Yansıtıcı Yüzeye Sahip İç Işık Rafı

Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, 2.2 m²'lik bir pencere ile 1.0 m²'lik bir üstte yer alan bir pencerenin arkasına yerleştirilmiş, pencere boyunca uzanan, 1.00 m derinliğinde, yatay bir iç ışık rafını test etmiştir. Işık rafının yüzeyi, yarı yansıtıcı silinmiş bir alüminyum örtü ile kaplıdır. Referans odası saydam, gölgeleme olmayan pencerelere sahip olup test odası ile eşit ölçülerdedir. Ölçümler, Sandvika, Norveç'te 59° kuzey enleminde, kullanılmakta olan bir ofis binasında yapılmıştır.

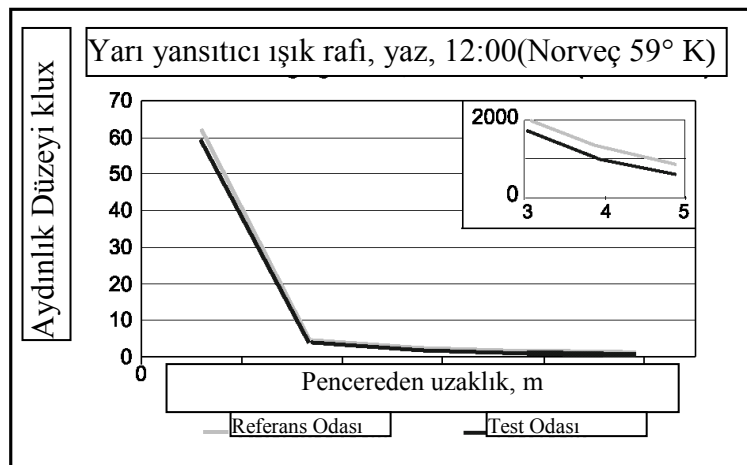
Kapalı gök koşullarında iç ışık rafı, tüm odadaki aydınlık düzeylerini %20 ile %35 arasında düşürmektedir. Işık rafı pencere yakınındaki bölgedeki aydınlık düzeylerini düşürse de gün ışığının oda içindeki dağılımı düzgün olmamaktadır. Çünkü odanın geri kalan bölgelerindeki aydınlık düzeylerinde de dikkate değer bir düşüş gözlenmektedir.



Şekil 3-8: Yarı yansıtıcı ışık rafının oda içinde oluşturduğu gün ışığı faktörleri [3].

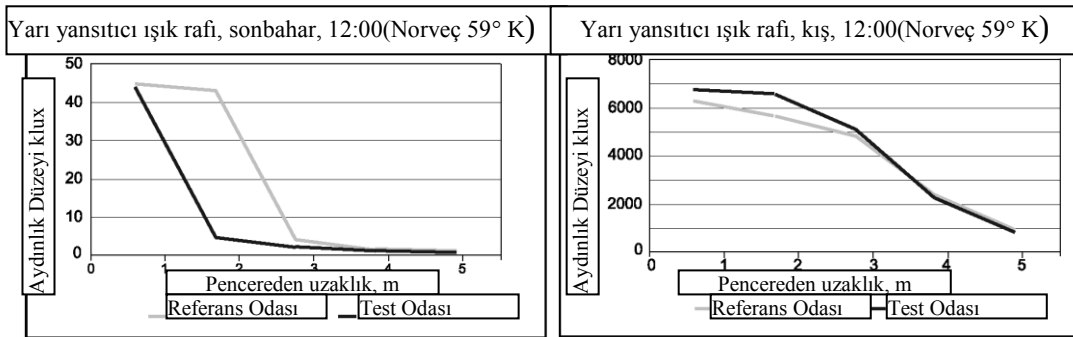
Tablo 3-1: Sandvika, Norveç'te 59° kuzey enleminde bulunan ofis odasında, mevsimlere göre odanın üç ayrı bölümünde ölçülen gün ışığı faktörü değerleri. Kapalı gök koşullarında yapılan ölçümlerde; pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar pencereden, sırasıyla, 1.05, 2.89 ve 6.34 m uzaktadır. Açık gök koşullarında yapılan ölçümlerde; pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar pencereden, sırasıyla, 2.7, 4.5 ve 8.1 m uzaktadır. Evg (klux) küresel dış yatay aydınlık düzeyi ve Evgs (klux) küresel dış düşey aydınlık düzeyidir. EE, bir değer elde edilememiş demektir [3].

Yarı yansıtıcı yüzeye sahip iç ışık rafı Norveç, 59°K	İç Aydınlık Düzeyi (% veya lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Evg	Evgs
Yatay 0°, Kapalı Gök (GF %)	3.6%	9.0%	1.7%	2.9%	0.5%	0.7%	19.6	7.8
45° Döndürülmüş, Kapalı Gök (GF %)	4.2%	10.4%	2.1%	3.2%	1.0%	1.3%	3.6	1.5
Kapalı 90°, Kapalı Gök (GF %)	2.0%	8.9%	0.8%	2.7%	0.3%	0.7%	8.5	3.4
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 12:00	3,120	3,920	Güneş	Güneş	1,110	1,500	29.4	71.3
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 15:00	2,100	2,910	1,350	1,690	570	730	12.8	35.8
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	2,790	4,070	1,380	1,500	640	750	55.5	86.5
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 15:00	2,310	3,530	1,150	1,760	520	790	35.1	66.5
45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 12:00	1,810	2,390	930	1,130	460	570	77.1	77.4
45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 15:00	1,410	2,550	720	1,220	360	580	56.8	63.2
Kapalı 90°, Bahar, Açık Gök, 12:00	250	4,450	250	1,700	40	780	EE	EE
Kapalı 90°, Bahar, Açık Gök, 15:00	200	3,300	90	1,440	20	640	EE	EE



Şekil 3-9: Yarı yansıtıcı ışık rafının yazın saat:12.00'da oda içinde oluşturduğu aydınlık düzeyleri [3].

Açık gök koşullarında; güneşin geniş açılarda(53°) olduğu yaz aylarında bile ışık rafı pencere yakınındaki bölgeyi direkt güneş ışınlarından koruyamamaktadır. Aydınlık düzeylerinde, odanın orta kısımlarında küçük bir azalma gözlenirken odanın arka kısımlarında daha büyük bir düşüş ($\%10$ – $\%20$) görülmektedir. İlk baharda ve son baharda, ışık rafı pencere yakınındaki bölgeyi gölgeler fakat bu aylarda da odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerinde $\%25$ 'lik bir düşüş meydana gelmektedir. Güneş ışınların dar açı ile geldiği kış aylarında, pencere yakınındaki aydınlık düzeyleri artmaktadır. Bunun sebebi; ışık rafının üst yüzeyi ile aynı malzeme ile kaplı alt yüzeyi ile çalışma düzlemi arasındaki iç yansımalarıdır. Ancak bu durumda da ışık rafı odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini arttırmaktan uzaktır.



Şekil 3-10: 1.0 m uzunluğundaki yarı yansıtıcı ışık rafının sonbahar (solda) ve kış (sağda) aylarında saat 12:00'da içeride oluşturduğu aydınlık düzeyleri [3].

Sonuç olarak yarı yansıtıcı yüzeye sahip iç ışık rafı oda içindeki gün ışığı faktörü dağılımını arttırmamaktadır ve pencere yakınındaki bölgeyi direkt güneş ışınlarından korumamaktadır. Düşük yükseliş açılarından gelen güneş ışınlarının oluşturduğu kamaşma sorunlarını çözmek için ek gölgeleme elemanına ihtiyaç vardır. bu sorunu çözmek için daha derin bir iç ışık rafının kullanımı ise mimari ve estetik sorunlarını da beraberinde getirmektedir [3].

Yarı Saydam Yüzeye Sahip İç Işık Rafı

Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, 2.2 m^2 'lik bir pencere ile 1.0 m^2 'lik bir üstte yer alan bir pencerenin arkasına yerleştirilmiş, pencere boyunca uzanan, 1.00 m derinliğinde, yatay bir iç ışık rafını test etmiştir. Işık rafının güneş kontrolü camından (Pilkington Kappa Sol Reflecta, şu anda Pilkington Eklips diye bilinmekte olan malzemenin ışık geçirgenlik oranı $\%33$, yansıtıcılık oranı, yerleştirilmesine bağlı olarak, $\%43$ veya $\%50$ 'dir) üretilmiştir. Bu cam, ışık rafına yarı saydam bir yüzey kazandırmaktadır. Referans odası saydam, gölgeleme olmayan pencerelere sahip

olup test odası ile eşit ölçülerdedir. Ölçümler, Sandvika, Norveç'te 59° kuzey enleminde, kullanılmakta olan bir ofis binasında yapılmıştır.

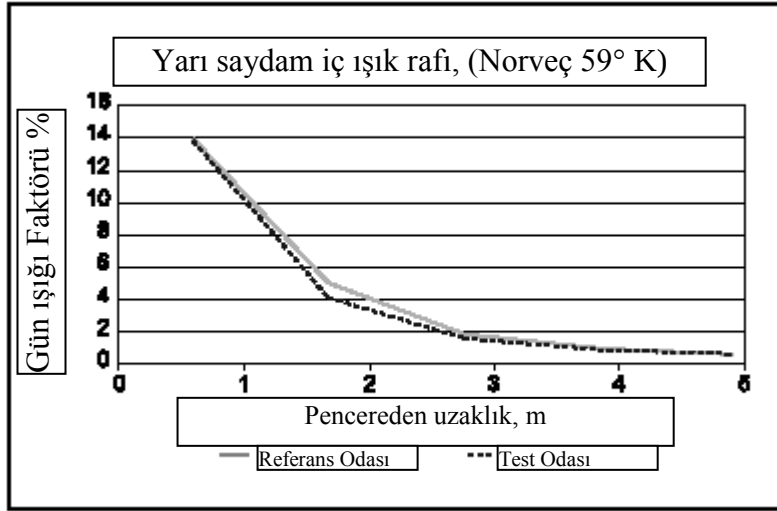
Tablo 3-2: Norveç'te 59° kuzey enleminde bulunan ofis odasında, mevsimlere göre odanın, yarı saydam yüzeye sahip ışık rafı ile, üç ayrı bölümünde ölçülen gün ışığı faktörü değerleri. Yapılan ölçümlerde; pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar pencereden, sırasıyla, 1.67, 2.75 ve 4.91 m uzaktadır. Evg (klux) küresel dış yatay aydınlık düzeyi ve Evgs (klux) küresel dış düşey aydınlık düzeyidir. EE, bir değer elde edilememiş demektir. “Güneş”, alıcılara direkt güneş ışığının gediğini anlatmaktadır [3].

Yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafı, Norveç, 59°K Gözlem durumu ve zamanı	İç Aydınlık Düzeyi (% veya lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge		Evg	Evgs
	Test	Referans	Test	Referans	Test	Referans		
Yatay 0°, Kapalı Gök (GF %)	4.2 %	5.0 %	1.6 %	1.9 %	0.7 %	0.7 %	5.9	2.4
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 12:00	güneş	güneş	güneş	güneş	güneş	güneş	18.7	69.9
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	güneş	güneş	2,330	1,930	1,110	970	68.5	90.7

Kapalı gök koşullarında; iç ışık rafı, odanın orta kısımlarındaki aydınlık düzeylerinde %15 civarında azalmaya neden olmaktadır. Odanın arka kısımlarında aydınlık düzeyi, referans odasında ölçülen değerlerin aynısıdır. Aydınlik düzeyindeki fark pencere yakınındaki bölgede en fazladır. Bu bölgedeki gün ışığı dağılımında meydana gelen azalma miktarının, pencereden olan uzaklığına oranını; test odasında, referans odasında ölçülenden daha fazladır.

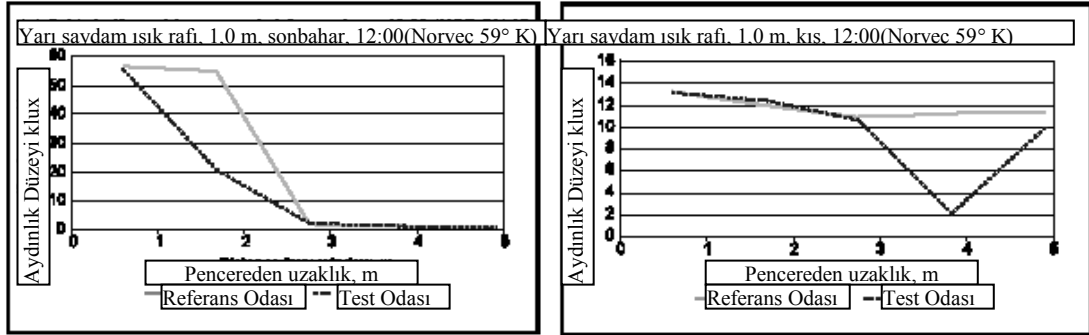


Şekil 3-11: Yansıtıcı camdan yapılmış iki kademeli yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafı [3].



Şekil 3-12: Yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafının pencereden uzaklığa göre gün ışığı faktörü değişimi [3].

İlkbahar veya sonbaharda açık, gök koşullarında, ışık rafı pencere yakınındaki bölgeyi direkt güneş ışığına karşı gölgelemektedir ve odanın orta ve arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerinin bir miktar artmasını (%10-%20) sağlamaktadır. Işık rafı dar açılarda gelen güneş ışınlarını engellemekten ve yönlendirmekten uzaktır.



Şekil 3-13: Yarı saydam iç ışık rafının sonbahar (solda) ve kış (sağda) aylarında oda içinde sağladığı aydınlık düzeyleri [3].

Sonuç olarak; yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafı oda içindeki gün ışığı dağılımı faktörünü arttırmamaktadır. Ekinoks döneminde, ışık rafı, pencere yakınında bir alanı gölgelemektedir fakat dar açılarda gelen ışıklardan kaynaklanan kamaşma sorunlarını gidermek için ek gölgeleme elemanlarına ihtiyaç duymaktadır [3].



Şekil 3-14: Yarı saydam yüzeye sahip iç ışık rafı yerleştirilmiş test odasının içeriden görünüşü [3].

3.1.2. Pencere Dışına Yerleştirilen Işık Rafları

Bu sistemler, pencerenin dışarısında yer alarak gün ışığını odanı içine doğru yönlendiren geleneksel sistemlerdir.

Teknik Tanım

Pencere dışına yerleştirilen bu sistemler, döşemeden belirli bir yükseklikte, yatay ya da belirli açılarda olan sistemlerdir. Işık rafının yüzey özellikleri tasarlanma amacına göre değişiklik göstermektedir. Bu sistemler bina dışına çıkma yaptıkları için, binanın mimarisi üzerindeki etkileri büyüktür.

Amaçları

Pencere dışına yerleştirilen ışık aflatlarının temel amacı, pencere düzlemini direkt güneş ışınlarından korurken gün ışığını oda içine yönlendirerek oda içindeki gün ışığı aydınlatma kalitesini arttırmaktır. Bununla birlikte; odanın pencere yakınındaki bölgesindeki yüksek aydınlık düzeylerini düşürerek odanın arka kısmı ile arasındaki farkı azaltarak gün ışığının içeride düzgün dağılımını sağlamak da bir tasarım girdisi olarak ortaya çıkmaktadır.

Burada incelenecek olan Yarı yansıtıcı yüzeye sahip dış ışık rafları, farklı açılardaki konumlarına göre değerlendirilmektedir. Işık rafının yatay olduğu konumdayken geleneksel sabit ışık rafları gibi davrandığı görüldüğü için, ayrıca geleneksel dış ışık rafları anlatılmamıştır.

a. Yarı Yansıtıcı Yüzeye Sahip Dış Işık Rafı

Danimarka Yapı Araştırma Enstitüsü, 0.8 m derinliğinde, uçak kanadı gibi şekillenmiş ve güney cepheye bir mil üzerine yerleştirilmiş bir dış ışık rafını (Şekil 3-15) test etmiştir. Rafın yüzeyi %75 yansıtıcılık oranına sahip, cilalanmış alüminyum ile kaplıdır. Test ve referans odaları, 7° güney doğuya bakan ve batıya doğru bazı dış engelleri olan birbirinin aynısı iki odadan oluşmaktadır. Her iki odanın penceresi 0.78 m parapet üzerinden tüm cephe yüksekliği boyunca uzanmaktadır.

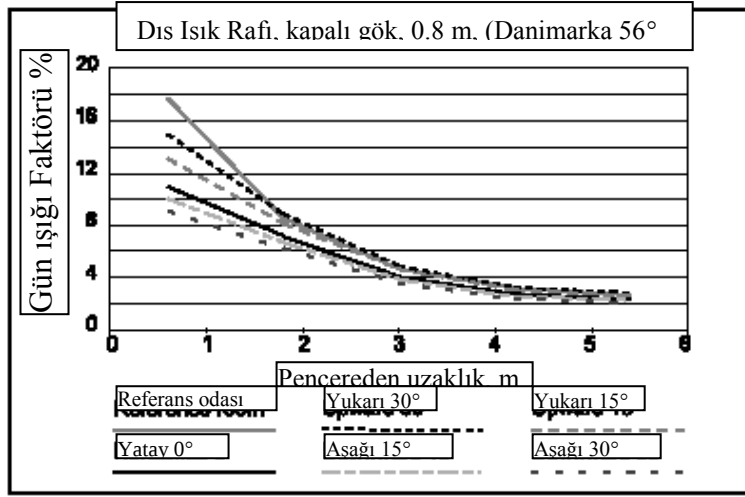


Şekil 3-15: Dış ışık rafının dışarıdan görünüşü [3].

Kapalı gök koşullarında, dış ışık rafı pencere yakınındaki bölgeyi gölgelemekte ve oda içindeki aydınlık düzeyi farklılıklarını düzenlemektedir. Işık rafının beş değişik açısı için ölçümler yapılmıştır. Işık rafını yukarıya doğru -30° döndürmek odanın orta kısımlarındaki aydınlık düzeylerini arttırmaktadır. Böylece; oda genelinde, pencere yakınındaki bölge ve odanın arka kısımları arasındaki aydınlık düzeyleri arasındaki fark azaltılarak odanın aydınlatma kalitesi arttırılmaktadır.

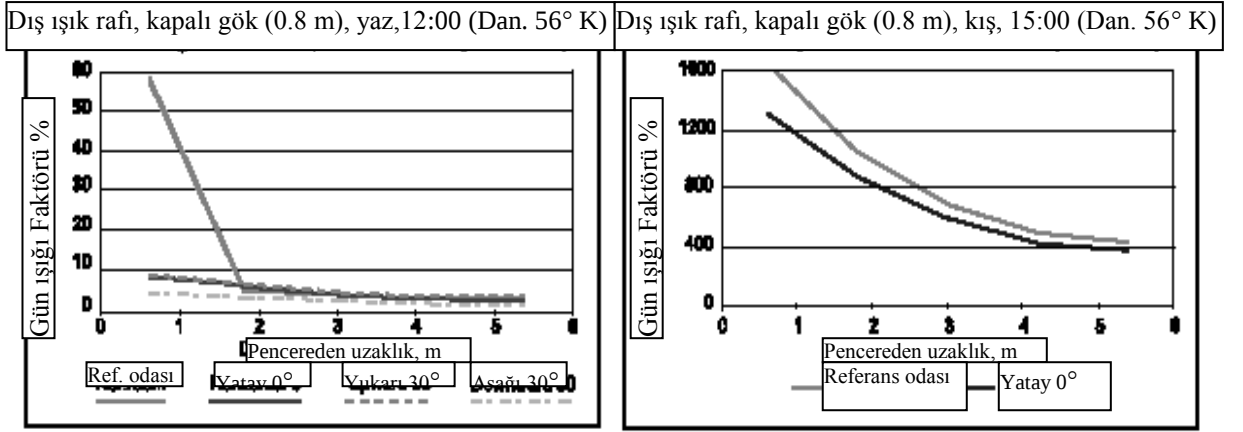
Tablo 3-3: Danimarka’da 56° kuzey enleminde bulunan ofis odasında, mevsimlere göre odanın, dış ışık rafı ile, üç ayrı bölümünde ölçülen gün ışığı faktörü değerleri. Yapılan ölçümlerde; pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar pencereden, sırasıyla, 1.8, 3,00 ve 5.4 m uzaktadır. Evg (klux) küresel dış yatay aydınlık düzeyi ve Evgs (klux) küresel dış düşey aydınlık düzeyidir. EE, bir değer elde edilememiş demektir. “Güneş”, alıcılara direkt güneş ışığının gediğini; >4000, alıcıların doyum noktasında olduğunu anlatmaktadır [3].

Dış ışık rafı (0.8 m derinliğinde) Danimarka; 56°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (% veya lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı								
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Evg	Evgs
Yatay 0°, Kapalı Gök (GF %)	7.1 %	8.6 %	4.1 %	4.7 %	2.3 %	2.7 %	16.2	6.5
15° yukarı döndürülmüş, Kapalı Gök (GF %)	8.1 %	8.4 %	4.6 %	4.6 %	2.6 %	2.8 %	12.1	4.8
30° yukarı döndürülmüş, Kapalı Gök (GF %)	8.8 %	8.4 %	4.9 %	4.6 %	2.8 %	2.6 %	12.9	5.0
15° aşağı döndürülmüş, Kapalı Gök (GF %)	6.7 %	8.5 %	3.9 %	4.7 %	2.2 %	2.7 %	9.6	3.8
30° aşağı döndürülmüş, Kapalı Gök (GF %)	6.2 %	8.6 %	3.5 %	4.8 %	2.0 %	2.7 %	11.6	4.7
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 12:00	Güneş	Güneş	>4,000	>4,000	>4,000	>4,000	17.1	52.8
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 15:00	880	1,040	600	690	380	430	4.3	5.9
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	Güneş	Güneş	>4,000	>4,000	>4,000	>4,000	38.6	95.1
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 15:00	6,510	7,250	>4,000	>4,000	3,060	3,450	27.5	58.4
30° yukarı döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 12:00	Güneş	Güneş	>4,000	>4,000	>4,000	>4,000	53.8	96.2
30° yukarı döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 15:00	Güneş	Güneş	>4,000	>4,000	3,830	3,620	33.0	62.1
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 9:00	4,030	4,370	2,500	2,760	1,540	1,760	69.5	40.7
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 12:00	6,700	6,630	3,770	>4,000	2,270	2,730	96.8	66.5
30° yukarı döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 12:00	6,400	5,580	>4,000	>4,000	3,240	2,670	102.3	70.8
30° yukarı döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 15:00	4,710	3,940	3,270	2,700	2,120	1,770	92.9	47.5
30° aşağı döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 9:00	2,570	3,350	1,650	2,220	1,040	1,440	71.6	39.3
30° aşağı döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 12:00	3,190	4,990	2,160	3,610	1,380	2,300	101.5	67.8



Şekil 3-16: Dış ışık rafının (0.8 m) kapalı gök koşullarında sağladığı gün ışığı faktörü değerleri [3].

Yaz aylarında, açık gök koşullarında, dış ışık rafı pencere yakınındaki alanı tamamen gölgelemektedir. Yansıtılan gün ışığı oda tavanını aydınlatırken, sadece -30° döndürülmüş olan ışık rafı odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini %10 ile %20 arasında arttırmaktadır. Yatay ışık rafı, odanın büyük bir kısmında aydınlık düzeylerini %10 ile %20 arası azaltmaktadır. Aşağıya doğru 30° döndürülmüş ışık rafı aydınlık düzeylerini %30 ile %40 arası azaltmaktadır. Dış ışık rafı, bahar aylarında yaz aylarında davrandığı gibi davranmaktadır. Yarı aynasal yüzeye sahip yatay ışık rafı gün ışığını odanın derinliklerine kadar yansıtırken odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini bir miktar arttırmaktadır. Yukarı doğru -30° döndürülmüş ışık rafı, odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini, yaz aylarında yaptığı gibi arttırmamaktadır. Aydınlık düzeyleri referans odası ile aynı kalmaktadır çünkü ışık rafı, pencerenin üst kısmından gelen direkt güneş ışığını engellememektedir. Güneşin düşük yükseliş açılarında olduğu kış aylarında, direkt güneş ışınları rafın altından ve üstünden girerek ek gölgeleme elemanı ihtiyacını doğurmaktadır.



Şekil 3-17: Dış ışık (0.8) rafının yaz (sol) ve kış (sağ) aylarında gösterdiği performans [3].

Sonuç olarak; geleneksel ışık rafları yüksek enlemlerde yer alan bölgeler için sınırlı uygulama alanlarına sahiptir. Çünkü ışık rafı; bu bölgelerde, yılın büyük bölümünde ek gölgeleme elemanına ihtiyaç duymaktadır. Eğer ışık rafı, kapalı gök koşullarının baskın olduğu iklimlerde kullanılırsa döndürülmesi gerekmektedir. Güneşli iklimlerde veya düşük enlemlerde yer alan bölgelerde; ışık rafı pencere yakınındaki bölgeyi gölgelerken, odanın geri kalanındaki aydınlık düzeylerinde çok az bir düşüşe sebep olmaktadır [3].

3.2. Anidolik Sistemler

Anidolik sistemler iç bükey yansıtıcıların (en az iki) birbirine karşı istenen açılarda gelen ışık ışınlarının geçmesini sağlayacak biçimde yerleştirilmesiyle oluşturulan yeni bir gün ışığı aydınlatma tekniğidir.

Teknik Tanım:

Anidolik kelimesi “görüntü oluşturmayan” ile eş anlamlı olan eski yunanca olan iki kelimenin birleşmesinden oluşan (an:-sız, eidolon: görüntüsüz) bir kelimedir. Bu göstermektedir ki sistem tasarlanırken görüntü oluşturmayan (non-imaging) optiğin teorik alt yapısında geliştirilen metotlar kullanılmıştır. Aslında bu teori yüksek enerji fiziği alanında kullanılmıştır. Bu, güneşi toplayıp oda içine en az kayıpla geçiren, doğal aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi için sağlam bir metodoloji sunmaktadır.

Amaçları:

Bu sistemlerin temel amacı; kapalı gök koşullarının hakim olduğu bölgelerde yer alan binalardaki mekanların, yeterli gün ışığı almayan arka kısımlarının

aydınlatılmasını sağlamaktır. Bunu gerçekleştirirken özellikle yayınlık gök ışığını kullanarak kamaşma yaratmadan düzgün bir aydınlatma sağlamak ana hedefidir.

İşlevleri:

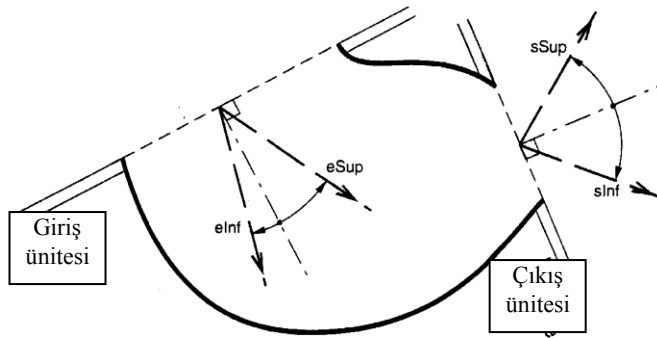
Anidolik gün ışığı aydınlatma tekniğinin yerine getirdiği işlevler, kullanıldıkları sistemin tasarımına göre değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte sistemlerin ortak işlevleri:

- Gün ışığını kamaşmasız olarak kullanım mekanlarına yönlendirebilmesi,
- Düzgün bir aydınlatma sağlaması,
- Mekanların, geleneksel sistemler ile yeterli derecede aydınlatılamayan kısımlarındaki aydınlık düzeylerini önemli miktarda arttırmalarıdır.

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri:

Yüksek enerji fiziği alanında kullanılan bir teori olan görüntü oluşturmeyen optik, güneş ışınlarının yoğunluğunun teorik limitine hemen hemen ulaşan, güneş toplayıcılarının tasarımı için güvenilir ve verimli metotlar ortaya koymuştur. Aynı metotlar yayınlık gök ışığının kullanımını arttıran sistemlerin geliştirilmesi için de kullanılabilir (Şekil 3-20). Görüntü oluşturan optik elemanlarla uygulanması olanaksız olan bu etkileyici metodun özellikleri:

- θ ve θ' açıları ile giriş elemanında sınırlandırılmış ışık ışınları tamamı ile çıkış elemanına iletilir (Şekil 3-18).



Şekil 3-18: Anidolik bir sistemin şematik gösterimi. Giriş ünitesinden $e_{inf} - e_{sup}$ açısı aralığından giren ışınlar, $s_{sup} - s_{inf}$ açısı aralığında çıkış ünitesinden çıkmaktadır [9].

- Işık ışınlarının sistemin optik yüzeylerinde meydana gelen yansımaların sayısı uygun tasarımlarla azaltılabilir. (Bu sistem tarafından gerçekleştirilen yüksek optik verimliliği açıklamaktadır.)

-

The diagram illustrates a parabolic antenna system. A shaded region represents the 'Admission sector'. Light rays are shown entering from the left, labeled 'light rays'. The upper part of the sector is defined by an angle θ' (labeled 'üstteki alandaki kabul açısı') of 50° . The lower part is defined by an angle θ' (labeled 'alttaki alandaki kabul açısı') of -30° . The focal point of the upper parabola is labeled F (labeled 'F odaklı ve Δ akslı parabol'). The focal point of the lower parabola is labeled F' (labeled ' F' odaklı ve Δ' akslı parabol'). The angle between the vertical axis and the line connecting the focal points is 90° and -90° .

28

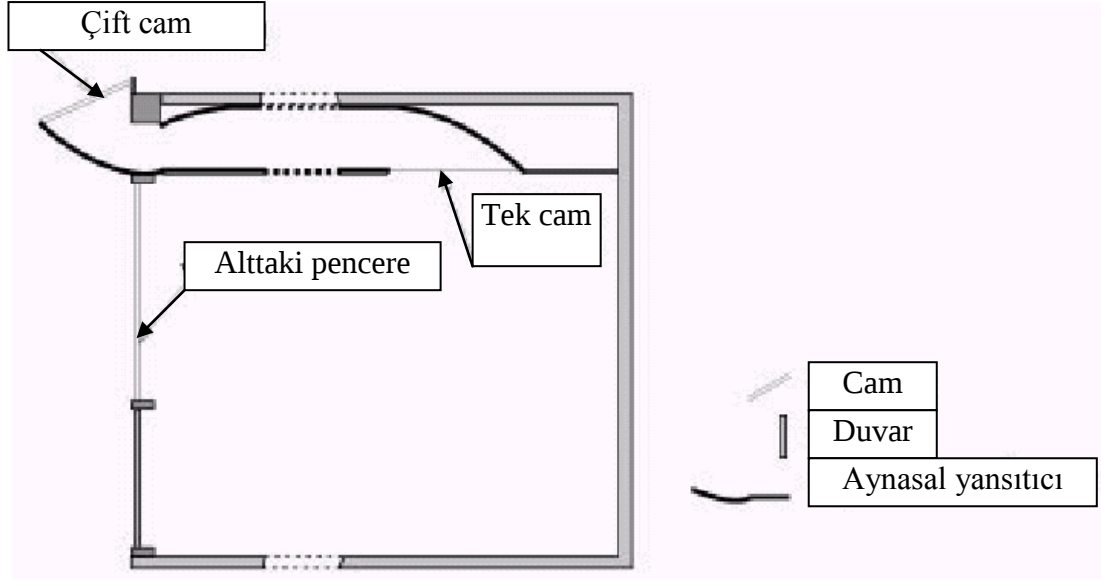
Anidolik sistemler, görüntü oluşturmeyan optiğin bu gelişmiş özelliklerini kullanarak geliştirilmiştir. Şekil 3-19; pencereden görülen, göğün üst kısmından gelen, yayınlık gök ışınlarını toplayan anidolik bir sistemin şematik bir kesitini göstermektedir. Bu sistemde; giriş elemanından $\theta_{iç}=\pi/2$ açısıyla giren ışık ışınları sistemi tanımlı $\theta_{dış}$ açısıyla terk etmektedir. Yansıtıcı elemanların görüntü oluşturmeyan optiğe dayanan tasarımı, içeri alınan ışınların optik büyüklüğünün, çıkış elemanından çıkan ışınların optik büyüklüğüne eşit olmasını sağlamaktadır [9]. Anidolik araç, yansıtıcılığı yüksek olan yüzeyler üzerinden, ışınların yansımaya dayalı bir sistem olduğu için, direkt güneş ışığında bile optik bozulmaya neden olmamaktadır.

3.2.1. Pencere Üstüne Yerleştirilen Anidolik Sistemler -Anidolik Tavanlar

Anidolik tavan sistemleri yayınlık gün ışığını toplamak için birleşik parabolik toplayıcıları kullanan sistemlerdir. Toplayıcılar ışığı odanın arkalarına ileten ve tavan düzleminin üstünde yer alan ışık tüpü ile birleşiktir. Sistemin öncelikli amacı kapalı gök koşullarının hakim olduğu koşullar altında, odalara yeterli gün ışığını sağlamaktır.

Teknik Tanımı :

Anidolik tavan bir ışık tüpüne bağlı gün ışığını toplayıcı optik elemanlar içerir. Sistem ikamet işlevi bulunmayan yapılarda tek yönlü aydınlatma için tasarlanmıştır. Anidolik optik elemanlar ışık tüpünün her iki ucunda da bulunmaktadır. Binanın dışında bir anidolik toplayıcı, kapalı gök koşullarında en parlak bölge olan, pencereden görülen göğün üst kısmından gelen yayınlık gök ışığını yakalar ve tüpün içine odaklayarak iletir. Odaanın arka tarafındaki tüpün çıkış aygıtında parabolik bir yansıtıcı ışığı, geri yansımaya da önleyecek biçimde, aşağıya doğru dağıtır. Gün ışığı oda tavanının hemen hemen tamamını kaplayan ışık tüpünün içindeki bir çok aynasal yansıtıcı sayesinde odanın derinliklerine iletilmektedir. Güneşli günlerde direkt güneş ışığı giriş elemanın üzerine yerleştirilen bir perde ile kesilmektedir. Sistemin tümü şekil 3-21’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3-21: Anidolik tavan sisteminin, dışarıda yer alan toplayıcı ünitesi ve güneşliğini, tavadaki aynasal tüpünü ve içerideki ışık yayıcı ünitesini gösteren şematik kesit [3].

Anidolik aygıtların içindeki yansıtıcılar, istenen optik kontrolü sağlamak için iç ya da dış bükümler üzerinde alüminyum yüzeyler içermektedir (yansıtıcılık çarpanı $\rho = 0.9$). Prototip çerçeve ağaçtan yapılmış ama eğer üretim miktarı artarsa diğer metal, plastik veya kompozit malzemeler kullanılabilir. Tüplerin iki ucu yansıtıcı yüzeylerin temiz kalması için saydam yüzeyle kapatılabilmektedir. Kontrol edilebilen güneşliğin, sisteme düzgün bir biçimde eklenmesi gerekir.

Bir anidolik tavan sistemi bir binada, pencere üzerine yerleştirilmesi için tasarlanmıştır. Sistemin dış tarafında bulunan anidolik aygıtın, yayınık ışık ışınlarını toplama verimi yüksek olduğundan anidolik tavanlar, kapalı gök koşullarının hakim olduğu bölgelerde bulunan binalardaki mekanların, yayınık gök ışığı ile aydınlatılması için uygundur. Sistem, yayınık gök ışığı ile çalıştığına göre; direkt güneş ışığına bağlı kamaşma ve aşırı ısınmaya karşı perdeler eklendiği takdirde herhangi bir enlemde kullanılabilir.

Sistemin birinci amacı; kapalı gök koşulları altında yeterli gün ışığı sağlamak olduğu için sistem giriş aygıtının tüm cepheyi, ışık tüpünün ise tüm tavan alanını kaplaması gerekmektedir. Buna bağlı olarak bu alanlar içinde başka bir bina servis elemanı bulunamaz. Bulunduğu takdirde aydınlatma performansı düşecektir. Bu yüzden bu sistemin kullanılması düşünülen binalarda daha tasarım ve yapım aşamasında bu detayların çözülmesi gerekir.

Sistem tek başına kullanıldığında ek kontrol sistemine ihtiyaç duymaz. Eğer gölgeleme için perde içeriyorsa bunun için otomatik ya da elle kontrole ihtiyaç vardır.

Sistem bakıma ihtiyaç duymamaktadır. Normal atmosferik koşullarda ve kentsel çevrede, yağmur, giriş elemanının temizlenmesi için yeterlidir. Eğer sistemde güneşlik kullanılırsa bu eleman bakıma ihtiyaç duyar [3].

Amaçları :

Sistemin öncelikli amacı direkt güneş ışığının yetersiz olduğu veya hiç olmadığı ortamlarda yayınlık gök ışığını kullanarak kullanım mekanlarının yeterli düzeyde aydınlatılmasını sağlamaktır. Bu ortamlar kapalı gök koşullarının hakim olduğu iklimlerin olduğu bölgelerde bulunan binalar, kuzeye bakan cepheler ya da etrafı yüksek engellerle çevrili cephelerdir. Bu amaç genel olarak anidolik optiğin kullanılma amacıdır. Bunun yanında anidolik tavanların geliştirilme amaçları daha özeldir. Anidolik tavanların amaçları:

- Sistemin cephede oluşturduğu çıkıntının azaltılması (sistemin bütünleştirilmesinin iyileştirilmesi)
- İç taraftaki elemanın daha iyi tasarımının yapılması (mimari ile bütünleşmenin iyileştirilmesi)
- İç taraftaki elemandan kaynaklanabilecek yüksek miktarda kamaşma riskinin azaltılması (kullanıcı algılamasının iyileştirilmesi) [9]

İşlevleri:

Burada sunulan ışık tüpü dikdörtgen bir kesite sahiptir. Tüpün iç yüzeyleri iç bükey yansıtıcılar ile kaplıdır. Toplayıcı eleman, iki boyutlu asimetric bir Birleşik Parabolik Toplayıcı' dır (Compound Parabolic Concentrator CPS, şekil 3-20). Bu toplayıcının kullanılma nedenleri:

- Açısal seçiciliği kesin hatlarla belirlenmiş bir kabul bölgesi ortaya koyar: bu bölgeye gelen tüm ışınlar iletilir ve diğerleri engellenir. Böyle bir elemanı tüpün ucuna yerleştirmek tüpü sadece gök ışığı ile beslemek demektir. Bu da düşey pencerelerde olduğu gibi gökten gelen ışınlarla yerden gelen dış yansımış bileşenin eklenmemesi demektir.

- İçeri alınan her ışın birden fazla yansımaya ihtiyaç duymadan içeriye ulaşmaktadır. Bunun sonucunda; gün ışığı, enerji kaybına fazla uğramadan odanın arka kısımlarına ulaştırılabilmektedir.
- Yapılan deneyler sonucunda; Anidolik Tavan sisteminin, yerleştirildiği odanın arka kısmında gerçekleşen gün ışığı faktörlerinde 1.7 oranında artışa neden olduğu ortaya çıkmıştır. Bu gün ışığı faktörlerindeki bu gelişme sonucunda aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinde üçte birlik bir azalma gerçekleştiği gözlenmiştir.
- Gün ışığı faktörlerindeki bu artış, kapalı gök koşullarında daha fazladır. Bilgisayar simülasyonlarında; sistemin, yerleştirildiği cephenin önünde 40°'lik bir engel olduğu zaman, odanın arkasındaki gün ışığı faktörünü üç katına çıkardığı ve ufuk çizgisinin bulutsuz olması durumunda da, enerji tasarrufunda sağlanan değerleri ikiye katladığı ortaya çıkmıştır.
- Yapılan görsel konfor ölçümleri, anidolik tavanların yüksek kalitede görsel konfor sağladığı ortaya çıkmıştır [10].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Anidolik tavan aşağıdaki prensiplere göre tasarlanmıştır:

- Gün ışığını tüpün girişinde toplamak ve odaklamak için ışık kılavuzunun önüne yerleştirilmek üzere bir anidolik gün ışığı toplayıcısı tasarlanmıştır.
- Görsel konforsuzluğu önlemek için tüpün arka ucuna da başka bir anidolik eleman yerleştirilmiştir.

Gök yüzü ışık kaynağı olduğunda, gök parıltısı anidolik tavanın performansı için önemli hale gelir. Kapalı gök koşullarında gök parıltısı düşük olsa da, içeride istenen gün ışığı aydınlık seviyelerinin elde edilmesi için bu sistemlerin performansı yeterlidir [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufu :

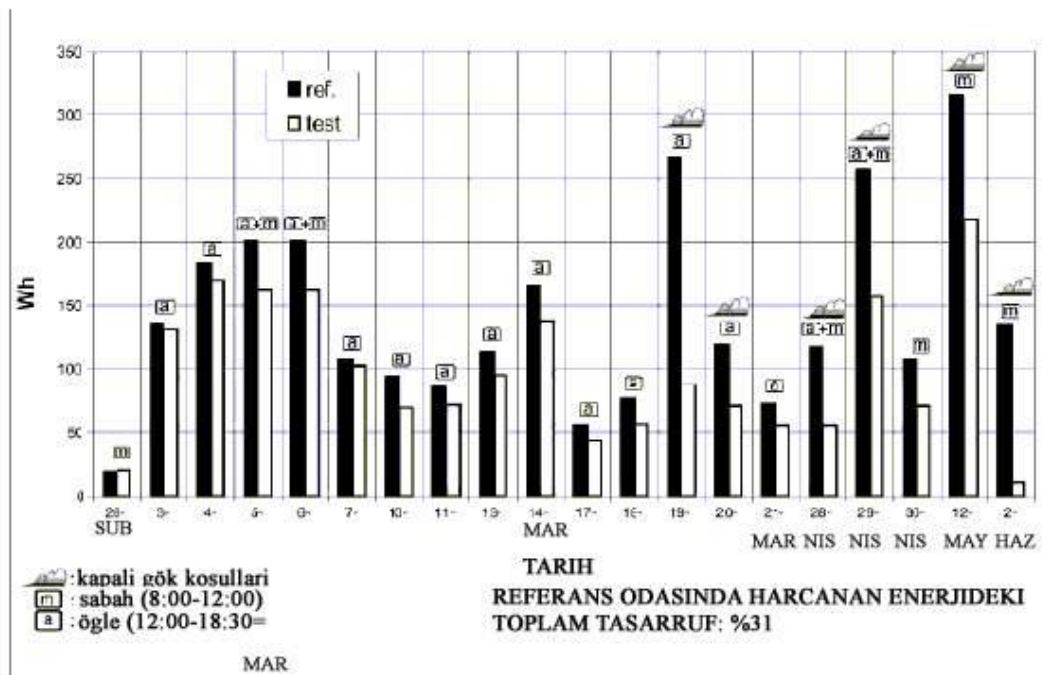
Anidolik tavan sistemi, cephede optik toplayıcı sistemini ve ışığı içeride yayıcı düzlemi oluşturmak için, belirli bir ilk yatırım maliyeti gerektirmektedir.

6.6 m derinliği olan birbirinin aynı iki deney odasında elektrik aydınlatması için harcanan enerji tüketimi gözlenmiştir. Bu iki oda da dimmerlenebilir flüoresan lambalar ve asma aydınlatma aygıtları (iki sıra iki adet 36 w flüoresan bulunan

aygıtlar) bulunmaktadır. Odalardan birine anidolik tavan sistemi kurulmuş ve diğerine geleneksel bir pencere yerleştirilmiştir. Her iki cephe de gölgelenmemekte ve gözlem boyunca kuzeye doğru yönlendirilmiştir. Odalarda, pencereden 5 m uzakta $300 \text{ lux} \pm \%15$ 'lik bir aydınlık düzeyi, ayarlanabilir ışık kontrol sistemi ile sağlanmaktadır. Tablo 3-4'te odalarda harcanan enerji miktarlarını gösterilmektedir. Anidolik tavan bulunan test odası yapay aydınlatma için, 6.6 m lik derinliği olan referans odasından $\%31$ daha az elektrik enerjisi kullandığı görülmektedir. Daha derin bir odada sağlanacak olan enerji tasarrufları daha fazla olacaktır. Bu gözlem sonuçları, gün ışığı aydınlatmasında İsveç metodunu kullanan bu teknoloji için hesaplanan aydınlatma tasarrufları tablolarına uyum göstermektedir. Bu tablolarda yıllık aydınlatma tasarrufu $\%30$ olarak hesaplanmıştır. İsveç metodu, içeride sağlanan gün ışığı faktörü değerlerine göre, istenen aydınlık düzeyini sağlamak için gerekli olacak ek aydınlatmada kullanılacak elektrik enerjisinin, istatistiksel olarak hesaplanabilmesini sağlamaktadır.

Bu tabloda yer alan değerler, elektrik aydınlatmasının tam otomatik sistemle ve kullanıcıdan bağımsız olarak kontrol edildiği (örnek; gün ışığına duyarlı ayarlanabilir kontrol) düşünülerek hesaplandığı unutulmamalıdır.

Tablo 3-4: Şubat haziran ayları arasında, test ve referans odalarında gözlenen aydınlatma enerjisi tüketimini gösteren grafik. Her iki odada aynı ayarlanabilir kontrol sistemi (dimming control) bulunmaktadır [3].





Şekil 3-22: İki gün ışığı aydınlatma modülünün ön görünüşü. Öndeki anidolik tavan olan test odası; arkadaki çift camlı ve güneşliklerin kapalı olduğu referans odasıdır. Bu güneye bakan, gölgelenmiş düzenek test sonuçları için kullanılmamıştır [3].

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

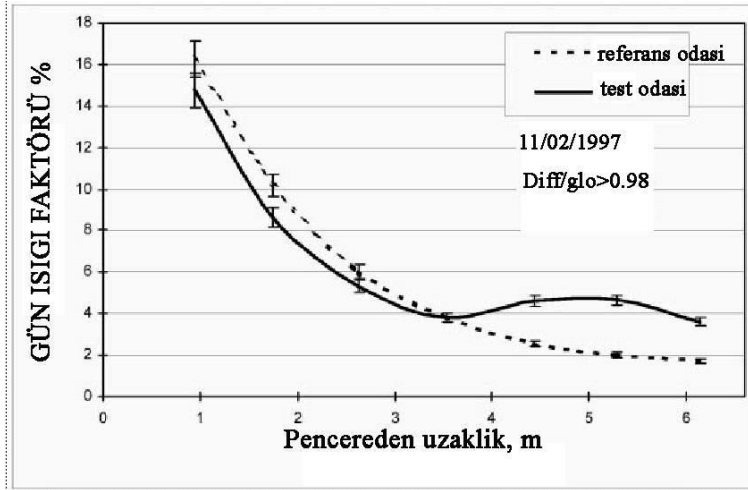
Bu sistemle ilgili aşağıda iki örnek verilmektedir: a. Demona Gün ışığı aydınlatma sistemleri; b. Leso, deney amaçlı binası.

a. Örnek: Demona Gün Işığı Aydınlatma Sistemleri:

İsviçre’de hazırlanan DEMONA gün ışığı aydınlatması test odaları 1:1 ölçeğinde bir birinin aynısı iki ofis test odasıdır. Odaların, fotometrik özellikleri ($\rho_{\text{duvar}}=0.80$, $\rho_{\text{tavan}}=0.80$, $\rho_{\text{döşeme}}=0.15$; ρ :ışık yansıtma çarpanı) ve ölçüleri (3.05 x 6.55 x 3.05 m) birbirinin aynısıdır. Her iki odada gölgeleme elemanı yoktur. Şekil 3-22’de dönen bir platformun üzerine yerleştirilmiş, kuzeye bakmakta olan bu iki ofis odasının ön görünüşü görülmektedir. Anidolik sistem giriş ünitesinde, ısı kaybını önlemek için yalıtılmış çift cam (ışık geçirme çarpanı: 0.81) kullanılmaktadır. Giriş ünitesi, göğün üst kısımlarından(göğün, parıltısı en yüksek bölümünden) gelen ışınlar için daha uygun giriş açıları sağlaması amacıyla 25° açıyla durmaktadır. Sistemin dışarıda yer alan tüm elemanları oluşabilecek ısı köprüleri ve yoğuşma olaylarına karşı yalıtılmıştır. İçerideki çıkış ünitesine, bakımının kolaylığı açısından, tek kat saydam plastik bir panel yerleştirilmiştir.

Kapalı gök koşulları altında, test odasında pencereden 5 m uzaklıkta, çalışma düzlemi üzerinde ölçülen gün ışığı faktörü, referans odasında ölçülenin iki katından

fazladır (Şekil 3-23). Odaların arka kısımlarında, ortalama gün ışığı faktörü 1.7 kat artış göstermektedir. 40° engel açısının bulunduğu kentsel çevrede, bu artış 2.8. kata ulaşmaktadır. Anidolik sistemin dışarıya doğru yaptığı çıkıntı, odanın önündeki aydınlık düzeylerini düşürerek gün ışığı dağılımı düzgünlük oranının iyileştirilmesini sağlamaktadır. [CIE'nin belirlediği düzgünlük oranı (uniformity ratio) 0.3'ten 0.6'ya kadar gitmektedir.



