

151341

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL IŞIĞIN HACİM İÇİNDE ETKİN
KULLANIMINI SAĞLAYAN DÜZENEKLERİN
İSTANBUL İKLİM KOŞULLARI ALTINDA
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. Duygu ÇETEGEN

504011013

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ocak 2004

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Dilek ENARUN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Adnan KAYPMAN

Prof.Dr. Sermin ONAYGİL

151341

Ocak 2004

ÖNSÖZ

Danışmanım Doç. Dr. Dilek ENARUN' a bana olan inancı ve desteğinden ötürü en içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesindeki odalarını deney amacıyla kullanabilmemiz için bize destek olan Prof. Dr. Serhat ŞEKER, Yrd. Doç. Dr. Emine AYAZ ve Araş. Gör. Dr. Ramazan ÇAĞLAR' a katkılarından dolayı teşekkürler. Doç. Dr. Dilek ENARUN' un liderliğinde “Işık Rafı Sistemi ile Güneşli-Yapay Işık Entegrasyonunun İklim Koşullarına Bağlı Optimizasyonu” projesinde birlikte çalışmakta olduğum Dr. Alp BATMAN ve Yrd. Doç. Dr. Alpin YENER, sorularıma daima sabırla ve büyük bir içtenlikle yanıt verdiler. Kendilerinden çok şey öğrendim. Tez çalışmalarım sırasında Berlin Teknik Üniversitesi' nde geçirdiğim iki ay boyunca benden desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Sırrı AYDINLI ile çalışmak zevkti. Kandilli Rasathanesi çalışanlarına veri sağlamada gösterdikleri kolaylık için ayrıca teşekkür etmek istiyorum. Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Özgün Özışıkılmaz yorumları ve manevi desteğiyle tez çalışmalarım için bana daima güç verdi. Eğitimim için bana daima destek olan aileme sonsuz teşekkürler. Bu tezi, ilk okul öğretmenlerim de dahil tüm öğretmenlerime ve üzerimde emeği olan herkese ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ASTRONOMİK VERİLER	3
2.1. Gözlemcinin Zenit Noktası	3
2.2. Gözlemcinin Ufuk Çizgisi	3
2.3. Zenit Açısı	3
2.4. Güneş Yüksekliği	4
2.5. Güneşin Azimut Açısı	4
2.6. Zaman Açısı	5
2.7. Güneş Deklinasyon Açısı	6
2.8. Enlem Açısı	8
2.9. Güneş Sabiti	8
3. DOĞAL AYDINLATMA	10
3.1. Işık Kaynağı Olarak Gök ve Gök Modelleri	11
3.1.1. Tekdüze Gök Modeli	11
3.1.2. Kapalı Gök Modeli	11
3.1.3. Açık Gök Modeli	12
3.2. Işık Kaynağı Olarak Yeryüzü	13
3.3. Kullanılabilir Güneşliği	13

3.4. Doğal Aydınlatmadan Faydalanılarak Aydınlatılan Hacimlerin Enerji Açısından İncelenmesi	14
3.5. Yapay Işık Kontrolü	14
3.6. Doğal Aydınlatmanın Projelendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	15
3.6.1. Doğal Aydınlatmadan Faydalanılarak Aydınlatılan Hacimlerin Projelerinin Ön Değerlendirmesi	15
3.6.2. Doğal Aydınlatmadan Faydalanılarak Aydınlatılan Hacimlerin Projelerinin Son Değerlendirmesi	16
4. DOĞAL AYDINLATMA SİSTEMLERİ	18
4.1. Duvar Pencereleeri	18
4.1.1. Tek Cephede Kullanılan Duvar Pencereleeri	19
4.1.1.1. Tek Yandan Aydınlatma	19
4.1.1.2. Pencere Üst Kısımında Perde Kullanılan Sistem	19
4.1.1.3. Jaluzili Pencereleer	19
4.1.1.4. Üst ve Alt Kısımında Jaluzi Sistemi Kullanılan Bölümlere Ayrılmış Pencereleer	20
4.1.1.5. Üst Kısımında Düşük Geçirgenlikli Malzeme Kullanılan Bölümlere Ayrılmış Pencere	20
4.1.1.6. Düşey Gölgeleme Elemanlı Pencere	20
4.1.1.7. Işık Rafı Sistemi	20
4.1.2. Çift Cephede Kullanılan Duvar Pencereleeri	20
4.2. Tavan Işık Açıklıkları	21
4.2.1. Çift Yönlü Çatı Penceresi	21
4.2.2. Tek Yönlü Çatı Penceresi	21
4.2.3. Testere Dişi Sistemi	21
4.2.4. Fener	21
4.2.5. Atrium	22
4.2.6. Güneşe Ayarlı Sistemler	22
5. DOĞAL IŞIĞIN HACİM İÇİNDE ETKİN KULLANIMINI SAĞLAYAN DÜZENEKLERİN İSTANBUL İKLİM KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ AMACIYLA KURULAN DENEY SİSTEMİ	23
5.1. Test Odası	23

5.1.1. Işık Rafı Sistemi	24
5.1.2. Kontrol Düzenegiyle Çalışan Aydınlatma Sistemlerinin Bileşenleri	26
5.1.3. Doğal Aydınlatmada Kullanılan Kontrol Sistemleri	27
5.1.3.1. Integral Tipi Kontrolör	28
5.1.3.2. Açık Çevre Orantılı Kontrol	28
5.1.3.3. Kapalı Çevre Orantılı Kontrol	29
5.1.4. European Instabus Integral Tipi Kontrol Sistemi (EIB)	29
5.2. Referans Oda	30
6. VERİLERİN İNCELENMESİ	31
6.1. Referans Odanın İncelenmesi	33
6.1.1. Aylara Göre Referans Odanın Kullanıldığı Süre ile Yapay Işık Kullanımının İlişkisi	33
6.1.2. Referans Odaya Ait Tipik Günler	36
6.2. Test Odasının İncelenmesi	42
6.3. Referans ve Deney Odaları Çalışma Düzlemlerinde Sağlanan Doğal Aydınlik Düzeylerinin İncelenmesi	43
7. GÜNEŞLENME OLASILIĞI İLE SİSTEMİN ŞEBEKEDEN ÇEKTİĞİ GÜÇ ARASINDAKİ İLİŞKİ	48
8. REFERANS ODA VE TEST ODASININ ENERJİ BAKIMINDAN İNCELENMESİ	57
9. SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	62

KISALTMALAR

GYS	: Gerçek Yerel Saat
OYS	: Ortalama Yerel Saat
ZD	: Zaman Denklemi
US	: Ülkede kullanılan saat
USD	: Ulusal Saat Dilimi
GDS	: Güneşin doğuş saati
GBS	: Güneşin batış saati
IRS	: Işık Rafı Sistemi
EIB	: Kontrol Sistemi (European Instabus System)
IRS	: Işık Rafı Sistemi
GO	: Güneşlenme Olasılığı
çd	: Çalışma düzlemi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Yıllık gün tablosu.....	6
Tablo 5.1 Test odası boyutları.....	25
Tablo 5.2 Test odası yansıtma katsayıları.....	25
Tablo 5.3 Referans oda boyutları.....	26
Tablo 5.2 Referans oda yansıtma katsayıları.....	26
Tablo 6.1 Kullanılmayan veriler.....	32
Tablo 6.2 Referans odanın kullanımına ilişkin aylık sonuçlar.....	33
Tablo 6.3 Referans odanın kullanımına ilişkin mevsimsel sonuçlar.....	34
Tablo 6.4 Test odası çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin toplam zamana göre, sırasıyla < 500 lx, 450-500, 400-450, 350-400 lx arasında olma ve 350 lx' den az olma oranları.....	43
Tablo 6.5 Test odası çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin, toplam zamana göre, sırasıyla > 500lx, 500-550, 550-600, 600-650, 650-700 lx arasında olma ve 750 lx' den fazla olma oranları.....	43
Tablo 7.1 İstanbul' a ait güneşlenme olasılığı tablosu.....	48
Tablo 7.2 Güneşlenme olasılığı-sistemden çekilen güç denklemleri, yılın ilk dört ayı.....	55
Tablo 7.3 Güneşlenme olasılığı-sistemden çekilen güç denklemleri, yılın ikinci dört ayı.....	55
Tablo 7.4 Güneşlenme olasılığı-sistemden çekilen güç denklemleri, yılın son dört ayı.....	56
Tablo 8.1 Referans oda ve test odasına ait enerji değerleri, yılın ilk altı için, Wh cinsinden.....	57
Tablo 8.2 Referans oda ve test odasına ait enerji değerleri, yılın ikinci altı için, Wh cinsinden.....	57
Tablo 8.3 Mevsimlere göre ve yıllık ortalama % cinsinden tasarruf oranları...	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Kuzey yarımküre için güneşin mevsimsel hareketi.....	4
Şekil 2.2 Güneş konumunun güneş yüksekliği ve güneşin azimut açısına göre belirlenmesi.....	5
Şekil 2.3 Zaman denkleminin günlere göre değişim grafiği.....	6
Şekil 2.4 Deklinasyon açısının günlere göre değişim grafiği.....	7
Şekil 2.5 Gök küre.....	8
Şekil 3.1 Gözlenen gök parçası P.....	11
Şekil 3.2 Açık gök modeline ait koordinatlar.....	12
Şekil 4.1 a) Tek yandan aydınlatma, b) İki yandan aydınlatma, c) Çift yönlü çatı penceresi, d) Tek yönlü çatı penceresi, e) Testere dişi sistemi, f) Fenerler, g) Atrium.....	18
Şekil 5.1 Referans oda ve test odasının oryantasyonu.....	24
Şekil 5.2 Işık Rafi Sisteminin şematik gösterimi.....	24
Şekil 5.3 Deney odasındaki ölçme düzeneği.....	25
Şekil 5.4 Deney odasına monte edilen IRS' nin resmi.....	26
Şekil 5.5 Kontrol Sisteminin Blok Şeması.....	27
Şekil 5.6 Kontrol sisteminin ışık algılayıcısı (S_T) ile loşlaştırma seviyesi (δ) arasındaki ilişkiyi veren grafikler.....	28
Şekil 5.7 Test odası.....	29
Şekil 5.8 Referans odadaki ölçme düzeneği.....	30
Şekil 5.9 Referans oda.....	30
Şekil 6.1 Çalışanlar referans odada iken, yapay ışığın kullanıldığı sürenin, doğal aydınlık düzeyinin çalışma düzleminde sağladığı aydınlık düzeyinin referans düzeyden az ve fazla olması durumuna göre incelenmesi.....	34
Şekil 6.2 Referans oda kullanılmadığı halde yapay ışığın kullanılma oranı.....	35

Şekil 6.3 Referans oda çalışma düzleminde doğal aydınlatmanın yeterli aydınlık düzeyi sağlamaması sebebiyle yapay ışıktan faydalanılan sürenin, toplam yapay ışık kullanma süresine oranı.....	36
Şekil 6.4 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 09/04/2003	37
Şekil 6.5 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 27/09/2002	37
Şekil 6.6 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 25/04/2003	38
Şekil 6.7 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 22/11/2002	38
Şekil 6.8 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 10/6/2003	39
Şekil 6.9 Bahar aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 9/5/2003	39
Şekil 6.10 Kış aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 15/4/2003	40
Şekil 6.11 Kış aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 11/11/2002	40
Şekil 6.12 Kış aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 14/1/2003	41
Şekil 6.13 Yaz aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 30/6/2003	41
Şekil 6.14 Yaz aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 1/7/2002	42
Şekil 6.15 Standart loşlaştırma eğrisi, şebekeden çekilen bağlı güce karşılık ışık kaynaklarının verdiği bağlı ışık akısı..	44
Şekil 6.16 Referans ve test odalarındaki doğal aydınlık düzeyi	45
Şekil 6.17 Referans ve test odalarındaki doğal aydınlık düzeyi.....	46
Şekil 6.18 Referans ve test odalarındaki doğal aydınlık düzeyi	46
Şekil 6.19 Referans ve test odalarındaki doğal aydınlık düzeyi	47
Şekil 6.20 Referans ve test odalarında çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyleri aylık ortalaması, ölçüm ayı: 6.2003	47
Şekil 7.1 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç bağıntısı, Ocak 2003	49
Şekil 7.2 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç bağıntısı, Şubat 2003	49

Şekil 7.3 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Mart 2003	50
Şekil 7.4 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Nisan 2003	50
Şekil 7.5 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Mayıs 2003	51
Şekil 7.6 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Haziran 2003	51
Şekil 7.7 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Temmuz 2003	52
Şekil 7.8 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Ağustos 2003	52
Şekil 7.9 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Eylül 2003	53
Şekil 7.10 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Ekim 2002	53
Şekil 7.11 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Kasım 2002	54
Şekil 7.12 Güneşlenme olasılığı ile sistemden çekilen güç	
bağıntısı, Aralık 2002	54
Şekil 8.1 Referans oda ve test odasına ait enerji değerleri	58

SEMBOL LİSTESİ

θ_z	: Zenit açısı
γ_s	: Güneş yüksekliği
φ	: Enlem açısı
τ	: Saat açısı
δ	: Güneş deklinasyon açısı
α_s	: Güneşin azimut açısı
τ	: Zaman açısı
λ	: Yerel boylam
ε	: P gök parçasının zenitten açısal uzaklığı
α	: P gök parçasından geçen meridyenin azimut açısı
ε_s	: Güneş ile zenit arasındaki açısal uzaklık
S_T	: Kontrol sisteminin ışık algılayıcısı sinyali
S_{EM}	: Kontrol sisteminin ışık algılayıcısının gece kalibrasyonu çıkış değeri
E	: Aydınlik düzeyi
r	: Referans
t	: Test
E_{max}	: Çalışma düzleminde sağlanmak istenen referans aydınlık düzeyi
P_{rel}	: Şebekeden çekilen bağıl güç
Φ_{rel}	: Işık kaynaklarının verdiği bağıl ışık akısı

ÖZET

Doğal aydınlatma hak ettiği önemi tekrar kazanmaktadır. Doğal ışığın hacim içindeki dağılımını düzenleyen doğal aydınlatma sistemleri, doğal ışığın kullanım verimini ve konforunu artırırlar. Doğal aydınlatma sistemlerinin, bölgenin coğrafyasına ve koşullarına uygun seçilmesine dikkat edilmelidir. Yerel şartlara uygun olmayan sistemler kullanıldığında, sistemden sağlanacak verim düşük olacaktır.

Işık rafı sistemi aydınlatma tekniği prensipleri açısından ofis aydınlatmasında en konforlu çözümlerden birini sunmaktadır.

Yapılan çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsündeki Elektrik-Elektronik Fakültesi' ndeki test odasında bulunan Işık Rafı Sisteminin, İstanbul iklim koşullarında değerlendirmesi yapılmıştır. Işık rafı sistemi, pencerelerin üst bölümlerine monte edilen, içerisinde hem doğal ışık yansıtıcılarını hem de yapay ışık kaynaklarını barındıran bir sistemdir. Doğal ışık yansıtıcıları, pencerenin üst bölümünden gelen ışığı tavana yansıtıp, doğal ışığı tavandan hacmin daha derin bölgelerine iletmektedir. Sistemin içinde yer alan yapay ışık kaynaklarının ışıkları da benzer bir yöntemle endirekt olarak çalışma düzlemine erişmektedirler. Böylece sağlanan endirekt aydınlatma çalışma konforunu, özellikle de içinde bilgisayarlar ile çalışılan ortamlarda olumlu etkilemektedir. Ayrıca ışık rafı sistemi, pencerelerin üst bölümlerini kapattığından, direkt kamaşma olayının da önüne geçilmiş olmaktadır.

Işık rafı sistemindeki lambalar loşlaştırılabilir elektronik balastlarla donatılmışlardır. Ayrıca bir kontrol sistemi (EIB - European Instabus System), devreye bağlı olan bileşenlerin birbirleri ile haberleşmelerini sağlamak ve bunları çalıştırmaktadır. Böylece kurulan sistem, doğal aydınlatmadan faydalanarak, yapay ışık kullanımını optimize eden bir sistem halini almaktadır. Amaç, çalışma düzleminde istenen aydınlık düzeyine ulaşmak için, mevcut doğal ışığın, yapay ışık ile desteklenmesidir.

Bu çalışmada, referans oda ve test odasından toplanan verilerin incelenmesiyle elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Hacim içindeki ışığın homojen dağılımı ile kullanıcı memnuniyeti artmıştır ve daha konforlu bir çalışma ortamı sağlanmıştır.



SUMMARY

Lighting has a crucial role in daily life. Before a few hundred years, the daily routine of mankind was planned due to the times of sunrise and sunset. After the invention of electricity and artificial illumination sources, not only the daily routines but also the architecture of the buildings has changed.

At the end of the 20th century, the importance of daylighting has been rediscovered. Innovative daylighting systems improve the distribution of natural light in a space. Daylighting is necessary for physiological and psychosocial enhancements. People are more efficient when daylighting systems are used.

Intelligent daylight utilisation in buildings by using innovative daylighting systems in combination with daylight responsive control of electric lighting positively affects both human response and cost evaluation of the lighting system, and increases energy efficiency.

These positive results will be achieved only by the optimal selection of suitable daylighting systems according to the geographical location, climate and as a consequence of these the daylight climate. It is important to choose the right system for the geographical and local conditions of the building. If the innovative daylighting system is not appropriate for the geographical location, the efficiency of the system will not satisfy the expectations.

Test and reference rooms are set up at the Technical University of Istanbul, in the building of Electrical and Electronics Faculty on the third floor, facing south. Light Shelf System is mounted in the test room in the upper part of the window system. It consists of daylight and artificial light reflectors. Daylight reflectors reflect the daylight coming from upper part of the window system to the ceiling and the daylight reflected from the ceiling reaches the inner parts of the room. The artificial light sources in the Light Shelf System illuminate the room, reflecting the artificial light to the ceiling in a similar way. Since the Light Shelf System covers the upper part of the system, direct glare is prevented.

In this study, Light Shelf System is examined under the geographical and climatic conditions of İstanbul. Data acquired from the test and the reference room is evaluated.



1. Giriş

İnsanlığın evrimleşme tarihi incelendiğinde, insanların yerleşik sistemde yapay aydınlatma kullanarak yaşadıkları sürenin, ilk insanlardan günümüze dek geçen süreye oranla oldukça az olduğu görülür. Ateşin bulunmasının ardından meşaleler aydınlatma amacıyla kullanılmışlardır. Yerleşik yaşama geçmenin sonucu olarak, kalıcı konutlar inşa etmeye başlayan insanoğlu, doğal ışıktan mümkün olduğunca fazla faydalanabileceği şekilde bina yapısını düzenlemiştir. Fenerler, tepe pencereleri kullanılmışlardır. Binanın yapısı elvermiyor ise, doğal ışığı hacme alabilmek için farklı çözümler getirilmiştir. Bazı kaynaklarda, Mısır Piramitlerinde, kullanılan aynaların yansıtma prensibinden faydalanarak, piramitlerin mezar bölümlerine doğal ışığın iletiminin sağlandığı belirtilmektedir.

Elektriğin ve yapay ışık kaynaklarının icadının ardından, hacimlerde doğal ışıktan mümkün olduğunca faydalanma özeninden, uzaklaşmaya başlanmıştır. Yapay ışığın istenen hacimde istenen düzeyde aydınlatma sağlayabilmesinin sonucu olarak, zaman içinde doğal ışığın aydınlatma amacıyla kullanılması, neredeyse unutulmuştur.

Günümüzde doğal aydınlatmaya tekrar dönüş yaşanmaktadır. İnsan vücudu, milyarlarca yıl açık alanda yaşaması sebebiyle, doğal aydınlatmanın üzerinde yarattığı fizyolojik etkilere alışkındır. İnsanların doğal aydınlatma ile aydınlatılan hacimlerde daha verimli oldukları yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Doğal ışık insan psikolojisi üzerinde yarattığı olumlu etkiler sonucu, depresyon olasılığını azaltmaktadır. Kuzey ülkelerinde tedavi amaçlı kullanılan tam spektrumlu yapay ışık kaynakları, herkesin kolaylıkla ulaşabileceği alışveriş mekanlarında satılmaktadır.

Doğal ışığın yapay ışık ile desteklenerek hacimlerin aydınlatmasında kullanılmasını sağlayan gelişmiş aydınlatma sistemleri mevcuttur. Bu sistemlerin tren istasyonları, ticari binalar, okullar ve iş merkezlerinde yapılan uygulamaları vardır.

Türkiye, doğal ışığı sahip olduğu doğal kaynaklar arasında sayabilecek coğrafi konuma sahiptir. Ülkemizde gelişmiş doğal aydınlatma sistemlerinin

kullanılmasıyla, hacimlerde konforlu aydınlatma sağlanarak, çalışma verimi arttırılabilir.

Yapılan çalışmada, Berlin Teknik Üniversitesi ile İstanbul Teknik Üniversitesi' nin ortaklaşa yürütmekte olduğu “Işık Rafi Sistemi ile Günışığı-Yapay Işık Entegrasyonunun İklim Koşullarına Bağlı Optimizasyonu” projesinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Gelişmiş doğal aydınlatma sistemlerinden biri olan Işık Rafi Sistemi kullanılarak, bu sistemin İstanbul iklim koşulları altında incelemesi yapılmıştır.



2. Astronomik Veriler

Güneşin, dünya üzerindeki belirli bir coğrafi konuma göre, günlük ve mevsimsel hareketleri, o konumdaki doğal ışığının miktar ve yönünün tahmin edilebilmesini sağlar. Tahmin edilen miktar, meteorolojik değişimler, sıcaklık ve hava kirliliğinden oluşan büyüklüklerin süperpozisyonundan oluşur [1].

Doğal aydınlatma hesaplarında, yeryüzünde yatay bir düzleme ulaşan güneş ışıının miktarını hesaplamak için, gökyüzündeki güneşin konumu ile yeryüzündeki düzlemin koordinatları arasındaki trigonometrik ilişkiyi belirleyebilmek gereklidir. Bu ilişkiyi belirleyebilmek için gerekli büyüklükler, bu bölümde verilmektedir.

2.1. Gözlemcinin Zenit Noktası

Dünya üzerindeki bir gözlemcinin gök küre üzerinde karşılık geldiği konum, gözlemcinin zeniti olarak adlandırılır. Bu nokta, gözlemcinin bulunduğu düzlemin normali ile gökkürenin kesiştiği noktadadır. Yerel zenitin ters istikametindeki nokta, nadir olarak adlandırılır.

2.2. Gözlemcinin Ufuk Çizgisi

Gözlemcinin ufuk çizgisi, normali dünya merkezi ile zeniti birleştiren çizgi olan alanın, gök kürede çizdiği büyük halkadır.

2.3. Zenit Açısı (θ_z)

Zenit açısı, zenit mesafesi olarak da adlandırılır. Yerel zenit ile gözlemci ve güneşi birleştiren düzlem arasındaki açıdır. 0° ile 90° arasında değişir [2].

2.4. Güneş Yüksekliği (γ_s)

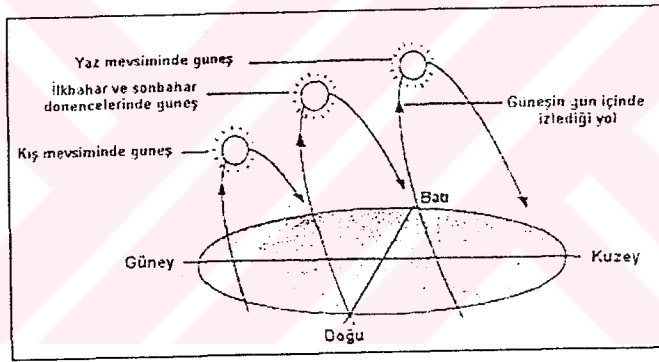
Güneşin spektral dağılımı, güneşin konumuna ve gök koşullarına bağlı olarak sürekli değişir. Güneşin dünya üzerindeki herhangi bir yere göre konumu, iki açıyla ifade edilebilir. Bu açılar, güneş yüksekliği ve güneş azimut açılarıdır [1].

