

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GÜNIŞİĞINA BAĞLI AYDINLATMA KONTROLÜ İLE İÇ AYDINLATMADA ENERJİ TASARRUFUNUN ve İLİŞKİLİ PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Elektrik Y. Müh. Cenk YAVUZ

Enstitü Anabilim Dalı	:	ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı	:	ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanları	:	Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU Yrd. Doç. Dr. Önder GÜLER

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNIŞİĞINA BAĞLI AYDINLATMA KONTROLÜ İLE
İÇ AYDINLATMADA ENERJİ TASARRUFUNUN ve
İLİŞKİLİ PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ**

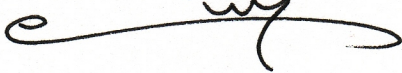
DOKTORA TEZİ

Elektrik Y. Müh. Cenk YAVUZ

Enstitü Anabilim Dalı : **ELEKTRİK – ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 22 / 01 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Ertan YANIKOĞLU
Jüri Başkanı



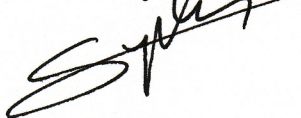
Yrd. Doç. Dr.
Mehmet BAYRAK
Üye



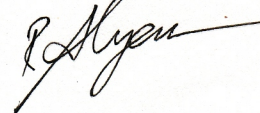
Yrd. Doç. Dr.
İlyas ÇANKAYA
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Ahmet Serdar YILMAZ
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Bora ALBOYACI
Üye



TEŞEKKÜR

Doktora tezimin hazırlanmasında, değerli bilgileri ve fikirleri ile katkı sağlayan, çalışmalarında desteklerini esirgemeyen, her türlü yardımı gösteren, saygıdeğer danışmanlarım Prof. Dr. Ertan Yanıkoğlu ve Yrd. Doç. Dr. Önder Güler'e şükranlarımı sunuyorum.

Bu tez çalışmasının gerçekleşebilmesi için gerekli bütçenin oluşturulması aşamasında desteklerini esirgemeyen ve her daim yanımda olduklarını hissettiren kıymetli hocalarım Prof. Dr. M. Ali Yalçın, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Bayrak ve Yrd. Doç. Dr. Mustafa Turan'a, fikirleri ve farklı yaklaşımı ile tez çalışmamın şekillenmesinde önemli emeği olan Yrd. Doç. Dr. İlyas Çankaya'ya sonsuz teşekkürlerimi iletmek istiyorum. Deney odasının kurulumunda büyük emekleri olan sevgili arkadaşım Hakan Aktaş'a, Mühendislik Fakültesi çalışanları Önder Can, Osman Demir ve Hayrettin Aşık'a, veri temininde önemli katkılarını gördüğüm Sakarya Devlet Meteoroloji İstasyonu Müdürü Akif Mamur'a emekleri, harcadıkları zaman ve destekleri için çok teşekkür ediyorum. Bu çalışmayı gerçekleştirme aşamasında yaşadığım tüm sıkıntılarla, destekleri ve varlıklarıyla baş etmemi sağlayan sevgili annem ve babam Selma – Adnan Yavuz'a, sevgili kuzenlerim Belgin – Cihat Balcı'ya minnettarlığımın boyutunu anlatabilmem imkânsız. Bu sıkıntılı süreçte hep yanımda olan, verdikleri moral destekle çalışmamı bitirebilmemde hayati katkıları olan sevgili dostum Özhan Özkan ve eşi Ebru Özkan ile oda arkadaşım Ahmet Küçüker'in varlıkları bana önemli güç vermiştir, her birine ayrı ayrı teşekkürü borç bilirim. Ayrıca çalışmam boyunca desteklerini eksik etmeyen Murat Yıldız başta olmak üzere tüm mesai arkadaşlarım ve büyüklerime de çok teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışmasını ülkemiz için hayırlı olması dileğiyle birlikte canımdan çok sevdiğim sevgili annem ve babama ithaf ediyorum.

Cenk YAVUZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GÜNIŞİĞİNA BAĞLI AYDINLATMA KONTROLÜ.....	4
2.1. Literatür Taraması.....	4
2.1.1. Enerji tasarrufu ve çevresel faktörler.....	4
2.1.2. Çalışma düzlemi aydınlık düzeyi.....	11
2.1.3. CO ₂ salınımı.....	13
2.2. Tezin Amacı, Kapsamı ve Bilimsel Katkısı.....	15
BÖLÜM 3.	
DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYE İLİŞKİN BİLGİLER.....	18
3.1. Deney Odası ve Deney Düzeneği.....	18
3.2. Deney Odası ve Deney Düzeneği Karakteristikleri.....	20
3.3. Test Aşaması.....	24

BÖLÜM 4.

ENERJİ TASARRUFU, İLİŞKİLİ PARAMETRELER VE AYDINLIK

DÜZEYİ DEĞERLENDİRMELERİ.....	27
4.1. Aylık Enerji Tasarrufları	27
4.2. Enerji Tasarrufu ve Hava Durumu İlişkisi.....	29
4.3. Enerji Tasarrufu ve Oda Sıcaklığı İlişkisi.....	29
4.4. Aydınlik Düzeyi Değerleri.....	32

BÖLÜM 5.

ENERJİ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ.....	37
5.1. Harmonik Bozulma ve Elektriksel Parametrelerin İlişkisi	37
5.2. Güneşine Bağlı Aydınlatma Kontrolünün Enerji Kalitesine Etkileri.....	38
5.2.1. THD ₁ etkisi.....	39
5.2.2. Güç faktöründeki bozulmalar	41
5.2.3. Hava durumunun enerji kalitesi parametrelerine etkisi.....	43

BÖLÜM 6.

KULLANICI MEMNUNİYET ANKETİ	53
6.1. Anket Katılımcılarının Profilleri.....	54
6.2. Katılımcılarının Aydınlatma Şartlarına İlişkin Cevapları.....	57
6.3. Katılımcılarının Seçili Noktalardaki Aydınlatma Değerlendirmeleri	60
6.4. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
---------------------------	----

KAYNAKLAR.....	72
----------------	----

EK A.....	79
-----------	----

EK B.....	85
-----------	----

EK C.....	99
-----------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	105
---------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komitesi
AB	Avrupa Birliği
BRE	Uluslararası Yapı Araştırma Kurumu
CIBSE	Bina Hizmet Mühendisleri Enstitüsü
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
SEE-Stats	Güney Doğu Yenilenebilir Enerji İstatistikleri Kurumu
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
DALI	Dijital adreslenebilir aydınlatma arabirimi
CO ₂	Karbondiyoksit gazı
W	Watt
Wh	Watt – saat
kg	Kilogram
t	Ton
ρ	Yansıtma faktörü
lm	Lümen – ışık akısı
lx	Lüks – aydınlık düzeyi
cd	Kandela – ışık şiddeti
NPD	Normalize güç yoğunluğu
TA	Çalışma alan(lar)ı
nTA	Çalışma yapılmayan alan(lar)
η	Verim ya da etkinlik
P	Güç (Watt)
Φ	Işık akısı
E	Aydınlık düzeyi
LOR	Armatürün verimi ya da ışık verme oranı

U	Düzgünlük faktörü
MF	Bakım – kirlenme faktörü
UDI	Kullanışlı günışığı aydınlık düzeyi
°C	Santigrat derece
°K	Kelvin derece
Q	Soğutma enerjisi
d	Yoğunluk
V	Hacim
c	Özgül ısı
t_x	Oda sıcaklığı
J	Joule
Hx	Hafta adı
$V_{(t)}$	Gerilim
$I_{(t)}$	Akım
V_n	n. harmonik gerilimin efektif değeri
I_n	n. harmonik akımın efektif değeri
V_{ef}	Harmonikli gerilimin etkin değeri
I_{ef}	Harmonikli akımın etkin değeri
THD	Toplam harmonik bozulma
THD _v	Toplam Gerilim Harmoniği Bozulması
THD _i	Toplam Akım Harmoniği Bozulması
GF	Güç faktörü
SPSS	Anket ölçme değerlendirme paket programı
kr	Kuruş
TL	Türk Lirası

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Deney odası yerleşim planı.....	18
Şekil 3.2.	Armatürler ve kontrol sistemi ışık algılayıcılarının tavanda yerleşimi.....	19
Şekil 3.3.	Kontrol ve kayıt ekipmanları.....	20
Şekil 3.4.	Güneşin günlük hareketi.....	26
Şekil 4.1.	Aylık enerji tasarrufu ortalamaları.....	27
Şekil 4.2.	Düzenlenmiş yıllık enerji tasarrufu eğrisi.....	28
Şekil 4.3.	Enerji harcaması ve deney odası sıcaklığı değişimi ilişkisi..	32
Şekil 4.4.	En az enerji tasarrufunun gerçekleştiği haftada aydınlık düzeyi değişimi (9–15 Şubat 2009).....	33
Şekil 4.5.	Enerji tasarrufunun ortalamaya en yakın olduğu haftada aydınlık düzeyi değişimi (2–8 Mart 2009).....	33
Şekil 4.6.	En fazla enerji tasarrufunun gerçekleştiği haftada aydınlık düzeyi değişimi (15–21 Haziran 2009).....	34
Şekil 4.7.	Yazı tahtası üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi (15–21 Eylül 2008).....	35
Şekil 4.8.	Yazı tahtası üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi (1–6 Haziran 2009).....	35
Şekil 4.9.	Yan duvar üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi (15–21 Eylül 2008).....	35
Şekil 4.10.	Yan duvar üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi(1–6 Haziran 2009).....	36
Şekil 5.1.	Aralık ayı THD_I değişimi.....	39
Şekil 5.2.	Mart ayı THD_I değişimi.....	40
Şekil 5.3.	Haziran ayı THD_I değişimi.....	40
Şekil 5.4.	Aralık ayı güç faktörü değişimi.....	42

Şekil 5.5.	Mart ayı güç faktörü değişimi.....	42
Şekil 5.6.	Haziran ayı güç faktörü değişimi.....	42
Şekil 5.7.	Aralık ayı için açık günlerin THD _I değişimi.....	43
Şekil 5.8.	Aralık ayı için karma günlerin THD _I değişimi	44
Şekil 5.9.	Aralık ayı için kapalı günlerin THD _I değişimi	44
Şekil 5.10.	Mart ayı için açık günlerin THD _I değişimi.....	45
Şekil 5.11.	Mart ayı için karma günlerin THD _I değişimi	45
Şekil 5.12.	Mart ayı için kapalı günlerin THD _I değişimi	46
Şekil 5.13.	Haziran ayı için açık günlerin THD _I değişimi.....	46
Şekil 5.14.	Haziran ayı için karma günlerin THD _I değişimi	47
Şekil 5.15.	Aralık ayı için açık günlerin güç faktörü değişimi	47
Şekil 5.16.	Aralık ayı için karma günlerin güç faktörü değişimi	48
Şekil 5.17.	Aralık ayı için kapalı günlerin güç faktörü değişimi	48
Şekil 5.18.	Mart ayı için açık günlerin güç faktörü değişimi	49
Şekil 5.19.	Mart ayı için karma günlerin güç faktörü değişimi	49
Şekil 5.20.	Mart ayı için kapalı günlerin güç faktörü değişimi	50
Şekil 5.21.	Haziran ayı için açık günlerin güç faktörü değişimi	50
Şekil 5.22.	Haziran ayı için karma günlerin güç faktörü değişimi	51
Şekil 6.1.	Katılımcıların cinsiyetleri.....	55
Şekil 6.2.	Katılımcıların yaş aralıkları.....	55
Şekil 6.3.	Katılımcıların eğitim düzeyleri.....	55
Şekil 6.4.	Katılımcıların gelir düzeyleri.....	56
Şekil 6.5.	Katılımcıların görme durumları.....	56
Şekil 6.6.	Ofis çalışanlarının çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi memnuniyetleri.....	64
Şekil 6.7.	Ofis çalışanlarının oda içi görsel konfor memnuniyetleri....	64
Şekil A.1.	Deneyde kullanılan armatürün ışık dağılım eğrisi.....	79
Şekil A.2.	Deneyde kullanılan armatürün ışık dağılım eğrisinden belli açılar için elde edilmiş ışık şiddeti değerleri.....	80
Şekil A.3.	Deneyde kullanılan armatürün askı yüksekliğine göre belli mesafelerde sağlayacağı öngörülen aydınlık düzeyi değerleri.....	80

Şekil A.4.	DALI arabirimi ile elektronik kontrol aygıtının birlikte kullanılması.....	81
Şekil A.5.	DALI arabirimindeki kontrol gerilimi seviyeleri.....	81
Şekil A.6.	DALI arabiriminin kontrolör ve lamba bağlantısı.....	82
Şekil A.7.	DALI arabiriminin 2 lambalı bağlantı şekli.....	82
Şekil A.8.	DALI arabirimi loşlaştırma ayarı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki.....	82
Şekil A.9.	Deneyde kullanılan OSRAM BASIC RC elektronik kontrol aygıtı.....	83
Şekil A.10.	OSRAM BASIC RC ışık ya da hareket algılayıcısız bağlantı şeması.....	83
Şekil A.11.	OSRAM BASIC RC 3 ışık ya da hareket algılayıcılı bağlantı şeması.....	84
Şekil B.1.	1. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	85
Şekil B.2.	2. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	85
Şekil B.3.	3. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	85
Şekil B.4.	4. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	86
Şekil B.5.	5. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	86
Şekil B.6.	6. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	86
Şekil B.7.	7. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	86
Şekil B.8.	8. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	87
Şekil B.9.	9. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	87
Şekil B.10.	10. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	87

Şekil B.11.	11. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	87
Şekil B.12.	12. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	88
Şekil B.13.	13. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	88
Şekil B.14.	14. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	88
Şekil B.15.	15. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	88
Şekil B.16.	16. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	89
Şekil B.17.	17. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	89
Şekil B.18.	18. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	89
Şekil B.19.	19. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	89
Şekil B.20.	20. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	90
Şekil B.21.	21. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	90
Şekil B.22.	22. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	90
Şekil B.23.	23. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	90
Şekil B.24.	24. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	91
Şekil B.25.	25. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	91
Şekil B.26.	26. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	91

Şekil B.27.	27. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	91
Şekil B.28.	28. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	91
Şekil B.29.	29. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	92
Şekil B.30.	30. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	92
Şekil B.31.	31. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	92
Şekil B.32.	32. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	93
Şekil B.33.	33. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	93
Şekil B.34.	34. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	93
Şekil B.35.	35. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	93
Şekil B.36.	36. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	94
Şekil B.37.	37. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	94
Şekil B.38.	38. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	94
Şekil B.39.	39. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	94
Şekil B.40.	40. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	95
Şekil B.41.	41. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	95
Şekil B.42.	42. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	95

Şekil B.43.	43. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	95
Şekil B.44.	44. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	96
Şekil B.45.	45. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	96
Şekil B.46.	46. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	96
Şekil B.47.	47. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	96
Şekil B.48.	48. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	97
Şekil B.49.	49. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	97
Şekil B.50.	50. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	97
Şekil B.51.	51. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	97
Şekil B.52.	52. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	98
Şekil B.53.	53. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri.....	98

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Deney odasına ilişkin aylık enerji verileri.....	28
Tablo 4.2.	Hava durumu ile ilişkilendirilmiş enerji tasarrufu verileri.....	29
Tablo 4.3.	Deney odasındaki sıcaklık değişimleri ve soğutma enerjisi ilişkisi.....	31
Tablo 6.1.	Katılımcıların gözlük – lens kullanma durumları.....	56
Tablo 6.2.	Katılımcıların işlerinde çalıştıkları mekânlar.....	56
Tablo 6.3.	Katılımcıların çalışma mekânlarındaki aydınlatma şartları.....	57
Tablo 6.4.	Katılımcıların çalışma mekânlarındaki çalışma süreleri.....	57
Tablo 6.5.	Katılımcıların bilgisayar karşısında geçirdikleri günlük süre....	57
Tablo 6.6.	Katılımcıların tercih ettikleri çalışma mekânı aydınlatma şartları.....	57
Tablo 6.7.	Katılımcıların çalışma düzlemi görme performansları.....	58
Tablo 6.8.	Katılımcıların odanın görsel konforu ile ilgili değerlendirmeleri.....	58
Tablo 6.9.	Katılımcıların odadaki ışık dağılımı ile ilgili değerlendirmeleri	58
Tablo 6.10.	Katılımcıların görsel atmosferden memnuniyetleri.....	58
Tablo 6.11.	Katılımcıların odadaki ışık rengine ilişkin memnuniyetleri.....	58
Tablo 6.12.	Katılımcıların odadaki aydınlatmanın biyolojik saatlerine etkisi ile ilgili değerlendirmeleri.....	59
Tablo 6.13.	Katılımcıların odadaki aydınlatma şartlarının çalışma performanslarına etkisi ile ilgili değerlendirmeleri.....	59
Tablo 6.14.	Katılımcıların odanın aydınlatma şartlarına ilişkin değerlendirmeleri.....	59
Tablo 6.15.	Katılımcıların odadaki pencerenin boyutları ile ilgili değerlendirmeleri.....	59
Tablo 6.16.	Katılımcıların pencereden baktıklarında dışarının görünüşüne ilişkin değerlendirmeleri.....	60

Tablo 6.17.	Katılımcıların masa üzerindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	60
Tablo 6.18.	Katılımcıların tahtadaki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	60
Tablo 6.19.	Katılımcıların penceredeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri..	60
Tablo 6.20.	Katılımcıların karşı duvardaki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	60
Tablo 6.21.	Katılımcıların 3. bölgedeki tabloda bulunan kırmızı butonun üzerindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	61
Tablo 6.22.	Katılımcıların 3. bölgedeki tabloda bulunan yeşil butonun üzerindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri.....	61
Tablo 6.23.	Anketin güvenilirlik değerlendirmesi.....	61
Tablo 6.24.	Katılımcıların aylık gelir – eğitim düzeyi – aydınlatma tercihi ilişkisi.....	63
Tablo 6.25.	Katılımcılara ilişkin aylık gelir – eğitim düzeyi ve odanın görsel atmosferinden memnuniyeti ilişkisi.....	63
Tablo 6.26.	Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların medyan değerleri.....	65
Tablo 6.27.	Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların açık hava durumu için medyan değerleri.....	65
Tablo 6.28.	Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların karma hava durumu için medyan değerleri.....	65
Tablo 6.29.	Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların kapalı hava durumu için medyan değerleri.....	66

ÖZET

Anahtar kelimeler: Aydınlatma Enerjisi Tasarrufu, Günışığına Bağlı Aydınlatma Sistemleri, Aydınlatma Kontrolü, Enerji Verimliliği, Enerji Kalitesi

Gerek kamu gerekse özel teşebbüse ait ofis binalarında iç aydınlatmada enerji tasarrufu yaklaşımları günümüzde dünyanın her ülkesi için önem arz eder duruma gelmiştir. Enerji kaynakları hızla tükenir ve sera gazı salınımları da yükselirken, aydınlatma enerjisi tasarrufu konusuna daha ciddi yaklaşılma gereksinimi doğmuştur. Bu bağlamda hazırlanan bu doktora tez çalışması, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından finanse edilen ve desteklenen (2007'den beri) “Sakarya Bölgesi için Aydınlatma Enerjisi Tasarrufu Potansiyelinin Belirlenmesi” adındaki proje ile koordineli bir biçimde yürütülmüştür. 2008 yılında kurulan ve aktif hale geçirilen aydınlatma kontrol otomasyon sisteminden elde edilen elektriksel ve iklimsel veriler kullanılarak, ofis binaları için aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli hesaplanmaya çalışılmıştır. İklimlendirme harcamaları göz önünde bulundurulmaksızın ve hareket algılayıcısı kullanmadan deney odasında yaklaşık % 41'lik bir aydınlatma enerjisi tasarrufu gerçekleştirilmiştir. Hava şartlarının değişimi ile tıpkı enerji tasarrufu verilerinin değiştiği gibi enerji kalitesi çıktılarının da değiştiği tespit edilmiştir. 12 aylık deney süresinde elde edilen sonuçlar kullanılarak, enerji tasarrufu potansiyeli ve ilişkili parametreleri değerlendirebilmek ve olumlu yüzdeleri yükseltip olumsuz sonuçları ortadan kaldıracı için bir yol haritası çizilmeye çalışılmıştır.

DETERMINATION OF INTERIOR LIGHTING ENERGY SAVINGS AND RELATED PARAMETERS BY USING DAYLIGHT RESPONSIVE LIGHTING CONTROL

SUMMARY

Key Words: Lighting Energy Savings, Daylight Responsive Systems, Lighting Control, Energy Efficiency, Energy Quality

Energy saving approaches for interior lighting, especially for government and non-government offices, are significant for every country around the world. As energy sources are rapidly depleting and greenhouse gas emissions increase, lighting energy savings should be considered more seriously. A project entitled “Determination of Interior Lighting Energy Saving Potential for Sakarya Region”, which is coordinated with this doctorate thesis study, financed and supported by Sakarya University Scientific Research Projects Commission (since 2007), has started. Using electrical and climatic data collected from the daylight responsive automated lighting control system constructed in 2008, detailed information regarding the energy saving potential of an office building is estimated. Approximately 41% of the lighting energy used in the room over 12 months time can be saved both without taking climatic energy consumption into account and using presence sensors. In accordance with the weather condition changes energy quality parameters are also affected. Using the results obtained in 12 months of experiment time, a clear path may be drawn to determine and increase the energy saving potential.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve enerjiye olan talebin nüfus artışlarına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli olarak artması, enerjinin verimli kullanılması ve tasarrufunu son yılların en güncel konularından biri haline getirmiştir. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların gün geçtikçe artan bir oranda ithal kaynaklardan sağlandığı da bilindiğine göre, elektrik enerjisinin verimli kullanılması, ülke ekonomisinin gelişimi ve dışarıya olan bağımlılığın azalması açısından oldukça büyük önem arz etmektedir.

Enerji tasarrufu konusu aydınlatma alanında önemli bir yer kaplamakta, gelişen üretim teknolojileri ve konu üzerine artan araştırmalar ile birlikte meydana çıkan yeni tasarruf amaçlı aydınlatma aygıtlarının kullanımı dünya çapında özendirilmeye çalışılmaktadır, hatta bu konu ulusal ve uluslararası politikaların bir parçası haline gelmeye başlamıştır. 1974 yılında kurulan Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve 1931’de kurulan ve son dönemde dünya çapındaki faaliyetlerini aydınlatmada enerji verimliliği yönünde çoğaltan Uluslararası Aydınlatma Komitesi’nin (CIE) başı çektiği uluslararası kuruluşlar, Avrupa Birliği (AB), Birleşmiş Milletler (BM), Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) gibi ülke toplulukları ile ortak çalışmalara imza atmaktadırlar [1]. Bu çalışmaların genel amacı aydınlatma enerjisi tüketimini sınırlayarak, verimliliği en üst düzeye çıkarmak olarak nitelenebilir. Örneğin AB’nin bu bağlamda kurduğu ve hâlihazırda yürüttüğü AB Yeşil Işık Programı [2] ile Kanada hükümetinin ulusal bazda hayata geçirdiği Kanada Yeşil Yapı Konseyi [3] bu amaca hizmet eden en güncel örnekler olarak gösterilebilirler.

Ülkemizdeki duruma bakacak olursak özellikle Aydınlatma Türk Milli Komitesi ve Elektrik Mühendisleri Odası’nın aydınlatmada enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda son derece duyarlı olduklarını ve düzenledikleri etkinliklerle ulusal bilincin gelişmesine katkı sağlamaya çalıştıkları görülmektedir. Bu çabaların neden

bu derece önem taşıdığını görmek için ise ulusal ve uluslararası enerji istatistiklerini incelemek faydalı olacaktır. Bu tezin temel konusu olan aydınlatmaya enerjisi açısından yaklaşılacak olunursa aşağıda verilen istatistikler daha fazla önem kazanacaktır. Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.'nin 2008 istatistiklerine göre elektrik tüketimi toplam 198,2 TWh olarak gerçekleşmiş ve bu miktarın yaklaşık % 14'ü ofis binalarında tüketilmiştir [4]. Bu değer % 15 - 20'si arasının da yapay aydınlatma sistemleri tarafından tüketildiği düşünülmektedir. Basit bir hesaplama sadece 2008 yılında ofis binalarında tüketilen aydınlatma enerjisi 5,6 TWh olarak bulunabilir. Uluslararası Yapı Araştırma Kurumu'nun (BRE) 2007'de yayınladığı Enerji Tüketim Rehberi [5] ve Bina Hizmet Mühendisleri Enstitüsü'nün (CIBSE) önceki raporları [6] incelenirse dünya çapında sadece binalardaki aydınlatma enerjisi tüketiminin, ilgili binaların enerji tüketiminin % 20'si ile % 40'ı arasında değiştiği görülür. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise kamu binaları ulusal enerji tüketiminin 3'te birinden fazlasını gerçekleştirmektedir ve yapay aydınlatma bu enerji tüketiminin % 25'i ile % 40'ı arasından sorumludur [7]. Kanada ile ilgili istatistikler ise 2006 yılında kurumsal sektörlerin gerçekleştirdiği enerji tüketiminin % 10'unun aydınlatma kaynaklı olduğunu göstermektedir [8]. Avrupa'da konutlar dışında kalan yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi 160 TWh civarındadır ve bu tüketimin % 40'lık bölümü ise sadece binalarda gerçekleşmektedir [9]. Gelecekteki aydınlatma enerjisi tüketiminin oranına ilişkin en yeni istatistikî bilgi ve öngörü, IEA tarafından 2009 yılında yayınlanan Enerji Verimliği Raporu'nda [10] bulunabilirken bu bilgi Avrupa Parlamentosu'nun (AP) enerji performansına yönelik yönetmelikleri [11] tarafından da desteklenmektedir. Buna göre dünya elektrik tüketiminin % 19'u aydınlatma amaçlı tüketilmektedir ve yapılan araştırmalarda 2030 yılına kadar bu oranın % 80 civarında artıp % 35'ler civarına gelmesi beklenmektedir.

Yukarıda sözü edilen örneklerle bakıldığında hem ülkemiz hem de diğer dünya ülkeleri için aydınlatma enerjisi tüketiminin çok yüksek seviyelerde olduğu ve artan nüfusla beraber bu seviyelerin daha da yukarılara çıkacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu tezin yoğunlaştığı konu olan iç aydınlatmada enerji tasarrufunu sağlayabilmek için, mevcut yapıların aydınlatma koşullarının iyileştirmesi, yeni inşa edilecek yapıların ise enerji verimli bir aydınlatma düzeneğine sahip olacak şekilde projelendirilmesi ve inşa edilmesi gerekmektedir. Mevcut yapılarda aydınlatma

enerjisi tasarrufunu ve enerji verimliliğini sağlayabilecek en ciddi yöntemlerden biri, öncelikle mevcut yapıların aydınlatma sistemlerinin enerji verimli aydınlatma elemanları ile yeniden projelendirilmesi ve mümkün olan yerlerde “günüşiğine bağlı aydınlatma kontrolü” sistemleri ile bütünleştirilmesidir. Mevcut binaların mimarisi küçük değişiklikler dışında kolayca değiştirilemeyeceğinden, özellikle ülkemizin orta ve batı bölgelerinde hava şartlarının çoğunlukla iyi ve yılın genelinde güneşlenme sürelerinin yüksek olduğunu da düşünecek olursak günüşiğine bağlı aydınlatma kontrolü ile önemli tasarruf oranlarına ulaşılabileceği fikri doğmaktadır. Son birkaç yıla kadar günüşiği stratejilerinin inşaat ve mimaride çok fazla göz önünde bulundurulmadığı da hesaba katılırsa, bu yöntem kullanılarak elde edilebilecek olan tasarruf oranlarının ne kadar büyük olabileceği tasvir edilebilir.

Günüşiği insanlar ya da iç mekân kullanıcıları için çok önemli bir gereksinimdir. Yapılan birçok çalışma günüşiği varlığı ya da yokluğunun insan davranışlarını farklı şekillerde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. İnsanın görebilme ve çevresel birçok uyarıcıyı algılayabilmesi için görmeye, en iyi görme koşullarına ulaşabilmesi için de günüşiğine ihtiyacı vardır [1]. Bu nedenle günüşiğinin olmadığı ortamlarda uzun süre çalışmak kişilerin psikolojik ve / veya fizyolojik durumlarını etkileyebilir. Gün ışığı ile aydınlatmanın öğrenci performansını ve sağlığını olumlu yönde etkilediğini tespit etmiş çalışmalar bunun en önemli kanıtı olarak verilebilir [12].

Anlatılanlar ışığında, aydınlatmada enerji tasarrufu konusuna daha geniş bir açıdan bakmayı amaçlayan, günüşiğine bağlı aydınlatma kontrolü, bina yönü ve konumu, aydınlatma amaçlı gün ışığının hacim içinde oluşturduğu iklimsel değişiklikler ve buna bağlı iklimlendirme harcamaları – tüketimleri, günüşiğine bağlı sistemin enerji kalitesine etkileri, kullanıcı tercihleri, konfor gereksinimleri ve tabii ki hem aydınlatma enerjisinden tasarruf hem de reel tasarruf edebilme potansiyellerini ortaya çıkarmayı amaçlayan bir çalışma yapılmasına karar verilmiş ve bu tez çalışması başlatılmıştır. Çalışma 2007 Eylül ayından itibaren Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından da desteklenmiş ve 2007-01-00-001 proje numarası altında finanse edilmiştir.

BÖLÜM 2. GÜNIŞIĞINA BAĞLI AYDINLATMA KONTROLÜ

Bu bölümde 1. Bölüm’de önemi anlatılan günüşiğına bağı aydınlatma kontrolüne ilişkin, bugüne kadar yapılmış, literatürde önemli yer kaplayan ve öne çıkmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda çok farklı günüşiğı kullanım teknikleri üzerinde durulmuştur. Loşlaştırma kontrolünden, otomatik açma-kapama kontrolüne, manüel anahtarlama, gölgelendirme ekipmanlarının kullanılmasına kadar birçok farklı konu araştırılmıştır. Ayrıca günüşiğı alımında bina yönü ve geometrisinin rolü, pencere camlarının ışık geçirgenliğinin etkisi ve harici engeller gibi birçok etken de göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda literatür taraması ile hem mevcut yöntemlerin durumları hem de eksik kaldığı yönleri ortaya konulacaktır. Ayrıca bu sonuçlar tezin amaç, kapsam ve faydasının daha net çizgilerle belirlenmesine yardımcı olacaktır.

2.1. Literatür Taraması

2.1.1. Enerji tasarrufu ve çevresel faktörler

İsviçre’nin Lozan kentinde LESO binasında yapılan bir deneyde aydınlatma sisteminin “ortalama anahtarlama olasılığı” değişen parıltıya göre ölçülmeye çalışılmıştır. Deney kapsamında odaya – giriş çıkışlar göz önüne alınmamıştır yani hareket algılayıcısı ile ilişkilendirilmiş bir çalışma olmamıştır. Belirlenen zaman aralıklarında kullanıcılara günüşiğından da faydalanan bir çalışma ortamında açma kapama yaptırılmıştır. Sonuç olarak kullanıcıların loşlaştırma tabanlı kontrolü daha sıklıkla tercih ettikleri ve parıltı değişimlerine göre bu seçeneği kullandıkları, aydınlık düzeyi yükseldikçe aydınlatma kontrol sistemini kullanma eğilimlerinin düştüğü ortaya çıkmıştır. Ayrıca kontrol ekipmanlarının kullanıcılara daha uzak mesafelerde olması durumunda, kullanıcıların aydınlatma kontrollerini daha az sıklıkla kullandıkları belirlenmiştir [13].

Kanada’da yapılan bir çalışmada 2 büyük binanın iç avlularında günışığına bağlı 2 farklı aydınlatma kontrol sistemi kullanılarak aydınlatma enerjisi tasarrufu yapılması hedeflenmiştir. Sürekli loşlaştırma ve otomatik açma-kapama kontrollü bu sistemlerle yıllık bazda sırasıyla % 46 ve % 17 oranında tasarruf sağlanmıştır. Hesaplamalar, yıllık bazda gün ışığına bağlı sistemlerle, benzeri ortamlarda % 30 ila % 65 arası tasarrufun mümkün olduğunu göstermiştir [14].

Avrupa’nın farklı şehirleri için farklı aydınlatma sistemlerinin karşılaştırılmasının amaçlandığı çalışmalar da mevcuttur. Örneğin 2008’de gerçekleştirilen bir çalışmada; Atina’da güney yönlü bir ofiste yıllık % 65, Stockholm’de kuzey yönlü bir ofiste ise yıllık % 45 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu görülmüştür. Pencere yönü, dış engeller ve hareket algılayıcısı kullanılıp kullanılmamasının bu oranı aşağıya çekebileceği söylenmektedir. 0–10 V balastlar yerine DALI balast kullanımının elektrik enerjisi parametreleri bakımından sağlayacağı faydaların fazlalığından da bahsedilmekte ve DALI balast kullanımı özendirilmektedir [15].

New York’ta yaklaşık 400 m² büyüklüğündeki bir iç avluda gerçekleştirilen deneysel çalışmada kullanılabilir alan 2 çalışma parçasına bölünmüş ve “Alan A” 1–10 V açık çevrim orantısal kontrol edilebilir balastlarla, “Alan B” ise kapalı çevrim DALI balastlarla tesis edilmiştir. Her iki alan da çok sayıda ışık algılayıcısı ile donatılmış, kanallara ayrılmış aydınlatma aygıtları ile aydınlatılmış ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi ile kontrol edilmiştir. Alan A batı yönlü pencerelere, Alan B ise güney yönlü pencerelere sahiptir. 9 ay boyunca süren deney sonunda Alan A’da % 30, Alan B’de ise % 50–60 arası aydınlatma enerjisi tasarrufuna ulaşılmıştır. Bina, oda yönü ve kullanılan kontrol aygıtlarının (balast çeşidi gibi) günışığına bağlı aydınlatma kontrolünde rolünün son derece önemli olduğu vurgulanmıştır [16].

Kullanıcı kontrollü loşlaştırılabilir aydınlatma sistemlerinin incelendiği bir diğer çalışmada, 4 farklı aydınlatma sistemine dair kullanıcıların verdikleri tepkiler ve sonunda elde edilen ortalama enerji tasarruf oranları irdelenmiştir. Aydınlatma enerjisi tasarruf oranı deneyin yapıldığı 5 ya da 6 aylık dönemlere göre %54 olarak tespit edilmiştir. Enerji tasarrufu bakımından en büyük sıkıntı kullanıcıların iş

çıkışında ışıkları kapatmayı unutması olarak görülmüş ve bu nedenle özellikle ofis çalışanları için otomatik açma – kapama tertibatının gerekliliğinden ve enerji tasarrufunda hareket algılayıcısının öneminden bahsedilmiştir [17].

İstanbul’da bir ofiste günışığına bağlı otomatik loşlaştırma özelliğine sahip aydınlatma kontrol sistemi eşliğinde yapılan bir çalışmada, yıllık bazda % 31 civarında bir aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu gösterilmiştir. Ayrıca hava şartlarına bağlı olarak bu tasarruf oranlarının değiştiği de belirtilmiştir [18].

Kanada’da 83 m²’lik bir alana sahip, içinde 6 adet açık ofis bulunan bir büro katında yapılan inceleme çalışmasında, çalışanların, içinde bulunulan ortamın aydınlatmasının, katın geri kalanıyla aydınlatma açısından uyum içerisinde olmaması durumunda hoşnutsuzluklarının ortaya çıktığı görülmüştür. Aydınlik dağılımının dengeli ya da dengesiz olmasının kullanıcıların ruh hallerini doğrudan etkilediği saptanmıştır. Bu da günışığına bağlı aydınlatma kontrolü yaparken oda ya da mekân içindeki noktalar ya da çalışma düzlemleri arasında çok fazla aydınlık düzeyi farkı olmaması gerektiğini gösteren bir kanıttır [19].

Kanada’da yapılan bir diğer çalışmada yazarlar çalışmalarını gerçekleştirdikleri kampus içinde farklı sınıflara ışık algılayıcıları, hareket algılayıcıları ve aydınlatma sistemini farklı senaryolarda çalıştırabilen duvar anahtarları yerleştirerek bu ekipmanların aydınlatma tasarrufuna etkisini araştırmışlar ve kişisel olarak elle yapılacak aydınlatma ayarlamalarıyla % 50’ler civarında bir tasarruf potansiyelinin mevcut olduğunu ortaya koymuşlardır [20].

Galasiu ve arkadaşlarının 2007’de yaptığı çalışmada, açık ofislerde hareket algılayıcıları, ışık algılayıcıları ve kişisel loşlaştırma kontrolünün bir arada kullanılmasıyla aydınlatma enerjisinden % 70’lere varan oranda tasarrufun mümkün olabileceği belirtilmiştir [21].

Amerika Birleşik Devletleri’nde yapılan bir diğer çalışmada, hareket algılayıcısı ve kişisel anahtarlama olanağı sunulan bir aydınlatma kontrol sisteminde sözü geçen bileşenlerin sırasıyla % 46 ve % 15 olmak üzere aydınlatma enerjisi tasarrufuna

katkısıyla toplamda % 61 gibi bir tasarruf oranına erişilebileceği ifade edilmektedir. [22].

İstanbul'da yapılan bir diğer çalışmada yazarlar farklı hava koşulları altında, gün ışına bağlı otomatik loşlaştırmalı aydınlatma kontrol sistemlerinin davranışını incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda hava koşullarına göre günlük bazda % 20 ile %46 arasında enerji tasarrufunun mümkün olduğu bilgisine ulaşılmıştır [23].

Tropik bir iklime sahip olan Hong Kong'da yapılan 16 haftalık bir çalışmada, yan cam vasıtasıyla günışığı alan bir ofis, yüksek frekanslı loşlaştırma özellikli balastlarla donatılmış flüoresan lambalı armatürlerle aydınlatılmıştır. Günışığı tabanlı aydınlatma kontrol sisteminin kullanılmasıyla 16 haftalık süreçte % 40'a yaklaşan aydınlatma enerjisi tasarrufu elde edilmiştir. Yıllık bazda da gerekli şartlar sağlandığı takdirde % 40 oranındaki tasarrufların elde edilebilmesinin mümkün olabileceği belirtilmektedir [24].

Kanada'da 40 katılımcı ile gerçekleştirilen bir deney – anket çalışmasında, katılımcılar 1 işgünlerini kurulan laboratuvar'da geçirmiş ve kendilerinden her 30 dakikada bir ofisteki aydınlatmayı manüel loşlaştırma özelliğine sahip aydınlatma kontrol sistemi üzerinden ayarlamaları istenmiştir. Bu işlem sırasında kayıttaki dijital bir kamera yardımıyla odadaki aydınlık düzeyi ve parıltı haritaları çıkartılmıştır. Özellikle çalışma düzlemine düşen günışığı miktarı arttıkça enerji tasarrufunun da arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda katılımcıların loşlaştırma özelliğini sıklıkla kullandığı, odaya giren gün ışığının da etkisiyle % 25'e varan tasarrufların gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada pencereler içten bir ekranlamaya tabi tutulmuş ve içeri giren gün ışığının kamaşma gibi istenmeyen etkilerde bulunması önlenmeye çalışılmıştır [25].

Hong Kong'da yapılan bir diğer çalışmada günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri kullanılarak ofislerde % 50'lere varan aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu söylenmektedir. Aynı zamanda içeri giren günışığı dolayısıyla ofis içerisindeki sıcaklığın artması nedeniyle soğutma yükleri de artmaktadır. Bu nedenle

bu etkiyi de aza indirecek tasarımların gerekliliği de bahsedilen konulardan biri olmuştur [26].

Yukarıda da söylendiği üzere tropik bir iklime sahip olan Hong Kong'da 7 aylık süreçte yapılan bir çalışmada yüksek frekanslı loşlaştırmalı aydınlatma kontrol sisteminin kullanılmasıyla % 33 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceği saptanmıştır [27].

Güney Kore'de yapılan bir çalışmada, günışığına duyarlı sistemlerin geliştirilmesi üzerine gidilmiştir. Yazarların tavsiye ettiği böylesi bir sistemin işlerlik kazanması durumunda, uygulamanın yapılacağı yere göre % 30 ila % 70 arasında aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken güneş engelleyici ve gölgeleyici panjur, perde tipi mekanizmalar hesaba katılmamıştır [28].

ABD'nin 4 farklı coğrafi bölgesinde yapılan incelemelerde ışık geçirme oranı % 50'nin altında olan pencerelere sahip binalarda, pencere sayısının arttırılmasının gün ışığına bağlı enerji tasarrufuna olumlu etkisinin çok düşük olduğu görülmüştür. Enerji tasarrufuna asıl etki yapan faktörün gün ışığı geçirgenliği ve pencere alanı olduğu saptanmıştır. Yukarıda sözü edilen pencere tiplerine sahip binalardaki pencerelerin daha fazla gün ışığı alır hale getirilmesinin, yani gün ışığı geçirgenliği ve pencere alanının birlikte arttırılmasının, gün ışığına bağlı loşlaştırılabilir aydınlatma kontrol sistemleri vasıtasıyla enerji tasarrufuna önemli etkiler yapacağı belirtilmiştir [29].

Malezya'da yapılan bir diğer çalışmada ise gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri kullanarak yıllık bazda yaklaşık % 30 oranında bir aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu görülmüştür [30].