Şekil 3-23: İsviçre'deki DEMONA test odasına yerleştirilen anidolik tavanın odada sağladığı gün ışığı faktörü değerleri [3].

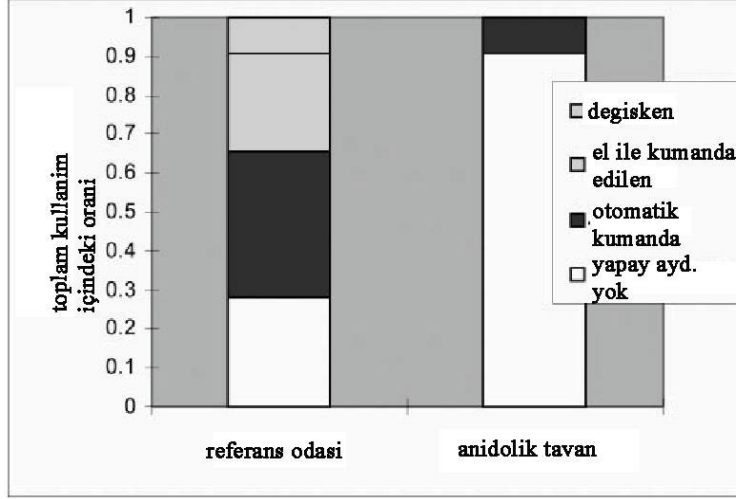
Aydınlatma performansı üzerinde yapılan çalışmaya ek olarak; her iki odada 33 denek üzerinde yapılan testlerde insan etmeni araştırılmıştır. Bu çalışma için her iki oda da güneye doğru döndürülmüştür. Bu yönlendirme yapılırken, modüllere girebilecek olan direkt güneş ışığına bağlı kamaşma olasılıklarının da incelenmesi düşünülmüştür. Her iki odada kullanılan eşyalar da aynıdır. Çalışma düzlemi odanın arka kısmında, pencereden 5 m uzaklıkta oluşturulmuştur. Çalışma düzlemlerin yönü, kullanıcıların görüş aksı pencereye paralel olacak şekilde seçilmiştir. Kullanıcıların, yapay aydınlatmayı değişik düzeylerde ayarlayabilmesi sağlanmıştır. Yapılan testlerde; üç değişik kriterde üzerinde durulmuştur:

- Siyah- beyaz yazılı metnin okunma doğruluğu
- Bilgisayar ekranından okuma doğruluğu
- Kullanıcı algılaması

Metin okuma doğruluğu testi sonuçlarına göre; anidolik sistemin olduğu test odasındaki bir denek, referans odasındakinden ortalama %38 daha fazla okuma hatası yapmaktadır. Denekler tarafından belirlenen gün ışığı/yapay ışık seçimi

göstermektedir ki; anidolik sistemin olduğu odada genellikle gün ışığı ışık kaynağı olarak tercih edilirken (Tablo 3-5), diğer odada kullanıcılar çeşitli elektrik aydınlatma stratejileri kullanmaktadır.

Tablo 3-5: Anidolik tavan yerleştirilen test odasındaki elektrik aydınlatmasının kontrolün değişik tiplerinin toplam kullanımdaki oranlarını gösteren tablo [3].



Bilgisayar ekranından okuma doğruluğu testi; test odasında, bilgisayar ekranındaki bir rakamı okumak için gerekli olan parlıltı kontrastının, referans odasına göre %10 daha az olduğunu göstermektedir. Bu eğilim görsel konfor üzerinde yapılan değerlendirmelerle kesinleştirilmiştir. Buna göre; görsel performanstaki bu gelişme, test odasında yer alan bilgisayar ekranı ile onun çevresi arasında daha uygun bir parlıltı oranının sağlanması sonucudur.

Kullanıcı algılaması üzerine yapılan anket iki odada algılanan görsel atmosferin karşılaştırılmasında esas alınmıştır. Çalışma sonucunda:

- Test odasının görsel atmosferi daha parlak olarak algılanmıştır.
- Test odasındaki renkler, referans odasındaki ile aynı olmalarına karşın daha sıcak bulunmuştur.

Anidolik sistem geleneksel bir pencere sistemine göre daha gelişmiş bir gün ışığı dağılımı kontrolü sağlamaktadır. Ölçümler kapalı gök koşullarında yapıldığı gibi güneşli gök koşulları altında da yapılmıştır. Bu durumda; referans odası penceresi ve anidolik sistem giriş ünitesine güneşlik çekilerek güneş kontrolü sağlanmıştır. Ofislerin arka kısımlarında yapılan parlıltı ölçümleri göstermektedir ki:

- Anidolik tavan, tavanlarda ve duvarlarda daha düzgün bir parıltı dağılımına katkıda bulunmakta; böylece, çalışma düzleminde algılanan aydınlatılmış çevreyi bir miktar geliştirmektedir.
- Anidolik tavan tarafından içeri alınan ek gün ışığı akımı, çıkış ünitesi çevresinde görüş alanındaki parıltı oranını geliştirmektedir.

Bu iki etki, basılı metinden ve bilgisayar ekranından okuma için gerekli görsel konfor koşullarını fark edilir şekilde arttırmaktadır.

Sonuç olarak; anidolik tavan ofisin arka kısımlarına ek gün ışığı sağlayarak; odanın önünden arkasına doğru tüm aydınlık düzeylerini ve parıltı dağılımı düzgünlüğünü geliştirmektedir. Sistem tarafından sağlanan mutlak değerler (kapalı gök koşullarında pencereden 4-6 m uzaklıkta % 4'ten daha fazla bir gün ışığı faktörü sağlanmaktadır) yandan aydınlatma sistemlerinin çoğundan daha iyidir.

Uygun elektrik aydınlatması kontrol sistemleri ile birlikte kullanıldığında bu sistem, özellikle kapalı gök koşullarının baskın olduğu iklimlerde, önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Kullanıcılarla yapılan çalışmalar, kullanıcılar için üretkenlik ve görsel konfor demek olan geliştirilmiş çalışma ve aydınlatma koşullarını göstermektedir [3].

b. Örnek: LESO, Deney Amaçlı Binası, İsviçre

LESO güneş enerjisi ile ilgili deneyleri amaçlayan bina, içerisinde Güneş Enerjisi ve İsviçre'nin Lozan Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği Laboratuvarı araştırma görevlilerinin kaldığı, orta ölçekte ve mesken olmayan bir binadır. Bina 1980-1981 yıllarında enerji korunumu ve pasif güneş enerjisi tasarım ilkelerine göre yapılmıştır. Binanın dış kabuğu ısı kaybına karşı çok iyi yalıtılmıştır. Bina güney cephesinde yer alan ve kış aylarında pasif güneş enerjisini toplayan saydam alan 200 m^2 'dir. Cephe 1998-1999'da tamamen yenilenmiştir. Güney cephesinde, mevcut pencereler çift camlı pencere sistemi ($U= 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$) ile değiştirilmiş, binanın üç katına 25 m uzunluğunda, yukarıda anlatılana benzer anidolik toplayıcılar yerleştirilmiştir (Şekil 3-24). Üst ve alt pencereler, gerektiğinde güneş kontrolü ve gölgeleme sağlamak amacıyla güneşliklere sahiptir. Binanın derinliği 4.5 m'den az olduğu için ışık tüpü düşünülmemiştir. Bunun yerine; toplayıcıdan gelen yaygın gün ışığı, tüpün içine gönderilmeyip tavana doğru yönlendirilmiştir. Kapalı gök koşulları altında, cepheden 3.5 m uzaklıkta % 2'lik bir gün ışığı faktörü sağlanmıştır. Bu değer daha geleneksel

bir cephe sistemine göre karşılaştırılabilir bir değerdir fakat buradaki sistem, geleneksel bir cephe sisteminin sağlayabileceğinden daha yaygın bir gün ışığı dağılımı sağlamaktadır [3].



Şekil 3-24: LESO deney amaçlı binasının yenilenmiş cephesinden bir görünüş [3].

3.2.2. Çatıya Yerleştirilen Anidolik Sistemler-(Anidolic Zenithal Openings)

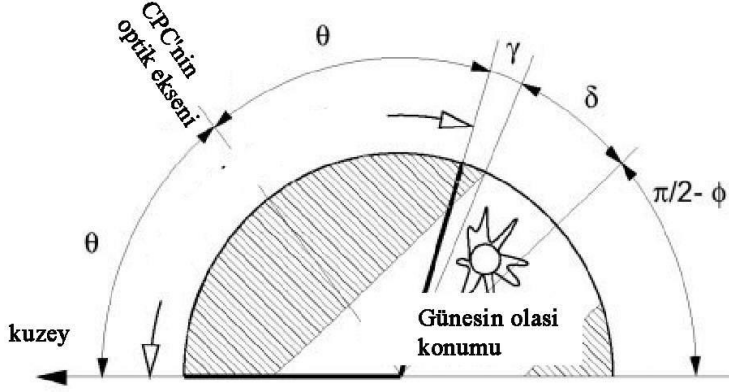
Anidolik tepe açıklıkları (Anidolic Zenithal Openings), “görüntü oluşturmeyan optiğe” dayalı gün ışığı aydınlatma sistemleridir. Açısal seçici bu anidolik araç, göğün büyük bir bölümünden yaygın gün ışığını toplamak için kullanılmaktadır. Bunu yaparken direkt güneş ışığını içeri almaması istenen bir özelliktir. Bu çeşit gök ışığı sistemi en iyi, tek katlı binalarda, atrium mekanlarında veya çok katlı binaların son katlarında kullanılmaktadır [3].

Anidolik yansıtıcılar çatı açıklıkları için doğal aydınlatma sistemi tasarımına uygulandığında ilginç özellikler sunar. Güneş ışığı nüfuzunu dışarıda tutarken gün ışığı dağılımını optimize etmek için giriş elemanı kuzeye doğru çevrilmelidir [2].

Teknik Tanımı

Anidolik tepe açıklığı sistemi optik odaklayıcı bir eleman ve dağıtıcı bir elemandan oluşur. Odaklayıcı, doğrusal, iki boyutlu, görüntü oluşturmeyan ve uzun olan aksı doğu-batı doğrultusunda olan birleşik parabolik toplayıcıya dayanmaktadır. Açıklık kuzey yarı küredeki yerler için kuzeye doğru yönlendirilmiş ve ışığı aldığı sektör, kuzey ufku ile güneşin güney gök yüzündeki en yüksek konumu arasındaki tüm göğü içerecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3-25’te gösterildiği gibi güneş hiçbir zaman, ilk bahar ve sonbahar ekinoksları arasında günün başlangıcı ve bitişi hariç, kabul

sektöründen içeri girmez. Güneşten korunması için araç üzerine 0.5 m ara ile yerleştirilmiş bir seri dikey latalar ile tamamlanmıştır [3].



Şekil 3-25: 47° kuzey enlemi için tasarlanan Anidolik Zenital Toplayıcının kabul sektörünü gösteren şema. ϕ : enlem, δ : güneşin bulunduğu en yüksek nokta (23.5°), γ : güneşin yakınındaki parıltısı yüksek gök parçasından gelebilecek ışığı reddetmek için seçilen tolerans açısı [3].

Amaçları

Bu sistemlerin çoğu açık veya ortalama gök koşullarında gök ışığını yakalamak ve direkt bileşenlerini tavanın pencereye yakın olan kısmına doğru yönlendirmek için bir pencere açıklığının üst kısmına düzgün bir şekilde yerleştirildiklerinde gerçek kabiliyetlerini göstermişlerdir. Bununla birlikte Orta Avrupa’da kışın kapalı gök koşulları baskın olduğundan bu özellik aydınlatma için en fazla enerji tüketilen yılın bu bölümü için kullanılamaz.

Gök kubbeden gelen yaygın ışık ışınlarının yeniden yönlendirilmesi ve verimli bir şekilde toplanmasını başarmak son önemli hedef olarak kalır. Bu, bulutlu gök koşullarının baskın olduğu Orta Avrupa iklimsel koşulları için uygun olacak gün ışığı aydınlatması sistemlerinin gelişimi için anahtar bir adımdır.

Güneş toplayıcılarındaki uygulamaları ile çok iyi tanınan “görüntü oluşturmeyan optik” yukarıdaki hedefleri amaçlayan gün ışığı aydınlatma sistemleri için yeni bir tasarım yaklaşımı için kullanıldı [9].

İlk geliştirilen anidolik aygıtların tek hedefi odanın derinliklerine gün ışığını ulaştırmaktı. Burada bahsedilen sistem de ise temel fikir anidolik optiği,

- Olabildiği kadar gün ışığı toplamak

- Görsel konforu optimize etmek
- Hareketli parçalar olmadan güneşin konumu ne olursa olsun güneşten yeterli korunma sağlamak için kullanmaktır [11].

İşlevleri

Pencere üstlerine, görüntü oluşturmeyan optiğin ilkelerine göre tasarlanmış aynasal yansıtıcılardan oluşan Anidolik zenital toplayıcı yerleştirilmesi yeni bir kavramdır. Bu araç güneş radyasyonundan, hareketli parçalar kullanmadan korunmayı beraberinde getiren bir sistemdir. Bu özelliği, bir model üzerinde yapılan testlerle desteklenmiştir. Sayısal simülasyonlar, bu tip bir sistemin, testere dişli çatılara göre iki kat daha fazla gün ışığı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu performans, geçirgenlik oranı %58 olan ve dağıtıcı saydam yüzeyle kaplanmış yatay bir aygıtın performansına eşdeğerdedir. Fakat o sistemden farklı olarak; direkt güneş ışığına bağlı aşırı ısınma, bu sistemde önlenebilmektedir.

Kuzeye bakan her tepe açıklığı gibi bu sistemin de; gök parıltısındaki, bulut hareketlerine bağlı, değişimlerden bağımsız gün ışığının mekanlara girmesini sağlama avantajı vardır. Fakat testere dişli çatıların tersine, bu araç kamaşmanın önlemekte ve görsel konforu arttırmaktadır. Bu yüzden; görsel konforun önemli olduğu, geniş iç mekanlarda (spor salonları, marketler, müzeler, v.b.) uygulanmaları yararlı olabilir [11].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

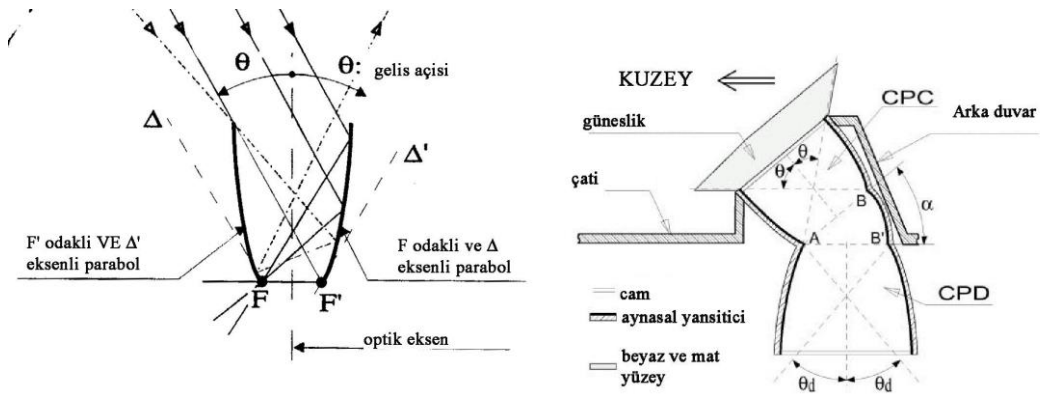
Burada anlatılan sistem, aynasal yansıtıcılardan yapılan iki boyutlu optik bir elemanla sınırlıdır. Bu elemandaki yansıtıcı yüzey, bir profilin boylamsal bir aks (longitudinal axis) üzerinde hareket ettirilesi ile oluşmaktadır. Bu aracın ana parçası birleşik parabolik toplayıcıdır (compound parabolic concentrator; CPC). Şekil 3-26'da gösterildiği gibi; bu parça, simetrik olan, bir çift aynasal parabolik yansıtıcı içermektedir. Bu yansıtıcılar; θ_c : kabul sektörü açısı aralığından, optik elemana giren tüm ışınların, tek bir yansıma yaparak içeri iletilmesini ve diğer ışınların geri yansıtılmasını sağlayacak biçimde yerleştirilmişlerdir.

Birleşik parabolik toplayıcının (BPT) kabul sektöründe uyguladığı seçicilik direkt güneş ışınlarının içeri girmesini önlemek için kullanılmaktadır. BPT'nin boylamsal aksı doğu-batı doğrultusunda yönlendirilmiş ve optik eleman kuzeye doğru

çevrilmiştir. Aygıt tasarlanırken kabul sektörünün, ufuk ve güneşin en yüksek konumu arasındaki tüm gök yüzünü içermesi düşünülmüştür. Şekil 3-25'te görüldüğü gibi; güneş ilk bahar ve son bahar ekinokslarında sabah ve akşam saatleri hariç kabul sektörü içerisine girmemektedir. Şekil 3-25 ve 3-26'da gösterilen kabul sektörü ve döndürülme açıları şu formülle verilmektedir:

$$\theta = (\pi/2 + \phi - \delta - \gamma)/2; \alpha = \pi/2 - \theta$$

Bu formülde; θ : kabul sektörü açısı; enlem; δ : güneşin bulunduğu en yüksek nokta; γ : tolerans açısı; α : döndürülme açısıdır. Şekil 3-26'da gösterilen örnekte, bu değerler; ϕ : 47° , θ : 23.5° , δ : 23.5° , γ : 13.5° , α : 40° dir.

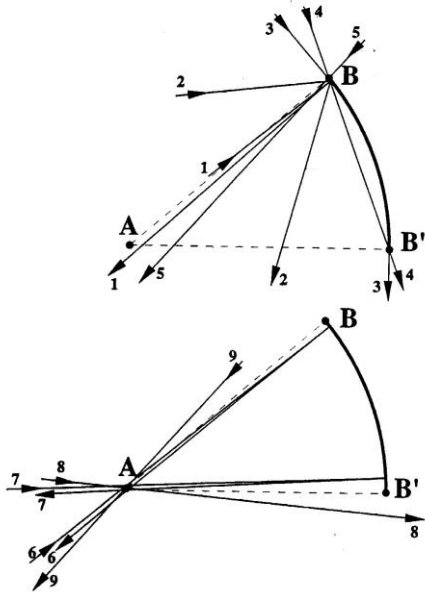


Şekil 3-26: Birleşik parabolik toplayıcının (solda) ve anidolik zenital açıklığın (sağda) kesitleri [11].

Işınlr, BPT'nin çıkış ünitesinin her noktasından, 2π steradyanlık bir açı ile çıkmaktadırlar. BPT'nin benzeri olan fakat tam tersi bir şekilde çalışan, bir birleşik parabolik dağıtıcı; BPD (compound parabolic deconcentrator; CPD) ışınları odaya yayması için aygıtın çıkış noktasına koyulmuştur. Bu parça optik aksı aşağıya doğru gelecek şekilde, şekil 3-26'da düşey olarak yerleştirilmiştir. BPT ile BPD arasındaki bağlantıyı silindirik bir yansıtıcı sağlamaktadır. Şekil 3-27'de görüldüğü gibi; aradaki bağlayıcı elemanın giriş kısmından [A,B] gelen ışınlar, çıkış kısmından [A,B'] dışarı çıkmaktadır; böylece aradaki bağlayıcı eleman, geometrik konfigürasyonu korumaktadır.

Birleşik parabolik dağıtıcı; BPD θ_d : 40° 'lik bir çıkış açısı ile tasarlanmış ve ünitenin uzunluğunu sınırlamak için yansıtıcılar 45° 'de kısaltılmıştır. Şekil 3-26'da şematik olarak gösterilen bu aygıtın, tamamına Anidolik tepe açıklığı (Anidolic Zenithal Openings) denmektedir. Yansıtıcılar aynasal alüminyum kaplama (ışık yansıtıcılık

çarpanı, $\rho=0.9$) ile kaplanmış ve bu yüzeyleri kirden korumak için giriş ve çıkış üniteleri iki basit cam levha (ışık geçirgenlik çarpanı, $\tau_r=0.9$) ile kapatılmıştır [11].



Şekil 3-27: Aradaki bağlayıcı elemanın uç noktalarından [A, B, B']geçen ışınlar [11].

Maliyet ve Enerji Tasarrufu

Ilıman iklimlerde kapalı gök koşulları; kış, ilk bahar ve son bahar aylarında görülmektedir. Bu koşullar altında; aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinde yapılması gereken tasarruf için, mekan içinde yeterli bir gün ışığı faktörü sağlanması gereklidir. Bununla birlikte; ışık iletiminin optimizasyonu ve verimliliğinin görsel ve ısısal konfor açısından bir önceliği yoktur. Anidolik tepe açıklıkları (Anidolic Zenithal Openings), iki tip çatı ışıklığı sistemi: yatay, ışık yayıcı camlar ve testere dişli çatı ışıklıkları ile bilgisayar simülasyonları yardımıyla karşılaştırılmıştır. “Gün ışığı özerkliği” değişik boşluk oranları ve ortalama yatay aydınlık düzeyleri için bu üç sistemde hesaplanmıştır. “Gün ışığı özerkliği”; kapalı gök yüzünün parıltısının, elektrik aydınlatmasının çalışma saatleri içinde (8:00-18:00) kapatılmasını sağlayacak kadar, yüksek olduğu zamanın diliminin yüzdelik oranıdır. Sonuçlar tablo 3-6’da verilmiştir. %50’lik gün ışığı özerkliği ile birlikte, 500 lux’lük aydınlık düzeyini sağlamak için üst pencereler için %30 bir boşluk oranına ihtiyaç vardır. Aynı durum için anidolik tepe açıklıklarının ihtiyaç duyduğu boşluk oranı sadece %15’tir. Açık gök koşulları altında ve yarı ılıman bir iklimlerde; %20’lik boşluk oranı ile bu sistem kullanıldığında, binanın kullanıldığı saatlerin %79’unda, içerideki gün ışığı aydınlık düzeyi 500 lux’e ulaşmaktadır.

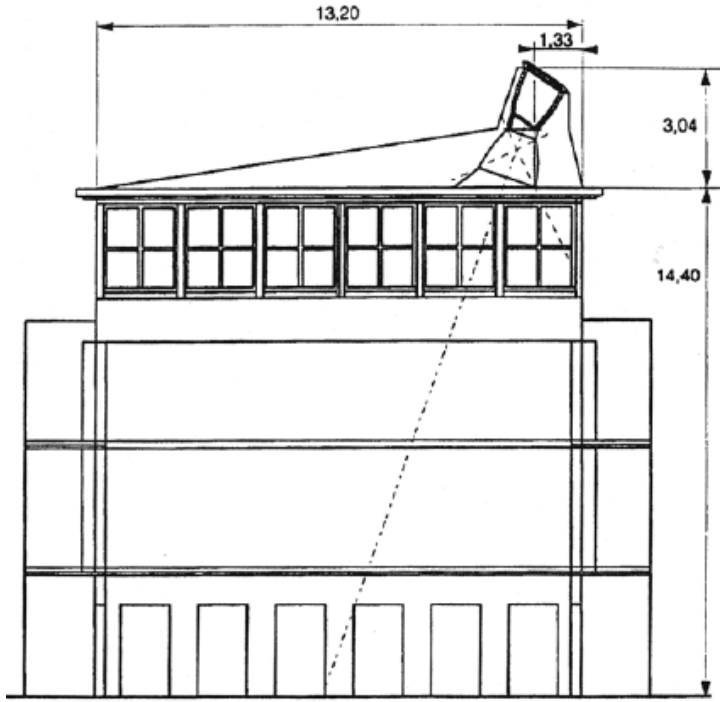
Tablo 3-6: “Gün ışığı özerkliği” (%) İsviçre’de kapalı gök koşulları altında yeterli gün ışığı olduğunda hesaplanmıştır. Boşluk oranı, saydam yüzey alanının tüm çatı alanına oranıdır [3].

Boşluk oranı %	10			15			20			25			30			35			40		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Güneşlikle örtülmüş	10	0	0	45	5	0	60	25	0	65	40	5	75	50	20	80	60	35	82	65	45
Güneşlikle örtülmemiş	30	0	0	60	25	0	70	45	10	80	60	30	82	65	45	84	72	55	85	75	60
Anidolik sistem	55	20	0	74	52	25	82	65	45	85	75	65	87	80	65	88	82	72	89	84	75
Aydınlatma ihtiyacı: A= 300 lux; B= 500 lux; C= 750 lux																					

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

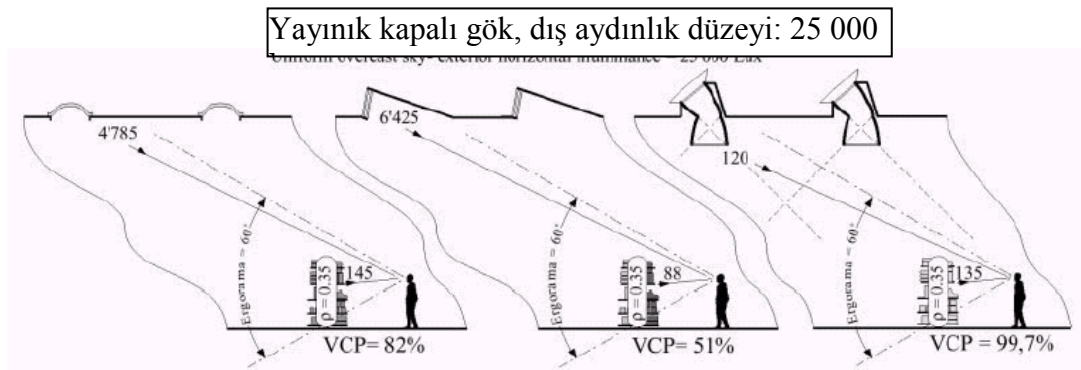
Bir Anidolik Tepe Açıklığı sistemi (Anidolic Zenithal Openings), İsviçre’de Tessin Kantonu Arşivleri’nin yeni binasında bulunan atriuma yerleştirilmiştir. Sistemi çatıya yerleştirirken, açıklık doğu-batı doğrultusuna bakmadığı için, sistemde çeşitli değişiklikler yapılmıştır. Şekil 3-28’de görülen kesitte sistemin bütün oranları görülebilmektedir. Binanın orijinal tasarımında, gün ışığı atriuma, sadece, atriumun üst kısmına yerleştirilen düşey pencerelerden girebilmektedir. Anidolik tepe açıklığının binaya yerleştirilerek, boşluk oranı yalnızca % 11 arttırılırken, atriumun altındaki mekandaki yatay aydınlık düzeyi % 64 arttırılmıştır.

Bu mimari tasarım çalışmasının yanı sıra, anidolik sistemin 10 x 15 x 7 m boyutlarındaki bir test odasına potansiyel uygulamalarını incelemek için sayısal simülasyonlar hazırlanmıştır. Bu simülasyonlarda anidolik sistem iki değişik sistemle karşılaştırılmıştır: düşey üst pencereler ve gök ışıklıkları. Simülasyonlar sonunda; bir anidolik tepe açıklığının, benzer boyutlara sahip düşey üstte yer alan pencerelerin sağladığı yatay aydınlık düzeyinin iki katını sağladığı; anidolik sistemin gün ışığı performansının, 0.58 ışık geçirgenlik çarpanına sahip, gün ışığını yayan yatay gök ışıklığının performansına ile eşit olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte; geleneksel çatı ışıklığı sistemlerinin aksine, anidolik tepe açıklığı direkt güneş ışınlarından kaynaklanan aşırı ısınmayı önlemektedir.



Şekil 3-28: Tessin Kantonu Arşivleri binasının anidolik tepe açıklığı sisteminin eklendiği atrium kesiti [3].

Anidolik tepe açıklığı tavan seviyesinde, aşırı kamaşma yaratmadan gerekli parlıtlı değerlerini sağlayabilmektedir. Örneğin; şekil 3-29’da görüldüğü gibi, 120cd/m^2 ’lik parlıtlıya sahip bir anidolik tepe açıklığı, çalışma alanında kamaşmaya neden olmamaktadır (kontrast oranı yaklaşık olarak 1’dir). Yatay gök ışıklığının ve testere dişli çatı ışıklıklarının parlıtlı oranları ise; çalışma alanı çevresinde ölçülen parlıtlı oranlarından, sırasıyla, 30 ve 70 kat fazladır.



Şekil 3-29: Alternatif üç çatı ışıklığı tasarımı için, görsel konfor olasılıklarının gösterildiği şematik kesitler (parlıtlı değerleri cd/m^2 birimindedir) [3].

3.3. Prizmatik Paneller

Prizmatik elemanlar 50 yılı aşkın süredir binalarda yayınlık gök ışığını yönlendirmek için kullanılmaktadır. Bugünlerde bu elemanlar güneş ışığını yönlendirmek için de kullanıldıkları gün ışığı aydınlatma sistemleri ile özdeşleşmiştir [2].

Prizmatik paneller ince, düzlemsel, testere dişli yapısı olan; saydam akrilikten imal edilen, ılımlı iklim bölgelerinde gün ışığını yönlendirmek ve kırarak yansıtmak için kullanılan araçlardır. Bu panellerin bir çok uygulama şekli vardır: sabit veya güneşi takip eden sistemlerde kullanılabileceği gibi cephede veya çatı ışıklığında kullanılabilmektedir [3].

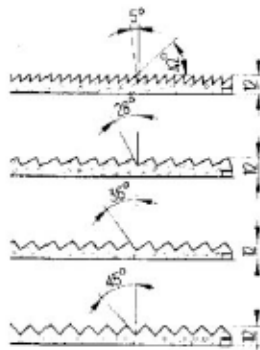
Teknik Tanımı

Prizmatik elemanlar saydam akrilik malzemeden yapılmaktadır. Bir yüzü düz, diğer yüzü prizmatik, testere dişli düzlemsel bir yapı olarak şekillenmiş elemanlardır. Dişlerin yüzeyleri arasındaki açılara göre çok çeşitli tiptedirler. Çok çeşitli tipleri piyasada mevcuttur: 25 x 25 cm lik boyutlarda 1 cm kalınlığında kare paneller olabileceği gibi esnek 1mm kalınlığında film tabakaları da olabilir [2].

Prizmatik paneller iki değişik yöntemle üretilmektedirler:

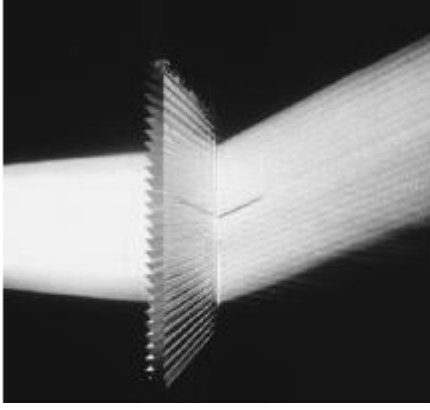
Enjeksiyon yöntemiyle kalıba dökülerek hazırlanan prizmatik paneller, dört değişik şekilde (Şekil 3-30) polimer akriliklerden üretilirler. Bazı paneller kısmen her prizmanın bir yüzeyi üzerine yansıtıcılığı fazla olan alüminyum film tabakası ile kaplanır.

Asitle taşlama işlemi ile bir milimetreden daha az aralıkta olan prizmalar üretilir. Sonuçta elde edilen ürün; iyi optik özelliklere sahip ve çok hafif akrilik bir film tabakasıdır. Bu film çift cam arasına yerleştirilebilir.



Şekil 3-30: Dört farklı kırılma açısına göre üretilen dört farklı prizmatik panel [3].

Prizmatik sistemler sabit veya hareketli olabilmektedir. Kullanıldıkları gün ışığı stratejisine göre pencere içine veya dışına yerleştirilebilirler. Sistemlerin cepheye ya da çatıya yerleştirilmeleri tamamen uygulamanın özelliğine bağlıdır. Bu panellerden dışarıyı görülebilir ancak görüş net değildir. Paneller açılabilir olsa da dışarıyı görebilmek için ek pencere gerekir.



Şekil 3-31: Düşey yerleştirilen prizmatik bir panelden süzülen ışık tavana doğru yönlendirilmektedir [3].

Amaçları

Prizmatik panellerin istenilen amacı yayınlık gök ışığını odanın derinliklerine ulaştırabilmektir. Buna ek olarak; bu paneller optik özellikleri sayesinde direkt güneş ışığının kontrolünü sağlamak için de kullanılmaktadır. Bu sistemler, göğün büyük bir kısmından gelen ışığı engellediği için yüksek gün ışığı faktörü değerleri sağlamaktan uzaktırlar. Bu yüzden kapalı gök koşullarının baskın olduğu iklimler için tavsiye edilmezler.

Kapalı gök koşullarında, tek camlı pencere bulunan odalarla karşılaştırıldıkları modellenmiş test odalarında yapılan ölçümler sonucunda; bu sistemlerin oda içindeki gün ışığı faktörlerinde çok az bir düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Bununla birlikte; simülasyon çalışmaları gösteriyor ki, yüksek engellerle çevrili bir yerleşimde, bu sistemlerin gök ışığını odanın derinliklerine ulaştırırken gün ışığı faktörünü de önemli ölçüde arttırabilmektedir [2].

İşlevleri

Prizmatik panellerin iki değişik işlevi vardır:

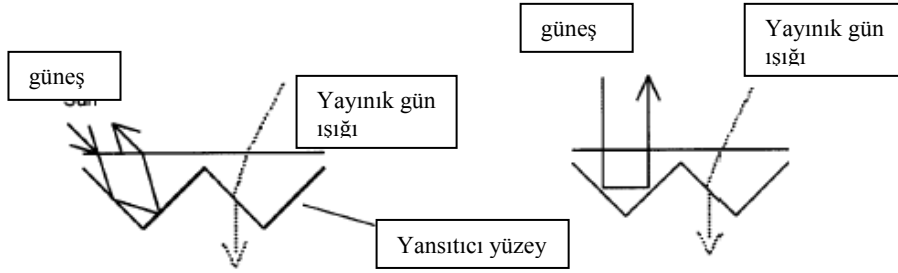
- Güneşi engellemek (gölgeleme)

- Gün ışığını yönlendirmek.

Bu paneller güneşten korunmak için sabit bir şekilde kullanılacaklarsa renk dağılımını önlemek için ek araçlar gerektirirler. Örneğin asitle taşlanmış (kısmen yayıcı olan) bir cam tabakası sistemin arkasına yerleştirilebilir.

Eğer mevcut prizmatik panel tasarımları güneş ışığını yönlendirmek için kullanılacaklarsa bir kısım güneş ışığını da aşağıya doğru yansıtarak kamaşmaya neden olabilir. Bilgisayar analizleri; yılın bazı zamanlarında, güneş ışığının düşey, sabit prizmatik paneller tarafından aşağıya doğru yönlendirilmesinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte; doğru profil açısı seçilir ve mevsime göre kontrol sağlanırsa, ışınların aşağıya doğru sapmasının önüne geçilebilir [3].

Şekil 3-32’de görüldüğü gibi direkt güneş ışınları prizmatik elemandan içeriye geçemezken yayıncı gök ışığı yönlendirilerek geçirilmektedir. Burada toplam iç yansıma olgusu kullanılarak güneş ışığının geri yansıtılması görülmektedir.



Şekil 3-32: Gün ışığının yaygın ve direkt bileşenlerinin; (solda) sabit bir prizmatik gölgeleme elemanındaki ve (sağda) hareketli bir prizmatik gölgeleme elemanındaki davranışının görüldüğü şematik çizim. Güneş ışınlarının yansımalarını çizmek için toplam iç yansıma teorisi kullanılmıştır [3].

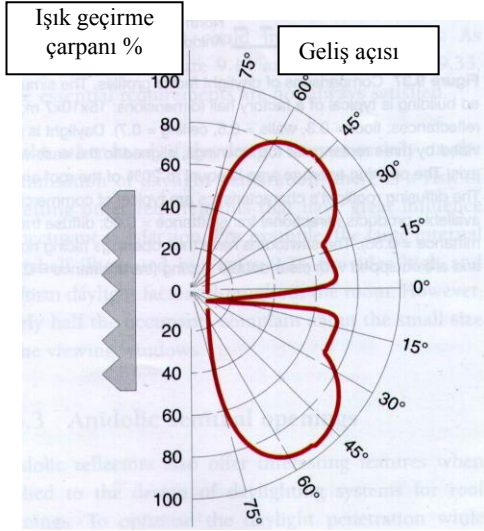
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Prizmatik paneller, iki fiziksel olgunun avantajına sahiplerdir. Panel içinde yolculuk eden ışınlar panelden ayrılmadan önce, bu iki olaya maruz kalabileceğinden; bunların hangi doğrultularda sistemden ayrılacağını gelişmiş bilgisayar programları olmadan tahmin etmek imkansızdır. Prizmatik paneller her türlü ışını yansıtma ve reddetme özelliğine sahiplerdir.

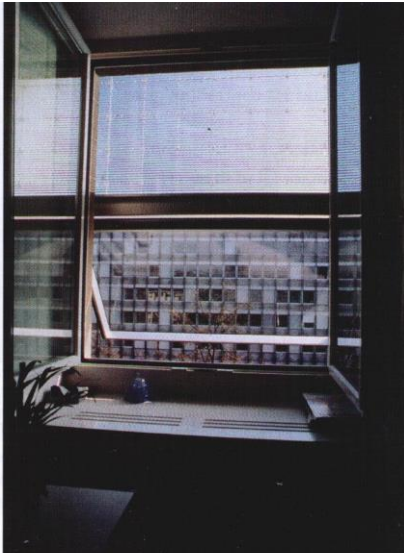
Örnek olarak şekil 3-33 prizma yüzeyleri 90° açıyla birleşen prizmatik bir paneli göstermektedir. Bu geometrisi yüzünden yüzeylere gelen 5° arası açıyla gelen her ışın, tüm yüzeylerde toplam iç yansımaya uğrar. Bundan dolayı, ışınlar yansımalar sonunda geldiği açı ile geri döner. Bu dar açı aralığında prizmatik panel, tam bir ayna

gibi davranır. Diğer açılarda gelen ışınlar yolları değişmesine rağmen çok iyi yönlendirilirler.

Bu özelliğinden yararlanmak için; prizmatik gölgeleme aracı tasarlanabilir. Şekil 3-34'te, böyle bir sistemin içten görünüşü gösterilmektedir. Pencerenin üst kısmı, arasına şekil 3-33'te gösterilen ile aynı tipte bir eleman yerleştirilmiş, çift camlı bir sistemdir. Prizmatik elemanın dişleri yatay olarak düzenlenerek bütün sistem yatay bir aks etrafında döndürülebilmektedir. Böylece sistem, güneşin konumuna göre ayarlanabilmektedir.



Şekil 3-33: Prizmatik bir elemanın doğrultusal geçirgenlik eğrisi [2].



Şekil 3-34: İsviçre'nin Basel şehrindeki CNA-SUVA ofis binasında, çift kademeli giydirme cephenin üst kısmına yerleştirilmiş bir prizmatik sistemin içten görünüşü. Sistem güneşe göre otomatik olarak kendi eksenini etrafında dönebilmektedir [2].

Gölgeleme özelliği sayesinde göğün büyük bir kısmından gelen ışınları engellemesine rağmen kapalı gök koşullarında, sistem önemli miktarda yayınlık gök ışığını içeri alabilmektedir [2]. Oda içindeki gün ışığı faktöründe artışlara sebep olamasa da içeride düzgün bir aydınlık düzeyi sağlamaktadır.



Şekil 3-35: CNA-SUVA binasının giydirme cephesinin dışarıdan görünüşü [2].

3.3.1. Pencere Üstüne Yerleştirilen Prizmatik Sistemler

Bu bölümde anlatılacak olan prizmatik sistemde, prizmatik levhalardan oluşan üçgen prizma bir ışık rafı kullanılmıştır. Bulunduğu konum ve çalışma şekli ışık rafınıninkilerle aynı olmasına rağmen, sistemde kullanılan malzemenin özelliklerinin daha iyi anlaşılması açısından, sistem bu bölüm altında incelenecektir.

Teknik Tanım

Sistem iki prizmatik panelden ve içerisinde yer alan bir aynadan oluşan hareketli olmayan bir sistemdir. İki prizmatik panel ve içerisinde yer alan bir ayna, yalıtılmış üçgen kesitli bir boşluk oluşturacak biçimde bir araya getirilmiştir. Prizmatik panellerin dışları içeriye doğru bakarken dışlar kenarları eşit değildir. Üstte yer alan panelin dışları birbirlerine dik açı ile bağlı iken yerleştirildikleri düzleme göre 36° ve 54° dedirler. İçeride yer alan panelin dışları birbirlerine 48° , panel düzlemine 42° açı ile yerleştirilmiştir. Bu panelin dışlarının üzeri aynasal, yansıtıcı alüminyum ile kaplanmıştır. Prizmatik iki kenar ve ayna olan üçüncü kenar, eşkenar bir üçgen oluşturmaktadır [12].

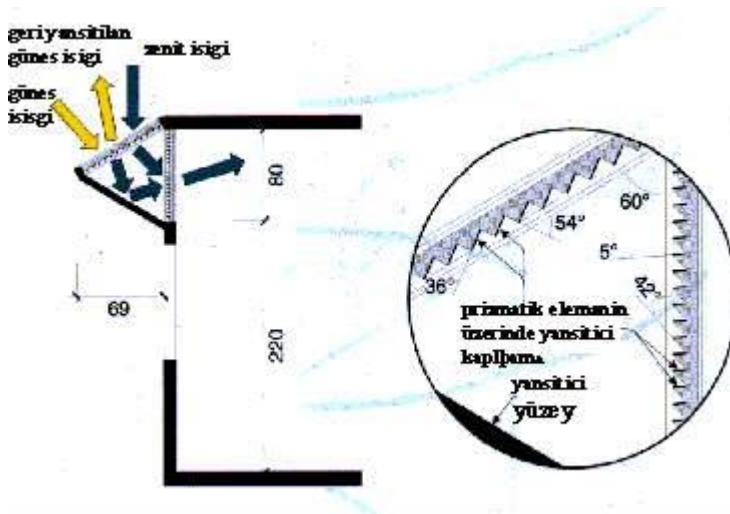
Amaçları

Sistemin amacı; düşük yükseliş açılarından gelen direkt güneş ışınlarının içeri alınmayıp, pencere normali ile yaptığı açı büyük olan gün ışığının tavana doğru yansıtılıp odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini arttırmayı sağlamaktır [2]. Böylece odanın içerisinde yayınlık bir gün ışığı aydınlatması sağlayarak aydınlatma kalitesini arttırmak sistemin başlıca hedefidir.

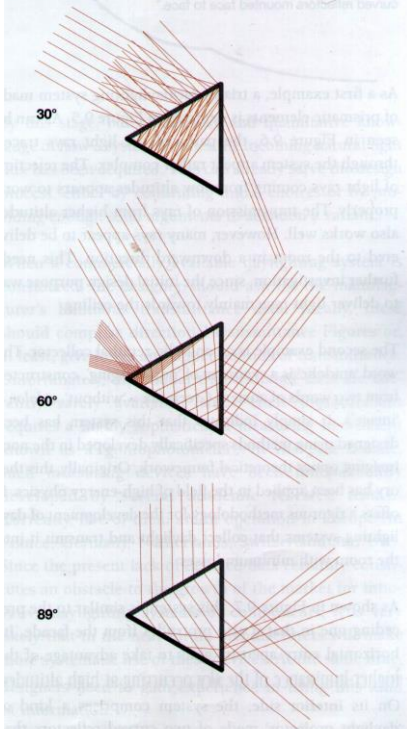
İşlevleri

Bilgisayar simülasyonları sonucunda bu sistemin, gerekli güneş kontrolünü sağladığı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, sistemin direkt güneş ışığına bağlı kamaşmayı önleyebildiği söylenebilir. Bununla birlikte; açıkça görülmektedir ki, sistem odanın arka kısımlarındaki gün ışığı aydınlatmasını aynı seviyeye getirememektedir. Sistem, hem yaz hem de kış aylarında, oda içine giren ışığın ve enerjinin miktarında azalmaya neden olmaktadır [12].

Şekil 3-37’de gösterildiği gibi sistemin kesit şemasında sisteme doğru çizilen ışınların yolları oldukça karmaşık görünmektedir. Dar açılarda gelen ışınların içeri alınmaması düzgün olarak çalışmakta, geniş açılarda gelen ışınların iletilmesi de iyi çalışmaktadır. Bununla birlikte bir çok ışın odaya aşağı yönde alınmakta olduğundan istenmeyen kamaşmalara sebep olabilir. Dolayısıyla; bu tasarımın amacı, ışınları tavana yönlendirmek olduğundan, bu tasarımın daha fazla araştırmaya ihtiyacı olduğu söylenebilir [2].

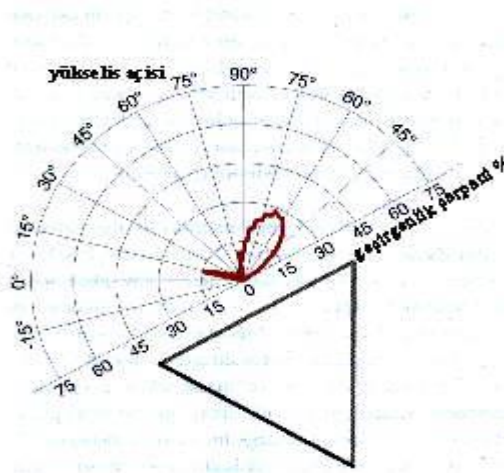


Şekil 3-36: Üçgen prizmatik ışık rafına gelen ışığın davranışını şematik olarak gösteren kesit [2].

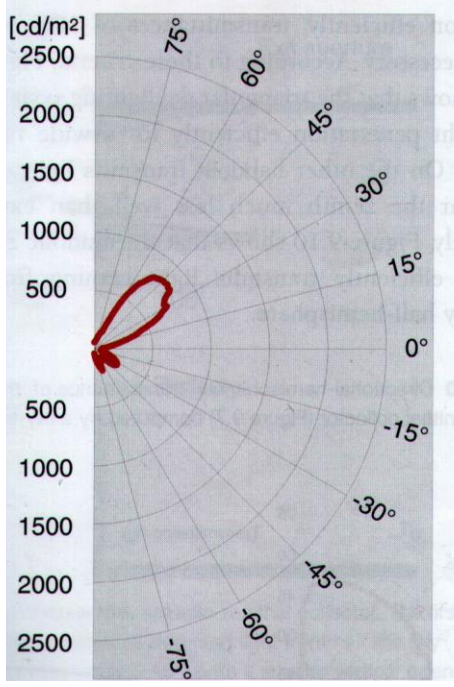


Şekil 3-37: üçgen prizmatik ışık rafına çeşitli geliş açıları için çizilen ışınların yönlendirildikleri doğrultular çok karmaşıktır. Bu tip bir çalışma ancak bilgisayar simülasyonu ile yapılabilmektedir [2].

Şekil 3-38’de, sistemin güneşin bulunduğu çeşitli yükseliş açılarına göre geçirgenliğini gösteren Yöne bağlı Yarı küresel Geçirgenlik Eğrisi yer almaktadır. Bu şekilde görüldüğü gibi, üçgen gün ışığı sistemi, geniş bir açı aralığında gelen güneş ışığını engellemekte başarılıdır. Bununla birlikte; sistem, zenite yakın açılarda gelen ışınları beklenildiğinden daha iyi geçirmektedir [2].

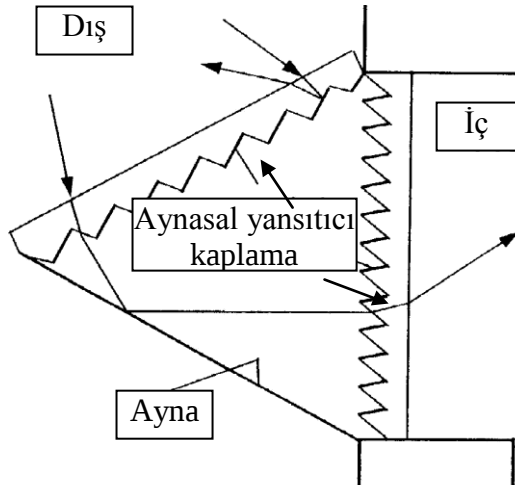


Şekil 3-38: Prizmatik ışık rafının üzerine doğru gelen gün ışığının yükseliş açısına bağlı olarak geçirgenlik çarpanının gösterildiği grafik. 50 ile 60 derece arasında gelen ışınlar için geçirgenlik çarpanı %30’a kadar değişmektedir. 15 derece için ise %15’tir. Diğer açılarda gelen ışınları geçirmemektedir [2].



Şekil 3-39: Prizmatik ışık rafının ışık yoğunluk eğrisi. İçeriye yönlendirdiği ışığın dağılım eğrisini gösteren bu şekilde; ışığın çoğunun tavana doğru yansıtıldığı ancak çok küçük bir bölümünün alt uzaya kaçtığı görülmektedir [2].

