

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OFİS AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE
AKILLI TELEFON İLE ÖLÇÜM VE
BP-BÇ TABANLI OPTİMAL KONTROL YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

M. Alper YÜKSELEN

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OFİS AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE
AKILLI TELEFON İLE ÖLÇÜM VE
BP-BÇ TABANLI OPTİMAL KONTROL YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**M. Alper YÜKSELEN
(504111136)**

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR

HAZİRAN 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504111136 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi M. Alper YÜKSELEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “OFİS AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE AKILLI TELEFON İLE ÖLÇÜM VE BP-BÇ TABANLI OPTİMAL KONTROL YÖNTEMİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç Dr. Tufan KUMBASAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İbrahim EKSİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç Dr. İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2017**
Savunma Tarihi : **6 Haziran 2017**



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bana sabırla yol gösteren ve ufkumu genişleten danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Tufan Kumbasar'a ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Engin Yeşil'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın uygulamaya geçirilebilmesi için donanımların geliştirilmesi ve montajında destek sağlayan Y. Müh. Ertan Aldoğan ve Sedat Dokuyucu başta olmak üzere tüm BESTAŞ ailesine teşekkür ederim.

Yorucu ama keyifli bir sürecin sonucunda ortaya çıkan bu çalışmanın hazırlanmasında her zaman yanımda olan ve desteklerini eksik etmeyen aileme ve dostlarıma teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2017

M. Alper YÜKSELEN
Kontrol Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. OFİS AYDINLATMASI.....	3
2.1 Aydınlatma Temel Kavramları.....	3
2.1.1 Işık akısı	3
2.1.2 Işık şiddeti	4
2.1.3 Parıltı	4
2.1.4 Ortalama aydınlık düzeyi	5
2.1.5 Aydınlatmanın düzgünlüğü.....	5
2.1.6 Kamaşma.....	6
2.1.7 Renksel geriverim endeksi	7
2.2 Ofis Aydınlatmasındaki Ölçütler	7
2.3 Çalışma Düzlemindeki Bir Noktanın Aydınlık Düzeyinin Hesaplanması.....	8
2.4 Ofisler İçin Aydınlatma Kontrolü	10
2.4.1 Aydınlık düzeyi kontrolünün enerji tasarrufuna katkısı	10
2.4.2 Literatürde karşılaşılan aydınlatma kontrol yöntemleri	11
2.4.3 Aydınlatma kontrolünde algılayıcının yeri	14
2.5 Önerilen Yöntem	17
3. UYGULAMA.....	23
3.1 Donanım	24
3.1.1 Raspberry pi	25
3.1.2 Loşlaştırılabilir sürücü seçimi	29
3.1.3 PWM işaretinin oluşturulması	30
3.1.4 Telefon ışık sensörü	32
3.2 Önerilen Optimal Kontrol Yönteminin Uygulamaya Geçirilmesi	36
3.3 Ölçüm Sonuçları.....	39
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45

KAYNAKLAR	47
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	67



KISALTMALAR

BB-BC	: Big Bang Big Crunch
BP-BÇ	: Büyük Patlama Büyük Çöküş
CEC	: California Energy Commission
CITRIS	: Center for Information Technology Research in the Interest of Society
CRI	: Color Rendering Index
ÇA	: Çalışma Alanı
DALI	: Digital Addressable Lighting Interface
GPS	: Global Positioning System
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
HDMI	: High Definition Multimedia Interface
I2C	: Inter Integrated Circuitn
IC	: Integrated Circuit
IES	: Illuminating Engineering Society
IoT	: Internet of Things
IP	: Internet Protocol
LED	: Light Emitting Diode
PSO	: Particle Swarm Optimization
PWM	: Pulse Width Modulation
RAM	: Random-Access Memory
SSH	: Secure Shell
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
UDP	: User Datagram Protocol
UGR	: Unified Glare Rating
USB	: Universal Serial Bus



SEMBOLLER

Φ	: Işık akısı
Ω	: Uzay açısı
I	: Işık şiddeti
L	: Parıltı
R_a	: Renksel geriverim endeksi
E_{ort}	: Ortalama aydınlık düzeyi
E_T	: Toplam aydınlık düzeyi
E_{T_i}	: i çalışma alanında bir noktanın toplam aydınlık düzeyi
J_1, J_2	: Amaç fonksiyonları
w_1, w_2	: Amaç fonksiyonlarındaki ağırlık katsayıları
E_{Ref}	: Referans (istenen) aydınlık düzeyi
d	: Loşlaştırma oranı
l	: Aydınlatma kontrolü yapılacak odadaki armatür sayısı
E_{d_i}	: Gün ışığının i çalışma alanındaki noktada sağladığı aydınlatma düzeyi
N	: BP-BÇ algoritmasında birey sayısı
S_T	: Işık algılayıcı işareti
S_{Tahmin}	: Belirli loşluk seviyelerinde okunması beklenen ışık algılayıcı işareti
$E_{dTahmin}$: Gün ışığına bağlı sensör modeline göre tahmin edilen aydınlatma düzeyi
U_j	: j numaralı armatür



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ofis çalışma alanlarında sağlanması gereken aydınlatma ölçütleri.....	7
Çizelge 4.1 : Önerilen yöntemde gün ışığı katkısının olmadığı koşuldaki enerji harcamaları.....	45
Çizelge 4.2 : Önerilen yöntemde gün ışığı katkısının olduğu koşuldaki enerji harcamaları.....	46



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çalışma alanını referans alarak yakın çevre ve arka planın gösterilişi.	8
Şekil 2.2 : Noktasal ışık kaynağının M noktasına olan uzaklığı.	9
Şekil 2.3 : Örnek bir ışık dağılım eğrisi: Pelsan Mioled panel için ışık dağılım eğrisi	9
Şekil 2.4 : Oransal kapalı çevrim kontrole ilişkin blok diyagram.	12
Şekil 2.5 : Oransal kapalı çevrim kontrolde kontrol işaretinin algılayıcı işaretime bağlı olarak değişimi.	12
Şekil 2.6 : Bulanık kontrolörlü aydınlatma sistemi için örnek blok diyagram.	14
Şekil 2.7 : Geleneksel aydınlatma kontrolünde tavana yerleştirilmiş algılayıcı örneği.	15
Şekil 2.8 : Gün ışığının algılayıcıya doğrudan vurduğu durum.	16
Şekil 2.9 : Akıllı telefon ışık algılayıcısının kullanıldığı durumda aydınlatma kontrolü konsepti.	18
Şekil 2.10 : Aydınlatma sisteminin açık çevrim blok diyagramı.	19
Şekil 2.11 : İç model kontrol yapısına örnek bir blok diyagram.	19
Şekil 2.12 : Önerilen kontrol yapısının blok diyagramı.	21
Şekil 2.13 : Önerilen yöntemin akış diyagramı.	21
Şekil 3.1 : Uygulama odasının krokisi.	23
Şekil 3.2 : Uygulama odasının genel görünümü.	23
Şekil 3.3 : Uygulama odasının güneş gören cephesinin dışarıdan görünümü.	24
Şekil 3.4 : Raspberry 2 Model B görünümü.	25
Şekil 3.5 : MATLAB donanım paketi yükleme ekranı.	27
Şekil 3.6 : Raspbian klayve ayar ekranı.	28
Şekil 3.7 : Kullanılan armatürün akım-gerilim karakteristiği.	29
Şekil 3.8 : Adafruit firmasının 16 kanallı servo sürücüsü.	30
Şekil 3.9 : Kütüphane bağlayıcılarının MATLAB kod üreticine tanıtılması.	31
Şekil 3.10 : Donanımın son halinin görüntüsü.	32
Şekil 3.11 : Kuvvetlendirici devre şeması.	33
Şekil 3.12 : Telefonda çalışan simulink diyagramı.	34

Şekil 3.13 : Lüksmetre ve telefonun ÇA1 noktasına yerleşimi.	34
Şekil 3.14 : Çeşitli gün ışığı koşullarında telefona ait ışık algılayıcı ve buna karşılık gelen lüksmetre ölçümleri.	35
Şekil 3.15 : Modeller tamamlandıktan sonraki sistem blok diyagramı.	37
Şekil 3.16 : Tetiklemeli yapının Simulink diyagramı.	37
Şekil 3.17 : Kontrol bloğunun Simulink diyagramı.	38
Şekil 3.18 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtlamalı optimal kontrol sistem yanıtı.	39
Şekil 3.19 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtlamalı optimal kontrol işaretleri. ..	39
Şekil 3.20 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtsız optimal kontrol sistem yanıtı. .	40
Şekil 3.21 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtsız optimal kontrol işaretleri.	40
Şekil 3.22 : Armatür arızası durumunda sistem yanıtı.	41
Şekil 3.23 : Armatür arızası durumunda kontrol işaretleri (U1, U2, U3, U4).	41
Şekil 3.24 : Armatür arızası durumunda kontrol işaretleri (U5, U6, U7, U8).	42
Şekil 3.25 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtlamalı optimal kontrol sistem yanıtı.	42
Şekil 3.26 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtlamalı optimal kontrol işaretleri.	43
Şekil 3.27 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtsız optimal kontrol sistem yanıtı.	43
Şekil 3.28 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtsız optimal kontrol işaretleri.	43
Şekil A.1 : U1 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	55
Şekil A.2 : U2 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	55
Şekil A.3 : U3 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	56
Şekil A.4 : U4 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	56
Şekil A.5 : U5 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	57
Şekil A.6 : U6 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	57
Şekil A.7 : U7 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	58
Şekil A.8 : U8 armatürünün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	58
Şekil A.9 : Tüm armatürlerin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	59
Şekil A.10 : U1, U2, U3 armatürlerinin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	59
Şekil A.11 : U1, U2, U3, U4, U5 armatürlerinin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	60
Şekil A.12 : U1, U2, U3, U4, U5, U6 armatürlerinin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.	60

OFİS AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE AKILLI TELEFON İLE ÖLÇÜM VE BP-BÇ TABANLI OPTİMAL KONTROL YÖNTEMİ

ÖZET

Enerji talebinin hızla artması, günümüzün en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların her geçen gün tükenmeye daha da yaklaşması, enerji üretimi ve tüketim süreçlerinde doğaya verilen zararlar alternatif enerji kaynak arayışlarını ve enerjinin verimli kullanılması konusunu dünya genelinde en önemli gündem maddelerinden biri haline getirmiştir. Modern yaşamın bir enerji krizi ile durma noktasına gelmesinin önüne geçilebilmesi ve artan enerji talebinin karşılanabilmesi için yeni çözümlerin üretilmesi gereği doğmuştur. Ofis aydınlatma sistemlerinde kontrol yöntemlerinin kullanılmasıyla aydınlatma harcamaları üzerinden yaklaşık %30 enerji tasarrufu sağlandığı bilinmektedir.

Aydınlatma kontrol stratejileri anahtarlamalı kontrol ve loşlaştırmalı kontrol olmak üzere temel iki başlık altında incelenebilir. Artık günümüzde loşlaştırmalı kontrolün aydınlatmada geleneksel kontrol yöntemi haline geldiği söylenebilir. Oransal kapalı çevrim kontrol yönteminin loşlaştırmalı kontrol yöntemleri arasında en sık uygulanan kontrol yöntemi olduğu görülmektedir. Bu yöntemde kullanılan ışık algılayıcılar genellikle tavana monte edilmektedir. Algılayıcının tavana yerleştirilmesiyle birlikte aslında doğrudan çalışma alanının aydınlatma düzeyinin ölçülmesi yerine, çalışma alanından yansıyan ışık şiddeti ölçülerek aydınlatma düzeyi ile algılayıcı işareti arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu varsayımı yapılmaktadır. Hâlbuki çalışma alanı dışından yansıyan ışığın bu ilişkiyi bozma ihtimali çok yüksektir.

Kablosuz algılayıcı ağları ve nesnelerin interneti teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla, ışık algılayıcıların çalışma yüzeyine yerleştirilmesi daha pratik hale gelmiş ve bu alandaki çalışmaların sayısı artmıştır. Kablosuz ağlara bağlanabilen ışık algılayıcı sistemlerin dışında, kameralarla aydınlık düzeyinin ölçülmesine yönelik geliştirilen çözümler de mevcuttur. Ancak, bu yöntemlerin gerçek uygulamalarda başarılı bir şekilde çalışabilmesi için kameraların üzerinde ortam şartlarına uygun bir difüzör bulunmalı, kullanılan kameranın poz değeri, objektif hızı (enstantane) ve odak uzaklığı gibi değerlerinin yazılım tarafından kontrol edilebilmesi gerekmektedir.

Günümüzde, neredeyse herkes cebinde düşük kapasiteli bir bilgisayar ve kablosuz algılayıcı noktası görevi görebilecek nitelikte en az bir cep telefonu taşımaktadır. Bu akıllı telefonlarda ekran parlaklığının otomatik olarak ayarlanabilmesi için mutlaka bir ortam ışığı algılayıcısı bulunmaktadır. Bu algılayıcı, aynı zamanda, çalışma alanı üzerinde bir noktaya koyulduğunda çalışma alanındaki aydınlatma düzeyi hakkında fikir verebilir. Aydınlatma düzeyine yönelik alınan ölçümler, telefonun bağlı olduğu kablosuz ağ üzerinden bir kontrol ünitesine gönderilerek; kontrol ünitesinde çalışan kontrolörün belirleyeceği armatür loşlaştırma oranları armatürlere elektrik sinyali olarak gönderilebilir. Kontrolör, istenen aydınlık düzeyini sağlarken armatürlerin toplam gücünü minimize edecek şekilde tasarlanırsa ofis aydınlatmasının temel amaçları sağlanırken enerji tasarrufu elde edilebilecektir. Bu yöntem sayesinde hem

ışık algılayıcıların tavanda olduğu sistemlerin olumsuz yanları bertaraf edilecek, hem de çalışma alanlarına ayrı sensör yerleştirilmesine gerek kalmayacağı için kurulum maliyetleri düşecektir. Bu fikirden hareketle tez çalışmasında, ofis aydınlatma sistemleri için BP-BÇ tabanlı optimizasyon yöntemi içeren bir iç model kontrol yapısı önerilmiştir.

Önerilen yöntemin test edilebilmesi için 8 adet armatürün bulunduğu bir odaya donanımsal altyapı hazırlanmıştır. MATLAB Simulink donanımsal destek paketi sayesinde, Simulink'te hazırlanan kontrol bloklarının rahatlıkla çalıştırılabilir olmasından dolayı, mikroişlemci yerine küçük bir bilgisayar olarak tanımlanabilecek Raspberry Pi 2 Model B geliştirme platformu tercih edilmiştir. Armatürlerin loşlaştırılabilir hale getirilmesi için Meanwell firmasının LCM-40-DA sürücüleri kullanılmıştır. Sürücüler ile Raspberry Pi arasındaki iletişimi sağlamak adına Adafruit firmasının 16 kanallı servo sürücüsü ve bu servo sürücüsünden çıkacak işaretleri kuvvetlendirmek amacıyla işaret kuvvetlendirici devre kullanılmıştır.

Donanımsal altyapı hazırlanırken karşılaşılan sorunlar ve bunlara getirilen çözümler belirtilmiştir. Ardından, sistemin ve akıllı telefona ait ışık algılayıcısının modelleri çıkarılmıştır. Elde edilen modellerle önerilen kontrol yapısı güncellenmiştir. Daha sonra, bu kontrol yapısının gerçek zamanlı çalışabilmesi için Simulink üzerinde blok diyagramlar, sistem fonksiyonları ve MATLAB fonksiyonları oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı testlerde elde edilen veriler, grafikler halinde sunulmuştur.

Çalışmanın son kısmında; önerilen yöntem sayesinde elde edilebilecek tasarruf miktarları tartışılarak, yöntemin dezavantajlarının bertaraf edilebilmesi için öneriler sunulmuştur.

ILLUMINANCE MEASUREMENT USING SMARTPHONES AND BB-BC BASED OPTIMAL CONTROL METHOD FOR OFFICE LIGHTING SYSTEMS

SUMMARY

Fossil fuels, which are the most important source of energy today, are getting closer to depletion, and the environmental pollution caused by nature in the energy production and consumption processes; has made the issue of searching for alternative energy sources and efficient use of energy, one of the most important agenda items in the world. To prevent modern life from coming to a standstill with an energy crisis and to meet the rising energy demand, new solutions are needed. With the use of control methods in office lighting systems, it is known that approximately 30% of lighting energy expenditures can be cut-down.

There are different types of task areas in office buildings to meet different usage purposes. European standard EN 12464-1, clearly states how and according to which criteria and limits these areas should be lit. The standard has specified some limits for average illuminance value, minimum illuminance uniformity, maximum UGR (Unified Glare Rating), minimum CRI (Color Rendering Index). Limits can be raised for reasons such as age, health status of employees and low contrast of objects. The specified minimum average illuminance for the office task area is 500 lx.

Lighting control strategies can be examined under two basic headings: switching control and dimming control. It can now be said that dimming control have become the conventional control method. Proportional closed loop control method seems to be the most frequently used control method among dimming control methods. The light sensors used in this method are usually mounted on a ceiling. By assuming that there is a direct correlation between the illumination value and light sensor readings; instead of actually measuring the illumination of the task area, the reflected luminance from the task area is measured. However, there is always a high risk that the light reflected from the outside of the work area may disturb this relationship.

With the widespread use of wireless sensor networks and IoT (Internet of Things), it has become more practical to place light sensors on the working surface. The number of studies on this area has immensely increased in the past years. Apart from these wireless light sensors, there are also some research on the possibility of measuring illuminance using video cameras. However, in the methods offered so far, software should be able to control some camera related parameters such as, shutter speed, focal length, exposure value. Moreover, the objective of the camera needs to be covered by a diffuser in order to prevent camera glare. Thus the methods using camera are promising, but not practical at the moment.

Nowadays, almost everybody carries at least one mobile phone in their pocket that can function as a low-end computer and wireless sensor point. On these smartphones, there is an ambient light sensor in order to automatically adjust the screen brightness. If placed on the task area, this sensor can give an idea about the value of illuminance.

The smartphone can send the illuminance value to a control unit via wireless network. Then the control unit can run an optimization algorithm that finds out the optimal dimming values that can provide the necessary illuminance level and also minimize the energy consumption of luminaires. After that, it can output some electrical signals in order to send the dimming command to the luminaires. Using this method, the disadvantages of using ceiling based sensors can be eliminated. And also installation costs can be decreased, because the users smartphones will be used instead of installing task area based light sensors. In the light of this idea; in this thesis, an internal model control structure for office lighting systems that includes a BB-BC (Big Bang Big Crunch) optimization method is proposed. Two cost functions are specified. One of them includes a constraint that the illuminance value shall be bigger than or equals to the reference illuminance value. The other cost function basically targets minimizing both error and control output (dimming values).

In order to test the the proposed method, a hardware system has been installed in a room that has 8 luminaires. Raspberry Pi 2 Model B is used instead of a microcontroller, because MATLAB provides hardware support package that allows running Simulink blocks real time on Raspberry Pi. The luminaires were not dimmable, so Meanwell LCM-40-DA driver has been used in order to make the luminaires dimmable. LCM-40-DA has the option to be dimmed by 0-10V PWM signals. And also it is DALI compatible. In order to provide the 0-10V PWM signals, a signal amplifier and also Adafruit's 16 channel servo driver circuit has been used. This way Raspberry Pi can send the dimming values to servo driver via I2C-BUS.

The problems encountered while preparing the hardware and the solutions brought to them are also mentioned in the study. For example in order to send/receive data from/to MATLAB, Raspberry Pi has to get a static IP address. However, the operating system was changed by MATLAB in order to make Raspberry Pi compatible to hardware support package, to an operating system that has no desktop interface but only linux terminal. The basic usage of terminal has been explained in this study.

After the hardware is prepared, the dimming value of each luminaire is increased 1% each step, and the illuminance value in the task area is measured by the lux meter and the ambient light sensor of the smartphone. A nonlinear multi-input single-output system model was established between the dimming values of luminaires and the illuminance value of task area. The 'daylight sensing' model was derived by measuring the values of the lux meter and light sensor at different daylight conditions. The control scheme was updated by using these models. According to this control structure, daylight is considered to be a disturbance. And the controller consists of a filter and inverse of the system model. However, there are infinite solutions of the inverse system, because the system model is a multiple input- single output system. Among these solutions, the solution that minimizes the cost functions is the preferred one. This solutions is to be achieved using the BB-BC optimization method.

Furthermore, in order to run the control structure real time on Raspberry Pi, the necessary device drivers, s-functions, MATLAB functions and block diagrams has been created on Simulink. In order synchronize smartphone with Raspberry Pi, the main control structure is based under a triggered subsystem. In this way, the control algorithm runs one step, each time a data is received from UDP.

The data obtained in real-time tests are presented in graphical form. It has been seen that the method proposed in the tests has proved to be successful when daylight is not available. In the constrained optimization method, the system response was 505 lx while the reference was 500 lx, and the response was 490 lx in the other version.

When the task area is under daylight, the controller performance is a little lower than expected, because the sensor error increases on that condition. The unconstrained optimal controller provided 475 lx and the constrained optimal controller provided 480 lx, where reference was 500 lx.

According to the test results, in which only 1 of 3 task areas is active, the total power consumption was only 97.96W using regular optimal control method and 104.63W using constrained optimal control method, under no daylight condition. Under approximately 45 lx daylight condition, the total power consumption was 73.06W using regular optimal control and 76.31W using constrained optimal control. However, in the old system, all luminaires consume 320W in total regardless of the active area. In the light of this date, the contribution of the proposed method to energy saving can be appreciated.



1. GİRİŞ

Enerji talebinin hızla artması, günümüzün en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların her geçen gün tükenmeye daha da yaklaşması, enerji üretimi ve tüketim süreçlerinde doğaya verilen zararlar alternatif enerji kaynak arayışlarını ve enerjinin verimli kullanılması konusunu dünya genelinde en önemli gündem maddelerinden biri haline getirmiştir. Modern yaşamın bir enerji krizi ile durma noktasına gelmesinin önüne geçilebilmesi ve artan enerji talebinin karşılanabilmesi için yeni çözümlerin üretilmesi gereği doğmuştur. Önerilen yöntemlerden biri de enerjinin verimli kullanılmasının teşvik edilmesiyle, daha yüksek verimde ürünlerin geliştirilmesini sağlamaktır. Bu sebeple devletler, enerji verimliliği konusunda yasal düzenleme ve tüketicilerin daha verimli ürünleri tercih etmeleri konusunda bilinçlendirme kampanyaları düzenleme yoluna gitmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde "Energy Star" programı, Avrupa Birliği'nde "Ecodesign" yönetmeliği ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Kanunu bu düzenlemelere örnek gösterilebilir. Türkiye'deki başka bir örnek ise Yüksek Planlama Kurulu'nun 2012 yılında kabul ettiği Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'dir. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023'e göre, 2023 yılında Türkiye'nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir [1].

2014 yılı verilerine göre dünyadaki elektrik tüketiminin %56'sı ticari, kamu hizmet binaları ve konutlar ile tarım sektörüne aittir [2]. 2015 Türkiye verilerine göre ise, mesken, ticari bina ve resmi dairelerin toplam elektrik tüketimindeki payı %44,8'dir [3]. 2005 yılında İstanbul'daki 10 ticari binada yapılan çalışmaya göre, ofis amaçlı kullanılan binalarda toplam elektrik tüketiminin ortalama %19'unu aydınlatma amaçlı tüketim oluşturmaktadır [4]. Bu çalışmadaki binalarda tasarruf amaçlı bir aydınlatma otomasyonu veya kontrol yöntemi kullanılmadığını hatırlatmak gerekir. Erkin'in doktora çalışmasında ifade ettiği üzere, Kadıköy Belediye Binası'nda kontrol sistemlerinin aydınlatma sistemine dahil edilmesi durumunda enerji tasarruf potansiyelinin %55,3'ten %68,5'e yükseleceği hesaplanmıştır [5]. Bu bilgilerden

hareketle, dünya genelinde ofis aydınlatma sistemlerinde kontrol sistemlerinin uygulamaya geçirilmesi halinde sağlanacak elektrik tasarrufunun azımsanmayacak derecede büyük olduğu söylenebilir.

Aydınlatma ürünlerinin geçmişi incelendiğinde verimlilik açısından birbirinden üstün pek çok ürünün geliştirildiği görülecektir. Geliştirmelerde ağırlık daha verimli ışık kaynaklarının üretilmesinde yoğunlaşsa da; armatürlerin, elektronik birimleriyle birlikte, verimli hale getirilmesi ve aydınlatma kontrolü üzerinde çalışmalar da mevcuttur. Özellikle LED'li (Işık yayan diyot, ing. *Light Emitting Diode*) ışık kaynaklarının yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte ve rahatlıkla kontrol edilebilir olmaları nedeniyle aydınlatma kontrolü üzerine yapılan çalışmaların arttığı söylenebilir.