Güneş yüksekliği, güneşin gözlemcinin ufkundan açısal yüksekliğidir. 0° ile 90° arasında bir açıdır. Güneş yüksekliği ile zenit açısı birbirlerini 90° ye tamamlarlar [2].

$$\gamma_s + \theta_z = 90^\circ \quad (2.1)$$

$$\sin \gamma_s = \cos \varphi \cdot \cos \tau \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (2.2)$$

2.2 denkleminde güneş yüksekliğinin, enlem açısı (φ), saat açısı (τ) ve güneş deklinasyon açısına (δ) bağlı ifadesi verilmiştir.



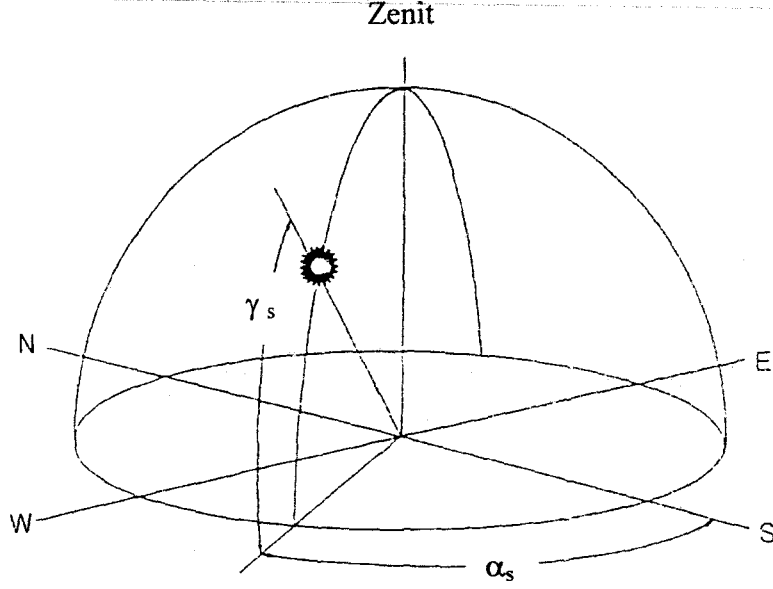
Şekil 2.1 Kuzey yarımküre için güneşin mevsimsel hareketi [3]

2.5. Güneşin Azimut Açısı (α_s)

Güneşin azimut açısı, güneş meridyeni ile gözlemcinin güney noktası arasındaki açıdır. Güneyden batıya, kuzeye, doğuya doğru, 0° ile 360° arasında, güneyden batıya ve kuzeye 0° ile 180° arasında ve güneyden, doğuya ve kuzeye doğru 0° den -180° ye kadar ölçülebilir.

$$\cos \alpha_s = (\sin \gamma_s \cdot \sin \varphi - \sin \delta) / \cos \gamma_s \cdot \cos \varphi$$
$$\cos \alpha_s = (\cos \delta \cdot \cos \tau - \sin \gamma_s \cdot \cos \varphi) / \cos \gamma_s \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

2.3 denkleminde güneşin azimut açısının, enlem açısı (φ), zaman açısı (τ), güneş deklinasyon açısı (δ) ve güneş yüksekliğine (γ_s) bağlı ifadesi verilmiştir [4].



Şekil 2.2 Güneş konumunun güneş yüksekliği ve güneşin azimut açısına göre belirlenmesi [1]

2.6. Zaman Açısı (τ)

Zaman açısı, gök kutupta, gözlemci meridyeni ile güneş meridyeni arasındaki açıdır. Gün ortasından itibaren, saatte 15° değişir [2]. Gerçek Yerel Saat (GYS), Ortalama Yerel Saat (OYS) ve Zaman Denklemi (ZD) arasındaki bağıntı, 2.5 denkleminde verilmiştir. Tablo 2.1 den faydalanılarak, ayın belirli bir gününün, yılın kaçıncı gününe karşılık geldiği bulunabilir [4].

$$\tau = (12 - \text{GYS}) \cdot 15^\circ/\text{h} \quad (2.4)$$

$$\text{GYS} = \text{ZD} + \text{OYS} \quad (2.5)$$

$$\tau = (12 - \text{OYS} - \text{ZD}) \cdot 15^\circ/\text{h} \quad (2.6)$$

2.7 denkleminde, ülkede kullanılan saatin (US), OYS ve Ulusal Saat Dilimi (USD) ve yerel boylama (λ) göre hesaplama yöntemi verilmiştir.

$$\text{US} = \text{OYS} + 4 \cdot (15^\circ - \text{USD} - \lambda) \quad (2.7)$$

Zaman açısı 2.8 denkleminde de ifade edilebilir.

$$\tau = (12 - \text{US} + 4 \cdot (15^\circ - \lambda) - \text{ZD}) \cdot 15^\circ/\text{h} \quad (2.8)$$

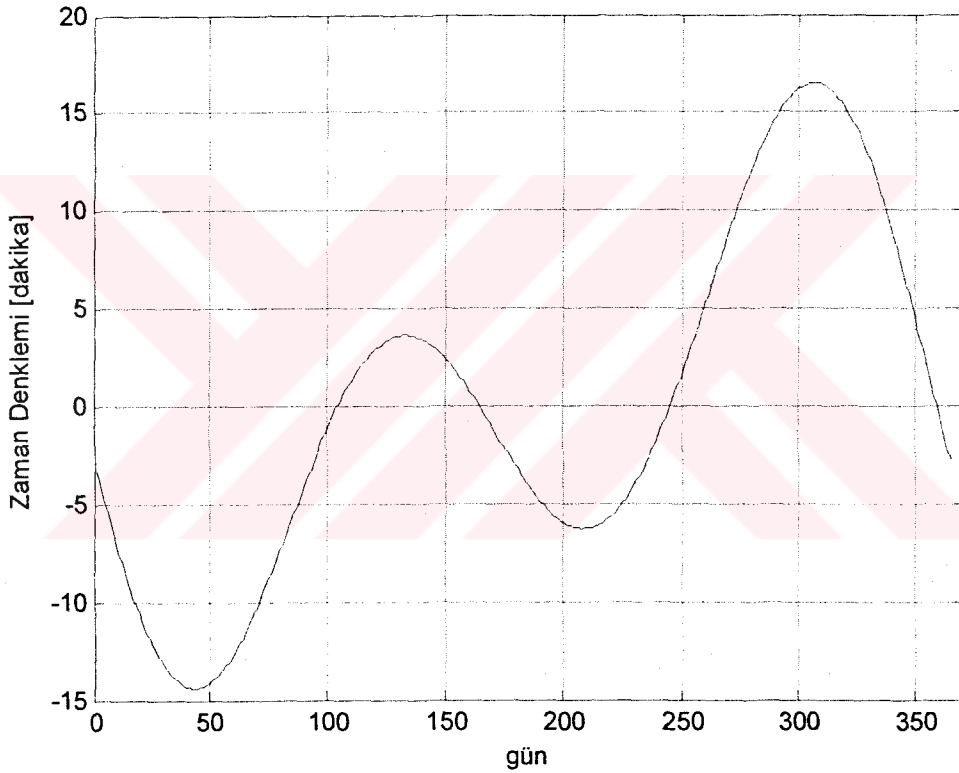
Güneşin doğuş saati (GDS) ve güneşin batış saati (GBS), 2.9 ve 2.10 denklemleriyle verilmiştir [3,4].

$$GDS = 12 - (1 / 15) \cdot \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (2.9)$$

$$GBS = 12 + (1 / 15) \cdot \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (2.10)$$

Tablo 2.1 : Yıllık gün tablosu [4]

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334



Şekil 2.3 Zaman denkleminin günlere göre değişim grafiği

2.7. Güneş Deklinasyon Açısı (δ)

Dünyanın güneş etrafında dönme düzlemi, ekliptik düzlem olarak adlandırılır. Dünya kutup eksenini denenen eksen etrafında da döner ve bu eksen ekliptik düzlemin normalinden yaklaşık 23.5° eğimlidir.

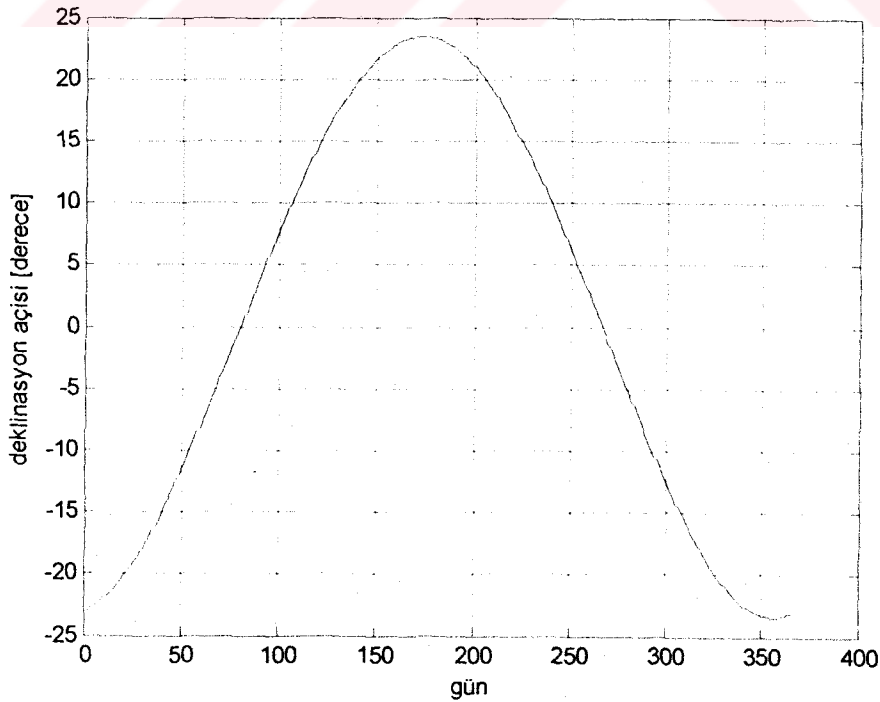
Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, dünyaya ulaşan ışınlam miktarını değiştirir. Güneşe göre böyle bir eksenin varlığı, güneş radyasyonunda mevsimsel

değişikliklere sebep olmaktadır. Kutup eksenini ile ekliptik düzlemin normalini arasındaki açı değişmez. Aynı durum dünya ekvator düzlemi ile ekliptik düzlem için de geçerlidir. Yalnız güneş ve dünyanın merkezlerini birleştiren çizgi ile, ekvator düzlemi arasındaki açı, her gün değişir. Bu açı, deklinasyon açısı olarak adlandırılır.

Gök kürede gök kutuplar, dünyanın kutupsal eksenlerinin (uzatıldıkları takdirde) gök küreyi kestikleri noktalardır. Aynı şekilde gök ekvator da, dünya ekvator düzleminin gök kürede dışı doğru iz düşümüdür. Gök ekvator düzlemi ile güneşin yörüngesinin düzlemi çakıştığında, deklinasyon açısı 0° olur. Deklinasyon açısındaki başlıca değişimler artık yıl döngüsü sebebiyledir ki, bu 4 yıllık periyotta deklinasyon 21 Mart ve 22 Eylül gün dönümlerinde artı eksi $10'$, 21 Aralık ve 21 Haziran gün dönümlerinde ise $1'$ dan az olmak üzere değişebilir. J hesap yapılacak günün yılın kaçınıcı günü olduğunu, J_1 bu günün radyan cinsinden değerini vermek üzere, deklinasyon açısı 2.12 denklemiyle hesaplanabilir.

$$J_1 = 2 * \pi * (J / 365); \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \delta = & (0.3948 - (23.2559 * \cos (J_1 + 9.1 * \pi / 180)) - \\ & (0.3915 * \cos (2 * J_1 + 5.4 * \pi / 180)) - \\ & (0.1764 * \cos (3 * J_1 + 26.0 * \pi / 180))) \end{aligned} \quad (2.12)$$



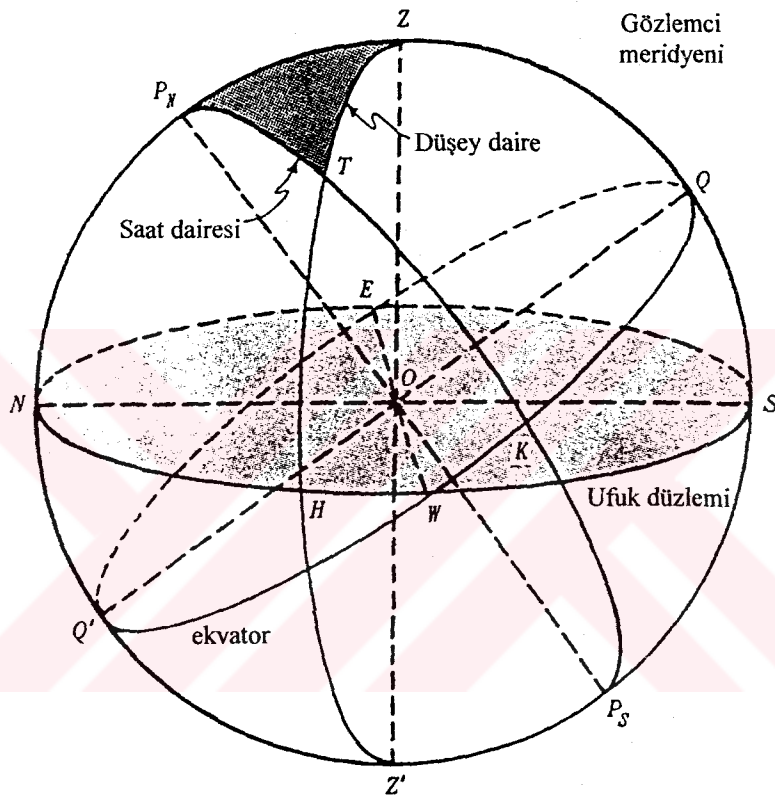
Şekil 2.4 Deklinasyon açısının günlere göre değişim grafiği

2.8. Enlem Açısı (ϕ)

Yeryüzündeki herhangi bir noktanın, ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır.

2.9. Güneş Sabiti

Ortalama dünya güneş uzaklığında, atmosfer üstünde, birim alana dik olarak, birim saniyede gelen enerji miktarıdır [2].



Şekil 2.5 Gök küre [5]

3. Doğal Aydınlatma

Gün ışığı, kendine özgü spektral dağılımı ile kullanıcı memnuniyeti sağlayan, oldukça değerli bir ışık kaynağıdır. Gün ışığını hacim içinde etkin olarak kullanmayı amaçlayan doğal ışık sistemleri, hacim içerisinden dışarının görülmesini engellemeyecek, kamaşma sorunu yaratmayacak şekilde yerleştirilmelidirler. Binadaki diğer sistemlerle uyumlu ve iklimlendirme sistemiyle koordineli çalıştırıldıkları takdirde, enerji tasarrufu sağlarlar.

Gün ışığının hacme girmesine izin verilen her yerde, ışık kaynağı olarak faydalanmasa dahi, kamaşma ve malzemelere zarar verme sakıncalarını önlemek amacıyla, gün ışığının etkileri göz önüne alınmalıdır. Gün ışığını etkin olarak kullanmak için, aşağıdaki etkenler göz önünde bulundurulmalıdır:

- a) Fizyolojik esaslar, algı, tercihler ve davranışları içeren insan faktörü,
- b) Mobilya, sanat eserleri ve bitkiler de dahil olmak üzere, gün ışığının tüm malzemeler üzerindeki etkileri,
- c) Hacme gelen ışığın kontrollü olarak hacme alınması,
- d) Çevredeki binaların, arazi ve bahçelerin mevcut gün ışığına etkileri,
- e) Yapay aydınlatma, pencere düzeni, hacim içinin geometrisi ve sonlandırma malzemeleri, el (manuel) ve otomatik kontrol sistemi ile, kontrol ve aktif mevsim kontrol sistemlerinin, bina otomasyon sistemi ile koordineli çalışmasına dikkat edilmelidir.

Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin %40' ı spektrumun görülebilir bölgesindedir. Geri kalanı ise, morötesi ve kızılötesi dalga boylarındadır. Hapsedildiğinde, güneşten gelen enerjinin yüksek bir oranı ısıya dönüştürülür. Güneş spektrumundaki görülebilen enerjinin miktarı, ışığın atmosferde aldığı mesafenin koşullarına ve bu yolun uzunluğuna bağlıdır [1].

3.1. Işık Kaynağı Olarak Gök ve Gök Modelleri

Atmosferi geçen güneş ışığının bir bölümü, toz, su buharı ve atmosferdeki diğer parçacıklar tarafından saçılır. Bu saçılmanın bulutlarda etkileşimi sonucu, gök parıltısı oluşur. Bulutların güneşi kaplama oranına bağlı olarak, gök parıltısı dağılımı oldukça hızlı ve büyük oranlarla değişebilir [1]. Göğün parıltı dağılımı pek çok parametreye bağlı olduğundan, yapılan deneyler sonucu bazı standart gök modelleri kabul edilmişlerdir. Tekdüze, kapalı ve açık gök modelleri standart kabul edilmektedirler [6]. Bu gök modellerinden sonra pek çok gök modeli önerisi sunulmuş, ancak standart model olarak kabul edilmemişlerdir.

3.1.1. Tekdüze Gök Modeli

Tekdüze gök modelinde gök parıltısı sabit kabul edilmektedir.

$$L = L_0 = \text{sabit} \quad (3.1)$$

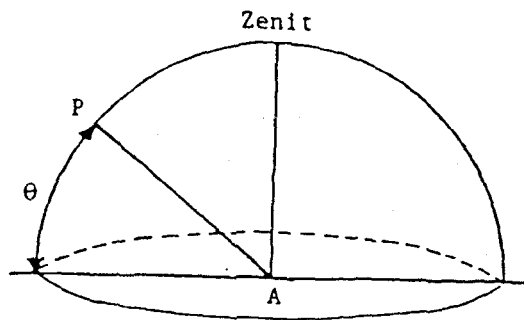
Tekdüze gök tipi, kurak ve güneşli iklim bölgelerinde, güneşin yakın çevresi dışında kalan mavi gök parçası için kabul edilebilir.

3.1.2. Kapalı Gök Modeli

Gök tamamen bulutlarla kapalı olduğunda, kapalı gök modeli geçerlidir. Kapalı gökteki parıltı dağılımı Moon ve Spencer tarafından 3.2 denklemindeki ifadeyle verilmiştir.

$$L = L_z (1 + 2\sin\theta) / 3 \quad (3.2)$$

L gözlenen gök parçasının parıltısı, L_z zenit parıltısı, θ gözlenen gök parçasının yükseklik açısıdır.



Şekil 3.1 Gözlenen gök parçası P [6]

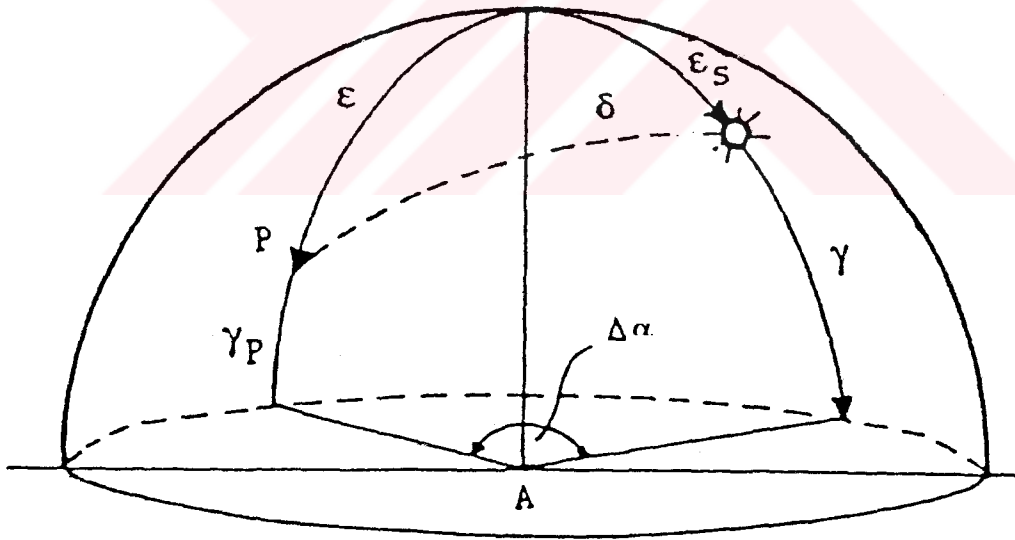
Kapalı gök modelinde parıltı dağılımı dönel simetriktir ve sadece yükseklik açısıyla değişmektedir. Maksimum parıltı zenittedir ve ufuk doğrultusunda minimum değeri olan zenitteki değerinin üçte birine düşmektedir.

Ilıman iklim kuşağındaki ülkelerde minimum tasarım koşullarının belirlenmesinde kapalı gök modelinden faydalanılmaktadır.

3.1.3. Açık Gök Modeli

Açık gök modelinde göğün parıltı dağılımı, güneşin gök kubbedeki yerine bağlı olarak değişir. Bununla birlikte güneş öğle meridyenine göre daima simetriktir.

Bu standart gök tipindeki bağlı parıltı dağılımı, herhangi bir gök parçasının parıltısının (L), zenit parıltısına oranı olarak tanımlanır. Gözlenen P gök parçasının yeri, zenitten açısal uzaklığı (ϵ), güneşin azimut açısı (α_s) ile P gök parçasından geçen meridyenin azimut açısının (α) farkından ($\Delta\alpha = \alpha - \alpha_s$) faydalanılarak hesaplanır.



şekil 3.2 Açık gök modeline ait koordinatlar [6]

$$L / L_z = (1 - e^{-0,32\sec\epsilon}) (0,91 + 10 e^{-3\delta} + 0,45\cos^2\delta) / 0,27385 (0,91 + 10 e^{-3\epsilon_s} + 0,45\cos^2\epsilon_s) \quad (3.3)$$

ϵ_s güneş ile zenit arasındaki açısal uzaklığ, δ güneş ile gözlenen P gök parçası arasındaki açısal uzaklıktır. δ 3.4 denklemiyle hesaplanabilir [6].

$$\delta = \arccos(\cos \epsilon_s \cos \epsilon - \sin \epsilon_s \sin \epsilon \cos \Delta \alpha) \quad (3.4)$$

3.2. Işık Kaynağı Olarak Yeryüzü

Dış zeminden yansıyan ışık, doğal aydınlatma tasarımında önemlidir. Dış zeminden yansıyan gün ışığının hacim içerisine girebildiği yüksekliklerde, dış zeminden yansıyan ışık, pencereye ulaşan toplam gün ışığının %10' u ile %15' ini oluşturur. Açık renkli zemin yüzeylerinde, örneğin kum veya karla kaplı yüzeylerde, bu oran sıkça aşılar. Bu durum, pencereye ulaşan toplam ışığın, gölgeli cephelerde, gök modeli ve bina tasarımına göre, beklenenden daha fazla olmasının sebebinin de açıklar.

3.3. Kullanılabilir Gün ışığı

Doğal aydınlatma için yapılan aydınlatma hesapları, yapay aydınlatma için yapılan aydınlatma hesaplarından daha karmaşıktır. Hacme, pencere sistemleri ve tepe pencerelerinden giren doğal ışığın oluşturduğu doğal aydınlık düzeyinin, gök ve güneşin zamana göre değişimlerine bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Kullanılabilir gün ışığı terimi, belirli bir mekana, belirli bir tarihte ve zamanda, belirli gök koşulları altında, güneşten ve gökten gelen ışık miktarını ifade eder.

Kullanılmakta olan doğal ışık denklemleri, yapılan ölçümler sonunda elde edilen ortalama değerler kullanılarak oluşturulmuşlardır.

Yani, kullanılabilir gün ışığı verilerinden çıkarılan denklemler, anlık aydınlık düzeyi ve parıltı değerlerini ifade etmezler, bu denklemler ortalama değerler kullanılarak çıkarılmışlardır. Bir başka deyişle, belirli bir ölçüm süresi için, zamana göre ortalaması alınmış verileri en uygun ifade eden denklemler kullanılmaktadırlar. Bu nedenle, ölçülen ani parıltı ve aydınlık düzeyi değerleri, kullanılabilir gün ışığını baz alan hesaplama metotlarıyla hesaplanan değerlerden oldukça farklı olabilirler. Ani değerlerin, ortalama tasarı değerlerinin iki katından fazla veya yarısından az olması, olağandışı bir durum değildir.

