

TC
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNIŞİĞINA BAĞLI AYDINLATMA KONTROLÜ İLE İÇ
AYDINLATMADA ENERJİ TASARRUFUNUN GÖRÜNTÜ İŞLEME
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Musa DEMİRBAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Türker Fedai ÇAVUŞ

Ağustos 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

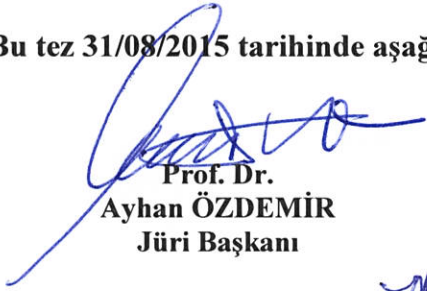
GÜNIŞİĞINA BAĞLI AYDINLATMA KONTROLÜ İLE İÇ
AYDINLATMADA ENERJİ TASARRUFUNUN GÖRÜNTÜ İŞLEME
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

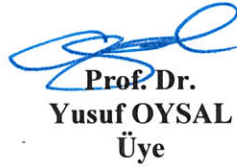
DOKTORA TEZİ

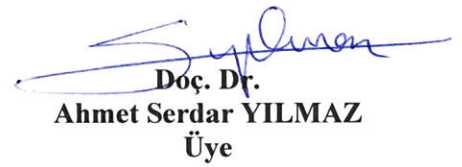
Musa DEMİRBAŞ

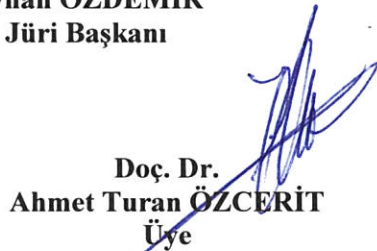
Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

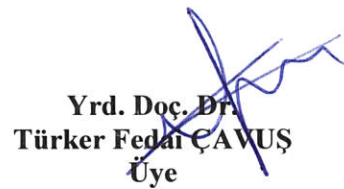
Bu tez 31/08/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirligi ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Ayhan ÖZDEMİR
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Yusuf OYSAL
Üye


Doç. Dr.
Ahmet Serdar YILMAZ
Üye


Doç. Dr.
Ahmet Turan ÖZCERİT
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Türker Fedai ÇAVUŞ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Musa DEMİRBAŞ

31.08.2015

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin hazırlanmasında, değerli bilgileri ve fikirleri ile katkı sağlayan, çalışmalarımında desteklerini esirgemeyen, saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Türker Fedai Çavuş'a ve Yrd. Doç. Dr. Cenk Yavuz'a şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmasının gerçekleşebilmesi için desteklerini esirgemeyen Arçelik A.Ş. üst yönetimine, her daim yanımda olduklarını hissettiren saygıdeğer Adnan Tüfekçi, Hayrullah Oktan ve Güney Özaltan'a teşekkürlerimi iletmek istiyorum.

Doktora çalışması için okula başladığım ilk günden bu yana her ziyaretimde usanmadan okulumu soran, doktora çalışmamı takip eden ve heyecanla mezun olmamı bekleyen 10 Mayıs 2015 Pazar anneler gününde 14 yıl önce 2001 yılında vefat eden annemin yanına hediye gönderdiğimiz babamı rahmetle anıyorum. Temel eğitimimden itibaren bana destek veren, gözetip kollayan, moral ve motivasyonumu sağlayan ablam Tevhide Tekcan ve eniştem Recai Tekcan'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı gerçekleştirme aşamasında yaşadığım tüm sıkıntılarla, destekleri ve varlıklarıyla baş etmemi sağlayan sevgili eşim Melek ve çocuklarım Sena, Niyazi Efe, Azra Demirbaş'a minnettarlığımın boyutunu anlatabilmem imkânsız. Bu sıkıntılı süreçte verdikleri moral destekle çalışmamı bitirebilmemde katkıları olan sevgili dostum Murat Esen ve Ertan Ersoy varlığı ile bana önemli güç vermiştir, her birine ayrı ayrı teşekkürü borç bilirim. Çalışmam boyunca desteklerini eksik etmeyen Arçelik Bakım takımındaki tüm mesai arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

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

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI VE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Enerji Tasarrufu ve Çevresel Etkenler.....	4
2.2. Çalışma Seviyesi Aydınlik Düzeyi.....	12
2.3. CO ₂ Salınım Etkisi.....	15
BÖLÜM 3.	
GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	18
3.1. Sistemin Yapısı.....	19
3.2. Sistemin Çalışma Prensipleri.....	19
3.3. Tasarruf ve Oda Sıcaklığı İlişkisi.....	20
3.4. Literatüre Katkısı.....	21

BÖLÜM 4.

YÖNTEM GELİŞTİRME VE UYGULAMA.....	24
4.1. Kurulan Sistemin Yapısı.....	24
4.2. Sistemin Çalışma Yöntemi.....	25
4.3. Prototip Araştırması ve Kurulumu.....	26
4.4. Arayüz Programının Geliştirilmesi.....	30
4.5. Görüntü İşleme.....	37
4.6. Yöntem Karşılaştırma.....	49

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	64
EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
BRE	: Uluslararası Yapı Araştırma Kurumu
c	: Özgöl ısı
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komitesi
CIBSE	: Bina Hizmet Mühendisleri Enstitüsü
CO ₂	: Karbondioksit gazı
d	: Yoğunluk
DALI	: Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arabirimi
E	: Aydınlık Düzeyi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
J	: Joule
PC	: Kişisel Bilgisayar
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
SEE-Stats	: Güney Doğu Yenilenebilir Enerji İstatistikleri Kurumu
SQL	: Yapısal Sorgulama Dili
V	: Hacim
W	: Watt
Wh	: Watt – Saat
kg	: Kilogram
t	: Ton
°C	: Derece Santigrad
η	: Verim
P	: Güç

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Genel Akış Şeması.....	25
Şekil 4.2. Ofisin dış görünümü	27
Şekil 4.3. Ofisin iç görünümü	27
Şekil 4.4. Ofisin iç görünümü	28
Şekil 4.5. Ofisin iç görünümü	28
Şekil 4.6. Toplantı masası görünümü ve kamera yerleşimi	29
Şekil 4.7. Kamera Sistemi görünümü	29
Şekil 4.8. Kamera bağlantısı görünümü.....	30
Şekil 4.9. PLC Sistemi	31
Şekil 4.10. Enerji analizörü	31
Şekil 4.11. PLC donanım yapısı	32
Şekil 4.12. Scada arayüz programı görüntüsü	33
Şekil 4.13. Veri tabanı kayıt sayfası görünümü.....	33
Şekil 4.14. Günlük Aktif Enerji Tüketimi	34
Şekil 4.15. Günlük Aktif Enerji Anova Analizi.....	35
Şekil 4.16. Günlük Ortalama Tüketim Grafiği	35
Şekil 4.17. Günlük Aktif Enerji Anova Analizi.....	36
Şekil 4.18. Aylar bazında Günlük Ortalama Tüketim Grafiği.....	36
Şekil 4.19. Günler bazında Enerji Tüketim Farkı Anova Analizi.....	37
Şekil 4.20. NI USB-6211 I/O Analog Çıkış Programlama Modülü Açılış Sayfası.....	38
Şekil 4.21. NI USB-6211 I/O Analog Çıkış Modülü Programlama Sayfası	38
Şekil 4.22. NI USB-6211 I/O Analog Çıkış Modülü Programlama Sayfası	39
Şekil 4.23. Vision Builder NI MAX Programı Açılış Sayfası.....	39
Şekil 4.24. Vision Builder NI MAX Programı Açılış Sayfası.....	40
Şekil 4.25. Vision Builder NI MAX Programı Açılış Sayfası.....	40
Şekil 4.26. Vision Builder NI MAX Programı Kameranın Sisteme Tanıtılması.....	41

Şekil 4.27. Vision Builder NI MAX Programı Ölçüm Parametreleri.....	41
Şekil 4.28. Vision Builder NI MAX Programı Gözlem Sayfası.....	42
Şekil 4.29. Vision Builder NI MAX Programı Ölçüm yapılacak Alan Belirlenmesi...	42
Şekil 4.30. Vision Builder NI MAX Programı Alan Tanımlama Sayfası.....	43
Şekil 4.31. Vision Builder NI MAX Programı Renk Ölçüm Ayar Sayfası	43
Şekil 4.32. RGB Renk Ölçüm Ayar Sayfası	44
Şekil 4.33. Vision Builder NI MAX Programı Grilik Seviyesi Ölçüm Sayfası	45
Şekil 4.34. Dali Balast	45
Şekil 4.35. Dali Balast Elektriksel Bağlantı Şeması	46
Şekil 4.36. PLC Devre Şeması.....	46
Şekil 4.37. Kamera görüntüsünden aydınlık şiddeti alınması.....	47
Şekil 4.38. Yatay nokta ölçümü aydınlık değeri için yaklaşım çizgi grafiği.....	48
Şekil 4.39. Dikey Nokta ölçümü aydınlık değeri için yaklaşım çizgi grafiği.....	48
Şekil 4.40. Günlük enerji tüketim grafiği	49
Şekil 4.41. Uygulanan yönteme göre günlük enerji tüketim grafiği.....	50
Şekil 4.42. Uygulanan yönteme göre günlük ortalama enerji tüketim grafiği.....	51
Şekil 4.43. Uygulanan yönteme göre aylık ortalama enerji tüketim grafiği	51
Şekil 4.44. Yönteme göre haftalık ortalama enerji tüketim grafiği	52
Şekil 4.45. Yönteme göre günlük ortalama enerji tüketim ana etki grafiği.....	52
Şekil 4.46. Yönteme göre günlük tüketim kutu gösterim grafiği	53
Şekil 4.47. Yönteme göre saatlik ortalama enerji tüketim ana etki grafiği.....	53
Şekil 4.48. Yönteme göre saatler bazında saatlik ortalama enerji tüketim grafiği	54
Şekil 4.49. Yönteme göre saatler bazında saatlik enerji tüketim grafiği	55
Şekil 5.1. Proje öncesi ve sonrası yıllık tüketim grafiği	57
Şekil 5.2. Yıllık enerji tasarruf grafiği	60

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Kamera gerilimi ve karşılık gelen lüks değerleri tablosu 47

Tablo 4.2. 64 armatürlü 4*18 Wh ve 2*58 Wh sistem fizibilite tablosu 61

ÖZET

Anahtar kelimeler: Aydınlatma Enerjisi Tasarrufu, Güneşine Bağlı Aydınlatma Sistemleri, Aydınlatma Kontrolü, Enerji Verimliliği, Enerji Kalitesi, Görüntü İşleme

Günümüzde gerek kamu gerekse özel teşebbüse ait ofis ve binalarda iç aydınlatmada enerji verimliliği yaklaşımları dünya ülkeleri için çok önemli bir duruma gelmiştir. Enerji kaynakları hızla tükenirken ve sera gazı salınımları da artarken, aydınlatma enerjisi tasarrufu konusunda daha ciddi çalışmalara gereksinim vardır. Yapılan çalışma ile aydınlatma kontrol otomasyon sisteminden elde edilen elektriksel veriler kullanılarak, ofis binaları için aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır. Enerji tüketiminin görüntü işleme tekniği kullanılarak azaltılması araştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar kullanılarak, enerji tasarrufu potansiyeli ve ilişkili parametreleri değerlendirilmiştir.

2012 yılında kurulan ve aktif hale geçirilen aydınlatma kontrol otomasyon sisteminden elde edilen elektriksel ve iklimsel veriler kullanılarak, ofis binaları için aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır. İklimlendirme harcamaları göz önünde bulundurulmaksızın ve kamera kontrolü ile aydınlatma açarak ve kısarak deney odasında yıllık bazda yaklaşık % 70'lik bir aydınlatma enerjisi tasarrufu gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketiminin zaman içindeki kırımını izlenmiş proje öncesi tüketim miktarının azaldığını görülmüştür ve farkın olup olmadığını istatistiksel olarak ifade etmek için 6 sigma araçlarından Anova yapılmıştır.

DETERMINATION OF INTERIOR LIGHTING ENERGY SAVINGS BY USING DAYLIGHT RESPONSIVE LIGHTING CONTROL VIA IMAGE PROCESSING

SUMMARY

Keywords: Lighting Energy Savings, Daylight Responsive Systems, Lighting Control, Energy Efficiency, Energy Quality, Image Processing

Energy saving approaches for interior lighting, especially for government and nongovernment 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. Using electrical data collected from the daylight responsive automated lighting control system constructed, detailed information regarding the energy saving potential of an office building will estimate. Energy consumption will reduce using image processing technique. Using the results obtained, a clear path may be drawn to determine and increase the energy saving potential.

Using electrical and climatic data collected from the daylight responsive automated lighting control system constructed in 2012, detailed information regarding the energy saving potential of an office building is estimated. Approximately 70 % of the lighting energy used in the room over twelve months time can be saved both without taking climatic energy consumption into account and using camera as a sensor. In order to reflect statistically whether there was a difference or not, it was checked by using Anova analysis—one of the tools of the 6 sigma.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada enerji ihtiyacı her yıl % 4-5 oranında artmakta, buna karşın bu ihtiyacı karşılayacak fosil yakıt rezervi ise hızla azalmaktadır. Dünyadaki enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve enerjiye olan talebin nüfus artışlarına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli artış göstermesi, enerjinin verimli kullanılmasını ve enerji tasarrufunu son yılların en güncel konularından biri haline getirmiştir. Enerjinin üretim ve tüketim şekli değiştirilmediği takdirde, dünya geri dönüşü olmayan bir çevre krizi ile karşı karşıya kalacaktır.

Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklar, her geçen gün artan bir oranda ithal kaynaklardan sağlanmaktadır. Elektrik enerjisinin verimli kullanılması, ülke ekonomisinin gelişimi ve dışa bağımlılığın azalması açısından oldukça önemlidir. Türkiye’nin AB uyum süreci yükümlülükleri açısından bakıldığında enerji verimliliği ayrı bir önem arz etmektedir. Enerji tasarrufu alanında yapılacak olan en küçük bir katkı dahi enerji tüketimi kapsamını etkileyeceğinden, her çalışma önemli bir adım olacaktır.

Enerji verimliliği kanunu ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirlenen enerji hedefi, Türkiye’nin enerji yoğunluğunun 2020 yılına kadar % 15 azaltılmasıdır. Bu sayede daha az enerji ile daha fazla üretimin önü açılacak, enerji yatırım ihtiyaçları ve ithalat bağımlılığı azalacak ve ayrıca çevrenin korunmasına önemli katkılar sağlanacaktır.

Enerji verimliliği, aydınlatma alanında önemli bir yer kaplamakta, gelişen üretim teknolojileri ve konu üzerine artan araştırmalar ile birlikte geliştirilen daha verimli aydınlatma aygıtlarının kullanımı dünya çapında özendirilmeye ve yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca enerji verimliliği ulusal ve uluslararası

politikaların bir parçası haline gelmeye başlamıştır. 1931’de kurulan ve son dönemde dünya çapındaki faaliyetlerini aydınlatmada enerji verimliliği yönünde arttıran Uluslararası Aydınlatma Komitesi’nin (CIE) üyesi olan uluslararası kuruluşlar, 1974 yılında kurulan Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Avrupa Birliği (EU-AB), Birleşmiş Milletler (UN-BM), Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) gibi ülke toplulukları ile enerji verimliliği konusunda ortak çalışmalara imza atmaktadırlar [1]. Bu çalışmaların genel amacı aydınlatma enerjisi tüketimini sınırlayarak, verimliliği en üst düzeye çıkarmaktır.

AB’nin bu bağlamda kurduğu ve yürüttüğü AB Yeşil Işık Programı [2] ile Kanada hükümetinin ulusal bazda hayata geçirdiği Kanada Yeşil Yapı Konseyi [3] enerji verimliliğine hizmet eden en güncel örnekler olarak gösterilebilirler.

Türkiye’de ise özellikle Elektrik Mühendisleri Odası ve Aydınlatma Türk Milli Komitesi’nin aydınlatmada enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda son derece duyarlı olduklarını ve düzenledikleri etkinliklerle ulusal bilincin gelişmesine katkı sağlamaya çalışmaktadırlar. Her iki kuruluş da amaç ve görevleri doğrultusunda kongre ve konferanslar düzenlemekte, çok sayıda bilimsel toplantı ve eğitim çalışmalarına destek vermekte, aydınlatma ile ilgili alanlarda ülke kalkınmasına, bilim ve teknolojinin gelişmesine yönelik akademik ve teknolojik çalışmalar yapılması için önderlik etmektedirler.

Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2010 istatistiklerine göre elektrik tüketimi toplam 172 TWh olarak gerçekleşmiş ve bu miktarın yaklaşık % 16’sı ofis binalarında tüketilmiştir [4]. Bu değer tahmini olarak % 15 - % 20’si ise yapay aydınlatma sistemlerinin kullanımı ile tüketilmektedir. Genel bir hesaplama sadece 2010 yılında ofis binalarında tüketilen aydınlatma enerjisi 5,5 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] incelendiğinde 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 1/3'ünden fazlasını tüketmektedir ve yapay aydınlatma bu enerji tüketiminin % 25'i ile % 40'ı arasında gerçekleşmektedir [7]. Kanada ile ilgili istatistikler ise 2007 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, 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. Yapılan araştırmalarda 2030 yılına kadar bu oranın % 80 civarında artış göstererek % 35'ler mertebesine ulaşması beklenmektedir.

Hem Türkiye hem de diğer dünya ülkeleri için aydınlatma enerjisi tüketiminin çok yüksek seviyelerdedir ve artan nüfusun etkisiyle beraber bu seviyelerin daha da yukarılara çıkacağı aşikardır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda aydınlatmada enerji verimliliğini sağlayabilmek için, mevcut yapıların aydınlatma koşullarının kesinlikle iyileştirmesi, yeni inşa edilecek yapıların ise enerji verimli bir aydınlatma düzeneğine sahip olacak şekilde inşa edilmesi gerekmektedir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Günüşiğine bağı aydınlatma kontrolüne ilişkin literatürde önemli yer kaplayan ve öne çıkmış olan çalışmalar incelendiğinde elle kontrol edilen anahtarlama, gölgelendirme elemanlarının kullanılması, loşlaştırmalı kontrol ve otomatik açma kapama kontrolünün kullanılmasına kadar birçok yöntemin kullanıldığı görülür. Ayrıca günüşiğinden faydalanılmasında bina yönü ve geometrisinin rolü, pencere camlarının ışık geçirgenliğinin etkisi ve dış engeller gibi birçok etken de göz önünde bulundurulmuştur. Literatür taraması ile hem mevcut yöntemlerin durumları hem de eksik kaldığı yönleri ortaya konulmuştur.

2.1. Enerji Tasarrufu ve Çevresel Etkiler

İsviçre'nin Lozan kentinde LESO binası adını verdikleri solar enerji binası ve fizik laboratuvarı olan ve yaklaşık 20 metre karelik 20 odadan oluşan binada yapılan bir deneyde aydınlatma sisteminin “ortalama aydınlatma anahtarlama olasılığı” değişen parlıtya göre ölçülmeye çalışılmıştır. Deney kapsamında odaya giriş çıkışlar göz önüne alınmamıştır. Bu çalışma hareket algılayıcısı ile ilişkilendirilmemiş, belirlenen zaman aralıklarında kullanıcılara günüşiğinden da faydalanan bir çalışma ortamında açma kapama yaptırılmıştır. Sonuç olarak kullanıcıların loşlaştırma tabanlı kontrolü daha sıklıkla tercih ettikleri ve parlıtya değişimlerine göre bu seçeneği kullandıkları, aydınlık düzeyi yükseldikçe aydınlatma kontrol sistemini kullanma eğilimlerinin düştüğü ortaya çıkmıştır. Ayrıca kontrol ekipmanları, kullanıcılara daha uzak mesafelerde olması durumunda, kullanıcıların aydınlatma kontrollerini daha az sıklıkla kullandıkları tespit edilmiştir [12].

Kanada'da yapılan bir çalışmada iki büyük binanın iç avlularında günüşiğine bağı iki farklı aydınlatma kontrol sistemi kullanılarak aydınlatma enerjisi tasarrufu yapılması hedeflenmiştir. Elde edilen ölçümlerde mevsimler bazında değişik değerler görölse

dahi sürekli loşlaştırma kontrolü ile yıllık bazda % 46 oranında enerji verimliliği sağlanırken, ikinci yöntem olarak kullanılan otomatik açma ve kapama kontrolü uygulamasında ise yıllık bazda % 11 ile % 17 arası bir oranda enerji verimliliği sağlanmıştır. Hesaplamalar, yıllık bazda günışığına bağlı sistemlerle, benzeri ortamlar için % 30 ile % 65 arası tasarrufun mümkün olabileceğini göstermiştir [13].

Avrupa'nın farklı şehirlerinde farklı aydınlatma sistemlerinin karşılaştırılmasının amaçlandığı bir çalışma yapılmıştır. 2007 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, Atina'da güney yönlü bir ofiste yıllık % 61, 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 iyileştirebileceği vurgulanmaktadır. 1–10 VDC balastlar yerine DALI balast kullanımının elektrik enerjisi parametreleri bakımından oldukça fazla fayda sağlayacağından da bahsedilmekte ve DALI balast kullanımı teşvik edilmektedir [14].

New York'ta yaklaşık 401 m² büyüklüğündeki bir iç alanda gerçekleştirilen enerji verimliliği deneysel çalışmasında kullanılabilir alan iki çalışma parçasına ayrılmıştır. Bir bölge “Alan A” olarak 1–10 VDC açık çevrim orantısal kontrol edilebilir balastlarla enerji verimliliği çalışması yapılmak üzere belirlenmiştir. Diğer bölge ise “Alan B” olarak kapalı çevrim DALI balastlarla tesis edilmiştir. “Alan A” ve “Alan B” çok sayıda ışık algılayıcısı ile donatılmıştır. 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. Dokuz ay boyunca süren deney sonunda Alan A'da % 30, Alan B'de ise % 50 ile % 60 arası aydınlatma enerjisi verimliliği sağlanmıştır. Bina yönü, oda yönü ve balast çeşidi gibi kullanılan kontrol aygıtlarının günışığına bağlı aydınlatma kontrolünde rolünün son derece önemli olduğu ifade edilmiştir [15].

Kullanıcı kontrollü loşlaştırılabilir aydınlatma sistemlerinin incelendiği bir diğer çalışmada, dört farklı aydınlatma sistemine dair kullanıcıların verdikleri tepkiler ve sonunda elde edilen ortalama enerji tasarruf oranları verilmiştir. Aydınlatma enerjisi tasarruf oranı deneyin yapıldığı beş ya da altı aylık süreçte dönemlere göre değiştiği

görülmüştür. Bu dönemlerin genelinde enerji verimliliği maksimumda % 54 olarak tespit edilmiştir. Enerji verimliliği açısından en yaygın görülen sıkıntı kullanıcıların iş çıkışında ışıkları kapatmayı unutması olarak görülmüştür. Özellikle bu duruma karşı otomatik açma kapama sisteminin gerekliliğinden ve enerji verimliliğinde hareket algılayıcısının öneminden bahsedilmiştir [16].

Onaygil ve Güler tarafından İstanbul'da bir ofiste günışığına bağlı otomatik loşlaştırma özelliğine sahip aydınlatma kontrol sistemi ile yapılan bir enerji verimliliği çalışmasında, aylar ve mevsimler bazında farklı değerler elde edilse de yıllık bazda % 30 civarında bir aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu gösterilmiştir. Bunun yanı sıra hava şartlarına bağlı olarak bu tasarruf oranlarının değiştiği de ifade edilmiştir. Deneyin uygulandığı koşullar için Türkiye'de benzer iklim şartlarında yakın değerlerde yani % 30 mertebesinde enerji verimliliği de sağlanabileceği belirtilmiştir [17].

Kanada'da 83 m²'lik bir alana sahip, içinde 6 adet açık ofis bulunan bir büro katında yapılan incelemede, çalışanların içinde bulunduğu ortamın aydınlatmasının, katın geri kalanıyla aydınlatma açısından uyumsuz olması durumunda memnuniyetsizliklerin ortaya çıktığı görülmüştür. Aydınlik dağılımının dengeli ya da dengesiz olmasının kullanıcıların ruh hallerini doğrudan etkilediği saptanmıştır. Günışığına bağlı aydınlatma kontrolü yaparken oda içindeki noktalar ya da çalışma düzlemleri arasında çok fazla aydınlık düzeyi farkı olmaması gerekmektedir [18].