Şekil 3-39’da ise sistemin çıkış kısmından odaya doğru yayılan ışık yoğunluk eğrisi gösterilmektedir. Bu şekilden de anlaşılabileceği gibi sistem ilettiği ışığın büyük bölümünü amacına uygun olarak odanın tavanına doğru yönlendirmektedir. Ancak çok küçük bir bölümünü aşağıya doğru yönlendirdiği için bu açılarda görüş alanı içinde kamaşmaya neden olmaktadır [2].



Şekil 3-40: Prizmatik ışık rafı sisteminin iki prizmatik panelinin prizmalarının iç açıları ve baktıkları yönler farklıdır. İlki geniş açılı olup dışlar içe doğru yönelmektedir; ikincisinde ise dışlar dar açılı olup dışa doğru yönelmektedir. Dolayısıyla ilk panelden seçilerek gelen ışınlar alttaki aynadan yansıtıldığı ikinci panelden kırılarak içeri yönlendirilmektedir [12].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Cepheden dışarıya doğru çıkan prizmatik panel, üzerine gelen direkt güneş ışınlarını toplam iç yansıma olgusunu kullanarak geri yansıtırken(en geniş güneş yükseliş açısına kadar), geniş bir alandan gelen yoğun gök ışığını sistemden içeriye iletmektedir. Şekil 3-36 ve şekil 3-40'ta çalışma şekli görülen sistemin alt tarafında yer alan ayna, yukarıdaki prizmatik panelden geçirilen ışınları geldiği açıyla diğer prizmatik panele doğru yansıtmaktadır. Görevi aynadan yansıtılan ışınları, beyaz tavan yüzeyine yansıtmak olan ikinci prizmatik panelin dışlarının bir yüzü, bu görevi yerine getirmek için, alüminyum ile kaplanmıştır [12].

3.3.2. Pencerenin Camının Arasına Yerleştirilen Prizmatik Sistemler

Pencere camının üst kısmının prizmatik panelden oluştuğu bu sistemin Siteco firması tarafından geliştirilmiştir. Sistemin ölçümleri Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde yapılmıştır.

Teknik Tanım

Test odaları 2.9 m genişliğinde, 5.5 m derinliğinde ve 2.7 m yüksekliğindedir. Test odası penceresi, altta 2.2 m²'lik iki dikey pencere üzerinde iki adet 1 m²'lik tepe pencereden oluşmaktadır.

Prizmatik paneller, üstte yer alan pencerelerde iki cam panelin arasına yerleştirilmiştir. Prizmatik panel, pencere alanın %31'ini kaplamaktadır. Referans odasının gölgeleme elemanı olmayan bir penceresi vardır. Sonuçlar güneş pencere düzlemine dik doğrultuda olduğu zaman için hesaplanmıştır. Ölçümler Sandvika, Norveç'te kullanılmakta olan bir ofis binasında (59°N enleminde) yapılmıştır [3].

Tablo 3-7: Prizmatik panelin dört mevsimde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen aydınlık düzeyleri ve gün ışığı faktörleri [3].

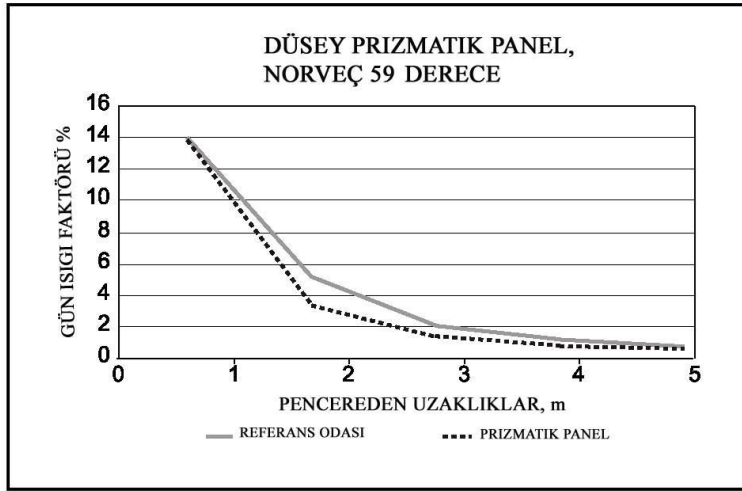
Prizmatik Panel, Norveç, 59°K	İç Aydınlık Düzeyi (% veya lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge		Evg	EvgS
Gözlem durumu ve zamanı	Test	Referans	Test	Referans	Test	Referans		
Kapalı Gök (GF %)	3.4 %	5.2 %	1.4 %	2.1 %	0.6 %	0.7 %	3.4	1.4
Kış, Açık Gök, 12:00	güneş	güneş	güneş	güneş	güneş	güneş	11.0	51.1
Bahar, Açık Gök, 12:00	güneş	güneş	güneş	güneş	1,410	1,640	38.4	90.8
Yaz, Açık Gök, 12:00	3,240	3,130	2,140	1,650	710	660	87.5	76.0

Amaçları

Sistemin amacı, odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini arttırmak ve oda genelinde yayınlık bir gün ışığı aydınlatması sağlamaktır. Sistemin, burada olduğu gibi penceresinin üstüne yerleştirilmesindeki amaç; dışarısının görülebilmesine imkan verirken geniş açılarda gelen direkt güneş ışınlarının kontrolünü sağlamaktır.

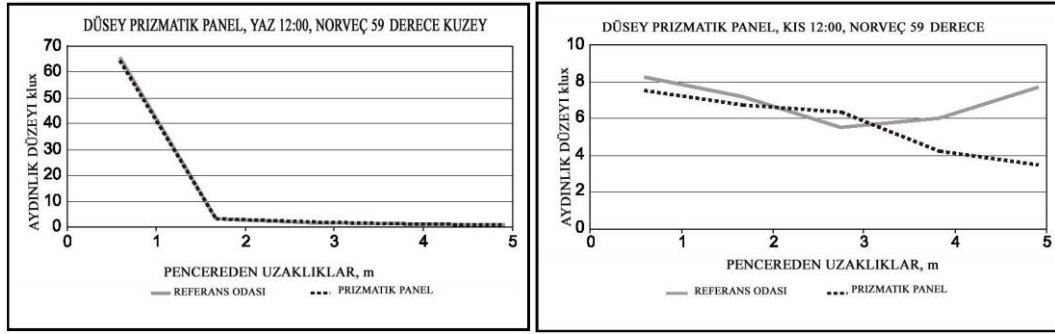
İşlevleri

Kapalı gök koşulları altında, prizmatik paneller test odasının her yerinde ölçülen aydınlık düzeylerini %20-%35 azaltmaktadır. Test odasındaki gün ışığı dağılımı referans odasına göre daha az düzgündür. Pencerenin üst kısmının parıltısı da azaltılmış olmaktadır.



Şekil 3-41: Düşey prizmatik panelin Norveç'te 59° kuzey enleminde, kapalı gök koşullarında test odasında sağladığı gün ışığı faktörlerinin odanın derinliklerine dağılımını gösteren grafik [3].

Yaz aylarında açık gök koşulları için; prizmatik paneller, kapalı gök koşullarına göre içeride daha düzgün bir gün ışığı dağılımı sağlamaktadır. Test odasının orta kısımlarındaki aydınlık düzeyi %30; arka kısımlarda ise ortalama aydınlık düzeyi %14 arttırılmaktadır. Referans odasında, güneş ışınları dar açıyla geldiği zamanlarda, direkt güneş ışığı odanın arka kısımlarına kadar ulaşmaktayken, test odasında, direkt güneş ışığının odanın arka kısımlarına gelmesi prizmatik panellerle azaltılmakta veya engellenmektedir. Sonuçta test odasının arka kısımlarındaki parıltı arklılıkları iyileştirilmektedir.



Şekil 3-42: Düşey prizmatik panelin Norveç'te 59° kuzey enleminde, açık gök koşullarında, yaz (solda) ve kış (sağda) aylarında, test odasında sağladığı aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine dağılımını gösteren grafikler [3].

3.3.3. Pencere Arkasına Yerleştirilen Prizmatik Sistemler

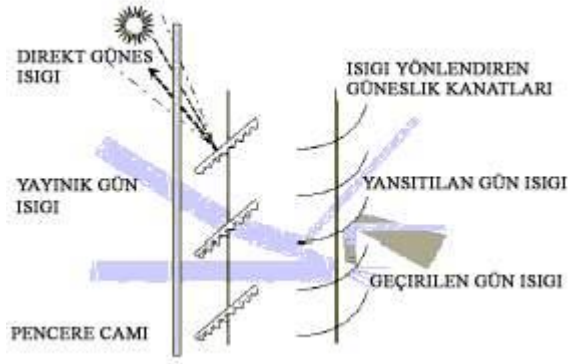
Yayınık gök ışığını içeriye alan sistemler başlığı altındaki pencere içinde yer alan sistemler alt başlığında, sadece bir uygulama örneği bu grubu oluşturmaktadır. Bu örnek iki ayrı gün ışığı aydınlatma sistemini (prizmatik paneller ve güneşlikler) birleştiren bütünsel bir sistemdir. Her iki sistemin hedef aldığı aydınlatma stratejisi de birbirinden farklıdır.

Prizmatik Paneller ile Birlikte Kullanılan Boşluklu Güneşlik Sistemi (HÜPPE Sistemi)

Bu sistem, Siteco firmasının üretmiş olduğu Siteco 45/45 prizmatik panelin bir güneşlik ile birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkan bir üründür. Bu ürünün testleri Berlin Teknik Üniversitesi, Almanya'da yapılmıştır. Burada bu ürünle ilgili testler ile ilgili bilgi ve sonuçlar verilecektir [3].

Teknik Tanım

Test odaları 3.5 m genişliğinde, 4.7 m derinliğinde ve 3 m yüksekliğindedir. Test odalarındaki pencere sistemi, direkt güneş ışınlarının içeriye girmesini engellemek için prizmatik paneller ve bu ışınları yönlendirmek için kısmen boşluklar açılmış bir güneşlik içermektedir. Her iki katman da, şekil 3-43'te görüldüğü gibi pencere içinde yer almaktadır. Açık gök koşulları altındaki ölçümler için, referans odasının penceresinin dış tarafına; gri renkte, standart, 80 mm genişliğinde, pencere normaline göre +45° açıda olan güneşlik yerleştirilmiştir. Kapalı gök koşulları altındaki ölçümlerde ise, referans odasında gölgelenme elemanı olmayan saydam tek camlı pencere bulunmaktadır.



Şekil 3-43: Prizmatik Paneller ile Birlikte Kullanılan Boşluklu Güneşlik Sistemi (HÜPPE Sistemi) [3].

Amaçları

Sistemin tasarlanma amacı şekil 3-43'te görüldüğü gibi direkt güneş ışığını mekan içine girmesini engellerken yayınlık gök ışığını içeri almak ve onu yönlendirmektir. Sistemin içeri yerleştirilmesi, sistemin kontrolünün kolay olması için düşünülmüştür. Ancak güneş ışığını, pencereden içeriye girdikten sonra engellemek, aşırı ısınmaya ve sera etkisinin oluşmasına neden olur [3].

İşlevleri

Kapalı gök koşulları altında, prizmatik sistem gök ışığının girmesini sağlayacak şekilde döndürülür ve kısmen boşluklar açılmış güneşlik kalır. Bu durumda aydınlık düzeyleri gölgeleme elemanı içermeyen referans odasındaki ile aynı olmaktadır. Referans odasının penceresi eşit büyüklükte, hemen hemen engelsiz ve temizdir.

Açık gök koşullarında yapılan ölçümlerin değerleri, standart, 45° açığa sahip levhalara sahip güneşlik yerleştirilmiş referans odasındakilerle karşılaştırılmıştır. Hüppe sistemi açık gök koşulları altında; aydınlık düzeyi değerlerini artmasını sağlamıştır. Sistem aynı zamanda gölgeleme sistemi olarak da hizmet verir. Ancak prizmatik panellerin içeride konumlanmasından dolayı gölgeleme etkileri düşüktür. Sistemin en olumsuz tarafı; prizmatik panellerin ve güneşliğin yansıtıcı yüzeylerinin dışarıyı görmeyi engellemesidir.

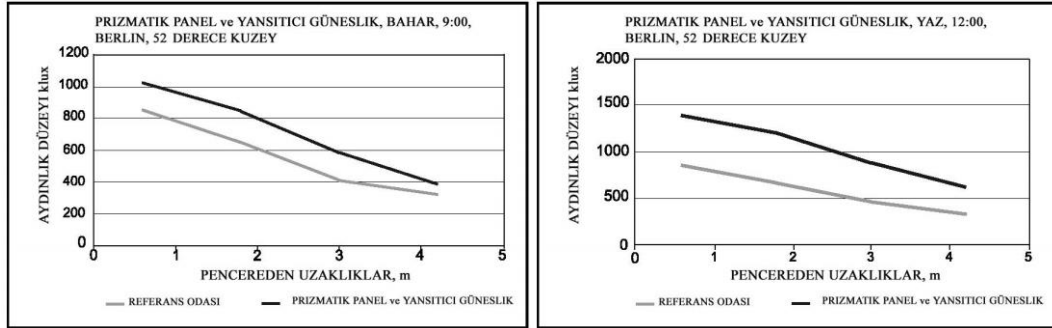
Sonuç olarak; direkt güneş ışığının olmadığı bulutlu ve kapalı gök koşullarında sistem aydınlık düzeyi değerlerini oldukça düşürmektedir. Sisteme eklenecek bir güneş algılayıcısı sayesinde, kapalı gök koşullarında prizmatik paneller kaldırılabilir ve yayınlık gök ışığı önünde engel kalmaz. Dolayısıyla içerideki aydınlık düzeylerinde olabilecek bir azalma engellenmiş olur [3].

Tablo 3-8: Prizmatik panel ve birlikte kullanıldığı güneşliğin Berlin’de yapılan, dört mevsim için açık ve kapalı gök koşulları altında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen aydınlık düzeyleri ve gün ışığı faktörleri [3].

Prizmatik Panel+ Güneşlik, Berlin, 52°K	İç Aydınlık Düzeyi (% veya lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge		Evg	Evgs
	Test	Referans	Test	Referans	Test	Referans		
Bahar, Açık Gök, 12:00	1,660	1,240	1,280	840	770	520	65	61
Bahar, Açık Gök, 9:00	1,020	860	720	530	390	320	46	37
Bahar, Açık Gök, 15:00	500	440	360	290	200	200	33	32
Yaz, Açık Gök, 12:00	1,400	860	1,050	570	620	350	98	57
Yaz, Açık Gök, 9:00	820	670	600	420	320	250	75	33
Yaz, Açık Gök, 15:00	470	490	340	310	200	190	75	33

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Sistem iki ayrı parçadan oluştuğu için ikisinin özelliklerini de taşımaktadır. Prizmatik sistemlerin toplam iç yansıma ve kırılma özellikleri ile direkt güneş ışığı engellenmektedir. Güneşlikler yansıtıcı olarak, optik yasalar çerçevesinde, çalışmaktadır ve üzerine düşen ışınları geldikleri açılarla geri yansıtmaktadır. Bununla birlikte; güneşliğin bükey yapısı, geri yansıtılan ışınların dağınık bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3-44: Prizmatik Paneller ile Birlikte Kullanılan Boşluklu Güneşlik Sistemi (HÜPPE Sistemi)’nin bahar ve yaz aylarında test odası içinde sağladığı aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine dağılımını gösteren grafikler [3].

3.3.4. Çatıya Yerleştirilen Prizmatik Sistemler

Bu bölümdeki sistemler, çatı ışıklığında kullanılan çift cam arasına yerleştirilen prizmatik panellerdir. Dolayısıyla bu sistemlerin özellikleri bölüm 3.3.2’de anlatılanlarla aynıdır.

3.4. Holografik Optik Elemanlar

Holografi mekan ve ölçekte yaratıcı görsel deneyimler için bir ortam sağlar. holografi aslında bilimsel çalışmalar için bir araç olarak geliştirilmiştir. Bu aracın

ışığı kontrol etme yeteneği sayesinde mimaride ve sanatsal çalışmalarda da kullanılabileceği görülmüştür.

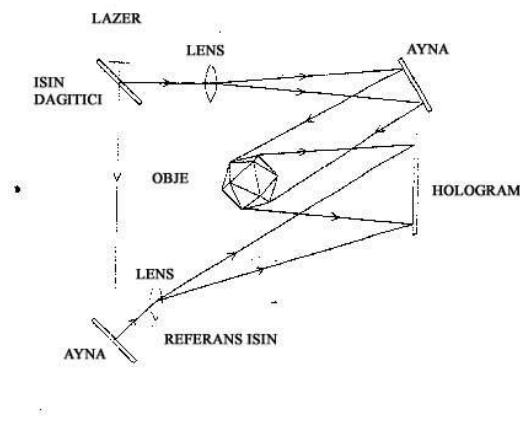
Holografi üç boyutlu görsel bilginin kaydedildiği, saklandığı ve tekrarlandığı bir işlemdir. Yunanca olan “holo” tüm veya bütün, “gram” ise mesaj demektir. Holografik bir resmin “parallax”ı (bir sahneyi çeşitli açılardan görebilme yeteneği) ve uygun ışık altında gösterildiğinde çok boyutlu görüntü sağlayan derinliği vardır. Günümüzde teknik basım, reklam ve bankacılık gibi endüstrilerde dikkat çekiciliği ve sahtekarlığı önleyebilme özelliği sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

Teknik Tanımı

Holografinin mimari de ve bina tasarımında uygulamaları şu anda çok sınırlıdır. Bu sistemin mimari için çekici olmaya başlamasının nedeni yalnız 3 boyutlu mekanın paradoksal gösterimini sağlayabilmesi değil aynı zamanda ışığı dağıtmak ve yaymak gibi fiziksel özellikleridir. Holografik optik elemanlar (HOE) olarak da bilinen holografik filmler, iki cam katman arasına lamine edilerek çeşitli mimari tasarım uygulamalarında kullanılabilir [13].

Bu tip elemanlar ışığı yönlendirmek için ışığın kırılma özelliğini kullanırlar. Bir kırılma ızgarası oluşturan ince mikroskobik çubuklar saydam bir film tabakası üzerine basılır. Izgaralar belirli açılardan gelen ışık ışınlarının yönlendirilmesine yönelik tasarlanabilir. Diğer doğrultulardan gelen ışınlar değişmeden kalırlar [2].

Bu elemanların en önemli avantajı hareketli parçalara sahip olmayışı ve fazla bakıma ihtiyaç duymayışlarıdır.



Şekil 3-45: Holografik görüntü oluşturma işlemi [13].

Amaçları

Holografik optik elemanların optik özelliklerinin doğrultusunda gün ışığı aydınlatmasında kullanılma amaçları:

- Üzerine gelen gün ışığını bina içerisine dağıtarak alıp yayınlık bir aydınlatma,
- Açısal seçiciliğini kullanarak belli açılarda gelen güneş ışınlarına karşı gölgeleme,
- Gün ışığının odanın derinliklerine taşınmasını sağlamaktır

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Holografik optik elemanların prensibi ışığın ızgaralar veya levhalar tarafından kırılarak yansıtılmasıdır. HOE ler gelen ışık ışınlarını bir çok ışın haline gelecek şekilde parçalara kırar. Bu parçalar sonradan yeni ışın demetleri oluşturmak üzere birleşirler. HO ler ızgara, lens ya da başka bir optik eleman şeklinde olabilirler. HOE lerin temel özellikleri; büyük optik elemanlara sahip, hafif ve ekonomik olmasıdır. Geleneksel sistemlerin yapamayacağı optik özelliklere de sahiplerdir.

HOE ler dalga boyuna karşı duyarlıdır: elemanın odak uzaklığı ve sapma özellikleri dalga boyuna göre değişiklik gösterir. dar bir dalga uzunluğu şeridine hizmet edecek şekilde yapılabilirler. HOE ler aynı anda hem lens, hem ışın dağıtıcı hem de spektral dalga filtresi görevi görürler.

Mimari açıdan HOE lerin ışık iletimi ve ışınımının kontrolü konusunda çok yararlı özellikleri vardır. Diğer geleneksel sistemlerin tersine HOE ler düz, hafif ve kolayca depolanabilir [13].

İşlevleri

Bu elemanlar eğer iyi tasarlanıp düzgün bir şekilde kurulursa ışığı odaklamak ve seçmek için kullanılabilirler. Böylece bina içindeki aydınlatma ve termal performansı geliştirilebilir. Işığın dalga boyuna göre seçici olabilme özelliği sayesinde direkt güneş ışınlarını da engellemekte kullanılabilir.

3.4.1. Pencere Önüne Yerleştirilen Holografik Optik Sistemler

Holografik optik elemanların iki cam panelin arasına koyulmasıyla oluşan sistem pencere dışına yerleştirilmektedir. Bu sistemlere Tepe ışığı Kılavuz Sistemleri (Zenithal Light Guiding Glass) de denilmektedir.

Teknik Tanım

Temel bileşeni, iki cam panelin arasına lamine edilmiş, holografik ızgaraların olduğu polimerik film tabakasıdır. Holografik eleman göğün zenital bölgesinden yayınık ışığı bina içine yönlendirmektedir. Sisteme direkt güneş ışığı vurduğu zaman renk bozulmasına neden olduğu için direkt güneş ışığı almayacak şekilde cepheye yerleştirilmeleri gerekmektedir.

Tepe Işığı Kılavuz Camları (Zenithal Light Guiding Glass) üretilirken, holografik eleman iki lazer ışınına maruz bırakıldığında, bu iki ışının kesişimi bir desen oluşturmaktadır. Bundan sonra bu desen tekrarlanarak film üzerine sabitleştirilmektedir. Film tozdan ve mekanik darbelerden korunması açısından iki cam tabaka arasına lamine edilmektedir.

Tepe Işığı Kılavuz Camları (Zenithal Light Guiding Glass) düşey pencerelere direkt olarak yerleştirilebileceği gibi cephede pencerenin üst kısmına 45° açıyla yerleştirilebilmektedirler. Çünkü Tepe Işığı Kılavuz Camları az da olsa arka tarafını bozuk göstermektedir ve bu yüzden pencerenin üst kısmına konulması iyi olmaktadır. Şekil 3-46'da holografik optik elemanı olan Tepe Işığı Kılavuz Camları dışarıdan görülmektedir.



Şekil 3-46: Tepe Işığı Kılavuz Sistemleri [3].

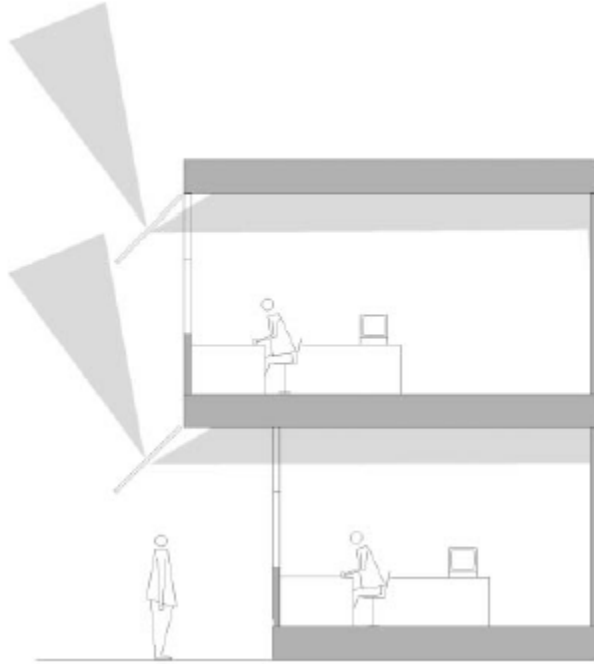
Amaçları

Tepe Işığı Kılavuz Camları'nın tasarlanma amacı; yayınlık gün ışığını odanı arka kısımlarına yönlendirerek odanın aydınlık düzeyi düşük olan kısımlarını aydınlatmak ve parıltı farklılığından kaynaklanan kamaşmayı azaltmaktır. Bu sistemler gün ışığını tavan doğru yönlendirirken dışarının görünmesini de fazla engellememeyi hedeflemektedir.

İşlevleri

Tepe Işığı Kılavuz Camları (Zenithal Light Guiding Glass), şekil 3-47'de görüldüğü gibi; yayınlık gök ışığını holografik elemanın üzerinde yer alan ızgara sisteminde kırarak tavana ve odanın derinliklerine doğru yansıtmaktadır. Sistem sayesinde; alt katta, üstündeki katın çıkması yüzünden yeterli ışık alamayan mekanın içine yayınlık gök ışığı düzgün olarak dağıtılarak mekandaki bütün aydınlık düzeyleri artış sağlanmaktadır.

Tablo 3-9'da görüldüğü gibi bir ofisin holografik optik elemanla ve holografik optik elemansız gün ışığı faktör oranları verilmiştir. Buradan anlaşılacağı gibi, odanın pencere yakınındaki bölgedeki gün ışığı faktöründe düşüş olsa da odanın derinliklerine doğru bu değerler artmaktadır [3].



Şekil 3-47: Yayınık gök ışığını holografik elemanın üzerinde yer alan ızgara sisteminde kırarak tavana ve odanın derinliklerine doğru yansıtmaktadır [3].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Kapalı gök yüzünün zenital bölgesinin parıltı oranı, ufuk çizgisindekinden daha büyüktür. Bu yüzden; tepe ışığı kılavuz camları, kapalı gök koşullarının baskın olduğu iklimlerde, göğün zenit bölgesinden gelen yayınlık ışığı odanın derinliklerine yönlendirmek için umut verici bir stratejidir. Elemanlar, cepheden 45° açıyla yerleştirildikleri zaman gün ışığının düştüğü alan artmaktadır. Böylece daha fazla ışık odanın içine yönlendirilmektedir. Dolayısıyla, tepe ışığı kılavuz camları, özellikle etrafı yüksek engellerle çevrili binalar için uygundur.

Göğün belirli bir kısmından gelen ışık holografik film tabakasındaki ızgara yapıdan kırılarak odanın tavanına doğru yansıtılmaktadır. Gelen ışık ışınları bir çok farklı açıdan eleman üzerine düştükleri için; renk bozulması gerçekleşmemektedir. Yalnızca çok küçük renk etkileri meydana gelmektedir.

Tepe Işığı Kılavuz Camları sabit bir gün ışığı aydınlatma sistemi olduğu için kontrol edilmeleri gerekmemektedir. Ayrıca bakım için de ek bir uygulamaya gerek yoktur.

Maliyet ve Enerji Tasarrufu

Bir tepe ışığı kılavuz sistemi ilk olarak 1996 yılının Temmuz ayında yerleştirilmiştir. Sistemin kurulum maliyeti 900 euro/m² olarak çıkmıştır. Daha büyük ölçeklerde uygulama olduğunda bu fiyat aşağıya çekilebilmektedir.

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

Sistemin uygulandığı ilk bina, Almanya'nın Cologne kentindeki ADO ofis binasıdır. Tepe ışığı kılavuz camları, binanın kuzey cephesinde yer alan üç pencerenin önüne yerleştirilmiştir. Şekil 3-48'de bu sistemin içeriden görünüşü görülmektedir.



Şekil 3-48: Tepe ışığı kılavuz camlarının içten görünüşü [3].

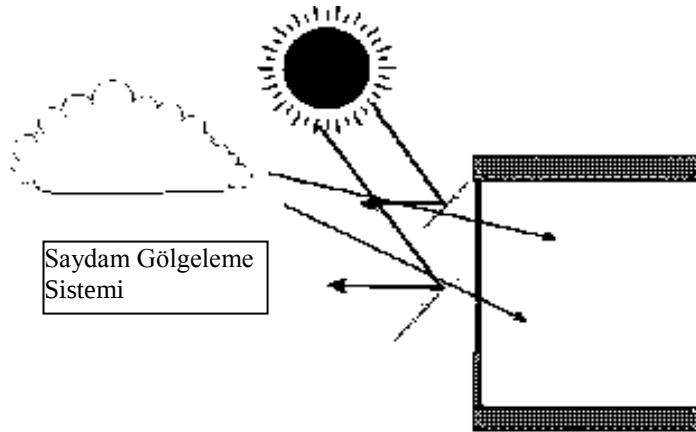
Sistem henüz IEA Görev 21 izleme protokolüne uygun olarak test odalarında gözlenmemiştir. Tablo 3-9’ da bir ofis içinde, holografik optik eleman olduğundaki ve olmadığı zamanki gün ışığı faktörleri görülmektedir. Sistem pencere yakınındaki bölgede gün ışığı faktörünü düşürse de, gün ışığı odanın derinliklerine doğru az da olsa yükselmektedir. Holografik optik elemanlar umut verici laboratuvar sonuçlarına sahip olmasına rağmen, gerçek bir binada getireceği enerji tasarrufu henüz daha belirlenebilmiş değildir [3].

Tablo 3-9: Holografik optik elemanın yerleştirildiği ofis odası içinde olduğu ve olmadığı zaman ölçülen gün ışığı faktörleri [3].

CEPHEDEN UZAKLIK	0.2 m	1.2 m	2.2 m	3.2 m	4.2 m
HOE kullanılmadığında	15.78 %	4.10 %	1.35 %	0.75 %	0.57 %
HOE kullanıldığında	14.71 %	3.09 %	1.40 %	0.86 %	0.72 %

3.4.2. Pencere ve Çatıya Yerleştirilebilen Holografik Optik Elemanlar – Doğrultuya Bağlı Seçicilik Özelliği Olan Holografik Optik Sistemler

Doğrultuya bağlı seçicilik özelliği olan bu sistemler, göğün dar bir açı aralığından gelen ışığı reddetmektedir. Böylece, sistem yaynık gök ışığını iletirken direkt güneş ışığını yönlendirebilmekte veya geri yansıtabilmektedir. Bu seçici gölgeleme sistemi, pencerelerden dışarısının görünmesini ciddi biçimde engellemeden, bina içerisine gün ışığının girmesini sağlamaktadır.



Şekil 3-49: Pencere ve Çatıya Yerleştirilebilen Holografik Optik Elemanlar – Doğrultuya Bağlı Seçicilik Özelliği Olan Holografik Optik Sistemlerin çalışmasını gösteren şematik çizim [3].

Teknik Tanımı

Bu sistemlerde, iki cam arasına lamine edilmiş holografik kırılma ızgaraları, geniş açıklıklarda gölgeleme kontrolü sağlamak için iki şekilde kullanılabilir:

Her iki sistemde de; gölgeleme elemanlarının, en iyi gölgeleme performansını sağlamak için güneşi takip edebilmesi gerekmektedir. Bunun için de sistemler, tek akslı bir takip sistemine ihtiyaç duymaktadır.

Her iki sistemin de en kritik işlevsel elemanı holografik optik katmandır. Holografik film katmanı, iki lazer ışınına maruz bırakıldığında, bu iki ışının kesişimi bir desen oluşturmaktadır. Bundan sonra bu desen tekrarlanarak film üzerine sabitleştirilmektedir. Film tozdan ve mekanik darbelerden korunması açısından iki cam tabaka arasına lamine edilmektedir. Bu holografik optik elemanların yerleştirildiği birden fazla cam eleman, doğrusal modülleri oluşturmak için yan yana ızgara sistemi veya takip sistemi üzerine yerleştirilmektedir.

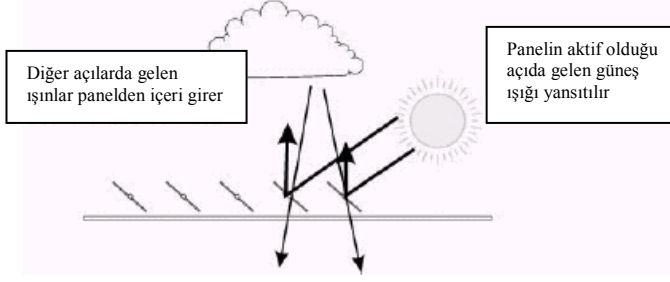
Holografik optik eleman içeren hareketli cam sistemleri, pencere önlerine veya çatı açıklıklarına gölgeleme sistemi olarak yerleştirilebilmektedir. Eğer güneşin sağladığı ısı kazancı havalandırma ile giderilebilirse, bazı uygulamalarda; bu gölgeleme elemanları binanın içerisine de yerleştirilebilmektedir [3].

Amaçları

Bu sistemlerin tasarlanma amaçları, direkt güneş ışığını engellerken iç mekanların aydınlatılması için yayınlık gün ışığının içeri girmesine izin vermektir. İçeriden dışarısının görülebilmesi amacı ile holografik optik elemanın geçirgenlik seviyesi, elemanın aktif olduğu açının ayarlanmasıyla kontrol edilebilmektedir. Saydam gölgeleme sistemleri sadece belli açılardan gelen güneş ışınlarını geçirmemek üzere tasarlanmışken güneş ışığı toplayıcı sistemler direkt güneş ışınlarını engellerken onları toplayıp elektrik veya ısı enerjisine dönüştürmek için tasarlanmıştır [13].

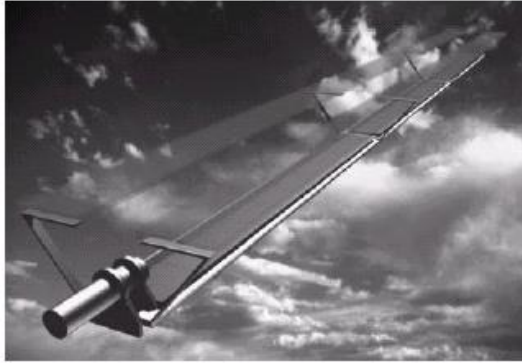
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Saydam gölgeleme sistemlerinin dayandığı ilke toplam iç yansımaya ilkesidir. Elemanın aktif olduğu açı aralığından gelen ışın, holografik katman tarafından lamine cam katmanın arkasına çok eğik bir açı ile yönlendirilmektedir. Arka cama toplam iç yansımaya ilkesine göre çarpıp geri dönen ışın holografik katman tarafından ön yüzeyden dışarı çıkarılmaktadır. Holografik optik eleman diğer geliş açıları için aktif olmadığından, yayınlık gün ışığını geçirebilmekte ve böylece sistemin arkasında kalan mekan gün ışığı ile aydınlatılabilmektedir.



Şekil 3-52: Saydam gölgeleme sisteminin çatı uygulamasının çalışma ilkesi [3].

Güneş ışığı toplayıcı sistemde ise; holografik optik eleman üzerine düşen güneş ışığını, bir alt katmandaki cam veya başka bir malzemeden (örn.; fotovoltaik) yapılmış çubukların üzerine toplamaktadır. Böylece, sistem direkt güneş ışınımını etkili bir biçimde engelleyebilmektedir. Holografik elemanlar bir önceki sistemde olduğu gibi, diğer bütün açılar için etkisizdir veya saydam gibi davranmaktadır. Panellerden dışarının görülebilmesi (toplam cam yüzeyinin %30-50'sini oluşturan) opak çubuklar yüzünden azalmaktadır.



Şekil 3-53: Fotovoltaik güneş ışığı toplayıcı sistemlerin bilgisayar simülasyonu ile hazırlanmış bir resmi [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufu

Doğrultuya bağlı seçicilik özelliği olan bu gölgeleme sisteminin maliyeti çok yüksektir. Çünkü holografik optik elemanların üretimleri çok fazla miktarlarda yapılmamaktadır. Ayrıca sistemin kontrol üniteleri karmaşık ve pahalıdır. Üretilen ilk sistemin maliyeti 1500 euro/m²'dir. Bu maliyet özel montaj ve güneş izleme sistemlerini de içermektedir. Bu sistemlerle ilgili güvenilir enerji tasarrufu verileri henüz elde edilememiştir [3].

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

Holografik optik elemanların uygulanmış örneklerinden iki tanesi; saydam gölgeleme sistemleri (Rewe Merkezi), güneş ışığı toplayıcı sistem (IGA sıra evleri) aşağıda verilmektedir.

a. Saydam gölgeleme sistemleri: Rewe Merkezi, Cologne, Almanya

Saydam gölgeleme sistemlerinin ilk uygulanmış olduğu yer Almanya, Cologne’de yer alan Rewe Merkezi’dir. Bu merkezin atriumunun üzerine yerleştirilen sistem Şekil 3-54 , şekil 3-55 ve şekil 3-56’te görülebilmektedir. Sitemin şematik çizimi ve çalışma ilkesi şekil 3-50 ve 44’te gösterilmektedir [3].



Şekil 3-54: Rewe Merkezi’ndeki holografik saydam gölgeleme sisteminin yer aldığı çatı ışıklılığındaki hareketli elemanlarının içeriden görünüşü [3].



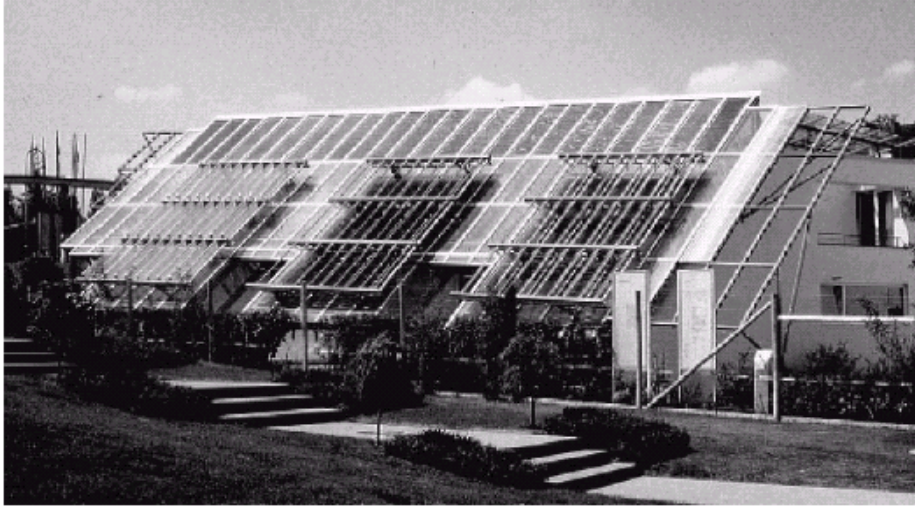
Şekil 3-55: Rewe Merkezi’ndeki holografik saydam gölgeleme sisteminin hareketli elemanlarının dışarıdan görünüşü [3].



Şekil 3-56: Rewe Merkezi'nin atriumunun üzerine yerleştirilen gölgeleme sisteminin içeriden görünüşü [3].

b. Güneş ışığı toplayıcı sistemler; IGA Sıra Evleri, Stuttgart, Almanya

Fotovoltaik (PV) hücreler kullanan ilk güneş ışığı toplayıcı sistemler, Stuttgart'taki tanıtım binasına 1993'te yerleştirilmiştir. 1996 yılında daha büyük ve daha ucuz PV elemanları kullanan yeni sistemler yerleştirilmiştir. IGA sıra evlerinde kullanılan güneş ışığı toplayıcı sisteminin, güneşli yaz aylarında avludaki sıcaklığı düşürdüğü görülmüştür. Şekil 3-57'de görülen sistem, kısmen bulutlu günlerde yayınlık gün ışığının içeri girmesine izin verirken direkt güneş ışığını da kontrol etmektedir.



Şekil 3-57: Güneş ışığı toplayıcı sistemler; IGA Sıra Evleri, Stuttgart, Almanya [3].

Doğrultuya bağlı seçicilik özelliği olan holografik optik sistemler henüz IEA'nın gözlem protokolüne uygun olarak test odalarında gözlenmemiştir. Bu yüzden; bu sistemler için detaylı veriler henüz bulunmamaktadır. Güneş ışığı toplayıcı sistemin güneş ışığı geçirme katsayısı 0.2, saydam gölgeleme elemanın güneş ışığı geçirme katsayısı ise 0.27'dir. Başka bir deyişle; bu sistemler üzerilerine gelen direkt güneş enerjisinin %70-80'ini reddederek binanın soğutma yükünü düşürmektedir.

IGA'nın sıra evlerinde ve Rewe Merkezi'nde yapılan ölçümler, iyi bir gün ışığı aydınlatması sağlanabilirken iyi bir güneş kontrolü de sağlanabileceğini göstermektedir. Her iki binadaki kullanıcılar, yazın ağaç gölgesinde oturmakla karşılaştırdıklarında, aydınlatma koşullarından memnun kalmışlardır.

Doğrultuya bağlı seçicilik özelliği olan holografik optik sistemlerin kullanıldığı çeşitli tasarımlar herhangi bir iklimde kullanılabilmektedir. Fakat en büyük etki, güneşli iklimde bulunan büyük cam alanı bulunan binalarda elde edilmektedir. Saydam gölgeleme sistemi, mimari olarak, geleneksel bir güneşlik yerine saydam bir güneş kontrolü sistemi arandığında oldukça yararlıdır. Yüksek maliyetleri, bu sistemlerin büyük ölçekli binalarda veya test amaçlı uygulamalarda kullanılmalarını sınırlamaktadır [3].

4. DİREKT GÜNEŞ IŞIĞINI BİNA İÇERİSİNE ALAN SİSTEMLER

Bu sistemler cepheye gelen direkt güneş ışınlarını optik performansları sayesinde yönlendirerek oda içine alınmasını sağlayan sistemlerdir. 3. bölümdeki sistemlerin tersine bu sistemler sadece tek bir kaynağa dayalı olarak çalışırlar. Yayınık gök ışığında ve kapalı gök koşullarındaki performansları oldukça düşüktür.

4.1. Işık Rafları

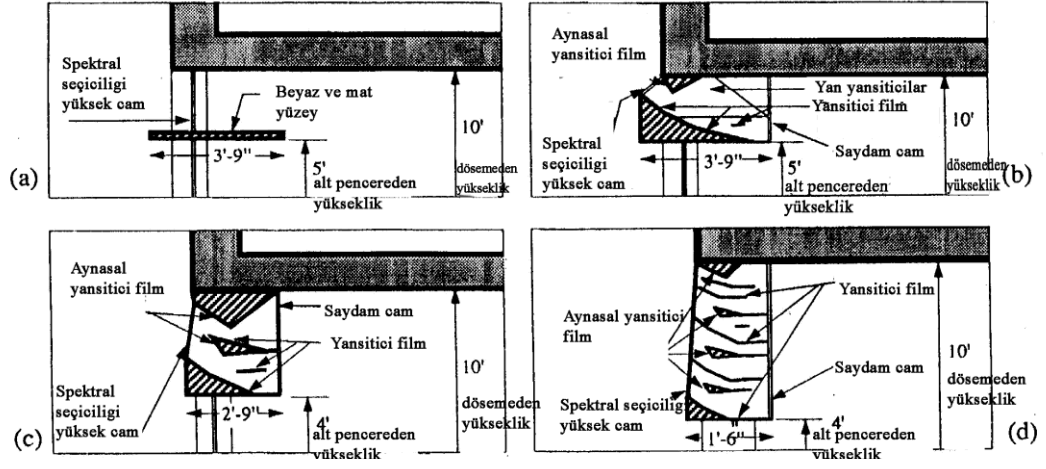
Yayınık gün ışığını bina içerisine alan sistemlerin anlatıldığı 3. bölümde de yer alan ışık raflarının; optik özellikleri geliştirilmiş, geometrileri değiştirilmiş olan bu tipleri direkt güneş ışığını bina içerisine yönlendirerek bina içerisini aydınlatmaktadır.

4.1.1. Pencere İçine Yerleştirilen Işık Rafları

Pencerenin üst kısmına yerleştirilen bu sistemler, normal pencerenin üstünde yer alan tepe penceresine iliştirilmiş sistemlerdir. Işık rafı sistemleri, 3. bölümde genel özellikleri anlatıldığı için burada sadece bu bölümle ilgili örneklerle değinilecektir.

Teknik Tanımı

Bu bölümde verilecek olan ışık rafı sistemleri optik olarak iyileştirilmiş teknik özellikleri arttırılmış sistemlerdir. Güneye bakan, 0.4-1.1m arası derinliğe sahip dört ışık rafı bina cephesine yerleştirilmiştir (Şekil 4-1). Ana yansıtıcı, güneş ışığını yansıtma için; değişen güneş yükseliş açılarına göre ayarlanmış, yuvarlak ve parçalı bir yüzeye sahiptir. Yüzeydeki her bölüm, üzerine düşen ışınların içeriye yansıtılmaları için gerekli olan en iyi açı ile gelmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu aygıtlar, güneşin, gün ve yıl içindeki değişimlerine göre çalışması için düzenlenmiştir. yansıtıcı yüzeyler, aynasal ve dar açılı bir yansıma sağlayan, yansıtıcı bir film tabakası ile kaplanmıştır. % 88 yansıtıcılık oranına ve aygıtın normaline göre 10-12° ile ışığı dağıtan, doğrusal boşluklara sahiptir [14].



Şekil 4-1: Optik olarak iyileştirilmiş dört değişik ışık rafı sistemi [14].

Şekil 4-1’de görüldüğü gibi, ilk sistem (a) geleneksel bir ışık rafıdır. İkincisi (b) iç bükey yüzeye sahip tek kademeli bir sistemdir. Üçüncüsü (c) iki kademeli ve dördüncüsü çok kademeli bir ışık rafıdır. Sistemlerin hepsinin girişi, tayfsal seçici cam ile kapatılmıştır. İçerideki çıkış açıklıkları ise normal cam ile kapatılmıştır.

Amaçları

Tasarım amaçları güneş ışınlarını her zaman engellemek, gün ışığı aydınlık düzeylerini pencereden belirli bir uzaklığa kadar arttırmak, güneşten kaynaklanan aşırı ısınmayı azaltmak ve değişken direkt güneş ışığı koşulları altında odanın tamamında gün ışığı düzgünlük oranını (uniformity) ve parıltı seviyelerini geliştirmektir. Bütün yıl boyunca istikrarlı bir performans için; bu ışık rafı yaz aylarında yüksek yükseliş açılarından gelen güneş ışınlarını engellemek amacı ile dış duvar yüzeyinden dışarı çıkmaktadır. Sistem aktif ayarlama veya kontrol ünitesine gereksinim duymamaktadır

İşlevleri

Gün ışığı aydınlatmasında en etkili ışık kaynağı olan güneş ışınlarını pasif olarak yansıtan bu ışık rafları, nispeten küçük bir giriş alanı ile, güneşli iklimlerde derinlikleri fazla olan ofis mekanlarının yeterli derecede gün ışığı ile aydınlatılmasını sağlayabilmektedir.

Optik olarak iyileştirilmiş ışık rafları; güneş ışınları tavan düzlemine yansıtılarak odanın derinliklerine gün ışığının ulaşması sağlanabilmektedir. Bu sistemler bunu,

pencere önünde yüksek aydınlık düzeylerine neden olmadan, geleneksel pencereler ve gün ışığı aydınlatma sistemlerinden daha iyi yapabilmektedir. Bu yöntemle, odanın arka kısımlarındaki duvar ve tavan parıltı değerleri arttırılarak, odanın ön ve arka kısımları arasındaki parıltı farkı azaltılmak ve görsel konfor geliştirilebilmektedir.

Daha küçük bir cam alanı kullanılarak gün ışığı etkili bir biçimde bina içine taşınırsa, güneş ışınlarından kaynaklanabilecek aşırı ısınmaya ve onun beraberinde getirdiği soğutma yüküne neden olmadan, aydınlatma enerjisinde tasarruf sağlanabilmektedir.

Sistemin tasarım hedeflerinden biri de, güneşin yıl ve gün içindeki değişen konumları ve değişen gün ışığına bağlı bir sistem geliştirmektir. Bu doğrultuda, sistemin yansıtıcı yüzeylerinin geometrileri değiştirilmiş ve sayıları arttırılarak güneşin değişen koşullarına cevap verecek bir sistem halini almıştır.

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Optik olarak iyileştirilmiş ışık rafları, güneşli iklimler için geleneksel olan ışık raflarına iki önemli yenilik getirmiştir. Işık rafı geometrisi yuvarlatılmış ve belirli güneş yükseliş açıları için, güneş ışığını pasif olarak yansıtmak üzere, raf parçalara ayrılmış ve üzeri verimini arttırabilecek, piyasa da kolaylıkla bulunan, yüksek yansıtıcılık oranına sahip, yarı aynasal film ile kaplanmıştır..

Optik olarak iyileştirilmiş ışık rafı, alt tarafta bir ana yansıtıcı ve üstte ikinci bir yansıtıcıdan oluşur. Altta bulunan bölünmüş yansıtıcı, gün ışığını yansıtıcı bir filmle kaplı eğimli yüzeylerden oluşur. Film, ışığı 12-15° çıkış açısıyla yansıtan, doğrusal boşluklara sahiptir. Parçalar, güneş gün dönümü ve ekinoks açılarında iken (kuzey yarımkürede güneye bakan cephelerde) güneşi pencere düzleminden 10 m yukarıdaki tavana yansıtmak için eğik olarak yerleştirilmişlerdir. Üstteki yansıtıcı düşük açılardan gelen kış güneş ışınlarını kesmek için tavan düzleminde pencerenin yanındaki ana yansıtıcının üzerine yerleştirilmiştir. Bu yansıtıcı yüksek yansıtıcılık oranına sahip aynasal film tabakası ile kaplıdır ve küçük bir kamaşma kaynağı da olabilir.

