

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI DIŞ AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ
TASARRUFU İÇİN SCADA UYGULAMASI
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Nur ALAN

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ATALI

Mayıs 2024

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AKILLI DIŞ AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ
TASARRUFU İÇİN SCADA UYGULAMASI
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Nur ALAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13/05/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ATALI	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Sezgin KAÇAR	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DUMAN	BAŞARILI

BEYAN

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

Fatma Nur ALAN

30/05/2024

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tamamlanması sürecinde Enerji Yönetimi ve Aydınlatma Şube Müdürlüğü'ne ve değerli müdür yardımcısı Hasan MANCAK'a gösterdikleri ilgi, destek ve rehberlik için teşekkür ederim.

Akademik gelişimimdeki yolculuğumda benimle birlikte olan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ATALI'ya, önlisans düzeyindeki eğitimimden itibaren bana rehberlik ettiği ve ilgilenip yönlendirdiği için içtenlikle teşekkür ederim. Kendisi gibi değerli bir mentorla çalışmak, benim için büyük bir onurdur.

Değerli ailem, benim başarıma olan inancınız ve verdiğiniz destekle her zaman beni motive ettiniz. Sizin teşvikleriniz, bu zorlu yolculukta beni ileriye taşıdı. Her zorluğun üstesinden gelmeme yardımcı olduğunuz için minnettarım.

Her kararında destekçi olan eşim Ali ALAN'a bana verdiğin muazzam destek ve sevgi dolu yardımların için minnettarım. Senin sevgin ve desteğin, benim başarımanın en büyük itici gücü oldu. Bu tezin başarısı, senin de katkın ve desteği sayesinde oldu. Sabrın, sevgin, desteğin için teşekkür ederim.

Değerli jüri hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DUMAN ve Prof. Dr. Sezgin KAÇAR sizin deneyimli bakış açılarınız ve yorumlarınız tezimin kalitesini artırmama ve daha derinlemesine inceleme yapılmasına olanak sağladı. Verdiğiniz emek ve özveri için içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMALAR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Kapsamı ve Önemi.....	2
1.2. Literatür Araştırması.....	3
1.3. Araştırma Çalışmasının Yenilik Ve Katkıları.....	20
1.4. Tezin Organizasyonu.....	21

BÖLÜM 2.

AKILLI AYDINLATMA SİSTEMİ	22
2.1. Akıllı Aydınlatma Sistemi Nedir?	22
2.1.1. Akıllı dış aydınlatma sistemi.....	24
2.1.1.1. Lambalar ve armatürler	26
2.1.1.2. Sistemde kullanılan sensörlere genel bakış.....	31
2.1.1.3. Aydınlatma sistemlerinde altyapı	32
2.1.1.4. Aydınlatma profillerine genel bakış	34
2.1.1.5. Armatür kontrolünde kullanılan haberleşme protokolleri.....	35
2.2. Boğluca Parkı Entegrasyonu İçin Uygun Haberleşme Protokolünün Seçimi	40
2.2.1. DALI haberleşmesinin detaylı incelenmesi	40
2.2.2. DALI entegrasyonu	44
2.2.3. Powerline haberleşmesinin detaylı incelenmesi.....	47
2.2.4. Veri iletimi prensibi.....	48
2.2.5. RF haberleşmesinin detaylı incelenmesi.....	49
2.2.6. Haberleşme protokollerin karşılaştırılması	52
2.2.7. SCADA ile aydınlatma sistemi arasındaki ilişki.....	53
2.3. SCADA Sistemleri	54

2.3.1. SCADA sisteminin uygulama alanları.....	56
2.3.2. SCADA sistemi bileşenleri	57
2.3.3. Uzak terminal birimi (RTU)	58
2.3.4. Saha ekipmanları	58
2.3.5. İletişim birimi.....	59
2.4. PLC Sistemleri	59
2.4.1. Programlama biçimleri	60
2.4.2. PLC sisteminin uygulama alanları	62

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 64

3.1. DALI İletişim Protokolünün Konfigürasyonu	65
3.1.1. DALI bağlantı şeması	65
3.1.2. DALI konfigürasyon programı.....	66
3.1.2.1. DALI armatür kontrol ve adresleme.....	67
3.1.2.2. DALI armatür grup ve senaryo oluşturma	67
3.2. RTU Yazılımının Geliştirilmesi.....	68
3.2.1. RTU yazılım konfigürasyon programı.....	69
3.2.2. Linye hatlarının izlenmesi.....	70
3.2.3. Armatür haberleşmelerinin izlenmesi.....	71
3.2.4. Armatür alarmlarının izlenmesi	72
3.2.5. Armatür manuel tek kontrol.....	73
3.2.6. Armatür manuel grup kontrol.....	75
3.2.7. Astronomik zaman kontrolü.....	76
3.2.8. RTU zaman kontrol	77
3.2.9. Armatür senaryo kontrol.....	77
3.2.10. RTU Modbus TCP adresleri.....	79
3.3. SCADA yazılımının geliştirilmesi	79
3.3.1. Durum bilgi ekranı sayfası.....	80
3.3.2. Bilgi grup ekranı sayfası	81
3.3.3. Bilgi alarm ekranı sayfası	82
3.3.4. Bilgi ekranı sayfası	83
3.3.5. Armatür sayfası	84
3.3.6. Pano sayfası.....	84
3.3.7. Pano arıza sayfası	86
3.3.8. Enerji sayfası.....	87
3.3.9. Senaryo sayfası.....	87
3.3.10. Kanal ve etiket sayfası	88
3.3.11. Alarm sayfası.....	89

BÖLÜM 4.

BULGULAR 90

4.1. Senaryosuz Durumda Güç ve Maliyet Hesabı	91
4.2. Senaryolu Durumda Güç ve Maliyet Hesabı	95
4.2.1. 1. Senaryo durumu.....	95
4.2.2. 2. Senaryo durumu.....	99

BÖLÜM 5.	
SONUÇ.....	103

KAYNAKLAR.....	107
-----------------------	------------

EKLER.....	114
-------------------	------------



KISALTMALAR

AC	: Alternating Current
AM	: Amplitude Modulation
BACnet	: Building Automation and Control Networks
CANbus	: Controller Area Network
DALI	: Digital Addressable Lighting Interface
DC	: Direct Current
DCS	: Distrubuted Control System
DMX	: Digital Multiplex
FFNN	: Feed Forward Neural Network
FM	: Frequency Modulation
FPN	: Feature Pyramid Network
GPRS	: General Packet Radio Service
HPS	: High-Pressure Sodium
IEC	: International Electrotechnical Commission
IoT	: Internet of Things
ISM	: Industrial Scientific Medical
KNX	: Konnex
LAN	: Local Area Network
LC	: Lighting Control
LED	: Light Emitting Diode
LONWorks	: Local Operating Network
LSTM	: Long Short-Term Memory
Matlab	: Matrix Labaratory
MTU	: Master Terminal Unit
NB-IoT	: Narrowband IoT
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ORB	: Oriented Fast ve Rotated Brief

PIR	: Passive Infrared Sensor
PLC	: Programmable Logic Controller
PV	: Photovoltaic
RF	: Radio Frequency
RGB	: Red-Green-Blue
RTU	: Remote Terminal Unit
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SCALS	: Smart Cities Adaptive Lighting System
SL	: Smart Lighting
USB	: Universal Serial Bus
WAN	: Wide Area Network
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
YOLO	: You Only Look Once

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 : Farklı lambarın belirli kısıtlara göre karşılaştırılması	27
Tablo 2.2 : Lamba türlerinin gösterimi	30
Tablo 2.3 : Farklı lamba türlerinin karşılaştırılması	31
Tablo 2.4 : Aydınlatma profilleri karşılaştırılması	35
Tablo 2.5 : Kablo kalınlığı karşılaştırılması	44
Tablo 2.6 : Frekans spektrumu	50
Tablo 2.7 : Haberleşme protokollerinin karşılaştırılması.....	53
Tablo 4.1 : Senaryosuz durumda izlenen enerji değerleri.....	91
Tablo 4.2 : EPDK tarafından düzenlenen elektrik birim fiyatları	94
Tablo 4.3 : 1. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri	95
Tablo 4.4 : 2. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri	99
Tablo 5.1 : Haberleşme protokolü fiyat karşılaştırması (2024 ocak ayı).....	106

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Proje kapsamında takip edilecek adımlar	3
Şekil 2.1 : Akıllı aydınlatma sistemlerine genel bakış.....	23
Şekil 2.2 : 2003 yılı öncesi aydınlatma araçlarının sektörlerle göre kullanımı	28
Şekil 2.3 : 2015 yılı aydınlatma araçlarının sektörlerle göre kullanımı.....	29
Şekil 2.4 : 2009 yılı ışık verimlerinin lamba türlerine göre kıyaslanması	29
Şekil 2.5 : Akıllı aydınlatma altyapısının mimarisi	32
Şekil 2.6 : Haberleşme protokolleri	36
Şekil 2.7 : Diferansiyel manchester kodlaması	42
Şekil 2.8 : DALI çerçevelerinin formatı	42
Şekil 2.9 : Gerilim değerleri	42
Şekil 2.10 : Dönüştürücü bağlantı şeması örneği	45
Şekil 2.11 : İleşimin temel prensibi	49
Şekil 2.12 : RF haberleşme genel yapısı	51
Şekil 2.13 : RF verici sistemi	51
Şekil 2.14 : RF alıcı sistemi.....	52
Şekil 2.15 : SCADA sisteminin genel yapısı	56
Şekil 2.16 : SCADA bileşenleri.....	57
Şekil 2.17 : PLC cihazı	60
Şekil 2.18 : PLC genel yapısı	60
Şekil 2.19 : Merdiven programlama dili	61
Şekil 2.20 : FBD programlama dili.....	61
Şekil 2.21 : STL programlama dili	62
Şekil 3.1 : Uygulama topolojisi	64
Şekil 3.2 : DALI haberleşme protokolünün çalışma sistemi.....	65
Şekil 3.3 : DALI dönüştürücü bağlantı şeması.....	66
Şekil 3.4 : DALI dönüştürücüsü	66
Şekil 3.5 : DALI dönüştürücü ve DALI sürücülerinin haberleşme yapısı.....	67
Şekil 3.6 : Mikrodev RTU DM100 modeli	68
Şekil 3.7 : Mikrodev XIO110-E0N-GDA-B0000 DALI modülü	69
Şekil 3.8 : RTU Teledigram programı lojik işlemler şeması.....	69
Şekil 3.9 : Linye hatlarının izlendiği dijital giriş sinyallerinin çalışması	70
Şekil 3.10 : Linye hatlarının takip edildiği FBD lojik program	70
Şekil 3.11 : Armatür haberleşmelerinin izlendiği ikili bayrak bloklarının çalışması .	71
Şekil 3.12 : Armatür haberleşmelerinin takip edildiği FBD lojik program	71
Şekil 3.13 : Armatür alarmlarının izlendiği word işlem bloklarının çalışması	72
Şekil 3.14 : Armatür alarmlarının takip edildiği FBD lojik program	73
Şekil 3.15 : Armatür manuel tek kontrol çalışması	74
Şekil 3.16 : Armatür manuel tek kontrol FBD lojik program	74
Şekil 3.17 : Armatür manuel grup kontrol çalışması	75
Şekil 3.18 : Armatür manuel grup kontrol FBD lojik program.....	76
Şekil 3.19 : Astronomik zaman kontrolü FBD lojik program.....	76
Şekil 3.20 : RTU zaman kontrolü FBD lojik program.....	77

Şekil 3.21 : Armatür senaryo kontrol çalışması	78
Şekil 3.22 : Armatür senaryo kontrolü FBD lojik program	78
Şekil 3.23 : RTU Modbus TCP adresleri	79
Şekil 3.24 : SCADA yönetici ekranı.....	80
Şekil 3.25 : Durum bilgi ekranı	81
Şekil 3.26 : Bilgi grup ekranı	82
Şekil 3.27 : Bilgi alarm ekranı.....	83
Şekil 3.28 : Bilgi ekranı	83
Şekil 3.29 : Armatür durum ekranı	84
Şekil 3.30 : Pano sayfası	85
Şekil 3.31 : Pano arıza sayfası.....	86
Şekil 3.32 : Enerji sayfası.....	87
Şekil 3.33 : Senaryo sayfası	88
Şekil 3.34 : Kanal ve etiket sayfası.....	89
Şekil 3.35 : Alarm durum sayfası	89
Şekil 4.1 : Enerji grafik programı	90
Şekil 4.2 : Senaryosuz durumda L1 fazı enerji grafiği	92
Şekil 4.3 : Senaryosuz durumda L2 fazı enerji grafiği	92
Şekil 4.4 : Senaryosuz durumda L3 fazı enerji grafiği	93
Şekil 4.5 : Senaryosuz durumda L1, L2, L3 fazı enerji grafiği.....	93
Şekil 4.6 : Senaryosuz durumda günlük harcanan maliyet grafiği.....	94
Şekil 4.7 : Senaryolu durumda L1 fazı enerji grafiği	96
Şekil 4.8 : 1. Senaryo durumunda L2 fazı enerji grafiği.....	97
Şekil 4.9 : 1. Senaryo durumunda L3 fazı enerji grafiği.....	97
Şekil 4.10 : 1. Senaryo durumunda L1, L2, L3 fazı enerji grafiği	98
Şekil 4.11 : 1. Senaryo durumunda günlük harcanan maliyet grafiği.....	98
Şekil 4.12 : 2. Senaryo durumunda L1 fazı enerji grafiği.....	100
Şekil 4.13 : 2. Senaryo durumunda L2 fazı enerji grafiği.....	100
Şekil 4.14 : 2. Senaryo durumunda L3 fazı enerji grafiği.....	101
Şekil 4.15 : 2. Senaryo durumunda L1, L2, L3 fazı enerji grafiği	101
Şekil 4.16 : 2. Senaryo durumunda günlük harcanan maliyet grafiği.....	102
Şekil 5.1 : Senaryo durumuna bağlı günlük harcanan güç grafiği.....	103
Şekil 5.2 : Senaryo durumuna bağlı günlük harcanan maliyet grafiği.....	104

AKILLI DIŞ AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ TASARRUFU İÇİN SCADA UYGULAMASI GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu yüksek lisans tezi, akıllı aydınlatma sistemlerindeki haberleşme protokollerine odaklanarak, özellikle DALI, RF ve Powerline gibi protokollerin detaylı bir şekilde incelenmesini içermektedir. Tez, bu haberleşme protokollerinin kamuya ait bir parkın aydınlatma otomasyonunda nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini araştırmayı amaçlamaktadır. Araştırma sürecinde, ilk olarak saha keşfi gerçekleştirilmiş ve incelenen haberleşme protokollerinden en uygun olanı olarak DALI protokolü belirlenmiştir. Ardından, bu protokolün uygulama aşamasına geçilerek, kamusal alanlardaki aydınlatma sistemlerindeki otomasyonun etkin bir biçimde nasıl sağlanabileceği üzerine detaylı bir analiz sunulmuştur.

DALI protokolü üzerinden armatürlerin konfigürasyonları detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve bu konfigürasyonlara uygun olarak RTU yazılımı özel olarak geliştirilmiştir. Bu yazılım, armatür gruplamasını mümkün kılmış ve çeşitli senaryoların kolayca oluşturulmasına olanak tanımıştır. RTU yazılımı sayesinde manuel ve otomatik kontrol senaryoları başarıyla hayata geçirilmiştir. Bu adımların uygulanması, aydınlatma sistemini daha esnek ve enerji verimli hale getirmiş, parkın özel ihtiyaçlarına daha iyi yanıt vermesini sağlamıştır.

Ayrıca, sahadan alınan veriler kullanılarak SCADA kontrolü için özel tasarlanmış sayfalar geliştirilmiş ve RTU ile SCADA arasında etkili bir haberleşme ağı kurulmuştur. Bu sayede, parktaki aydınlatma sistemini merkezi bir kontrol birimi ile daha etkili bir şekilde yönetme imkanı sağlanmıştır. Tez aynı zamanda, uzaktan kontrol için RTU ve SCADA arasındaki başarılı haberleşme sayesinde, sistem üzerindeki güç verilerini kullanarak maliyet hesaplaması yapmıştır. Bu adım, projenin ekonomik etkilerini değerlendirme ve enerji tasarrufu potansiyelini belirleme açısından önemli bir rol oynamaktadır. Elde edilen veriler, aydınlatma sistemlerinde yapılan bu geliştirmelerin sadece etkin yönetim açısından değil, aynı zamanda ekonomik anlamda da olumlu sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, akıllı aydınlatma sistemlerindeki iletişim protokollerini pratiğe dönüştürerek, kamuya ait bir parkta aydınlatma otomasyonunu başarıyla uygulamıştır. Araştırma, enerji verimliliği ve maliyet analizi odaklı olarak yapılmıştır ve sektördeki teknolojik gelişmelere ışık tutacak önemli sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, C# programlama dili kullanılarak sahadan toplanan verilerin grafik hale getirilmesi, aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliğinin optimize edilmesine katkı sağlamıştır. Bu çalışma, enerji tasarrufu ve sistem yönetimindeki başarılarıyla dikkat çekerek, benzer projeler için önemli bir referans kaynağı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: SCADA, PLC, DALI, powerline, RF, akıllı aydınlatma

IMPLEMENTATION OF SCADA APPLICATION FOR ENERGY SAVING IN SMART OUTDOOR LIGHTING SYSTEMS

ABSTRACT

This master's thesis focuses on communication protocols in smart lighting systems, particularly examining protocols such as DALI, RF, and Powerline in detail. The thesis aims to investigate how these communication protocols can be effectively utilized in the lighting automation of a public park. During the research process, an initial field survey was conducted, and the DALI protocol was identified as the most suitable among the examined protocols. Subsequently, transitioning to the implementation phase of this protocol, a detailed analysis was presented on how automation in lighting systems in public areas can be effectively achieved.

The configurations of luminaires have been meticulously carried out through the DALI protocol, and an RTU software has been specially developed to correspond to these configurations. This software has enabled luminaire grouping and facilitated the easy creation of various scenarios. Through the RTU software, both manual and automatic control scenarios have been successfully implemented. The implementation of these steps has made the lighting system more flexible and energy-efficient, ensuring better responsiveness to the specific needs of the park.

Furthermore, specialized pages for SCADA control have been developed using data collected from the field, establishing an effective communication network between RTU and SCADA. This has enabled more efficient management of the lighting system in the park through a centralized control unit. The thesis also conducted cost calculations using power data obtained through successful communication between RTU and SCADA for remote control. This step plays a significant role in evaluating the economic impacts of the project and determining the potential for energy savings. The data obtained demonstrates that the improvements made in lighting systems can yield positive economic outcomes in addition to contributing to effective management.

This study successfully implemented communication protocols in smart lighting systems, effectively applying lighting automation in a public park. The research, conducted with a focus on energy efficiency and cost analysis, has yielded significant results that shed light on technological advancements in the industry. Additionally, the graphical representation of data collected from the field using the C# programming language has contributed to optimizing the energy efficiency of lighting systems. With its achievements in energy saving and system management, this study stands as an important reference for similar projects.

Keywords: SCADA, PLC, DALI, powerline, RF, intelligent lighting

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küresel nüfusun sürekli artmasıyla birlikte kentleşme oranlarının da yükseldiği gözlemlenmektedir. 2013 yılında %53 olan kentleşme oranının, 2040 yılında tahminen %63'e ulaşması beklenmektedir. Bu artış, enerji tüketiminde de belirgin bir artışı beraberinde getirecektir [1]. Şehirler, yenilik ve ekonomik gelişmenin kalbi olarak kabul edilirken, aynı zamanda dünya enerji tüketiminin büyük bir kısmından sorumlu olan ve küresel karbon emisyonlarını artıran önemli bir etkiye sahiptirler. Sokak lambaları gibi kentsel altyapı unsurları, şehirlerin çeşitli bölgelerinde ve gece hayatında kritik bir rol oynamaktadır. İyi aydınlatılmış sokaklar ve kamusal alanlar, insanların güvenli bir şekilde dolaşmalarını ve gece aktivitelerine katılmalarını sağlayarak şehirlerin sosyal-kültürel yaşamına katkıda bulunur. Bununla birlikte, uygun aydınlatma olmayan alanlar güvenlik endişelerine neden olabilir ve kazaların artmasına yol açabilir [2,3]. Enerji talebinin artmasıyla birlikte, enerji tasarrufu günümüzde giderek daha zorunlu hale gelmektedir. Enerji verimliliği alanındaki araştırmaların artması ve kamuoyunda farkındalık oluşturma çabaları, enerji stratejisinin temel bir parçası haline gelmiştir [4]. Son dönemde, güneş ışığından en üst düzeyde yararlanmayı amaçlayan aydınlatma otomasyonu kavramı gelişmiştir. Aydınlatma otomasyonunun amacı, görsel konfordan ödün vermeden aydınlatma sistemlerinde gerekli minimum ışık seviyesiyle enerji tasarrufu sağlamaktır. Otomatik aydınlatma sistemleri kullanılarak enerji maliyetleri azaltılır. Aydınlatma otomasyonunda, güneş ışığı seviyesini algılayabilen sensörler ve aydınlatma seviyesini düzenleyen modüller kullanılarak istenilen aydınlık seviyesine ulaşılır. Bu şekilde, enerji tasarrufu sağlanırken, görüş konforu da korunmuş olur [5]. Enerji tüketiminin yaklaşık %20'si, aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır [6]. Bu oran dikkate alındığında, aydınlatmanın verimli bir şekilde kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Aydınlatmanın etkin bir biçimde kullanılması, aydınlatma otomasyonu ile sağlanabilir ve aydınlatma otomasyonu olan yerlerde gereksiz aydınlatma yapılmayacağı için enerji tüketimi azalacaktır [7].

1.1. Araştırmanın Kapsamı ve Önemi

Bu tez, akıllı aydınlatma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Digital Addressable Lighting Interface (DALI), Radio Frequency (RF) ve Powerline haberleşme protokollerini derinlemesine inceleyerek, bu protokollerin bir kamuya ait parkın aydınlatma otomasyonu üzerindeki etkisini anlamayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, tez kapsamında gerçekleştirilen saha keşfi, protokol analizleri ve uygulama adımları sayesinde elde edilen sonuçlar, akıllı aydınlatma sistemlerinin tasarım ve uygulama süreçlerinde daha bilinçli, etkin kararlar alınmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, enerji verimliliği ve maliyet analizi odaklı bu çalışma, benzer projelerin planlanması ve uygulanması aşamalarında rehberlik ederek, sürdürülebilir kentsel aydınlatma çözümlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Bu tezin bağlamı ve önemi, akıllı aydınlatma sistemlerinin teknolojik ve uygulama boyutları arasında köprü oluşturarak, bu sistemlerin toplum ve çevre üzerindeki pozitif etkilerinin daha iyi anlaşılmasına yönelik bir çaba içermektedir. Bu nedenle, bu araştırmanın, akıllı şehirlerin gelişimine ve kentsel aydınlatma alanındaki yenilikçi çözümlerin benimsenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Aşağıda verilen Şekil 1.1’de proje kapsamında takip edilecek adımlar sıralanmaktadır. Tez, saha keşfi ve protokol analizleri yaparak, kullanılacak haberleşme protokolünü belirlemekte ve bu protokollerin park aydınlatma sistemlerine entegrasyonu üzerinde özgün bir perspektif sunmaktadır. Protokol seçimi, proje başarısını etkileyen kritik bir karar olduğundan, bu çalışma benzer projeler için önemli bir referans kaynağı olacaktır.

DALI protokolü üzerinden armatürlerin konfigürasyonları yapılarak, bu konfigürasyonlara uygun olarak RTU (Remote Terminal Unit) yazılımı geliştirilmiştir. Bu, akıllı aydınlatma sistemlerinde pratik uygulamaya yönelik özgün bir yaklaşımı temsil eder.

Tez, akıllı aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliği ve maliyet analizi odaklı bir çalışma yaparak, elde edilen veriler üzerinden proje maliyetlerini ve enerji tasarrufunu değerlendirir. Bu çalışma, benzer projelerin tasarım ve uygulama aşamalarında karar alıcıları bilgilendirme konusunda önemli bir kaynak sağlamaktadır. Uzaktan kontrol için RTU ve SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) arasındaki etkili haberleşmeyi başarılı bir şekilde sağlayan tez, sahadan alınan veriler kullanılarak SCADA sayfa tasarımları yapmaktadır. Bu, şehir yöneticilerine, sistem operatörlerine sistem üzerinde etkili bir kontrol ve izleme imkanı sunmaktadır.

Bu tez, hem akademik hem de endüstriyel açıdan özgün bir perspektif sunarak, akıllı aydınlatma sistemlerinin pratik uygulamalarında yeni yöntemler geliştirmeyi ve bu alandaki bilgi birikimini zenginleştirmeyi amaçlamaktadır.



Şekil 1.1 : Proje kapsamında takip edilecek adımlar.

1.2. Literatür Araştırması

SL (Smart Lighting) sistemleri bağlamında, kameralar genellikle düşük parlaklık koşullarında veya gece saatlerinde çalışmaktadır. Bir kameranın gece boyunca etkili bir şekilde çalışması için gereken minimum parlaklık düzeyi, kameranın sensörü, merceği ve düşük ışık özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir.

Çalışmalar, yol kullanıcılarının olmadığı durumlarda kamera işlevselliğini optimize etmek için %10 ile %50 arasında değişen çeşitli parlaklık seviyelerini önermektedir. Mora ve arkadaşları, çalışmalarını görüntü edinimi ile başlatarak ardından kontrastı ve parlaklığı artırmak için filtreleme yapmışlardır. Potansiyel olarak bir insan figürü içerdiğine inanılan belirli alanlar tanımlanır ve insan tanımlayıcıları oluşturmak için kenar, doku veya renk gibi özellikler çıkarılır. Sınıflandırıcılar ve öğrenme algoritmaları daha sonra insanı insan olmayan tanımlayıcılardan ayırarak SL'leri buna göre kontrol eder. Ek olarak, bir kişinin hareketlerini tahmin etmek için davranışsal analiz teknikleri önerilmektedir ve bu, SL'lerin yolları boyunca öngörücü aktivasyonuna izin vermektedir. Kamera kullanılarak adım karartma yöntemi ile yaklaşık %68 enerji tasarrufu sağlanmıştır. FPN (Feature Pyramid Network) nedeniyle SL kontrolünde nesne tespiti için YOLOv3 (You Only Look Once) kullanılmış, çeşitli ölçeklerde ve çözünürlüklerde küçük nesnelerin tespit doğruluğunu arttırılmıştır. Tasarımlarında SL, otoparktaki parlaklığı araç algılamaya göre ayarlanmaktadır. Veri aktarım ihtiyaçlarını en aza indirmek, işlemeyi veri üretimine daha yakın dağıtmak ve uzak bulut sunucularına bağımlılığı azaltmak için uç bilişime vurgu yapılmıştır [8].

Belediyelerin kamusal sokak aydınlatma lambalarını yönetmesine ve kontrol etmesine olanak tanıyan SCALS (Akıllı Şehirler Uyarlanabilir Aydınlatma Sistemi) adlı projenin sonuçlarını rapor eden Gagliardi ve ekibinin gerçekleştirdiği çalışma, kentsel alanlarda enerji tüketimini azaltmak amacıyla uyarlanabilir bir akıllı aydınlatma mimarisi geliştirmeyi hedeflemektedir. Sistem, ilgili caddelerin veya yolların belirli bölgelerinde araçların veya yayaların varlığına bağlı olarak sokak lambalarının parlaklığını bağımsız olarak ayarlayabilme yeteneğine sahiptir. Bu çalışmanın öncelikli katkısı, düşük maliyetli bir akıllı aydınlatma sistemi tasarlayarak, her bir aydınlatma direğinin genliğini artırabilecek bir IoT (Internet of Things) altyapısı oluşturmak olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, önerilen akıllı altyapı, sürdürülebilir şehirler için katma değerli hizmetler sunmayı amaçlayan daha geniş bir teknolojik mimarinin temelini oluşturmaktadır. Akıllı mimari, çeşitli alt sistemleri (yerel kontrolörler, hareket sensörleri, video kameralar, hava durumu sensörleri) ve elektronik cihazları entegre ederek, farklı işlevleri gerçekleştirmektedir. Bu işlevler arasında, uzak sokak bölümleri lamba yönetimi, tek sokak lambası parlaklık kontrolü, araçlar için video işleme hareket algılama, sınıflandırma, kablosuz ve kablolu veri alışverişi, güç tüketimi analizi, trafik değerlendirmesi yer almaktadır.

Gagliardi ve ekibinin çalışmalarında sunulan deneysel sonuçlar, geleneksel sokak lambası sistemleriyle karşılaştırıldığında %80'e yakın enerji tasarrufunun olduğunu göstermektedir. LED (Light Emitting Diode) lambalara karşı %70 enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca, Gagliardi ve ekibinin RGB (Red-Green-Blue) görüntülerin gri tonlamaya dönüştürülmesiyle başlayan ve ardından arka plan çıkarımı için Gauss modellerinin bir karışımını kullanan ön plan tespitiyle başlayan görüntü işleme çalışması da değinilmektedir. Bu çalışma, nesnelerin arka plandan ayırt edilmesi, araçların ve yayaların tespiti ile tanımlanmasına yardımcı olmak için ikili görüntü analizi kullanmıştır. Sonuçlar, sistemlerinin HPS (High-Pressure Sodium) lambalar ve LED kurulumlarıyla karşılaştırıldığında enerji açısından verimli olduğunu göstermektedir [9].

Farklı kameraların farklı ışık seviyelerinde etkili bir şekilde çalışması, görsel algılama alanında önemli bir konudur. Monokrom kameralar, düşük ışık seviyelerinde (0,01 lüksün altında) etkili bir şekilde çalışabilirken, kızılötesi veya termal görüntüleme özelliklerine sahip gelişmiş kameralar neredeyse veya tamamen karanlıkta çalışabilmektedirler.

Poulsen ve ekibi çalışmalarında, otoparklardaki yayaları takip etmek, tespit etmek için üç termal kamera ve bir Kalman filtresi kullanmıştır. Yaya tespiti için arka plan çıkarma tekniği uygulanmış ve sahne değişikliklerine göre ayarlama yapılmıştır. İşlem sonrası işlemler, tespit edilen nesnelerin ikilileştirilmesini ve koordinat haritalamasını içermiştir. Yaya grupları tek bir nesne olarak kabul edilmiş ve konumları ile hızları Kalman filtresi kullanılarak hesaplanmıştır. Sistem, etkinliğini değerlendirmek amacıyla farklı aydınlatma senaryoları altında test edilmiştir; bunlar arasında kısık ışıklar, sönük ışıklar ve yayaları takip eden ışıklar bulunmaktadır. Bu çalışma, farklı aydınlatma koşullarında termal kameraların kullanımının yayaları etkili bir şekilde tespit etmek için potansiyelini göstermektedir. Yapılan testler, sistemin farklı ışık seviyelerinde tutarlı performans sergileyebileceğini göstermektedir. Senaryo olarak serbest kontrol ve grup kontrolü yöntemi ile yaklaşık %90 enerji tasarrufu sağlanmıştır [10].

Mahmoud ve arkadaşları çalışmalarında, trafiğin az olduğu uzun yollarda aydınlatma otomasyon sisteminin analizini ve incelenmesini gerçekleştirmektedir. Ana amaç, pahalı güvenli tasarım ile yol boyunca sürekli sokak aydınlatma sistemini kullanan ve yüksek maliyetli enerji tüketimi sorununu ortadan kaldırmak için araç aydınlatmasına dayalı olarak güvenliği feda eden ucuz tasarım arasında en uygun çözümü bulmaktır.

Bu amaçla, araç plakalarına uygulanan desen tanıma tekniği kullanılarak akıllı aydınlatma otomasyon sistemi önerilmiştir. Bu öneride, yol bölgelere ayrılarak akıllı desen tanıma tekniği esas alınarak, yol aydınlatma kontrol sistemi sadece araçların geçtiği bölgeyi aydınlatmaktadır. Bu yazıda, bu aydınlatma kontrol sistemi tasarımının kullanılmasının değerini desteklemek için ekonomik analiz sunulmaktadır. Bu faktörlerin her ikisini de dikkate alarak, görüntü tanıma tekniği kullanılarak akıllı aydınlatma kontrol sistemi önerilmektedir. Mahmut ve ekibi, araç tanımlama için plaka tespitini kullanmıştır. Yolları sensörler, gece kameralarıyla bölgelere ayırmıştır. Her bölgede kurulmuş olan hareket sensörleri ve Kızılötesi kameralar kullanılarak herhangi bir hareket eden nesne algılanabilmektedir. Nesnenin bir araç olup olmadığı görüntü tanıma tekniği kullanılarak kontrol edilebilir ve görüntüsü yakalanabilmektedir. Matlab (Matrix Laboratory) kodu yazılmış ve farklı görüntüler kullanılarak kod çıktısı doğrulanmıştır. Bir araç algılandığında, yol aydınlatma kontrol sistemi yalnızca aracın geçtiği bölgeyi aydınlatır. Bu tasarımın aydınlatma kontrol sistemi olarak değerini desteklemek için ekonomik bir analiz sunulmuştur. Önerilen sistem ile %86'ya varan tasarruf edilmiştir. Bu norm, hem proje karar vericileri hem de nakit akışı denetleyicileri için proje yönetimini desteklemek için iyi bir endeks olarak hizmet etmektedir. Bir nesne algılandığında, kamera bir görüntü yakalar, aracın plakasını tanımlar ve bölgenin lambalarını etkinleştirir [11].