Bu tez çalışmasında ofis aydınlatmalarında verimliliği arttırmak adına; akıllı telefonların ışık algılayıcılarından ölçüm alınarak, BP-BÇ (Büyük Patlama Büyük Çöküş) optimizasyon yönteminden faydalanılarak yeni bir geribeslemeli aydınlatma kontrol yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Kontrol yönteminin geliştirilebilmesi için önce; ofis aydınlatmasının amacı, standartlarca belirlenmiş ölçütler, bu ölçütlerin tanımı gibi temel kavramlar, literatürde karşılaşılan kontrol ve ölçüm yöntemleri, bunların dezavantajları ikinci bölümde incelenmiştir. İkinci bölümün sonunda da yöntem önerisi sunulmuştur.

Üçüncü bölümde; önerilen yöntemin uygulamaya geçirilmesi sırasında geçirilen aşamalar, karşılaşılan problemler ve üretilen çözümler anlatılmıştır. Ardından yapılan ölçümlerle sistem modeli çıkarılmış ve önerilen kontrol yapısı son halini almıştır. Kontrol yapısının Simulink diyagramları üzerinden nasıl gerçek zamanlı çalışır hale getirildiği anlatılmıştır. Ardından test ölçümleri yapılarak sistem yanıtları ve kontrol işaretleri grafikler üzerinden incelenerek kontrolör performansı hakkında yorum yapılmıştır.

Son bölümde ise önerilen yöntem sayesinde elde edilebilecek tasarruf miktarları tartışılarak, yöntemin dezavantajlarının bertaraf edilebilmesi için öneriler sunulmuştur.

2. OFİS AYDINLATMASI

Bir ofisin aydınlatma kalitesi, çalışanların verimi üzerinde etkilidir. Ofis aydınlatmasının iki temel amacı; ekonomik açıdan hesaplı olmak ve ferah bir ortam içinde çalışanların görüş kabiliyetinin arttığı çözümü oluşturabilmektir [6]. Bu amaçlara uygun bir aydınlatma tasarımının oluşturulabilmesi için, tasarımcının aydınlatma tekniğine, aydınlatma tekniğinin temel kavramlarına, çalışanların yaş, cinsiyet, sağlık durumu gibi etmenlerine, armatürlerin imkan ve kapasitelerine hakim olması gerekir.

Günümüzde ofis ortamlarının aydınlatmasında alışlagelmişin dışında yöntemler denenmeye başlansa da; hâlen yaygın olarak 60 cm x 60 cm boyutlarındaki ofis armatürleri kullanılmaktadır. Bu tip armatürlerin içinde çoğunlukla 4 adet 18W gücünde T8 tipinde ya da alternatif olarak 4 adet 14W gücünde T5 tipinde tüp flüoresan lambalar kullanılmaktadır. Son yıllarda LED'li armatürlerin yaygınlaşmasıyla birlikte 60 cm x 60 cm boyutlarında LED'li armatürlerin kullanıldığı da gözlemlenmektedir. Ancak, kullanılan LED'li armatürlerin güçleri 36W ve 45W arasında değişiklik göstermektedir.

Kullanılacak armatür çeşidinin, bunların yerleşim şeklinin ve adetlerinin belirlenmesi birtakım değişkenlere bağlıdır. Bu değişkenlerin sayısal değerlerinin ne olması gerektiği, standartlarca belirlenmiştir. Ancak, bu standartların anlaşılabilmesi için öncelikle aydınlatma tekniğinin temel kavramlarından bahsedilmesi gerekmektedir.

2.1 Aydınlatma Temel Kavramları

Aydınlatmada tasarımının belirleyici olarak nitelendirilebileceği temel kavramları; ışık akısı, ışık şiddeti, parıltı, ortalama aydınlık düzeyi, ışık düzgünlüğü, kamaşma olarak özetlenebilir.

2.1.1 Işık akısı

Normal gözün aydınlık görmesine ait spektral duyarlık eğrisine göre ışık olarak değerlendirilen enerji akısıdır [7]. Φ harfi ile gösterilir. Birimi lümen (lm)'dir.

Bir ışık kaynağının ışık akısından bahsedilirken genel olarak, o ışık kaynağından çevresine yayılan kısmi ışık akılarının toplamı kastedilir.

$$\Phi = \Delta\Phi_1 + \Delta\Phi_2 + \dots \quad (2.1)$$

2.1.2 Işık şiddeti

Işık şiddetinin anlaşılabilmesi için öncelikle uzay açıdan bahsetmek gerekir. Geometride uzay açısı, üç boyutlu uzaydaki nesneden bir noktaya çekilen doğru parçalarının oluşturduğu iki boyutlu açı olarak ifade edilebilir. Aydınlatmada ise, içinden kısmi bir ışık akısı geçen koni ya da piramit şeklindeki uzay parçasına denir. Uzay açısı Ω harfi ile gösterilir. Birimi steradyan (sr)'dir. Uzay açısı, tepe noktası bir kürenin merkezine yerleştirilmiş bir koni olarak düşünüldüğünde; küreden ayırdığı küre kapağının alanının (S) yarıçapının karesine (R^2) bölümü ile ölçülür.

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad (2.2)$$

Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir α doğrultusundaki ortalama ışık şiddeti, I_{ort} , bu doğrultudaki birim uzay açıdan çıkan ışık akısıdır [7].

$$I_{ort} = \Delta\Phi / \Delta\Omega_\alpha \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'te verilen $\Delta\Phi$, çıkan ışık akısını lümen cinsinden; $\Delta\Omega_\alpha$ ise ışığın çıktığı uzay açısını steradyan cinsinden ifade eder. $\Delta\Omega_\alpha$ sıfıra yaklaşırken ifade edilen oranın limiti de, denklem 2.4'te gösterildiği gibi, I_α ışık şiddetini tanımlar. Işık şiddetinin birimi candela (cd)'dir.

$$I_\alpha = \lim_{\Delta\Omega_\alpha \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega_\alpha} = \frac{d\Phi}{d\Omega_\alpha} \quad (2.4)$$

2.1.3 Parıltı

Parıltı, bir yüzeyin belirli bir doğrultudaki ışıma şiddeti ile ilişkilidir. Bir α doğrultusundaki parıltı, L_α , denklem 2.5'teki şekilde ifade edilir.

$$L_\alpha = \Delta I_\alpha / \Delta S_n \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'te ΔI_α , α doğrultusundaki ışık şiddetini, ΔS_n görünen yüzeyi ifade eder. Parıltı, L ile gösterilir. Birimi cd/m^2 'dir.

Yüzeydeki bir noktanın yüzeyin normaline α açısı yapan doğrultudaki parıltısı, denklem 2.6'daki şekilde ifade edilir.

$$L_\alpha = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I_\alpha}{\Delta S_n} = \frac{dI_\alpha}{dS_n} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'da ΔS yüzeydeki noktayı içine alan yüzey elemanını, ΔI_α yüzey elemanının α doğrultusunda doğurduğu ışık şiddetini, ΔS_n ise ΔS 'in bu doğrultuya dik düzlemdeki görünen alanını ifade eder.

2.1.4 Ortalama aydınlık düzeyi

Ortalama aydınlık düzeyi, birim yüzeye düşen ışık akısının dik bileşenidir [7]. Aydınlik düzeyi E harfi ile gösterilir. Birimi lüks (lx)'tür. Aydınlik düzeyi ölçülecek yüzey üzerinde, bu yüzeyin normaline α açısıyla gelen ışık akısı denklem 2.7'deki ortalama aydınlık düzeyini oluşturur.

$$E_{ort} = \frac{\Delta \Phi_{dik}}{\Delta S} = \frac{\Delta \Phi \cos \alpha}{\Delta S} \quad (2.7)$$

$\Delta \Phi_{dik}$, yüzeye gelen ışık akısının dik bileşenini lm cinsinden; ΔS ise ışık akısı gelen yüzeyin alanını m^2 cinsinden ifade eder.

Aydınlik düzeyi lüksmetre ile ölçülür. Ortalama aydınlık düzeyinin ölçülebilmesi için çalışma düzlemi n eşit parçaya bölünerek ölçülür ve bu parçaların aydınlık düzeylerinin ortalaması alınır.

$$E_{ort} = \frac{1}{n} (E_1 + E_2 + \dots + E_n) \quad (2.8)$$

2.1.5 Aydınlatmanın düzgünlüğü

Aydınlatmanın düzgünlüğü, belirli bir çalışma alanından daha çok, çalışma alanının bulunduğu oda ile ilişkilidir. En küçük aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı (δ_1) ya da en küçük aydınlık düzeyinin en büyük aydınlık düzeyine oranı (δ_2) olarak tanımlanabilir.

$$\delta_1 = E_{\min} / E_o \quad (2.9)$$

$$\delta_2 = E_{\min} / E_{\max} \quad (2.10)$$

İnsan gözü her zaman görüş alanındaki parlıya göre kendini adapte eder. Dolayısıyla aydınlatma düzgünlüğünün uygun olmadığı yerlerde, insan gözü büyük farklılıklardaki parlı değerlerine maruz kalacağı için ideal görme koşulları sağlanamamış olur.

2.1.6 Kamaşma

Görüş alanındaki parlı aşırı yüksekse ya da çevreye, arka plana oranla çok yüksekse; bu durum gözlemcide kamaşmaya neden olur. Eğer ışık kaynağı görüş alanında bulunuyorsa ya da görüş alanında fazla yer kaplıyorsa da kamaşmaya neden olabilir. Kamaşma gözlemcide göz kırpmaya, gözünü kısma, farklı yöne bakma gibi ihtiyaçlar doğurabileceği gibi; kamaşma süresince görüş kabiliyetinin azalması gibi sonuçlar da doğurabilir.

Kamaşma genel olarak ikiye ayrılır. Psikolojik kamaşma (İng. *discomfort glare*) aşırı parlının gözlemcide oluşturduğu rahatsızlık durumu ile ilgilidir. Fizyolojik kamaşma (İng. *disability glare*) ise görme kabiliyetinin bozulması ile ilgilidir. Psikolojik kamaşma, birleşik kamaşma değeri UGR (İng. *Unified Glare Rating*) ile formüle edilmiştir. EN 12464-1 standardına göre UGR, denklem 2.11'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [8].

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (2.11)$$

Burada:

L_B arkaplan parlısını,

L gözlemciye göre her bir armatürün parlısını,

ω gözlemciye göre her bir armatür için ayrı ayrı hesaplanan uzay açısı,

p her bir armatür için bakış doğrultusundan sapma açısına göre Guth pozisyon endeksini ifade eder.

2.1.7 Renksel geriverim endeksi

Farklı teknolojideki ışık kaynakları farklı dalga boylarındaki spektruma sahip olabilir. Dolayısıyla aynı nesnelerin renkleri farklı ışık kaynaklarının altında farklı algılanabilir. Bundan dolayı, ışık kaynaklarının renkleri güneş ışığına ne kadar yakın yansıttığını renksel geri verim endeksi ile ifade etme ihtiyacı doğmuştur. Renksel geri verim endeksi uluslararası standartlarda R_a ile gösterilmektedir. R_a endeksleme yöntemini ifade eder. Ancak, son yıllarda $R96_a$ gibi farklı endeksleme yöntemleri de önerilmektedir.

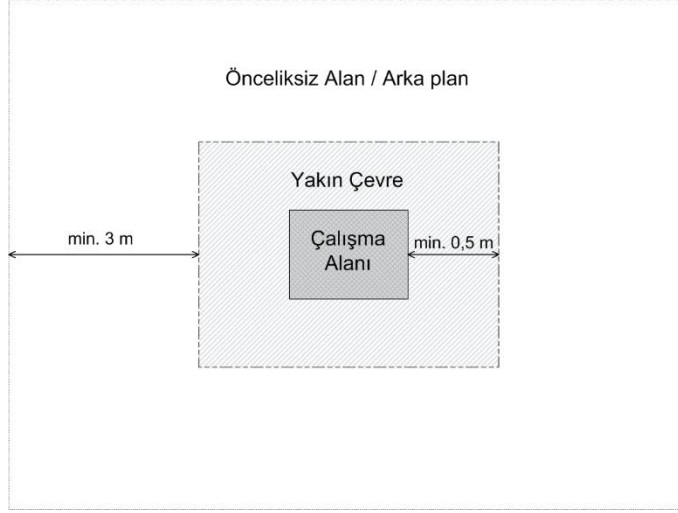
2.2 Ofis Aydınlatmasındaki Ölçütler

Ofis binalarında farklı kullanım amaçlarını karşılamak amacıyla farklı çalışma alanları mevcuttur. Bu alanların hangi ölçütlere ve limitlere göre aydınlatılması gerektiği EN 12464-1 uluslararası standardında açıkça belirtilmiştir. Türkiye'de ise bu standart, TSE (Türk Standardları Enstitüsü) tarafından TS EN 12464-1, 'Işık ve ışıklandırma - İş mahallerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı alandaki iş mahalleri' adı altında uyarlanmıştır [8]. Çizelge 2.1'de ofis çalışma alanlarında sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}), aydınlatma düzgünlüğü ($U_o = E_{min}/E_{ort}$), minimum renksel geriverim endeksi (R_a) ve maksimum birleşik kamaşma değeri (UGR) verilmiştir. Çalışanların yaşı, sağlık durumu, üzerinde çalışılan nesnelerin kontrastının düşük olması gibi nedenlerden dolayı çizelgedeki değerler arttırılabilir.

Çizelge 2.1'deki ortalama aydınlık düzeyi ölçütü doğrudan çalışma alanı için geçerlidir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, çalışma alanının sınırlarının 0,5 m civarındaki alan 'yakın çevre', yakın çevrenin sınırlarının 3 m civarındaki alan arka plan olarak nitelendirilir.

Çizelge 2.1 : Ofis çalışma alanlarında sağlanması gereken aydınlatma ölçütleri.

Çalışma Alanının Amacı	E_{ort}	UGR	U_o	R_a
Dosyalama, kopyalama	300	19	0,40	80
Yazma, okuma, veri işleme	500	19	0,60	80
Teknik çizim	750	16	0,70	80
CAD iş istasyonları	500	19	0,60	80
Konferans ve toplantı odaları	500	19	0,60	80
Giriş, danışma, resepsiyon	300	22	0,60	80
Arşiv	200	25	0,40	80



Şekil 2.1 : Çalışma alanını referans alarak yakın çevre ve arka planın gösterilişi.

Bir binanın aydınlatma tasarımı yapılırken armatürlerin yerleşimi ve özellikleri bu ölçütleri sağlayacak şekilde seçilmelidir. Ancak bu tez çalışmasında ana amaç aydınlık düzeyinin kontrolü olduğu için; standartlarca belirlenen diğer ölçütlerin kontrolü yapılmamıştır.

2.3 Çalışma Düzlemindeki Bir Noktanın Aydınlik Düzeyinin Hesaplanması

Işık kaynağı noktasal olarak kabul edilirse, ışık şiddeti yöntemi ile çalışma düzlemindeki bir noktanın aydınlık düzeyi hesaplanabilir. Işık şiddeti ile aydınlatma düzeyi arasındaki ilişki denklem 2.12'de verildiği gibidir.

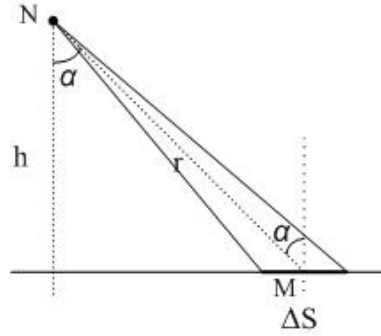
$$E = \frac{I_{\alpha}}{r^2} \cos \alpha \quad (2.12)$$

Şekil 2.2'deki gibi yerleştirilen N noktasal ışık kaynağının M noktasında oluşturacağı aydınlık düzeyi denklem 2.13 ile hesaplanır.

$$E = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cos^3 \alpha \quad (2.13)$$

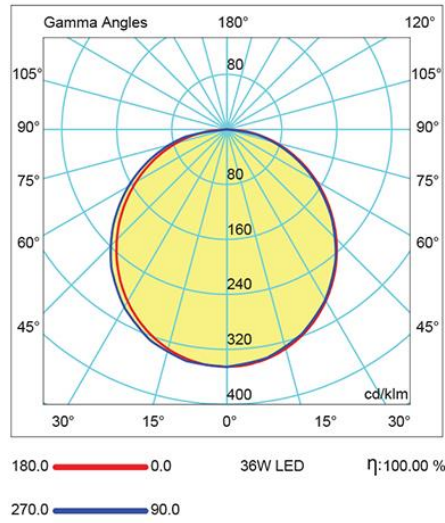
Her bir armatürün nokta üzerinde oluşturduğu aydınlatma düzeyi denklem 2.14'teki gibi hesaplanarak toplanırsa, o noktanın aydınlık düzeyi bulunur.

$$E_T = \sum_{j=1}^l \frac{I_{\alpha_j}}{h^2} \cos^3 \alpha_j \quad (2.14)$$



Şekil 2.2 : Noktasal ışık kaynağının M noktasına olan uzaklığı.

Denklem 2.13'te verilen I_{α} , armatürden M noktasına α doğrultusundaki ışık şiddetini, r ise doğrultunun uzunluğunu belirtmektedir. I_{α} 'nın sayısal değerinin yerleştirilebilmesi için, kullanılan armatürün NM doğrultusunu barındıran düzlemdeki ışık dağılım eğrisi kullanılmalıdır. Şekil 2.3'te örnek bir ışık dağılım eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.3 : Örnek bir ışık dağılım eğrisi: Pelsan Mioled panel için ışık dağılım eğrisi [9].

Denklem 2.13 basit gibi görünse de, her bir armatür için aydınlık düzeyi hesaplanacak nokta ile armatür arasındaki doğrultudaki ışık şiddetini bulmak her zaman kolay olmayabilir. Artık üreticiler armatürlerinin ışık dağılım eğrilerini, çoğu zaman 5-10°'lik aralıklı düzlemlere bölerek, IES, EULUMDAT ya da TM-14 formatında dosyalar olarak yayınlamaktadırlar. Bu sayede I_{α} 'nın bulunması

kolaylaşmıştır. Ancak, gerçek çalışma koşullarında, sıcaklık, optik yüzeylerde bozulma/kirlenme ve şebeke gerilimi gibi dış etkenlerden dolayı, çoğu zaman üreticilerin yayınladıkları ışık dağılım eğrileri ile gerçek değerler farklılık göstermektedir. Dolayısıyla kontrol çalışmalarında; armatürlerin farklı loşlaştırma oranlarındaki aydınlatma düzeyi doğrudan nokta üzerinde ve gerçek çalışma koşullarında lüksmetre ile ölçülerek gerekli kalibrasyonlar yapılmaktadır.

2.4 Ofisler İçin Aydınlatma Kontrolü

2.4.1 Aydınlatma düzeyi kontrolünün enerji tasarrufuna katkısı

Aydınlatma sistemlerinde kullanılan kontrol ve otomasyon yöntemlerinin enerji tasarrufuna katkısı herkes tarafından kabul edilse de bu katkının miktarı konusunda farklı iddialar bulunmaktadır. Tasarruf ölçümünün yapıldığı binalardaki çalışan yoğunluğu, yapay aydınlatmaya olan ihtiyaç, güneş ışığının çalışma alanına katkısı gibi etkenler olası tasarruf miktarını etkilemektedir. Dolayısıyla çalışma sonuçlarının farklılık göstermesi doğaldır. Literatürdeki çalışmalar katkının benzetim ya da doğrudan ölçüm yoluyla hesaplandığını göstermektedir.

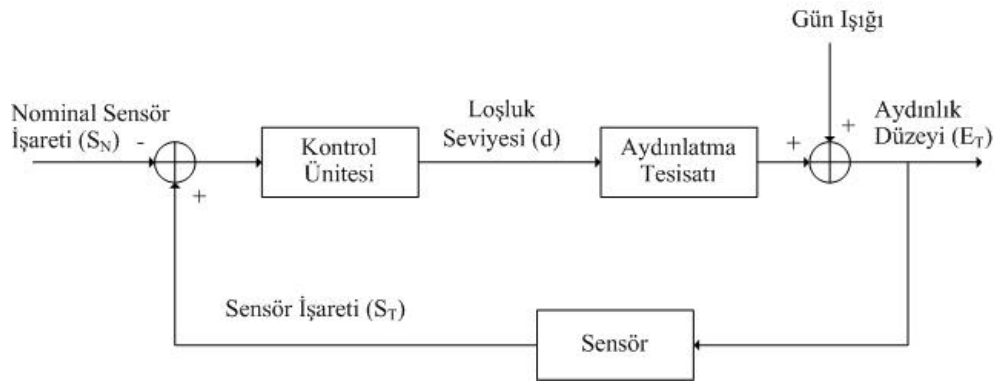
Varlık algılayıcıları ile yapılan bir çalışmada, el ile açma kapamaya kıyasla %20'ye varan tasarruf sağlanabildiği gösterilmiştir [10]. Aynı çalışmada gün ışığına bağlı kontrol sistemi kullanılarak %26'ya varan tasarruf oranları sağlanabileceği söylenmiştir. Knight'ın çalışmasına göre; floresan lambalı armatürlerde balast teknolojisinin yükseltilmesi ve fotosel yardımıyla her armatürün ayrı kontrol edilmesi sayesinde %91'e varan tasarruf sağlanabilmektedir [11]. Başka bir çalışmada, açık çevrim kontrol sistemi ve farklı jaluzi kontrol sistemleri denenerek %5'ten %45'e varan tasarruf elde edilebilmiştir [12]. Brekke ve Hansen, gün ışığına bağlı loşlaştırma yönteminden faydalanarak kuzeye bakan odalarda %20 ile %30 arasında, güneye bakan odalarda %30 ile %40 arasında tasarruf sağlanabildiğini göstermişlerdir [13]. Li ve diğ., bir ışık algılayıcı yardımıyla oluşturdukları aç/kapa kontrol sistemi sayesinde günlük 1,1 ile 1,7 kWh arasında tasarruf sağlayabilmişlerdir [14]. Bu veriden hareketle, yıllık tasarruf tahminleri %33'ü bulmaktadır. İstanbul'da yapılan başka bir çalışmada, kurulan test ofisinde gün ışığına duyarlı kontrol sisteminden faydalanılarak yıllık yaklaşık %30 tasarruf sağlanabileceğini gösterilmiştir [15]. Roisin ve diğ., gün ışığı benzetim değerleri ve gerçek armatür değerlerinden faydalanarak, Avrupa'da benzetimi yapılmış farklı

ofislerdeki üç kontrol sistemini, zamanlayıcı otomatik kapatma sistemiyle karşılaştırmışlardır [16]. Çalışmada gün ışığına duyarlı kontrol sistemi ile Atina'da güneye bakan bir ofiste %61 ile en çok, Stokholm'de kuzeye bakan bir ofiste %45 ile en az tasarruf miktarını sağlayabileceklerini hesaplamışlardır. Ayrıca bu kontrol sistemlerine varlık algılayıcıları ile açma/kapama kabiliyeti eklendiğinde tasarrufa %1 ile %4 arasında katkı sağlandığı görülmüştür. Fernandes ve diğ., 2014 yılında New York Times binasında yaptıkları çalışmada, DALI (İng. *Digital Addressable Lighting Interface*) sistemi üzerinden kurdukları gün ışığına duyarlı kontrol sistemi sayesinde, binanın farklı bölgelerinde %11 ilâ %31 tasarruf sağlamışlardır. Görgülü ve Ekren'in 2013'teki çalışmasında ise bulanık kontrolör yardımıyla yaklaşık %30 tasarruf sağlandığı söylenmektedir [17].

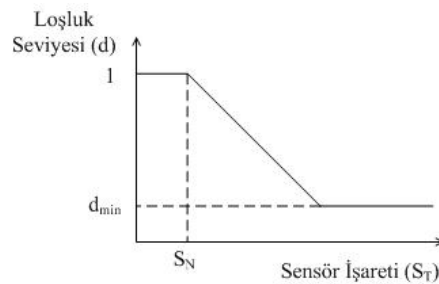
2.4.2 Literatürde karşılaşılan aydınlatma kontrol yöntemleri

Aydınlatma kontrol stratejileri anahtarlamalı kontrol ve loşlaştırmalı kontrol olmak üzere temel iki başlık altında incelenebilir. Anahtarlamalı kontrolde, çalışma saatlerine bağlı olarak belirlenmiş zaman dilimlerine göre armatürler otomatik olarak açılır ya da kapatılır. Buna ek olarak varlık algılayıcıları yardımıyla çalışma alanının kullanımında olmadığı zamanlarda armatürler otomatik olarak kapatılır ya da ayarlanmış minimum değerine kısılır. Anahtarlamalı kontrol stratejilerinde çalışma alanlarının aydınlık düzeyi kontrol edilmediğinden gün ışığından yararlanarak elde edilen tasarruf miktarı azdır. Loşlaştırmalı kontrolde ise çoğunlukla gün ışığının çalışma alanı üzerine yaptığı katkı hesaba katılarak, ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyi sağlanmak koşuluyla, armatürler loşlaştırılır (kısılır). Loşlaştırmalı kontrolün fayda sağlayabileceği bir durum daha vardır. Tüm armatür ve lambaların zaman içerisinde optik yüzeylerinin kirlenmesi, kimyasal performanslarının düşmesi gibi sebeplerden dolayı ışık akıları azalır. Çalışma alanının toz yoğunluğuna bağlı olarak odanın yansıtma değerleri de zaman içerisinde düşebilir. Bu sebepten dolayı, aydınlatma tasarımı yapılırken bir bakım faktörü belirlenerek, ilk kurulumda ihtiyaç duyulandan daha fazla aydınlık düzeyi sağlayacak değerlerde armatürler seçilir. Dolayısıyla loşlaştırmalı kontrol yöntemleri kullanılarak gereğinden fazla aydınlatılan bölgelerdeki armatürler kısılarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Zamanla kaybedilen ışık akısı, kontrol algoritması sayesinde loşlaştırma oranları değiştirilerek kompanze edilir. Bu sayede sabit aydınlık düzeyi sağlanmış olur.