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 ayarı arasında % 50'ler civarında bir tasarruf potansiyelinin olduğunu ortaya koymuşlardır [19].

2007 yılında Galasiu ve arkadaşlarının geliştirip gerçekleştirdiği çalışmada, açık ofislerde hareket algılayıcıları, ışık algılayıcıları ve kişisel loşlaştırma kontrolü ile

enerji verimliliği sağlamayı hedeflemişlerdir. 39 günlük bir dönem, 140 günlük bir dönem ve 61 günlük bir dönemde çeşitli opsiyonlar ile enerji verimliliği karşılaştırmaları yapmışlar, açık ofislerde hareket algılayıcıları, ışık algılayıcıları ve kişisel loşlaştırma kontrolünün bir arada kullanılmasıyla aydınlatma enerjisinden % 70'lere varan oranda tasarrufun mümkün olabileceği göstermişlerdir [20].

Morrow ve arkadaşları Amerika Birleşik Devletleri'nde yaptıkları bir çalışmada, hareket algılayıcısı ve kişisel anahtarlama olanağı sunulan bir aydınlatma kontrol sisteminde toplamda % 61 varan bir tasarruf oranına erişilebileceğini belirtmiştir. Sözü geçen bileşenlerden hareket algılayıcısının tasarrufa etkisi % 46, anahtarlama sisteminin tasarrufa etkisi % 15 olarak tespit edilmiştir. Çalışma üç aylık zaman diliminde gerçekleştirilmiş ve benzer şartlar altında aynı dizaynın uygulanacağı binalarda mevcut sonucun alınabileceği vurgulanmıştır [21].

Erkin ve arkadaşları İstanbul'da yapmış oldukları bir çalışmada farklı hava koşulları altında, gün ışına bağlı otomatik loşlaştırmalı aydınlatma kontrol sistemlerinin davranışını incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda hava koşullarına göre günlük bazda % 20 ila % 46 arasında enerji tasarrufunun mümkün olduğu ifade edilmiştir [22].

Daniel Wah Tong To ve arkadaşlarının 2001 yılında yaptıkları 16 haftalık bir çalışmada, yan camdan günışığı alan bir ofis, yüksek frekanslı loşlaştırma özellikli balastlarla donatılmış flüoresan lambalı armatürlerle aydınlatılmıştır. Tropik bir iklime sahip olan Hong Kong'da 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 oranında tasarruf elde edilebileceği belirtilmektedir [23].

2008 yılında Kanada'da gerçekleştirilen bir deney ve anket çalışmasında, 40 katılımcı bir iş günlerini kurulan laboratuvarında geçirmişlerdir. Kendilerinden her 30 dakikada bir ofisteki aydınlatmayı manüel loşlaştırma özelliğine sahip aydınlatma kontrol sistemi üzerinden ayarlamaları istenmiştir. Bu işlem sırasında kayıttaki olan

dijital bir kamera yardımıyla odadaki aydınlık düzeyi ve parlıltı haritaları çıkartılmıştır. Özellikle çalışma düzlemine düşen günışığı miktarı arttıkça enerji tasarrufunun da arttığı görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda katılımcıların loşlaştırma özelliğini sıklıkla kullandığı, odaya giren günışığının da etkisiyle % 25'e varan tasarrufların gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada pencereler içten bir filtrelemeye tabi tutulmuş ve içeri giren günışığının kamaşma gibi istenmeyen etkilerde bulunması önlenmeye çalışılmıştır [24].

Li ve Lam Hong Kong'da yaptıkları bir çalışmada günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri kullanılarak ofislerde % 50'lere varan aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu ifade edilmiştir. Aydınlatmada günışığından faydalanırken aynı zamanda içeri giren günışığı dolayısıyla ofis içerisindeki sıcaklığın artmasının soğutma yükünü arttırması aşıkardır. Bu nedenle bu etkiyi de aza indirecek tasarımların gerekliliği de bahsedilen konulardan biri olmuştur [25].

Li ve arkadaşları Hong Kong'da yaptıkları bir başka çalışmada yedi aylık dönemde yüksek frekanslı loşlaştırmalı aydınlatma kontrol sisteminin kullanılmasıyla % 33 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtmiştir [26].

Choi ve Sung Güney Kore'de günışığına duyarlı sistemlerin geliştirilmesi üzerine yaptıkları bir çalışmada, uygulamanın yapılacağı yere göre % 30 - % 70 arasında aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken güneş engelleyici ve gölgeleyici panjur, perde tipi mekanizmalar hesaba katılmamıştır [27].

Yapılan incelemelerde ışık geçirme oranı % 50'nin altında olan pencerelere sahip binalarda, pencere sayısının arttırılmasının günışığına bağlı enerji tasarrufuna olumlu yönde etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür. Bu çalışma ABD'da Atlanta, Chicago, Phoenix ve Denver olmak üzere dört farklı coğrafi bölgesinde yapılmıştır. Enerji tasarrufuna asıl etki yapan faktörün günışığı geçirgenliği ve pencere alanı olduğu saptanmıştır. Yukarıda sözü edilen pencere tiplerine sahip binalardaki pencerelerin daha fazla günışığı alır hale getirilmesinin, yani günışığı geçirgenliği ve

pencere alanının birlikte arttırılmasının, gnna bağlı lolatırılabilir aydınlatma kontrol sistemleri ile enerji tasarrufuna önemli katkılar sağlayacağı belirtilmiştir [28].

Gnna bağlı aydınlatma kontrol sistemleri kullanarak Malezya'da yapılan bir çalışmada yıllık bazda yaklaşık % 30 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu grlmtir [29].

Hong Kong'ta kamu binalarına ilişkin yapılan bir incelemede ofislerin üçte birinin son derece verimli gnğı alabildiği grlmtir. Ancak binaların iç tarafında kalan ve yeterince gnğı alamayacak konumda olan ofislerin de geri kalan oranı oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu ofislerde gnğı yansıtma ya da ışık taşıma aygıtlarının kullanılması durumunda % 25 mertebelerinde aydınlatma enerjisi tasarrufunun mümkün olduğu grlmtir. İncelemelerde binaların n yüzlerinin ışık geçirgenliği ve gnğı kullanımı bakımından aktif rol oynayacak şekilde tasarlanması ve gün ıına bağlı aydınlatma kontrolü sistemlerinin kullanılması durumunda oldukça önemli seviyede enerji tasarrufu yapılabileceği ifade edilmektedir [30].

2004 yılında Ochoa ve Capeluto İsrail'de  farklı pencere sistemine gnğı tabanlı aydınlatma kontrol sistemi uygulaması yaparak bu sistemlerin görsel komfor ve performansını değerlendirmişlerdir. Sistemler herhangi bir gölgelendirme ekipmanı ya da perde olmayan pencere, kullanıcı kontrolünde jaluzi takılı bir pencere ve anidolik yoğunlaştırıcı olan pencereyi içermektedir. Sonuçta en yüksek aydınlık düzeylerine anidolik yoğunlaştırıcı ile ulaşılabilmektedir. Bir dezavantaj olarak oda içinde yoğun kamama ve yüksek parıltıların oluştuğunu belirtmek gerekir. En verimli sistemde ise, kamamaların en az olduğu sistem olmasına karşın tüm sistemin tek bir ışık algılayıcısı ile kontrolünün aydınlık düzeyleri bakımından oda içinde dengesizliklere yol açtığı grlmtir. Bu nedenle ilave pencerelerle bu sorunun giderilebileceğinin ifade edilmiştir [31].

Zinzi, elektrokromatik pencerelerle, diğer bir isimle akıllı pencereler olarak da adlandırılan bu pencerelerle, yaptığı çalışmada belli bir çalışma süresi boyunca bu

pencerelerin bulunduğu ortamda günlük işlerini yürüten katılımcıların görüşlerini almıştır ve bu deneysel çalışma bir anketle desteklenmiştir. Sonuç olarak ışık geçirgenliği istenilen şekilde ayarlanabilen akıllı pencerelerin bulunduğu ortamda çalışanların daha düzgün aydınlık düzeyleri ve daha iyi görsel konfor sağlandığı görülmüştür. Kullanıcıların dışarıdan gelen günışığı miktarı ne olursa olsun çalışma ortamlarında sabit aydınlık düzeyleri istedikleri aşıkardır [32].

Varlık sensorları ile hareketi algılama, klasik teknolojilere dayalı enerji kontrolü için hayatın bir çok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yapısal olarak karmaşık ortamlarda kullanılması güvenilirlik eksikliği nedeniyle çok yaygın değildir. Gözetim uygulamalarıyla ilişkili olarak teknolojinin gelişimi ile düşen fiyatlar çevresel her türlü izlemeye, trafik ve insan izlenmesinde artış göstermektedir. Javier Silvestre-Blanes ve Rubén Pérez-Lloréns yaptıkları çalışmada, imalat sanayinde doluluk desen analizi için bu yeni teknolojileri kullanarak elde edilebilecek muhtemel enerji tasarrufu belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu teknolojinin varlık sensörleri gibi enerji tasarrufu için kullanılıp kullanılmayacağı analiz etmişler ve % 70 civarında enerji tasarrufu yapılabileceğini belirtmişlerdir [33].

Kutlu ve arkadaşları yaptıkları çalışmanın sonucunda okullarda aydınlatmada enerji tasarrufu sağlayabilmek, kamaşma ve oda içindeki karanlık noktaların önüne geçebilmek için uygun panjur sistemleri ve günışığına bağlı olarak çalışan aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılmasını tavsiye etmektedirler. Kutlu ve arkadaşları okullarda sınıfların çoğunlukla yan pencerelerle aydınlatılmasının görsel konfor sorunlarına neden olduğunu ve bunun aydınlatma enerjisi tasarrufunun önüne çıkan en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir [34].

Yavuz ve arkadaşları Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde yaptıkları bir çalışmada mesai saatleri içinde çalışanların 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. Günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi kullanılarak aydınlatma enerjisi tasarrufu potansiyelini belirlemek amacıyla kurdukları batı cepheli, 10,3 kWh'lik günlük aydınlatma tüketimi olan deney odasında yaptıkları çalışmada 26 hafta boyunca ölçümler almışlar ve havanın açık olduğu dönemlerde % 55 oranında aydınlatma tasarrufu olduğunu görmüşlerdir. Havanın yaz aylarına göre kapalı olduğu sonbahar aylarında ise bu oranın azaldığını ifade etmişlerdir [35].

Jennings ve Blanc'ın çalışmaları da hareket algılayıcıları üzerine yoğunlaşmış ve yazarlar bu algılayıcıların kullanıldığı ofis ortamlarında % 20 ila % 26 arası aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlandığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca aydınlık seviyesini kontrol ederek sekiz aylık zaman diliminde % 27 seviyesinden % 46 seviyelerine kadar enerji tasarrufu sağlamışlardır [36].

Newsham ve Arsenault aydınlatma ve gölgeleme kontrolü için sensor olarak bir kamera prototipi geliştirmişler böylece günışığı algılama, doluluk algılama ve gölge kontrolünün bir arada yapılabileceğini ifade etmişlerdir. Doluluk belirlemek için, Sarkar, Fairchild, Salvaggio ve Augdal tarafından önerilen benzer bir basit görüntü çıkarma tekniği kullanmışlardır. Aydınlık algılamanın parlaklık algılamaya göre daha yaygın olmasının ölçüm yönteminin ucuz ve kolay olmasından kaynaklandığını belirtmişler ve geliştirdikleri prototip ile parlaklık ölçümünün gerçekleştirildiğini ifade etmişlerdir. Geliştirilen prototip ile aydınlatmada enerji tasarrufu yapılabileceği vurgulanmıştır. Parlaklık tabanlı (kamera) denetleyicisi davranışı gösteren bir dizi araştırma yapılmıştır. Kamera tarafından kontrol edilen bir oda ile geleneksel bir aydınlık tabanlı sistem kontrolü yapılan bir başka oda bir veya birden fazla gün karşılaştırılmıştır. Veriler açıkça parlaklık tabanlı sensor bir masaüstü aydınlık algılayıcının performansının aynısı olduğunu göstermektedir [37,38].

Geçmiş yıllarda yapılan bazı aydınlatma kontrolü çalışmalarını inceledikten sonra Galasiu ve Veitch şu kanaata ulaşmışlardır. Özellikle kamu binalarında enerji verimliliğini arttırmanın en önemli yollarından biri günışığının mevcut durumdan daha iyi bir şekilde kullanılmasıdır. Fakat bu işlemin, kullanıcıların psikolojik ve

görsel konforları da göz önünde bulundurularak, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin ihtiyaca göre tasarlanması ve gerçekleştirilmesiyle mümkün olabileceği vurgulanmıştır. Aydınlatma sistemi ve günışığına bağlı kontrol sistemini ayrı ayrı ve birbirine entegre şekilde olmak üzere üç kategoride önerilerde bulunmuşlardır. Aydınlatmanın ihtiyaç duyulduğu alanda minimum değerinde tutularak konforu da bozmadan verimlilik sağlanabileceğini vurgulamışlardır [39].

Yapılan literatür taraması neticesinde günışığı tasarımını etkileyen temel parametreler aşağıda listelenmiştir:

- a. Yapı alanı
- b. Bina ışık alma yönü
- c. Pencere ışık geçirgenliği
- d. Coğrafi konum
- e. İç mekân rengi
- f. Gölgeleme donanımları

2.2. Çalışma Seviyesi Aydınlık Düzeyi

İncelenen çalışmalar özellikle ofislerde yapılan enerji verimliliği uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ofis enerji verimliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Konu günışığına bağlı sistemler olunca da ofis aydınlatmasının tanımı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca ofislerde günışığı ile yapay aydınlatmanın bir arada kullanıldığı durumlarda kullanıcıların aydınlatma tercihleri değişkenlik gösterdiğinden konu daha da ilgi çekici hale gelmektedir.

Ofislerde aydınlatmanın genel amacı konforlu ve verimli bir çalışma ortamı oluşturmaktır. Psikolojik ve görsel konfor şartları kullanıcının ruh halini iyileştirip işe olan adaptasyonunu attırabileceği gibi konfor şartlarının normalin altına düşmesi olumsuz etkilere neden olabilir. Konfor şartları uygun biçimde olmalıdır ki kullanıcı mümkün olan en yüksek performansını gösterebilsin ve iş verimliliği en üst seviyelere ulaşabilsin. Aydınlatma standartları son 100 yılda teknolojinin gelişimi ve

bunun aydınlatma endüstrisine etkileriyle birlikte oldukça farklı bir noktaya ulaşmıştır. 1910'lu yıllarda okul ve ofis binalarında dikkat gerektiren işler için ortalama aydınlık düzeylerinin minimum 50 lüks seviyelerinde olması beklenirken günümüzde bu değer 10 kat artarak 500 lüks seviyesine kadar ulaşmıştır [40].

CIBSE'nin 1994'te yayınlamış olduğu iç aydınlatma rehberinde ofis alanları için tavsiye edilen ortalama aydınlık düzeyi 500 lüktür. Okullarda ise yatay ve düşey aydınlık düzeylerine dikkat çekilmiştir. Sınıflar için gereken minimum yatay aydınlık düzeyi 300 lüks olarak verilmiştir. Aynı rehberde tahta için gereken minimum düşey aydınlık düzeyi de 300 lüks olarak tanımlanmıştır [41].

2005 yılında Manav tarafından İstanbul'da yapılan çalışmada bir test ofisinde renk sıcaklığı ve aydınlık düzeyinin kişilerin subjektif izlenimleri üzerine etkisi araştırılmıştır. İncelemede kişilerin farklı renk ve aydınlık düzeyleri altındaki davranışları incelenmiştir. 500 lüks ile 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 2000 lüks seviyelerine varan yüksek aydınlık düzeylerini tercih ettikleri açıkça görülmüştür [42].

Tek günışığı algılayıcı, tek kanallı bir aydınlatma kontrol sistemi uygulamasında kullanıcıların pencere yakınında otururken manuel kumanda edilebilir aydınlatma sistemi ile az miktarda yapay aydınlatma eklemesine ihtiyaç duydukları, odanın pencereden uzak derin kısımlarına gittikçe ekledikleri yapay aydınlatma ihtiyacının arttığı saptanmıştır. Bu çalışmada aynı kullanıcıların en çok memnun kaldıkları aydınlatma bölgesinin ise pencereye yakın kısımlarda ve ortalama 1200 lüks seviyesinde aydınlık düzeyine sahip olan bölgeler olduğu anlaşılmıştır [43].

Yapılan bir saha araştırması da Lawrence Berkeley Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Ofis çalışanlarına kendi aydınlatma koşullarını kendilerinin belirleyebilecekleri ifade edilmiş ve bu nedenle 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 lüks ile 2146 lüks arası, öğleden sonra ise 782 lüks ile 1278 lüks arası aydınlık düzeyleri altında çalışma yaptıkları ölçümlerle saptanmıştır [44].

Hem İngiltere Çevre Bakanlığının yayınladığı raporlarda hem de Roche'un 2002 yılında yaptığı çalışmada, özellikle bilgisayar ve evrak işi yapan kullanıcılar için 700 lüks ile 1800 lüks arası aydınlık düzeylerin daha çok tercih edildiği ve bu aydınlatma şartları altında çalışanların daha verimli olduklarının gözlemlendiği anlatılmaktadır [45,46].

Newsham ve arkadaşları çalışma gününün son çeyreğinde aydınlatmayı istedikleri gibi ayarlamalarına izin verilen çalışanların davranışları incelenmiştir. Çalışanların çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeylerini 1478 lükse kadar çıkardıkları ve yoğun olarak bu aydınlık şartlarında çalıştıkları saptanmıştır. Belirlenen bu aydınlık düzeyi ise CIBSE tavsiyelerinin yaklaşık üç katıdır [47].

Boyce ve arkadaşlarının, dört farklı aydınlatma durumu altında kullanıcı tepkilerini ölçmüşlerdir. Yaptıkları deneyler göstermiştir ki, kullanıcılar 252 lüks ile 1176 lüks arasında farklı aydınlık düzeylerini tercih etmektedir. Çoğunluğun CIBSE tavsiyelerinin üzerinde tercihleri varken, katılımcıların çok düşük bir kesiminin ise bunların altındaki seviyeleri tercih ettikleri ortaya çıkmıştır [48].

Benzer şekilde Moore ve arkadaşları kullanıcıların aydınlatma tercihlerini belirlemeye dönük olarak yaptıkları deney ve anket çalışmasında, kullanıcıların çoğunluğunun CIBSE tavsiyelerinin çok dışında, hatta çoğunluğu birkaç kat üzerinde, aydınlık düzeyi değerlerini tercih ettikleri saptanmıştır [49].

Begemann ve arkadaşları ışık renkleri ve aydınlık düzeyleri çalışmasında ise, 4300 K civarı orta sıcak yapay aydınlatma ışık renklerinin ve 1500 lüks civarı ortalama

aydınlık düzeyleri değerlerinin kullanıcılar tarafından daha çok tercih edilir olduğunu tespit etmiş ve vurgulamışlardır [50].

2.3. CO₂ Salınım Etkisi

Daha önce de bahsedildiği 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. Dünyanın birçok ülkesi tarafından tam ya da sınırlı katılımı 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 [51].

İngiltere merkezli Güney Doğu Yenilenebilir Enerji İstatistikleri Kurumu (SEESStats) “birleşik marj” adı verilen, ülkelerin CO₂ salınım faktörlerini ton CO₂/MWh cinsinden hesaplamaktadır. SEE-Stats tarafından yapılan hesaplamalara göre Türkiye için birleşik marj faktörü yaklaşık 0,65 ton CO₂/MWh olarak bulunmuştur [52].

Dolayısıyla Türkiye adına TÜİK'in verilerinden yola çıkarak sadece aydınlatma kaynaklı CO₂ salınımı miktarının hesabı;

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

Formülde bileşenler yerine konulursa (5.500.000 MWh x 0,65 ton CO₂/MWh) çarpımından, yaklaşık 3.575.000 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'de konut olarak kullanılmayan binaların ülke çapındaki CO₂ salınımının % 20'sinden sorumlu olduğunu ve bu binaların % 75'inin de 1980 öncesi inşa edilmiş olduğu görülür [53].

İngiltere’de binaların 1980 öncesi inşaa edilmiş olması 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 [54].

Jenkins ve Newborough yaptığı çalışmada sadece tek bir binadaki iyileştirmelerle ne kadarlık bir salınımın önüne geçilebileceğini saptamaya çalışılmışlardır. 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 [55].

28 Kasım 2012 - 9 Aralık 2012 tarihlerinde Güney Afrika’nın Durban şehrinde İklim Değişikliği konferansının 17.si (COP 17) tarihe geçecek bildirge ile tamamlanmıştır. Görüşmeler sonunda Kyoto Protokolünün 1997’de oluşturulmasından sonra en önemli kararların alındığı bir toplantı olmuştur. Her ne kadar Durban’da alınan kararlar, dünyanın 2 derece ısınmasının önüne 2020 yılına kadar geçemeyecek olsa da tüm dünya ülkelerinin karbon azaltma yönünde taahhüt altına girmesinden dolayı önemlidir.

İklim değişikliği ile mücadelede tek mekanizma olan ve sadece gelişmiş ülkelerin karbon azaltım taahhüdünde buldukları 2012 sonunda bitecek olan Kyoto Protokolü'nün, Durban’daki 2011’in bu son toplantısında "Kyoto Protokolü II" şeklinde 2017 ya da 2020 yılına kadar uzatılması karara bağlanmıştır. Bilindiği gibi bu mekanizmada, gelişmiş ülkeler karbon salınımlarını geliştirmekte olan ülkelere düşük karbon teknolojilerinin uygulanması sonucu elde edilen karbon kredileri ile azaltıyorlardı. Karbon borsasındaki değere bağlı olarak ton başına bir meblağ ödenerek gelişmiş ülkelere gelişmekte olan ülkelere maddi kaynak sağlanarak düşük karbon teknolojilerinin finansmanına yardımcı olunuyordu. Kyoto Protokolünün uzatılmasına karşılık özellikle Çin, Hindistan ve Brezilya gibi

gelişmekte olan ve karbon salınımları her geçen gün artan ülkelerin de taahhüt altına girmesi sağlanmış oldu. Bu artık Türkiye'nin de yükümlülük altına girmesi anlamına gelmektedir [56].

Barlow ve Fiala 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 ve kapama yapılabilen aydınlatma sistemleri aktif adaptif, otomatik kontrollü gölgeleme sistemleri ve zaman ayarlı, günışığına bağımlı veya hareket algılayıcı 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 [57].

Avrupa Birliği, sera gazlarının salınımının önüne geçmek çeşitli çalışmalar başlatmıştır. AB tarafından hazırlatılan raporda verilen bilgilere 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 kurumları ve kişileri teşvik etmek için kurulmuş olan EU Green Light 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 ile sağlanmıştır. Bu da yıllık bazda yaklaşık 54.500 ton CO₂ salınımının önüne geçilmesi demektir [9].

BÖLÜM 3. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Türkiye ve dünya ülkeleri için aydınlatma enerjisi tüketimi çok yüksek seviyelerdedir ve artan nüfusla beraber bu seviyeler daha da yukarılara çıkacaktır. Bu nedenle iç aydınlatmada enerji tasarrufunu sağlayabilmek için, mevcut yapıların aydınlatma koşullarının iyileştirmesi, yeni inşa edilecek yapıların ise kesinlikle 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 Türkiye'nin 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 ulaşılabilir. Son birkaç yıla kadar günüşiği stratejilerinin inşaat ve mimaride çok fazla göz önünde bulundurulmadığı da dikkate alınır, bu yöntem kullanılarak büyük oranda tasarruf edilebilir.

Günüşiği insanlar ya da iç mekân kullanıcıları için çok önemli bir ihtiyaçtır. Yapılan çalışmalar günüşiği varlığı ya da yokluğunun insan davranışlarını farklı şekillerde etkilediğini ortaya koymuştur. İnsanın çevresel birçok uyarıcıyı algılayabilmesi için görmeye ve en iyi görme koşullarına ulaşabilmesi için ise günüşiğine ihtiyacı vardır [1].

Günüşığının olmadığı ortamlarda uzun süre çalışmak kişilerin psikolojik ve/veya fizyolojik durumlarını etkileyebilir. Günüşığı ile aydınlatmanın öğrenci performansını ve sağlığını olumlu yönde etkilediğini tespit etmiş çalışmalar bunun en önemli kanıtı olarak verilebilir [58].