Ożadowicz ve arkadaşları çalışmalarında, sokak aydınlatmalarının enerji tüketimini azaltmak için kontrol sistemleri ve uzaktan izleme üzerine odaklanmaktadır. Yeni bir organizasyon yaklaşımı, dış mekan aydınlatma sistemlerinde verimliliği artırmak için sunulmaktadır. EN 15323 standardındaki bina otomasyon ve kontrol sistemlerinin dört verimlilik sınıfına dayanan işlevsel stratejiler önerilmekte, uygulanmakta, test edilmektedir. Önerilen dış mekan aydınlatma sistemi, LonWorks (Local Operating Network) platformuna dayalı bir kontrol sistemi kullanarak yüksek basınçlı sodyum lambalarını yönetmektedir. Bu sistem, sokak lambalarını bir bina yönetim sisteminin entegre düğümleri olarak işlev görmektedir. Yapılan deneysel testler, önerilen işlevsel stratejilerin enerji tüketimini azaltmada önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir, özellikle kontrol kullanıldığında geleneksel sistemlere kıyasla %45'e kadar tasarruf sağlanabilmektedir [12].

Castellano ve ekibi, farklı ayarlar altında etkili görüntü özelliklerini tespit etmek için geliştirilmiş bir ORB algoritması (Oriented Fast ve Rotated Brief) kullanmışlardır.

Bu algoritma, hatalı negatifleri azaltmak için görüntü çerçevesini değişen koşullara uyum sağlayacak şekilde ayarlamak için alan içi ayarlamayı içermektedir. Araç algılandığında, bir olay oluşturulur ve algılama alanı, nesne kimliği, araç yönü, hızı gibi detayları içermektedir. Deney düzeneği, tek bir algılama noktası ve üç araç tespit kamerasına sahip bir SL'ye monte edilmiş bir dizi sensör ve PV (Photovoltaic) ile çalışan LED armatürlerinden oluşmaktadır. Bu çalışma, ITERL adlı bir kablosuz sistem olan, verimli yol aydınlatması için adapte edilebilir bir çözüm sunmaktadır. ITERL, en son LED teknolojisini kullanarak sokak lambaları için verimli güç kullanımını sağlamaktadır. Kavşağa yaklaşan araçların varlığı ve hızı gibi faktörleri dikkate alan akıllı bir kontrol cihazıyla ilgi alan en uygun şekilde aydınlatmaktadır. ITERL, bir dizi sensör, video kamerası içerir ve iletişim kablosuz olduğu için kurulum ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Son olarak, yerel denetleyici, merkezi bir tesis üzerinden kontrol edilen bir telekomünikasyon taşıyıcısı aracılığıyla bağlanır. Makale, ITERL işleminin ve bileşenlerinin ayrıntılı bir açıklamasını sunmaktadır. Bir ITERL prototipi, İspanya'daki Villafranca'de bir yol kavşağında iki yıldan fazla bir süredir başarıyla kullanılmaktadır. ITERL'in performansı ve enerji tasarrufu, geleneksel yol aydınlatma sistemleriyle karşılaştırıldığında %36,78'lik bir güç azalması sağladığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, aydınlatma ve IoT teknolojilerinin akıllı bir birleşiminin, trafik kazalarını azaltmaya yönelik uygun maliyetli yol aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesine önemli katkı sağlayabileceğini göstermektedir [13].

Bu çalışmada Chiradeja ve ark., bir internet protokolü kamerasıyla işbirliği yapan ve ışığa bağımlı bir direnç sensörü kullanan bir yol aydınlatma kontrol sistemi sunulmaktadır. Bu sistem, ışık yayan diyotlu bir armatürün parlaklığını otomatik olarak kontrol ederek trafik yoğunluğuna bağlı olarak parlaklığı artırabilir veya azaltabilmektedir. Önerilen kontrol sistemi, nanogrid güneş enerjili yol aydınlatma sistemine entegre edilmiş ve bir deney düzeneği aracılığıyla analiz edilmiştir. Ayrıca, önerilen kontrol sistemi dahil veya hariç olmak üzere, bağımsız LED güneş enerjisi ve şebekeye bağlı operasyonlarda nanogrid güneş enerjili yol aydınlatma sistemleri incelenmiştir. Bu sistemler, ekonomik fizibilite açısından mevcut geleneksel yol aydınlatma sistemleriyle karşılaştırılmıştır, indirgenmiş geri ödeme süresi, net bugünkü değer, iç getiri oranı ve karlılık endeksi gibi göstergeler temel alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, LED sensörlü İnternet protokolü kamerasının kullanılmasının, aydınlatma seviyelerini otomatik olarak kontrol ederek yol aydınlatma sisteminin enerji tüketimini azaltabileceğini göstermektedir.

Ekonomik değerlendirme sonuçları, nanogrid güneş enerjili yol aydınlatma sistemlerinin yatırım için fizibilite gösterdiğini ancak önerilen kontrol sistemi dahil edildiğinde daha düşük ilk yatırım maliyetine sahip olduğunu ve daha fazla enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, önerilen kontrol sisteminin kullanımı, yol aydınlatma sistemleri için ekonomik olarak uygundur. Ayrıca, kontrol sisteminin enerji tüketimini %30'a kadar azalttığı gözlemlenmiştir [14].

Ren Tang ve diğerleri, YOLOv5s tespit modelini kullanarak özellikle kavşaklar için akıllı bir karartma yöntemi geliştirilmiştir. Bu sistem, tespit edilen yol kullanıcısının türüne göre karartma profilini uyarlayacak şekilde tasarlanmıştır. Örneğin, motorlu araç modu, motorsuz araç modu ve yaya modu gibi çeşitli modlar için farklı çıkış güçleri ve karartma öncelikleri atanmaktadır. YOLOv5s modeli, algılama hızı ve sınıflandırma doğruluğu açısından SSD, YOLOv4 ve YOLOv3 gibi diğer modellerden daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca, geleneksel ve LED sokak aydınlatma teknolojilerine kıyasla önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu çalışma, kavşaklarda akıllı aydınlatma kontrolünün, farklı yol kullanıcılarını algılayarak enerji tasarrufu sağlamak ve güvenliği artırmak için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. YOLOv5s modelinin kullanımı, tespit doğruluğunu artırarak ve enerji tasarrufu sağlayarak bu amaçlara ulaşmada önemli bir adım olabilmektedir. Kontrol cihazı, tespit edilen yol kullanıcısının sınıfına bağlı olarak farklı parlaklık seviyeleri üretir ve buna bağlı olarak %35'e varan enerji tasarrufu sağlanmaktadır [15].

Zamanidou ve diğerleri tarafından yapılan bu çalışma, kamusal aydınlatmanın elektrik enerjisi ihtiyacını güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlayan bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin gün öncesi planlamasına odaklanmaktadır. Bu sistem, Wi-Fi (Wireless Fidelity) erişim noktaları ve son kullanıcılar için şarj noktaları gibi elektrik ihtiyaçlarını karşılamakta ve kesintisiz bir enerji tedariki sağlamak için enerji depolama sistemine sahiptir. Gün öncesi planlama, derin öğrenme yaklaşımı kullanılarak elektrik üretimi tahminine dayanmaktadır. Özellikle uzun kısa süreli bellek modeli, zaman serileri arasındaki uzun dönemli bağımlılıkları algılayabilme yeteneğiyle tercih edilmektedir. Modelin performansı geçmiş veriler, hava durumu tahminleri ve bunların birleşimi kullanılarak araştırılmıştır. Birden fazla enerji tüketimi senaryosu göz önüne alınarak gün öncesi planlama optimize edilmiş ve enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

Zamanidou ve ekibi, hibrit bir yenilenebilir enerji sisteminde bir PV paneli ve rüzgar türbininden gün öncesi enerji üretimi tahmini için çok değişkenli bir LSTM (Long Short-Term Memory) modeli kullanılmıştır. Hava durumu değişkenlerini ve geçmiş verileri birleştirerek enerji yönetimini optimize etmişlerdir. Model, güneş enerjisi için bulut örtüsünü ve rüzgar enerjisi için rüzgar yönünü dikkate alarak tahmin doğruluğunu artırmıştır. Bir enerji yönetimi algoritması, tahminlere dayalı olarak LED ışıklarını ayarlayarak ve sıcak noktaları şarj ederek güç üretimini ve tüketimini dengelemiştir. Yapılan testler, güç tüketiminde %23'lük bir azalma ve pil kapasitesinde tasarruf sağlarken şebekeye olan bağımlılığı da azalttığını göstermiştir. Günden güne ise %6 ve %80 arasında değişen enerji tasarrufu sağlanmıştır. Makale, yapay zeka kullanarak görsel verilerden değerli özellikler çıkararak, bilgisayar sistemlerinin nesne algılama, tanıma ve segmentasyon gibi görevleri kolaylaştırmasının önemini vurgulamaktadır. Bu sayede, bilgisayarlar görüntüleri ve videoları daha etkili bir şekilde algılayabilir ve yorumlayabilmektedirler [16].

Avrupa'da artan elektrik fiyatlarının bir sonucu olarak bazı belediyeler, enerji tasarrufu sağlamak ve işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla gece boyunca sokak ışıklarını birkaç saat kapatmaktadır. Ancak, bu uygulama zifiri karanlık sokaklarla sonuçlanarak, halkın emniyet ve güvenlik konusundaki endişelerini artırmaktadır. Mevcut sokak aydınlatma standardı EN 13201, enerji tasarrufu ile yol güvenliği arasında uygun bir denge sağlayarak, trafik yoğunluğunun azalmasına paralel olarak yol parlaklığının da azaltılmasını öngörmektedir. Balazs ve diğerleri çalışmalarında, trafik sayım verilerine dayanarak trafik düzenlemeli sokak aydınlatmasının enerji tasarrufu potansiyelini tahmin etmek için bir metodoloji sunmaktadır. Kentsel bir caddeden bir yıl boyunca toplanan trafik hacmi ve kompozisyonunu analiz ederek, trafik sensörü tarafından düzenlenen sokak aydınlatmasının EN 13201 tavsiyelerine uygun olarak yol parlaklığını korurken elektrik maliyetlerinde %55'e kadar azalma sağlayabildiği öngörülmüştür. Analiz edilen vakada, günlük trafik hacmi profilleri, iş günü veya tatil modelini takiben oldukça istikrarlı bulunmuştur. İstatistiksel analiz, armatürlerin standartlara uyumlu olarak önceden programlanmış karartma programıyla %45 enerji tasarrufu sağlanabileceğini gösterilmiştir. Ayrıca, yaz saati uygulamasının uyarlanabilir sokak aydınlatmasının enerji tüketimi üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir [17].

Smys ve arkadaşları, sokak aydınlatma sistemlerinde enerji kullanımını azaltmaya yönelik bir çaba içerisinde.

Bu çerçevede, ışık yoğunluğunu hava koşullarıyla karşılaştırarak güç tüketimini verimli bir şekilde kontrol etmek için akıllı sokak aydınlatmasında güç yönetimi fikrini sunmaktadır. Önerilen yöntemde, yapay sinir ağları sokak aydınlatmasının güç yönetiminde kullanılmaktadır. Bu yöntem, güç yönetiminde daha iyi bir kontrol sağlayarak sokak aydınlatmalarında güç kullanımını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Smys ve ekibi, sokak lambalarını meteorolojik verilere dayalı olarak kontrol etmek için ileri beslemeli sinir ağlarının kullanılmasını önermiştir. FFNN (Feed Forward Neural Network), meteorolojik verilere dayalı bir kontrol planı oluşturmak için prognostik işlevsellik ve aydınlatma yoğunluğunu gerçek zamanlı olarak ayarlamak için sürekli düzeltme işlevselliği olmak üzere iki şekilde kullanılmıştır. FFNN, dokuz giriş boyutuna sahipti ve gizli katmanda 16 nöron içermektedir. Smys ve ekibi, yağmur, sıcaklık ve atmosferik basınç gibi girdileri içeren meteorolojik verilere dayalı olarak eğitilmiş bir FFNN kullanılmıştır. Her iki çalışmada da eğitim süreci momentum faktörü ile geri yayılımı içeriyordu ve minimum ortalama karekök hata elde edilene kadar devam etmiştir. Bu yöntemler, sokak aydınlatmasında enerji tüketimini azaltmak için etkili bir yol sunmaktadır. Kullanılan yöntemler doğrultusunda %60'a kadar enerji tasarrufu sağlanmıştır [18].

Yun ve ekibi çalışmalarında, bilgisayar teknolojisi ve nesnelerin interneti teknolojisinin hızla ilerlemesiyle birlikte akıllı şehirlerin gelişimini teşvik ettiğini ve bu kavramların teoriden pratiğe geçmeye başladığını belirtmektedir. Akıllı şehir gelişiminin önemli bir parçası olan akıllı aydınlatma ve kentsel aydınlatma sistemlerinin akıllı kontrolü, son nesnelerin interneti ve video görüntü işleme teknolojisinin gelişimiyle birlikte giderek daha acil hale gelmektedir. Makale, akıllı şehir aydınlatma sistemlerinin genel kontrol modelini oluşturmak için GPRS (General Packet Radio Service) kablosuz iletişim teknolojisi ve ZigBee gibi teknolojileri kullanmaktadır. Ayrıca, belirli bir sahnenin arka planını tanımlamak için Gauss karışım algoritmasına dayanan gelişmiş bir video görüntü işleme teknolojisi sunmaktadır. Gürültü bastırma düzeyinde, kentsel trafik sahnelerinin doğruluğunu ve bütünlüğünü sağlamak için ortalama filtreleme ilkesine dayalı bir girişim gürültüsü bastırma teknolojisi tasarlanmaktadır. Çalışma, video görüntü işleme teknolojisinin güvenlik sorunlarını ele almak için elektromanyetik bilgi sızıntısını önleme algoritmasını da içermektedir.

Şehir akıllı aydınlatma sisteminin yazılım ve donanımının tamamlandığına ve küçük ölçekli bir şehir sahnesinde yapılan deneylerin video görüntü işleme teknolojisine dayalı akıllı kentsel aydınlatma sisteminin uygulanabilir olduğunu ve istenilen etkiyi sağlayabileceğini gösterdiğine işaret edilmektedir. Ayrıca, aydınlatma enerjisi tüketiminin ve buna karşılık gelen arıza oranının da yaklaşık %30 oranında azaltılabileceği belirtilmektedir [19].

Tukymbekov ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda, geleneksel sokak aydınlatma sistemlerinin yüksek enerji tüketimiyle karakterize edildiği ve otomatik akıllı sistemlerle karşılaştırıldığında, hava koşullarına dayalı uyarlanabilir enerji tüketimine sahip otonom bir sokak aydınlatma sistemi önerilmiştir. Bu sistem, güneş panellerinden tamamen bağımsız olarak çalışır ve gücünü güneş panellerinden almaktadır. Lambaların enerji tüketimi, dış aydınlatma standartlarına uygun minimum parlaklık seviyesine kadar değiştirilebilmektedir. Güneş panellerinin enerji üretimi tahminleri için LSTM kullanılmıştır, bu tahminler önümüzdeki günlere ait hava durumu ve güneş radyasyonu tahmin verilerine dayanmaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre, pillerin kritik seviyeye ulaşma olasılığı genellikle %0,05 civarındadır. Bu yöntemle tasarlanan sokak aydınlatma sistemi, Kazakistan'da istikrarlı ve sürdürülebilir bir performans göstermektedir. Tukymbekov ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, güneş panelleriyle çalışan sokak aydınlatmaları için olumsuz hava koşullarında güç üretimini tahmin etmek amacıyla LSTM kullanılan bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. Meteoroloji istasyonundan alınan geçmiş veriler ve internetten elde edilen meteorolojik tahmin verileri kullanılarak model eğitilmiş ve oluşturulan tahminler, minimum %30 pil şarjı ve minimum %20 lamba parlaklığı sağlayarak sokak aydınlatmalarının enerji tüketimini optimize etmek için kullanılmıştır. LSTM modelinin doğruluğu ve depolama yeteneklerinin, sokak aydınlatma sisteminin enerji yönetimini iyileştirmede etkili olduğu kanıtlanmıştır [20].

Pizzuti ve diğerlerinin gerçekleştirdiği çalışmada, enerji tüketimini azaltmak amacıyla yeni bir sokak aydınlatma enerji yönetim sistemi önerilmektedir. Temel fikir, enerjinin yalnızca ihtiyaç duyulduğunda sağlandığı "talep üzerine enerji" kavramına dayanmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için güvenilir bir talep modeli gereklidir ve sokak aydınlatması durumunda bu modelin trafik akış hızını tahmin etmek olduğu belirtilmektedir. 1 saatlik trafik akışı tahmini için çeşitli yöntemler karşılaştırılmış, en iyi sonuçların yapay sinir ağlarına dayalı olanını gösterdiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, çeşitli kontrol stratejileri test edilmiş ve en iyi enerji tasarrufunu sağlayan uyarlanabilir strateji olduğu belirtilmiştir.

Pizzuti ve diğerkleri, gelecek saatteki trafik akışını tahmin etmek için bir topluluk öğrenme modeli kullanmışlardır. Zaman serisi tahmininde, bir sinir ağına girdi olarak kullanılmak üzere önceki gözlemlerin bir dizi olarak adlandırılan bir zaman penceresi kullanılmıştır. Zaman penceresinin boyutu, bir sinir ağının giriş boyutunu belirlemektedir. Pizzuti ve ekibi, 8 saatlik bir zaman penceresinin optimal olduğunu bulmuş ve parlaklığın trafik akışına göre %50-100 arasında doğrusal olarak ayarlandığını belirtmişlerdir. Bu doğrultuda %50'ye varan enerji tasarrufu sağlanmıştır [21].

Mohandas ve arkadaşları çalışmalarında, yapay sinir ağı ve bulanık mantık denetleyicisi gibi yumuşak hesaplama yaklaşımlarını kullanarak, enerji verimli sokak aydınlatma sistemleri için bir karar verme süreci önermektedir. Önerilen tasarım, Hosur yerleşim bölgesinde uygulanmış ve gerçekleştirilmiş, farklı senaryolarda ve mevsimlerde test edilmiştir. Karar verme modülü, aydınlatma sensörü, hareket sensörü, PIR (Passive Infrared Sensor) sensörü gibi faktörleri analiz ederek, yapay sinir ağı ve bulanık mantık denetleyicisi aracılığıyla verimli bir karar verme süreci sağlamaktadır. Beş senaryo seviyesi gerçek zamanlı olarak test edilmiş ve uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, akıllı ve enerji verimli sokak aydınlatma sistemi, istenmeyen kullanımları %34 oranında azaltırken, enerji tüketimini de %13,5 oranında azaltmıştır [22].

De Paz ve arkadaşlarının çalışmalarında, sokak lambalarındaki güç tüketimi ile karartma seviyeleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi modellemek için yapay sinir ağları kullanmıştır. Armatür türüne özel olarak eğitilen iki ayrı yapay sinir ağı, karartma seviyelerini güç tüketimine dönüştürmüş ve tahsis edilen güce göre ışık yoğunluğu hesaplanmıştır. FFNN1 güç tüketimini, FFNN2 parlaklık seviyesi için hesaplama yapmışlardır. Bu kapsamlı yaklaşım, aynı zamanda optimizasyon tekniklerini ve maliyeti en aza indirirken yeterli parlaklığı korumayı hedefleyen bir algoritmayı da içermektedir. Akıllı bir sunucu, aydınlatma programını gerçek zamanlı olarak sürekli olarak ayarlayarak optimum aydınlatma ve %25'e kadar enerji verimliliği sağlanmıştır [23].

F. Agramelal ve diğerkleri, trafik tahmini ve güneş enerjisi destekli sokak ışıklarının kontrolü için çeşitli yapay sinir ağı türlerini araştırmışlardır. Otoyoldaki trafiği gelecek saati tahmin etmek için farklı gecikme değerlerini kullanmışlar ve tek bir gizli katman içeren gelişmiş beslemeli sinir ağlarını ve birden fazla gizli katmana sahip derin sinir ağlarını test etmişlerdir.

Bu yapay sinir ağı modellerinin performansı, istatistiksel bir tahmin yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Yazarlar, tahmin doğruluğunu kök ortalama kare hatası ve ortalama mutlak yüzde hatası gibi metrikler kullanarak değerlendirmişlerdir. İki gizli katmana ve sırasıyla 100 ve 64 nörona sahip olan derin sinir ağı modeli, diğer trafik tahmin modellerine göre daha iyi performans göstermiş ve güneş enerjisi ile desteklenen sokak ışıklarının kontrolünde üstün doğruluk sergilemiştir. En kötü senaryolarda bile pil şarjı her zaman %30'un üzerinde tutulmuştur [24].

Agramelal ve arkadaşları çalışmalarında, güvenliği artırmak ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla, gelecekteki trafik tahminlerine ve bulanık mantığa dayalı olarak bağımsız sokak lambaları için ayrı bir ışık kontrol cihazı önermektedir. Bu kontrol cihazı, pil durumunu ve ertesi gün gelecekteki güneş ışımasını dikkate alarak ışığı her ana yoldaki trafik talebine göre ayarlamaktadır. İlk olarak, çeşitli trafik tahmin modelleri test edilmiş ve doğrulanmıştır. Daha sonra, sistemin simülasyonları Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan ışık kontrol cihazının enerji tüketimini azaltabildiğini, böylece sistemin otonomisini artırırken aynı zamanda yol güvenliğini sağladığını göstermektedir. Bir otoyoldaki iki ayrı taşıt yolundaki saatlik trafiği tahmin etmek için çeşitli trafik tahmin modellerini incelemişlerdir. Trafik hacmini, hızı ve doluluk oranını birleştiren çok değişkenli bir trafik modeli kullanılmıştır. Uzun kısa süreli bellek ve derin sinir ağı modelleri, her biri 48 saatlik gecikmeye sahip, üstün performans göstermiştir. Her iki model de aşırı uyumu önlemek için bir bırakma oranı kullanmış ve sırasıyla 100 ve 50 nöronlu iki gizli katmana sahip olmuştur. Yazarlar, her iki modelin de tahmin edilen trafik hacmini kontrol etmek için bulanık bir denetleyiciye beslediklerini belirtmişlerdir. Trafik hacmi, hız ve doluluk oranı dahil olmak üzere önceki 48 saatlik geçmiş trafik verileri üzerinde yapılan bu çalışmada %58'e kadar enerji tasarrufu sağlamışlardır [25].

Fryc ve ekibi çalışmalarında, insan gözünün gündüz ve gece görüşüne olan etkilerini ve lambaların ışık spektral bileşimine bağlı olarak yol aydınlatma enerji tüketiminin optimize edilmesi konusunu ele almaktadır. Araştırma, farklı parlaklık seviyelerine sahip akıllı LED yol lambalarıyla donatılmış Varşova sokaklarında gerçekleştirilmiştir. İncelenen yol, Polonya'nın başkenti Varşova'nın çevresinde bulunan ve büyük bir metropol alanına uzanan bir giriş yolu özelliği taşımaktadır. Bu nedenle, yol üzerinde sabah ve akşam saatlerinde yoğun trafik yaşanırken, diğer saatlerde ise trafik oldukça hafiftir. EN 13201 standardına göre, bu yolu aydınlatmak için aydınlatma kontrolü uygulanabilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada, farklı aydınlatma senaryoları için yolun enerji tüketimini karşılaştırmaktadır. Birinci senaryoda, yolun parlaklığı M4, M5 ve M6 aydınlatma sınıfı gereksinimlerine uygun olarak belirlenmiş ve gündüz saatlerine göre değişkenlik göstermektedir. İkinci senaryoda ise, her bir M aydınlatma sınıfı için, EN 13201 standardı tarafından belirlenen parlaklık seviyeleri, mezopik parlaklık değerlerine dönüştürülerek hesaplanmıştır. Çalışma, bu dönüşümün yol üzerinde yılda %15'e kadar enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, bir aydınlatma sisteminin enerji verimliliği, standart aydınlatma seviyelerinin mezopik görüşe uyumlu hale getirilmesiyle artırılabilir. Aydınlatma düzenlemesi olarak, yarı gece kademeli karartma profili kullanılmıştır [26].

Halk aydınlatmasının yönetimi, modern teknolojinin sunduğu imkanlarla büyük ölçüde geliştirilebilir. Kablosuz iletişim ve DALI protokolü gibi yenilikçi sistemler, enerji tasarrufu sağlayarak ve çevresel etkileri azaltarak şehirlerin ve kasabaların aydınlatma ihtiyaçlarını daha etkin bir şekilde karşılayabilir. Bellido ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kablosuz iletişim ve DALI protokolünün birleşimini kullanarak akıllı bir halk aydınlatma sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kablosuz iletişim, altyapı maliyetlerini düşürerek ve tarihi binaların zarar görmesini önleyerek şehir merkezlerindeki aydınlatma yönetimini kolaylaştırır. Aynı zamanda, DALI protokolü ballast kontrolünde çift yönlü iletişim sağlayarak aydınlatma sistemlerinin sürekli olarak izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmanın önemli bir özelliği, halk aydınlatmasının tüm yönlerini ele almasıdır. Standart bir protokol olan DALI'nin kullanımıyla, ballast kontrolü için en uygun seçenekler belirlenirken, IEEE 802.15.4 standardına dayalı kablosuz düğümler ve DALI arabirimiyle bir ağ katmanı tasarlanmaktadır. Ayrıca, aydınlatma ağının topolojisini dikkate alan bir ağ katmanı geliştirilmiş ve farklı kasaba ve şehirlerdeki teknik ekiplerin sistem kontrolü ve bakımı için kullanıcı dostu uygulamalar geliştirilmiştir. Yarı gece kademeli karartma yöntemi, enerji tasarrufunda önemli bir artış sağlanmaktadır. %30'luk bir karartma, %40'a kadar enerji tasarrufu sağlayabilir, bu da hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük avantajlar sunmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma modern teknolojinin halk aydınlatmasının yönetiminde nasıl kullanılabileceğine dair önemli bir örnektir. Kablosuz iletişim ve DALI protokolü gibi yenilikçi yaklaşımların kullanılmasıyla, şehirler ve kasabalar enerji tasarrufu sağlayabilir ve çevresel etkileri azaltabilir, böylece daha sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adım atılabilmektedir [27].

Cadde aydınlatması, modern şehir altyapısının kritik bir parçası olmasına rağmen, bu sistemlerin yüksek enerji tüketimi dikkate değer bir sorundur. Bu nedenle, cadde aydınlatmasının enerji maliyetlerini azaltmaya yönelik birçok yenilikçi teknoloji ve çözüm geliştirilmektedir. Ancak, çoğu çözüm önerisi genellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olan yüksek basınçlı sodyum lambaları için uygun değildir. Bununla birlikte, yüksek başlangıç maliyeti, montaj zorlukları, bakım gereksinimleri ve güvenilirlik sorunları gibi faktörler, bu çözümlerin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Thungtong ve diğerleri çalışmalarında, geleneksel cadde aydınlatma sistemleri için web tabanlı bir kontrol sistemini tanıtmaktadır. Önerilen sistem, mevcut foto anahtar modüllerini IoT cihazlarına dönüştürerek çalışmaktadır. Ardından, bir sunucudaki web uygulaması, bu cihazları yönetir ve kontrol eder. Web uygulaması, kullanıcıların enerji tasarrufu sağlamak için ışıkları geç saatlerde otomatik olarak kapatmalarını sağlayacak bir zamanlama mekanizması sunmaktadır. Bu sistem, düşük maliyeti, kolay kurulumu ve bakım gerektirmemesi gibi avantajlarla öne çıkmaktadır. Ayrıca, gece geç saatlerde düşük trafik yoğunluğuna sahip yollar veya alanlar için özellikle uygun olduğu görülmüştür. Sistem, Tayland'daki Walailak Üniversitesi'nde test edilmiş ve enerji tüketiminde %36'lık bir azalma sağlamıştır. Bu yenilikçi yaklaşım, cadde aydınlatmasının sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmak için umut vaat eden bir çözüm sunmaktadır [28].

Beccali ve takım arkadaşları çalışmalarında, İtalya'da bir eski kasabada aydınlatma projesini ele almaktadır. Makalenin benzersizliği, bir dizi hedefi gerçekleştirmeyi amaçlayan bütüncül bir yaklaşımda yatmaktadır. Bu hedeflerin ilki, enerji tüketimini azaltmak için verimli lambalar ve gelişmiş kontrol sistemleri kullanmaktır. İkincisi, altyapıyı sağlam ve kullanışlı hale getirmek için cihazları entegre etmektir. Üçüncüsü, eski şehre yeni bir kimlik kazandırmak için yeni teknolojiler ve tasarım kavramları kullanmaktır. Son olarak, sokak ve yaya güvenliğini kodlara ve standartlara göre sağlamaktır. Bagheria şehrinin planı ve şehirdeki lamba stoku analiz edilmiştir. Var olan aydınlatma altyapısını vurgulayarak kritik alanları belirlemek; uygun ışık kalitesi ve dağılımını sağlayabilen lamba tiplerini tasarlamak; ilgili tarihi binalar için estetik ve teknik tasarım önermek; ve tasarım sürecine yeni çok amaçlı bir direk kavramını dahil etmek amacıyla çok disiplinli bir yaklaşım benimsenmiştir. Sosyal faydaların analizi ile birlikte, ekonomik maliyetler ve faydaların değerlendirilmesi tartışılmıştır. Proje, %15 enerji tasarrufu sağlamaktadır, standart gereksinimlerini karşılar ve şehrin sosyal ve çevresel yönetiminde önemli ve stratejik bir gelişme sağlamaktadır.

Çalışma, eski şehirlerde bozulmuş ortamlarda kentsel yenileme için sokak aydınlatma altyapılarının bütünleşik tasarımının bir örneğini sunmaktadır [29].

İngiltere'nin birçok şehri, sokak aydınlatmalarını elektrik maliyetlerini azaltmak ve sürdürülebilir enerji çözümlerine ulaşmak amacıyla beyaz ışık yayan diyot lambalara geçmektedir. Bu değişim, eski sokak lambalarının yerini almasıyla birlikte enerji tasarruflarının yanı sıra maliyet avantajları da sağlamaktadır. Ancak, LED lambaların kurulum maliyeti yüksek olabilir ve bu maliyetlerin geri kazanılması zaman alabilmektedir. Şehir meclisleri, kısa vadeli enerji verimliliği sağlamak için bazen özellikle yerleşim bölgelerinde kısmi gece aydınlatma sistemlerini benimsemektedir. Bu sistemler, belirli saatlerde aydınlatmanın azaltılmasıyla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Son zamanlarda 29.701 adet sodyum lambayı LED lambalarla değiştirmiştir. Ancak, bu dönüşümün maliyeti ve geri dönüş süresi, bütçe kısıtlamaları göz önüne alındığında dikkate değerdir. Pagden ve arkadaşları çalışmalarında, Coventry'deki LED lambalar ve kısmi gece aydınlatmaları gibi iki sokak aydınlatma sisteminin ekonomik analizini sunmaktadır. Yapılan projeksiyonlar, kısmi gece ve kademeli karatma yöntemi ile aydınlatmalarının mevcut elektrik kullanımına göre sırasıyla LED %44 ve yüksek basınçlı sodyum lamba %21 oranında enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir [30].

Chung ve diğerleri çalışmalarında, zeki uzaktan kumandalı bir aydınlatma sisteminin uygulanabilirliğini araştırarak bir vaka çalışmasının birinci aşama sonuçlarını sunmaktadır. Çin'deki yaklaşık 8000 sokak lambası için bu sistem ilk kez büyük ölçekli olarak kullanılmıştır ve projenin birinci aşaması 1350 lambayı kapsamaktadır. Mevcut elektromanyetik aydınlatma sistemlerini büyük değişiklikler gerektirmeden dim yapabilen bir sistem olan patent bekleyen merkezi kontrol dimleme sistemleri, 2004 yılından bu yana Heshan'da başarıyla uygulanmaktadır. Bu merkezi dimleme sistemi, otomatik kurtarma özelliğine sahiptir ve normal çalışma koşullarında başarısız olması durumunda otomatik olarak ışık ağını devre dışı bırakarak yüksek ışıklandırma sistemlerinin kullanılabilirliğini sağlamaktadır. Ayrıca, mevcut elektromanyetik balastların korunmasıyla birlikte, herhangi bir pahalı elektronik balast gerektirmezler. Önerilen sistem, çevre dostu ve enerji tasarruflu bir çözüm sunmaktadır. Elektromanyetik balastların uzun ömürlü olması, geri dönüşümlerinin yapılabilir olması, yüksek güvenilirlik ve aşırı hava koşullarına ve yıldırıma karşı direnç gibi birçok avantajı korur. 9 aylık işletme süresince, bu sistemle donatılan sokaklarda hiçbir ışık kesintisi yaşanmamıştır.

Ayrıca, suç ve trafik kazası oranlarında bir artış olmadığı bağımsız bir şekilde doğrulanmıştır. Yol aydınlatma yönetim şirketi tarafından yerleşimcilerden herhangi bir şikayet alınmamıştır. Bu projenin birinci aşamasında, genel olarak %27'lik bir enerji tasarrufu kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, zeki uzaktan kumandalı dim yapabilen yol aydınlatma sistemlerinin başarıyla uygulanabilir olduğunu göstermektedir [31].