Günümüzde loşlaştırmalı kontrolün aydınlatmada geleneksel kontrol yöntemi haline geldiği söylenebilir. Geleneksel aydınlatma kontrol yöntemlerini, üç gruba ayırmak mümkündür: tamamlayıcı sıfırlamalı (*Integral Reset*) kontrol, oransal açık çevrim kontrol ve oransal kapalı çevrim kontrol [18]. Tamamlayıcı sıfırlama yönteminde ışık algılayıcı, gün ışığının bulunmadığı saatlerde kalibre edilir. Normal çalışma saatlerinde, gün ışığı katkısıyla, ışık algılayıcı işareti kalibre edilen değerin üzerine çıktığında, armatür veya armatürler minimum değerine kısılarak, ışık algılayıcı işaretinin kalibre edildiği değere dönmesi sağlanır. Bu yöntem aç/kapa kontrol yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Oransal açık çevrim kontrol yönteminde, ışık algılayıcı sadece gün ışığı görecektir şekilde yerleştirilir. Bu kontrol yönteminde ışık algılayıcı işareti ile loşlaştırma oranı arasında doğrusal bir ilişki belirlenerek, algılanan gün ışığına oranlı bir şekilde armatür ya da armatürlerin kısılması sağlanır. Oransal kapalı çevrim kontrol yönteminde ise; ışık algılayıcı, gün ışığının bulunduğu ve bulunmadığı iki zaman diliminde de kalibre edilir. Bu iki kalibrasyon değeri arasında bir doğrusal ilişki kurularak, hem yapay hem de doğal aydınlık değerlerine orantılı şekilde armatür ya da armatürlerin kısılması sağlanır. Şekil 2.4'te oransal kapalı çevrim kontrole ilişkin blok diyagram ve Şekil 2.5'te algılayıcı işaretine göre kontrolör çıkışı verilmiştir.



Şekil 2.4 : Oransal kapalı çevrim kontrole ilişkin blok diyagram.



Şekil 2.5 : Oransal kapalı çevrim kontrolde kontrol işaretinin algılayıcı işaretine bağlı olarak değişimi.

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te:

S_N gün ışığı katkısı yokken, maksimum yapay aydınlatma altındaki algılayıcı işaretini,

S_T normal çalışma anındaki algılayıcı işaretini,

d kontrolörün çıkış olarak verdiği loşluk seviyesini,

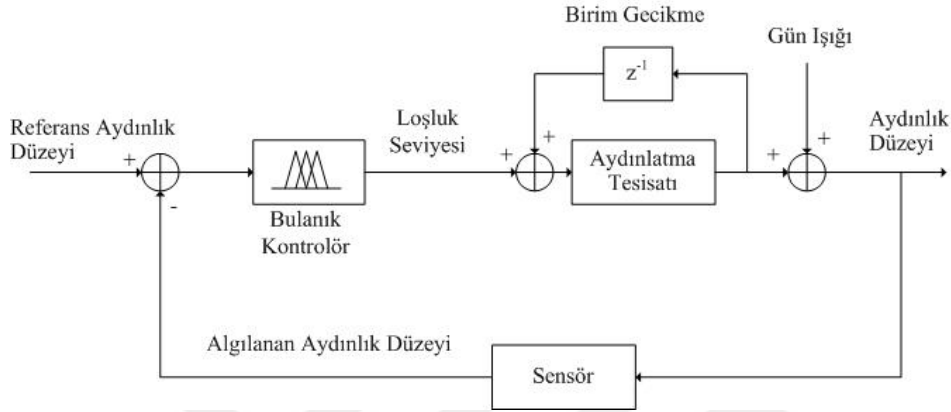
E_T normal çalışma anındaki aydınlık düzeyini

ifade eder.

Lee ve diğ., 1999'daki çalışmalarında, gün ışığının ve armatürlerin çalışma alanındaki aydınlık düzeyine yaptıkları katkı ile ışık algılayıcı işarete yaptıkları katkı arasında farklılıklar olduğunu farketmişlerdir [19]. Buradan hareketle, jaluzi yaprak açısı ile gün ışığının çalışma alanına ve ışık algılayıcısına katkısı arasında bağıntı kurarak daha gelişmiş bir kapalı çevrim oransal aydınlatma kontrolü önermişlerdir. Buna ek olarak 2011 yılındaki bir çalışmada, ışık algılayıcı işareti ile çalışma alanı üzerindeki aydınlatma düzeyi arasındaki ilişkinin, hava durumu ve güneşin konumuna bağlı olarak sürekli değiştiği iddia edilerek; algılayıcı işaretinin aylara bağlı olarak kalibre edilmesi önerilmiştir [20]. Başka bir deyişle, kontrolör katsayısının yılın aylarına bağlı olarak değiştiği yeni bir kapalı çevrim oransal kontrol yönteminin önerildiği söylenebilir.

Geleneksel kontrol yöntemlerine alternatif olarak; optimal, uyarlamalı, öngörülü ve bulanık kontrol yapıları da önerilmiştir. Çalışma ortamlarında sıcaklık, havalandırma, aydınlatma gibi değişkenler üzerinden çalışanların konforunun sağlanmasına yönelik yapılan araştırmalarda, optimal kontrolör tasarımının yapılabilmesi için binanın modelinin çıkarılması ihtiyacı doğmuştur [21-28]. Öngörülü kontrol üzerine yapılan çalışmalarda, olası bozucu davranışları da modellenerek kontrolör performansı artırılmıştır [29-32]. Kontrolör performansı dikkat çekici olsa da; modeli çıkarılacak sistemlerin karmaşıklığı, binadan binaya farklılık gösteriyor oluşu, doğrusal olmayan yapıda olmaları ve modellerin mevsim ve hava durumuna göre değişiyor olması, pratiklik açısından bu kontrol yöntemlerini sorgulanabilir kılmaktadır. Önerilen uyarlamalı kontrolörler sayesinde model değişikliklerinin kontrolör performansına olan olumsuz etkisinin giderilebildiği gösterilmiştir [33-36]. Ancak bahsedilen diğer nedenlerden dolayı; önerilen bu yöntemlerin hala gerçek sistemlerde uygulanabilir, pratik kontrol yöntemleri olduğunu söylemek zordur.

Aydınlatmaya yönelik alternatif kontrol yöntemi önerileri arasında, bulanık mantıktan faydalanan çalışmalar da mevcuttur [6,17,37-42]. Bu çalışmalarda; insanların aydınlatma sisteminden beklentilerini tahminlemede, algılayıcı verilerinin filtrelenmesinde ya da doğrudan kontrolörün kendisinde bulanık mantıktan faydalandığı görülmektedir. Şekil 2.6'da bulanık kontrolörlü aydınlatma sistemi için örnek blok diyagram verilmiştir.



Şekil 2.6 : Bulanık kontrolörlü aydınlatma sistemi için örnek blok diyagram.

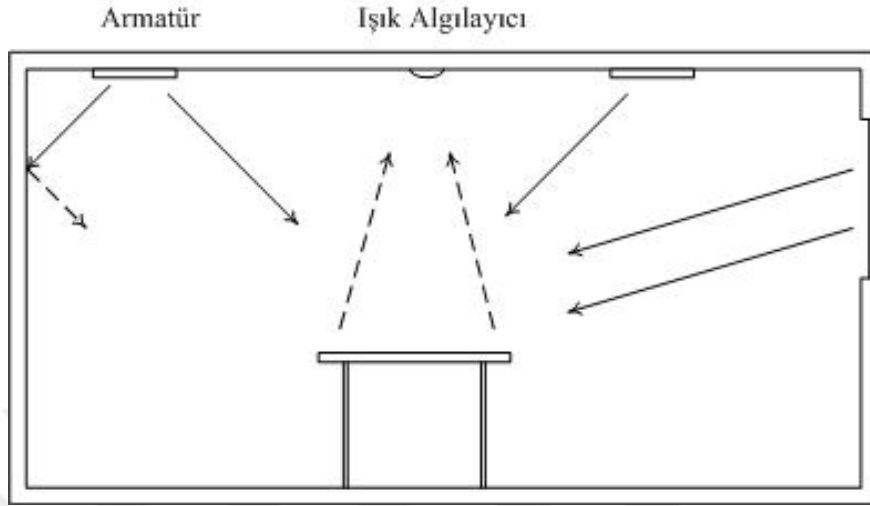
Son yıllarda yapay aydınlatmanın insan sirkadyan sistemine etkisi düşünülerek, ışık renginin ve şiddetinin gün içerisinde ne olması gerektiğine yönelik çalışmalar göze çarpmaktadır. Rea ve Figuerio'nun çalışması buna örnek gösterilebilir [43]. Aydınlatma düzeyi ve renginin kontrolüne yönelik çalışmalar da mevcuttur [44].

2.4.3 Aydınlatma kontrolünde algılayıcının yeri

Aydınlatma kontrolünde çoğunlukla kullanılmakta olan algılayıcılar; varlık algılayıcılar, gün ışığı algılayıcıları ve diğer ışık algılayıcıları olarak gruplandırılabilir. Işık algılayıcı olarak çoğunlukla fotosellerin kullanıldığı görülmektedir. Röleli fotosellerde, önceden ayarlanan ölçüm değerine ulaşıldığında röle açma ya da kapama görevini yerine getirir. Analog fotosellerde ise ölçülen ışık şiddetine oranla fotoselin çıkışındaki voltaj değişir. Bazı algılayıcılarda ışığı toplamak için fiber-optik kablolar kullanılır. Fiber-optik kabloların uçları ölçümün yapılması gereken konumlara yerleştirilir. Bu sayede algılayıcı, armatüre ya da kontrol birimine entegre şekilde üretilebilir.

Geleneksel aydınlatma kontrolünde algılayıcılar Şekil 2.7'de gösterildiği gibi tavana yerleştirilir. Rubinstein, algılayıcıların çalışma alanına yerleştirilmesinin daha doğru olduğunu; ancak çalışanların algılayıcıların görüş açısını engelleme ihtimali, tavanda

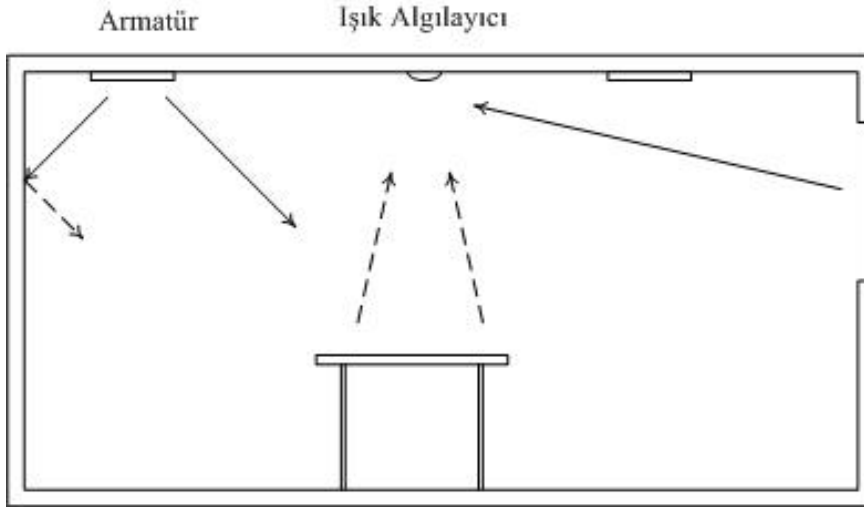
bulunan armatürlere çalışma alanından kablo çekmenin zorlu ve maliyeti oluşu, kurulacak sistemin düşük maliyetli ve kalibrasyonunun kolay olması gerektiği gibi nedenlerden dolayı tavana yerleştirilmesi gerektiğini söylemiştir [18].



Şekil 2.7 : Geleneksel aydınlatma kontrolünde tavana yerleştirilmiş algılayıcı örneği.

Algılayıcının tavana yerleştirilmesiyle birlikte aslında doğrudan çalışma alanının aydınlatma düzeyinin ölçülmesi yerine, çalışma alanından yansıyan ışık şiddeti ölçülerek aydınlatma düzeyi ile algılayıcı işareti arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu varsayımı yapılmaktadır. Çalışma alanı dışından yansıyan ışık bu ilişkiyi bozacağı için, algılayıcının doğrudan ve sadece çalışma alanını görecektir şekilde ışık geçirmeyen malzeme ile kaplanması gerekmektedir. Yine de Şekil 2.8'de gösterildiği gibi gün ışığının doğrudan algılayıcıya vurması durumunda bu ilişki bozulabilir. Özellikle doğarken ve batarken güneşin eğik açıda konumlandığı düşünülürse, bu durum son derece olasıdır. Bu durumda oluşacak hataları önlemek için CEC (California Energy Commission), algılayıcı yerleşiminde aşağıdaki iki temel kuralı önermiştir [45]:

- Sensör, pencereden pencere ile duvar arasındaki uzaklığın üçte ikisi kadar uzaklıkta yerleştirilmelidir.
- Sensör, armatürlerden çıkan ışığı doğrudan görmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Endirekt (armatürler yukarı yarı uzaya bakacak şekilde yerleştirilmiş) aydınlatma yapılıyorsa, genellikle sensör armatürlerden daha alçakta ve yere bakacak şekilde hizalandığında bu koşul sağlanmış olur.



Şekil 2.8 : Gün ışığının algılayıcıya doğrudan vurduğu durum.

Çalışma alanında bulunan nesnelerin tahmin edilenin dışında bir yansıtma katsayısına sahip olması durumunda da aydınlatma düzeyine ilişkin tavandan yapılan ölçümlerde yanılma olabilir. Örneğin çalışma alanındaki bir beyaz kağıt 500 lx düzeyindeki bir aydınlatmaya maruz kaldığında algılayıcıdan görülen parlaklık 130 - 150 cd/m^2 olarak okunur. Eğer, aynı koşullarda, çalışma alanında geri dönüştürülmüş kağıt kullanılırsa okunan değer 90 - 100 cd/m^2 aralığında olacaktır [46]. CITRIS (Center for Information Technology Research in the Interest of Society) seminerinde Papamichael bu duruma ilişkin birkaç örnek vermiştir [47]. Örneklerden biri büyük bir mağazada yaşanmıştır. Mağazaya yapılan kurulum iki gün boyunca test edilmiş ve beklenen sonuçları vermiştir. Ancak, mağaza açılışının yapıldığı gün kutlama amaçlı bırakılan balonlar algılayıcıya yaklaşıncaya balonlardan yansıyan ışık, algılayıcıyı yanıltmıştır. Sensörlerden, çalışma alanında gereğinden fazla aydınlatma düzeyi olduğu bilgisi gelince kontrolör tüm yapay aydınlamaları kapatmış ve mağazadaki aydınlatma düzeyi istenen düzeyin çok altında kalmıştır. Buna çözüm olarak, sadece güneş ışığını gören ayrı bir algılayıcı eklemiş ve kontrol algoritmasını iki algılayıcının verilerini karşılaştıracak şekilde değiştirmişlerdir. Bu sayede sistem performansını %13,1'den¹ %62'ye çıkarabilmişlerdir.

Kablosuz sensör ağları ve nesnelerin interneti (İng. *IoT: Internet of Things*) teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla, ışık algılayıcıların çalışma yüzeyine yerleştirilmesi daha pratik hale gelmiş ve bu alandaki çalışmaların sayısı artmıştır. Wen ve Agogino

¹ Toplam zamanın sadece %13,1'inde istenen aydınlatma düzeyi %10'luk bir dilimin içinde sağlanabilmiş anlamına gelmektedir.

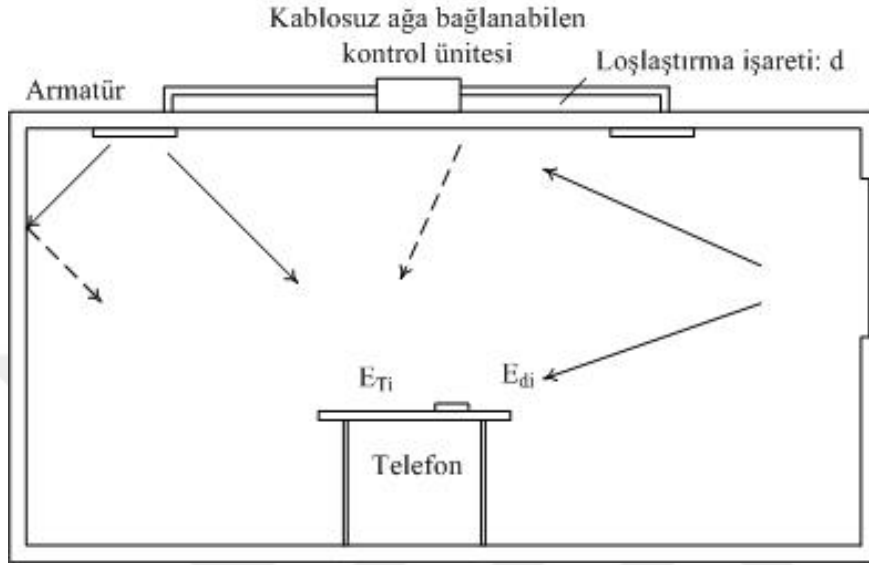
2011'deki çalışmalarında, açık ofis ortamında, çalışma alanına yerleştirilen kablosuz algılayıcılar yardımıyla çalışma alanlarının aydınlık seviyelerini ölçmüşlerdir [48]. Lee ve diğ., çalışma yüzeyinin çalışanın konumuna göre değiştiğini, her bir armatürün bu değişen çalışma alanlarındaki aydınlatma düzeyine katkısını ölçmek için armatürlerin teker teker kapatılıp açılması gerektiğini ve bu durumun çalışanlar için rahatsız edici bir durum olduğunu söylemişlerdir [49]. Bu sorunu, armatürlere ve çalışma alanındaki algılayıcıya kızılötesi alıcı-verici ekleyerek çözmüşlerdir. Çalışanın konumu değiştiğinde kızılötesi vericileri kapatıp açarak kalibrasyon yenilenmekte; dolayısıyla her bir armatürün çalışma alanına olan katkısı bilinmektedir. Başka bir çalışmada ise, aynı odadaki birden fazla çalışma alanına yerleştirilmiş algılayıcılar ile aydınlık düzeyi kontrolü yapıldığı görülmektedir [50].

Son yıllarda, alışlagelmiş ışık algılayıcılara alternatif olarak, çalışma alanına yerleştirilen kameralar yardımıyla aydınlık düzeyinin ölçüldüğü çalışmalar da görülmektedir [51-53]. Ancak, bu çalışmalarda önerilen yöntemler sadece laboratuvar koşullarında test edilmiştir. Bu yöntemlerin gerçek uygulamalarda başarılı bir şekilde çalışabilmesi için kameraların üzerinde ortam şartlarına uygun bir difüzör bulunmalı, kullanılan kameranın poz değeri, objektif hızı (enstantane) ve odak uzaklığı gibi değerlerinin yazılım tarafından kontrol edilebilmesi gerekmektedir. Sparks, çalışmasında bu koşulların sağlanabileceği akıllı telefonlar üretildiği takdirde gerçek lüksmetrelerin yerine geçebilecek telefon uygulamalarının geliştirilebileceğini söylemiştir [54].

2.5 Önerilen Yöntem

Günümüzde, neredeyse herkes cebinde düşük kapasiteli bir bilgisayar ve kablosuz sensör noktası görevi görebilecek nitelikte en az bir cep telefonu taşımaktadır. Bu akıllı telefonlarda ekran parlaklığının otomatik olarak ayarlanabilmesi için mutlaka bir ortam ışığı algılayıcısı (İng. *ambient light sensor*) bulunmaktadır. Bu algılayıcı, aynı zamanda, çalışma alanı üzerinde bir noktaya koyulduğunda çalışma alanındaki aydınlatma düzeyi hakkında fikir verebilir. Aydınlatma düzeyine yönelik alınan ölçümler, telefonun bağlı olduğu kablosuz ağ üzerinden bir kontrol ünitesine gönderilerek; kontrol ünitesinde çalışan kontrolörün belirleyeceği armatür loşlaştırma oranları armatürlere elektrik sinyali olarak gönderilebilir (Şekil 2.9). Kontrolör, istenen aydınlık düzeyini sağlarken armatürlerin toplam gücünü minimize edecek

şekilde tasarlanırsa ofis aydınlatmasının temel amaçları sağlanırken enerji tasarrufu elde edilebilecektir. Bu yöntem sayesinde hem ışık algılayıcıların tavanda olduğu sistemlerin olumsuz yanları bertaraf edilecek, hem de çalışma alanlarına ayrı sensör yerleştirilmesine gerek kalmayacağı için kurulum maliyetleri düşecektir.



Şekil 2.9 : Akıllı telefon ışık algılayıcısının kullanıldığı durumda aydınlatma kontrolü konsepti.

Bir ofis ortamındaki çalışma alanına ait bir noktanın aydınlatma düzeyi, gün ışığı ve her bir armatürün katkısı düşünülerek denklem 2.15'te verildiği gibi gösterilebilir.

$$E_{T_i} = E_{d_i} + \sum_{j=1}^l a_{i,j} d_j, j = 1 \dots l \quad (2.15)$$

Burada:

E_{T_i} çalışma alanındaki i noktasının toplam aydınlatma düzeyini,

E_{d_i} gün ışığının i noktası üzerindeki aydınlatma düzeyine katkısını,

d_j j armatürünün loşlaştırma oranını 0 ile 100 arasında bir değer olarak,

$a_{i,j}$ j armatürünün i noktası üzerindeki aydınlatma düzeyine katkı katsayısını,

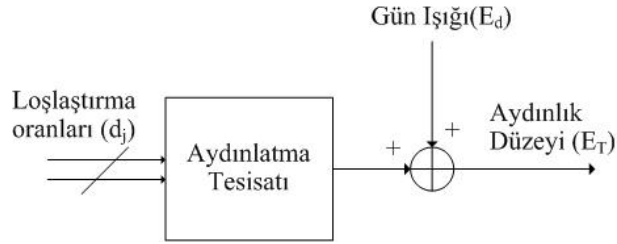
l odadaki toplam armatür sayısını

ifade etmektedir.

Denklem 2.15'i temel alan çalışmalarda şimdiye kadar, PSO (İng. *Particle Swarm Optimization*) ya da genetik algoritmalar tabanlı optimizasyon yöntemleriyle,

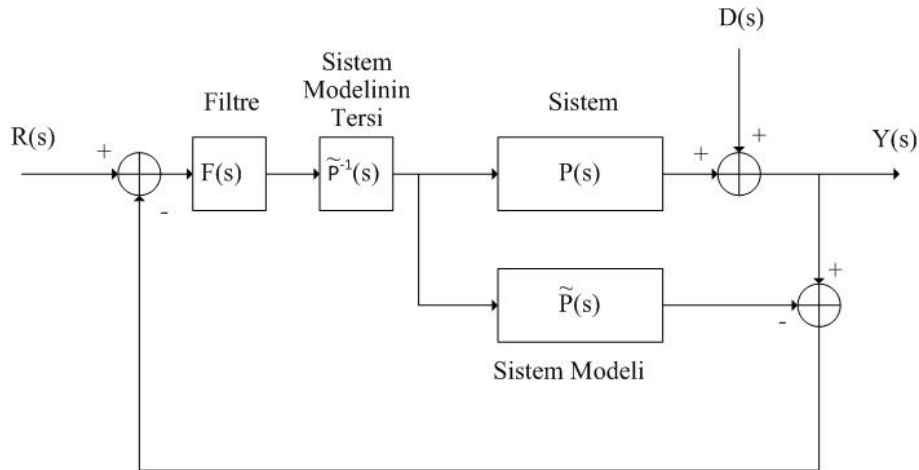
loşlaştırma oranlarının toplamını minimize eden çözümler sunulmuştur [55-59]. Ancak bu çalışmalarda bir kontrol yapısına dair öneriye rastlanmamaktadır.

Denklem 2.15'te $\sum_{j=1}^l a_{i,j}d_j$ ile ifade edilen kısım kontrol edilecek sistem, E_{d_i} sistem çıkışına gelen bozucu, E_{T_i} de sistem çıkışı olarak kabul edilirse; sistemin açık çevrim blok diyagramı Şekil 2.10'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.10 : Aydınlatma sisteminin açık çevrim blok diyagramı.