Bu sistem ölçekli modeller kullanılarak kavramsal olarak geliştirilmiştir. Bir gök ışıklığının 1:1 ölçek prototipi inşa edilmiş ve küçük bir ofis binasına yerleştirilmiştir. Düşey pencere uygulamaları için sistemin verimli olması için 2.5m'den daha yüksek bir oda yüksekliğine gerek vardır. Optik olarak iyileştirilmiş bir ışık rafı tasarlamak

ve mevcut bir binaya yerleştirmek mümkündür fakat onu mevcut mimari özelliklerle bütünleştirmek için çok zen göstermek gerekir [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufları

Optik olarak geliştirilmiş bu sistemler, güneşli gök koşulları altında, nispeten küçük bir giriş alanına sahip derinliği fazla olan ofis mekanlarına yeterli aydınlık düzeyini sağlamaktadır. Yapılan alışmalar sonucunda; optik olarak geliştirilmiş ışık rafı yerleştirilmiş odaların, aydınlatma için harcadığı yıllık toplam elektrik enerjisinin geleneksel ışık rafı kullanan bir odaya göre çok daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

4.2. Yansıtıcılar: Kanatçıklar (Louver) ve Güneşlikler

Bu sistemleri dış ve i yansıtıcılar olarak ikiye ayırabiliriz. Gök yüzünün içeri giremediği mekanlarda sanal bir gök yüzü oluşturmak için mekanın ikincil ışık kaynağı olan bina açıklıklarının, yani pencerelerin, önlerine içten veya dıştan yerleştirilen, yansıtıcı, çoğunlukla aynasal yüzeyle sahip olan bileşenler içeren sistemlerdir.

Cepheye ve pencere önlerine asılmakta olan yansıtıcılarla ilgili geçen yüzyılın başlangıcına ait pek çok örnek vardır. Gelenekselleşmiş olan bu sistemler günümüzde bulunan yeni malzemeler ve tekniklerle takviye edilerek gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri arasına girmektedir. Bu sistemlere en güzel örnek kanatçıklar (louver) ve gneşliklerdir.

Teknik Tanımı

Kanatçıklar (louver) ve güneşlikler çok sayıda yatay, düşey ve/veya eğimli yüzeyle içermektedirler. Karmaşık şekiller ve değişik yüzey malzemeleri kullanan, çok çeşitli kanatçık (louver) ve güneşlik sistemleri vardır [2]. Kanatçıklar (louver) ve güneşlikler, el ile veya otomatik olarak kontrol edilebilirler. Otomatik olarak kontrol edilen kanatçıklar (louver) ve güneşlikler, eğer güneşten kaynaklanan aşırı ısı kazançlarını önlemek ve güneşin pozisyonundaki gün içindeki ve mevsimsel değişimler boyunca, gün ışığını içeri almak için kullanılırlarsa enerji verimliliğini arttırabilirler. Bununla birlikte; otomatik kontrol, sistem üzerinde kendi kontrolünün olmasını isteyen kullanıcılar açısından rahatsızlık doğurabilir. El ile kontrol edilen sistemler genellikle enerji verimliliği düşük olan sistemlerdir çünkü kullanıcılar bunları en uygun şekilde kullanamayabilirler (kontrol kamaşmaya veya görüş netliğine bağlı olabilir veya sistem kullanıcı odada yokken ters bir pozisyonda

olabilir). Araştırmalar gösteriyor ki; kullanıcılar, kanatçık (louver) ve güneşliklerin pozisyonunun; günlük, mevsimsel ve bazen iklimsel koşullardan, nispeten bağımsız olmasını tercih etmektedirler. Bazı çalışmalarda; kanatçık (louver) ve güneşlikler için iklim ve tercih edilen pozisyonlar arasında bir bağlantı bulunmuştur [2].

Kanatçık (louver) ve güneşliklerin bakımı zordur. Özellikle yansıcı elemanlara sahiplerse daha da zordur. İçte bulunan elemanlar toz toplarken dışta bulunanlar üzerinde kir ve kar birikir. Çift cam arasında olanların az temizlenmeye ihtiyacı olması ve iç ve dışta olanlar gibi kolaylıkla zarar görmemesi gibi yararları vardır [2].

Amaçları

Bu sistemlerin amacı: özellikle yüksek veya birbirine çok yakın olan çevreleri engellerle çevrili binaların cephe boşluklarından içeriye giremeyen gök yüzünün yerine sanal bir gök yüzü sağlamaktır.

Engelsiz cephelerde, kanatçıklar ve dış yansıtıcılar hem gölgeleme hem de yansıtma görevi görmektedirler. Bunu başarmak için bazı durumlarda yatay elemanların kendi eksenleri etrafında döndürölmeleri gerekmektedir [3].

Aynasal yüzeylere dayalı sistemler, cephe yüzeyine gelen gök ve güneş ışığını bina derinliklerine yansıtma için kullanılabilirler. Üst yüzeyi yansıtıcı olan kanatçıklar (louver) binaların cephesinde pencere önlerine yerleştirilebilmekte ve hem kullanıcılara istenmeyen direkt güneş ışınlarına karşı gölgeleme sağlamakta hem de daha fazla gün ışığı dağılımı sağlayabilmek için gelen ışığı tavana yansıtma için kullanılabilir [15].

İşlevleri

Yansıtıcıların, kanatçıkların (louver) ve güneşliklerin işlevleri:

- Kullanım mekanlarının derinliklerine gün ve özellikle güneş ışığını iletmesi
- Mekan içinde düzgün bir aydınlık düzeyi dağılımı sağlaması
- İstenmeyen direkt güneş ışığını engelleyerek kamaşma ve aşırı ısınmadan kullanıcıyı koruması
- Ayarlanabilir yansıtıcılarda göğün ve güneşin durumuna göre yansıtıcı yüzeylerin döndürölebilmesi

Bunlar dışında değişik problem ve durumlar için farklı işlevlerde yansıtıcılarda tasarlanmıştır. Bu sistemler:

a. Sabit ve ayarlanabilir kanatçık ve güneşlikler

Sabit sistemler genellikle gölgeleme için tasarlanmaktadır ve ayarlanabilir sistemler ısı kazançlarını kontrol etmek, kamaşmaya karşı koruma sağlamak ve ışığı yönlendirmek için kullanılabilir. Güneşli günlerde aşağı doğru döndürülmüş yansıtıcı bir eleman yeterli gölgeleme sağlar fakat kapalı havalarda sabit bir sistem iç aydınlık düzeyini azaltan hiç tercih edilmeyen gölgeler oluşturur. Hareketli sistemler dış hava koşullarına göre en iyi şekilde çalışması için tamamen veya kısmen geri çekilebilir olmaya gereksinim duyar. Yansıtıcı yüzeylerin açısına, yüzeylerinin davranışına ve yüzeyler arasındaki boşluğa bağlı olarak güneş ve gök ışığının her ikisi de içeriye yansıtılabilir [2].

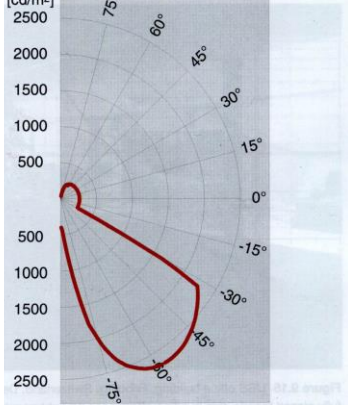
b. Yarısaydam Güneşlikler

Yarısaydam güneşlikler kapatıldığında belli orandaki ışığı geçirir. Düşey yarısaydam güneşlikler 100mm genişliğinde olup çok az ya da hiç temizlik gerektirmez. Bunlar kumaş, plastik veya delinmiş plastik (tipik olarak çok çeşitli ışık geçirgenlik oranları sunan) malzemelerden yapılabilir. Arka tarafı karanlık olursa güneşlikler büyük parlak bir kamaşma kaynağı olarak davranabilir.

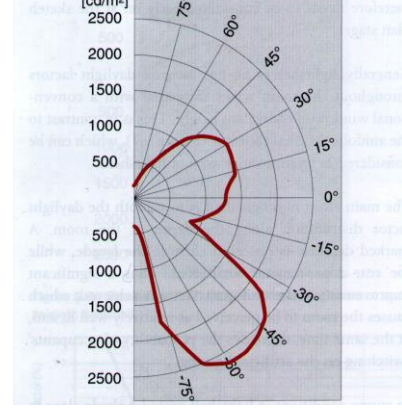
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Kanatçıklar (louver) ve güneşlikler bina içlerine güneş radyasyonunu toplayabilir, yansıtabilir, iletebilir veya girmesini engelleyebilir. Bunların etkinliği, güneşin pozisyonuna, aygıt parçalarının yerleşimine, yansıtıcı yüzeylerin açısına ve yüzey yansıtma özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden; kanatçık (louver) ve güneşlik olan bir pencerenin optik ve termal özellikleri değişkendir. Yatay olarak yerleştirilmiş yüzeylere sahip bir güneşlik, güneşten, gökten ve yerden gelen ışığı yansıtılabilmektedir. Yukarı doğru döndürülmüş yüzeyler, öncelikle güneş ve gökten gelen ışığı iletmektedirler. Aşağı doğru döndürülmüş yüzeyler ise, öncelikle yerden yansıyan ışığı içeri iletmektedirler. Hem kanatçıklar (louver) hem de güneşlikler direkt güneş ışığından kaynaklanan gün ışığı dağılımını arttırılabilmektedirler [2]. Kapalı havalarda gün ışığı dağılımını geliştirmek için yansıtıcı yüzeyler yatay düzlemlerinin iyice üzerinde döndürülmelidir. Şekil 4-3 döndürülmüş bir dış yansıtıcı yerleştirilmiş bir pencerenin ışık yeğinlik eğrilerini (indikatriks)

göstermektedir. Bunu çift cam yerleştirilmiş bir pencerenin ışık yeğnlik eğrisinin gösterildiği Şekil 4-2 ile karşılaştırınca eğrilerin üst kısmı yansıtıcıdan etkilenmezken üst kısmında iletilen ışık akımında önemli bir artışa sebep olduğu ortaya çıkar. Bu mekanın tavanının önemli bir işlevi olduğunu bir kez daha vurgular.



Şekil 4-2 : Çift camlı bir pencerenin ışık yeğnlik eğrisi [3]



Şekil 4-3: Dış yansıtıcı yerleştirilmiş bir pencerenin ışık yeğnlik eğrisi [3]

Dış yansıtıcılar hava şartlarına karşı korumasız olduğundan yansıtıcılıkları genellikle %60'ı geçmez. Buna ek olarak bunların yansıtıkları ışık, hava şartlarına bağlı olarak, yüzey malzemeleri aynasal olsa bile kısmen yaygın olur [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufları

Güneşli iklimlerde, bazı sistemler gün ışığı dağılımını arttırabilmekte, soğutma yükünü azaltabilmekte ve pencere yakınındaki parıltısı yüksek alan ile odanın karanlık olan arka tarafı arasındaki parıltı oranları farkını azaltabilmektedir. Maliyet ve enerji tasarrufu; gün ışığının, soğutma yükü ve aşırı ısı kazancına neden olmadan, etkin kullanımı sonucunda sağlanabilmektedir. Kapalı gök koşulları altında, kanatçık (louver) ve güneşlik sistemleri, düzgün bir şekilde uygulanırsa enerji etkin olabilmektedir. Çünkü, çoğu sistem normal camlı pencereden daha az ışığı içeri alabilmektedir. Kapalı veya açık gök koşullarında, güneş pencere normaline paralel konumdayken; yansıtıcı kanatçık (louver) sistemleri (örn.: kamaşmayı engellemek için pencerenin üst kısmına yerleştirilenler), aydınlık düzeylerini arttırabilmektedir.

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

Kanatçık ve güneşlik sistemlerinin verimliliğinin farklı malzemelerin kullanıldığı altı farklı çalışma ile araştırılmıştır.

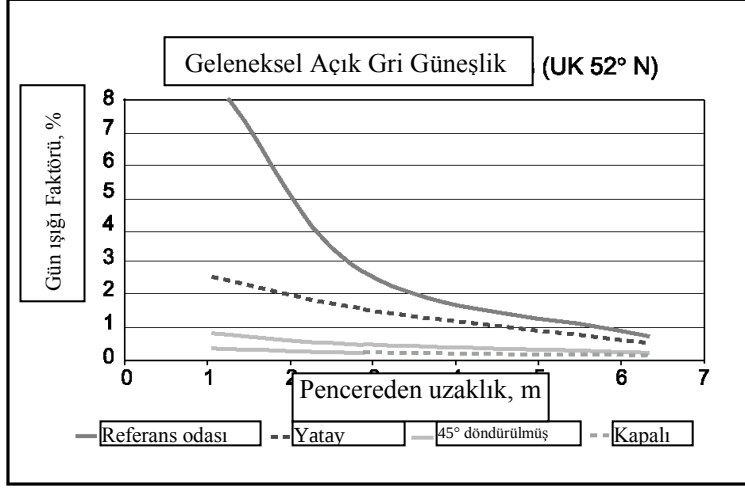
a. Standart Açık Gri Güneşlikler

İngiltere'deki Bina Araştırma Merkezi'nde, 38 mm'lik açık gri renkteki geleneksel güneşlikler test edilmiştir. Güneye bakan model test odasına yerleştirilen güneşlikler, üç değişik durum (paralel elemanlar; tamamen kaplıyken, yatay durumdayken ve aşağıya doğru 45° çevrildiğinde) için gözlenmiştir. Referans odası test odasının bir eşidir. Fakat pencere camının önünde herhangi bir gölgeleme elemanı yoktur.

Tablo 4-1: İngiltere'de 52°Kuzey enleminde, açık renkteki geleneksel güneşliklerle yapılan gün ışığı ölçümleri sonuçları. Kapalı gök koşullarında yapılan ölçümlerde; pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar pencereden, sırasıyla, 1.05, 2.89 ve 6.34 m uzaktadır. Açık gök koşullarında yapılan ölçümlerde; pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar pencereden, sırasıyla, 2.7, 4.5 ve 6.1 m uzaktadır. Evg (klux) küresel dış yatay aydınlık düzeyi ve Evgs (klux) küresel dış düşey aydınlık düzeyidir [3].

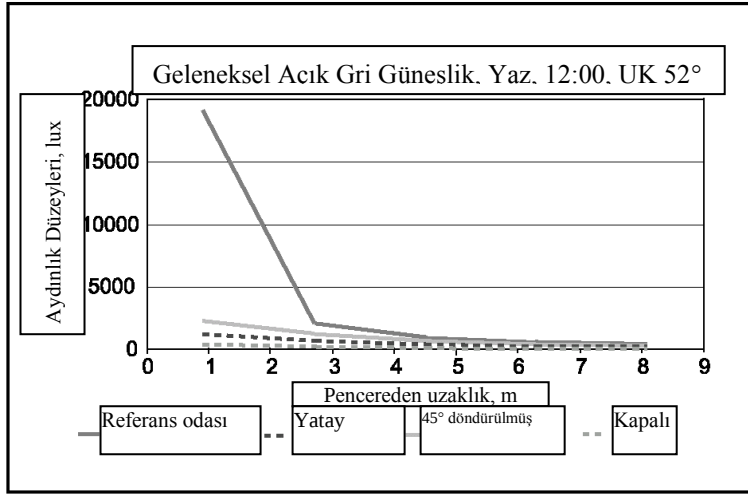
Açık renkteki geleneksel güneşlikler, İngiltere; 52°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (% veya lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge		Evg	Evgs
Gözlem durumu ve zamanı	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası		
Yatay 0°, Kapalı Gök (GF %)	2.5 %	9.1 %	1.5 %	2.9 %	0.5 %	0.7 %	9.5	3.8
45° Döndürülmüş, Kapalı Gök (GF %)	0.8 %	8.7 %	0.4 %	2.5 %	0.1 %	0.7 %	6.6	2.7
Kapalı 90°, Kapalı Gök (GF %)	0.3 %	8.9 %	0.1 %	2.7 %	-0.0 %	0.7 %	8.7	2.8
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 12:00	Güneş	Güneş	Güneş	Güneş	1,110	1,500	30.2	74.9
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 15:00	1,230	1,780	1,050	1,050	320	420	8.1	20.3
45° Döndürülmüş, Kış, Açık Gök, 12:00	530	Güneş	830	Güneş	130	1,360	25.0	65.2
45° Döndürülmüş, Kış, Açık Gök, 15:00	210	1,890	100	1,110	40	410	8.5	21.6
Kapalı 90°, Kış, Açık Gök, 12:00	150	Güneş	70	Güneş	30	1,520	25.7	71.7
Kapalı 90°, Kış, Açık Gök, 15:00	70	2,380	30	1,460	10	560	8.9	28.1
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	1,800	3,290	980	1,540	470	740	68.9	79.7
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 15:00	1,360	2,890	730	1,380	350	640	47.3	60.7
45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 12:00	210	2,430	90	1,150	30	550	75.4	81.7
45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 15:00	170	2,590	70	1,250	20	560	28.9	17.5
Kapalı 90°, Bahar, Açık Gök, 12:00	60	1,470	30	580	10	270	37.6	21.4
Kapalı 90°, Bahar, Açık Gök, 15:00	60	1,540	30	700	10	320	25.4	20.2
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 12:00	1,210	2,170	630	950	280	410	84.3	65.5
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 15:00	970	2,010	510	900	230	380	61.1	50.9
45° Döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 12:00	660	2,400	350	1,040	160	440	80.4	65.9
45° Döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 15:00	550	2,140	290	950	130	410	60.5	51.3
Kapalı 90°, Yaz, Açık Gök, 12:00	160	2,180	70	940	20	410	87.3	59.0
Kapalı 90°, Yaz, Açık Gök, 15:00	130	1,860	60	820	20	360	64.5	43.7

Kapalı gök koşullarında referans odasındaki ölçümler üç gün boyunca sürdürülüp sonuçların ortalaması alındı. Açık gri renkteki geleneksel güneşlikler, paralel elemanlar yatay konumdayken, ışığın pencere ve odanın arka kısımları arasında yumuşak ve yaygın bir değişim göstermesini sağlamıştır. Elemanların tüm konumları için; oda içine giren ışığın miktarı azalmıştır.

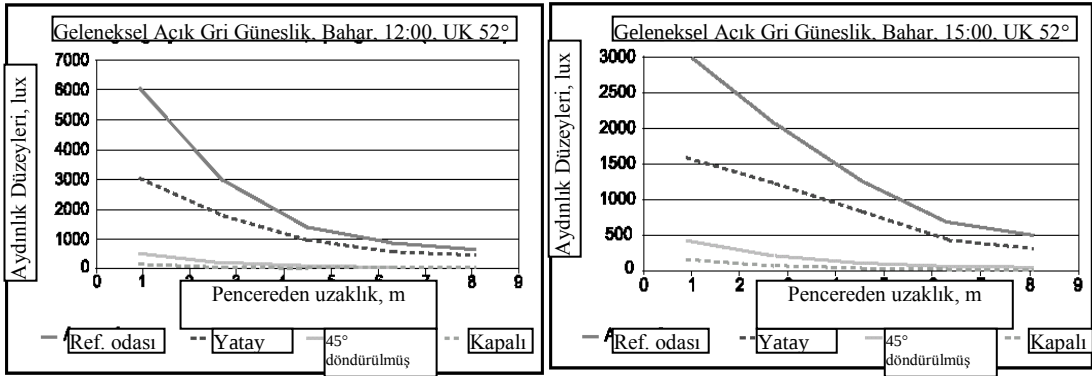


Şekil 4-4: Standart açık gri güneşliklerin gün ışığı faktörü dağılım eğrileri [3].

Açık gök koşulları altındaki gri renkte güneşlikler için, paralel elemanları üç ayrı konumdayken, çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Üç gün boyunca referans odasında yapılan ölçümlerin sonuçları, aydınlık düzeyi değerlerini göstermek için, ortalamaları alınmıştır. Güneş ışınları yüksek açılarda gelirken, güneşlik güneş ışığının içeriye girmesini engeller ve pencere ve odanın arka tarafı arasındaki aydınlık düzeyi farklılıklarını azaltmaktadır. Güneş ışınları dar açılarda geliyorken, paralel elemanların yatay olduğu durumda, güneş ışınları oda içerisine yansıtılmakta ve döndürülmüş olan durumla karşılaştırıldığında aydınlık düzeyleri arttırılmaktadır. Sonuç olarak; geleneksel güneşlik sistemlerinde, kamaşma kontrolü için elemanların 45°'nin altında döndürülmelerinin herhangi bir katkısı yoktur. Tam tersine bu durum aydınlık düzeylerinde önemli azalmalara sebep olmaktadır.



Şekil 4-5: Geleneksel açık gri güneşliklerin yazın saat 12:00’de sağladığı aydınlık düzeyi değerleri [3].



Şekil 4-6: Açık gri güneşliklerle ilk baharda (solda)ve kışın (sağda) elde edilen aydınlık düzeyi değerleri [3].

b. Otomatik Olarak Kontrol Edilen Güneşlikler

Birleşik Devletler’ de Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarları’nda, birbirine benzer iki test odasına pencerenin iç tarafına yerleştirilmiş, yarı aynasal, beyaz alüminyum ile boyanmış, 17mm genişliğinde ve elemanlarının arası 15 mm olan güneşlikler yerleştirilmiştir. Buradaki temel amaç; kontrol sisteminin kontrol edilmesidir. Test odasında, gün boyunca içerideki aydınlık düzeyi 500 lux sağlanacak şekilde elemanların açısı otomatik olarak kontrol edilmiştir. Referans odasında sabit bir güneşlik gün boyunca aynı kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Odalar 62.6° güney doğru bakmakta ve etrafı görüşü kısmen kapatan engellerle çevrilir. Pencere oda genişliğinin tamamı kadardır. Kat yüksekliği 2.58m ve pencere parapet yüksekliği 0.78 m’dir.

Tablo 4-2: Sabit ve Otomatik olarak kontrol edilen güneşliklerin, İngiltere’de 37° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri. Test odası kolonundaki ölçümler (yatay 0° konumundaki) otomatik kontrol edilen güneşlikler için; referans odası kolonundaki ölçümler (yatay 0° konumundaki) sabit güneşlikler içindir. Pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar, pencereden, sırasıyla, 1.5, 2.4 ve 4.3 m uzaklıktadır. Evg, küresel dış yatay aydınlık düzeyi; Evgs, küresel dış düşey aydınlık düzeyi; EE, elde edilememiş demektir [3].

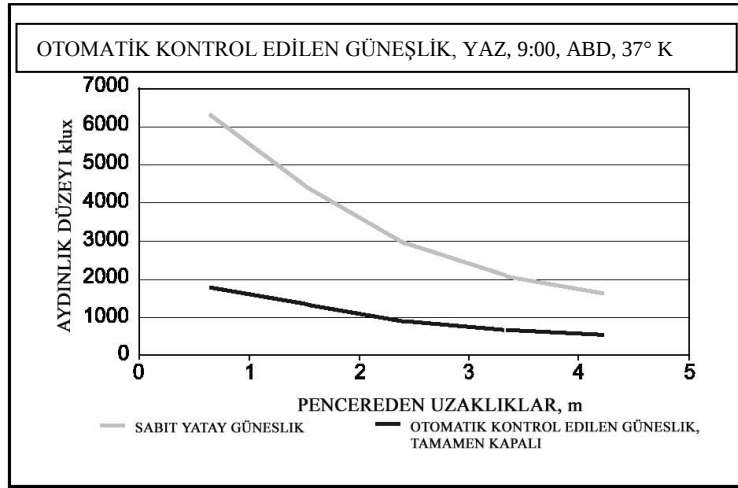
Sabit ve otomatik güneşlikler, İngiltere; 37°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı								
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Evg	Evgs
Otomatik 0°, Sabit 0° (GF %)	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE
Otomatik 0°, Sabit 0°, Kış, Açık Gök, 9:00	450	560	320	380	220	260	28,0	EE
Otomatik 48°, Sabit 0°, Kış, Açık Gök, 12:00	950	2,100	690	1,510	420	990	57,0	
Otomatik 0°, Sabit 0°, Kış, Açık Gök, 15:00	310	320	250	250	220	210	28,8	
Otomatik 70°, Sabit 0°, Bahar, Açık Gök, 9:00	1,630	5,300	1,150	3,360	720	2,010	43,2	EE
Otomatik 67°, Sabit 45°, Bahar, Açık Gök, 9:00	2,030	2,420	1,460	1,790	960	1,210	53,0	
Otomatik 52°, Sabit 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	1,030	1,700	730	1,250	430	830	72,7	
Otomatik 48°, Sabit 45°, Bahar, Açık Gök, 12:00	900	1,020	660	760	390	460	74,9	
Otomatik 0°, Sabit 0°, Bahar, Açık Gök, 15:00	420	400	350	340	290	290	53,5	
Otomatik 0°, Sabit 45°, Bahar, Açık Gök, 15:00	390	160	330	130	290	100	51,5	
Otomatik 65°, Sabit 0°, Yaz, Açık Gök, 9:00	1,340	4,430	900	2,930	540	1,630	78,3	
Otomatik 67°, Sabit 45°, Yaz, Açık Gök, 9:00	1,560	1,660	1,090	1,180	690	750	64,6	EE
Otomatik 43°, Sabit 0°, Yaz, Açık Gök, 12:00	750	1,130	550	840	320	570	106	
Otomatik 26°, Sabit 45°, Yaz, Açık Gök, 12:00	790	690	610	510	400	280	86,1	
Otomatik 0°, Sabit 0°, Yaz, Açık Gök, 15:00	540	580	470	510	430	460	84,3	
Otomatik 0°, Sabit 45°, Yaz, Açık Gök, 15:00	510	220	440	180	380	120	67,5	

Kapalı gök koşulları için karşılaştırılabilir herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Bu yüzden bu koşul için bir sonuca varılamamıştır.

Açık gök koşulları için; otomatik güneşlikler, tasarlanmış olan 500 lux’lük gün ışığı aydınlık düzeyini sağlamak açısından, yatay ve 45°’ lik sabit güneşliklerden daha

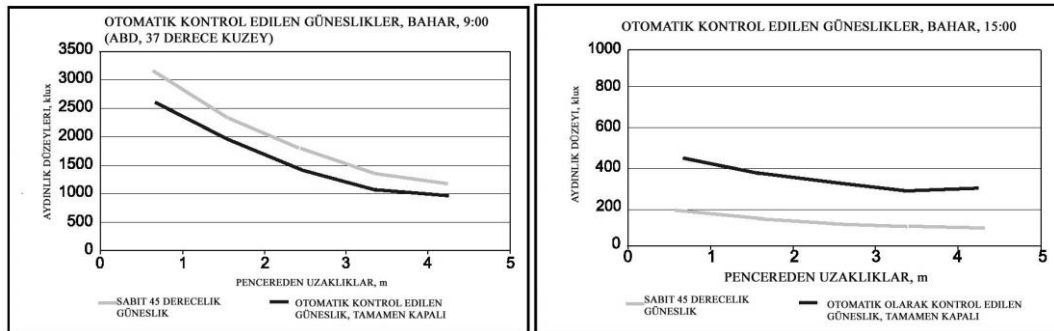
yararlıdır. Yaz aylarında, tamamen kapalı konumdaki otomatik güneşlik, referans odasında yatay konumdaki güneşlikten daha düzgün bir aydınlık düzeyi dağılımı (otomatik kontrolde; 540–1,340 lux, sabitte;1,630–4,430 lux arası) sağlamıştır.

Ekinoks zamanları için elde edilen sonuçlar yaz döneminde elde edilenlerle aynıdır. Sadece test odası ve referans odaları arasındaki aydınlık düzeyleri büyüklükleri, ekinoksta küçülmektedir. Çünkü; gün ışığının, var olduğu zaman dilimi kısalmaktadır.



Şekil 4-7: Otomatik kontrol edilen güneşliklerin yaz aylarında saat 9:00'da test odası içinde meydana getirdiği aydınlık düzeyleri [3].

Test odaları doğu- güneydoğuya baktığı için, öğlen saatlerinde binanın cephesi güneş ışığı görmemektedir. Bu durumda, yatay konumdaki otomatik güneşlik, kısmen kapalı güneşlikten daha fazla gün ışığı sağlamaktadır. Bu iki durum için, saat 9:00 ve 15.00'te çıkarılan aydınlık düzeyi profilleri aşağıdaki şekillerde, sırasıyla, verilmiştir.



Şekil 4-8: Otomatik olarak kontrol edilen güneşliklerin bahar aylarında saat 15:00'da test odası içinde meydana getirdiği aydınlık düzeyleri [3].

Sonuçta; tüm iklim bölgeleri için otomatik kontrollü güneşlikler çok iyi performans göstermektedir. Bununla birlikte; otomatik kontrol algoritması binanın konumuna

göre, soğutma-ısıtma yükünü gün ışığı aydınlatması ile bağdaştırmak için ayarlanmaya ihtiyaç duymaktadır. Düşük enlemlerdeki sıcak iklim bölgelerinde yer alan ülkeler için; eğer sistem daha az güneş ışıınımlı sağlamak üzere kontrol edilirse veya pencere dışına yerleştirilirse, sistem daha etkin bir enerji korunumu sağlayabilir. Yüksek enlemlerdeki soğuk iklim bölgelerinde yer alan ülkeler için ise; eğer sistem daha çok gün ışığı ve güneş ışıınımlı sağlamak üzere kontrol edilirse enerji etkin bir sistem olabilir. Test sonuçları, otomatik olarak kontrol edilen güneşliklerin, mevcut güneş ışığına göre ayarlanmasının önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

c. Yarı Saydam Güneşlikler

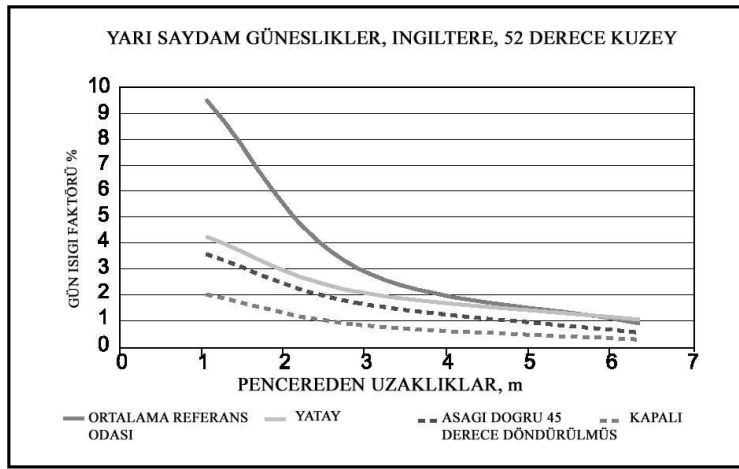
İngiltere'deki Bina Araştırma Merkezi'nde (Building Research Station), 25mm'lik beyaz renkte %5'ten daha az geçirgenlik oranına sahip yarı saydam güneşlikler test edilmiştir. Güneye bakan model test odasına yerleştirilen güneşlikler, üç değişik durum (paralel elemanlar; tamamen kaplıyken, yatay durumdayken ve aşağıya doğru 45° çevrildiğinde) için gözlenmiştir. Referans odası test odasının bir eşidir. Fakat pencere camının önünde herhangi bir gölgeleme elemanı yoktur.

Tablo 4-3: Yarı saydam güneşliklerin, İngiltere'de 52° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri. Kapalı gök koşulları için yapılan ölçümlerde, pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar, pencereden, sırasıyla, 1.05, 2.89 ve 6.34 m uzaklıktadır. Açık gök koşulları için yapılan ölçümlerde, pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar, pencereden, sırasıyla, 2.7, 4.5 ve 8.1 m uzaklıktadır. Evg, küresel dış yatay aydınlık düzeyi; Evgs, küresel dış düşey aydınlık düzeyi; EE, elde edilememiş demektir. GF gün ışığı faktörüdür [3].

Yarı saydam güneşlikler, İngiltere; 52°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Evg	Evgs
Yatay 0°, Kapalı Gök, (GF%)	3.6 %	9.0 %	1.7 %	2.9 %	0.5 %	0.7 %	19.6	7.8
Aşağı 45° Döndürülmüş, Kapalı Gök,	4.2 %	10.4 %	2.1 %	3.2 %	1.0 %	1.3 %	3.8	1.5
Kapalı 90°, Kapalı Gök, (GF%)	2.0 %	8.9 %	0.8 %	2.7 %	0.3 %	0.7 %	8.5	3.4
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 12:00	3,120	3,920	güneş	güneş	1,110	1,500	29.4	71.3
Yatay 0°, Kış, Açık Gök, 15:00	2,100	2,910	1,350	1,690	570	730	12.8	35.8
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	2,790	4,070	1,380	1,500	640	750	56.5	86.5
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 15:00	2,310	3,530	1,150	1,760	520	790	35.1	66.5
Aşağı 45° Döndürülmüş, Açık Gök, 12:00	1,810	2,390	900	1,130	480	570	77.1	77.4
Aşağı 45° Döndürülmüş, Açık Gök, 15:00	1,410	2,550	720	1,220	380	580	56.8	63.2
Kapalı 90°, Açık Gök, 12:00	250	4,450	250	1,700	40	780	EE	EE
	200	3,300	90	1,440	20	640	EE	EE

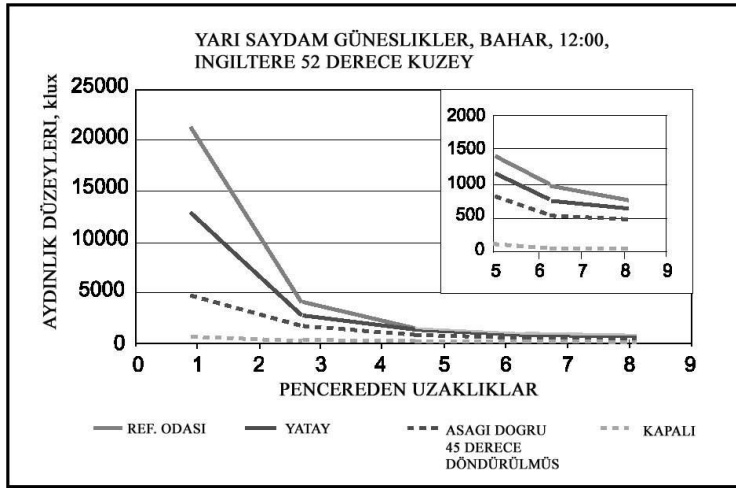
Kapalı 90°, Açık Gök, 15:00								
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Kapalı gök koşullarında, yarı saydam güneşlikler için çalışma düzlemi üzerindeki gün ışığı faktörleri, üç ayrı konumdaki standart güneşliklerin sağladıklarından biraz daha yüksektir. Kapalı gök koşullarında referans odasındaki ölçümler üç gün boyunca sürdürülüp sonuçların ortalaması alınmıştır.



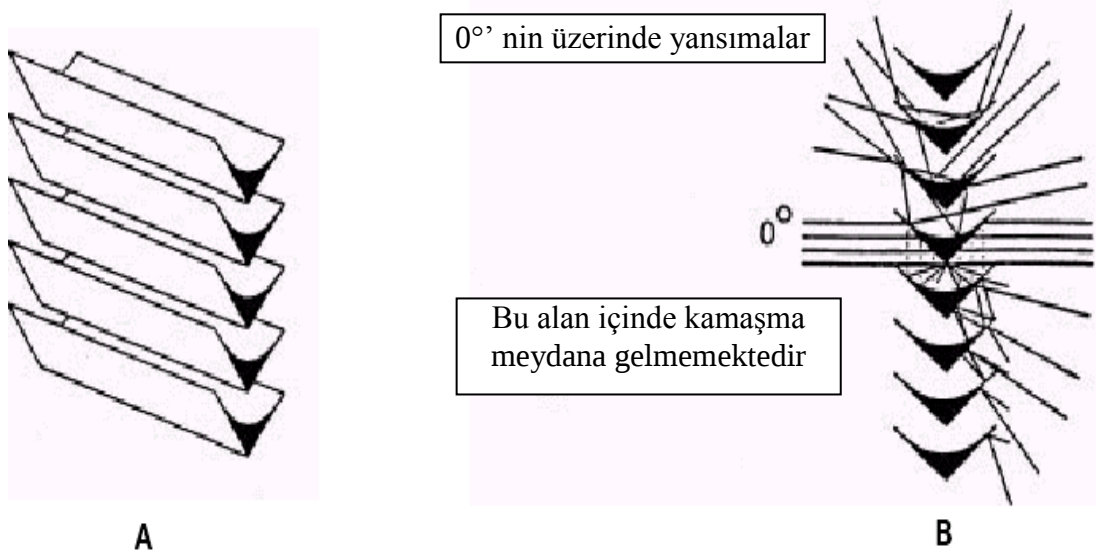
Şekil 4-9: Yarı saydam güneşliklerin farklı konumlarda (yatay, 45° ve kapalı) iken test odasında meydana getirdiği gün ışığı faktörleri [3].

Açık gök koşullarında, standart ve yarı saydam güneşliklerin sağladıkları aydınlık düzeyleri arasında çok az bir fark vardır. Açık gök koşulları altındaki yarı saydam güneşlikler için, paralel elemanları üç ayrı konumdayken, çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Üç gün boyunca referans odasında yapılan ölçümlerin sonuçları, aydınlık düzeyi değerlerini göstermek için, ortalamaları alınmıştır.



Şekil 4-10: Yarı saydam güneşliklerin bahar aylarında saat 12:00’de test odasında meydana getirdiği aydınlık düzeyleri [3].

Sonuç olarak; yarı saydam güneşlikler geleneksel olanlara göre daha fazla gün ışığının içeriye girmesine izin vermektedir. Yarı saydam güneşliklerin amacı; diğer sistemlerin sağladığından daha fazla gün ışığı sağlarken tam bir kamaşma kontrolü sağlayabilmektir. Bununla birlikte; güneşliklerin kendilerinin bir kamaşma kaynağı olamamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 4-11: Sabit kanatçıklar-“Fish sisteminin şematik çizimleri [3].

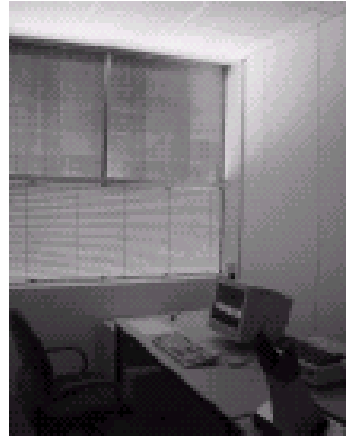
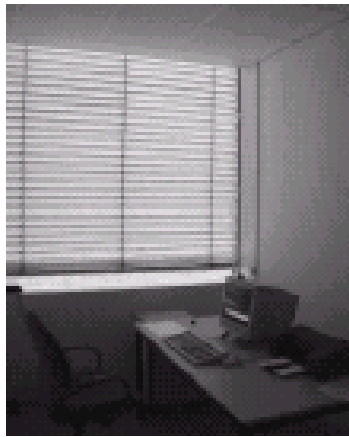
d. Sabit Kanatçıklar (Louvre)- Fish (balık) sistemi

Avusturya’da Bartenbach aydınlatma laboratuvarlarında, pencerenin altında ve üstünde yer alan iki farklı sistemden oluşan birleşik bir gün ışığı aydınlatma sistemi

test edilmiştir. Pencerenin üst bölgesi balık şeklinde, sabit ve yansıtıcı ışık yönlendirici kanatçıklara sahiptir (Şekil 4-11). Pencerenin alt bölgesi ise, kamaşmayı önlemesi için, hareketli olan ve dışarıda yer alan ışık yönlendirici kanatçıklara sahiptir. Referans odası test odası ile aynı büyüklükte pencere alanına ve aşağıya doğru 45° çevrilmiş ve dışarıda yer alan kanatçıklara sahiptir. Yapılan bu testlerin temel amacı, pencerelerin içerideki parıltıları aynı iken, sistemlerin sağladıkları aydınlık düzeyleri ve gün ışığı dağılımını karşılaştırmaktır.

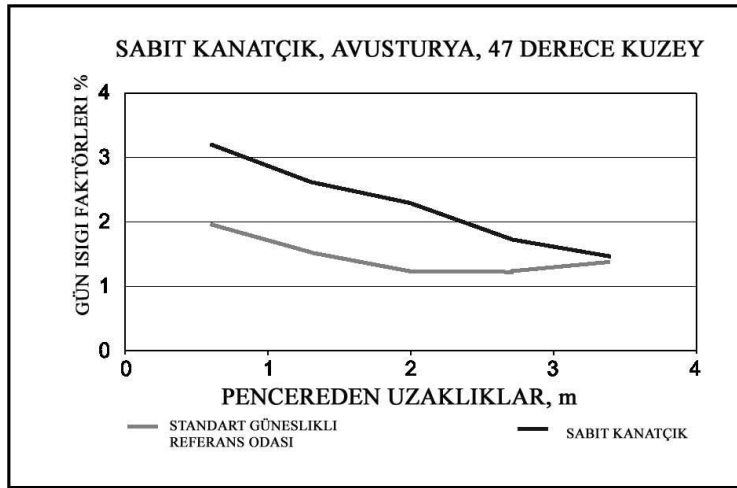
Tablo 4-4: Pencere, orta ve arka bölgelerdeki alıcılar, pencereden, sırasıyla, 1.3, 2.0 ve 3.4 m uzaklıktadır. Ev_g, küresel dış yatay aydınlık düzeyi; Ev_{gs}, küresel dış düşey aydınlık düzeyi; EE, elde edilememiş demektir. GF gün ışığı faktörüdür [3].

Sabit kanatçıklar, Avusturya; 47°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı								
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Ev _g	Ev _{gs}
Kapalı Gök, (GF%)	2.6 %	1.5 %	2.3 %	1.2 %	1.5 %	0.98 %	19.4	8.0
Bahar, Açık Gök, 12:00	470	290	430	220	280	150	89.7	62.8
Bahar, Açık Gök, 15:00	440	310	390	230	260	160	87.6	63.6
Yaz, Açık Gök, 12:00	70	110	60	90	40	80	55.2	8.4
Yaz, Açık Gök, 15:00	280	250	230	190	160	130	97.1	40.0



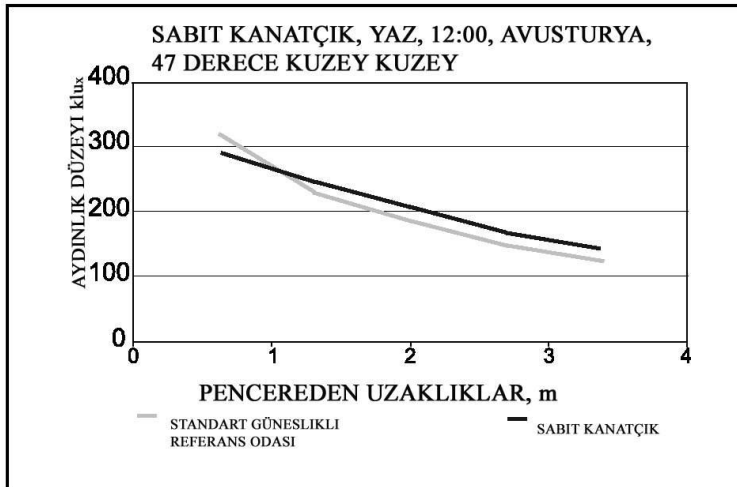
Şekil 4-12.:Test (sağda) ve referans odalarının (solda) içeriden görünüşleri [3].

Kapalı gök koşulları altında “fish” sisteminde yapılan ölçümler, dışarıda yer alan aşağıya doğru döndürülmüş kanatçıklara sahip referans odası ile karşılaştırıldığında, odanın tümünde iki kat daha fazla aydınlık düzeyi sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte; önünde gölgeleme olmayan bir pencere ile ölçümler yapılmadığı için sonuçları karşılaştırırken dikkatli olmak gerekmektedir.

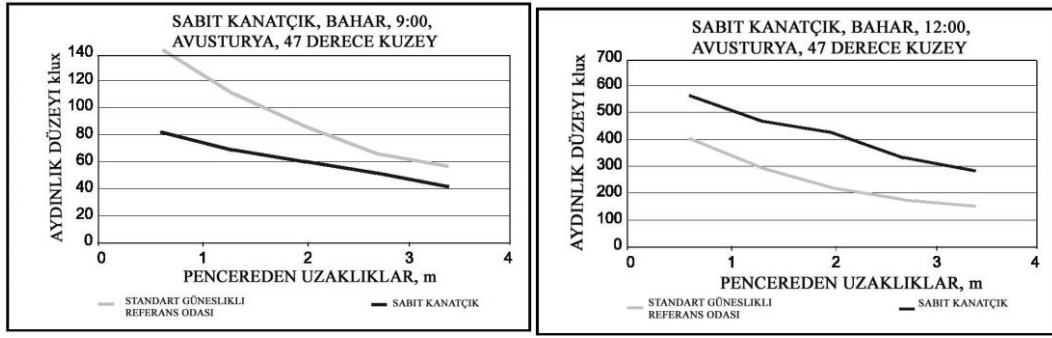


Şekil 4-13: Sabit kanatçık sisteminin Avusturya'da 47° kuzeyde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen gün ışığı faktörleri değerleri [3].

Açık gök koşullarında; dışarıdaki kanatçıklar kısmen kapalı olduğu için her iki odadaki tüm aydınlık düzeyleri düşüktür. Test odasında sabah saatlerinde yapılan testlerde aydınlık düzeyi düşük iken, öğleyin bu değer daha yüksektir.



Şekil 4-14: Sabit kanatçık sisteminin yazın saat 12:00'de test odasında meydana getirdiği aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine göre dağılımı [3].



Şekil 4-15: Sabit kanatçık sisteminin bahar aylarında saat 9:00 (solda) ve saat 12:00’de (sağda) test odasında meydana getirdiği aydınlık düzeylerinin odanın derinliklerine göre dağılımı [3].

Sonuç olarak; “Fish”, balık sistemleri genellikle kapalı durumdaki güneşliklerle karşılaştırıldıklarında, yerleştirildikleri mekanın ışık dağılımını iyileştirmektedir. Dışarıda aşağıya doğru döndürülmüş güneşlik istemi bulunan referans odası ile karşılaştırıldığında, aynı pencere parıltısı ile çalışma düzlemi üzerinde sağlanan aydınlık düzeyi daha yüksektir. Bu çalışmada “Fish” sisteminin, tek başına değil, dışarıda yer alan döndürülebilir güneşlik sistemi ile birlikte kullanıldığı ve içeride hedeflenen aydınlık düzeyinin düşük olduğu göz önünde tutularak, elde edilen sonuçların, değerlendirilmesi gerekmektedir [3].

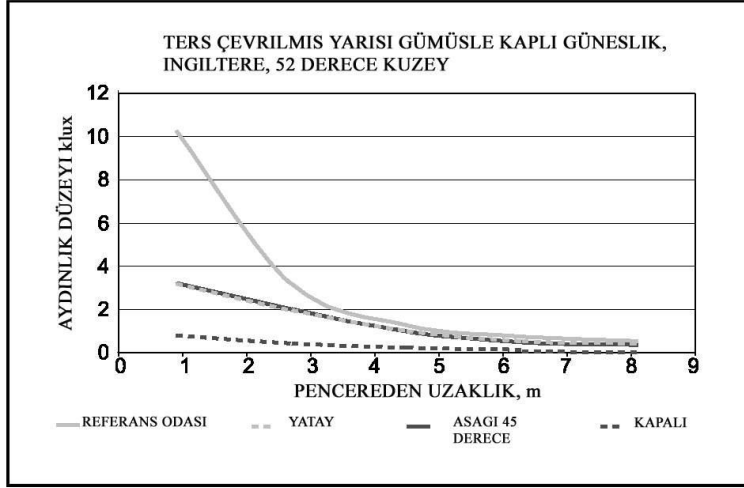
e. Ters Çevrilmiş Yarı Gümüş Kaplı Güneşlikler

İngiltere’deki Bina Araştırma Merkezi’nde, 38mm genişlikteki iç bükey kısmı yukarı gelecek şekilde çevrilmiş ve bu yüzü gümüşle kaplanmış güneşlik test edilmiştir. Güneye bakan model test odasına yerleştirilen güneşlikler, üç değişik durum (paralel elemanlar; tamamen kaplıyken, yatay durumdayken ve aşağıya doğru 45° çevrildiğinde) için gözlenmiştir.

Tablo 4-5: Ters çevrilmiş yarısi gümüş kaplı güneşliklerin, İngiltere’de 52° kuzey enleminde, sağladığı aydınlık düzeyleri ve gün ışığı faktörü değerleri [3].