Davidovic ve arkadaşları çalışmalarında, NW (Neutral White) ve WW (Warm White) LED'lerin tüm ilgili sokak/yol aydınlatma sınıfları ve direk düzenlemeleri göz önünde bulundurularak yapılan analizlerle gerçek enerji verimliliği ve maliyet göstergelerini belirlemek için doğru bir metodoloji sunmaktadır. Mezopik etkilerin dikkate alındığı durumlarda, LED (NW ve WW) ile HPS aydınlatma çözümlerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen ortalama enerji tasarruflarının sırasıyla %41-62 ve %29-59 olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde, LED (NW ve WW) ile HPS aydınlatma çözümleri arasındaki toplam maliyetlerin oranları %0.59-1.26 ve %0.61-1.14 aralıklarına aittir. Analiz, geleneksel olarak alınan indirim ve elektrik maliyeti oranlarına ek olarak LED paket ömrünün de maliyetlere etkisini incelemiştir. Sonuçlar, LED paket ömrünün sadece toplam maliyetleri hafifçe etkilediğini ve yakın gelecekte beklenen daha verimli LED paketlerinin kullanımının etkilerini de değerlendirdiğini göstermektedir. Bu analizler, sokak/yol aydınlatmasında doğru enerji verimliliği ve maliyet analizi için önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır ve karar vericilere daha bilinçli seçimler yapmaları için rehberlik sağlayabilir, uzun vadeli tasarruf potansiyelini değerlendirmeye yardımcı olabilmektedir [32].

Akıllı şehirlerde altyapı, mülkler ve insan kaynaklarının akıllıca yönetilmesi kritik öneme sahiptir. Bu yönetimde temel bir gereklilik, güvenilir, sürdürülebilir ve özelleştirilebilir bir elektrik enerjisi kaynağının olmasıdır. Kamu sokak aydınlatması, yerel yönetimlerin yetki alanında yer alan ve büyük miktarda enerji tüketen bir altyapı örneğidir. Ancak, geleneksel kamu sokak aydınlatma sistemleri genellikle enerji israfıyla ilişkilendirilir ve uzaktan izleme ve kontrol yeteneklerine sahip olmadıklarından sorunlara yavaş yanıt vermektedirler. Bu sorunları çözmek için akıllı kamu sokak aydınlatma sistemleri ve yönetimi geliştirilmelidir. Dwiyani ve arkadaşları, Raspberry Pi, SCADA ve IoT teknolojilerini kullanarak kanıtlanmış bir akıllı kamu sokak aydınlatma çözümünü sunmaktadırlar. Bu sistem enerji verimliliği sağlarken, çevresel koşullara uygun olarak akıllıca çalışır ve aşırı aydınlatma ve parlama gibi sorunları önlemektedir.

SCADA ve IoT teknolojileri, sürekli ve gerçek zamanlı izleme ile iş süreçleri için kullanılarak, akıllı kamu sokak aydınlatmasının geleneksel modlara göre %43 daha verimli olduğu kanıtlanmıştır [33].

Helsinki'deki konut alanında, hafif bir trafik rotasında zeki LED aydınlatma pilotu gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmanın amacı, karanlıkta güzergah kullanıcılarının güvenliğini ve konforunu azaltmadan enerji tasarrufu sağlayan optimal bir aydınlatma kontrol sistemi geliştirmek ve test etmektir. Geliştirilen aydınlatma kontrol çözümü, yol kullanıcılarının hareketlerini ve konumunu pasif kızılötesi (PIR) sensörlerle rotada izleyerek, ışıklandırılan alanın önünde olacak şekilde aydınlatma koşulları oluşturabilmektedir. Bu durum, enerji tasarrufu ve kullanıcı konforu açısından optimal bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Kontrol, yaya ve bisiklet kullanıcıları tarafından kullanılan gerçek bir test alanında, 28 aydınlatma direği ve kontrol edilebilir LED armatürlerle uygulanmıştır. Kaydedilen PIR verileri, sistemin performansını açık hava koşullarında değerlendirmek ve farklı aydınlatma kontrol şemalarını ve bunların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için analiz edilmiştir. Deneyimler, sistemin dış koşullarda çalışabileceğini göstermiştir, ancak soğuk bir ortamda güçlü rüzgarın yanlış sensör etkinliğine neden olduğunu belirtilmiştir. Üç PIR sensörünün, özellikle yeşilliklerle çevrili aydınlatma direklerine yüksek montajlandığında, sistemi yanlış algılara karşı hassas hale getirmiştir. Bölgenin mevcut kontrol çözümüne göre enerji tasarrufu, kullanılan akıllı kontrol senaryosuna ve takvim zamanına bağlı olarak %60-77 arasında değişmektedir [34].

Mustafa ve diğerleri çalışmalarında, otoyol aydınlatmasını optimize etmek için yol işgaline dayalı bir akıllı aydınlatma yönetim sistemi önermektedir. Kablosuz sensör ağı kullanarak araç varlığını algılayan bu sistem, gerçekçi simülasyonlarla enerji tasarrufu sağlayabilirliğini kanıtlamaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre, önerilen sistem geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla %57.4'e varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Çalışma, akıllı aydınlatma tekniklerinin otoyol aydınlatmasında etkili bir enerji tasarrufu sağlayabileceğini gösterirken, önerilen sistemin simülasyonlarla değerlendirilmesi uygulama öncesi karar verme sürecinde değerli bir araç olabilmektedir [35].

Sifakis ve arkadaşları, limanların enerji talebinin büyük bir kısmını oluşturan aydınlatma sistemlerinin akıllı kontrolünü ele almaktadır.

Limanlarda sıkı yasal ışıklandırma standartları bulunması nedeniyle aydınlatma, genellikle enerji tüketiciminin %70'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu alışma, Rethymno limanı gibi bir test yatağında gerçekleştirilerek, dış mekan aydınlatma altyapılarını akıllı kontrol etmenin yenilikçi bir tipolojisini önermektedir. Üç aşamalı bir strateji içeren bu öneri, eski tipi lambaların yerini değiştirme, güneş ışığı toplama tekniklerinin entegrasyonu ve iş tabanlı karartma stratejisinin uygulanmasını içermektedir. Sistemin yenilikçi yönü, mevcut akıllı aydınlatma kontrol tekniklerini geliştirmesi ve farklı aydınlatma koşullarına hızlı ve doğru bir şekilde yanıt vermesidir. Önerilen sistem, yüksek çoğaltılabilirlik ve çeşitli ihtiyaçlar için uygulanabilirlik sunmaktadır. Enerji atıklarını azaltırken, kullanıcıların görsel konforunu arttırmaktadır. Araştırma sonuçları, önerilen sistemin limanın yıllık enerji talebinde %56,8'e kadar bir azalma sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, yatırımın uygun ve geri ödemesinin hızlı olabileceği ve çevresel etkilerin belirgin şekilde azaldığı belirtilmektedir [36].

Sikder ve ekibi çalışmalarında, kentleşmenin artışıyla birlikte akıllı şehir kavramının önemini çalışmalarında vurgulamaktadır. Akıllı şehirler, IoT entegrasyonu ile hizmet kalitesini artırmayı hedeflerken, enerji etkin kullanımı da amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, aydınlatma sistemlerinin IoT ile entegrasyonu ile akıllı aydınlatma sistemleri geliştirilmektedir. Makale, farklı IoT destekli iletişim protokollerini inceleyerek SLS'nin (Smart Lighting System) i ve dış mekanlarda güç tüketimini azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, bu sistemlerin güç tüketimini %33,33'e kadar azaltabileceğini göstermektedir. Son olarak, makale gelecekteki araştırma yönlerine dair bir tartışma sunarak akıllı şehir teknolojilerinin ve enerji yönetimi sistemlerinin gelişimine katkıda bulunmayı amaçlamaktadırlar [37].

Barve çalışmasında, aydınlatma sistemlerinin akıllı bir şekilde kontrol edilmesine yönelik bir yaklaşımı tanımlamaktadır. Akıllı aydınlatma sistemi master, yerel kontrolörler ve LED aydınlatma armatürlerinden oluşmaktadır ve iletişim GSM (Global System for Mobile Communications) ağı ve güç kablolu ağı veya RF iletişimi aracılığıyla sağlanmaktadır. Farklı sensör türleri, fotoğraf sensörü, hareket sensörü ve astronomik zamanlayıcı gibi, aydınlatma seviyesini düzenlemek için kullanılmaktadır. Bu sensörlerin girişlerine bağlı olarak aydınlatma, açık/kapalı konumuna getirilebilmekte veya kısılabilmektedir. Karartma işlemi, donanıma veya sürücüye giden giriş voltajını kontrol ederek gerçekleştirilmektedir.

Bu sistem, bireysel veya grup halinde kontrol edilebilir ve teknoloji tarafından desteklenen bir akıllı aydınlatma çözümü olarak enerji verimliliği ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır [38].

Amangeldy ve arkadaşları çalışmalarında, SCADA, makine öğrenimi ve dijital İkiz teknolojilerinin birlikte kullanımının enerji tüketimini optimize etme, işletme maliyetlerini düşürme ve çevresel etkileri en aza indirme potansiyelini vurgulamaktadır. SCADA sistemleri, endüstriyel süreçlerin gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrol edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, endüstriyel verilerin analiz edilmesiyle gelecekteki enerji taleplerini tahmin etme ve tüketimi optimize etme yeteneğine sahiptir. Dijital İkiz teknolojisi ise fiziksel sistemlerin sanal bir temsilini oluşturarak gerçek zamanlı izleme, bakım ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi avantajlar sunmaktadır. Önerilen akıllı kontrol sistem mimarisi, bu teknolojilerin entegrasyonunu sağlayarak enerji yönetimini optimize etmeyi amaçlayarak ve fiziksel düzen, kontrol paneli, iletişim altyapısı, veri işleme ve tahmin analitiği gibi bileşenleri içermektedir. Orta ölçekli bir endüstriyel tesiste uygulanan sistem, enerji tüketiminde %15 azalma, pik enerji talebinde %18 azalma, CO2 emisyonlarında %30 azalma ve operasyonel süreçlerde %15 azalma gibi önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Araştırma, entegre teknolojilerin endüstriyel enerji yönetimindeki önemini vurgulamakta ve gelecek çalışmaların uygulanabilirliği artırmayı ve veri analitik yeteneklerini geliştirmeyi amaçlamaktadır [39].

1.3. Araştırma Çalışmasının Yenilik Ve Katkıları

Bu çalışma, endüstriyel kontrol sistemleri kapsamında yer alan bir dış aydınlatma sisteminin tasarımı ve uygulanmasını ele almaktadır. Sistem, SCADA sistemi üzerinden izlenebilen ve kontrol edilen PLC (Programmable Logic Controller) aracılığıyla sahaya müdahale edilebilen bir yapıya sahiptir. Aydınlatma armatürleri, DALI protokolüyle kontrol edilebilmekte ve bu sayede ayrı ayrı adreslenerek istenilen şekilde aydınlatma seviyesi ve modu belirlenebilmektedir. Sistemin ana bileşenleri arasında PLC'ler, aydınlatma armatürleri, güç kaynağı yer almaktadır. PLC'ler, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan programlanabilir kontrol cihazlarıdır ve SCADA sistemiyle iletişim kurarak sahada gerçek zamanlı müdahale imkanı sağlarlar. Aydınlatma armatürleri, DALI protokolü sayesinde kontrol edilebilir ve istenilen aydınlatma düzeyi ve moduna göre ayarlanabilir. Güç kaynağı, aydınlatma armatürlerine enerji sağlayarak sistemin çalışmasını sağlar.

Sensörler ise çevresel koşulları algılayarak otomatik aydınlatma kontrolü için gerekli verileri sağlarlar. Bu çalışmanın amacı, endüstriyel kontrol sistemlerinin ve akıllı aydınlatma teknolojilerinin entegrasyonu ile enerji verimliliğini artırmak, bakım maliyetlerini düşürmek ve aydınlatma sisteminin işlevselliğini artırmaktır. Ayrıca, SCADA sistemi üzerinden izleme ve kontrol imkanı sayesinde sistem performansının sürekli olarak izlenmesi ve gerektiğinde müdahale edilmesi sağlanarak, işletme verimliliği ve güvenliği artırılmış olacaktır.

1.4. Tezin Organizasyonu

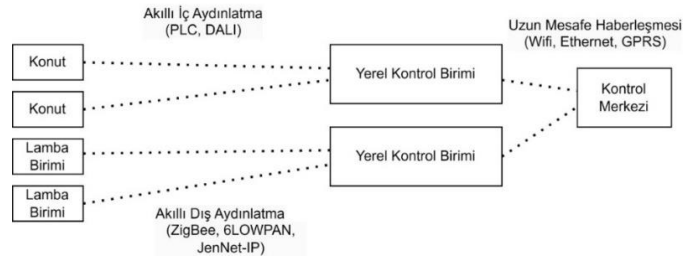
Bu tez çalışmasında, Bölüm 1’de çalışmanın amacı, bu amaca yönelik yapılan çalışmalar, hipotez, çalışmanın yenilik ve katkılarından bahsedilmiştir. Bölüm 2’de akıllı aydınlatma sistemi mimarisine yer verilmiştir. İlk olarak akıllı aydınlatma sistemi, bu sistemde kullanılan haberleşme protokolleri anlatılmıştır. Daha sonra bu akıllı sistemin izlenmesini, gerektiğinde müdahale edilmesini sağlayan SCADA sistemine değinilmiştir. Son olarak aydınlatma sisteminin senaryo doğrultusunda çalışmasını sağlayan kontrolör cihazı olan RTU ekipmanından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te uygulamanın nasıl gerçekleştirildiğinden bahsedilip yapılan çalışmalar detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 4’te uygulama sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur. Bölüm 5’te elde edilen bulgular enerji tasarrufu bakımından karşılaştırılmıştır ve elde edilen sonuç değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. AKILLI AYDINLATMA SİSTEMİ

2.1. Akıllı Aydınlatma Sistemi Nedir?

Şehir aydınlatması, otoyollar, çevre yolları, ana arterler, tüneller, mimari miras yapıları, mühendislik yapıları ve anıtlar gibi bir dizi etkileşimli alt projeden oluşan karmaşık bir mega projedir. Bu projenin amacı, güvenliği sağlamak, konfor koşullarını oluşturmak, sürdürülebilir kentsel yaşamı teşvik etmek ve sürdürülebilir bir çevre oluşturmaktır. Bu nedenle, şehir aydınlatması, çok sayıda teknik bileşeni bir araya getiren ve çeşitli ölçütleri karşılamak için entegre edilmesi gereken geniş kapsamlı bir alandır [40]. Akıllı şehirler, mevcut geniş teknoloji setini kullanarak kapsamlı bir öneriyi desteklemelidir. Bu öneri, şehrin işleyişini etkileyen olayları ve durumları belirleyebilmek için tüm süreçleri incelemelidir. Ayrıca, dünya nüfusunun çoğunluğunun şehirlerde yaşadığı ve bu nüfusun 2050'ye kadar artması beklenirken, akıllı şehirlerin yönetimi ve enerji verimliliği gibi konularda yeni zorluklarla karşılaşılacaktır [41]. Teknolojik olarak, akıllı şehir ve nesnelerin interneti kavramları, makineden makineye iletişim ve genişleme yetenekleri üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda, gelecekteki İnternet, küresel bir dijital platform haline gelerek her türlü sanal veya fiziksel varlığın bir ara bağlantı ağına bağlanmasını sağlayacaktır. Akıllı şehirler, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve tüm aktörlerin daha sorumlu davranmasını sağlayarak sonuçlanacak bir mekanizma sunar. Aydınlatma sistemleri ve enerji tüketimi, şehirlerin sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmasında önemli bir rol oynamaktadır [42]. Bu bağlamda, akıllı şehirlerin uygulanması, enerji verimliliği ve kaynak yönetimi gibi alanlarda çözümler sunabilir ve şehirlerin daha sürdürülebilir ve yaşanabilir hale gelmesine katkıda bulunabilir. Akıllı şehir, tüm sistemlerini ve hizmetlerini uyumlu bir yapı içinde birleştirerek, akıllı cihazlar aracılığıyla izleme ve kontrol sağlayarak şehrin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini arttırmaktadır [43]. Akıllı şehirlerin amacı, aydınlatma yönetimi yoluyla enerji verimliliğini optimize ederek yeni teknolojilerin ve aydınlatma sistemlerinin kontrolünün sağladığı sürdürülebilir ekonomik gelişmeyi desteklemektir [23].

Yeni uygulamaların odak noktası, aydınlatma fonksiyonlarını daha dinamik, kontrol edilebilir hale getirerek iç ve dış değişkenlere bağlı olarak ayarlanabilir hale getirerek daha akıllı aydınlatma çözümleri sunan dijital etkin ve kontrollü aydınlatma arayüzleri ve sistemlerini sağlamaktır. Bu yeni sistemler, LED teknolojisiyle desteklenen akıllı yol aydınlatma sistemleri olarak, konvansiyonel aydınlatma sistemlerine kıyasla daha yüksek verimlilik, ışığın rengini ve yönünü kontrol edebilme özelliği ile birlikte uzun ömür gibi çeşitli avantajlar sunar [44]. Aydınlatma sistemleri ve enerji tüketimi, akıllı şehirlerin sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme hedeflerine ulaşmasında belirleyici bir faktördür. Aydınlatma, küresel elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %19'unu oluşturur ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %6'sını temsil eder [45]. Bu bağlamda, akıllı aydınlatma çözümleri, enerji tasarrufu sağlayarak çevresel etkiyi azaltabilir ve ekonomik değer yaratabilir. Özellikle, LED teknolojisi gibi yenilikler, geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla daha yüksek verimlilik ve uzun ömür sunar. Akıllı şehirlerin başarısı için, aydınlatma sistemlerinin yanı sıra altyapı, iletişim ve veri analizi gibi diğer teknolojik unsurların da entegre edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, şehirler daha verimli, sürdürülebilir ve yaşanabilir hale gelebilir. Aydınlatma sistemleri, mekanlara ışık sağlamak için tasarlanmış yapısal ve teknolojik sistemlerdir. Temel bileşenleri lambalar, armatürler, kontrol üniteleri, sensörler ve gerekli elektrik bağlantılarıdır. Bu sistemler, çeşitli alanlarda kullanılarak görsel konforu artırmak, güvenliği sağlamak ve işlevselliği iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Aydınlatma sistemlerinin avantajları arasında görsel konforun sağlanması, enerji tasarrufu, güvenlik artışı ve çevresel etkilere duyarlılık bulunmaktadır [46]. Evlerde, ofislerde, endüstriyel tesislerde, sokaklarda ve kamusal alanlarda kullanılarak, yaşam alanlarını daha işlevsel ve güvenli hale getirmeyi amaçlar. İleri teknoloji ve enerji verimliliği odaklı gelişmelerle, aydınlatma sistemleri, insan yaşamını iyileştirmek ve enerji tasarrufu sağlamak için sürekli olarak geliştirilmektedir. Şekil 2.1'de akıllı aydınlatma sistemlerine genel bakış verilmiştir.



Şekil 2.1 : Akıllı aydınlatma sistemlerine genel bakış.

2.1.1. Akıllı dış aydınlatma sistemi

Dış mekanda akıllı aydınlatma kullanılmasının temel amacı geceleri güvenliğin sağlanmasına duyulan gereksinimdir [47]. Akıllı dış aydınlatma sistemleri, modern teknolojinin getirdiği yeniliklerle dış mekan aydınlatmasında önemli bir dönüşümü temsil ediyor. Bu sistemler, estetik, işlevsellik ve çevresel etkiler gibi bir dizi faktörü karşılamak üzere gelişmiş çözümler sağlamaktadır [48]. Geleneksel dış mekan aydınlatma sistemlerinin aksine, akıllı aydınlatma sistemleri, çevresel koşulları algılayabilen, verileri işleyen ve aydınlatma seviyesini buna göre ayarlayabilen bir dizi bileşenden oluşur. Bu sistemlerin temel bileşenleri arasında sensörler öne çıkar. Işık sensörleri, dış mekanın ışık seviyesini ölçerek gün ışığına bağlı olarak aydınlatma seviyesini otomatik olarak ayarlar. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanırken, gereksiz ışık yayımı önlenir. Hareket sensörleri ise dış mekanı kullanan kişileri veya araçları algılayarak ışıkları otomatik olarak açıp kapatabilmektedir. Akıllı dış aydınlatma sistemlerinin bir diğer önemli bileşeni ise kontrol ünitesidir. Bu kontrol ünitesi, sensörlerden gelen verileri alır, işler ve aydınlatma sistemini buna göre kontrol eder. Genellikle bir mikroişlemci veya bilgisayar tarafından yönetilen kontrol ünitesi, aydınlatma seviyesini ayarlamak için programlanabilir. Bu sayede, dış mekan aydınlatması, çevresel koşullara duyarlı hale gelir ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Akıllı sokak lambası, çevre koşullarına göre aydınlatmayı izleyebilen ve kontrol edebilen LED donanımlı bir aydınlatma sistemi olarak tanımlanmaktadır [49]. Veri transferi gerçekleştirebilen bir ağ altyapısının parçasıdır ayrıca trafik ve ışık algılama, çevresel izleme gibi çeşitli işlevler için sensörler ve aktüatörler de içermektedir. Bu ışıklar, gelişmiş sistemler aracılığıyla iletişim kurar ve kentsel faaliyetleri düzenlemek amacıyla merkezi bir sistemle veri paylaşır [50]. Bu tür kurulumlardaki kontrol algoritmaları, belirli sensörler tarafından sağlanan işletme parametre değişiklikleri hakkındaki bilgileri dikkate alarak bir programa göre çalışır. Armatürler, harekete veya çevresel ışık seviyesine bağlı olarak karartılabilen akıllı dış mekan aydınlatmanın kritik parçalarından biridir. Bu durum, enerji verimliliği sorununu yeniden tanımlamayı gerektirir. Ayrıca, dış mekan aydınlatma sorunlarını sürdürülebilir bir kalkınma yaklaşımıyla birleştirmek mantıklıdır. Bilinçli bir yaklaşımla analiz edilen soruna bakıldığında, ışık kirliliğinin olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltmak mümkündür. Bu çözümler sayesinde, dünya çapında belirli bölgelerde karanlık gökyüzü koruma alanları oluşturulabilmektedir.

Örneğin Arnon Dağı, iki büyük şehre ve önemli otoyollara yakın konumuyla dikkat çeker, ancak seyrek nüfusunun etkisiyle bölge genellikle karanlık bir atmosfere sahiptir. Karanlık gökyüzü parkının planlanması için, belirli bir alanın tüm detayları titizlikle incelenmiş ve mevcut aydınlatma tesislerinin türleri, konumları haritalanarak ayrıntılı bir analiz yapılmıştır. Aydınlatma düzeyleri fotometrelerle ölçülür ve ışık spektrumları spektrometreler aracılığıyla incelenmektedir. Gökyüzü parlaklık seviyeleri özel fotometreler kullanılarak belirlenir ve ışık kirliliğinin kaynakları geniş alan fotoğrafçılığı ile izlenir. Sonuç olarak, alanın özelliklerine uygun olarak özel bir karanlık gökyüzü parkı planı önerilmiştir [51]. Literatürde, çok kriterli değerlendirme prosedürlerinin kullanımının sadece mühendislik çözümleri için değil, aynı zamanda tüm çevre için de büyük faydalar sağladığını kanıtlayan bazı ilginç makaleler halihazırda bulunabilmektedir [52,53]. Dolayısıyla, yapay ışığın gece ortamı üzerinde birçok önemli etkisi bulunmaktadır. Dış mekan aydınlatma kurulumları, armatürlerin veya ışık kaynaklarının spektral güç dağılımı gibi tüm önemli faktörleri dikkate alarak sofistike bir şekilde analiz edilmelidir. Görüntüler renkli, kırmızı, yeşil ve mavi veya tek renkli kameralarla elde edilir; Son durumda, görünür spektrumu üç geniş banda bölmek için geniş geçiş bantlı filtreler kullanılır ve çoğu sokak lambası tipini tanımlamak için yeterli kabul edilir. Hava araştırmaları aynı zamanda kaynakların zirvesindeki ışık emisyonunun ölçümlerini de gerçekleştirerek herhangi bir yönde ve herhangi bir dalga boyunda yayılan ışığın niceliksel olarak belirlenmesi olasılığını sınırlamaktadır [54,55]. Dolayısıyla, herhangi bir dış mekan aydınlatma kurulumu için aydınlatılmış ortamın, enerji verimliliğinin ve ışık kirliliğinin değerlendirilmesine dayalı çok kriterli bir prosedürün uygulanması gerektiği açıktır. Günümüzde, iç ve dış mekan aydınlatma sistemlerinin tasarımında enerji verimliliği büyük bir önem taşımaktadır [56]. Dış aydınlatma sistemleri, çevresel koşulların gerektirdiği özellikler doğrultusunda çeşitli bileşenlerden oluşur:

- Lambalar ve Armatürler: Dış aydınlatma sistemleri, çeşitli aydınlatma gereksinimlerini karşılamak için farklı tipte lambalar ve armatürler kullanır. Bu armatürler, lambaları korur ve yönlendirirken aynı zamanda çevreye uygun ışık dağıtımını sağlamaktadır. LED, metal halide, sodyum buharlı veya kompakt floresan lambalar, farklı aydınlatma ihtiyaçları için tercih edilebilmektedir.
- Sensörler ve Kontrol Sistemleri: Dış aydınlatma sistemlerinde, zamanlayıcılar, foto hücreler, hareket sensörleri ve uzaktan kumandalar gibi çeşitli sensörler kullanılır.

Bu sensörler, ışık seviyelerini algılayarak, belirli koşullara göre otomatik olarak aydınlatmayı ayarlayabilir veya kontrol edebilir.

- Güç Kaynakları ve Elektrik Bağlantıları: Sistemlerin çalışması için gerekli olan güç kaynakları ve elektrik bağlantıları da dış aydınlatma sistemlerinin önemli parçalarıdır. Bunlar, armatürlere elektrik sağlayarak güvenli bir şekilde çalışmalarına olanak tanır.
- Kontrol Üniteleri ve Akıllı Sistemler: Gelişmiş dış aydınlatma sistemleri, zamanlama, uzaktan erişim, hareket algılama gibi özelliklerle donatılmış kontrol üniteleri ve akıllı sistemler içerebilir. Bu sistemler, enerji verimliliği sağlamak, ışık seviyelerini optimize etmek ve sistem performansını izlemek için kullanılabilir.
- Montaj ve Direkler: Aydınlatma armatürlerinin montajı için direkler veya montaj aparatları kullanılır. Bu direkler, armatürleri istenilen yüksekliğe monte etmek için kullanılır ve genellikle dayanıklı malzemelerden üretilir.
- Kablolar ve Bağlantı Elemanları: Elektrik akımını iletme ve bağlantı sağlama amacıyla kablolar ve bağlantı elemanları kullanılır. Bu bileşenler, sistemdeki farklı parçaları birbirine bağlar ve enerji iletimini sağlamaktadır.

Bu bileşenler, dış aydınlatma sistemlerinin temel yapı taşlarını oluşturur ve bu bileşenlerin kombinasyonu, belirli bir alanın veya yapının aydınlatma ihtiyacına göre tasarlanır ve uygulanır.

2.1.1.1. Lambalar ve armatürler

Dış aydınlatma sistemleri, modern kentlerin güvenlik, estetik ve işlevsellik açısından vazgeçilmez unsurları arasındadır. Bu sistemlerin oluşturulmasında kullanılan lamba türleri, çeşitli özellikleri ve avantajlarıyla farklı aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

LED lambalar, son yıllarda dış aydınlatma sistemlerinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. LED'ler, enerji verimliliği ve uzun ömürleriyle öne çıkarlar. Diğer lambalara kıyasla daha az enerji tüketen LED'ler, uzun vadede enerji maliyetlerini düşürür ve çevre dostu bir seçenek sunarlar. Ayrıca, anında açılma özelliği ve esnek tasarım seçenekleriyle de dikkat çekerler. Ancak, başlangıçta yüksek maliyetleri gibi bazı zorlukları bulunmaktadır.

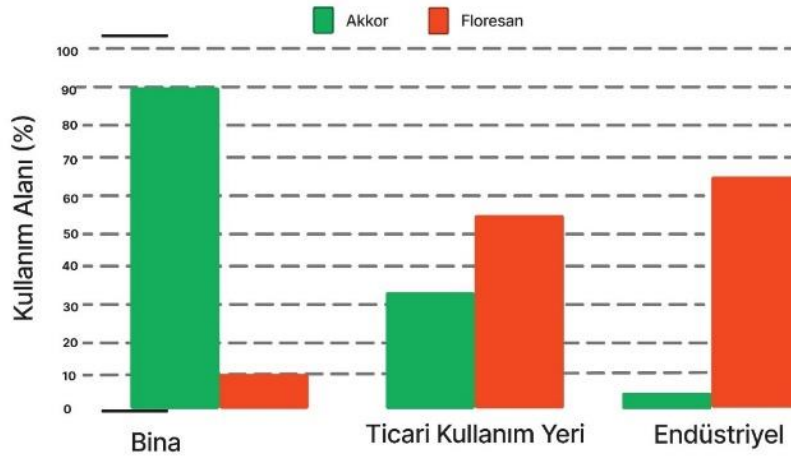
LED'lerin avantajları olmakla birlikte, ancak aynı zamanda ısı dağılımı, mavi ışık tehlikesi, kullanım ömrü ve elektrik güç sistemi üzerindeki olumsuz etkisi (harmonik oluşumu) gibi pek çok dezavantajı vardır. Ayrıca aydınlatma çözümünün enerji verimliliğine ilişkin gerçek birçok farklı faktör vardır [57,58]. Alçak basınç sodyum buharlı lambalar, ekonomik bir seçenek olarak değerlendirilir. Düşük maliyetleri ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilirler. Ancak, renk kalitesinde sınırlamalar ve başlangıçta ısınma süreleri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Yüksek basınç sodyum buharlı lambalar, yüksek verimlilikleri ve güçlü aydınlatma sağlamalarıyla ön plana çıkarlar. Ancak, renk sıcaklığındaki kısıtlamalar ve belirli bir süre gerektiren başlangıçta ısınma süreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek basınç cıva buharlı lambalar, iyi renk karşıtlığı sağlamalarıyla bilinirler. Ancak, içerdikleri cıva nedeniyle çevresel etkilere yol açabilirler. Floresan lambalar da enerji tasarrufu sağlayarak dikkat çekerler. Ancak, başlangıçta ısınma süreleri ve bazı modellerde bulunan cıva içeriği gibi dezavantajları vardır. Her bir lamba türü, belirli bir uygulama alanında avantajlar ve dezavantajlar sunar. Dış aydınlatma sistemlerinin seçimi, bölgenin ihtiyaçlarına, bütçesine ve çevresel faktörlere göre dikkatlice yapılmalıdır. Bu, kentsel alanların güvenliğini artırarak ve enerji verimliliğini iyileştirerek sürdürülebilir bir kent yaşamını desteklemeyi amaçlar. Tablo 2.1’de gösterildiği şekilde, LED yol aydınlatmasının kullanılması geleneksel aydınlatma yöntemlere göre %70’e yakın, bu yöntemlerin akıllı sistemlerle kombinasyonu ise %80’e yakın enerji tasarrufu sunmaktadır.

Tablo 2.1 : Farklı lambaların belirli kısıtlara göre karşılaştırılması [59].

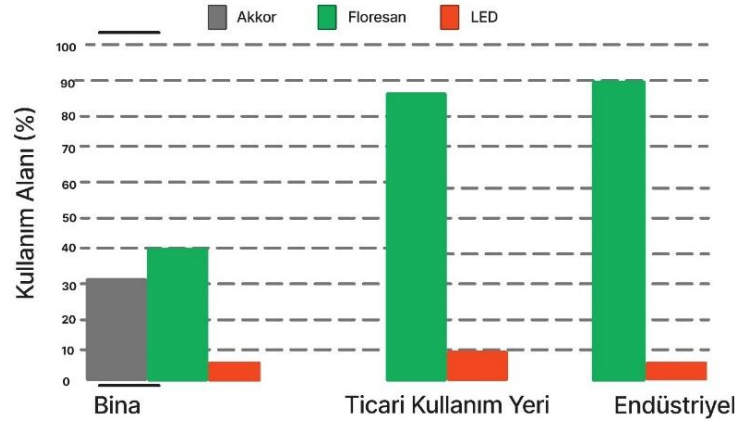
Özellikler	LED Lambalar	AB Sodyum Buharlı Lamba	YB Sodyum Buharlı Lamba	YB Cıva Buharlı Lamba	Floresan Lamba
Kullanım alanı	İç-Dış Ortam	Dış Ortam	İç-Dış Ortam	İç Ortam	İç Ortam
Dim Kontrol	Var	Yok	Var	Var	Var
	500.000	16000-20000	16000-32000	15000-24000	6000-15000
Işık Etkinliği (Lm/W)	80-160	100-192	88-130	40-60	46-80

Enerji tasarruflu ve akıllı LED sokak aydınlatma sistemlerinin yaygınlaşmasıyla, şehirlerin aydınlatma altyapıları artık veri tabanlı sistemlerle modernize edilebilmektedir. Mobil ağlar üzerinden merkezi bir yönetim sistemi ile bağlantı kuran LED sokak aydınlatma programları, şehir yöneticilerine aydınlatma varlıklarını uzaktan izleme ve kontrol etme imkanı sunarak anında fayda sağlamaktadır. Bu sayede, aydınlatma ürünleri bireysel olarak veya gruplar halinde uzaktan programlanabilir, kısılabılır veya açılıp kapatılabilir [27].