Böyle bir sistem iç model kontrol yöntemi ile kontrol edilebilir. Şekil 2.11'de örnek diyagramı verilen iç model kontrol yöntemine göre, iç model kontrol yapısının oluşturulabilmesi için kontrol edilecek sistemin ve sistem tersinin kararlı olması gerekir. Aydınlatma sistemleri doğası gereği tüm sınırlı girişlere karşılık sınırlı çıkış verdiği için kararlıdır. Ancak Şekil 2.10'daki çok girişli tek çıkışlı sistemin tersinin sonsuz çözümü vardır. Bu çözümler arasından, hatayı ve toplam armatür gücünü en küçük yapan çözüm (optimal çözüm) seçildiği takdirde hedeflenen kontrol performansına ulaşılır. Bu ise bir optimizasyon problemidir.



Şekil 2.11 : İç model kontrol yapısına örnek bir blok diyagramı.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen optimizasyon probleminin çözümünde BP-BÇ (Büyük Patlama Büyük Çöküş) yönteminin kullanılması önerilmektedir. BP-BÇ optimizasyon yöntemi, sahip olduğu yüksek yakınsama hızı ve düşük hesaplama

zamanı sayesinde genetik algoritmaların dezavantajlarının üstesinden gelmektedir [60]. BP-BÇ algoritmasının aydınlatma sistemine uyarlanması özetle şu şekilde olacaktır:

1. Adım (Büyük Patlama Aşaması)

Her bir armatürün loşlaştırma oranına karşılık gelecek N 'er adet birey, başlangıç popülasyonu olarak, arama uzayının içinde kalacak şekilde oluşturulur. Arama uzayı 0 ile 100 arasındadır. Popülasyon, armatür sayısı (l) kadar elemanı olan gruplara bölünür.

2. Adım

Her bir grup aday çözüm olarak düşünülerek, her birinin amaç fonksiyonu değeri hesaplanır.

3. Adım (Büyük Çöküş Aşaması)

En iyi çözümü veren grup elit bireyler (ağırlık merkezi) olarak kabul edilir.

4. Adım

Elit bireyler etrafında yeni bireyler oluşturulur. Yeni bireyler oluşturulurken normal dağılıma bağlı kalınacak şekilde rastgele sayılar elit bireylerden eklenir ya da çıkartılır. Her 5 yinelemede (iterasyon) bir arama uzayı yarısına küçülecek şekilde, yineleme sayısı arttıkça rastgele sayıların büyüklüğü azaltılır.

5. Adım

Maksimum yineleme sayısına ulaşılan kadar 2. adıma geri dönülür.

Bu optimizasyon probleminde, amaç fonksiyonu iki şekilde oluşturulabilir. Amaç fonksiyonu, denklem 2.16'daki şekilde oluşturulduğunda, optimizasyon algoritması, hem hatayı hem de toplam güç miktarını atanan w_1 ve w_2 katsayılarına bağlı olacak şekilde minimize etmeye çalışacaktır. Bu durumda standartlarca belirlenen aydınlık düzeyinin altında, ama çalışanların performansını olumsuz yönde etkilemeyecek miktarda bir aydınlık düzeyi sağlanabilir. Bu sayede enerji tasarrufu arttırılmış olur. Aydınlık düzeyinin standartlarca belirlenen aydınlık düzeyinden az olmaması tercih edilirse, denklem 2.17'deki kısıt kullanılarak amaç fonksiyonu denklem 2.18'deki şekilde seçilir. Ancak yöntemde, referans aydınlık düzeyi armatürler ve gün ışığının sağlayabileceğinden daha yüksek seçilirse çözümsüzlük de karşılaşılabılır.

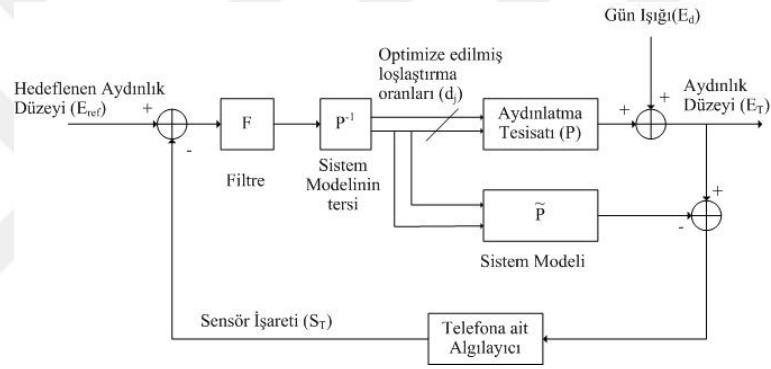
$$J_1 = w_1 \sum (E_{ref} - E_T)^2 + w_2 \sum d^2 \quad (2.16)$$

$$E_T \geq E_{ref} \quad (2.17)$$

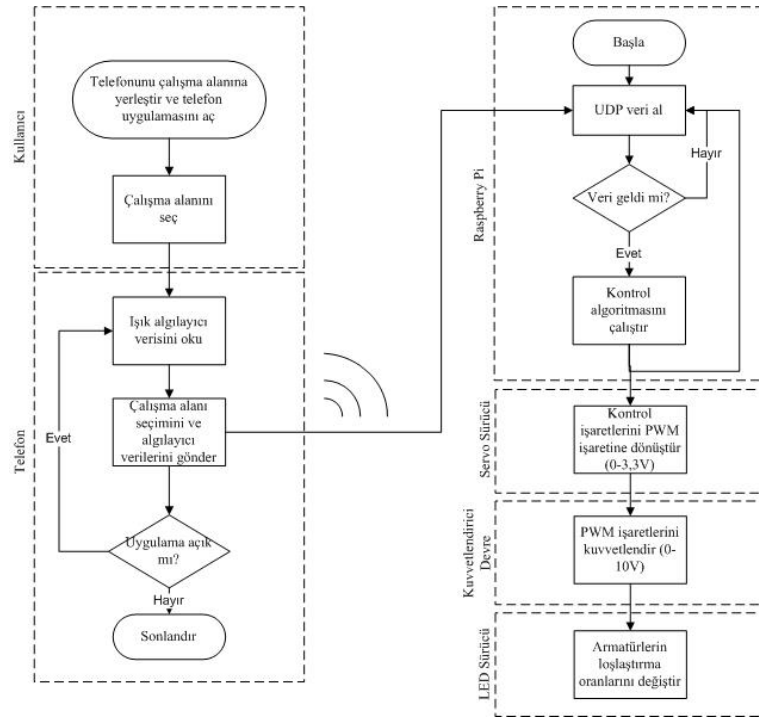
$$J_2 = \sum d^2 \quad (2.18)$$

Şekil 2.12'de önerilen kontrol yapısının blok diyagramı görülebilir. Ani ışık değişimleri çalışanlar açısından rahatsız edici olacağı için bu kontrol yapısında geçişleri yumuşatmak için filtre kullanılabilir.

Önerilen yöntemin bütün olarak görülebilmesi adına Şekil 2.13'te önerilen yöntemin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.12 : Önerilen kontrol yapısının blok diyagramı.

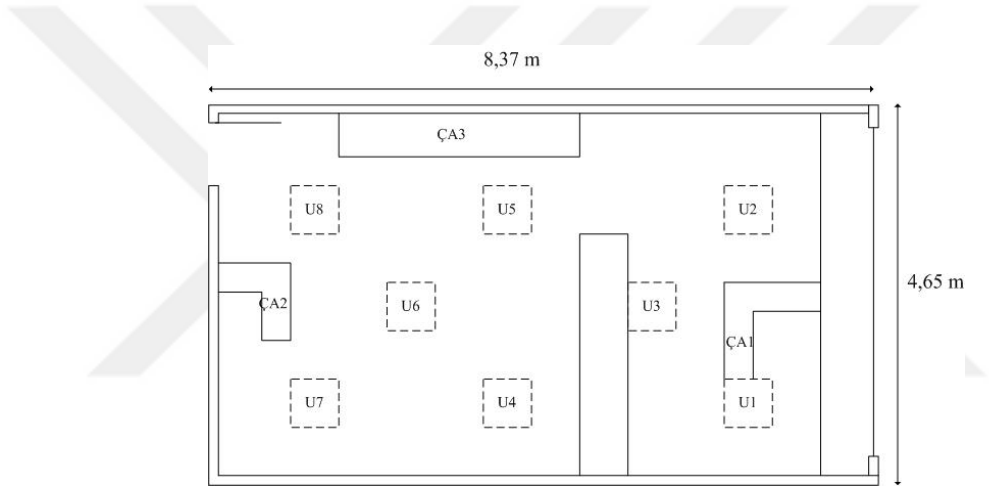


Şekil 2.13 : Önerilen yöntemin akış diyagramı.



3. UYGULAMA

Önerilen yöntemin uygulama ve testleri BESTAŞ Elektronik firmasının Ar-Ge ofisinde gerçekleştirilmiştir. Ofisin GPS koordinatları 40.925883, 29.155195 olup, pencerelerinin bulunduğu cephesi güney doğuya yöneliktir. Oda, yaklaşık olarak 4,65 m x 8,37 m boyutlarındadır. Şekil 3.1'de odanın krokisi, Şekil 3.2'de odanın genel görünümü, Şekil 3.3'te ise odanın dış cephesi verilmiştir. Şekil 3.1'de ÇA, çalışma alanını; U, armatürü simgelemektedir. Bu çalışmada sadece ÇA1 üzerinde ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Uygulama odasının krokisi.



Şekil 3.2 : Uygulama odasının genel görünümü.

Ofiste kullanılan armatürler BESTAŞ firmasının üretimi, BST-PNL-D-5500K-42W-6060 model numaralı LED'li panel armatürleridir. Armatürlerin ışık akısı tam güçte yaklaşık 3300 lm'dir. Armatürler çalışma alanlarında ihtiyaç duyulan 500 lx aydınlatma düzeyini sağlayabilmektedir. Ancak armatürlerdeki sürücüler loşlaştırmaya uygun olmadığı için loşlaştırılabilir sürücülerle değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.3 : Uygulama odasının güneş gören cephesinin dışarıdan görünümü.

3.1 Donanım

Önerilen yöntemin uygulanabilmesi için kablosuz ağa bağlanabilen ve ışık algılayıcı barındıran bir akıllı telefon, kablosuz ağa bağlanabilen ve kontrol algoritmasını çalıştıracak bir mikroişlemci, armatürlerin loşlaştırılmasını sağlayacak ve mikroişlemciyle haberleşebilecek güç kontrol devresi gerekmektedir. MATLAB Simulink donanımsal destek paketi sayesinde, Simulink'te hazırlanan kontrol bloklarının rahatlıkla çalıştırılabilir olmasından dolayı, mikroişlemci yerine küçük bir bilgisayar olarak tanımlanabilecek Raspberry Pi 2 Model B geliştirme platformu tercih edilmiştir. Armatürlerin loşlaştırılabilir hale getirilmesi için Meanwell firmasının LCM-40-DA sürücüleri kullanılmıştır. Sürücüler ile Raspberry Pi

arasındaki iletişimi sağlamak adına Adafruit firmasının 16 kanallı servo sürücüsü ve bu servo sürücüsünden çıkacak işaretleri kuvvetlendirmek amacıyla işaret kuvvetlendirici devre kullanılmıştır.

3.1.1 Raspberry pi

Şekil 3.4'te genel görünümü verilen Raspberry Pi, açık kaynak Linux işletim sistemi tabanlı bir prototipleme platformu ya da başka bir deyişle geliştirme platformudur. Bir masaüstü bilgisayarın yapabileceklerini cebe sığabilecek boyutta bir elektronik karta sığdırabildiği için, piyasaya ilk sürüldüğü tarihten itibaren geliştiricilerin gözde platformu olmuştur. Raspberry Pi, Raspbian isimli modifiye edilmiş bir Linux işletim sistemi ile çalışmaktadır. Raspberry Pi'nin maliyetinin düşük olmasının sebeplerinden biri de bu işletim sisteminin açık kaynak olmasıdır. Açık kaynak bir sistem olması, dünyanın birçok farklı yerinden birçok farklı koşullar için iyileştirilmiş versiyonlarının geliştirilmesine olanak tanımıştır. MATLAB Simulink donanım desteğinin geliştirilmesi de bu sayede olmuştur.

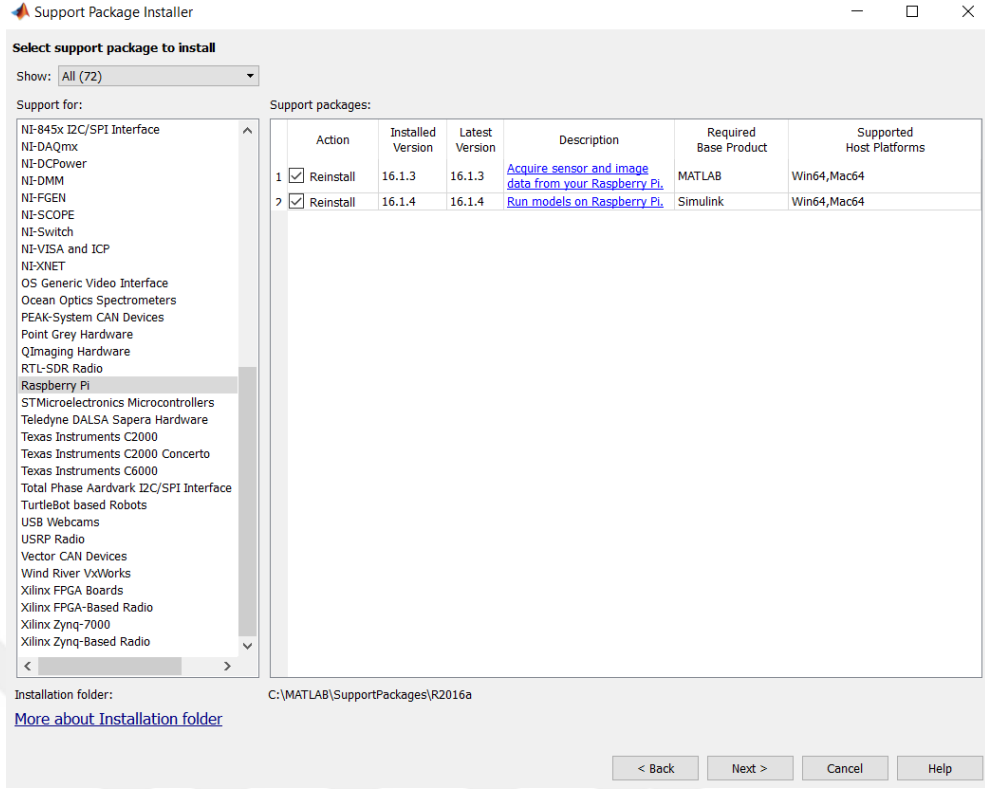


Şekil 3.4 : Raspberry 2 Model B görünümü.

Bu çalışmada Raspberry 2 Model B versiyonu kullanılmıştır. Bu versiyonun özellikleri aşağıdaki verildiği gibidir:

- 900MHz, dört çekirdekli ARM Cortex-A7 işlemci
- 1 GB RAM
- 4 USB portu
- 40 adet giriş ya da çıkış olarak ayarlanabilen pin
- Ekran bağlantısı için HDMI portu
- Ethernet portu
- Hoparlör bağlantısı için 3,5 mm ses çıkışı
- Kamera arayüzü
- Ekran arayüzü
- Micro SD kart yuvası
- VideoCore IV, 3 boyutlu grafik işlemcisi

MATLAB Simulink'te Raspberry donanımsal desteğinin aktif hale getirilmesi için öncelikle MATLAB üst menüsünden 'Add-Ons' başlığı altında 'Get Hardware Support Packages' seçeneği tıklanmalıdır. Bunun ardından 'Install from internet', 'Download from internet', 'Install from folder', 'Uninstall' seçeneklerinden biri seçilerek 'Next' tuşuna basılmalıdır. Bu basamakta eğer profil girişi yapılmadıysa, yazılım mathworks kullanıcı adı ve parolasını sorar. Eğer mathworks üzerinde kullanıcı oluşturulmadıysa bu menüden kolayca oluşturulabilir. Profil girişinin ardından Şekil 3.5'teki gibi, ekranı sol kısmından 'Raspberry Pi' seçilir. Bu seçimin ardından ekranın sağ kısmında iki seçenek çıkar. Birinci seçenek, 'Acquire sensor and image data from your Raspberry Pi' seçeneği, MATLAB üzerinden Raspberry Pi ile SSH bağlantısı kurulmasını, komut ve dosyaların aktarımını sağlayan kaynak kodları ve diğer paketleri yükler. İkinci seçenek, 'Run models on Raspberry Pi' seçeneği, ise Simulink üzerinde oluşturulan blokların derlenip Raspberry Pi üzerinde çalışabilecek makina koduna çevrilmesini sağlayacak kaynak kodları ve diğer paketleri yükler. İki seçenek de seçilip ileri tuşuna basıldıktan sonra paketlerin kurulumuna geçilir. Kurulum aşamasında MATLAB'ın komutlarını takip etmek yeterlidir.



Şekil 3.5 : MATLAB donanım paketi yükleme ekranı.

Kurulum sırasında Raspberry Pi'nin işletim sistemi, modifiye edilmiş bir Raspbian Wheezy Linux işletim sistemiyle değiştirildiği için, kurulumun ardından Raspberry'nin kontrolü sadece Linux terminali üzerinden yapılabilir. Linux terminal ekranının aktif hale getirilebilmesi için öncelikle kullanıcı adı ve parolanın girilmesi gerekmektedir. Eğer kullanıcı ayarları değiştirilmediyse, fabrika ayarlarında kullanıcı adı 'pi', parola 'raspberry'dir. Bu aşamada karşılaşılan ilk sorun, işletim sisteminde klavye ayarının İngilizce'ye ayarlı olmasından kaynaklanmıştır. Bu sorunu çözmek için terminalde aşağıdaki komutu girmek gerekir:

```
sudo dpkg-reconfigure keyboard-layout
```

Komutun girilmesiyle Şekil 3.6'daki ekrandan kullanılmakta olan klavye modelinde en yakın olan model seçilir.

Raspbian işletim sisteminin kullanımında karşılaşılan ikinci sorun, Raspberry'nin kablosuz ağa bağlantısında olmuştur. Bağlantının sağlanabilmesi için aşağıdaki komut girilir:

```
sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
```



Şekil 3.6 : Raspbian klayve ayar ekranı.

Açılan dosyanın en alt kısmına şu satırlar, kablosuz ağ adı ve parolası girilerek eklenir:

```
network= {    ssid = "Ağ adı"  
            psk = "Ağ parolası" }
```

CTRL+X tuşlarına basılır ve değişiklikler kaydedilerek dosyadan çıkılır. Bu aşamadan sonra Raspberry Pi kablosuz ağa bağlanabilir ancak MATLAB ile haberleşmenin yapılabilmesi için Raspberry Pi'ye sabit IP atanması gerekmektedir. Bunun için, terminale aşağıdaki komut girilir:

```
Sudo nano /etc/network/interfaces
```

Açılan dosyada ilgili kısımlar aşağıdaki şekilde değiştirilir:

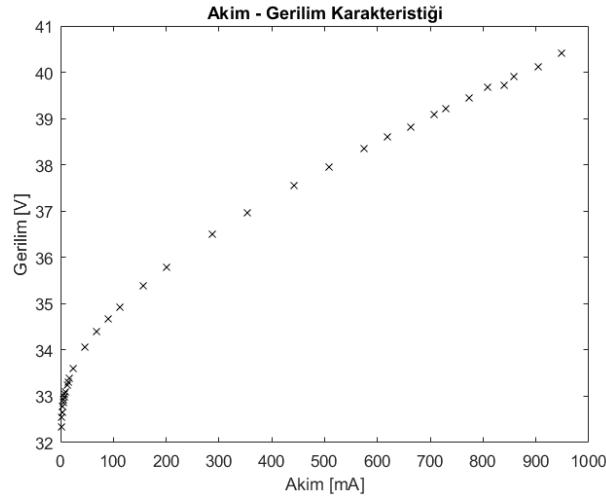
```
iface wlan0 inet manual  
wpa-roam /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf  
iface home inet static  
address 192.168.YYY.XXX  
netmask 255.255.255.0  
gateway 192.168.YYY.ZZZ
```

Burada YYY.ZZZ kısmına ofisin kablosuz ağ modemine adresi yazılır. Kablosuz ağ modemine adresi windows bilgisayarlarda system32 komut satırından 'ipconfig' komutu girilerek öğrenilebilir. YYY.XXX kısmına modemine adresinden ilgili parça (YYY) ve Raspberry Pi'ye atanmak istenen sabit ip numarası (0 - 255 arasında) yazılmalıdır. Sabit IP adres seçilirken ağa bağlı diğer cihazların adresleriyle çakışma yaşanmamasına dikkat edilmelidir.

Bu aşamaların ardından Raspberry Pi, MATLAB'den gelecek komutları uygulayabilir hale gelmiştir.

3.1.2 Loşlaştırılabilir sürücü seçimi

Loşlaştırılabilir sürücü seçiminin yapılabilmesi için öncelikle armatürün elektriksel karakteristiklerinin incelenmesi gerekir. Nominal çalışma koşullarında armatürde kullanılan LED'lerin 950 mA sabit akımla sürüldüğü, ürün dokümanlarından bilinmektedir. Armatüre güç kaynağından sırasıyla 0 - 950 mA arasında sabit akım verilerek farklı loşlaştırma oranlarındaki akım-gerilim ilişkisi incelenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Kullanılan armatürün akım-gerilim karakteristiği.

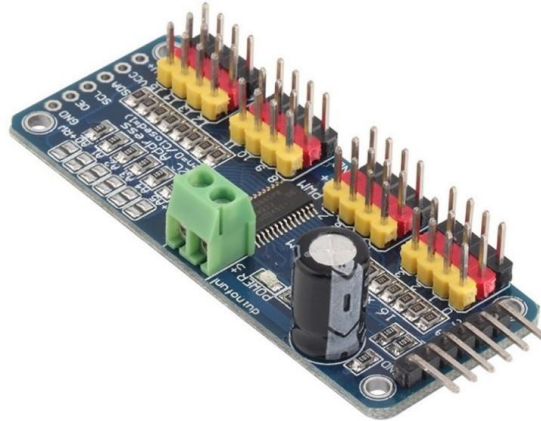
İncelemenin sonucunda, armatürlerin 0 - 950 mA çalışma aralığının tamamında kırpışma (İng. *flicker*) yapmadan loşlaştırılabildiği ve 950 mA akımda 40,4 V gerilime ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Dolayısıyla, 0 - 950 mA aralığında akım, 0 - 40,4 V aralığında gerilim çıkışı verebilen en az 40W gücünde loşlaştırılabilir özellikte bir sürücünün ihtiyacı karşılayacağı anlaşılmıştır. 1 - 10 V, PWM (Darbe genişlik modülasyonu, ing. *Pulse Width Modulation*) girişleriye ve DALI arayüzüyle

loşlaştırılabilir özellikte olmasından dolayı Meanwell firmasının LCM-40-DA sürücüleri kullanılmıştır.

3.1.3 PWM işaretinin oluşturulması

Her bir armatürün ayrı değerlerde loşlaştırılabilmesi için ve test odasında 8 adet armatür bulunmasından dolayı Raspberry Pi'den 8 adet PWM çıkışı alınması gerekmiştir. Normal şartlar altında işletim sistemi barındırmayan herhangi bir mikrokontrolörde donanımsal zamanlayıcılar yardımıyla, yazılım ile bu işaretleri oluşturmak mümkündür. Ancak Raspberry Pi, işletim sistemiyle çalışan bir platform olduğundan, yazılımsal PWM (İng. *Soft PWM*) çıkışı istenen performansı sağlayamamıştır. İşletim sistemi aynı anda birden fazla görevi denetlediğinden (İng. *multitasking*) yazılımsal PWM işaretinin frekansında kaymalara neden olmuştur. Bu da armatürlerde kırışmaya neden olmuştur.

Çözüm olarak, Şekil 3.8'de görüntüsü verilen, Adafruit firmasının 16 kanallı servo sürücüsü kullanılmıştır. Bu sürücü devre, üzerinde PCA9685 çipini barındırmaktadır. PCA9685 çipi, I^2C haberleşme protokolü ile haberleşebilen, çalışma doluluğu oranı (İng. *duty cycle*) 12 bit çözünürlükle %0'dan %100'e kadar ayarlanabilen bir PWM kontrol çipidir. İşaret frekansı 24 Hz ile 1526 Hz arasında seçilebilmektedir.



Şekil 3.8 : Adafruit firmasının 16 kanallı servo sürücüsü.