İncelemeler ışığında, aydınlatmada enerji tasarrufu konusuna daha geniş bir açıdan bakmayı amaçlayan, günüşığına bağlı aydınlatma kontrolü, bina yönü ve konumu, aydınlatma amaçlı günüşığının hacim içinde oluşturduğu iklimsel değişikler ve buna bağlı iklimlendirme tüketimleri, günüşığına bağlı sistemin enerji kalitesine etkileri, kullanıcı tercihleri, konfor gereksinimleri ve tabii ki hem aydınlatma enerjisinden tasarruf hem de reel tasarruf edebilme potansiyellerini görüntü işleme tekniklerini kullanarak ortaya çıkarmayı amaçlayan bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

3.1. Sistemin Yapısı

Bu çalışmada ofiste aydınlatma tasarrufu sağlamak amacıyla deneysel bir düzenek kurulmuştur. Kurulan deneysel düzenekte, ağıba bağlı bilgisayar, ağıba bağlı kontrol ve giriş çıkış birimi, bilgisayara bağlı kamera, enerji analizörü ve yazılım kullanılmıştır. Sistemde veri kaydı için bir PLC kullanılmış ve PC üzerinde SQL server ile haberleşen bir scada programı çalıştırılmıştır. PC ile PLC ethernet protokolü ile haberleştirilmiştir. PLC aynı zamanda giriş çıkış birimini yönetir. Enerji analizörü PLC ile haberleştirilerek ilgili enerji kayıtları alınmış ve PLC vasıtasıyla SQL servera veri aktarılmıştır.

3.2. Sistemin Çalışma Prensibi

Ofiste kamera ile hareket algılama yapılır ve hareket varsa aydınlatma açılır, hareket yoksa aydınlatma kapatılır. Ofiste hareket algılandığında aydınlatma açılır ve günüşığının ofise aydınlatma katkısına göre ihtiyaç duyulan aydınlık şiddeti ayarlanır. Ofis içinde hareket algılanmadığı durumda aydınlatma kapatılır. Parlaklık algılama ile günüşığına bağlı DALI balast kontrolü yapılarak aydınlatma şiddeti ayarlanır.

3.3. Tasarruf ve Oda Sıcaklığı İlişkisi

Kullanıcıların çalıştıkları ortamlardaki oldukça önemli olan konfor ihtiyaçlarından biri de ortam sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Yaz aylarında soğutma sistemleri, kış aylarında ise ısıtma sistemleri ile ortam sıcaklığı anlamında kullanıcıların sağlıklı ve konforlu ortamda çalışmaları sağlanmalıdır. Enerji verimliliği için gerçekleştirilecek olan deney düzeneği ile yapılacak bu çalışmada günışığına bağlı aydınlatma kontrolü üzerine yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla ortamda çoğu zaman bulunan efektif ya da arzu edilir kullanışlı günışığı aydınlık düzeyinden faydalanmaya çalışmaktadır [59].

Günışığı ihtiyacı tavana monte edilen aygıtlarla 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 ortam ısısının yükselmesi için olumlu bir etki yaparken yaz aylarındaki etkisi soğutma yükü getirmesinden dolayı genel enerji tasarrufu anlamında olumsuzdur. Kış aylarında ısıtma yüküne sağlayacağı avantaj ihmal edilmiştir.

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.

60 m² alana sahip ve 2,35 m tavan yüksekliği olan deney odasının yaklaşık 141 m³'lük hacminin soğutulması için gereken enerji aşağıda verilen denklemi kullanarak hesaplanabilir.

$$Q = d.V.c.Dt \quad (3.1)$$

Oda sıcaklığında; havanın yoğunluğu d standart olarak 1,226 kg/m³, özgül ısısı 1060 J/kg °C olarak alınır ve hacim (V) hesaplandığı üzere 141 m³ olarak yerine konulursa deney odasının 1 °C (Dt) soğutulması için gereken enerji yaklaşık 50,9 Wh'tir.

Gün içerisinde soğutma sisteminin 5 saat çalıştırıldığı öngörülürse, 5 saatlik çalışma ile harcanması gereken enerji 255 Wh olarak hesaplanır. Toplam aydınlatma yükünün % 50 si günışığı ile tasarruf edilirse ki bu değer 2500 Wh karşılık gelir. Soğutma istemi yükünün toplam aydınlatma enerjisi tasarrufuna oranı ise % 10,2 olarak hesaplanabilir.

Yukarıda değinildiği üzere aydınlatma enerjisinden tasarrufun artması, soğutma enerjisi tüketimini beraberinde getirdiği için, her ne kadar günışığına 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. Yine de bu parametreler arasında kesin bir bağıntı vardır denemez, ancak güneşlenme süresi, havanın durumu ve içinde bulunulan mevsim bu iki parametreyi birbirinden bağımsız olarak değiştirebilir.

3.4. Çalışmanın Literatüre Katkısı

Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalar için genel itibariyle şunlar söylenebilir:

1. Aydınlatma kontrol sistemlerinde loşlaştırılabilir ve otomatik açma kapama özellikli yapılar kullanılmıştır.
2. Sürekli loşlaştırılabilir sistemlerle elde edilen enerji tasarrufu oranları diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında loşlaştırma sistemlerinin daha verimli olduğu söylenebilir.

3. Çalışmalar genellikle kısa süreli gerçekleştirilmiş olup uzun dönemleri kapsamamış ve gerçek zamanlı yıllık sonuçlar elde edilememiş, elde edilen aylık verilere göre yıl bazına yayarak yıllık bazda hesaplamalar yapılmıştır.
4. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerini kontrol eden ışık algılayıcılarının sayısı genellikle 1 adet ile sınırlıdır.
5. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerini kontrol eden ışık algılayıcıları genelde geleneksel algılayıcılardır. Görüntü işleme tekniği kullanılan uygulama sayısı oldukça azdır.
6. Uygulamalarda çoğunlukla yatay aydınlık düzeyi algılayıcıları kullanıldığı görülmüş, düşey aydınlık ile ilgili algılayıcılar tercih edilmemiştir.
7. Yapılan çalışmalarda iç mekândaki kullanıcıların konfor gereksinimleri çoğunlukla dikkate alınmaksızın, aydınlatmada enerji verimliliği konusu ve aydınlatma parametreleri incelenmiştir.
8. Yapay aydınlatmanın ve günışığının yüzeylerde konforsuzluğa neden olacak parıltıya sebep olup olmadığı birkaç anket çalışması dışında araştırılmamıştır.
9. Elektrik enerji kalitesine aydınlatma kontrol sistemlerinin etkileri mevcut çalışmalarda uzun süreli bir inceleme söz konusu değildir.
10. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan ve günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri ile görüntü işleme tekniği kullanılan sistemler kısa süreli karşılaştırılmış, uzun süreli karşılaştırılmamıştır.

Literatürde enerji tasarrufu, çevresel etkenler ve sera gazı salınımı üzerine odaklanıldığı görülmektedir. 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. İ aydınlatmada enerji tasarrufu konusunu, günışığı destekli deneysel çalışmalar ile irdeleyip, elde edilen verilerle öncelikle tasarruf potansiyeli parametresine bir boyut kazandırmak hedeflenmiştir.

Yukarıda saptanan hedef doğrultusunda bir deney odası kurulmasına, bu odada amaca uygun aydınlatma aygıtlarıyla 2 yıl boyunca çalışacak olan günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin tesis edilmesine ve görüntü işleme tekniğinin kullanılarak en verimli şekilde enerji tasarrufu sağlanmasına karar verilmiştir.

BÖLÜM 4. YÖNTEM GELİŞTİRME VE UYGULAMA

4.1. Kurulan Sistemin Yapısı

Deneysel düzenekte, ağa bağlı bilgisayar, ağa bağlı kontrol sistemi ve giriş çıkış birimi, bilgisayara bağlı kamera, kontrol sistemine ve ağa bağlı enerji analizörü ve sistemi izlemek ve kontrol etmek üzere geliştirilmiş yazılım kullanılmıştır.

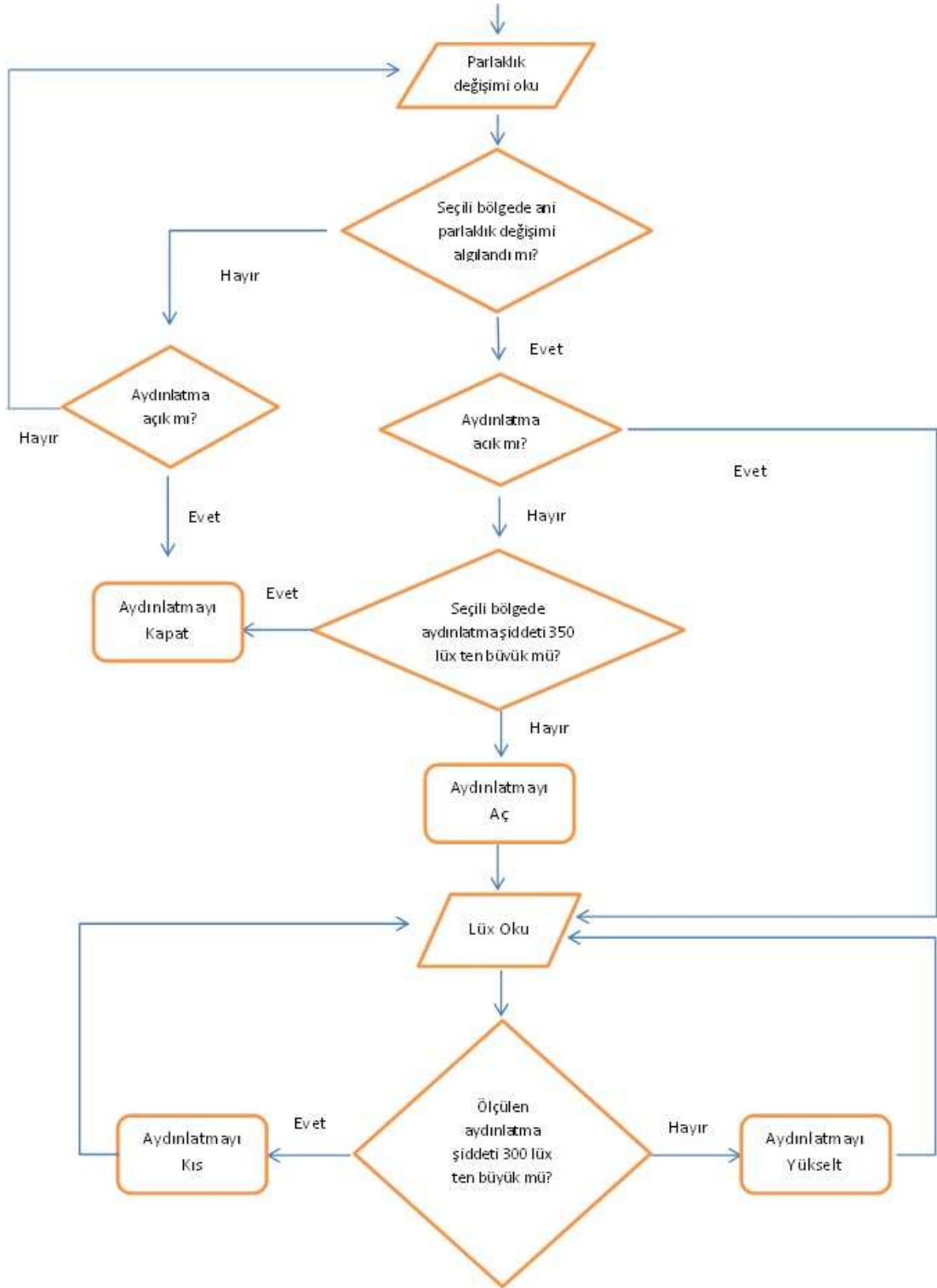
4.2. Sistemin Çalışma Yöntemi

Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleşti. Birinci aşamada on-off yapılmış ikinci aşamada ise aydınlık düzeyine göre kısma yapılmıştır. Bu iki aşama aşağıda kısaca anlatılmıştır. İlerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanıp sonuçlar tartışılacaktır.

Ofis aydınlatması üç bölgeye ayrılarak gerçekleştirilmiştir. 7 adet floresan armatür harekete duyarlı bölgeye bağlı olarak 2, 2 ve 3'lü gruplar halinde açılıp kapatılmıştır. Tüm bölgelerde hareket algılanırsa 7 adet armatür açılmaktadır. Hareket algılanmadığı durumlarda ise üç bölgeden hangisinde algılama yapılmazsa o bölge kapatılmaktadır. Bütün bölgelerde hareket algılanmadığı durumda ise aydınlatma tamamen kapalı tutulmaktadır. Genel olarak şeması aşağıda şekil 4.1.'de verilmiştir.

Özetle ofis üç bölgeye ayrıldı. Öncelikle üç bölgenin her birini ayrı izleyen kameradan parlaklık değişimi algılandığında ilgili bölgede hareket olduğundan aydınlatma armatürleri açılır. Diğer bölgelerde aydınlatma açılmaz. Kameradan parlaklık değişimi ile algılama yapıldığından aydınlatma açılan bölgenin dışında kalan bölgelerde de kısa süreli ani parlaklık değişimi olabilir. Bu durum göz önünde bulundurularak diğer bölgelerin aydınlatması 10 saniye boyunca açılmaz. 10 saniye sonra parlaklık değişimi algılanırsa o bölgenin aydınlatması da açılır. Bu yöntem

yalnızca aydınlatmanın açılıp kapatılması için geliştirilmiş bir yöntemdir. İlerleyen bölümlerde bu yönteme on-off yöntemi adı verilerek analizler yapılmıştır.



Şekil 4.1. Genel Akış Şeması

Çalışma on-off yöntemi ile çalışırken çalışma düzlemi seviyesinde aydınlık şiddeti tespit edilecektir. Bu tespit kameranın görüntüsü üzerinde belirlenen alanın grilik seviyesine göre gerçekleştirilecek ve aydınlatma şiddeti ofis çalışma seviyesinde 300 lüks olacaktır. Günışığı aydınlık seviyesi 300 lüks üzerinde ise aydınlatma kısıllacaktır. Şayet günışığı 300 lüks seviyesini sağlayamıyorsa aydınlatma şiddeti o değeri sağlayana kadar yükseltilecektir. Bu işlem her bölge için ayrı ayrı kontrol edilecektir.

Bir bölgede aydınlatma açık ve günışığı yetersiz ise aydınlatma şiddeti yükseltilecek gerekli olan 300 lüks değeri ulaşılacaktır. Bu şartlar altında ikinci bölgede aydınlatma açıldığında mevcutta açık olan bölgeye aydınlık şiddeti etkisi olacaktır. Bu durumda ihtiyaç duyulan 300 lüks değerinin üzerine çıkıldığından ilk yanan bölgenin aydınlatması kısıllarak tasarruf etkisi daha da arttırılacaktır. İlerleyen bölümlerde bu yöntem kısma yöntemi adı verilerek analizler yapılmıştır. Bu yöntem on-off yöntemine göre aydınlık şiddetini azaltmaya yönelik bir yöntem olduğundan adına kısma denilmiştir.

4.3. Prototip Araştırması ve Kurulumu

Kurulacak olan prototip için kullanılacak olan ekipmanlar belirlenmiş ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Gerekli malzemelerin temin edilmesi ve sistemin kurulması tamamlanmıştır. Öncelikle ofisin günışığı aydınlatması kurulumu gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2. ve şekil 4.3.'te günışığı aydınlatma uygulaması ofis içinden ve ofis dışından verilmiş görüntülerde görülmektedir.

Ofis yaklaşık 6 metre genişliğinde, 10 metre uzunluğunda ve 2,35 metre yüksekliğindedir. Ofis güney cepheden kısmen gölgelenmiş günışığı ve yapay ışık almaktadır. Günışığı aydınlatması bu uygulamada yan cephelerden değil ofis tavanından alınmıştır. Tavana konulan kubbesel ışık toplama yöntemi ile alınan ışık ofise taşınmıştır. Kullanılan alan 60 cm dairesel bir yapıdan oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Ofisin dış görünümü

Günişığı uygulaması alışılmış yan cepheden alınan günişığı olmayıp binanın tavanında orta bir noktadan alınış ve ışığın homojen dağılması sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Ofisin iç görünümü

Ofiste aydınlatma yapılmak üzere dali balast kullanılarak yedi adet floresan armatür montajı yapılmıştır. Bu armatürler ikili ve üçlü gruplar halinde yakılarak aydınlatma sağlanmaktadır.



Şekil 4.4. Ofisin iç görünümü



Şekil 4.5. Ofisin iç görünümü

Kamera montajı ve izleme sistemi kurulumu gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6. , şekil 4.7. ve şekil 4.8.'de yerleşimler ve kamera sistemi görülmektedir.



Şekil 4.6. Toplantı masası görünümü ve kamera yerleşimi



Şekil 4.7. Kamera sistemi görünümü



Şekil 4.8. Kamera bağlantısı görünümü

4.4. Arayüz Programının Geliştirilmesi

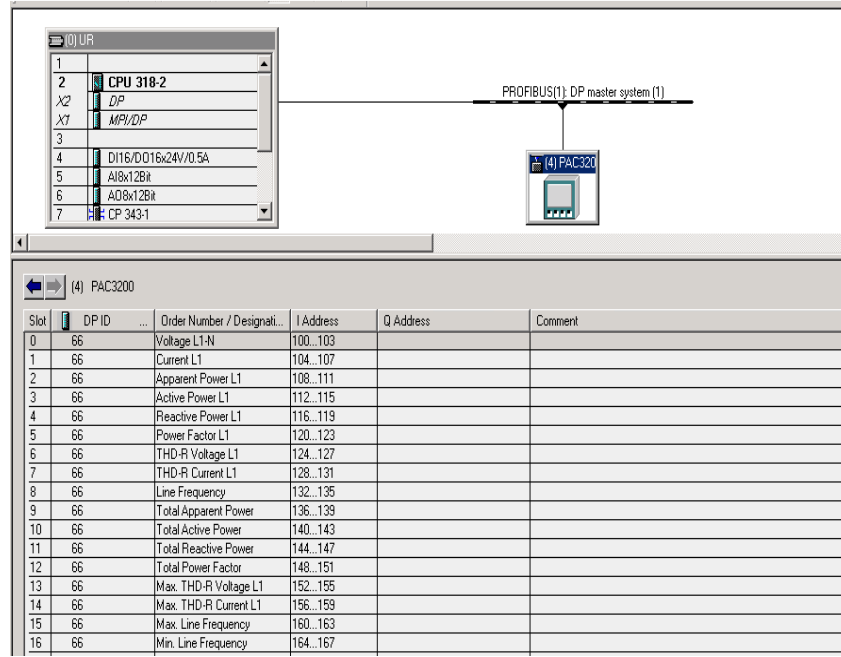
Aydınlatma sisteminin kontrolü bir PLC aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. PLC kamera izleme sistemi ile seri haberleştirilmiş ve hareket varlığı sonrasında plc ye gelen giriş sinyalleri ile aydınlatmalar açılmıştır. Sistem enerji tüketimleri Siemens PAC 3200 enerji analizörü ile takip edilmektedir. PLC ye profibus üzerinden alınan değerler scada yazılımı aracılığıyla MS SQL serverda depolanmıştır. Aşağıda şekil 4.9. , şekil 4.10. ve şekil 4.11.'de kontrol sistemi, plc donanım yapısı ve enerji analizörü görülmektedir.



Şekil 4.9. PLC Sistemi



Şekil 4.10. Enerji analizörü

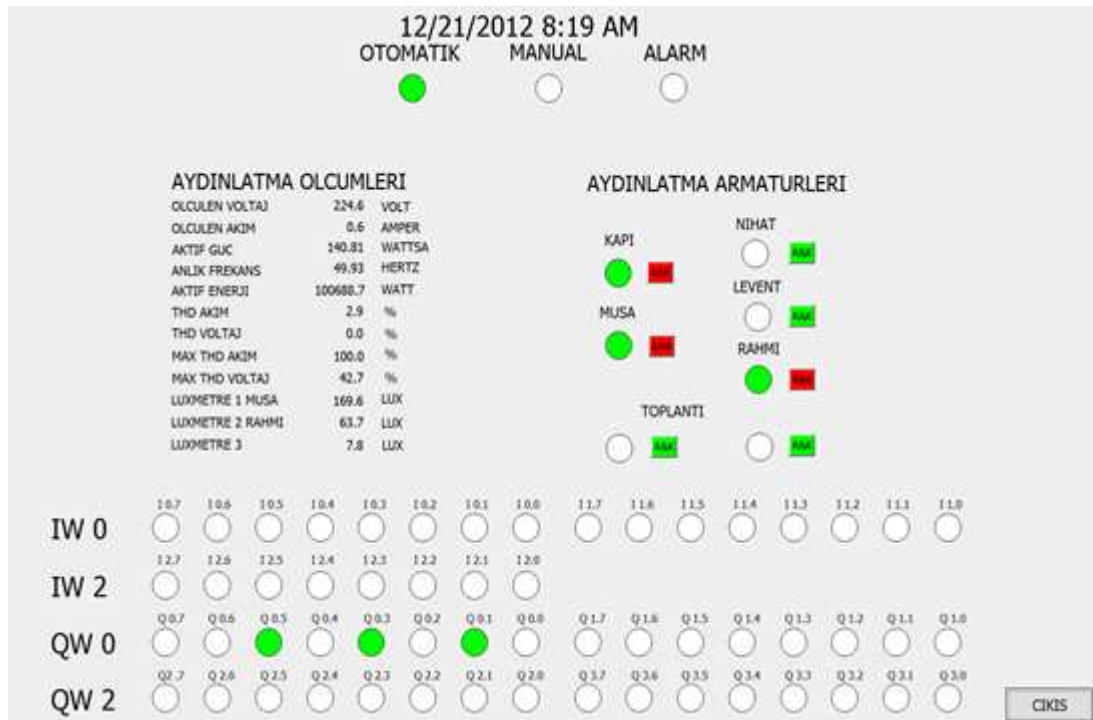


Şekil 4.11. PLC donanım yapısı

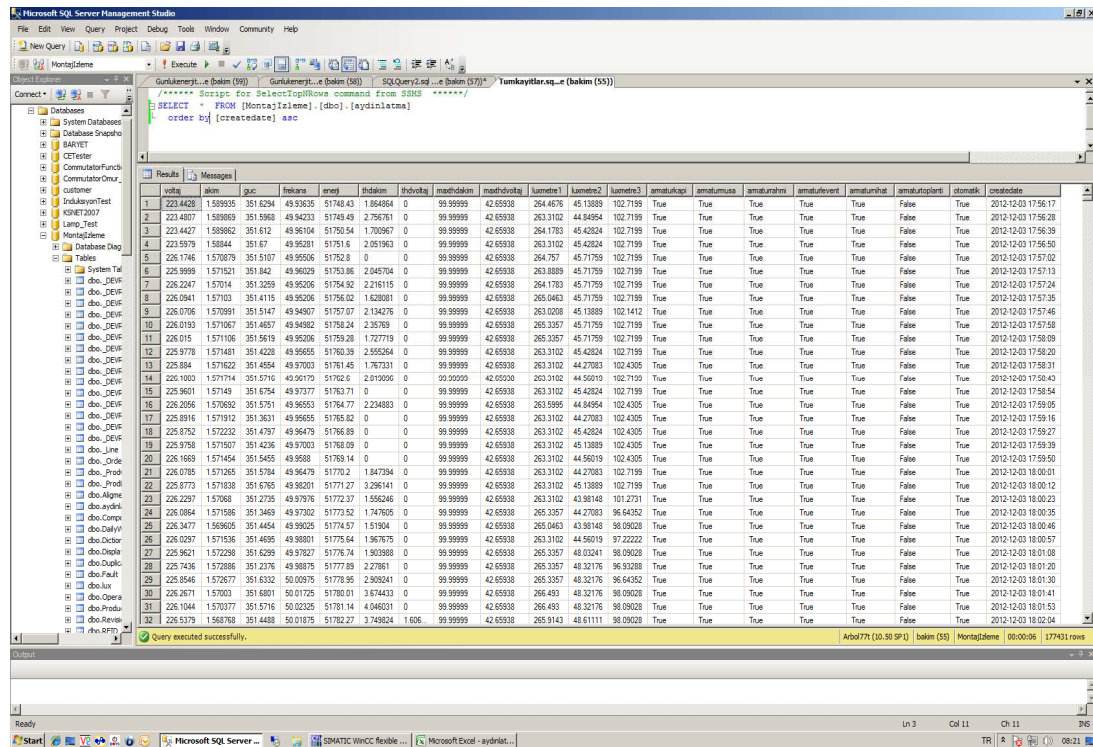
Enerji analizöründen toplam enerji tüketimi ve toplam harmonik bozunumlar (THD) takip edilecek şekilde kayıt tutulmaktadır. Kayıtlar PLC aracılığıyla enerji analizöründen alınmakta ve scada üzerinden veri tabanına 10 saniyelik periyotlarda kayıt edilmektedir. Veri tabanında anlık gerilim, anlık akım, güç, frekans, enerji, akımda toplam harmonik bozunum (thdakım), gerilimde toplam harmonik bozunum (thdvoltaj), akımda maksimum toplam harmonik bozunum (maxthdakım), gerilimde maksimum toplam harmonik bozunum (maxthdvoltaj), verinin kaydedildiği tarih ve anlık tüketim değerleri tutulmaktadır.