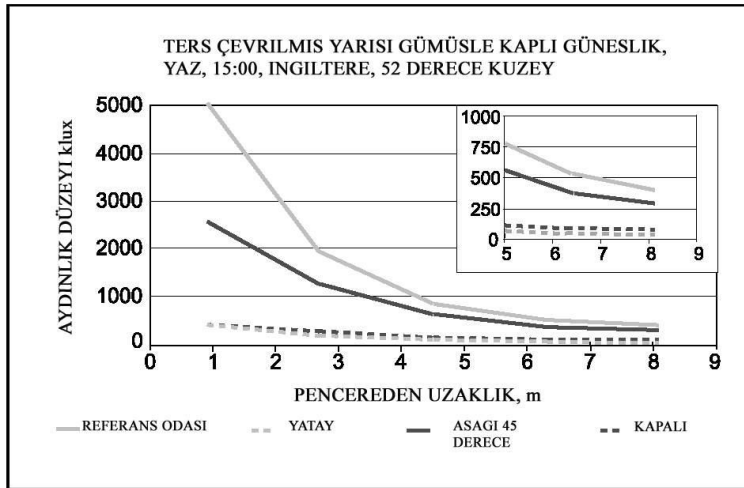
Ters çevrilmiş yarısi gümüş kaplı güneşlikler, İngiltere; 52°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge		Evg	Evgş
Gözlem durumu ve zamanı	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası		
Yatay 0°, Kapalı Gök, (GF%)	1.9 %	3.2 %	1.0 %	1.3 %	0.4 %	0.5 %	15.0	0.2
Aşağı 45° Döndürülmüş, Kapalı Gök,	2.0 %	3.2 %	0.9 %	1.3 %	0.4 %	0.5 %	4.2	1.7
Kapalı 90°, Kapalı Gök, (GF%)	0.4 %	3.0 %	0.2 %	1.2 %	0.1 %	0.5 %	14.2	5.7
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	2,840	3,190	1,490	1,510	690	730	56.3	85.4
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 15:00	1,070	1,670	590	770	280	380	13.1	20.3
Yukarı 45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 12:00	750	güneş	390	1,650	190	960	42.6	78.9
Yukarı 45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 15:00	380	2,590	190	1,150	90	470	16.3	35.0
Kapalı 90°, Bahar, Açık Gök, 12:00	30	1,060	10	640	4	380	13.8	11.7
Kapalı 90°, Bahar, Açık Gök, 15:00	10	310	5	130	2	170	9.4	5.7
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 12:00	1,720	2,070	850	900	380	440	87.3	57.1
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 15:00	1,200	1,850	610	830	290	400	68.9	45.2
Aşağı 45° Döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 12:00	350	2,930	170	1,190	90	530	46.8	39.8
Aşağı 45° Döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 15:00	100	900	60	390	30	190	27.7	13.2
Kapalı 90°, Yaz, Açık Gök, 12:00	230	2,590	110	1,090	40	490	86.9	56.3
Kapalı 90°, Yaz, Açık Gök, 15:00	180	2,030	80	890	30	400	61.2	40.2

Ters çevrilmiş yarısi gümüşle kaplı güneşliklerin yansıtıcı yüzeylerinin üç ayrı konumu (yatay, 45° ve düşey yani tamamen kapalı konumları) için, çalışma düzlemi üzerinde elde edilen gün ışığı faktörü değerleri ölçülmüştür. Referans odasında üç gün boyunca yapılan ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınmıştır. Ölçümler sonucunda; kapalı gök koşullarında, yansıtıcı yüzeyleri 45°’de ve yatay konumdayken elde edilen aydınlık düzeylerinin eşit olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4-16: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, İngiltere’de 52° kuzey enleminde, sağladığı gün ışığı faktörü değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı [3].

Açık gök koşullarında saat 15:00 için yapılan ölçümlerdeki koşullarda aynıdır. Referans odasında üç gün boyunca ölçülen değerlerin, mekandaki aydınlık düzeylerini bulmak için ortalamaları alınmıştır. Yatay konumdaki yansıtıcılar, pencere yakınındaki bölge ile odanın arka kısımları arasındaki farklılığı ortaya çıkarırken diğerlerine göre daha yüksek bir aydınlık düzeyi (300-2500 lux) sağlamaktadır (Şekil 4-17).



Şekil 4-17: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, İngiltere’de 52° kuzey enleminde, yazın, saat 15:00’te, sağladığı aydınlık düzeyi değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı [3].

Sonuçta; geleneksel güneşlik sistemleri ile karşılaştırıldığında bu sistem, özellikle yaz aylarında, yansıtıcı yüzeyler yatay konumdayken daha fazla gün ışığı

sağlamaktadır. Ancak gümüşle kaplı bu yüzeyler her zaman kamaşma yaratma olasılığını taşıdığı için sadece pencerenin üst kısmında kullanılabilmektedir.

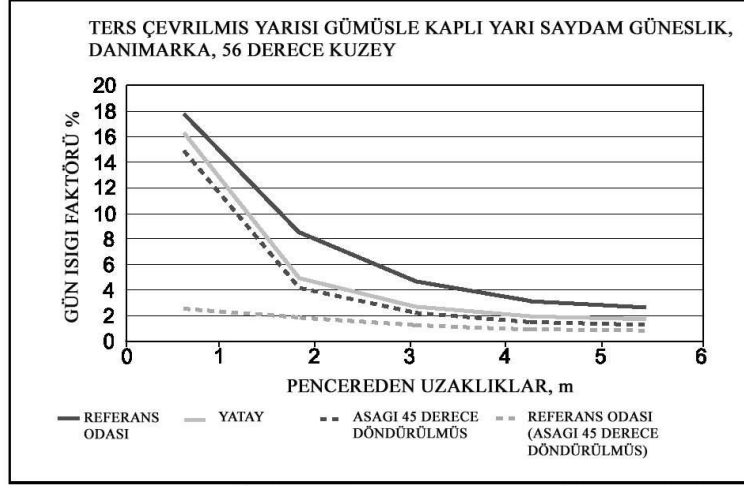
f. Ters Çevrilmiş Yarı Gümüşle Kaplı Yarı Saydam Güneşlikler

Danimarka Bina Araştırma Enstitüsü'nde, 50 mm genişliğinde, yarı saydam, geçirgenlik oranı %10'un altında bir güneşlik sistemini test etmiştir. Yansıtıcı yüzeylerin ters çevrilmiş, üst (içbükey) yüzeyi gümüşle kaplanmış ve alt yüzeyi de açık griye boyanmıştır. Güneşlikler yansıtıcı yüzeylerinin iki konumu (yatay ve 45°) için, yaz, kış ve bahar aylarında gözlenmiştir. Sistemler ayakta olan bir insanın göz seviyesinden (1.80 m) yukarıya ek bir sistem olmadan yerleştirilmiştir. Açık gök koşullarında yapılan ölçümler için referans odası standart beyaz bir güneşlikle kapatılmıştır. Güneşliğin yansıtıcı elemanları 45° aşağıya doğru döndürülmüştür ve bütün pencere yüzeyini kaplamaktadır. Kapalı gök koşullarında yapılan ölçümler için referans odasının gölgeleme elemanı olmayan bir penceresi vardır.

Tablo 4-6: Ters çevrilmiş yarı gümüşle kaplı yarı saydam güneşliklerin, Danimarka'da, 56° kuzey enleminde sağladığı aydınlık düzeyi ve gün ışığı faktörü değerleri [3].

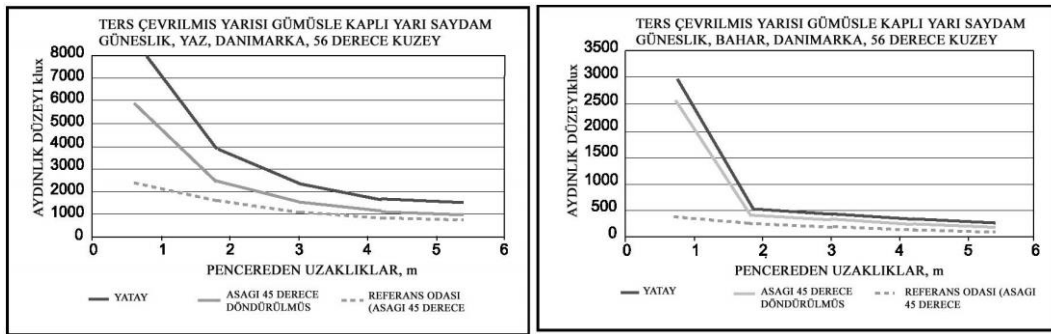
Ters çevrilmiş yarı gümüş kaplı güneşlikler, İngiltere; 52°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	E _{vg}	E _{ys}
Yatay 0°, Kapalı Gök, (GF%)	4.9 %	8.6 %	2.7 %	4.6 %	1.7 %	2.6 %	19.3	7.6
Aşağı 45° Döndürülmüş, Kapalı Gök,	4.1 %	8.5 %	2.2 %	4.7 %	1.3 %	2.7 %	7.5	3.0
Standart Aşağı 45° Döndürülmüş, Kapalı Gök, (GF%)	1.8 %	8.5 %	1.3 %	4.7 %	0.8 %	2.7 %	7.5	3.0
Aşağı 45° Döndürülmüş, Kış, Açık Gök, 9:00	5,480	2,070	2,320	1,290	1,670	900	8.7	38.2
Aşağı 45° Döndürülmüş, Kış, Açık Gök, 12:00	güneş	3,710	>4,000	2,540	>4,000	1,820	29.3	87.7
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 9:00	5,640	2,410	3,650	1,610	2,310	1,070	40.4	67.6
Yatay 0°, Bahar, Açık Gök, 12:00	7,830	3,360	>4,000	2,280	3,730	1,540	66.9	94.0
Aşağı 45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 9:00	4,130	2,340	2,770	1,600	1,040	1,830	38.4	65.1
Aşağı 45° Döndürülmüş, Bahar, Açık Gök, 12:00	4,950	3,320	3,710	2,300	2,790	1,520	65.5	92.6
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 9:00	3,820	1,690	2,340	1,150	1,470	760	66.7	46.9
Yatay 0°, Yaz, Açık Gök, 12:00	5,650	2,540	3,710	1,720	2,320	1,150	91.6	69.3
Aşağı 45° Döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 9:00	2,470	1,530	1,560	1,040	980	690	74.0	44.8
Aşağı 45° Döndürülmüş, Yaz, Açık Gök, 12:00	3,480	2,380	2,330	1,620	1,440	1,083	98.7	65.8

Kapalı gök koşullarında, bu sistem bulunduğu odada çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini, gölgelenmeyen referans odasına göre azaltmaktadır. Aydınlık düzeyindeki en az düşüş yansıtıcılar yatay konumdayken gözlenmiştir. Bununla birlikte; gerçek koşullardaki uygulamalarda pencerenin önüne ek bir gölgeleme elemanı gerekmektedir. Çünkü bu sistem eğer göz seviyesinin altında kullanılırsa kamaşmaya neden olmaktadır.



Şekil 4-18: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, Danimarka'da 56° kuzey enleminde, kapalı gök koşullarında, sağladığı gün ışığı faktörü değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı [3].

Açık gök koşullarında, hem yaz hem de bahar ayları için, yansıtılan ışığın tamamı odanın tavanını aydınlatmakta ve referans odası ile karşılaştırıldığında odanın orta ve arka kesimlerindeki aydınlık düzeylerini arttırmaktadır. Yan duvarlara ve tavana yansıtılan güneş ışığı rahatsız edici, dağınık ışık lekeleri oluşturabilmektedir. Güneşliği kapatmak veya farklı bir yüzey malzemesi kullanılması bu sorunu azaltabilmektedir.



Şekil 4-19: Ters çevrilmiş yarısı gümüş kaplı güneşliklerin, Danimarka'da 56° kuzey enleminde, açık gök koşullarında, yaz (solda) ve bahar (sağda) aylarında sağladığı aydınlık düzeyi değerlerinin odanın derinliklerine göre dağılımı [3].

Sonuç olarak; yansıtıcı yüzeyler yatay konumdayken aralarındaki mesafenin dar olması nedeniyle dışarısının görülmesini engellemektedir. Bununla birlikte; bunların aynı zamanda yarı saydam bir yapıda olması sayesinde, belli bir açı ile döndürüldüklerinde dışarısının görülebilmesi sağlanabilmektedir. Yansıtıcıların şekli ve yüzeyin iyileştirilmesi, sistemin ancak kamaşma sorunları çözüldüğünde bir pencereye yerleştirilebileceğini göstermektedir. Bu sorun çözüldüğünde bu sistemler de aynasal kanatçık (louver) sistemi ile aynı performansı gösterecektir [3].

4.3. Anidolik Sistemler

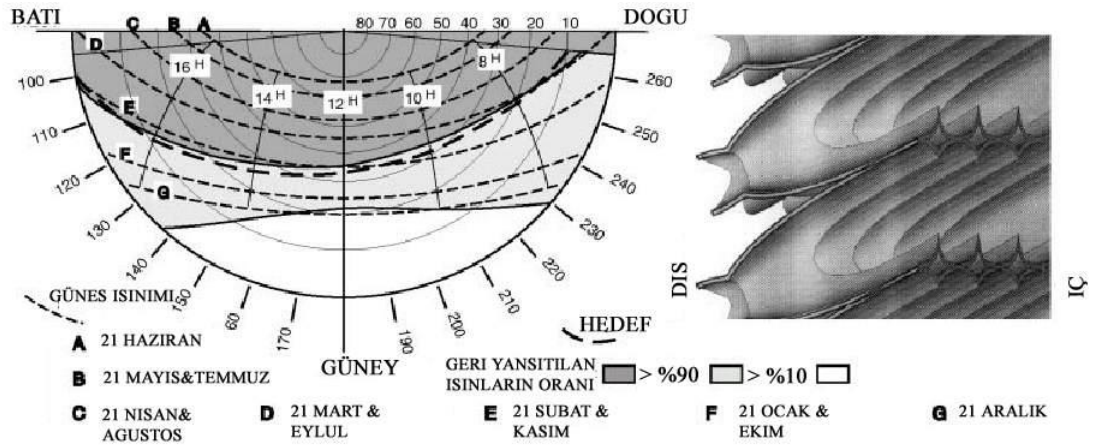
Direkt güneş ışığını bina içerisine alan sistemler arasında, aslında tasarım amacı yayınlık gök ışığını içeri almak olan anidolik optik tekniğini kullanan bir sistemde yer almaktadır. Anidolik optik tekniğinin sonucunda şekillenen geometrisini, güneş ışığını içeri almak için üç boyutlu bir biçime sokan bu sistem bir güneşlik sistemidir.

4.3.1. Pencere Camının Arasına Yerleştirilen Anidolik Sistemler-Anidolik Güneşlikler

Anidolik güneşlikler; her biri, iki adet üç boyutlu parabolik toplayıcıdan oluşan bir dizi, içi boş yansıtıcı elemandan oluşmaktadır. Güneşlikler, mekanların pencerelerden aydınlatması için tasarlanmış olup, güneş ışığını ve kamaşmayı kontrol etmeye yönelik olarak, ışığın iletiminde açısız seçicilik sağlamaktadır. Bu tasarım henüz deneme ve prototip aşamasındadır.

Teknik Tanımı

Anidolik güneşliklerin diğer anidolik sistemlere (anidolik tavanlar ve anidolik zenital açıklıklar) göre getirdiği yenilik küçük ve üç boyutlu yansıtıcı yüzeyleri olan elemanlara (Şekil 4-21) sahip olmasıdır. Güneşliklerin optik özellikleri yüksek açılardan gelen direkt güneş ışınlarını reddedip düşük açılardan gelen kış güneşi ışınlarını veya yayınlık ışığı geçirmektir. Şekil 4-20’de reddedilen ışınların oranını yükseliş ve azimut açılarının fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Güneşliklerin optik elemanları cephe yönüne ve sıcaklık değişimlerine göre tasarlanabilir (örneğin; öğleden önce öğleden sonrakinden daha fazla güneş ışığına gerek vardır). Güneşliğin ışığı geçiren küçük boyutlardaki bu elemanları, gün ışığını odanın üst çeyreğine, tavana doğru yansıtması ve pencere normaline göre $\pm 25^\circ$ açı aralığına yatay olarak dağıtması için tasarlanmıştır. Bu tasarım güneş ışığını kamaşma yaratmadan yayınlık olarak dağıtmayı sağlamıştır.



Şekil 4-20: Solda, gerekli olan ve hesaplanan geri yansıtılan ışınların oranı karşılaştırılmaktadır. Sağda, Anidolik Güneşliklerin üç boyutlu bilgisayar modelinin kesiti görülmektedir [3].

Bu sistemin elemanları, herhangi bir ölçekte (gün ışığı dalga boyundan daha büyük olarak) üretilebilir ve her enleme ve yöne göre ayarlanabilir. Burada örnekte gösterilen sistem, 48 içi boş eleman içeren 20 tane seriden oluşmaktadır. Her bir eleman vakumlu soğuk kalıplama tekniğiyle silikon kalıplara plastik malzeme dökülerek yapılır. Aynasal yüzeyler ise buhar vakumlu kaplama tekniği ile alüminyum kaplanarak elde edilir. Şekil 4-20 (sağ) güneşlik kesitini göstermektedir [2].



Şekil 4-21: Aygıtın çıkış tarafından çekilmiş bir fotoğraf. Hücresel yapı ancak bakış doğrultusu açısız yayılma bölgesi içerisinde olduğunda parlak görünmektedir [3].

Amaçları

Sistemin tasarlanma amacı güneşli iklimlerde gün ışığını yönlendirmektir. Sistem görüntü oluşturmeyen optiğin prensiplerini kullanarak ışınların açısız seçimini ve doğrultusal kontrolünü de sağlar. Sistemin uygulama sonuçları da göstermiştir. Bu da yüksek açısız seçicilik kabiliyeti sayesinde. Sistemin hedefleri arasında odanın

arka kısımlarındaki aydınlık düzeyinin arttırılarak homojen bir aydınlatma sağlamak da vardır [13].

İşlevleri

Yapılan deneyler sonucunda:

- Güneş ışığının odanın arka kısmına yönlendirilmesiyle bu kısımdaki aydınlık düzeylerinin arttığı
- Yaz aylarında (65° güneş yükseliş açısında) kış aylarındakinden (29° güneş yükseliş açısında) daha düşük aydınlık düzeyi sağlandığı

Güney yönüne göre simetrik olan, güneşin konumları için sistemin sağladığı aydınlık düzeyleri karşılaştırıldığında, ortaya çıkan farklılıklar göstermiştir ki; bunlardan güneşin sabah saatlerindeki konumlarında sağladığı değerler sistemin hedeflediği değerleri tutmaktadır (Şekil 4-20). Mesela; 34° yükseliş açısı için, güney-doğuya doğru 30° ile güney-batıya doğru 30° azimut açılarındaki aydınlık düzeyleri karşılaştırdığında, iki durum için ortalama aydınlık düzeyleri arasında 1.05 'lik bir oran (doğu yönü avantajlı olarak) ortaya çıkmaktadır. Bu demektir ki; sistem, hedefi doğrultusunda, akşam saatlerinde aşırı ısınma riskini azaltmaktadır [13].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Sistemin tasarımı görüntü oluşturmaya dayalıdır ve sistemin elemanlarının üç boyutlu olası dışında diğer anidolik sistemlerle aynıdır. Daha ayrıntılı bilgi bölüm 3.2 de anidolik tavanlarda verilmiştir.

3-boyutlu görüntü oluşturmaya dayalı sistemin getirmiş olduğu yenilikler; asimetrik bir BPT birleşik parabolik toplayıcı (CPC: compound parabolic concentrator) kullanması, cephe yönüne göre uydurulmuş bir kabul sektörüne ve tipik 24 saatlik sıcaklık davranışına (sıcak öğleden sonralarında güneş ışınlarını içeri almaması) sahip olmasıdır.

Her içi boş eleman iki adet üç boyutlu birleşik parabolik toplayıcıdan (Şekil 4-20 sağ taraf) oluşur. İlk BPT dışarıya doğru yönlendirilmiş ve güneş ışınlarının iklimsel seçimini sağlayan bir kabul sektörü oluşturmuş (Şekil 4-20 sol taraf); koyu kesik çizgi ile gösterilen çizgi istenen açısal seçiciliği göstermektedir. Burada Orta-Avrupa için (47° enlemi için) mart ve eylül ayları arasında güneş ışınımını kesmektedir.

kullanılmasıyla yayınlık ışıqla elde edilebilecek enerji tasarrufundan daha fazlası elde edilebilmektedir. Çünkü kamaşma sorunu, ışığın tavana doğru yönlendirilmesiyle çözülmekte, güneşlikler kışın ek ısı kazancı da sağlayabilmektedir. Sistemin çok etkili gölgeleme işlevi soğutma yükünü azaltmaktadır [3].

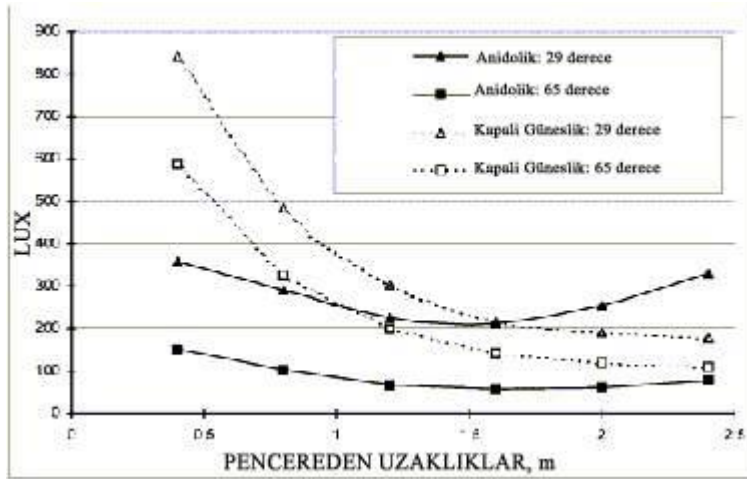
Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

Anidolik güneşlikler henüz bir binaya uygulanmış değildir. Ancak sistemle ilgili çeşitli testler yapılmıştır.

Anidolik güneşliklerin gün ışığı aydınlatması performanslarının testi için 1:1 ölçeğinde model test odaları inşa edilmiştir. 6.5m derinliğinde ve 2.65m yüksekliğinde, fotometrik özellikleri ($\rho_{\text{duvar}}=0.8$; $\rho_{\text{tavan}}=0.8$; $\rho_{\text{döşeme}}=0.15$) tamamen aynı olan iki model ofis yapılmıştır. Test ve referans odalarının pencerelerine, test odasında anidolik güneşlikten başka, yüksek kalitede, beyaz güneşlikler yerleştirilmiştir. Güneşliğin yatay elemanlarının açısı, kamaşma ve direkt güneş ışığını engellerken gün ışığının yayılmasını da sağlamak için yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır. Güneşliğin yatay elemanlarının hepsi, anidolik güneşlikle aynı güneş kontrolünü sağlamak amacı ile aynı açıda tutulmuştur. Oda içine çalışma düzlemi yüksekliğinde yedi adet güneş algılayıcısı yerleştirilmiştir.

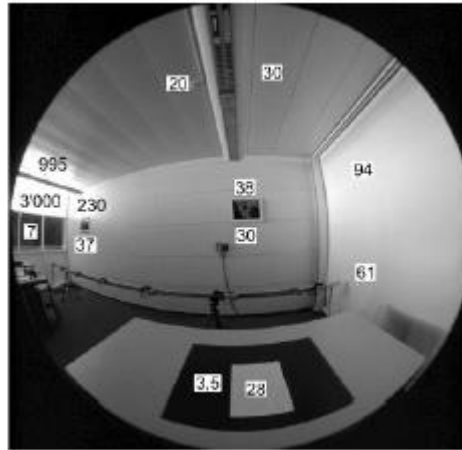
Açık gök koşullarında, odanın ön kısımlarındaki aydınlık düzeyleri düşüktür çünkü içine katlanır güneşlik, pencerenin aşağıdan üste ikilik kısmını gölgelemektedir. Anidolik elemanın ışık saptırma özelliği, tavandan ve arka duvardan yansıyan ışık sayesinde, odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeyleri arttırılabilmektedir. Bu demektir ki, odanın ön tarafındaki ve arka tarafındaki aydınlık düzeyleri birbirine eşitlenmektedir (Şekil 4-23).

Yaz aylarındaki aydınlık düzeyleri kış aylarında elde edilenden daha azdır. Dolayısıyla, sistemin istenen mevsimsel seçicilik özelliği çalışmaktadır.



Şekil 4-23: 29° ve 65° güneş yükseliş açıları için (genişlik açısı = 0°, açık gök koşulları altında ölçülen iç aydınlık düzeyleri gösterilmektedir [3].

Şekil 4-24'te solda, penceresinin üst kısmına anidolik güneşlik yerleştirilmiş test modülünün dışarıdan görünüşü görülmektedir. Pencerenin alt tarafının arkasına, %4'lük görüş oranına sahip koyu kahverengi kumaş bir güneşlik yerleştirilmiştir. Sağda ise, test odasının içinde açık gök koşulları altında balık gözü ile çekilmiş ve sistemin güneş ışığını odanın derinliklerine kadar yansıtmasını gösteren resim görülmektedir. Resmin üzerinde yer alan (arka sırada oturan bir kullanıcının görüş alanına giren noktaların) parlıtlı değerleri sistem tarafından gerçekleştirilen kamaşma kontrolünün başarısını göstermektedir.



Şekil 4-24: Test odasının cephesinin görünümü (solda), arka sırada oturan bir kullanıcının görüş alanındaki parlıtlı değerleri (sağda) görülmektedir [3].

Sonuç olarak, anidolik güneşlikler gün ışığı aydınlatması için, kamaşma yaratmadan güneş ışığını bina içerisine sokmak için geliştirilmiştir. Güneş ışınlarını yönlendirme ve seçme özelliği, ılık ve güneşli iklimler için güneş ile aydınlatma yöntemleri

oluşturmak için önemli imkanlar sunmaktadır. Bu sistemin sağladığı yararların hiçbirisi, kapalı gök koşulları için tasarlanmış sistemler tarafından sunulamamaktadır.

4.4. Prizmatik Sistemler

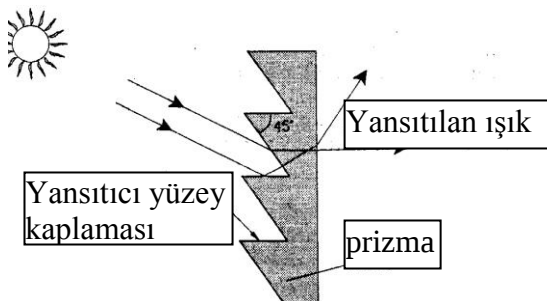
Prizmatik sistemler, yayınlık gün ışığını yönlendirmek için tasarlanabileceği gibi direkt güneş ışığını yönlendirmek için de kullanılabilirler. Bu bölümde yer alan prizmatik elemanlar iki pencere camı arasına yerleştirilmiş prizmatik paneller, prizmatik film tabakaları ve ayrıca çatıya yerleştirilen, güneşi takip edebilen yatay prizmatik tabakaları olan sistemler de güneş ışığını bina içerisine alan sistemler arasındadır.

4.4.1. Pencere Camının Arasına Yerleştirilen Prizmatik Paneller

Dördüncü bölümde de anlatılan prizmatik paneller tasarlanma amaçlarına göre farklı gruplara yerleştirilebilmektedir. Bu bölümde yer alan prizmatik paneller aynı fiziksel ilkelere dayanarak farklı bir yolla kullanılarak direkt güneş ışığını bina içerisine yönlendirmektedir.

Teknik Tanımı

Bu sistemler, çift camlı bir pencere camı arasına yerleştirilen bir seri plastik veya cam prizmadan oluşmaktadır. Bu panellerin dışları pencerenin dışına doğru çevrilmiştir. Dışların üst yüzeyi pencere normaline paralel olup (Şekil 4-25) iç açısı 45° 'dir. Bu prizmatik yapı gün ışığını ve güneş ışığını pencereden odanın derinliklerine doğru dağıtmak için yansıtma ve kırılma özelliklerini kullanmaktadır. Şekil 4-25'te gösterilen bu şekilde bir prizmatik panel olup dışların üzeri yansıtıcılığı yüksek bir malzeme ile kaplıdır [8].



Şekil 4-25: Prizmatik bir panelin direkt güneş ışınlarını yönlendirmesi [8].

Amaçları

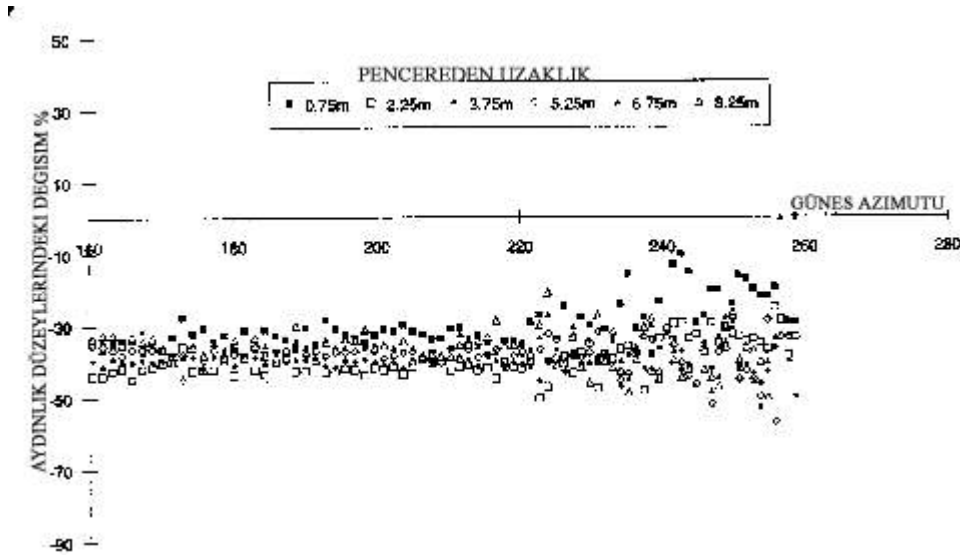
Bu sistemin amacı üzerine düşen güneş ışınlarını, yansıtıcı üst yüzeyinden tam yansıtıp prizmatik yapısıyla tavana doğru kırarak odanın içerisine almaktır. Bu işlem gerçekleştirilirken ışınlar yukarıya doğru yönlendirilirler. Dolayısıyla paneller kamaşmaya neden olmamaları için pencerenin üst kısmına yerleştirilmelidir. Bu sistemin dördüncü bölümdeki gölgeleme yapan prizmatik elemanlardan farkı güneş ışığını reddederek değil içeri kabul ederek engellemesidir.

İşlevleri

Prizmatik pencere sistemleri, direkt güneş ışığını bina içerisine yönlendirirken bir kısım güneş ışığını da dışarıda bırakmakta ya da iletim sırasında kaybetmektedir. Dolayısıyla bir miktar gün ışığının içeri girmesini sınırlamaktadır. Işık geçirgenlik oranı yapay ışıkla yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak %40 çıkmaktadır. Özellikle kapalı gök koşulları altında performansları oldukça düşmektedir. Bununla birlikte, sistem çok az kamaşmaya sebep olmaktadır [8].

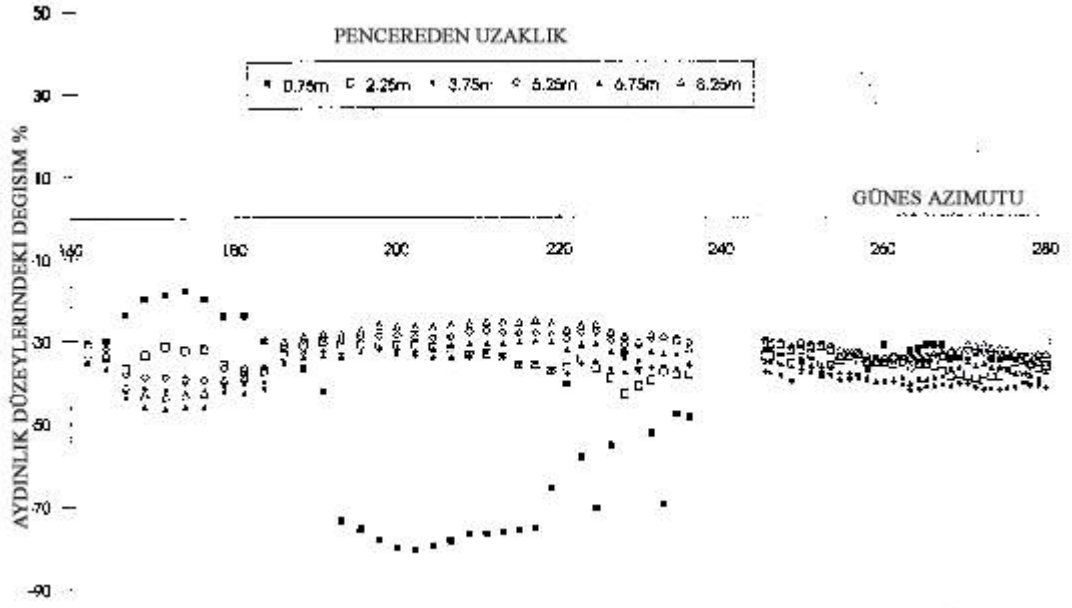
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Kapalı gök koşullarında, tüm yıl boyunca sistemin gösterdiği performans, güneşin konumundan bağımsız olarak, sabittir.(Şekil 4-26) Prizmatik panel, bütün odadaki aydınlık düzeylerinde %35-40a varan bir azalmaya neden olarak, düzgün bir ışık dağılımı sağlamaktadır.



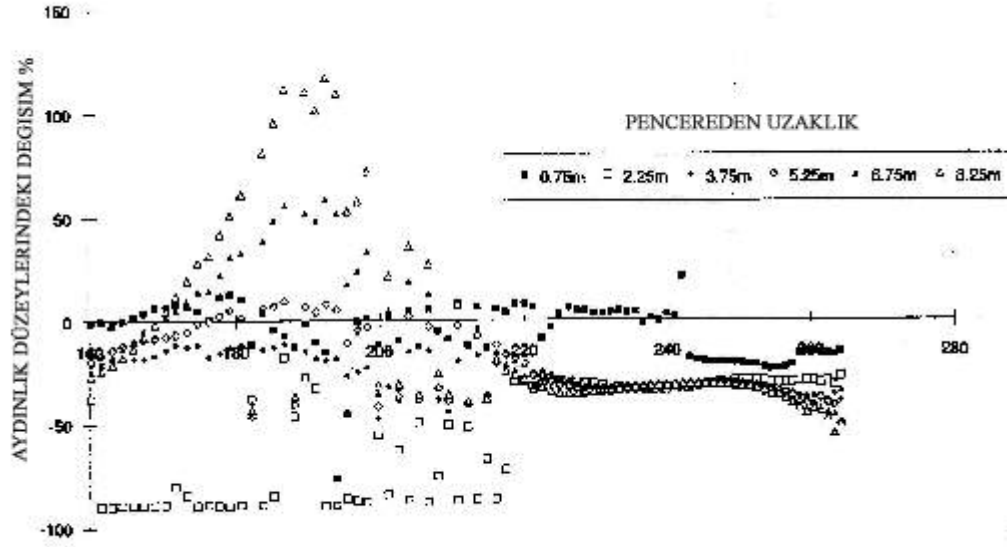
Şekil 4-26: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, kapalı gök koşullarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

Yazın açık gök koşulları altında, pencerenin yakınındaki bölge direkt güneş ışığından korunmaktadır (aydınlık düzeylerinde %70-80'lik bir azalma bulunmaktadır). Engellenen güneş ışığının bir kısmı tavana yönlendirilmekte ve odanın arka kısımlarının aydınlatılmasına katkı sağlanmaktadır. Fakat bu, bütün odadaki aydınlık düzeylerini arttırmaya yetmemektedir (Şekil 4-27). Genel olarak, yazın açık gök koşullarında, sistem güneş ışığını dışarıda bırakmaktadır.



Şekil 4-27: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, yaz aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

Şekil 4-28 sistemin ideal bir doğrultuda çalıştığını gösteren bir tablodur. Bahar aylarında açık gök koşullarında, güneş yazın olduğundan daha aşağıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu durumda odanın 2.25 m derinliğine doğru gelen direkt güneş ışığı engellenmekte ve burada engellenen ışınlar odanın arkasına yönlendirilmektedir. Böylece odanın arkasındaki aydınlık düzeyleri % 100 artmaktadır. Pencere yakınındaki bölge sistemden değil normal pencereden gelen direkt güneş ışığı ile aydınlatılmaktadır.



Şekil 4-28: Prizmatik panelin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, sonbahar aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

Kışın açık gök koşullarında, güneş gök yüzünde daha aşağıda yer aldığından direkt güneş ışınlarının engellendiği nokta odanın arkasına doğru kaymaktadır. Şekil 4-29'da kış aylarındaki aydınlık düzeyleri verilmektedir. Odaanın 5.25 m ve 6.75 m derinliğine doğru gelen direkt güneş ışığı odanın 2.25 m derinliğinde tavanı aydınlatmaktadır. bu odanın ön taraflarındaki aydınlık düzeylerini arttırmaktadır. Odaanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeyleri % 50 oranında azalmaktadır. Çünkü odanın arkasına yayılması gereken ışık ön tarafın tavanına doğru yönlendirilmektedir.

Amaçları

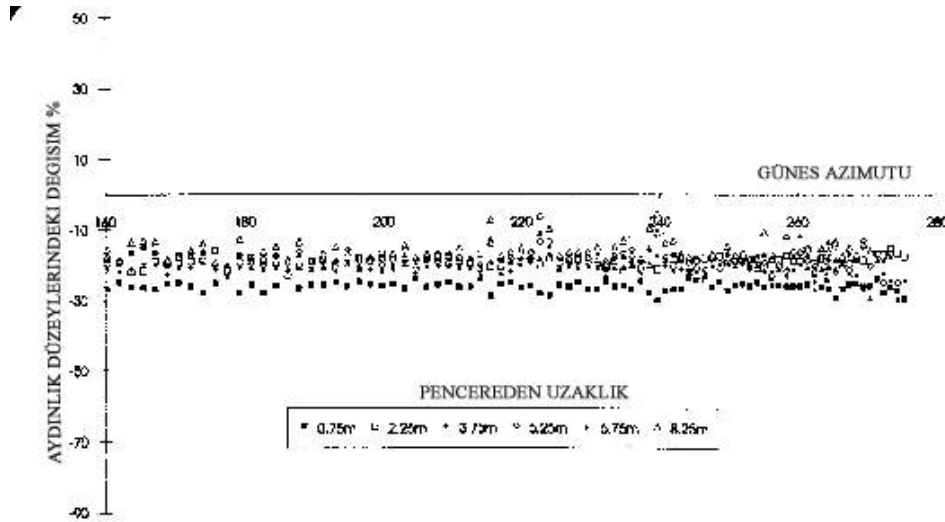
Bunun amacı da prizmatik panellerin amacı ile aynıdır. Üzerine düşen belirli açı aralığındaki direkt güneş ışınlarını engelleyip oda tavanına doğru yönlendirmeyi amaçlayan bu sistemler panellere göre daha ince yapısı ile daha seçici olabilmeyi amaçlamaktadır [8].

İşlevleri

Prizmatik film sistemlerinin, prizmatik panellere göre, güneş ışığını içeri yönlendirme performansları daha fazladır. Prizmatik film üzerine düşen direkt güneş ışığını kırarak odanın tavanının ortasına yansıtmaktadır. Tavandan yansıyan yayınlık ışık odanın orta ve arka kısımlarının aydınlık düzeylerini, normal bir pencere sistemine göre % 10-20 arasında arttırmaktadır. Kışın güneş daha düşük konumdayken güneşin tavadaki izi pencereye doğru yaklaşmakta ve bu da odanın arka ve orta kısımlarındaki aydınlık düzeylerini %30-40 arasında düşürmektedir. Kapalı gök koşullarındaki performansı daha düşük olsa da kamaşmaya karşı kontrol sağlamaktadır [3].

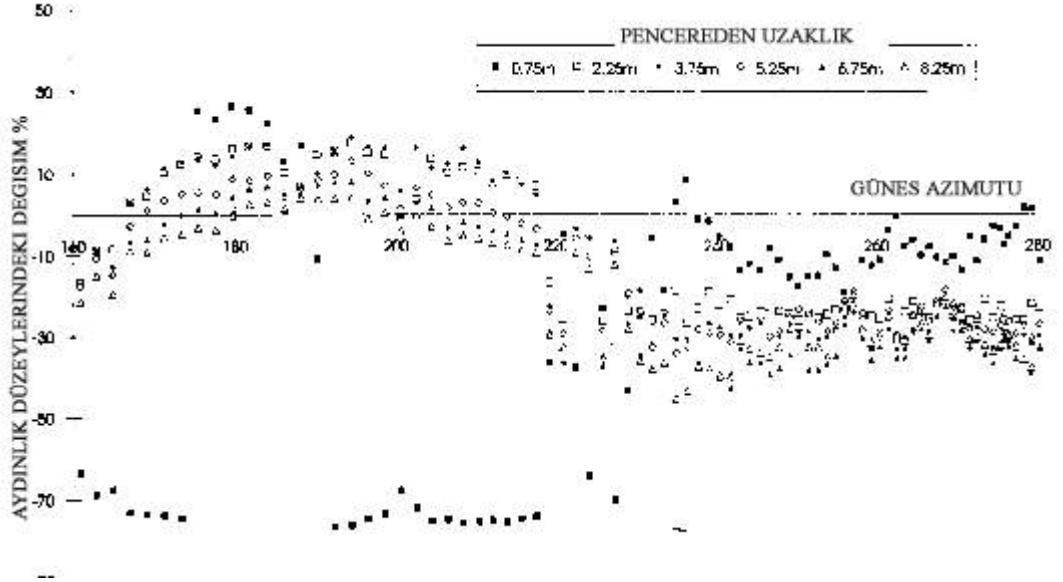
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Prizmatik filmlerin kapalı gök koşullarındaki yıl boyunca gözlenen performansı güneşten bağımsız olarak sabittir (Şekil 4-31). aydınlık düzeyleri % 10 ile % 30 arası azalmaktadır. Oda arka kısımlarındaki azalma daha düşük olma eğilimindedir.



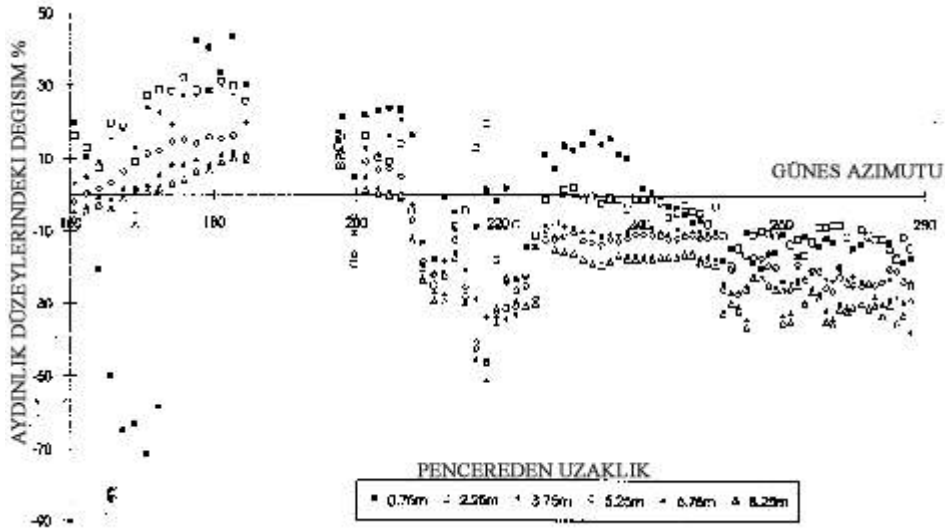
Şekil 4-31: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, kapalı gök koşullarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

Yazın açık gök koşullarında; pencere yakınındaki bölgede direkt güneş ışığına karşı gölgeleme gerekmektedir. Kırılarak tavana yansıtılan ışınlar odanın derinliklerine ulaşmaktadır. Buralardaki aydınlık düzeylerini %20 arttırmaktadır (Şekil 4-32). En büyük artışlar 2.25 m ve 3.75 m mesafelerinde gözlenmektedir çünkü bu noktaların tam üzerinde yansıtılan güneş ışınlarının oluşturduğu desen bulunmaktadır.



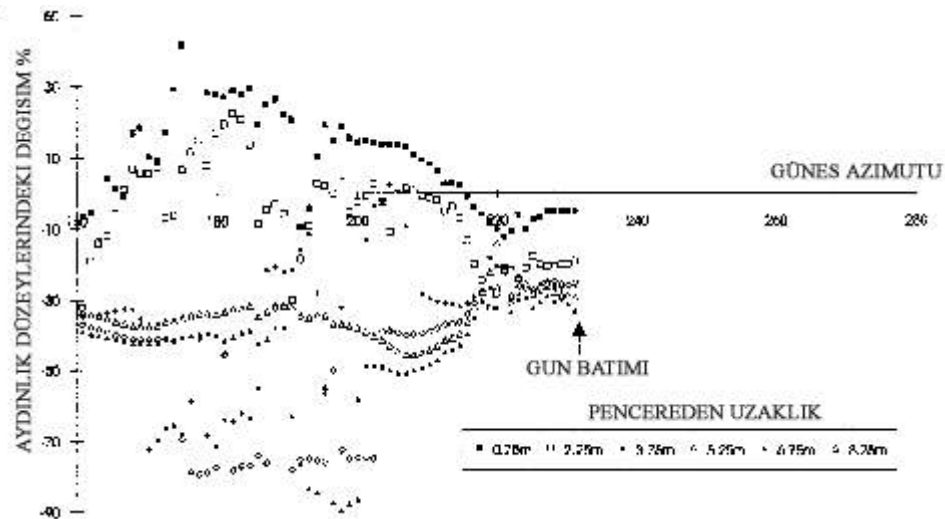
Şekil 4-32: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, yaz aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

Sistem sonbaharda yazın gösterdiği performansın benzerini göstermektedir (Şekil 4-33). 0.75 m de ölçülen değerler pencere denizliğinden etkilenecek düşmüştür. Güneş 215° azimut açısındaiken etrafında bulutlanma olduğundan, aydınlık düzeyleri birden düşmektedir. Daha sonra yükselen değerler gün batımına doğru tekrar düşmektedir.



Şekil 4-33: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, sonbahar aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

Filmin kış aylarındaki performansı (Şekil 4-34) prizmatik panelinkine (Şekil 4-29) çok benzemektedir. Filmin gölgesinin odanın derinliklerine doğru kaydığı görülmektedir. 170° azimut açısında, 3.75 m ve 5.25 m'lerdeki yerler gölgelenmekte, 200° azimut açısında, gölge 5.25 m ile 6.75 m arasına kaymaktadır. Güneş ışığı pencere yakınındaki tavana yansıtıldığı için bu bölgelerin aydınlık düzeyleri artmaktadır. Direkt güneş ışığı odanın derinliklerine yönlendirilemediğinden arka kısımların aydınlık düzeyleri % 30 ile % 40 arasında azalmaktadır.



Şekil 4-34: Prizmatik filmin yerleştirildiği pencerenin, açık gök koşullarında, kış aylarında, aydınlık düzeylerinde meydana getirdiği değişimi güneş azimutuna bağlı olarak gösteren grafik [8].

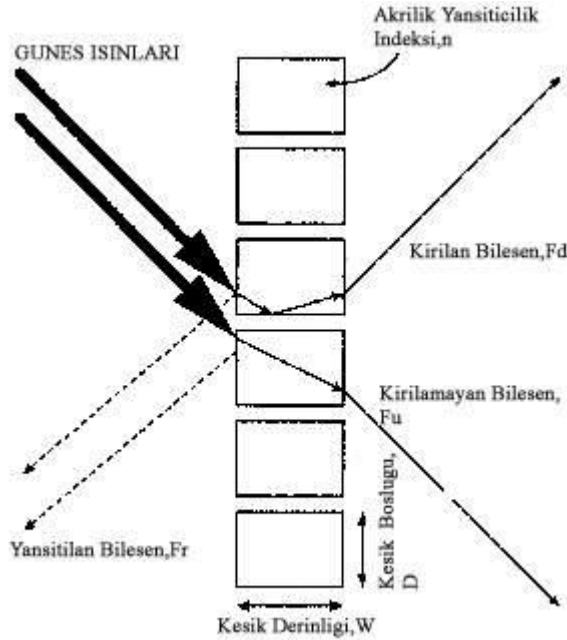
4.5. Lazer Kesim Paneller

Lazer kesim paneller saydam akrilik bir panelin üzerine lazerle kesikler atılmasıyla oluşan bir gün ışığı aydınlatma sistemidir.

Teknik Tanımı :

LKP gün ışığının oda içine yayılmasını sağlamak ve istenmeyen güneş ışığını dışarıda bırakmak için tasarlanmış, ışığı yönlendiren bir elemandır. Bu malzeme, binalara doğal ışığın kamaşmasız olarak dağılımını sağlayacak biçimde çeşitli şekillerde kullanılabilir. Ekvator ve ekvatorun altındaki bölgelerde; kamaşma ve güneşten kaynaklanan aşırı ısınmayı engelleme amacı ile kullanılan sistem, daha yukarıdaki enlemlerde yer alan bölgelerde ise, düşük açılardan gelen gün ışığını binaların içlerine kadar almak için kullanılmaktadır.