Herhangi bir konumdaki kullanılabilir gün ışığı hesabının yapılması için, öncelikle güneş konumu belirlenmelidir. Güneşin konumu, mekanın enlem ve boylamına, hesap yapılmak istenen günün yılın kaçınıcı günü olduğuna ve yerel saate bağlıdır.

Yerel saat, güneş saatine çevrilir. Güneşin gökteki konumunu veren açılar hesaplanır. Son olarak, belirli bir gök durumu için, kullanılabilir gün ışığı denklemleri kullanılarak, doğal ışıktan kaynaklanan aydınlık düzeyi hesaplanır.

3.4. Doğal Aydınlatmadan Faydalanılarak Aydınlatılan Hacimlerin Enerji Açısından İncelenmesi

Doğal aydınlatma pencerelerinin, tüm binanın enerji performansı üzerine, olumlu veya olumsuz etkileri olabilir. Bina içine direkt güneş ışığının alınması, ek soğutma ihtiyacını beraberinde getirebilir, veya yapay ışık kaynaklarından daha kısa süreyle faydalanılması, aydınlatma için harcanan enerji miktarını azaltabilir. Dolayısıyla yapay ışık kaynaklarının hacimde oluşturduğu ısıyı kompanse etmek amacıyla kullanılan iklimlendirme masraflarını azaltarak, tasarruf sağlayabilir. İyi tasarlanmış doğal aydınlatma sistemlerinin kullanıldığı binalarda, tüm binanın enerji performansında olumlu etkiler sağlanabilir. Doğal aydınlatma sistemlerinin etkileri, binanın tipine, kullanım amacına ve konumuna göre değerlendirilmelidir.

Hacimlerde doğal ışık sayesinde, çalışma düzleminde istenen aydınlık düzeyinin sağlanması sonucu, yapay aydınlatma katkısına ihtiyaç duyulmayabilir. Pencere sistemindeki cam yüzeyinin spektral seçici bir tabakayla kaplanmasıyla, gün ışığının ısı bileşeni olan kızılötesi bileşenin hacme girmesi önlenir. Böylece bina soğutma yükü azaltılır. Isıtma ihtiyacının olduğu iklimlerde ise, doğal ışıktan pasif ısıtıcı olarak faydalanılır.

Genel aydınlatma için yapay ışık kaynaklarından, lokal aydınlatma için ise doğal ışıktan faydalanılan sistemlerde, doğal ışık ile yapay ışık arasındaki geçişlerin konforlu olmasını sağlamak için, yapay ışık, doğal aydınlatma ile aydınlatılan yüzeylere de ulaştırılmalıdır.

3.5. Yapay Işık Kontrolü

Genel aydınlatmada kullanılan yapay aydınlatma sistemi, doğal ışık bölgeleriyle haberleşecek şekilde tasarlanırsa, bir otomatik kontrol sistemi, doğal ışık mevcudiyetine bağlı olarak lambaları kapamak veya loşlaştırmak amacıyla kullanılabilir. Otomatik kontrol sistemi, aydınlık düzeyini bir ışık algılayıcısı ile denetleyen ve daha önceden ayarlanmış olan hedef seviyeyi korumak için, kontrol

ünitesine, lambaları loşlaştırmak veya açmak kapamak amacıyla sinyal gönderen bir sistemdir. Otomatik kontrol sistemi, elle yapılan kontrole göre daha iyi bir performans sağlar. Ancak kontrol bölgeleri yeterince küçük olmalıdır ve aydınlık düzeyini sabit tutmayı başarabilmek için, kullanılabilir doğal ışık ile iyi uyum sağlayabilmelidir.

Yansımanın mevcut olduğu aydınlatma sistemlerinde, fotosel genellikle tavana, temsili çalışma düzlemine bakacak şekilde yerleştirilir. Dam penceresinin bulunduğu aydınlatma sistemlerinde, genellikle dam penceresine, yukarıdaki mevcut doğal ışığa bakacak şekilde yerleştirilir.

Doğal aydınlatma seviyesindeki artış sonucu, yapay aydınlatmayı sağlayan lambaları kapama işlemi yapıldığında, aydınlık düzeyinde ani değişiklikler meydana gelir. Bu durum, kademeli anahtarlama kullanılarak azaltılabilir. Loşlaştırma sistemi daha pahalı olmakla birlikte, çok daha fazla kademeye sahiptir ve hacmi kullananlar için daha konforludur [1].

3.6. Doğal Aydınlatmanın Projelendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Herhangi bir doğal aydınlatma sistemi kullanılarak aydınlatması yapılacak olan hacimler için, özel doğal aydınlatma projeleri hazırlanmalıdır. Bu bölümde, projelerin hazırlık ve son kontrolleri sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi verilecektir.

3.6.1. Doğal Aydınlatmadan Faydalanılarak Aydınlatılan Hacimlerin Projelerinin Ön Değerlendirmesi

Bir hacmin aydınlatmasında doğal aydınlatmadan faydalanılacak ise, bu hacim için hazırlanan projenin ön kontrolünde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

Hacimdeki parıltı ve aydınlık düzeyinin dengeli dağılıp dağılmadığı kontrol edilmelidir. Parıltı ve aydınlık düzeyi dağılımının düzgünlüğü, aydınlatma kalitesini, ortamda yaratılan atmosferi, kullanıcıların konforunu ve iş performanslarını etkileyen başlıca faktörlerdir.

Gün ışığına maruz kalmaması gereken yüzeylerin doğal ışıktan korunmasına dikkat edilmelidir. Doğal aydınlatma pencere sistemlerinin değiştirilmesi gerektiğinde, dikkat edilmesi gereken hususlar, projede belirtilmelidir.

Gök kamaşmasının sorun yaratıp yaratmayacağı kontrol edilmelidir. Gerekirse önlem alınmalıdır.

Yapay ışık kaynakları ile bir bütün halinde çalışan doğal aydınlatma sisteminin performansının değerlendirmesi, çalışma düzleminde sağlanan aydınlık düzeyi, hacimdeki parlantı dağılımı ve sistemden çekilen güç değerleri incelenerek yapılır.

Doğal aydınlatma sisteminin performansı hakkında öngörü sahibi olabilmek için, gün dönümlerine (21 Aralık ve 21 Haziran ile 21 Mart ve 22 Eylül civarı) karşılık gelen güneş yüksekliğindeki veriler kullanılarak, farklı gök koşullarında incelemeler yapılmalıdır. Güneye bakan bir oda kullanılıyorsa, örneğin güneş öğlesinde, hacmin doğal ışık aldığı günün erken ve geç saatlerindeki gök koşullarında değerlendirme yapılmalıdır.

Hacme direkt güneş ışığı girmesi olasılığı olduğu takdirde, bu koşullar için kontrollerin yapılması önemlidir. Örneğin kuzey (kutuplara yakın) bölgelerde, kuzeye bakan binalar, yaz akşamlarında direkt güneş ışığı alabilirler. Kışın ise güneş yüksekliği az olacaktır ve bu nedenle güneş ışığı gölgeleme sistemlerinin normaliyle daha geniş bir açı yaparak gelecek ve aydınlatılan hacmin derinliklerine girebilecektir. Ekvator yakınlarında ise, gün ortasında yüksekte olan yaz güneşi, tepe pencerelerinden hacme rahatça girer.

3.6.2. Doğal Aydınlatmadan Faydalanılarak Aydınlatılan Hacimlerin Projelerinin Son Değerlendirmesi

İyi tasarlanmış bir doğal aydınlatma sisteminin, sistemi tasarlayanlar ve kullananlar tarafından beklenen faydaları sağlaması gerekir. Zaman içinde beklentileri karşılayabilmesi için, sistemin kurulmasının hemen ardından, değerlendirmesi yapılmalıdır. Değerlendirme, doğal aydınlatma sistemindeki elemanların, birbirlerini sürekli etkilemesi sonucu oluşan etkileri, tasarım amacına ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre inceleyen sistematik bir süreç olarak tanımlanabilir.

Çoğu doğal aydınlatma sistemi, iki sistemden meydana gelir. İlk sistem, doğal ışığın oluşturduğu ve kamaşmaya neden olacak parlaklığı hafifletmek için, bazı işletim

elemanlarından oluşan bir pencere tertibidir. İkinci sistem ise, bir algılayıcı, kontrol elemanı ve loşlaştırıcı balasttan oluşan yapay aydınlatma kontrol sistemidir.

Değerlendirme, en azından doğru aletlerin belirtilen tesisat düzenine uygun bir şekilde yerleştirildiğini teyit eder. Aynı zamanda elektriksel ve mekanik algılayıcıların kalibrasyonunu da içerir. Doğal aydınlatma sisteminin kullanılacağı hacmin kendine özgü özellikleri ve doğal ışığın hacme girme koşulları altında, algılayıcıların sisteme istenen kontrol sinyalini vermeleri için kalibrasyonlarının yapılması önemlidir. Kalibrasyon genellikle özel beceri ve malzemeyi gerektirir.

Değerlendirme, mobilyalı ve kullanılmaya hazır mekanlarda, her fiziksel bölge için veya her kontrol bölgesi için ve binanın gördüğü tüm cepheler için yapılmalıdır. Doğal aydınlatma sistemlerini, çalışması bakımından, pencere tertibi ve aydınlatma kontrolü olmak üzere iki kısım olarak düşünmek faydalıdır. Pencere tertibinin kontrol değerlendirmesi üç durumda incelenebilir:

- a) Tesisat kurulduktan sonra ayarlanması gereken sabit elemanlı sistemler; örneğin bazı ışık raf sistemleri,
- b) Elle kontrolü yapılan sistemler; örneğin camın iç kısmında kullanılan jaluzi,
- c) Otomatik kontrol sistemi olan sistemler; örneğin camın dış kısmındaki motorlu panjurlar.

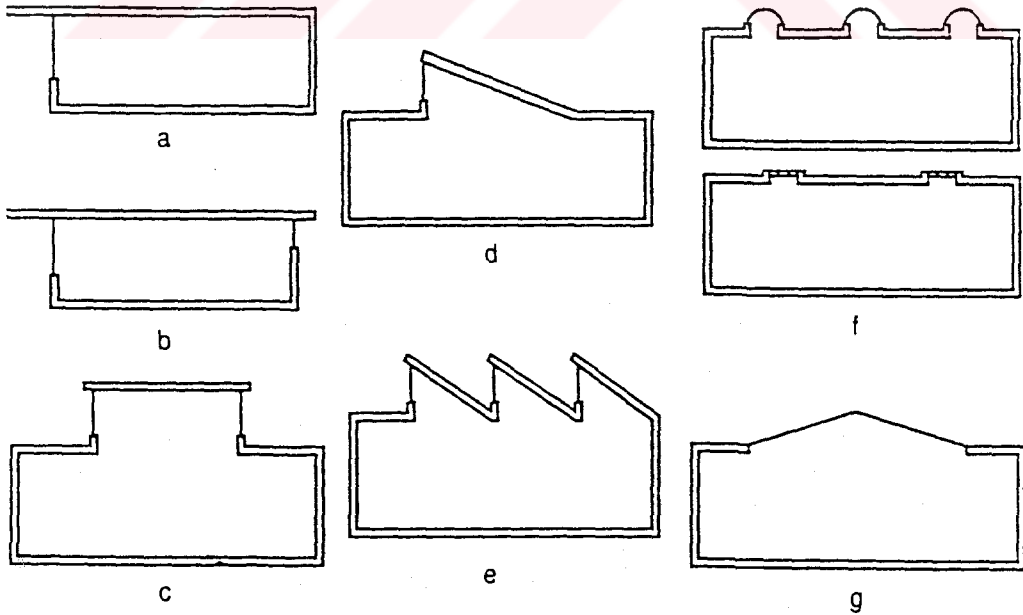
Pencere sisteminin değerlendirilmesi tamamlandıktan sonra, aydınlatma kontrol sistemi değerlendirilmelidir. Işık algılayıcısının yerleştirildiği cephe ve algılayıcının konumu, optimum çalışma sağlayabilmesi için kontrol edilmelidir. Işık algılayıcısı ve kontrol elemanı çalışma düzleminde referans aydınlık düzeyinin sağlanabilmesi için ayarlanmalıdır. Bu işlemlerin özel detayları kontrol sisteminin tipine (açık kontrol sistemi veya kapalı kontrol sistemi) ve donanım seçimine göre farklılıklar gösterir [1].

4. Doğal Aydınlatma Sistemleri

Doğal aydınlatma sistemleri, oda içindeki gün ışığı dağılımını düzenlerler. Direkt gelen güneş ışığını kontrol ederek, çalışma düzleminde gereken aydınlık düzeyini sağlarlar. Pencereden giren güneş ışığı miktarını arttırmazlar. Kullanılmalarındaki amaç, güneş ışığının kullanım verimini arttırmaktır. Güneş ışığının insan bünyesi üzerinde fizyolojik ve psikolojik katkıları vardır. Doğal aydınlatma ile aydınlatılan ortamlarda bireylerin çok daha verimli oldukları gözlemlenmiştir [7]. Bu bölümde, doğal aydınlatma sistemleri binalarda yer aldıkları bölümlere göre duvar pencereleri ve tavan ışık açıklıkları olarak 2 ana grupta sınıflandırılmışlardır.

4.1. Duvar Pencereleri

Binalarda kullanılan duvar pencereleri, binanın tek cephesinde kullanılan duvar pencereleri ve çift cephesinde kullanılan duvar pencereleri olarak iki bölüm altında incelenebilirler.



Şekil 4.1 a) Tek yandan aydınlatma, b) İki yandan aydınlatma, c) Çift yönlü çatı penceresi, d) Tek yönlü çatı penceresi, e) Testere dişi sistemi, f) Fenerler, g) Atrium [1]

4.1.1. Tek Cephede Kullanılan Duvar Pencereleeri

Bir hacmin aydınlatmasında, tek cephede kullanılan duvar pencere sistemlerinden hangisinin kullanılacağı, bina yapısına ve güneş ışınlarının geliş doğrultusuna göre belirlenir.

4.1.1.1. Tek Yandan Aydınlatma

Bu tasarımda pencere sistemi duvar üzerinde kullanılır ve duvarın büyük bir bölümünü kaplar. Hacme giren doğal ışığın, hacmin farklı bölgelerinde oluşturacağı aydınlık düzeyi oranlarının 25:1 oranından fazla değişimini önlemek için, pencerenin olduğu duvarla iç duvar arasındaki mesafe, pencere tepe yüksekliğinin en fazla 2 katı kadar olan bir mesafeyle sınırlanmalıdır. Pencereleeri üst kısımları bu sebeple genelde tavana yakın yerleştirilirler. Ancak pencerenin göğü gören alanının artması sonucu kamaşmanın artması ortaya çıkar. Hacimde pencerenin bulunduğu duvara paralel ek yapay aydınlatma kullanıldığı taktirde, aydınlık düzeyi dağılımı dengeleneceği için, daha derin mekanlar tasarlanabilir [1]. Örnek olarak prizmatik cam sistemleri verilebilirler. Bu sistemlerde prizmatik yapı pencere camına ince bir film tabakası halinde yapıştırılır. Çift camlı sistemlerinde ise iç yapıya yapıştırılır [7]. Böylece hacme giren doğal ışığın kontrolü sağlanır.

4.1.1.2. Pencere Üst Kısımında Perde Kullanılan Sistem

Güneş yüksekliğinin fazla olduğu saatlerde hacim kullanılıyorsa, pencere üst kısmına perdeleme sistemi yerleştirilerek, hacme giren güneş ışığı miktarı azaltılabilir (Şekil 4.1 a ve b). Böylece göğün üst kısmını gören alan azaltılır ve hacimdeki aydınlık düzeyi değişimi oranlarının çok yüksek olması önlenir. Bununla birlikte, hacme giren doğal ışık miktarı da azalmış olur. Yerden yansıyan ışığın hacim içine girmesi ile, bu olumsuz etkinin bir miktar da olsa önüne geçilir.

4.1.1.3. Jaluzili Pencereleer

Jaluzi sistemleri, güneş ışığının hacme girmesini kontrol etmede, gök kamaşmasını azaltmada ve ışığın tavana yönlendirilmesinde etkili olabilirler. Büyük pencereleeri üst kısmına yerleştirilen perdelerin yarattığı gölgeleme etkisini sağlayabilirler. Hacmi kullananlar jaluzi sistemlerinden memnun olduklarını ifade etseler de, sistemi nadiren ayarlarlar.

4.1.1.4. Üst ve Alt Kısımında Jaluzi Sistemi Kullanılan Bölümlere Ayrılmış Pencereleler

Bu sistem, direkt gelen güneş ışığının yaratacağı kamaşmayı önlemek için, pencerenin üst ve alt kısımlarına yerleştirilen jaluzilerin, ışığın gelişine bağlı olarak ayarlanabilmesini sağlar. Örneğin jaluzinin alt bölümü, çalışma düzlemine güneş ışığı düşmesini önlemek amacıyla kapatılsa dahi, günışığı hacmin derinlerine dek girebilir.

4.1.1.5. Üst Kısımında Düşük Geçirgenlikli Malzeme Kullanılan Bölümlere Ayrılmış Pencere

Bu sistem, göğün üst bölümünün oluşturduğu kamaşmayı azaltırken, hacim içerisinden dış zeminin görülmesini engellemez [1]. Örnek olarak prizmatik sistemler verilebilir. Prizmatik sistemler görüşü engellemesi nedeniyle, camın üst kısmında uygulanmalıdırlar. Cam arasına yerleştirilen plastik veya cam prizmalardan oluşurlar. Gök ve güneş ışığını yansıtır veya direkt geçirirler. Gelen ışınların bir bölümü prizmatik yapıda yutulmasına rağmen, verimleri % 70-80' lere çıkar [7].

4.1.1.6. Düşey Gölgeleme Elemanlı Pencere

Sabit düşey yüzeyli cihazlar, doğuya bakan duvarlarda ve merdiven boşluğu duvarlarında etkin güneş kontrolü sağlarlar. Güney enlemlerinde, yatay ve dikey elemanların kombinasyonuyla güneş ışığını kontrol etmek oldukça yaygındır [1].

4.1.1.7. Işık Rafı Sistemi

Pencereye dik açıyla yerleştirilen, üstü beyaz ve yansıtıcı maddeyle kaplı yapıdadırlar. Pencerenin iç veya dış olmak üzere, her iki tarafına da yerleştirilebilir. Hem direkt, hem yayınık ışığın hacmin içine girmesini sağlarlar. Yüksek tavanlı hacimlerde daha verimlidirler [7]. Göğün üst kısmı ekranlandığı için, normalde uzun pencerelerin yaratacağı kamaşmanın önüne geçerek, doğal ışığın hacmin iç kısımlarına homojen olarak ulaşmasını sağlarlar [1] .

4.1.2. Çift Cephede Kullanılan Duvar Pencereleleri

Çift cephede kullanılan doğal aydınlatma sistemleri, ışığın iki yönden hacme alınmasını sağlayarak, hacimde daha dengeli bir doğal ışık dağılımı sağlarlar. Bu sistemler, tek taraflı doğal ışık sistemi kullanıldığı taktirde uygun olan oda

uzunluğunun, iki katının kullanılabilmesini sağlar. İkinci pencere sistemi genelde duvarın yalnızca üst kısmını kaplar. İki pencere sisteminin en az birinden hacme direkt güneş ışığı alınacağı için, kamaşma kontrolü yapılması zorunludur. Eğimli tavanlarda bu sistem kullanılabilir. Kullanılan pencere daha yükseğe yerleştirilebilmesine rağmen, eğimli tavanlar aydınlatmanın kalitesini veya çalışma düzleminde sağlanan doğal aydınlık düzeyini çok az etkilerler [1]. Çift cephede duvar penceresi kullanılan hacimlerde, hacmin yapısına ve yerküredeki konumuna göre, tek cephede kullanılan duvar penceresi sistemlerinin kullanılmaları mümkündür.

4.2. Tavan Işık Açıklıkları

4.2.1. Çift Yönlü Çatı Penceresi

Bu doğal aydınlatma sistemi, çoğunlukla iki alçak kenarın üstüne bir cumba yerleştirilmiş olan sanayi binalarında kullanılır (Şekil 4.1 c). Fenerlerin altındaki yansıtma katsayısı yüksek yüzeyler, hacimdeki aydınlık düzeyini artırır.

4.2.2. Tek Yönlü Çatı Penceresi

Ana duvardaki pencerelerin baktığı doğrultuya bakan, ek çatı pencereleridir. Tek yönlü aydınlatma sonucu hacme giren doğal ışığın sınırlandırılması sorununu aşmak için kullanılırlar (Şekil 4.1 d).

4.2.3. Testere Dişi Sistemi

Bu pencere sistemi, çoğunlukla büyük sanayi binalarında kullanılır. Pencerelerin göğe doğru eğimli olmaları, hacme giren doğal ışık miktarını artırır. Cam kaplama üzerinde kir birikiminin artması, sistemin verimini düşürebilir. Ayrıca bu sistemlerin kullanımıyla, hacimlerde ısı sakıncası ortaya çıkar.

4.2.4. Fener

Tepe pencereleri, kubbe, güneş ışığını toplayan paneller, fiberglasla parıltı kontrolü sağlanan plastik paneller, ısı ve kamaşma kontrolü sağlayan paneller gibi farklı şekil ve malzemelerden oluşabilirler.

Tepe pencereleri kullanılırken, nem ve yoğuşma sonucu oluşan damlaların önlenmesine özellikle dikkat edilmelidir. Açma kapama işlemlerinin yapılabilirdiği

tepe pencereleri, havalandırma ve soğutma da sağlayabilirler. Şayet düzgünlüğü sağlayan ve kamaşmaya neden olmayacak doğal ışık dağılımı elde edilmek isteniyorsa, yaklaşık 60° dışa doğru meyilli ve mat beyaz sonlandırılmış fenerler kullanılmalıdır (Şekil 4.1 f).

4.2.5. Atrium

Bunlar, farklı şekillerde olabilen, geniş alanlı doğal aydınlatma sistemleridir. Örnek olarak, piramit ve kubbe şekilleri verilebilir. Alanın geniş olması sebebiyle, ışık geçirgenliği düşük malzemeden (%10 ile %25 arası) yapılırlar. Yüksek yansıtma katsayısı bulunan fiberglasla takviye edilmiş polimer yüzü paneller, özellikle gölge oluşturmeyen yayınlık doğal ışık elde etmek için, güneş ışığının direkt geldiği koşullarda dahi uygundur. Bu paneller mükemmel ışık ve ısı kontrolü sağlarlar.

4.2.6. Güneş Ayarlı Sistemler

Güneş ayarlı sistemler, direkt güneş ışığının yönlendirilmesi veya doğrultusunun değiştirilmesi amacıyla kullanılan yansıtıcı veya diğer optik elemanlardan oluşan sistemlerdir. Fenerler, bu sistemlerin bir temsilcileridir. Çatı pencereleri ve diğer geleneksel tepe pencerelerinde kullanılan aynalı paneller ve güneşi takip eden, güneş ışınlarının yoğunlaşmasını sağlayıp ışık borularıyla ışığı taşıyan daha komplike alt sistemlerden oluşan çeşitli sistemleri mevcuttur [1]. Işık borusu sistemlerinin son yıllarda pek çok uygulamaları yapılmıştır. Gün ışığı, gün boyu ışığın geliş açısına göre yön değiştiren motorlu mercek sistemi ile toplanır. Yönlendirici aynasal sistem yardımıyla bina içine dağıtılır. Direkt güneş ışığı olmayan ortamlarda verimsiz bir sistemdir [7].