Elektrik enerji sisteminin ve bu sisteme bağlanan yüklerin güvenli bir şekilde çalışabilmesi için o sistemdeki dalga şeklinin sinusoidal olması ve frekansının 50 Hz'lik tek frekansa sahip olması istenir. Sisteme bağlanan bazı elemanlar ve olaylar sonucunda akım ve gerilim büyüklükleri sinusoidal özelliklerini kaybederek sistemde istenmeyen harmonikler oluşturur. Kurulan sistemin enerji kalitesine etkisi THD verisi ile izlenebilir.

Şekil 4.12.'de PLC ile haberleşen ve bilgisayar üzerinde geliştirilmiş scada yazılımı görülmektedir. Bu yazılım PLC üzerinden aldığı dataları Şekil 4.13.'te görülen veri tabanına kısa süreli aralıklarda kayıt atmaktadır.

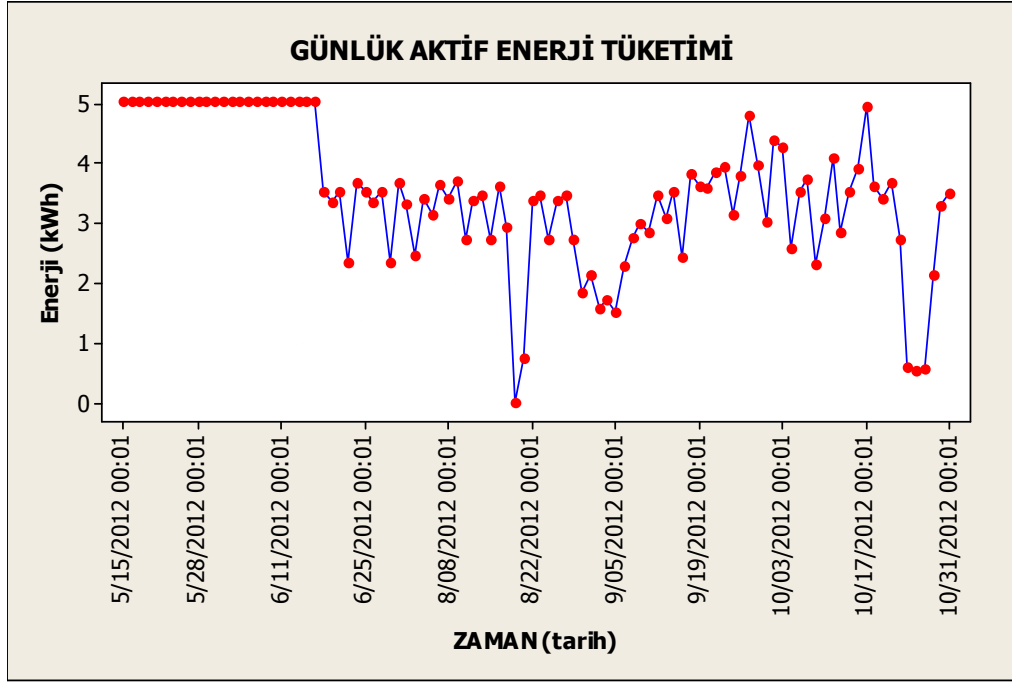


Şekil 4.12. Scada arayüz programı görüntüsü



Şekil 4.13. Veri tabanı kayıt sayfası görünümü

Veri tabanına kaydedilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Enerji verimliliği sorununun çözümündeki yeni yöntemin yalnız açma kapama yapılarak elde edilen sonuçları aşağıda şekil 4.14.'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Günlük Aktif Enerji Tüketimi

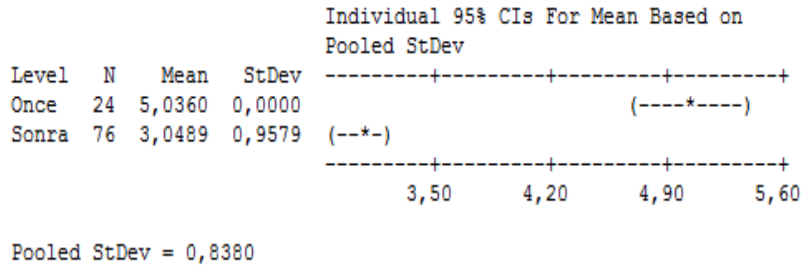
Enerji tüketiminin zaman içindeki değişimi incelendiğinde 15.06.2012 tarihinden sonra saçınıklığın arttığı fakat tüketim miktarının azaldığı görülür ve tüketimde anlamlı bir farkın olup olmadığını istatistiksel olarak ifade etmek için 6 sigma araçlarından Anova yapılır [60]. Anova Analizi İngilizce ANalysis Of VAriance sözcüklerinin büyük harflerle yazılmış olan kısmının kısaltması ile oluşan bir terimdir. Grup ortalamaları ve bunlara bağlı olan değişkenleri analiz etmek için kullanılan bir istatistiksel modeller koleksiyonudur. Anova Analizi bir kaç grubun ortalamalarının birbirine eşit mi eşit değil mi olduğunu sınımaya yarayan istatistiksel çıkartımdır. Bu analizde elde edilen P değerinin 0,05 olasılığı ile karşılaştırılmasına göre aralarında bir fark olup olmadığına karar verilir.

Şekil 4.15.'te gördüğümüz anova analize göre $P < 0,05$ olasılığından dolayı H_a (gruplar arasında fark yani öncesi ile sonrası arasında fark) kabul edilir. Önce ile sonra arasında fark var ve sonranın enerji kullanım ortalaması daha düşüktür.

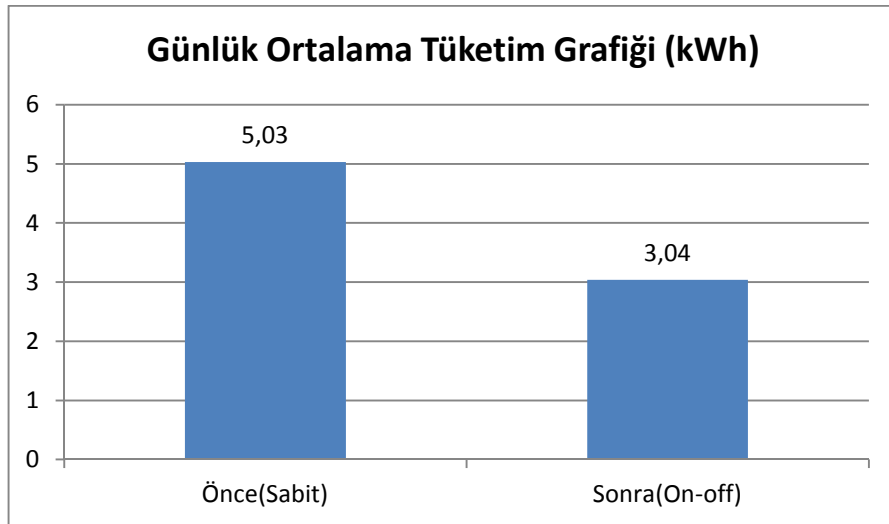
One-way ANOVA: Aktif Enerji versus OS

Source	DF	SS	MS	F	P
OS	1	72,018	72,018	102,58	0,000
Error	98	68,817	0,702		
Total	99	140,836			

S = 0,8380 R-Sq = 51,14% R-Sq(adj) = 50,64%



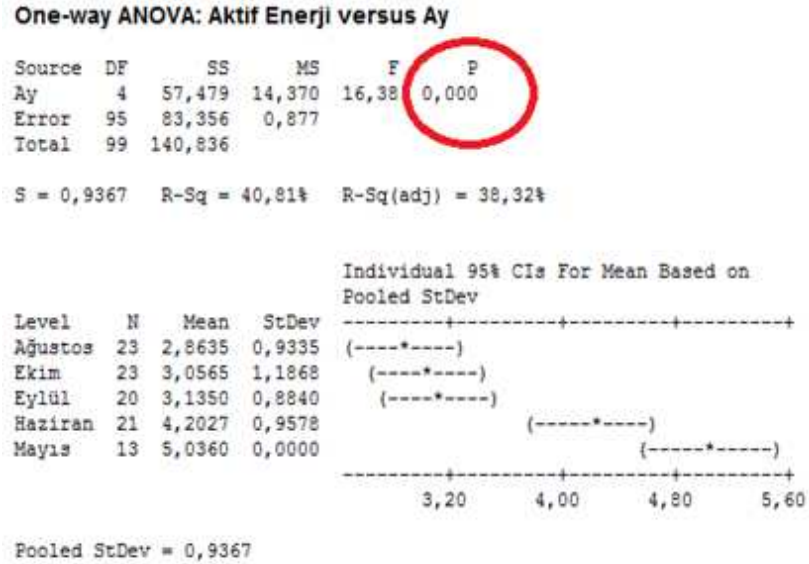
Şekil 4.15. Günlük Aktif Enerji Anova Analizi



Şekil 4.16. Günlük Ortalama Tüketim Grafiği

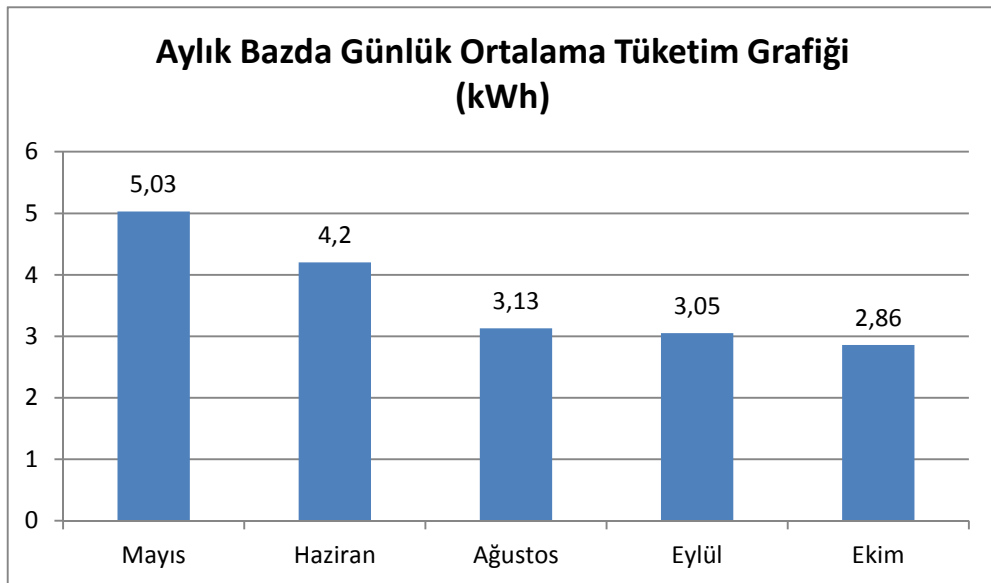
Anova grafiğinin sayısal olarak etkisini ifade ettikten sonra sonuçların öncesi ve sonrası durumlarını karşılaştırabilmek üzere şekil 4.16.'da ana etki grafiği çizilmiştir. Günlük tüketimlerde fark açıkça görülmektedir. Önce durumu elle açılıp kapatılan sabit tüketimi, sonra durumu ise otomatik açma kapatma yani on-off durumunu ifade etmektedir.

Aylar bazında günlük enerji tüketiminde fark olup olmadığına baktığımızda aşağıdaki şekil 4.17.'de verilen analiz ile karşılarız.



Şekil 4.17. Günlük Aktif Enerji Anova Analizi

Bu analize göre $P < 0,05$ olasılığından dolayı H_0 kabul edilir yani aylardan en az biri diğerlerinden farklıdır. Bunu görsel olarak ifade etmek için ana etki grafiği şekil 4.18.'de çizilmiştir.



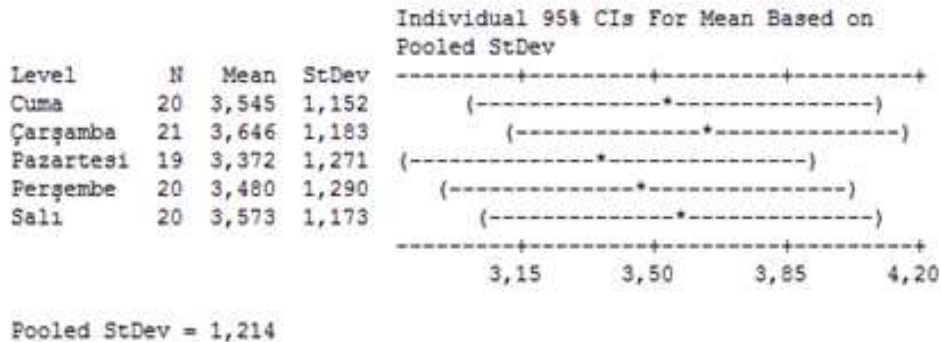
Şekil 4.18. Aylar bazında Günlük Ortalama Tüketim Grafiği

Enerji verimliliği çalışması yapılan dönemde günler bazında fark olup olmadığını Anova ile analiz ettiğimizde $P > 0,05$ olasılığından dolayı H_a kabul edilir diyemeyiz, yani günlerden en az biri diğerlerinden farklıdır diyemeyiz. Dolayısıyla günler bazında fark olmadığını şekil 4.19.'da görmekteyiz.

One-way ANOVA: Aktif Enerji versus Gün

Source	DF	SS	MS	F	P
Gün	4	0,85	0,21	0,14	0,965
Error	95	139,99	1,47		
Total	99	140,84			

S = 1,214 R-Sq = 0,60% R-Sq(adj) = 0,00%



Şekil 4.19. Günler bazında Enerji Tüketim Farkı Anova Analizi

4.5. Görüntü İşleme

Görüntü, gerçek yasadaki üç boyutlu nesnelere oluşan bir sahnenin basit iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanmasıdır. Görüntü işleme, günümüzde çoğu alanda kullanılan sinyal işleme kapsamında yer alan ve hızlı gelişen önemli bir alandır. Sayısal bir resim haline getirilmiş olan gerçek yasadaki görüntülerin bir giriş resmi olarak işlenmesi ile o resmin özelliklerinin ve görüntüsünün değiştirilmesi sonucunda yeni bir çıktı oluşturulmasına da olanak sağlanır.

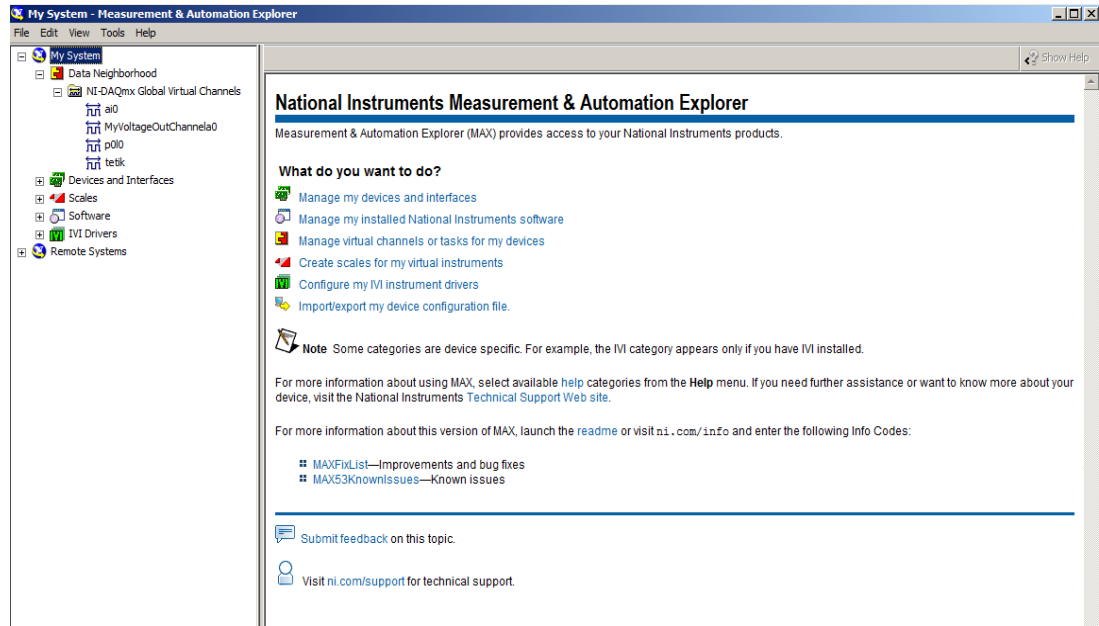
Aydınlatma sistemi, hareket algılanıp açma kapama işlemi ile çalışırken, günışığından faydalanarak daha fazla enerji tasarrufu yapılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda günışığı ve yapay aydınlatmanın oluşturduğu parlaklık değeri kameradan alınan görüntülerden elde edilebilir. Görüntünün parlaklık değeri grilik seviyesi ile

eşleştirilir. Görüntünün histogramı bulunarak grilik seviyesi hakkında bilgi edinilir. Histogram kavramı, görüntünün içerdiği piksel değerlerinin ağırlığını belirten grafiksel bir gösterimdir.



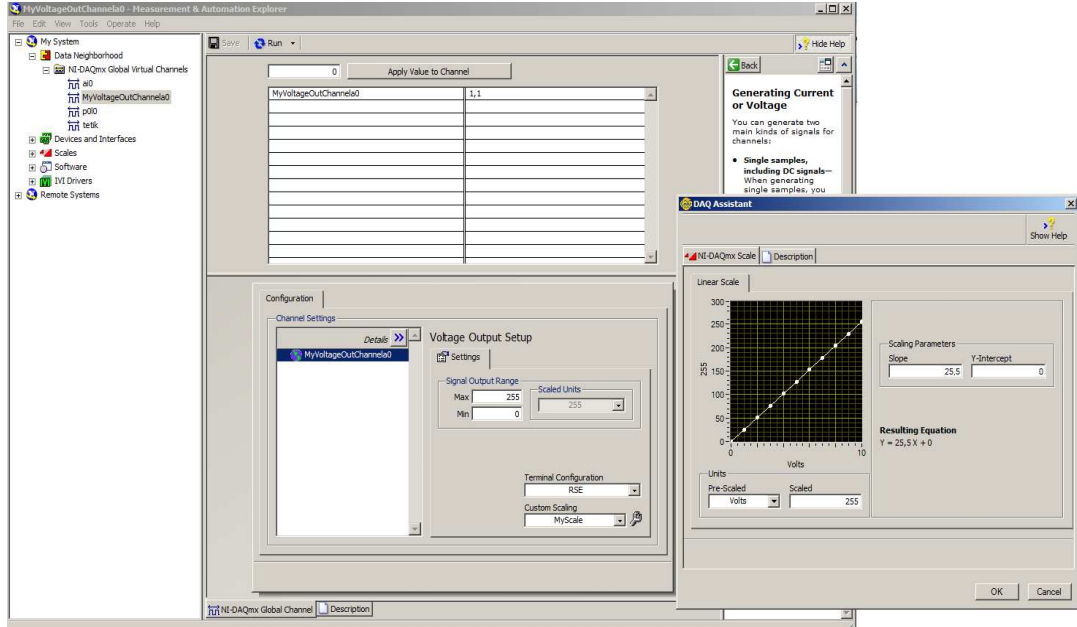
Şekil 4.20. NI USB-6211 I/O Analog Çıkış Programlama Modülü Açılış Sayfası

Grilik seviyesinin elektriksel sinyale çevrilmesi için NI USB-6221 I/O kartı kullanılır ve NI MAX programı ile ara yüz ayarları yapılır.



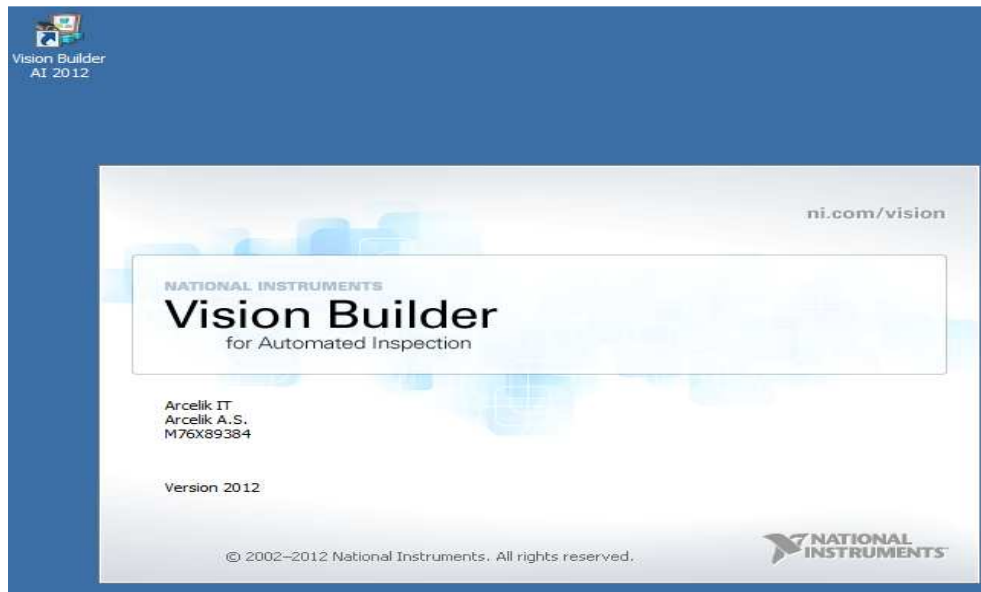
Şekil 4.21. NI USB-6211 I/O Analog Çıkış Modülü Programlama Sayfası

NI DAQ mx altında analog çıkış oluşturulur. Kameradan alınan parlaklık değeri 0-10 VDC olarak kontrol sistemine aktarılır.



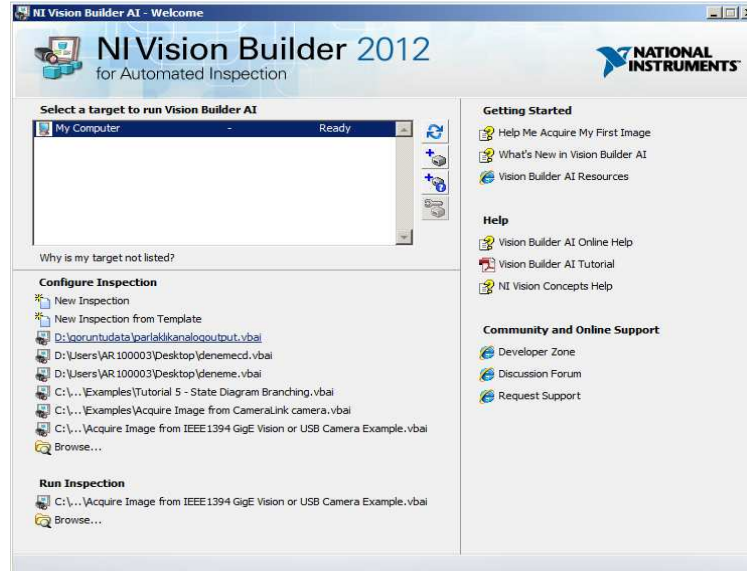
Şekil 4.22. NI USB-6211 I/O Analog Çıkış Modülü Programlama Sayfası

Analog çıkış değeri kameradan alınan görüntünün parlaklık değerine göre değerlendirilir. 0-255 arası parlaklık değeri 0-10 VDC gerilim değeri ile skalalandırılır.