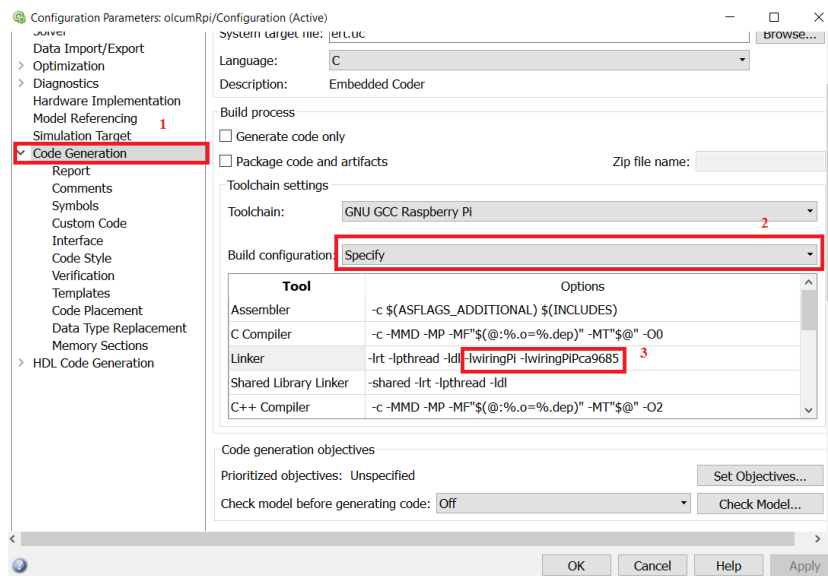
Raspberry Pi'nin I^2C protokolü ile diğer cihazlarla haberleşebilmesi için pek çok kaynak kod bulunabilir. Ancak, Simulink üzerinden I^2C haberleşmesi yapılabilmesi için donanımsal destek paketinde bu işi yapabilecek blok bulunmamaktadır. Bu gibi durumlar için MATLAB'in önerisi, sürücü bloklarının (İng. *Device Driver Block*) kullanıcı tarafından oluşturulmasıdır. Sürücü blokları, hedef cihazda derlenip

çalıştırılabilecek kaynak kodları bulunduran ve aynı zamanda Simulink'teki benzetimin işleyişine ayak uyduracak şekilde giriş/çıkış portları ve durum değişkenlerini barındıran (İng. *state parameters*) sistem fonksiyon bloğudur (İng. *s-function block*). Sürücü bloklarının oluşturulması için MATLAB'ın kendi kılavuzlarından yardım alınabilir [61]. Ancak bu kılavuzlarda bahsedilmeyen önemli bir konu vardır. Sürücü bloklarında kullanılacak kütüphanelerin cihaza yüklenmesi ve bu kütüphanelerin bağlayıcılarının (İng. *linker*) MATLAB kod üreticisine (İng. *code generator*) tanıtılması gerekir.

Bu çalışmada, PCA9685 çipinden 8 ayrı PWM işareti çıkartabilmek için, Raspberry Pi'den I²C protokolü ile PCA9685'e gerekli komutları gönderen, iki girişli bir sürücü bloğu oluşturulmuştur. Birinci giriş, her bir çıkış kanalının çalışma doluluğu oranını 0 ile 100 arasında sayı olarak barındıran 8 elemanlı bir vektördür. İkinci giriş ise tek elemanlıdır. 0 ile 100 arasında bir sayı verilerek tüm çıkış kanalları aynı çalışma doluluğu oranına ayarlanabilir. İkinci girişe negatif bir değer girilmediği sürece blok birinci girişini devre dışı bırakır.

Sürücü bloğu oluşturulurken 'wiringPi' ve 'pca9685' kütüphanelerinden faydalanılmıştır [62,63]. Bu kütüphanelerin bağlayıcıları Şekil 3.9'da gösterildiği gibi; 'Code Generation' sekmesindeki 'Build Configuration' seçeneklerinden 'Specify' seçilerek, 'Linker' satırına şu satır eklenerek tanıtılır:

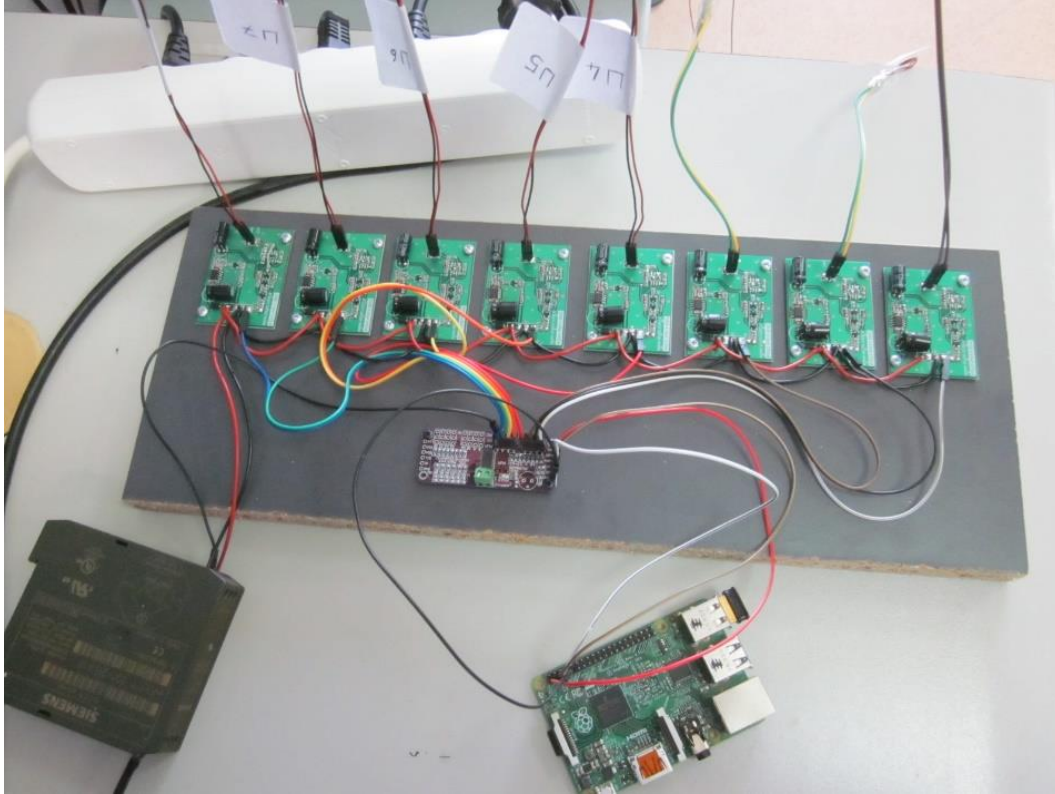
-lwiringPi -lwiringPiPca9685



Şekil 3.9 : Kütüphane bağlayıcılarının MATLAB kod üreticisine tanıtılması.

Servo sürücünün çıkışları mikroişlemci gerilimi seviyesinde olduğu için, PWM işaretlerinin kuvvetlendirilmesi gerekmiştir. 0 - 3,3 V arasındaki işaret, 0 - 10 V arasındaki değere kuvvetlendirilmiştir. Kuvvetlendirme için Şekil 3.11'deki devre şeması gerçekleştirilip, kullanılmıştır.

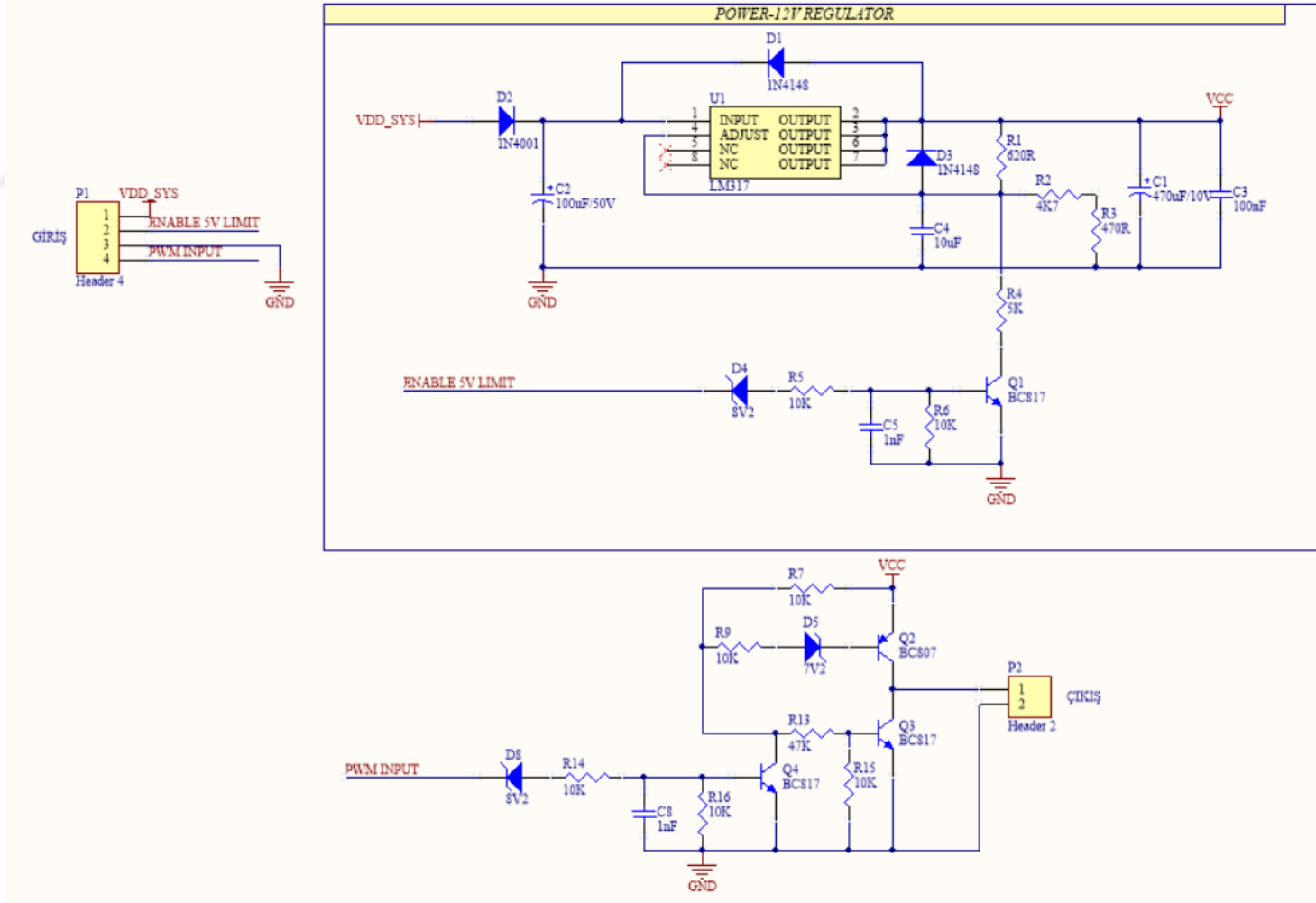
Son olarak, kablo bağlantılarının yapılarak sisteme besleme verilmiştir. Donanımın son halinin görüntüsü Şekil 3.10'da verilmiştir.



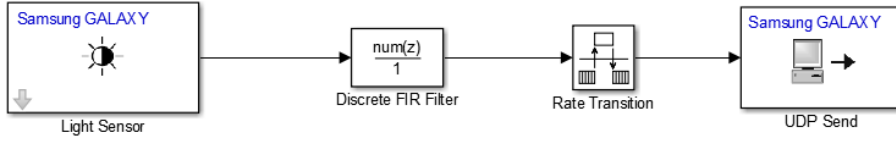
Şekil 3.10 : Donanımın son halinin görüntüsü.

3.1.4 Telefon ışık sensörü

Bu çalışmada Samsung firmasının 'Galaxy S4 mini' modeli bir telefon kullanılmıştır. Sensör verilerinin okunup Raspberry Pi'ye gönderilmesi için bir telefon uygulamasının geliştirilmesi gerekmiştir. Telefon uygulamasının geliştirilmesinde, Android tabanlı 'Galaxy serisi telefonlar için Simulink donanımsal destek paketi'nden faydalanılmıştır. Simulink'te Şekil 3.12'deki diyagram oluşturulmuştur. Oluşturulan diyagrama göre 100 ms periyodla telefonun ışık algılayıcısından ölçüm alınarak ortalama alma filtresinden geçirilmekte, 500ms'lik periyodlarla filtrelenmiş veri UDP (*User Datagram Protocol*) protokolü ile kablosuz ağ üzerinden Raspberry Pi'ye gönderilmektedir.



Şekil 3.11 : Kuvvetlendirici devre şeması.



Şekil 3.12 : Telefonda çalışan simulink diyagramı.

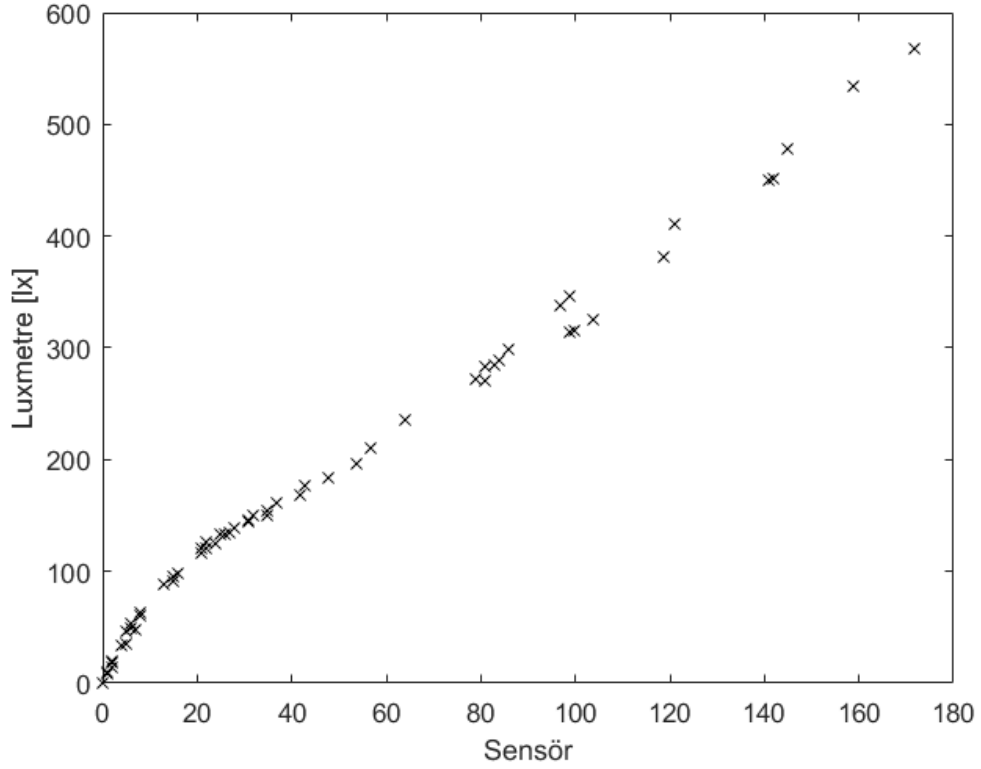
Literatürdeki bazı çalışmalar telefonlara ait ışık algılayıcıların lüksmetreler kadar başarılı ve tutarlı ölçüm yapamadığını iddia etmektedir [64]. Ölçümdeki başarı oranını, dolayısıyla kontrol performansını arttırmak için; uygulamanın yapıldığı ofisteki her bir armatürün tüm loşlaştırma oranlarındaki aydınlatma düzeyi katkısının lüksmetre ölçümleri ve bunlara karşılık gelen telefona ait ışık algılayıcı ölçümleri karşılaştırılmıştır. Şekil 3.13'te lüksmetre ve telefonun ölçüm yapılırken buldukları konumlar verilmiştir.



Şekil 3.13 : Lüksmetre ve telefonun ÇA1 noktasına yerleşimi.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde, ışık algılayıcı davranışının ışığın geldiği açıya bağlı olarak değiştiği ve ölçüm sonuçlarının aynı koşullar altında hep aynı olduğu görülmüştür. Ancak ışık açısı ile algılayıcı verisi arasındaki ilişki modellenememiştir. Bunun yerine her bir armatürün loşlaştırma oranı ile buna bağlı ışık algılayıcı verisi arasındaki ilişki, parçalı fonksiyonlar halinde ifade edilerek; ışık algılayıcı için doğrusal olmayan bir model elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları EK A.1'de verilmiştir. Ölçümlerden elde edilen doğrusal olmayan model EK A.2'de verilmiştir.

Gün ışığının dahil edildiği ölçümlerde ışık algılayıcı davranışının değiştiği gözlemlenmiştir. Algılayıcının gün ışığı yanıtlarının ölçülmesi için armatürlerin tamamı kapalıyken, farklı hava durumu ve farklı saatlerde gün ışığının ÇA1 noktasındaki aydınlatma düzeyine katkısı ölçülmüştür. Bu ölçümlerin lüksmetre ve telefondaki görünen değerleri karşılaştırılarak Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14 : Çeşitli gün ışığı koşullarında telefona ait ışık algılayıcı ve buna karşılık gelen lüksmetre ölçümleri.

Şekil 3.14'teki ölçüm sonuçları, algılayıcının gün ışığına olan yanıtının armatür ışığındaki kadar tutarlı olmadığını göstermiştir. Denklem 3.1, ölçümlerden elde edilen modeli göstermektedir.

$$E_{d_{Tahmin}}(S_T - S_{Tahmin}) = \begin{cases} (S_T - S_{Tahmin}); (S_T - S_{Tahmin}) < 0 \\ 0; 0 \leq (S_T - S_{Tahmin}) < 1 \\ 7,4801 \cdot (S_T - S_{Tahmin}) + 1,4767; 1 \leq (S_T - S_{Tahmin}) < 8 \\ 4,1103 \cdot (S_T - S_{Tahmin}) + 31,532; 8 \leq (S_T - S_{Tahmin}) < 21 \\ 2,52 \cdot (S_T - S_{Tahmin}) + 66,015; 21 \leq (S_T - S_{Tahmin}) < 64 \\ 3,0984 \cdot (S_T - S_{Tahmin}) + 24,3; (S_T - S_{Tahmin}) > 64 \end{cases} \quad (3.2)$$

3.2 Önerilen Optimal Kontrol Yönteminin Uygulamaya Geçirilmesi

EK A.1'deki ölçüm sonuçları göstermiştir ki, armatürlerin ÇA1 üzerindeki aydınlık düzeyi katkısı ile loşlaştırma oranları arasındaki ilişki doğrusal değildir. En küçük kareler yöntemiyle eğri uydurularak her bir armatürün loşlaştırma oranı ile ÇA1 üzerindeki aydınlık düzeyine katkısı arasındaki ilişki dördüncü mertebeden polinomlar cinsinden ifade edilmiştir. Aşağıdaki denklemlerde bulunan polinomlar verilmiştir.

$$g_{1,1}(d_1) = -2,6515 \cdot 10^{-6} d_1^4 + 6,0703 \cdot 10^{-4} d_1^3 - 0,0526 \cdot d_1^2 + 4,5364 \cdot d_1 + 0,9231 \quad (3.2)$$

$$g_{1,2}(d_2) = -1,1946 \cdot 10^{-6} d_2^4 + 2,6904 \cdot 10^{-4} d_2^3 - 0,0222 \cdot d_2^2 + 1,5958 \cdot d_2 + 0,2727 \quad (3.3)$$

$$g_{1,3}(d_3) = -2,2145 \cdot 10^{-6} d_3^4 + 4,9534 \cdot 10^{-4} d_3^3 - 0,0411 \cdot d_3^2 + 3,1505 \cdot d_3 + 0,8601 \quad (3.4)$$

$$g_{1,4}(d_4) = -3,4965 \cdot 10^{-7} d_4^4 + 8,6247 \cdot 10^{-5} d_4^3 - 0,0082 \cdot d_4^2 + 0,7390 \cdot d_4 + 0,0909 \quad (3.5)$$

$$g_{1,5}(d_5) = -2,6224 \cdot 10^{-7} d_5^4 + 6,0023 \cdot 10^{-5} d_5^3 - 0,0055 \cdot d_5^2 + 0,4868 \cdot d_5 + 0,1748 \quad (3.6)$$

$$g_{1,6}(d_6) = -1,9522 \cdot 10^{-7} d_6^4 + 4,7766 \cdot 10^{-5} d_6^3 - 0,0042 \cdot d_6^2 + 0,2831 \cdot d_6 + 0,0958 \quad (3.7)$$

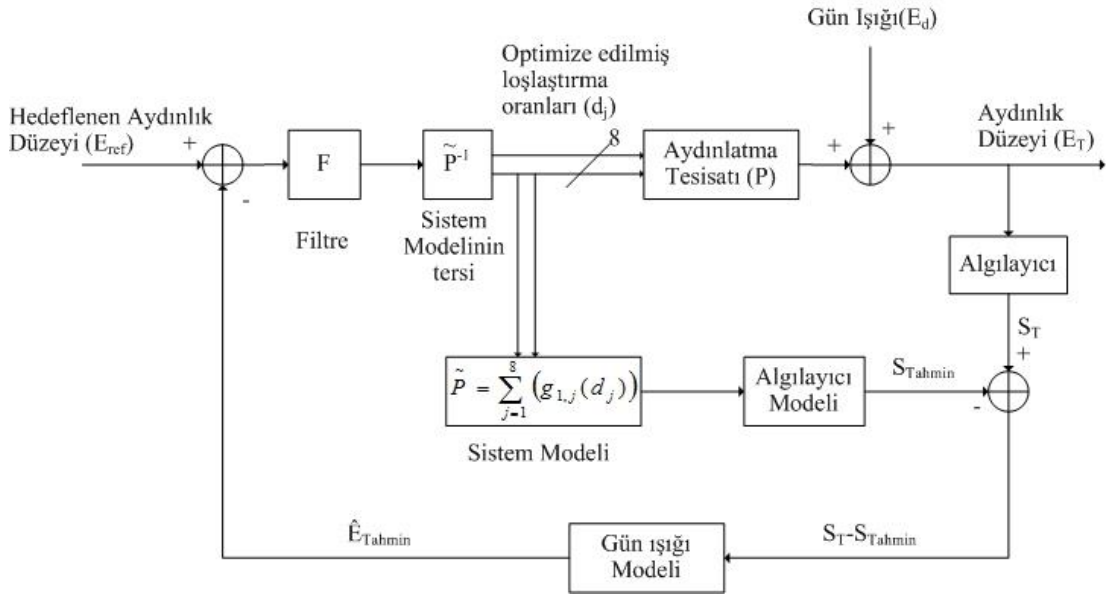
$$g_{1,7}(d_7) = -1,6026 \cdot 10^{-7} d_7^4 + 3,8170 \cdot 10^{-5} d_7^3 - 0,0032 \cdot d_7^2 + 0,1846 \cdot d_7 + 0,0692 \quad (3.8)$$

$$g_{1,8}(d_8) = -9,3240 \cdot 10^{-8} d_8^4 + 2,3543 \cdot 10^{-5} d_8^3 - 0,0022 \cdot d_8^2 + 0,1528 \cdot d_8 + 0,0503 \quad (3.9)$$

Bu durumda, denklem 2.15'te verilen eşitlik, denklem 3.10'daki gibi doğrusal olmayan hale gelmektedir.

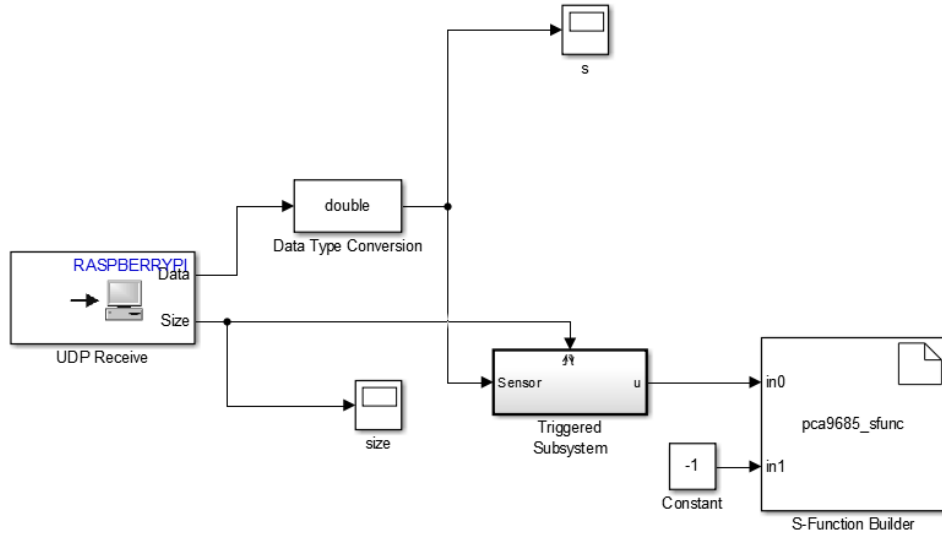
$$E_{T_i} = E_{d_i} + \sum_{j=1}^l g_{i,j}(d_j), j=1 \dots l \quad (3.10)$$

Algılayıcı modelinin oluşturulmasıyla kontrol yapısı Şekil 3.15'teki hali almıştır.



Şekil 3.15 : Modeller tamamlandıktan sonraki sistem blok diyagramı.