5. DOĞAL IŞIĞIN HACİM İÇİNDE ETKİN KULLANIMINI SAĞLAYAN DÜZENEKLERİN İSTANBUL İKLİM KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ AMACIYLA KURULAN DENEY SİSTEMİ

Binalarda, gelişmiş günışığı sistemlerinin kullanımı ve yapay aydınlatmanın elektronik sistemlerle kontrolü, kullanıcı konforunu sağlamaya yönelik olduğu kadar enerji tüketiminin ve harcamalarının da minimize edilmesine yönelik olumlu sonuçlar vermektedir.

Ancak bu olumlu sonuçlar, sadece, coğrafi konum, iklim ve dolayısıyla doğal ışık koşullarına bağlı olarak kullanılacak en uygun doğal aydınlatma sisteminin seçilmesi ile mümkündür.

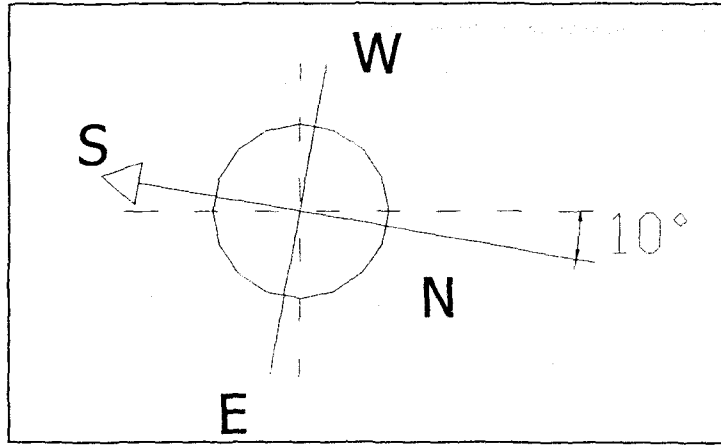
Seçilmiş günışığı sistemleri ve elektronik kontrol sistemlerinin farklı iklim bölgeleri için optimizasyonuna ve geliştirilmelerine ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda İstanbul Teknik Üniversitesinde IRS ve otomatik kontrol düzenekleri ile donatılmış deney odası ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla bir referans oda tesis edilmiştir.

Deney amacıyla kullanılan referans oda ve test odası, İTÜ Ayazağa kampüsündeki Elektrik-Elektronik Fakültesi, 3. katında bulunmaktadır. Oryantasyonları Şekil 5.1' de verilmiştir. Test odasına, Berlin Teknik Üniversitesinden gönderilen ışık rafı sistemi monte edilmiştir.

Bu bölümde referans oda ve test odasında kurulan sisteme ilişkin bilgi verilecektir.

5.1. Test Odası

Test odasında kullanılan Işık Rafı Sistemi ile hacme giren doğal ışığın homojen dağılımı sağlanmış, kontrol düzeneği sayesinde de doğal ışık miktarına bağlı olarak, kullanılacak olan yapay ışık seviyesi ayarlanmıştır. Böylece konforlu aydınlatma sağlanırken, enerji tasarrufu da yapılır.

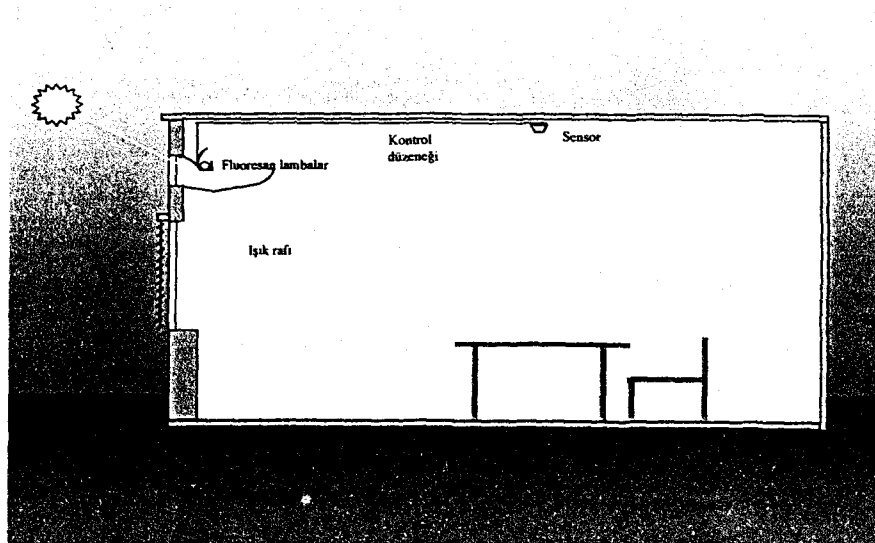


Şekil 5.1 Referans oda ve test odasının oryantasyonu

5.1.1. Işık Rafı Sistemi

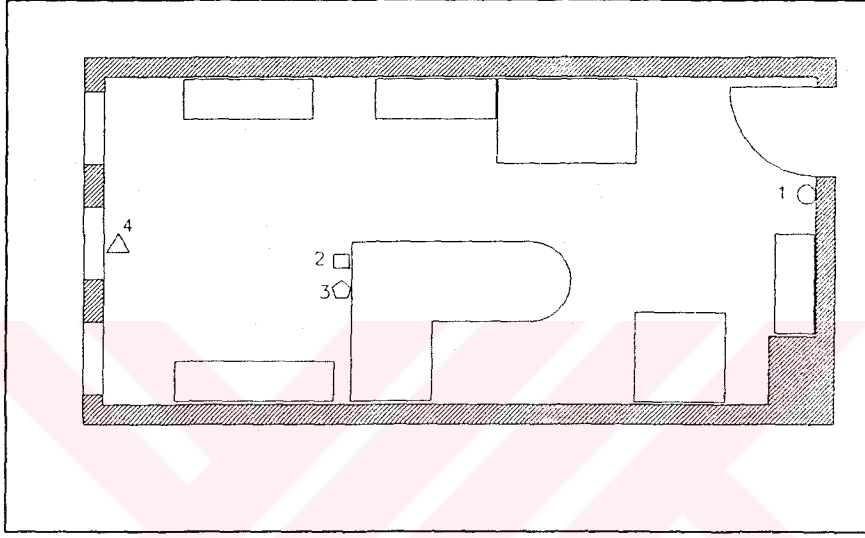
IRS, pencerelerin üst bölümlerine monte edilen, içerisinde hem doğal ışık yansıtıcılarını hem de yapay ışık kaynaklarını barındıran bir sistemdir. Doğal ışık yansıtıcıları, pencerenin üst bölümünden gelen ışığı tavana yansıtip, doğal ışığı tavandan hacmin daha derin bölgelerine iletmektedir. Sistemin içinde yer alan yapay ışık kaynaklarının ışıkları da benzer bir yöntemle indirekt olarak çalışma düzlemine erişmektedirler. Amaç, çalışma düzleminde istenen aydınlık düzeyine ulaşmak için, mevcut doğal ışığı, yapay ışık ile desteklemektir.

Uygulamadaki kontrol sisteminin ışık algılayıcısının, çalışma düzlemi yerine tavana monte edilmesi gereksinimi vardır. IRS, pencerelerin üst bölümlerini kapattığından, direkt kamaşma olayının da önüne geçilir.



Şekil 5.2 Işık Rafı Sisteminin şematik gösterimi

Endirekt aydınlatma ile çalışma konforu sağlanır. Sistemde, 4 adet 58W' lık floresan lamba, loşlaştırılabilir elektronik balastlar ve bir kontrol sistemi (European Instabus [EIB]) bulunmaktadır. 5WG1 525-4AB02 katalog kod numaralı balast sistemi Siemens firması tarafından üretilmiş olup, nominal çalışma gerilimi 230V, nominal akımı 10A' dir. Osram firması tarafından üretilen FQ 80W/830 tipi tüp çapı 16mm, lamba uzunluğu 1449mm, ışık akısı 6510lm olan sıcak beyaz floresan lambalar kullanılmışlardır.



Şekil 5.3 Deney odasındaki ölçme düzeneği

- 1 numaralı algılayıcı: hacim içinde insan varlığını algılayıp bilgisayara,
- 2 numaralı algılayıcı: çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini algılayıp, kontrol sistemine,
- 3 numaralı algılayıcı: çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini algılayıp, bilgisayara
- 4 numaralı algılayıcı: pencere yüzeyindeki düşey aydınlık düzeyini algılayıp, bilgisayara iletmektedir.

Tablo 5.1 Test odası boyutları

Test odası: İTÜ	Boy	En	Yükseklik	Pencere Alanı	Kullanıcı
Geometri	7.30m	3.35m	3m	2.97m ²	Var

Tablo 5.2 Test odası yansıtma katsayıları

Test Odası: İTÜ	Yansıtma Katsayısı (% cinsinden)		
	Duvarlar	Zemin	Tavan
Yüzeyler	85	34	85

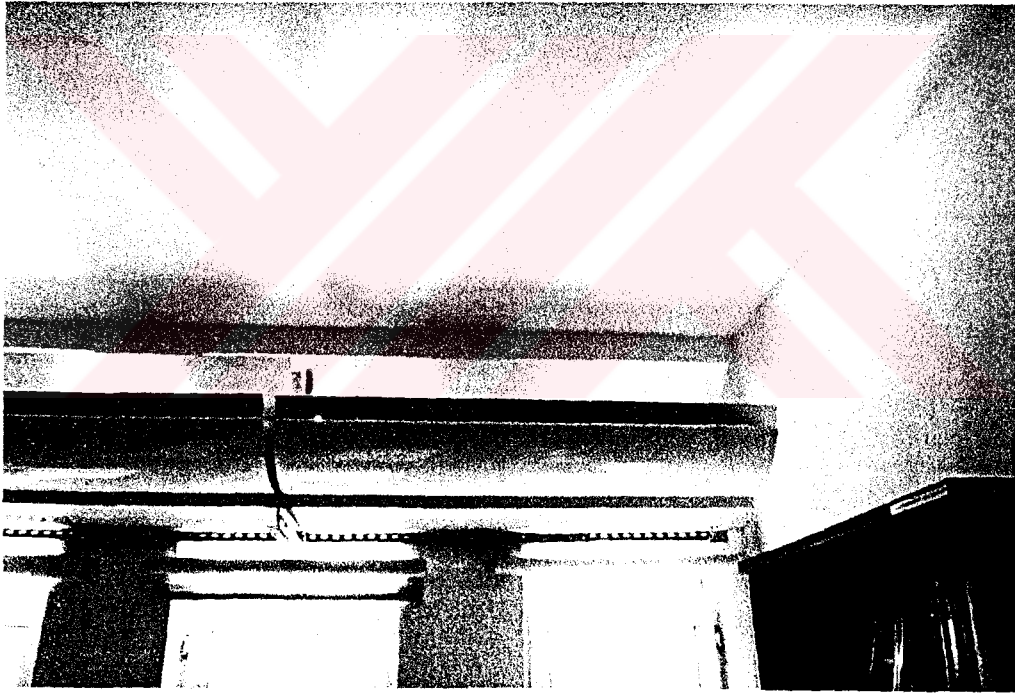
Test odasındaki ve referans odadaki masaların yansıtma katsayıları %18 olup, test odasındaki dolapların yansıtma katsayıları %10-%14 arasında, referans odadaki dolapların yansıtma katsayıları ise %14-%34 arasında değişmektedir.

Tablo 5.3 Referans oda boyutları

Referans Oda	Boy	En	Yükseklik	Pencere Alanı	Kullanıcı
Geometri	7.30m	3.35m	4m	2.97m ²	Var

Tablo 5.4 Referans oda yansıtma katsayıları

Referans Oda	Yansıtma Katsayısı (% cinsinden)		
	Duvarlar	Zemin	Tavan
Yüzeyler	85	14	85



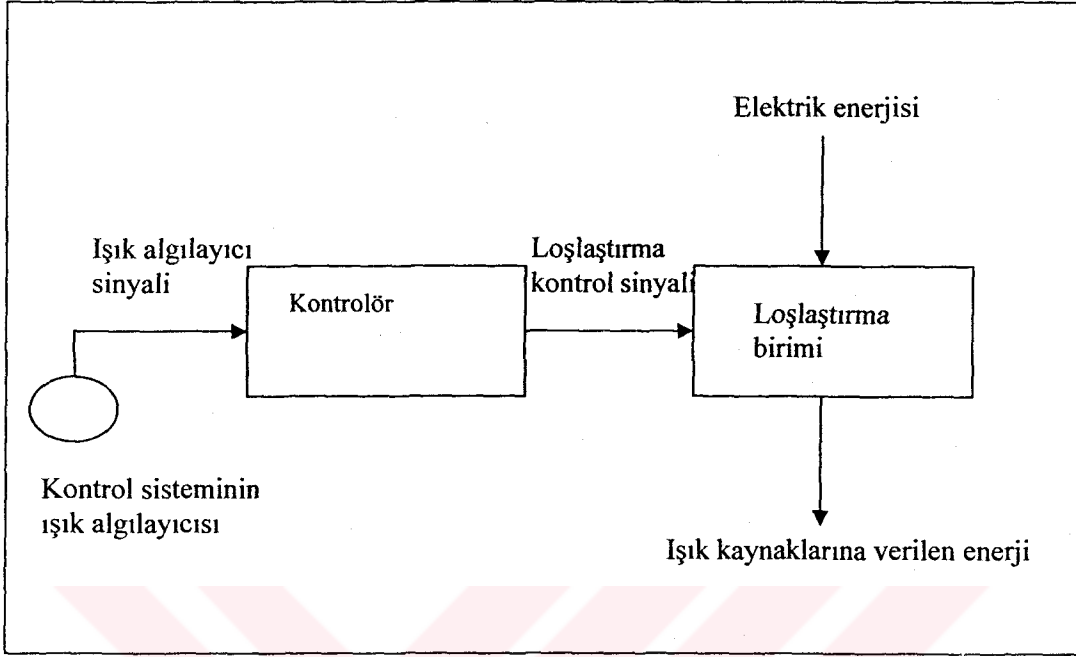
Şekil 5.4 Deney odasına monte edilen IRS' nin resmi

5.1.2. Kontrol Düzenegiyle Çalışan Aydınlatma Sistemlerinin Bileşenleri

Kontrol düzenegiyle çalışan aydınlatma sistemi üç temel bölümden oluşmaktadır:

1. Pencere duvarından 2.5 m uzaklıkta, çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyini ölçmek üzere kalibre edilmiş bir algılayıcı,
2. Işık algılayıcısından alınan sinyali işleminden geçirerek, loşlaştırma birimine ileten kontrolör,

3. Işık kaynaklarının şebekeden çektikleri gücü ayarlayarak, verdikleri ışık miktarını kademeli olarak ayarlayan bir loşlaştırma birimi [8].



Şekil 5.5 Kontrol Sisteminin Blok Şeması [8,9]

Tavana yerleştirilen kontrol ışık algılayıcısı, yapay ve doğal ışığın çalışma düzleminde oluşturduğu toplam aydınlık düzeyi bilgisini kontrolöre ulaştırır. Kullanılan algoritmaya göre, yapay ışık seviyesi ayarlanır. Kontrol sisteminin ışık algılayıcısının konumu, kontrol algoritması ve bunların birbirleriyle etkileşimi, sistemin bir bütün olarak nasıl çalışacağını belirler [8].

5.1.3. Doğal Aydınlatmada Kullanılan Kontrol Sistemleri

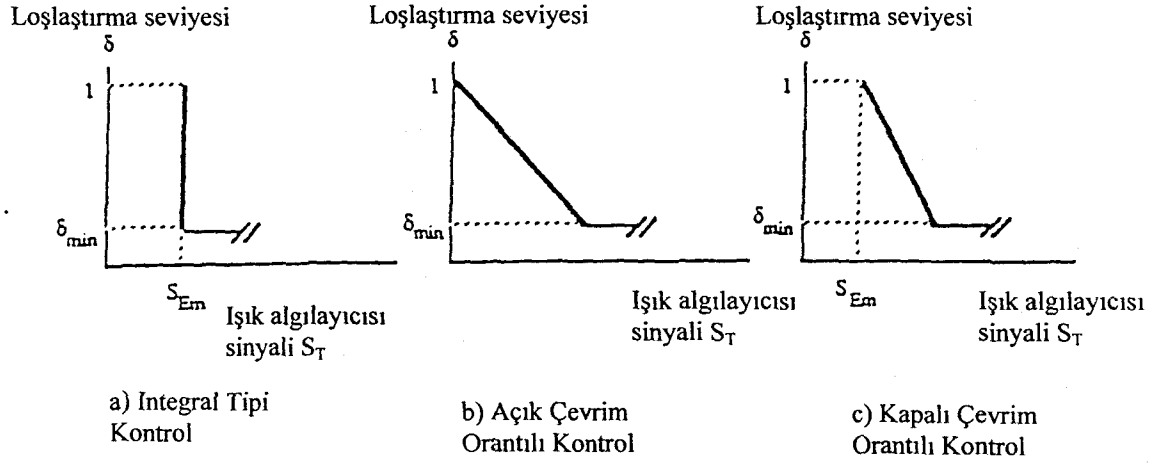
Doğal aydınlatma kontrol sisteminin ışık algılayıcısı, çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi bilgisini kontrolöre iletir. Kontrolör bu bilgiyi kontrol algoritmasından geçirerek loşlaştırma ünitesine iletir. Kontrol sisteminin ışık algılayıcısının çalışma düzlemi yerine tavana monte edildiği unutulmamalı ve kontrol algoritmasında gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

Doğal aydınlatma kontrol sistemlerinin üç temel kontrol algoritması mevcuttur. Bunlar;

1. Integral Tipi Kontrol,
2. Açık Çevrim Orantılı Kontrol,

3. Kapalı Çevrim Orantılı Kontrol algoritmalarıdır.

Her algoritmada, ışık algılayıcısı sinyali (S_T) ile yapay ışık kaynaklarının loşlaştırma seviyesi (δ) arasında, farklı bir bağıntı vardır.



Şekil 5.6 Kontrol sisteminin ışık algılayıcısı (S_T) ile loşlaştırma seviyesi (δ) arasındaki ilişkiyi veren grafikler [8]

Şekil 5.6' da kontrol sisteminin ışık algılayıcısı sinyaline (S_T) göre değişen, yapay ışık kaynaklarının loşlaştırma seviyesi (δ) grafikleri verilmiştir. Loşlaştırma seviyesi, δ_{min} ile lambaların tam kapasite çalışmaları durumuna karşılık gelen 1 değeri arasında değişebilir.

Integral Tipi ve Kapalı Çevrim Orantılı Kontrol algoritmaları, geri beslemeli sistemler olarak kabul edilirler. Bunun nedeni, ışık algılayıcısının yalnızca doğal ışığı değil, kontrol edilen yapay ışığı da algılamasıdır.

5.1.3.1. Integral Tipi Kontrol

Integral tipi kontrolör en basit kontrol algoritmasına sahiptir. Integral tipi kontrolör, loşlaştırma seviyesini (δ), ışık algılayıcısının sinyali (S_T) referans seviyede sabit kalacak şekilde ayarlar. Referans seviye, gece tüm ışık kaynakları tam kapasite çalıştırılarak tespit edilir. Referans seviyenin ayarlanması işlemine gece kalibrasyonu adı verilir. Kontrol sisteminin ışık algılayıcısının bu koşuldaki çıkış değeri (S_{EM}), her koşulda sağlanacak referans seviye olarak kabul edilir.

5.1.3.2. Açık Çevrim Orantılı Kontrol

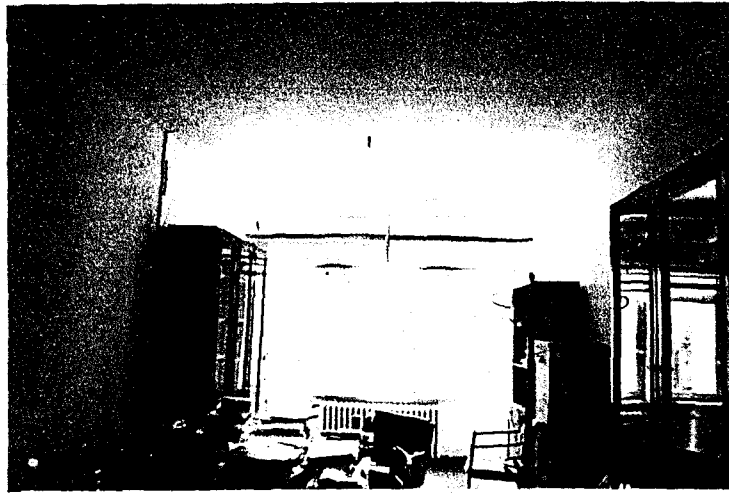
Açık Çevrim orantılı kontrolde, kontrol sisteminin ışık algılayıcısı yapay ışığı algılamaz. Işık algılayıcısı, doğal aydınlık düzeyini belirlemek amacıyla kullanılır. Açık Çevrim orantılı kontrol sisteminin algoritmasında, ışık algılayıcısının sinyali ile loşlaştırma seviyesi arasında lineer bir ilişki mevcuttur. Doğal aydınlık düzeyi yükseldikçe, yapay ışık kaynakları, eğimi M olan bir doğru boyunca loşlaştırılırlar. Oran faktörü M' nin ayarlanması gündüz kalibrasyonu olarak adlandırılır.

5.1.3.3. Kapalı Çevrim Orantılı Kontrol

Kapalı Çevrim orantılı kontrolde ışık algılayıcısı doğal ve yapay ışığı algılayacak şekilde yerleştirilir. Kontrolör, loşlaştırma seviyesi (δ), ışık algılayıcısı sinyali ile gece referans seviyesi arasındaki farkın lineer fonksiyonu olacak şekilde, yapay aydınlık düzeyini ayarlar. Açık Çevrim orantılı kontroldeki gibi gündüz kalibrasyonu yapılmalıdır. Gece referans seviyesini ayarlamak için de gece kalibrasyonuna ihtiyaç vardır [8].

5.1.4. European Instabus Integral Reset Kontrol Sistemi (EIB)

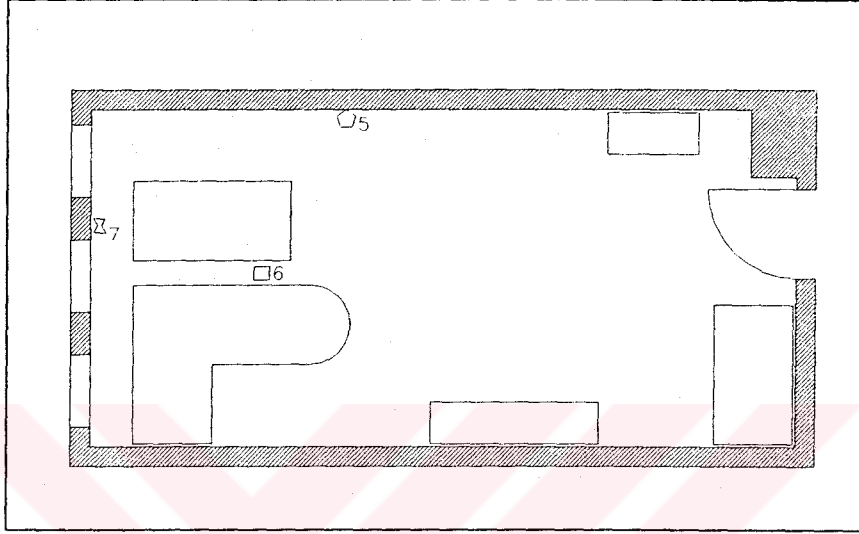
IRS' nin kontrolünde EIB Integral tipi kontrol sistemi kullanılmıştır. Loşlaştırma birimi loşlaştırma sinyalini 1-10 V arasında alır. Bu sistem bir grup yapay ışık kaynağını tek bir sistem olarak kabul ederek, doğal aydınlık düzeyine göre kontrol sağlar. EIB yazılımı olan ETS ile programlanır ve kalibrasyonu yapılır. Kontrol sistemi ışık algılayıcısı filtre edilmiş BPW21R tipi Si-Diyottur [9].



Şekil 5.7 Test odası

5.2. Referans Oda

Referans odanın planı Şekil 5.8’ de verilmiştir. Kullanılan algılayıcılar plan üzerinde işaretlenmişlerdir. Çalışma düzlemindeki ölçüm noktasında aydınlık düzeyini ölçen algılayıcı zeminden 0.85m yükseklikte olup, pencere duvarından 2.5m uzaklıktadır.