LKP (lazer kesim panelleri), geleneksel bir lazer makinesi ile ince akrilik plastik bir levhada lazer kesikleri meydana getirilerek üretilir. Her bir kesik bir ayna gibi davranır ve bu da paneli etkili bir ışık saptırıcı sistem haline getirir. Lazer kesikleri hizmet edeceği amaca uygun olarak panel boyunca uygulanabilir ya da uygulanmayabilir ve yüzeye göre herhangi bir açıda da olabilirler.



Şekil 4-35: Bir lazer kesim panelin lazer kesiklerine gelen ışınların davranışını gösteren şematik çizim [8].

Panel malzemesinde oluşan olay şekil 4-35'te gösterilmiştir. Sol taraftan gelen güneş ışını geri yansıtılabilir veya kırılarak girip içeriye yansıtılabilir. İçeriye giren ışınların

bir bölümü lazer kesiklerinde kayıp vermeden önce kırılır sonra toplam iç yansımaya uğrar ve sonra tekrar kırılarak içeriye girerler. Bu saptırılan ışınlar panelin sağ tarafından yukarı yönde ayrılırlar ve tüm saptırılan ışınlar paneli aynı yönde terk eder [16].



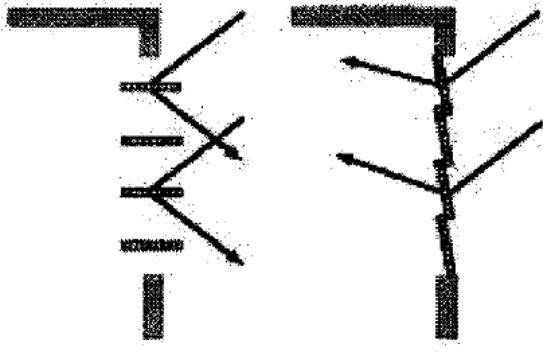
Şekil 4-36: Bir lazer kesim panelinin fotoğrafı [3].

Panelin en önemli özellikleri; a) ışınların büyük oranı geniş bir açı ile saptırılmak ($>120^\circ$), b) panelden dışarıya görülebilmek (Şekil 4-36) ve c) büyük veya küçük miktardaki üretimler için esnek üretim metotlarının oluşturmaktır. Paneller genellikle cam elemanların arasına yerleştirilirler ama eğer kesilmiş olan yüzey lamine cam ile korunursa camın dışına da yerleştirilebilirler.

Panelin üretimi sırasında panelde kesikleri desteklemesi için 10-20 mm dolu alan kalması gerekmektedir. Örneğin; 1000 mm x 600 mm boyutunda 6 mm kalınlığında üzerine kesik atılan bir panelin 20-30 mm genişliğinde dolu bir çerçeveye ve 10-20 mm genişliğinde dolu desteklere ihtiyacı vardır.

Lazer kesim paneller pencere sistemine hareketli veya hareketsiz düzenlerde yerleştirilebilir. Panellerden az bir bozulmayla dışarıyı görmek mümkün olmasına rağmen normal pencere sistemlerinde göz seviyesinin altında kullanılmamalıdır. Çünkü kesikler ışığı yukarı doğru saptırır ve kamaşmaya neden olabilir.

Paneller kanatçık (louver) düzeninde ya da eğer dar üretilirse güneşlik tipinde uygulanabilir. Hareketli kanatçık (louver) olarak kullanılırsa kanatçıklar (louver) açık olduğunda güneş ışığını içeri almaz, kapalı olduğunda ise içeriye yönlendirir [2] (Şekil 4-37).



Şekil 4-37: Lazer kesim panellerden oluşan kanatçık sistemi. Eğer güneş ışınlarının girmemesi isteniyorsa, kanatçıklar yatay konumda (solda); eğer güneş ışınlarının içeri girmesi isteniyorsa kanatçıklar kapalı (solda) konumda olmalıdır [3].

Amaçları

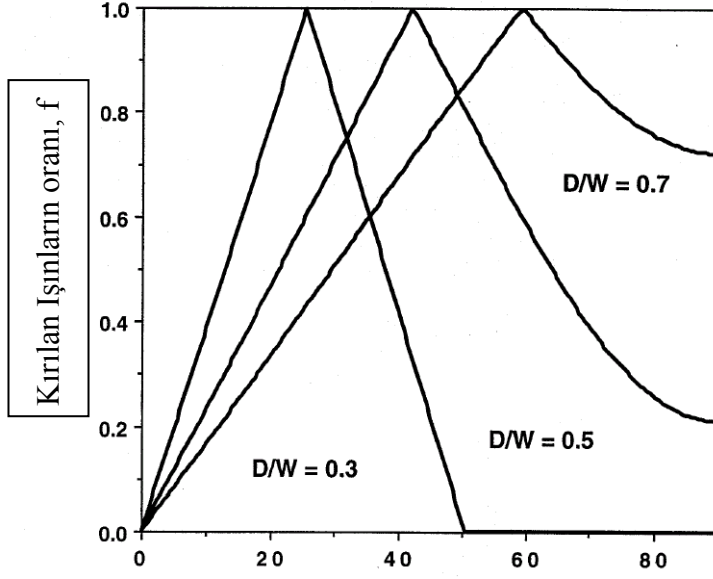
Bu malzemenin nerede nasıl kullanılırsa amacı ona göre değişir. Örneğin şekil 4-37’de soldaki sistem sabit olursa sadece güneşi engellemek amacı taşır eğer hareketli olup sağdaki gibi döndürülürse ışığı içeriye yönlendirmek de amaçları arasına girer. Aslında bunu tersine de düşünebiliriz: eğer engellemeyi amaçlıyorsak, sabit raf sistemi ; yönlendirmek istiyorsak, hareketli açılı sistemi kullanırız.

Bütün bunların yanında bu malzemenin amaçlarının başında gün ışığını yönlendirmek ve istenmeyen ışınları kontrol etmek ve bunları yaparken dışarının görünmesini sağlamak geliyor. Bu kadar esnek bir yapıya sahip bu elemanlar kullanılacakları amaçlar doğrultusunda farklı sistemler oluşturabilirler.

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

a. Sabit Işık Yönlendirici Sistem :

Kesik aralığının kesik derinliğine oranı (D/W) 0.7 olan pencereye sabit olarak yerleştirilmiş bir lazer kesim panel 45° üzerinden gelen hemen hemen tüm ışınları saptırır ve 20° nin altından gelen çoğu ışını da geçirir (Şekil 4-38). Böylece ışığın büyük bölümü panel tarafından tavana yansıtılır. Burada tavan, ışık raflarında olduğu gibi, ikincil yaygın yansımış ışık kaynağı olarak görev yapar.

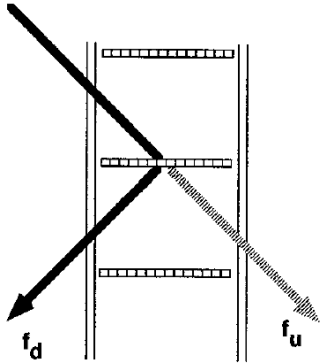


Şekil 4-38: LKP'den yönlendirilen ışığın gelen ışığa olan oranının üç farklı D/W (kesik aralığı/ kesik derinliği) için oda derinliğine göre çizildiği grafik [3].

b. Pencerelerde Işık Yönlendirici Sistem

Düşey bir lazer kesim panel, yüksek açılardan ($>30^\circ$) gelen ışığı kesinlikle yönlendirirken, normale yakın açılarda gelenleri içeriye geçirir ve bunları yaparken dışarıyı tam net olmasa da görmeyi sağlar.

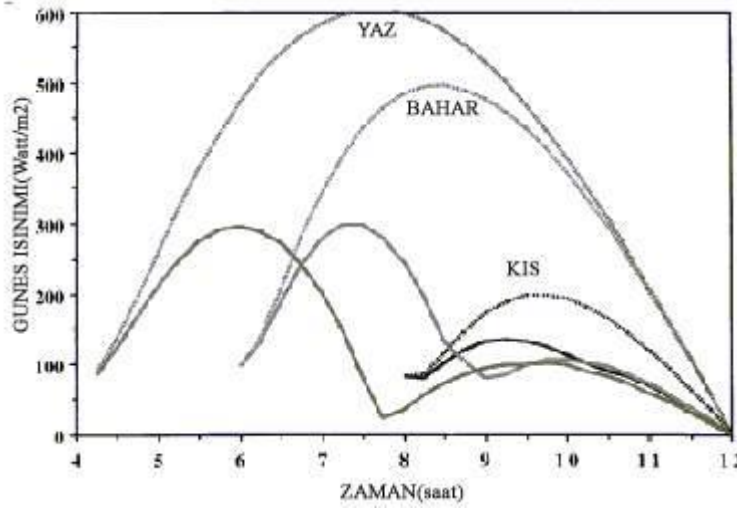
Şekil 4-38'de de geliş açısına göre yönlendirilen ışığın oranları gösterilmiştir. Panel çok az kamaşmaya neden olur çünkü gelen ışınlar kesinlikle yukarı yansıtılırken yönlendirilemeyenler de geliş doğrultusunda aşağıya doğru yollarına devam ederler. Saçılan ışık miktarı ise düşüktür çünkü üretim sırasında hiç yuvarlak yüzey oluşturulmaz. Bununla birlikte lazer kesim panelleri tepe üstü pencerelerde kullanılması istenen bir durumdur.



Şekil 4-39: Pencerelerde ışık yönlendirici sistemin üzerine düşen ışınların davranışı [3].

c. Pencerede Gölgeleme Sistemi

Dar panellerden oluşan bir dizi panel bir pencereye yatay olarak kesik yüzleri yukarıya bakacak şekilde yerleştirilirse yüksek açılardan gelen güneş ışınları dışarıya yönlendirilirler. Böylece dışarıya tamamen net görülürken bu sistem güneş ışığını dışarıda bırakmakta çok etkili olmaktadır (Şekil 4-39 ve 4-40)



Şekil 4-40: Paris 48.8° kuzey enleminde doğuya bakan açılal seçici bir pencereye güneş ışınlmı [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufları :

Panellerin maliyeti yaklaşık olarak, 20 m²'ye kadar metre karesi 130 eurodur. Daha geniş alanlar için maliyeti 130 euro/m²'ye yaklaşmaktadır. Enerji tasarrufu uygulamaya göre değişmektedir. Örneğin; pencerenin üst yarısına ışığı odanın derinliklerine yönlendirmek için yerleştirilen lazer kesim paneller, gök yüzünün durumuna bağlı olarak, gün ışığı miktarlarını %10 ile %30 arası arttırmaktadır. Eğer paneller pencereden ters yönde döndürülebilirse ışığı bina içerisine toplanma ve yayılma miktarı önemli miktarda artacaktır [3].

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

Bu panellerle ilgili olarak burada iki örnek verilmektedir: Düşey lazer kesim panelleri ve dışarıda yer alan döndürülmüş lazer kesim panelleri.

a. Düşey Lazer Kesim Paneli, Norveç

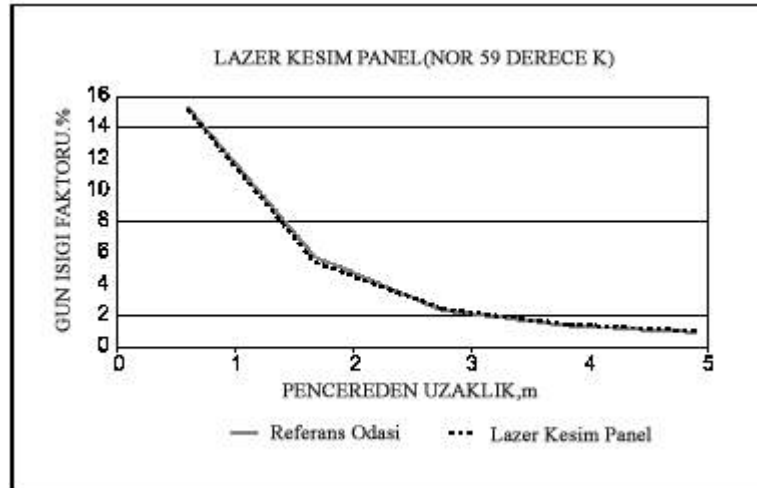
Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, 59° kuzey enleminde yer alan Norveç'in Sandvika şehrinde bulunan bir ofis binasına yerleştirilmiş düşey bir lazer kesim

panelini test etmiştir. Test odasında lazer kesim paneli pencerenin üst kısmına yerleştirilmiştir (Şekil 4-41). Referans odası test odası ile eşit büyüklükte çift camlı bir pencereye sahiptir.



Şekil 4-41: Pencerenin üst kısmına yerleştirilen ir LKP'nin içeriden görünüşü [3].

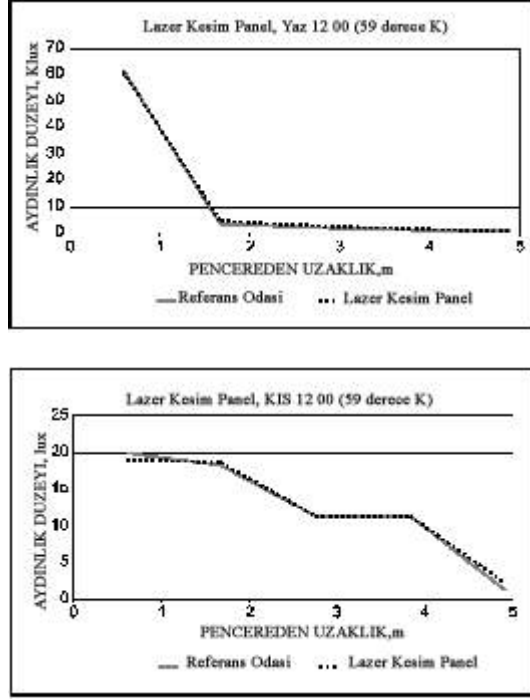
Test ve referans odaları test odasında pencerenin üstüne yerleştirilen lazer kesim paneli hariç tamamen birbirinin aynısıdır. Bu durumda; kapalı gök koşulları altında, lazer kesim paneli, şekil 4-42'de görüldüğü gibi, odadaki aydınlık düzeylerinde veya ışık dağılımında herhangi bir değişiklik yaratmamaktadır.



Şekil 4-42: Lazer kesim panellerinin kapalı gök koşullarında sağladığı gün ışığı faktörleri [3].

Açık gök koşulları altında, lazer kesim panelleri tüm yıl ve gün boyunca oda içindeki aydınlık düzeylerini ve ışık dağılımını arttırmaktadır (Tablo 4-7). Yaz aylarında pencere yakınındaki aydınlık düzeyini azaltıp odanın ortasında ve arkasında meydana

getirdiği artış (Şekil 4-43 üst) çok az olsa da, özellikle kış aylarında elde edilen değerlerdeki artış dikkate değerdir (Şekil 4-43 alt).



Şekil 4-43: Lazer kesim panellerinin yaz (üst) ve kış (alt) aylarında meydana getirdiği aydınlık düzeyleri [3].

Tablo 4-7: Lazer kesim panellerinin, test odasının üç bölgesinde yıl içinde sağladığı gün ışığı faktörlerinin yer aldığı tablo [3].

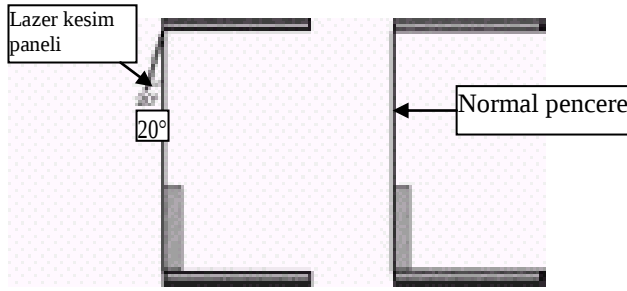
Lazer kesim panelleri Norveç; 59°Kuzey	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Evg	EvgS
Kapalı Gök, (GF%)	5.4 %	5.8 %	2.5 %	2.3 %	1.0 %	0.9 %	12.2	5.5
Kış, Açık Gök, 12:00	Güneş	Güneş	Güneş	Güneş	2,230	1,240	23.4	78.8
Kış, Açık Gök, 15:00	1,400	1,150	680	480	320	190	5.2	23.4
Bahar, Açık Gök, 12:00	7,620	4,730	4,200	2,540	1,710	1,220	58.5	96.6
Bahar, Açık Gök, 15:00	2,720	2,630	1,370	1,120	720	460	38.7	62.7
Yaz, Açık Gök, 12:00	4,790	3,700	2,660	1,800	970	700	85.7	77.1
Yaz, Açık Gök, 15:00	1,470	1,360	790	630	390	260	63.9	48.4

Sonuç olarak; lazer kesim panellerinin yönlendirdiği ışığın yarattığı aydınlık düzeyleri, engelsiz konumda bulunan ve önünde güneşlik yer alan normal bir pencerede ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında; LKP'nin aydınlık düzeylerini,

normal pencereden daha az düşürdüğü görülmektedir. Sabit konumda olmasına rağmen, lazer kesim panelleri yıl ve gün içindeki ışık dağılımını geliştirmektedir.

b. Dışarıda Yer Alan Döndürülmüş Lazer Kesim Panelleri, Almanya

Pencere yüksekliğinin 1/3'ü (60 cm) kadar olan ve pencerenin üst kısmını kaplayan, bir dış lazer kesim paneli Almanya'da Berlin Teknik Üniversitesi'nde test edilmiştir. Test odaları 52° kuzey enlemi be 13° doğu boylamında yer alan Berlin'deki eşyasız model ofis odalarıdır (Şekil 4-45). Yazın ışık dağılımının sağlanması ve kamaşmanın engellenmesi arasında iyi bir uzlaşma sağlamak için paneller 20° döndürülmüştür (Şekil 4-44).



Şekil 4-44: Solda önünde 20° açıyla yerleştirilmiş lazer kesim paneli bulunan test odası, sağda normal çift camlı penceresi olan referans odası yer almaktadır [3].

Paneller saydam akrilik bir panelin lazer ile kesilmesiyle üretilmektedir. Bu kesiklerin mukavemetini sağlamak için yatay çerçeve ve düşey destek bölümleri de içermektedir. Lazer ile uygulanan kesimler, panelin kalınlığı boyunca yapılmaktadır. Çünkü bu yöntemde diğer yaklaşımlara göre, kesim hızının ve lazer gücünün daha az kontrole ihtiyacı vardır. Bu yüzden; lazer kesim panellerini, kesilmiş olan alanları desteklemesi için, 10-20mm genişliğinde destek bölümleri kalacak şekilde tasarlamak gerekmektedir. Örneğin; 1000 mm · 600 mm boyutunda akrilik bir panele, kalınlığı 6 mm kalınlığı boyunca uygulanan kesiklerin, 20-30 mm genişliğinde dolu çerçeveyle ve 10-20 mm genişliğinde düşey kolonlarla desteklenmeye ihtiyacı vardır. derinliğin %75'i kadar bir kesik yapmak mümkündür ancak dolu bir çerçeveye yine de ihtiyaç vardır.



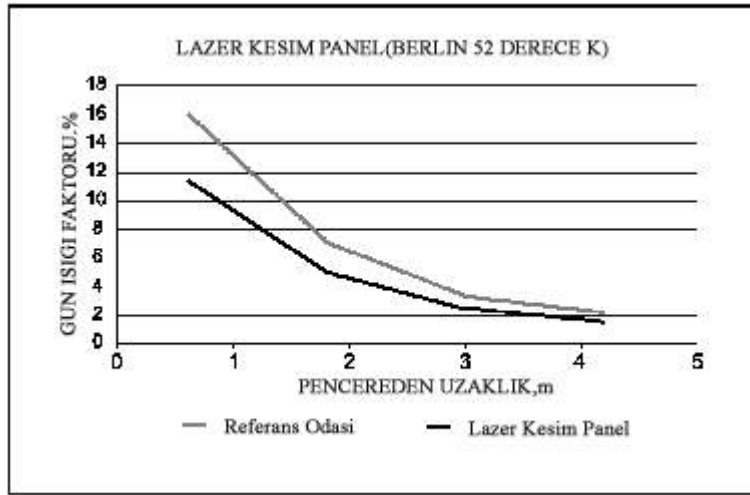
Şekil 4-45: Berlin’deki test odasının içeriden ve dışarıdan görünüşü [3].

Açık gök koşulları altında yapılan ölçümlerde, test odası penceresinin alttaki üçte ikilik kısmı ile referans odasının penceresinin tamamı, yansıtıcı yüzeyleri hafif eğrilikte olan ve aşağıya doğru 45° ile döndürülmüş dış güneşliklerle kaplanmıştır (Şekil 4-46). Yansıtıcı yüzeyler 80 mm genişliğinde ve ışığı dağıtıcı gri bir malzeme ile kaplanmıştır. Güneşliklerin yerleşimi dışarısının görünmesini kısmen engellemektedir.



Şekil 4-46: Test odasının penceresinin alttaki üçte ikilik bölümünün dış güneşlikle kapatıldığı zamanki içten görünüşü [3].

Açık gök koşulları altında, lazer kesim panellerinin olduğu test odasında, referans odası ile karşılaştırıldığında aydınlık düzeyi oldukça yükseltilmiştir. Direkt güneş ışınları güneşin bazı konumları (bahar aylarında öğlen saatlerinde) için içeri alınmaktadır. Bunu önlemek için panelin döndürülme açısı mevsimlere göre ayarlanmalıdır.

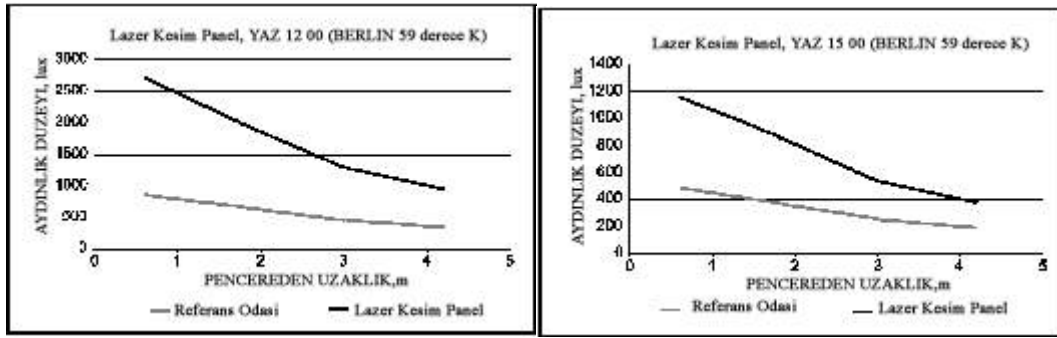


Şekil 4-47: Berlin, 52° kuzey enleminde yerleştirilen bir LKP’yi, kapalı gök koşulları altında sağladığı gün ışığı faktörleri [3].

Tablo 4-8: Lazer kesim panellerin yıl içinde test odasında sağladığı gün ışığı faktörleri [3].

20° döndürülmüş Lazer kesim paneli Berlin; 52.47°Kuzey, 13.4° doğu	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlatma Düzeyi (klux)	
Gözlem durumu ve zamanı								
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Eyg	Eygs
Kapalı Gök, (GF%)	11.0 %	14.9 %	3.8 %	4.9 %	1.7 %	2.1 %	25	9
Kapalı Gök, (GF%)	11.5 %	16.1 %	3.8 %	5.3 %	1.6 %	2.2 %	39	12
Bahar, Açık Gök, 12:00	2,650	1,460	Güneş	1,000	1,320	570	74	77
Bahar, Açık Gök, 9:00	1,900	1,010	1,180	600	630	340	51	46
Bahar, Açık Gök, 15:00	1,100	480	670	300	360	190	47	46
Yaz, Açık Gök, 12:00	2,730	830	1,660	550	920	330	97	58
Yaz, Açık Gök, 9:00	1.660	630	910	390	450	230	75	34
Yaz, Açık Gök, 15:00	1.220	500	720	320	200	200	75	363

Sonuç olarak; kapalı gök koşulları altında lazer kesim panelleri, normal camlı pencerelerle karşılaştırıldığında, aydınlık düzeylerinde ve ışık dağılımında bir değişiklik yaratmamaktadır (Şekil 4-47 ve Tablo 4-8). Tam tersine oda genelinde normal camlı referans odasına göre daha düşük gün ışığı faktörü sağlamaktadır.



Şekil 4-48: Yaz aylarında saat 12:00 (solda) ve 15:00'de (sağda) lazer kesim panellerinin sağladığı ortalama aydınlık düzeyleri [3].

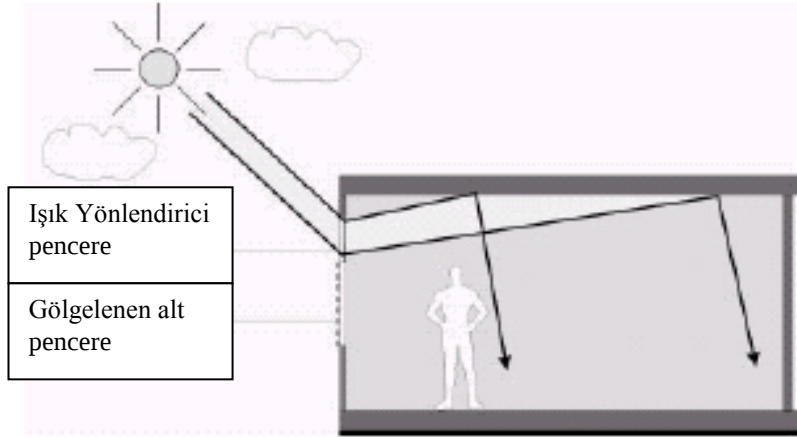
Açık gök koşulları altında, eğer panelin açısı günün saatlerine ve mevsime göre ayarlanırsa gün ışığı aydınlatma performansı önemli miktarda geliştirilebilmektedir (Şekil 4-48 ve Tablo 4-8). Panel açısının ayarlanması sistemin gölgeleme aracı olarak çalışmasını ve ışığı yönlendirmesini de sağlamaktadır. Sistem pencerenin alt kesiminde kullanılmadığı için, bu bölümlerde direkt güneş ışınlarına ve kamaşmaya karşı ek önlem alınması gerekmektedir.

4.6. Işık Yönlendirici Camlar

Sistem, çift cam arasına yerleştirilen üst üste düşey olarak dizilmiş iç bükey akrilik elemanlardan oluşmaktadır. Her açıda gelen direkt güneş ışığını tavan yönlendirmek üzere kullanılmaktadırlar.

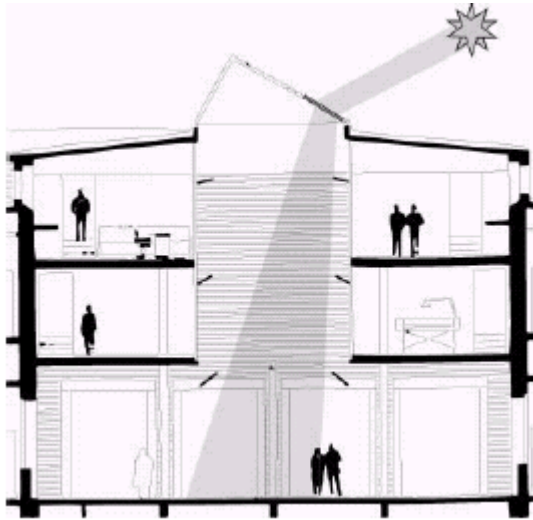
Teknik Tanımı

Işık yönlendirici cam sisteminin ana bileşeni akrilik elemanları içinde tutan çift camdır. Etrafı mühürlenmiş eleman normal olarak pencerenin üst kısmına yerleştirilmektedir. Bu ünitenin güneşten kaynaklanan ısı kazanç katsayısı 0.36 ve U-değeri yaklaşık $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. İçeriye giren ışığı dar ve yatay bir genişlik açısı ile yönlendirmek için pencere ünitesinin iç yüzeyinde sinüzoidal bir desen kullanılabilir. Dış taraftaki camın üzerinde de holografik bir film tabakası kullanılarak pencereye gelen ışığı dar ve yatay bir açıda toplamak için kullanılabilir. Sistemin bir başka önemli parçası tavanıdır. Tavan bir çok sistemde olduğu gibi bu sistemde de üzerine yönlendirilen ışığı mekana dağıtmak için kullanılmaktadır. Mekanın özel bölümlerine ışığı toplamak için tavanda döndürülebilir yansıtıcı elemanlar da kullanılabilir. Basit mat beyaz bir yüzeye sahip bir tavan da ışığı yönlendirmek için işe yararmaktadır.



Şekil 4-49: Pencerenin üstüne yerleştirilen ışık yönlendiriciyi gösteren şematik kesit. Sistem üzerine düşen ışınlar tavana doğru yönlendirilmektedir [3].

Işık yönlendirici cam sistemi, kamaşmayı önlemek ve dışarısının görülmesinin engellememesi amacı ile pencerenin üst kısmında göz seviyesinin üstünde kullanılmaktadır (Şekil 4-49). Sistem cephenin önünde veya arkasında da kullanılabilir. Bir çok durum için ışık yönlendirici sistemin yüksekliği odanın yüksekliğinin %10 kadar olmalıdır. Bu sistemler çatı ışıklıklarında da güneş ışığını içeri almak için kullanılabilir. Bu durumda, camın 20°'lik bir eğimle yerleştirilmesi dar açı ile gelen güneş ışınlarını (Şekil 4-50) içeri almayı sağlamaktadır [3].



Şekil 4-50: Bir binanın atriumuna yerleştirildiğinde, ışık yönlendirici camın davranışını gösteren kesit [3].

Amaçları

Bu sistemin amacı direkt güneş ışığını her türlü geliş açısı içinde oda tavanına yönlendirmek ve tavandan da oda içine yansıyan yayınık ışıkla oda içerisinde düzgün ve yeterli aydınlatma sağlamaktır.

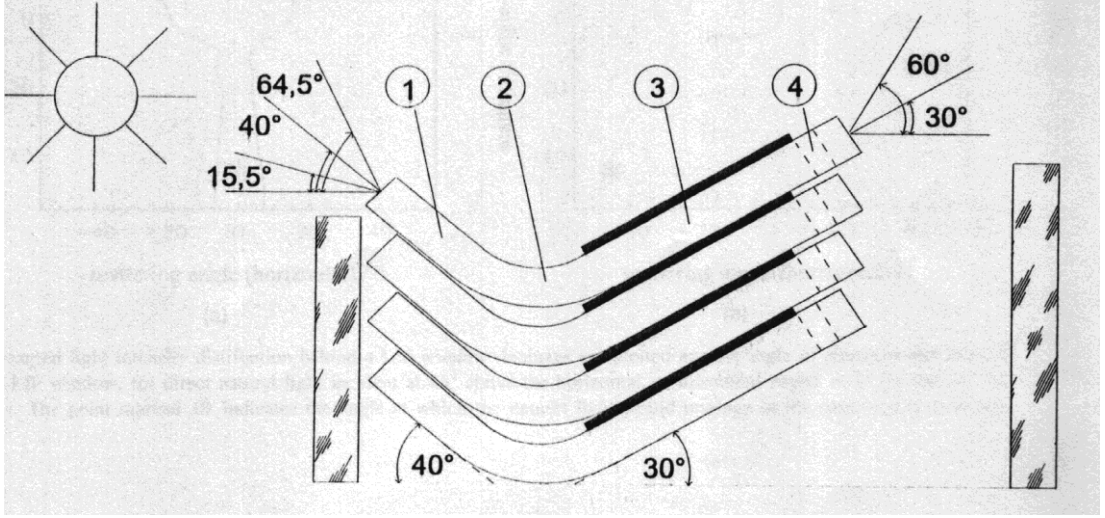
İşlevleri

Işık yönlendirici cam, en iyi performansı güneşli iklimlerde ve direkt güneş ışığına maruz kaldığı cephelerde göstermektedir. Kapalı gök koşullarında ve güneşin olmadığı açık gökyüzüne bakan cephelerde etkisi yoktur. Bu koşullarda yalnız odanın pencere yakınlarında bir etki göstermektedir. Asıl etkisini güneşli iklimlerde gösteren sistem, odadaki aydınlık düzeylerini arttırmakta ve gün ışığı dağılımını iyileştirmektedir. Özellikle odanın arka kısımlarında, normal pencerelerle hiç ışık ulaşmayan derinliklerinde, aydınlık düzeylerini arttırarak büyük başarı göstermektedir. Aydınlatma kalitesini bu şekilde yükseltirken direkt güneş ışığından kaynaklanan kamaşmaya neden olmamaktadır. Ancak pencerenin üst kısmında kullanıldıklarında, pencerenin alt kısımlarında kontrollü olarak güneşlik kullanılmalıdır [17].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

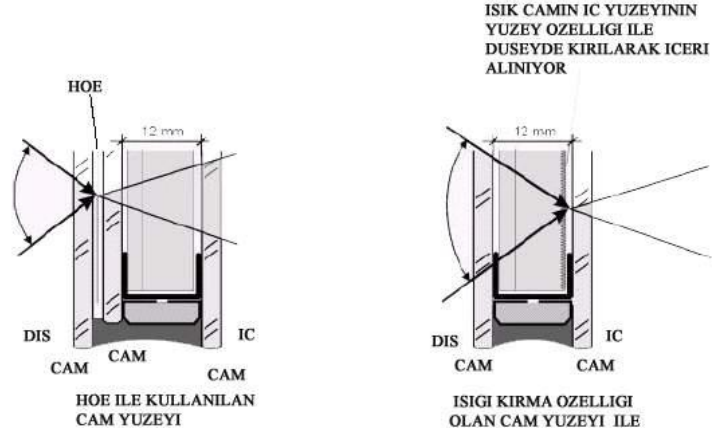
Işık yönlendirici camlar ışığı yatayda olduğu kadar düşeyde de yönlendirmektedir. Bu sayede; güneş hangi konumda olursa olsun, güneş ışığı odanın derinliklerine kadar, bina cephesinde hiçbir hareketli elemana ihtiyaç duymadan, ulaşabilmektedir. Düşey yönlendirme akrilik elemanların geometrisi ile sağlanabilmektedir. Yatay yönlendirme holografik optik bir eleman veya sinüzoidal cam yüzeyi ile sağlanabilmektedir.

Gelen ışık ışınları akrilik elemanın ilk yüzeyi tarafından odaklanmakta (Şekil 4-51) ve profilin daha aşağıdaki yüzeyinde toplam iç yansımaya (total internal reflection) uğrayarak yönlendirilmektedir. Işık elemanları terk ettiğinde tavana doğru dağılmaktadır.



Şekil 4-51: Işık yönlendirici camların içinde bulunan akrilik profillerin detayı [17].

Işığı oda derinliğine daha iyi yaymak için ışığı yatay olarak odaya dağıtmak gerekmektedir. Bunun için de, iç taraftaki cam panelin iç yüzeyinde holografik optik film veya sinüzoidal yüzey yapısı (Şekil 4-52) kullanılabilmektedir.



Şekil 4-52: Işık yönlendirici camın holografik optik eleman (solda) ve pürüzlü cam yüzeyi ile birlikte kullanımı [3].

Maliyet ve Enerji Tasarrufu

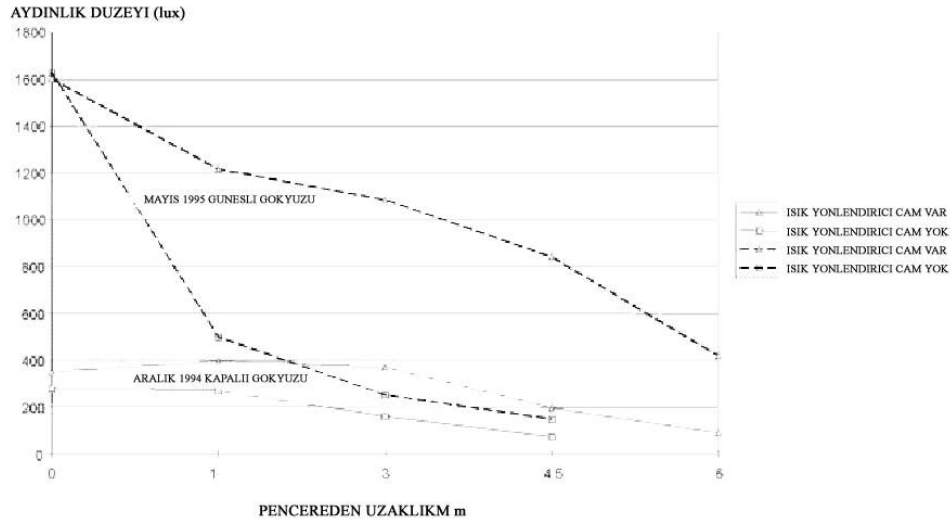
Işık yönlendirici cam ile normal çift cam arasındaki fiyat farkı metrekareye 200 euro civarındadır. Işık iletici elemanın tek başına fiyatı metre kareye 12 euro'dur. Bu fiyat daha geniş uygulamalarda düşebilmektedir. Bu sistemin önünde ek bir gölgeleme sistemi gerekmediği için ek bir maliyet de getirmemektedir.

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

Işık yönlendirici camların üç değişik uygulaması için yapılan ölçümler doğrultusunda sistemlerin performansları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

a. Yansıtıcı Tavan ile Birlikte Kullanılan Işık Yönlendirici Cam, Almanya

Cologne şehrinde bulunan Geyssel ofis binasında, yaklaşık 9 m uzunluğunda, 7 m derinliğinde zemin kattaki bir ofise ışık yönlendirici cam uygulanmıştır. Tavan yüksekliği 3m'dir. Tavanda pencereye doğru çevrilmiş alüminyum lameller en az kayıpla güneş ışığını çalışma düzlemine yansıtmaktadır. 500 lux' lük hedef aydınlık düzeyi için ek elektrik aydınlatması da sağlanmıştır. Bir yıl boyunca sistemin elektrik aydınlatması ihtiyacı gözlenmiştir. Işık yönlendirici camlarla dikkate değer bir enerji tasarrufu sağlamıştır. Şekil 4-53' te görüldüğü gibi ışık yönlendirici camın açık ve kapalı gök koşullarında sağladığı aydınlık düzeyi değerleri çok yüksektir. Sistem her iki koşulda da gün ışığının ulaşamadığı 4.5-6 m arasındaki bölgeye ışığı yönlendirmektedir.



Şekil 4-53: 9 Aralık 1994'te (kapalı gök koşullarında) ve 3 Mayıs 1995'te öğlen saatlerinde ölçülen iç aydınlık düzeyleri görülmektedir.

b. Işık Yönlendirici Cam, Almanya

Almanya'da Cologne şehrindeki Uygulamalı Bilim Üniversitesi'ndeki Işık ve Bina Tekniği Enstitüsü'nde, 2.05 m yüksekliğinde bir test odasında kullanılan ışık yönlendirici cam test edilmiştir. 40 cm yüksekliğindeki güneş ışığı yönlendirici elemanlar pencerenin arkasına yerleştirilmiştir. Test odasındaki pencerenin alt kısmının önüne siyah güneşlik yerleştirilmiştir. Referans odasında siyah güneşlikler tüm pencereyi kaplamaktadır. Açık hava koşullarında yapılan ölçümler sırasında, her iki odadaki güneşliklerin yansıtıcı yüzeyleri, direkt güneş ışığını kesmek için, yazın 40°, kışın 80° ve bahar aylarında 60° döndürülmüştür. Kapalı gök koşulları ölçümleri

sırasında, yansıtıcı yüzeyler her iki odada da yatay konumdadır. Şekil 4-54'te bu sistemin yerleştirildiği ofisin içeriden görünüşü görülmektedir.

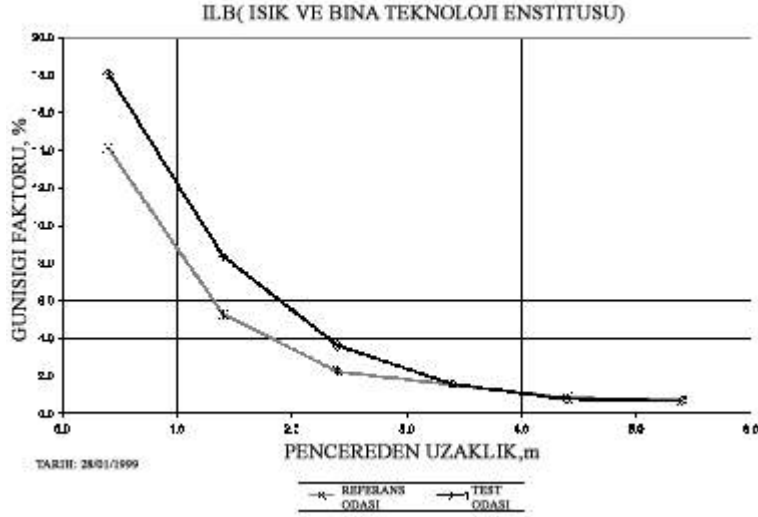


Şekil 4-54: Cologne'deki Geyssel Ofis Binası'nda bulunan, üst kısmında ışık yönlendirici cam uygulanan pencereleri olan ofisin içeriden görünüşü [3].

Tablo 4-9: Işık yönlendiricim camların, Almanya'da, 51° kuzey enleminde sağladığı aydınlık düzeyi ve gün ışığı değerleri [3].

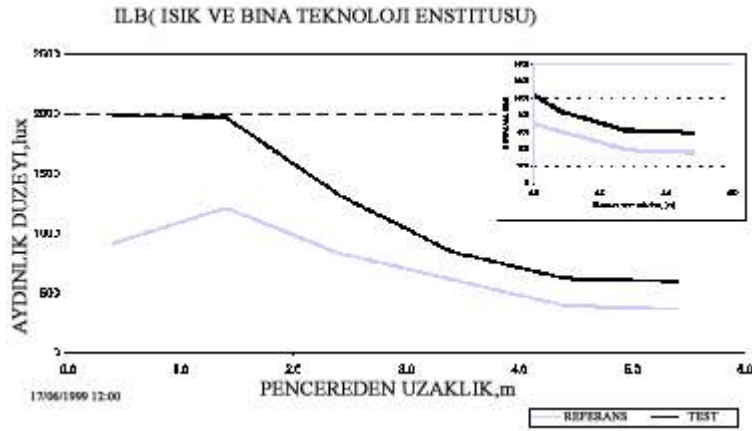
Işık yönlendirici cam Almanya; 51°Kuzey,	İç Aydınlık Düzeyi (lux)						Dış Aydınlık Düzeyi (klux)	
	Gözlem durumu ve zamanı							
	Pencere Bölgesi		Orta Bölge		Arka Bölge			
	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	Test Odası	Referans Odası	E _{ysg}	E _{ygs}
Kapalı Gök, (GF%)	8.4 %	5.3 %	1.6 %	1.5 %	0.7 %	0.7 %	8.0	3.3
Kış, Açık Gök, 12:00	1,514	510	607	344	329	249	24.6	67.3
Kış, Açık Gök, 15:00	179	83	73	47	41	26	7.8	10.8
Bahar, Açık Gök, 12:00	1,570	680	840	388	574	285	60.4	70.1
Bahar, Açık Gök, 15:00	908	380	432	213	273	155	44.6	41.7
Yaz, Açık Gök, 12:00	1,971	1,213	753	614	365	365	79	54.0
Yaz, Açık Gök, 15:00	663	416	234	194	157	110	59	24.0

Kapalı gök koşullarının olduğu günlerde, ışık yönlendirici cam odadaki aydınlık düzeyini 3 m derinliğe kadar arttırmaktadır (Şekil 4-55). Tablo 4-9'da görüldüğü gibi odanın pencereye yakın bölgesindeki gün ışığı faktörü % 3 kadar yükselmektedir.



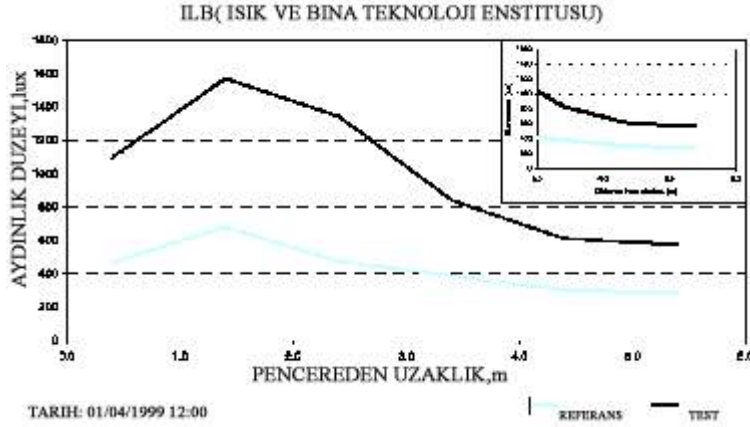
Şekil 4-55: 28 Ocak 1999’da kapalı gök koşullarında yapılan gün ışığı faktörü ölçümleri [3].

Açık gök koşullarında, yaz aylarında odanın tümünde ölçülen aydınlık düzeyleri yeterlidir. Odanın arka kesimlerinde 500 lux ’ün üzerinde (Şekil 4-56) bir aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Odanın pencere yakınındaki bölgelerinde bu değer 2000 lux’ü bulmaktadır.



Şekil 4-56: 17 Mayıs 1999’da açık gök koşulları altında yapılan aydınlık düzeyi ölçümleri [3].

Bahar aylarında odanın tamamında elde edilen aydınlık düzeyleri yeterlidir. Güneş yaz aylarında olduğunda daha düşük seviyede olduğu için, en yüksek aydınlık düzeyi odanın pencereden 1.5 m uzaklıktaki bölümünde elde edilmektedir.



Şekil 4-57: 4 Nisan 1999’da elde edilen aydınlık düzeyleri [3].

Kış mevsimi boyunca, dış aydınlık düzeyinin azalmasından dolayı her iki odadaki aydınlık düzeyleri, yılın diğer zamanlarından daha düşüktür. Güneşin konumunun daha düşük olması sonucunda, güneşliğin yansıtıcı yüzeyleri direkt güneş ışığını kesmek için 80° çevrilmiştir. Böylece güneş ışığı odaya sadece ışık yönlendirici camdan geçerek girebilmektedir.



Şekil 4-58: 29 Aralık 1999’da elde edilen aydınlık düzeyleri [3].

Işık yönlendirici cam, sistemden beklenildiği gibi, güneşli iklimlerde ve güneşe bakan cephelerde en iyi performansı göstermektedir. Kapalı gök koşullarında veya sadece gök ışığının olduğu koşullarda bu camların etkisi çok azdır. Odanın pencereden 3 m uzaklıktan sonraki bölümünde, ihmal edilebilecek kadar az bir etkisi olması yanında, sistemin asıl etkisi pencere yakınındaki alanda olmaktadır. Güneşli günlerde, 5 m’lik odanın tümünde 500 lux’ün üzerinde bir aydınlık düzeyi elde edilmektedir. Bu sayede elektrik aydınlatması azaltılabilmekte ya da kapatılabilmektedir. Geleneksel pencere camları ile karşılaştırıldığında, ışık

yönlendirici sistem daha yüksek bir aydınlık düzeyi ve gün ışığı dağılımı sağlamaktadır. Kış, bahar ve yaz ayları boyunca; ışık yönlendirici cam test odasının arkasındaki aydınlık düzeyini 100 lux'ten 30lux'e kadar arttırmaktadır. Güneşin daha düşük konumda olduğu bahar ve kış mevsimleri süresince; yönlendirilmiş olan güneş ışığı odanın ön tarafındaki üçte ikilik bölümünün aydınlık düzeylerini çok fazla arttırmakta ve odanın arka kısımlarında daha orta değerler sağlamaktadır. Güneşin konumun daha yüksek olduğu yaz aylarında; ışık yönlendirici cam diğer mevsimlerdeki kadar çok yararlı değildir. Çünkü bu camların performansı güneşin yükseliş açısına bağlıdır ve tipik güneş yükseliş açılarının 15-65° aralığında olduğu orta enlemlerdeki bölgelerde en iyi performansı göstermektedir.

Tüm mekana daha fazla ışık sağlamasına ve mekanın arka kısımlarındaki ışık miktarını arttırmasına ek olarak, sistem tarafında saplanan yüksek aydınlık düzeyleri mekandaki ışık dağılımını da geliştirmektedir. Bu sayede bu yeni teknoloji kullanıcılar tarafından daha kolay kabul görmektedir [3].

4.7. Işık Taşıyıcı Sistemler

Aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinden tasarrufu sağlamak için doğal gün ışığının kullanılması bir çözüm olarak bulunduğu, ortaya çıkan gün ışığı aydınlatma sistemlerinin çoğu, bu hedefe ulaşmayı başaramamıştır. Bununla yanında; direkt güneş ışığının olumsuz etkileri bir çoğu tarafından giderilememiştir. Bir kısmı ise, dördüncü bölümde anlatılanlar, direkt güneş ışığının aydınlatma veriminden yararlanmadan görevlerini yerine getirmişlerdir. Direkt güneş ışığından kaynaklanan aşırı ısınma ve kamaşmaya çözüm getirirken, aynı zamanda güneş ışığının yüksek veriminden yararlanmayı sağlayan sistemlerin anlatıldığı bu bölümde yer alan sistemler: heliostatlar, ışık tüpleri, güneş tüpleri, optik lifler ve ışık yansıtıcı tavanlardır.