Hong Kong'ta kamu binalarına ilişkin yapılan bir incelemede ofislerin 3'te birinin son derece verimli gün ışığı aldığı, ancak binaların iç tarafında kalan ve yeterince gün ışığı alamayacak konumda olan ofislerin de geri kalan oranı oluşturduğu ortaya çıkmıştır. Sözü geçen bu ofislerde ışık taşıma ya da gün ışığı yansıtma aygıtlarının

kullanılması durumunda % 25 civarında aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu saptanmıştır. Yapılan incelemelerde binaların ön yüzlerinin ışık geçirgenliği ve gün ışığı kullanımı bakımından aktif rol oynayacak bir şekilde tasarlanması ve gün ışına bağlı aydınlatma kontrolü sistemlerinin kullanılması durumunda ciddi enerji tasarrufu yapılabileceği söylenmektedir [31].

Yazarlar incelemeleri sonucunda günışığı tasarımını etkileyen 5 temel parametrenin şunlar olduğuna kanaat getirmişlerdir:

- 1) Yapı (bina) alanı
- 2) Bina yönü
- 3) Pencere geçirgenliği
- 4) Gölgeleme donanımları
- 5) İç mekân rengi

İsrail’de 3 farklı pencere sistemine günışığı tabanlı aydınlatma kontrol sistemi uygulaması yapılarak bu sistemlerin etkileri kıyaslanmıştır. Bu sistemler herhangi bir perde ya da gölgelendirme ekipmanı olmayan çıplak pencere, kullanıcı kontrollü jaluzi takılı bir pencere ve anidolik yoğunlaştırıcıdır. En yüksek aydınlık düzeylerine anidolik yoğunlaştırıcı ile ulaşılmaktadır, ancak oda içinde yoğun kamaşma ve yüksek parıltılar oluşmaktadır. En verimli sistemin, kamaşmaların en az olduğu 2. sistem olmasına karşın tüm sistemin tek bir ışık algılayıcısı ile kontrolünün aydınlık düzeyleri bakımından oda içinde dengesizliklere yol açtığı saptanmıştır. Bu nedenle ilave pencerelerle bu sorunun giderilebileceğinin düşünüldüğü söylenmektedir [32].

Zinzi, akıllı pencereler olarak da adlandırılan elektrokromatik pencerelerle ilgili yaptığı çalışmada, belli bir çalışma süresi boyunca bu pencerelerin bulunduğu ortamda günlük işlerini yürüten katılımcıların görüşlerine başvurmuştur. Bu deneysel çalışma bir anketle desteklenmiş sonuçta ışık geçirgenliği istenilen şekilde ayarlanabilen elektrokromatik pencerelerin bulunduğu ortamda çalışanların daha düzgün aydınlık düzeyleri ve daha iyi görsel konfor yakaladıkları anlaşılmıştır. Kullanıcıların dışarıdan gelen gün ışığı miktarı ne olursa olsun çalışma ortamlarında sabit aydınlık düzeyleri istedikleri belirlenmiştir [33].

Littlefair'in bizzat gerçekleştirdiği ve içinde bulunduğu çalışmalarda, ofis çalışanlarının yüksek oranda ekranlanmış ofislerde aydınlatma sistemlerinin yetersiz kaldıklarından yakındıklarını belirtmiş, çalışanların günışığı taleplerinden bahsetmiştir [34,35].

Kutlu ve arkadaşları yaptıkları çalışmanın sonucunda okullarda aydınlatmada enerji tasarrufu sağlayabilmek, kamaşma ve oda içindeki karanlık noktaların önüne geçebilmek için uygun panjur sistemleri ve gün ışığına bağlı olarak çalışan aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılmasını tavsiye etmektedirler. Yazarlar okullarda sınıfların çoğunlukla yan pencerelerle aydınlatılmasının görsel konfor sorunlarına neden olduğunu ve bunun aydınlatma enerjisi tasarrufunun önüne çıkan en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir [36].

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde yapılan çalışmada mesai saatleri içinde çalışanların – ofis elemanlarının öğle arası ve diğer gereksinimleri nedeniyle ortalama 1,5 – 2 saat arasında ofislerinde bulunmadıkları ve büyük bir çoğunluğunun ofislerini terk ederken yapay aydınlatma sistemini kapatmadıkları tespit edilmiştir. Kısa süreli bir pilot uygulamayla çalışma ofislerinde günlük % 20 oranında aydınlatma enerjisinin sadece hareket algılayıcısı kullanarak tasarruf edilebileceği saptanmıştır [37].

Jennings ve Blanc'ın çalışmaları da hareket algılayıcıları üzerine yoğunlaşmış ve yazarlar bu algılayıcıların kullanıldığı ofis ortamlarında % 20 ila % 26 arası daha fazla aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlandığını ortaya koymuşlardır [38].

İngiltere'de artan CO₂ salınımlarının azaltılabilmesi için adaptif yöntemlerin kullanılıp kullanılmayacağı ve kullanıcıların bu kontroller hakkında neler düşündüğünü saptayabilmek amacıyla 1950'lerden kalma, 2002'de restore edilmiş bir binada anket çalışması yapılmıştır. Çalışmada aktif ve pasif olmak üzere aydınlatmaya ilişkin adaptif kontroller tanımlanmıştır. Buna göre; kullanıcı kontrollü gölgeleme sistemleri ve farklı yerlerden açma-kapama yapılabilen aydınlatma sistemleri aktif adaptif, otomatik kontrollü gölgeleme sistemleri ve zaman ayarlı, gün ışığına bağımlı veya hareket algılayıcılı aydınlatma uygulamaları pasif adaptif olarak

sınıflandırılmıştır. İncelemeler sonucunda aktif adaptif yöntemlerin CO₂ salınımlarını olumsuz yönde etkilediği ve enerji tasarrufu bakımından pasif adaptif yöntemlere göre daha geride oldukları gösterilmiştir. Pasif adaptif sistemler ise daha fazla enerji tasarrufunu mümkün kılmakta ve CO₂ salınım oranını azaltmaktadır [39].

Galasiu ve Veitch geçmiş yıllarda yapılan bazı aydınlatma kontrolü çalışmalarını inceledikten sonra şu kaniya varmışlardır. Özellikle kamu binalarında enerji verimliliğini artırmanın en önemli yollarından biri günışığının şu anki durumdan daha iyi bir şekilde kullanılmasıdır. Fakat bunun ancak, kullanıcıların görsel ve psikolojik konforları da göz önünde bulundurularak, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin ihtiyaca göre tasarlanması ve gerçekleştirilmesiyle mümkün olabileceği vurgulanmıştır [40].

2.1.2. Çalışma düzlemi aydınlık düzeyi

Bu tezde incelenen çalışmalar özellikle ofisler üzerinde yoğunlaşmıştır. Konu günışığına bağlı sistemler olunca da ofis aydınlatmasının tanımı ve günışığı ile yapay aydınlatmanın bir arada kullanıldığı durumlarda kullanıcıların aydınlatma tercihleri ön plana çıkmaktadır. Ofis aydınlatmasının genel amacı konforlu ve verimli bir çalışma ortamı sağlamaktır. Görsel ve psikolojik konfor şartları kullanıcının ruh halini iyileştirip işe olan adaptasyonunu attırabilir ya da bunların normalin altına düşmesini engeller biçimde olmalıdır ki kullanıcı mümkün olan en yüksek performansını gösterebilsin ve iş verimliliği maksimum seviyelere ulaşabilsin.

Aydınlatma standartları son 100 yılda teknolojinin gelişimi ve bunun aydınlatma endüstrisine etkileriyle birlikte fazlasıyla değişmiştir. 1910'lu yıllarda okul ve ofis binalarında dikkat gerektiren işler için tavsiye edilen minimum ortalama aydınlık düzeyleri 50 lüks seviyesindeyken günümüzde bu değer 500 lüks seviyesine kadar ulaşmıştır [41]. CIBSE'nin 1994'te yayınlamış olduğu iç aydınlatma rehberinde ofis alanları için tavsiye edilen ortalama aydınlık düzeyi 500 lüktür. Aynı rehberde okullarda sınıflar için gereken minimum ortalama yatay aydınlık düzeyi 300 lüks, ve tahta için gereken minimum ortalama düşey aydınlık düzeyi de 300 lüks olarak tanımlanmıştır [42].

İstanbul’da yapılan bir çalışmada bir test ofisinde renk sıcaklığı ve aydınlık düzeyinin kişilerin subjektif izlenimleri üzerine etkisi araştırılmış, farklı renk ve aydınlık düzeyleri altındaki davranışları incelenmiştir. 500 lüks ila 2000 lüks aydınlık düzeyleri arasında 8 farklı aydınlatma senaryosunun tanımlandığı ortamda bir anket çalışması yapılmıştır. Görsel konfor, görme koşulları gibi konular nedeniyle, çalışma ortamlarında ankete katılan kullanıcıların çoğunluğunun ofisler için tavsiye edilen minimum ortalama 500 lüks aydınlık düzeyi yerine daha ziyade 2000 lüks seviyelerine varan yüksek aydınlık düzeylerini tercih ettikleri görülmüştür [43].

Tek günışığı algılayıcılı, tek kanallı bir aydınlatma kontrol sistemi uygulamasında kullanıcıların pencere yakınında otururken elle kumanda edilebilir aydınlatma sistemi vasıtasıyla çok az miktarda yapay aydınlatma eklemesine ihtiyaç duydukları, odanın pencereden uzak derin kısımlarına gittikçe ekledikleri yapay aydınlatma miktarının arttığı saptanmıştır. Bu çalışmada aynı kullanıcıların en çok memnun kaldıkları aydınlatma bölgesi de, pencere yakınında ortalama 1200 lüks seviyesinde aydınlık düzeyine sahip olan bölge olarak ortaya çıkmıştır [44].

Lawrence Berkeley Laboratuvarları’nda yapılan bir saha araştırmasında, ofis çalışanlarına kendi aydınlatma koşullarını kendilerinin gerçekleyebilecekleri, bu sebeple mekanik panjurları istedikleri gibi ayarlayabilecekleri söylenmiştir. Çalışanlara bu özgürlük sağlandıktan sonra, normal şartlarda 500–700 lüks arası aydınlık düzeyleri sağlamak üzere tesis edilmiş yapay aydınlatma ile donatılan odada, çalışanların panjurları kendi tercihlerine göre ayarlamaları sonucunda, sabah saatlerinde 840–2146 lüks arası, öğleden sonra ise 782–1278 lüks arası aydınlık düzeyleri altında çalışma yaptıkları ölçümlerle saptanmıştır [45].

Hem Roche’un yaptığı çalışmada hem de İngiltere Çevre Bakanlığının yayınladığı raporlarda, özellikle bilgisayar ve evrak-kağıt işi yapan kullanıcılar için 700–1800 lüks arası aydınlık düzeylerin daha tercih edilir olduğu ve bu aydınlatma şartları altında çalışanların daha verimli olduklarının gözlemlendiği anlatılmaktadır [46,47].

Newsham ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, çalışma gününün son çeyreğinde aydınlatmayı istedikleri gibi ayarlamalarına izin verilen çalışanların davranışları incelenmiştir. Çalışanların çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeylerini zaman zaman 1478 lükse kadar çıkardıkları ve çoğunlukla bu aydınlık şartlarında çalıştıkları saptanmıştır ki bu CIBSE tavsiyelerinin yaklaşık 3 katıdır [48].

Benzer şekilde Boyce ve arkadaşlarının, 4 farklı aydınlatma durumu altında kullanıcı tepkilerini ölçmek için yaptıkları deneyler sonucunda, kullanıcıların 252 ila 1176 lüks arasında farklı aydınlık düzeylerini tercih ettiklerini, çoğunluğun CIBSE tavsiyelerinin üzerinde tercihleri varken, katılımcıların çok düşük bir kesiminin bunların altındaki seviyeleri tercih ettikleri ortaya çıkmıştır [49].

Kullanıcıların aydınlatma tercihlerini belirlemeye dönük olarak yapılan deney ve anket çalışmasında, kullanıcıların çoğunluğunun CIBSE tavsiyelerinin çok dışında – çoğunluğu birkaç kat üzerinde – aydınlık düzeyi değerlerini tercih ettikleri saptanmıştır [50].

Begemann ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada, 4300 K civarı orta sıcak yapay aydınlatma ışık renklerinin ve 1500 lüks civarı ortalama aydınlık düzeyleri değerlerinin kullanıcılar tarafından daha fazla tercih edilir olduğu vurgulamıştır [51].

2.1.3. CO₂ salınımı

Daha önce de adı geçtiği üzere aydınlatma enerjisinden yapılacak olası tasarruf elektrik tüketimine dayalı CO₂ salınımlarının da sınırlandırılması için önemli bir etken olacaktır. Pasif adaptif olarak tanımlanan günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin bu salınımı azaltıcı etkisi, gerçekleştirecekleri tasarrufa bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle bu kısımda kısaca dünyadaki CO₂ salınımı durumuna bakılacak ve günışığına bağlı kontrol sistemlerinin CO₂ salınımları açısından katkılarının ifade edildiği çalışmalar incelenecektir.

Dünyanın birçok ülkesi tarafından tam ya da sınırlı katılımlı olarak imzalanmış ve kabul edilmiş olan Kyoto Protokolü'ne göre, 2008–2012 yılları arasında gelişmiş

ülkeler sera gazı salınımlarını 1990 seviyelerinin % 5 altına indirme taahhüdünde bulunmuşlardır [52].

İngiltere merkezli Güney Doğu Yenilenebilir Enerji İstatistikleri Kurumu (SEE-Stats) “birleşik marj” adı verilen, ülkelerin CO₂ salınım faktörlerini tCO₂/MWh cinsinden hesaplamaktadır. SEE-Stats tarafından yapılan hesaplamalara göre Türkiye için birleşik marj faktörü yaklaşık 0,65 tCO₂/MWh olarak bulunmuştur [53]. Dolayısıyla ülkemiz adına TEDAŞ’ın verilerinden yola çıkarak sadece aydınlatma kaynaklı CO₂ salınımı miktarının;

$$\text{Yıllık CO}_2 \text{ salınımı} = \text{Yıllık enerji Tüketimi} \times \text{Birleşik Marj Faktörü} \quad (2.1)$$

formülünde bileşenler yerine konulursa ($5,6 \cdot 10^6$ MWh $\times$ 0,65 tCO₂/MWh) çarpımından, yaklaşık 3.640.000 ton seviyesinde olduğu ortaya çıkar. Bu hem iklim değişimlerine hem de insan sağlığının oldukça olumsuz etkilenmesine neden olabilecek bir değerdir.

Örneğin dünyanın gelişmiş ülkelerinden biri olan İngiltere’yi ele alacak olursak, İngiltere’de konut olarak kullanılmayan binaların ülke çapındaki CO₂ salınımının % 20’sinden sorumlu olduğunu ve bu binaların % 75’inin de 1980 öncesi inşa edilmiş olduğunu görürüz [54]. Bu veri bize mevcut binalarda günışığına bağlı aydınlatma kontrolünün gerekliliğini göstermektedir. Bununla birlikte İngiltere’de bina yenileme hızının her 10 sene için % 1-1,5 civarında olduğu düşünülürse, 2050 yılı itibariyle iklim değişikliklerine neden olan ve sera etkisi yapan gazlardan biri olan CO₂ salınımının normal sınırın % 80 üzerine çıkacağı öngörülmektedir [55]. Dolayısıyla salınımları azaltmak için aydınlatma enerjisi tasarrufunun İngiltere için önemi fazlasıyla büyüktür.

Jenkins ve Newborough’un yaptığı çalışmada sadece tek bir binadaki iyileştirmelerle ne kadarlık bir salınımın önüne geçilebileceği saptanmaya çalışılmıştır. 6 katlı bir ofis binasında enerji verimli bir aydınlatma tasarımı yapıp bunu gün ışına bağlı kullanarak toplamda % 60 civarında bir aydınlatma enerji tasarrufunun mümkün

olduğu ve sonuçta yıllık 3 ton civarında CO₂ salınımının önüne geçilebileceği saptanmıştır [56].

Avrupa Birliği de sera gazlarının salınımının önüne geçmek çeşitli çalışmalar başlatmıştır. AB tarafından hazırlatılan rapora göre; Avrupa’da konutlar dışında kalan yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi 160 TWh civarındadır. Bu tüketimin % 40’lık bölümü ise sadece binalarda gerçekleşmektedir. 2005 yılı itibariyle enerji verimli aydınlatma aygıtlarının kullanımı ve günışığından daha fazla faydalanma konularında kurum ve kişileri cesaretlendirme amacıyla kurulmuş olan EU GreenLight programına üye 212 kuruluşun yıllık ortalama aydınlatma enerjisi tasarrufu, program kapsamında yaptıkları iyileştirmelerle, 109 GWh’e ulaşmıştır. Bu tasarrufun % 85’i sadece binalarda kullanılan ışık kaynakları ve aydınlatma aygıtlarının değiştirilmesi ya da daha verimli hale getirilmesi ile sağlanmıştır. Bu da yıllık bazda yaklaşık 54.500 tCO₂ salınımının önüne geçilmesi anlamına gelmektedir [9].

2.2. Tezin Amacı, Kapsamı ve Bilimsel Katkısı

Bölüm 2.1.’de incelenen çalışmalar irdelendiğinde genel itibariyle şunlar söylenebilir:

1. Aydınlatma kontrol sistemlerinde loşlaştırılabilir ve otomatik açma-kapama özellikli bileşenler kullanılmıştır.
2. Sürekli loşlaştırılabilir sistemlerle elde edilen enerji tasarrufu oranları daha yüksektir.
3. Çalışmalar çoğunlukla kısa dönemleri kapsamış ve gerçek zamanlı yıllık sonuçlar elde edilememiş, yıllık bazda yakınsamalar – hesaplamalar yapılmıştır.
4. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerini kontrol eden ışık algılayıcılarının sayısı oldukça azdır (genellikle 1 tane).
5. Deneysel çalışmalarda çoğunlukla yatay aydınlık düzeyi algılayıcıları kullanılmış, düşey aydınlık ile ilgili algılayıcılar tercih edilmemiştir.

6. Mevcut çalışmalarda iç mekândaki kullanıcıların konfor gereksinimleri çoğunlukla göze alınmadan, aydınlatmada enerji tasarrufu konusu ve aydınlatma parametreleri irdelenmiştir.
7. Günışığı ve yapay aydınlatmanın yüzeylerde konforsuzluğa neden olacak parıltıya sebep olup olmadığı birkaç anket çalışması dışında araştırılmamıştır.
8. Genel enerji tasarrufuna günışığının etkisi de araştırılmamıştır (Günışığı girişi nedeniyle artan ortam sıcaklığının doğuracağı ekstra soğutma yükü gibi).
9. Aydınlatma kontrol sistemlerinin elektrik enerji kalitesine olan etkileri bir çalışmada kısa süreli incelenmiş olsa da mevcut çalışmalarda uzun süreli bir inceleme söz konusu değildir.

Görüldüğü üzere birçok alanda aydınlatıcı olsalar da incelenen kaynakların genelde enerji tasarrufu, çevresel etkenler ve sera gazı salınımı üzerine odaklandığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada hem bu konular incelenmiş hem de açık kalan noktalarda daha kesin sonuçlara varabilmek amacıyla, adı geçen çalışmalara göre deneysel ve kavramsal anlamda iyileştirmeler yapılmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda tezin amacı iç aydınlatmada enerji tasarrufu konusunu, günışığı destekli deneysel çalışmalar ile irdeleyip, elde edilen verilerle öncelikle tasarruf potansiyeli parametresine bir boyut kazandırmak, daha sonra ise iç aydınlatmada elde edilen tasarrufun iç mekândaki diğer enerji tüketici sistemlerle (soğutma, v.b.) ilişkisini ortaya çıkarmak, enerji kalitesi parametrelerinin günışığına bağlı loşlaştırılabilir sistem için hangi noktada olduğunu bulmak ve kullanıcı dostu yaklaşımı da test ederek iç mekândaki konfor gereksiniminin enerji tasarrufu ile bağıntısını ortaya çıkarmaktır.

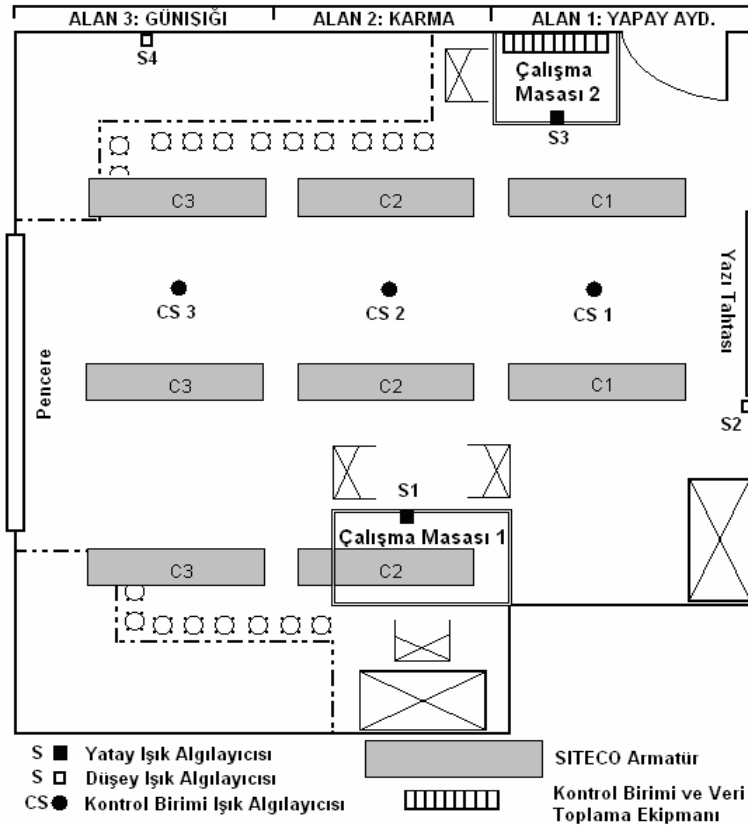
Yukarıda saptanan amaç doğrultusunda bir deney odası kurulmasına ve bu odada amaca uygun aydınlatma aygıtlarıyla 1 yıl boyunca çalışacak olan günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin tesis edilmesine karar verilmiştir. 1 yıl boyunca verileri toplanan ve hesaplamaları yapılan enerji tasarruf oranları, elektrik enerjisi tüketim değerleri, güç faktörü değerleri, akım ve gerilimdeki toplam harmonik bozulmaları gibi elektriksel parametrelerin deney bitiminde yapılacak olan kullanıcı anketleri ile birlikte değerlendirilmesi, Sakarya ili için bir enerji tasarrufu potansiyeli belirlenirken kullanıcı konforu ve elektriksel parametrelerin değişiminin ne yönde

olduğunun saptanması ve sorunlu noktalarda çözüm önerileri getirilmesi düşünülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda Sakarya'nın iklimsel ve coğrafi özelliklerine benzer yerler için bir genelleme yapılabilir ve bunun sonucunda hem mevcut yapıların restorasyonunda hem de yeni inşa edilecek yapıların projelendirilmesinde günışığı önemli bir faktör olarak göz önünde bulundurulan bir bileşen haline gelebilir ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı özendirilebilir ve yaygınlaştırılabilir.

BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYE İLİŞKİN BİLGİLER

3.1. Deney Odası ve Deney Düzenegi

Deneyisel çalışmanın gerçekleştirebilmesi için Mühendislik Fakültesi tarafından, daha sonra Aydınlatma Laboratuvarı olarak kullanılmak üzere, bir proje odası tahsis edilmiştir. Deney odasının koordinatları 40° 74' Kuzey enlemi ve 30 ° 33' Doğu boylamıdır. Batı - kuzeybatı yönüne bakmakta olan odanın asıl tavan yüksekliği 3,80 m olmasına karşın odada asma tavan kuruludur ve mevcut tavan yüksekliği 2,85 m'dir. Odanın pencere boyutları 2,45 m x 1,75 m'dir ve toplam pencere alanı 4,29 m²'dir.



Şekil 3.1. Deney odası yerleşim planı

Deney odası tavanı kirli beyaz, duvarlar fildişi – krem, yerler ise kahverengidir. Sırasıyla bu yüzeylerin ışık yansıtma faktörleri $\rho_r=0.86$, $\rho_d= 0.73$, $\rho_y=0.4$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Armatürler ve kontrol sistemi ışık algılayıcılarının tavanda yerleşimi

Deney odası renk geri verim endeksi 89 olan, her biri 4000 °K renk sıcaklığına ve 5200 lm ışık akısına sahip 2 x 58 W (OSRAM fluoressan) OSRAM DALI balastlı, 8 adet çift parabolik armatürle (SITECO) donatılmıştır. Bu aydınlatma tesisatı bir aydınlatma kontrol sistemiyle (OSRAM DALI Basic RC), çalışma düzleminde, gün içinde 08:30 – 18:30 saatleri arası, 1250 lüks sabit aydınlık düzeyi sağlamak üzere gün ışığına bağlı olarak çalışmaktadır. Kullanılan balastlar “Avrupa Birliği Fluoressan Lambalar için Balastlar Yönetmeliği”ne [58] uygun şekilde % 92 üzerinde verimliliğe sahip, Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arabirimi özel adına sahip elektronik balastlardır.

Armatürler, önceki çalışmalardaki önemli eksiklerden biri olarak görülen noktayı kapatabilmek için, her biri ayrı ışık algılayıcısı ile kontrol edilen, 3 kanal (2-3-3) olarak tanımlanmıştır ve balast özelliğine bağlı olarak 0–10400 *lm* arası ayarlı olarak farklı miktarlarda ışık akısı verebilmek üzere loşlaştırılabilmektedirler. Özellikle çalışma ortamlarını bölgelere ayırarak aydınlatma kontrolü yapılmasının, aydınlatmanın düzgünlüğü ve farklı aydınlık düzeyleri arasında yumuşak geçişler sağlanması açısından büyük katkıları olacaktır. Önceki çalışmaların çoğu 2.

Bölüm’de detaylı şekilde anlatıldığı üzere, sadece çalışma düzleminin aydınlık düzeyi ve/veya tek ışık algılayıcısı ile pencereden gelen gün ışığı ile ilgilenmiştir.



Şekil 3.3. Kontrol ve kayıt ekipmanları

Aydınlatma tesisatı önüne bağlanmış olan enerji analizörü (Janitza UMG 503) ile elektriksel bileşenler, veri toplama cihazına (Daqpro 5300) bağlanan 0-10 V arası gerilim çıkışı veren ışık algılayıcıları (Servodan 43-195) yardımıyla ise odanın çeşitli bölgelerindeki aydınlatma bileşenleri izlenebilmektedir. Ayrıca bir sıcaklık kaydedici ölçü aleti (Dickson SP-25), belirli aralıklarla deney odasından ölçüm almakta ve kaydetmektedir. Buradaki özel amaç, özellikle yaz aylarında gün ışığının ısı etkisi nedeniyle odada meydana gelecek sıcaklık artışını belirleyebilmek ve oda sıcaklığını dengeleyebilmek için çalıştırılacak olan klima v.b. cihazların tüketeceği enerji miktarını da göz önünde bulundurarak reel enerji tasarrufu potansiyelini ortaya çıkarmaktır.

3.2. Deney Odası ve Deney Düzeneği Karakteristikleri

Günümüzde çalışma alanlarındaki aydınlatma tesisatlarının enerji verimliliğini değerlendirebilmek amacıyla “Normalize Güç Yoğunluğu” (NPD) kavramı üzerinde durulmaktadır. Klasik NPD tanımı “aydınlatma sisteminin aydınlatılan alana oranı olarak” verilmektedir. Ancak bu tanımlama günümüzde birçok noktada yetersiz kalmakta, aydınlatma aygıtlarının, oda yüzeylerinin ve bağıntılı parametrelerin

etkileri gerektiği şekilde hesaba katılmamaktadır. Hanselaar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Avrupa Standartları başta olmak üzere birçok aydınlatma yönetmeliğinde belirtilen çalışma alanları (TA) ve çalışma aydınlık düzeyleri kavramlarının etkilerinin de NPD kavramıyla birlikte kullanılması gerekliliğinden bahsetmişlerdir [59].

Kurulu aydınlatma sisteminin verimi;

$$\eta_{sistem} = \frac{P_{lamba}}{P_{sistem}} \quad (3.1)$$

olarak verilir. Burada P_{lamba} (W) sistemdeki tüm lambaların harcadığı toplam güç (aydınlatma güç çıktısı) ve P_{sistem} (W) lambalar ve diğer tüm donanıma aktarılan güç olarak ifade edilebilir.

Işık kaynağının başlangıç etkinliği;

$$\eta_{lamba} = \frac{\Phi_{lamba}}{P_{lamba}} \quad (3.2)$$

olarak verilir. Burada Φ_{lamba} lümen olarak lambanın başlangıç ışık akısıdır.

Armatürün verimi ya da Işık Verme Oranı (Light Output Ratio - LOR);

$$LOR = \frac{\Phi_{armatür}}{\Phi_{lamba}} \quad (3.3)$$

olarak verilir. Burada $\Phi_{armatür}$ lümen olarak armatürden çıkan başlangıç ışık akısıdır.

Düzgünlük faktörü U ise şöyle ifade edilir;

$$U = \frac{\Phi_{TA}}{\Phi_{armatür}} \quad (3.4)$$

Burada Φ_{TA} çalışma alanına ulaşan başlangıç ışık akısıdır. Düzgünlük faktörünün kaynaklardaki bir diğer ifade şekli ise aydınlatma tasarımı yapılan yerdeki çalışma alanları (A_{TA}) ve çalışma alanı olarak kullanılmayan alanların (A_{nTA}) da işin içine katıldığı formdur ve U bu durumda aşağıdaki gibi de hesaplanabilir;

$$U > \frac{2}{1 + 0,5(A_{nTA} / A_{TA})} \quad (3.5)$$

Bakım - kirlenme faktörü (Maintenance Factor – MF) aydınlatma tesisatının kurulumundan sonra geçen belirli bir süre sonunda, ilk tesis şartları da sağlanmış durumdayken, çalışma düzleminde o anki ışık akısının başlangıç ışık akısına oranıdır ve aşağıdaki gibi verilir [60];

$$MF = \frac{\Phi_{TA}^{son}}{\Phi_{TA}} \quad (3.6)$$

Burada Φ_{TA}^{son} çalışma alanında sistem kurulumundan daha sonraki bir zamanda elde edilen, devam ettirilen - korunan ışık akısıdır.

3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6 denklemlerini bir arada değerlendirip Φ_{TA}^{son} değerine ulaşmak istersek;

$$\Phi_{TA}^{son} = MF.U.LOR.\eta_{lambda}.\eta_{sistem}.P_{sistem} \quad (3.7)$$

denklemini elde ederiz.

Normalize güç yoğunluğu kavramı ise sonuç olarak elimizdeki bilgilerle birlikte şu şekilde tanımlanabilir;

$$NPD = \frac{P_{sistem}}{\Phi_{TA}^{son}} [W / m^2 . 100lux] = \frac{100}{MF.U.LOR.\eta_{lambda}.\eta_{sistem}} \quad (3.8)$$

Uluslararası yönetmelik ve tavsiyelerde NPD formülünün bileşenlerine ilişkin istenen değerler aşağıda sıralanmıştır.

- $\eta_{sistem} > 0,85$ olması isteniyor [58],

bu değer bizim sistemimizde $\eta_{sistem} = \frac{P_{lamba}}{P_{sistem}} = \frac{2.58.8}{1030} = \mathbf{0,90}$ olarak hesaplanabilir.

- $\eta_{lamba} > 70lm/W$ olması isteniyor [58],

bu değer sistemimizde $\eta_{lamba} = \frac{\Phi_{lamba}}{P_{lamba}} = \frac{5200}{58} = \mathbf{89,7lm/W}$ olarak hesaplanabilir.

- $LOR > 0,75$ olması isteniyor [61],

bizim armatürlerimizin katalog değeri **% 80**'dir.

- $MF > 0,75$ olması isteniyor [60],

bizim armatürlerimizin katalog değeri **0,80**'dir.

U deney odası için $A_{nTA} = 25 \text{ m}^2$ ve $A_{TA} = 11 \text{ m}^2$ olduğundan denklem 3.5' den

$$U > \frac{2}{1 + 0,5(25/11)} \Rightarrow U > \mathbf{0,936} \text{ değerine ulaşılır.}$$

Aydınlatma sistemine ilişkin bilinen ve hesaplanan değerler 3.8 denkleminde yerlerine konulursa;

$$NPD = \frac{100}{0,8.0,937.0,8.89,7.0,9} = \mathbf{2,07}$$

değerine ulaşılır ki bu değer bir sistemin enerji verimli aydınlatma yapıyor olduğunun göstergesi olan NPD için kabul edilen değer aralığı $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lux})$ ile $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lux})$ arasındadır.

Deney odasında çalışma düzlemi (0,80 m) aydınlık düzeyi olarak tüm sistem tam kapasiteyle çalışırken elde edilen aydınlık düzeyi, yani 1250 lüks seçilmiştir. Bu seçim yapılırken; hem daha önce yapılan çalışmalarda karşılaşılan, kullanıcıların uluslararası standart ve yönetmeliklerde verilen aydınlık düzeyi değerlerinin üzerindeki talepleri [43–51] hem de odayı normal zamanlarda kullanacak olan personel ile ders ve laboratuvar zamanlarında kullanacak öğrencilerle yapılan birebir denemelerin sonuçları göz önünde bulundurulmuştur. 250, 500, 750, 1000 ve 1250 lüks seviyelerinde belli bir süre odada bulunmaları sağlanan kullanıcılar 1250 lüks seviyesinde algı düzeylerinin daha yüksek olduğunu, daha net görebildiklerini ve çalışmalarını daha iyi yapabildiklerini belirtmişlerdir.

3.3. Test Aşaması

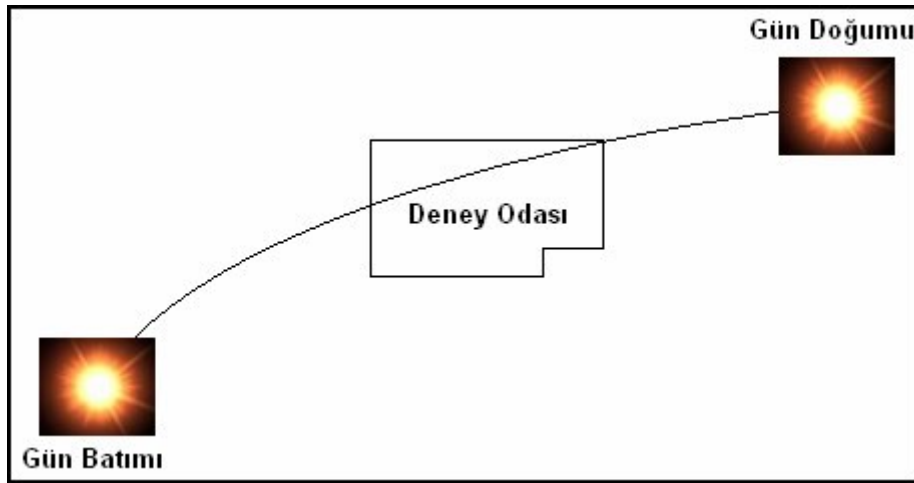
7-27 Temmuz 2008 tarihleri arasında 1 yıllık deney başlamadan önce yapılan testlerde, aydınlatma sistemi %100 kapasiteyle çalıştığında sistemin günlük olarak toplam 10300 Wh'lık bir enerji tükettiği tespit edilmiştir. Havanın açık olduğu günlerde çalışma düzlemi olarak seçilen ve ışık algılayıcısı yerleştirilen noktalarda, gün ışığının katkısıyla tam kapasiteyle çalışan yapay aydınlatma sisteminin sağladığı toplam aydınlık düzeyinin pencereye yakın yerlerde, yani 3. bölgenin bazı kesimlerinde, zaman zaman 1250 lüks'ün üzerine çıktığı, 1. ve 2. bölgelerde ise her zaman 1250 lüks civarında olduğu saptanmıştır. Havanın çok aydınlık ve açık olduğu günlerde, özellikle 2. ve 3. bölgelerde yapay aydınlatma sistemine ihtiyaç kalmadan ya da çok az ihtiyaç duyarak 1250 lüksün karşılandığı saatler de tespit edilmiştir. Özetle taşınabilir bir lüksmetre ile yapılan ölçümler sonucunda odanın dörtte üçlük kısmından fazla bir bölümünde aydınlık düzeyinin 1250 lüks mertebesinde olduğu belirlenmiştir.

2005 yılında teklif edilen Kullanışlı Güneşli Aydınlatma Düzeyi – Useful Daylight Illuminance (UDI) kavramı (100–2000 lüks arasında sağlanan güneşli kaynaklı

aydınlık düzeyi) üzerinden de deney odası için bir değerlendirme yapmak mümkündür. 100 lüks altında sağlanan günışığı aydınlık düzeyi yetersiz, 100-500 lüks arasında sağlanan günışığı aydınlık düzeyi efektif, 500-2000 lüks arası sağlanan günışığı aydınlık düzeyi arzu edilir ya da tolere edilebilir, 2000 lüks üzeri sağlanan günışığı aydınlık düzeyi ise konforsuz günışığı olarak adlandırılmıştır. Çalışma düzlemine düşen-gelen günışığı miktarı hedeflenen aydınlık düzeyini tek başına karşılayabiliyorsa buna UDI denilebilir. Yapay aydınlatma sistemi devrede değilken günışığı yetersiz kalıyor ya da gereken aydınlık düzeyinin çok üzerinde bir aydınlık düzeyi sağlıyor, hatta günışığı ısı etkisiyle kullanıcıyı rahatsız ediyor ve gölgeleme ekipmanlarının kullanımına sebebiyet veriyorsa, her iki durum için de UDI'den bahsetmek mümkün değildir [63]. Dolayısıyla test dönemi sonucunda elde edilen veriler ışığında, deney odasında 2. ve 3. bölgeler için günün aydınlık saatlerinin büyük bölümünde efektif ve arzu edilir seviyelerde UDI bulunmaktadır denilebilir. 3. bölgede ise pencere yönüne bağlı olarak özellikle yazın öğleden sonra saatlerinde arzu edilir UDI sınırlarının zorlandığı görülmüştür.

IEA'nın "Binalar için Günışığı İzleme Protokol ve Prosedürleri"ne göre yanda bulunan bir pencere tarafından günışığı sağlanan ve bir kontrol sistemiyle günışığına bağlı aydınlatma kontrolü yapılan bir ofisin, 2'den fazla aydınlık düzeyi ölçüm ya da test noktası olmamalıdır. Bu noktalardan biri günışığından yoğun olarak faydalanan noktada diğeri ise odanın daha karanlık, günışığından çok daha az faydalanan noktasında olmalıdır. Aydınlatılmış, bölümlenmiş alanlar en az ışık algılayıcılarının, aydınlık düzeyi ölçümlerinin yapıldığı noktalar kadar olmalıdır. Test noktalarından en azından biri çalışma düzleminde (en az 75 cm) bulunmalıdır [64]. IEA'nın bu prosedürleri doğrultusunda Şekil 3.1'de de görülebileceği gibi deney odasında 3 aydınlatma alanı (kanalı) oluşturulmuş, yatay düzlem ışık algılayıcıları 2 adet olarak kullanılmış, biri günışığından yoğun olarak faydalanan ancak konforsuz günışığına maruz kalmayan 2. bölgedeki çalışma düzlemine, diğeri ise pencereye en uzak aydınlatma bölgesi olan 1. bölgedeki çalışma düzlemine yerleştirilmişlerdir. Bölümlenmiş alan sayısı da söylendiği üzere ışık algılayıcı sayısından 1 fazladır. Çalışma düzlemi yüksekliği de 80 cm olarak düzenlenmiştir.

Deney süresince enerji tasarrufunu direk olarak etkileyecek en önemli faktörlerden biri olan hava durumu 3 farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Buna göre günlük güneşlenme süresinin değişimine göre hava durumu açık hava, karma hava ve kapalı hava olarak ifade edilecektir. Şekil 3.4.'te deney odasının konumuna göre deney boyunca gün doğumundan batımına kadar geçen sürede güneşin yaklaşık hareketi gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Güneşin günlük hareketi

İç hacme güneş ışığı girişi ve dolayısıyla güneş ışığının ısı etkisiyle hacimdeki ısınmanın getireceği soğutma ihtiyacı da inceleneceğinden dolayı test döneminde bu konu üzerine de yoğunlaşmıştır. Deney odasına gün ışığı girişinin sırlı stor perdelerle engellendiği günlerde, hacimdeki sıcaklık artışının en fazla 0,5 °C seviyesinde gerçekleştiği ölçülmüştür. Deney sona erdikten sonra 2009 Ağustos ayında yapılan ilave testlerde de bu veri tekrarlanmıştır.

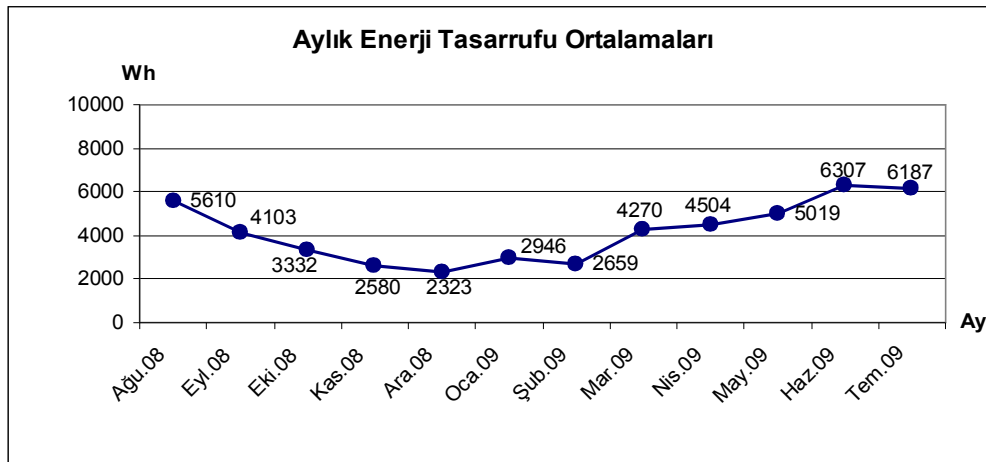
Elde edilen ön veriler ışığında 28 Temmuz 2008 tarihinde deneylere başlanmıştır.