Anlık ve tarihsel enerji tüketimi verileri sunularak enerji kullanımının etkin bir şekilde izlenmesi ve yönetilmesi sağlanır. Bu veriler, gelecekte yapılacak akıllı şehir girişimleriyle entegre edilebilir ve şehir planlaması ve yönetimi için değerli bir kaynak oluşturabilir. Bu sistemler aynı zamanda bakım maliyetlerini azaltabilir. Sağladıkları verilerle, aydınlatma armatürlerinin ve altyapısının durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak, bakım ekiplerinin ihtiyaç duyulan yerlere odaklanmasını ve gereksiz maliyetleri önlemesini sağlarlar. Bu da şehirlerin bütçelerine katkı sağlar ve daha etkin bir şekilde kaynakların kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, akıllı LED sokak aydınlatma sistemleri, şehirlerin enerji kullanımını optimize etmelerine, güvenliği artırmalarına ve yaşam kalitesini iyileştirmelerine yardımcı olabilir. Merkezi yönetim ve veri tabanlı analitikler sayesinde, şehir yöneticileri daha akıllı kararlar alabilir ve şehirlerin sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından daha ileriye gitmelerini sağlayabilir. Yol aydınlatmasında kullanılan lambalar ve armatürler, trafik güvenliği ve gece seyahatlerinin konforu için kritik öneme sahiptir. Doğru seçim, etkinlik, verimlilik ve güvenlik açısından önemlidir ve belirli bir bölgenin ihtiyaçlarına uygun olarak yapılmalıdır. Bu, hem kullanıcıların güvenliğini sağlayacak hem de çevresel etkileri en aza indirecek şekilde yapılan bilinçli bir tercihi gerektirir.

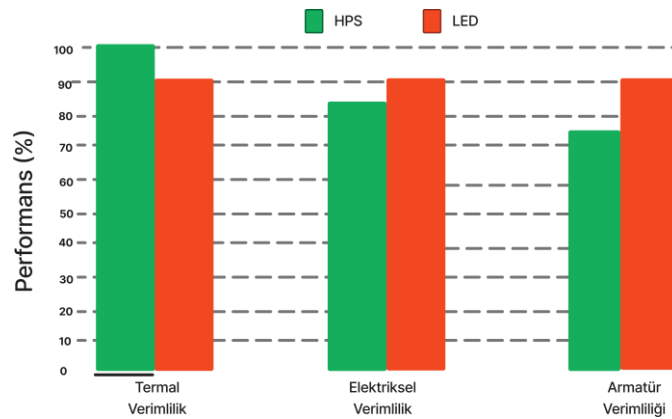


Şekil 2.2 : 2003 yılı öncesi aydınlatma araçlarının sektörlere göre kullanımı [60].



Şekil 2.3 : 2015 yılı aydınlatma araçlarının sektörlere göre kullanımı [61].

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere Brodrick ve ekibinin yaptığı bu çalışmada aydınlatma araçlarının sektörlere göre kullanım oranları incelendiğinde, binalarda genellikle akkor lambaların geçmiş yıllarda %90’a yakın oranda kullanıldığı görülmüştür. Akkor lambaya olan talep ticari kullanım yerlerinde ve endüstriyel alanlarda düşüşe uğramıştır ve ağırlıklı olarak floresan lamba tercih edilmiştir. Şekil 2.3’te Buccitelli ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan elde edilen verilere göre ticari binalarda LED kullanımı %6.7’ye, endüstriyel işletmelerde ise %4’e, ticari kullanım yerinde %10.5’e yükselmiştir. Günümüzde LED aydınlatma, enerji tasarrufu, maliyet avantajları ve çevresel faydaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. 2023 itibarıyla, LED’ler küresel aydınlatma pazarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır ve bu oran her geçen gün artmaktadır.



Şekil 2.4 : 2009 yılı ışık verimlerinin lamba türlerine göre karşılaştırılması [62].

2009 yılında Çin’de Li ve diğerlerinin gerçekleştirdiği çalışmada, bu lambaların yerine mevcut aydınlatma verimliliğine sahip LED sokak armatürleri kullanıldığında enerji verimliliğinin nasıl değişeceği analiz edilmiştir ve bu analiz Şekil 2.4’te gösterilmektedir.

Araştırma, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların veriminin 70.1 lm/W, LED armatürlerin ise 72.9 lm/W olduğunu göstermektedir. Başlangıç maliyeti, kullanım ömrü, sıcaklık dayanıklılığı ve aydınlatma verimliliğinde yapılacak iyileştirmelerle, LED'lerin yakın gelecekte en ekonomik ışık kaynağı olacağı öngörülmektedir.

Tablo 2.2 : Lamba türlerinin gösterimi.

Özellikler	Lambalar
LED Lambalar	
Metal Halide Lambalar	
Sodyum Buharlı Lambalar	
Kompakt Floresan Lambalar	
Dekoratif Armatürler	

Tablo 2.3'te görüldüğü üzere metal halide lambalar yüksek parlaklık sağlar ve genellikle dış mekan aydınlatmasında tercih edilirken, sodyum buharlı lambalar uzun ömürlüdür ve düşük maliyetlidir. Kompakt floresan lambalar da enerji verimliliği sağlar ve genellikle iç mekan aydınlatmasında kullanılırken, dekoratif armatürler estetik bir görünüm sunar ve ambiyans oluşturur. LED lambalar, enerji verimliliği ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilirler.

Tablo 2.3 : Farklı lamba türlerinin karşılaştırılması.

Özellikler	LED Lambalar	Metal Halide Lambalar	Sodyum Buharlı Lambalar	Kompakt Floresan Lambalar (CFL)	Dekoratif Armatürler
Enerji Verimliliği	Çok yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Daha düşük
Ömür	Uzun	Uzun	Uzun	Uzun	Uzun
Renk Seçenekleri	Geniş (RGB teknolojisi)	Geniş	Sınırlı	Geniş	Geniş
Anında Açılma Özelliği	Var	Var	Birkaç dakika sürebilir	Var	Var
Isı Üretimi	Düşük	Orta	Orta	Düşük	Orta
Çevre Dostluğu	Evet	Düşük cıva içeriği	Evet	Evet	Evet
Sürdürülebilirlik	Evet	Orta	Orta	Evet	Evet

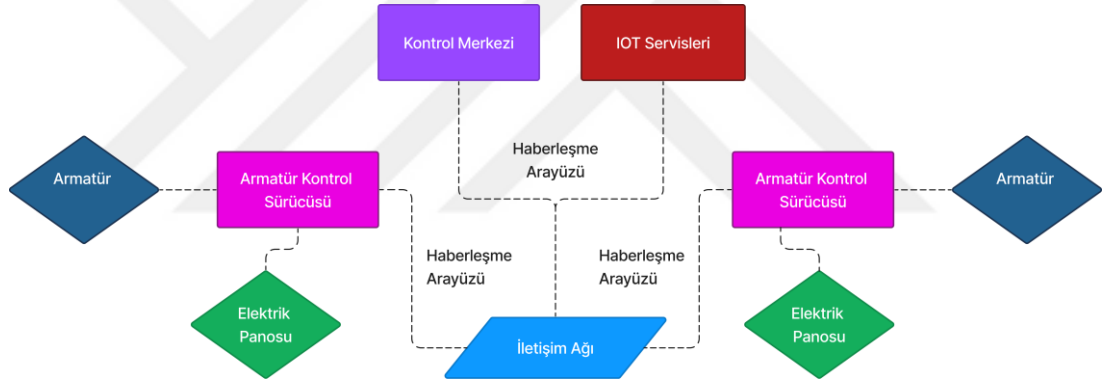
2.1.1.2. Sistemde kullanılan sensörlere genel bakış

Akıllı sokak lambalarının etkin kontrolü için geniş bir sensör yelpazesi bulunmaktadır. Bu sensörler arasında ışık sensörleri, trafik algılama sensörleri, elektrik ölçümü ve çeşitli çevresel parametreleri değerlendirebilen sensörler bulunmaktadır. Trafik sensörleri, müdahaleci ve müdahaleci olmayan tiplere ayrılabilir. Müdahaleci olmayan sensörler, trafik sayımı, hız ölçümü ve hatta trafik sınıflandırması gibi işlevleri yerine getirebilir. Bu sensörler arasında aktif PIR sensörleri bulunur, bunlar araçları izlemek için kızılötesi ışınlara yayar ve araç geçerken ışınlarda meydana gelen her kesintiye sayar. Işığa bağımlı dirençler LDR'ler, fotodiyotlar ve pasif kızılötesi PIR sensörler, ışık yoğunluğundaki veya kızılötesi radyasyondaki değişikliklere yanıt vererek trafiği algılar. Radar, ultrasonik veya LiDAR gibi Doppler tabanlı sensörler de araçları algılayabilir ve hızlarını belirleyebilir [63]. Video sensörleri ise görüntü işleme yoluyla yol kullanıcılarını tespit etmek, saymak ve sınıflandırmak için geniş bir alanı kapsayabilir. Müdahaleci sensörler arasında ise endüktif döngüler ve piezoelektrik sensörler yer alır, bu sensörler uygulanan basınca göre çeşitli yol kullanıcılarını tanımlayabilir ve ayırt edebilir. Ayrıca, sokak lambalarındaki ışık sensörleri ortam ışığını ölçer, lamba bozulmasını değerlendirir ve sistem optimizasyonu için denetleyiciye geri bildirim sağlayabilir. LDR'ler, fotodiyotlar ve fototransistörler gibi uygun maliyetli ışık sensörleri, ışık değişikliklerini algılar ve bir yüzey alanına düşen ışık miktarını ölçer. Lux metreler, hassas aydınlatma ölçümleri için özel aletlerdir.

Ayrıca, güç ölçüm sensörleri de bulunur, bu sensörler kısa devre veya voltaj dalgalanmaları gibi arızaları tespit edebilir ve enerji kullanımını değerlendirerek doğru faturalandırmayı sağlamaktadır. Çevresel sensörler de bulunur ve çeşitli hava koşullarına yanıt olarak aydınlatma kontrolünü ayarlayabilir. Ayrıca, kentsel hava durumu ve kirlilik monitörleri olarak da hizmet verebilmektedirler. Bu sensörler arasında sıcaklık, yağmur, nem, hava kalitesini ölçen cihazlar bulunur, hatta bazıları karbon monoksit (CO) ve nitrojen monoksit dedektörleri gibi özel amaçlar için tasarlanmıştır.

2.1.1.3. Aydınlatma sistemlerinde altyapı

Şekil 2.5'te gösterilen, akıllı kamusal aydınlatma altyapısının temel mimarisi, Kontrol merkezi, iletişim ağı ve ışık kontrolörü LC (Lighting Control) olmak üzere üç ana bileşenden oluşur.



Şekil 2.5 : Akıllı aydınlatma altyapısının mimarisi.

Akıllı şehirler, sürdürülebilirlik, güvenlik ve konforu optimize etmeyi amaçlayan gelişen bir alandır. Bu bağlamda, sokak aydınlatması sistemi kritik bir rol oynar. Geleneksel sokak lambaları sabit ışık seviyelerine sahipken, akıllı sokak aydınlatma sistemleri enerji tasarrufu, ışık kirliliğini azaltma ve şehir sakinleri için daha güvenli bir ortam sağlama potansiyeline sahiptir. Bu sistemlerin temel bileşenlerinden biri de akıllı kontrol ünitesidir.

LC'nin İşlevleri: LC, bir sokak lambasının ana beyni gibidir ve aşağıdaki dört temel işlevden sorumludur:

- Gerçek Zamanlı Durum İzleme: Armatürün durumunu (açık/kapalı, arıza durumu) ve çevresel koşulları (sıcaklık, hava kirliliği, aydınlık seviyesi) izleyerek proaktif bakım, arıza tespiti ve aydınlatma optimizasyonu sağlamaktadır.

Akıllı şehirlerde sokak lambalarının kontrolünü ele alan akıllı kontrol ünitesi, modern şehir altyapısının kritik bir bileşenidir. LC, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz yeteneği sayesinde lambaların durumunu, çevresel koşulları ve enerji tüketimini izleyerek, şehirlerin enerji tasarrufu yapmasına, ışık kirliliğini azaltmasına ve daha güvenli bir ortam oluşturmaya yardımcı olur. Sonuç olarak, şehirlerin sokak aydınlatmasını optimize etme ve modern şehir yaşamının sürdürülebilirliğini ve konforunu geliştirme hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur [64].

- Elektrik Parametre İzleme: Voltaj, akım ve güç faktörü gibi elektrik parametrelerini gerçek zamanlı olarak izleyerek enerji verimliliğini optimize eder, sistem arızalarını önler ve elektrik şebekesini korur. Anormal elektrik parametreleri tespit edildiğinde, sistem otomatik olarak kapatılabilir veya güç kaynağı sınırlandırılabilir, bu da arızalara ve elektrik çarpması risklerine karşı koruma sağlamaktadır. Enerji tüketimi verileri toplanabilir ve analiz edilebilir, bu da gelecekteki enerji tasarrufu planları için kullanılabilir.
- Işık Yoğunluğu Kontrolü: Bu, trafik yoğunluğuna, hava durumuna ve günün saatine bağlı olarak ışık seviyelerini otomatik olarak ayarlamayı içerir. Yalnızca gerekli olduğunda tam aydınlatma sağlanır, bu da enerji tasarrufu ve ışık kirliliğinin azalmasına katkıda bulunur. Kontrol sistemlerinin evrimiyle birlikte, LC'lerin en önemli görevi olan ışığı kısmak ve tasarruf sağlamak için son derece gelişmiş yetenekler geliştirildi. Basit ve eski moda LC'lerin aksine günümüzün kontrol sistemleri, lümen çıkışını mevcut araç trafiğine veya yol yüzeyi parlaklığına göre dinamik olarak ayarlamayı sağlamaktadır. Sensörler, hatta meteorolojik koşulları bile dikkate alarak aydınlatma düzeyini optimize eder. Bu gelişmiş özellikler, belirli koşullar sağlandığında ışık yoğunluğunu dinamik olarak azaltabilen özel düzenlemelere olanak tanır.
- Özellikle CEN/TR 13201-2 aydınlatma standardı, her yol tipine beklenen trafik akışına bağlı olarak belirli bir aydınlatma sınıfı atar. Bu standart, motorlu trafik yolları için M1'den M6'ya kadar altı sınıf tanımlar. Örneğin, M1 sınıfı için ortalama 2 cd/m^2 parlaklık gereklidir, M6 sınıfı için ise yalnızca $0,30 \text{ cd/m}^2$ yeterlidir. Ancak, standart, gerçek zamanlı ölçümlerle değerlendirilen gerçek koşullara dinamik olarak uyum sağlayarak aydınlatma sınıfının ayarlanmasına izin verir [65].

- Kontrol Merkezi İletişimi: Kontrol merkezi ile çift yönlü bilgi alışverişine olanak tanıyarak merkezi yönetim ve veri toplama sağlamaktadır. LC'ler, arıza raporları, elektrik parametreleri ve aydınlatma optimizasyon verileri gibi bilgileri Kontrol Merkezi'ne gönderir. Kontrol Merkezi ise LC'lere komutlar ve güncellemeler gönderir. Bu iletişim sayesinde, aydınlatma sistemi merkezi olarak yönetilebilir ve optimize edilebilir.

Güç Kaynağı Arayüzü: LC ve güç kaynağı arasındaki iletişim, ışık kısma komutlarını iletmek ve elektrik parametreleri hakkında bilgi toplamak için kullanılır. İki ana yöntem vardır:

- Analog 0–10 V Pilot Sinyali: Basit ve düşük maliyetli bir yöntemdir. LC, voltajı güç kaynağı tarafından sağlanması gereken ışık yüzdesi olarak yorumlanan bir pilot sinyal gönderir. Bu yöntem tek yönlü iletişime izin verir ve esneklikten yoksundur. Örneğin, 1 V = %10, 5 V = %50, 10 V = %100
- Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü (DALI): Çift yönlü iletişim sunan gelişmiş bir yöntemdir. LC ve güç kaynağı arasında veri alışverişi için iki kablolu bir veri yolu kullanılır. DALI, ışık karartma, arıza tespiti, lamba durumu bilgisi ve elektrik parametreleri gibi gelişmiş işlevleri etkinleştirmeye olanak tanır. Ek olarak DALI, 0–10 V kontrolüne göre daha esnektir çünkü iki kablo için herhangi bir polariteye uyulmasına gerek yoktur, oysa 0–10 V kontrolü için bunun tersi geçerlidir. Öte yandan DALI, eklenen elektronikler nedeniyle ekstra maliyet getirir ve karartma sorunlarının giderilmesi durumunda teşhis açısından daha karmaşıktır. Tipik olarak, DALI veriyolu akıllı sokak aydınlatması altyapılarında kullanıldığında her armatürün LC'sine gömülür [27].
- Ağ Arayüzü: LC ve Kontrol Merkezi arasındaki iletişim için kullanılır. Kablolu veya kablosuz olabilir. Bu seçim, kurulum ve yönetim maliyetini ve sistemin "akıllılığını" doğrudan etkiler.

2.1.1.4. Aydınlatma profillerine genel bakış

Agremelal ve arkadaşlarının yapmış oldukları derleme çalışması örnek alınarak aydınlatma profillerinin karşılaştırılmasına dair çalışma Tablo 2.4'te sunulmuştur.

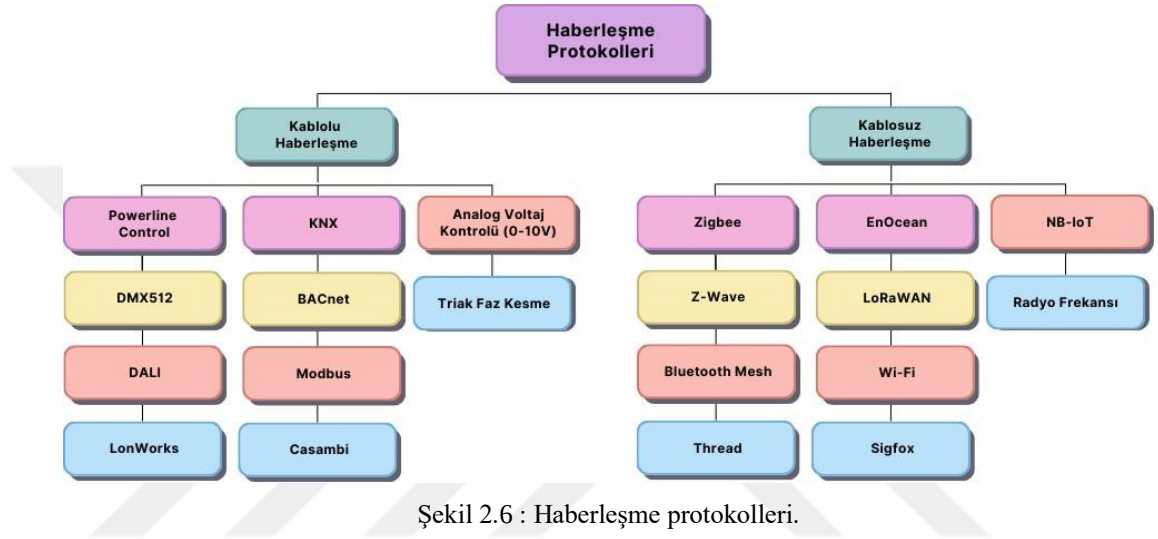
Tablo 2.4 : Aydınlatma profilleri karşılaştırılması [66].

Aydınlatma Profili	Açıklama	Avantajlar	Dezavantajlar	Kullanım Alanları
Geleneksel Şema	Astronomik saat aracılığıyla SL'ler gün batımı sırasında açılır, gün doğumu sırasında kapanır.	Basit, kurulumu kolaydır.	En az enerji verimli, ışık kirliliği yaratabilir.	Düşük trafikli bölgelerdir.
Yarı Gece	SL'ler, önceden belirlenmiş aydınlatma seviyelerinde çalışacak şekilde programlanır.	Enerji tasarrufu sağlar.	Güvenlik riskleri oluşturabilir, estetik açıdan iyi olmayabilir.	Parklar, otoyollar, yerleşim alanlarıdır.
İki Adımlı Kontrol	Aydınlatma seviyesi iki durum arasında değiştirilir: Açık/Kapalı veya yüksek/düşük parlaklık.	Enerji tasarrufu sağlar, kurulumu kolaydır.	Ani ışık geçişleri, ışık kirliliği yaratabilir.	Düşük trafikli yollar, kavşaklardır.
Sınıf veya Basamak Karartma	Işık yoğunluğu, önceden tanımlanmış basamaklara veya yol aydınlatma sınıflarına göre ayarlanır.	Enerji tasarrufu sağlar, farklı aydınlatma ihtiyaçlarını karşılar.	Karmaşık kontrol mekanizması gerektirir.	Yollar, otoyollar, tünellerdir.
İlişkili Renk Sıcaklığı (CCT) Kontrolü	Işık kaynağının renk görünümü, belirli aydınlatma koşullarına göre ayarlanır.	Görsel konforu ve renk algısını iyileştirir, sirkadiyen ritimleri etkileyebilir.	Karmaşık kontrol mekanizması gerektirir, ışık kirliliği yaratabilir.	Araştırma ve geliştirme aşamasında tercih edilir.
Grup veya Bireysel Kontrol	SL'lerin parlaklığı grup halinde veya ayrı ayrı ayarlanır.	Esneklik sağlar, enerji tasarrufu potansiyeli vardır.	Karmaşık kontrol mekanizması gerektirir, eşit olmayan ışık dağılımına neden olabilir.	Yollar, otoyollar, kavşaklardır.
Bölgeleme (Çevreleyen Karartma Profili)	Işık sistemi, yol kullanıcısının yoluna uyum sağlar.	Güvenliği artırır, engellerden kaçınmaya yardımcı olur, yüz tanımayı kolaylaştırır.	Karmaşık kontrol mekanizması gerektirir, yüksek maliyetli olabilir.	Yaya geçitleri, bisiklet yolları, kavşaklardır.

Aydınlatma profilleri, mekanların ışıklandırılması için belirlenen desenlerdir. Geleneksel olarak gün batımında açık ve gün doğumunda kapalı olan basit kontrol şemalarının yanı sıra, modern sistemler, trafik yoğunluğuna ve hava koşullarına göre ayarlanabilen esnek kontrol yöntemleri sunar. Bu çeşitlilik, enerji tasarrufu ve kullanıcı konforunu artırmayı hedefler. Her bir kontrol yöntemi, belirli bir uygulama veya kullanım senaryosuna uygun olarak seçilmelidir. Bu seçimler, hem enerji verimliliğini artırmak hem de kullanıcı deneyimini iyileştirmek için önemlidir.

2.1.1.5. Armatür kontrolünde kullanılan haberleşme protokolleri

Aydınlatma sistemlerinde kullanılan haberleşme protokolleri, ışık yönetimini optimize etmek ve enerji verimliliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Bu protokoller, aydınlatma armatürlerinin akıllı bir şekilde kontrol edilmesini ve yönetilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.6'da aydınlatma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan protokollerden genel anlamlarıyla bahsedilmiştir.



Şekil 2.6 : Haberleşme protokolleri.

Kablolu Haberleşme Protokolleri:

- Güç Hattı Kontrolü (Powerline Control): Mevcut elektrik kablolarını kullanarak armatürlerle iletişim kurar. Kurulumu kolaydır ve uzun mesafelerde bile sinyal iletimi sağlayabilir. Ancak, diğer elektronik cihazlar tarafından parazitlere maruz kalabilir ve gürültü sorunu yaşanabilir.
- DMX512 (Digital Multiplex): Aydınlatma endüstrisinde standart bir iletişim protokolüdür. Çok sayıda armatürü kontrol etmek için kullanılabilir ve karmaşık aydınlatma efektleri oluşturmak için idealdir. Ancak, kurulumu daha karmaşıktır ve powerline'dan daha pahalıdır.
- DALI: Kablolu bir aydınlatma kontrol protokolüdür. DMX512'ye göre daha basit ve daha ucuzdur. Her armatüre ayrı bir adres atanabilir ve ayrı kontrol edilmelerini sağlamaktadır.

- LonWorks: Binalarda otomasyona yönelik bir ağ protokolüdür. Aydınlatma kontrolünün yanı sıra ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) ve güvenlik gibi diğer sistemleri de kontrol etmek için kullanılabilir. Karmaşık binalarda idealdir, ancak kurulumu ve kullanımı daha karmaşıktır.
- KNX (Konnex): Binalarda otomasyona yönelik bir ağ protokolüdür. LonWorks'e benzer şekilde aydınlatma kontrolünün yanı sıra diğer sistemleri de kontrol etmek için kullanılabilir. Kurulumu ve kullanımı nispeten kolaydır.
- BACnet (Building Automation and Control Networks): Binalarda otomasyona yönelik bir ağ protokolüdür. LonWorks ve KNX'e benzer şekilde aydınlatma kontrolünün yanı sıra diğer sistemleri de kontrol etmek için kullanılabilir. Açık bir standarttır, bu da onu daha ucuz ve daha erişilebilir kılar.
- Modbus: Endüstriyel otomasyon için kullanılan bir seri iletişim protokolüdür. Aydınlatma kontrolünün yanı sıra motorlar, sensörler ve diğer endüstriyel ekipmanları kontrol etmek için kullanılabilir. Nispeten basit ve ucuzdur.
- Casambi: Kablolulu bir aydınlatma kontrol protokolüdür. DALI'ye benzer şekilde her armatüre ayrı bir adres atanabilir ve ayrı ayrı kontrol edilmelerini sağlamaktadır. Kurulumu kolaydır ve esnek bir kontrol imkanı sunar.
- Analog Voltaj Kontrolü (0-10V): Bu yöntemde, armatüre kontrol sinyali analog bir voltaj sinyali olarak gönderilir. Sinyalin voltajı, armatürün parlaklık seviyesini belirler. Bu yöntem nispeten basit ve ucuzdur, ancak DMX512 gibi diğer protokoller kadar esnek değildir.
- Triak Faz Kesme: Bu yöntemde, armatüre gelen şebeke elektriğinin bir kısmı bir triak tarafından kesilir. Kesilen elektrik miktarı, armatürün parlaklık seviyesini belirler. Bu yöntem nispeten basittir, ancak analog voltaj kontrolünden daha az hassastır.

Kablosuz Haberleşme Protokolleri:

- Zigbee: Zigbee, düşük güç tüketimi, düşük maliyet ve kolay kurulum gibi avantajlarıyla tanınan bir kablosuz iletişim protokolüdür. Özellikle akıllı ev uygulamaları için popülerdir. Zigbee, ağda düğümlerin birbiriyle iletişim kurmasını sağlayan bir ağ topolojisi kullanır. Anahtarlar, sensörler ve armatürler gibi aydınlatma bileşenlerini kontrol etmek için kullanılabilir.

Tipik bir Zigbee ağı, yaklaşık 10-100 metre arasında değişen bir menzile sahiptir. Ancak, bu menzil, ağdaki cihazların konumuna, çevresel koşullara ve duvarların kalınlığına bağlı olarak değişebilir.

- Z-Wave: Z-Wave, düşük güç tüketimine sahip, güvenilir ve güvenli bir kablosuz iletişim protokolüdür. Zigbee gibi, akıllı ev cihazları arasında iletişim kurmak için kullanılır. Ayrıca, ağın genişletilmesine olanak tanıyan bir mesh ağı kullanır. Bir Z-Wave ağı genellikle 30-100 metre arasında bir menzile sahiptir. Ancak, bu mesafe, ağdaki cihazların yerleşimine ve ağdaki sinyal tekrarlayıcıların kullanımına bağlı olarak değişebilir. Z-Wave protokolü, aydınlatma sistemlerinin uzaktan kontrol edilmesi için tercih edilebilir.
- Bluetooth Mesh: Bluetooth Mesh, düşük güç tüketimi ve düşük maliyetiyle dikkat çeken bir kablosuz ağ protokolüdür. Aydınlatma kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Tipik bir Bluetooth Mesh ağı, yaklaşık 10-100 metre arasında değişen bir menzile sahiptir. Ancak, bu menzil, ağdaki cihazların konumuna ve ağdaki sinyal tekrarlayıcıların kullanımına bağlı olarak değişebilir. Bluetooth Mesh, düğümler arasında iletişim kurmak için bir ağ topolojisi kullanır ve cihazların kolayca birbirleriyle etkileşimde bulunmasını sağlamaktadır.
- Thread: Thread, düşük güç tüketimi, güvenlik ve IP tabanlı iletişim gibi özellikler sunan bir kablosuz ağ protokolüdür. Özellikle akıllı ev cihazları arasında iletişim kurmak için tasarlanmıştır. Thread, ağdaki cihazların birbirleriyle kolayca iletişim kurmasını ve aydınlatma sistemlerinin akıllı bir şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır.
- EnOcean: EnOcean, düşük güç tüketimine sahip, kendini enerjiyle besleyen kablosuz bir iletişim protokolüdür. Bir EnOcean ağı, tipik olarak 30-300 metre arasında bir menzile sahiptir. Ancak, bu mesafe, cihazların konumuna ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilir. Bu protokol, enerji verimliliği sağlamak için tasarlanmıştır ve anahtarlar, sensörler ve armatürler gibi akıllı aydınlatma bileşenlerinin iletişimini sağlamaktadır.
- LoRaWAN: LoRaWAN, uzun menzilli kablosuz iletişim için kullanılan bir protokoldür. Genellikle 2-10 km arasında menzile sahiptir. Bu menzil, çevresel koşullara ve kullanılan ekipmanın özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

Düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanı sağlamaktadır. Aydınlatma sistemlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılabilir.

- Wi-Fi: Wi-Fi, geniş bantlı kablosuz iletişim için kullanılan bir standarttır. Yüksek hızlı veri aktarımı sağlar ve geniş bir cihaz yelpazesine destek verir. Tipik bir Wi-Fi ağı, 30-100 metre arasında bir menzile sahip olabilir. Ancak, bu menzil, yönlendiricinin gücüne, anten konumuna ve engellerin varlığına bağlı olarak değişir. Akıllı aydınlatma sistemlerinin internete bağlanarak uzaktan kontrol edilmesi için Wi-Fi kullanılabilir.
- Sigfox: Sigfox, düşük güç tüketimine sahip, uzun menzilli bir IoT iletişim teknolojisi. Aydınlatma sistemlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılabilir. Genellikle 1-10 km arasında menzile sahiptir.
- NB-IoT (Narrowband IoT): NB-IoT, düşük güç tüketimine sahip, geniş kapsama alanı sağlayan bir IoT iletişim teknolojisi. Aydınlatma sistemlerinin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılabilir. Genellikle 10 km'ye kadar menzile sahip olabilir.
- Radyo Frekansı: RF protokolü, elektromanyetik spektrumun radyo frekans bölgesinde çalışır ve genellikle düşük güç tüketimi, uzun menzil ve geniş kapsama alanı sağlamaktadır. Bu protokol, cihazlar arasında veri aktarımını sağlamak için radyo dalgalarını kullanır. RF protokolü, kablosuz aydınlatma kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılır çünkü RF sinyalleri duvarlar ve engeller gibi engelleri kolayca geçebilir ve geniş alanlarda iletişim sağlayabilir. Ayrıca, RF protokolü, düşük güç tüketimi ve düşük maliyetli cihazlarla uyumludur.
- RF protokolü, farklı frekans bantlarında çalışabilir ve genellikle 2.4 GHz ve 433 MHz gibi frekanslar kullanır. RF tabanlı aydınlatma kontrol sistemleri, uzaktan kumanda veya merkezi bir kontrol ünitesi aracılığıyla armatürlerin açılıp kapatılmasını, parlaklık seviyelerinin ayarlanmasını ve renk değişimlerini sağlayabilir. RF protokolü, esneklik ve kolay kurulum sağlamaktadır ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Bunlar, ev otomasyonu, akıllı bina sistemleri, endüstriyel aydınlatma ve dış mekan aydınlatma gibi alanları kapsar. RF tabanlı sistemler, genellikle Wi-Fi veya Bluetooth gibi diğer kablosuz iletişim protokolleri ile entegre edilebilir, böylece daha geniş bir kontrol ve izleme yelpazesi sağlanabilir.

2.2. Boğluca Parkı Entegrasyonu İçin Uygun Haberleşme Protokolünün Seçimi

Kamuya ait olan Boğluca Parkı'nda aydınlatma sistemini devreye almak için mevcut ekipman ve cihazlar doğrultusunda üç farklı protokol seçeneği idari personel tarafından bizlere belirtilmiştir: DALI, RF ve Powerline. Her birinin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurularak, en uygun olanın seçilmesi gerekmektedir.

DALI, aydınlatma sistemlerini dijital olarak kontrol etmek için tasarlanmış bir standarttır. Her lamba veya aydınlatma armatürü, tek tek adreslenebilir ve kontrol edilebilir. Bu, hassas aydınlatma kontrolü ve enerji tasarrufu yapılmasını sağlar. Ancak, DALI sistemleri genellikle kablolu bağlantı gerektirir ve kurulum maliyeti yüksek olabilir.

RF protokolleri, kablosuz iletişim sağlamak için kullanılır. RF tabanlı aydınlatma sistemleri, kurulumu kolaydır ve mevcut altyapıya ihtiyaç duymaz. Bu, maliyeti düşürebilir ve esneklik sağlayabilir. Ancak, RF sinyallerinin duvarlar ve diğer engeller tarafından engellenebileceği ve sinyal karışıklığına neden olabileceği unutulmamalıdır.