Telefon ile Raspberry Pi arasında senkronizasyonun sağlanabilmesi için ana kontrol yapısı tetiklemeli alt sistem (İng. *triggered subsystem*) bloğunda çalıştırılmaktadır. Bu sayede her yeni veri geldiğinde tetiklemeli alt sistem bloğu bir çevrim çalışmaktadır. Şekil 3.16'da üst yapının Simulink diyagramı verilmiştir.

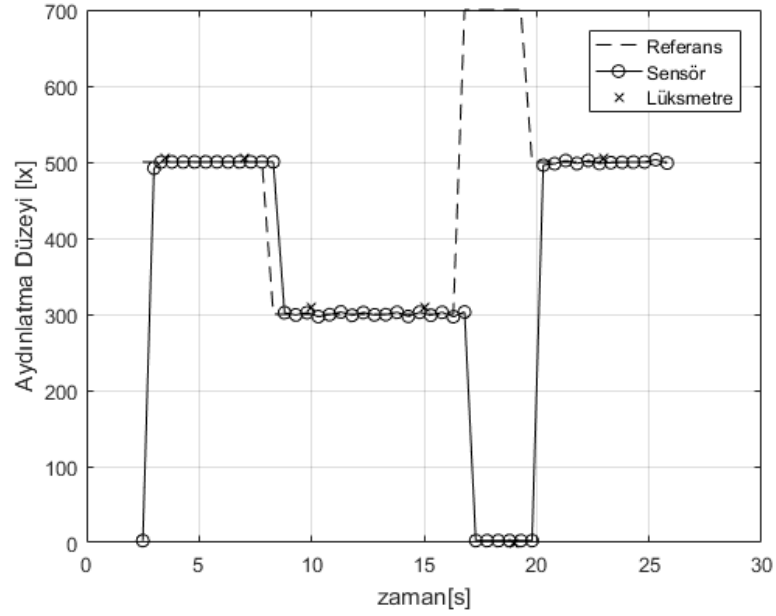


Şekil 3.16 : Tetiklemeli yapının Simulink diyagramı.

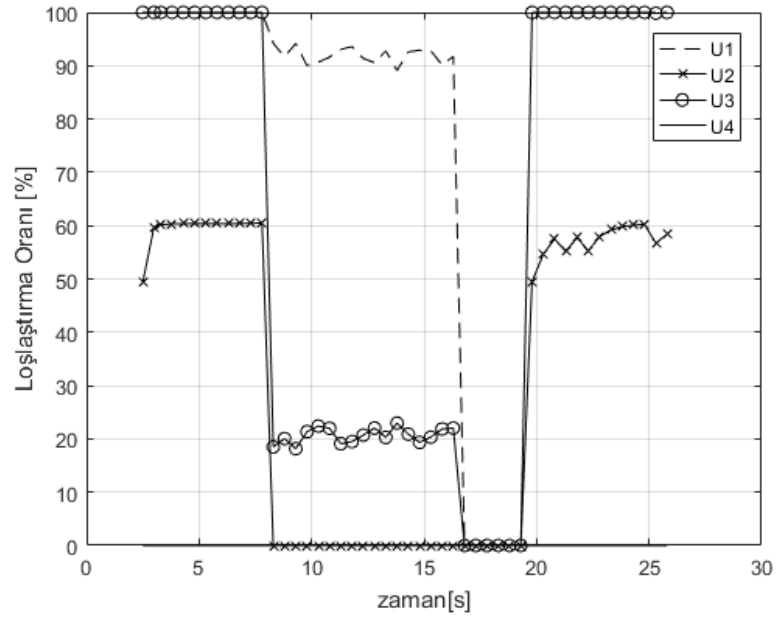
Şekil 3.17'de Simulink'te oluşturulan tetiklemeli alt sistem diyagramı verilmiştir. Simulinkte yazılan kodlar EK B'de verilmiştir. Bu diyagramdaki optimizasyon bloğu değiştirilerek kısıtlamalı ya da kısıtsız optimizasyon yöntemlerinden biri kullanılabilir. BP-BÇ algoritmasında N 300, maksimum yineleme sayısı 100 seçilmiştir. J_1 amaç fonksiyonundaki w_1 katsayısı 7, w_2 katsayısı 2 seçilmiştir.

3.3 Ölçüm Sonuçları

Yapılan testlerde gün ışığının olmadığı koşullarda önerilen yöntemin son derece başarılı sonuç verdiği görülmüştür. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da kısıtlanmalı optimal kontrol yöntemi için sistem yanıtı ve kontrol işaretleri görülmektedir. Tahmin edildiği gibi referans 700 lx'e çekildiğinde optimizasyon algoritması kısıtı sağlayan bir çözüm bulamadığı için tüm armatürler kapanmıştır.

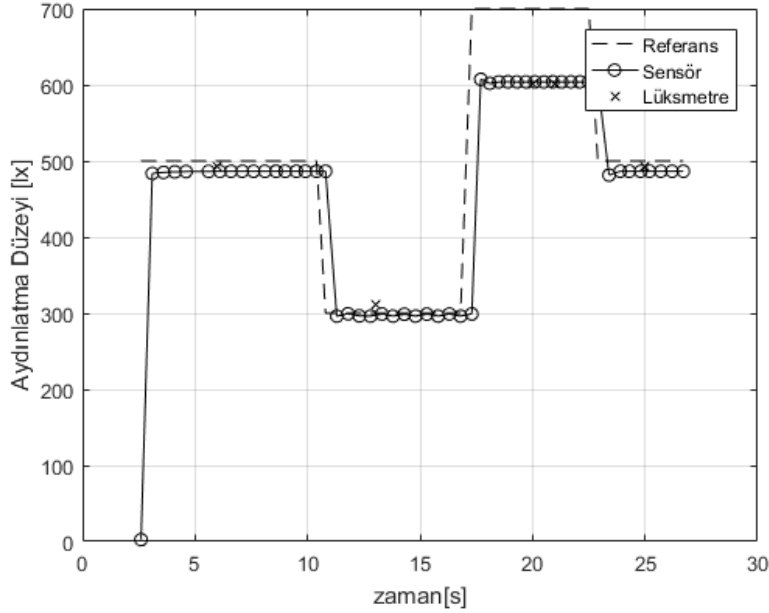


Şekil 3.18 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtlanmalı optimal kontrol sistem yanıtı.

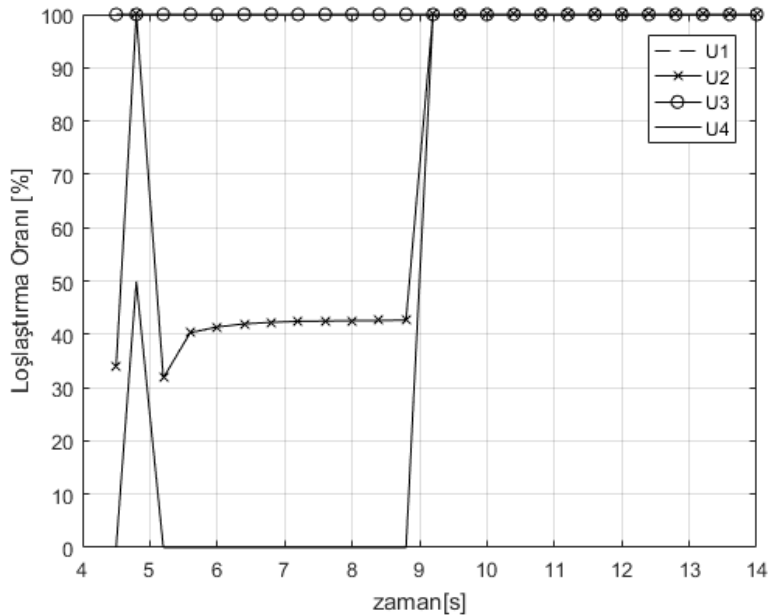


Şekil 3.19 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtlanmalı optimal kontrol işaretleri.

Aynı koşullar için Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de kısıtsız optimal kontrol yöntemi için sistem yanıtı ve kontrol işaretleri görülmektedir. Beklendiği gibi aydınlık düzeyi referansın çok az bir miktar altında kalmaktadır. Referans 700 lx'e çekildiğinde kontrolör tüm armatürleri maksimum güce ayarlamış, ancak armatürlerin ışık akısı yeterli olmadığı için sistem yanıtı 600 lx civarında sabitlenmiştir.



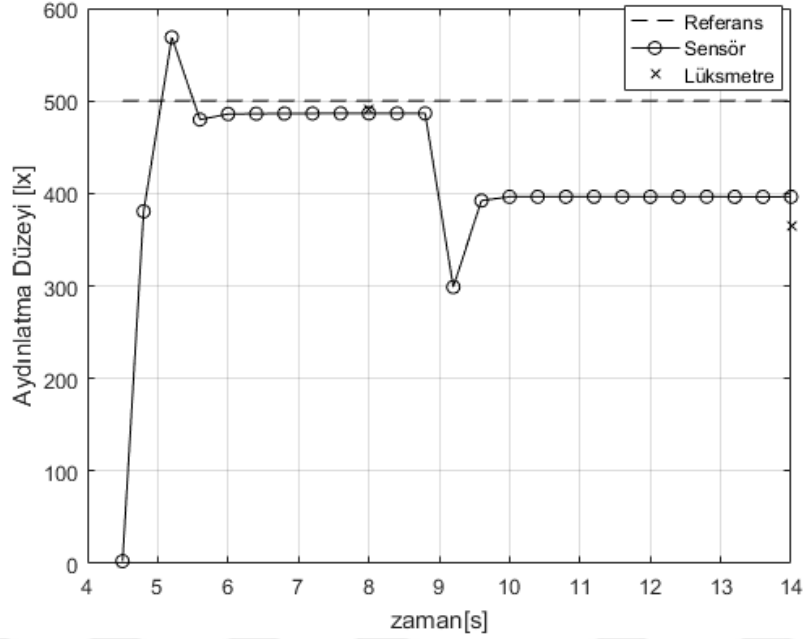
Şekil 3.20 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtsız optimal kontrol sistem yanıtı.



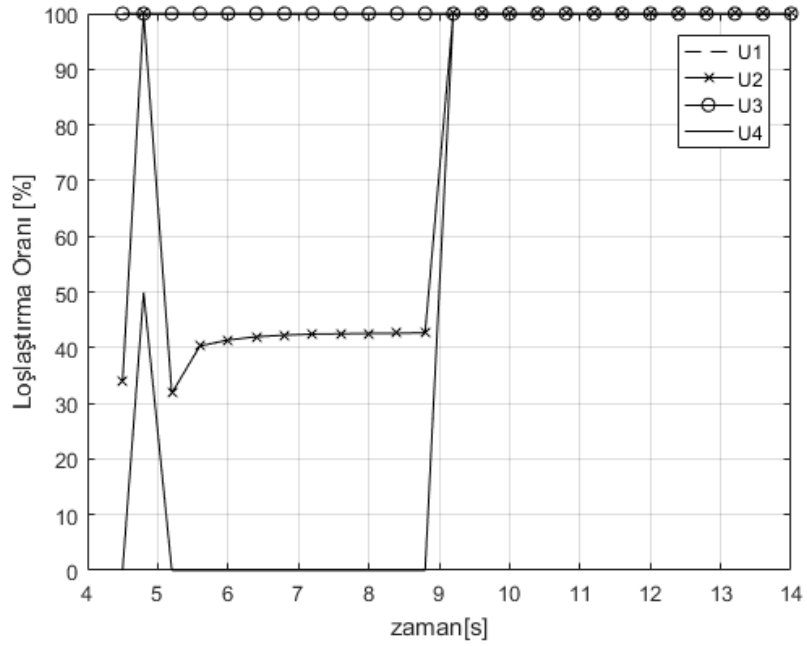
Şekil 3.21 : Gün ışığının olmadığı durumda kısıtsız optimal kontrol işaretleri.

Armatür arızası senaryosundaki kontrolör performansının incelenmesi için U_3 , U_4 ve U_5 armatürlerinin beslemesi kapatılarak yapay arıza durumu oluşturulmuştur. Bu

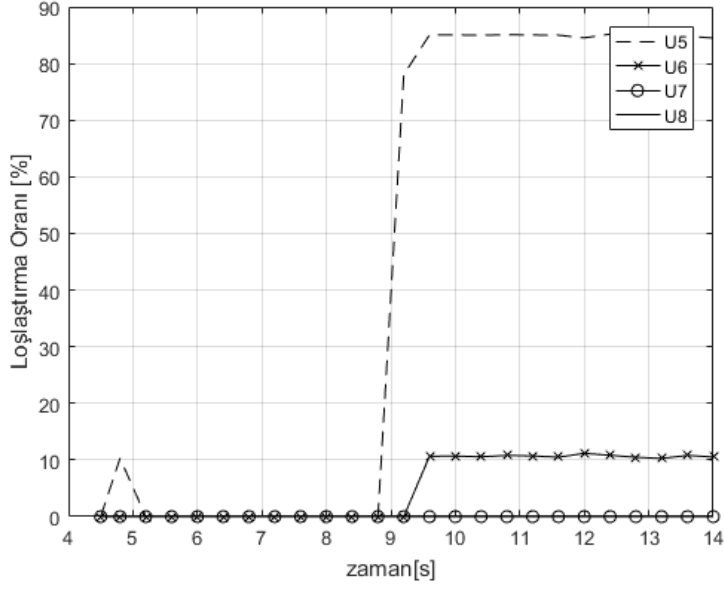
durum için sistem yanıtı ve kontrol işaretleri Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te verilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, 9. saniyeden hemen önce yapay arıza durumu başlatılmıştır. Ani aydınlatma düşüşünü karşılamak için kontrolör bütün kontrol işaretlerini maksimuma çekmiş; fakat armatürler kapalı olduğu için sistem yanıtı ancak 400 lx'e sabitlenebilmiştir.



Şekil 3.22 : Armatür arızası durumunda sistem yanıtı.

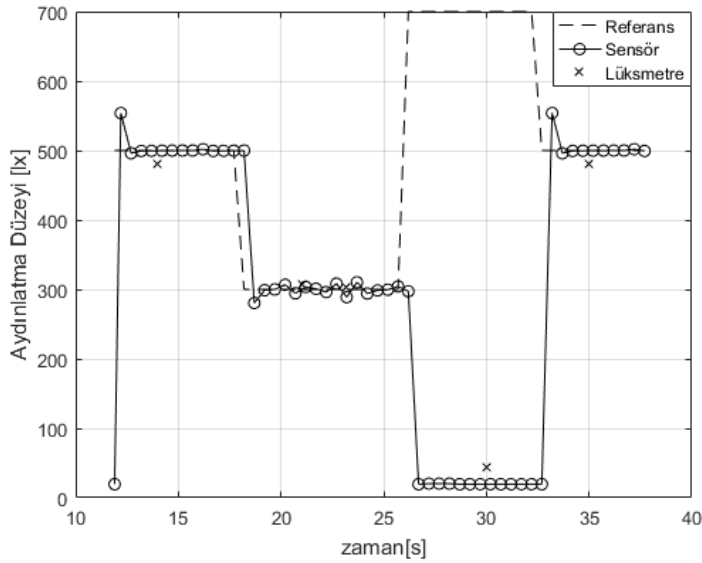


Şekil 3.23 : Armatür arızası durumunda kontrol işaretleri (U_1, U_2, U_3, U_4).

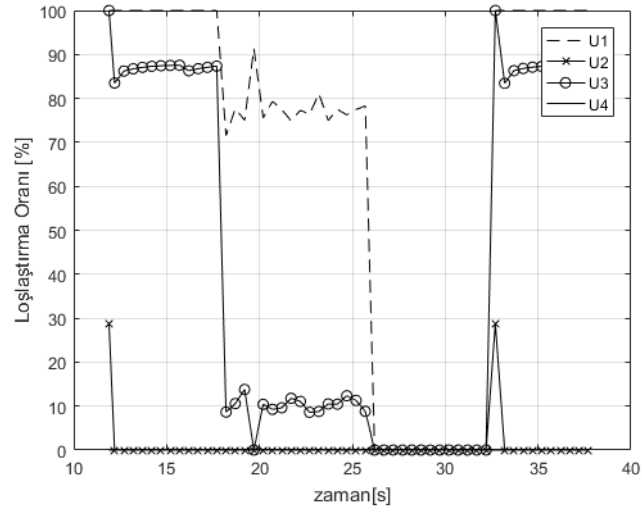


Şekil 3.24 : Armatür arızası durumunda kontrol işaretleri (U_5, U_6, U_7, U_8).

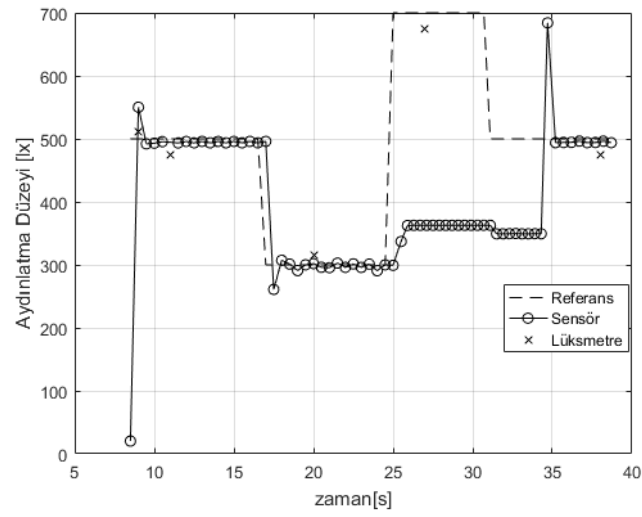
Önerilen yöntemde hedef, gün ışığından faydalanılarak enerji tasarrufunun artırılması olduğu için, gün ışığında elde edilen kontrol performansı daha önemlidir. Alınan ölçümlere göre; güneşin ve jaluzilerin konumuna bağlı olarak, algılayıcı ölçümlerindeki hatanın artması sonucu kontrol performansının beklenenden düşük kaldığı; ancak yeterli olduğu görülmüştür. Şekil 3.25'te çalışma alanında 44 lx gün ışığının olduğu sistem yanıtı ve Şekil 3.26'da kontrol işaretleri verilmiştir. U_4 ve sonraki armatürler kontrolör tarafından aktif hale getirilmediği için bu armatürlerin loşlaştırma oranları verilmemiştir. Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de ise çalışma alanında 51 lx gün ışığının olduğu durumdaki sistem yanıtı ve kontrol işaretleri verilmiştir.



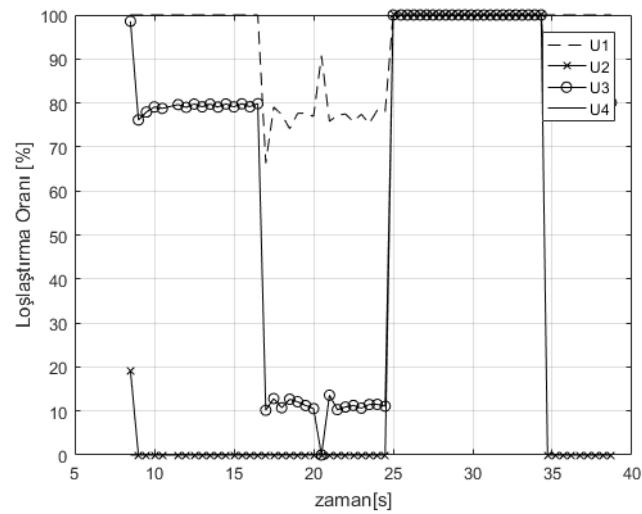
Şekil 3.25 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtlamalı optimal kontrol sistem yanıtı.



Şekil 3.26 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtlamalı optimal kontrol işaretleri.



Şekil 3.27 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtsız optimal kontrol sistem yanıtı.



Şekil 3.28 : Gün ışığının olduğu durumda kısıtsız optimal kontrol işaretleri.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ofis aydınlatma sistemleri için BP-BÇ tabanlı optimizasyon yöntemi içeren bir iç model kontrol yapısı önerilmiştir. Buna ek olarak, aydınlatma düzeyinin ölçümü için akıllı telefon ışık algılayıcılarının kullanımının getireceği faydalar tartışılarak akıllı telefonlardan faydalanılabilecek konsept geliştirilmiştir. Ayrıca literatürdeki çalışmalar incelenerek, aydınlatma kontrolünün enerji tasarrufuna katkısı tartışılmış; geçmişten bugüne kadar önerilen kontrol yöntemleri, aydınlık düzeyi ölçüm sistemleri ve bunların avantaj/dezavantajları irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntemin test edilebilmesi için 8 adet armatürün bulunduğu bir odaya donanımsal altyapı hazırlanmıştır. Donanımsal altyapı hazırlanırken karşılaşılan sorunlar ve bunlara getirilen çözümler belirtilmiştir. Ardından, sistemin ve akıllı telefona ait ışık algılayıcısının modelleri çıkarılmıştır. Elde edilen modellerle önerilen kontrol yapısı güncellenmiştir. Daha sonra, bu kontrol yapısının gerçek zamanlı çalışabilmesi için Simulink üzerinde blok diyagramlar, sistem fonksiyonları ve MATLAB fonksiyonları oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı testlerde elde edilen veriler, grafikler halinde sunulmuştur.

Test sonuçları göstermiştir ki; önerilen yöntem ile, gün ışığı katkısı bile olmadan sadece aktif çalışma alanlarının yeterli düzeyde aydınlatılmasıyla önemli miktarda tasarruf sağlanabilmektedir. Çizelge 4.1'de 3 çalışma alanından sadece birinin aktif olduğu durumdaki harcanan armatür güçleri verilmiştir.

Benzer koşullarda, ortalama 45 lx'lük bir gün ışığı katkısının olduğu durumdaki harcanan armatür güçleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Önerilen yöntemde gün ışığı katkısının olmadığı koşuldaki enerji harcamaları.

Aydınlatma Kontrol Yöntemi	Toplam Armatür Gücü
Açık çevrim kontrol	320 W
Kısıtsız optimal kontrol	97,96 W
Kısıtlamalı optimal kontrol	104,63 W

Çizelge 4.2 : Önerilen yöntemde gün ışığı katkısının olduğu koşuldaki enerji harcamaları.

Aydınlatma Kontrol Yöntemi	Toplam Armatür Gücü
Açık çevrim kontrol	320 W
Kısıtsız optimal kontrol	73,06 W
Kısıtlamalı optimal kontrol	76,31 W

Çizelgelerdeki değerler incelendiğinde önerilen yöntem sayesinde sağlanabilecek enerji tasarrufunun azımsanamayacak kadar büyük olduğu görülmektedir. Ancak, yıllık potansiyel enerji tasarrufu miktarının hesaplanabilmesi için, farklı mevsimlere ait verilerin bulunduğu yaklaşık bir yıllık veri toplanması gerekmektedir.

Önerilen yöntem sayesinde sağlanabilecek enerji tasarrufu büyük görünse de tasarruf miktarı daha da arttırılabilir. Yapılan testlerde ışık algılayıcı verilerinin her zaman yüksek doğruluk payıyla alınmadığı görülmüştür. Akıllı telefonlara ait ışık algılayıcıların gün ışığı ve yapay ışık altındaki davranışı daha doğru şekilde modellenebilirse kontrolör girişindeki hata verisi daha doğru olacağından, tasarruf miktarı artacaktır. Bunun için literatürde önerilen gün ışığı benzetim çalışmalarından yararlanılabilir.

Önerilen yöntemde donanımsal altyapının kurulumu sırasında özellikle kablolama çalışmaları zahmetli ve maliyetli olmaktadır. Kontrol işaretlerinin kablo ile iletilmesi yerine, kablosuz ağa bağlanabilen LED sürücüler kullanıldığı takdirde bu problem ortadan kalkacaktır. Ancak bu durumda ortaya çıkabilecek kablosuz ağ trafiği problemlerine karşı önlemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Önerilen yöntemin başka bir dezavantajı da, kalibrasyon aşamasındaki ışık algılayıcı verilerinin, özellikle de gün ışığı katkısına yönelik verilerin toplanmasında geçen sürenin uzun olmasıdır. Yapay sinir ağları ile öğrenme algoritmaları kullanılarak kalibrasyon aşaması otomatize edilirse bu dezavantajın etkisi önemli ölçüde azaltılabilir.