BÖLÜM 4. ENERJİ TASARRUFU, İLİŞKİLİ PARAMETRELER VE AYDINLIK DÜZEYİ DEĞERLENDİRMELERİ

Deney odasında 1 yıl boyunca sürdürülen deney esnasında toplanan veriler ışığında, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin enerji tasarrufuna etkisi aşağıdaki alt bölümlerde farklı açılardan incelenecektir.

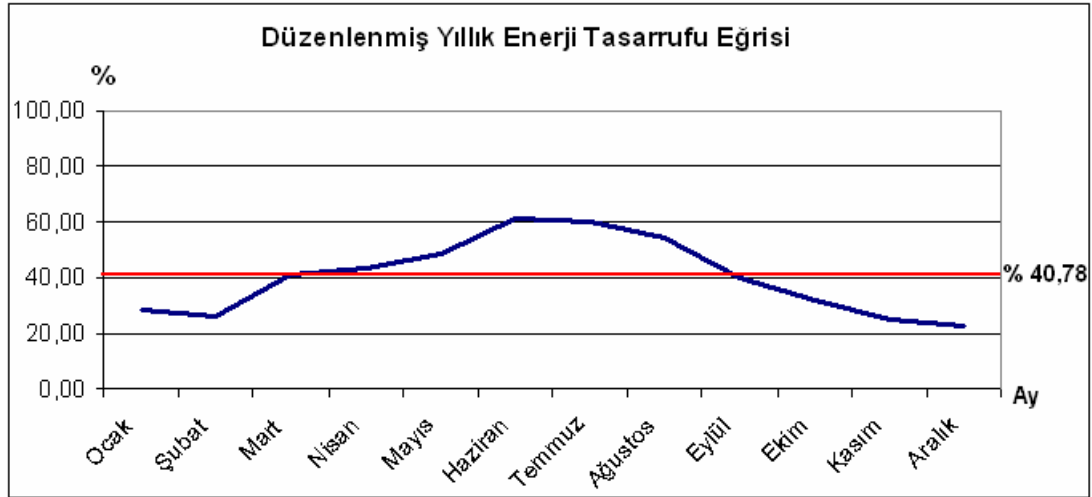
4.1. Aylık Enerji Tasarrufları

Ağustos 2008 – Temmuz 2009 tarihleri arasında kalan süreçte elektrik kesintisi nedeniyle sağlıklı veri toplanamayan günlerle, aydınlatma sistemi kapatılarak çalışma yapılması gereken ders ve laboratuvar günleri dışında toplam 345 günlük veri elde edilmiştir. Şekil 4.1.'de sözü geçen zaman zarfında aylık bazda enerji tasarrufu ortalamaları verilmiştir. Yılın en kısa gündüz süresine sahip Aralık ayı en az, yılın en uzun gündüz süresine sahip Haziran ayı ise en çok aydınlatma enerjisi tasarrufunun yapıldığı günler olarak beklendiği üzere öne çıkmaktadırlar. Şubat ayının enerji tasarrufu açısından Ocak ve Mart'ın önünde olduğu gözükse de, bu Şubat'ta elektrik kesintisi yaşanan 4 günde havanın açık ve karma şartlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.1. Aylık enerji tasarrufu ortalamaları

1 yıllık çalışma Ocak ayından Aralık ayına düzenlenmiş şekilde oransal olarak incelenmek istenirse Şekil 4.2.'deki eğriye ulaşılır. Sistemin çalıştığı 345 gün boyunca harcadığı ve tasarruf ettiği toplam enerji miktarları ise Tablo 4.1.'de sunulmuştur. Yıllık ortalama aydınlatma enerjisi tasarrufu % 40,78 mertebesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2. Düzenlenmiş yıllık enerji tasarrufu eğrisi

Tablo 4.1. Deney odasına ilişkin aylık enerji verileri

Aylar	Ortalama Harcama	Ortalama Tasarruf	Ortalama Harcama %	Ortalama Tasarruf %	Ölçüm Yapılan Gün Sayısı	Harcanan Toplam Enerji (Wh)	Tasarruf Edilen Toplam Enerji (Wh)
Ağustos 08	4690	5610	45,53	54,47	31	145390	173910
Eylül 08	6197	4103	60,17	39,83	30	185910	123090
Ekim 08	6968	3332	67,65	32,35	31	216008	103292
Kasım 08	7720	2580	74,95	25,05	30	231600	77400
Aralık 08	7977	2323	77,45	22,55	30	239310	69690
Ocak 09	7354	2946	71,40	28,60	24	176496	70704
Şubat 09	7641	2659	74,18	25,82	24	183384	63816
Mart 09	6030	4270	58,54	41,46	27	162810	115290
Nisan 09	5796	4504	56,27	43,73	27	156492	121608
Mayıs 09	5281	5019	51,27	48,73	31	163711	155589
Haziran 09	3993	6307	38,77	61,23	30	119790	189210
Temmuz 09	4113	6187	39,93	60,07	30	123390	185610
Toplam:					345	2104291	1449209

4.2. Enerji Tasarrufu ve Hava Durumu İlişkisi

Deneyin süreceği 12 ay boyunca, hava şartlarının açık, karma ve kapalı olmak üzere gruplandırılacağı 3.Bölüm’de anlatılmıştı. Devlet Meteoroloji İşleri Sakarya İl Müdürlüğü’nden alınan hava durumu verileri [65,66] ışığında deney günlerinin hava durumu gruplandırması da yapılmıştır. Aylık olarak hava durumuna göre aydınlatma enerjisi harcama ve tasarrufuna ilişkin veriler Tablo 4.2.’de sunulmuştur. Buna göre yıllık bazda, ölçüm yapılan 345 günün toplam 160 günü açık, 76 günü karma, 109 günü de kapalı olarak gerçekleşmiştir. Açık günlerde kontrol sistemi sayesinde yılın tamamında sağlanan enerji tasarrufu oranı % 51,86 iken, karma ve kapalı günlerde bu oran sırasıyla % 38,15 ve % 27,92 seviyelerine düşmektedir.

Tablo 4.2. Hava durumu ile ilişkilendirilmiş enerji tasarrufu verileri

Ay ↓	Açık Gün Sayısı	Açık Günlerdeki Enerji Tüketimi	Açık Günlerdeki Enerji Tasarrufu (%)	Karma Gün Sayısı	Karma Günlerdeki Enerji Tüketimi	Karma Günlerdeki Enerji Tasarrufu (%)	Kapalı Gün Sayısı	Kapalı Günlerdeki Enerji Tüketimi	Kapalı Günlerdeki Enerji Tasarrufu (%)
Ağustos 08	29	134800	54,87	2	10600	48,54	0	0	0,00
Eylül 08	11	54500	51,90	12	73900	40,21	7	57500	20,25
Ekim 08	8	47200	42,72	13	83100	37,94	10	79500	22,82
Kasım 08	10	72600	29,51	13	99600	25,62	7	59400	17,61
Aralık 08	7	49600	31,21	5	44900	12,82	18	152500	17,75
Ocak 09	3	16500	46,60	8	53000	35,68	13	107000	20,09
Şubat 09	2	12800	37,86	2	12000	41,75	20	143300	30,44
Mart 09	5	28800	44,08	5	28100	45,44	17	105900	39,52
Nisan 09	14	77100	46,53	6	33500	45,79	7	45900	36,34
Mayıs 09	22	111000	51,02	2	10400	49,51	7	42300	41,33
Haziran 09	27	105700	61,99	3	14100	54,37	0	0	0,00
Temmuz 09	22	82800	63,46	5	21000	59,22	3	15900	48,54
Toplam	160	793400	51,86	76	484200	38,15	109	809200	27,92

4.3. Enerji Tasarrufu ve Oda Sıcaklığı İlişkisi

Kullanıcıların çalıştıkları ortamlardaki en önemli konfor gereksinimlerinden biri de ortam sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Yaz aylarında soğutma kış aylarında ise ısıtma sistemleri ile kullanıcıların sağlıklı ve konforlu ortamda çalışmalarını sağlanmaya çalışılır. Bu çalışma günışığına bağlı aydınlatma kontrolü üzerine yoğunlaşmıştır ve dolayısıyla ortamda çoğu zaman bulunan efektif ya da arzu edilir UDI’den [63] faydalanmaya çalışmaktadır. Günışığı ihtiyacı yan pencereden sağlanan deney

odasına giren güneş ışığı, aydınlatmada enerji tasarrufunun sağlanmasına katkıda bulunurken diğer bir yandan ortam ısını artırmakta ve sıcaklığın yükselmesine neden olmaktadır. Bu sıcaklık yükselişi havanın soğuk olduğu kış aylarında olumlu bir etki yaparken yaz aylarındaki etkisi genel enerji tasarrufu anlamında olumsuzdur.

Odanın ortalama sıcaklığının 1 yıllık deney boyunca normal şartlardaki oda sıcaklığı olarak nitelenen 25 °C'nin üzerinde olduğu haftalar soğutma gereksinimi duyulan haftalar olarak nitelendirilmiştir. Odadaki sıcaklık değişimi ortadan kaldırıp, sıcaklığın değerine bakmaksızın, oda sıcaklığını kullanıcıların ısınma kaynaklı sorun yaşamaması için en azından sabah mesaiye başlanan sıcaklık değerine getirmek istenirse ekstra bir soğutma maliyeti ortaya çıkacaktır. Bu ekstra enerji tüketimi, aydınlatma enerjisinden yapılan tasarrufu olumsuz etkileyecektir. 36 m² alana sahip ve 2,85 m tavan yüksekliği olan deney odasının yaklaşık 103 m³'lük hacminin soğutulması için gereken enerji;

$$Q = d.V.c.(t_2-t_1) \quad (4.1)$$

formülü ile bulunabilir. Oda sıcaklığında; havanın yoğunluğu d standart olarak 1,226 kg/m³, özgül ısı 1060 J/kg °C olarak alınırsa ve hacim (V) hesaplandığı üzere 103 m³ olarak yerine konulursa deney odasının 1 °C soğutulması için gereken enerji yaklaşık 37,2 Wh olarak bulunur.

Gün içerisinde soğutma sisteminin 5 saat çalıştırıldığı öngörülürse, bu durumda odanın pencereden gün ışığı almadan da sıcaklığının 0,5 °C artabildiği unutulmadan 24 haftalık bir hesap yapılabilir. Deney süresince bu 0,5 °C'lik artış haricinde meydana gelen sıcaklık artışlarının toplamı Tablo 4.3.'teki veriler kullanılarak (33x7) = 231 °C olarak bulunur. Bu artışı ortadan kaldırmak için kullanılması gereken enerji (231x37,2x5) işleminden yaklaşık 42966 Wh olarak hesaplanır. Bu değer 24 haftalık toplam enerji tasarrufunun (3208608 Wh), % 1,4'ü mertebesinde. Aynı şekilde 0,5 °C'lik artış göz önünde bulundurulmadan bir hesap yapılırsa bu sefer % 1,9'luk bir orana ulaşılabilir. Oda sıcaklığı 25 °C'de sabit tutulmak istenirse 5 saatlik çalışma ile harcanması gereken enerjinin toplam aydınlatma enerjisi tasarrufuna oranı ise % 6,1 olarak hesaplanabilir. Soğutma için kullanılacak aygıtın türü, verimi, enerji sınıfı ve

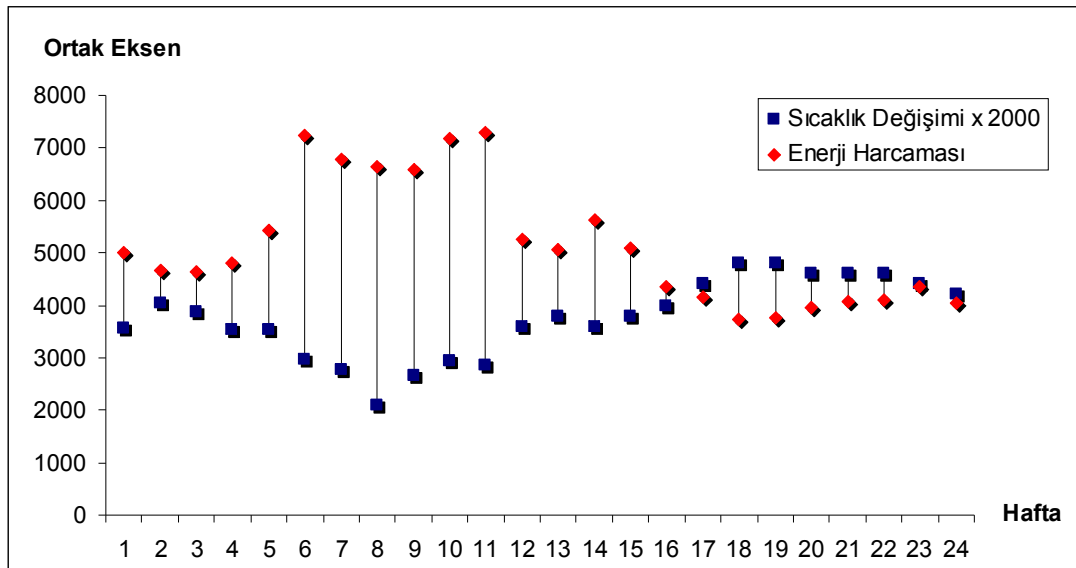
tesisatta yaşanacak kayıpları da bu değere eklersek, aydınlatma enerjisi tasarrufu üzerinden %10'lara yaklaşan, düşünülmeyen bir kayıp ortaya çıkar. Özellikle gün ışığı alma süresinin uzun ve havanın açık olduğu zamanlarda bu kaybın miktarının arttığı ve oda sıcaklığı artışı ile aydınlatma enerjisi tasarrufu arasında ters, harcaması ile doğru bir orantı olduğu söylenebilir.

Tablo 4.3. Deney odasındaki sıcaklık değişimleri ve soğutma enerjisi ilişkisi

Hafta ↓	Haftalık Sıcaklık Değişim Ortalaması	En büyük Sıcaklığın 25°C'den Farkı	Gereken Haftalık Soğutma Enerjisi (Wh)
H1	1,8	6,3	8203
H2	2,0	6,8	8854
H3	1,9	7,4	9635
H4	1,8	8,5	11067
H5	1,8	8	10416
H6	1,5	5,9	7682
H7	1,4	6,1	7942
H8	1,0	4,1	5338
H9	1,3	2,2	2864
H10	1,5	2	2604
H11	1,4	1,8	2344
H41	1,8	3,2	4166
H42	1,9	3,8	4948
H43	1,8	6,2	8072
H44	1,9	6,9	8984
H45	2,0	7,7	10025
H46	2,2	8	10416
H47	2,4	8,5	11067
H48	2,4	8,7	11327
H49	2,3	8	10416
H50	2,3	7,7	10025
H51	2,3	7,5	9765
H52	2,2	7,1	9244
H53	2,1	6,9	8984

Şekil 4.3. aydınlatma enerjisi harcaması ve deney odası sıcaklığı değişimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İki parametrenin bir arada incelenebilmesi için oda sıcaklığındaki değişim 2000 ile çarpılmıştır. Grafikte de iki parametre arasındaki doğru orantı gözükmemektedir. Aydınlatma enerjisinden tasarrufun azaldığı dönemlerde deney odasındaki sıcaklık değişim miktarı da düşmekte, arttığı dönemlerde ise tersi gerçekleşmektedir. Yukarıda değinildiği üzere aydınlatma enerjisinden tasarrufun artması, soğutma enerjisi tüketimini beraberinde getirdiği için, her ne kadar gün

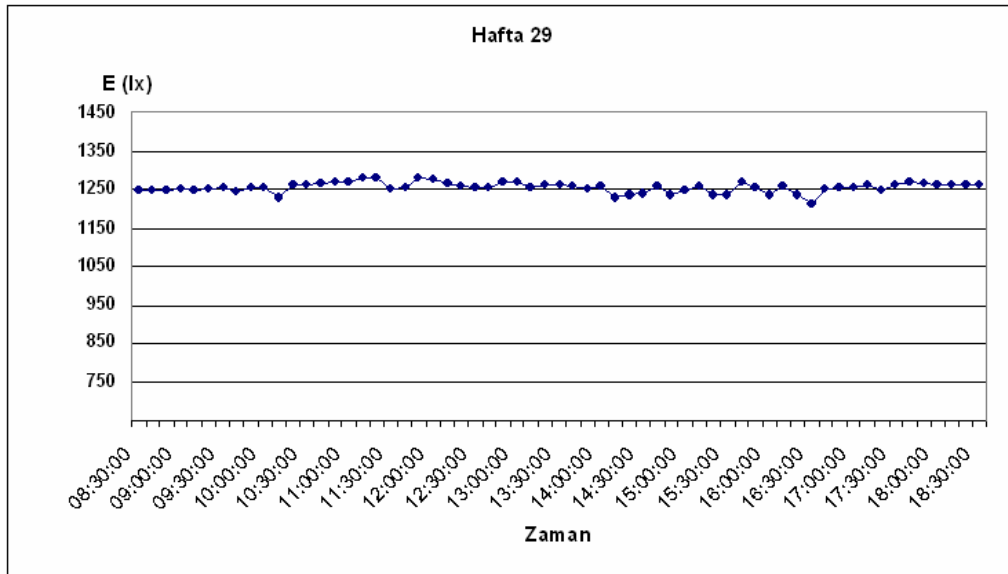
ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi sayesinde sağlanan aydınlatma enerjisi tasarrufu soğutma enerjisi tüketim ve masraflarına baskın olsa da, reel enerji tasarrufu potansiyelinde bir düşüşü de beraberinde getirecektir. Ancak yine de bu parametreler arasında kesin bir bağıntı vardır denemez, keza güneşlenme süresi, havanın durumu ve içinde bulunulan mevsim bu iki parametreyi birbirinden bağımsız olarak değiştirebilir.



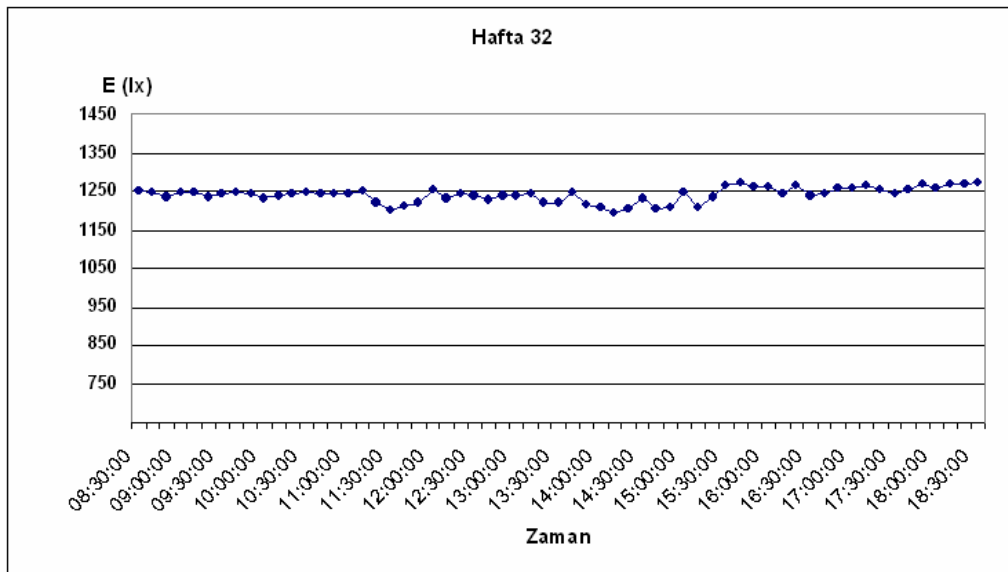
Şekil 4.3. Enerji harcaması ve deney odası sıcaklığı değişimi ilişkisi

4.4. Aydınlik Düzeyi Değerleri

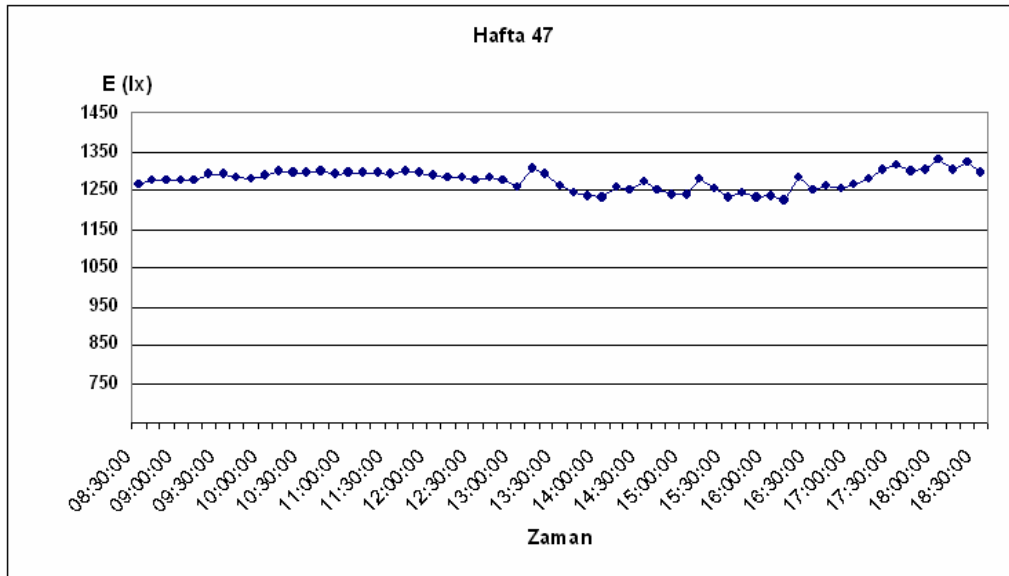
Deney odası içine yerleştirilen 4 ayrı ölçüm ve kayıt yapan ışık algılayıcısından ikisi çalışma düzlemlerindeki yatay aydınlık düzeyini, ikisi de odanın farklı noktalarındaki düşey aydınlık düzeylerini ölçmektedir. Odanın farklı yerlerinde, deney süresince tekrarlanan ve elle yapılan ölçümlerde düzgünlük açısından bir sorun tespit edilmemiş, farklı aydınlık düzeyleri arasındaki geçişlerin de son derece yumuşak olarak sağlandığı gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni aydınlatma kontrolünün 3 farklı aydınlatma bölgesi – alanı kullanılarak gerçekleştirilmesidir. Deney odasında en fazla tasarrufun elde edildiği, en büyük enerji harcamasının gerçekleştiği ve ortalama aydınlatma enerjisi tasarrufu oranına en yakın tasarrufun yapıldığı haftaların çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyi ortalamasına bakılırsa, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin başarısı daha net anlaşılabilir.



Şekil 4.4. En az enerji tasarrufunun gerçekleştiği haftada aydınlık düzeyi değişimi (9–15 Şubat 2009)



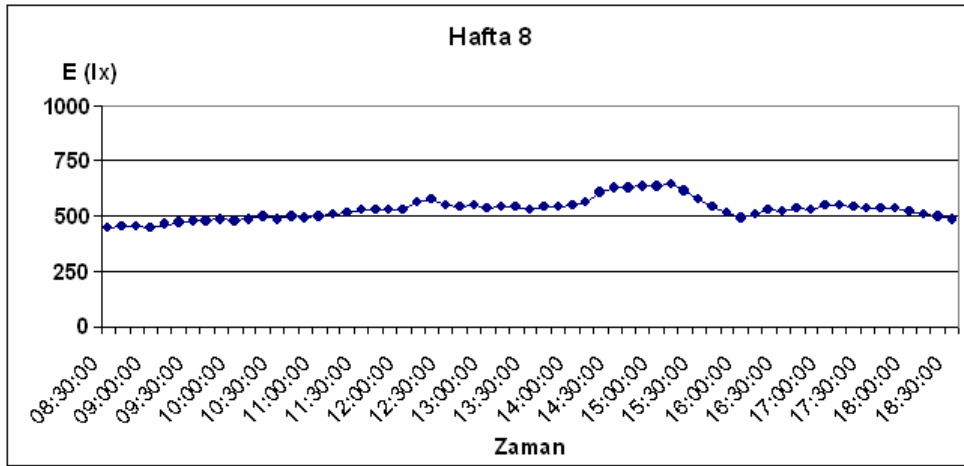
Şekil 4.5. Enerji tasarrufunun ortalamaya en yakın olduğu haftada aydınlık düzeyi değişimi (2–8 Mart 2009)



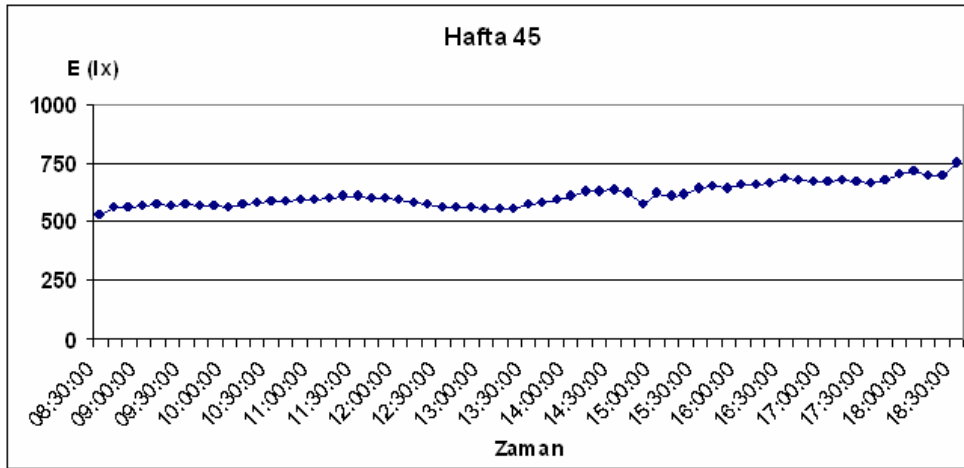
Şekil 4.6. En fazla enerji tasarrufunun gerçekleştiği haftada aydınlık düzeyi değişimi (15–21 Haziran 2009)

Özellikle yaz aylarında güneşlenme süresinin artışı ve gündüzlerin uzaması nedeniyle günışığından faydalanan süre ve faydalanan günışığı miktarı artmaktadır. Oda konumu ve güneşin günlük hareketi birlikte düşünüldüğünde yaz aylarında çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyi değerleri de rahatsız edici seviyelere ulaşmamak kaydı ile belli bir oranda yükselmektedir. Bu günlerin çoğunda arzu edilir UDI miktarlarına ulaşıldığı için 3. ve 2. kanallar tamamen kapanırken 1. kanal çok düşük seviyelerde çalışmaktadır. Deney günlerinin hiç birinde ışık algılayıcısı yerleştirilmiş çalışma düzlemlerinde konforsuz UDI değerine rastlanmamıştır.

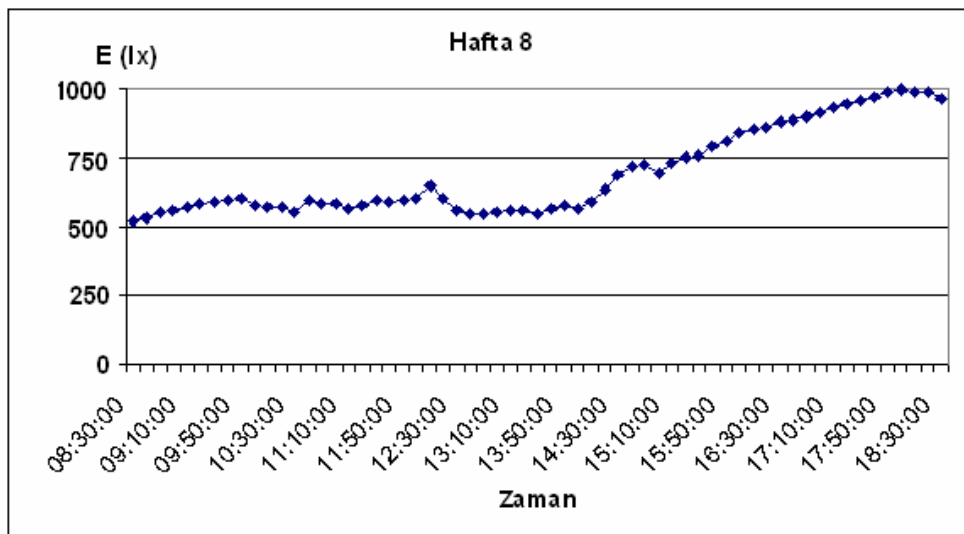
Düşey ışık algılayıcılarından biri 1. aydınlatma alanında yazı tahtasında diğeri 3. aydınlatma bölgesinde yan duvarda bulunmaktadır. Yazı tahtasındaki algılayıcının yılın 2 farklı haftasına ait ortalama aydınlık düzeyi değişimleri Şekil 4.7. ve 4.8.'de verilmiştir. Benzer olarak Şekil 4.9. ve 4.10 yan duvardaki ışık algılayıcısının yılın 2 farklı haftası için ortalama aydınlık düzeylerini vermektedir. Her iki algılayıcı için de öğleden sonra daha fazla direk günışığına maruz kaldıkları söylenebilir. Yazı tahtası uluslararası tavsiyeleri ($E_{y-minort}=300$ lüks) sağlayacak bir aydınlık düzeyine sahiptir ve aydınlık düzeyi gerek açık gerekse kapalı hava şartlarında 500 lüks civarında seyretmektedir.



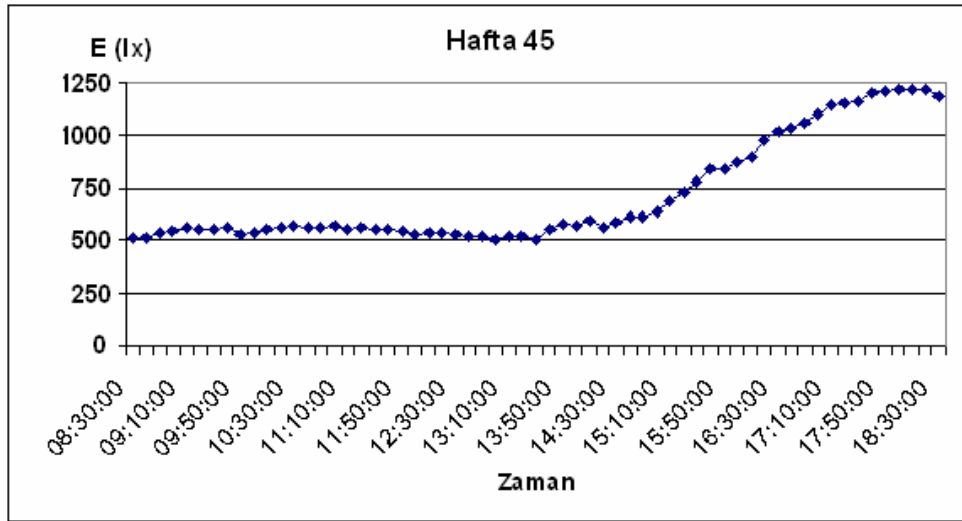
Şekil 4.7. Yazı tahtası üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi (15–21 Eylül 2008)



Şekil 4.8. Yazı tahtası üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi (1–6 Haziran 2009)



Şekil 4.9. Yan duvar üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi (15–21 Eylül 2008)



Şekil 4.10. Yan duvar üzerindeki düşey aydınlık düzeyi değişimi(1–6 Haziran 2009)

Yan duvardaki ışık algılayıcısının özellikle öğleden sonra saatlerinde 1000 – 1250 lüks gibi çok yüksek aydınlık düzeyi değerleri kaydetmiş oluşu güneşin hareket yönü ile açıklanabilir. Deney odasının penceresi ile güneşin hareket yönü arasındaki açı ve güneş ışınlarının hangi doğrultuda oda içinde daha yoğun bulunduğu Şekil 3.4.’te görülebilir.

Odadaki aydınlık düzeyi değerleri ile ilgili genel bir değerlendirme yapmak gerekirse çalışma alanları ve yazı tahtasında istenen aydınlık düzeylerinin sorunsuz olarak devamlı elde edilebildiği görülür. Odaya giren günışığı, rahatsız edici boyutlara ulaşır ya da kamaşmaya sebebiyet verir hale gelir ise, sırlı stor perde ile manüel olarak istenilen ölçüde engellenebilir. Özellikle güneşin batışından önceki birkaç saatte 3. bölgenin bir kısmında yoğunlaşan günışığı miktarı, o bölgede çalışma yapılacak olması durumunda perde kullanılarak ayarlanabilir.

BÖLÜM 5. ENERJİ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Elektrik güç sistemlerinde enerjinin üretilmesi, iletimi ve dağıtımı sırasında, akım ve gerilimin mevcut şebeke frekansında değişmesi ve sinüs eğrisine benzer karakterli kalması istenir. Teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve elektronik elemanların günlük hayatta daha fazla kullanılmaya başlamasının bir sonucu olarak, elektronik elemanların yoğun olduğu yüklerde gerilim ve akım dalga şekillerinde istenmeyen bozulmalar daha yoğun ortaya çıkmaya başlamıştır. Alçak gerilim şebekelerindeki en önemli ve yaygın yüklerden olan aydınlatma aygıtları da bu bağlamda önemli harmonik kaynaklarındandır [67]. Özellikle artan deşarj lambası – floresan lamba kullanımı ve elektronik balastların yaygınlaşması enerji tasarrufuna olumlu etkilerde bulunduğu gibi, enerji kalitesi parametrelerinden ikisi olan güç faktörü ve Toplam Harmonik Akım Bozulmasını negatif yönde etkilemektedir.

5.1. Harmonik Bozulma ve Elektriksel Parametrelerin İlişkisi

Normal işletme koşullarında, harmoniklerin varlığı ile akım, gerilim ve güç ifadeleri aşağıda verilen ifadelerde gösterildiği gibi hesaplanabilir:

$$V_{(t)} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \cdot \sin(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (5.1)$$

$$I_{(t)} = \sum_{n=1}^{\infty} I_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \cdot \sin(n\omega_0 t + \delta_n) \quad (5.2)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (5.3)$$

$$I_{ef} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (5.4)$$

$$P = \int_0^T V_{(t)} I_{(t)} dt = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) \quad (5.5)$$

Burada I_n ve V_n sırasıyla n . harmonik akım ve gerilimin efektif değeri, V_{ef} ve I_{ef} harmonikli gerilim ve akımların efektif değeridir [68,69]. THD ise harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel harmonik bileşen değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir [68]. THD, harmonikleri içeren dalga işaretinin, tam sinüs biçiminden ne kadar uzaklaştığını tespit etmek için kullanılır.

$$THD_V = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (5.6)$$

$$THD_I = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (5.7)$$

Aydınlatma aygıtlarının birçoğu özellikle floresan lambalar gibi deşarj lambaları lineer olmayan akım çekerler ve dolayısıyla harmonik üreticileridirler ve akım harmoniğine dayalı THD_I yüzdelерinin artmasına sebep olup enerji kalitesini bozucu etkide bulunurlar.

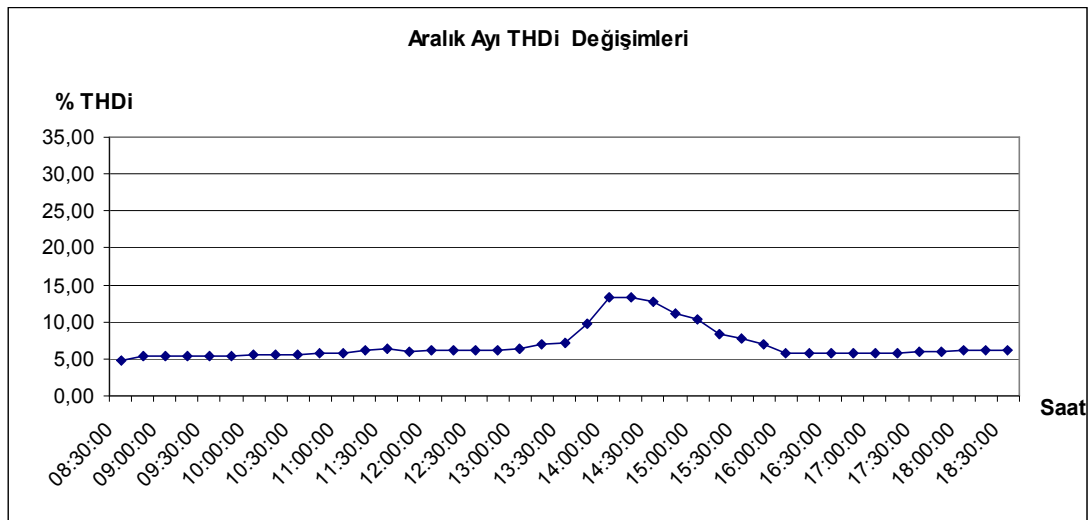
5.2. Günişığına Bağlı Aydınlatma Kontrolünün Enerji Kalitesine Etkileri

Bu çalışmada günışığına bağlı olarak çalışan elektronik balastlı aydınlatma kontrol sisteminin bağlı olduğu sistemdeki güç faktörü ve THD değerlerini nasıl değıştirdiğı incelenmiştir. İncelemede kullanılan veriler aydınlatma tesisatı önüne bağlanmış olan enerji analizörü (Janitza UMG 503) ile her 15 dakikada bir kayıt altına alınmış olan verilerdir.

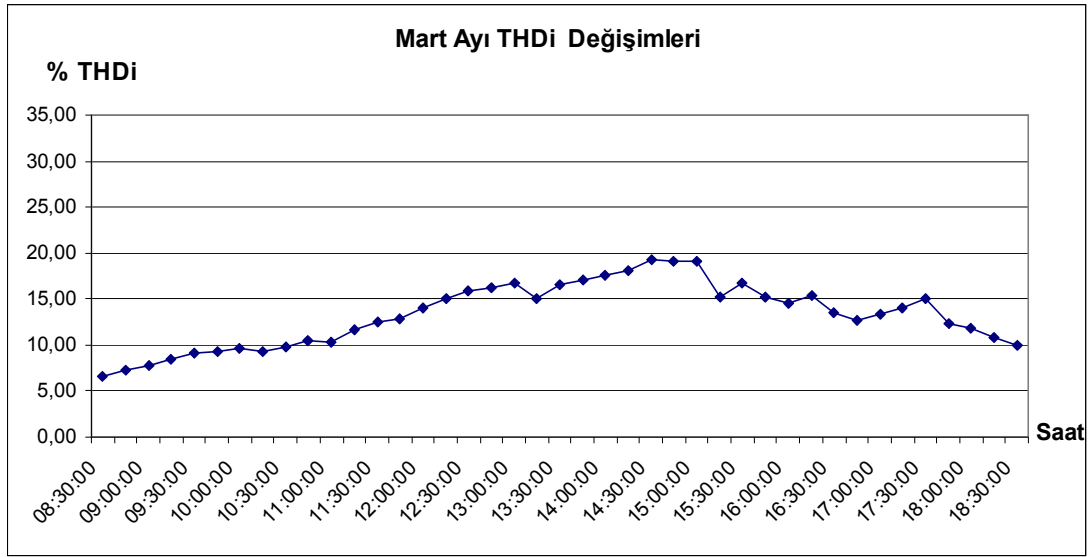
1 yıl süren deney boyunca ortalama % 40,78 aydınlatma enerjisi tasarrufuna ulaşılmıştır. Aydınlatma sistemi dijital loşlaştırma yapabilen, elektronik DALI balastlarla donatılmış floresan lambalı armatürlerden oluşmaktadır ve dolayısıyla harmonik akım üretilmesine uygun şartları hazırlar niteliktedir. Kontrol sisteminin harmonik bozulmalara yol açıcı etkilerini en iyi görebileceğimiz ve kıyaslayabileceğimiz zamanlar kuşkusuz aydınlatma enerjisi tasarrufunun en küçük, ortalamaya en yakın ve en büyük olduğu dönemlerdir. 12 aylık enerji kalitesi verileri incelendiğinde bu ayların sırasıyla Aralık, Mart ve Haziran ayları olduğu ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.1.).