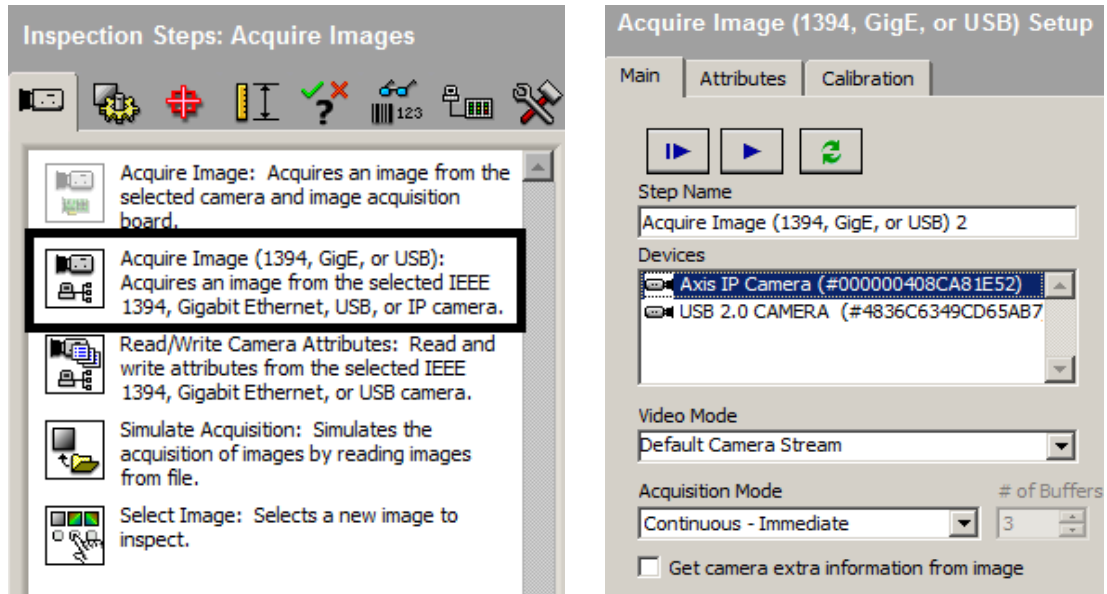
Şekil 4.23. Vision Builder NI MAX Programı Açılış Sayfası

Grilik seviyesi yani histogramı çıkarılacak görüntünün alınabilmesi için kameranın NI Vision Builder programına tanıtılması gerekir. NI MAX programı ile ara yüz ayarları yapılır.



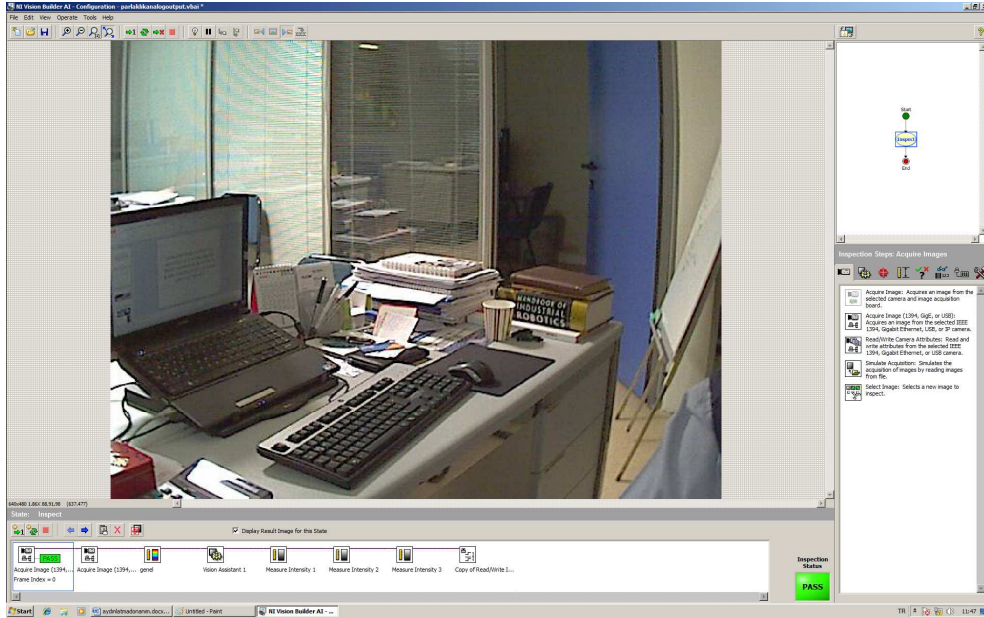
Şekil 4.24. Vision Builder NI MAX Programı Açılış Sayfası

Önce şekil 4.24.'te görüldüğü üzere dosya adı verilerek program açılır. Bilgisayara bağlı portlarda olan kameranın yazılıma tanıtılması gerçekleştirilir.



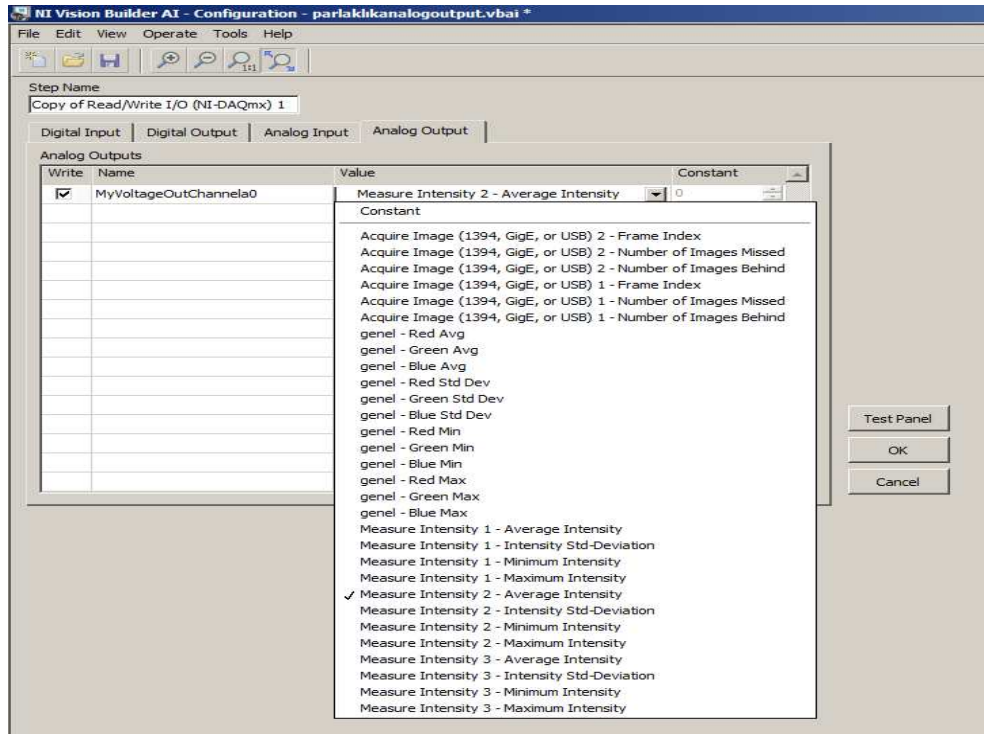
Şekil 4.25. Vision Builder NI MAX Programı Açılış Sayfası

Program şekil 4.25.'de görüldüğü üzere görüntü işleme araçlarını deneysel olarak gerçekleştirmemizi sağlar.

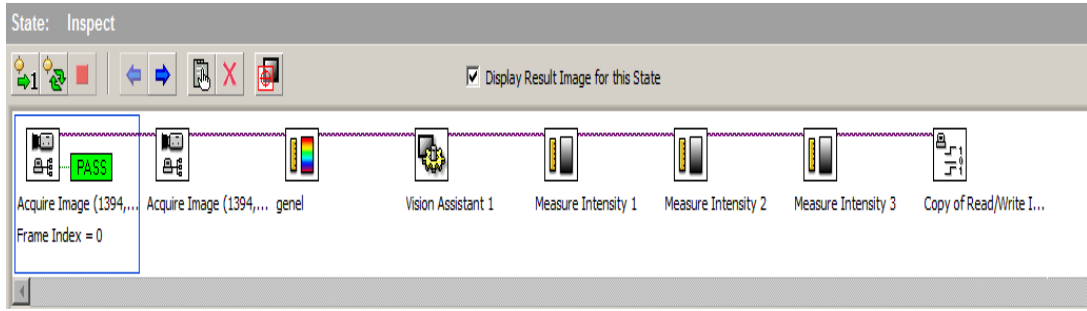


Şekil 4.26. Vision Builder NI MAX Programı Kameranın Sisteme Tanıtılması

Görüntü alınacak kamera sisteme tanıtılır.

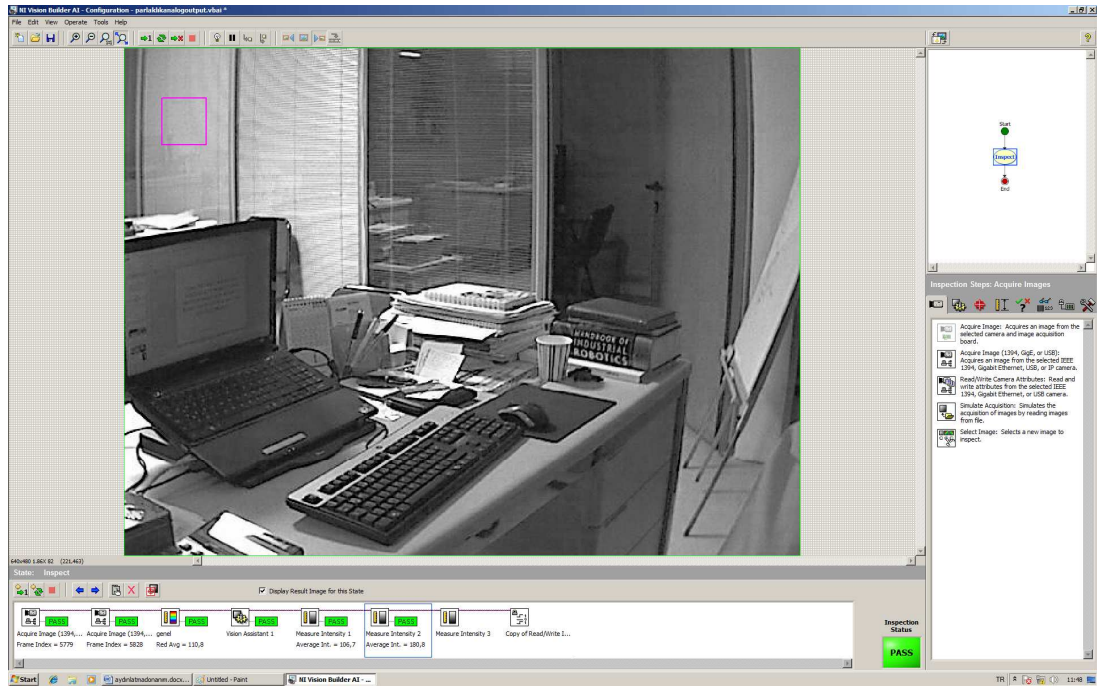


Şekil 4.27. Vision Builder NI MAX Programı Ölçüm Parametreleri



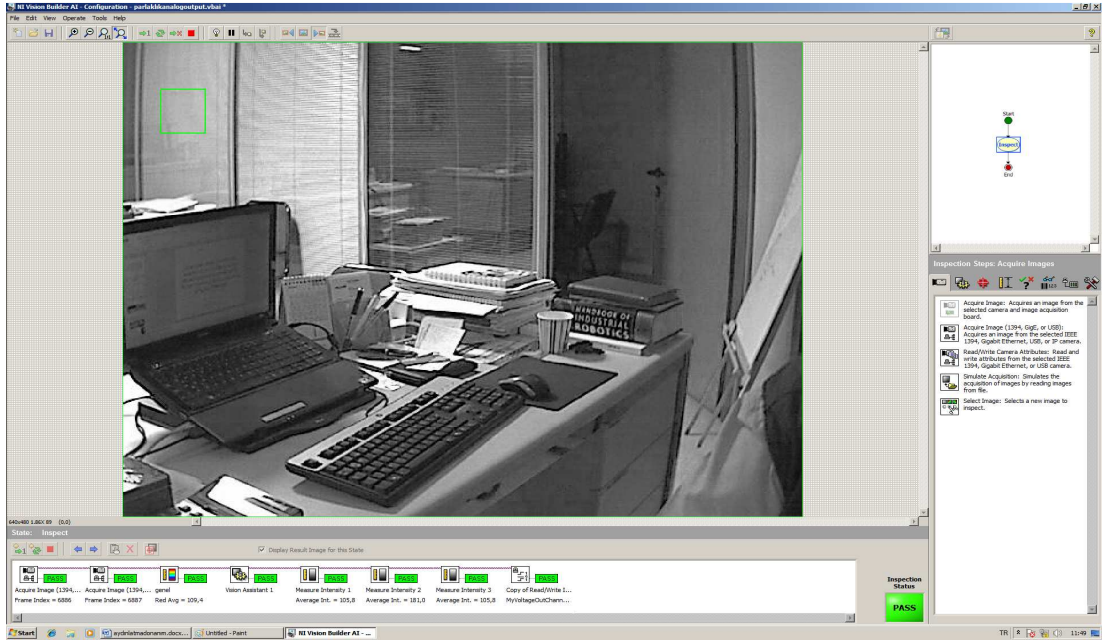
Şekil 4.28. Vision Builder NI MAX Programı Gözlem Sayfası

Tanımlan kameranın aldığı görüntünün histogramı elde edilir. Grilik seviyesi 0 ile 255 arasında hangi değerde ise o değere eşdeğer 0-10 VDC sinyal bilgisi analog çıkış kartına gönderilir.



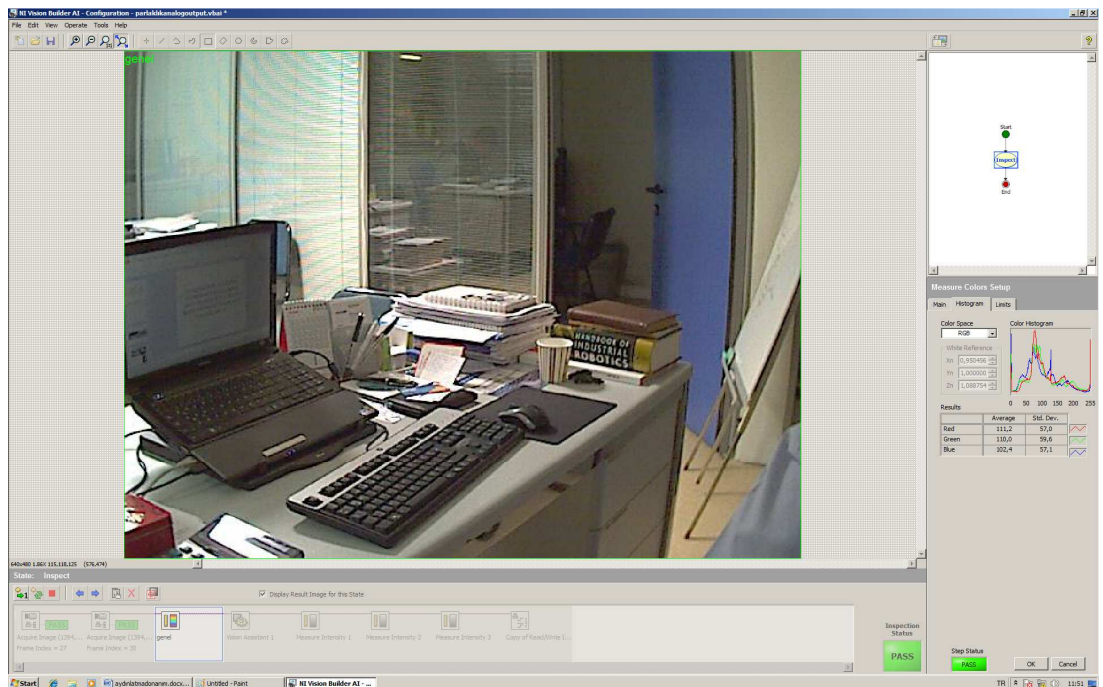
Şekil 4.29. Vision Builder NI MAX Programı Ölçüm yapılacak Alan Belirlenmesi

Parlaklık ölçümü yapılan görüntü işleme ekranı şekil 4.29. ve şekil 4.30.'da görülmektedir. Programın yazıldığı gözlem sayfasından ilgili parametrenin üzerine gelerek detay işlemleri yapılmaktadır. Sistem kameradan alınan görüntüyü renkli ve siyah beyaz olarak istenilen yöntemlerle işleyebilmektedir.

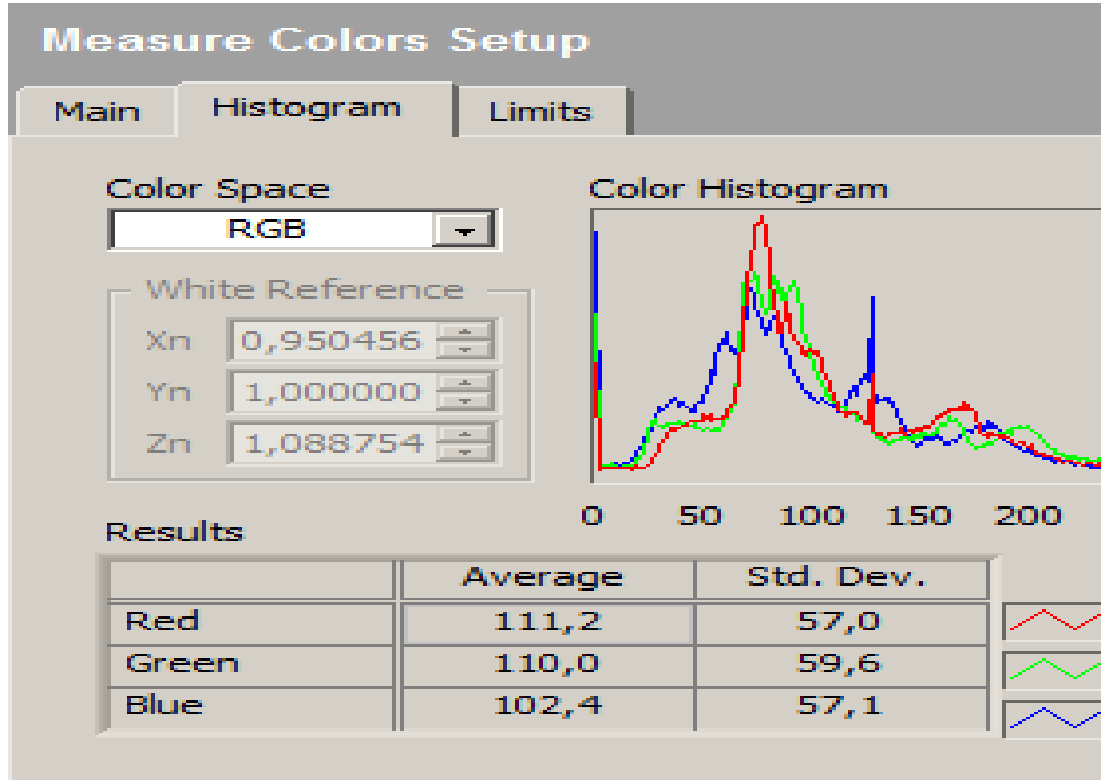


Şekil 4.30. Vision Builder NI MAX Programı Alan Tanımlama Sayfası

Parlaklık ölçümü yapılan görüntü işleme ekranı online olarak şekil 4.31.'de görülmektedir. Renklerin Kırmızı(Red), Yeşil(Green), Mavi(Blue) olarak RGB değerleri 0 ile 255 arasında görülmektedir.

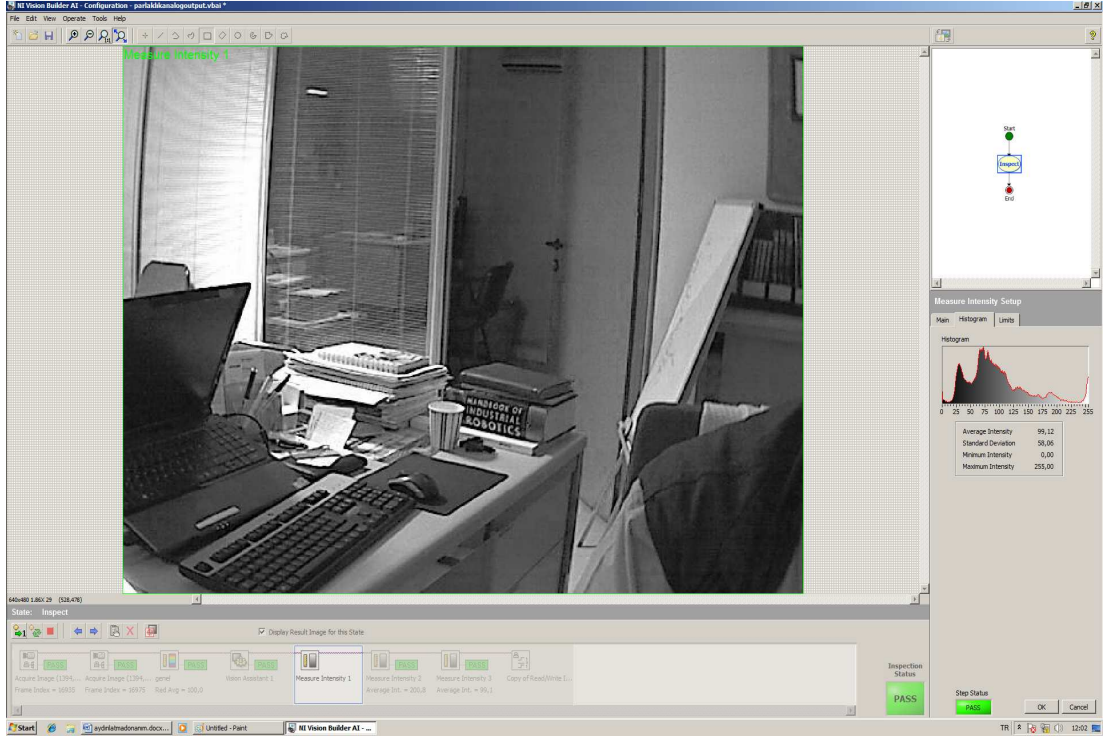


Şekil 4.31. Vision Builder NI MAX Programı Renk Ölçüm Ayar Sayfası



Şekil 4.32. RGB Renk Ölçüm Ayar Sayfası

Görüntü islemede histogramlar kullanılarak resim daha belirgin hâle getirilebilir. Bir görüntüde ortalama değer, standart sapma görüntüdeki gri değerlerin dağılımına ilişkin basit ölçütlerdir. Aynı şekilde görüntü histogramı da görüntüde piksellerin gri değerlerine ilişkin bağıl frekans ölçütünü oluşturur. Histogramda yatay eksen gri değer aralığını, dikey eksen de her bir aralıktaki piksel sayısını göstermektedir. Böylelikle görüntünün kontrastına ilişkin bilgi elde etmek mümkün olmaktadır. Siyah beyaz görüntünün histogramı ekte şekil 4.33.'te verilmektedir. Grilik seviyesi parlaklık olarak değerlendirilir. Histogramı aşağıda verilen görüntüde grafikten de görüleceği gibi gri değer aralığı 0 ile 255 arasındadır. Kameradan alınan parlaklık değerleri PLC sistemine gerilim girişi olarak verilir.

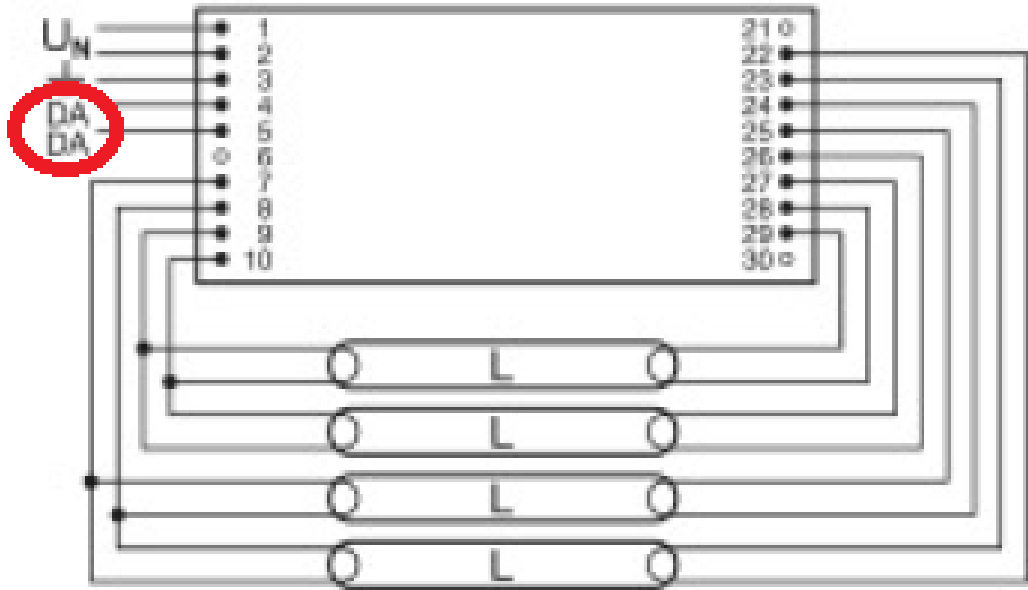


Şekil 4.33. Vision Builder NI MAX Programı Grilik Seviyesi Ölçüm Sayfası

Sistemin parlaklık değerine göre çalıştırılması için dali balast tercih edilmiştir. Şekil 4.34.'te dali balast genel dış görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.35. ise dali balast elektrik bağlantı şemasında kısma açma yapılacak uçlar gösterilmiştir.