Son olarak, önerilen yöntem sadece bir telefon modeli üzerinden test edildiği için yöntemin güvenilirliği sorgulanabilir durumdadır. Daha fazla telefon modeli ile testlerin yapılıp yöntemin doğruluğu sınanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023** (2012). *T. C. Resmi Gazete*, 2815, 25 Şubat 2012.
- [2] **IEA** (2016). *Key world energy statistics*, International Energy Agency, Alındığı tarih: 13.04.2017.
- [3] **TEDAŞ** (2016). Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı, <http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1579>, Alındığı tarih: 13.04.2017.
- [4] **Onaygil, S., Güler, Ö., Erkin, E. ve Goralı, E.** (2005). Ticari Binaların Elektrik Enerjisi Tüketiminde Aydınlatmanın Payı, *III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu.*, Ankara.
- [5] **Erkin, E.** (2012). Ofis Binaları için Aydınlatma Enerjisi Tasarruf Potansiyelleri Hesaplama Amaçlı Bir Yöntem Önerisi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] **Gürsoy, E.H.** (2003). Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] **Özkaya, M.** (2004). *Aydınlatma tekniği*, Birsen Yayınevi.
- [8] **TSE** (2013). *Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları (TS EN 12464-1)*.
- [9] **Url-1** <<http://www.pelsan.com.tr/tr-TR/catalogue/siva-alti-ofis-armaturleri/mioled-panel-armaturler/876/12034>>, alındığı tarih: 11.04.2017.
- [10] **Jennings, J.D., Rubinstein, F.M., DiBartolomeo, D. ve Blanc, S.L.** (2000). Comparison of control options in private offices in an advanced lighting controls testbed, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 29(2), 39–60.
- [11] **Knight, I.** (1998). Measured energy savings due to photocell control of individual luminaries, *Renewable energy*, 15(1-4), 441–444.
- [12] **Galasiu, A.D., Atif, M.R. ve MacDonald, R.A.** (2004). Impact of window blinds on daylight-linked dimming and automatic on/off lighting controls, *Solar Energy*, 76(5), 523–544.
- [13] **Brekke, B. ve Hansen, E.** (1995). Energy saving in lighting installations by the utilization of daylight, *Proceedings of the Right Light*, cilt 3, s.875-886.
- [14] **Li, D.H., Lam, T.N. ve Wong, S.** (2006). Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls, *Energy Conversion and Management*, 47(9), 1133–1145.

- [15] **Onaygil, S. ve Güler, Ö.** (2006). Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul, *Building and Environment*, 38(7), 973–977.
- [16] **Roisin, B., Bodart, M., Deneyer, A. ve D’herdt, P.** (2008). Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption, *Energy and Buildings*, 40(4), 514–523.
- [17] **Görgülü, S. ve Ekren, N.** (2013). Energy saving in lighting system with fuzzy logic controller which uses light-pipe and dimmable ballast, *Energy and buildings*, 61, 172–176.
- [18] **Rubinstein, F., Ward, G. ve Verderber, R.** (1989). Improving the performance of photo-electrically controlled lighting systems, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 18(1), 70–94.
- [19] **Lee, E.S., DiBartolomeo, D., Selkowitz, S., Mahdavi, A. ve Pal, V.** (1999). The Effect of Venetian Blinds on Daylight Photoelectric Control Performance, *Journal of the Illuminating Engineering Society*.
- [20] **Park, B.C., Choi, A.S., Jeong, J.W. ve Lee, E.S.** (2011). Preliminary Study on the Performance of Daylight Responsive Dimming Systems with Improved Closed-Loop Control Algorithm, *Leukos*, 8(1), 41–59.
- [21] **Choi, J., Aziz, A. ve Loftness, V.** (2009). Decision support for improving occupant environmental satisfaction in office buildings: The relationship between sub-set of IEQ satisfaction and overall environmental satisfaction, *Proceedings of the 9th International Conference Healthy Buildings, Syracuse, NY USA*, cilt747.
- [22] **Clausen, G., Carrick, L., Fanger, P.O., Kim, S.W., Poulsen, T. ve Rindel, J.H.** (1993). A comparative study of discomfort caused by indoor air pollution, thermal load and noise, *Indoor Air*, 3(4), 255–262.
- [23] **Humphreys, M.A.** (2005). Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable?, *Building Research & Information*, 33(4), 317–325.
- [24] **Lai, J.H. ve Yik, F.W.** (2007). Perceived importance of the quality of the indoor environment in commercial buildings, *Indoor and built environment*, 16(4), 311–321.
- [25] **Lai, A., Mui, K., Wong, L. ve Law, L.** (2009). An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings, *Energy and Buildings*, 41(9), 930–936.
- [26] **Wong, L., Mui, K. ve Hui, P.** (2008). A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices, *Building and Environment*, 43(1), 1–6.
- [27] **Kummert, M., André, P. ve Nicolas, J.** (2001). Optimal heating control in a passive solar commercial building, *Solar Energy*, 69, 103–116.
- [28] **Inoue, T., Kawase, T., Ibamoto, T., Takakusa, S. ve Matsuo, Y.** (1988). The development of an optimal control system for window shading devices based on investigations in office buildings, *ASHRAE transactions*, 94, 1034–1049.

- [29] **Chen, T.** (2001). Real-time predictive supervisory operation of building thermal systems with thermal mass, *Energy and Buildings*, 33(2), 141–150.
- [30] **Morel, N., Bauer, M., El-Khoury, M. ve Krauss, J.** (2001). Neurobat, a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks, *International Journal of solar energy*, 21(2-3), 161–201.
- [31] **Ferguson, A.M.N.** (1990). Predictive thermal control of building systems, *Doktora Tezi*, EPFL.
- [32] **Lute, P. ve Paassen, V.** (2000). Predictive control of indoor temperatures in office buildings energy consumption and comfort, *Proceedings CLIMA2000*, cilt 2, s.290–295.
- [33] **Curtiss, P.S., Kreider, J. ve Shavit, G.** (1996). Neural networks applied to buildings—A tutorial and case studies in prediction and adaptive control, *Teknik Rapor*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA (United States).
- [34] **Nesler, C.** (1986). Adaptive control of thermal processes in buildings, *IEEE Control Systems Magazine*, 6(4), 9–13.
- [35] **Teeter, J. ve Chow, M.Y.** (1998). Application of functional link neural network to HVAC thermal dynamic system identification, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 45(1), 170–176.
- [36] **Wang, Y. ve Dasgupta, P.** (2014). Designing adaptive lighting control algorithms for smart buildings and homes, *Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2014 IEEE 11th International Conference on*, IEEE, s.279–284.
- [37] **Guillemin, A. ve Morel, N.** (2001). An innovative lighting controller integrated in a self-adaptive building control system, *Energy and buildings*, 33(5), 477–487.
- [38] **Tümer, P.** (2001) Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Giriş Verilerinin Bulanık Mantık İle Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39] **Lah, M.T., Zupancic, B., Peternelj, J. ve Krainer, A.** (2006). Daylight illuminance control with fuzzy logic, *Solar energy*, 80(3), 307–321.
- [40] **Wang, Y. ve Wang, Z.** (2010). Design of intelligent residential lighting control system based on zigbee wireless sensor network and fuzzy controller, *Machine Vision and Human-Machine Interface (MVHI), 2010 International Conference on*, IEEE, s.561–564.
- [41] **Ghadi, Y.Y., Rasul, M. ve Khan, M.M.K.** (2014). Potential of Saving Energy Using Advanced Fuzzy Logic Controllers in Smart Buildings in Subtropical Climates in Australia, *Energy Procedia*, 61, 290–293.
- [42] **Caldo, R.B., Seranilla, J.T., Castillo, D.J., Diocales, K.S., Gulle, W.D., Nunez, B.L. ve Parreno, C.T.** (2015). Design and development of fuzzy logic controlled dimming lighting system using Arduino microcontroller, *Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2015 International Conference on*, IEEE, s.1–6.

- [43] **Rea, M. ve Figueiro, M.** (2016). Light as a circadian stimulus for architectural lighting, *Lighting Research and Technology*, 1–14.
- [44] **Aldrich, M., Zhao, N. ve Paradiso, J.** (2010). Energy efficient control of polychromatic solid state lighting using a sensor network, *SPIE Optical Engineering+ Applications*, International Society for Optics and Photonics, s.778408–778408.
- [45] **Commission, C.E.** (1993). *Advanced lighting guidelines*, CEC Publication.
- [46] **ABB**, ABB i-bus KNX Constant Lighting Control Practical Knowledge, <https://library.e.abb.com/public/429dadcf06488788c1257cee0044ed41/LRS_X161_AB_EN_V1-0_2CDC507093M0201.pdf>, Alındığı tarih: 07.01.2017.
- [47] **CITRIS**, (2012, Kasım 6), Algorithms for Advanced Lighting Controls [Video Dosyası], <https://youtu.be/_2dMMNWtWBo>.
- [48] **Wen, Y.J. ve Agogino, A.** (2011). Control of wireless-networked lighting in open-plan offices, *Lighting Research & Technology*, 43(2), 235–248.
- [49] **Lee, B., Aldrich, M. ve Paradiso, J.A.** (2011). Methods for measuring work surface illuminance in adaptive solid state lighting networks, *SPIE Optical Engineering+ Applications*, International Society for Optics and Photonics, s.81230V–81230V.
- [50] **Subramaniam, S.** (2013). Multi-zone control of daylight-responsive lighting control systems, *Doktora Tezi*, Architectural Engineering.
- [51] **Negar, N., Williams, D., Schwartz, J., Ahamed, S.I. ve Smith, R.O.** Smartphone-based Light Intensity Calculation Application for Accessibility Measurement, alındığı tarih: 12.11.2016.
- [52] **Sumriddetchkajorn, S. ve Somboonkaew, A.** (2010). Low-cost cell-phone-based digital lux meter, *Photonics Asia 2010*, International Society for Optics and Photonics, s.78530L–78530L.
- [53] **Ismail, A., Azmi, M.M., Hashim, M., Ayob, M.N., Hashim, M.M. ve Hassrizal, H.B.** (2013). Development of a webcam based lux meter, *Computers & Informatics (ISCI), 2013 IEEE Symposium on*, IEEE, s.70–74.
- [54] **Sparks, D.D.** (2013). The design and implementation of a smartphone illuminance meter, *Doktora Tezi*, Massachusetts Institute of Technology.
- [55] **Congradac, V.D., Milosavljevic, B.B., Velickovic, J.M. ve Prebiracevic, B.V.** (2012). Control of the lighting system using a genetic algorithm, *Thermal Science*, 16(suppl. 1), 237–250.
- [56] **Si, W., Ogai, H., Li, T. ve Hirai, K.** (2013). A novel energy saving system for office lighting control by using RBFNN and PSO, *TENCON Spring Conference, 2013 IEEE*, IEEE, s.347–351.
- [57] **Ono, K. ve Hanada, Y.** (2016). Distributed light brightness control based on cuSASGP, *Evolutionary Computation (CEC), 2016 IEEE Congress on*, IEEE, s.838–845.

- [58] **Wa, S., Xun, P., Harutoshi, O. ve Hirai, K.** (2016). LP Guided PSO Algorithm for Office Lighting Control, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 99(7), 1753–1761.
- [59] **Bouroussis, C.A. ve Topalis, F.V.** (2016). Smart multi-workplane lighting control and utilization of daylight using an imaging photosensor, *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016 IEEE 16th International Conference on*, IEEE, s.1–6.
- [60] **Erol, O.K. ve Eksin, I.** (2006). A new optimization method: big bang–big crunch, *Advances in Engineering Software*, 37(2), 106–111.
- [61] **Url-2** <<https://www.mathworks.com/help/supportpkg/raspberrypi/device-driver-blocks.html>>, alındığı tarih: 10.03.2017.
- [62] **Url-3** <<http://wiringpi.com>>, alındığı tarih: 15.03.2017.
- [63] **Url-4** <<https://github.com/Reinbert/pca9685>>, alındığı tarih: 17.03.2017.
- [64] **Url-5** <<https://www.dial.de/en/blog/article/luxmeter-app-versus-measuring-deviceare-smartphones-suitable-for-measuring-illuminance>>, alındığı tarih: 22.11.2016.

EKLER

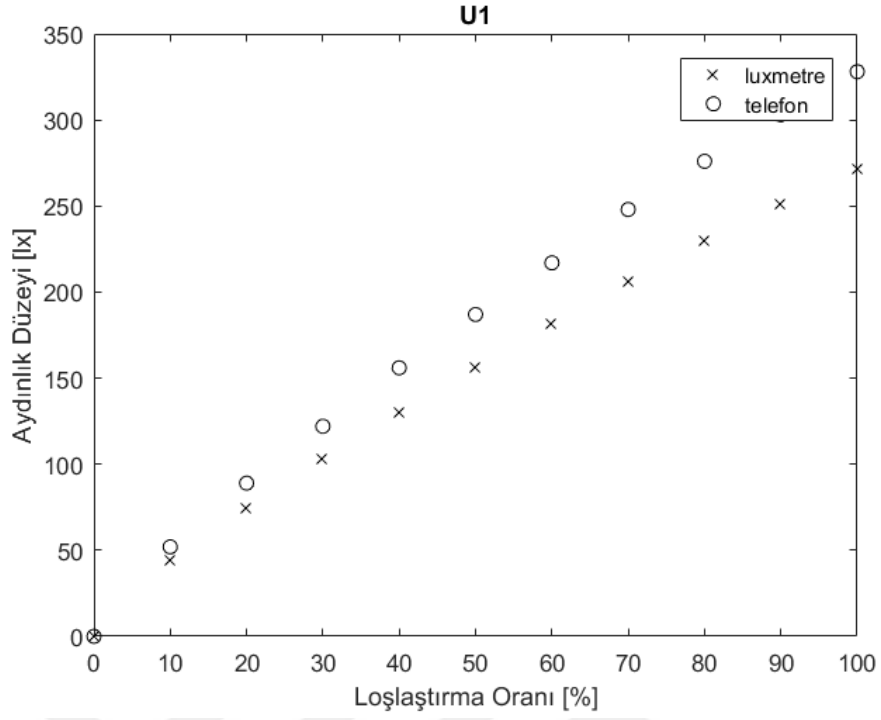
EK A.1: Lüksmetre ve Telefon Ait Algılayıcının Ölçüm Karşılaştırmaları

EK A.2: Loşlaştırma Oranı ile Tahmini Sensör Verisi Arasındaki İlişki

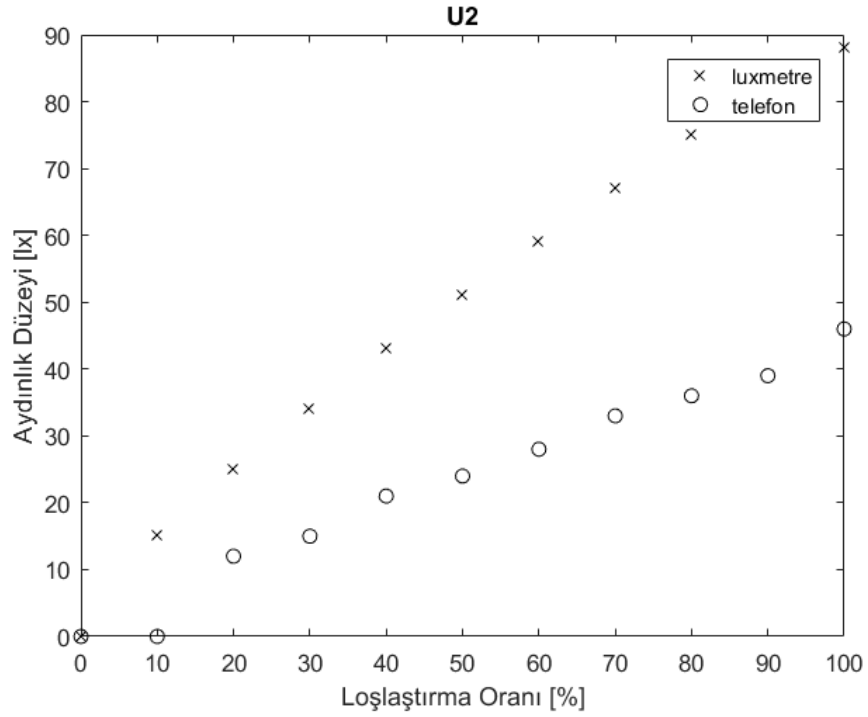
EK B: Simulink'te Geliştirilen Kodlar



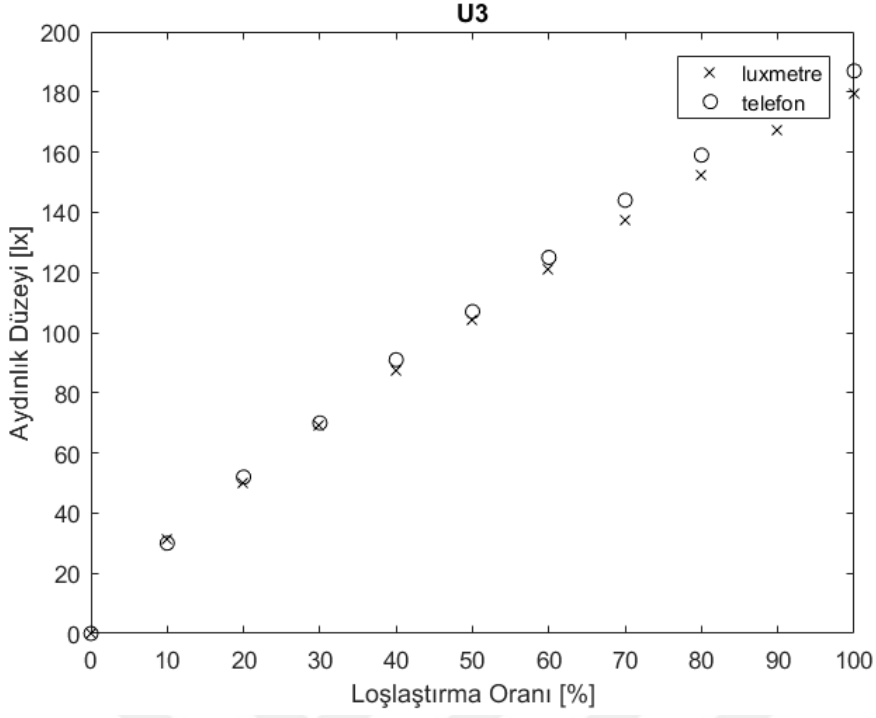
EK A.1 Lüksmetre ve Telefon Ait Algılayıcının Ölçüm Karşılaştırmaları



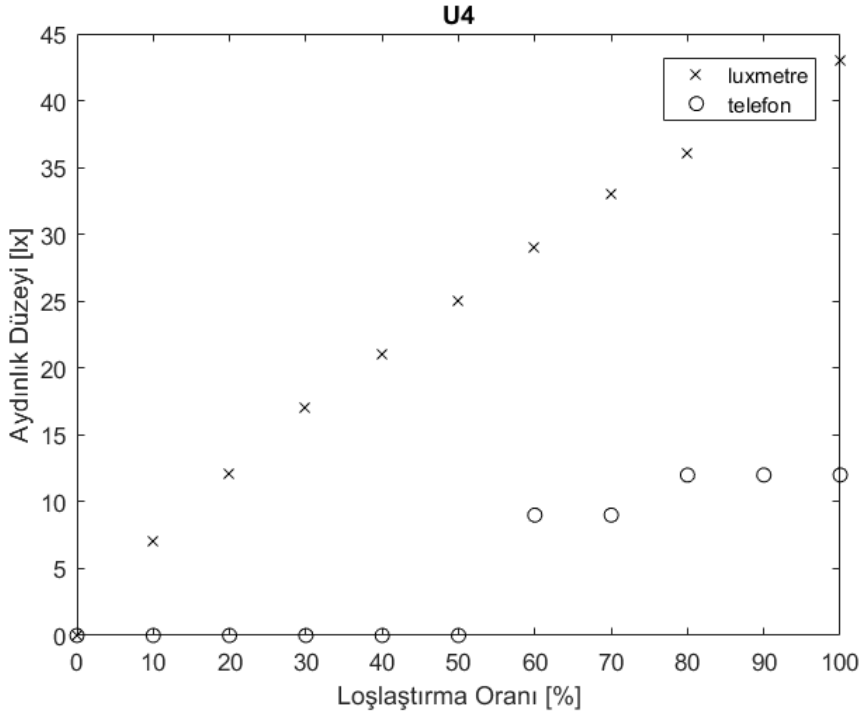
Şekil A.1 : U1 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



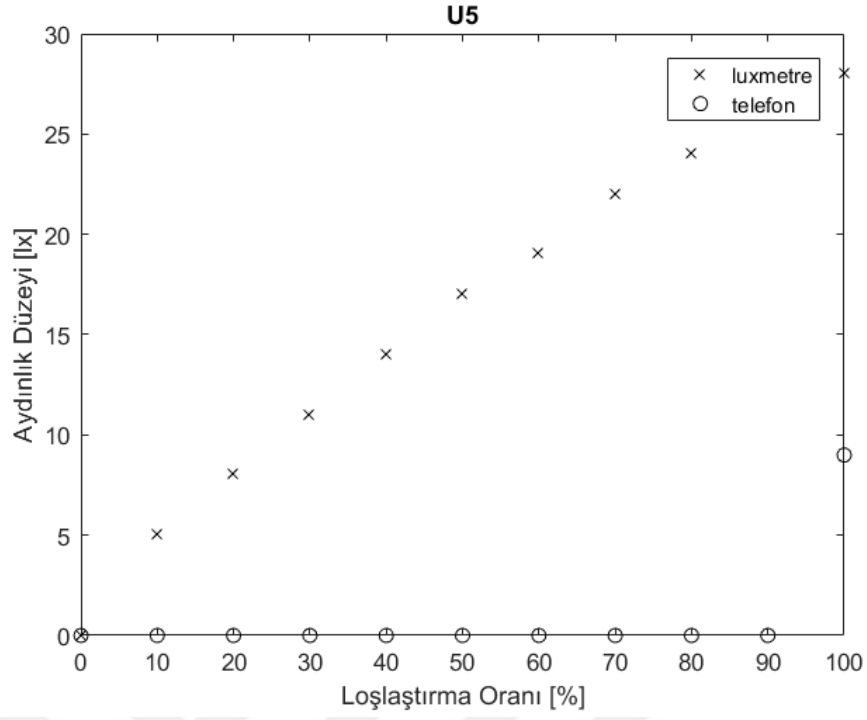
Şekil A.2 : U2 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



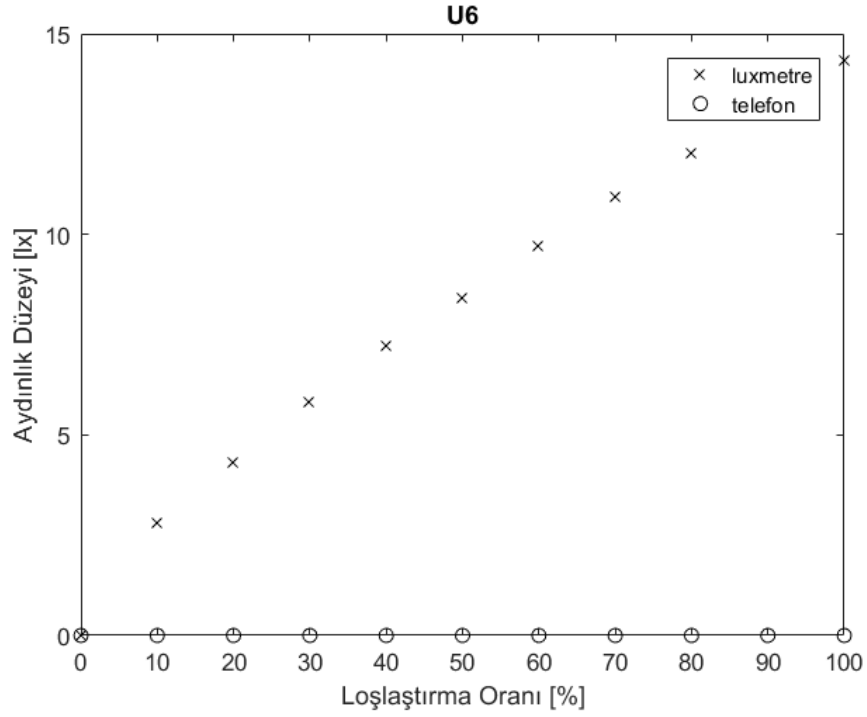
Şekil A.3 : U3 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



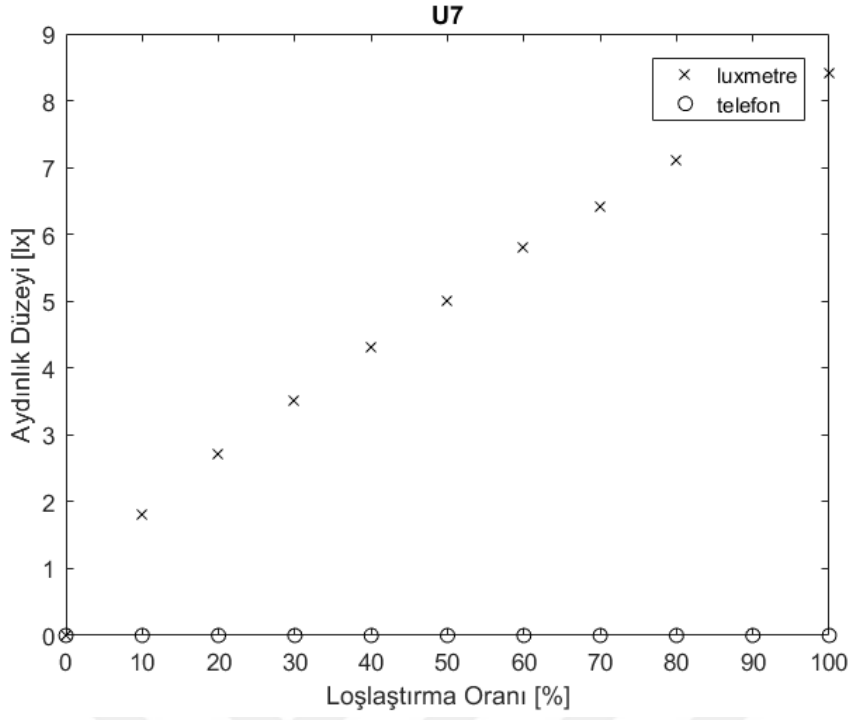
Şekil A.4 : U4 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