5.2.1. THD_I etkisi

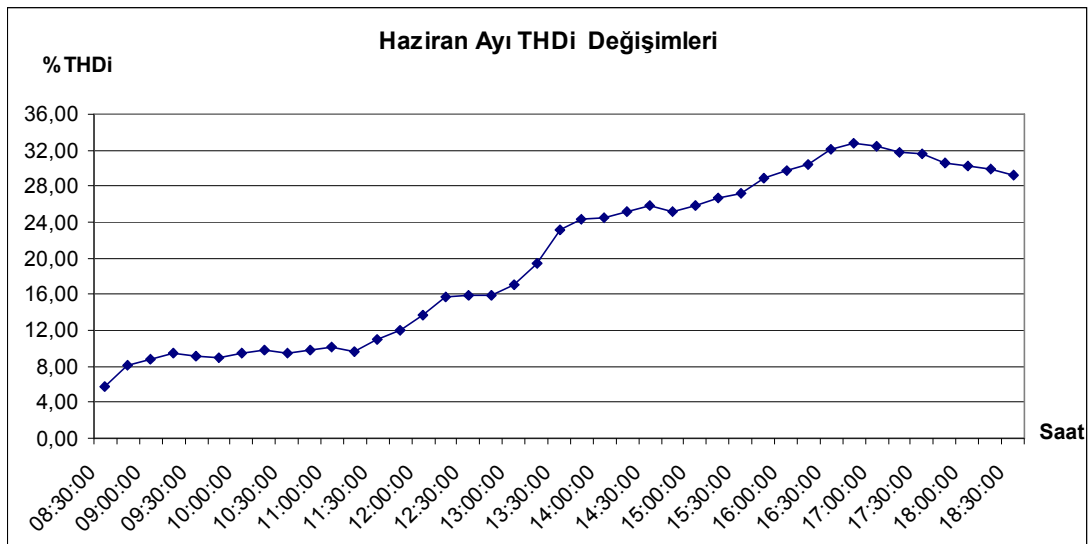
Yukarıda belirtilen üç ay için THD_I değişimleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Odaya giren günışığının çalışma düzlemlerinde arzu edilen aydınlık düzeyinin sağlanmasında katkısı arttıkça, kontrol sistemi 3 kanaldaki aydınlatmayı loşlaştırmaktadır. Balastın kendiliğinden neden olduğu harmonik etkiler yanı sıra loşlaştırma işlemi nedeniyle de THD_I yüzdesi artmaktadır. Loşlaştırma sıklığı arttıkça THD_I yüzdeleri de loşlaştırmanın oranına göre daha yüksek mertebelerde seyretmektedir. Deney odasında kurulu aydınlatma sisteminin loşlaştırma yapmadığı ve maksimum güçte çalıştığı anlardaki THD_I yüzdesi test döneminde % 5 civarında ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Aralık ayı THD_I değişimleri



Şekil 5.2. Mart ayı THD_I değişimleri



Şekil 5.3. Haziran ayı THD_I değişimleri

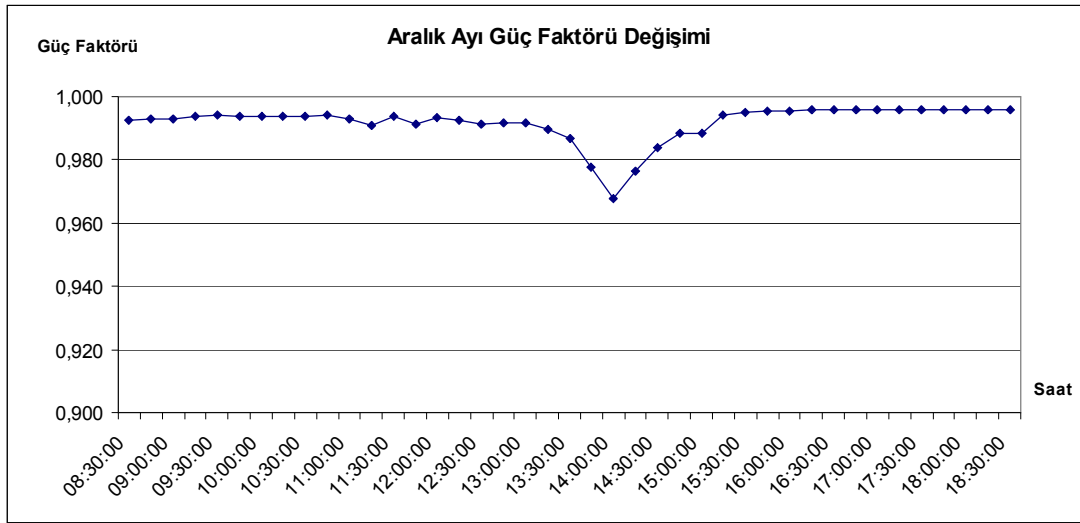
Elektronik balastlar için son yıllarda ürettikleri bozucu etkilerden dolayı bir çok standart hazırlanmıştır. Örneğin global boyutta kabul gören ANSI'nin C82.2 standardına göre elektronik balastların ürettiği THD_I değerleri için üst sınır % 32 olarak tespit edilmiştir [70]. Tek fazlı yükler için harmonik limitlerinin incelemesinin yapıldığı bir çalışmada, aydınlatma aygıtları için incelenen çeşitli standartların % 30 ila % 35 arası maksimum akım harmoniğine izin verdiği söylenmektedir [71]. Bu bilgiler ışığında ilgili aylara ilişkin % THD_I değerleri incelendiğinde; Aralık ayı için saat 14:00'da % 13,33, Mart ayı için saat 14:30'da % 19,34, Haziran ayı için saat

16:45'te % 32,85 değerleri elde edilir. Sadece aydınlatma enerjisi tasarrufunun en büyük değerde gerçekleştiği Haziran ayında ANSI standardı saat 16:30 – 17:00 arasında küçük bir oranda aşılmış, geriye kalan zamanlarda standardın belirlediği üst sınırın altında kalmıştır.

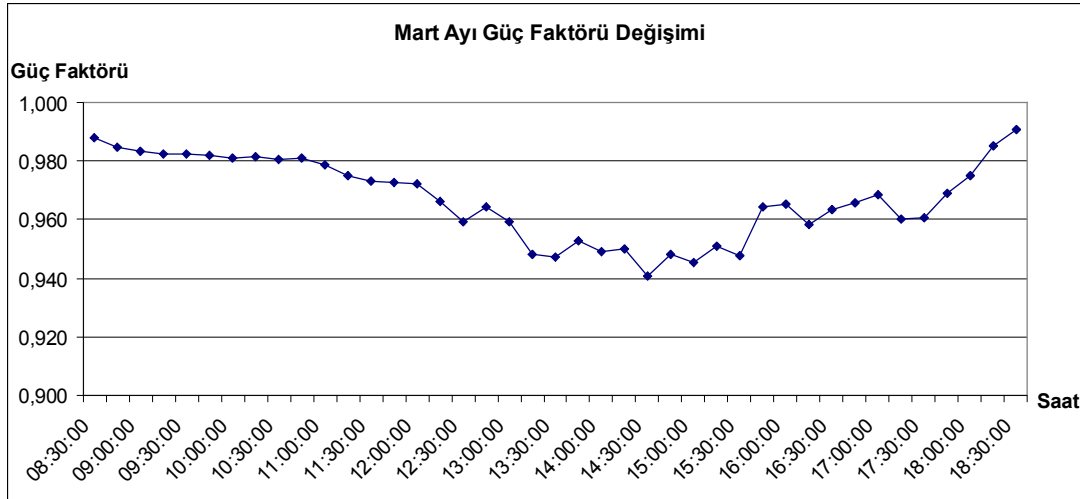
Yakın bir tarihte, 2009 yılı bahar aylarında, İstanbul'da yapılan bir çalışmada elde edilen veriler karşılaştırılacak olunursa, hava durumuna göre %11.85 ila % 22.6 arasında saptanan % THD_I değerlerinin [23] bu çalışmada çıkan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir. Dolayısıyla benzer coğrafi şartlarda ve yakın boylamlarda bulunan yerlerin benzer aydınlatma şartları ve kontrol sistemleri idaresinde yakın elektriksel karakteristikler sergileyebileceği söylenebilir.

5.2.2. Güç faktöründeki bozulmalar

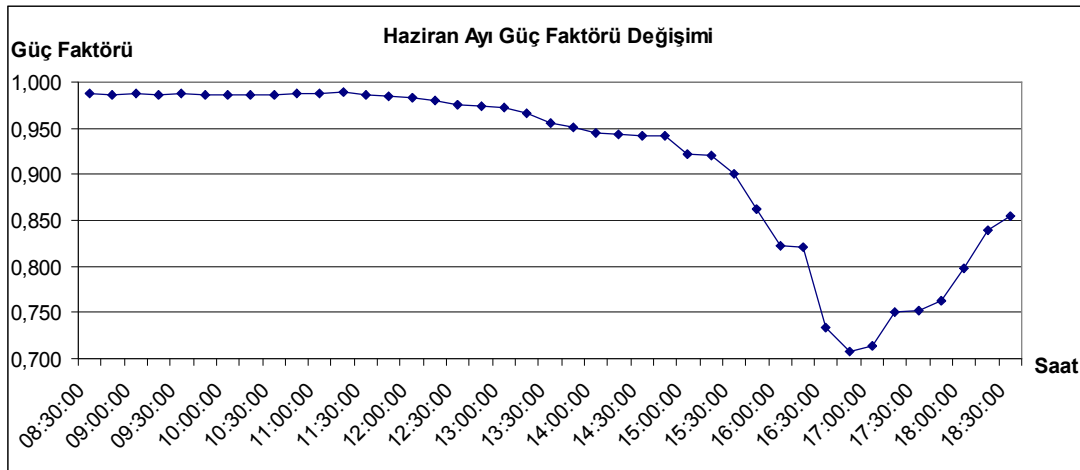
Yukarıda sözü geçen aylar için güç faktöründeki bozulmalar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Aydınlatma enerjisi tasarrufunun en küçük dolayısıyla loşlaştırmanın da en az gerçekleştiği ay olan Aralık'ta güç faktörü, en yoğun günışığı alınan öğlen saatlerindeki bozulması hariç, gayet düzgün seyretmektedir. Mart ayında bu bozulma günlerin uzamasıyla beraber süre ve değer olarak öğleden sonra saatlerinde artarken, Haziran ayında en büyük tasarrufla birlikte en büyük bozulma da gerçekleşmektedir. Güç faktörünün Aralık ayında en düşük olduğu saat 14:00'daki değeri 0,968, Mart ayında saat 14:30'daki değeri 0,941, Haziran ayında saat 16:45'teki değeri 0,707 olarak gerçekleşmiştir. Güç faktörünün en düşük olduğu anlardaki % THD_I değerinin de en büyük olarak gerçekleşmesi bu iki parametre arasındaki ilişkiyi ortaya koymakla beraber, aydınlatma kontrol sistemi ve kayıt aygıtlarının tutarlı çalıştığının da bir göstergesidir.



Şekil 5.4. Aralık ayı güç faktörü değişimi



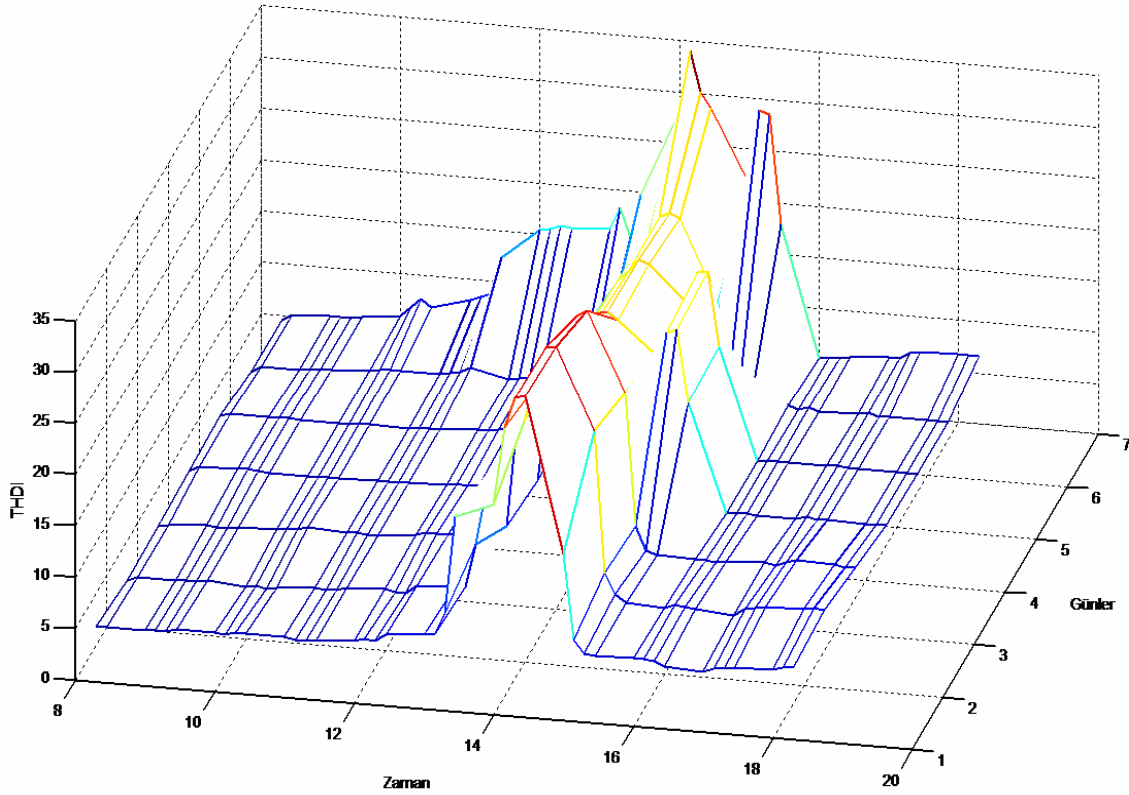
Şekil 5.5. Mart ayı güç faktörü değişimi



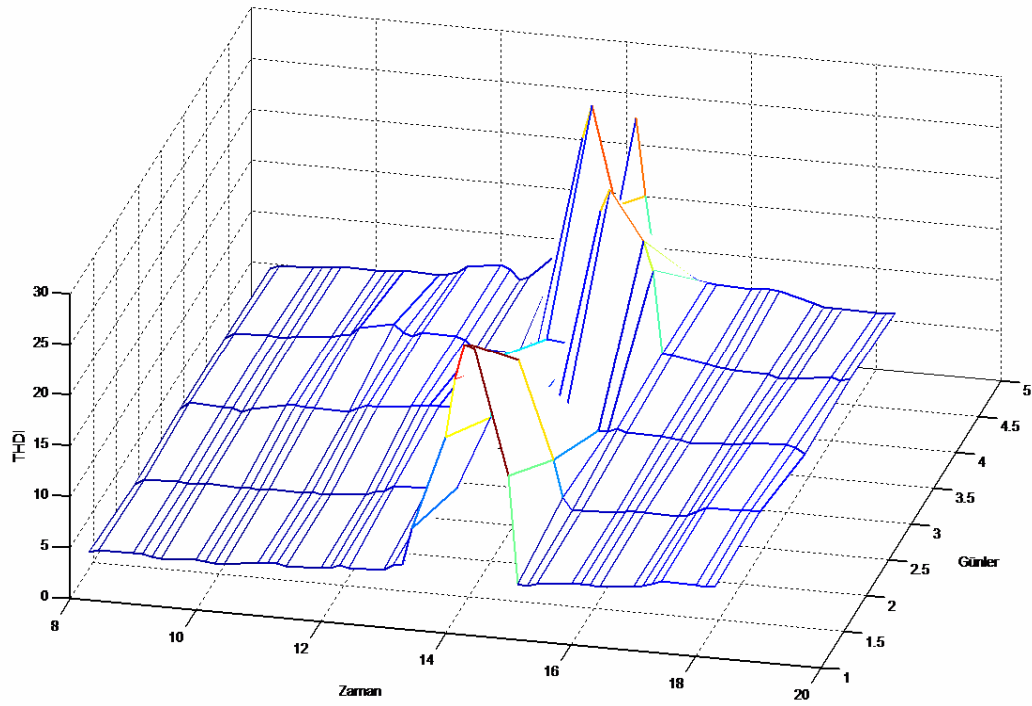
Şekil 5.6. Haziran ayı güç faktörü değişimi

5.2.3. Hava durumunun enerji kalitesi parametrelerine etkisi

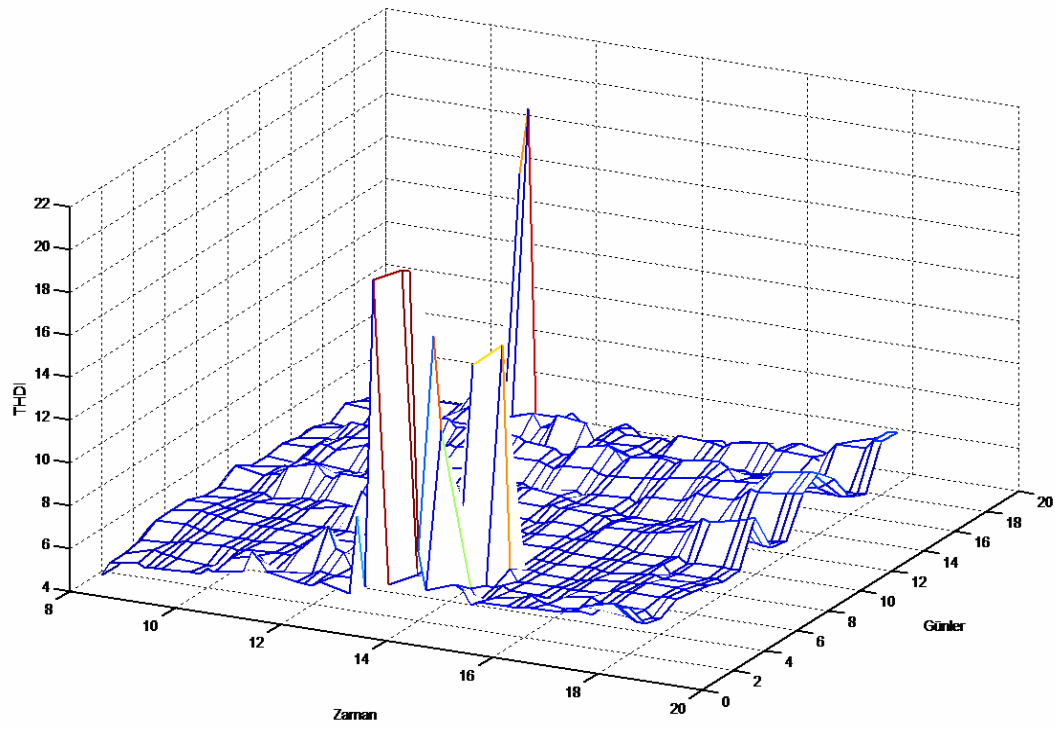
Deneyde kullanılan genişliğine bağımlı sistem, odaya giren güneş ışığı miktarına bağlı olarak çalıştığına, bu miktar da günlük güneşlenme süresine bağlı olduğuna göre, meydana gelecek loşlaştırma işlemlerinin direk olarak hava durumu ile ilişkili olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Buna göre havanın açık, karma ya da kapalı durumda olmasına göre % THD_I ve güç faktörünün değişimi incelenirse bu ilişki ispatlanabilir. Şekil 5.7. ve 5.14. arası örnek aylardaki % THD_I – hava durumu ilişkisini, benzer olarak Şekil 5.15. ve 5.22 arası da güç faktörü – hava durumu ilişkisini göstermektedir.



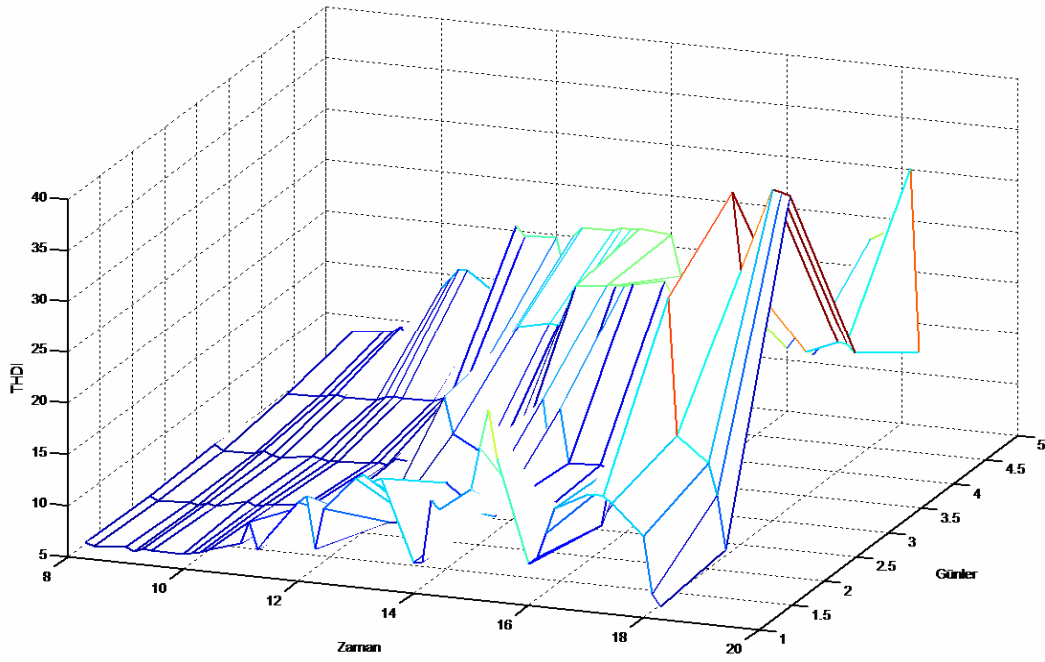
Şekil 5.7. Aralık ayı için açık günlerin THDI değişimleri



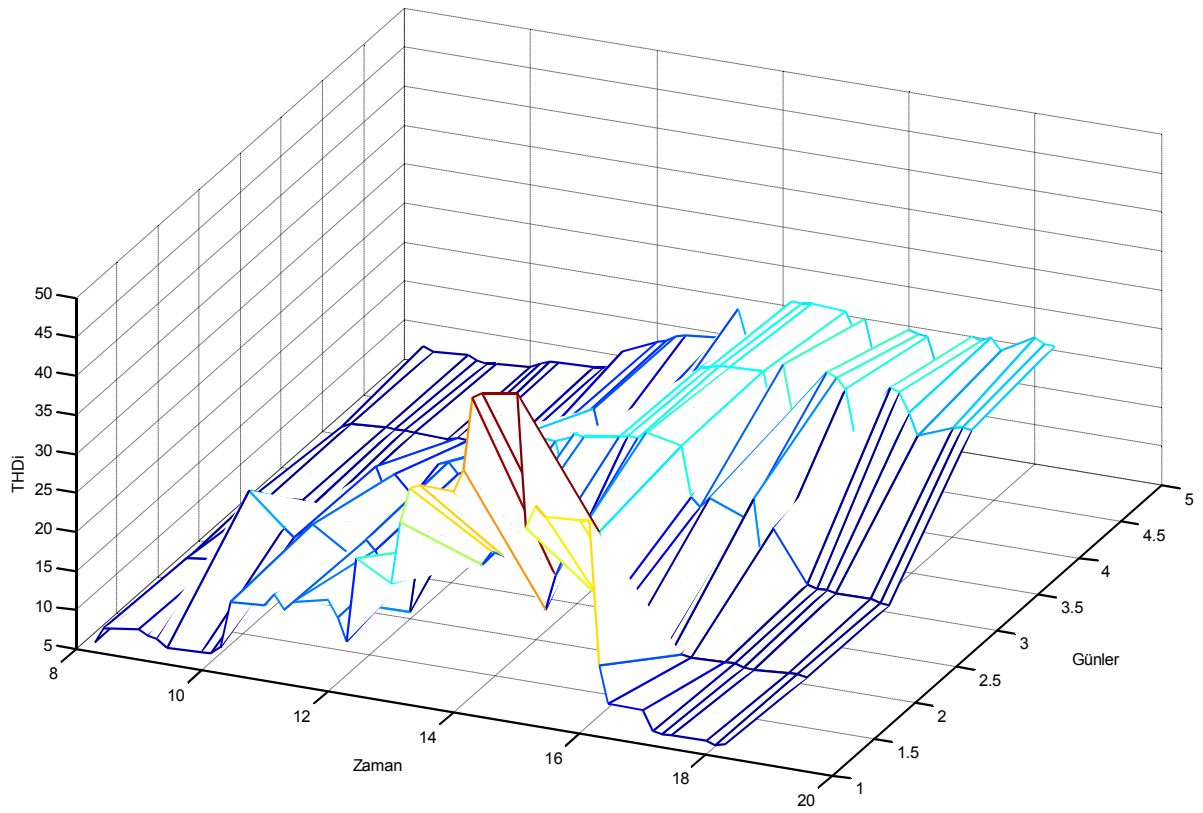
Şekil 5.8. Aralık ayı için karma günlerin THD_I değişimleri



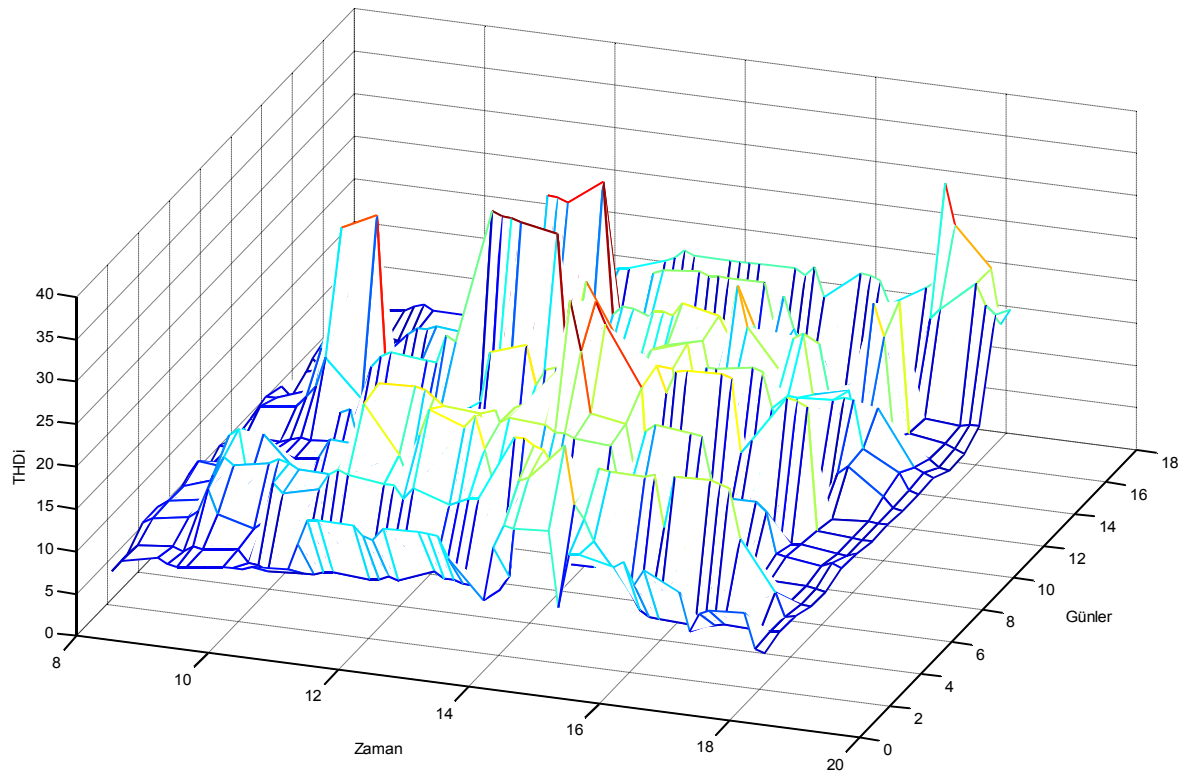
Şekil 5.9. Aralık ayı için kapalı günlerin THD_I değişimleri



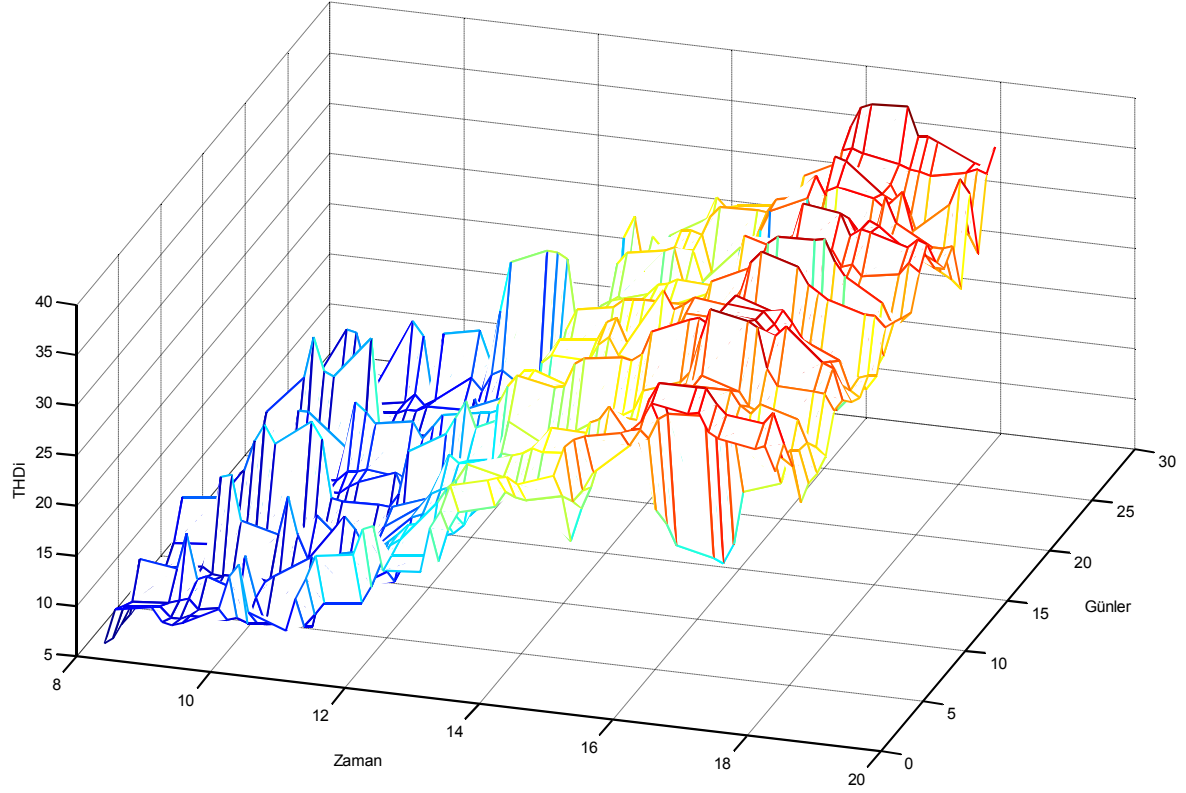
Şekil 5.10. Mart ayı için açık günlerin THDI değişimleri



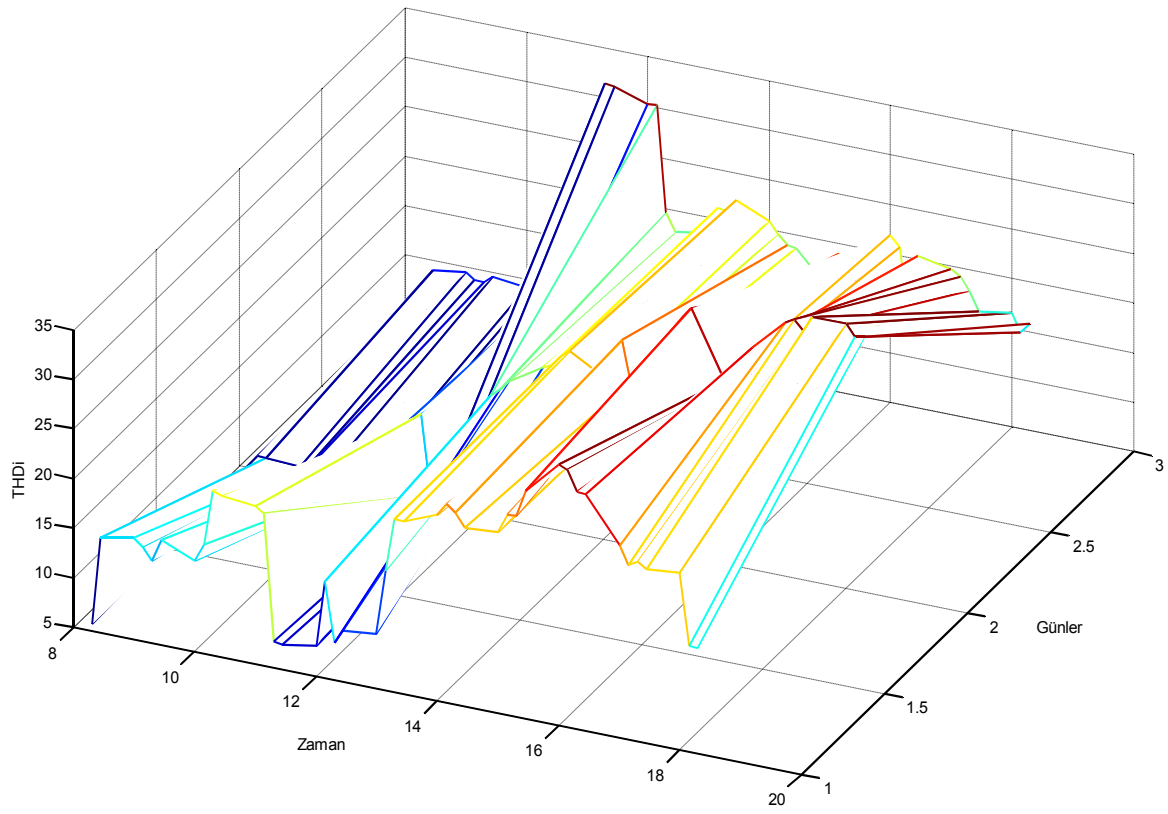
 ekil 5.11. Mart ayı i in karma günlerin THDI deęi imleri



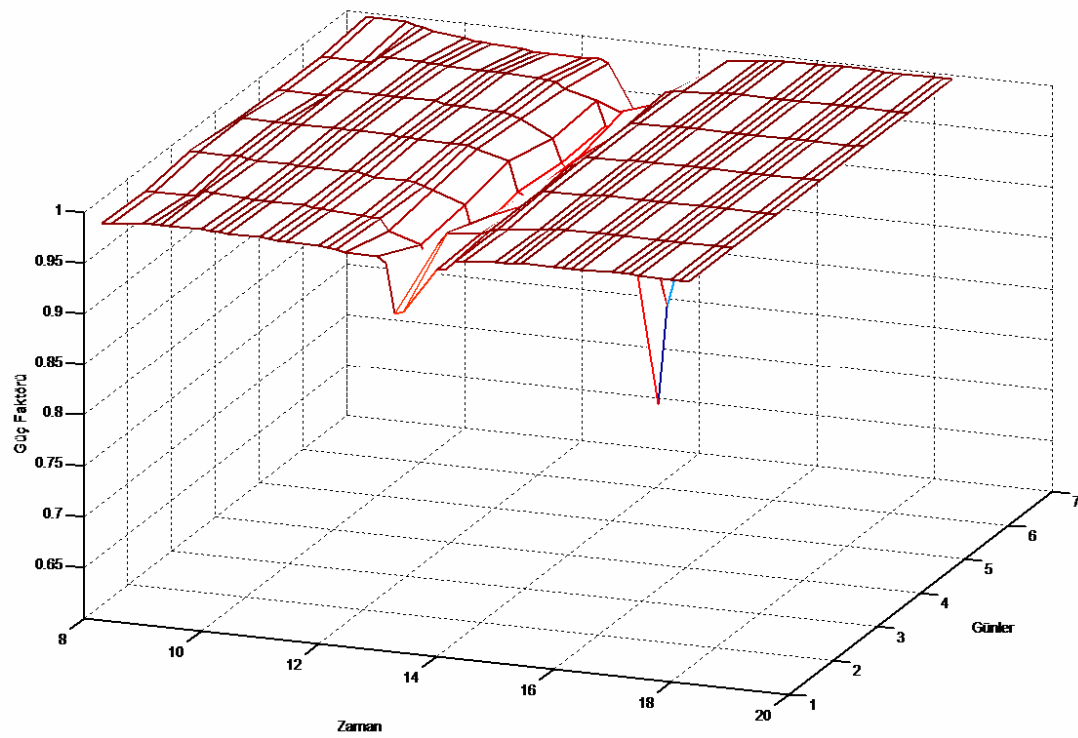
 ekil 5.12. Mart ayı i in kapalı günlerin THDI değişimleri



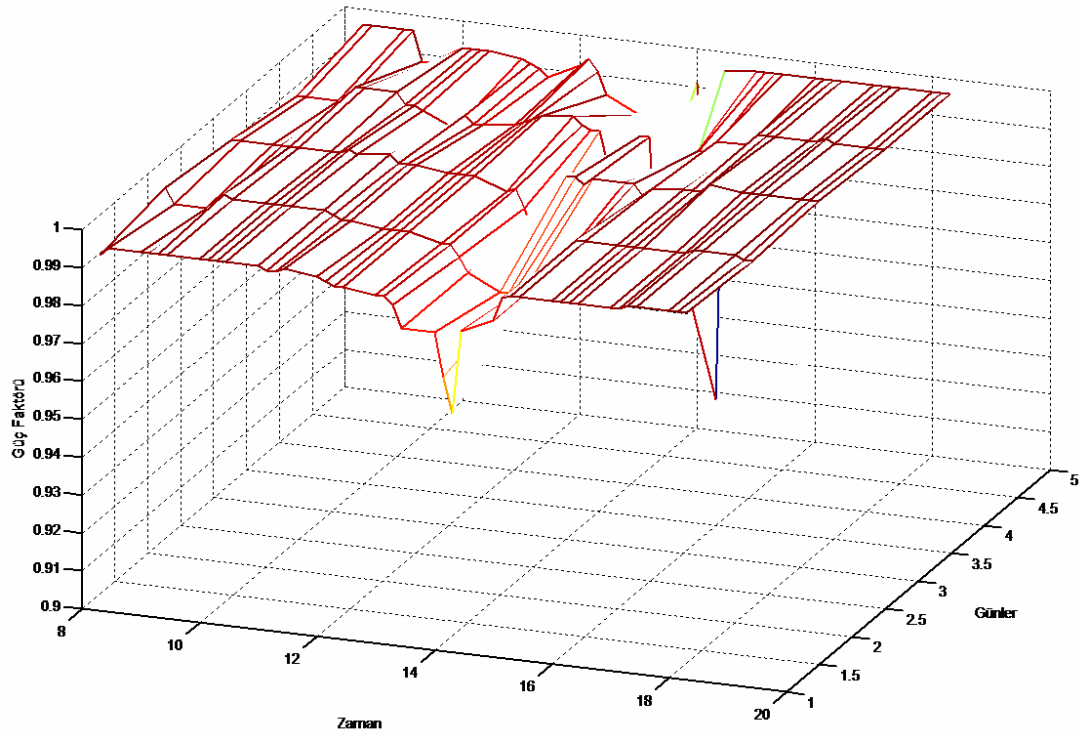
 ekil 5.13. Haziran ayı i in a ık günlerin THDI değişimleri



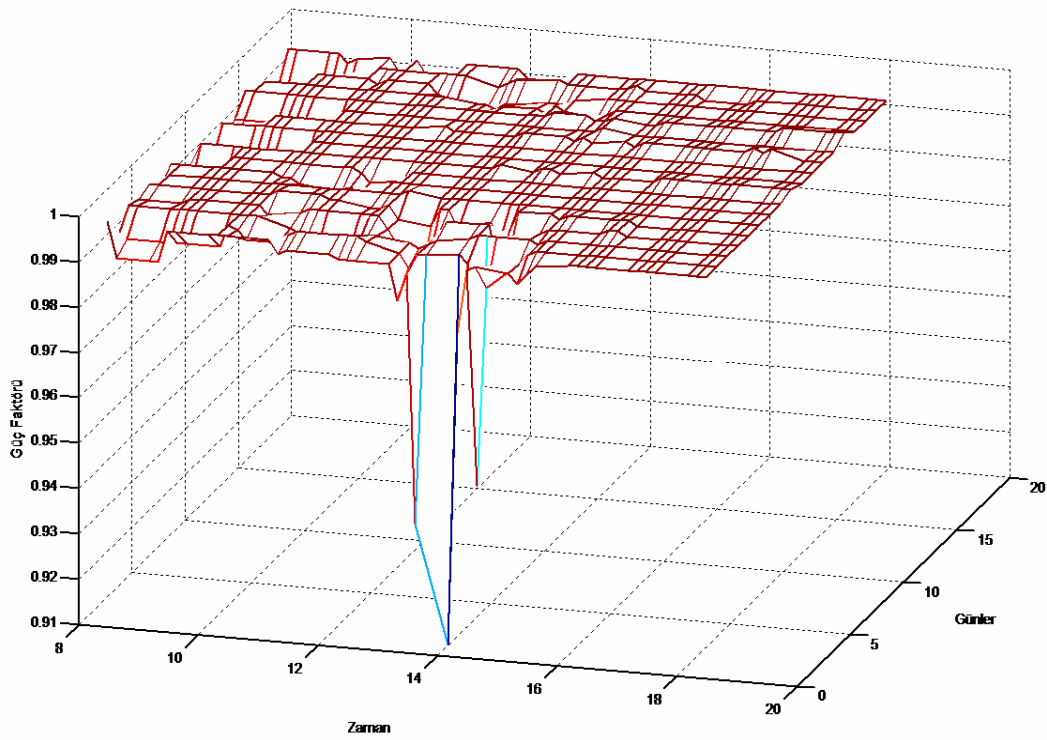
Şekil 5.14. Haziran ayı için karma günlerin THD_I değişimleri