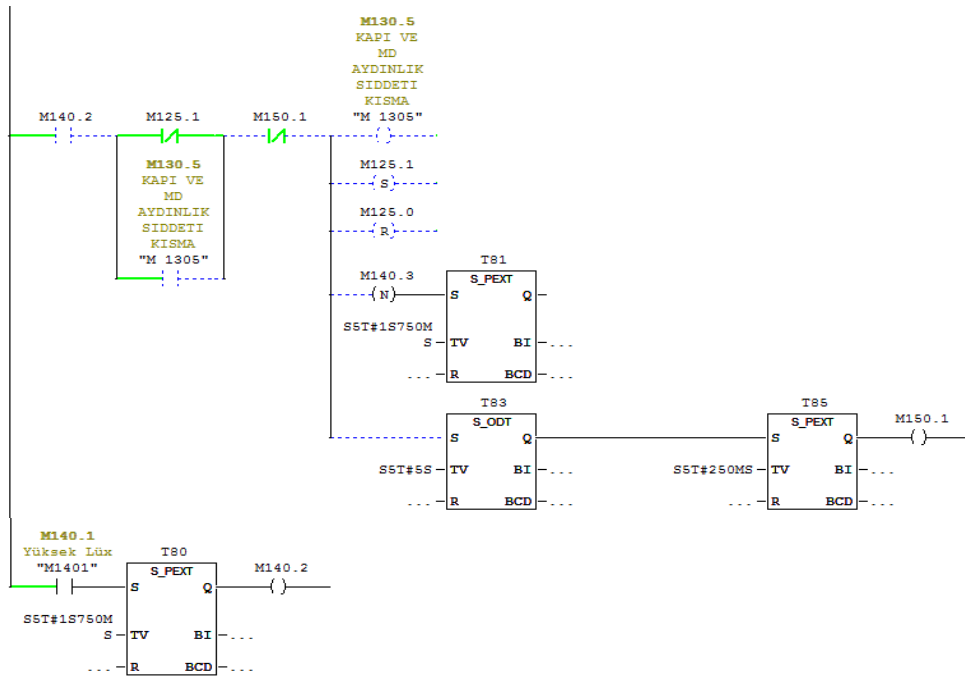


Şekil 4.34. Dali Balast



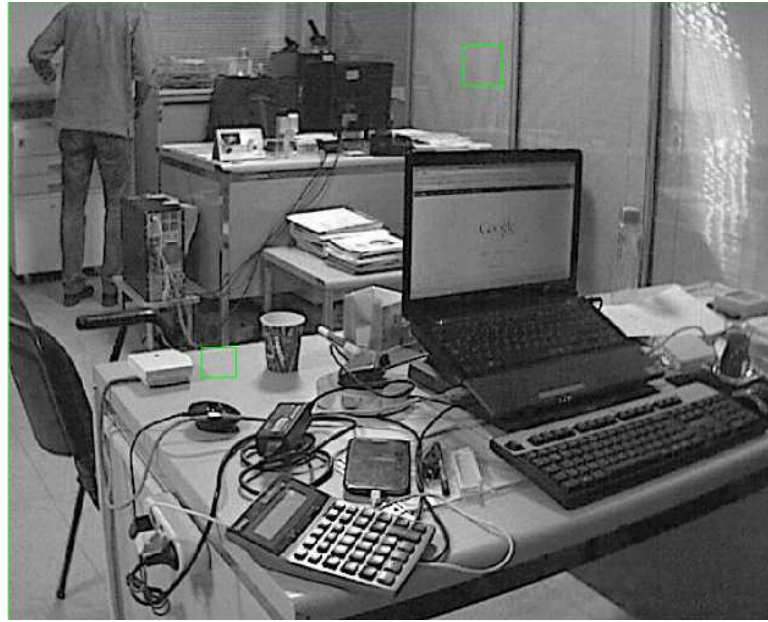
Şekil 4.35. Dali Balast Elektriksel Bağlantı Şeması

PLC üzerinden kontrol ettiğimizde, balast DA+, DA- uçlarına faz ve nötr göndererek kısma ve açma gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.36. PLC Devre Şeması

Öncelikle kameradan alınan gerilim değerlerinin aydınlık şiddeti ile doğrulanması gerekmektedir.



Sekil 4.37. Kamera görüntüsünden aydınlık şiddeti alınması

Şekil 4.36. ve şekil 4.37.'den görüleceği üzere PLC aydınlık ölçüm sistemi ve kamera görüntüsü grilik seviyesi ölçüm sistemi olmak üzere her iki sistemden ölçümler alınır. Alınan değerler aşağıda tablo 4.1.'de görülmektedir ve kamera görüntüsü parlaklık bilgisi ile ölçülen lüks arasında ilişkiler tespit edilir.

Tablo 4.1. Kamera gerilimi ve karşılık gelen lüks değerleri tablosu

Yatay düzlem kamera dc voltajı ve karşılık gelen lüks değeri								Dikey düzlem kamera dc voltajı ve lüks değeri							
Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks	Voltaj	Lüks
7,101	153,60	8,632	380,20	7,835	298,02	7,598	194,15	9,135	466,71	6,389	383,970	5,489	194,734	6,045	303,219
7,139	150,50	8,500	357,63	7,853	304,10	7,855	230,03	9,155	469,99	6,256	378,472	5,472	194,708	5,887	275,843
7,161	149,88	8,428	353,29	7,847	304,39	7,378	182,58	6,985	105,55	6,279	376,157	5,515	193,929	5,875	268,191
8,521	423,00	8,737	440,68	7,854	304,68	7,416	190,39	6,953	100,14	6,311	379,919	6,452	389,294	5,855	262,112
8,810	445,00	8,810	427,95	7,884	308,16	7,445	183,15	6,975	103,83	5,684	198,495	5,987	292,443	5,772	246,504
8,742	460,00	8,790	423,32	7,951	305,55	7,900	259,20	8,564	370,75	5,755	194,155	5,875	269,191	5,974	287,744
8,648	454,00	8,446	421,87	8,726	421,01	7,446	182,86	7,751	221,00	5,616	211,806	5,765	246,572	5,236	135,854
8,210	257,00	8,475	419,84	8,793	458,33	7,257	151,14	7,781	225,00	5,451	202,836	5,642	220,224	5,695	232,152
8,960	429,00	8,500	392,93	7,502	167,82	7,125	129,07	7,792	245,00	5,495	203,414	5,690	229,986	5,999	299,932
8,710	429,00	8,550	392,07	7,630	177,66	7,198	141,34	7,064	143,60	5,489	202,836	5,424	175,155	6,345	367,322
8,700	428,00	8,300	302,08	7,488	194,15	6,785	71,96	7,081	140,50	5,480	200,810	5,695	231,352	6,258	346,207
8,690	425,00	8,200	288,90	7,340	171,87	8,756	403,08	7,087	139,88	5,483	202,546	5,999	293,632	6,125	325,461
8,660	423,30	7,876	273,72	7,495	189,52	8,125	297,07	6,646	104,55	5,460	201,100	6,345	365,022	6,045	312,119
8,845	406,82	7,907	276,33	7,45	177,30	8,225	313,87	6,680	99,14	5,538	198,785	6,258	347,107	5,999	294,443
8,710	386,86	7,818	278,35	7,482	188,07	9,126	465,10	6,598	102,83	5,483	198,495	6,125	319,861	5,888	269,191

Aşağıda şekil 4.38. ve şekil 4.39.'de görüldüğü üzere elde edilen veriler için 6 sigma araçlarından regresyon ile analizi yapılmıştır ve kamera gerilimi ile ölçülen aydınlık şiddeti arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sistem matematiksel bir parametre vermektedir. Özetle görüntünün grilik seviyesi yani parlaklık değeri ile ortamın aydınlık şiddeti bilgisi eşleştirilmiştir.

Regression Analysis: Lük versus Voltaj

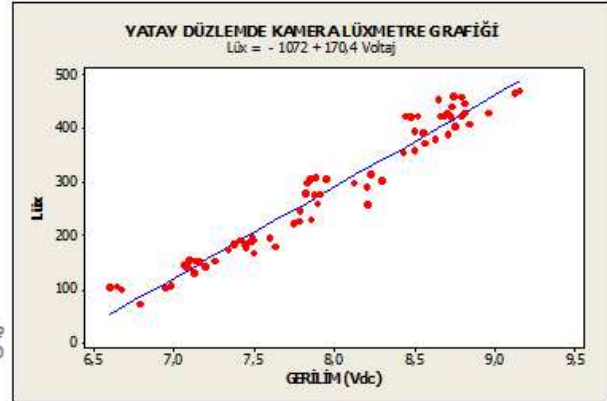
The regression equation is
Lük = - 1072 + 170 Voltaj

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1072,29	35,53	-30,18	0,000
Voltaj	170,430	4,450	38,30	0,000

S = 26,8192 R-Sq = 95,3% R-Sq(adj) = 95,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1055106	1055106	1466,91	0,000
Residual Error	73	52507	719		
Total	74	1107613			



Şekil 4.38. Yatay nokta ölçümü aydınlık değeri için yaklaşım çizgi grafiği

Regression Analysis: Lük versus Voltaj

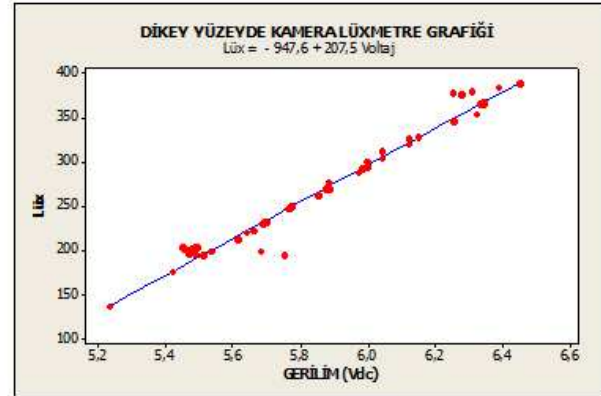
The regression equation is
Lük = - 948 + 207 Voltaj

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-947,62	31,24	-30,33	0,000
Voltaj	207,462	5,324	38,97	0,000

S = 12,1587 R-Sq = 96,9% R-Sq(adj) = 96,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	224479	224479	1518,47	0,000
Residual Error	49	7244	148		
Total	50	231723			



Şekil 4.39. Dikey Nokta ölçümü aydınlık değeri için yaklaşım çizgi grafiği

Kamera grilik seviyesinin 0-255 değeri arasında oluşturduğu gerilime karşılık lüks metre ile alınan aydınlık şiddeti değerleri 6 sigma araçlarıyla analiz edildiğinde düzlemlere göre farklılık göstermektedir.

Bir bölgede parlaklık değeri aşağıdaki şekilde formülize edilirken;

$$\text{Lüks değeri} = -1072 + 170x(\text{kamera gerilimi}) \quad (4.1)$$

Bir başka bölgede aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir;

$$\text{Lüks değeri} = -948 + 207x(\text{kamera gerilimi}) \quad (4.2)$$

Bu durum kameradan üretilen aydınlık düzeyi gerilimi ile lüks değerinin aralarında lineer bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bölgelerdeki aydınlık şiddeti değişkenliğinin yatay ve düşey düzlemlerde alınan ölçümlerden kaynaklandığı söylenebilir.

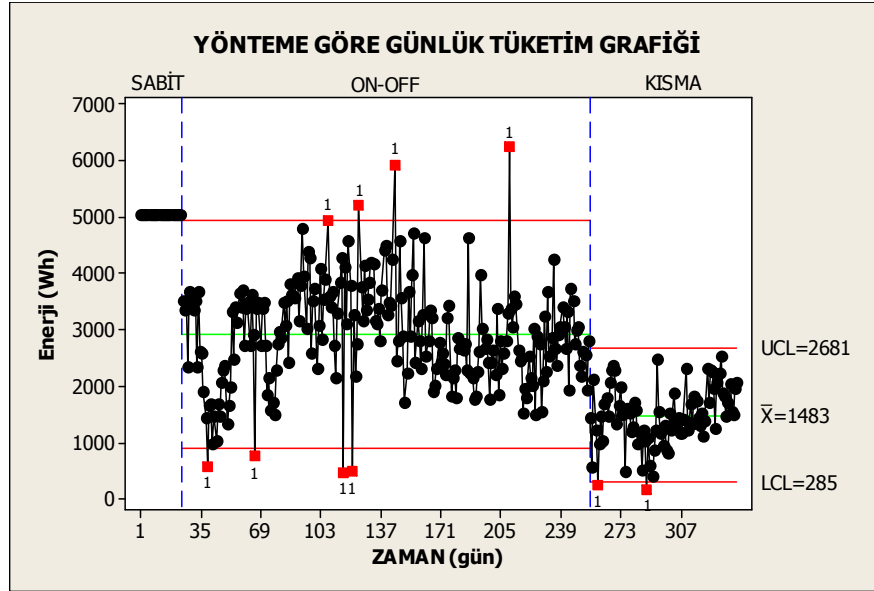
Bu lineer ilişki sonrasında kamera gerilim değeri aydınlık şiddeti ilişkisi kurulup ortamın aydınlatılması için armatür kısma ve açma uygulaması devreye alınmıştır. Bu uygulama devreye alındıktan sonra ölçümlerin kayıt altına alınması devam ettirilmiştir.

4.6. Yöntem Karşılaştırma

Projeyi, deney odasının aydınlatmasının elle açıldığı proje öncesi sabit tüketim durumu, ihtiyaca göre otomatik açma kapamanın yapıldığı on-off durumu ve günışığı etkisine göre aydınlatmanın loşlaştırıldığı kısma adını verdiğimiz durum olarak üç aşamaya ayırabiliriz. Proje aşamalarına göre günler bazında tüketimler aşağıda Şekil 4.40.'da görülmektedir.

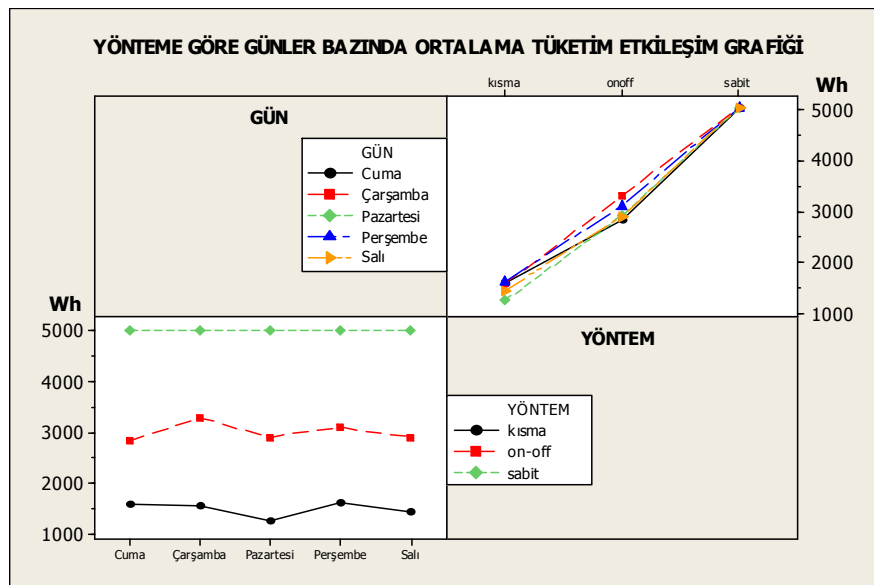
Proje öncesinde alınan ve hesaplanan sabit 5000 Wh tüketim var iken parlaklık değişiminden algılanan hareket ile aydınlatma açma kapatma yapılmış ve on-off olarak adlandırılmıştır. Sonrasında günışığı aydınlatmasından da yararlanarak açma kapamaya ilave olarak aydınlık şiddeti ihtiyacına göre aydınlatma kısılmış ve yükseltilmiştir. Çalışma bir yılı geçin bir sürede gerçekleşmiş ve kayıtlar tutulmuştur.

Aşağıdaki grafikten görüleceği üzere tüketimde ciddi bir azalma sağlanmıştır. Aydınlık şiddeti 300 lüks mertebelerinde tutulmaya çalışılmıştır.



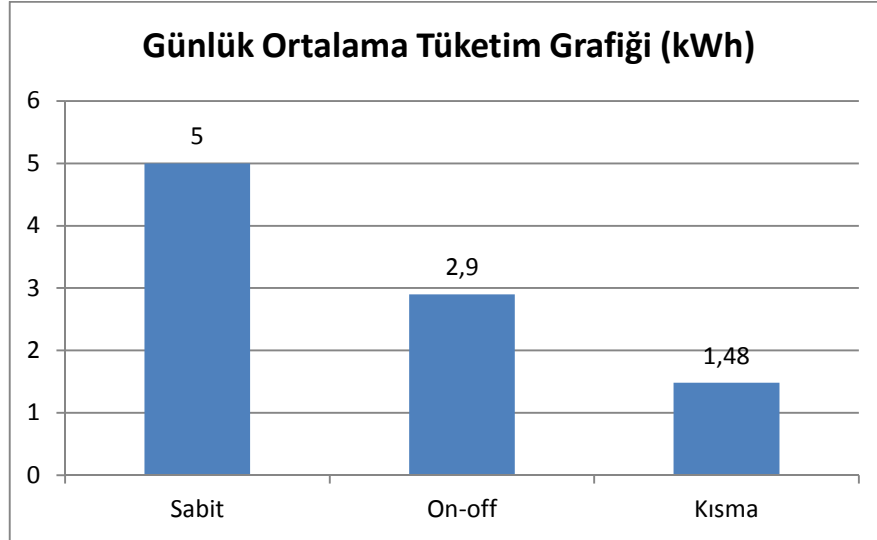
Şekil 4.40. Günlük enerji tüketim grafiği

Tüketimin analizi yapıldığında uygulanan yöntemle göre aşağıda şekil 4.41.'da verilen grafik günler bazında tüketim bilgisini vermektedir. Hareket algılama sonrasında aydınlatma açma kapama yapıldığında ve aydınlık düzeyine göre kısma yapıldığında enerji tüketimde değişkenlik göstermektedir.



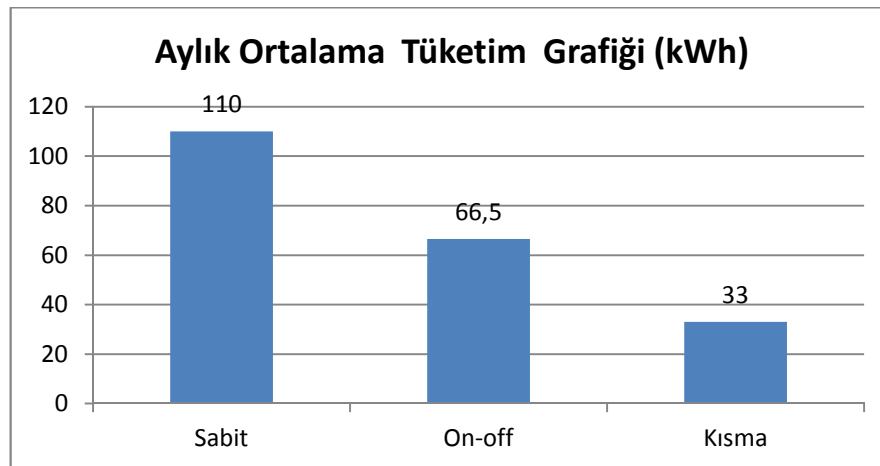
Şekil 4.41. Uygulanan yöntemle göre günlük enerji tüketim grafiği

Şu ana kadar yapılmış olan yöntemler arasında en verimli yöntemin kısma yöntemi olduğu açıkça görülmektedir. Aşağıda şekil 4.42.'de her üç yöntem için günlük ortalama tüketim grafiği verilmiştir.



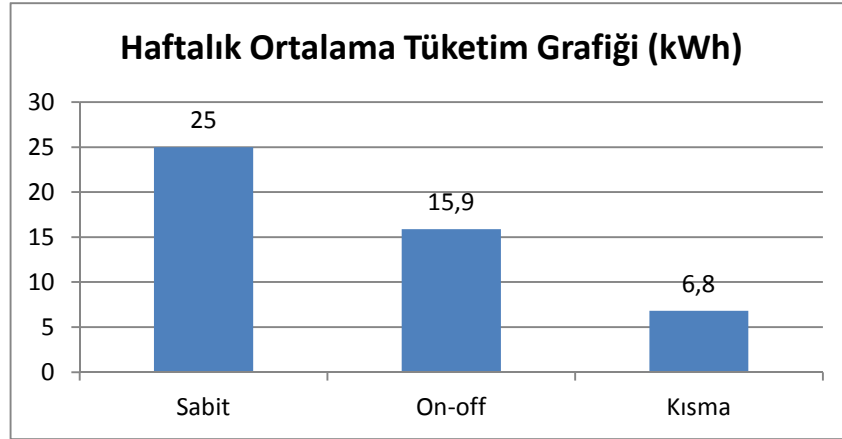
Şekil 4.42. Uygulanan yöntemlere göre günlük ortalama enerji tüketim grafiği

Kısma öncesi ve sonrası aylık toplam tüketimde fark olup olmadığına 6 sigma araçlarından anova ile bakılmıştır. Şekil 4.43'de de görüldüğü üzere aylık tüketimlerin 66,5 kWh mertebesinde 33 kWh mertebelerine düştüğü ve % 50 iyileşme olduğu görülmüştür.



Şekil 4.43. Uygulanan yöntemlere göre aylık ortalama enerji tüketim grafiği

Kısma öncesi ve sonrası haftalık toplam tüketimde fark olup olmadığına 6 sigma araçlarından anova ile bakılmıştır. Şekil 4.44.'de de görüldüğü üzere haftalık tüketimlerin 15,9 kWh mertebesinde 6,8 kWh mertebelerine düştüğü ve % 57 iyileşme olduğu görülmüştür.



Şekil 4.44. Yönteme göre haftalık ortalama enerji tüketim grafiği

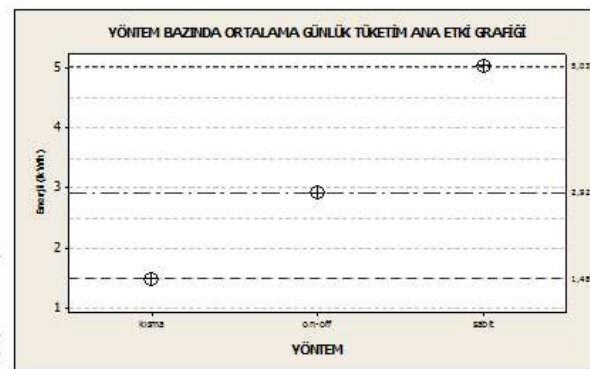
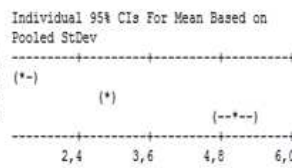
Şekil 4.45.'de görüleceği üzere kısma öncesi yani on-off ve kısma sonrası günlük ortalama tüketimde fark olup olmadığına da 6 sigma araçlarından anova ile bakılmıştır. Bu analizde proje öncesi durum (sürekli aydınlatmanın açık olduğu durum), on-off durumu (ortamda kişinin olduğu durumlarda aydınlatmanın açık tutulduğu diğer zamanlarda kapatıldığı durum) ve kısma durumu (günışığına göre aydınlatmanın kısılıp açıldığı durum) olarak değişimleri ana etki grafiğinde görülmektedir.