Powerline iletişim protokolü, elektrik hatları üzerinden iletişim sağlamaktadır. Bu, mevcut elektrik altyapısını kullanarak kurulum maliyetini düşürebilir. Ancak, elektrik hatları üzerindeki gürültü ve parazitler iletişimi etkileyebilir ve güvenilirlik sorunlarına yol açabilir.

Boğluca Parkı için en uygun protokolü seçerken, parkın coğrafi yapısı, mevcut altyapı, kurulum maliyetleri, güvenilirlik ve uzun vadeli bakım gereksinimleri gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Bu faktörlerin değerlendirilmesi ve parkın özel ihtiyaçlarına göre bir karar verilmesi önemlidir. Bu kapsamda karar verme sürecinde protokollerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

2.2.1. DALI haberleşmesinin detaylı incelenmesi

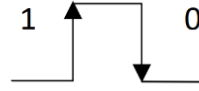
DALI'nin kökeni, 1990'ların başlarına dayanmaktadır. Bu dönemde, aydınlatma kontrol sistemlerinde standardizasyon eksikliği vardı ve farklı üreticilerin ürünleri arasında uyumsuzluklar mevcuttu bu durumda aydınlatma endüstrisinde bir standart oluşturulması ihtiyacı ortaya çıktı.

1998 yılında, bir grup aydınlatma endüstrisi uzmanı ve üretici, protokolünü geliştirmek üzere bir araya gelmiştir.

IEC (International Electrotechnical Commission), protokolü kapsayan IEC 60929 standardını yayınladı. Bu, DALI'nin resmi bir standart haline gelmesini sağladı ve endüstri genelinde kabul görmesine yardımcı oldu.

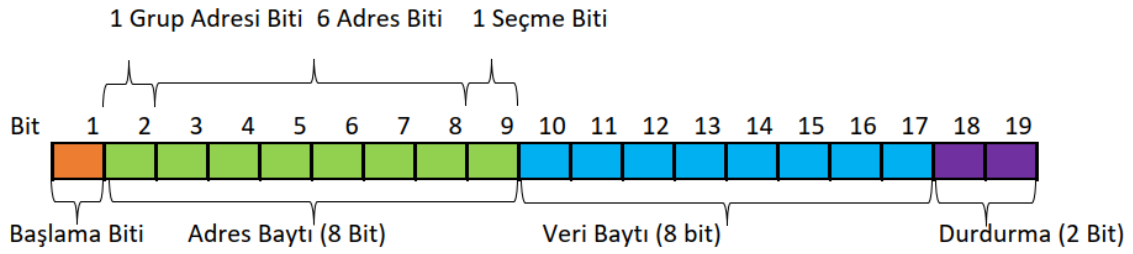
2002 yılında, aydınlatma endüstrisindeki önemli oyuncular arasında yer alan bir grup şirket, DALI Consortium'u kurdu. Bu konsorsiyum, protokolün yönetimini üstlendi ve standardın gelişimini sürdürdü. IEC, DALI protokolünü daha da geliştirmek için yeni bir standardı, IEC 62386'yi yayınladı [67]. Bu standardın yayınlanması, özelliklerini genişletti ve daha fazla uygulama alanına olanak tanıdı. Günümüzde aydınlatma kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir standart haline gelmiştir. Aydınlatma tasarımcıları, mimarlar ve bina otomasyon uzmanları, DALI protokolünü kullanarak aydınlatma sistemlerini esnek bir şekilde kontrol edebilir ve yönetebilirler. Ayrıca, alçak gerilim transformatörlerinde, hareket dedektörlerinde, duvar anahtarlarında ve benzeri ekipmanlarda da bu protokol sıkça kullanılır. DALI protokolü, master cihaz ile slave cihaz arasındaki iletişim için kullanılır. DALI, LED sürücüler ile uyumludur ve yüksek verimli aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamaktadır. DALI iletişim sistemi en az bir kontrol cihazı, bir DALI destekli LED sürücü ve DALI hattını beslemek için bir güç kaynağından oluşur. Ana cihaz, DALI hattındaki tüm aydınlatma donanımını bireysel olarak veya gruplar halinde kontrol edebilir [68]. Bu protokolün tercih edilme nedenlerinden diğeri ise, diğeri aydınlatma kontrol protokollerine göre çift yönlü iletişime izin vermesidir. Ayrıca, sadece iki kablo kullanılarak kontrol sinyallerinin iletimi sağlandığından fiziksel arayüzü oldukça basittir. Bu protokolün kullanımıyla avantajlar elde edilir, bunlar arasında arıza tespiti, lambaların durum bilgilerini alma ve iletimi, seviye karartma, daha iyi enerji tüketimi, akımı ve güç faktörü hakkında bilgi sahibi olma ve ışıkları açma/kapatma gibi eylemleri gerçekleştirme yeteneği bulunur. Bir DALI sisteminde en fazla 64 slave bulunur ve her gruba 16 çeşit farklı aydınlatma ortamı kurulabilir.

DALI protokolü, bir master'ın 64'e kadar slave'i kontrol edebildiği bir master/slave modelini temel alır. Master, sistemin yardımcı cihazlarına çerçeveler gönderir ve bir yanıt talep edilirse geri mesaj alır. DALI protokolünün fiziksel katmanı, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi mantık değerlerinin sinyaldeki geçişlerle temsil edildiği Diferansiyel Manchester kodlamasını kullanır. Her düğüm, diferansiyel alma ve gönderme yeteneği sağlayan iki veri yolu terminali aracılığıyla veri yolu hattına bağlanır.



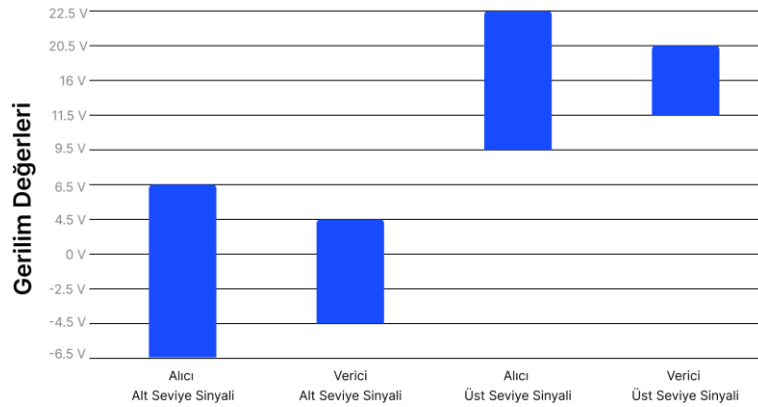
Şekil 2.7 : Diferansiyel manchester kodlaması.

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere ileri bir master–slave çerçevesi (balast), 19 bit içerir ve şu şekilde dağıtılmıştır: bir başlangıç biti, sekiz yönlendirme biti, diğer sekiz ise veri biti ve iki durdurma biti şeklindedir. Geriye dönük bir yanıt çerçevesi ise 11 bit içerir: bir başlangıç biti, sekiz veri biti ve iki durdurma bitidir. Fiziksel katmanda, 1.2 kb/s’lik etkin veri aktarım hızını ve zamanlama bitinde %10’luk bir toleransı kullanır.



Şekil 2.8 : DALI çerçevelerinin formatı.

Sistem, iki kabloda iletişim kuran DALI veri hattı sağlayarak bir diferansiyel sinyal sağlamaktadır. Bu kabloların uzunluğu 300 metreye kadar sınırlandırılmalıdır. Kablo üzerindeki gerilim farkı, yüksek yada düşük seviye olduğunu belirtir. Şekil 2.9’da, gerilim farkının 9.5V’den yüksek (üst sınır 22.5V’dir) olduğunda yüksek seviye olduğunu ve 6.5V’den az (alt sınır -6.5V’dir) olduğunda düşük seviye olduğunu göstermektedir [69].



Şekil 2.9 : Gerilim değerleri.

Her DALI çerçevesi, belirli bir formatı takip eder. Bu format, çerçevenin gönderildiği cihazın adresini, gönderilen komutun türünü ve varsa ilgili verileri içerir. İlk olarak, çerçevenin başlangıcını belirleyen bir başlangıç biti bulunur. Ardından, çerçevenin hedef cihazının adresini belirleyen bir adres byte'ı gelir. Daha sonra, gönderilen komutun türünü belirleyen bir komut byte'ı bulunur. Komuta bağlı olarak, ek veri sağlamak için bir dizi veri byte'ı da olabilir. Son olarak, veri bütünlüğünü kontrol etmek için bir parite biti kullanılır. Bu şekilde, her DALI çerçevesi net bir yapıya sahiptir ve iletişimde kullanılan bilgilerin düzenli bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır.

Sistemin avantajları;

- Kolay Kurulum: Anahtarlama ve dimmerleme işlemleri basit devrelerle yapılabilir, bu da kurulumu kolaylaştırır.
- Esnek Dimmerleme: Dimmerleme işlemi süresi istenilen değerlere getirilebilir ve insan gözü hassasiyetine uygun olarak yapılarak aydınlatma konforu artırılır.
- Modüler Esneklik: Sistem gelişmeye açıktır ve yeni modüller eklenebilir, böylece sistem ihtiyaçlara göre genişletilebilir.
- Bağımsız Kontrol: Besleme hattından bağımsız kontrol sayesinde, eski ve yeni tesisatlara uyumludur ve kontrol daha güvenilir hale gelir.
- Kablo Kolaylığı: Tesisat bağlantılarında kablo uçlarının polaritesi önemli değildir, bu da kurulumu basitleştirir.
- Veri Güvenliği: Basit veri yapısı ve kontrol elemanlarının otomatik algılanması sayesinde veri yolunda karışıklık olmaz ve güvenli bir kontrol sağlanır.
- Senaryo Yönetimi: Armatürleri tek başına veya grup halinde yönetmek mümkündür ve bir senaryo çağrıldığında tüm birimler eş zamanlı ve otomatik olarak ayarlanabilir.
- Çoklu Kontrol Seçenekleri: Uzaktan kumanda, PIR kontrol, gün ışığı sensörü gibi farklı kontrol seçenekleri ile esneklik sağlanır.
- Durum Bilgisi: Tüm ünitelerin durum bilgisi alınabilir, böylece sistem daha etkin bir şekilde yönetilebilir.
- Acil Durum Uyumluluğu: Acil durum aydınlatma sistemleri ile uyumludur ve güvenlik açısından önemli bir avantaj sunar.

- Enerji Verimliliği: Besleme gerilimini açıp kapatmaya gerek yoktur, bu da enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- Maliyet-Etkinlik: 1-10V sistemlerine göre daha düşük maliyet ve daha yüksek özellikler sağlamaktadır.
- Adresleme ve Gruplama: Sistemde maksimum 64 adres bağlanabilirken, maksimum 16 grup oluşturulabilir ve aynı zamanda maksimum 16 senaryo kaydedilebilir. Bu özellikler, kontrol ve yönetim esnekliğini artırarak sistemdeki işleyişi optimize eder.
- Kolay Yönetim: Yazılımın yardımıyla sistem kurulumu ve tanımlaması kolayca gerçekleştirilebilir ve merkezi bir noktadan tüm sistem elemanlarının özellikleri görülebilir.

DALI'nın geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla üstün performans ve esneklik sağladığını gösterir, böylece günümüzdeki akıllı binaların aydınlatma otomasyonlarında daha etkili çözümler sunar. Tüm aydınlatma donanımları aynı haberleşme hattı üzerinden iletişim kurar . Hat uzunluğuna göre kablo kalınlıkları Tablo 2.5'te belirtilmiştir [70].

Tablo 2.5 : Kablo kalınlığı karşılaştırılması.

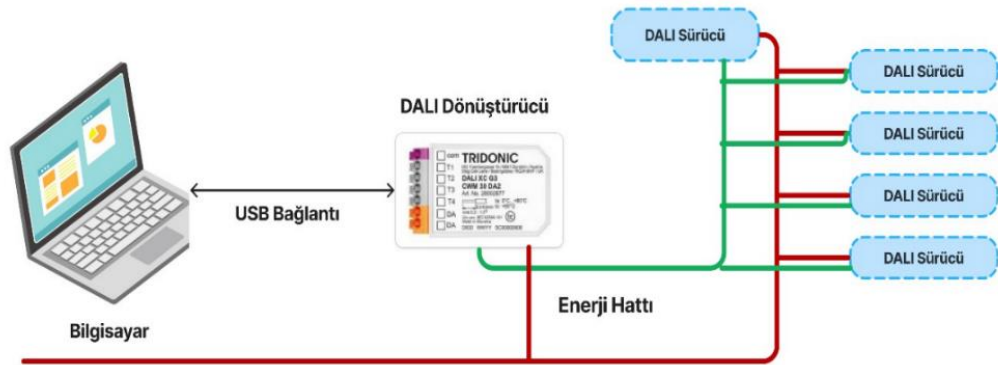
Hat Uzunluğu	Kablo Kalınlığı
0-100 metre	0.5 mm ²
100-150 metre	0.75 mm ²
150-300 metre	1.5 mm ²

2.2.2. DALI entegrasyonu

Gelişen teknolojiye hızlı bir şekilde uyum sağlama yeteneği, DALI entegrasyonunu geleceğe yönelik bir çözüm haline getirir. Entegre sistemler, merkezi bir kontrol ünitesi aracılığıyla birbirine bağlanabilir, bu da yönetimi kolaylaştırır. Kontrol cihazı ile DALI sürücüleri arasında çift kablolu bir bağlantı mevcuttur. Armatürlerin yapılandırılması, genellikle aydınlatma kontrol sistemi veya dönüştürücü üzerinden gerçekleştirilir. Bu süreç, bir dizi önemli ayar içerir. İlk olarak, aydınlatma seviyeleri belirlenir. Aydınlatmanın istenilen parlaklık seviyesine göre ayarlanmasını sağlar ve örneğin, ofis ortamlarında günün farklı saatlerine göre aydınlatmanın düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Ardından, dimmerleme hızı ayarlanır.

Yumuşak bir şekilde açılıp kapanmasını sağlar ve özellikle restoranlar, oteller ve konferans salonları gibi mekanlarda atmosferin oluşturulmasında önemlidir. Bazı armatürler renk sıcaklığını ayarlamak için yapılandırılabilir. Işığının daha sıcak veya daha soğuk olmasını sağlar ve özellikle otellerin lobileri veya mağaza sergi alanlarında dikkate alınması gereken bir özelliktir. Hareket sensörleri ve gün ışığı algılayıcıları gibi özellikler de armatürlerde bulunabilir. Bu sensörler, ortamdaki insan hareketini algılayarak aydınlatmayı otomatik olarak açıp kapatabilir veya gün ışığına bağlı olarak parlaklığı ayarlayabilirler. Son olarak, bazı armatürler programlanabilir senaryoları destekler. Belirli aydınlatma koşulları için önceden belirlenmiş ayarların kullanılmasını sağlar ve kullanıcıya işlevselliği daha fazla özelleştirme imkanı verir. Armatürlerin bu yapılandırma özellikleri, aydınlatma sistemlerinin daha esnek ve kullanıcı dostu olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada da DALI konvvertör olarak Tridonic marka dönüştürücü kullanılmıştır. Aydınlatma endüstrisinde dijital aydınlatma kontrolü için önemli bir bileşen olarak kabul edilir. Bu dönüştürücüler, özellikle aydınlatma armatürlerinin kontrol edilmesi ve yönetilmesi için kullanılır. Dönüştürücüler, genellikle aydınlatma sistemlerinin merkezi kontrol birimiyle veya diğer akıllı aydınlatma kontrol cihazlarıyla entegre edilir. Bu entegrasyon sayesinde, kullanıcılar aydınlatma seviyelerini, renk sıcaklığını ve diğer aydınlatma parametrelerini uzaktan kontrol edebilirler. Ayrıca, Tridonic dönüştürücüler dijital adresleme özelliğine sahiptir, buda her bir armatürün tek tek kontrol edilebilmesini sağlar ve sistemin bağlantı şeması Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

Bu şekilde Tridonic dönüştürücüler, aydınlatma sistemlerinin esnekliğini ve yönetilebilirliğini artırarak enerji verimliliğini ve kullanıcı konforunu artırmaya yönelik akıllı aydınlatma çözümlerinin bir parçası olarak kabul edilirler [71].



Şekil 2.10 : Dönüştürücü bağlantı şeması örneği.

Tridonic dönüştürücüler, aydınlatma sistemlerinde kullanılan ve aydınlatma armatürlerini kontrol etmek için tasarlanmışlardır. Genellikle çeşitli aydınlatma kontrol protokollerini destekler, armatürlerin güç kaynağı ve kontrol sinyali sağlanmasına olanak tanımaktadır. Dönüştürücülerin temel kullanım adımları:

- Montaj: Genellikle armatürlerin içine veya yakınına monte edilir. Montaj talimatları, dönüştürücünün spesifik modeline ve kullanılacağı armatüre bağlı olarak değişebilir. Armatürlerin güç ve kontrol sinyali bağlantıları için uygun konektörlere sahiptir.
- Bağlantılar: Elektrik tesisatından gelen güç kaynağına ve kontrol sinyaline bağlanmalıdır. Bu bağlantılar genellikle vida terminalleri veya konektörler aracılığıyla gerçekleştirilir. Güç bağlantısı, dönüştürücünün doğru şekilde çalışabilmesi için önemlidir.
- Kontrol Sinyali: Dönüştürücü genellikle bir kontrol sinyali alır ve bu sinyal aracılığıyla armatürlerin parlaklık seviyeleri, renk sıcaklığı ve diğer aydınlatma parametreleri kontrol edilir. Bu kontrol sinyali, genellikle bir aydınlatma kontrol sistemi veya akıllı ev otomasyon sistemi tarafından sağlanır.
- Programlama ve Ayarlar: Programlanabilir özelliklere sahiptir ve kullanıcıların aydınlatma sistemlerini istedikleri gibi özelleştirmelerine olanak tanır. Bu ayarlar, genellikle bir aydınlatma kontrol sistemi veya üzerindeki düğmeler aracılığıyla yapılır. Kullanıcılar, aydınlatma seviyelerini, dimmerleme hızını ve diğer parametreleri ayarlayabilirler.
- Test ve Doğrulama: Kurulum tamamlandıktan sonra, dönüştürücülerin ve armatürlerin doğru şekilde çalışıp çalışmadığını doğrulamak önemlidir. Bu genellikle bir test işlemi gerektirir, armatürlerin farklı aydınlatma senaryolarında test edilmesini içerir.

Genellikle armatürlerin güç ve kontrol sinyali sağlanmasını içerir. Bu dönüştürücüler, aydınlatma sistemlerinin daha esnek ve verimli bir şekilde kontrol edilmesini sağlar ve kullanıcıların aydınlatma sistemlerini istedikleri gibi özelleştirmelerine olanak tanır.

2.2.3. Powerline haberleşmesinin detaylı incelenmesi

Powerline, aydınlatma kontrol sistemlerinin elektrik hatları üzerinden veri iletimini sağlayan bir haberleşme protokolüdür. Bu teknoloji, cihazlar arasında iletişimi kolaylaştırarak kablo çekme zorunluluğunu ortadan kaldırır ve mevcut elektrik altyapısını kullanarak veri iletimini gerçekleştirir. Güç hatları üzerinden iletişim, eski bir fikir olmasına rağmen, ilk patentlerin alındığı 1900'lerin başından bu yana elektrik hizmetleri dünya çapında bu teknolojiyi uzaktan ölçüm ve yük kontrolü için kullanmaktadır. Başlangıçta, ses/düşük frekans bantlarında çalışan ve değişen veri hızlarına sahip tek taşıyıcılı dar bant çözümleri kullanılmıştır. Bu çözümler, saniyede birkaç bps'den birkaç kilobit'e kadar veri iletimi sağlamaktadır. Zaman içinde geliştirilen modülasyon teknikleri ve ilerleyen teknoloji sayesinde, Elektrik hatlarından iletişim, gerçek anlamda etkili bir haberleşme teknolojisi haline gelmiştir. 1980'li yılların sonlarına doğru çift yönlü iletişim mümkün hale gelmiş ve sonraki birkaç yıl içinde kullanılabilir seviyelere ulaştırılmıştır [72].

Teknolojinin olgunlaşması ve kullanım alanının genişlemesiyle birlikte, yüksek frekans bandında (2–30 MHz) çalışan ve 200 Mb/s'ye kadar veri iletim hızlarına sahip geniş bant sistemler piyasada yerini almaya başlamıştır. Son birkaç yılda, endüstrinin ilgisi, çoklu taşıyıcı şemalarına dayanan ve 3-500 kHz aralığında "yüksek veri hızı" olarak adlandırılan PLC'ye yoğunlaşmıştır. Sokak ışıklarına ve aralarındaki iletişim yeteneğine entegre edilmesi, sokak ışıklarının daha etkin bir şekilde kontrol edilmesini ve izlenmesini sağlamaktadır. PLC'nin temel prensibi, enerji ve bilginin aynı güç hattında iletilmesini sağlamaktır. PLC genel olarak dar bant ve geniş bant frekans iletimi olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Dar bant PLC'ler, 3–500 kHz frekans bandı üzerinden iletim sağlayarak uzun menzilli düşük hızlı iletişim sağlamaktadır.

Geniş bant PLC'ler ise 1.8-250 MHz frekans bandı üzerinden iletim ve daha sınırlı menzile sahip olmasına rağmen daha yüksek hızlı iletişim sağlamaktadır. Sokak aydınlatma sistemlerinin iletişim ihtiyaçlarını karşılamak için genellikle dar bant PLC'ler tercih edilir, çünkü geniş bantlı muadillerine göre daha yüksek spektral verimlilik sağlarlar. PLC, elektrik hatları üzerinden veri iletimini gerçekleştirir. Bu iletişim, elektrik hatlarına gömülü sinyaller aracılığıyla yapılır. Veri, elektrik sinyallerine modülasyon uygulanarak iletilir ve alıcı cihazlar bu sinyalleri çözerek orijinal veriyi elde eder. Elektrik hatları üzerinden veri iletimi, yeni kablo döşeme ihtiyacını ortadan kaldırır ve bu da kurulum maliyetlerini azaltmaktadır.

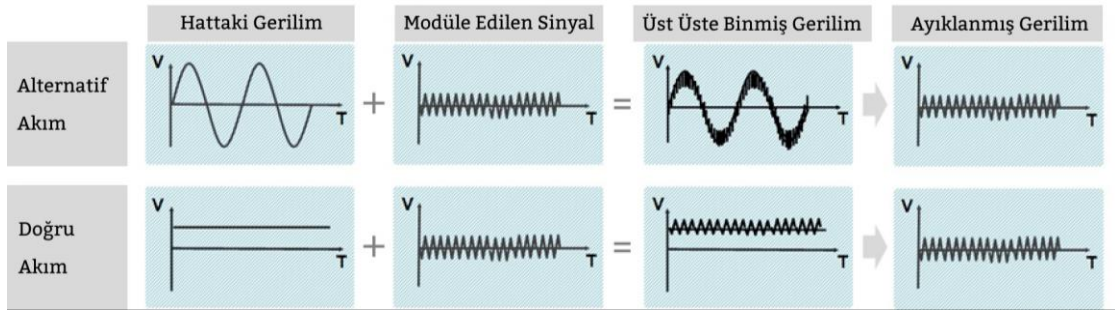
Mevcut elektrik hatları zaten binaların içinden geçtiği için ek kablo çekmeye gerek kalmaz. PLC, genellikle güvenilir bir iletişim sağlamaktadır. Elektrik hatları üzerinden veri iletimi, sabit bir bağlantı sunar ve dış etkenlere karşı daha dirençlidir. Elektrik hatları üzerinden iletişim, uzun mesafeleri kapsayabilir. Bu özellik, bir binanın farklı bölgelerinde veya farklı katlarında bulunan aydınlatma kontrol sistemlerinin birbirleriyle iletişim kurmasını mümkün kılar. PLC ile aydınlatma kontrolü, dinamik bir şekilde yapılabilir. Parlaklık ayarı, renk değişimi ve senaryo kontrolleri gibi özellikler, elektrik hatları üzerinden iletişim sayesinde kolayca uygulanabilir.

2.2.4. Veri iletimi prensibi

Elektrik hatları üzerinden iletişim, modülasyon tekniğini kullanarak veriyi taşır. Modülasyon, elektrik sinyallerinin frekansını veya genliğini değiştirerek verinin taşınmasını sağlamaktadır. Bu sayede veri, elektrik sinyallerine gömülerek iletilir. FM (Frequency Modulation) ve AM (Amplitude Modulation), modülasyon teknikleri arasında yaygın olarak kullanılanlardır. FM frekans değişiklikleri ile veriyi taşırken, AM genlik değişikliklerini kullanır. PLC sistemleri modüle edilmiş taşıyıcı sinyali kullanarak iletişimi güç hatları üzerinden sağlamaktadır [73]. Elektrik hatları, enerji iletimi için tasarlanmış olsa da, veri iletimi için de kullanılabilir. Ancak, sinyal kalitesi ve güç seviyeleri, iletişimde etkili olabilmek için dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Elektrik hatları üzerinden iletişimde sinyal gücü ve kalitesini korumak önemlidir. Elektrik hatları üzerinden iletişim sinyalleri, elektromanyetik etkileşim yoluyla bir noktadan diğerine taşınır. Bu etkileşim, veri sinyallerinin elektrik hatları üzerinde yayılmasını sağlamaktadır. Ancak, bu etkileşim dış etkenlere karşı da hassas olabilir. Elektrik akımı ve radyo dalgalarının farklı frekansta olmaları sayesinde, elektrik akımı ve veri iletimini birbirine karıştırmadan gerçekleştirebilir.

Bu teknoloji, mevcut güç ağı sistemini veri transferi için kullanır. Elektrik hatları enerji iletimi için anahtarlama frekansta çalışırken, PLC veri transferi için genellikle daha yüksek frekansta olan frekansları kullanır. Bu sayede, enerji iletimi ve veri transferi, birbirinden etkilenmeden aynı elektrik hatları üzerinden sağlanabilir [74]. Verileri elektrik hatları üzerinden taşımak için farklı modülasyon teknikleri kullanılabilir. Bu teknikler, sinyalin hattın fiziksel özelliklerine uygun hale getirilmesini sağlamaktadır. Güç hattı üzerinden iletişim sistemlerinde çeşitli modülasyon teknikleri denenmiştir.

Günümüzde ise en etkin ve gelişmiş olarak kabul edilen ortogonal frekans bölmeli çoklama sistemi, güç hattı iletişimde yaygın bir tercih haline gelmiştir. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), farklı frekansta bulunan çok sayıda alt taşıyıcıyı kullanarak veriyi parçalayıp ileten ve böylece hızlı ve güvenilir bir iletişim sağlayan bir modülasyon tekniğidir. Bu özellikleri, güç hatları üzerinden iletişimde OFDM'in yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Elektrik hatları üzerinden iletişim, difüzyon (yayılma) veya direkt iletim (doğrudan noktadan noktaya) şeklinde gerçekleşebilir. Difüzyon, sinyallerin elektrik hatları boyunca yayılmasını ve birçok cihaza ulaşmasını sağlamaktadır. Direkt iletim ise belirli bir noktadan belirli bir noktaya doğrudan veri iletimini ifade eder. Elektrik hatları üzerinden iletişim prensibi, modülasyon teknikleri, sinyal kalitesi, elektromanyetik etkileşim ve diğer faktörleri içerir. Bu prensipler, elektrik hatları kullanılarak veri iletimini mümkün kılar ve aydınlatma kontrol sistemleri gibi uygulamalarda etkili bir iletişim sağlar. İki cihaz arasında veri iletilirken ve alınırken, veriler verici üzerinde modüle edilir ve modüle edilen sinyal, AC (Alternating Current) veya DC (Direct Current) güç kaynağı voltajının üzerine bindirilir. Alıcıda, güç kaynağı voltajı ve modüle edilmiş sinyal bir filtre ile ayrılarak ve modüle edilmiş sinyalin demodüle edilmesiyle veriler çıkarılır. Şekil 2.11'de iletişim temel prensibine yer verilmiştir.



Şekil 2.11 : İletişimin temel prensibi [75].

2.2.5. RF haberleşmesinin detaylı incelenmesi

Radyo frekansı olarak bilinen haberleşme teknolojisi, elektromanyetik dalgaların 3 Hz ile 300 GHz aralığında işletilmesini ifade eder. Elektromanyetik dalgaların varlığı, ilk kez 1864 yılında James Maxwell tarafından teorik olarak öne sürülmüştür ve 1887 yılında Heinrich Hertz tarafından deneysel olarak kanıtlanmıştır. Bu terim, 535 kHz ile 1605 kHz arasındaki AM radyo frekanslarından 2.4 GHz'lik yerel ağ frekanslarına kadar geniş bir yelpazede

kullanılır. RF, genellikle birkaç kHz'den yaklaşık 1 GHz'e kadar olan frekans aralığını kapsar. Ancak, mikrodalga frekansları da dahil edilirse, bu aralık 300 GHz'e kadar uzanır. Tablo 2.6'da radyo frekansının frekans spektrumu verilmiştir.

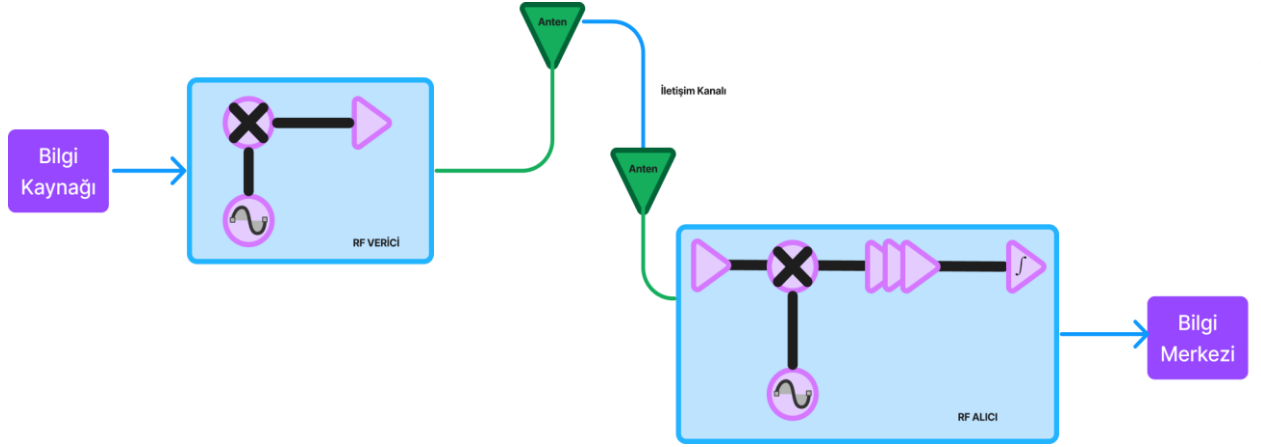
Tablo 2.6 : Radyo frekansının frekans spektrumu.

Frekans alt bandı	Frekans
Aşırı düşük frekans	3 Hz.-30 Hz.
Süper düşük frekans	30 Hz.-300 Hz
Ultra düşük frekans	300 Hz.-3000 Hz.
Çok düşük frekans	3 kHz.-30 kHz.
Düşük frekans	30 kHz.-300 kHz.
Orta frekans	300 kHz.-3000 kHz
Yüksek frekans	3 MHz.-30 MHz.
Çok yüksek frekans	30 MHz.-300 MHz.
Ultra yüksek frekans	300 MHz. 3000 MHz.
Süper yüksek frekans	3 GHz. 30 GHz.
Aşırı yüksek frekans	30 GHz.-300 GHz.
Terahertz radyasyonu	300 GHz. 3000 GHz.

Haberleşme uygulamalarında, bu frekans bantlarının yalnızca belirli segmentleri kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan endüstriyel bilimsel tıbbi bant, lisansa gerek olmadan belirli bir çıkış gücü sınırlamasına uyularak kullanılabilen bir frekans bandıdır. Ülkemizde, ISM (Industrial Scientific Medical) bandının yaygın olarak kullanılan frekansları 315 MHz, 418 MHz, 433,93 MHz, 868 MHz, 915 MHz ve 2.5 GHz'dir.

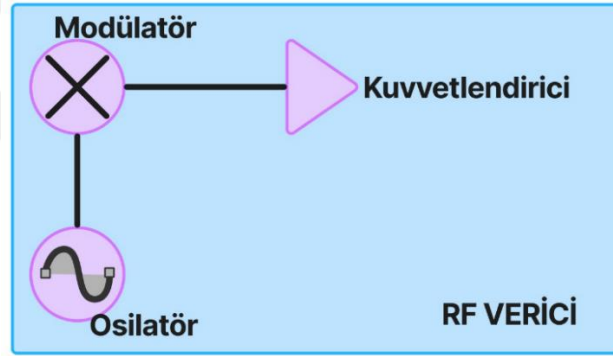
RF modülleri genellikle belirli bir sabit frekansta çalışacak şekilde üretilir ve alıcı-verici çiftleri halinde satılır. Kullanımları oldukça pratiktir, sadece bir antenin devreye eklenmesiyle çalıştırılabilirler. Bunun yanı sıra, düşük güç tüketimi de sağlarlar, bu da taşınabilir sistem uygulamalarında kullanımlarını oldukça uygun hale getirir.