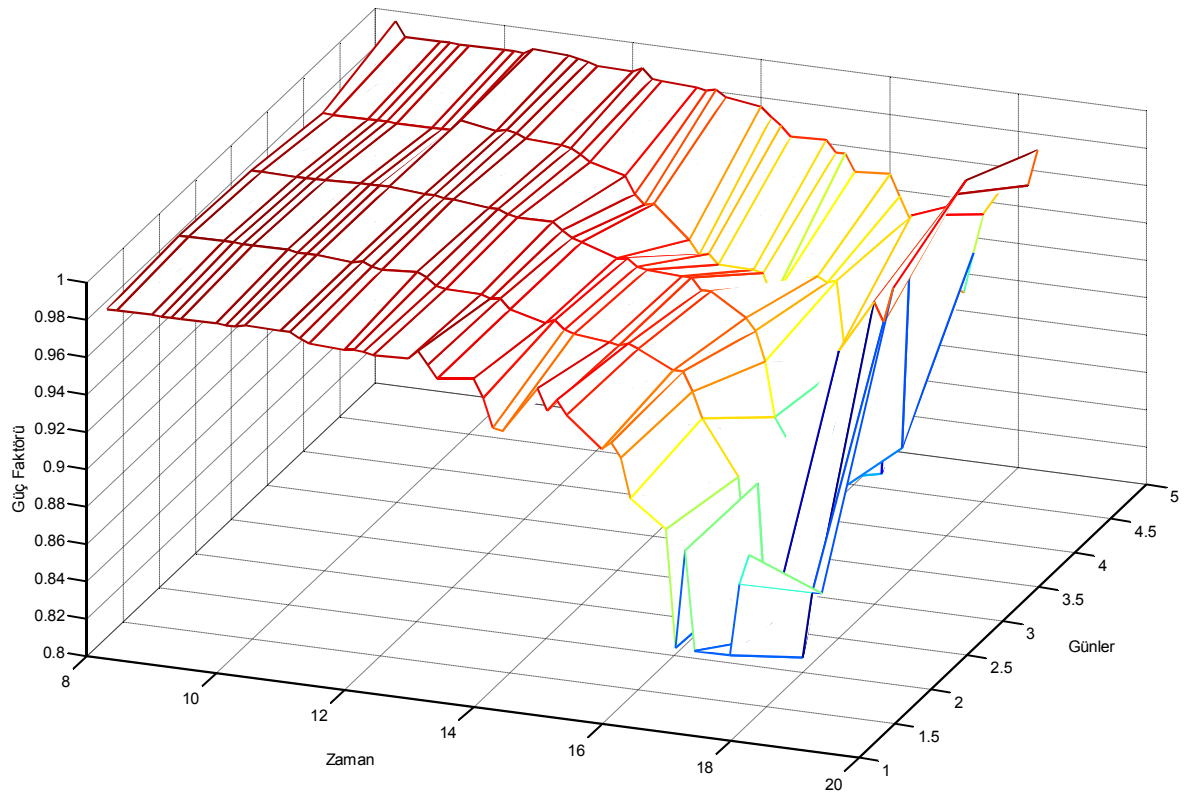
Şekil 5.15. Aralık ayı için açık günlerin g   faktörü değişimleri



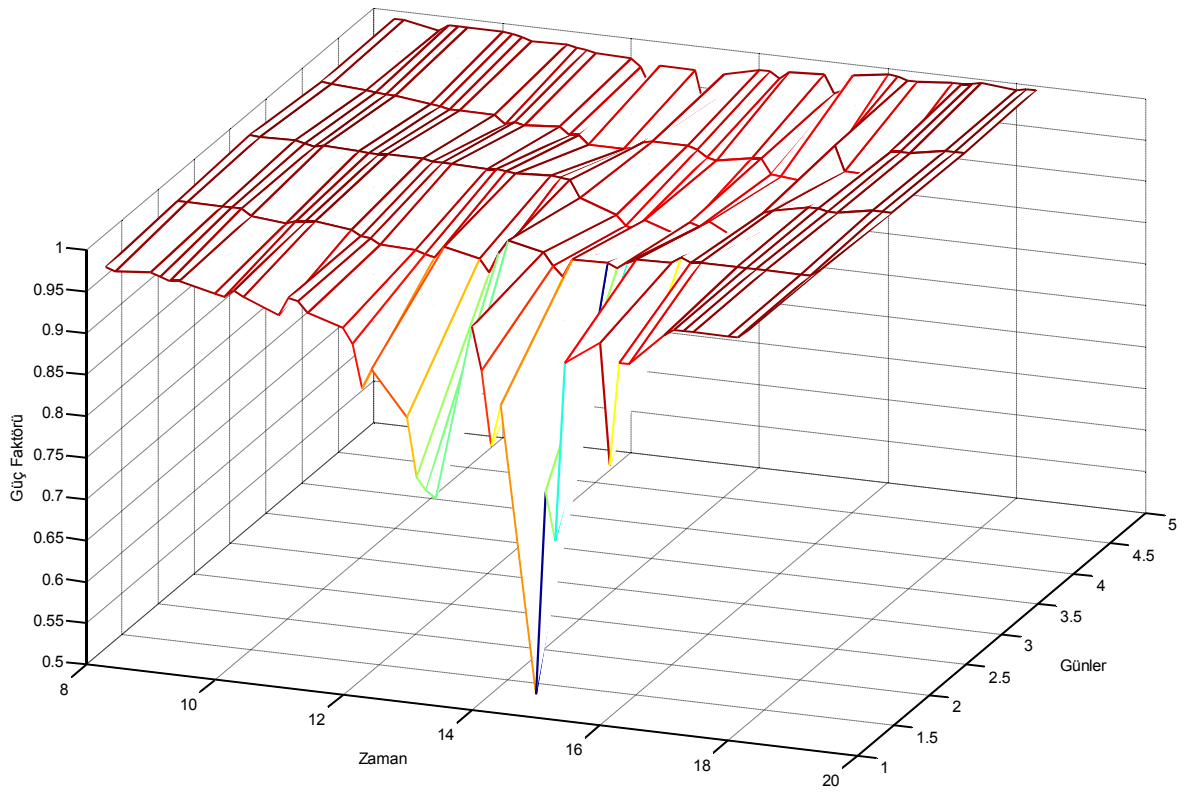
Şekil 5.16. Aralık ayı için karma günlerin güç faktörü değişimleri



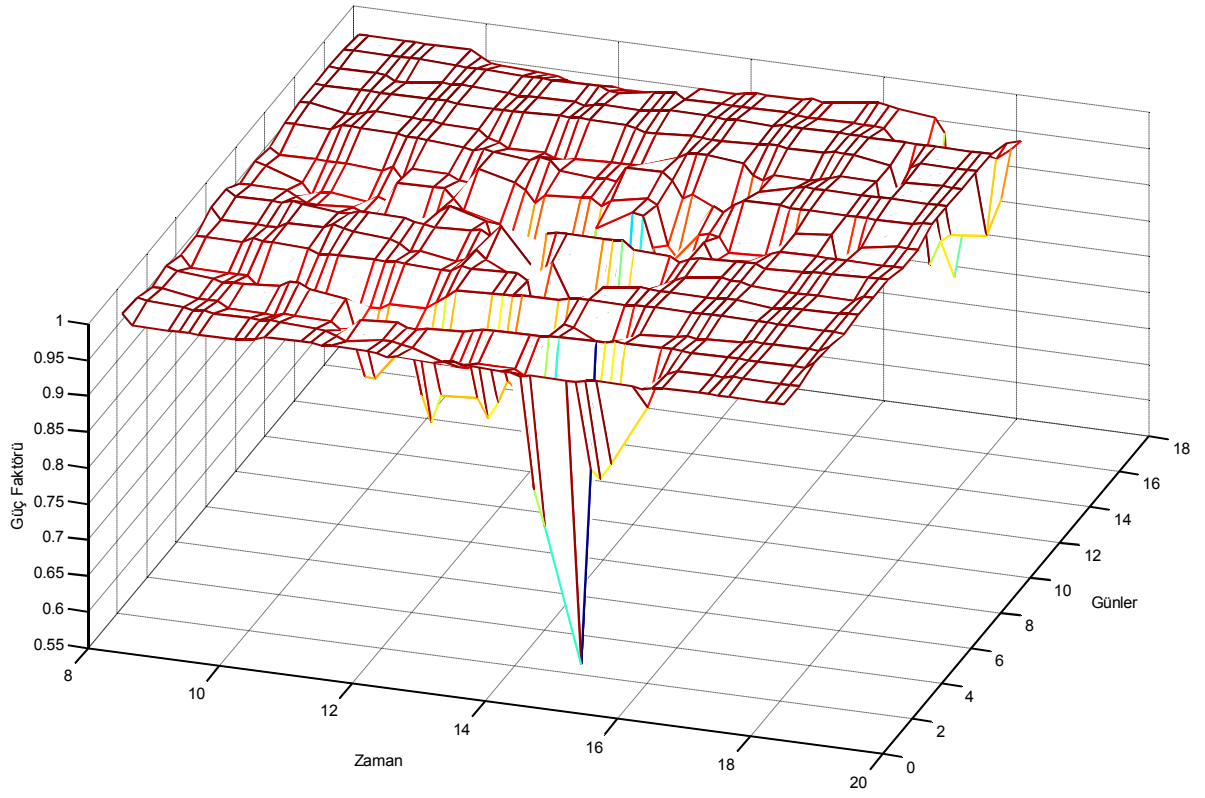
Şekil 5.17. Aralık ayı için kapalı günlerin güç faktörü değişimleri



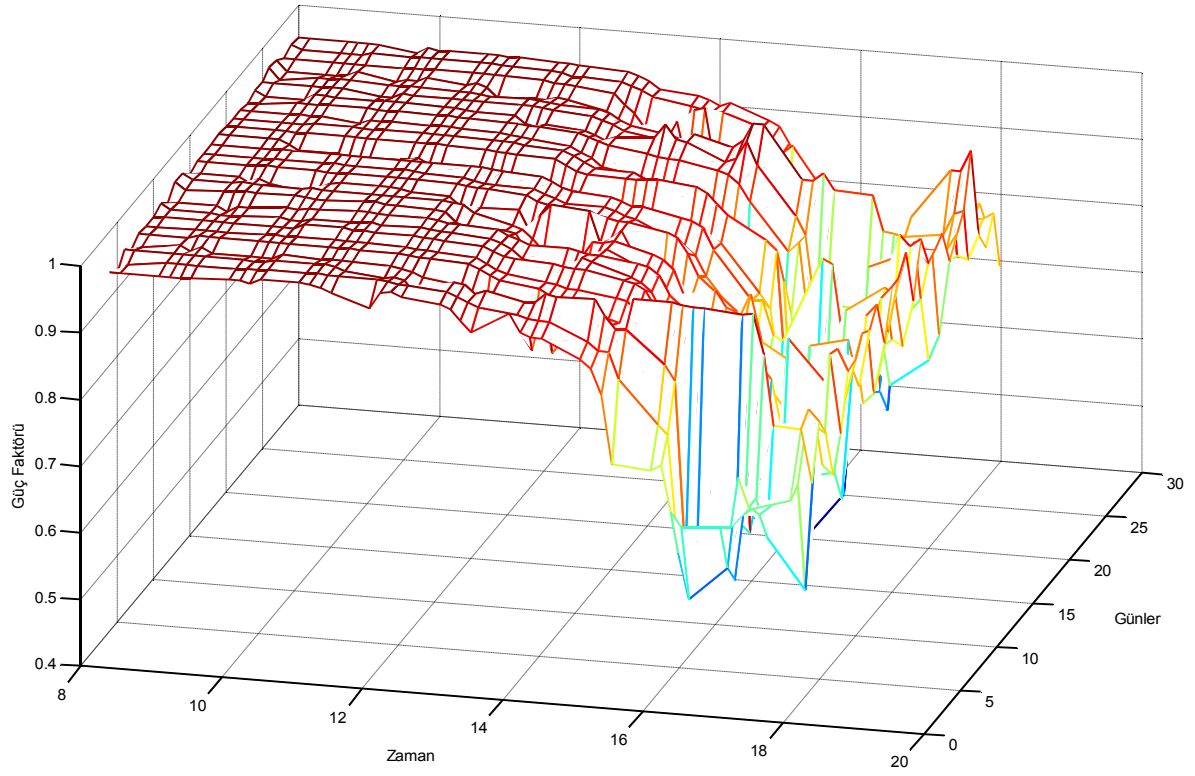
Şekil 5.18. Mart ayı için açık günlerin güç faktörü değişimleri



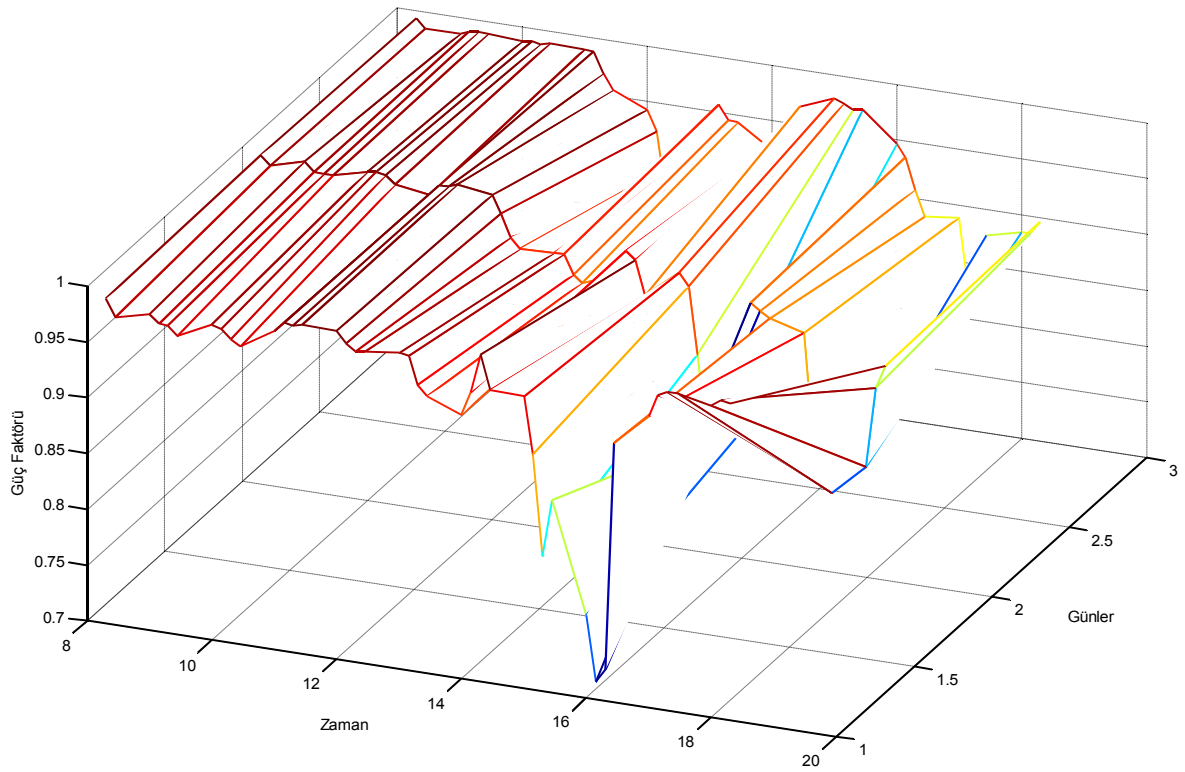
Şekil 5.19. Mart ayı için karma günlerin güç faktörü değişimleri



Şekil 5.20. Mart ayı için kapalı günlerin güç faktörü değişimleri



Şekil 5.21. Haziran ayı için açık günlerin güç faktörü değişimleri



Şekil 5.22. Haziran ayı için karma günlerin güç faktörü değişimleri

Değişim ortalamaları alınarak elde edilen değerler genel itibariyle aydınlatıcı bilgi veriyor olsa da sistemde, hava şartlarına bağlı olarak anlık yükselen THD_I ve dolayısıyla düşen güç faktörü değerleri de bulunacaktır. Yukarıdaki şekillerde örnek aylarda kayıt yapılan süreçte elde edilen tüm değerler aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Dolayısıyla hava durumunun değişimine göre sistemin verdiği cevap ve çalışma karakteristiği net olarak anlaşılmaktadır. Enerji analizörü tarafından THD_I ve güç faktörü değerleri daha önce de belirtildiği üzere 15'er dakika aralıklarla kayıt altına alınmıştır.

Normal çalışmada % 5 civarı THD_I ve 0,98 – 0,99 arası güç faktörü değerlerine sahip olan aydınlatma sistemi, hava şartlarına bağlı olarak, aydınlatma enerjisi tasarrufu ve görsel konfor amaçlı çalışma düzlemi aydınlık düzeyini sabit tutabilmek için loşlaştırma yapmaktadır. Bu sebeple adı geçen enerji kalitesi parametreleri bozulmakta, güneşlenme süresi artıp hava durumu iyileştikçe enerji tasarrufu yükselirken kullanılan enerjinin kalitesi aşağıya çekilmektedir. Dolayısıyla ciddi anlamda enerji tasarrufu sağlayan günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin

en önemli eksisi olarak bu faktör ortaya çıkmaktadır. Örneğin Haziran ayında açık bir günde güç faktörü değerinin 0,5 seviyesine indiği Şekil 5.21'den rahatlıkla görülebilmektedir. Bu değer yüksek frekanslı elektronik balast kullanan sistemin yaklaşık olarak konvansiyonel balast mertebesinde çalıştığının ve enerji kalitesi bakımından amaca bazı anlarda hizmet etmediğinin bir göstergesidir.

Bahsedilen sorunun çözülebilmesi için, bu ve benzeri kontrol sistemlerinin kullanılacağı özellikle büyük ölçekli ofis binaları ve üretim sahalarında “aktif harmonik filtre” kullanımı bir seçenek olabilir. Aktif harmonik filtre sistemdeki akımı ölçerek, sistemde bulunan harmoniklerin tam ters işaretlisini kendi tetikleme devresi ile üreterek sisteme veren, ileri teknolojiye sahip bir aygıttır. Aktif harmonik filtrenin akım harmoniğini yani THD_I 'yı kompanse edip akım dalga şeklini sinüs formuna yaklaştırması ya da tamamıyla oturtmasıyla bu sıkıntının önüne geçilebilir. Aktif harmonik filtre maliyeti ilk başta ek bir masraf olarak gözüксе de, kurulan uzun ömürlü ve enerji verimli aydınlatma sistemi ile birlikte sağlayacağı tasarrufla bu maliyetin kısa sürede çıkarabileceği söylenebilir.

BÖLÜM 6. KULLANICI MEMNUNİYET ANKETİ

Aydınlatma tasarımı yapılırken hedeflenen, aydınlatma enerjisinde ve buna bağlı olarak gelişecek giderlerde sağlanabilecek tasarruflar, ancak kullanıcıların görsel konforlarını ve performanslarını etkilemeyen uygulamalar ile hayata geçirilebilir [72]. İnsanlarda görsel konforun sağlanabilmesi için, görsel performans artmalı, göz sağlığı korunmalı ve bu durumda bir süreklilik sağlanarak kullanıcıların gerek fizyolojik, gerekse psikolojik ihtiyaçları karşılanmalıdır. Bunun için yapay aydınlatmanın miktarı ve kalitesi kullanıcılar tarafından kabul edilebilir derecelerde olmalıdır [73]. Dolayısıyla herhangi bir aydınlatma tasarımı ya da enerji tasarrufu amaçlı aydınlatma çalışmasının kullanıcı memnuniyet analizleri olmadan ekonomikliği konusunda herhangi bir yorum yapmak yanlış olacaktır [74].

Kullanıcı memnuniyetinin saptanması noktasında daha önce yapılmış çalışmalara bakmakta fayda vardır. Bu çalışmalarda kullanılan anket yöntemleri ve sorulan sorular bu çalışmanın kullanıcılar üzerindeki yarattığı etkiyi ölçmekte kılavuzluk yapabilirler.

Manav'ın yapay aydınlatmadanın ışık rengine kullanıcıların verdiği tepkileri ölçtüğü [43], Reinhardt ve Fitz'in bina tasarımında günışığı simülasyonlarının etkisini araştırdığı [75], Barlow ve Fiala'nın kullanıcıların adaptif konfor teorilerine ne tepki vereceğinin üzerinde çalıştığı [39], Moore ve arkadaşlarının kullanıcıların aydınlatma otomasyonlarının varlığı ya da yokluğuna verdiği tepkilerin ölçtüğü [76], Boyce ve yine Moore'un aydınlatma kontrollü ofislerle ilgili kullanıcı tercihlerini araştırdığı [49,50] çalışmalarıyla, Zinzi'nin elektrokromatik pencerelerle ilgili tepkileri [33], Maarwe ve Carter'ın günışığı taşıma sistemlerine ilişkin kullanıcı tercihlerini araştırdıkları çalışmalarındaki [77] anket yöntemleri ve sorular incelendikten sonra bu çalışma için kullanıcı memnuniyetini ölçecek olan anketin soruları hazırlanmaya

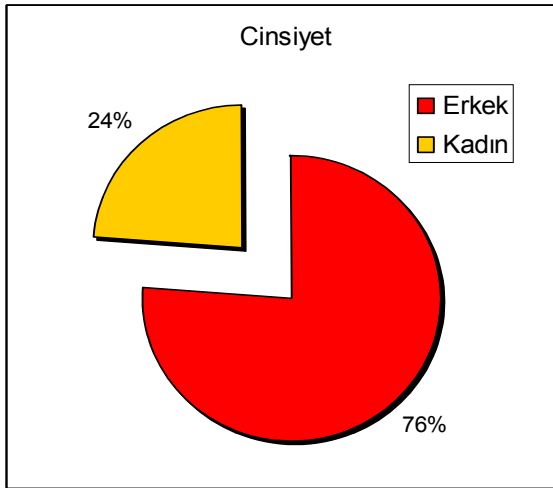
başlanmıştır. Bu bağlamda Erdem ve Enarun'un çalışması [74] bu tez çalışmasının anketinin hazırlanması aşamasında önemli bir kaynak olmuştur.

Bireylerin bir konudaki görüş, düşünce veya tutumlarını belirlemeye yarayan ölçü araçlarına tutum ölçeği adı verilmektedir. Bir tutum ölçeği, araştırılan konudaki olumlu ve olumsuz görüş, düşünce veya tutumları yansıtan bir dizi maddeden oluşmaktadır [74]. Bu tez çalışmasındaki günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin kullanıcı memnuniyet anketi tutum ölçeği olarak, önceki çalışmaların incelenmesi ve farklı tutum ölçeklerinin değerlendirilmesi sonucunda, Likert Ölçeğinin kullanılmasına karar verilmiştir. Likert Ölçeği, 5'lik skala üzerinden, cevapları kesinlikle katılıyorum, katılıyorum, kararsızım, katılmıyorum ve kesinlikle katılmıyorum ya da buna eşdeğer parametreler arasında değişen tutum ölçeğidir. Her cevabın sayısal bir karşılığı bulunmaktadır. Likert ölçeği yüksek geçerliliğe sahip ve güvenirliği yüksek bir ölçektir.

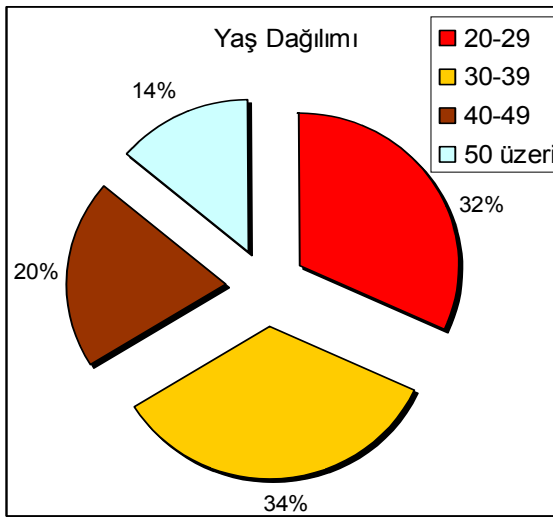
Oluşturulan kullanıcı memnuniyet anketi 2 kısımdır. 1. kısım demografik sorulardan oluşan "Kişisel Bilgiler"i sorgulamakta, 2. kısım ise "Deney Odası Aydınlatmasının Değerlendirilmesi" üzerine kullanıcıların görüşlerini almaktadır. Anket sorularının tamamı EK-C'de verilmiştir. 50 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilen anket çalışmasının sonuçları, SPSS 16.0 istatistiksel veri analizi paket programında irdelenmiştir [78]. Deneye başlarken katılımcıların odadaki gölgelendirme tertibatı olan sırlı stor perdeleri istedikleri gibi kullanabilecekleri söylenmiş, anket soruları ile ilgili bilgilendirme yapıldıktan sonra yarım günlük bir alışma süresi ertesinde anketi cevaplandırmaları istenmiştir.

6.1. Anket Katılımcılarının Profilleri

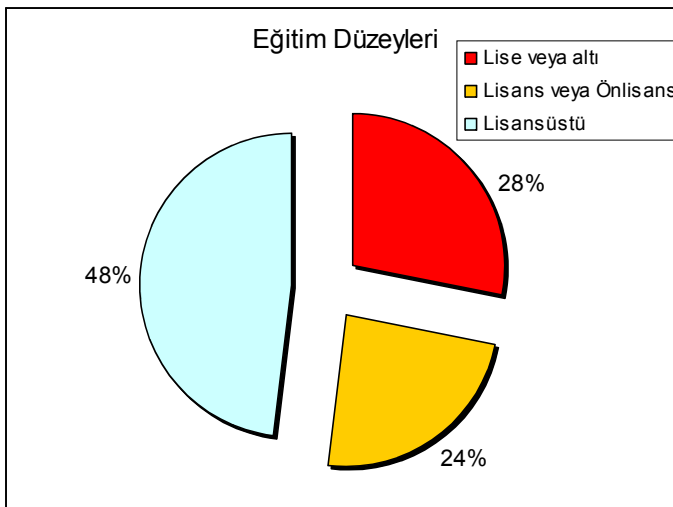
EK 3'te soruları bulunabilecek anket çalışması, 22 Temmuz – 28 Ekim 2009 tarihleri arasında, 38'i erkek, 12'si kadın toplam 50 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Anket katılımcıların profillerini gösteren grafikler ve SPSS çıktısı tablolar aşağıda sırasıyla verilmiştir.



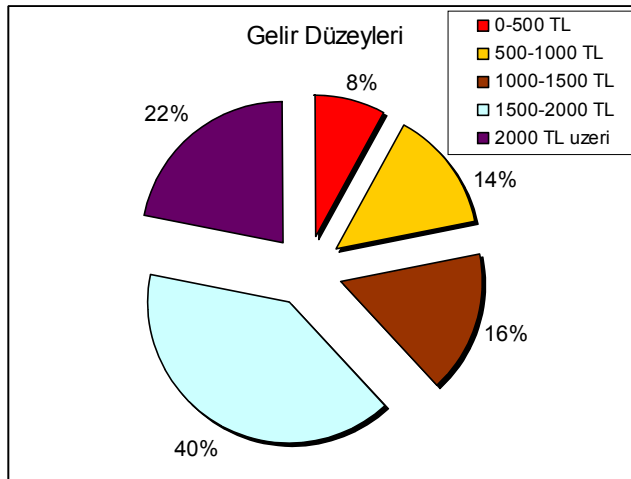
Şekil 6.1. Katılımcıların cinsiyetleri



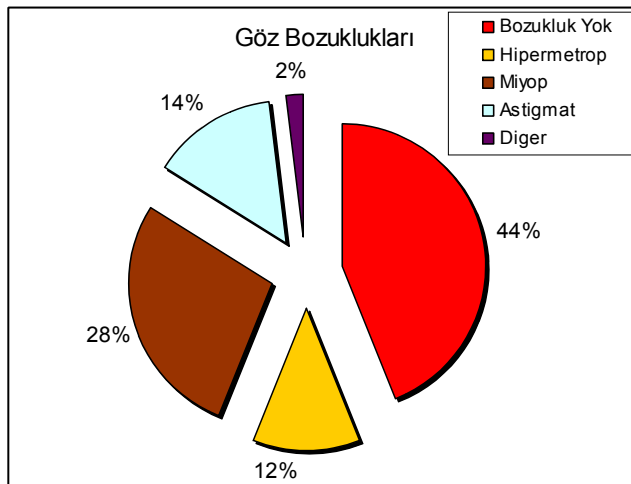
Şekil 6.2. Katılımcıların yaş aralıkları



Şekil 6.3. Katılımcıların eğitim düzeyleri



Şekil 6.4. Katılımcıların gelir düzeyleri



Şekil 6.5. Katılımcıların görme durumları

Tablo 6.1. Katılımcıların gözlük – lens kullanma durumları

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Evet	21	42,0	42,0	42,0
	Hayır	29	58,0	58,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.2. Katılımcıların işlerinde çalıştıkları mekânlar

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Ofis	38	76,0	76,0	76,0
	Saha	12	24,0	24,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.3. Katılımcıların çalışma mekânlarındaki aydınlatma şartları

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Yapay	21	42,0	42,0	42,0
	Karma	28	56,0	56,0	98,0
	Günüşiği	1	2,0	2,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.4. Katılımcıların çalışma mekânlarındaki çalışma süreleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	4 saatten az	28	56,0	56,0	56,0
	4-6 saat	10	20,0	20,0	76,0
	6-8 saat	12	24,0	24,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.5. Katılımcıların bilgisayar karşısında geçirdikleri günlük süre

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	%0-20	12	24,0	24,0	24,0
	%20-40	9	18,0	18,0	42,0
	%40-60	13	26,0	26,0	68,0
	%60-80	10	20,0	20,0	88,0
	%80-100	6	12,0	12,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.6. Katılımcıların tercih ettikleri çalışma mekânı aydınlatma şartları

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Yapay	4	8,0	8,0	8,0
	Karma	30	60,0	60,0	68,0
	Günüşiği	10	20,0	20,0	88,0
	Fark etmez	6	12,0	12,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

6.2. Katılımcıların Aydınlatma Şartlarına İlişkin Cevapları

Anket katılımcılarının oda içindeki aydınlatma şartlarına ilişkin vermiş olduğu tepkileri ölçmek amacıyla anketin 2. kısmında sorulan 10 soruya verilen cevaplar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Katılımcıların çalışma düzlemi görme performansları

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Normal	13	26,0	26,0	26,0
	İyi	24	48,0	48,0	74,0
	Çok iyi	13	26,0	26,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.8. Katılımcıların odanın görsel konforu ile ilgili değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Orta	13	26,0	26,0	26,0
	Konforlu	26	52,0	52,0	78,0
	Çok Konforlu	11	22,0	22,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.9. Katılımcıların odadaki ışık dağılımı ile ilgili değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Kötü	2	4,0	4,0	4,0
	Normal	23	46,0	46,0	50,0
	İyi	17	34,0	34,0	84,0
	Çok iyi	8	16,0	16,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.10. Katılımcıların görsel atmosferden memnuniyetleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Pek memnun değilim	3	6,0	6,0	6,0
	Normal	10	20,0	20,0	26,0
	Memnunum	30	60,0	60,0	86,0
	Çok Memnunum	7	14,0	14,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.11. Katılımcıların odadaki ışık rengine ilişkin memnuniyetleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Pek memnun değilim	10	20,0	20,0	20,0
	Normal	8	16,0	16,0	36,0
	Memnunum	18	36,0	36,0	72,0
	Çok Memnunum	14	28,0	28,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.12. Katılımcıların odadaki aydınlatmanın biyolojik saatlerine etkisi ile ilgili değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Biraz yoruyor	5	10,0	10,0	10,0
	Herhangi bir etki yapmadı	23	46,0	46,0	56,0
	Biraz canlandırıyor	14	28,0	28,0	84,0
	Fazlasıyla canlılık veriyor	8	16,0	16,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.13. Katılımcıların odadaki aydınlatma şartlarının çalışma performanslarına etkisi ile ilgili değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Performansım biraz azaldı	2	4,0	4,0	4,0
	Herhangi bir etki yapmadı	24	48,0	48,0	52,0
	Performansım biraz arttı	19	38,0	38,0	90,0
	Performansım bir hayli arttı	5	10,0	10,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.14. Katılımcıların odanın aydınlatma şartlarına ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Konforsuz	2	4,0	4,0	4,0
	Orta	10	20,0	20,0	24,0
	Konforlu	31	62,0	62,0	86,0
	Çok Konforlu	7	14,0	14,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.15. Katılımcıların odadaki pencerenin boyutları ile ilgili değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Biraz küçük	2	4,0	4,0	4,0
	Yaklaşık doğru	33	66,0	66,0	70,0
	Biraz büyük	15	30,0	30,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.16. Katılımcıların pencereden baktıklarında dışarının görünüşüne ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Konforsuz	4	8,0	8,0	8,0
	Orta	25	50,0	50,0	58,0
	Konforlu	16	32,0	32,0	90,0
	Çok Konforlu	5	10,0	10,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

6.3. Katılımcılarının Seçili Noktalardaki Aydınlatma Değerlendirmeleri

Tablo 6.17. Katılımcıların masa üzerindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Yeterli ışık	42	84,0	84,0	84,0
	Çok fazla ışık	8	16,0	16,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.18. Katılımcıların tahtadaki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Çok az ışık	3	6,0	6,0	6,0
	Yeterli ışık	47	94,0	94,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.19. Katılımcıların penceredeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Çok az ışık	2	4,0	4,0	4,0
	Yeterli ışık	33	66,0	66,0	70,0
	Çok fazla ışık	15	30,0	30,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.20. Katılımcıların karşı duvardaki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Çok az ışık	2	4,0	4,0	4,0
	Yeterli ışık	44	88,0	88,0	92,0
	Çok fazla ışık	3	6,0	6,0	98,0
	Oldukça Çok fazla ışık	1	2,0	2,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.21. Katılımcıların 3. bölgedeki tabloda bulunan kırmızı butonun üzerindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Çok az ışık	4	8,0	8,0	8,0
	Yeterli ışık	40	80,0	80,0	88,0
	Çok fazla ışık	6	12,0	12,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

Tablo 6.22. Katılımcıların 3. bölgedeki tabloda bulunan yeşil butonun üzerindeki aydınlığa ilişkin değerlendirmeleri

		Frekans	Yüzde	Geçerli Yüzde	Kümülatif Yüzde
Geçerli Cevaplar	Oldukça Çok az ışık	1	2,0	2,0	2,0
	Çok az ışık	3	6,0	6,0	8,0
	Yeterli ışık	41	82,0	82,0	92,0
	Çok fazla ışık	5	10,0	10,0	100,0
	Toplam	50	100,0	100,0	

6.4. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Anketin 2. kısmı deney odasına ilişkin memnuniyetin ölçülmesini amaçlayan sorulardan oluşmaktadır. Dolayısıyla 2. kısımdaki ilk 10 sorunun güvenilirliği anketimizin güvenilirliğini verecektir. Aşağıda SPSS programı tarafından hesaplanan 10 soruya göre anket güvenilirliği görülmektedir ve değeri % 86,9 olarak gerçekleşmiştir. Bu da bize ankete katılan kullanıcıların hem yüksek oranda ilgi ile anket sorularını cevaplandıklarını hem de anket sorularının doğru hedefler gözetilerek hazırlandığını gösteren bir bilgidir.

Tablo 6.23. Anketin güvenilirlik değerlendirmesi

Güvenilirlik İstatistikleri	
Cronbach's Alpha	Değerlendirilen Bileşen Sayısı
,869	10

50 gönüllü kullanıcı ile gerçekleştirilen anketten çıkan bazı önemli sonuçları değerlendirmek gerekirse özellikle odadaki aydınlatma şartlarından memnun olmayan kullanıcıların cevaplarını irdelemek yerinde olacaktır. Örneğin

katılımcıların hiç biri çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyleri ya da odanın görsel konforu ile ilgili bir memnuniyetsizlik bildirmemişken, ikisi odadaki ışık dağılımını kötü olarak nitelendirmişlerdir. Bu katılımcılar 24 Temmuz ve 13 Ekim tarihlerinde ankete katılmıştır. İlgili tarihler için deney saatlerinde sırasıyla 1. çalışma düzlemi (2.bölge, yatay), 2. çalışma düzlemi (1.bölge, yatay), tahta (1.bölge, düşey) ve karşı duvarda (3.bölge, düşey) kaydedilen aydınlık düzeylerinin ortalamaları sırasıyla şöyledir:

- 24 Temmuz: 1259, 1244, 623, 717 (lüks)
- 13 Ekim: 1247, 1241, 536, 582 (lüks)

24 Temmuz anket katılımcısı aynı zamanda odadaki aydınlatma koşullarının kendisini biraz yorduğunu ve çalışma performansının da biraz azaldığını belirtmiştir. 13 Ekim katılımcısı da görsel atmosferden pek memnun olmadığını ve pencere boyutunu da biraz küçük bulunduğunu belirtmiştir. Bu cevaplar ışığında oda aydınlatma şartlarının bu iki kullanıcıya tam anlamıyla hitap etmediğini söyleyebiliriz.

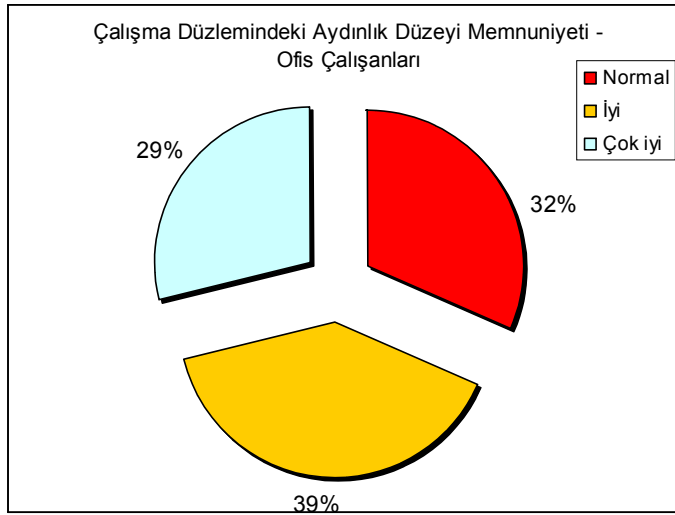
50 katılımcıdan sadece ikisinin sürekli bu odada çalıştıklarını varsayarak, odadaki aydınlatma koşullarını konforsuz bulmuş olması, görsel atmosferden memnun olmayan katılımcıların sayısının sadece üçte kalması, odanın farklı yerlerindeki aydınlık düzeylerinin değerlendirmesi sonucunda 6 farklı nokta için %10 ila % 20 arası değişen memnuniyetsizliğin bildirilmesi, deney odası için yapılmış aydınlatma tasarımının başarılı olduğunu delillerinden biridir. Katılımcıların demografik özellikleri ile verdikleri cevapların bazılarını Crosstabs yöntemiyle kıyaslayarak çeşitli yorumlarda bulunulabilir.

Tablo 6.24. Katılımcıların aylık gelir – eğitim düzeyi – aydınlatma tercihi ilişkisi

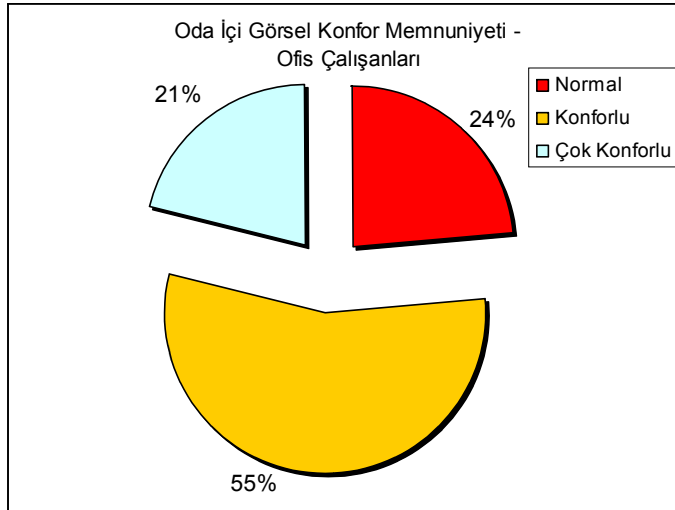
Crosstab			Aydınlatma Tercihi				
Aylık Gelir			Yapay	Karma	Günlüğü	Fark etmez	Toplam
2000 TL üzeri	Eğitim Düzeyi	Lisansüstü	1	7		1	9
		Lise veya altı	0	2		0	2
		Toplam	1	9		1	11
1500-2000 TL	Eğitim Düzeyi	Lisansüstü		12	1	2	15
		Lisans veya Önlisans		1	1	2	4
		Lise veya altı		1	0	0	1
		Toplam		14	2	4	20
1000-1500 TL	Eğitim Düzeyi	Lisans veya Önlisans		2	0	0	2
		Lise veya altı		0	5	1	6
		Toplam		2	5	1	8
500-1000 TL	Eğitim Düzeyi	Lisans veya Önlisans	1	1	0		2
		Lise veya altı	1	2	2		5
		Toplam	2	3	2		7
0-500 TL	Eğitim Düzeyi	Lisans veya Önlisans	1	2	1		4
		Toplam	1	2	1		4

Tablo 6.25. Katılımcılara ilişkin aylık gelir – eğitim düzeyi ve odanın görsel atmosferinden memnuniyeti ilişkisi

Crosstab			Görsel Atmosfer memnuniyeti				
Aylık Gelir			Pek memnun değilim	Normal	Memnunum	Çok Memnunum	Toplam
2000 TL üzeri	Eğitim Düzeyi	Lisansüstü			8	1	9
		Lise veya altı			2	0	2
		Toplam			10	1	11
1500-2000 TL	Eğitim Düzeyi	Lisansüstü	1	3	8	3	15
		Lisans veya Önlisans	0	1	2	1	4
		Lise veya altı	0	0	1	0	1
		Toplam	1	4	11	4	20
1000-1500 TL	Eğitim Düzeyi	Lisans veya Önlisans		1	0	1	2
		Lise veya altı		2	4	0	6
		Toplam		3	4	1	8
500-1000 TL	Eğitim Düzeyi	Lisans veya Önlisans	0	0	2		2
		Lise veya altı	1	2	2		5
		Toplam	1	2	4		7
0-500 TL	Eğitim Düzeyi	Lisans veya Önlisans	1	1	1	1	4
		Toplam	1	1	1	1	4



Şekil 6.6. Ofis çalışanlarının çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi memnuniyetleri



Şekil 6.7. Ofis çalışanlarının oda içi görsel konfor memnuniyetleri

Benzeri tablolar ve şekiller çoğaltılabilir ancak anlaşıldığı üzere genel anlamda katılımcıların çoğunluğunun odadaki aydınlatma şartlarından ve görsel atmosferden memnun olduğu ve sadece 3 kullanıcı yani % 6'lık bir oranın, kısmi memnuniyetsizliğinin söz konusu olduğu görülmektedir. Ofis çalışanları, yani çalışma sürelerinin çoğunu yapay aydınlatma ile aydınlatılan ortamlarda geçiren anket katılımcıları açısından bakıldığında, 38 katılımcıdan hiç birinin çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi ve oda içi görsel konfordan memnuniyetsizlik duymadığı görülmektedir. Ofis çalışanı olan katılımcıların % 68'i çalışma düzlemindeki aydınlatma şartlarını iyi ya da çok iyi bulurken, katılımcıların % 76'sı odadaki görsel atmosferi konforlu ya da çok konforlu olarak nitelendirmiştir. Bu veri,

ofis aydınlatmasında aydınlatma enerjisi tasarrufu amacıyla yapılan bu çalışma ve aydınlatma tasarımının, özellikle ofis kullanıcılarının görsel konforlarının sağlanmasında başarılı ve yeterli olduğunun bir göstergesidir.