One-way ANOVA: tüketim kWh versus yontem

Source	DF	SS	MS	F	P
yontem	2	266,720	133,360	209,56	0,000
Error	336	213,819	0,636		
Total	338	480,539			

S = 0,7977 R-Sq = 55,50% R-Sq(adj) = 55,24%

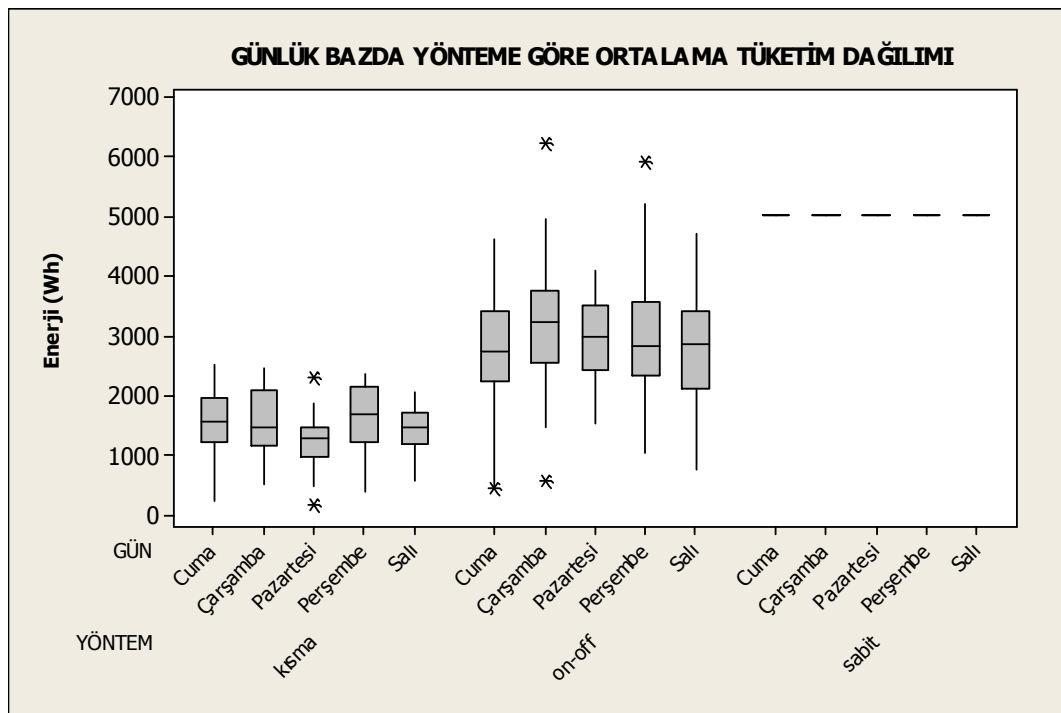
Level	N	Mean	StDev
kısma	84	1,4830	0,5219
onoff	231	2,9223	0,9118
sabit	24	5,0360	0,0000



Şekil 4.45. Yönteme göre günlük ortalama enerji tüketim ana etki grafiği

Günlük tüketim proje başlangıcında teorik olarak 5 kWh iken görüntü işleme ile hareket algılayarak on-off çalıştırıldığında 2,9 kWh mertebelerine hem on-off hem de günışığına bağlı kısma yaparak 1,48 kWh mertebelerine düşürülmüştür. İlk aşamada % 40 enerji tasarrufu sağlanmış, sonraki aşamada % 50 lik bir tasarruf sağlanmış ve toplamda % 70 tasarruf sağlanmıştır.

Proje öncesi durum (sabit), hareket algılama ile açma kapama durumu (on-off) ve günışığına bağlı kısma olarak değişimleri Box plot grafiğinde görülmektedir.



Şekil 4.46. Yönteme göre günlük tüketim kutu gösterim grafiği

One-way ANOVA: TÜKETİM Watt versus Durum

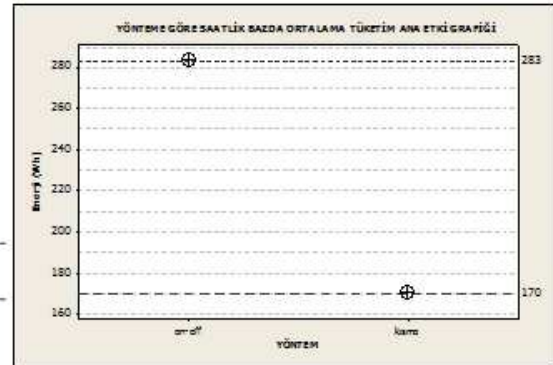
Source	DF	SS	MS	F	P
Durum	1	1697833	1697833	847,52	0,000
Error	526	1053739	2003		
Total	527	2751572			

S = 44,76 R-Sq = 61,70% R-Sq(adj) = 61,63%

Level	N	Mean	StDev
önce	259	283,90	48,56
sonra	269	170,47	40,76

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

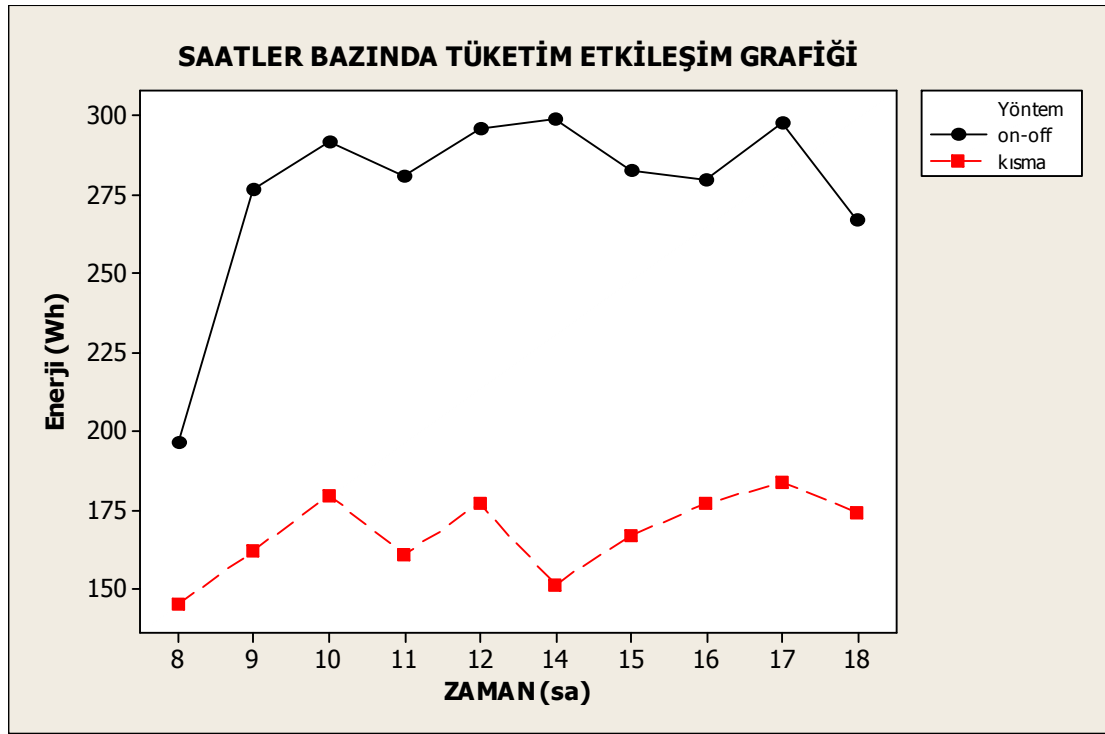
Pooled StDev = 44,76



Şekil 4.47. Yönteme göre saatlik ortalama enerji tüketim ana etki grafiği

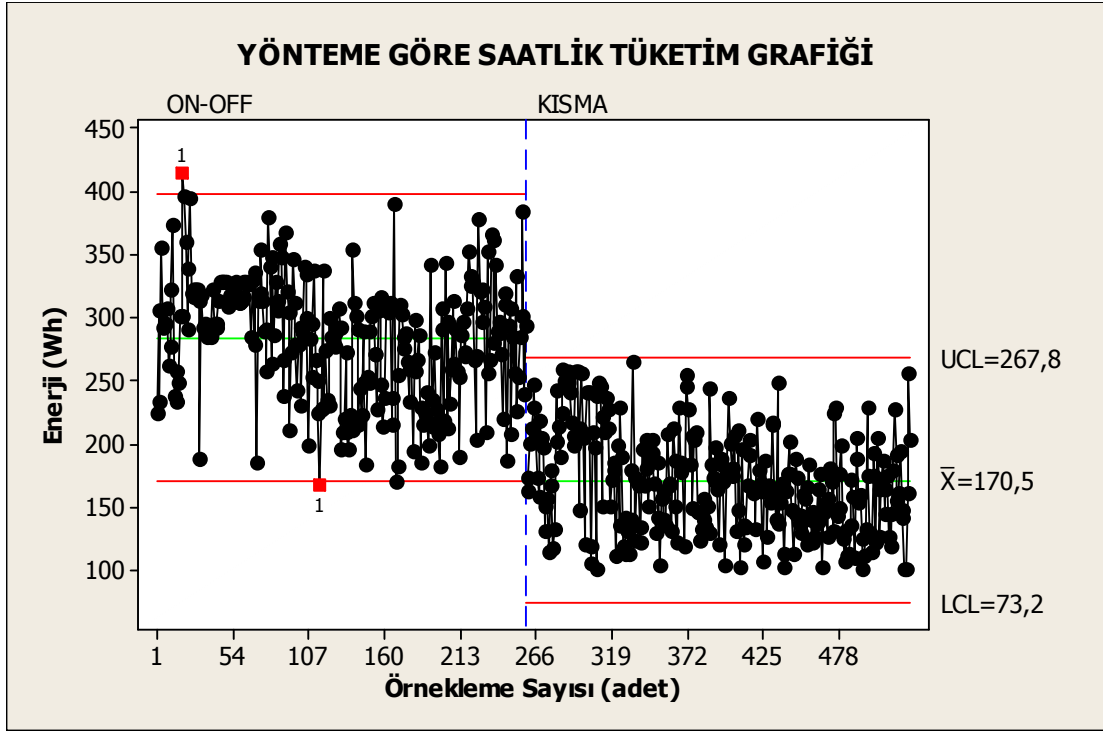
Saatlik bazda tüketimler alındığında yalnızca açma kapama yaptığımız durumdaki tüketimler ile günışığına göre kısmayı da dahil ettiğimiz dört aylık tüketimleri önce ve sonra olarak ayırdık. İki ay öncesinde tuttuğumuz, iki ay ise sonrasında tuttuğumuz saatlik tüketimleri analiz ettik. Saatlik tüketimimiz önceden 280 Wh mertebelerinde iken, son durumda ise 170 Wh mertebelerine gerilemiştir.

Günün saati ile önce sonrayı etkileşimle incelersek, yine önce sonra fark olduğunu ve sonra değişkenliğin de azaldığını görüyoruz. On-off çalışma ile kısma modunda çalışma şekil 4.48.'de görülmektedir.



Şekil 4.48. Yönteme göre saatler bazında saatlik ortalama enerji tüketim grafiği

Günışığına göre kısma açma öncesi ve sonrasında iki aylık periyotta saatlik bazda tüketim değerleri şekil 4.49.'da görebilirsiniz. Ortalama saatlik tüketimin 280 Wh değerinden 170 Wh değerine düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.49. Yönteme göre saatler bazında saatlik enerji tüketim grafiği

Yapılan çalışmada üç farklı yöntemin aylık, haftalık, günlük ve saatlik enerji tüketimleri değerlendirilmiştir. Görüntü işleme yöntemleri ile hareket algılayarak ve aydınlık düzeyi ayarlayarak aydınlatma gerçekleştirilmiş ve enerji verimliliği sağlanmıştır.

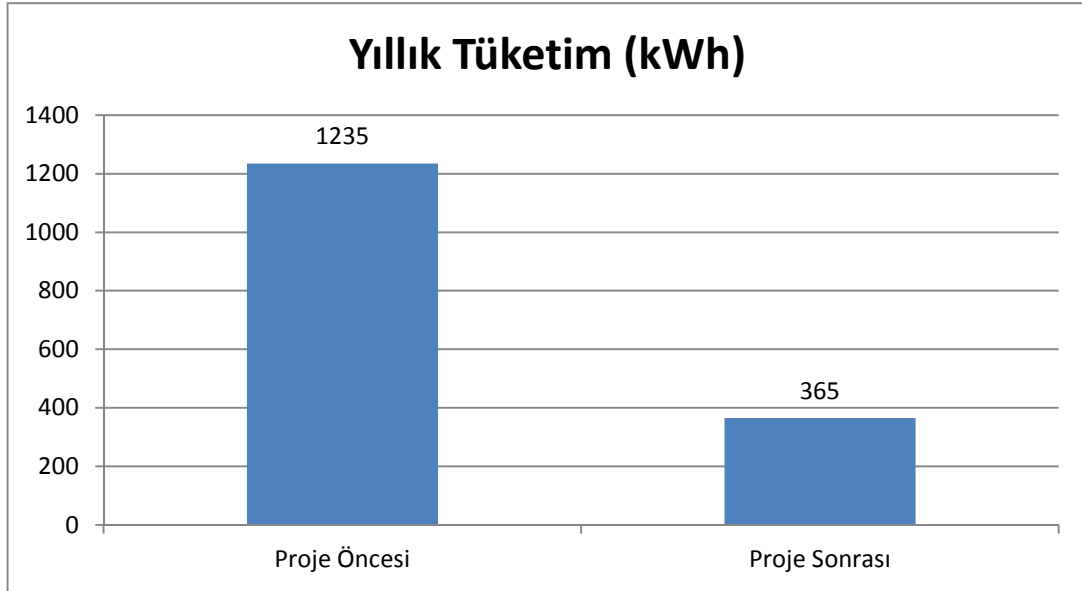
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında öncelikle bir ofiste kullanıcı kontrolüne bağlı olmadan hareket algılama ile aydınlatma enerjisi tasarrufunun hangi seviyede olabileceği araştırılmıştır. Sonrasında ise günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri kullanılarak, kullanıcı kontrolüne bağlı olmadan, elde edilebilecek aydınlatma enerjisi tasarrufu değerlendirilmiştir. Bolu ili, çevresi ve benzer coğrafi özelliklerdeki yerler için örnek teşkil edecek sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Sistemin gerçekleştirdiği enerji verimliliği yanında elektrik enerji kalitesi parametrelerini ne şekilde etkilediği izlenmiştir.

Kurulan sistemin tam kapasitede çalışma durumuna göre sağladığı günlük tüketim proje başlangıcında 5 kWh iken görüntü işleme ile ani parlaklık değişimi algılayarak on-off çalıştırıldığında 2,9 kWh mertebelerine hem on-off hem de günışığına bağlı kısma yaparak 1,48 kWh mertebelerine düşürülmüştür. İlk aşamada % 40 enerji tasarrufu sağlanmış, sonraki aşamada % 50 lik bir tasarruf sağlanmış ve toplamda günlük % 70 tasarruf sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda kullanılan kameranın ortamda bulunduğu varsayılarak kameranın tükettiği enerji ihmal edilmiştir.

Saatlik bazda tüketimler alındığında yalnızca açma kapama yaptığımız durumdaki tüketimler ile günışığına göre kısmayı da dahil ettiğimiz saatlik tüketimlerimiz önceden 280 Wh mertebelerinde iken, son durumda ise 170 Wh mertebelerine gerilemiştir. Güneşin tepede olduğu 12 ve 14 saatleri arasında tüketimin 140 Wh mertebesinde olduğu ve kısmanın maksimum olduğu görülmüştür. Dolayısıyla günışığının maksimum alındığı saatlerde enerji tasarrufu da o nebze artış göstermektedir.

Proje öncesi durumda tüketimlerimiz yıllık 1235 kWh seviyesindedir. Gün ışığına bağlı aydınlatmada kısma yapılarak yıllık tüketim 365 kWh mertebesine düşürülmüştür. Yıllık aydınlatma enerjisi tasarruf yüzdesi % 70 olarak belirlenmiştir. Bu tasarruf oranına ulaşan çalışma yok denecek kadar azdır.



Şekil 5.1. Proje öncesi ve sonrası yıllık tüketim grafiği

Deneyin ilk sonuçlarının alındığı, yoğunlukla sonbahar ve kış aylarını içeren, çalışmalara göre ulaşılan bu yüzde daha yüksektir. Bu tasarruf yüzdesini etkileyen en önemli faktör güneşlenme süresidir. Deney sırasında on-off yani sadece açma kapama çalışılırken güneşlenme süresinin en uzun olduğu gün olan 21 Haziran 2013'de % 56,2'lik bir tasarruf gerçekleşirken, kısma yapılarak çalışılan 21 Haziran 2014'de % 71,2'lik bir tasarruf gerçekleşmiştir.

Yine açma kapama ile çalışılırken güneşlenme süresinin en kısa gün olan 21 Aralık 2012'de tasarruf oranı % 34,4 seviyesinde iken kısma yapılarak çalışılan 20 Aralık 2013 Cuma günü ise tasarruf oranı % 43,2 seviyesinde gerçekleşmiştir.

Ölçüm ve kayıt yapılabilen 365 günlük dönemde havanın açık, karma ve kapalı olduğu günlerdeki tasarruf oranları sırasıyla % 82, % 67 ve % 35 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 günışığını doğrudan yukarıdan almasaydı, elde edilecek enerji tasarrufu azalacaktı. Güney cepmeli olsaydı, elde edilebilecek enerji tasarrufu yüzdesinin diğer cephelere göre daha yüksek olabileceği literatüre ve deney sonuçlarına bakılarak rahatlıkla söylenebilir. Bu çalışmada günışığı tepeden alınarak verim daha da arttırılmış oldu.

Günışığından faydalanacak olan iç mekânın fiziki özellikleri de önemli bir yer tutmaktadır. Günışığı alınan bölgenin boyutları ve pencere boyutları ne günışığı girişini engelleyecek kadar küçük ne de içeride kamaşma ve konforsuzluğa neden olacak kadar büyük olmalıdır. Camlarının ışık geçirgenliği de üzerinde durulması gereken bir faktördür. Bu çalışmada kullanılan günışığı prizmasının ışık geçirgenliği % 87 oranında yüksek bir değere sahiptir ve günışığı girişine büyük oranda izin vermektedir. Deney odası günışığını yanlardan ziyade yukarıdan almaktadır. Güneşin hareket yönü nedeniyle direk günışığını gün boyu almaktadır ve günün önemli kısmında gökyüzü 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.

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 gerilim ve akım harmoniği üretilmesine neden olmaktadır. Gerilim harmoniği % 1,5 mertebelerinde seyretmektedir. Normal şartlarda çalışırken % 5 civarında akım harmoniği üreten DALI balastlar, loşlaştırma işlemi nedeniyle özellikle açık havalarda % 65 civarına çıkan değerlerde akım harmoniğine sebep olmaktadır. Sistemdeki harmonik bozulma nedeniyle güç faktörü değeri de düşmekte, enerji kalitesi parametreleri bozulmaktadır. Enerji tasarrufu arttıkça enerji

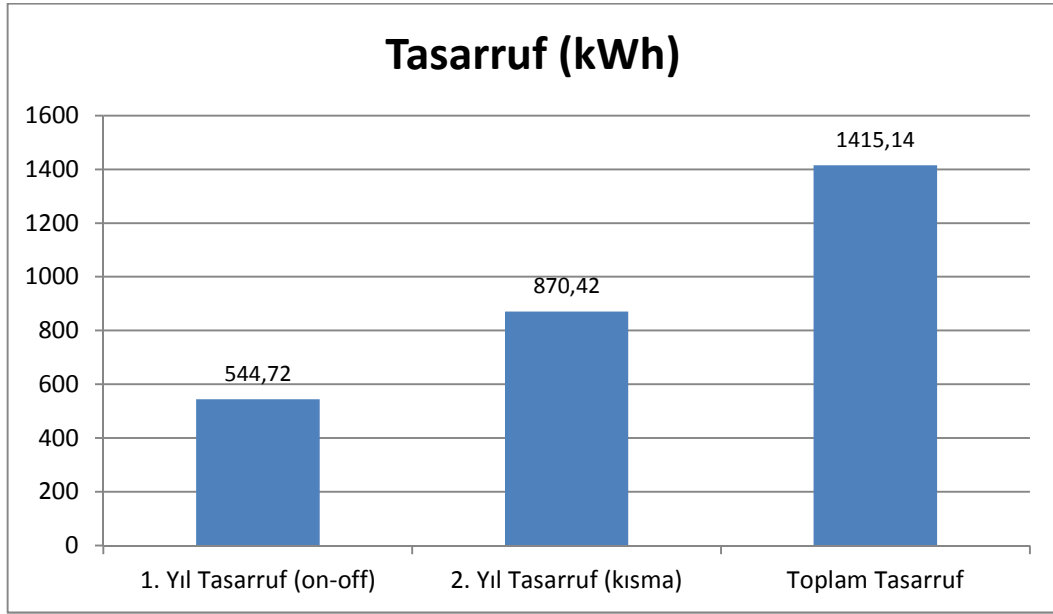
kalitesinin düşüyor olması önemli bir dezavantajdır. Ancak yine de böylesi bir sorunun önüne geçilmesi için en uygun yöntem “aktif harmonik filtre” kullanımınıdır.

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 güneş ışığı 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, yaklaşık 141 metreküplük bir hacmin sıcaklığını sürekli 25 °C’de tutabilmek için, ortalama sıcaklığın 25 °C üzerinde olduğu 24 haftada (6 aylık dönem), 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. Aydınlatma enerjisinden tasarrufun artması, soğutma enerjisi tüketimini beraberinde getirdiği için, her ne kadar güneşine 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. Yine de bu parametreler arasında kesin bir bağıntı vardır denemez, ancak güneşlenme süresi, havanın durumu ve içinde bulunulan mevsim bu iki parametreyi birbirinden bağımsız olarak değiştirebilir.

Aydınlatmada enerji tasarrufu çalışmalarında çoğunlukla göz ardı edilen bu oran bu çalışmada elde edilen yüzdeye uygulanırsa aydınlatma enerjisi tasarrufunun 1 yıl için yaklaşık % 63 seviyesine gerilediği görülür.

Önceki çalışmalarda sıklıkla hareket algılayıcısı kullanıldığı bilinmektedir. Deney 15 Haziran 2012 - 15 Haziran 2013 tarihleri arasında görüntü işleme yöntemi ile ani parlaklık değişiminden hareket algılayarak aydınlatma açma ve kapama yapılarak maksimum yük ile çalıştırılmıştır. Bu süreçte sadece hareket algılayıcısı ile ortalama

% 40'lık bir aydınlatma enerjisi tasarrufu gerçekleşmiştir. Daha sonra ise 15 Haziran 2013 - 15 Haziran 2014 tarihleri arasında günışığına bağlı olarak hareket algılamayı da kullanıp aydınlatmayı maksimum güç yerine ihtiyaç olduğu kadar açılması ile % 40'lık enerji tasarrufuna ilave kısma avantajı da gelerek % 70 gibi yüksek bir aydınlatma enerjisi tasarrufuna ulaşılmıştır. Bu da hareket algılayıcılarının aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılması gerekliliğini gösteren bir bulgudur.



Şekil 5.2. Yıllık enerji tasarruf grafiği

Deney çalışması sonucunda iki yıllık süreçte ilk yıl 544.720 Wh ikinci yıl 870.427 Wh toplamda 1.415.148 Wh'lik bir enerji tasarrufu gerçekleşmiştir. Bu tasarruf sayesinde önlenecek CO₂ salınım miktarı $(1,415 \text{ MWh} \times 0,65 \text{ t / MWh}) = 916,5 \text{ kg}$ olarak bulunur. 60 m²'lik ve sadece 7 armatürün kullanıldığı bu deney odası aydınlatması ile önlenecek salınım miktarı örneklemini tüm işletmenin 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.

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, kamera, armatür, DALI balast ve lambaların liste fiyatları yaklaşık olarak 1500, 125, 250, 125 ve 11,5 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 26.618 TL olarak bulunur. Kısmi yapılan uygulamalarda bu maliyete günışığı ilave donanım malzemeleri için 3.000 TL daha ilave maliyet öngörülerek fizibilite çalışması verilmiştir. Sadece kontrol sisteminin DALI balastlarla mevcut aygıtlara entegre edilmesi durumunda maliyet 9.125 TL'dir. Sistem % 90 olarak alınır ve 4x18 Wh'lik sistem için hesaplamalar yapılırsa sistem gücü yaklaşık 5.120 Wh olarak hesaplanır. Yıllık tüketim 365 gün üzerinden yapılan hesaplama ile 12441,6 kWh olarak tespit edilir. Sistemin % 40 enerji tasarrufu yapacağı düşünülürse 10 saat çalışma ile günlük 20,5 kWh, yıllık ise 7.475 kWh'lik enerji tasarrufu yapacağı hesaplanabilir.