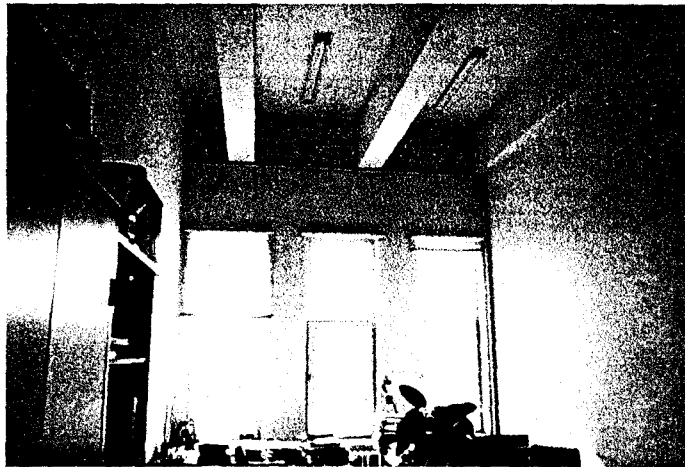


Şekil 5.8 Referans odadaki ölçme düzeneği

5 numaralı algılayıcı: hacimdeki lambaların açık olup olmadıklarını algılayabilmek için lambalara yakın bir yükseklikte aydınlık düzeyi ölçümü yapıp, bilgisayara,

6 numaralı algılayıcı: çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini algılayıp, bilgisayara,

7 numaralı algılayıcı: hacim içinde insan varlığını algılayıp bilgisayara iletmektedir.



Şekil 5.9 Referans oda

6. VERİLERİN İNCELENMESİ

Yapılan çalışmada, Berlin Teknik Üniversitesi ile İstanbul Teknik Üniversitesi' nin ortaklaşa yürütmekte olduğu "Işık Rafı Sistemi ile Güneşli-Yapay Işık Entegrasyonunun İklim Koşullarına Bağlı Optimizasyonu" projesinden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Çalışma saatleri 8:00-18:00 arası kabul edilmiştir. İki dakikada bir ölçüm yapılmıştır. Sekiz algılayıcının herbirinden 99600 veri kullanılmıştır. Kullanılmayan 9900 veriye ilişkin bilgi Tablo 6.1' de verilmiştir.

18.10.2002 ile 11.04.2003 tarihleri arasında IRS üç floresan lamba ile çalıştırılmıştır. Bu tarihler arasında IRS' nin tam kapasite ile çalışması durumunda çalışma düzleminde yaklaşık 380 lx aydınlık düzeyi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda bu durum dikkate alınmıştır.

Ocak ayında IRS nin maksimum 350 lx aydınlık düzeyi oluşturduğu görülmüştür.

Şubat ayında sistem bazı günlerde çalışmamıştır. 7, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 26 Şubat verilerinde günün belirli saatlerinden itibaren, test odası çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyi değerleri 320 lx seviyesinde kalmış, hatta bazı günlerde 200 lx' e dek düşmüştür.

Mart ayında, 15, 16, 17, 18 ve 20 Mart tarihlerinde, sabah ve akşam saatlerinde, çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyi 350 lx' ün altına düşmüştür.

Nisan ayında da sistemin çalışmadığı günler vardır. Örneğin 1, 3, 5, 6, 7, 8, 23 Nisan tarihlerinde çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyi, sistem ¼ floresan lambayla çalışıldığı için, 380 lx' e ulaşması gerekirken, bazı günler 300- 350 lx düzeyinde kalmış, bazı günlerde ise, 200-350 lx arasında değişmiştir.

Tablo 6.1 Kullanılmayan veriler

Tarih	Çıkan Veri Sayısı	Neden
08.05.2003	300	Saat 7:25' ten itibaren veri sütunlarında kayma olmuştur.
05.05.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
17.05.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
19.05.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
27.05.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
14.06.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
17.06.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
19.06.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
06.07.2003	300	Günün erken saatlerinden itibaren, verilerin sütun olarak kayması sebebiyle bu güne ait veriler çıkartılmıştır
23.07.2003	300	Günün erken saatlerinden itibaren, verilerin sütun olarak kayması sebebiyle bu güne ait veriler çıkartılmıştır
25.07.2003	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
22.10.2003	300	Veri sütunlarının kayması sebebiyle, bu tarihli veriler kullanılmamıştır.
06.11.2002	300	Kaydedilemeyen verilerin günlük verilere oranla oldukça fazla olması sebebiyle bu güne ait veriler kullanılmamıştır
07.11.2002	300	Günün erken saatlerinden itibaren, verilerin sütun olarak kayması sebebiyle bu güne ait veriler çıkartılmıştır
17.12.2002	300	Veri sütunlarının kayması sebebiyle, bu tarihli veriler kullanılmamıştır.
24.12.2002	300	Veri sütunlarının kayması sebebiyle, bu tarihli veriler kullanılmamıştır.
29.12.2002	300	Veri sütunlarının kayması sebebiyle, bu tarihli veriler kullanılmamıştır.
1-16.12.2002	4800	Kaydedilemeyen veriler kullanılmamışlardır.

6.1. Referans Odanın İncelenmesi

Referans odanın incelenmesi yapılırken, çalışanların referans odada bulundukları süre, çalışanlar odada iken yapay ışığın kullanıldığı süre, çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi 500 lx' ün üzerinde ve altında iken yapay aydınlatmanın kullanıldığı toplam süreler, çalışanlar odada bulunmamalarına rağmen, yapay aydınlatmanın kullanıldığı süre aylık olarak hesaplanmıştır. Bu bölümde referans odaya ilişkin tipik günlerin değerlendirilmesi de yapılacaktır.

6.1.1. Aylara Göre Referans Odanın Kullanıldığı Süre ile Yapay Işık Kullanımının İlişkisi

Referans odanın incelenmesiyle elde edilen sonuçlar, aylık olarak tablo 6.2' de, mevsimsel olarak tablo 6.3' de verilmiştir. Eylül - Aralık ayları verileri 2002 yılına ait olup, Ocak – Ağustos ayı verileri 2003 yılına aittir.

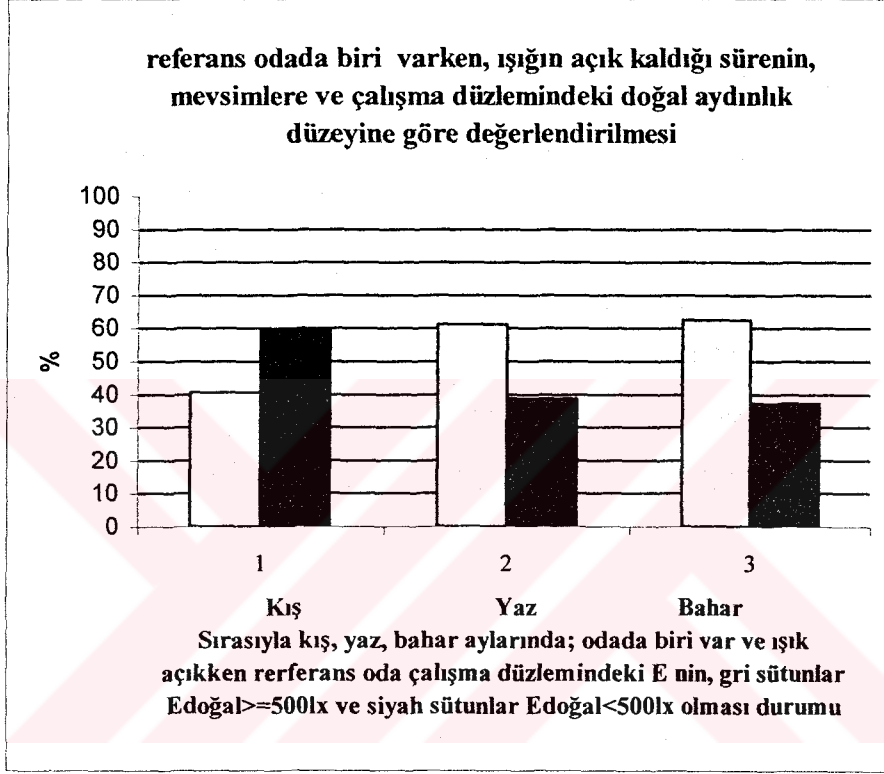
Tablo 6.2 Referans odanın kullanımına ilişkin aylık sonuçlar

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
a	74	56	80	68	96	84	63	21	84	76	47	35
b	14	11	25	13	19	16	8	0	33	40	13	16
c	2	6	9	8	14	9	6	0	23	27	8	9
d	12	5	16	5	5	7	2	0	10	13	5	7
e	56	39	67	37	41	44	52	20	57	120	67	24
f	70	50	93	50	60	60	60	20	90	160	80	40

- a) Çalışanların odada bulundukları süre (saat),
- b) Çalışanlar odada iken yapay ışığın kullanıldığı süre (saat),
- c) Doğal aydınlatmanın çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyi 500 lx' den fazla olmasına rağmen, çalışanlar odada iken, yapay aydınlatmanın kullanıldığı toplam süre (saat),
- d) Doğal aydınlatmanın çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyi 500 lx' den az ve çalışanlar odada iken, yapay aydınlatmanın kullanıldığı toplam süre (saat),
- e) Çalışanlar odada bulunmamalarına rağmen, yapay aydınlatmanın kullanıldığı toplam süre (saat),
- f) Odada yapay aydınlatmanın kullanıldığı toplam süre (saat)

Tablo 6.3 Referans odanın kullanımına ilişkin mevsimsel sonuçlar

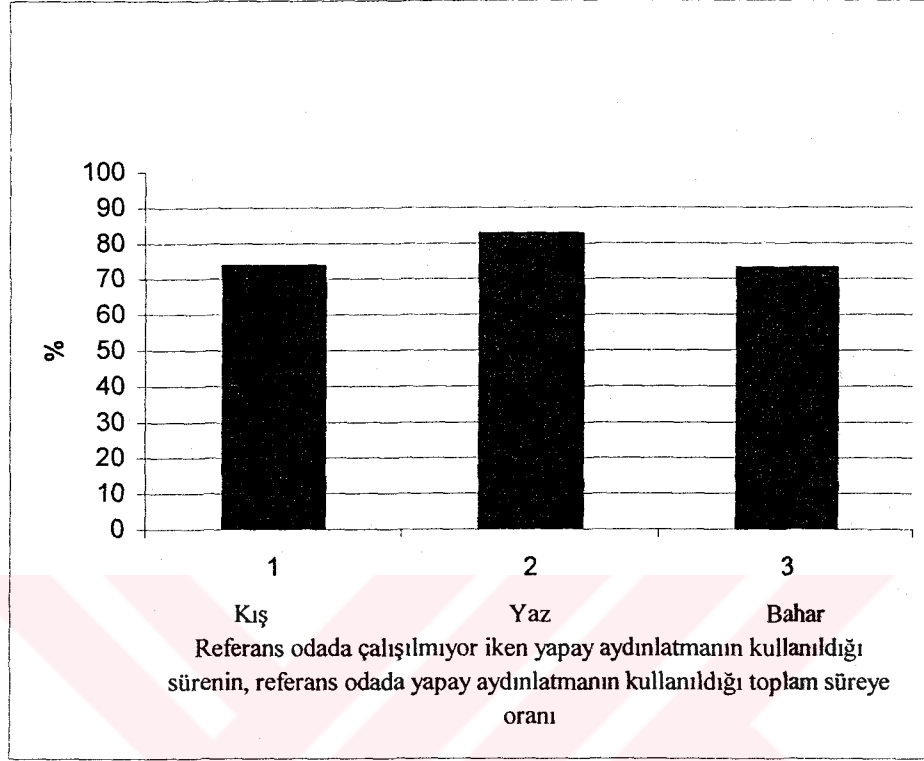
	kış	yaz	bahar
a	164	169	451
b	42	24	143
c	17	15	90
d	25	9	54
e	118	116	389
f	160	140	533



Şekil 6.1 Çalışanlar referans odada iken, yapay ışığın kullanıldığı sürenin, doğal aydınlık düzeyinin çalışma düzleminde sağladığı aydınlık düzeyinin referans düzeyden az ve fazla olması durumuna göre incelenmesi

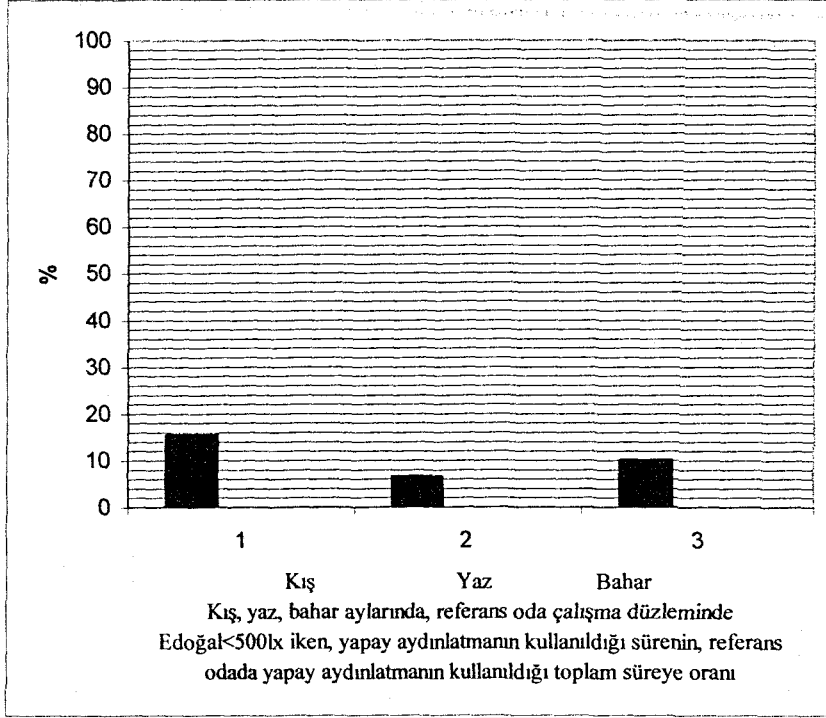
Şekil 6.1’ de çalışanlar referans odada ve yapay aydınlatma kullanılıyor iken, doğal aydınlatmanın referans oda çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyinin 500 lx’ den az ve fazla olması durumlarının incelenmesi yapılmıştır. Doğal aydınlatmanın çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyi referans düzeyin altında iken, yapay aydınlatma referans seviyeye ulaşılabilmesi için doğal aydınlatmayı tamamlamak amacıyla kullanılır. Doğal aydınlatma çalışma düzleminde referans seviyenin üzerinde aydınlık düzeyi sağlamasına rağmen, yapay ışık kullanımının devam etmesi, enerjinin gereksiz harcanmasıdır. Referans odada çalışılan sürenin kış

aylarında %40, yaz ve bahar aylarında %60' ında, referans aydınlık düzeyi doğal aydınlatmadan sağlanmasına rağmen, gereksiz enerji harcaması yapılmıştır.



Şekil 6.2 Referans oda kullanılmadığı halde yapay ışığın kullanılma oranı

Şekil 6.2' de sırasıyla kış, yaz ve bahar aylarına ait, referans odada kimse yokken yapay aydınlatmanın kullanıldığı sürenin, odada yapay aydınlatmanın kullanıldığı toplam süreye oranı verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, odada yapay ışık kullanılıyor iken, çalışanların odada bulunmama oranları oldukça yüksektir. Kış aylarının %74, yaz aylarının %83 ve bahar aylarının %73' ünde çalışanlar odada bulunmamalarına rağmen, yapay aydınlatma kullanılmıştır.

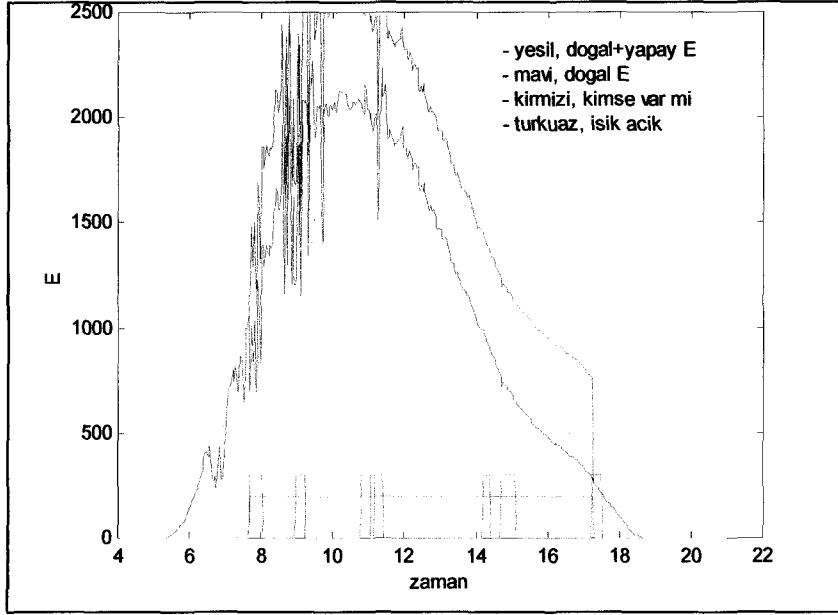


Şekil 6.3 Referans oda çalışma düzleminde doğal aydınlatmanın yeterli aydınlık düzeyi sağlamaması sebebiyle yapay ışıktan faydalanılan sürenin, toplam yapay ışık kullanma süresine oranı

Yapay aydınlatma kış aylarının %15, yaz aylarının %7, bahar aylarının %10' unda çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi 500 lx' den az iken kullanılmıştır.

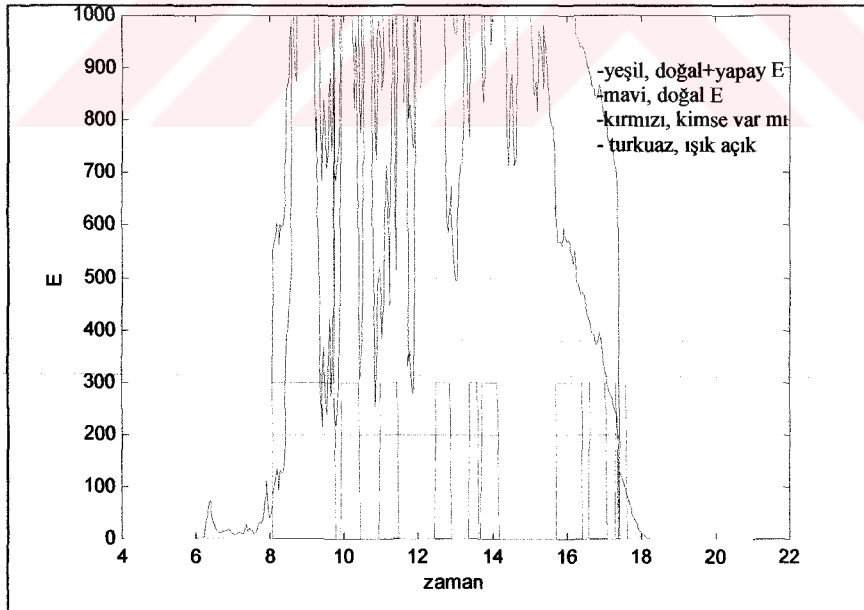
6.1.2. Referans Odaya Ait Tipik Günler

Tipik günler, ışığın odaya gelindiğinde açılıp, ancak odadan uzun süre için çıkıldığında kapatıldığı günlerdir. Çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi 500 lx' ün altına düştüğünde, aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu fark edilmesine rağmen, ışık açılmaz. Aydınlık düzeyi ancak çok alt seviyelere indiğinde ışık açılır. Bu bölümde, referans odayı kullananların yapay ışık kullanmaları üzerine yapılan çalışmadan bahsedilecektir.



Şekil 6.4 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 09/04/2003

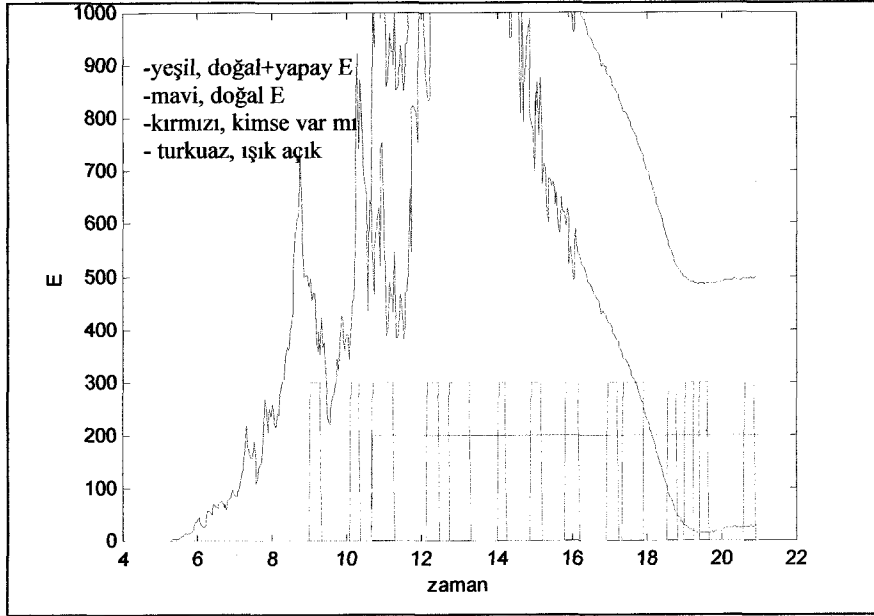
Şekil 6.4’de görüldüğü gibi, sabah odaya girildiğinde, çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi 1050 lx olmasına rağmen, ışıklar yakılmış ve ancak akşam mesai bitiminde oda terk edilirken kapatılmışlardır.



Şekil 6.5 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 27/09/2002

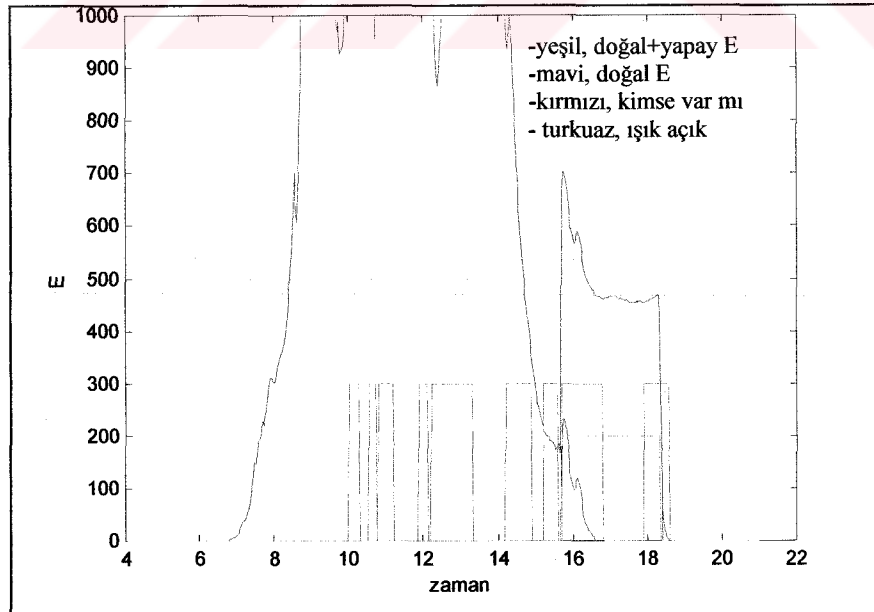
Şekil 6.5’de görüldüğü gibi, 27/09/2002 tarihli verilere göre, sabah odaya girildiğinde, çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi 100 lx civarında iken ışık

açılmış, kısa süre içinde 500 lx' ün oldukça üstüne çıkıldığı halde, ışık tüm gün açık kalmış ve akşam odadan çıkılırken kapatılmıştır.