Anket çalışması planlanırken, sonuçta Likert ölçeğine göre katılımcıların verdiği cevapların ortalamasının 3 veya üzerinde çıkması hedeflenmiştir. 3'ün uygulanan anketteki anlamlı karşılığı “yeterli ışık – gerektiği kadar aydınlık” olarak yorumlanabilir. Özellikle deney odası aydınlatması üzerine sorulan 10 soru ve 6 farklı noktadaki aydınlık düzeylerine ilişkin istenen 6 değerlendirmenin ortalamalarına bakıldığında hedeflenen sonuçlarının elde edildiği anlaşılmaktadır. Tablo 6.26’da sözü geçen ortalamalar (medyan değerleri) görülebilir. Tablo 6.27, 28 ve 29’da ise hava durumuna göre katılımcıların verdiği cevapların medyan değerleri verilmiştir.

Tablo 6.26. Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların medyan değerleri

Soru	Soru 1	Soru 2	Soru 3	Soru 4	Soru 5	Soru 6	Soru 7	Soru 8
Ortalama	4,00	3,96	3,62	3,82	3,72	3,50	3,54	3,86
Soru	Soru 9	Soru 10	Soru 11a	Soru 11b	Soru 11c	Soru 11d	Soru 11e	Soru 11f
Ortalama	3,26	3,44	3,16	2,94	3,26	3,06	3,04	3,00

Tablo 6.27. Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların açık hava durumu için medyan değerleri

Soru	Soru 1	Soru 2	Soru 3	Soru 4	Soru 5	Soru 6	Soru 7	Soru 8
Ortalama	4,25	4,18	3,82	4,04	3,96	3,50	3,61	4,07
Soru	Soru 9	Soru 10	Soru 11a	Soru 11b	Soru 11c	Soru 11d	Soru 11e	Soru 11f
Ortalama	3,29	3,64	3,14	2,89	3,29	3,14	3,07	3,00

Tablo 6.28. Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların karma hava durumu için medyan değerleri

Soru	Soru 1	Soru 2	Soru 3	Soru 4	Soru 5	Soru 6	Soru 7	Soru 8
Ortalama	3,86	3,71	3,36	3,57	3,64	3,71	3,57	3,57
Soru	Soru 9	Soru 10	Soru 11a	Soru 11b	Soru 11c	Soru 11d	Soru 11e	Soru 11f
Ortalama	3,29	3,29	3,14	3,00	3,21	2,86	2,93	2,93

Tablo 6.29. Deney odası değerlendirme anket sorularına verilen cevapların kapalı hava durumu için medyan değerleri

Soru	Soru 1	Soru 2	Soru 3	Soru 4	Soru 5	Soru 6	Soru 7	Soru 8
Ortalama	3,38	3,63	3,38	3,50	3,00	3,13	3,25	3,63
Soru	Soru 9	Soru 10	Soru 11a	Soru 11b	Soru 11c	Soru 11d	Soru 11e	Soru 11f
Ortalama	3,13	3,00	3,25	3,00	3,25	3,13	3,13	3,13

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında öncelikle günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri kullanılarak, kullanıcı kontrolüne bağlı olmadan, elde edilebilecek aydınlatma enerjisi tasarrufunun hangi seviyede olabileceği araştırılmıştır. Sakarya ili, çevresi ve benzer coğrafi özelliklerdeki yerler için örnek teşkil edecek sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca kurulan sistemin gerçekleştirdiği enerji tasarrufunun yanında elektrik enerji kalitesi parametrelerini ne şekilde etkilediği, kullanıcı konforu ve memnuniyetinin hangi düzeyde olduğu, hava şartlarının enerji tasarrufu ve enerji kalite parametrelerini etkileme şekli ve oranı konuları da irdelenmiştir.

Kurulan sistemin tam kapasitede çalışma durumuna göre sağladığı yıllık aydınlatma enerjisi tasarruf yüzdesi % 40,78 olarak belirlenmiştir. Deneyin ilk sonuçlarının alındığı, yoğunlukla sonbahar ve kış aylarını içeren, çalışmalara göre [79,80] ulaşılan bu yüzde daha yüksektir. Bu tasarruf yüzdesini etkileyen en önemli faktör güneşlenme süresidir. Deney sırasında güneşlenme süresinin en uzun olduğu gün olan 21 Haziran 2009'da % 67,96'lık bir tasarruf gerçekleşirken en kısa gün olan 21 Aralık 2008'de tasarruf oranı % 14,56 seviyesinde kalmıştır. Ölçüm ve kayıt yapılabilen 345 günlük dönemde havanın açık, karma ve kapalı olduğu günlerdeki tasarruf oranları sırasıyla % 51,86, % 38,15 ve % 27,92 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu nedenle yeni inşa edilecek ofis binalarının güneşlenme süresini maksimum derecede kullanabilecek şekilde projelendirilmesi aydınlatma enerjisi tasarrufuna önemli katkı sağlayacaktır. Örneğin bu tez çalışmasında kullanılan deney odası güney cephele olsaydı, elde edilebilecek enerji tasarrufu yüzdesinin daha yüksek olabileceği literatüre ve deney sonuçlarına bakılarak rahatlıkla söylenebilir.

Günışığından faydalananacak olan iç mekânın fiziki özellikleri de önemli bir yer tutmaktadır. Pencere boyutları ne günışığı girişini engelleyecek kadar küçük ne de içeride kamaşma ve konforsuzluğa neden olacak kadar büyük olmalıdır. Pencere

camlarının ışık geçirgenliği de üzerinde durulması gereken bir faktördür. Bu çalışmada kullanılan pencerenin ışık geçirgenliği % 89 oranında yüksek bir değere sahiptir ve günışığı girişine büyük oranda izin vermektedir. Deney odası güneşin hareket yönü nedeniyle direk günışığını öğleden sonra – akşamüzeri saatlerinde almaktadır ve günün önemli kısmında gök aydınlığından faydalanmaktadır. Günün büyük kısmında direk günışığına maruz kalan mekânlarda elektrokromatik pencereler ya da günışığına bağlı olarak çalışan gölgelendirme otomasyonları kullanmak faydalı bir çözüm olabilir.

Günışığına bağlı aydınlatma kontrolü yapılacak iç mekân ya da ofisin duvar ve tavan renkleri ile kullanılan mobilya – zemin kaplaması gibi diğer bileşenlerin renkleri ve yüzey özellikleri de önem taşımaktadır. Bu bileşenlerin renkleri olabildiğince açık, duvar ve tavan renklerinin yansıtma faktörleri yüksek, yüzey özellikleri mat seçilirse görsel konforun sağlanması, kamaşmaların önüne geçilmesi ve ikincil yüzeylerle dolaylı aydınlatmanın sağlanması gibi faydalar sağlanabilir. Düşük yansıtma faktörlü zemin kaplamaları ve mobilyalar da bu amaca katkı sağlayacaktır.

Enerji kalitesi parametreleri incelendiğinde günışığına bağlı otomatik loşlaştırma özelliğine sahip aydınlatma kontrol sistemlerinin bir dezavantajı görülmektedir. Güneşlenme süresi ve iç mekâna giren günışığı miktarı arttıkça çalışma düzlemlerindeki yapay aydınlatma ihtiyacı azalmakta, kontrol sistemi loşlaştırma yaparak armatürden çıkan ışık akısı miktarını azaltmaktadır. Bu işlem harmonik bozulmalara yol açmakta ve akım harmoniği üretilmesine neden olmaktadır. Normal şartlarda çalışırken % 5 civarında akım harmoniği üreten DALI balastlar, loşlaştırma işlemi nedeniyle özellikle açık havada % 35 civarına çıkan değerlerde akım harmoniğine sebep olmaktadır. Sistemdeki harmonik bozulma nedeniyle güç faktörü değeri de düşmekte, enerji kalitesi parametreleri bozulmaktadır. Enerji tasarrufu arttıkça enerji kalitesinin düşüyor olması önemli bir dezavantajdır. Ancak bu çalışmada kullanılan sistemde en çok loşlaştırmanın gerçekleştiği Haziran ayında bile THD₁ ortalamalarının sadece kısa süreli olarak uluslararası yönetmelik ve tavsiyelerin belirttiği % 32 civarında olması, enerji kalitesindeki bozulmanın enerji verimli ve amaca uygun üretilmiş aygıtlar kullanarak sınırlandırabileceğinin

göstergesidir. Ancak yine de böylesi bir sorunun önüne geçilmesi için en uygun yöntem “aktif harmonik filtre” kullanımıdır.

Güneşine bağlı aydınlatma kontrol sistemleri ile enerji tasarrufu gerçekleştirmeye çalışırken enerji tasarrufunu olumsuz yönde etkileyebilecek bir diğer faktör de iklimlendirme gereksinimleri olarak gösterilebilir. Özellikle yaz aylarında iç mekâna giren güneşli dolayısıyla ortaya çıkacak ısınma ve sıcaklık artışı kullanıcıların fiziki konforlarını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu konforsuzluğu ortadan kaldırmak için hesapta olmayan bir soğutma aygıtının günün belli zamanlarında çalıştırılması, aydınlatmadan tasarruf edilen enerjinin bir kısmının iklimlendirme harcaması olarak harcanmasına sebep olacaktır. Bu çalışmada söz konusu olan deney odası için, sıcaklığı sürekli 25 °C’de tutabilmek için, ortalama sıcaklığın 25 °C üzerinde olduğu 24 haftada, aydınlatma enerjisi tasarrufunun % 10’u kadar bir enerjiyi soğutma için harcamak gerekecektir. Hacim büyüdükçe bu gereksinimin de artacağı düşünülürse aydınlatma enerjisi tasarrufu ile iklimlendirme harcamaları arasındaki fark “reel aydınlatma enerjisi tasarrufu” olarak tanımlanabilir. Aydınlatmada enerji tasarrufu çalışmalarında çoğunlukla göz ardı edilen bu oran bu çalışmada elde edilen yüzdeye uygulanırsa aydınlatma enerjisi tasarrufunun 1 yıl için yaklaşık % 39 seviyesine gerilediği görülür.

Önceki çalışmalarda sıklıkla hareket algılayıcısı kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada 1 yıllık deney sırasında hareket algılayıcısı kullanılmamıştır. Deney bittikten sonra 28 Ağustos – 3 Eylül 2009 tarihleri arasında sistem tek bir hareket algılayıcısı kontrolünde maksimum güçte çalıştırılmıştır. Bu süreçte sadece hareket algılayıcısı ile ortalama % 21,5’lik bir aydınlatma enerjisi tasarrufu gerçekleşmiştir. Güneşine bağlı sistemin % 40,78’lik enerji tasarrufuna bu oran eklenirse % 62 gibi yüksek bir aydınlatma enerjisi tasarrufuna ulaşılır. Bu da hareket algılayıcılarının aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılması gerekliliğini gösteren bir bulgudur.

Deney çalışması sonucunda toplamda 1449209 Wh’lik bir enerji tasarrufu gerçekleşmiştir. Bu tasarruf sayesinde önlenen CO₂ salınım miktarı $(1,45 \text{ MWh} \times 0,65 \text{ t / MWh}) = 942,5 \text{ kg}$ olarak bulunur. 36 m²’lik ve sadece 8 armatürün kullanıldığı bu deney odası aydınlatması ile önlenen salınım miktarı örneklemini tüm

binaya ve hatta deneyin yapılmış olduğu Üniversite kampüsüne genişletilirse, sera gazı salınımlarının önüne ne oranda geçilebileceği daha iyi anlaşılabilir.

Kurulan günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin gerçekleştirdiği enerji tasarrufu ne kadar yüksek olursa olsun, hiç şüphe yok ki kullanıcılara hitap etmeyen ve görsel konfor şartlarını sağlayamayan bir tasarımın ise geçerliliği de olmayacaktır. Bu nedenle 50 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilen ve hem kullanıcı memnuniyeti hem de görsel konfor şartlarının sağlanıp sağlanmadığını araştıran bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması sonucunda odadaki görsel atmosferden memnun olmayan sadece 2 katılımcı belirlenmiştir. Katılımcıların yaklaşık % 25'i deney odasındaki görsel atmosfer, görsel konfor ve ışık geçişlerini normal bulurken, bu şartları iyi ya da çok iyi nitelendiren katılımcıların toplam yüzdesi % 70 civarındadır. Dolayısıyla tasarlanan ve uygulanan sistemin kullanıcı konforunu sağladığı, rahatsız edici kamaşma ya da aydınlık düzeyi farklarına sebep olmadığı ispatlanmıştır.

Pilot bir çalışma olarak gerçekleştirilen bu deney çalışmasının tam kapasiteyle bir ofis binasına ya da iç mekândaki bir çalışma ortamına tesis edildiği düşünülerek bir maliyet analizi yapılabilir. Buna göre adet olarak kontrol sistemi ve anahtarları, ışık ve hareket algılayıcıları, armatür, DALI balast ve lambaların liste fiyatları yaklaşık olarak 600, 100, 200, 100 ve 4,5 TL olarak alınır ve bir DALI BASIC RC sistemi ile 3 kanal olarak 64 armatür kontrol edilebileceği düşünülürse; 64 armatürlü ve DALI balastlı sistemin sıfırdan kurulum maliyeti 20676 TL olarak bulunur. Sadece kontrol sisteminin DALI balastlarla mevcut aygıtlara entegre edilmesi durumunda maliyet 7300 TL'dir. $\eta_{\text{sistem}} = \% 90$ olarak alınır ve 2x58 W'lık sistem için hesaplamalar yapılırsa sistem gücü yaklaşık 8250 W olarak hesaplanır. Sistemin % 40,78 enerji tasarrufu yapacağı düşünülürse 10 saat çalışma ile günlük 33,64 kWh, yıllık ise 12279 kWh'lik enerji tasarrufu yapacağı hesaplanabilir. Deney sabah 08:30 – 18:30 saatleri arasında gerçekleştirildiği için 17:00 – 18:30 arası enerji harcaması puant tarife girmektedir. Normal tarife ile puant tarifenin çalışma saatleri için ortalaması alınırsa 19,965 kr/kWh'lik bir enerji fiyatı ile karşılaştırılır [81]. Bu durumda yıllık tasarrufun ekonomik karşılığı 2455,2 TL olarak gerçekleşir. Aydınlatma kontrol sisteminin sıfırdan kurulması durumunda bu tasarruf miktarıyla sistem kendini 8,42

yılda, aydınlatma kontrol sisteminin mevcut sisteme entegre edilmesi durumunda 2,97 yılda geri öder.

Gerçek zamanlı olarak yapılan ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin aydınlatma enerjisi tasarrufunu diğer parametreleri de göz önünde bulundurarak inceleyen bu çalışma enerji tasarrufu odaklı aydınlatma çalışmalarına sunmuş olduğu sonuçlarla katkı sağlayabilir. Bundan sonraki çalışmalarda, elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bina yönü, geometrisi, fiziki şartları, aydınlatılacak mekânın günışığı alma miktarı, kullanıcıların aydınlatma gereksinimleri bir arada değerlendirilerek, bina ve günışığı tabanlı aydınlatma tasarımına bir optimizasyon problemi olarak bakılması doğru olacaktır. Optimizasyon sınırlarının belirlenmesi doğru bir şekilde yapılabilirse günışığından, konforsuzluğa neden olmadan, maksimum şekilde faydalanılabilir. Reel enerji tasarrufu konusu halen üzerinde detaylı araştırma yapılması gereken bir konu olmakla beraber, yüksek aydınlatma enerjisi tasarrufu hedefinin yanında özellikle ülkemizdeki gibi klasik, ışık geçirgenliği yüksek pencere kullanımı devam ettikçe ister istemez karşılaşılabilecek bir sonuçtur. Mevcut yapılar için konuşmak gerekirse, yüksek günışığı alma potansiyeline sahip olan binalara bu çalışmada kullanılan kontrol sistemi veya benzeri sistemlerin entegrasyonu hem önemli aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlayacak hem de küresel ısınmaya karşı ciddi bir önlem olacaktır.

Sakarya ili gibi yılın üçte ikisinden fazlasını açık ya da karma hava şartlarında geçiren yerlerde, enerji verimliliğinin sağlanması, tasarruf miktarının artması ve enerji israfının önüne geçilmesi noktasında, her ne kadar ilk kurulum maliyetlerini attırsa da, kaliteli, enerji verimli ve uzun ömürlü aygıtların seçilerek bunların aydınlatma kontrol sistemleri ile birlikte kullanılması, giderek büyüyen küresel enerji sorununun çözülmesi yolunda önemli bir adım olarak ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency, Daylight in buildings a source book on daylighting systems and components, A Report of IEA SHC Task 21/ECBCS Annex 29, 2000
- [2] EU Green Light Programme web sitesi, <http://www.eu-greenlight.org/> erişim tarihi, Haziran 2009
- [3] Canada Green Building Council, LEED Green building rating system: reference package for new construction & major renovations: LEED Canada-NC version 1.0, Ottawa, Canada, Green Building Council, 2004
- [4] TEDAŞ, Türkiye 2008 Enerji Tüketim İstatistikleri, Ankara, 2009
- [5] BRE energy consumption guide 19, 2007
- [6] Guide F: Energy efficiency in buildings, Chartered Institute of Building Service Engineers, 1999
- [7] KRARTI, M., Energy audit of building systems: an engineering approach, Boca Raton, FL: CRC Press, 2000
- [8] National Resources Canada, Commercial/Institutional secondary energy use by energy source, end use and activity, Canada, 2000
- [9] BERTOLDI, P., CIUGUDEANU, C.N., Five Year Report of the European Greenlight Programme, EUR 21648 EN, European Commission, DG JRC, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, 2005
- [10] International Energy Agency, Guidebook on energy efficient electric lighting, Annex 45, 2009-12-09
- [11] European Parliament and Council, Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings, 16 December 2002
- [12] PLYMPTON, P., CONWAY, S., EPSTEIN, K., Daylighting in schools: improving student performance and health at a price schools can afford, National Renewable Energy Laboratory, NREL Report CP-550-28059, Golden, CO, 2000

- [13] LINDELOF, D., MOREL, N., A field investigation of the intermediate light switching by users, *Energy and buildings*, 38, 7, pp. 790-801, 2006
- [14] ATIF, M.R., GALASIU, A. D., Energy performance of daylight-linked automatic lighting control systems in large atrium spaces: report on two field-monitored case studies, *Energy and buildings* 35, 5, pp. 441-461, 2003
- [15] ROISIN, B., BODART, M., DENEYER, A., HERDT, P.D., Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption, *Energy and buildings*, 40, 4, pp. 514-523, 2008
- [16] LEE, E.S., SELKOWITZ, S.E., The New York Times Headquarters daylighting mockup: Monitored performance of the daylighting control system, *Energy and buildings*, 38, 7, pp. 914-929, 2006
- [17] MOORE, T., CARTER, D.J., SLATER, A.I., Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting, *Lighting research and technology*, 35, 1, pp. 43-59, 2003
- [18] ONAYGİL. S., GÜLER, Ö., Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from İstanbul, *Building and environment* 38, 7, pp. 973-977, 2003
- [19] NEWSHAM. G.R., VEITCH, J.A., Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation, *Lighting research and technology*, 33, 2, pp. 97-116, 2001
- [20] BIRT, B.J., NEWSHAM., G.R., Energy savings from photosensors and occupant sensors/wall switches on a college campus, CIE 11th European Lighting Conference, İstanbul, Turkey, 2009
- [21] GALASIU, A.D., NEWSHAM, G.R., SUVAGAU, C., SANDER, D.M., Energy saving lighting control system for open-plan offices: a field study, *Leukos*, 4, 1, pp.7-29, 2007
- [22] MORROW, W., RUTTLEDGE, B., MANICCIA, D., REA, M., High performance lighting controls in private offices: a field study of user behaviour and preference, in *World Workplace*, Starfield Corp. Pub., Chicago, USA, 1998
- [23] ERKİN, E., GÜLER, Ö., ONAYGİL, S., An investigation on Impacts of daylight responsive control systems in terms of energy quality and saving, CIE 11th European Lighting Conference, İstanbul, Turkey, 2009
- [24] TO, D.W.T., SING, L.K., CHUNG, T.M., Potential energy saving for a side-lit room using daylight-linked fluorescent lamp installations, *Lighting research and technology*, 34, 2, pp. 121-133, 2002
- [25] NEWSHAM, G.R., ARIES, M.B.C., MANCINI, S., FAYE, G., Individual control of electric lighting in a daylit space, *Lighting research and technology*, 40, 1, pp. 25-41, 2008

- [26] LI, D.H.W., LAM, J.C., Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls, *Energy and Buildings*, 33, 8, pp. 793-803, 2001
- [27] LI, D.H.W., LAM, T.N.T., WONG, S.L., Lighting and energy performance for an Office using high frequency dimming controls, *Energy conversion and management*, 47, 9, pp. 1133-1145, 2006
- [28] CHOI, A.S., SUNG., M.K., Development of a daylight responsive dimming system and preliminary evaluation of system performance, *Building and environment*, 35, 7, pp. 663-676, 2000
- [29] KRARTI, M., ERICKSON, P.M., HILLMAN, T.C., A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting, *Building and environment*, 40, 6, pp. 747-754, 2005
- [30] MAHLIA, T.M.I., SAID, M.F.M., MASJUKI, H.H., TAMJIS, M.R., Cost-benefit analysis and emission reduction of lighting retrofits in residential sector, *Energy and buildings*, 37, 6, pp. 573-578, 2005
- [31] LI, D.H.W., TSANG, E.K.W., An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong, *Building and environment*, 43, 9, pp. 1446-1458, 2008
- [32] OCHOA, C.E., CAPELUTO I.G., Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates, *Building and environment*, 41, 8, pp. 1128-1135, 2006
- [33] ZINZI, M., Office worker preferences of electrochromic Windows: a pilot study, *Building and environment*, 41, 9, pp. 1262-1273, 2006
- [34] LITTLEFAIR, P., Daylighting design and research, *Lighting research and technology*, 32, 2, pp. 101, 2000
- [35] ROCHE, L., DEWEY, E., LITTLEFAIR, P., Occupant reaction to daylight in offices, *Lighting research and technology*, 32, 3, pp. 119-126, 2000
- [36] KUTLU, R., YENER, A.K., KÜÇÜKDOĞU, M.Ş., A study on facade design for primary school classrooms in temperate and hot climates from the viewpoints of visual comfort and energy conservation, CIE 11th European Lighting Conference, İstanbul, Turkey, 2009
- [37] YAVUZ, C., YANIKOĞLU, E., YALÇIN, M.A., İç aydınlatmada enerji tasarrufu potansiyelinin Sakarya bölgesi için belirlenmesi yolunda bir pilot çalışma, 3. Ulusal Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 2009
- [38] JENNINGS, J.D., BLANC, S.L., Comparison of control options in private offices in an advanced lighting controls testbed, *Journal of Illuminating Engineering Society*, 29, 2, pp. 39-60, 2000

- [39] BARLOW, S., FIALA, D., Occupant comfort in UK offices – How adaptive comfort theories might influence future low energy Office refurbishment strategies, *Energy and buildings*, 39, 7, pp. 837-846, 2007
- [40] GALASIU, A.C., VEITCH, J.A., Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review, *Energy and buildings*, 38, 7, pp. 728-742, 2006
- [41] OSTERHAUS, W.K.E., Office lighting: A review of 80 years of standards and recommendations, *Industry Applications Society Annual Meeting*, Toronto, Canada, Vol 3, pp. 2365-2375, 1993
- [42] Anon, CIBSE, Code for interior lighting, 1994
- [43] MANAV, B., An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to colour temperature and illuminance, *Building and environment*, 42, 2, pp. 979-983, 2007
- [44] LAURENTIN, C., BERRUTTO, V., FONTOYNONT, M., GIRAULT, P., Manual control of artificial lighting in a daylight space, 3rd International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, Lyon, France, pp.175-180, 1998
- [45] VINE, E., LEE, E., CLEAR, R., DiBARTOLOMEO, D., SELKOWITZ, S., Office workers response to an automated venetian blind and electric lighting system - a pilot study, *Energy and buildings*, 28, 2, pp. 205-218, 1998
- [46] ROCHE, L., Summertime performance of an automated lighting and blinds control system, *Lighting research and technology*, 34, 1, pp. 11-27, 2002
- [47] The Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR), Lighting for people, energy efficiency, and architecture - an overview of lighting requirements and design, good practice guide 272, *Energy Efficiency Best Practice Programme*, September, 1999
- [48] NEWSHAM, G.R., VEITCH, J.A., ARSENAULT, C., DUVAL C.L., Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance, *Proceedings of the IESNA 2004 Annual Conference*, Tampa, FL, 2004
- [49] BOYCE, P.R., VEITCH, J.A., NEWSHAM, G.R., JONES, C.C., HEERWAGEN, J., MYER, M., HUNTER, C.M., Occupant use of switching and dimming controls in offices, *Lighting research and technology*, 38, 4, pp. 358-378, 2006
- [50] MOORE, T., CARTER, D.J., SLATER, A.I., A qualitative study of occupant controlled office lighting, *Lighting research and technology*, 35, 4, pp. 297-317, 2003
- [51] BEGEMANN, S.H.A., VAN DEN BELD, G., TENNER, J.A.D., Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses, *Industrial ergonomics*, 20, 3, pp. 231-239, 1997

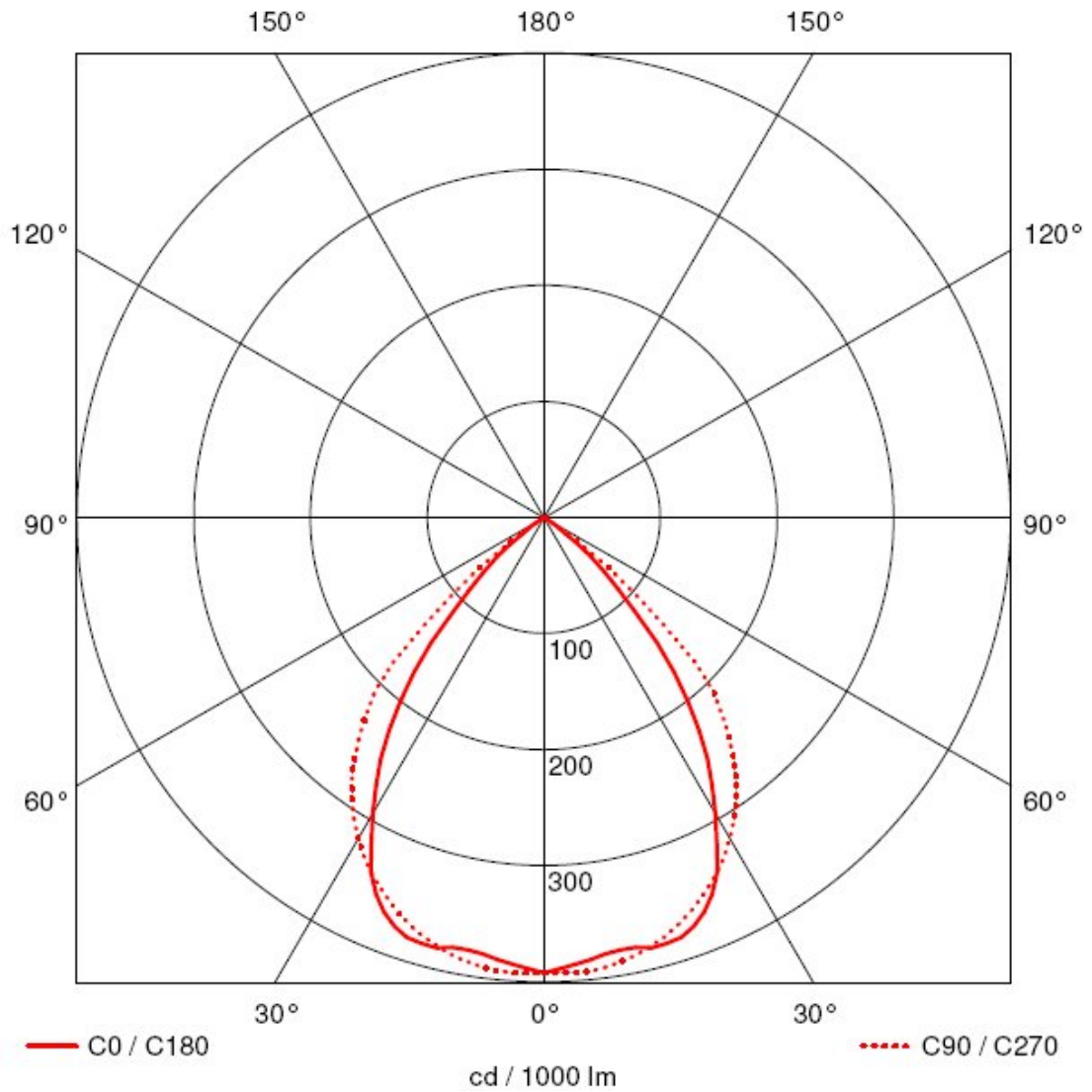
- [52] United Nations Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, <https://unfccc.int>, erişim tarihi Mart 2007
- [53] JENKINS, D., NEWBOROUGH, M., An approach for estimating the carbon emissions associated with office lighting with a daylight contribution, *Applied energy*, 84, 6, pp. 608-622, 2007
- [54] POUT, C.H., MacKENZIE, F., BETTLE, R., Carbon Dioxide Emissions from Non-domestic Buildings: 2000 and Beyond: BR442, CRC Ltd, London, 2002
- [55] CLARKE, S., KERSEY, J., TREWORROW, E., WILBY, R., SHACKLEY, S., TURNPENNY, J., WRIGHT, A., HUNT, A., CRICHTON, D., London's Warning: The Impacts of Climate Change on London, Summary Report, The London Climate Change Partnership, 2002
- [56] South East Renewable Energy Statistics, <http://www.see-stats.org/index.htm>, erişim tarihi Haziran 2009
- [57] BERTOLDI, P., CIUGUDEANU, C.N., Five Year Report of the European Greenlight Programme, EUR 21648 EN, European Commission, DG JRC, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, 2005
- [58] Official Journal of the European Communities, Directive 2000/55/EC, Ballast for fluorescent lamps, 2000
- [59] HANSELAER, P., LOOTENS, C., RCKAERT, W.R., DECONINCK, G., ROMBAUTS, P., Power density targets for efficient lighting of interior task areas, *Lighting research and technology*, 39, 2, pp. 171-184, 2007
- [60] Commission Internationale d'Eclairage, Maintenance of indoor electric lighting systems, CIE 97:1992, Wien, 1992.
- [61] Commission Internationale d'Eclairage, Guide on the Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems, CIE 97:2005, Wien, 2005
- [62] LOE, D., Energy efficiency in lighting – an overview, Action Energy GIR092, London: Society of Light and Lighting, 2003
- [63] NABIL, A., MARDALJEVIC, J., Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings, *Lighting research and technology*, 37, 1, pp. 41-59, 2005
- [64] ATIF, M.R., LOVE, J.A., LITTLEFAIR, P., Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings, A report of Task 21 / Annex 29 Daylight in Buildings, IEA Protocol, 1997
- [65] Devlet Meteoroloji İşleri Sakarya İl Müdürlüğü, Sakarya ili için 2008 yılına ilişkin meteoroloji verileri, Sakarya, 2009

- [66] Devlet Meteoroloji İşleri Sakarya İl Müdürlüğü, Sakarya ili için 2009 yılına ilişkin meteoroloji verileri, Sakarya, 2009
- [67] IEEE, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE, USA, 1993
- [68] DUGAN, R. C., McGRANAGHAN, M.F., BEATY, H.W., Electrical Power System Quality, McGraw-Hill, USA, 1996
- [69] GENCER, Ö.Ö., ÖZTÜRK, S., ALBOYACI, B., YEĞİN, E.M., Çeşitli aydınlatma aygıtlarının Emtp/Atp ile harmonik modellenmesi, 2. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Diyarbakır, 2003
- [70] American National Standards, ANSI C82.2, Standard for lamp ballasts – Methods for measurements of fluorescent lamp ballasts, 2002
- [71] WARD, J., WARD, D.J., Single phase harmonic limits, PSERC EMI, Power Quality and Safety Workshop, USA, 2002
- [72] BHUSAL, P., TETRI, E., HALONEN, L., Quality and efficiency of office lighting, EPIC 2006 AIVC, Lyon, France, 2006
- [73] YENER, A.K., Pencereleere uygulanan gölgeleme araçlarının tasarımında iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla kullanılabilecek bir yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996
- [74] ERDEM, L., ENARUN, D., Aydınlatmanın sübjektif analizinde kullanılan anket yöntemleri, EMO 5. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 2009
- [75] REINHARDT, C., FITZ, A., Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design, Energy and Buildings, 38, 7, pp. 824-835, 2006
- [76] MOORE, T., CARTER, D.J., SLATER, A.I., A study of opinion in offices with and without user controlled lighting, Lighting research and technology, 36, 2, pp. 131-146, 2004
- [77] MAARWAE, M.A., CARTER, D.J., A field study of tubular daylight guidance installations, Lighting research and technology, 38, 3, pp. 241-258, 2006
- [78] EYMEN, E.U., SPSS 15.0, Veri Analiz Yöntemleri, www.istatistikmerkezi.com, 2007
- [79] YAVUZ, C., YANIKOĞLU, E., GÜLER, Ö., İç aydınlatmada enerji tasarrufu çalışmaları ve reel enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesi, ATMK 7. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2008

- [80] YAVUZ, C., YANIKOĞLU, E., GÜLER, Ö., Determination of real energy saving potential of daylight responsive systems: A case study, CIE 11th European Lighting Conference, İstanbul, Turkey, 2009
- [81] TEDAŞ, 2009 Yılı 01.10.2009 Tarihli Tarife Değerleri, Ankara, 2009

EK A. KULLANILAN AYDINLATMA AYGITLARINA İLİŞKİN TEKNİK BİLGİLER

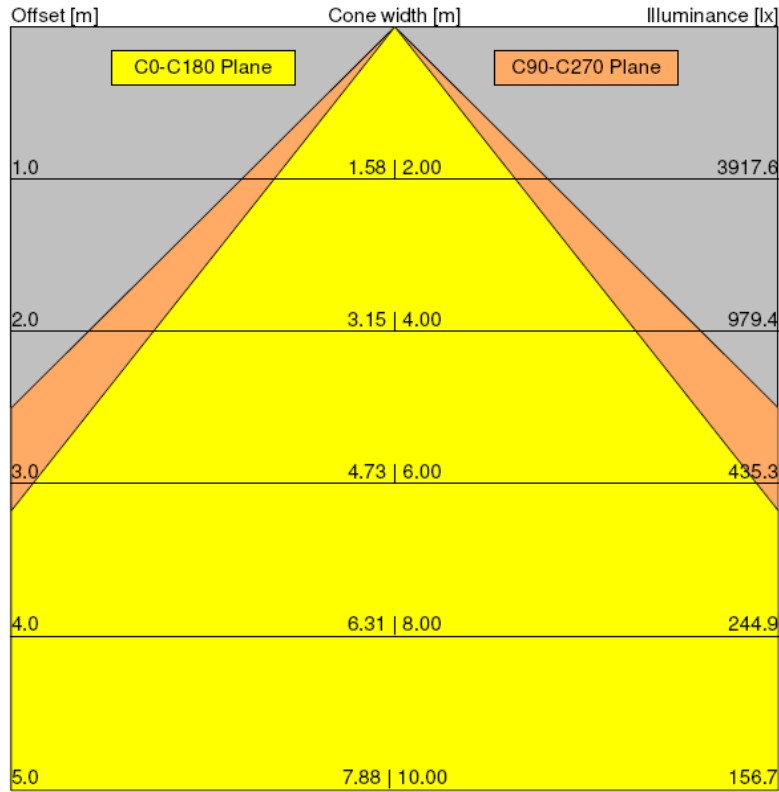
Ek A.1. Armatüre İlişkin Teknik Veriler



Şekil A.1. Deneyde kullanılan armatürün ışık dağılım eğrisi

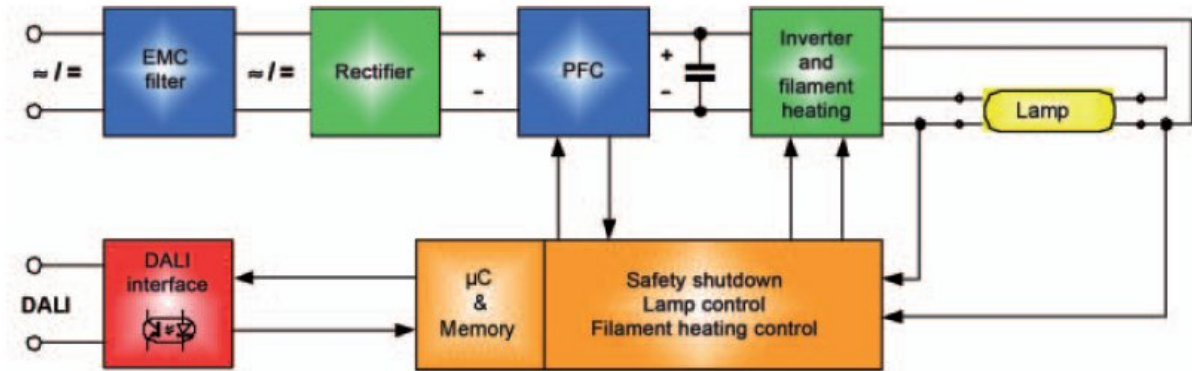
	C0	C90	C180
0°	392	392	392
5°	384	392	384
10°	377	387	377
15°	381	377	381
20°	374	363	374
25°	347	343	347
30°	294	319	294
35°	238	287	238
40°	173	247	173
45°	99	196	99
50°	52	104	52
55°	17	24	17
60°	1	1	1
65°	1	1	1
70°	0	0	0
75°	0	0	0
80°	0	0	0
85°	0	0	0
90°	0	0	0
	cd / 1000 lm		

Şekil A.2. Deneyde kullanılan armatürün ışık dağılım eğrisinden belli açılar için elde edilmiş ışık şiddeti değerleri

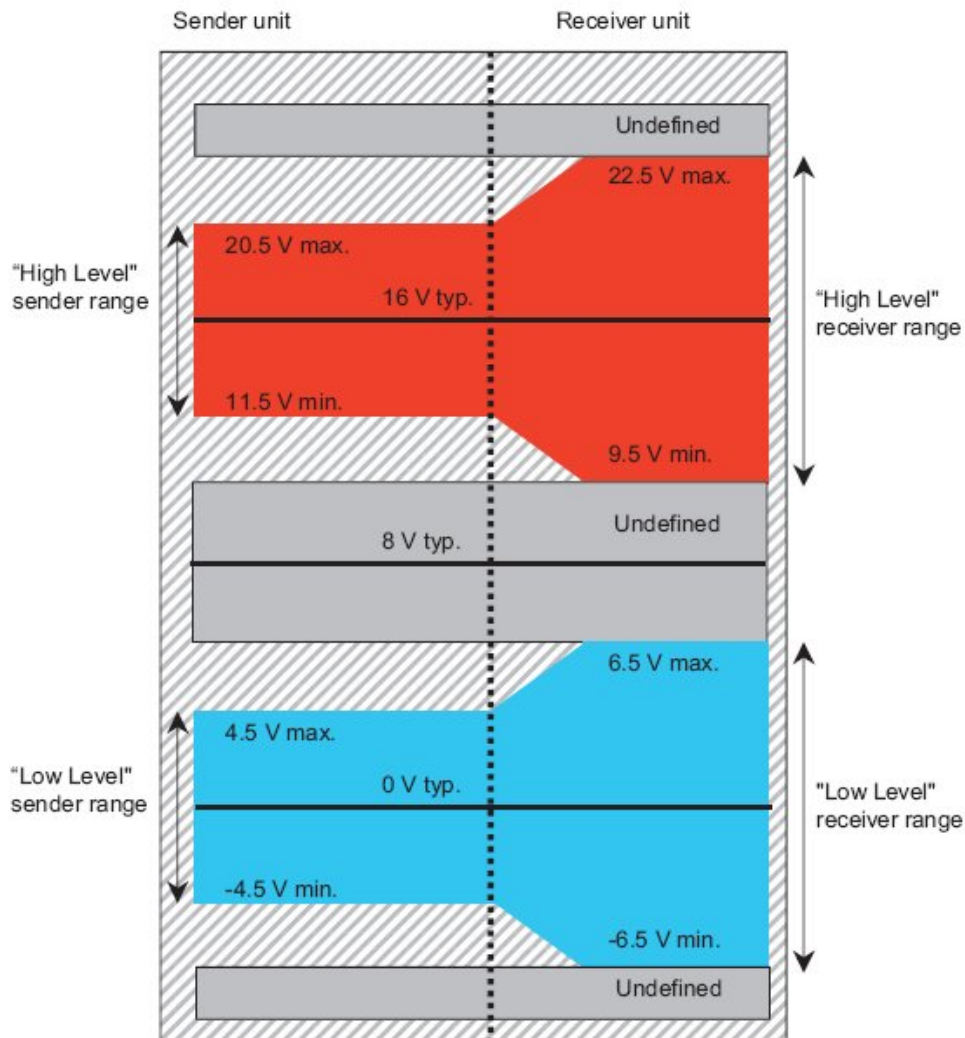


Şekil A.3. Deneyde kullanılan armatürün askı yüksekliğine göre belli mesafelerde sağlayacağı öngörülen aydınlık düzeyi değerleri