Deney sabah 08:00–18:00 saatleri arasında gerçekleştirildiği için 17:00–18:00 arası enerji harcaması puant tarifeye girmektedir. Normal tarife ile puant tarifenin çalışma saatleri için ortalaması alınırsa 39,13 kr/kWh'lik bir enerji fiyatı ile karşılaşılır. 1.10.2014 tarihinden itibaren geçerli EPDK tarifesine göre, tek zamanlı mesken tarife kullanan aboneler için elektrik kWh fiyatı, tüm bedeller, fonlar ve vergiler dahil 0,3913 TL'dir [61]. Bu durumda yıllık tasarrufun ekonomik karşılığı 2.924,8 TL olarak gerçekleşir.

Aydınlatma kontrol sisteminin sıfırdan kurulması durumunda bu tasarruf miktarıyla sistem kendini tablo 4.2.'de görüleceği üzere 9,1 yılda geri öder. Aydınlatma kontrol sisteminin mevcut sisteme entegre edilmesi durumunda 3,1 yılda geri öder.

Tablo 4.2. 64 armatürlü 4*18 Wh ve 2*58 Wh sistem fizibilite tablosu

Yöntem	Yıllık Tasarruf (kWh)		Yıllık Tasarruf (TL)		Maliyet (TL)		Geri Dönüş Süresi (yıl)		
	On-off	Kısmi	On-off	Kısmi	On-off	Kısmi	On-off	Kısmi	
Tüketim (kWh)	% 40 tasarruf	% 70 tasarruf	% 40 tasarruf	% 70 tasarruf	% 40 tasarruf	% 70 tasarruf	% 40 tasarruf	% 70 tasarruf	
	12441,6	7475,2	13081,6	2925,0	5118,8	26618	29618	9,1	5,8
	20044,8	12043,4	21075,9	4712,6	8247,0	26618	29618	5,6	3,6

64 armatürlü ve DALI balastlı sisteminde 2x58 Wh'lik armatür kullanılarak hesaplamalar yapılırsa sistem gücü yaklaşık 8247 Wh olarak hesaplanır. Yıllık tüketim 365 gün üzerinden yapılan hesaplama ile 20044,8 kWh olarak tespit edilir. Sistemin % 40 enerji tasarrufu yapacağı düşünülürse 10 saat çalışma ile günlük 33 kWh, yıllık ise 12.043 kWh'lik enerji tasarrufu yapacağı hesaplanabilir. Bu durumda yıllık tasarrufun ekonomik karşılığı 4.712,6 TL olarak gerçekleşir. Aydınlatma kontrol sisteminin sıfırdan kurulması durumunda bu tasarruf miktarıyla sistem kendini 5,6 yılda, aydınlatma kontrol sisteminin mevcut sisteme entegre edilmesi durumunda 1,9 yılda geri öder. Günışığına bağlı aydınlatmada sağlanan % 70 enerji tasarruf ile 64 adet 2x58 Wh'lik sistem için geri ödeme süresi 3,6 yıldır. Bu geri ödeme süreleri kontrol sisteminin mevcut sisteme entegre edilmesi durumunda 16 aya kadar düşmektedir.

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 Türkiye'deki 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.

Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Bolu ili gibi yılın yarısından 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 seçilmesi ve 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] European Greenlight Programme web sitesi, <http://www.eu-greenlight.org>, Erişim Tarihi, 31 Ocak 2012.
- [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, 2009.
- [4] TÜİK, Türkiye 2010 Enerji Tüketim İstatistikleri, Ankara, 2012.
- [5] Building Research Establishment energy consumption guide 19, Garston, Watford 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.
- [11] European Parliament and Council, Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings, 16 December 2002.
- [12] Lindelof, D., Morel, N., A field investigation of the intermediate light switching by users, Energy and buildings, 38, 7, pp. 790-801, 2006.

- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Onaygil, 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.
- [18] Newham, 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Morrow, W., Rutledge, 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, Illinois, USA, October 1998.
- [22] Erkin, E., Güler, Ö., Onaygil, 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.
- [23] 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.
- [24] 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.

- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Newsham, G.R., Arsenault, C., National Research Council Institute for Research in Construction, 1200 Montreal Rd, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada Received 21 May 2008; Revised 4 September 2008; Accepted 17 October 2008.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Zinzi, M., Office worker preferences of electrochromic Windows: a pilot study, *Building and environment*, 41, 9, pp. 1262-1273, 2006.
- [33] Javier Silvestre-Blanes, Ruben Pérez-Lloréns, Energy efficiency improvements through surveillance applications in industrial buildings, *Energy and Buildings* 43 (2011) 1334–1340, January 2011.
- [34] Kutlu, R., Yener, A.K., Küçükdoğu, M.Ş., A study on façade design for primary school classrooms in temperate and hot climates for the viewpoints of visual comfort and energy conservation, CIE 11th European Lighting Conference, İstanbul, Turkey, 2009.
- [35] Yavuz, C., Yamıkoğlu, E., Yalçın, 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.
- [36] Jennings, J.D., Blanc, S.L., Comparison of control options in private offices in an advance lighting controls testbed, *Journal of Illuminating Engineering Society*, 29, 2, pp. 39-60, 2000.

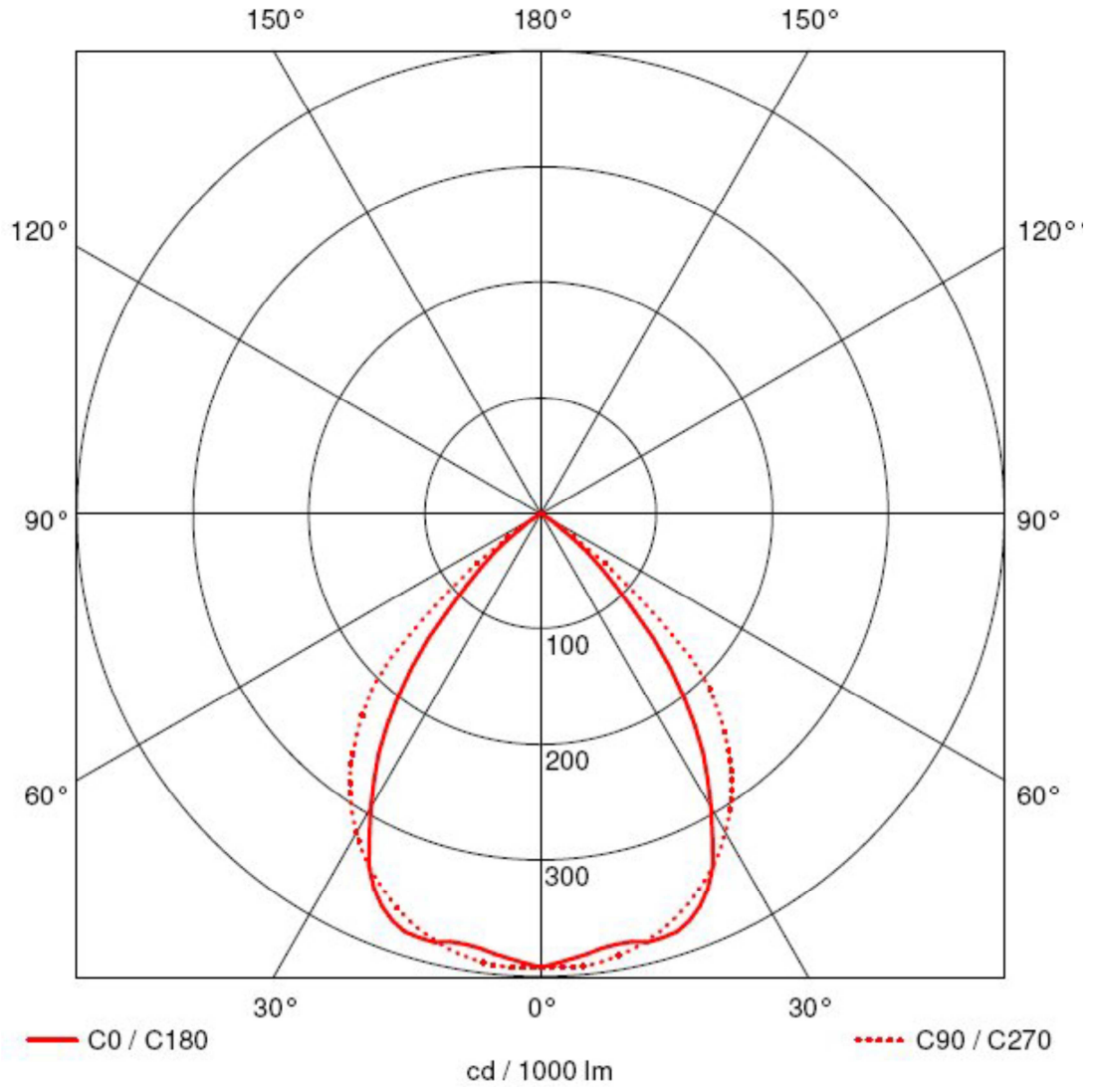
- [37] Sarkar A., Fairchild M., Salvaggio C., Integrated daylight harvesting and occupancy detection using digital imaging: Proceedings of SPIE (International Society for Optical Engineering), Sensors, Cameras, and Systems for Industrial/Scientific Applications IX, San Jose, California, USA, Vol. 6816, 2008.
- [38] Augadal A., Using a CCD Camera as a Sensor for Indoor Lighting Control. Sintef Report TR A5017, Trondheim, Norway, 1999.
- [39] Galasiu, A.C., Veitch, J.A., Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review, *Energy and buildings*, 38, 7, pp. 728-742, 2006.
- [40] 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.
- [41] Anon, CIBSE, Code for interior lighting, 1994.
- [42] 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.
- [43] Laurentin, C., Berrutto, V., Fontoynt, M., Girault, P., Manual control of artificial lighting in a daylit space, 3rd International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conversation in Buildings, Lyon, France, pp.175-180, 1998.
- [44] 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, Revised 10 April 1997; Accepted 12 March 1998.
- [45] Roche, L., Summertime performance of an automated lighting and blinds control system, *Lighting research and technology*, 34, 1, pp. 11-27, 2002.
- [46] 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.
- [47] 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.

- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] United Nations Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, <https://unfccc.int>, Erişim Tarihi, 28 Mart 2012.
- [52] 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.
- [53] Pout, C.H., MacKenzie, F., Bettle, R., Carbon Dioxide Emissions from Non-domestic Buildings: 2000 and Beyond: BR442, CRC Ltd, London, 2002.
- [54] 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.
- [55] South East Renewable Energy Statistics, <http://www.seestats.org/index.htm>, Erişim Tarihi, 30 Ocak 2012.
- [56] <http://yesilekonomi.com/yorum/dusuk-karbon-ekonomisine-gecis>, Erişim Tarihi, 27 Şubat 2013.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] 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.

- [60] Minitab® 16.2.1 © 2010 Minitab Inc. MINITAB® and the MINITAB logo™ are trademarks of Minitab Inc.
- [61] EPDK Tarifeleri, <http://www.epdk.org.tr/index.php/elektrikpiyasasi/tarifeler>, 2014 Yılı 01.10.2014 Tarihli Tarife Değerleri, Ankara, Erişim Tarihi, 20 Ekim 2014.

EKLER

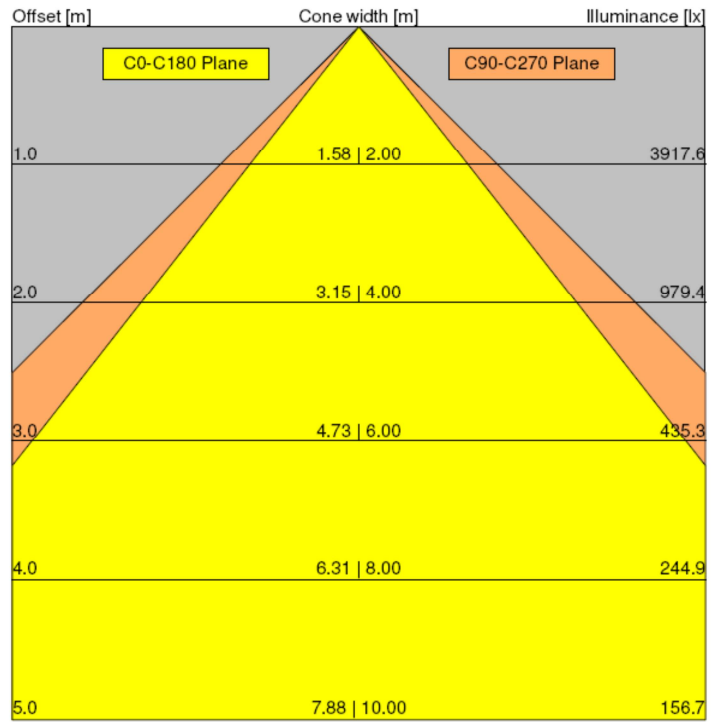
EK A: Armatüre İlişkin Teknik Veriler



Şekil A.1. Deneyde kullanılan armatürün ışık dağılım eğrisi

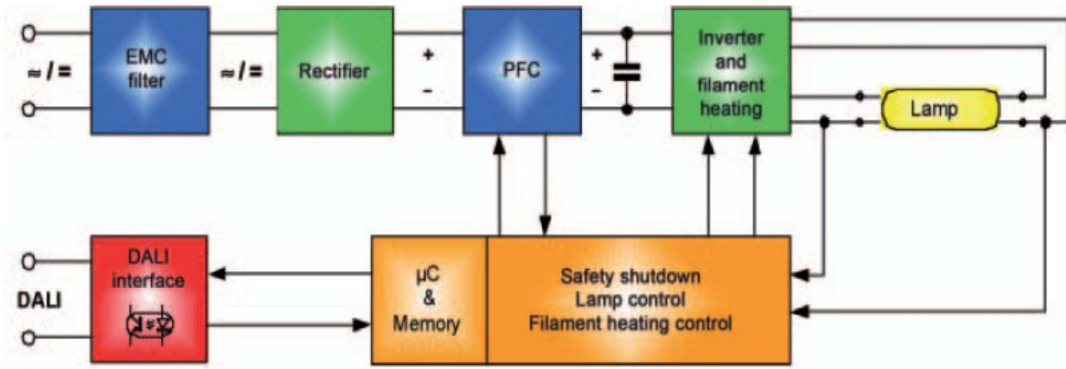
	C0	C90	C180
0°	392	392	392
5°	384	392	384
10°	377	387	377
15°	381	377	381
20°	374	363	374
25°	347	343	347
30°	294	319	294
35°	238	287	238
40°	173	247	173
45°	99	196	99
50°	52	104	52
55°	17	24	17
60°	1	1	1
65°	1	1	1
70°	0	0	0
75°	0	0	0
80°	0	0	0
85°	0	0	0
90°	0	0	0
	cd / 1000 lm		

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

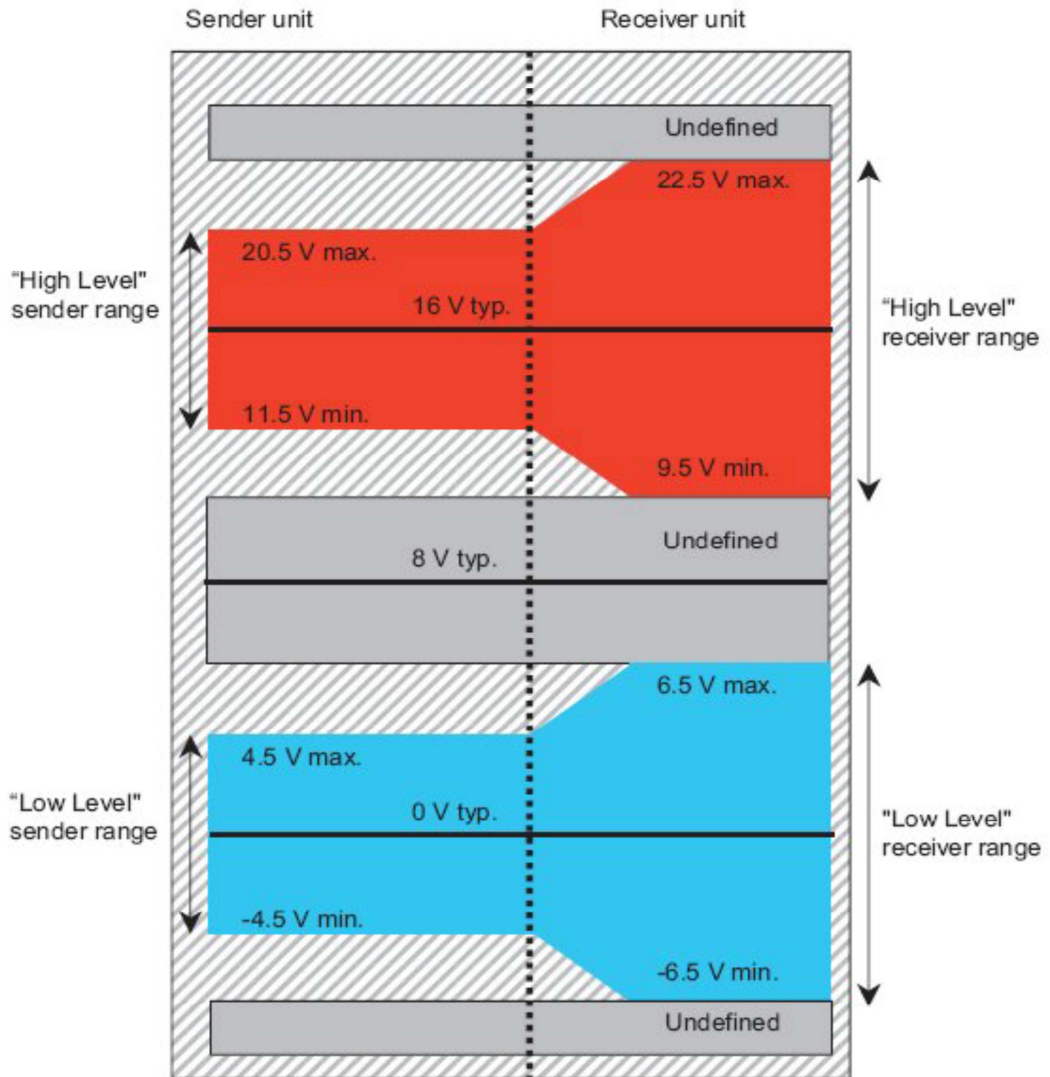


Şekil A.3. Deneyde kullanılan armatürün yüksekliğine göre belli mesafelerde öngörülen aydınlık düzeyi değerleri

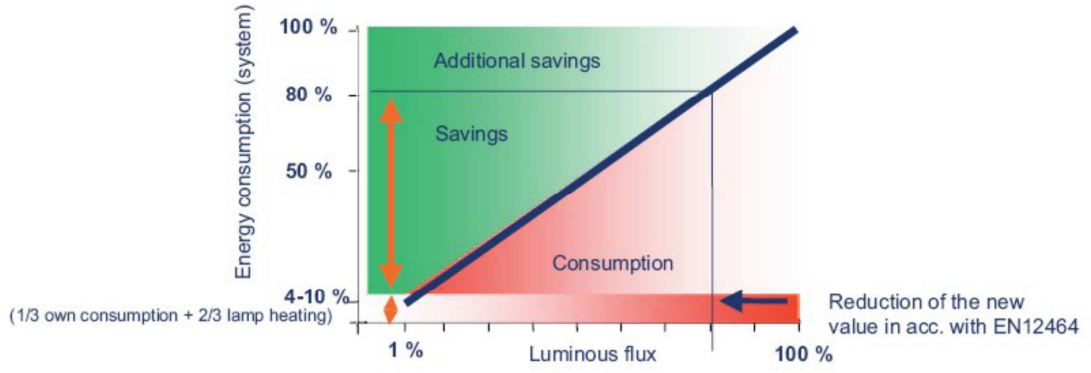
EK B: Balasta ve Sisteme İlişkin Teknik Veriler



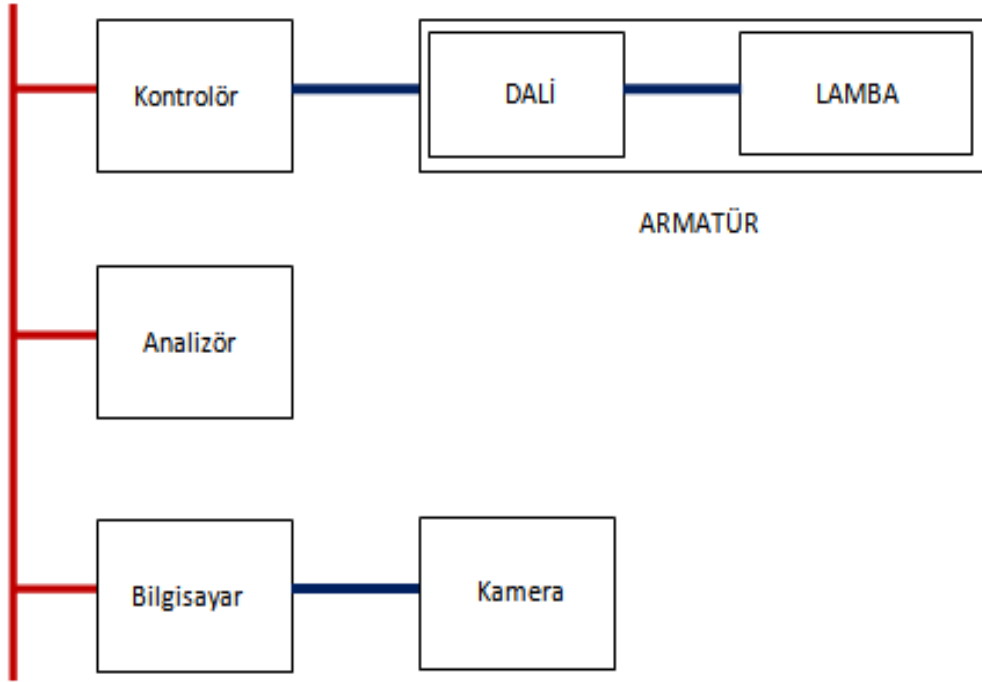
Şekil B.1. DALI arabirimi ile elektronik kontrol aygıtının birlikte kullanılması



Şekil B.2. DALI arabirimindeki kontrol gerilimi seviyeleri



Şekil B.3. DALI arabirimi loşlaştırma ayarı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki



Şekil B.4. Sistemin Donanım Yapısı

EK C: Aydınlatma Tüketim Verileri

Tablo C.1. Yıllar ve Aylar Bazında Aylık Aydınlatma Tüketim Verileri

Yıl	Aylar	Tüketim (kWh)	Yöntem
2012	nisan	115,8	sabit
2012	mayıs	110,8	sabit
2012	haziran	88,3	on-off
2012	temmuz	72,0	on-off
2012	ağustos	53,8	on-off
2012	eylül	74,9	on-off
2012	ekim	82,3	on-off
2012	kasım	69,1	on-off
2012	aralık	81,8	on-off
2013	ocak	78,0	on-off
2013	şubat	62,9	on-off
2013	mart	56,5	on-off
2013	nisan	71,5	on-off
2013	mayıs	55,3	on-off
2013	haziran	45,7	on-off
2013	temmuz	50,0	kısma
2013	ağustos	21,1	kısma
2013	eylül	28,8	kısma
2013	ekim	32,5	kısma
2013	kasım	32,6	kısma
2013	aralık	51,8	kısma
2014	ocak	63,6	kısma
2014	şubat	42,7	kısma
2014	mart	35,9	kısma
2014	nisan	31,0	kısma
2014	mayıs	30,6	kısma
2014	haziran	25,2	kısma
2014	temmuz	34,9	kısma

ÖZGEÇMİŞ

Musa Demirbaş, 22.03.1975'de Bolu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bolu'da tamamladı. 1992 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden 1996'da mezun oldu. Mezuniyetinin ardından İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans'a girdi ve Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesinde çalışmaya başladı. 2009 Eylül ayında Doktora çalışmasına başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora öğrencisidir ve Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesinde çalışmaya devam etmektedir.