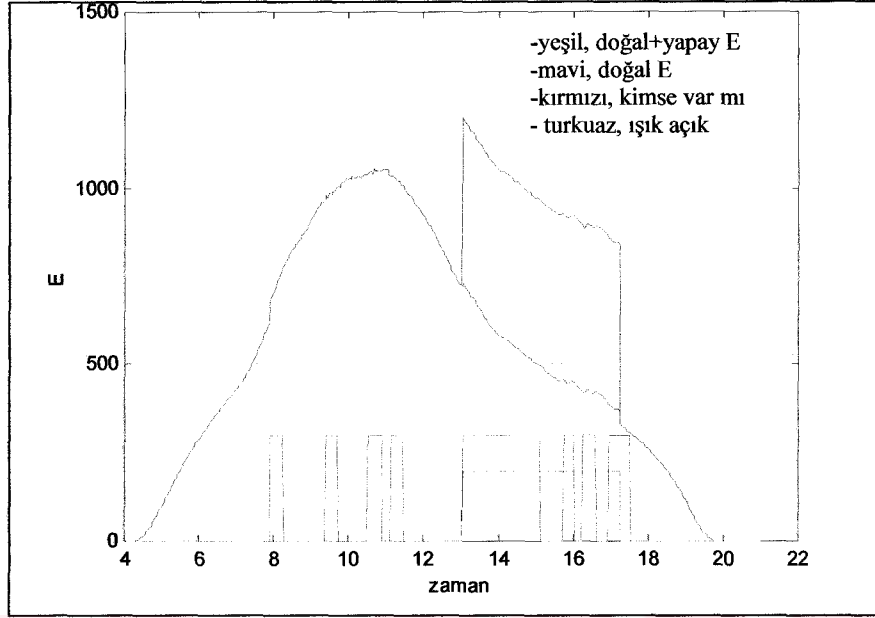
Şekil 6.6 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 25/04/2003

Şekil 6.6'da, 25/04/2003 tarihinde sabah odaya girildiğinde aydınlık düzeyi 630 lx olmasına rağmen, ışıkların yakıldığı ve günün büyük bir bölümünde yeterli doğal aydınlatma olmasına rağmen, gün boyu açık bırakıldıkları görülmektedir.



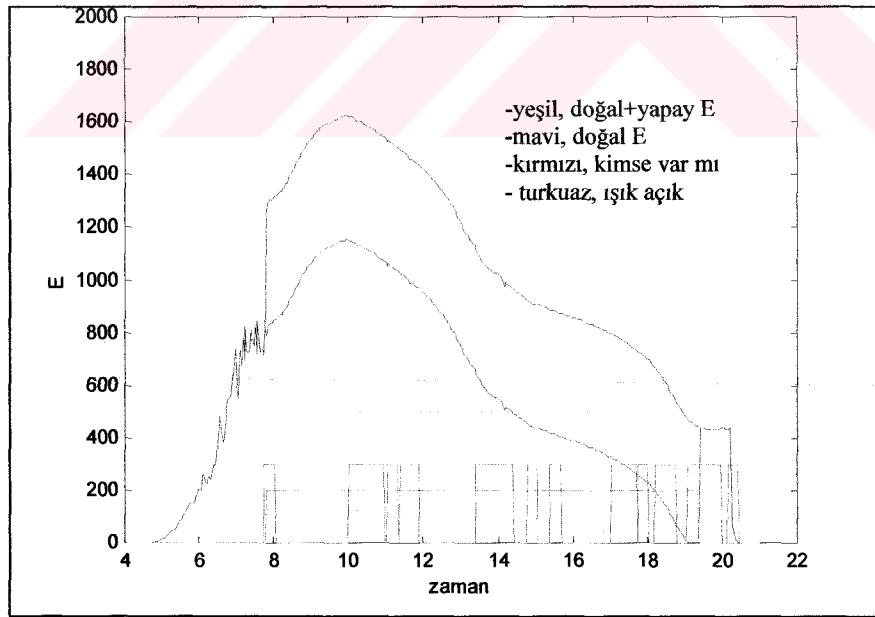
Şekil 6.7 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 22/11/2002

Kış ayına ait bir gün olan 22/11/2002 tarihinde, referans oda çalışma düzleminde doğal aydınlık düzeyi 170 lx' ün altına indikten sonra, ışıklar açılmışlardır.



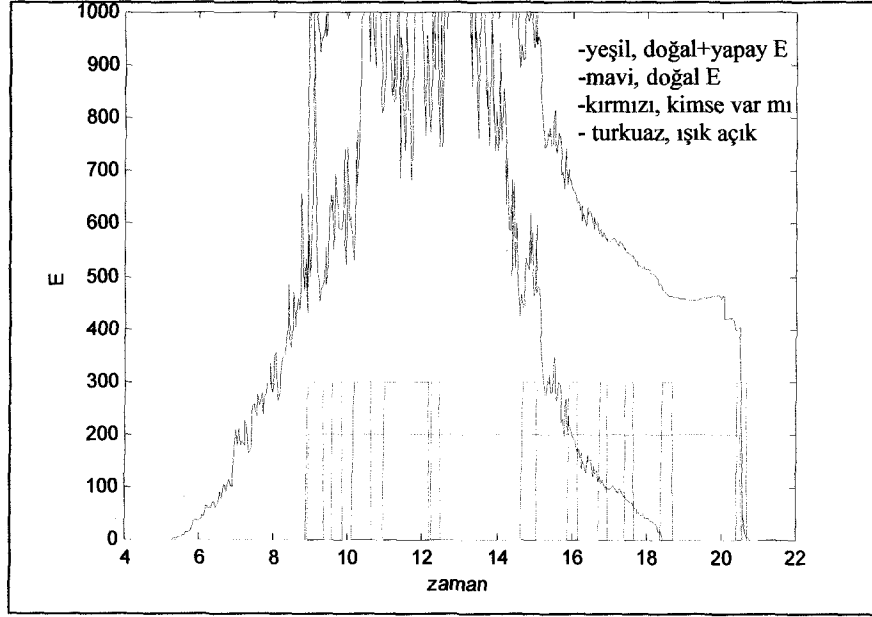
Şekil 6.8 Bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 10/6/2003

Şekil 6.8'de verilen 10/6/2003 tarihli verilere göre, gün ortasında odaya girildiğinde aydınlık düzeyi 725 lx iken ışık açılmış ve oda terk edilene dek ışık açık kalmıştır.



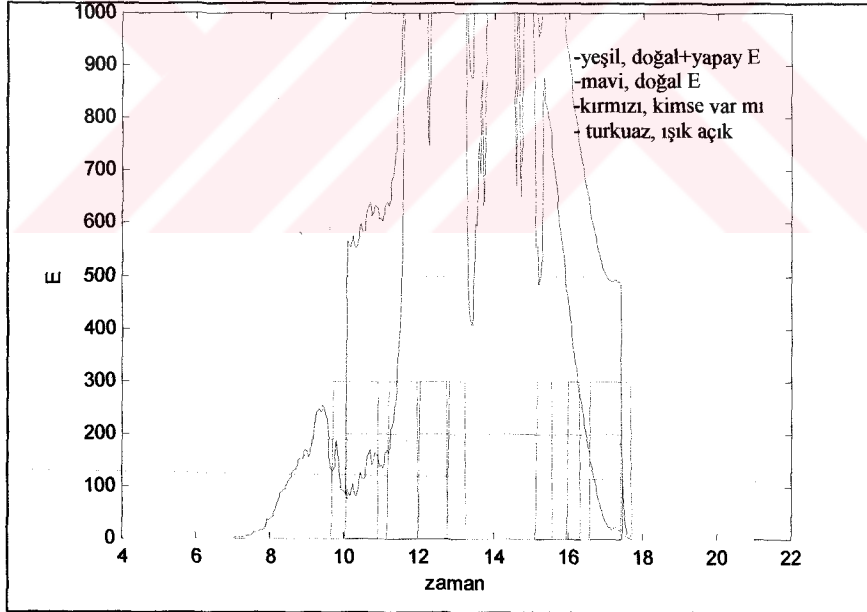
Şekil 6.9 Bahar aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 9/5/2003

Şekil 6.9'da verilen grafikte görüldüğü gibi, aydınlık düzeyi 800 lx olmasına rağmen, sabah odaya girildiğinde ışık açılmış, uzun süreli açık kalmıştır.



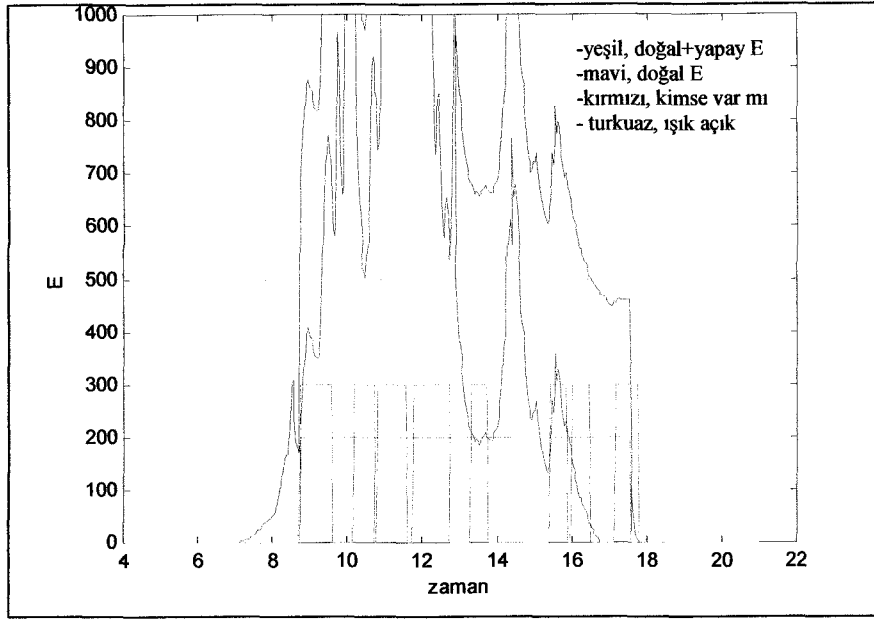
Şekil 6.10 Kış aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 15/4/2003

Şekil 6.10’ da grafiği verilen 15/4/2003 tarihinde, sabah odaya girildiğinde aydınlık düzeyi 500 lx iken, ışık açılmış ve gün boyu ışık açık kalmıştır.



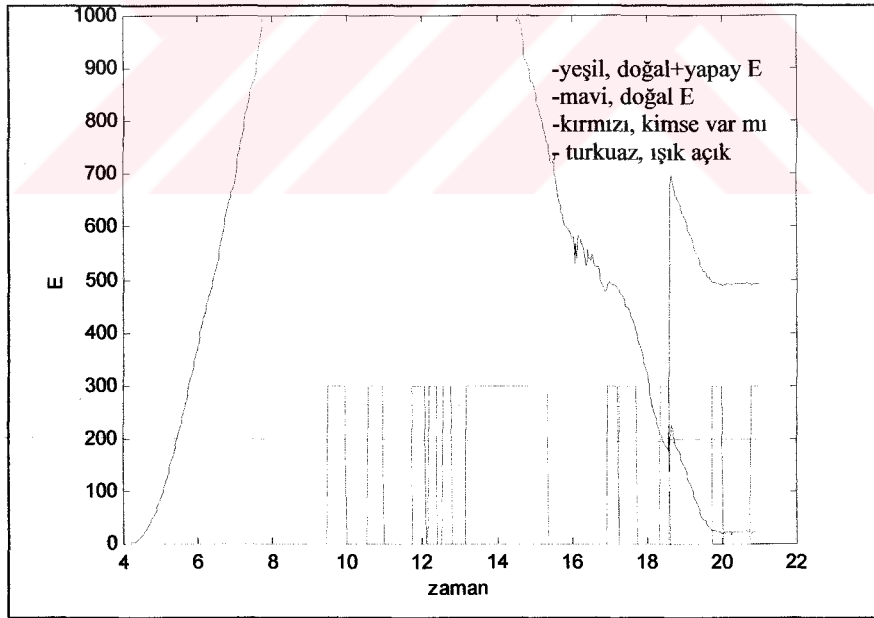
Şekil 6.11 Kış aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 11/11/2002

11/11/2002 tarihinde, sabah odaya girildiğinde çalışma düzlemindeki E yaklaşık 100 lx iken ışık açılmış, gün içinde doğal aydınlık düzeyi 500 lx’ ün üzerine çıksa dahi, ışık tüm gün açık kalmıştır.



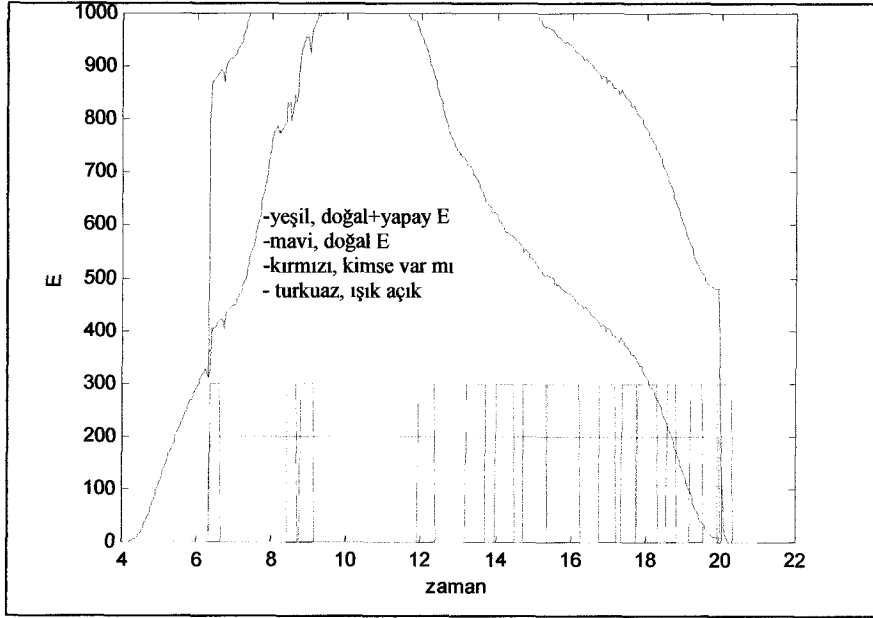
Şekil 6.12 Kış aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 14/1/2003

Grafiği Şekil 6.12’ da verilen 14/1/2003 tarihinde, sabah odaya girildiğinde çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi 170 lx iken ışık açılmış, gün içinde doğal aydınlık düzeyi 500 lx üstüne çıksa da, ışık tüm gün açık kalmıştır.



Şekil 6.13 Yaz aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 30/6/2003

30/6/2003 tarihinde aydınlık düzeyi 175 lx’ e indikten sonra ışık açılmıştır.



Şekil 6.14 Yaz aylarına ait bir tipik gün örneği, ölçüm günü: 1/7/2002

Şekil 6.14' te görüldüğü gibi, sabah odaya girildiğinde çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi 310 lx iken ışık açılmış, gün içinde doğal aydınlık düzeyi 500 lx' ün üzerine çıksa dahi, odadan ayrılınca değin, ışık açık bırakılmıştır.

6.2. Test Odasının İncelenmesi

Test odası incelenirken, IRS' nin çalışma düzleminde sağladığı aydınlık düzeyinin, referans seviyeyi ne derece tutturduğu irdelenmiştir. Referans düzeye ulaşamama durumunda yeterli aydınlatma ve konfor sağlanamayacaktır. Referans seviyenin aşılması ise, işletme maliyetini arttıracaktır. Tablolarda verilen veriler, Ocak-Eylül 2003, Ekim-Aralık 2002 yılına ait verilerdir. Kasım-Nisan aylarında IRS üç floresan lamba ile çalıştırıldığından, çalışma düzleminde yapay ışık kaynaklarının sağladığı aydınlık düzeyi en fazla 380 lx' tür. Dolayısıyla bu aylar için referans düzey 380 lx' dür [10].

Tablo 6.4 Test odası çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin, toplam zamana göre, sırasıyla < 500 lx, 450-500, 400-450, 350-400 lx arasında olma ve 350 lx' den az olma oranları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	65%	60%	35%	45%	17%	18%	13%	4%	3%	8%	34%	44%
b	11%	12%	14%	16%	15%	17%	13%	3%	3%	3%	10%	10%
c	17%	12%	10%	13%	2%	1%	0%	0%	0%	2%	10%	10%
d	35%	19%	9%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	11%	23%
e	2%	18%	2%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	1%

Tablo 6.5 Test odası çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin, toplam zamana göre, sırasıyla > 500lx, 500-550, 550-600, 600-650, 650-700 lx arasında olma ve 750 lx' den fazla olma oranları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	31%	40%	61%	54%	79%	81%	83%	93%	97%	88%	66%	48%
b	7%	12%	14%	17%	18%	24%	21%	11%	13%	10%	11%	8%
c	6%	9%	10%	11%	22%	25%	22%	13%	17%	11%	10%	9%
d	2%	2%	3%	3%	20%	22%	19%	18%	20%	12%	5%	4%
e	1%	1%	2%	3%	10%	9%	13%	18%	14%	11%	2%	2%
f	1%	1%	2%	3%	5%	1%	4%	8%	3%	4%	1%	1%

6.3. Referans ve Deney Odaları Çalışma Düzlemlerinde Sağlanan Doğal Aydınlık Düzeylerinin İncelenmesi

Referans oda ve test odasında, çalışma düzleminde sağlanan doğal aydınlık düzeylerinin incelenmesi yapılmıştır. Referans odada yapay ışıktan faydalanılmıyor iken, çalışma düzlemindeki algılayıcıdan alınan veriler, doğal aydınlık düzeyi verileridir. Referans odada yapay ışık kullanılıp kullanılmadığı, lambaları kontrol eden algılayıcı verilerinin incelenmesiyle anlaşılmaktadır. Lambalar yanmaya başladığında, lamba kontrol algılayıcısının verilerinde 450 lx' lük artış, kapatıldığında ise 600 lx' lük düşüş gözlemlenmektedir. Ancak, gök koşullarına bağlı olarak, dış cephe aydınlık düzeyi değerlerinin ani değişimleri sonucu, lambalar çalışmıyor durumda iken de, bu veya bu değerlere yakın sonuçları almak mümkündür. Bu sebeple, ancak dış cephe aydınlık düzeyinde ani artış söz konusu değil ise, bu koşullar lambaların çalışma durumunu ifade etmektedirler. Yalnızca yapay aydınlatma sonucu çalışma düzleminde oluşan aydınlık düzeyi 470 lx' dür. Referans odada yapay ışık kullanılıyor iken, çalışma düzlemindeki doğal aydınlık

düzeyi, çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyini ölçen algılayıcının verilerinden, yapay aydınlatmanın oluşturduğu aydınlık düzeyinin çıkarılmasıyla bulunmuştur.

Test odası çalışma düzleminde, doğal ışığın oluşturduğu aydınlık düzeyini hesaplamak için, çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyinden, yapay ışığın katkısını çıkartmak gerekir. Yapay ışığın çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyini hesaplamak için, lambaların kontrol gerilimi bilgisinden faydalanılmıştır. Lambaların kontrol gerilimi ile, sistemden çektikleri güç arasındaki bağıntı, lineer kabul edilebilir (Şekil 6.15). Lambaların tam kapasite ile çalışmaları durumunda 10 V olan kontrol gerilim seviyesi, sistemden çekilen 360 W' a karşılık gelmektedir. Lambaların şebekeden çektikleri bağıl güce göre değişen bağıl ışık akısı değerleri,

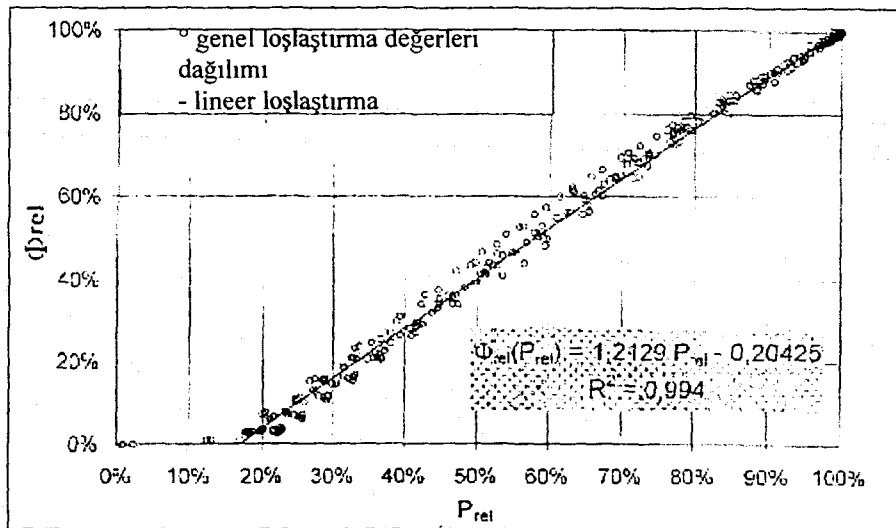
$$P_{rel} = P / 360 \quad (6.1)$$

$$\Phi_{rel} = 1.2129 * P_{rel} - 0.20425 \quad (6.2)$$

bağıntısıyla değişmektedir. P_{rel} şebekeden çekilen bağıl güçtür. Sistem, çalışma düzleminde 500 lx' lük aydınlık düzeyi elde edilecek şekilde düzenlenmiştir. Çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi katkısı, şu bağıntıyla hesaplanır.