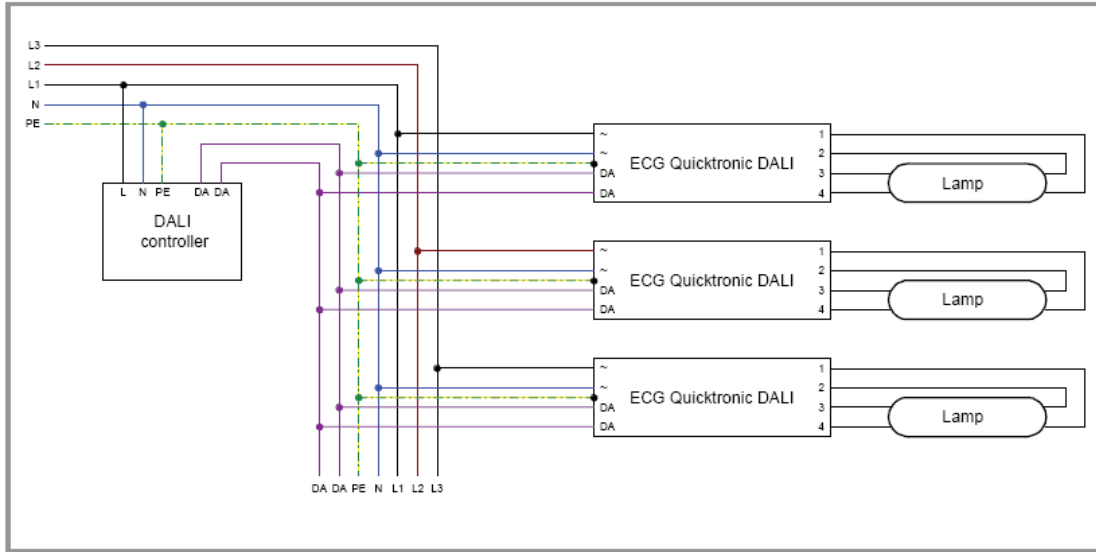
Ek A.2. Balasta İlişkin Teknik Veriler



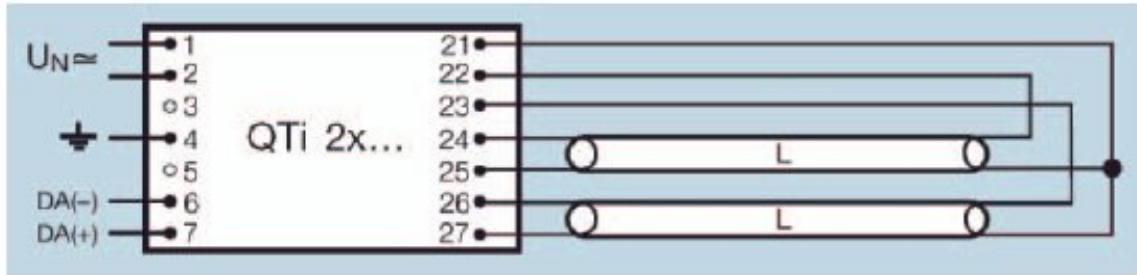
Şekil A.4. DALI arabirimi ile elektronik kontrol aygıtının birlikte kullanılması



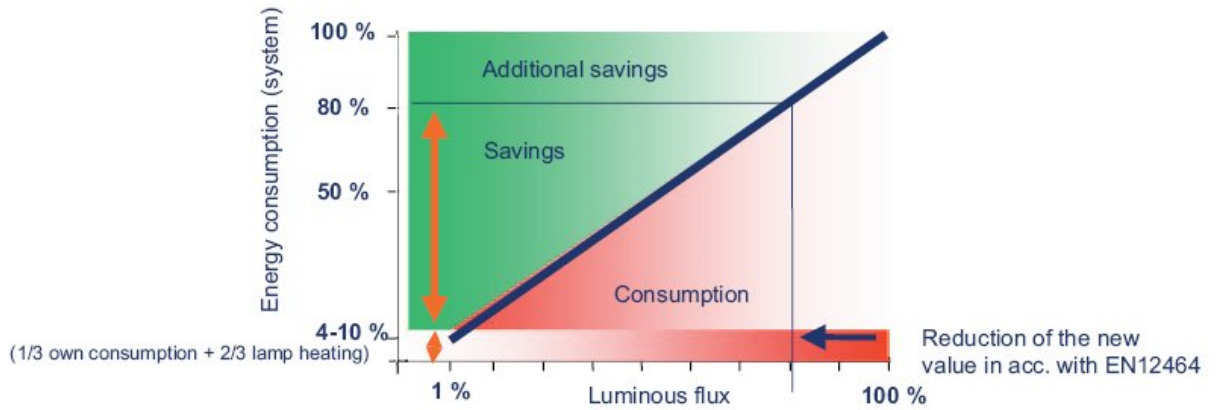
Şekil A.5. DALI arabirimindeki kontrol gerilimi seviyeleri



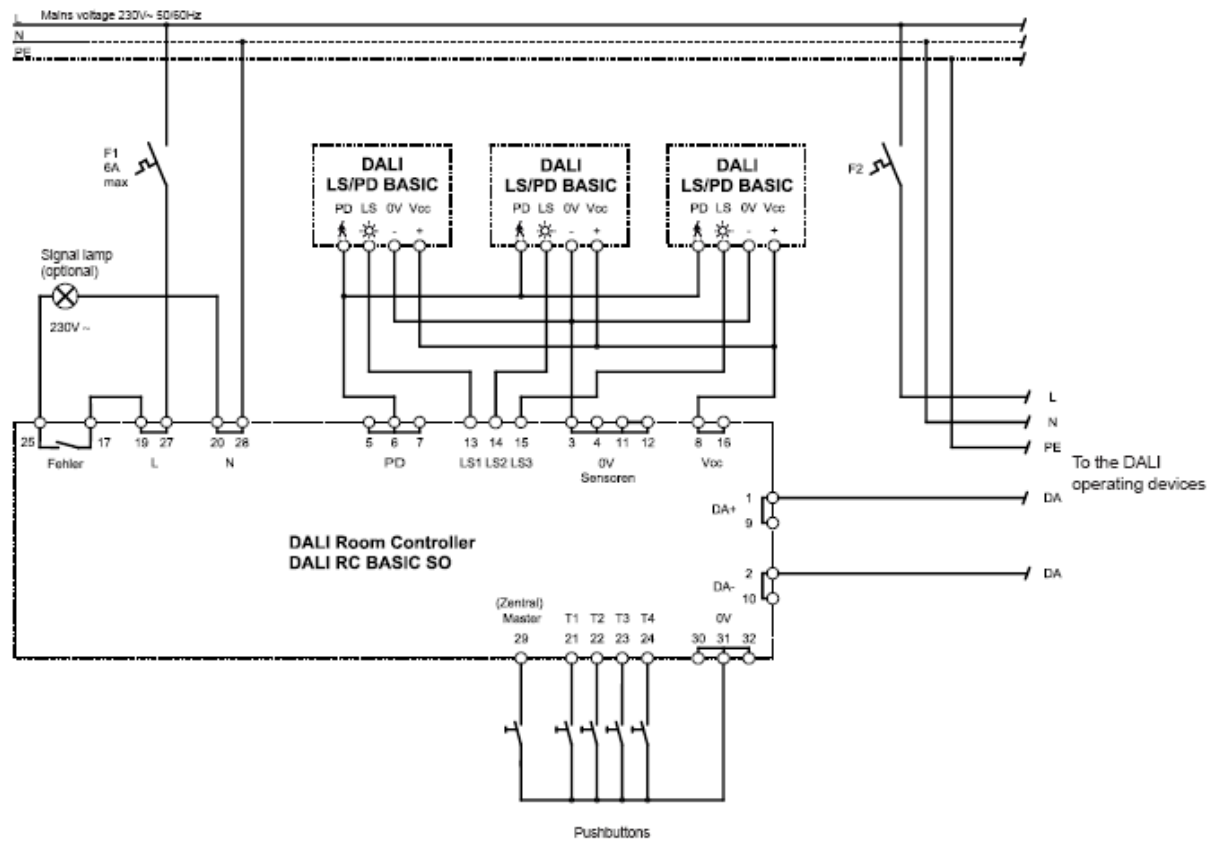
Şekil A.6. DALI arabiriminin kontrolör ve lamba bağlantısı



Şekil A.7. DALI arabiriminin 2 lambalı bağlantı şekli

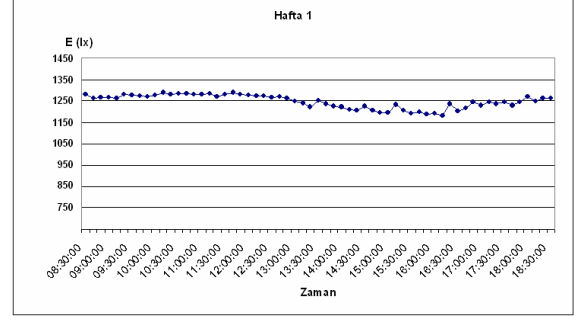
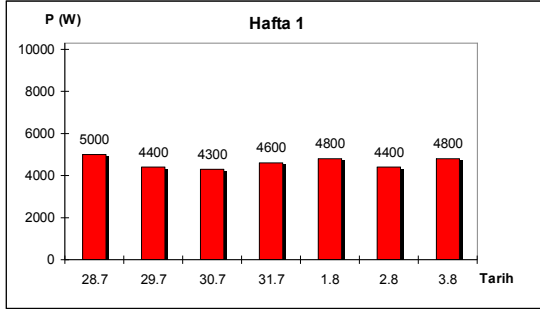


Şekil A.8. DALI arabirimi loşlaştırma ayarı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki

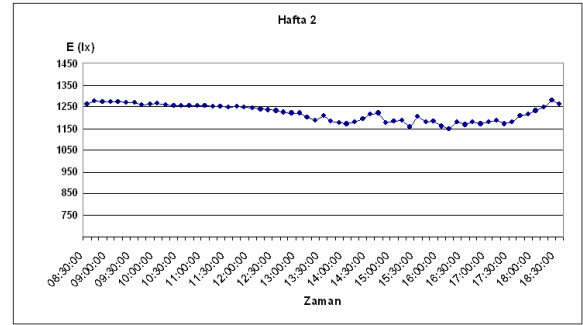
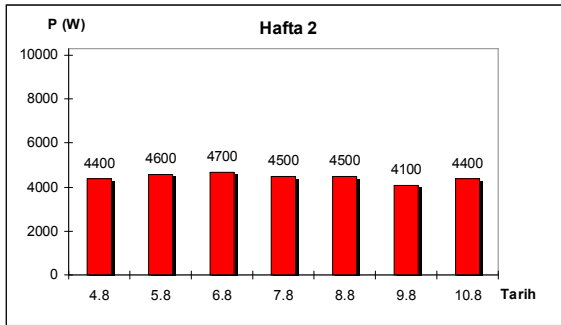


Şekil A.11. OSRAM BASIC RC 3 ışık ya da hareket algılayıcılı bağlantı şeması

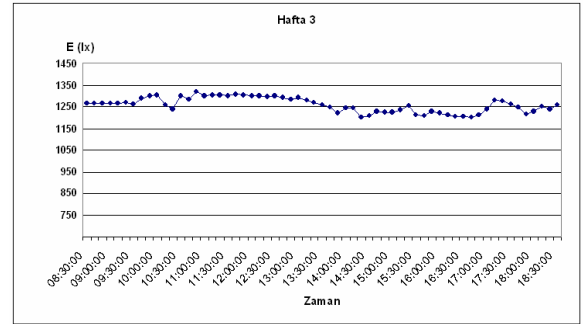
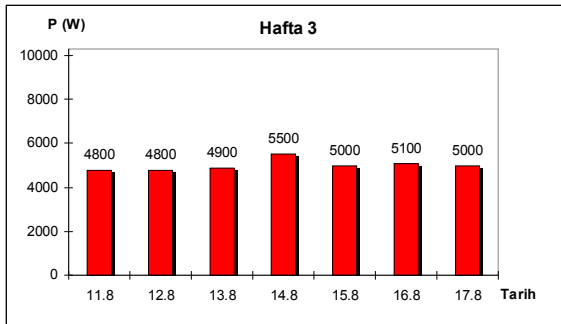
EK B. HAFTALARA GÖRE DÜZENLENMİŞ 1 YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ VE AYDINLIK DÜZEYİ VERİLERİ



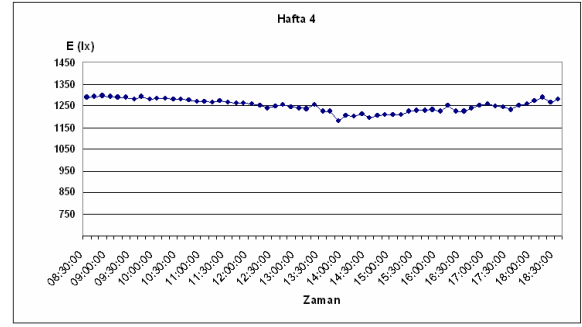
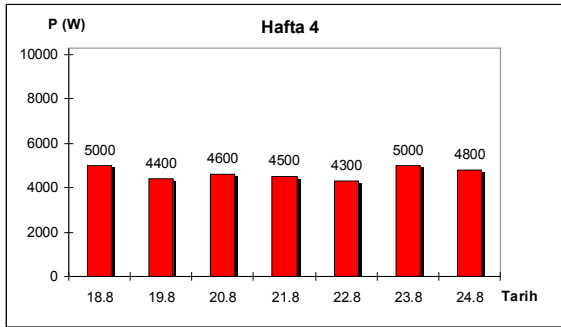
Şekil B.1. 1. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



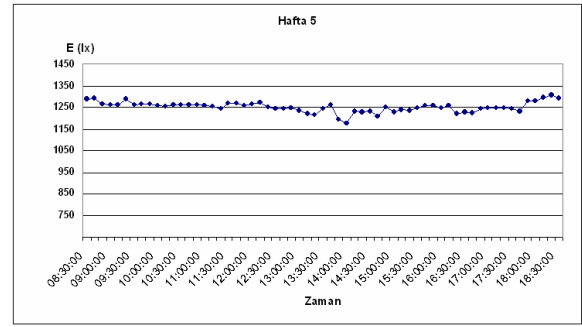
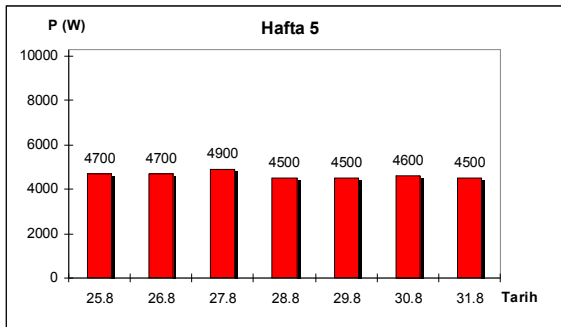
Şekil B.2. 2. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



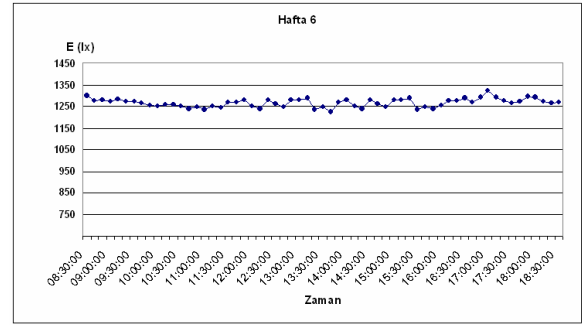
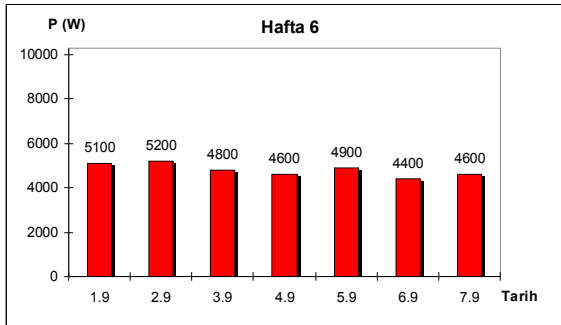
Şekil B.3. 3. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



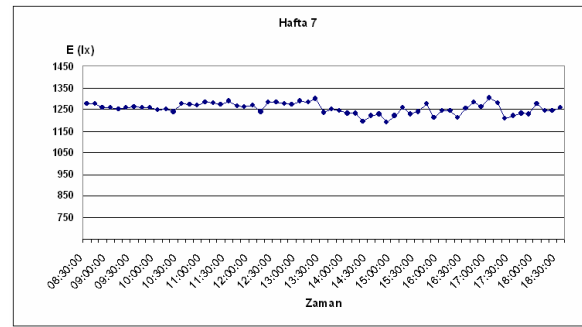
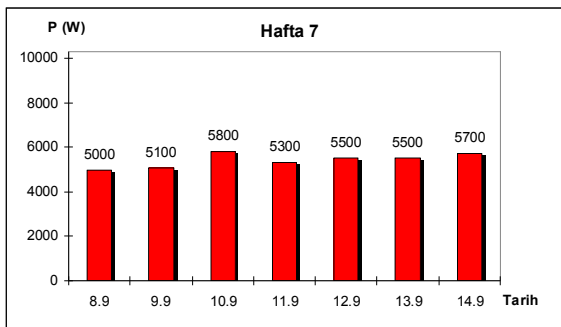
Şekil B.4. 4. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



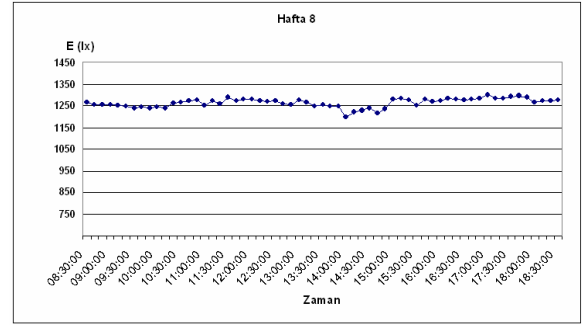
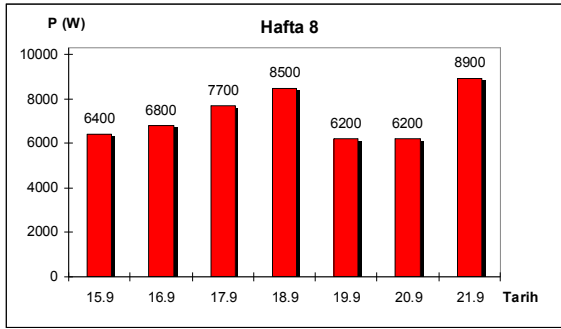
Şekil B.5. 5. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



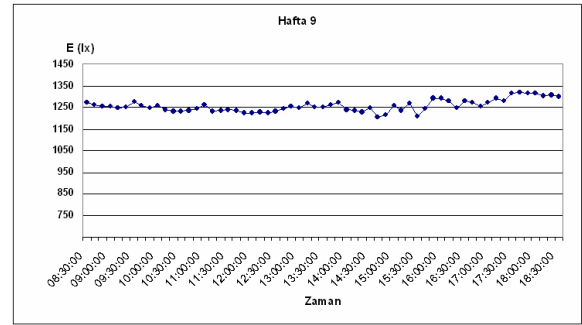
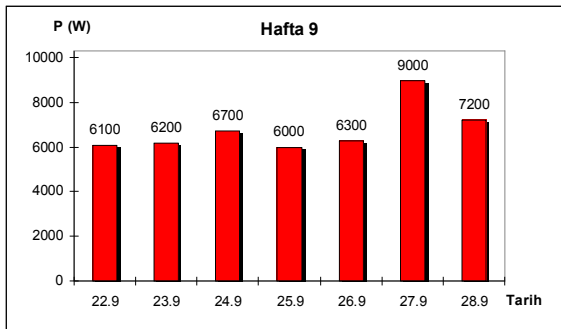
Şekil B.6. 6. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



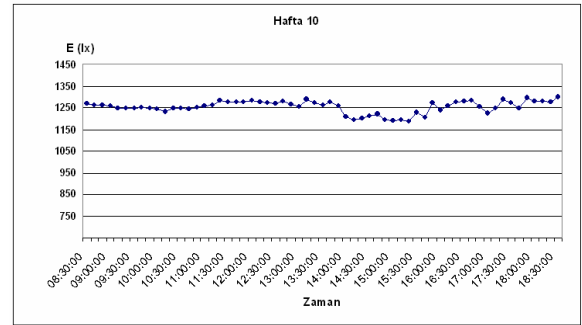
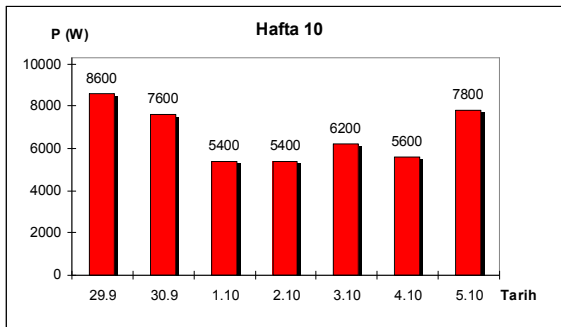
Şekil B.7. 7. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



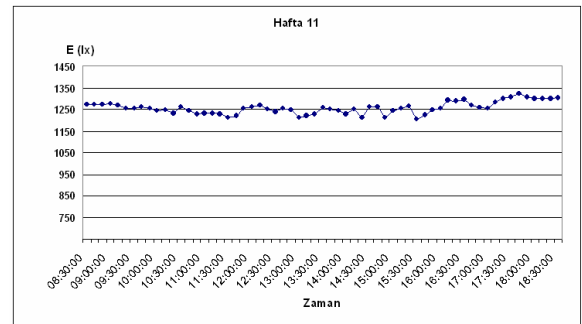
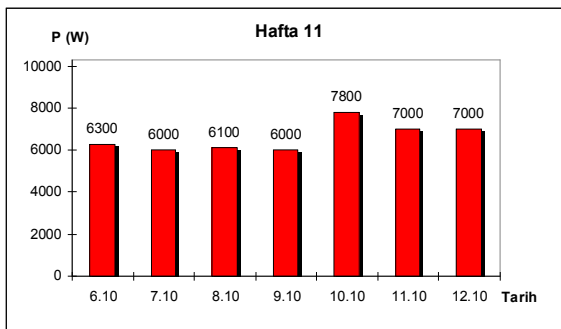
Şekil B.8. 8. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



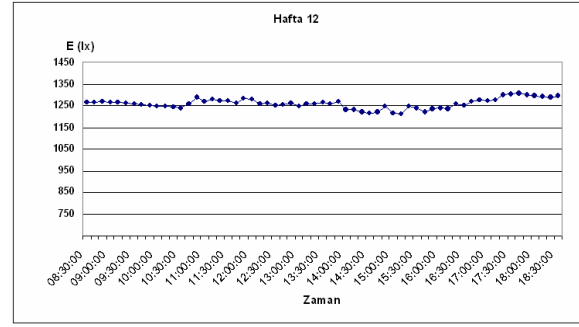
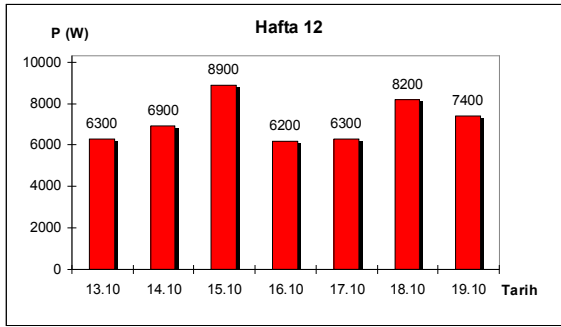
Şekil B.9. 9. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



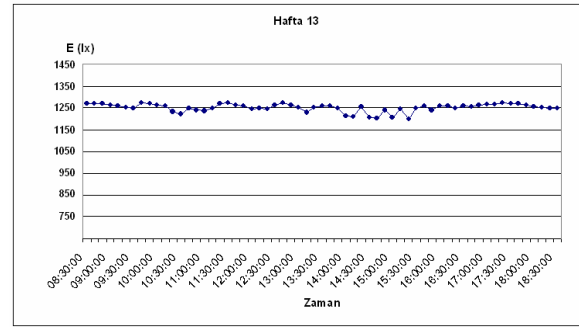
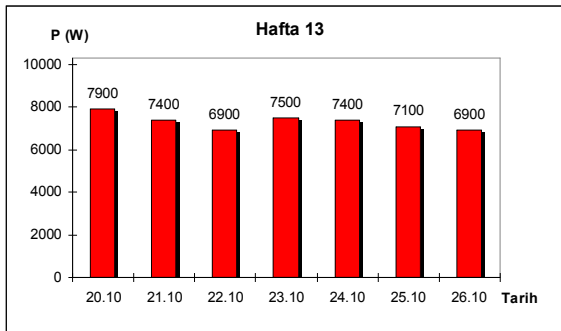
Şekil B.10. 10. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



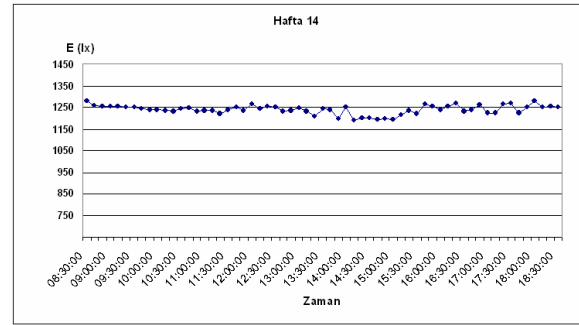
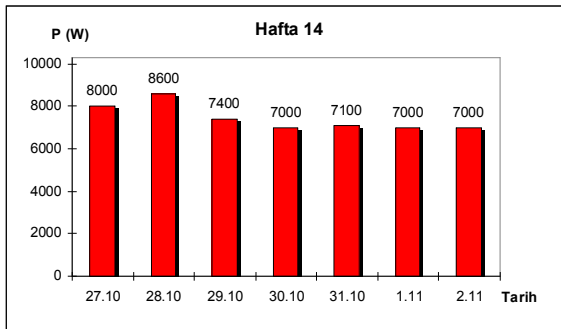
Şekil B.11. 11. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



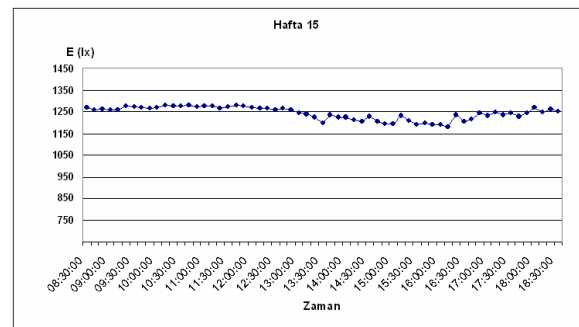
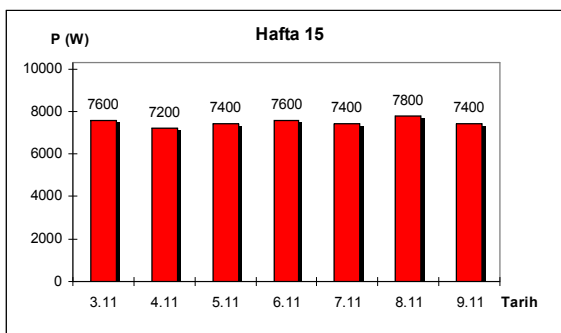
Şekil B.12. 12. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



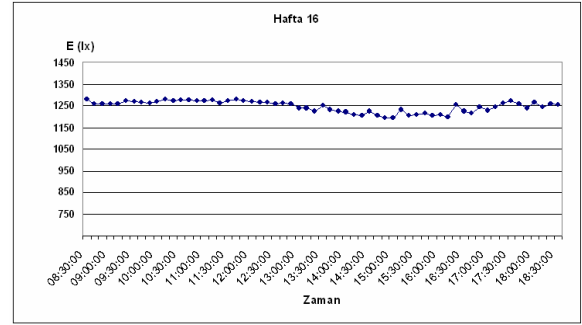
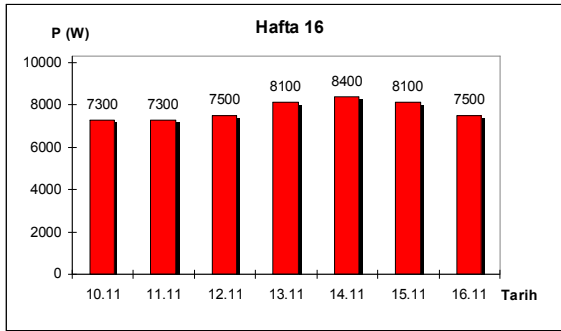
Şekil B.13. 13. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



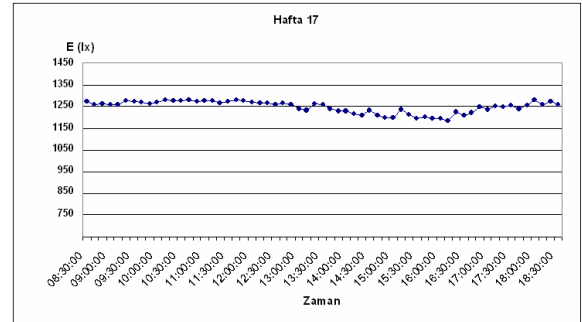
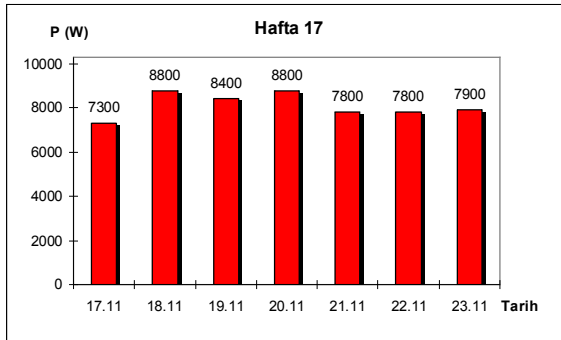
Şekil B.14. 14. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



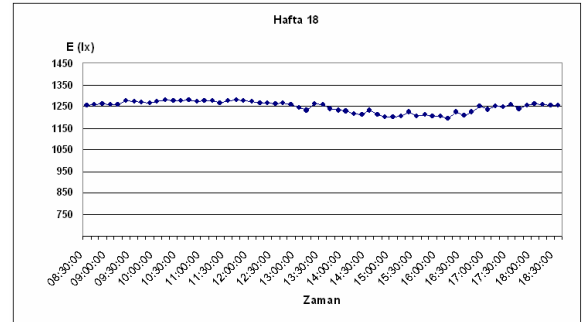
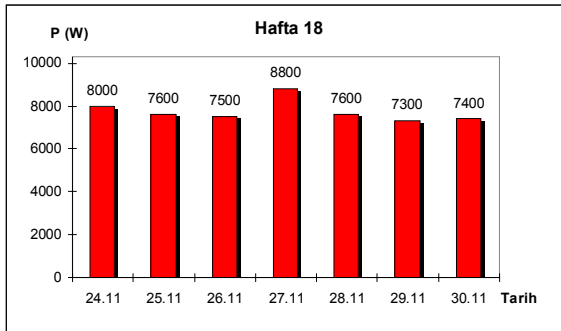
Şekil B.15. 15. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



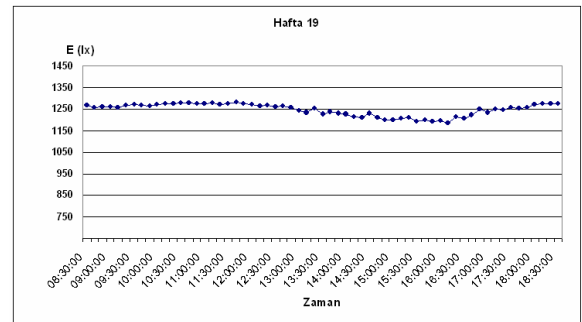
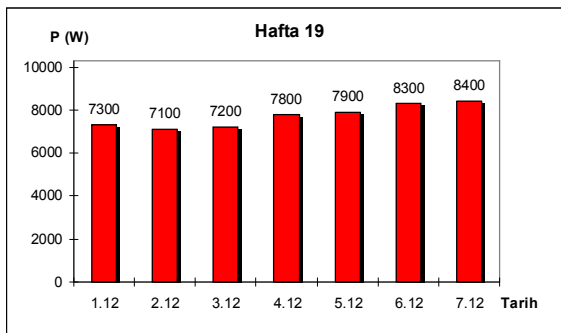
Şekil B.16. 16. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



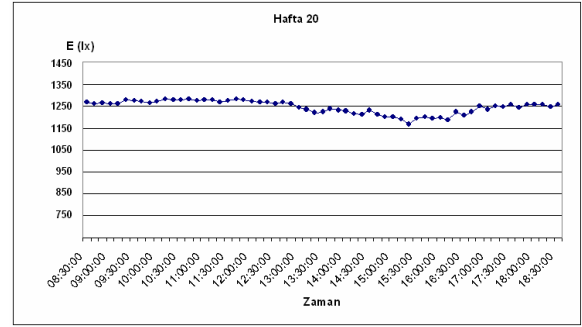
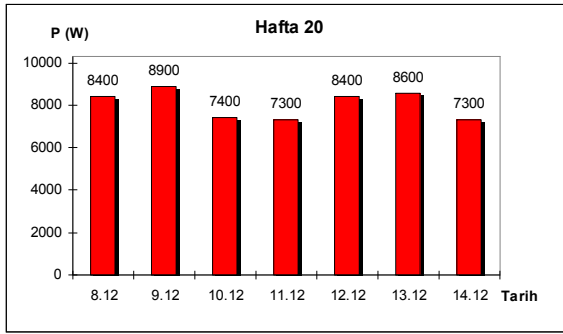
Şekil B.17. 17. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



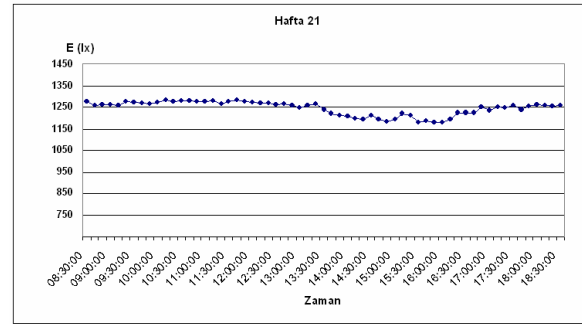
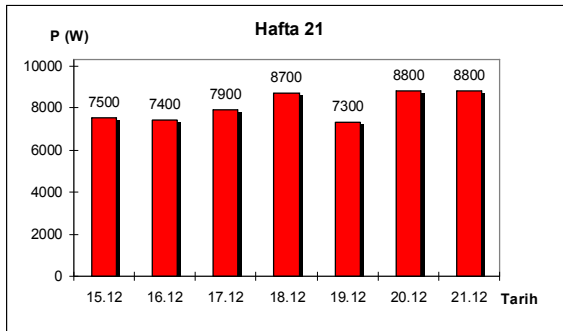
Şekil B.18. 18. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



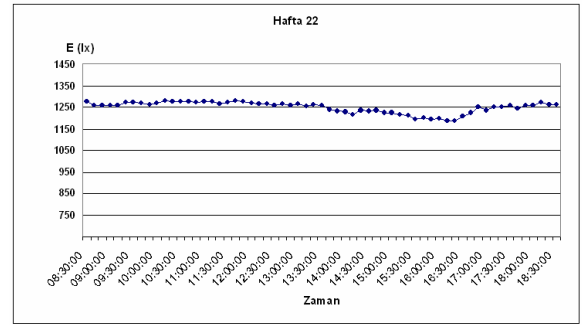
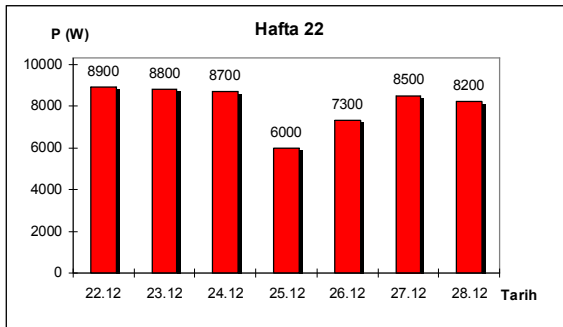
Şekil B.19. 19. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



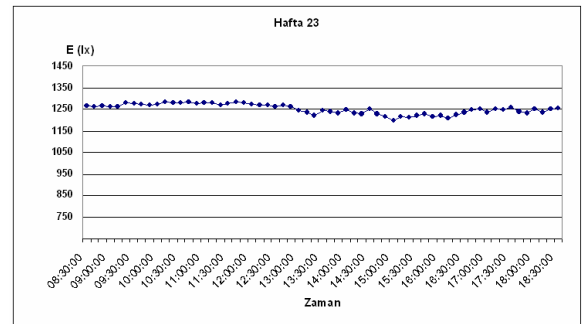
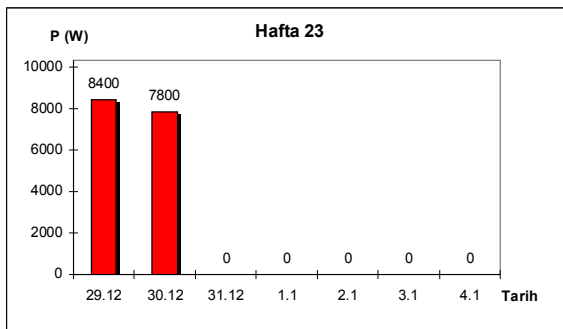
Şekil B.20. 20. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



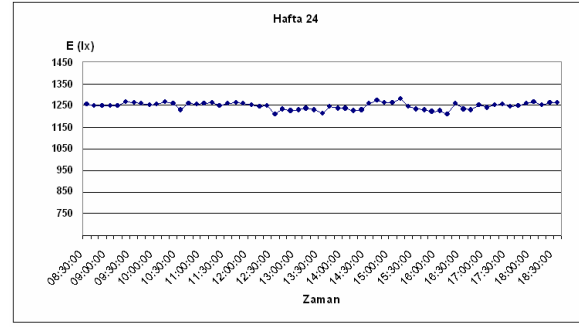
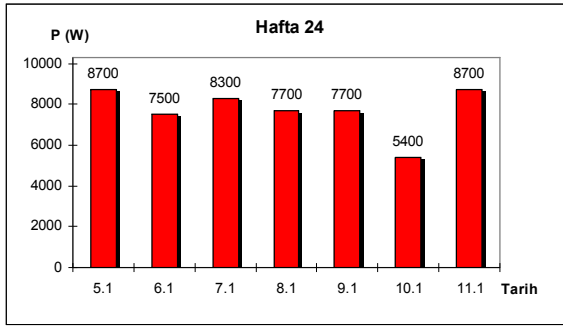
Şekil B.21. 21. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



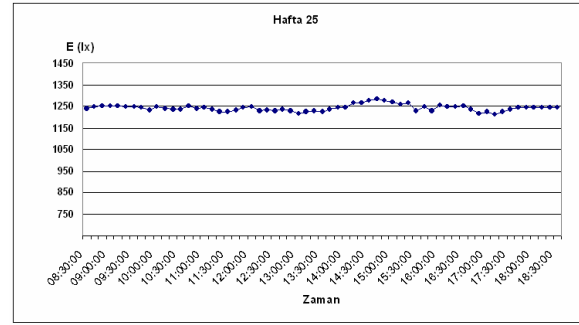
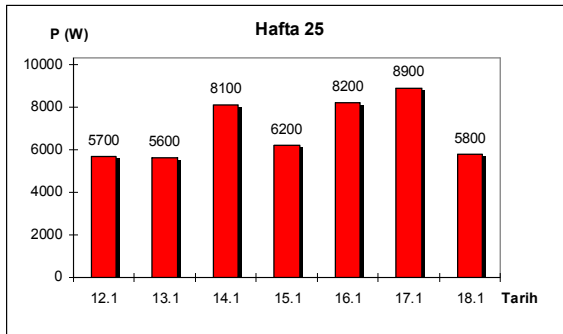
Şekil B.22. 22. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