Radyo frekansıyla kablosuz iletişimin genel yapısı, Ergül'ün yaptığı tez çalışması örnek alınarak Şekil 2.12'de blok diyagramda özetlenmiştir. Bilgi, kaynaktan RF vericiye iletilir ve buradan anten yardımıyla yayınlanır. Bilgi havada ilerlerken, alıcı kısmındaki anten tarafından alınır ve istenilen hedefe iletilir.



Şekil 2.12 : RF haberleşme genel yapısı.

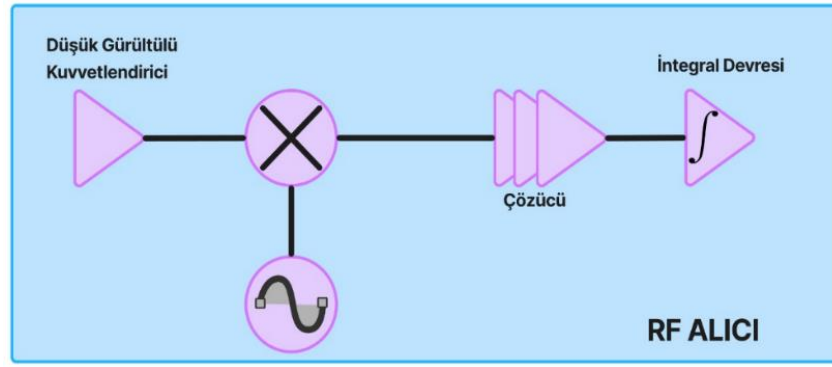
RF verici, girişine aldığı dijital bilgiyi elektromanyetik bir dalgaya dönüştürerek transfer edebilir. Bu işlem, RF vericinin temel işlevlerinden biridir. Şekil 2.13'te RF verici sistemi verilmiştir.



Şekil 2.13 : RF verici sistemi.

Verici sistemindeki osilatör belirli bir frekans üretir. Bu proje kapsamında kullanılan RF modülasyona bağlı olarak, frekans kaymalı anahtarlama gerçekleştirilir [76].

RF alıcı, iletilen elektromanyetik dalgayı alır, modülasyonu çözerek orijinal formuna dönüştürür. Şekil 2.14'te RF alıcı sistemi detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 2.14 : RF alıcı sistemi.

Sinyal demodüle edildikten sonra, integral alıcı devreye yönlendirilir ve işaret, ilk formatına dönüştürülerek hedefe aktarılır.

2.2.6. Haberleşme protokollerin karşılaştırılması

DALI, RF ve Powerline protokollerinin karşılaştırılması, akıllı aydınlatma sistemleri için uygun haberleşme çözümlerini belirleme sürecinde önemli bir adımdır. DALI, kablolu bir iletişim ortamı kullanır ve genellikle ticari ve endüstriyel aydınlatma sistemlerinde tercih edilir. Enerji verimliliği yüksektir ve güvenlik seviyesi oldukça sağlamdır. Kurulum zorluğu orta düzeydedir, ancak geniş kapsama alanı sağlamak için ek cihazlar gerekebilir. Maliyet açısından orta düzeydedir.

RF protokolü kablosuz bir iletişim ortamı sunar, bu da kurulumun daha kolay ve esnek olmasını sağlamaktadır. Geniş kapsama alanı, ev otomasyonu ve IoT uygulamaları için uygunluğunu artırır. Enerji verimliliği yüksektir, ancak güvenlik seviyesi RF protokollerine bağlı olarak değişebilir. Maliyet açısından düşüktür.

Powerline, iletişimi güç hattı üzerinden gerçekleştirir, bu nedenle kablolama gerektirmez. Ev otomasyonu ve ofisler gibi ortamlarda yaygın olarak kullanılır. Kapsama alanı genellikle ortalama düzeydedir ve enerji verimliliği yüksektir. Güvenlik seviyesi orta düzeydedir ve maliyet açısından orta seviyededir.

Bu protokollerin seçimi, projenin özel gereksinimleri, maliyet faktörleri ve kullanılacakları uygulama alanları gibi bir dizi faktörü içermelidir. Her bir protokolün avantajları ve sınırlamaları, spesifik ihtiyaçları karşılamak adına dikkatlice değerlendirilmelidir. Tablo 2.7’de protokollerin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.7 : Haberleşme protokollerinin karşılaştırılması.

Özellikler	DALI	RF (Radyo Frekansı)	Powerline
İletişim Ortamı	Kablolu	Kablosuz	Güç Hattı Üzerinde
Kapsama Alanı	Sınırlı	Geniş	Ortalama
Kurulum Zorluğu	Orta	Düşük	Düşük
Enerji Verimliliği	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Güvenlik Seviyesi	Yüksek	Orta-Yüksek	Orta
Çalışma Frekansı	Sabit (Digital)	Değişken (Analog/Dijital)	Güç Hattı Frekansı
Maliyet	Düşük	Orta-Yüksek	Orta
Uygulama Alanları	Ticari ve Endüstriyel	Ev Otomasyonu, IoT	Ev Otomasyonu, Ofisler

2.2.7. SCADA ile aydınlatma sistemi arasındaki ilişki

SCADA, aydınlatma sistemlerinde enerji yönetimi, performans izleme, bakım yönetimi, uzaktan kontrol ve güvenlik gibi bir dizi önemli fonksiyon sunarak sistemlerin etkinliğini artırır. Enerji verimliliği açısından, SCADA'nın zamanlanmış aydınlatma sistemlerindeki kullanımı, aydınlatma yoğunluğunu, parlaklığı ve kullanım zamanlamasını optimize ederek enerji tasarrufuna katkıda bulunur. Özellikle günün farklı saatlerinde ihtiyaç duyulan aydınlatma seviyelerini önceden belirleyerek gereksiz enerji tüketimini minimize eder. Bu durum, binalarda ve geniş alanlarda yoğun olarak kullanılan aydınlatma sistemlerinde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlar. Ayrıca, SCADA arıza yönetiminde etkinlik sağlar; armatür performansını sürekli izler ve potansiyel sorunları erken tespit ederek bakım süreçlerini iyileştirir. Arıza durumunda hızlı müdahale imkanı sağlayarak sistemlerin kesintisiz çalışmasını sağlar ve bakım maliyetlerini azaltır. Örneğin, bir lambanın ömrünün sonuna gelmesi durumunda, SCADA sistemleri operatörlere veya bakım ekibine otomatik uyarılar göndererek hızlı bir müdahale imkanı sağlamaktadır. Uzaktan erişim özelliği, geniş alanlardaki aydınlatma sistemlerinin merkezi bir kontrol odasından yönetilmesine olanak tanırken, güvenlik açısından da olası arızaları ve güvenlik tehditlerini izler ve anlık uyarılar gönderir. Potansiyel tehlikeler önceden tespit edilerek, güvenlik protokolleri devreye sokulabilir ve gerektiğinde acil önlemler alınabilir. Özellikle kamuya açık alanlarda veya büyük tesislerde, SCADA'nın bu tür bir erken uyarı sistemi olması güvenlik açısından kritik önem taşır.

SCADA ayrıca topladığı verileri analiz ederek sistem performansını değerlendirir, uzun vadeli eğilimleri belirler ve otomasyon kabiliyeti ile aydınlatma sistemlerini otomatik olarak düzenler. Veri analizi sayesinde, sistemdeki herhangi bir düşüş veya artışı belirleyebilir, bu da işletmelerin aydınlatma sistemlerini optimize etmesine olanak tanır. Örneğin, belirli bir alanın işgal edilmemesi durumunda otomatik olarak aydınlatma seviyesini düşürebilir ve gereksiz enerji tüketimini önleyebilir. Sonuç olarak, SCADA'nın aydınlatma sistemlerindeki kullanımı, enerji tasarrufu, bakım maliyetlerinin azaltılması ve sistem verimliliğinin artırılması gibi önemli avantajlar sunar. Büyük alanlardaki karmaşık aydınlatma sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayarak, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur.

2.3. SCADA Sistemleri

SCADA, "Supervisory Control and Data Acquisition" kelimelerinin baş harflerinden oluşur ve "Denetimsel kontrol ve veri toplama" anlamına gelir. İlk kez 1971'de doğal gaz şirketi olan Arkla Energy Resource tarafından kullanılmıştır. Terim, Power Industry Computer Applications konferansında ilk kez duyurulmuştur [77]. Endüstriyel süreçlerin yönetimi giderek artan bir karmaşıklık seviyesine ulaşmaktadır ve bu durum özellikle endüstriyel tesisler, enerji dağıtım ağları, su ve atık su tesisleri gibi kritik altyapılarda belirgin hale gelmektedir. Bu süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesi ve operasyonel güvenliğin sağlanması günümüz iş dünyasında belirleyici bir öncelik haline gelmiştir. SCADA sistemleri, bu karmaşık endüstriyel süreçleri izlemek, kontrol etmek ve yönetmek adına hayati bir role sahiptir. Genel olarak, SCADA sistemleri enerji SCADA (elektrik, su, doğal gaz gibi) ve süreç SCADA sistemleri olarak sınıflandırılabilir [78]. Bu sınıflandırmada, temel farklılıklar farklı teknik uygulamalar ve ihtiyaçlara dayalı olarak belirlenen tasarım parametrelerindedir.

SCADA, sensörler, kontrol cihazları ve veri iletişim ağları vasıtasıyla büyük miktarda veri toplar ve bu verileri merkezi bir konumda analiz ederek operatörlere gerçek zamanlı bilgi sunar. Bu gerçek zamanlı veri, operatörlere anlık kararlar alma ve süreçleri optimize etme imkanı sağlamaktadır. Bu kesintisizlik ve verimlilik, SCADA sistemlerinin otomasyon ve kontrol yetenekleri sayesinde mümkün olmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, SCADA sistemlerinin endüstriyel süreçlerdeki kritik rolünü detaylı bir biçimde incelemektir.

Ek olarak sistemlerin sağladığı avantajları vurgulamak ve aynı zamanda karşılaştığı güvenlik risklerini ele almak ve çözüm yolları önermektir.

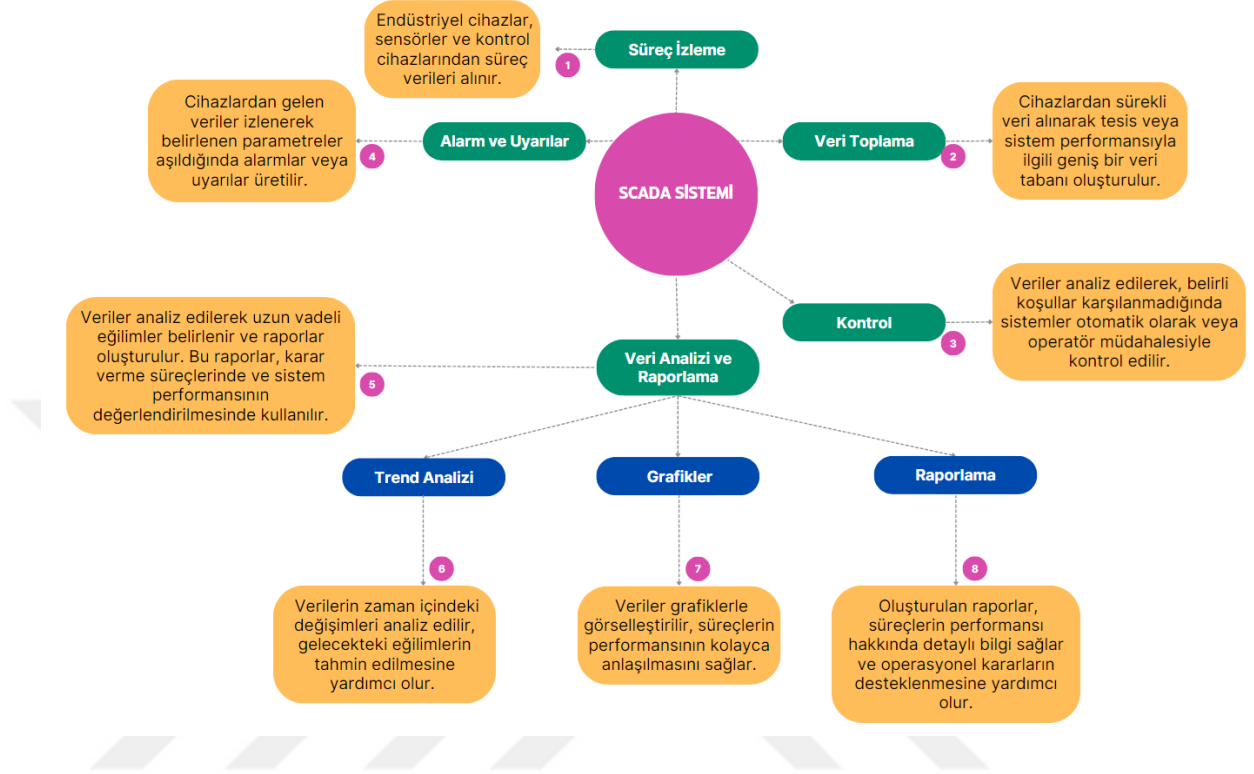
Sahanın sağladığı gerçek zamanlı verilerle işletmenin hangi bölgesinde arıza olduğunun tespit edilmesi, arızanın önem derecesine göre filtrelenmesi ve öncelik sırasının belirlenmesi gibi işlevler, kontrol sisteminin beklenen özelliklerindendir. Operatörler tarafından yapılan çalışmalar notlar halinde kaydedilebilir ve arızaların giderilmesi için bir takım adımlar atılabilir. Arıza ve ihbarlar bir ekran üzerinde gösterilebilir veya yazıcıdan alınabilir [79].

SCADA, endüstriyel süreçlerin izlenmesi, kontrol edilmesi ve veri toplanması amacıyla kullanılan bir sistemdir. Cihazlardan veri alması, süreçlerin durumunu belirlemek, performansı izlemek ve gerekirse müdahale etmek için gereklidir. İşte SCADA'nın cihazlardan veri almasının bazı nedenleri:

- Süreç İzleme: Endüstriyel ortamlardaki cihazlar, sensörler ve kontrol cihazları, süreçlerle ilgili önemli veriler üretirler. SCADA, bu verileri alarak süreçlerin anlık durumunu izler.
- Veri Toplama: SCADA, cihazlardan sürekli olarak veri alarak tesis veya sistem performansıyla ilgili geniş bir veri tabanı oluşturur. Bu veriler, analiz edilerek süreçlerin optimize edilmesi ve performansın artırılması için kullanılabilir.
- Kontrol: SCADA, aldığı verileri analiz ederek, belirli koşullar karşılanmadığında otomatik olarak veya operatör müdahalesiyle sistemleri kontrol edebilir. Örneğin, belirli bir sıcaklık değeri aşıldığında soğutma sistemlerini devreye alabilir.
- Alarm ve Uyarılar: Cihazlardan gelen veriler, SCADA tarafından izlenerek belirlenen parametreler aşıldığında alarmlar veya uyarılar üretebilir. Bu sayede operatörler olası sorunlara hızlı bir şekilde müdahale edebilirler.
- Veri Analizi ve Raporlama: SCADA, cihazlardan gelen verileri analiz ederek uzun vadeli eğilimleri belirleyebilir ve bu verilerden raporlar oluşturabilir. Bu raporlar, karar verme süreçlerinde ve sistem performansının değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Şekil 2.15'te detaylı olarak sistemin genel yapısı anlatılmıştır. Cihazlardan veri almak, SCADA'nın temel fonksiyonlarından biridir ve bu verilerin doğru, güvenilir ve zamanında alınması, endüstriyel süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesi için kritik öneme sahiptir.

Bu verilerin analizi ve doğru bir şekilde kullanılması, süreçlerin verimliliğini artırmak ve operasyonel kararlar almak için hayati öneme sahiptir.



Şekil 2.15 : SCADA sisteminin genel yapısı.

2.3.1. SCADA sisteminin uygulama alanları

SCADA sistemleri, endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Büyük coğrafi alanlara yayılmış sistemlerden, bölgesel ve küçük ölçekli sistemlere kadar çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Ayrıca, SCADA sistemleri başka sistemlerin alt yapısını oluşturarak Enerji Yönetim Sistemleri (EYS) veya Dağıtım Yönetim Sistemleri (DYS) gibi sistemlerin oluşturulmasına da katkı sağlamaktadır [80].

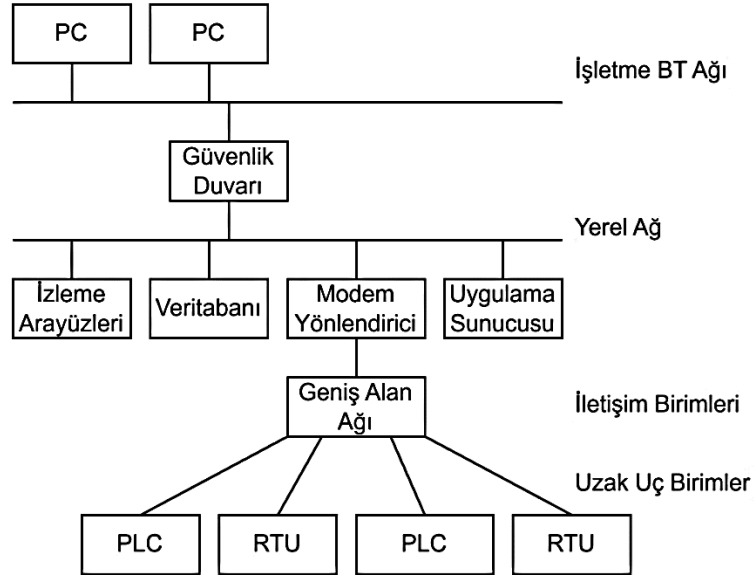
SCADA sisteminin ana kullanım alanları şunlardır:

- Endüstriyel üretim tesisleri
- Enerji iletim ve dağıtım sistemleri
- Petrol ve doğal gaz boru hatları
- Su arıtma ve dağıtım tesisleri

- Taşıma ve ulaşım altyapıları
- İşletme otomasyonu ve kontrolü
- Çevresel izleme ve kontrol sistemleri
- Bina Otomasyonu

2.3.2. SCADA sistemi bileşenleri

SCADA sistemi, dört ana bileşenden oluşmaktadır: Merkezi terminal birimi, Saha istasyonu, Saha ekipmanları ve iletişim birimleri. Özbilen'in yaptığı tez çalışması incelenerek Şekil 2.16'da SCADA bileşenleri diagramı oluşturulmuştur.



Şekil 2.16 : SCADA bileşenleri [81].

2.3.2.1. Merkezi terminal birimi (MTU)

Bu istasyon, tesisin bilgisayarlar aracılığıyla izlenmesini, kontrol edilmesini ve yönetilmesini sağlar . Merkez istasyonu, bağımsız bir üs olabileceği gibi saha istasyonları arasından biri de olabilir. Genellikle haberleşme altyapısına bağlı olarak merkez istasyonunun yeri belirlenir [82].

Oluşturulacak SCADA sistemine göre sunucu bilgisayarların sayısı ve kapasitesi belirlenir. Sistem yapısına bağlı olarak, kullanılacak sunucu bilgisayarlar yalnızca sunucu olarak görev yapabilir veya tüm diğer paket yazılımlarını da içerebilir [83].

MTU (Master Terminal Unit), bilgisayarlardan, giriş/çıkış birimlerinden, insan-makine arayüzünden, RTU'larla haberleşme birimlerinden, bilgi depolama birimlerinden ve bunların ek birimlerinden oluşur.

Merkezi terminal birimi aşağıdaki işlevleri yerine getirir:

- Uzaktaki RTU birimlerinden verilerin toplanması
- Toplanan verilerin yazılım programlarıyla işlenerek ekrana ve yazıcıya aktarılması
- Sistemde kontrol edilecek cihazlara kontrol komutlarının gönderilmesi
- Belirli olaylar meydana geldiğinde alarm üretilmesi ve alarmların operatöre hızlı bir şekilde iletilmesi
- Olaylar ve verilerin zaman sırasına göre kaydedilmesi
- Diğer bilgisayar sistemleriyle iletişim kurulması
- Üst seviye uygulama programlarının çalıştırılması
- Yazıcılar, çiziciler ve haberleşme birimleri gibi ek donanımların kontrol edilmesi

2.3.3. Uzak terminal birimi (RTU)

RTU'lar, bağlı cihazlardan analog ve dijital verileri toplar, depolar ve gerektiğinde modemler ve iletişim hatları aracılığıyla belirli bir iletişim protokolü çerçevesinde kontrol merkezine iletmek üzere bu verileri saklarlar. Ancak, bazı durumlarda RTU, MTU ile iletişim kurmak yerine noktadan noktaya iletişim mantığıyla başka bir RTU modülü ile iletişim kurar. Bu durumda RTU, diğer bir RTU modülünün röle istasyonu olarak görev yapar ve Ana Kontrol Merkezi ile doğrudan bir bağlantısı olmaz [84].

2.3.4. Saha ekipmanları

Saha ekipmanları, sahadan veri toplama veya denetim verilerini sahadaki cihazlara ileten ve SCADA hiyerarşik yapısında ikinci sırada yer alan cihazlardır. Bu ekipmanlar arasında PLC'ler, DCS'ler (Distributed Control System) ve akıllı elektronik cihazlar bulunmaktadır.

2.3.5. İletişim birimi

İletişim birimi bir yerden diğerine karşılıklı olarak veri veya haber iletişimini sağlayan sistemler olarak tanımlanabilirler [85].

Haberleşme sistemi için kabloların yanı sıra RF'de kullanılabilir. Kablolar özellikle fabrikalarda sıklıkla tercih edilirken, uzak birimler arasında bilgi transferi için yeni kablo döşenmesi maliyetli ve pratik olmayabilir. Bu durumda, telefon hatları kiralanabilir, enerji iletim hatları üzerinden iletişim kurulabilir, hatta uydu veya RF modemler aracılığıyla haberleşme sağlanabilir.

Kontrol merkezlerinin kendi aralarında veya RTU'larla iletişimlerinde çeşitli iletişim protokolleri kullanılabilir. Kontrol merkezlerinin farklı RTU'larla veya RTU'ların birden fazla kontrol merkeziyle iletişim kurması, birden fazla port kullanarak sağlanabilir. Bu portlar farklı iletişim protokolleriyle çalışabilir; yani her bir portta aynı iletişim protokolünü kullanmak zorunlu değildir. Bu esneklik, farklı protokoller kullanan bilgisayar sistemleri arasında etkili bir iletişim sağlamaktadır. Ancak, kontrol merkezi ile RTU arasındaki iletişimde, uyumlu bir protokol kullanılması gerekliliği unutulmamalıdır.

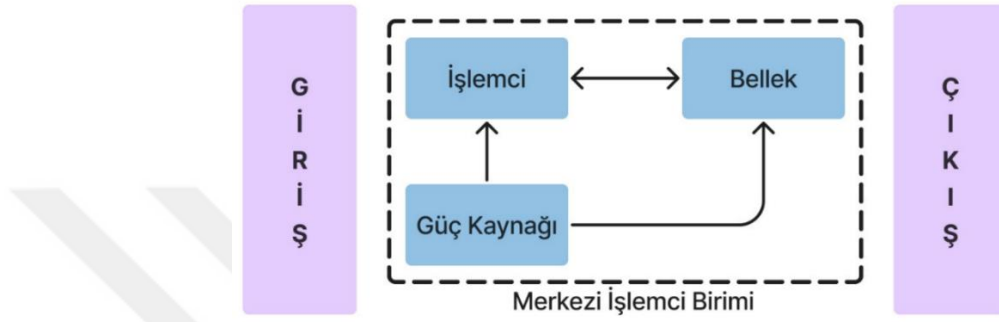
2.4. PLC Sistemleri

PLC, İngilizce "Programmable Logic Controller" (Programlanabilir Mantık Kontrolörü) teriminin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Programlanabilir kumanda ve kontrol elemanı olarak kullanılır. PLC ilk olarak 1968'de General Motors mühendisleri tarafından röle kontrol sistemi olarak tasarlanmıştır. Modicon adıyla Bedford Associates tarafından üretilmiş ve piyasaya sürülmüştür. Şekil 2.17'de PLC cihaz görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.17 : PLC cihazı.

PLC, giriş birimi, işlemci birimi, hafıza birimi ve çıkış birimi olmak üzere dört temel birimden oluşur. Giriş ve çıkış birimleri, PLC ile kontrol edilen proses arasında bir köprü görevi görürler. Merkezi işlem birimi, mikroişlemci tabanlı bir sistemde sistemin beyni konumundadır. PLC'nin girişine bağlı sensörlerden gelen bilgileri okur, içerisindeki yazılım programını uygular ve programın sonuçlarına göre çıkışına bağlı elemanları kontrol eder. Şekil 2.18'de PLC'nin genel yapısı verilmiştir.



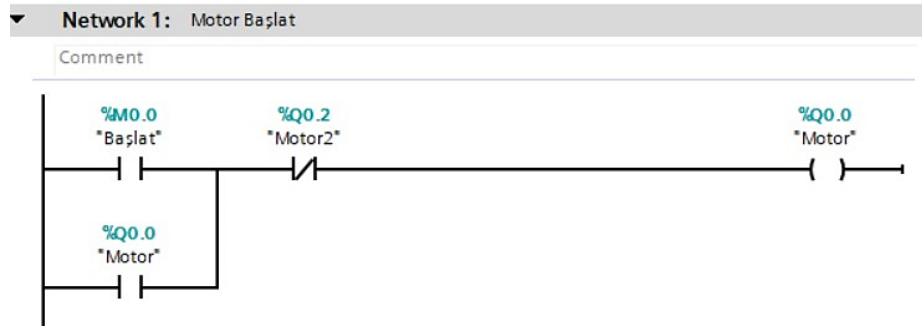
Şekil 2.18 : PLC genel yapısı.

2.4.1. Programlama biçimleri

PLC'lerde kullanılan programlama dilleri sürekli olarak gelişmektedir. Ancak bazı temel yazılım türleri uzun süredir kullanılmaktadır. Programlanabilir lojik kontrolörün ortaya çıkışıyla birlikte merdiven programlama formatı benimsenmiştir. PLC'ler, merdiven programlama dilinin yanı sıra STL (Statement List) komut dili ve FBD (Function Block Diagram) ile de programlanabilir.

2.4.1.1. Merdiven (Ladder) programlama dili

Merdiven kontrol programları, sembolik komut setleriyle oluşturulur. Bu komutlar, kontaklar, röleler ve çeşitli amaçlar için kullanılan blok diyagramlardan oluşur. Bu diyagramlar, programın mantığını ve işleyişini sembolik olarak gösterir, böylece programın anlaşılması ve geliştirilmesi kolaylaşır. Şekil 2.19'da merdiven programlama dili verilmiştir.

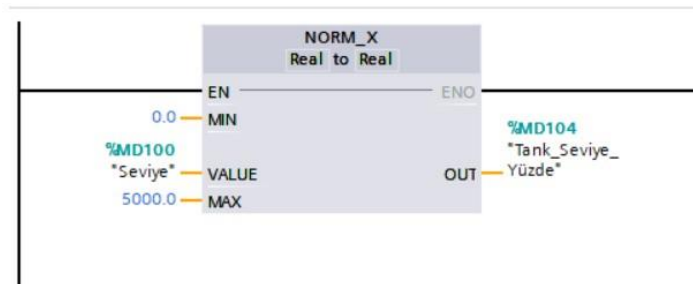


Şekil 2.19 : Merdiven programlama dili.

Merdiven programlama yöntemi, PLC programcıları arasında popülerdir çünkü kolayca anlaşılabilir bir yapıya sahiptir. Bu yöntem, giriş koşullarına bağlı olarak çıkış koşullarını kontrol etmek için kullanılır. Her bir adımda, giriş koşulları ve çıkış koşulları belirlenir ve belirli bir sırayla işlenir. Giriş koşulları genellikle sensörlerden veya diğer giriş cihazlarından gelen sinyallerdir. Merdiven programlama dili, dikey olarak düzenlenmiş bir blok diyagramı gibi görünür, bu da programın mantığını açıkça gösterir. Basit ve etkili yapısıyla, bu yöntem endüstriyel otomasyon ve kontrol sistemlerinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ayırıcı bir özellik olarak, her bir adımın sonunda belirli bir çıkış durumu oluşturulur, bu da sistemdeki belirli bir fiziksel işlemi gerçekleştirir.

2.4.1.2. Fonksiyon blok diyagram (FBD) program dili

Function Block Diagram yöntemi, programlamayı lojik kapılar ve işlevsel bloklar kullanarak gerçekleştirir. Bu yöntem, genellikle kutu şeklindeki sembollerle ifade edilir; sembollerin sol tarafında giriş sinyalleri, sağ tarafında ise çıkış sinyalleri bulunur. Özellikle dijital elektronik eğitimi almış kişiler, FBD'nin şematik yapısını daha kolay anlayabilir ve kullanabilir. Şekil 2.20'de FBD programlama dilinin bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.20 : FBD programlama dili.

2.4.1.3. Deyim listesi (STL) programlama dili

STL (Structured Text Language - Yapılandırılmış Metin Dili) yöntemi, PLC'nin türüne ve markasına bağlı olarak değişebilen ancak aynı işlevi yerine getiren komutları kullanır. Her komut, yapılan işlemi tanımlayan ve işlem yapılan hafıza alanlarını gösteren operatörlerden oluşur. Bu yöntem, cihazın makine koduna en yakın gösterim şeklidir ve geniş programlama imkanları sunar. STL yöntemi, bilgisayar teknolojisine hakim kişilere yöneliktir. Şekil 2.21'de STL programlama dilinin bir örneği bulunmaktadır.

```
A  I0.0    // Butona basıldı mı?  
L   S5T#5s // 5 saniyelik zamanlayıcı  
SE  T1     // Zamanlayıcıyı başlat  
A   T1     // Zamanlayıcı süresi doldu mu?  
=   Q0.0   // Lambayı yak
```

Şekil 2.21 : STL programlama dili.

2.4.2. PLC sisteminin uygulama alanları

PLC'ler, endüstriyel otomasyonun önemli bir parçası olarak, geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Özellikle paketleme ve ambalaj sistemleri, taşıma sistemleri, tekstil, kimya, otomotiv endüstrisi, çimento sanayisi, havalandırma ve soğutma tesisleri, gıda endüstrisi gibi sektörlerde yaygın olarak görülürler. Ana kullanım alanlarından biri sıralı kontrol sistemleridir. Bu sistemlerde, bir dizi adımda işlemler sırayla gerçekleştirilir ve genellikle basit veya karmaşık proseslerin yönetiminde kullanılır. Örneğin, bir üretim hattındaki farklı makinelerin sıralı olarak çalışmasını sağlamak için kullanılabilir.

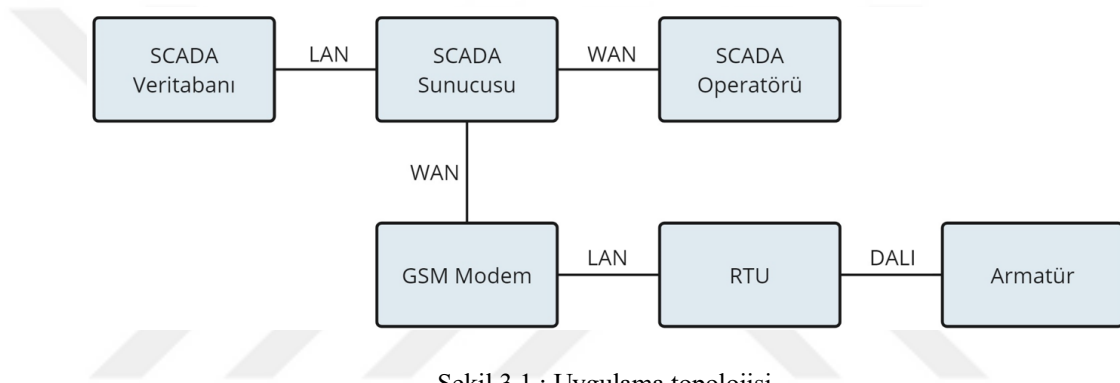
Hareket kontrolü, PLC'lerin bir başka önemli kullanım alanıdır. Bu, hareketli parçaların (örneğin, robot kolları, konveyör bantları) kontrol edilmesini içerir. Hassas hareketlerin programlanmasına ve yönetilmesine olanak tanır, bu da üretim süreçlerinin daha verimli ve esnek olmasını sağlamaktadır. Süreç denetimi, PLC'lerin bir diğer önemli işlevi olarak öne çıkar. Endüstriyel süreçlerin izlenmesi, kontrol edilmesi ve optimize edilmesi için kullanılır. Bu, kimya, petrokimya, enerji üretimi gibi sektörlerde yaygın olarak görülür. Süreç parametrelerini (sıcaklık, basınç, akış hızı vb.) izleyebilir ve uygun şekilde tepki verebilir. Son olarak, PLC'ler veri yönetimi için de kullanılabilir. Bu, işlem verilerinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve raporlanması anlamına gelir.

Üretim verimliliğini artırmak, kalite kontrolünü iyileştirmek ve karar alma süreçlerini desteklemek için önemli verileri sağlayabilir. Bu alanlarda PLC'lerin kullanımı, endüstriyel otomasyonun gelişiminde önemli bir rol oynamış ve üretim süreçlerinin daha verimli, güvenilir ve esnek hale gelmesine katkıda bulunmuştur.



BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tez çalışması için yapılan uygulamanın aşamaları anlatılmaktadır. DALI konfigürasyonu, RTU yazılımının geliştirilmesi ve SCADA yazılımının geliştirilmesi alt başlıklarda detaylı olarak anlatılmaktadır. Sistemin çalışma ilkeleri ve topolojileri blok diyagramlar ile detaylandırarak anlatılmıştır. Şekil 3.1’de uygulama topolojisi verilmiştir.