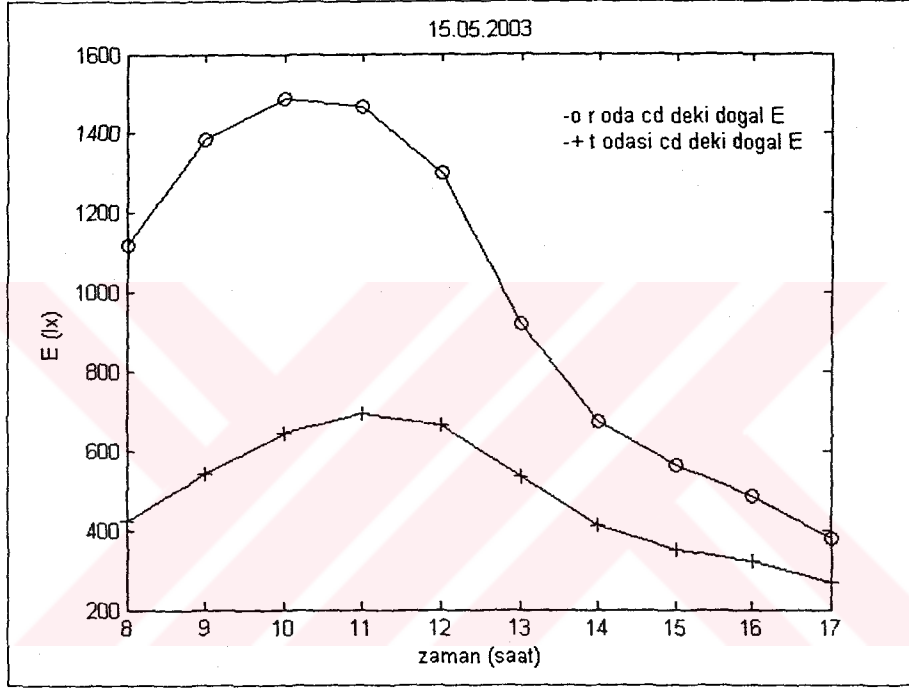
$$E_{max} = 500 \text{ lx} \quad (6.3a)$$

$$E_{yapay} = \Phi_{rel} * E_{max} \quad (6.3b)$$

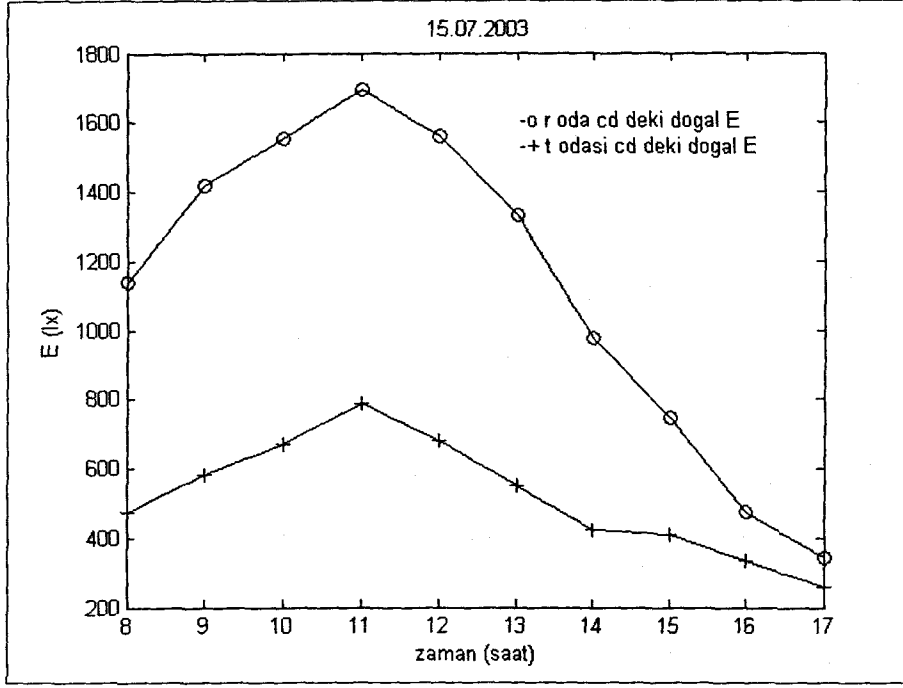


Şekil 6.15 Standart loşlaştırma eğrisi, şebekeden çekilen bağıl güce karşılık ışık kaynaklarının verdiği bağıl ışık akısı [9]

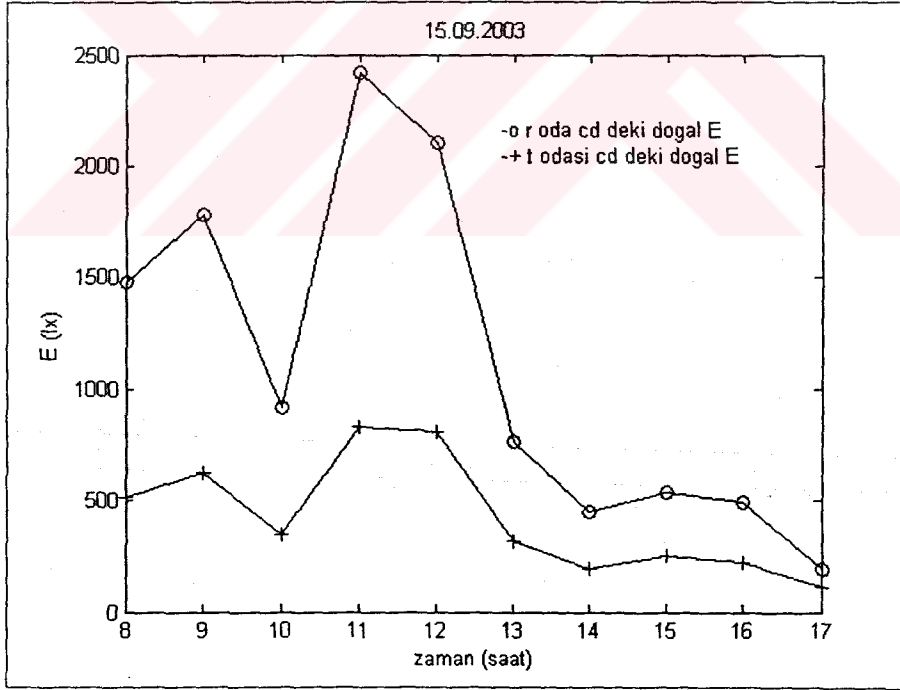
Şekil 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19' da sırasıyla ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerine ait, referans ve test odalarında, çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyinin, zamana göre değişimini gösteren birer örnek verilmiştir. Bu şekillerde, test odası çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyinin, referans odaya oranla daha az olduğu görülmektedir. Bu durum, IRS nin pencerenin üst kısmını kaplamasından kaynaklanmaktadır. Pencerenin üst bölümüne gelen doğal ışık, IRS tarafından tavandan yansıtılarak, hacmin arka bölümüne ulaştırılır. Böylece hacimde doğal ışığın dengeli dağılımı sağlanır, doğal ışık kullanma verimi artırılır.



Şekil 6.16 Referans oda ve test odası çalışma düzlemindeki ölçme noktasındaki doğal aydınlık düzeyi, ölçüm günü: 15.05.2003

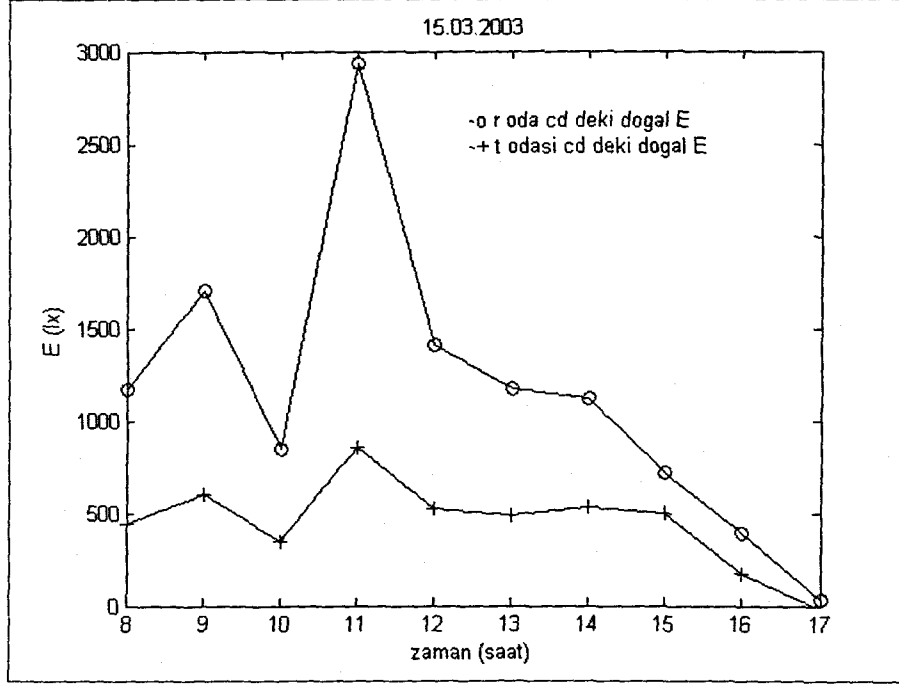


Şekil 6.17 Referans oda ve test odası çalışma düzlemindeki ölçme noktasındaki doğal aydınlık düzeyi, ölçüm günü: 15.07.2003

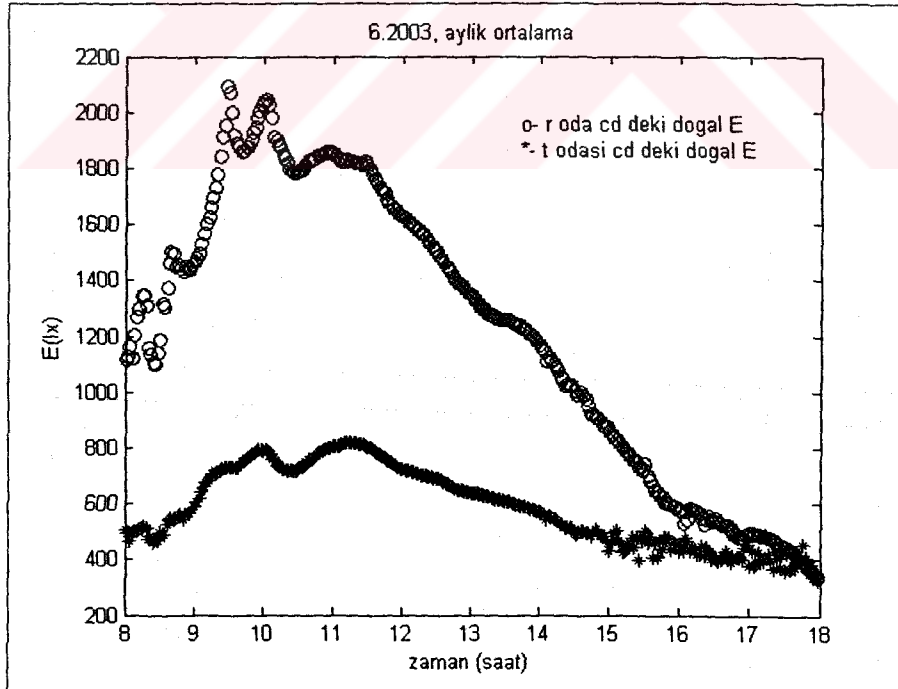


Şekil 6.18 Referans oda ve test odası çalışma düzlemindeki ölçme noktasındaki doğal aydınlık düzeyi, ölçüm günü: 15.09.2003

Şekil 6.20' de Haziran ayına ait çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeylerinin aylık ortalaması verilmiştir.



Şekil 6.19 Referans oda ve test odası çalışma düzlemindeki ölçme noktasındaki doğal aydınlık düzeyi, ölçüm günü: 15.03.2003



Şekil 6.20 Referans oda ve test odası çalışma düzlemindeki ölçme noktasındaki doğal aydınlık düzeylerinin aylık ortalaması, ölçüm ayı: 6.2003

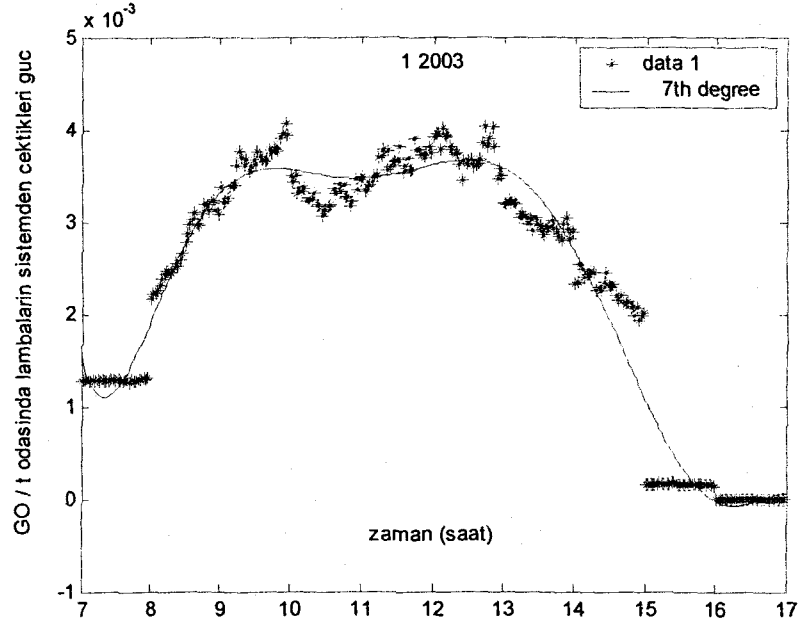
7. GÜNEŞLENME OLASILIĞI İLE SİSTEMİN ŞEBEKEDEN ÇEKTİĞİ GÜÇ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Güneşlenme olasılığı (GO) ile IRS' nin şebekeden çektiği güç arasındaki ilişki incelenmiştir. Tablo 7.1' de verilmiş olan İstanbul' a ait aylık ortalama güneşlenme olasılığı verileri, Kandilli Rasathanesi' nden alınmıştır.

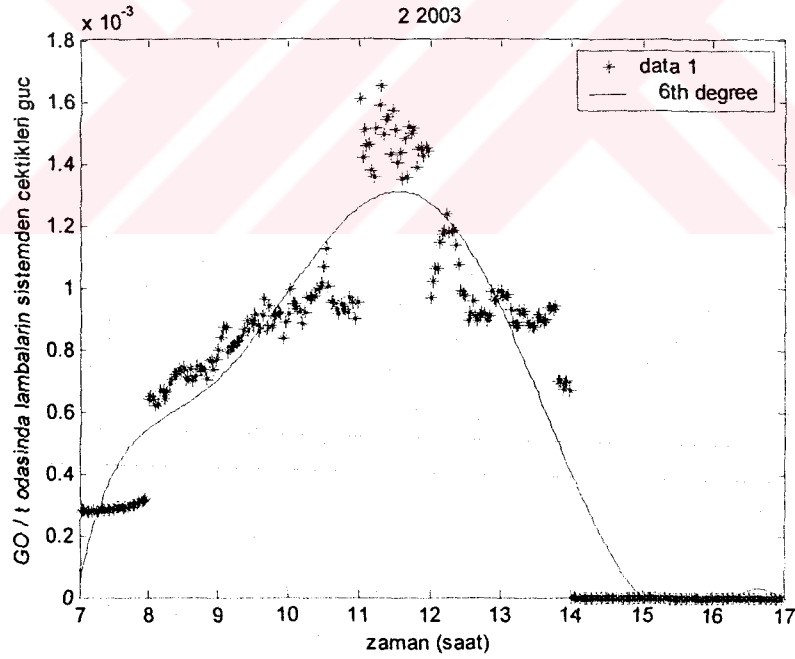
Tablo 7.1 İstanbul' a ait aylık saatlik güneşlenme olasılığı tablosu [10]

saat ay	5- 6	6 - 7	7 - 8	8- 9	9- 10	10- 11	11- 12	12- 13	13- 14	14- 15	15- 16	16- 17	17- 18	18- 19
Ocak	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Şubat	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Mart	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
Nisan	0.0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.1	0.1	0.0
Mayıs	0.0	0.3	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.6	0.2	0.0
Haziran	0.1	0.6	0.3	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	0.7	0.3
Temmuz	0.0	0.4	0.2	0.3	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.7	0.3	0.2
Ağustos	0.0	0.1	0.2	0.4	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.1	0.0	0.0
Eylül	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0
Ekim	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Kasım	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
Aralık	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

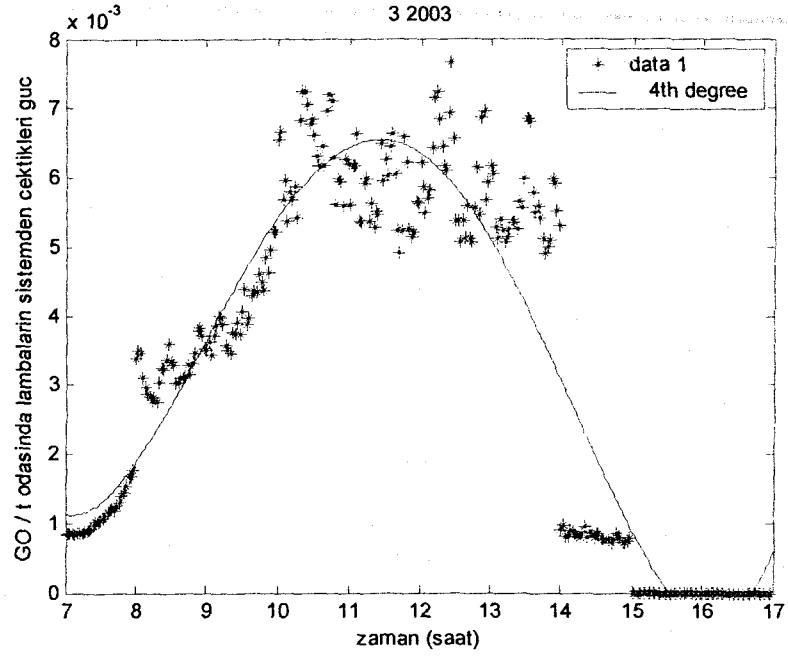
Yapılan çalışmada, güneşlenme olasılığının IRS' nin sistemden çektiği güce oranı hesaplanmış ve bu değerlere eğri uydurulmuştur. GO değerleri bilindiği takdirde, uygun aya ait eğri denkleminde faydalanılarak, IRS' nin şebekeden çektiği ortalama güç değeri hesaplanabilir.



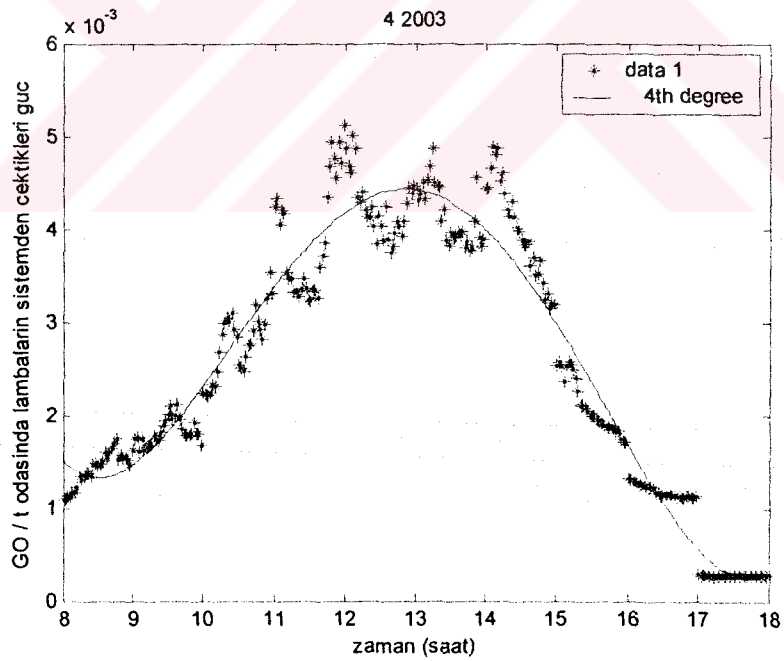
Şekil 7.1 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Ocak 2003



Şekil 7.2 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Şubat 2003

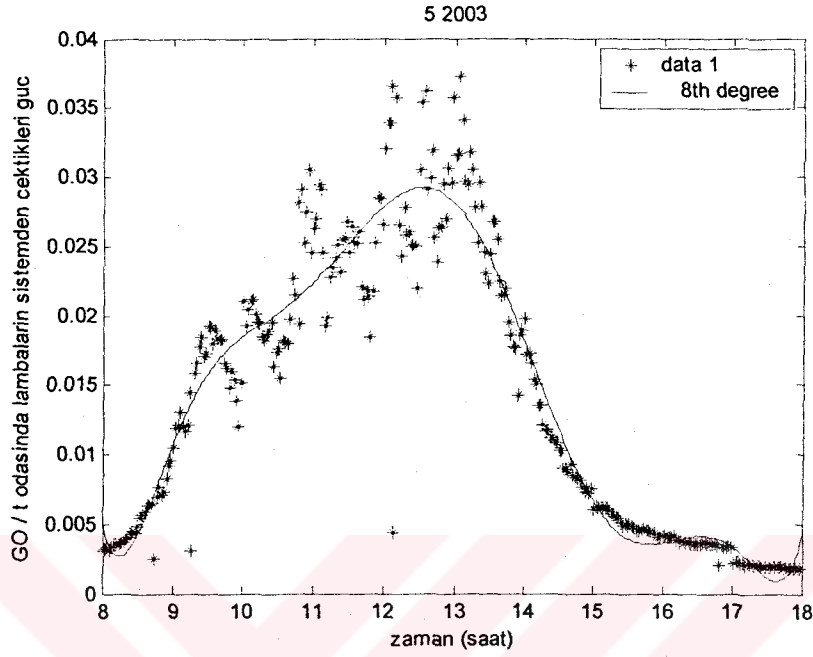


Şekil 7.3 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Mart 2003

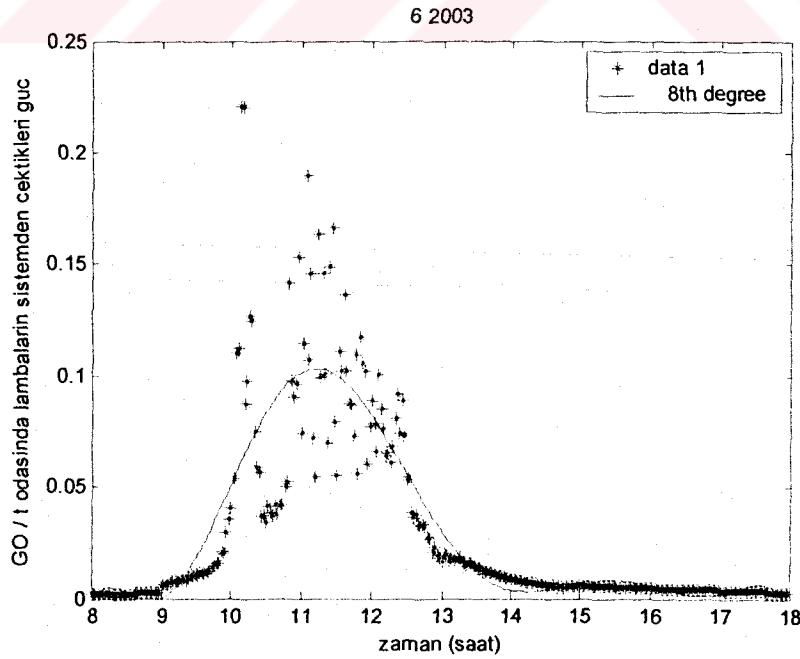


Şekil 7.4 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Nisan 2003

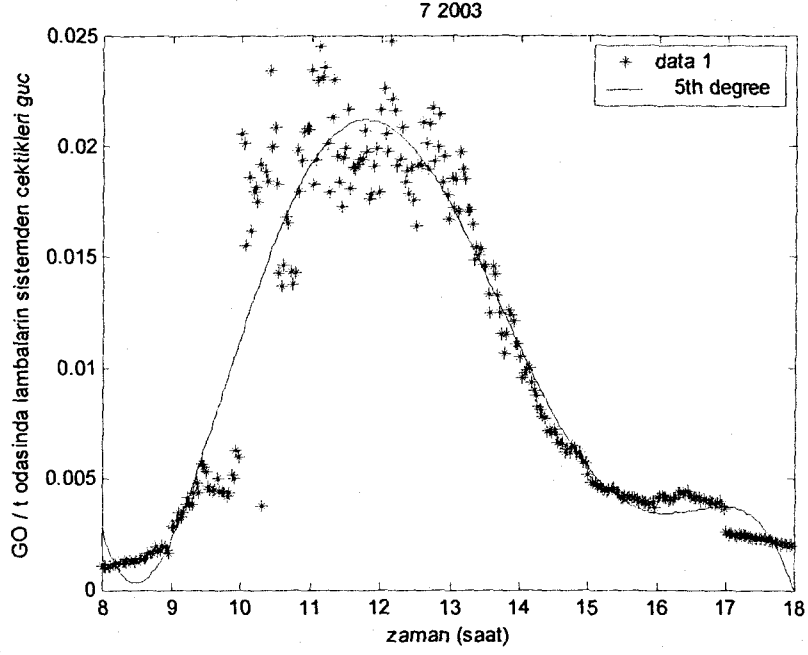
Test odasında şebekeden çekilen güç değeri, ayın tüm günlerinin belirli bir saate ait verilerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 7.1-4' te verilen eğrilerin denklemleri ve katsayıları Tablo 7.2' de verilmiştir.