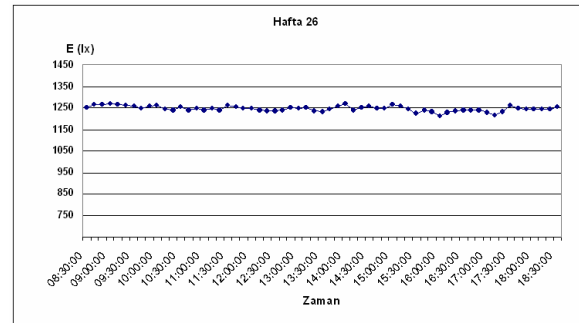
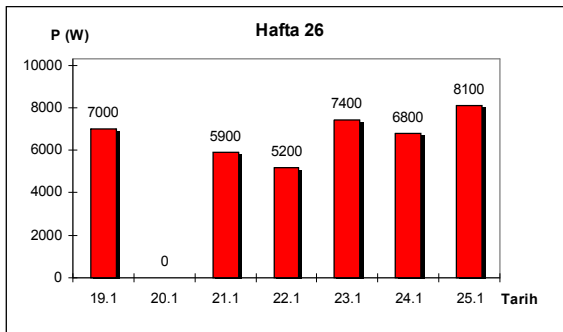
Şekil B.23. 23. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



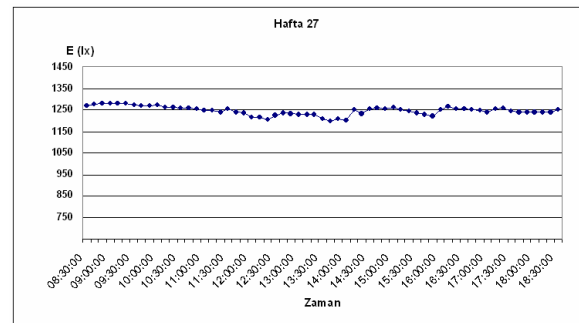
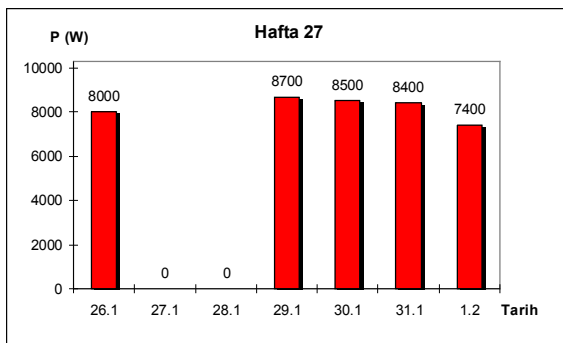
Şekil B.24. 24. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



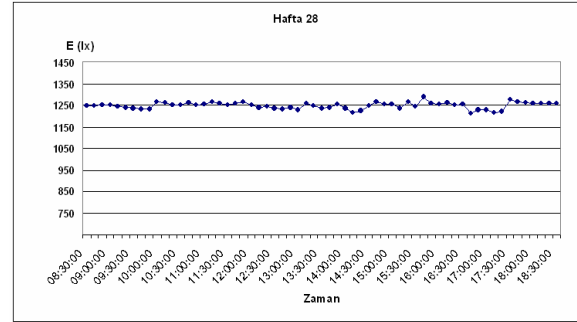
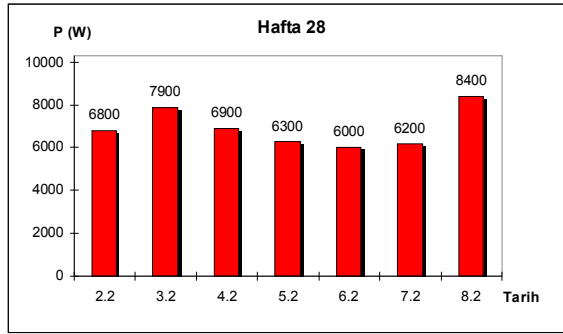
Şekil B.25. 25. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



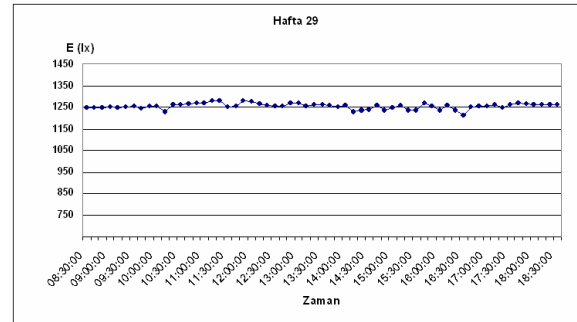
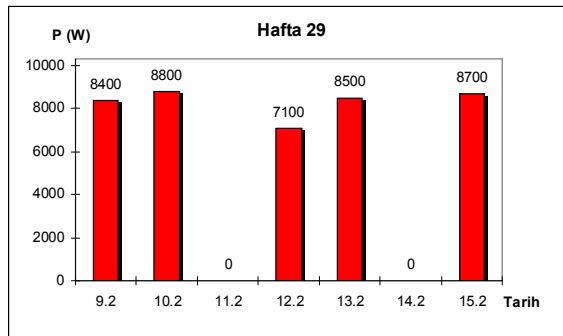
Şekil B.26. 26. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



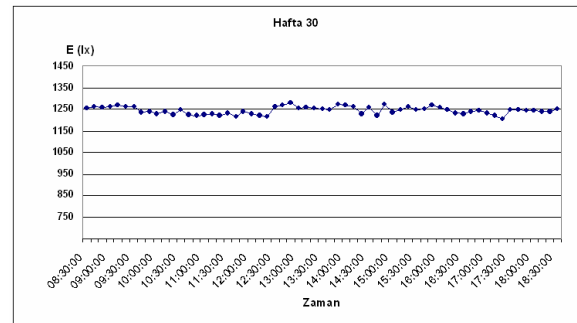
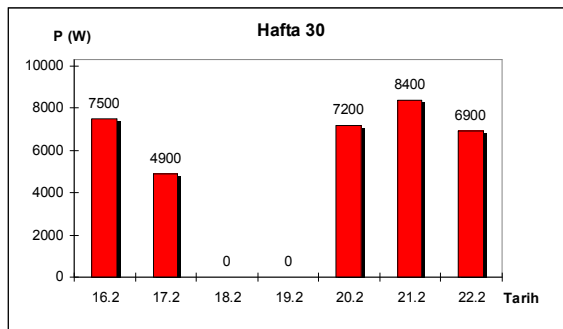
Şekil B.27. 27. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



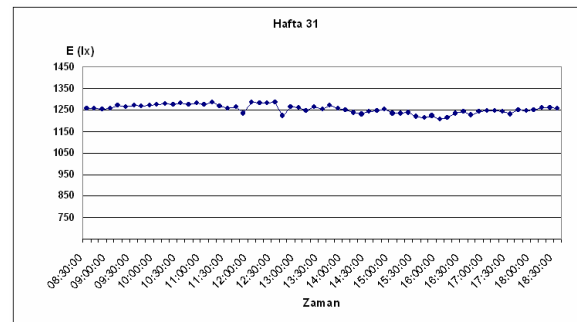
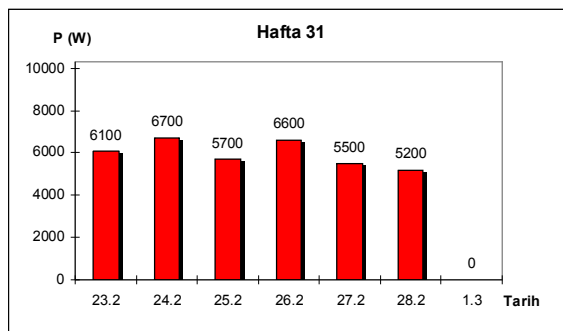
Şekil B.28. 28. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



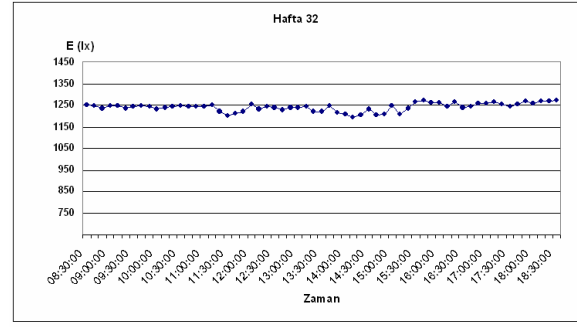
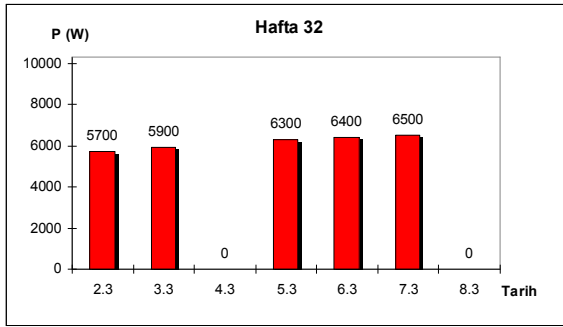
Şekil B.29. 29. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



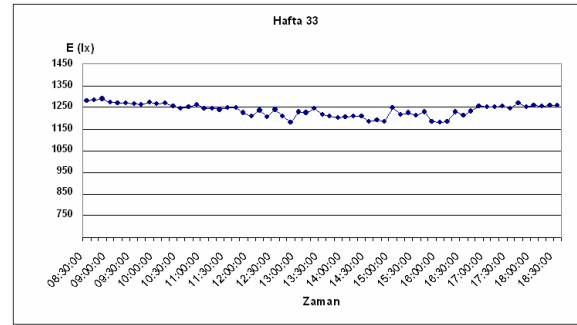
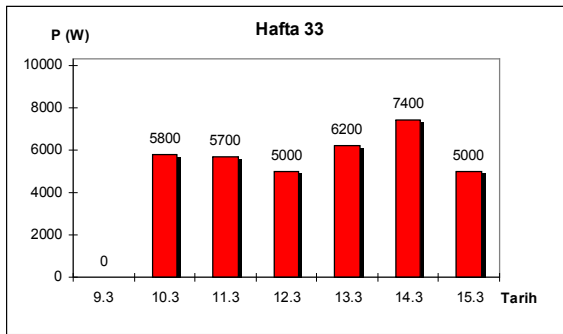
Şekil B.30. 30. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



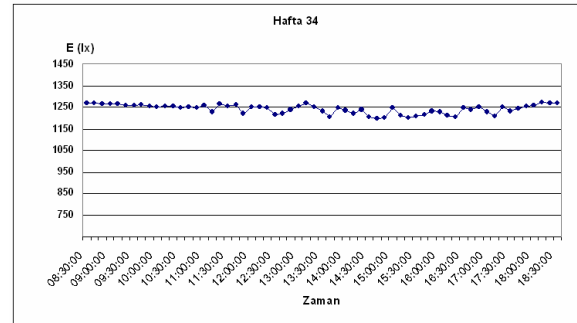
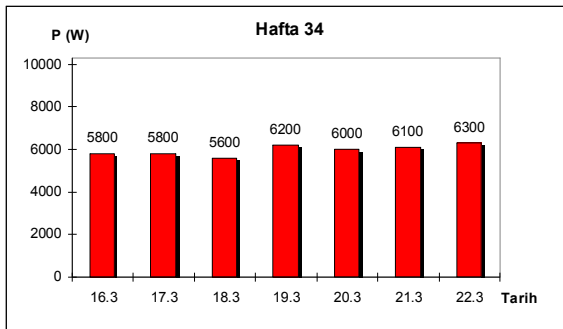
Şekil B.31. 31. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



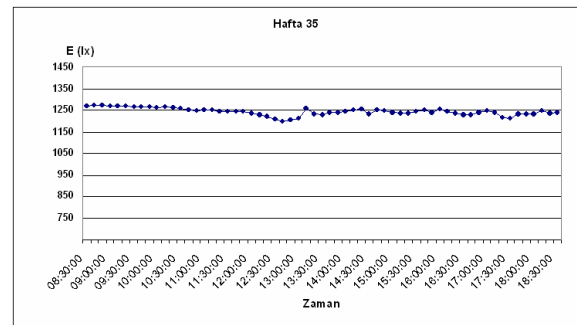
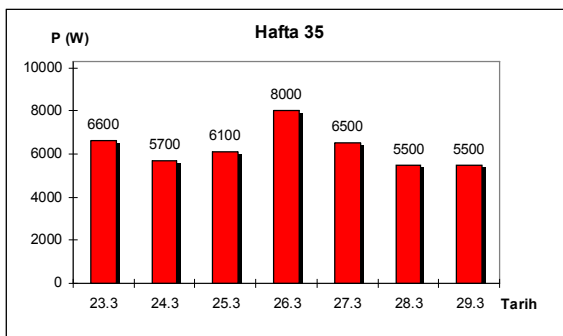
Şekil B.32. 32. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



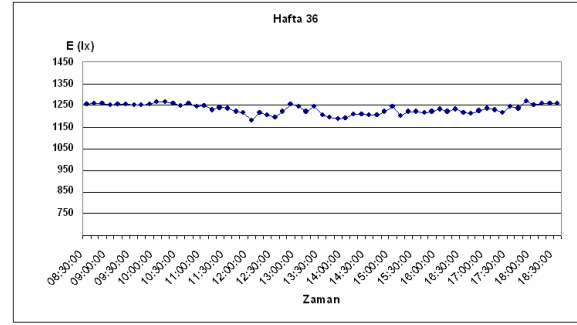
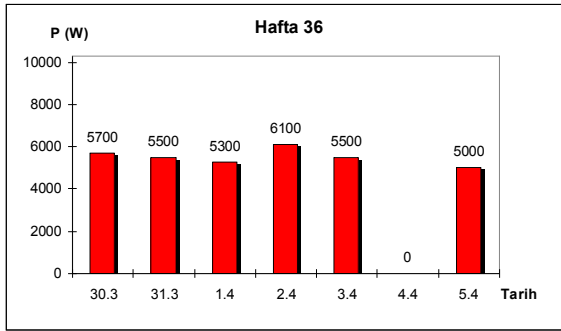
Şekil B.33. 33. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



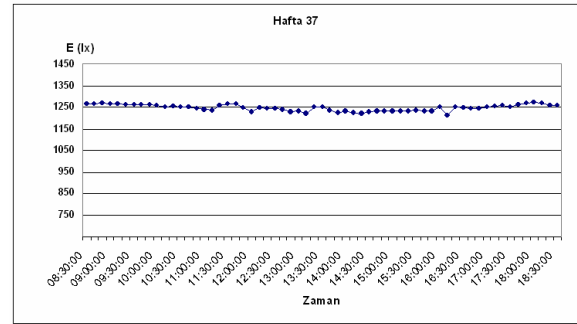
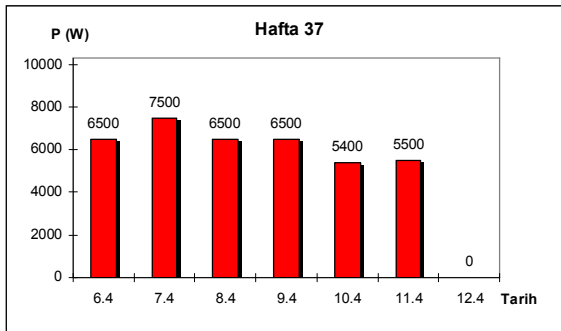
Şekil B.34. 34. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



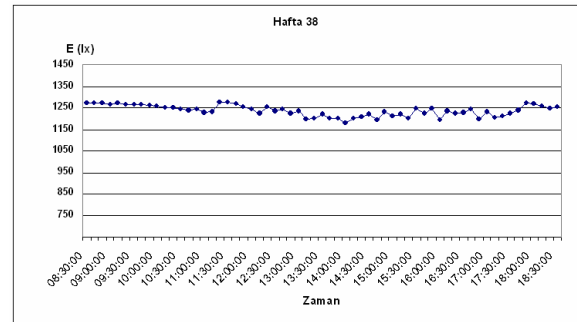
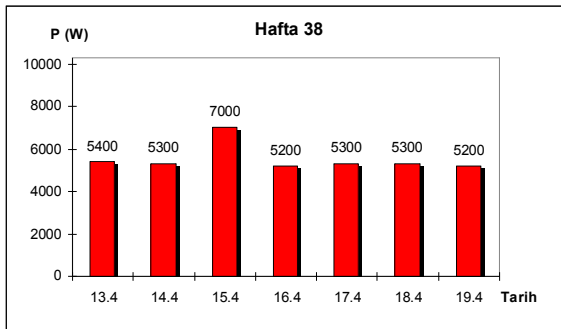
Şekil B.35. 35. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



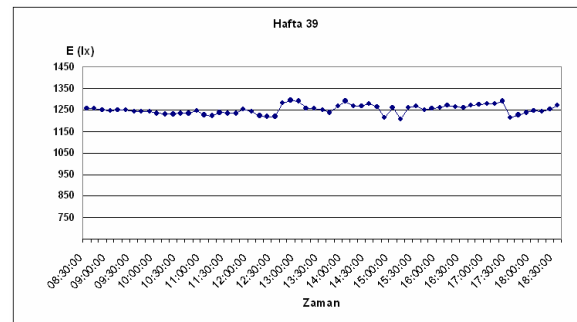
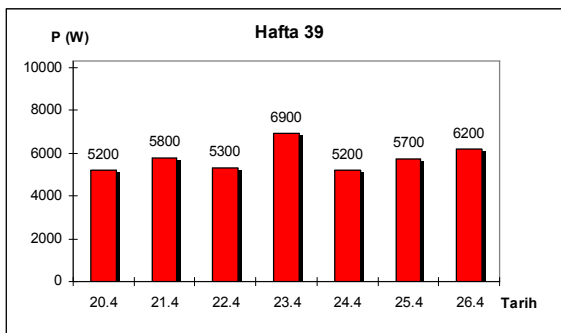
Şekil B.36. 36. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



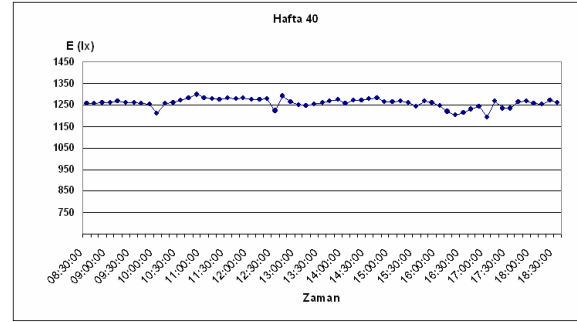
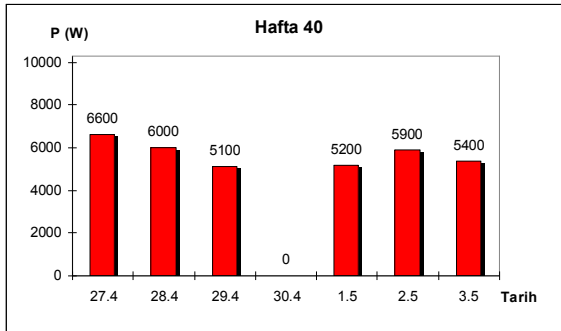
Şekil B.37. 37. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



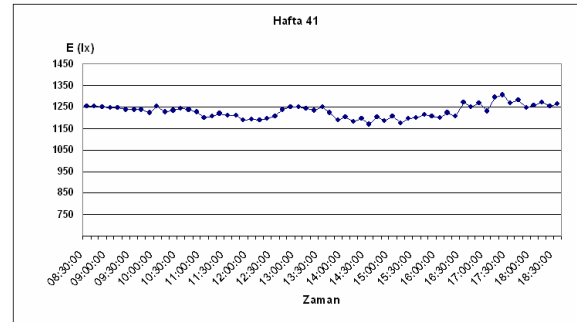
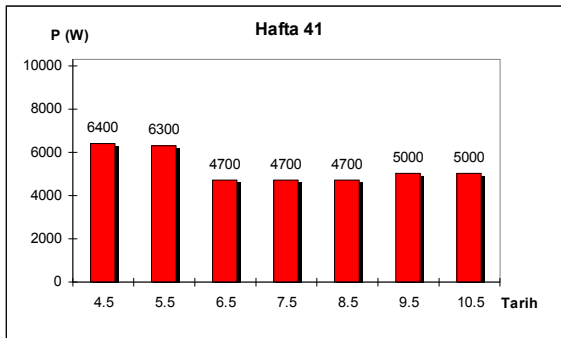
Şekil B.38. 38. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



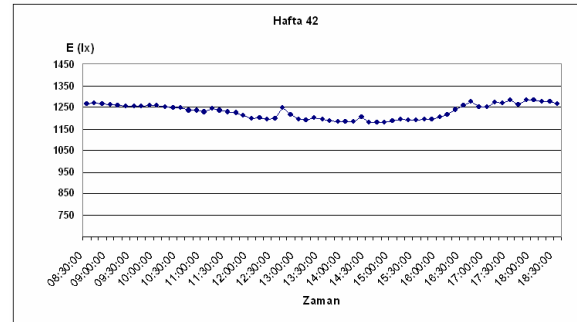
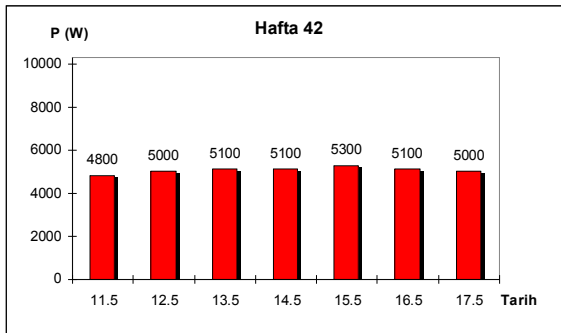
Şekil B.39. 39. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



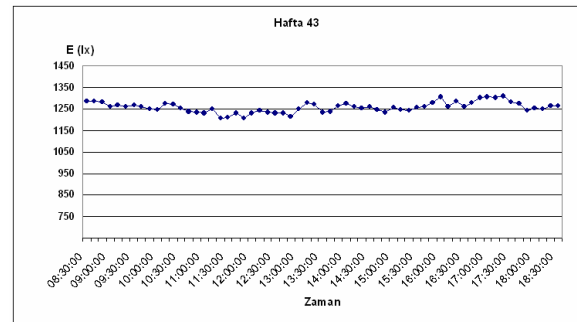
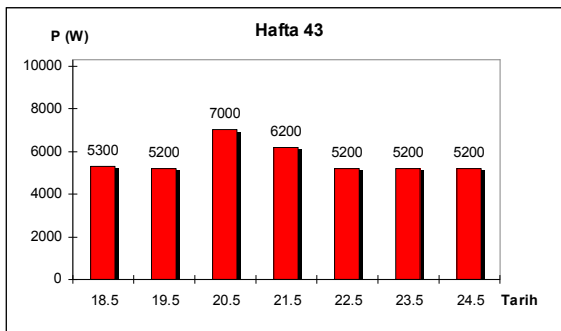
Şekil B.40. 40. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



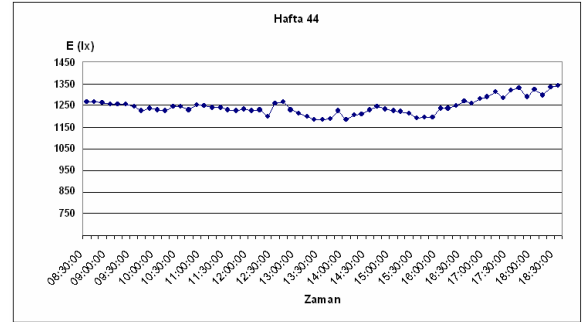
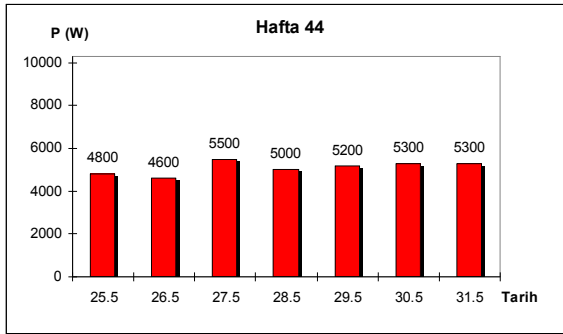
Şekil B.41. 41. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



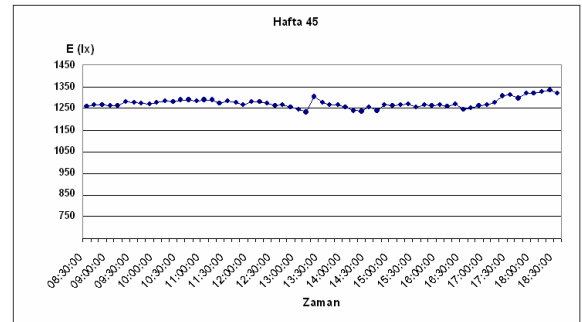
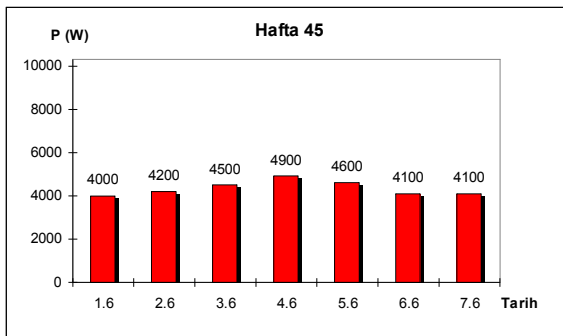
Şekil B.42. 42. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



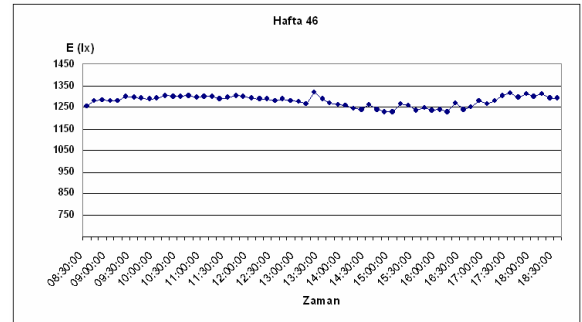
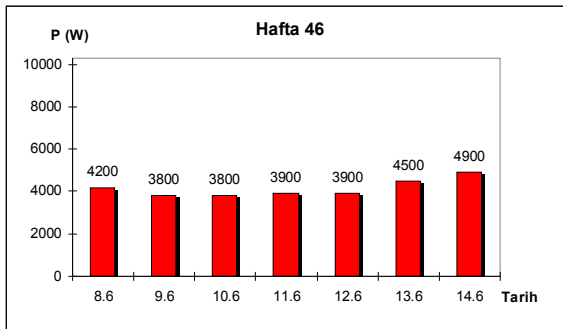
Şekil B.43. 43. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



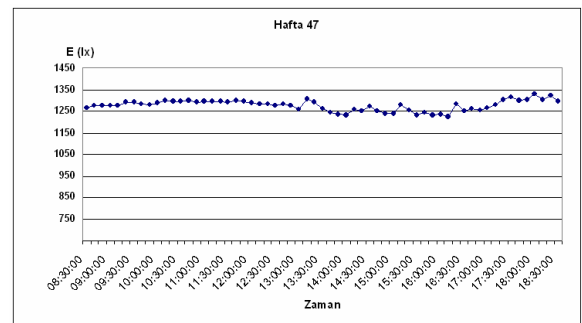
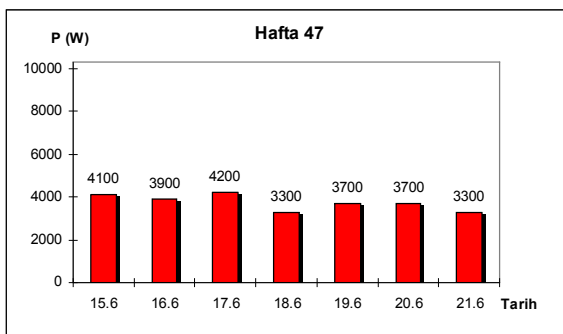
Şekil B.44. 44. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



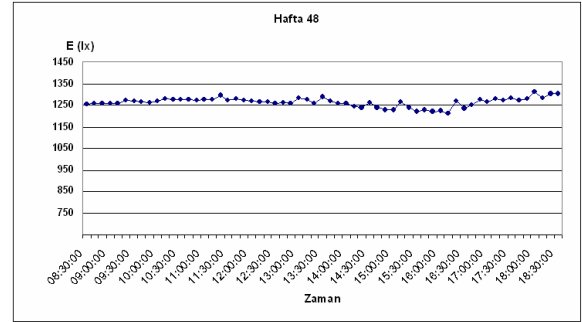
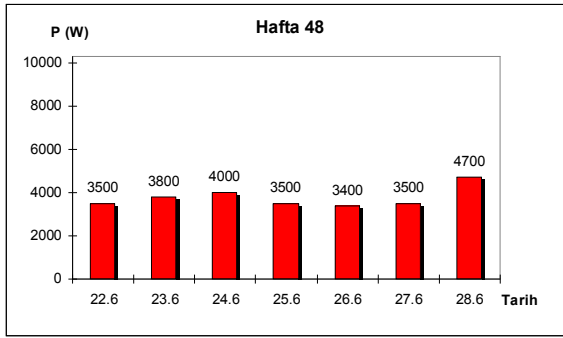
Şekil B.45. 45. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



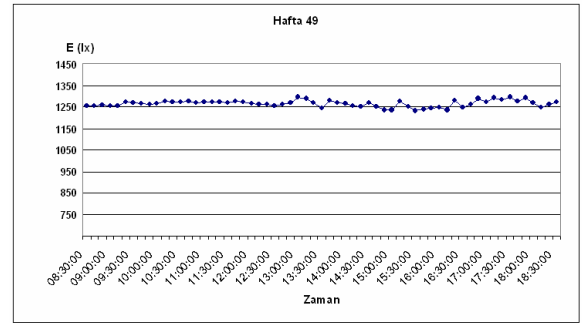
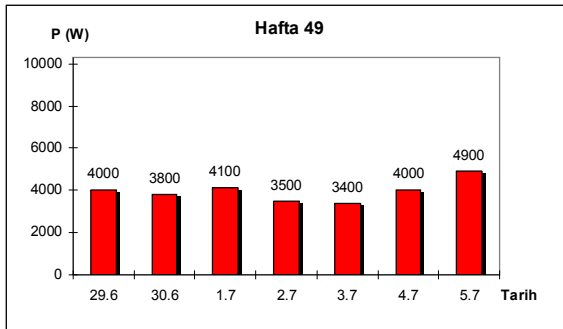
Şekil B.46. 46. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



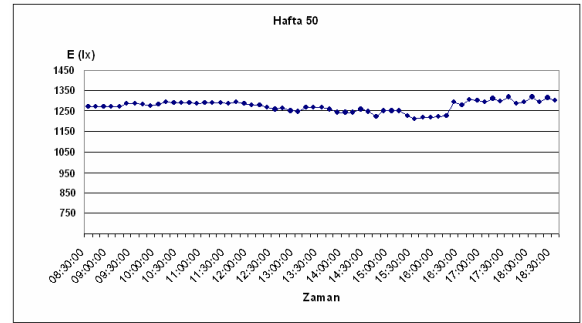
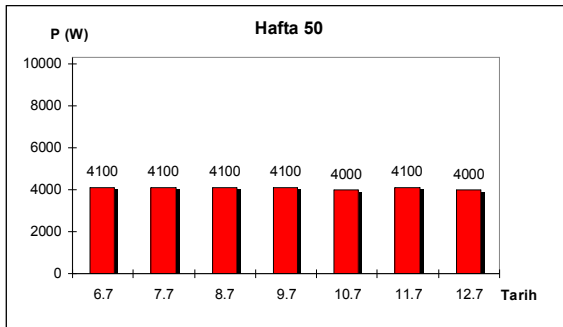
Şekil B.47. 47. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



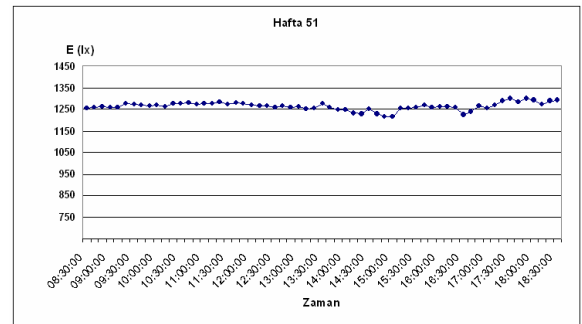
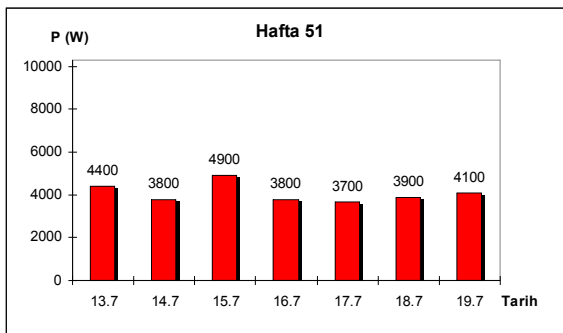
Şekil B.48. 48. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



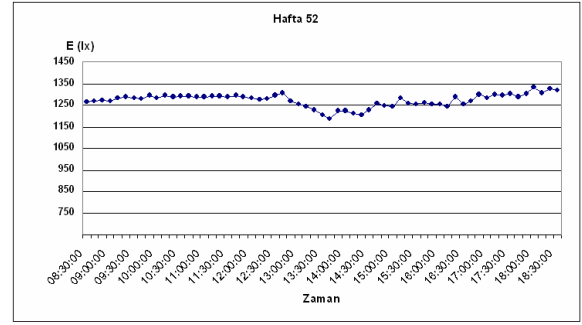
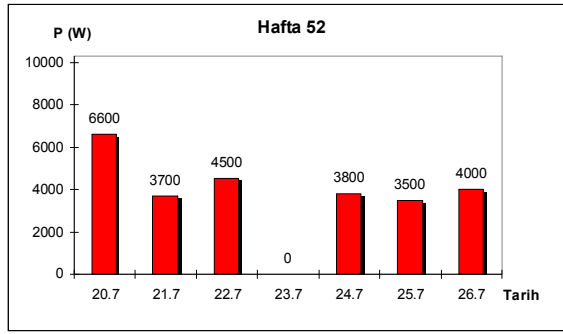
Şekil B.49. 49. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



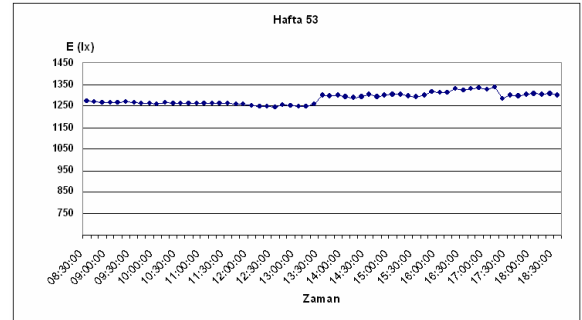
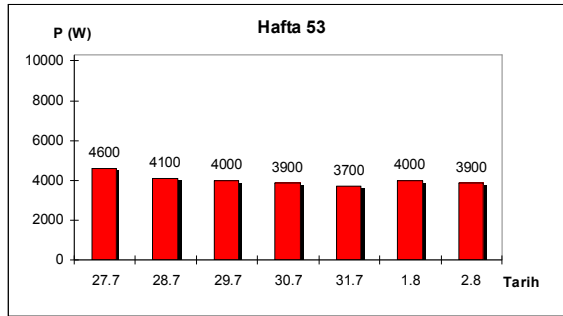
Şekil B.50. 50. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



Şekil B.51. 51. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



Şekil B.52. 52. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri



Şekil B.53. 53. deney haftası enerji tüketim ve çalışma düzlemi aydınlık düzeyi değerleri

EK C. KULLANICI MEMNUNİYET ANKETİ SORULARI

Kişisel Bilgiler

1) Herhangi bir göz bozukluğunuz var mı?

Diğer

Astigmat

Miyop

Hipermetrop

Yok

2) Şu anda gözlük veya lens kullanıyor musunuz?

Evet

Hayır

3) Yaşınız:

4) Cinsiyetiniz

Erkek

Kadın

5) Eğitiminiz

Lise veya altı

Önlisans – Lisans

Lisansüstü

6) Mesleğiniz hangi ortamda daha çok bulunmanızı gerektiriyor?

Ofis

Saha

7) Ofisinizdeki günlük çalışma süreniz

6 – 8 saat

4 – 6 saat

4 saatten az

8) Günlük çalışmanızın yüzde kaçını bilgisayar ekranı önünde yapıyorsunuz?

%0 – 20

%20 – 40

%40 – 60

%60 – 80

%80 – 100

9) Çalışma mekânınızdaki aydınlatma şartları nasıl?

Sadece Yapay

Yapay + Gün ışığı karması

Sadece Gün ışığı

10) Hangi aydınlatma ortamında çalışmayı tercih edersiniz?

Sadece Yapay

Yapay + Gün ışığı karması

Sadece Gün ışığı

Fark etmez

11) Aylık geliriniz ne kadar?

0-500 TL

500-1000 TL

1000-1500 TL

1500-2000 TL

2000 üzeri

Deney Odası Aydınlatması Üzerine

**1) Çalışma düzleminizdeki görme performansınızı nasıl değerlendiriyorsunuz?
(Ne kadar iyi görebiliyorsunuz?)**

Çok iyi

İyi

Normal

Kötü

Çok Kötü

2) Etrafınıza baktığınızda görsel konforunuz hangi seviyede olduğunu düşünüyorsunuz? (Etrafınıza ne kadar iyi bakabiliyorsunuz? Yansıma, parlama v.b rahatsız ediyor mu?)

Çok konforlu

Konforlu

Orta

Konforsuz

Çok konforsuz

3) Çalışma Düzlemi ile odanın diğer noktaları arasındaki ışık dağılımı farklılıkları nasıl?

Çok iyi

İyi

Normal

Kötü

Çok Kötü

4) Ortamdaki görsel atmosferden memnun musunuz? (Daha fazla veya az, farklı bir aydınlatma yapılabilir miydi?)

Çok Memnunum

Memnunum

Normal

Pek Memnun Değilim

Hiç Memnun Değilim

5) Işık renginden memnun musunuz?**(Uygun mu, rahatsız mı ediyor?)**

Çok Memnunum

Memnunum

Normal

Pek Memnun Değilim

Hiç Memnun Değilim

Pek memnun değilim veya hiç memnun değilim şıklarını seçtiyseniz nasıl olmasını isterdiniz?

Beyaz

Daha sarı

6) Odanın aydınlatması biyolojik saatinizi nasıl etkiliyor?**(Aydınlatma yoruyor ya da canlandırıyor mu?)**

Fazlasıyla Canlılık veriyor

Biraz canlandırıyor

Herhangi bir etki yapmadı

Biraz Yoruyor

Fazlasıyla Yoruyor

7) Odanın aydınlatması çalışma performansınızı nasıl etkiledi?**(Performansı düşürüyor ya da artırıyor mu?)**

Performansım bir hayli arttı

Performansım biraz arttı

Herhangi bir etki yapmadı

Performansım biraz azaldı

Performansım bir hayli azaldı

8) Sürekli bu odada çalıştığınızı varsayarak, lütfen odadaki aydınlatma koşullarını değerlendiriniz.

- Çok konforlu
- Konforlu
- Normal
- Konforsuz
- Çok konforsuz

9) Size göre bu odanın pencere boyutları gün ışığı alımı için yeterli mi?

- Çok büyük
- Biraz büyük
- Yaklaşık doğru
- Biraz küçük
- Çok küçük

10) Pencereden dışarının görüntüsünü nasıl buluyorsunuz?

- Çok konforlu
- Konforlu
- Normal
- Konforsuz
- Çok konforsuz

11) Bu soruları cevaplandırırken aşağıda verilen noktalardaki aydınlatma seviyelerinin oranı nasıl? (Lütfen soruları 10'ar dakika arayla cevaplayınız ve cevaplama saatini not ediniz.)

a) Masa(Çalışma Düzlemi)

b)Tahta (İşaretlenmiş Bölge)

Saat:

Oldukça çok fazla ışık

Oldukça çok fazla ışık

Çok fazla ışık

Çok fazla ışık

Yeterli ışık

Yeterli ışık

Çok az ışık

Çok az ışık

Oldukça çok az ışık

Oldukça çok az ışık

c) Pencere

d) Karşı Duvar

Saat:

Oldukça çok fazla ışık

Oldukça çok fazla ışık

Çok fazla ışık

Çok fazla ışık

Yeterli ışık

Yeterli ışık

Çok az ışık

Çok az ışık

Oldukça çok az ışık

Oldukça çok az ışık

Tablo (İşaretlenmiş Şekiller – Aynı anda cevaplayınız)

e) Kırmızı

f) Yeşil

Saat:

Oldukça çok fazla ışık

Oldukça çok fazla ışık

Çok fazla ışık

Çok fazla ışık

Yeterli ışık

Yeterli ışık

Çok az ışık

Çok az ışık

Oldukça çok az ışık

Oldukça çok az ışık

ÖZGEÇMİŞ

Cenk Yavuz, 03.07.1979'da Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 1998 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2002'de mezun oldu. Mezuniyetinin ardından aynı bölümde Yüksek Lisans'a girdi ve Araştırma Görevliliği'ne kabul edildi. 2004 Eylül ayında Doktora çalışmasına başladı. Halen Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora öğrencisidir ve Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.