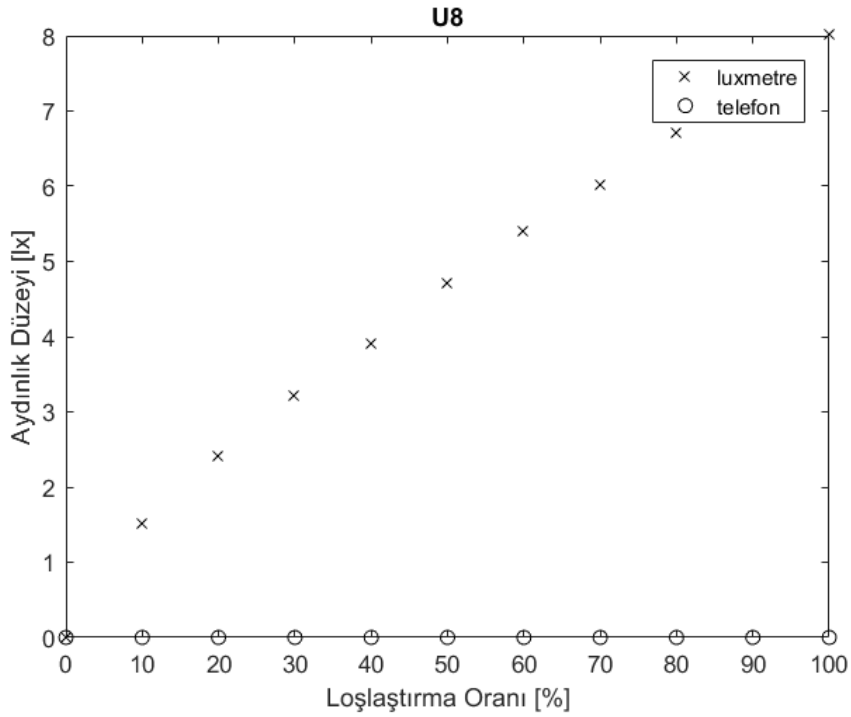
Şekil A.5 : U5 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



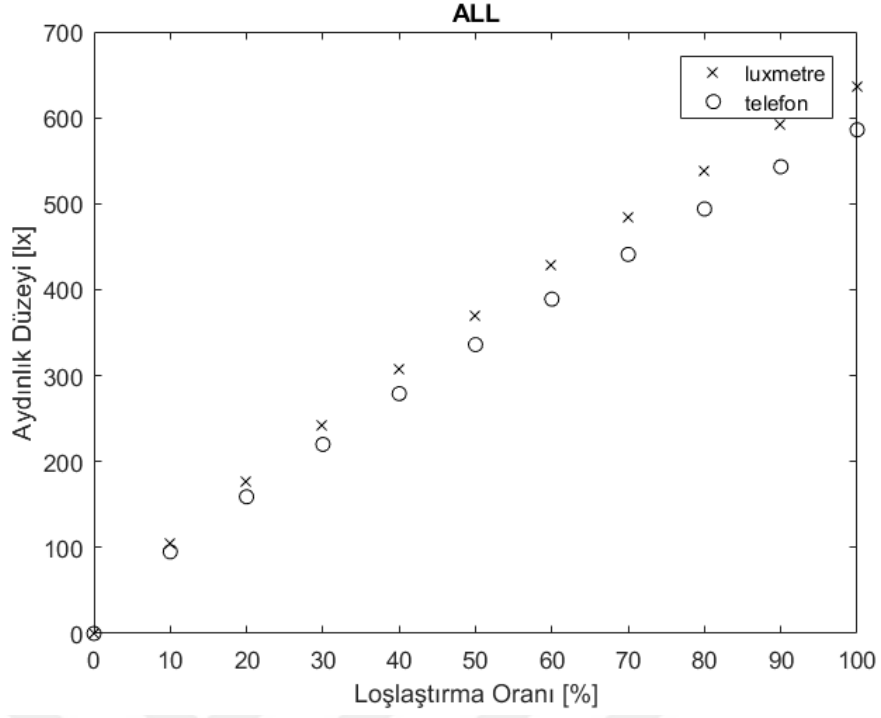
Şekil A.6 : U6 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



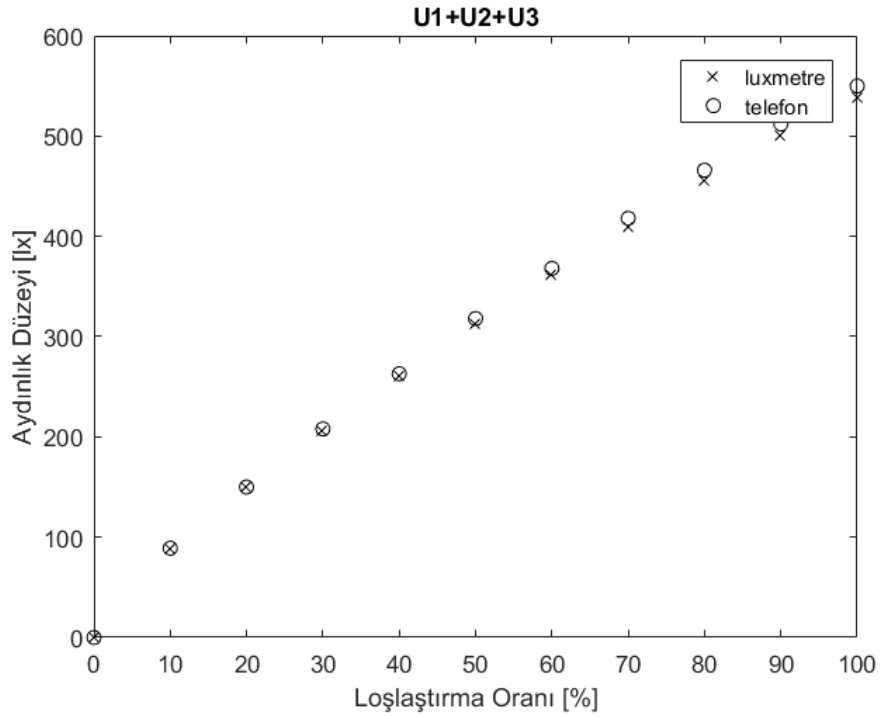
Şekil A.7 : U7 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



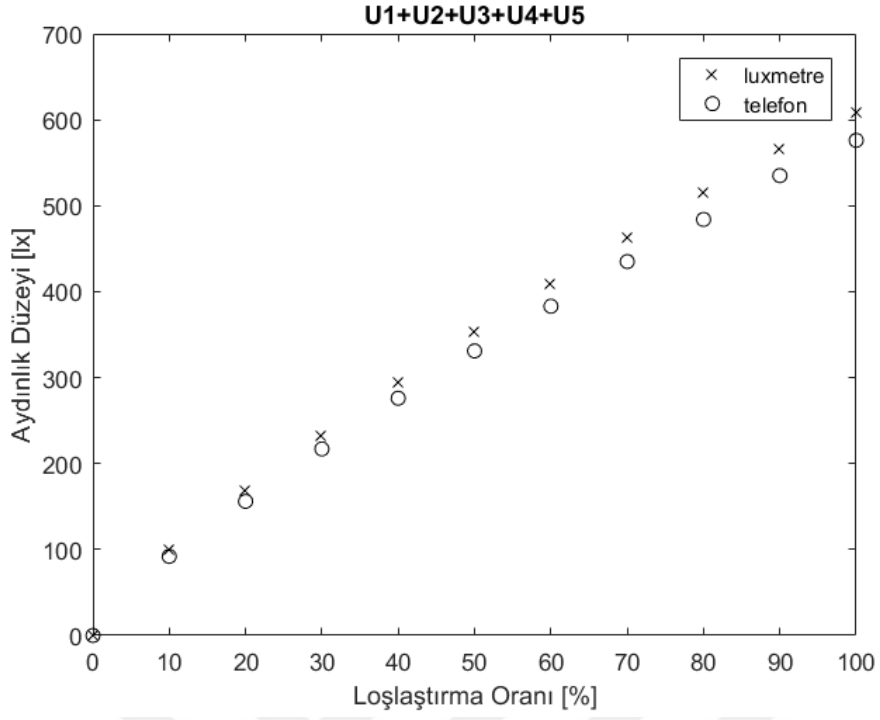
Şekil A.8 : U8 armatürününün ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



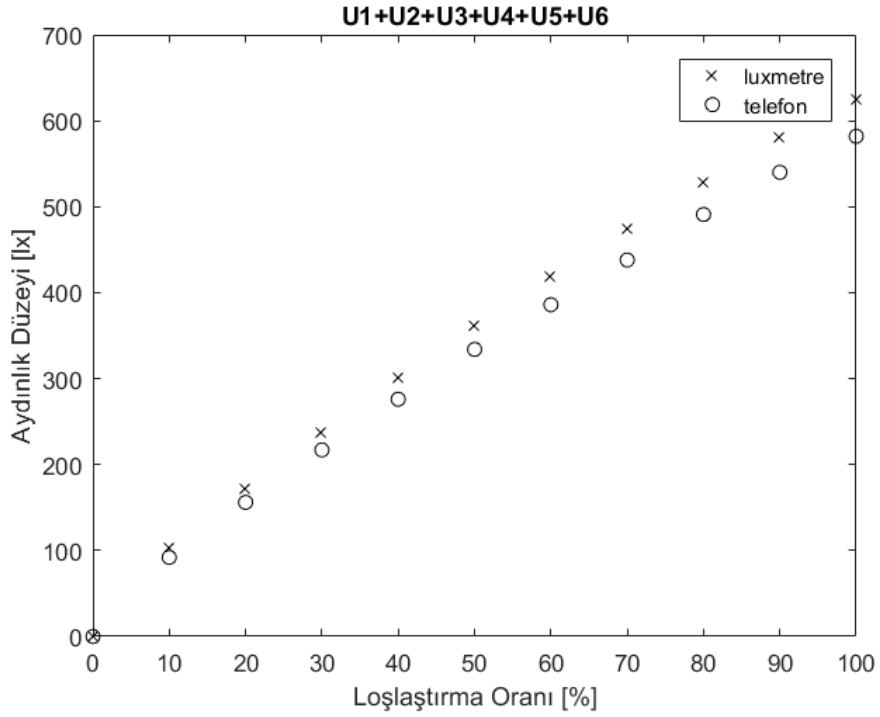
Şekil A.9 : Tüm armatürlerin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



Şekil A.10 : U1, U2, U3 armatürlerinin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



Şekil A.11 : U1, U2, U3, U4, U5 armatürlerinin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.



Şekil A.12 : U1, U2, U3, U4, U5, U6 armatürlerinin ÇA1 üzerinde sağladığı aydınlık düzeyi katkısı.

EK A.2 Loşlaştırma Oranı ile Tahmini Sensör Verisi Arasındaki İlişki

$$S_1 = \begin{cases} -3,1469 \cdot 10^{-6} d_1^4 + 7,2028 \cdot 10^{-4} d_1^3 - 0,0619 \cdot d_1^2 + 5,3930 \cdot d_1 + 1,0490; d_1 > 0 \\ 0; d_1 \leq 0 \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

$$S_2 = \begin{cases} 1,9814 \cdot 10^{-6} d_2^4 - 4,4859 \cdot 10^{-4} d_2^3 + 0,0349 \cdot d_2^2 - 0,6726 \cdot d_2 + 14,7222; d_2 > 10 \\ 0; d_2 \leq 0 \end{cases} \quad (\text{A.2})$$

$$S_3 = \begin{cases} -2,2145 \cdot 10^{-6} d_3^4 + 4,8446 \cdot 10^{-4} d_3^3 - 0,0395 \cdot d_3^2 + 3,1817 \cdot d_3 + 0,5175; d_3 > 0 \\ 0; d_3 \leq 0 \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

$$S_4 = \begin{cases} 0,0900 \cdot d_4 + 3,6000; d_4 > 50 \\ 0; d_4 \leq 50 \end{cases} \quad (\text{A.4})$$

$$S_5 = \begin{cases} 0,0900 \cdot d_5 - 81,0000; d_5 > 90 \\ 0; d_5 \leq 90 \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

$$S_6 = 0 \quad (\text{A.6})$$

$$S_7 = 0 \quad (\text{A.7})$$

$$S_8 = 0 \quad (\text{A.8})$$

$$S_{Tahmin} = \sum_{j=1}^l S_j \quad (\text{A.9})$$

EK B Simulink'te Geliştirilen Kodlar

```
function d = daylightTahmin(sensor)
%#codegen

if sensor < 0
    d = 6.*sensor;
elseif sensor < 1
    d = 0;
elseif sensor < 8
    d = 7.4801.*sensor + 1.4767;
elseif sensor < 21
    d = 4.1103.*sensor + 31.532;
elseif sensor < 64
    d = 2.52.*sensor + 66.015;
else
    d = 3.0984.*sensor + 24.3;
end
end
```

```
function sensor = sensorTahmin(dim)
%#codegen
%sensorTahmin kontrol girislerine gore sensor verisini tahmin eder
if dim(1)>0
    u1_lux = -3.1469e-06.*dim(1).^4 + 7.2028e-04.*dim(1).^3 - 0.0619.*dim(1).^2 +
5.3930.*dim(1) + 1.0490;
else
    u1_lux=0;
end
if dim(2)>10
    u2_lux = 1.9814e-06.*dim(2).^4 - 4.4859e-04.*dim(2).^3 + 0.0349.*dim(2).^2 -
0.6726.*dim(2) + 14.7222;
else
    u2_lux = 0;
end
if dim(3)>0
    u3_lux = -2.2145e-06.*dim(3).^4 + 4.8446e-04.*dim(3).^3 - 0.0395.*dim(3).^2 +
3.1817.*dim(3) + 0.5175;
else
    u3_lux=0;
end

if dim(4)>50
    u4_lux = 0.0900.*dim(4) + 3.6000;
else
    u4_lux = 0;
end
if dim(5)>90
    u5_lux = 0.9000.*dim(5) - 81.0000;
else
    u5_lux = 0;
end
u6_lux = 0;
u7_lux = 0;
u8_lux = 0;

sensor = u1_lux + u2_lux + u3_lux + u4_lux + u5_lux + u6_lux + u7_lux + u8_lux;
```

```
function y = luxTahmin(dim)
%#codegen
%Gunisiginin olmadigi kosulda sistem modeli
u1_lux = -2.6515e-06.*dim(1).^4 + 6.0703e-04.*dim(1).^3 - 0.0526.*dim(1).^2 + 4.5364.*dim(1)
+ 0.9231;
u2_lux = -1.1946e-06.*dim(2).^4 + 2.6904e-04.*dim(2).^3 - 0.0222.*dim(2).^2 + 1.5958.*dim(2)
+ 0.2727;
u3_lux = -2.2145e-06.*dim(3).^4 + 4.9534e-04.*dim(3).^3 - 0.0411.*dim(3).^2 + 3.1505.*dim(3)
+ 0.8601;
u4_lux = -3.4965e-07.*dim(4).^4 + 8.6247e-05.*dim(4).^3 - 0.0082.*dim(4).^2 + 0.7390.*dim(4)
+ 0.0909;
u5_lux = -2.6224e-07.*dim(5).^4 + 6.0023e-05.*dim(5).^3 - 0.0055.*dim(5).^2 + 0.4868.*dim(5)
+ 0.1748;
u6_lux = -1.9522e-07.*dim(6).^4 + 4.7766e-05.*dim(6).^3 - 0.0042.*dim(6).^2 + 0.2831.*dim(6)
+ 0.0958;
u7_lux = -1.6026e-07.*dim(7).^4 + 3.8170e-05.*dim(7).^3 - 0.0032.*dim(7).^2 + 0.1846.*dim(7)
```

```

+ 0.0692;
u8_lux = -9.3240e-08.*dim(8).^4 + 2.3543e-05.*dim(8).^3 - 0.0022.*dim(8).^2 + 0.1528.*dim(8)
+ 0.0503;

y = u1_lux + u2_lux + u3_lux + u4_lux + u5_lux + u6_lux + u7_lux + u8_lux;

```

```

function [y1,y2] = constrained_opt(ref)
%#codegen
uMax = 100; %populasyon ust siniri
uMin=0; %populasyon alt siniri
IterationMax = 100;
iteration = 1;
paramCount = 8; %Parametre sayisi (Kontrol isareti sayisi)
individual = 300; %Her parametre icin olusturulacak populasyondaki birey sayisi
w2 = 1; %Kontrol isaret kucuklugunun onem katsayisi

u = zeros(individual, paramCount); %Simulinkin kod donusturebilmesi icin matrislerin bastan
olusturulmasi gerek
costs = zeros(individual,1); %Simulinkin kod donusturebilmesi icin matrislerin bastan
olusturulmasi gerek

for i=1:individual % bu for dongusuyle sinirlara bagli olacak sekilde ve normal dagilim
kullanilarak % populasyon elemanlari ilk kez dagitiliyor. elemanlar u vektorlerine
yerlestiriliyor
for k=1:paramCount
u(i,k)= (uMax-uMin)*randn + (uMax-uMin)/2;
if(u(i,k)<uMin)
u(i,k)=uMin;
elseif(u(i,k)>uMax)
u(i,k)=uMax;
end
end
end
for i=1:individual
costs(i)=constrained_Amac(ref, u(i,:), w2);
end

while(iteration<IterationMax)
iteration=iteration+1;
u = bbbcf(u,costs,[uMax uMax uMax uMax uMax uMax uMax uMax],...
[uMin uMin uMin uMin uMin uMin uMin uMin],iteration);
for i=1:individual
costs(i)=constrained_Amac(ref, u(i,:),w2);
end
end

[mincost, minpop]=min(costs);
y2 = mincost;
y1 = u(minpop,:);

```

```

function [cost] = constrained_Amac(ref, dim, w2)

lx_tahmin = tahmin(dim);
toplamGuc = sum(gucHesapla(dim));

if lx_tahmin < ref %kisit
constraintCost = 1.0e05;
else
constraintCost = 0;
end

cost = constraintCost + w2.*(toplamGuc.^2);

end

```

```

function [ lux ] = tahmin( dim )
%tahmin: sistem modeli
%
u1_lux = -2.6515e-06.*dim(1).^4 + 6.0703e-04.*dim(1).^3 - 0.0526.*dim(1).^2 + 4.5364.*dim(1)
+ 0.9231;
u2_lux = -1.1946e-06.*dim(2).^4 + 2.6904e-04.*dim(2).^3 - 0.0222.*dim(2).^2 + 1.5958.*dim(2)

```

```

+ 0.2727;
u3_lux = -2.2145e-06.*dim(3).^4 + 4.9534e-04.*dim(3).^3 - 0.0411.*dim(3).^2 + 3.1505.*dim(3)
+ 0.8601;
u4_lux = -3.4965e-07.*dim(4).^4 + 8.6247e-05.*dim(4).^3 - 0.0082.*dim(4).^2 + 0.7390.*dim(4)
+ 0.0909;
u5_lux = -2.6224e-07.*dim(5).^4 + 6.0023e-05.*dim(5).^3 - 0.0055.*dim(5).^2 + 0.4868.*dim(5)
+ 0.1748;
u6_lux = -1.9522e-07.*dim(6).^4 + 4.7766e-05.*dim(6).^3 - 0.0042.*dim(6).^2 + 0.2831.*dim(6)
+ 0.0958;
u7_lux = -1.6026e-07.*dim(7).^4 + 3.8170e-05.*dim(7).^3 - 0.0032.*dim(7).^2 + 0.1846.*dim(7)
+ 0.0692;
u8_lux = -9.3240e-08.*dim(8).^4 + 2.3543e-05.*dim(8).^3 - 0.0022.*dim(8).^2 + 0.1528.*dim(8)
+ 0.0503;

lux = u1_lux + u2_lux + u3_lux + u4_lux + u5_lux + u6_lux + u7_lux + u8_lux;
end

```

```

function [y1,y2] = optimizasyon(ref)
%#codegen
uMax = 100; %populasyon ust siniri
uMin=0; %populasyon alt siniti
IterationMax = 100;
iteration = 1;
paramCount = 8; %Parametre sayisi (Kontrol isareti sayisi)
individual = 300; %Her parametre icin olusturulacak populasyondaki birey sayisi
w1 = 7; %Hatanin minimizasyonunun onem katsayisi
w2 = 2; %Kontrol isaret kucuklugunun onem katsayisi

u = zeros(individual, paramCount); %Simulinkin kod donusturebilmesi icin matrislerin bastan
olusturulmasi gerek
costs = zeros(individual,1); %Simulinkin kod donusturebilmesi icin matrislerin bastan
olusturulmasi gerek

for i=1:individual % bu for dongusuyle sinirlara bagli olacak sekilde ve normal dagilim
kullanilarak % populasyonelemanlari ilk kez dagitiliyor. elemanlar u vektorlerine
yerlestiriliyor
for k=1:paramCount
u(i,k)= (uMax-uMin)*randn + (uMax-uMin)/2;
if(u(i,k)<uMin)
u(i,k)=uMin;
elseif(u(i,k)>uMax)
u(i,k)=uMax;
end
end
end
for i=1:individual
costs(i)=Amac1(ref, u(i,:), w1, w2);
end

while(iteration<IterationMax)
iteration=iteration+1;
u = bbbcf(u,costs,[uMax uMax uMax uMax uMax uMax uMax uMax],...
[uMin uMin uMin uMin uMin uMin uMin uMin],iteration);
for i=1:individual
costs(i)=Amac1(ref, u(i,:),w1, w2);
end
end

[mincost, minpop]=min(costs);
y2 = mincost;
y1 = u(minpop,:);

```

```

function [cost] = Amac1(ref, dim, w1, w2)
%Kisitsiz amac fonksiyonu

lx_tahmin = tahmin(dim);
toplamGuc = sum(gucHesapla(dim));

cost = w1.*((ref - lx_tahmin).^2) + w2.*(toplamGuc.^2);

end

```

```

%BBBCF iterates one iteration a population according to the rules of
%Big-Bang Big Crunch method. It overwrites new population over the previous
%one. As the number of iterations grow, it searches new candidates in a
%limited search space.
%
%Usage: [population]=bbbcf(population, costs, maxval, minval, iteration)
%Here
% population: is a "Number of individuals X number of parameters" matrice,
% costs:      is a vector of size "Number of individuals" holding the cost
%             function values, iteration is the iteration counter.
%             It is provided to the subroutine by the main program.
%             It is used in order to restrict the search space as
%             time goes by.
% maxval and minval: vector of length "number of parameters" holding the
% corresponding upper and lower limits of parameters

% All the components are real valued numbers.

%REV 1.60sman Kaan EROL - Hakki Murat GENC      28.04.2008

%WHAT IS NEW?
%i. maxval and minval parameters are vectorized to allow different bounds
%for parameters
%ii. Two centerpoint selection methods are implemented for the big crunch
%phase

function pop = bbbcf(pop, costs, maxval, minval, itx)

%every variable is allowed to have different bounds
%initial values
smoothf = 5;                % Denotes after how many iterations,
                           % search space will be restricted to half.

if nargin == 0
    error('No parameter or missing parameter!')
end

%m = Size of population
%n = Number of parameters
[m, n] = size(pop);

% The individual having minimum cost value is chosen. Big-Crunh phase.
[mincost, minpop] = min(costs);

% %centerpoint decision, method 1:
% num = [0.0 0.0];
% denom = [0.0 0.0];
% for i = 1 : m
%     num = num + (1 / costs(i)) * pop(i, :);
%     denom = denom + (1 / costs(i));
% end
% centerpoint = num ./ denom;

%%centerpoint decision, method 2:
centerpoint = pop(minpop, :);

pop = zeros(m, n);
% New population is generated by using normal distrubution principle.
for pop_no=1:m-1,
    for parametre_no=1:n,
        pop(pop_no, parametre_no)=...
            centerpoint(parametre_no)+(maxval(parametre_no)...
            -minval(parametre_no))*0.5*randn(1)/(1+itx/smoothf);
        if pop(pop_no, parametre_no)<minval(parametre_no)
            pop(pop_no, parametre_no)=minval(parametre_no);
        end
        if pop(pop_no, parametre_no)>maxval(parametre_no)
            pop(pop_no, parametre_no)=maxval(parametre_no);
        end
    end
end

```

```
    end
end
% Last population member is forced to be always the best (elitism)
pop(m,:)= centerpoint;
```



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : M. Alper Yükselen
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.04.1989, İstanbul
E-posta : yukselenalper@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İTÜ, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol Mühendisliği Bölümü

İŞ TECRÜBESİ:

- 2011- BESTAŞ Elektronik, Gömülü Yazılım Mühendisi