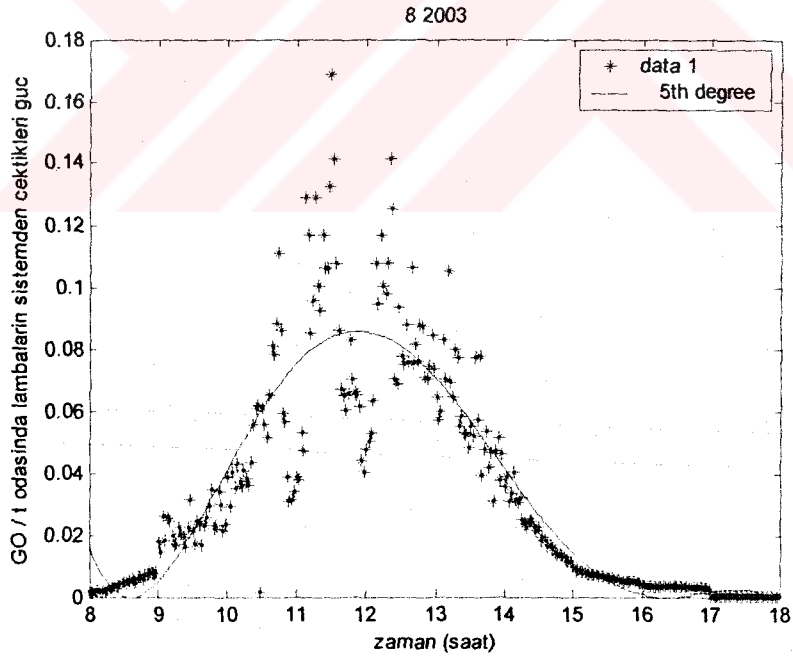
Şekil 7.5 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Mayıs 2003



Şekil 7.6 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Haziran 2003

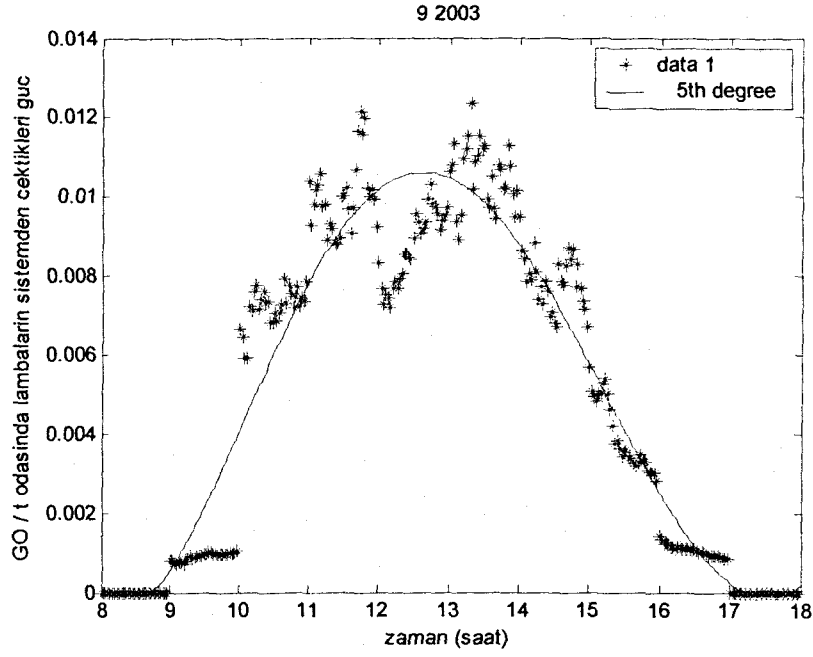


Şekil 7.7 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Temmuz 2003

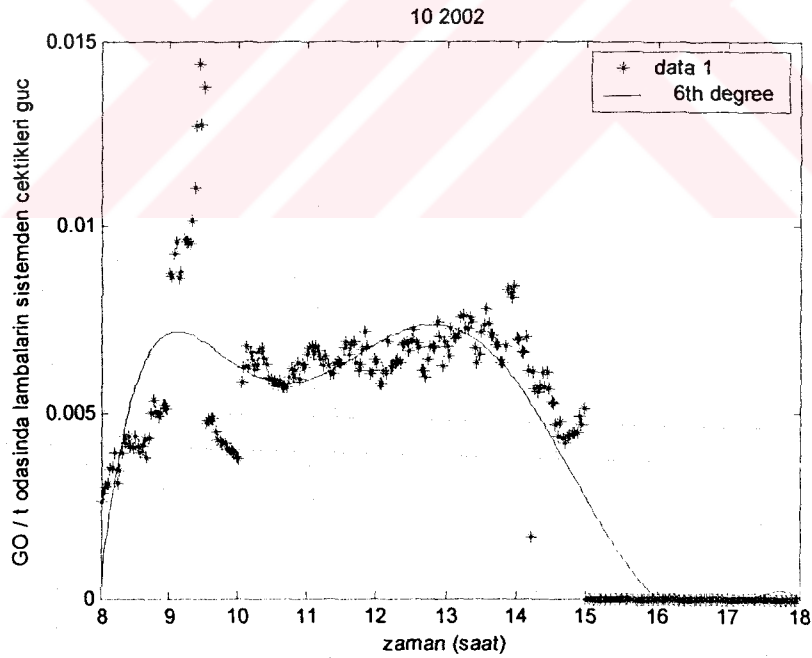


Şekil 7.8 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Ağustos 2003

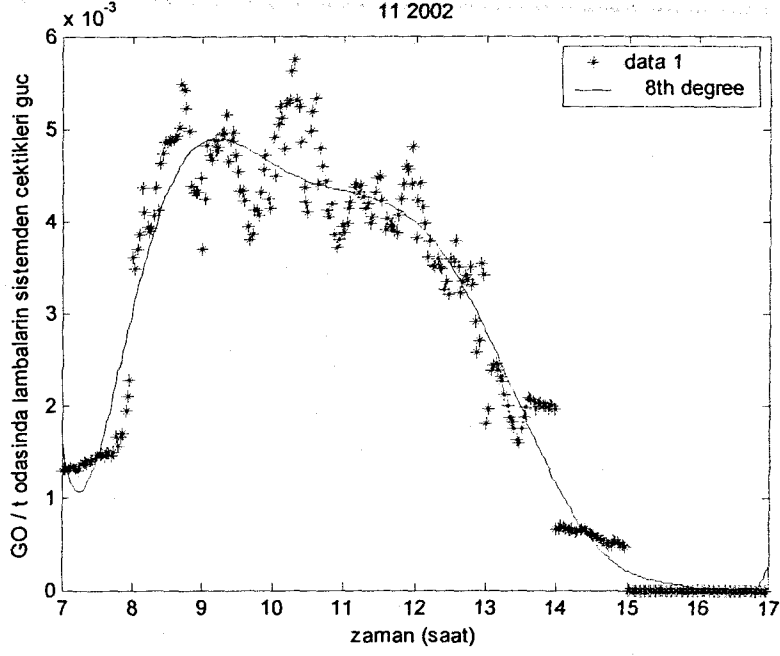
Şekil 7.5-8' te verilen eğrilerin denklemleri ve katsayıları Tablo 7.3' de verilmiştir.



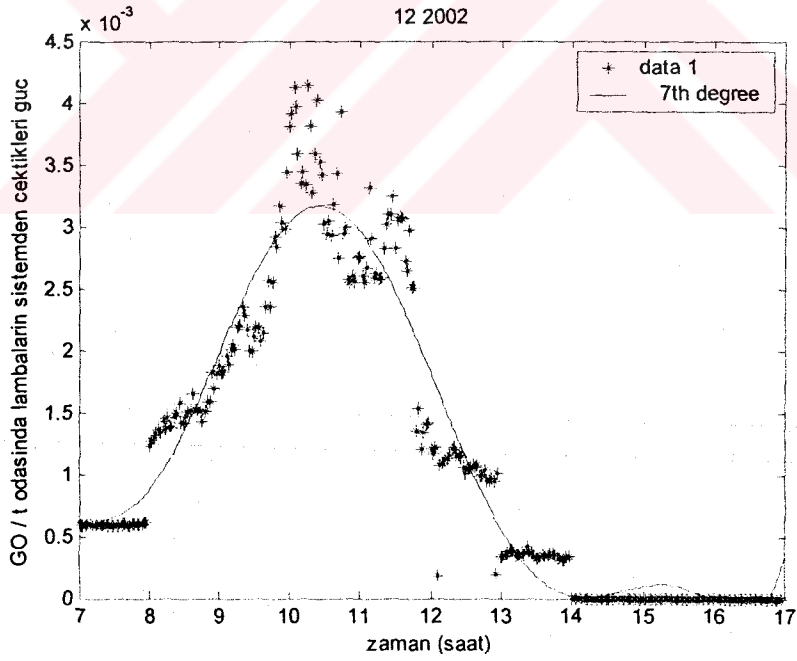
Şekil 7.9 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Eylül 2003



Şekil 7.10 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Ekim 2002



Şekil 7.11 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Kasım 2002



Şekil 7.12 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişimi,
Aralık 2002

Şekil 7.9-12' de verilen eğrilerin denklemleri ve katsayıları Tablo 7.4' de verilmiştir.

Tablo 7.2 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişiminin d denklemleri, yılın ilk dört ayı

Ocak03	Şubat03	Mart03	Nisan03
$y = p1 \cdot x^7 + p2 \cdot x^6 + p3 \cdot x^5 + p4 \cdot x^4 + p5 \cdot x^3 + p6 \cdot x^2 + p7 \cdot x^1 + p8$	$y = p1 \cdot x^6 + p2 \cdot x^5 + p3 \cdot x^4 + p4 \cdot x^3 + p5 \cdot x^2 + p6 \cdot x^1 + p7$	$y = p1 \cdot x^4 + p2 \cdot x^3 + p3 \cdot x^2 + p4 \cdot x^1 + p5$	$y = p1 \cdot x^4 + p2 \cdot x^3 + p3 \cdot x^2 + p4 \cdot x^1 + p5$
Katsayılar: p1 = -2.2515e-007 p2 = 1.9366e-005 p3 = -0.0007028 p4 = 0.013941 p5 = -0.16319 p6 = 1.1266 p7 = -4.2444 p8 = 6.7284	Katsayılar: p1 = -2.5134e-007 p2 = 1.8154e-005 p3 = -0.0005346 p4 = 0.0082094 p5 = -0.069368 p6 = 0.30633 p7 = -0.55302	Katsayılar: p1 = 1.4621e-005 p2 = -0.00067609 p3 = 0.011123 p4 = -0.076631 p5 = 0.18932	Katsayılar: p1 = 8.0601e-006 p2 = -0.00042 p3 = 0.0078653 p4 = -0.062489 p5 = 0.18007

Tablo 7.3 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişiminin denklemleri, yılın ikinci dört ayı

Mayıs03	Haziran03	Temmuz03	Ağustos03
$y = p1 \cdot x^8 + p2 \cdot x^7 + p3 \cdot x^6 + p4 \cdot x^5 + p5 \cdot x^4 + p6 \cdot x^3 + p7 \cdot x^2 + p8 \cdot x^1 + p9$	$y = p1 \cdot x^8 + p2 \cdot x^7 + p3 \cdot x^6 + p4 \cdot x^5 + p5 \cdot x^4 + p6 \cdot x^3 + p7 \cdot x^2 + p8 \cdot x^1 + p9$	$y = p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x^1 + p6$	$y = p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x^1 + p6$
Katsayılar: p1 = 7.4484e-007 p2 = -7.7558e-005 p3 = 0.0034935 p4 = -0.08888 p5 = 1.3966 p6 = -13.878 p7 = 85.163 p8 = -295.04 p9 = 441.81	Katsayılar: p1 = -3.1661e-006 p2 = 0.00033418 p3 = -0.015253 p4 = 0.39292 p5 = -6.2442 p6 = 62.645 p7 = -387.29 p8 = 1348.5 p9 = -2024.5	Katsayılar: p1 = -1.6861e-005 p2 = 0.0011247 p3 = -0.029351 p4 = 0.37332 p5 = -2.3071 p6 = 5.541	Katsayılar: p1 = -6.6887e-005 p2 = 0.0045314 p3 = -0.12001 p4 = 1.548 p5 = -9.6968 p6 = 23.595

Tablo 7.4 Saate göre Güneşlenme olasılığı/Sistemden çekilen güç (W) değişiminin denklemleri, yılın son dört ayı

Eylül03	Ekim02	Kasım02	Aralık02
$y = p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x^1 + p6$	$y = p1 \cdot x^6 + p2 \cdot x^5 + p3 \cdot x^4 + p4 \cdot x^3 + p5 \cdot x^2 + p6 \cdot x^1 + p7$	$y = p1 \cdot x^8 + p2 \cdot x^7 + p3 \cdot x^6 + p4 \cdot x^5 + p5 \cdot x^4 + p6 \cdot x^3 + p7 \cdot x^2 + p8 \cdot x^1 + p9$	$y = p1 \cdot x^7 + p2 \cdot x^6 + p3 \cdot x^5 + p4 \cdot x^4 + p5 \cdot x^3 + p6 \cdot x^2 + p7 \cdot x^1 + p8$
Katsayılar: p1 = -1.6106e-006 p2 = 0.00012855 p3 = -0.0038903 p4 = 0.05575 p5 = -0.37756 p6 = 0.97061	Katsayılar: p1 = -2.263e-006 p2 = 0.00018181 p3 = -0.0059924 p4 = 0.10367 p5 = -0.9927 p6 = 4.9889 p7 = -10.276	Katsayılar: p1 = 9.3724e-008 p2 = -9.2389e-006 p3 = 0.00039365 p4 = -0.0094634 p5 = 0.14032 p6 = -1.3135 p7 = 7.5755 p8 = -24.599 p9 = 34.413	Katsayılar: p1 = 1.7914e-007 p2 = -1.4822e-005 p3 = 0.0005153 p4 = -0.0097438 p5 = 0.10808 p6 = -0.7028 p7 = 2.4809 p8 = -3.6703

8. REFERANS ODA VE TEST ODASININ ENERJİ BAKIMINDAN İNCELENMESİ

Referans odada yapay ışık kullanımına ilişkin yapılan çalışmalarda, ihtiyaç olmasa dahi, yapay aydınlatma kullanıldığı sonucuyla karşılaşılmıştır. Bölüm 6 da bu konuyla ilişkin çalışmalar verilmiştir. Referans oda ile test odası enerji bakımından karşılaştırılırken, referans oda çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi 500 lx' den az olduğunda yapay ışık kullanılacağı kabul edilmiştir. Referans odada yapay aydınlatma için, 40W +9 W gücünde 12 adet floresan lamba kullanılmaktadır. Referans odada şebekeden çekilmesi muhtemel enerji Wh cinsinden hesaplanmıştır.

Test odasında lambaların kontrol gerilimleri ölçülmektedir. Kontrol gerilimi ile şebekeden çekilen güç arasında lineer kabul edilebilecek bir bağıntı mevcuttur. 10 V' luk kontrol gerilimi şebekeden çekilen 360 W' a karşılık gelmektedir. Bu bilgiden yola çıkılarak, test odasında sistemin harcadığı enerji Wh cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 8.1 Referans oda ve test odasına ait enerji değerleri, yılın ilk altı ayı için, Wh cinsinden

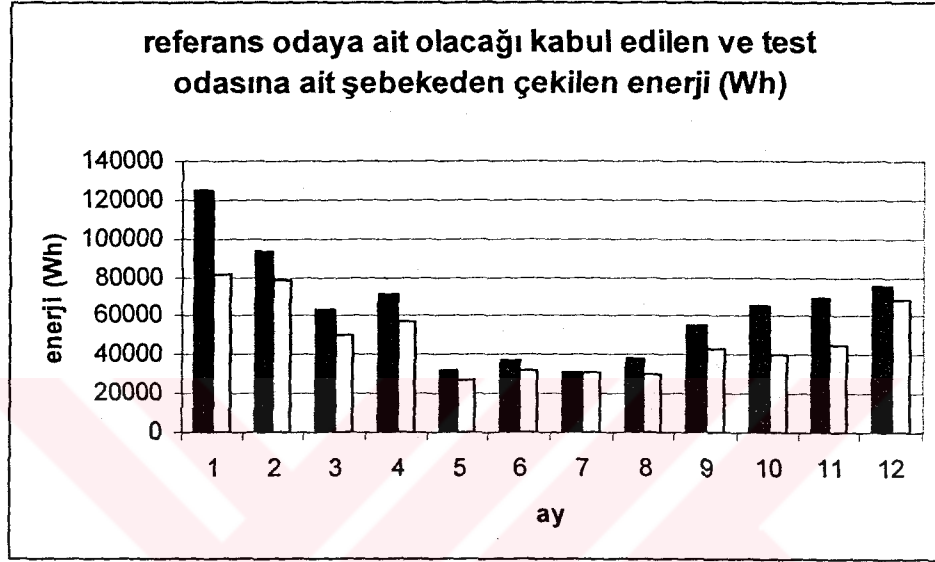
	1	2	3	4	5	6
referans oda	124597.2	93844.8	63739.2	71324.4	32124.38	37220.4
test odası	82022.4	79052.4	49975.2	57880.8	26793.24	32692.56
tasarruf [%]	34	16	22	19	17	12

Tablo 8.2 Referans oda ve test odasına ait enerji değerleri, yılın ikinci altı için, Wh cinsinden

	7	8	9	10	11	12
referans oda	31301.18	38553.22	55624.8	65660.02	69129.22	75067.96
test odası	31013.88	30411.84	43426.8	40514.4	45068.4	68604.24
tasarruf [%]	1	21	22	38	35	9

Tablo 8.3 Mevsimlere göre ve yıllık ortalama % cinsinden tasarruf oranları

bahar ayları	25
kış ayları	19.5
yaz ayları	11.4
yıllık	20.4



Şekil 8.1 Referans oda ve test odasına ait enerji değerleri

Referans odaya ilişkin değerler siyah, test odasına ait değerler gri çubuklarla gösterilmiştir.

Tablo 8.1 ve 8.2’de verilen 10, 11, 12. ay verileri 2002 yılına, 1-9 aylarının verileri 2003 yılına aittirler. Aralık ayına ait 15 günlük veri, ayın diğer yarısında benzer bir gidişat beklendiği için tüm aya tamamlanmıştır. Tablo 8.1 ve 8.2’ de verilen referans odaya ait değerler, referans odada aydınlatma için harcanması muhtemel aylık toplam enerji miktarıdır. 1 floresan lambanın gücü 49W’ tır. Test odası değerleri, test odasında aydınlatma amacıyla harcanan aylık toplam enerji miktarıdır. Tasarruf olarak ifade edilen oran, test odasındaki sistemin, referans odaya göre sağladığı enerji tasarrufudur.

Nisan ayı genellikle Mart ayından daha kapalı göğe sahip olduğundan, bu aya ait harcanan enerjideki artış kabul edilebilirdir.

9. SONUÇLAR

Gelişmiş ülkelerde gelecekte kamu binaları ve ticari binaların kimlik sertifikası edinmelerine ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir. Bu kimliklerde, bina özelliklerine ilişkin bilgiler yer alacaktır. Binalar kimlik bilgilerinin dahil olduğu kategoriye göre sınıflandırılacaklardır. Doğal aydınlatma sistemlerinin kullanılması, pozitif etki yaratacaktır.

Türkiye' nin coğrafi konumu nedeni ile doğal ışık ülkenin doğal kaynakları arasında sayılabilir. Doğal ışıktan maksimum fayda sağlamak için kullanılan yeni sistemler son on sene içerisinde gelişmiş ülkelerde geniş şekilde yer bulurken, Türkiye' de henüz bu konuda bir uygulamanın varlığından söz edilemez. Doğru doğal ışık ve kontrol sistemlerinin birlikte kullanılması, kişilerin çalışma konforunu yükselterek verimlerinin artmasını sağlayacak ve endirekt olarak ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır. İstanbul Teknik Üniversitesi' nde gelişmiş doğal aydınlatma sistemlerinden biri olan Işık Rafi Sistemi kurulmuş ve sistemin verimine ilişkin çalışmalar yapılmıştır.

Işık Rafi Sisteminin pencerenin üst kısmını kaplaması sonucu, pencerenin üst bölümünden direkt güneş ışığının gelmesi önlenerek, kamaşmanın önüne geçilir. Tavandan yansıyan ışığın hacmin derinlerine alınmasıyla, oldukça konforlu bir aydınlatma sağlanmıştır.

Bu tezde, referans oda ve test odasından toplanan verilerin incelenmesiyle elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Referans odaya ilişkin tipik günlerin incelemesi yapılmıştır ve konuya ilişkin grafikler verilmiştir. Test odası ve referans odada çalışma düzleminde sağlanan aydınlık düzeyinin gün içindeki dağılımı incelenmiştir.

Test odasına yerleştirilmiş olan Işık Rafi Sisteminin referans aydınlık düzeyini ne derece tutturduğuna ilişkin istatistikler çıkarılmıştır. Güneşlenme olasılığı verileri ile test odasında şebekeden çekilen güç arasındaki ilişki aylık olarak incelenmiş ve grafiklerle verilmiştir.

Ülkemizde doğal aydınlatma sistemlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması için sistemli bir çalışma yapılmalıdır. Prizmatik panel sistemleri, anidolik sistemler, lazer kesim panel sistemleri, ışık yönlendirici camlar, ışık taşıyıcı sistemler gerçek koşullar altında test edilmeli ve coğrafi koşullara en uygun sistemler belirlenmelidirler.

İstanbul Teknik Üniversitesi' de kurulu sistem incelendiğinde görüldüğü gibi, güneş yüksekliğinin fazla olduğu coğrafi bölgelerde, pencerenin üzerinde dışarıya doğru geniş çıkıntıların olması durumunda, dışardan ek düzenekler kurulmadan yaz aylarında ışık rafi sisteminden yeterince fayda sağlanamamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucu Işık Rafi Sisteminin bahar aylarında % 25, kış aylarında % 19.5, yaz aylarında % 11.4 olmak üzere, yıllık ortalama % 20 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür.

Doğal aydınlatma sistemleri kontrol sistemlerinden bağımsız düşünülemezler. Enerji tasarrufu sağlayan ana etken, kontrol sistemleridir. Doğal aydınlatma sistemleri hacim içindeki aydınlık düzeyi dağılımını düzelterek ve kamaşmayı önleyerek, hacmi kullanan kişilere konforlu bir ortam sağlarlar ve bu kişilerin verimlerinin yükselmesine katkıda bulunurlar. Hacmi kullananların daha verimli çalışmaları ülke ekonomisine endirekt katkıda bulunacaktır. Kontrol sistemi ile sağlanan enerji tasarrufu da ülke ekonomisine bir katkıdır. Bu ikisi birarada göz önüne alındığında, sağlanacak katma değer ihmal edilemeyecek büyüklüklere varabilir.

Kaynaklar

- [1] The IESNA Lighting Handbook, Reference and Application, Ninth Edition, 2000
- [2] An Introduction to Solar Radiation, Muhammed Iqbal, Academic Press, 1983
- [3] BATMAN, A., Elektrik Üretimi İçin Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni bir Yöntem, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Mayıs 2001
- [4] AYDINLI Sırrı, Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und des Tageslichtes, Fortschritt-Berichte der VDI Zeitschriften, Reihe 6, Nr. 79, 1981
- [5] AYRES Frank, Jr, Plane and Spherical Trigonometry, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, 1954
- [6] ENARUN D, Bina Tasarımı Aşamasında Hacim İçindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek İçin Bir Model, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1987
- [7] Çetegen D, Enarun D, Doğal aydınlatma konusundaki yeniliklere bir bakış, 3. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, sayfa 30-35, 23-24 Kasım 2000
- [8] RUBENSTEIN, International Daylighting Conference, Berkeley, 1986
- [9] BELENDORF Heiko, Fortschritt-Berichte der VDI Zeitschriften, 2003
- [10] Kandilli Rasathanesi'nden alınan veriler

ÖZGEÇMİŞ

Duygu ÇETEGEN 1978 yılında Sakarya'da doğdu. Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'ni 1996 yılında bitirdi. AFS Kùltürler arası Öğrenci Değişim Programı'na katılarak bir yıl Hong Kong'da bulundu, Shung Tak Katolik İngiliz Koleji'nde öğrenim gördü. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakùltesi Elektrik Mühendisliğı bölümünden mezun oldu ve aynı bölümde yüksek lisans öğrenime başladı. Ekim 2001'den beri İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğı bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Temmuz-Eylöl 2000'de Christian Albrechts Üniversitesi, Kiel, Almanya'da, IGBT'lerin hard ve soft switching koşullarında dinamik davranışları ve darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile giriş-çıkış kontrolü konularında staj yaptı. Aralık 1999-Kasım 2000 tarihleri arasında Doç. Dr. Dilek Enarun ile Gelişmekte Olan Doğal Aydınlatma Sistemleri üzerinde çalıştı.

Haziran-Temmuz 1998'de Avrupa Konseyi bursu ile Belçika Fransız Topluluğı (Communaute Francaise de Belgique) tarafından organize edilen Fransızca dil kursuna katıldı. Çok iyi derecede İngilizce, iyi derecede Almanca ve orta derecede Fransızca bilgisi vardır.