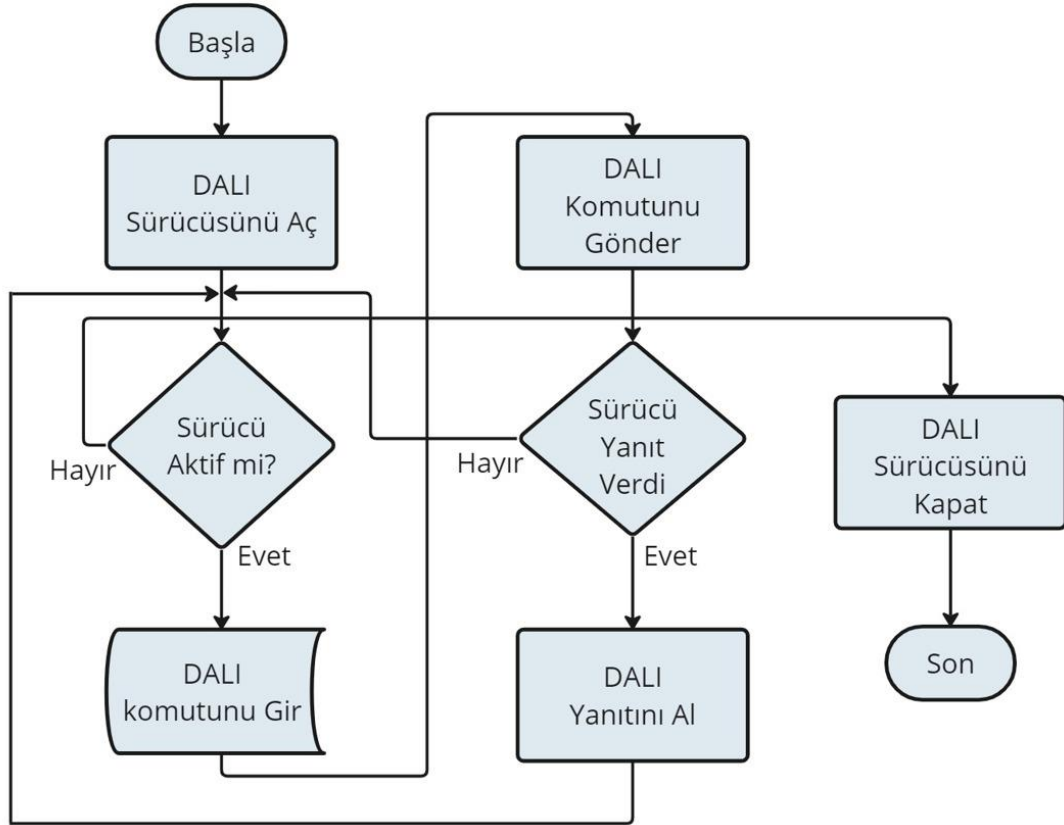


Şekil 3.1 : Uygulama topolojisi.

Uygulamanın ilk aşamasında sahada bulunan armatürlere DALI konfigürasyonu yapılmıştır. DALI konfigürasyonu ile armatürlere DALI ID numaraları atanmış ve gruplandırmaları yapılmıştır. Uygulamanın ikinci aşamasında RTU yazılımı geliştirilmiştir. DALI ID numaraları atanmış armatürler için kontrol ve izleme lojikleri yazılmıştır. Uygulamanın üçüncü aşamasında SCADA yazılımı geliştirilmiştir. Saha ile ilgili bilgiler netleştikten sonra operatörün kontrol ve izleme yapacağı sayfa tasarımları yapılmıştır.

3.1. DALI İletişim Protokolünün Konfigürasyonu

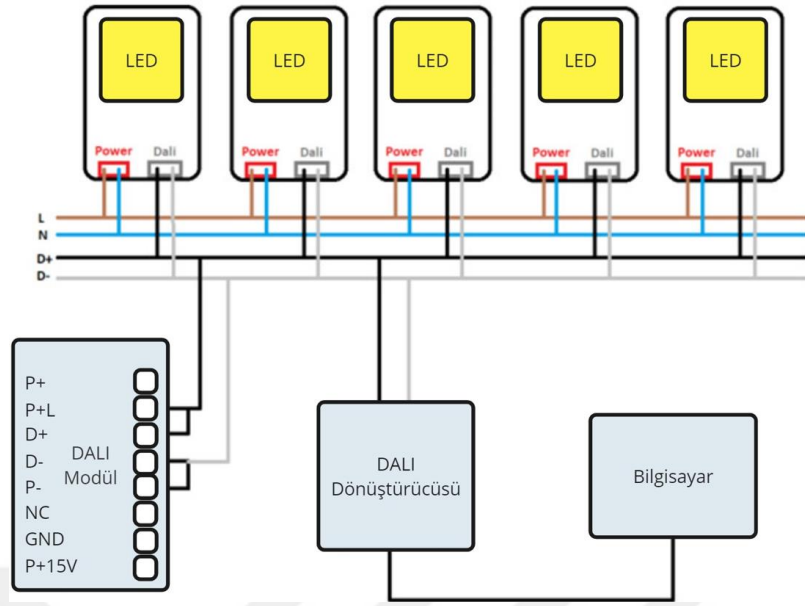
Bu bölümde DALI iletişim konfigürasyonları yapılmıştır. DALI iletişiminin sağlıklı ve kontrollü çalışabilmesi için protokol gereğince tüm konfigürasyon adımları dikkat edilerek yapılmıştır. Konfigürasyon adımları alt başlıklarda açıklanmıştır. Şekil 3.2’de DALI haberleşme protokolünün çalışma sistemi verilmiştir.



Şekil 3.2 : DALI haberleşme protokolünün çalışma sistemi.

3.1.1. DALI bağlantı şeması

DALI konfigürasyon aşamasından önce armatürlerin DALI dönüştürücü cihazına bağlantıları yapılmıştır. DALI hattı ile haberleşebilmek için 15V 300mA'lık sınırlı güç kaynağı kullanılmıştır. Şekil 3.3'te DALI dönüştürücüsünün kablo bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 3.3 : DALI dönüştürücü bağlantı şeması.

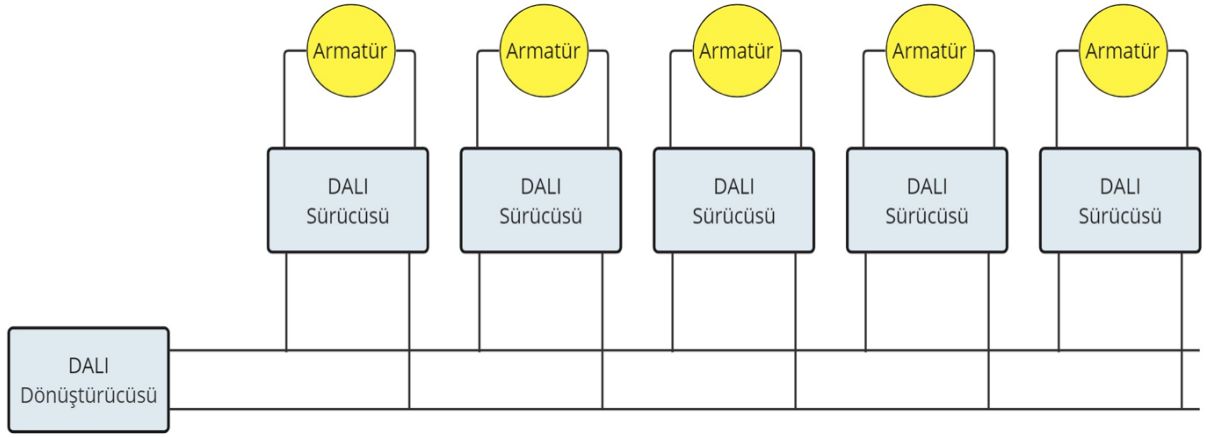
3.1.2. DALI konfigürasyon programı

DALI protokolünde armatürleri kontrol edebilmek için Tridonic markasının DALI to USB (Universal Serial Bus) dönüştürücü cihazı ile konfigürasyonu yapılmıştır. Şekil 3.4'te DALI dönüştürücüsü verilmiştir.



Şekil 3.4 : DALI dönüştürücüsü.

Tridonic marka konfigürasyon cihazı master, armatürler içerisinde bulunan DALI sürücülerine ise slave modundadır. Konfigürasyon işlemleri armatür içerisinde bulunan DALI sürücülerine yapılmaktadır. Kullanılan konfigürasyon programında DALI protokolü için gereken adresleme, gruplama, senaryo ve canlı test gibi tüm özellikler bulunmaktadır. Şekil 3.5'te DALI dönüştürücü ve DALI sürücülerinin haberleşme yapısı verilmiştir.



Şekil 3.5 : DALI dönüştürücü ve DALI sürücülerinin haberleşme yapısı.

3.1.2.1. DALI armatür kontrol ve adresleme

DALI dönüştürücü programında tüm armatürlere DALI ID numarası atanmıştır. Armatürlere atanan ID numarası ile armatürler kontrol edilebilmekte ve gruplandırma yapılabilmektedir. ID numara ataması yapılmayan armatürler DALI protokolü ile iletişime geçemezler.

DALI adresleme sonrasında armatür değişimi olduğu takdirde tekrar armatürler için adresleme yapılması gerekmektedir. Saha çalışması sonrasında oluşan arızalı armatürün değişimi esnasında tekrar adresleme yapılarak tüm armatürler için yeni DALI ID numaraları atanmıştır.

3.1.2.2. DALI armatür grup ve senaryo oluşturma

DALI protokolü, 16 adet farklı grup ve senaryo tanımlama olanağı sunmaktadır. Gruplama durumu, aynı gruba dahil olan armatürler için gelen istek durumunda birlikte hareket etmektedirler. Saha uygulamasında 2 adet gruplandırma yapılmıştır. Senaryo durumu, belirlenen zaman aralığında grupları farklı ışık seviyelerinde kontrol etmek için kullanılmaktadır. Saha uygulamasında senaryo, DALI dönüştürücü programı üzerinde yapılmamıştır. Senaryo durumları RTU cihaz içerisinde yazılımsal olarak yapılmıştır. Toplam 5 adet senaryo uygulanmıştır. Senaryo içerisindeki grup ışık seviyeleri dinamik olarak belirlenmektedir.

3.2. RTU Yazılımının Geliştirilmesi

Bu bölümde, RTU yazılımının geliştirilmesi çalışmaları anlatılmaktadır. DALI dönüştürücüsü ile armatürlere DALI ID numara ataması yapıldıktan sonra bu numaralar, RTU yazılımı içerisinde armatürleri kontrol etmek için kullanılmıştır. RTU markası olarak Mikrodev firmasının DM100 model ürünü kullanılmıştır. Şekil 3.6’da Mikrodev markasına ait RTU modeli sunulmuştur.



Şekil 3.6 : Mikrodev RTU DM100 modeli.

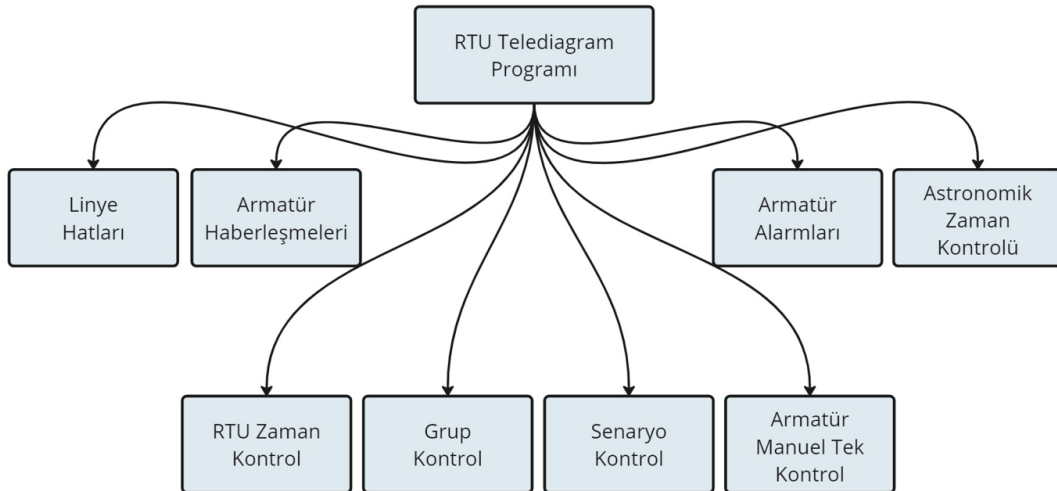
DALI kablo bağlantılarının yapıldığı ve RTU üzerinden haberleşmeyi gerçekleştiren modül olarak XIO110-E0N-GDA-B0000 cihazı kullanılmıştır. Bu modül, DM100 RTU modeline CANbus (Controller Area Network) ile bağlantısı yapılmıştır. Bir modül, 64 adet armatürü kontrol edebilecek kapasitede tasarlanmıştır. Eğer 64 adet armatürden daha fazla armatür kontrol edilmek isteniyorsa, ekstra modül eklenmesi gerekmektedir. Şekil 3.7’de Mikrodev markasına ait bir DALI modülü verilmiştir.



Şekil 3.7 : Mikrodev XIO110-E0N-GDA-B0000 DALI modülü.

3.2.1. RTU yazılım konfigürasyon programı

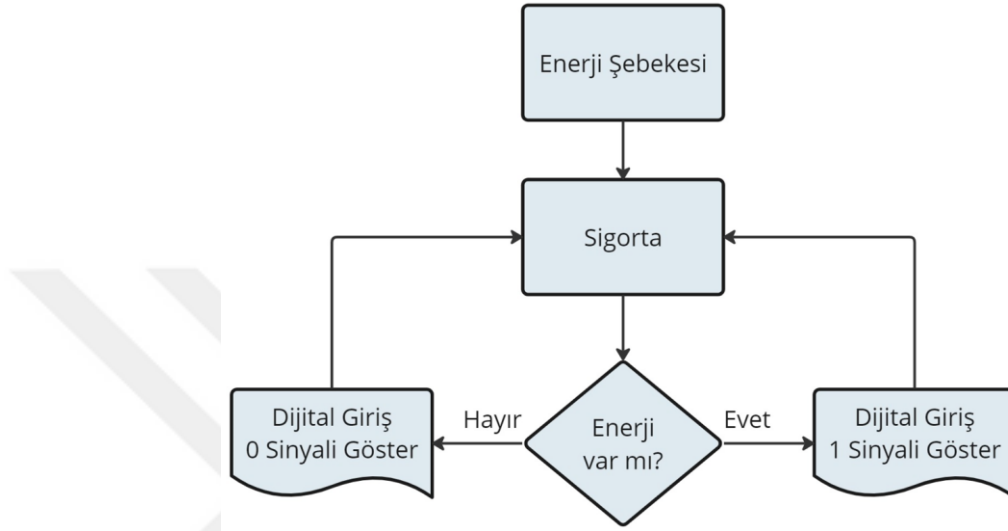
RTU yazılım programı için Mikrodev firmasına ait RTU cihazlarını programalamada kullanılan Teledigram programı kullanılmıştır. Yazılım, program dili olarak Fonksiyon Blok Diyagramı (FBD) kullanılmıştır. RTU programında panoda bağlı olan linye hatlarının enerji kontrolleri, armatür haberleşme bilgileri, armatür alarm bilgileri, enlem ve boylam bilgisine göre astronomik zaman kontrolü, RTU saat kontrolü, armatür grup ve senaryo kontrolleri, armatür manuel tek kontrollerinin lojik yazılımları gerçekleştirilmiştir. Bu kontrollerin detaylı anlatımları alt başlıklarda anlatılmaktadır. Şekil 3.8’de RTU Teledigram programında yapılan lojik işlemler şeması verilmiştir.



Şekil 3.8 : RTU Teledigram programı lojik işlemler şeması.

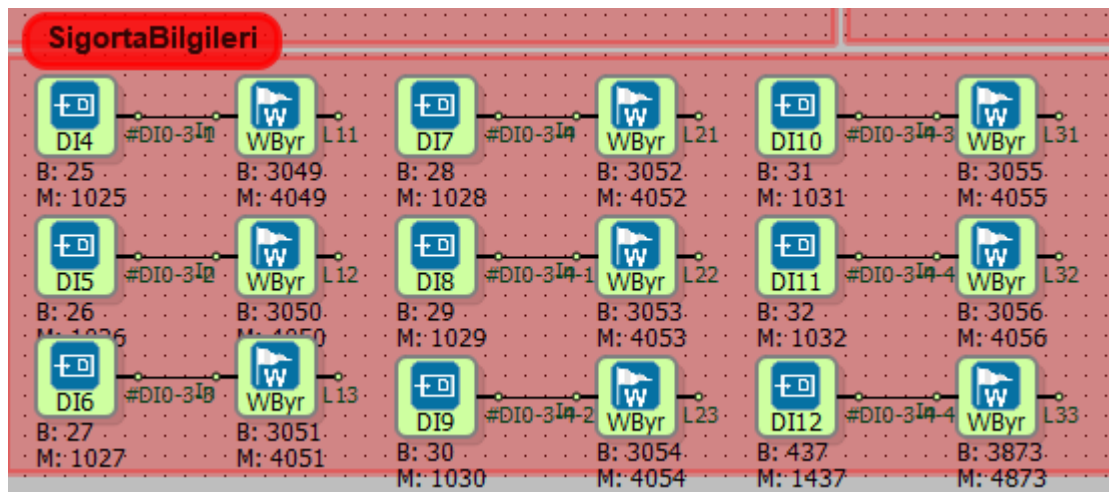
3.2.2. Linye hatlarının izlenmesi

Linye hatları, dijital girişler ile RTU yazılımında takip edilmektedir. Armatürler linye hatlarına bağlanmıştır ve enerji beslemelerini bu hat üzerinden almaktadırlar. Şekil 3.9’da linye hatlarının izlendiği dijital giriş sinyallerinin çalışması verilmiştir.



Şekil 3.9 : Linye hatlarının izlendiği dijital giriş sinyallerinin çalışması.

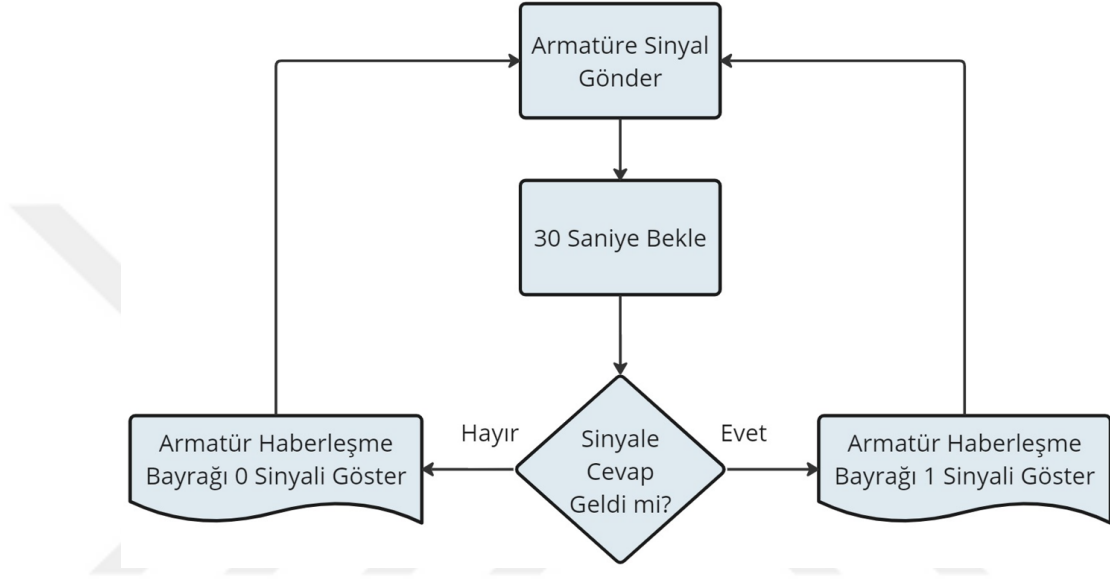
Herhangi bir linye hattında enerji kesilmesi halinde linye hattına bağlı olan armatürlerin enerjisi kesileceğinden bu armatürler ile iletişim sağlanamayacaktır. Şekil 3.10’da linye hatlarının takip edildiği FBD lojik programı verilmiştir.



Şekil 3.10 : Linye hatlarının takip edildiği FBD lojik program.

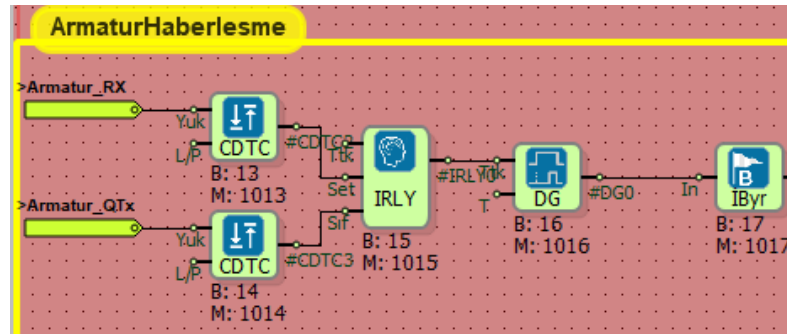
3.2.3. Armatür haberleşmelerinin izlenmesi

Her bir armatürün haberleşme durumu, ikili bayrak bloklarından takip edilmektedir. Haberleşme sağlanamayan armatürlerin anlık durum bilgileri takip edilemez ve uzaktan kontrolü sağlanamaz. Şekil 3.11’de armatür haberleşmelerinin izlendiği ikili bayrak bloklarının çalışması verilmiştir.



Şekil 3.11 : Armatür haberleşmelerinin izlendiği ikili bayrak bloklarının çalışması.

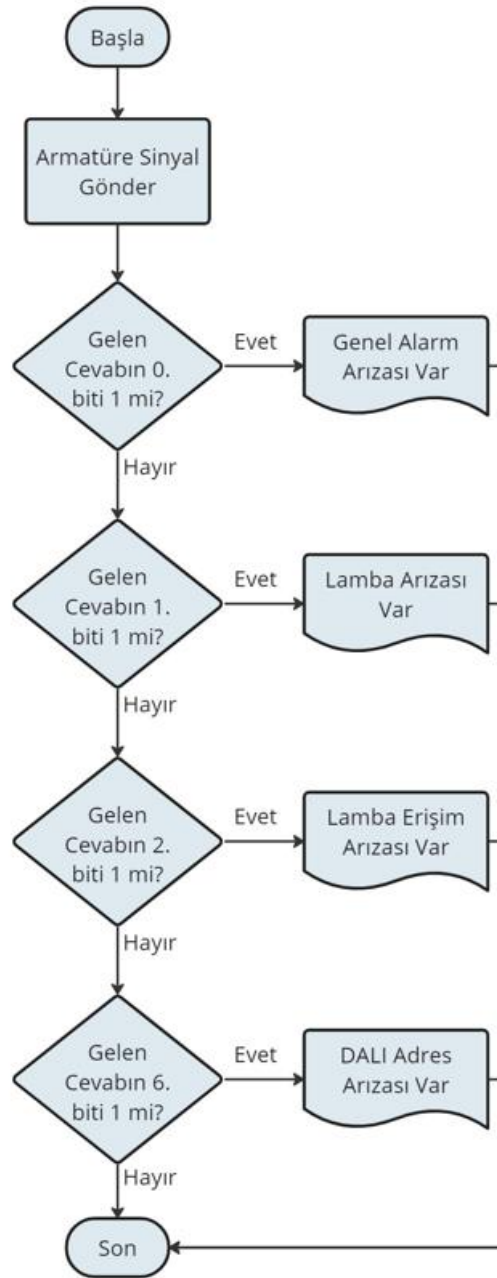
Belirli periyotlar ile armatürlere sinyal gönderilmektedir. Bu sinyale bir karşılık alınamadığı takdirde haberleşmenin olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.12’de armatür haberleşmelerinin takip edildiği FBD lojik programı verilmiştir.



Şekil 3.12 : Armatür haberleşmelerinin takip edildiği FBD lojik program.

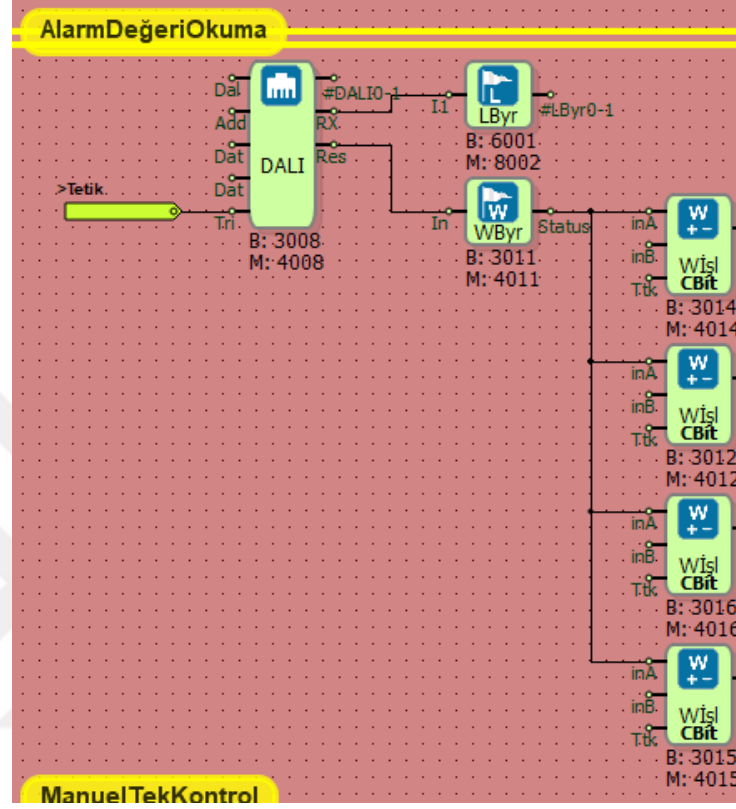
3.2.4. Armatür alarmlarının izlenmesi

Her bir armatürün alarm durumu, word işlem bloklarından takip edilmektedir. Armatürün alarm adresinden gelen değer bitlerine ayrıştırılarak alarm bilgisine erişilmektedir. Alarm durumuna göre armatür çalışmasını sürdürebilmektedir, fakat en kısa zamanda alarm durumunu gidermek için saha çalışması yapılmalıdır. Şekil 3.13'te armatür alarmlarının izlendiği word işlem bloklarının çalışması verilmiştir.



Şekil 3.13 : Armatür alarmlarının izlendiği word işlem bloklarının çalışması.

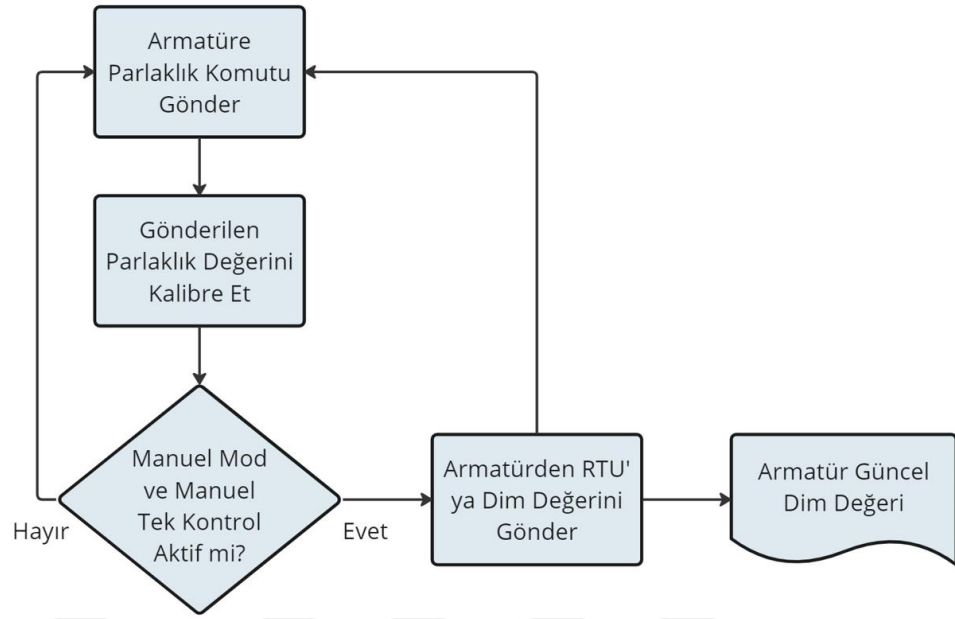
Armatürlerde alarm durumlarını izlemek için 4 adet alarm durumu tanımlanmıştır. DALI bloğundan elde edilen 16 bitlik veri, bitlerine ayrıştırılarak alarm bilgisine erişilmektedir. Şekil 3.14'te armatür alarmlarının takip edildiği FBD lojik programı verilmiştir.



Şekil 3.14 : Armatür alarmlarının takip edildiği FBD lojik program.

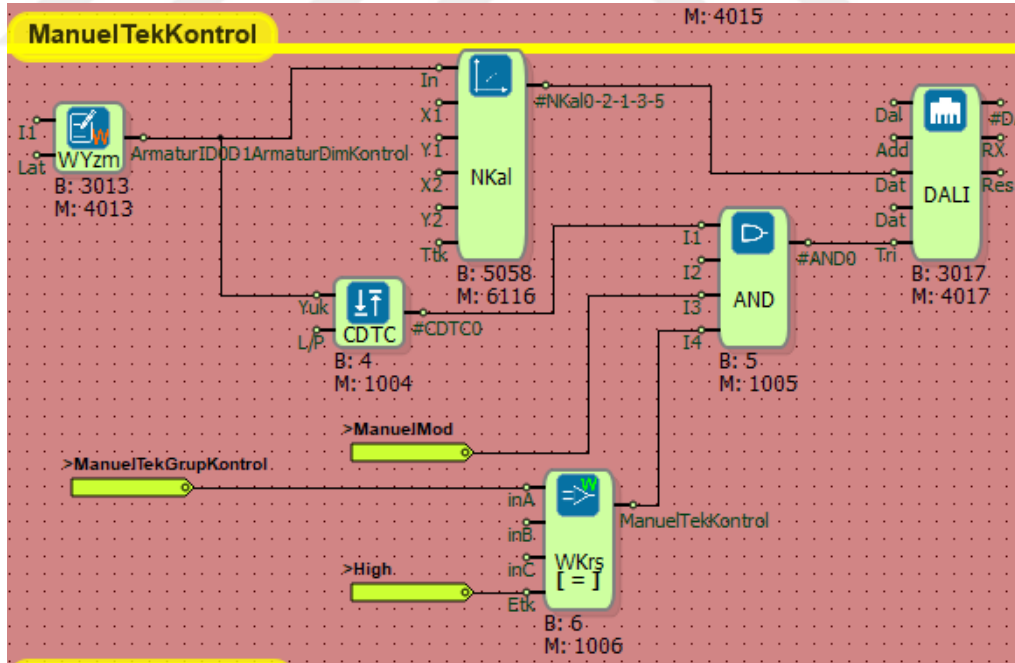
3.2.5. Armatür manuel tek kontrol

Her bir armatür, manuel olarak tek başına parlaklık seviyeleri değiştirilerek kontrol edilebilmektedir. Parlaklık seviyesi için 0-100 arasında bir değer girilebilmektedir. Şekil 3.15'te armatür manuel tek kontrol çalışması verilmiştir.



Şekil 3.15 : Armatür manuel tek kontrol çalışması.

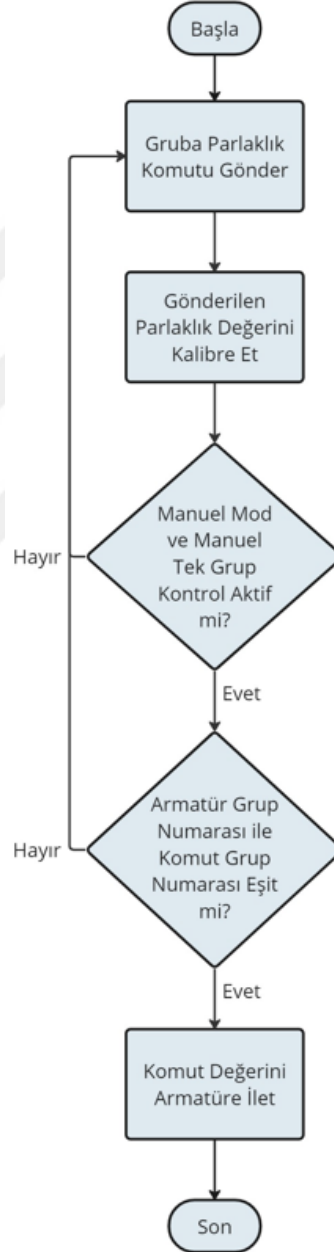
Armatüre gönderilen parlaklık değerinin ulaşp ulaşmadığının kontrolü, dim okuma bloğu ile yapılmaktadır. Şekil 3.16’da armatür manuel tek kontrol FBD lojik programı verilmiştir.



Şekil 3.16 : Armatür manuel tek kontrol FBD lojik program.