4.7.1. Heliostat ve Işık Kılavuzu Düzenegİ

4.7.1.1.Heliostat

Güneş ışığını takip ederek ışınları toplayan ve yoğunlaştıran heliostatlar geçmişte güneş enerjisi uygulamalarında kullanılmışlardır. Bu sistemler güneş ışığını dışarıda yakalayıp bina içerisine ileten sistemlerdir [18].

Teknik Tanım

Heliostatlar otomatik takip sistemi ile güneşi takip eden, bir veya daha fazla aynadan ve bir mercekten (Fresnel merceği) oluşan ve güneş ışınlarını toplayan bütünlük bir sistemdir. Ancak bu sistem tek başına bir gün ışığı aydınlatma sistemi değildir. Bu sistem topladığı güneş ışınlarını ışık taşıyıcı bir sisteme, çoğunlukla ışık kılavuzlarına (light pipes), iletmektedir. Işık kılavuzlarında taşınan güneş ışığı daha sonra içeride dağıtıcı bir çıkış ünitesi ile bina içerisine yayılmaktadır. Bu sisteme yapay bir ışık kaynağı (kükürtlü lamba) da ilâştirilerek ışığın yetersiz olduğu zamanlarda takviye yapılabilmektedir [18].

Amaçları

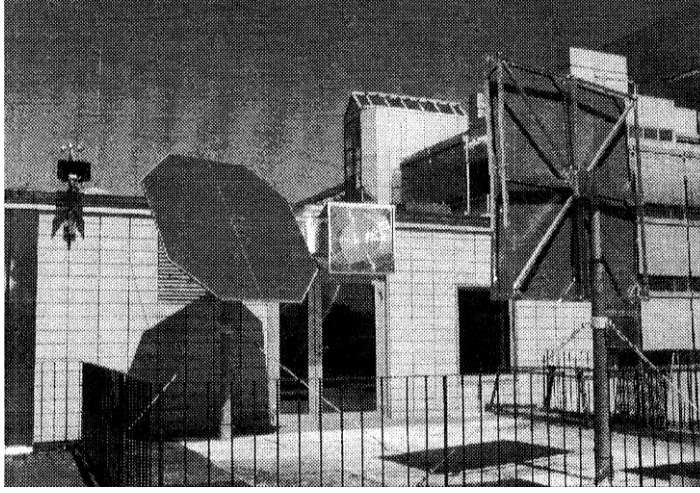
Bu bölümde anlatılan heliostat sistemi Berlin Teknik Üniversitesi'nde hazırlanan, güneş ve kükürtlü lamba ışıklarını birleştiren deneysel bir düzeneği içermektedir. Bu düzeneğin kuruluş amacı, penceresiz veya gün ışığı aydınlatması imkanı olmayan mekanları güneş ışığı ve ona takviye olarak kükürtlü lamba ile aydınlatmaktır.

İşlevleri

Bu düzeneğin ilk parçası olan heliostatların temel işlevi dışarıda, genellikle çatı bulunan aynaların üzerilerine düşen güneş ışınlarını birbirlerine yansıttıktan sonra en son merceğe yansıtması ve merceğin bu ışınları odaklayarak ışık iletim sistemine yönlendirmesidir. İkinci parça olan ışık kılavuzlarının görevi ise adından da anlaşıldığı gibi güneş ışınlarını iletmektir.

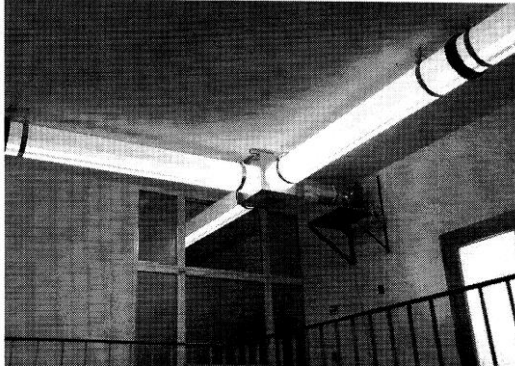
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Düzeneğin kurulduğu mekan güneye bakmakta ve bu nedenle heliostat düzenini, iki ayna ve bir Fresnel merceği oluşturmaktadır (Şekil 4-59). 4 m²'lik ilk ayna, verilen yersel coğrafi koordinatlara ve zamana bağılı olarak, bir mikro bilgisayar yardımıyla kendi eksenini etrafında döndürülerek, güneş ışığını tam olarak sabit olan ikinci aynaya yansıtmaktadır. Birbirinden bağımsız olarak ayarlanan bir çok sabit parçadan oluşan ikinci aynanın görevi ise, güneş ışınlarını 0.9 m optik çaplı Fresnel merceği üzerine toplamaktır. Fresnel merceği de güneş ışınlarını ışık ileticisi içine odaklamaktadır.



Şekil 4-59: Berlin Teknik Üniversitesi'nde kurulan heliostat düzeneği [18].

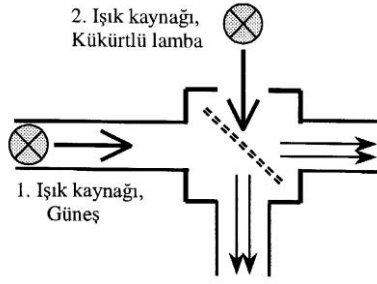
Güneş ışığı mekan içine, içinde prizmatik asetat bulunan ve saydam tüplerden oluşan ışık kılavuzlar (Şekil 4-60) ile taşınmaktadır. Prizmatik asetatın özelliği, üzerine belirli bir eşik değerli açının altında düşen ışık ışınlarını, tam yansıtma prensibine bağlı olarak yansıtmasıdır. Merceğin optik çapı, güneş ışığının iletici içine bu eşik değerli açı ile düşmesini sağlayacak biçimde boyutlandırılmıştır. Güneş ışığının iletici boyunca dışarıya kısmen çıkabilmesi için, ileticinin içinde üst kısmında dağıtıcı ince şeritler vardır. bu şeritler düşen ışıkları yaygın şekilde yansıtıp, prizmatik asetat üzerine düşüş açılarını değiştirerek, ışıkların saydam borudan çıkmalarını sağlamaktadır [19], [20].



Şekil 4-60: Gün ve yapay ışığın taşındığı ışık kılavuz tüpleri ve kükürtlü lambanın sisteme dahil olduğu düğüm noktası [18].

Yapay ışık kaynağı olarak kükürtlü lamba kullanılmaktadır. Kükürtlü lambanın çalışma prensibi mikro dalgalarla uyarılan kükürtlü plazmadır. Kükürtlü lamba ağır metal olan ve çevre koruması yönünden sakıncalı olan cıva metalini içermemektedir. Ayrıca bağlı tayfsal dağılımı sürekli. Kükürtlü lambanın ışık akısı, ışık

kılavuzların içine düşen güneş ışığı akısına bağlı olarak %25 ile %100 olarak otomatik olarak ayarlanmaktadır [21].



Şekil 4-61: Kükürtlü lambanın devreye girmesini ve iki ışık kaynağının birbirine birleşmesini gösteren şematik çizim [18].

Birleşik düzenli ışık kılavuzları, içindeki güneş ve kükürtlü lamba ışıklarının karışmasını (Şekil 4-61) sağlamaktadır. İki ışık kaynağından gelen ışık akısı her iki yöne eşit olarak dağıtılmaktadır.

4.7.1.2. Işık Kılavuzları

Işık kılavuzları ışığın taşınmasında kullanılan prizmatik veya başka tür malzemelerden yapılan bir çeşit ışık tüpüdür.

Teknik Tanım

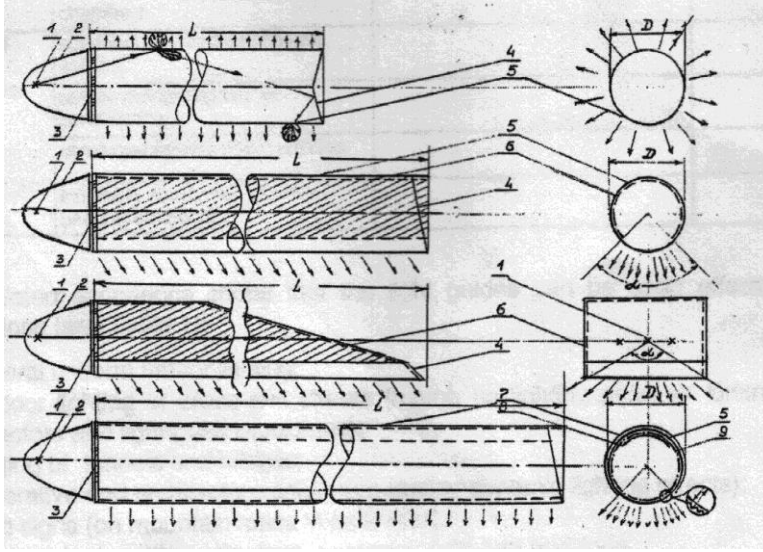
Bir ışık kılavuzu, gün ışığını veya yapay ışığı ışık kaynağından daha uzaktaki dağıtıcı üniteler taşıyan optik bir bileşen veya sistemdir. Işık kılavuz sistemleri sayesinde yapay aydınlatma aygıtlarının çoğu optik sistemlerle yer değiştirmektedir.

Işık kılavuzları, yansıtıcı iç yüzeyinde ışığın yol aldığı bir ışık tüpüdür. Işık kılavuzlarının ilk nesli dar açıklıklı ışık kılavuzu (slit light guides) denmektedir. Bu sistem, yetmişli ve seksenli yıllarda Sovyetler Birliği'nde kullanılmaktaydı. Bu sistemler üzerinde boyuna dar bir boşluk olan metalik tüplerden oluşmaktaydı. Işık, tüpün aynasal yüzeyinden düzgün olarak yansiyarak dar aralık boyunca dışarıya yayılmaktaydı. Bu sistemin en olumsuz tarafı metalik yüzeyin yansıtıcılık oranının çok düşük olması ve ışığın tüp içinde yol alırken enerjisinin bir kısmını kaybetmesiydi. Bugün yaygın olarak kullanılan ikinci nesil boşluklu ışık kılavuzları (hollow light guides) veya prizmatik ışık kılavuzları toplam iç yansıma kavramına uygun olarak ışığı, teorik olarak, kayıp vermeden taşımaktadırlar [22].

Işık kılavuz sistemleri dört gruba ayrılabilir:

- Aynalı ‘dar açıklıklı’ ışık kılavuzları
- Prizmatik ışık kılavuzları
- Dikdörtgen kesitli ışık kılavuzları
- Dairesel ve silindirik şekle sahip ışık kılavuzları.

Şekil 4-62’de bu sistemler sırasıyla görülmektedir. Bu şekilde; 1-ışık kaynağı, 2,4-yansıtıcı ayna, 3- cam, 5- ışık kılavuz tüpü, 6- aynasal film tabakası, 7-yaygın yansıtıcı, 8-dağıtıcı, 9-prizmatik film tabakasıdır [23].



Şekil 4-62: Dört değişik ışık kılavuz sistemi. Aynalı ‘dar açıklıklı’ ışık kılavuzları; prizmatik ışık kılavuzları; dikdörtgen kesitli ışık kılavuzları; dairesel ve silindirik şekle sahip ışık kılavuzları [23].

Amaçları

İlk olarak yapay ışık kaynakları ile kullanılmaya başlanan bu sistemlerinin başlıca hedefi, yapay ışık kaynağından alınan verimi arttırmaktır. Dolayısıyla, kullanılan yapay ışık kaynağı ve aygıt sayısını azaltmak amacı ile ortaya çıkan sistemin bir başka amacı da, aydınlatılan mekanın ışık dağılımını düzgün ve düzgün bir duruma getirmek olarak ortaya çıkmaktadır. Bütün bunların yanında; ışık kılavuz sisteminin ışığı taşıırken ışık kaynağından ortaya çıkan ısıyı beraberinde taşımaması da, sistemin kullanılma nedenlerinden biridir.

Gün ışığı aydınlatması alanında da kullanılan ışık kılavuzlarının bu alandaki kullanım amacı, gün ışığı aydınlatma sistemini desteklemek ya da direkt olarak gün ışığını taşımaktır. Gün ışığını daha uzun mesafelere taşıyarak düzgün bir gün ışığı

aydınlatması sağlamayı hedefleyen sistemlerin kurulmasında da kullanılabilir sistemlerdir.

İşlevleri

Yapılan çalışmalar sonucunda ışık kılavuzlarının şu alanlarda verimli bir şekilde kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır:

- Genel aydınlatma İç mekanların düzgün aydınlatılması
- Dış mekanların ve sokakların aydınlatılması
- Tünellerin ve köprülerin aydınlatılması
- Dekoratif ve mimari aydınlatma
- Yol işaretleri
- Binalara güneş veya yapay ışık taşıyan sistemler

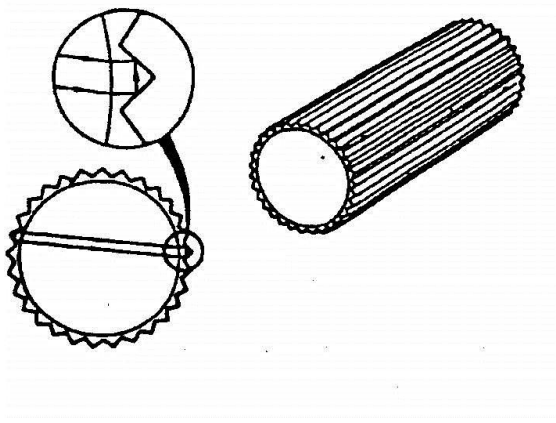
Işık kılavuzlarının iç mekanlarda kullanılması açısından bazı yararlı özellikleri vardır:

- Yangın riski ve patlayıcı madde olan ortamlarda kullanılmaları kaçınılmazdır. Çünkü elektrik potansiyelleri ve yüzey sıcaklıkları hiç yoktur.
- Işık kaynağından kaynaklanan ısıyı iletmezler. Bu özelliği soğutma odaları ve sabit sıcaklık istenen mekanlar için uygundur.
- Uygulama özellikleri çevresel etkenlerden etkilenmez çünkü çıkartılabilir parçaları yoktur. Bu özelliği çok temiz olması gereken odaları ve içi sıvı dolu olan hacimler için uygundur.
- Aynı tüp hem gün hem de yapay ışığı taşımak için kullanılabilmektedir [23].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Prizmatik ışık kılavuzunun iç yüzeyinde saydam ve düz yüzeyli bir optik film tabakası yer alırken dış yüzeyi boyunca mikro prizmalar bulunmaktadır. Bir prizmanın kesiti, 0.18 mm yüksekliğinde dik açılı bir üçgendir. Düz yüzeye çarpan ışık ışını filmi geçtikten sonra mikro prizmalarda toplam iç yansımaya uğramaktadır. Işının toplam iç yansımaya uğraması için; ışın ve prizmanın aksı arasındaki açının 27°'den az olması gerekmektedir. Teorik olarak toplam iç yansıma, kayıpsızdır yani yansıtıcılık katsayısı 1.0'dır. uygulamada ise saydam optik filmin yansıtıcılık

katsayısı, yansıtıcılık katsayısı 0.90 olan yüksek kalitede aynasal alüminyum ile karşılaştırılırsa 0.99'dur. prizmatik ışık kılavuzu optik film tabakalarından yapılan bir tüptür. Böyle bir örnek şekil 4-63'de gösterilmektedir. Işık tüpün açık ucundan 27° 'den düşük bir açı ile gönderildiğinde toplam iç yansımaya uğrayarak tüp boyunca ilerlemektedir.



Şekil 4-63: Işık kılavuz tüpü [22].

Maliyet ve Enerji Tasarrufları

İçerdikleri ileri teknoloji ürünü prizmatik ve optik film tabakaları (Şekil 4-63) ve tüpün üretim maliyetleri çok yüksektir. Bu yüzden çok yaygın kullanım alanları olmamakla birlikte, kullanım ve bakım maliyetlerinin olmaması veya çok düşük olması ve yapay aydınlatmadan sağladığı tasarruf edeniyle kullanılmaları cazip hale gelmektedir.

Yansıtıcılık katsayısı 0.90 olan metalik ışık kılavuzlarından, yansıtıcılık katsayısı 0.99 olan prizmatik ışık kılavuzlarına doğru olan gelişme çok önemlidir. Bir ışık ışını 20° açı ile, 0.3 m çapında 10 m uzunluğunda ve yansıtıcılık katsayısı 0.90 olan bir ışık kılavuzuna gönderildiğinde %28'lik bir enerji tasarrufu olmaktadır. Bu yansıtıcılık katsayısı 0.99'a çıkartıldığında kazanılan enerji %89 olmaktadır [23].

Düzeneğin toplam verimi parçaların ışıksal özelliklerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Parçaların yansıtma ve geçirme çarpanları ve kirlenme faktörleri tablo 4-10'da verilmiştir.

Tablo 4-10: Heliostat düzeneğinin bileşenlerinin, ışıksal yansıtma, geçirme çarpanları ve kirlilik faktörü değerleri [18].

Segment	Düzen verimini etkileyen büyüklük	Tahmin edilen veya ölçülen değer [%]
1. Ayna	→ Işıksal yansıtma çarpanı ρ_1	90
	→ Kirlenme faktörü $k_{2,1}$	95
2. Ayna	→ Işıksal yansıtma çarpanı ρ_2	90
	→ Kirlenme faktörü $k_{2,2}$	95
Fresnel merceği	→ Işıksal geçirme çarpanı (Cam) τ_{Cam}	92
	→ Işıksal geçirme çarpanı (Mercek) τ_{Mercek}	85
	→ Kirlenme faktörü $k_{2,3}$	95

$$\eta_{heliostat} = \rho_1 \cdot k_{2,1} \cdot \rho_2 \cdot k_{2,2} \cdot \tau_{Cam} \cdot \tau_{Mercek} \cdot k_{2,3} = 54.3\%$$

%54.3'lük verime sahip sistemin sağladığı güneş ışığı ile aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinde yaptığı tasarruf da eşit miktardadır.

4.7.2. Güneş Tüpü

Direkt güneş ışığının hem kullanılabilmesini hem de kamaşma ve diğer yan etkilerini engellenmesini sağlayan bu sistemlerin piyasada bulunan örneklerinin çoğu basit içi boş tüplerdir. İçi boş bu tüpler güneş ve gök ışığını binanın içlerine ve diğer karanlık mekanlara taşımaktadır [17].

Teknik Tanım

Işık tüpü sistemlerinin üç bileşeni vardır:

- Genellikle saydam bir kubbeden oluşan dış toplayıcı ünitesi, ultraviyole ışınları dışarıda tutarken tüpün içine toz ve suyun girmesini engellemektedir.
- Işık tüpünün kendisi iç içe geçen tüplerden oluşmaktadır.
- Işığın iç mekana yayılmasını sağlayan bir aydınlatma aygıtı veya dağıtıcı ünite son parçayı oluşturmaktadır.

Bu sistemlerin dış toplayıcı ünitesi, genellikle binaların çatısında yer almaktadır. Böylece göğün tamamından gelen ışınları, yönden ve çoğunlukla güneşin konumundan bağımsız olarak toplayabilmektedirler.

Orta üniteyi oluşturan ışık tüpünün iç yüzeyi yansıtıcılığı yüksek olan alüminyum veya plastik film ile (örneğin; yansıtıcılık oranları %95'in üzerinde olan Alcoa Everrbite ve Silverlux) kaplıdır [17]. Üreticilerde yer alan ışık tüpleri düz ya da

dirsekli olabilmektedir. Bu tüpler, karmaşık çatı mekanlarından, ışıklığın ulaşamayacağı odalara ışık tüpünün ulaşmasına imkan vermektedir.

Işık tüpünün alt kısmına yerleştirilen dağıtıcı, aydınlattığı odadaki ışık dağılımının daha düzgün olmasını sağlamaktadır. Çatı ışıklıkları ve pencerelerle karşılaştırıldığında, ışık tüpleri aydınlattığı yüzeylere daha az ısı iletmektedir. Bu özellikle yaz aylarında çok yararlı bir özelliktir; çünkü tüp sayesinde bina, direkt güneş ışınlarından kaynaklanan aşırı ısınmadan korunabilmektedir.

Amaçları

Bu sistemin amaçları:

- Gün ışığının ve en önemli bileşeni güneş ışığının bina içlerine, kamaşma ve aşırı ısınma yaratmadan, taşınmasını sağlamak
- Binaların, gün ışığı girmesi mümkün veya uygun olmayan karanlık yerlerine gün ışığını iletme
- Mekanların içinde düzgün bir ışık dağılımı sağlayarak kullanıcı görsel konforunu sağlamak
- Bütün bu amaçları yerine getirerek tüketilen elektrik enerjisini azaltmaktır.

İşlevleri

Görsel konforun sağlanması için gerekli olan koşulları sağlayan, doğal gün ışığını ve özellikle güneş ışığını direkt olarak bina içerisine alan güneş tüpleri, yalnız bununla kalmayıp, gün içinde ve mevsim boyunca dışarıda değişen iklim koşullarını da içeriye yansıtmaktadır. Buna ek olarak; insanın biyolojik ritmini uyaran ve zamanın akışını gösteren gün ışığındaki değişimleri de, gün ışığının giremediği veya yetersiz kaldığı mekanlara iletmektedir.

Sistemin çatı da yer alması ve tüm gök yarı küreden gelen ışınları, içeride kamaşmaya neden olmadan yansıtması, direkt güneş ışığından kaynaklanabilecek aşırı ısınma ve soğutma yüklerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede, gün ışığından faydalanarak elektrik enerjisinden yapılan tasarrufa, soğutma yükünden kurtularak da destek olmaktadır.

Sabit, yani güneşi takip eden sistem elemanları olmayan bu sistem, bu özellikleri sayesinde düşük maliyetlidir. Bununla birlikte uygulanmaları da çok kolay sistemler oldukları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar [24].

Bu sistemlerin verimi, sistemin çok uzun mesafelere taşımaması ve taşıyıcı borunun mümkünse düz veya çok az kırılma noktasına sahip olmasına bağlıdır. Aynı zamanda borunun iç yüzeyinin kaplandığı malzemenin optik özellikleri (yansıtma oranı v.b.) de sistem verimini etkilemektedir. Çok uzun mesafelerde kullanıldıklarında, ışığın boru içinde taşınması sırasında oluşan kayıplar nedeniyle aydınlatma performansları düşmektedir. Aynı şekilde, iletim sisteminin kurulumunda çok fazla dirsek kullanılırsa performans yine azalmaktadır [25].

Sabit güneş tüplerinin (ya da borularının) temel özellikleri:

- 430-690 nm dalga boyu aralığındaki tüm görünür elektromanyetik güneş spektrumunu toplamakta ve iletmektedirler,
- Göğün düşük ve yüksek parıltı değerlerinde olduğu koşullara karşı çok duyarlı olup içeride yaşayan kullanıcıların zamanı ve iklim değişimlerini hissetmesini sağlamaktadır,
- Taşıyıcı tüp dışarı ile içeri arasındaki ısı geçişini azaltmakta ve kızıl ötesi ışınları geçirmemektedir [24].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Ticari olarak mevcut olan iki tip güneş tüpü vardır; düz olanlar ve dirsekli olanlar (Şekil 4-64 ve 4-65). Bir güneş tüpü sistemi temelde üç üniteden oluşmaktadır: saydam kubbe, bir veya daha fazla birbirine eklenmiş tüp ve bir ışık dağıtıcı. Gök ve güneş ışığını toplayan saydam kubbe, genellikle, çatının dış tarafına yerleştirilmektedir. Saydam polikarbonat malzemeden yapılan kubbe ultraviyole güneş ışınlarını dışarıda tutacak şekilde üretilmektedir. Aynı zamanda tüpün içine toz ve çamur girmesini de engellemektedir. Kubbe yangına karşı dayanıklı olarak üretilmekte ve oval yapısı sayesinde kendiliğinden temizlenmektedir.

Güneş tüpü sisteminin ikinci parçası, bir veya birden çok birbirine bağlanmış ışık yönlendirici tüpleri içermektedir. Işık yönlendirici tüplerin iç yüzeyleri, ışığın yüksek derecede iletimi sağlayan yüksek yansıtıcılık oranına (0.95) sahip aynasal özellik kazandıran bir malzeme ile kaplanmaktadır. Işık yansıtıcı bu tüpler binanın yapısal

engellerini dirsek elemanları ile geçebilmektedir (Şekil 4-62). Saydam kubbe tarafından içeri alınan ışık tüpün aynasal yüzeylerinden yansıtılarak dağıtıcı parçaya gelmektedir.

Dağıtıcı parça aydınlatılacak odanın tavanına yerleştirilen düz veya oval polikarbonat kapak şeklini almaktadır. Dağıtıcının dış bükey yapısı, ışığı altındaki mekana yaymasını sağlamaktadır [25].

Uygulanmış Örnekler ve Değerlendirilmeleri

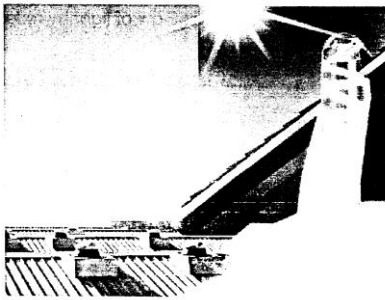
a. Solotube

Dünya enerji tasarrufunu arttırmaya ve hava kirliliğini önlemeye daha çok özen göstermeye odaklanmışken, 1986'da Avustralya'da ilk güneş tüpü geliştirilmiştir. Avustralya'da hızla geliştirilen sistem önce Kuzey Amerika'da sonra da Avrupa'da kabul görmüştür.

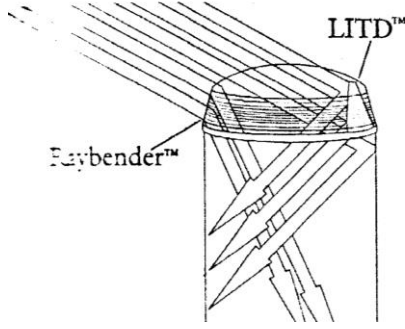
Teknik Tanımı

Bu yeni teknolojinin temel bileşenleri:

- Sistemin üst ucunda; enjeksiyon kalıp yöntemiyle üretilen akrilik bir kubbe yer almaktadır. Akrilik, yüksek geçirgenlik oranına sahip olup hava şartlarına karşı dayanımı yüksektir. Bu ünite, optik bir prizmaya (Fresnel merceği) ve güneye yönlendirilmiş ışık kesici bir aynaya sahiptir. Sistemin ışığı yakalama ve en yakın taşıyıcı birime yönlendirme özelliği vardır.

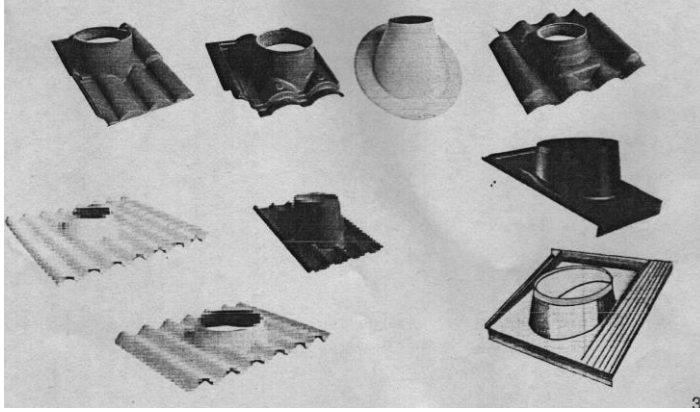


Şekil 4-64: Çatıya yerleştirilen güneş tüpü [24].



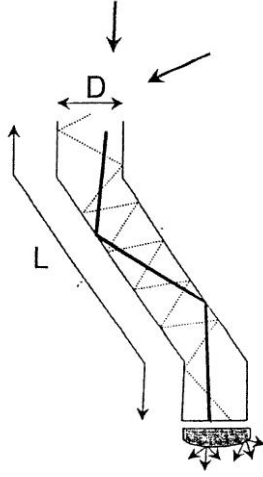
Şekil 4-65: Güneş tüpünün içine giren ışınların tüpün içine yansıtılması [24].

- Bağlantı parçaları, sistemin en uygun zenital konumda sabit durarak olabildiğince çok gün ışığı toplamasını sağlamaktadır. Bu parçalar (Şekil 4-66) aynı zamanda sistemin çatı elemanları ile birleştirilerek, aydınlatılacak olan mekanı ve taşıyıcı tüpü yağmur ve diğer hava koşullarından korumaktadır.



Şekil 4-66: Güneş tüpünün çatı bileşenleri [24].

- Taşıyıcı tüp, dairesel kesite sahip olup, birbirine kolay eklenebilen düz ve engellere karşı belirli açılarda dirsek elemanlarına sahiptir. Sert alüminyum alaşımdan üretilen tüpün iç yüzeyi yüksek yansıtıcılık oranına sahip bir film tabakası ile kaplanmaktadır. Ayrıca oksidasyona karşı başka bir plastik film tabakası ile de korunmaktadır. Bütün bileşenler, güçlü yağış kan bir bantla hava geçirmez hale getirilmektedir.



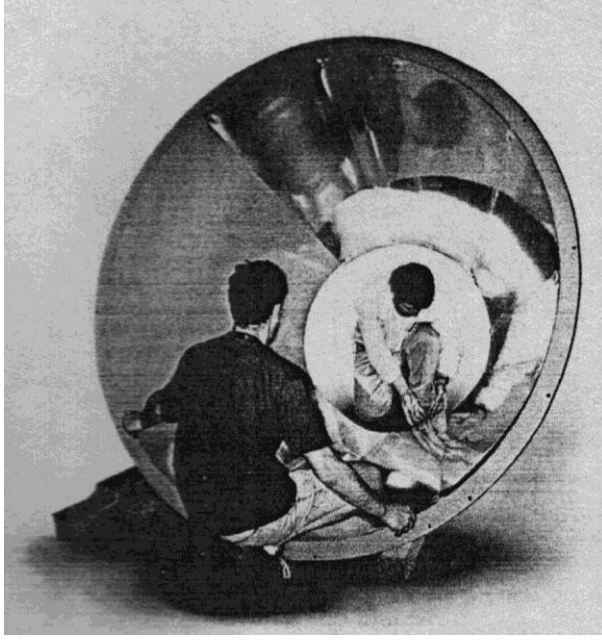
Şekil 4-67: İki dirsekle kırılan ve içine giren ışığı bir çok yansıma ile dağıtıcıya ulaştıran güneş tüpü uygulaması [24]

- Sistemin alt ucunda; taşıyıcı tüp tarafından getirilen ışığı, lokal aydınlatma gereksinimlerine göre, mekanın en uygun alanlarına dağıtan dağıtıcı bir ünite (prizmatik, birkaç merceğe sahip Fresnel merceği, şekil 4-67) vardır.
- Sistemin üretilebilir çapları değişik boyutlardadır: 250-350-400-530 mm.
- 530 mm çaplı olan tüp, dairesel veya 600 x 600 mm ölçülülerinde kare modüllere olan özel iletim kutularına sahiptir. Bu kutular, sistemin asma tavan sistemine uymasını sağlamaktadır.
- Güneş tüpü; çatı katlarında kullanılan 15-20cm lik kısa elemanlardan, 15 m'lik bazı dirsekli (Şekil 4-67) ve yüksek yansıtıcılık oranına sahip ünitelere kadar değişen uygulanabilir uzunluğa sahiptir.

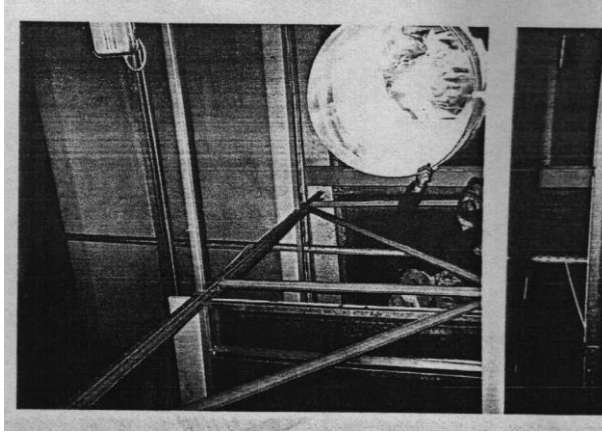
Bazı donanımlar sistemin uygulama alanını, özellikle evlerdeki uygulamalarda, genişletmektedir:

- Havalandırma ile ışık tüpünü birbirinden ayrı tutan havalandırma sistemi
- Gece kullanımı için sisteme eklenen aydınlatma aygıtları
- Işığı azaltma veya kapatmak için perdeler

Solotube teknolojisi, çeşitli tüp tasarımına olanak verecek şekilde esnek bir yapıya sahiptir. Bu teknoloji daha büyük çaplarda tüplerin kullanıldığı (Şekil 4-68 ve 69) özel projelerde de kullanılabilmektedir.



Şekil 4-68: Büyük çaplı özel üretim güneş tüpü [24].



Şekil 4-69: Özel üretim güneş tüpünün binaya yerleştirilmesi [24].

Amaçları

Bu sistemin amacı; gün ışığının ulaşamadığı mekanları yayınlık gök ve direkt güneş ışığı ile aydınlatmak, dışarıdaki iklim koşullarındaki değişimleri ve zamanın akışını gösteren gündüz gece devinimini içeriye ulaştırmaktır [24].

İşlevleri

Güneş tüpünün kendine özgü temel işlevleri; gün ışığını toplayarak insan sağlığı için gerekli koşulları sağlamak ve yeterli gün ışığını mekan içine ulaştırmaktır. Buna ek olarak; bu teknoloji, enerji tasarrufu için büyük bir potansiyeli ve hava kirliliğini önlemek konusunda da küçük fakat sağlam bir katkısı olduğunu ortaya koymaktadır.

Sistem ilk üretim maliyetini bir sene içinde geri kazandırmaktadır. Bundan dolayı; yenilenebilir enerji sistemleri arasında bu teknoloji, yeni bir bakış açısı getirmektedir. Sistemin ömrünün de on yıldan fazla olması ve büyük olasılıkla sıfır işletim maliyeti ile sistem üretimi için harcanan enerjiyi geri kazandırmaktadır.

Tüpün iletim verimliliği, geliştirilmekte olan, yüksek yansıtıcılık oranlarına sahip yüzey kaplama malzemelerinin kullanılmasıyla ileride daha da artacaktır [24].

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Güneş tüplerinin performansı üç etmene bağlıdır: toplayıcı kubbe tarafından toplanan gün ışığı akısı, tüpün iletim verimi ve tüpün ucundaki dağıtıcı ünitenin verimi.

- Kubbe ünitesinde toplanan ve taşıyıcı üniteye odaklanan ışık akısının miktarı, aşağıdaki eşitlikle belirtilmiştir:

$$F_c = K * S * I \text{ (lümen)}$$

Bu eşitlikte:

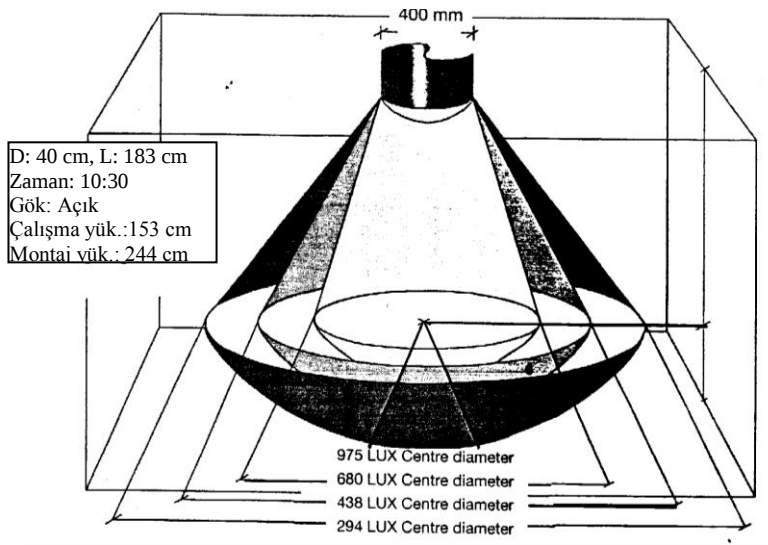
- F_c = toplanan ışık akısı
- K = kubbedeki optik elemanların verimine bağlı olan ve boyuttan bağımsız katsayı.
- S = kubbenin alanı (m^2)
- I = göğün yatay düzlem üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi (lux)
- Tüpün iletim verimi (T), Swift ve Smith [26] karmaşık eşitliği ve Zastrow ve Wittwer 'in [27] verdiği daha basit bir versiyonunda aşağıdaki gibi verilmiştir:
 - $T = R^{(L/D)*\tan v}$
 - T = Tüpün iletim verimi
 - L = Uzunluk
 - D = Çap
 - v = Giriş açısı
 - R = yansıtıcılık oranı

Tüpün iletim verimi; 30° giriş açısı ile; çeşitli çap, uzunluk ve yansıtıcılık oranları için bulunan değerleri şekil 4-70'de gösterilmektedir.

TTE %		Tüpün ışık iletim verimi							
Ø cm		25		35		40		53	
R		0,92	0,995	0,92	0,995	0,92	0,995	0,92	0,995
Lm									
2		58	96	67	97	71	98	87	99
4		35	93	46	95	51	96	60	97
6		21	90	32	93	37	94	47	95
8		13	87	23	91	27	92	37	94
10		9	84	16	88	20	90	29	92
12		5	82	12	86	15	88	23	91

Şekil 4-70: Güneş tüpünün uzunluğu arttıkça veriminin düştüğünü gösteren şekil [24].

- Dağıtıcı ünitenin olabildiği kadar çok miktarda ışık akısını içeri yayması ve projelerde verilen aydınlatma gereksinimlerine uygun fotometrik değerleri sağlaması gerekmektedir. Şekil 4-71’de prizmatik dairesel bir dağıtıcının açık gök koşullarında sağladığı aydınlık düzeyleri görülmektedir [24].



Şekil 4-71: Prizmatik dairesel bir dağıtıcının açık gök koşullarında sağladığı aydınlık düzeyleri [24].

Genellikle dağıtıcının ışık geçirgenlik oranı; % 85 (normal prizmatik kubbe) ve % 95 (daha gelişmiş malzemeler) arasındadır.

Maliyet ve Enerji Tasarrufu

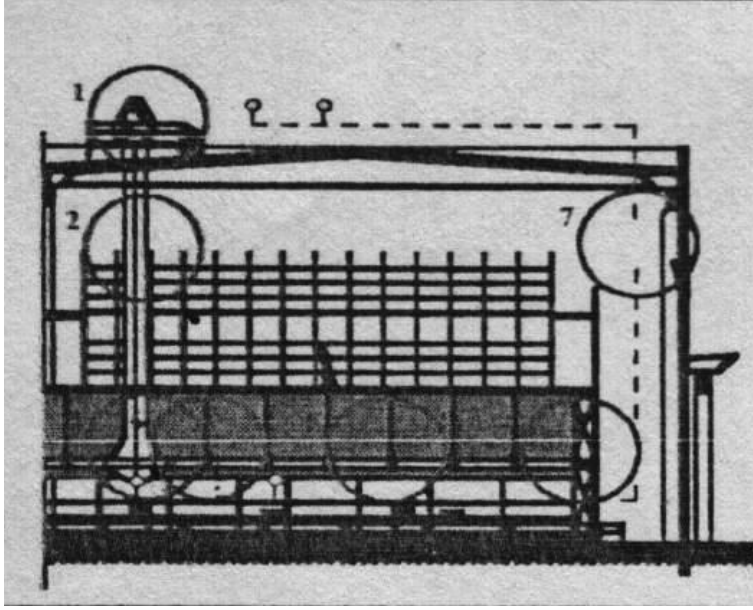
Çeşitli çaplardaki güneş tüplerinden (ışık kaybı katsayısı 0.75 iken) elde edilen ışık akısı değerleri ve karşılık geldiği güç miktarı ve eş değer lamba tipleri tablo 4-11’de görülmektedir [24].

Tablo 4-11: Çeşitli çaplardaki güneş tüplerinin sağladığı ışık akısı ve karşılık geldiği güç miktarı [24].

Çap (cm)	Uzunluk (m)	Işık Akısı (lümen)	Karşılık geldiği >	Güç (W)	Lamba Tipi
25 cm	1.0 m	3750 lm		3*18 W	Kompakt Florasan
35 cm	1.4 m	6500 lm		6*40 W	Florasan
40 cm	1.8 m	8000 lm		4*40W	Florasan
53 cm	2.4 m	12 000 lm		6*40W	Florasan

b. Arthelio Projesi

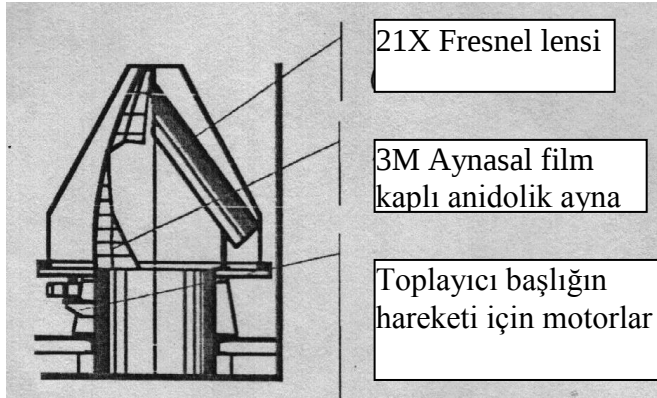
Arthelio projesi 1998’de başlayan ve Nükleer Olmayan Enerji Kaynaklarını Araştırma Programı’nın bir parçası olan bir projedir. Bu proje çerçevesinde tasarım ilkeleri, test prosedürleri ve değerlendirme metotları belirlenmiştir. Bu proje çerçevesinde iki prototip yapılmıştır. İtalya ve Almanya’da iki farklı binaya yerleştirilmiş olan prototiplerden İtalya’da üretilen burada anlatılacaktır [28].



Şekil 4-72: İtalya'da bir binaya yerleştirilen güneş tüpü uygulaması [28].

Teknik Tanımı

Burada yerleştirilen sistemin gün ışığı taşıma kısmı, düşey düzlemde bir aks etrafında dönebilen başlık ünitesine(Şekil 4-73), dairesel kesite sahip bir tüpe ve dağıtıcı bir alt başlığa (Şekil 4-72) sahiptir. Yapay aydınlatma kısmı ise iki kükürtlü lamba ve iki ışık iletici tüpten oluşmaktadır. Gün ışığı ve yapay ışığın birleştirilme işlemi yapay aydınlatma kontrol sistemi ile ayarlanmaktadır.



Şekil 4-73: Işık toplayıcı başlık ünitesi [28].

Amaçları

3M şirketinin Carpiano şehrindeki Avrupa dağıtım merkezine yerleştirilen bu sistemin amacı, çok miktardaki gün ışığını uzun mesafelerde taşımak ve bu işlem sırasında ışığın tüm olumlu özelliklerini ve verimini azaltmamaktır.

Sistem görsel konfor koşulları üzerine odaklanmıştır. Bunu yaparken; bu merkezin depolama alanında ve yapay aydınlatma olan yerlerde çalışanların görsel konfor kalitesini arttırmayı amaçlamaktadır. Görsel eylemler çok geniş bir alana yayıldığı için çalışma alanındaki aydınlık düzeyinin yayınlık olması gerekmektedir.

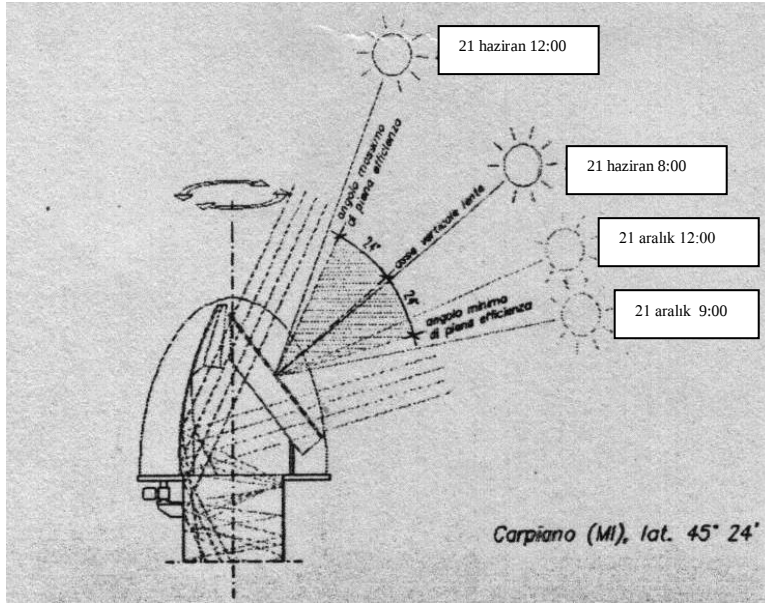
Bu hedefler doğrultusunda gün ışığı aydınlatma sistemi ve yapay aydınlatma sistemleri birleştirilmiştir. Gün ışığı taşıma sisteminin amacı; gün ışığı miktarını yeterli seviyede tutmaktır. Böylece içerisi daha doğal hissedilebilmekte ve dışarıyla temas kurulabilmektedir. Dolayısıyla zamanın geçtiği hissi ve hava koşullarındaki değişimler de içeriye iletilebilmektedir [28].

İşlevleri

Sistem iki ayrı alt sistemden oluşmaktadır: gün ışığı aydınlatma ve yapay aydınlatma sistemi. Dolayısıyla birbirinden farklı iki ayrı işlev grubuna sahiptir. Gün ışığı aydınlatma sisteminin temel işlevi, içeriye hiç giremeyen gün ışığını mekana ulaştırmak ve dışarıdaki ortamla içerisi arasında bir bağ kurmaktır. Bu bağ, meteorolojik koşullardaki değişimlerin ve güneşin doğup batışına bağlı olarak ilerleyen zamanın içeride hissedilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında aydınlatma işlevini mekanın büyüklüğü nedeniyle yerine getirememektedir.

Yapay aydınlatma sistemi mekanın asıl aydınlatma ihtiyacın karşılamakta ancak kullandığı kükürtlü lamba ve ışık kılavuzları sayesinde mekanda yayınlık ve düzgün bir aydınlatma sağlamaktadır.

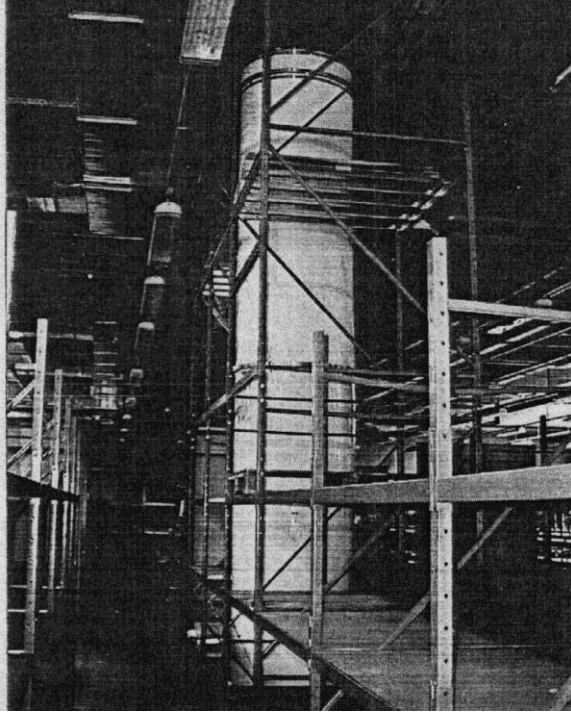
Bunun yanında iki sistemin buluştukları bir nokta vardır. Birbirine bağlanan sistemler, işlevleri ile de birbirini tamamlamaktadır. Bir kontrol sistemi, gün ışığının yetersiz olduğu zamanlar iletici deki valfi açarak dağıtıcıdan yeterli ışığın gelmesini sağlamaktadır.



Şekil 4-74: Işık toplayıcı başlığın kullandığı Fresnel merceği sayesinde güneşin değişik konumları için güneş ışığını toplama özelliğini gösteren çizim [28].

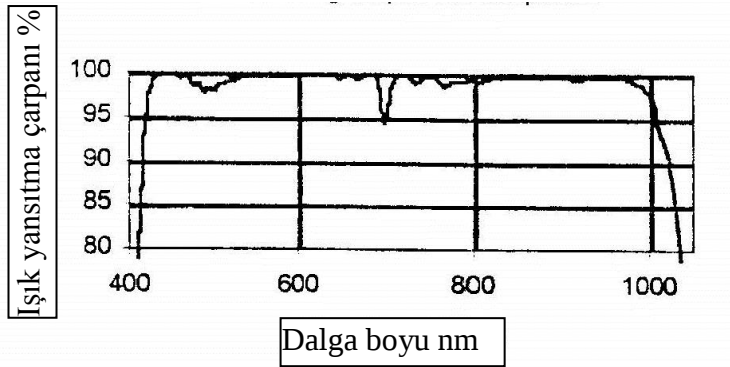
Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Yeni bir teknoloji olmasına rağmen, üretim ve bakım maliyetini azaltmak için sistem basit mekanik teknoloji üzerine dayanan bir yapıya sahiptir. Bunu yapabilmek için de özel malzemeler kullanmak gerekmektedir. Gün ışığının toplanmasında en önemli görevi yerine getiren başlık ünitesinde yeni bir kavram kullanılmaktadır. Fresnel mercekleri (3M-21X) kullanarak toplayıcı bir başlık ünitesi kullanan sistem, tek bir düşey aks etrafında dönerek güneşi takip edebilmektedir (Şekil 4-74). Bu 21X merceğinin ışığı kabul ettiği açı aralığı sayesinde mümkün olabilmektedir. Bu açı aralığı; güneşin, sistemin yerleştirildiği enlemdeki yörüngesi sonucunda ortaya çıkan, her yükseliş açısı için güneş ışınlarının odaklanabilmesini sağlamaktadır. Odaklanan ışık ışınları, anidolik bir ayna yardımıyla düşey tüpe, mümkün olabildiği kadar aksına yakın bir şekilde yansıtılmaktadır.



Şekil 4-75: İtalya'daki binada kullanılan güneş tüpü sisteminin tüp ünitesinin görünümü [28].

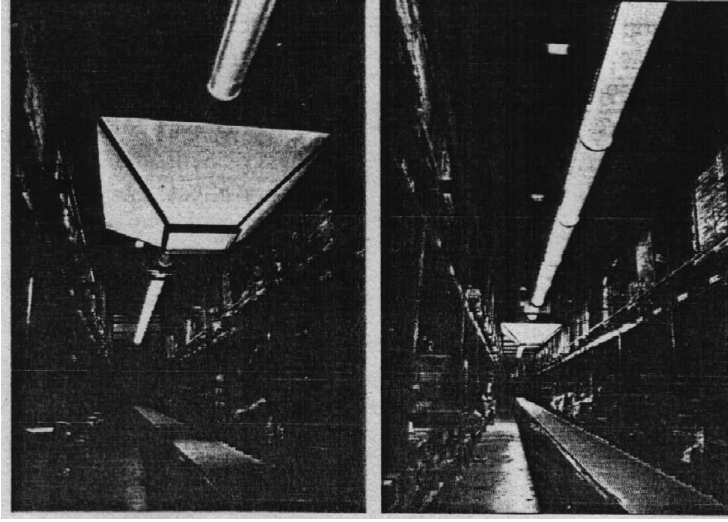
Gün ışığının taşınmasında kullanılan tüp, 90 cm çapında dairesel bir kesite sahip olup tüm uzunluğu 13 m'den fazladır (Şekil 4-75). Tüpün iç yüzeyi yüksek yansıtıcılık oranına sahip Çok Katmanlı Polimerik Film ile kaplanmıştır. Bu film tabakasının ışık akısı yansıtıcılık oranı %99'un üzerindedir (Şekil 4-76).



Şekil 4-76: Değişik dalga boylarına göre tüpün üzerindeki film tabakasının yansıtıcılık çarpanı grafiği [28].

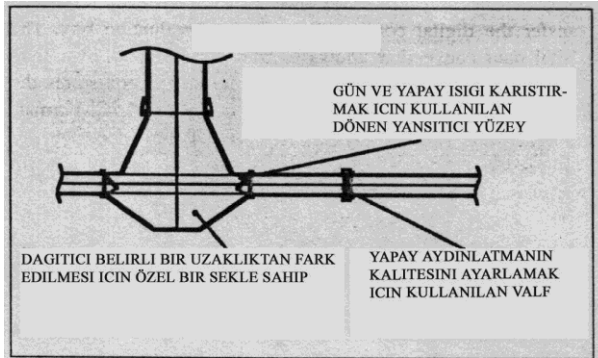
Tüpün sonundaki dağıtıcı ünite, ışığı kalitesini koruyarak mekana dağıtmaktadır. Çalışma alanının çok büyük olması sebebiyle; toplanan ışığın tüm alana yayılması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle; gün ışığının yayılmasını, çatıdan 15 m uzaklıkta olmasına rağmen uzaktan bakıldığında pencere etkisi verecek bir dağıtıcı ünite ile sağlamak fikri doğmuştur. Bu ünite 14 m²'lik bir alanı aydınlatmaktadır.

dağıtıcı ünite, oldukça uzaktan fark edilebilmesini sağlayan, mekanda çalışanları psikolojik olarak motive eden ve onların dışarıyla bağlantı kurmalarını sağlayan özel bir şekle sahiptir (Şekil 4-77a).



Şekil 4-77: a) Dağıtıcı ünite (sol); b) dağıtıcı üniteyle birleştirilmiş ışık kılavuz tüpleri [28].

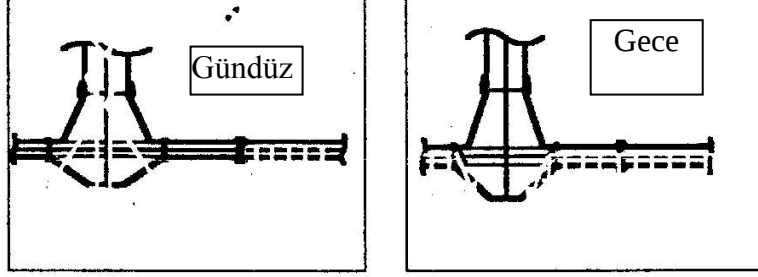
Sistem yapay aydınlatma sistemi ile de desteklenmektedir. Yapay aydınlatma sistemi, yatay ışık kılavuzlarını ve (elektronik balastla dimmerlenebilen) kükürtlü lambaları içermektedir (Şekil 4-77b). Işık kılavuzları iç yüzeyi prizmatik film tabakası ile kaplı olan içi boş ışık tüpleridir. Bunların diğer ışık tüplerinden farkı; daha küçük bir kesit alanına sahip olmaları, daha uzun mesafelere ışığı taşıyabilmeleri, prizmatik yapısı sayesinde ışığı iletirken bir yandan da altındaki mekanı aydınlatmasıdır.



Şekil 4-78: Dağıtıcı başlık [28].

Yapay kontrol sistemi ile hem yapay aydınlık düzeyi hem de gün ışığı aydınlık düzeyleri kontrol edilmektedir (Şekil 4-76). Gün ışığı yetersiz olduğu zaman, motorlu bir kanatçık sistemi ile yapay ışığın onun yerini alması sağlanmaktadır. Şekil

4-78 ve 79’da, dağıtıcı ünitenin gündüz gün ışığı iletirken sağ tarafındaki valf sisteminin kapalı olduğu yapay ışığın oraya kadar geldiği, akşam ise yansıtıcı valfin açılıp dağıtıcının içine yapay ışık girmesi sağlandığı gösterilmektedir [28].



Şekil 4-79: Dağıtıcı başlığın gündüz ve gece, kükürtlü lambaya bağlı ışık kılavuz sistemine bağlanması [28].

4.7.3. Işık Kılavuzu Tavanlar

Teknik Tanım

Bu gün ışığı aydınlatma sistemi üç üniteden oluşmaktadır:

- Alıcı: dışarıya yerleştirilen aygıt, gün ışığını toplar ve iki bileşeni ile iletir: yönlendirir ve dağıtır.
- Odaklayıcı aygıt: toplayıcı ünite ile taşıyıcı ünite arasındaki bağlantıyı sağlayan aracın görevi, gün ışığını odaklamak ve taşıyıcı ünite içerisine yönlendirmektir.
- Tüp/dağıtıcı: aydınlatılacak odaya yerleştirilen ünite, gün ışığını taşımayı, yaymayı ve iletilen ışık akımını kontrol etmeyi sağlamaktadır.

Amaçları

Bu sistemin geliştirilmesindeki temel hedef binalara gün ışığının girmesini geliştirmektir. Bunun nedeni ise; çevrenin görsel kalitesinin, insanın fiziksel ve psikolojik yapısını etkileyen en temel etmen olmasıdır. Bununla beraber görsel konforun ışığın miktarı ile çok fazla ilişkisi yoktur, daha çok görsel çevrenin aydınlatma kalitesi ile ilişkilidir.

Dolayısıyla; görsel çevredeki aydınlatma kalitesi de, kamaşma olmayan ve kamaşmanın önlenmesi fakat gün ışığından fedakarlık edilen mekanlar oluşturmadan artırılmalıdır. Bu sistemin ortaya çıkma nedeni de, gün ışığının kamaşmayı önlemek için genellikle güneşlik veya benzeri sistemlerle engellendiği ve onun yerine yapay aydınlatmanın geçirildiği mekanlara gün ışığını tekrar getirmektir [29].

İşlevleri

Bu sistemlerle elde edilen sonuçlar:

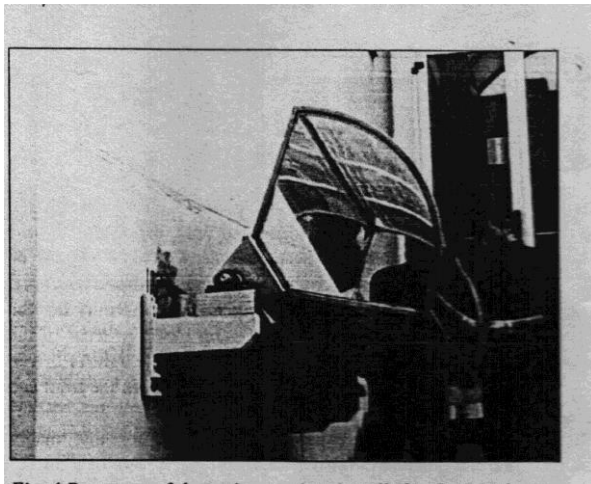
- Özellikle güneşli bölgelere yerleştirildiğinde, uzun mesafelere yeterli düzeyde ve yaygın bir ışık dağılımı gerçekleştirilmektedir. Böylece doğru kontrol sistemi ile iyi bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.
- Sistem, odanın ön kısımlarını direkt güneş ışığından korurken, odanın derinliklerine doğru yönlendirilen ışık, odanın ön ve arka tarafları arasındaki kontrast farkını da azaltmaktadır.
- Pencerelelerin önünü kapatmadan direkt güneş ışığını engellemektedir.
- Kamaşmayı önlemektedir.

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

Burada doğrusal ışık yakalayıcı odaklayıcı sistem en önemli parçayı oluşturmaktadır. Fresnel mercekleri kullanılan bu alıcılar için üç çözüm olasılık dahilindedir: a) pasif alıcı; üç tarafından sabitlenmiş sistem; b) aktif alıcı, yatay düzlemde hareket edebilen sistem; güneşin rotasını takip eden aktif sistem.

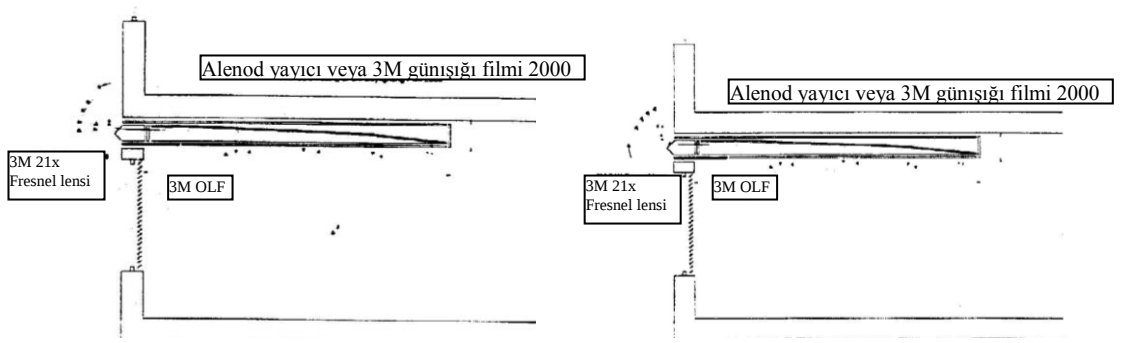
a. Pasif alıcı

Bu tip toplayıcı sistem, güneşi takip etmemekte fakat bulunulan enleme göre ortalama güneş yörüngesine uygun olarak tasarlanmaktadır. Bunun en önemli özelliği; güneş ışığını, hareketli araçlar kullanmadan, sadece güneşe uygun bir açıda sabit duran mercekler (Şekil 4-80) yardımıyla odaklamasıdır.



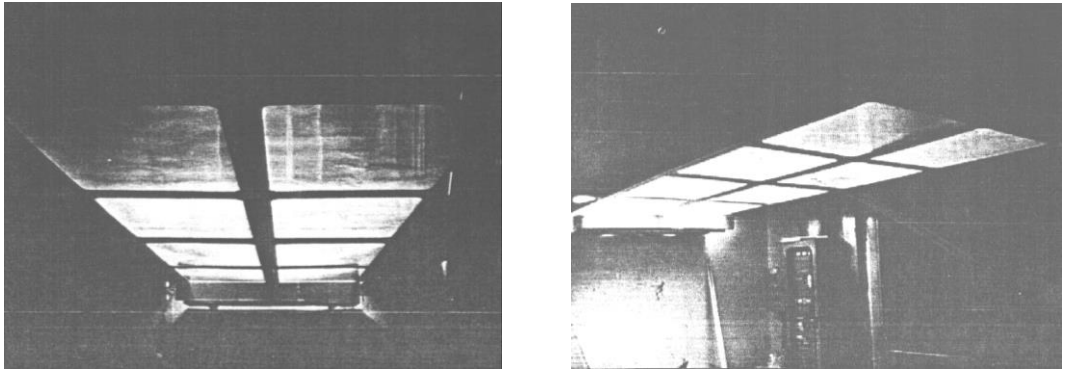
Şekil 4-80: Dışarıda yer alan ışık alıcısı [29].

Benzer sistemlerde; binanın dışında alıcı ünite yerleştirilirken, binanın içinde tütün ucunda da dağıtıcı ünite bulunmaktadır. Bu sistemde ise ışığı dağıtan ve taşıyan ünite aynı ünedir. Bu yapı, ekonomik ve teknik olarak, sistem bileşenlerinin azaltılmasının sistemin kurulumu ve işletilmesini kolaylaştıran bir etmen olduğunu ortaya koymaktadır.



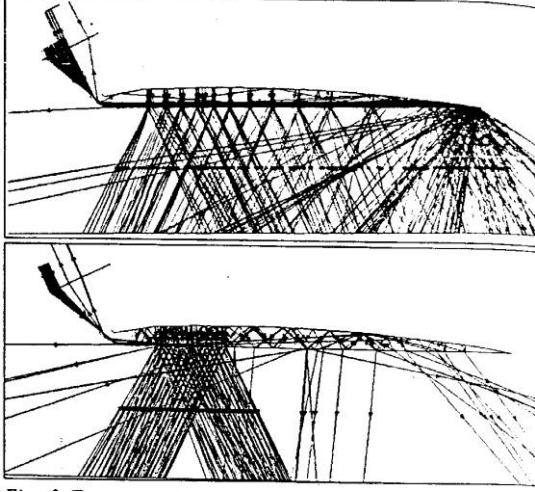
Şekil 4-81: Sistemin 8.00 (solda) ve 12.00 (sağda) saatlerindeki çalışma şemaları [3].

Dağıtıcı ünite eni ve yüksekliği eşit olan kutu kesite sahiptir. Uzunluğu ise oda uzunluğu kadar (Şekil 4-81) gidebilmektedir. Benzer pasif alıcılara göre 25 cm gibi çok düşük bir yüksekliğe sahiptir. Aslında bu tür sistemlerin yüksekliği, en az 30-40 cm' den başlamakta en fazla 30-40 cm' ye kadar değişmektedir. Bu şekilde azaltılmış ölçülere sahip bir sistem, binada mevcut olan geleneksel yapay ışık kaynaklarıyla karşılaştırabilmektedir



Şekil 4-82: Sistemin içerideki ışık iletim ve aynı zamanda ışık dağıtım parçası [29].

Dağıtıcı ünitenin içinde, iletim tüpü boyunca eğri bir biçimde uzanan optik bir film tabakası (Şekil 4-82) bulunmaktadır. Bu optik film tabakası üzerine yansıtılan ışınları odaya doğru yayınık bir şekilde dağıtmaktadır.



Şekil 4-83: İki farklı eğim açısı için simülasyon programıyla çizilen yansımış ışınlar [29].

b. Aktif alıcı (düşey düzlemde ışığın yönlendirilmesi)

Aktif sistem, güneşi takip edebildiği için pasif sistemden farklıdır. Güneşin yörüngesini düşeyde yaptığı 10° ile 80° arasında yaptığı açı ile takip edebilmektedir. Şekil 4-83'te, alıcının iki farklı eğim açısı için, ray tracing bilgisayar programıyla hazırlanan modellerde ışık dağılımları görülmektedir. Bu tip bir prototipin görünüşü şekil 4-80'de görülmektedir.

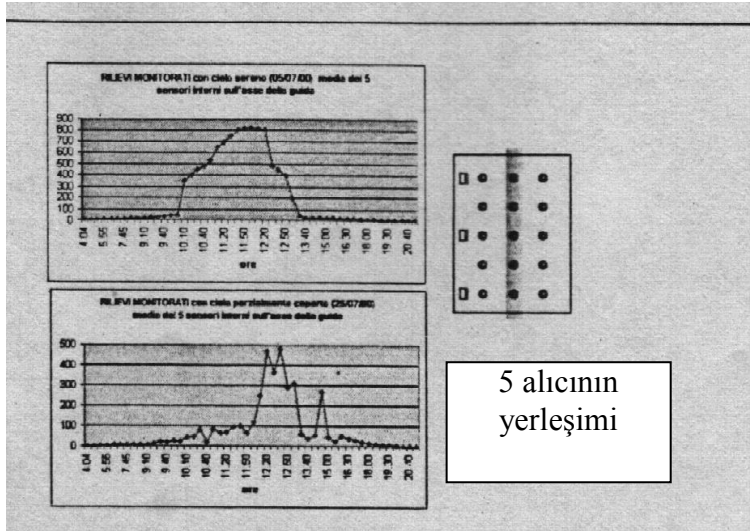
Bu çözüm, alıcının kolay üretilbildiği ve en fazla ışınımın olduğu 10.00 ile 14.00 saatleri arasındaki verimliliğini belirlemek için seçilmiştir.

İçinde mikro prizmaların ortadan başlayarak değişik açılarda yerleştiği prizmatik film Fresnel merceğini oluşturmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan, optik geometrik kuralları kullanan fakat 0.5 mm kalınlığında olan bir mercektir. Bu eleman, %94 iletim katsayısıyla, iletim kayıpları olmadan, verimi arttırmaktadır.

Uygulanmış Bazı Örnekler ve Değerlendirmeleri

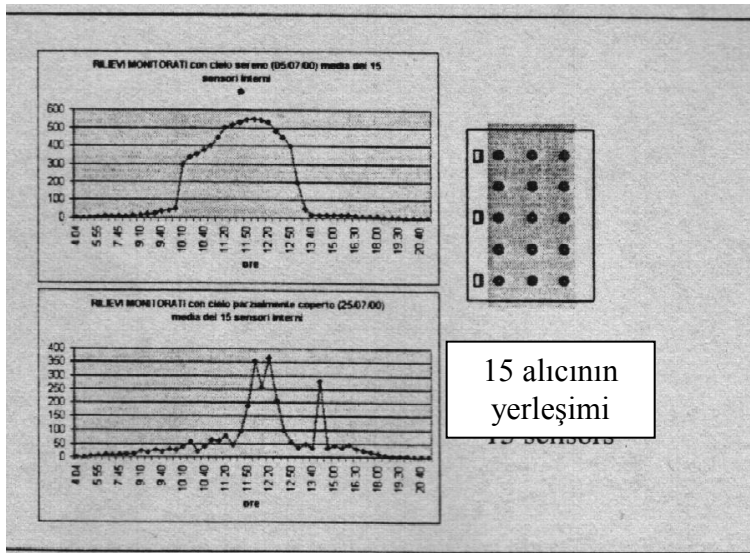
Şekil 4-80 ile 4-83 arasında gösterilen sistem İtalya'da Recanati' de Aydınlatma Laboratuvarı'na yerleştirilmiştir. Sistem, 2000 yılının temmuz ayının ilk haftasında gözlenmeye başlamıştır. 30 m^2 alana sahip bir aygıtın, 2.40 m derinliğinde bir bölgeye yaydığı ışık, 15 adet alıcı tarafından ölçülmüştür.

İki hava koşulu için ölçümler yapılmıştır: açık ve kapalı hava koşulları (dış aydınlık düzeyi 10000 lux' tür). Aydınlatma aygıtının içinde 4, dışında 15 alıcı tarafında ölçülen değerler bilgisayarda (Şekil 4-84 ve 4-85) karşılaştırılmıştır.



Şekil 4-84: Üstte; açık ve kısmen kapalı hava koşullarında 15 alıcı tarafından elde edilen verilerin karşılaştırılması gösterilmektedir [29].

Her iki hava koşulu altında; çalışma düzleminde elde edilen aydınlık düzeyleri, sistemin en fazla verimi 10.00 ile 13.00 saatleri arasında, 300 lux' lük bir eşik değeri ile, sağladığını göstermektedir. Açıkça görülmektedir ki; sistem, güneşli iklimi olan, Akdeniz çevresindeki, tüm bölgeler için tasarlanmıştır ve en iyi sonuçları açık hava koşullarında vermektedir. Açık hava koşullarında aydınlık düzeyi 500 lux' e çıkmaktadır. Bu sonuçlar, 4 adet 58W'lık flüoresan lamba ile sağlanandan çok daha iyidir. Dolayısıyla; maliyet analizleri ve sistem verimliliği açısından dikkate değer bir enerji tasarrufu gerçekleştirilmektedir [29].



Şekil 4-85: Üstte; açık ve kısmen kapalı hava koşullarında 5 alıcı tarafından elde edilen verilerin karşılaştırılması gösterilmektedir [29].

4.7.4. Himewari Sistemi

Japonya Tokyo’da La Foret mühendislik firması tarafından geliştirilen ve piyasaya sürülen Himewari’ nin Türkçe karşılığı “ay çiçeği”dir.

Teknik Tanımı

Sistem güneş ışığını toplayan Fresnel merceği ve toplanan ışığı bina içerisine ileten fiber optik kablodan oluşmaktadır. Fresnel merceğini içinde bulunduran aygıt güneşi takip etme özelliğine sahiptir. Bu aygıt bir bilgisayar programı ile yönetilmektedir. Program her gün sonunda ertesi gün güneşin pozisyonunu belirleyerek mekanizmayı hazırlamaktadır. Sistem tamamen güneş enerjisi ile çalışmakta olup güneşin zararlı ışınlarını, mor ötesi ve kızıl ötesi dalga boylarındaki ışınlarını, ayırarak iyileştirilmiş gün ışığı nerede gerekiyorsa oraya ulaştırmaktadır.

Amaçları

Sistemin amaçlarının başında gün ışığının ulaşamadığı mekanlara kaliteli ve iyileştirilmiş gün ışığı ulaştırmaktır. Buna ek olarak sistemin tasarım girdisi olarak, bulunduğu ortama kolayca uyum sağlayabilen ve entegre olabilen bir sistem oluşturmak amaçlanmıştır. Sistemin mevcut programların eksiklerini gidermesi ve yeterli teknik ve mali özellikleri sağlayabilmesi düşünülmüştür.

İşlevleri

Gün ışığının giremediği yeraltında bulunan halka açık mekanların, geniş bir plana oturmuş binaların merkezindeki mekanların v.b. yerlerin yeterli bir biçimde gün ışığı ile aydınlatılmasını sağlamaktadır. Ayrıca mor ötesi ışınları güneşin zararlı etkilerini mekanlara ulaştırmaması en önemli özelliğidir. Bunun yanında sistem aşırı ısınma gibi sorunlara da yer vermediği için mekanlara ek soğutma yükü getirmemektedir.

Fiziksel Özellikleri ve Çalışma İlkeleri

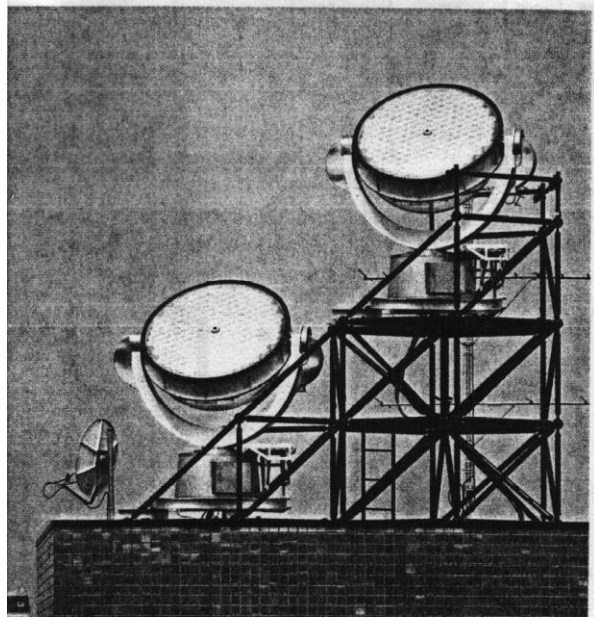
Himewari güneş çiçeği sistemi, güneş ışığını toplar, UV dalga boyundaki ışınları ayırır ve güneş ışığını gereken yerlere iletir. Kendi gücünü güneş pilinden alan Himewari sistemi, alıcıları sayesinde güneş ışığını takip eder, kendi iç saati güneşin konumunu hesaplar, yatay ve dikey aksal izdüşümler izleme aksını oluşturmak için çizilir. Gün bittiğinde Himewari ertesi gün doğumuna hazırlanır.

UV ve görülebilen dalga boyundaki ışınlar Fresnel merceğine ulaşır. Merceklerin renksel sapması, dalga boylarına bağlı olarak değişmektedir. Her lens (tipik olarak

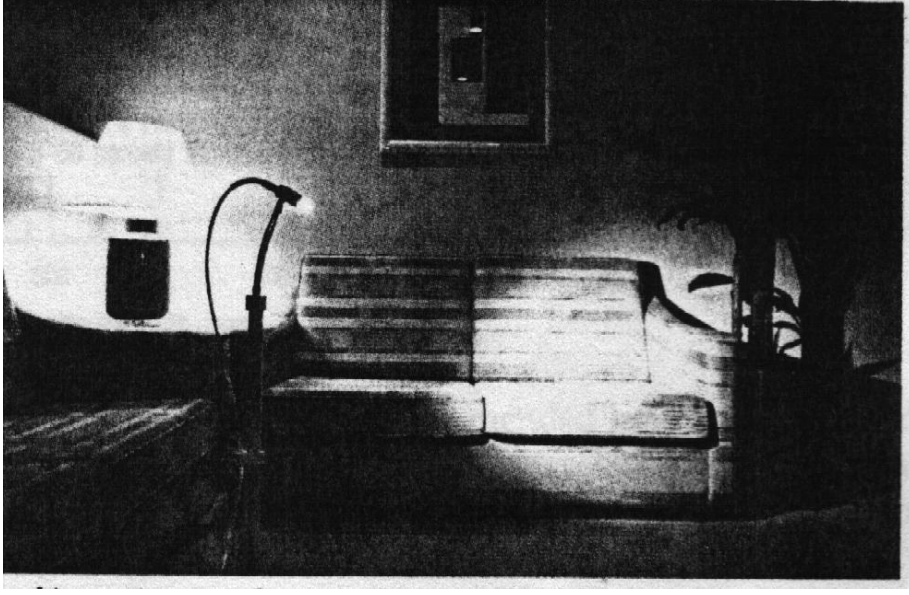
105 mm çaplı) altı ya da dokuz kablo arasına sıkıştırılmış fiber optik bir kabloya (1 mm çaplı) bağlıdır. Tek bir 6 fiberli 40m lik kablo, 98 000 lx direkt güneş ışığı altında 1182 lm ışık akısı ulaştırır. Sistem açık gök yüzünde, güneş ışığını 200m uzağa taşıyabilmektedir. Optik lifler (fiber optik) kuvarztan yapılmış olup 10m için ışığın %96 sını iletirler.

Uygulanmış rnek

Tokyo'daki Ark Mori binasına (şekil 4-86) yerleştirilen sistemin çatıya yerleştirilen fresnel merceklerini içeren toplayıcı aygıtlar şekil 4-86'da görülmektedir. Burada sistem atriumda yer alan bitkilerin ve bazı konferans odalarının aydınlatılması için terleştirilmiştir. Sistem 133 fiber optik kablodan oluşmak olup bazı kablolar bir sanat galerisine ulaşmakta ve UV ve kızıl ötesi dalga boylarından bağımsız bir şekilde eserler sergilenebilmektedir. Bazı otel odalarına da yerleştirilen sistem güneşin sıcak renkli ışığını bu mekanlara götürmektedir (şekil 4-87).



Şekil 4-86: Ark Mori binası.



Şekil 4-87: Ark Mori' de fiber optik kablo ile aydınlatılmış bir oda.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

5.1. Değerlendirme

Enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik akımının önem kazanması sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gündeme gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisinin, büyük potansiyelinin olması sonucu, bu enerji kaynağından yararlanma talebi doğmuştur. Bunun sonucunda Gelişmiş veya “Çağdaş”Gün Işığı Aydınlatma Sistemleri ortaya çıkmıştır.

Son 20-30 yıllık bir zaman diliminde geliştirilen bu sistemlerin kullanım alanları Avrupa ülkelerine kadar genişlemiştir. Sınırlarının bu şekilde genişlemesinin yanında; sistemlerin sayı ve çeşidi de artış göstermektedir. Gittikçe karmaşık bir hale gelen bu durum karşısında sistemler arasında bre seçim yapılabilmesi güçtür.

Bununla birlikte; Türkiye’de bu sistemlerin tanınmamaları, mantıklarının ve çalışma ilkelerinin dahi duyulmamış olması da büyük bir eksiklik olarak ön plana çıkmaktadır. bütün bunlar sonucunda bir kaynak ya da referans kitabı gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu araştırmada, kullanıcılara ve tasarımcılara; sistemler arasında, kendi durumlarına en uygun bir şekilde seçim yapmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

5.2. Tartışma

Gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemlerinin istenilen amacı, gün ışığının kullanım verimini arttırmaya yönelik olarak, gün ışığının mekanın içine girmesini ve dağılımını geliştirmektir. Bu araştırmada gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri ik ana gruba ayrılmıştır: yayınlık gök ışığını bina içerisine alan sistemler ve direkt güneş ışığını bina içerisine alan sistemler.

Yayınlık gök ışığını bina içerisine alan sistemlerin hedefi; kapalı gök koşullarının hakim olduğu iklim bölgelerinde yer alan ve güneş görmeyen cepheleri bulunan

binalarda gün ışığı aydınlatması sağlamaktır. Bu sistemlerin bazılarının direkt güneş ışığını engellemek gibi işlevleri de vardır.

Direkt güneş ışığını bina içerisine alan sistemlerin hedefi ise, güneş ışığının yararlı etkilerinden yararlanmak için güneş ışınlarını yönlendirerek bina içerisine almaktır. Bununla birlikte direkt güneş ışığının olumsuz etkilerinin de ortadan kaldırılarak mekan içinde tekdüze bir ışık dağılımı sağlamak da diğer bir tasarım amacıdır.

Bu ana başlıklar altında yer alan sistemleri özetleyecek olursak:

Yayınık Gök Işığını Bina İçerisine Alan Sistemler:

- Işık Rafları: Bir ışık rafının asıl etkisi odanın arka kısımlarında, tekdüze bir gün ışığı faktörü dağılımı sağlamaktır. Ancak ışık raflarının gerçekte, odanın arka kısımlarında oluşan aydınlık düzeylerinde önemli bir değişikliğe neden olmamaktadırlar. Işık raflarının asıl işlevi; pencere yakınındaki yüksek aydınlık düzeyini azaltarak, odanın ön ve arka kısımları arasındaki aydınlık düzeyi farkını azaltmak ve dolayısıyla ışık dağılımının düzgünlüğünü sağlamaktır.

Bunlara ek olarak ışık rafının bir başka işlevi ise direkt güneş ışığını engellemektir. Bir dış ışık pencere yakınındaki bölgeyi gölgelerken üzerine düşen ışınları da içeriye dağınık bir şekilde yansıtmaktadır. Bir iç ışık rafı ise odanın derinliklerine kadar gölgeleme sağlarken pencere yakınındaki bölgeyi direkt güneş ışınlarından yeterli derecede koruyamamaktadır. Dolayısıyla hem odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeylerini düşürmekte hem de odanın ön kısımlarındaki yüksek aydınlık düzeyini yeterli derecede düşürememektedir.

- Anidolik Sistemler: Bu sistemlerin temel amacı; kapalı gök koşullarının hakim olduğu bölgelerde yer alan binalardaki mekanların, yeterli gün ışığı almayan arka kısımlarının aydınlatılmasını sağlamaktır. Bunu gerçekleştirirken özellikle yayınık gök ışığını kullanarak kamaşma yaratmadan tekdüze bir aydınlatma sağlamak ana hedefidir. Burada iki sistem anlatılmaktadır: Anidolik tavanlar ve Anidolik Zenital Açıklıklar.

- Prizmatik Sistemler: Prizmatik panellerin istenilen amacı yayınık gök ışığını odanın derinliklerine ulaştırabilmektir. Buna ek olarak; bu paneller optik özellikleri sayesinde direkt güneş ışığının kontrolünü sağlamak için de kullanılmaktadır. Bu

sistemler, göğün büyük bir kısmından gelen ışığı engellediği için yüksek gün ışığı faktörü değerleri sağlamaktan uzaktırlar. Bu yüzden kapalı gök koşullarının baskın olduğu iklimler için tavsiye edilmezler. Ancak yüksek engellerle çevrili binalarda açık gök koşullarında kullanıldıklarında içerideki aydınlık düzeylerini arttırmaktadırlar.

- Holografik Optik Sistemler: Holografik optik elemanlarının amacı; üzerine gelen gün ışığını bina içerisine, dağıtarak alıp içerideki gün ışığı dağılımını iyileştirmek ve açısız seçicilik özelliğini kullanarak belirli açılarda gelen direkt güneş ışığını engellemektir.

Direkt Güneş Işığını Bina İçerisine Alan Sistemler:

- Işık Rafları: Bu bölümde yer alan ışık rafları, optik özellikleri ve geometrik yapısı geliştirilmiş olan ışık raflarıdır. Bu ışık rafları direkt güneş ışığını oldukça verimli bir şekilde içeri yönlendirmektedir. Tasarım amaçları güneş ışınlarını her zaman engellemek, gün ışığı aydınlık düzeylerini pencereden belirli bir uzaklığa kadar arttırmak, güneşten kaynaklanan aşırı ısınmayı azaltmak ve değişken direkt güneş ışığı koşulları altında odanın tamamında gün ışığı düzgünlük oranını (uniformity) ve parlaklı seviyelerini geliştirmektir.
- Anidolik Sistemler: Bu bölümde yer alan anidolik güneşlikler, diğer anidolik sistemlerin tersine direkt güneş ışığı ile çalışmaktadır. Anidolik tavan ve anidolik zenital açıklık sistemleri ile aynı optik yasaları kullanmasına karşın geometrik yapısı ve tasarımı direkt güneş ışığından en iyi şekilde faydalanmayı sağlamaktadır. Sistemin hedefi odanın arka kısımlarındaki aydınlık düzeyinin artırılarak homojen bir aydınlatma sağlamaktır. Güneş ışığını yönlendirme becerisinin çok yüksek oluşu sayesinde bu hedefini gerçekleştirmektedir.
- Prizmatik Sistemler: Güneş ışığını kullanan prizmatik sistemler, pencere camı arasına yerleştirilen prizmatik paneller ve filmlerdir. Bu sistemler direkt güneş ışığını bina içerisine yönlendirirken bir kısım güneş ışığını da dışarıda bırakmakta ya da iletim sırasında kaybetmektedir. Dolayısıyla bir miktar gün ışığının içeri girmesini sınırlamaktadır. Sistemler üzerlerine düşen güneş ışınlarını, yansıtıcı üst yüzeyinden tam yansıtıp prizmatik yapısıyla tavana doğru kırarak odanın içerisine almaktadır. Dolayısıyla kamaşmaya neden olmamaktadırlar.

- Lazer Kesim Paneller: bu malzemenin amaçlarının başında gün ışığını yönlendirmek ve istenmeyen ışınları kontrol etmek ve bunları yaparken dışarının görünmesini sağlamak geliyor. Bu kadar esnek bir yapıya sahip bu elemanlar, kullanılacakları amaçlar doğrultusunda farklı sistemler oluşturabilmektedirler.
- Işık Yönlendirici Camlar: Işık yönlendirici cam, en iyi performansı güneşli iklimlerde ve direkt güneş ışığına maruz kaldığı cephelerde göstermektedir. Kapalı gök koşullarında ve güneşin olmadığı açık gökyüzüne bakan cephelerde etkisi yoktur. Özellikle odanın arka kısımlarında, normal pencerelerle hiç ışık ulaşmayan derinliklerinde, aydınlık düzeylerini arttırarak gün ışığı dağılımını iyileştirmektedir.
- Işık Taşıyıcı Sistemler: Direkt güneş ışığından kaynaklanan aşırı ısınma ve kamaşmaya çözüm getirirken, aynı zamanda güneş ışığının yüksek veriminden yararlanmayı sağlayan ışık taşıyıcı sistemler: heliostat, güneş tüpü, ışık kılavuzları ve ışık kılavuzu tavanlardır.

Heliostat'ın temel işlevi; genellikle binanın çatısında yer alan ayna ve Fresnel merceğinden kurulu düzeneğe gelen güneş ışınlarını, aynalar vasıtasıyla yansıtarak Fresnel merceği üzerinde toplamaktır. Fresnel merceği üzerine toplanan ışığı ışık iletici sistem üzerine odaklayarak aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinde önemli ölçüde tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

Güneş tüpü, gün ışığının hiç ulaşmadığı mekanlara, gün ışığını ulaştırmayı ve dolayısıyla hem fizyolojik hem de psikolojik konfor koşullarını sağlarken enerji tasarrufu da sağlamayı amaçlamaktadır. Tüpün aydınlattığı alan bölgesel olsa da, tüp sayısı arttırılarak ya da sisteme ek ışık kılavuz tüpleri yerleştirilerek sorun giderilebilmektedir.

Işık kılavuzları, tek başlarına kullanılmayan ışık iletim tüpleridir. Hem yapay hem de gün ışığı taşımak üzere kullanılan sistemlerin işlevleri; ışığı ışık kaynağından çok uzağa taşıyabilmesi, ışığı taşıırken aynı zamanda yayabilmesidir. Işığı mekan içine dağıtırken düzgün bir dağılım sağlamak ve kamaşma yaratmamaktadır.

Işık kılavuzu tavanlar şu bileşenlerden oluşmaktadır: Alıcı: dışarıya yerleştirilen aygıt, gün ışığını toplar ve iki bileşeni ile iletir: yönlendirir ve dağıtır; Odaklayıcı aygıt: toplayıcı ünite ile taşıyıcı ünite arasındaki bağlantıyı sağlayan aracın görevi, gün ışığını odaklamak ve taşıyıcı ünite içerisine yönlendirmektir; Tüp/dağıtıcı:

aydınlatılacak odaya yerleştirilen ünite, gün ışığını taşımayı, yaymayı ve iletilen ışık akımını kontrol etmeyi sağlamaktadır.

Sistem özellikle güneşli bölgelere yerleştirildiğinde, uzun mesafelerde ,yaygın ve düzgün bir aydınlatma sağlayabilmektedir. Dolayısıyla odanın arka kısımlarındaki aydınlatma kalitesi arttırılmaktadır. Sistem kamaşma yaratmadan güneş ışığını kullanmaktadır.

5.3. Sonuçlar

Bu araştırma sonucunda; Gelişmiş Gün Işığı Aydınlatma Sistemleri'nin, bina içerisine gün ışığının girmesinin ve binada görsel konfor koşullarının sağlanması konularında çeşitli şekillerde başarılı olduğu görülmektedir.

Genel olarak; sistemler, mevcut dış aydınlık düzeyleri altında, içeride istenen aydınlık düzeyi değerlerini sağlamaktadır. Işık rafları gibi bazı sistemlerde aşırı aydınlık düzeyi olan pencere yakınındaki değerleri düşürerek tekdüze bir gün ışığı aydınlatması sağlamaktadır. Bu sistemlerde, ortamdaki aydınlatma kalitesi arttırılarak mekanın iyi aydınlatıldığı hissi doğurmaktadır. Bu da kullanıcıları, yapay aydınlatmayı kullanma isteğinden alı koymakta ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Bu sistemlerin herhangi birisi seçilmeden önce; uygulanması düşünülen binanın ihtiyaçları düzgün olarak belirlenmeli; binanın coğrafi konumu, yönü, kat sayısı, geometrisi ve etrafındaki yerleşim özellikleri doğru olarak tespit edilmelidir. Ancak bu adımlardan sonra, binaya en uygun sistem seçilmelidir. çünkü bu sistemlerin çoğu oldukça büyük ilk yatırım maliyetlerine sahiptir ve bir kere takıldığında geri sökülüp değiştirilmesi çoğu durumda mümkün olmayabilmektedir.

Bunun yanında, bu sistemlerin yeni bir binaya uygulamaları, ön proje evresinde tasarlanmış olmalıdır. Bunun sebebi bu sistemlerin bazılarının mimari etkisinin oldukça büyük olmasıdır. Çünkü bu sistemlerin boyutları çok fazladır. Bir kısmının da teknik açıdan doğru detaylarla çözülerek bina sistemlerine düzgün bir biçimde birleştirilmesi gerekmektedir.

Sistemlerin maliyet ve enerji tasarrufları açısından dikkatli seçilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, bazı sistemlerin maliyetleri ve sağladıkları enerji tasarrufları bir fikir edinebilecek kadar verilmiş olsa da sistemlerin uygulanacağı ülke ve bölgelere göre maliyetinin ve sağladığı enerji tasarrufunun da enlem ve iklimlere bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Hopkinson, R G. and P Petherbridge&Longore**, 1966. Daylighting.
- [2] **Baker, N.**, 2002. Daylight Design of Buildings.
- [3] **International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme**, Temmuz 2000. Daylight in Buildings; *A Report Of IEA Shc Task 21 ECBCS Annex 29*, **LBNL-47493**, Lawrence Berkeley National Laboratory Press, USA
- [4] **Littlefair, P. J.**, 1995. Lighting shelves: Computer assessment of daylighting performance; *Lighting Research and Technology*, Vol.27, No:2, 79-91.
- [5] **Boubekri, M., Yin, Z., Guy, R.**, 1997. A neural network solution to an architectural design problem: Design of a light shelf; *Architectural Science Review*, Vol.40, 17-21.
- [6] **Oteiza, Pilar, Soler, Alfonso**, 1995. A comparison of the daylighting performance of different shading devices giving the same solar protection; *Architectural Science Review*, Vol.38, 171-176.
- [7] **Claros, Santiago-Tomas, Soler, Alfonso**, 2000. Indoor daylight climate-influence of light shelf and model reflectance on light shelf performance in Madrid for hours with unit sunshine fraction; *Building & Environment*, Vol.37, 587-598.
- [8] **Aizelewood, M. E.**, 1993. Innovative daylighting systems: An experimental evaluation; *Lighting Research and Technology*, Vol.25, No:4, 141-152.
- [9] **Courret, Giles, Scartezzini, Jean-Louis**, 2002. Anidolic daylighting systems; *Solar Energy*, Vol.73, Issue 2, 123-135.
- [10] **Courret, Giles, Scartezzini, Jean-Louis**, 1998. Design and assessment of an anidolic light-duct; *Energy and Buildings*, Vol.28, 79-99.
- [11] **Courret, Giles, Paule B., Scartezzini, Jean-Louis**, 1996. Anidolic zenithal openings: Daylighting and shading; *Lighting Research and Technology*, Vol.28, No:1, 11-17.
- [12] **Lorenz, W.**, 2000. A glazing unit for solar control ,daylighing and energy conservation; *Solar Energy*, Vol.70, No: 2, 109-130.
- [13] **Hui, C. M. Sam, Müller, Helmut**, 2001. Holograpy: Art and science of light in architecture; *Achitectural Science Review*, Vol.44, 221-226.
- [14] **Beltran, L. O., Lee, E. S., Selkowitz, S. E.**, 1997. Advanced optical daylighting systems: Light shelves and light pipes; *Journal Of The Illuminating Engineering Society*, Summer Volume, 91-106.

- [15] **SAVE Project Team University of Sheffield**, 1999. Technologies and Techniques, Supporting text for Workshop Presentation *The Built Environment*
- [16] **Greenup, P. J., Edmonds, I. R., Compagnon, R.**, 2000. Radiance algorithm to simulate laser-cut panel light-redirecting elements; *Lighting Research and Technology*, Vol.32, No:2, 49-54.
- [17] **Beck, Andreas, Körner Werner**, 1999. Making better use of natural light with a light-redirecting double-glazing system; *Solar Energy*, Vol.66, No: 3, 215-221.
- [18] **Aydınlı, Sırrı, Rosemann, Alexander**, 2000. Doğal ve yapay ışıkları, heliostat ve ışık ileticileri ile kombine eden yeni bir aydınlatma düzeni; 3. *Ulusal Aydınlatma Kongresi 2000*, İTÜ TAŞKIŞLA, İstanbul, 23-24 Kasım, 36-41.
- [19] **Whitehead, L. A.**,1998. Overview of hollow light guide technology and applications, *International Daylighting Conference*.
- [20] **Whitehead, L. A., Scott, J. E. and Lee, B., York, B.**, 1986. Large-scale core daylighting by means of a light pipe, *International Daylighting Conference Proceedings I*,
- [21] **Kloss, H., Aydınlı, Sırrı**, 1999. Eine internationale arbeitgruppe koordiniert weltweit untersuchungen über tageslicht in gebaeuden, Tagungsband OTTI- *Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebaeuden*, Kloster Banz, 66-71.
- [22] **Opdal, Knut**, 2001. Hollow light guides for interior illumination of office buildings; *Lux Europa 2001 Proceedings*, 244-245.
- [23] **Aizenberg, Julian, Bukhman, Gennady, Korobko, Alexei, Pyatigorsky, Vladimir**, 2003. Experience and Perspective of Hollow Light Guides Lighting Systems Developements and Application, *Los Angeles Conference Proceeding*, 64-67.
- [24] **Bracale, Gennaro, Mingozi, Angelo, Bottiglioni, Sergio**, 2001. Performance and daylighting applications of solotube The tubular skylight; *Lux Europa 2001 Proceedings*, 360-384.
- [25] **Zang, X., Muneer, T, Kubie, J.**, 2002. A design guide for performance assessment of solar light-pipes; *Lighting Research and Technology*, Vol.34, No:2, 149-169.
- [26] **Shao, L., Elmuallim, A. A., Yohannes, I.**, 1998. Mirror light pipes. Daylighting performances in real building, *Lighting Research and Technology*, Vol.30, No:1, 37-44.
- [27] **Zastrow, A., Wittwer, V.**, 1987. Daylight with mirror light pipes and with fluorescent planar concentrators, Proc. SPIE.

- [28] **Mingozzi, Angelo, Bottiglioni, Sergio**, 2001. An innovative system for daylight collecting and transport for long distances and mixing with artificial light coming from hollow light guides; *Lux Europa 2001 Proceedings*, 12-25.
- [29] **Casalone, R. and Ceregioli, P.**, 2001. Conception and design of a teletransport system for natural light; *Lux Europa 2001 Proceedings*, 246-249.
- [30] **Çetegen, Duygu, Enarun, Dilek**, 2000. Doğal aydınlatma sistemlerindeki yeniliklere bir bakış, 3. *Ulusal Aydınlatma Kongresi 2000*, İTÜ TAŞKIŞLA, İstanbul, 23-24 Kasım, 30-35.
- [31] **Eben, Kenneth**, 1993. Let the sun shine in(Himewari); *Lighting Design and Application*, May, 41-46.

ÖZGEÇMİŞ

Burak EREL, 06 Mayıs 1978 'de Aydın'da doğdu. İlk öğrenimine Aydın'da Zafer İlkokulu'nda başladıktan sonra, orta öğrenimini 1996 yılında Aydın Anadolu Lisesi'nde tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nden 2000 Yılında "Mimar" olarak mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde üç yıl "CADclub" öğrenci kulübü üyeliği yaptı. 2000 yılında mimarlık yaşamına bir restorasyon projesi ile başladı. 2003 yılına kadar bir mimari büroda ve serbest olarak çeşitli mimari projelerde ve restorasyon projelerinde yer aldı. 2003 mayıs ayından beri Total İnşaat şirketinde şantiye şefliği yapmaktadır. Bu firma bünyesinde Şişli ve Beyoğlu çevresinde bulunan çeşitli binaların restorasyon ve güçlendirme projelerini yürütmektedir. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

e-mail:erburak@hotmail.com,