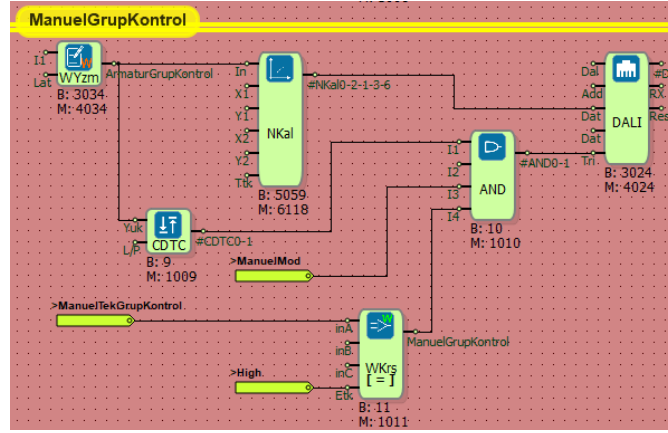
3.2.6. Armatür manuel grup kontrol

Armatür manuel grup kontrolü, her bir grup içinde bulunan armatürlerin parlaklıklarını toplu bir şekilde ayarlamak için kullanılmaktadır. Bu sayede, armatürler gruplar halinde düzenlenerek bölgesel aydınlatma kontrolü yapılabilir. Şekil 3.17’de armatür manuel grup kontrol çalışması verilmiştir.



Şekil 3.17 : Armatür manuel grup kontrol çalışması.

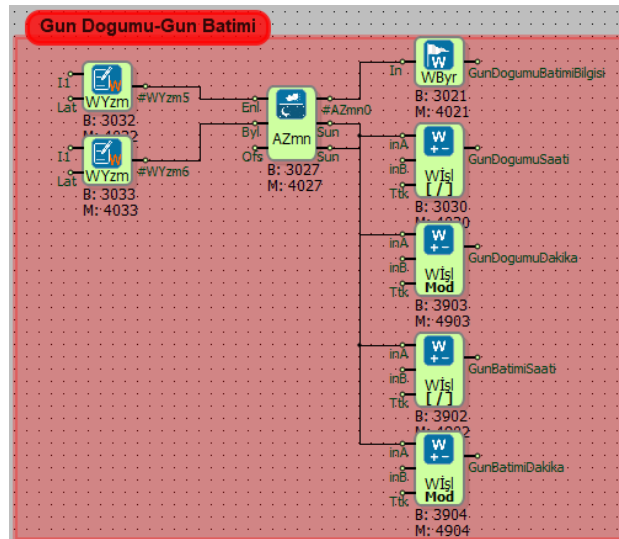
Şekil 3.18’de armatür manuel grup kontrol FBD lojik programı verilmiştir.



Şekil 3.18 : Armatür manuel grup kontrol FBD lojik program.

3.2.7. Astronomik zaman kontrolü

Astronomik zaman, girilen enlem ve boylam bilgileri kullanılarak güneşin doğuş ve batış saatlerini hesaplayarak senaryo saatine göre grupların parlaklık seviyelerini kontrol etmektedir. Bu doğrultuda, otomatik modda çalışan sistem, armatürlerin bağlı olduğu linye hattındaki kontaktörü kontrol ederek enerji durumunu kontrol etmektedir. Güneşin doğuş saati geldiğinde, kontaktör enerjiyi keserek armatürlerin enerjisiz kalmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde, güneşin batış saatinde ise kontaktör aracılığıyla armatürlere enerji sağlanarak yanmalarını sağlamaktadır. Şekil 3.19’da astronomik zaman kontrolü FBD lojik programı verilmiştir.

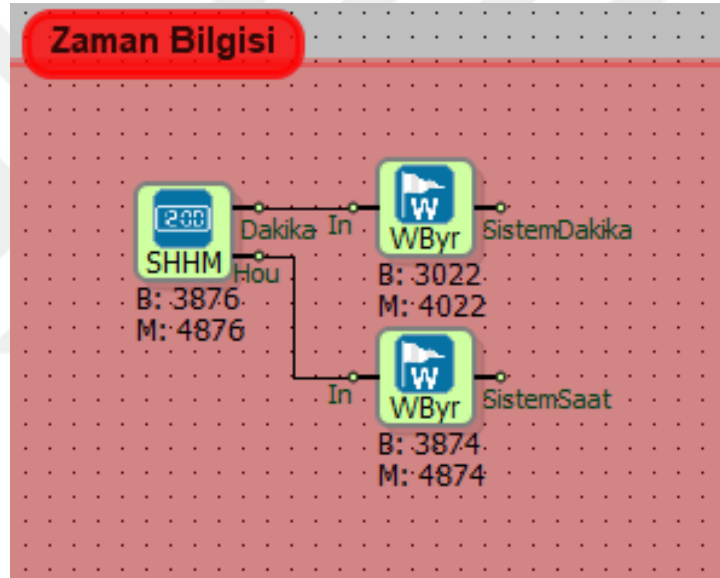


Şekil 3.19 : Astronomik zaman kontrolü FBD lojik program.

3.2.8. RTU zaman kontrol

RTU zamanı, RTU'nun içerisinde bulunan saat ve dakika bilgilerini okuyarak gerçek zamanlı saati belirlemektedir. Bu saatin doğruluğunun kontrolü, zamanlama hassasiyetini sağlamak amacıyla önemlidir. Doğru zaman bilgisine sahip olunmadığında, armatürleri kontrol eden kontaktör, istenmeyen zamanlarda armatürlere enerji sağlayacaktır.

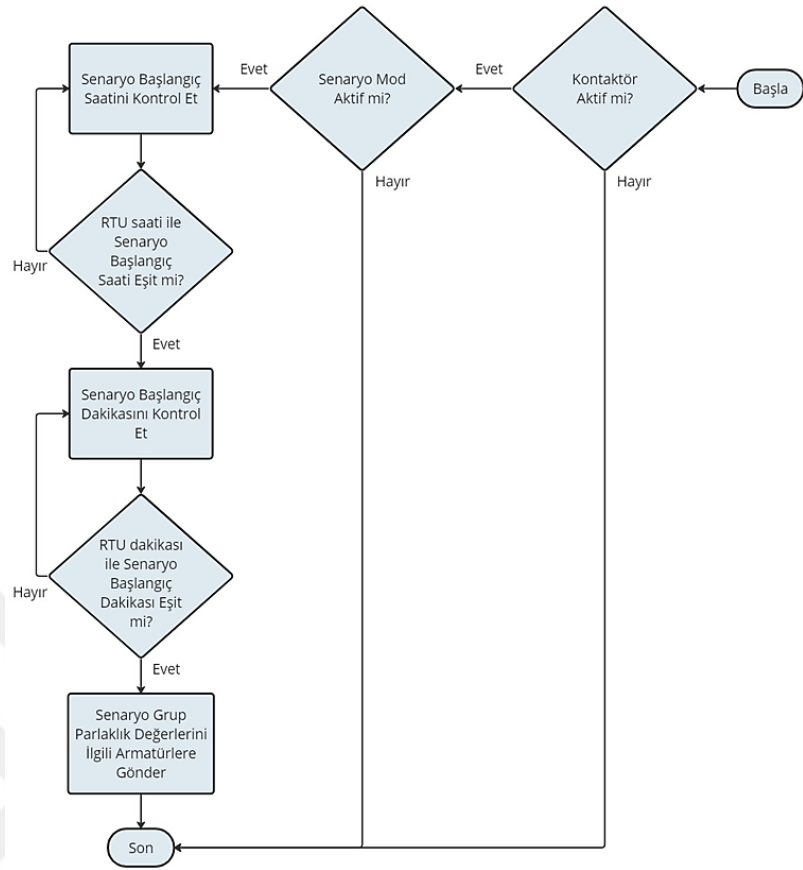
Bu sebeple, sistem tarafından belirlenen gerçek zamanla saatin doğruluğu düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir. Saat kaymaları tespit edildiğinde, program arayüzü üzerinden müdahale ederek saat bilgisi güncellenmelidir. Şekil 3.20’de RTU zaman kontrolü FBD lojik programı verilmiştir.



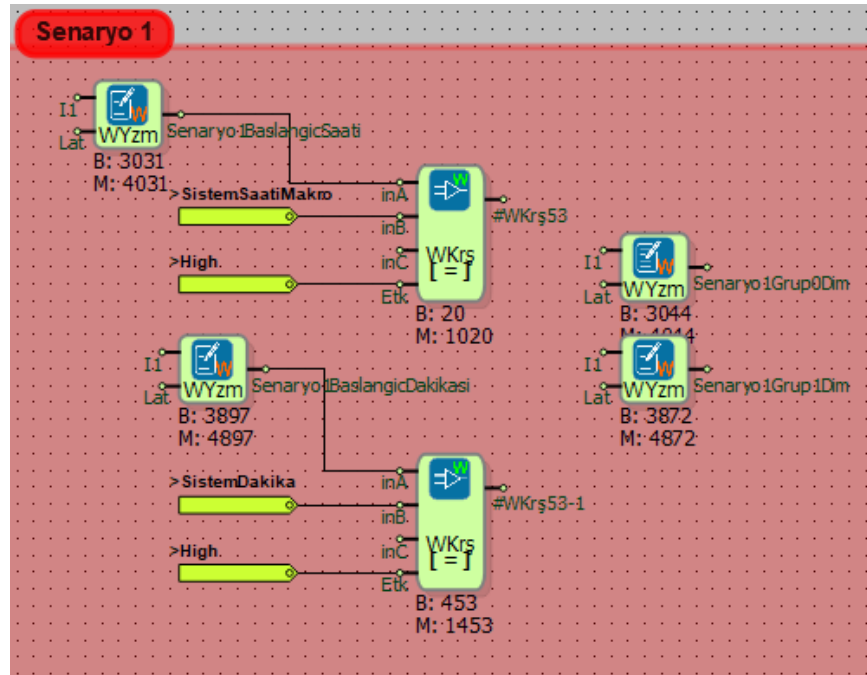
Şekil 3.20 : RTU zaman kontrolü FBD lojik program.

3.2.9. Armatür senaryo kontrol

Armatür senaryo kontrol, kullanıcı tarafından belirlenen zamanlarda armatür gruplarına istenilen parlaklık seviye değerlerini göndermek üzere kullanılmaktadır. Bu senaryolar, dakika ve saat blokları tarafından kontrol edilen zaman parametreleri üzerine kurulmuştur. Belirlenen dakika ve saat blokları belirli bir şartı sağladığında, senaryo otomatik olarak tetiklenir ve ilgili gruplara belirlenen dim değerleri atanmaktadır. Bu atanan parlaklık seviye değerleri, bir sonraki senaryo zamanına kadar armatürlerde devam etmektedir. Şekil 3.21’de armatür senaryo kontrol çalışması, Şekil 3.22’de armatür senaryo kontrolü FBD lojik programı verilmiştir.



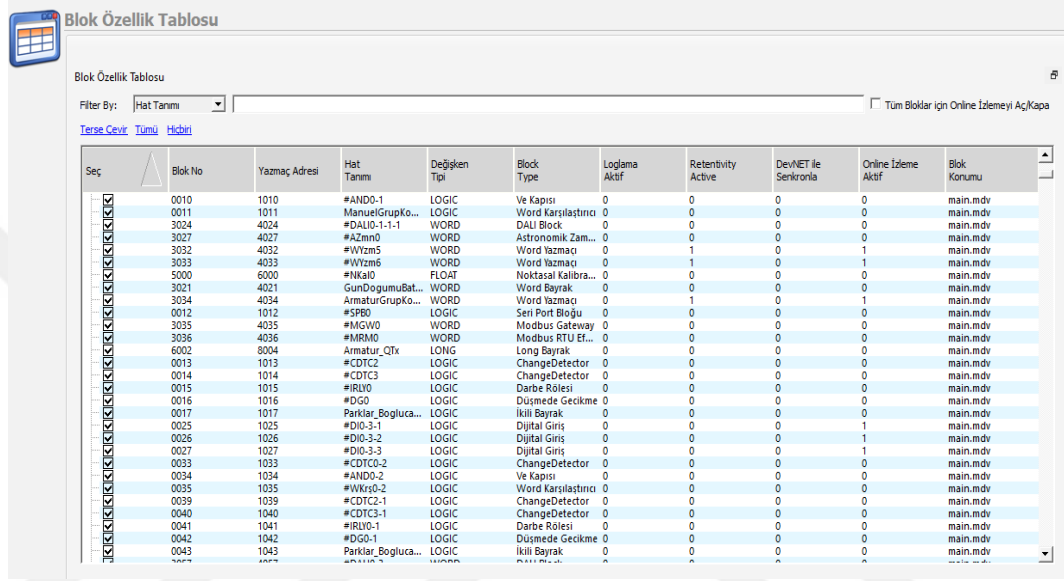
Şekil 3.21 : Armatür senaryo kontrol çalışması.



Şekil 3.22 : Armatür senaryo kontrolü FBD lojik program.

3.2.10. RTU Modbus TCP adresleri

Yazılım içerisinde kullanılan her bloğun belirlenmiş yazmaç adresleri bulunmaktadır. Bu yazmaç adresleri, Modbus TCP haberleşme protokolünde kullanılan adreslere karşılık gelmektedir. SCADA sistemi içerisinde bu yazmaç adresleri kullanılarak verilerin takibi ve kontrolü gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.23'te RTU Modbus TCP adresleri verilmiştir.



Seç	Blok No	Yazmaç Adresi	Hat Tanımı	Değişken Tipi	Blok Type	Loglama Aktif	Retentivity Active	DevNET ile Senkronizasyon	Online İzleme Aktif	Blok Konumu
	0010	1010	#AND0-1	LOGIC	Ve Kapısı	0	0	0	0	main.mdv
	0011	1011	ManuelGrupKo...	LOGIC	Word Karşılaştırmacı	0	0	0	0	main.mdv
	3024	4024	#DALI0-1-1-1	WORD	DALI Blok	0	0	0	0	main.mdv
	3027	4027	#AZim0	WORD	Astronomik Zam...	0	0	0	0	main.mdv
	3032	4032	#WZm5	WORD	Word Yazmaç	0	1	0	1	main.mdv
	3033	4033	#WZm6	WORD	Word Yazmaç	0	1	0	1	main.mdv
	5000	6000	#IKa0	FLOAT	Noktasal Kalibra...	0	0	0	0	main.mdv
	3021	4021	GunDogumuBat...	WORD	Word Bayrak	0	0	0	0	main.mdv
	3034	4034	ArmatürGrupKo...	WORD	Word Yazmaç	0	1	0	1	main.mdv
	0012	1012	#SPB0	LOGIC	Seri Port Bloğu	0	0	0	0	main.mdv
	3035	4035	#MGW0	WORD	Modbus Gateway	0	0	0	0	main.mdv
	3036	4036	#MRM0	WORD	Modbus RTU Ef...	0	0	0	0	main.mdv
	6002	8004	Armatür_QTx	LONG	Long Bayrak	0	0	0	0	main.mdv
	0013	1013	#CDT2	LOGIC	ChangeDetector	0	0	0	0	main.mdv
	0014	1014	#CDT3	LOGIC	ChangeDetector	0	0	0	0	main.mdv
	0015	1015	#IRL0	LOGIC	Darbe Rölesi	0	0	0	0	main.mdv
	0016	1016	#DGO	LOGIC	Düşmede Gecikme	0	0	0	0	main.mdv
	0017	1017	Parklar_Bogluca...	LOGIC	İkili Bayrak	0	0	0	1	main.mdv
	0025	1025	#DIO-3-1	LOGIC	Dijital Giriş	0	0	0	1	main.mdv
	0026	1026	#DIO-3-2	LOGIC	Dijital Giriş	0	0	0	1	main.mdv
	0027	1027	#DIO-3-3	LOGIC	Dijital Giriş	0	0	0	1	main.mdv
	0033	1033	#CDT0-2	LOGIC	ChangeDetector	0	0	0	0	main.mdv
	0034	1034	#AND0-2	LOGIC	Ve Kapısı	0	0	0	0	main.mdv
	0035	1035	#WKO0-2	LOGIC	Word Karşılaştırmacı	0	0	0	0	main.mdv
	0039	1039	#CDT2-1	LOGIC	ChangeDetector	0	0	0	0	main.mdv
	0040	1040	#CDT3-1	LOGIC	ChangeDetector	0	0	0	0	main.mdv
	0041	1041	#IRL0-1	LOGIC	Darbe Rölesi	0	0	0	0	main.mdv
	0042	1042	#DGO-1	LOGIC	Düşmede Gecikme	0	0	0	0	main.mdv
	0043	1043	Parklar_Bogluca...	LOGIC	İkili Bayrak	0	0	0	0	main.mdv

Şekil 3.23 : RTU Modbus TCP adresleri.

3.3. SCADA yazılımının geliştirilmesi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Enerji Yönetimi ve Aydınlatma Müdürlüğü bünyesinde bulunan SCADA kontrol merkezi, çeşitli kritik altyapı ve enerji sistemlerinin etkin bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini sağlamaktadır. Bu sistemler arasında yer alan asansörler, yürüyen merdivenler, trafo merkezleri, mimari yapılar, alt ve üst geçitler, elektrik sayaçları, kompanzasyon sistemleri, parklar ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok önemli bileşen bulunmaktadır. SCADA kontrol merkezi, sahadaki bu sistemleri merkezi bir konumdan koordine ederek daha etkili bir yönetim sağlar.

Sistem, sahada oluşabilecek olumsuz durumları hızlı bir şekilde tespit edebilme yeteneğine sahiptir. Bu durumlar, SCADA sisteminden alınan veriler ve sensör bilgileri ile anlık olarak değerlendirilir. Sahada meydana gelen bir sorun durumunda, komuta ekibi, SCADA kontrol merkezi tarafından sağlanan veri ve bilgiler doğrultusunda hızlı bir şekilde ekip yönlendirmesi yaparak soruna müdahale eder.

Bu entegre sistem, enerji yönetimi, güvenlik, bakım, ve sorun giderme süreçlerini optimize eder. Ayrıca, hızlı ve etkili müdahaleler sayesinde sahadaki sistemlerin kesintisiz ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bu kapsamlı kontrol merkezi, şehir genelindeki önemli altyapıları entegre bir şekilde yöneterek yaşam kalitesini artırmayı ve güvenliğini sağlamayı hedefler.

Kontrol merkezinde, SCADA yazılımı olarak Mikrodev firmasının ViewPLUS SCADA programı kullanılmaktadır. Bu program, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait birçok noktanın entegrasyonunu sağlamaktadır. Şekil 3.24'te SCADA'nın genel ana görüntüsü verilmiştir. Bu arayüz üzerinden sistem genelindeki verilerin izlenmesi, kontrol edilmesi ve yönetilmesi mümkündür.



Şekil 3.24 : SCADA yönetici ekranı.

Bu proje kapsamında Silivri de bulunan Boğluca Parkının SCADA ekran tasarımları yapılmıştır.

3.3.1. Durum bilgi ekranı sayfası

Boğluca Parkı'nda bulunan 52 adet armatürün detaylı konum bilgileri, parkın aydınlatma altyapısının etkili bir şekilde yönetilebilmesi amacıyla saha ekibi tarafından belirlenmiş ve tarafıma iletilmiştir. Bu konum bilgileri, SCADA sistemine entegre edilerek, parkın aydınlatma sistemini izlemek ve kontrol etmek üzere özel sayfalar oluşturulmuştur.

Durum bilgi ekranı sayfası, Boğluca Parkı'nda konumlanmış olan 52 adet aydınlatma armatürünün anlık durumunu ayrıntılı bir şekilde sunan bir görsel ara yüz olarak tasarlanmıştır. Bu sayfa, park yöneticilerine ve teknik ekiplere armatürlerin enerji durumu ve potansiyel arıza bilgilerine hızlı ve bütünlük sağlayan bir bakış sunmayı amaçlamaktadır. Şekil 3.25'te gösterildiği gibi enerjisi olmayan armatürler, yeşil renkte vurgulanmıştır. Enerjisi olan ve arızası bulunmayan armatürler sarı renkte belirtilmiştir, bu durumda olan armatürlerin normal çalıştığını gösterir.

Arızalı olan armatürler ise kırmızı renkte vurgulanmıştır, böylece kullanıcılar hemen hangi armatürlerin bakıma ihtiyaç duyduğunu görebilirler. Sayfa içinde yer alan yönlendirme butonları, kullanıcılara diğer SCADA sayfalarına kolay erişim sağlamak amacıyla eklenmiştir.



Şekil 3.25 : Durum bilgi ekranı.

3.3.2. Bilgi grup ekranı sayfası

Şekil 3.26'da bilgi grup ekranı sayfası verilmiştir. Bu sayfa, armatürleri iki farklı grupta düzenlemek için kullanılan etkili bir gruplama sistemini göstermektedir. Bu sistem, her iki grup armatürünü hızlı bir şekilde ayırt edebilmek amacıyla renk kodlamasını kullanmaktadır. Grup 0 armatürleri, mor renkli nesnelerle sembolize edilmiştir.

Mor renk, bu grup armatürleri için belirlenmiş bir tanımlayıcıdır. Diğer bir grup olan Grup 1 armatürleri, kırmızı renkli nesnelerle gösterilmiştir. Kırmızı renk, Grup 1 armatürlerini diğerlerinden ayırmak için seçilmiştir.



Şekil 3.26 : Bilgi grup ekranı.

3.3.3. Bilgi alarm ekranı sayfası

Şekil 3.27’de bilgi alarm ekranı sayfası verilmiştir. Bu sayfa, Boğluca Parkı’nda bulunan armatürlerin arıza bilgilerini detaylı bir şekilde göstermek üzere tasarlanmıştır. Bu sayfa, her bir armatür için belirlenen DALI adres hatası, haberleşme arızası, lamba arızası ve genel alarm olmak üzere dört farklı arıza durumunu içermektedir. İlgili arıza durumları her oluştuğunda, belirlenen renk kodlarıyla vurgulanarak kullanıcıya anında görsel bilgi sağlanmaktadır. Ayrıca, hiçbir arıza durumu oluşmadığında sayfa yeşil renkle görüntülenmektedir. DALI adres hatası, armatürün DALI adresi ile ilgili bir hata durumunu belirtir. Haberleşme arızası, armatür ile iletişim kurulamayan durumları belirtir. Lamba arızası, armatürdeki lamba ile ilgili bir arıza durumunu belirtir. Genel alarm, armatürde oluşan genel bir alarm durumunu belirtir.



Şekil 3.27 : Bilgi alarm ekranı.

3.3.4. Bilgi ekranı sayfası

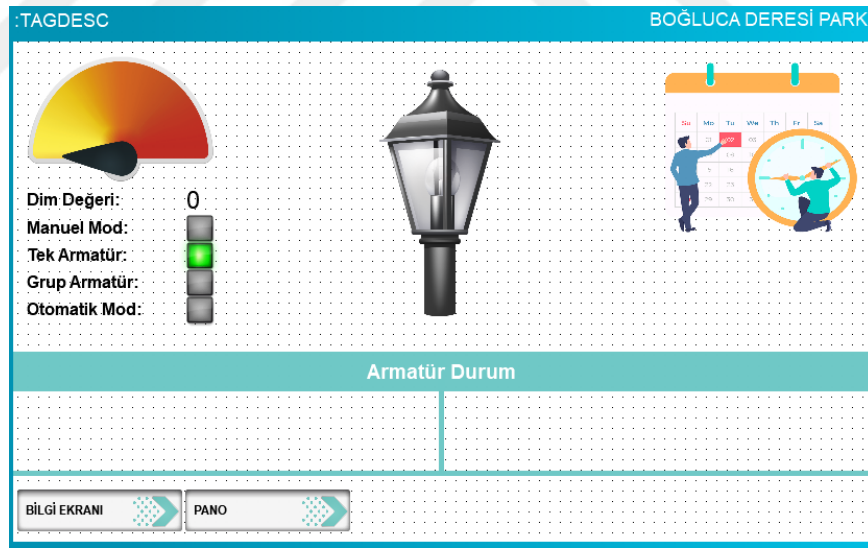
Şekil 3.28’de bilgi ekranı sayfası verilmiştir. Bu sayfa, parka ilişkin çeşitli önemli verileri sunmaktadır. Bu veriler arasında, parkın adres bilgileri, içinde yer alan armatür sayısı, direk sayısı, pano sayısı, kullanılan protokol tipi ve kontrol cihazı bilgileri bulunmaktadır. Haberleşme tipi üzerinden, RTU ile SCADA arasındaki iletişim protokolü ve yöntemi anlaşılabilir. Bu, sistemin veri alışverişi ve kontrolünü sağlayan temel bir bilgiyi içermektedir. Kontrol cihazı marka bilgisi de bu ekran üzerinde yer almaktadır. Bu bilgi, herhangi bir arıza durumunda ilgili kontrol cihazına nasıl müdahale edileceği konusunda önemli bir öncü bilgi sunmaktadır. Bu sayede, parktaki elektrik sistemine ait sorunlara hızlı ve etkili bir şekilde müdahale edilebilir, bakım süreçleri optimize edilebilir ve sistem performansı artırılabilir.

İL	:TAGDESC
İLÇE	:TAGDESC
MAHALLE	:TAGDESC
DİREK SAYISI	:TAGDESC
ARMATÜR SAYISI	:TAGDESC
PANO SAYISI	:TAGDESC
PROTOKOL TİPİ	:TAGDESC
KONTROL CİHAZI	:TAGDESC

Şekil 3.28 : Bilgi ekranı.

3.3.5. Armatür sayfası

Şekil 3.29’da armatür ekran sayfası verilmiştir. Her bir armatürün, sayfanın sol üst köşesinde bulunan benzersiz bir kimlikle (ID bilgisi) belirtilir. Bu kimlik, her armatürün sistem içinde özgün bir tanımlayıcıya sahip olduğunu gösterir. Sağ üst köşede ise incelenen armatüre ait parkın ismi bulunmaktadır, böylece kullanıcı hangi parka ait verilere erişim sağladığını kolayca görebilir. Kullanıcı, armatürün ışık seviyesini ayarlamak için dim komutu gönderebilir. Bu özellik, aydınlatma seviyesini istenilen düzeye getirmek için kullanılır. Armatürün mevcut değeri, ışık seviyesini veya diğer önemli parametreleri gösterir. Kullanıcı, bu değerleri gözlemleyerek armatürün çalışma durumu hakkında bilgi sahibi olabilir. Armatürün yanıp yanmadığı bilgisini anlık olarak gösterir. Armatürün manuel veya otomatik modda olup olmadığı bilgisi sayfada yer alır. Ayrıca, sayfanın içerisinden direkt olarak diğer önemli noktalara yönlendirme yapmak mümkündür. Kullanıcı, bu sayfa üzerinden genel bilgileri içeren bilgi ekranına, senaryo kontrolüne veya sistemi yönetmeye olanak sağlayan pano sayfasına kolayca geçiş yapabilir.



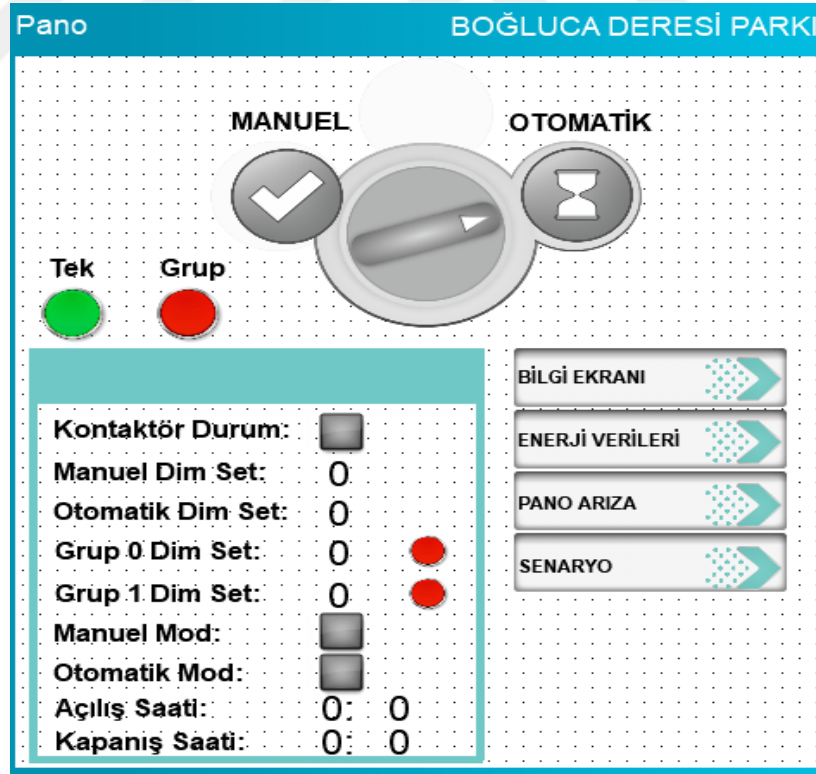
Şekil 3.29 : Armatür durum ekranı.

3.3.6. Pano sayfası

Şekil 3.30’da pano ekran sayfası verilmiştir. Bu sayfa, parkın işleyişini kontrol etme ve yönetme amacıyla kullanıcılara çeşitli bilgiler ve kontrol seçenekleri sunan bir arayüz sunmaktadır. Bu sayfada, parkın çalışma modu, armatür kontrolü, dim ayarı, açılış-kapanış saatleri ve diğer önemli bilgiler bulunmaktadır.

Sayfa üzerinde yer alan "Manuel" ve "Otomatik" nesneler, RTU'ya bağılı olan kontaktörü kontrol eder. Kullanıcı bu nesnelere tıkladığında, parka enerji gönderme veya kesme işlemlerini gerçekleştirebilir, bu da manuel veya otomatik modda çalışmayı belirler.

Tek ve grup butonları, kullanıcının armatürleri bireysel veya gruplar halinde kontrol etmesine olanak tanır. Kontaktör durum LED'i, kontaktörün armatürlere enerji verdiği durumları yeşil renkte gösterir, bu da sistemin çalışır durumda olduğunu belirtir. "Manuel Dim Set", "Otomatik Dim Set", "Grup 0" ve "Grup 1 Dim Set" nesneleri aracılığıyla kullanıcı, armatürlerin parlaklıklarını belirli değerlere ayarlayabilir. Bu kontroller, aydınlatma düzeyini isteğe göre özelleştirmek için kullanılır. Ayrıca, açılış ve kapanış saatleri, RTU'nun zaman saati bilgisi ve girilen koordinatlara dayanarak gün doğumu ve gün batımı bilgisini sağlamaktadır. Açılış saatinde kontaktör parka enerji verir, aydınlatmalar yanar hale geçer. Kapanış saatinde ise kontaktör enerjiyi keser, aydınlatmaların sönmesini sağlar. Sayfa içerisinden, kullanıcıya kolay erişim sağlamak amacıyla "Bilgi Ekranı", "Enerji Verileri", "Pano Arıza" ve "Senaryo" sayfalarına yönlendirmeler yapılmıştır.



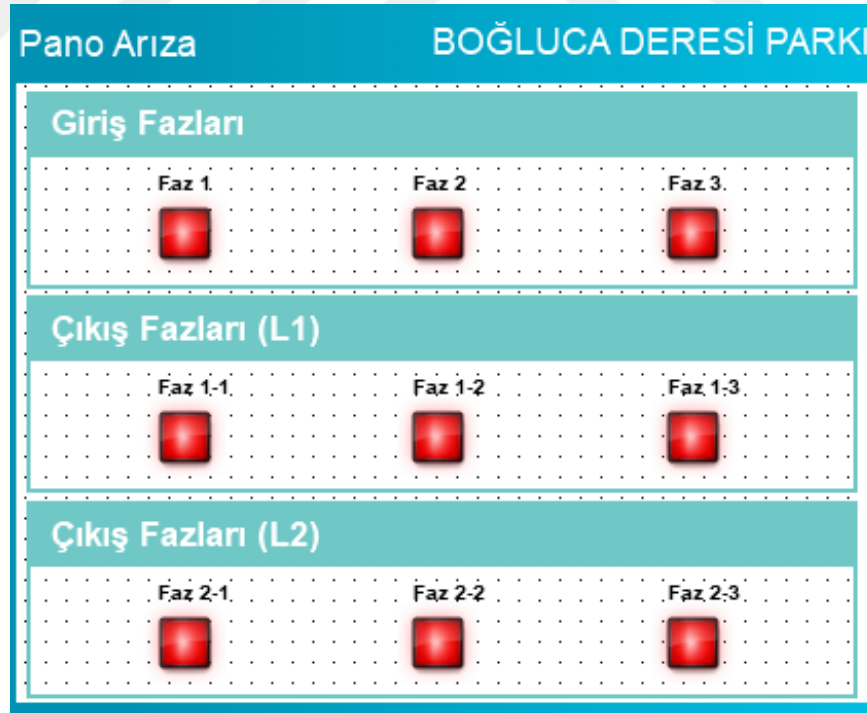
Şekil 3.30 : Pano sayfası.

3.3.7. Pano arıza sayfası

Şekil 3.31’de pano arıza sayfası verilmiştir. Bu sayfa, sahada oluşan elektrik enerjisi arıza durumlarını tespit etmek amacıyla önemli bilgiler sunmaktadır. Linye hatlarına bağlı olan sigorta bilgilerini içerir ve arıza durumlarının belirlenmesi için kritik bilgiler sağlar. Sahada meydana gelen arızalarda, öncelikle bu sayfa kontrol edilir.

Sayfa üzerinde her bir sigorta için ayrılan bölümlerde, ilgili sigortanın durumu belirtilmiştir. Sigortaların enerjili durumları yeşil renk ile ifade edilirken, enerjisi kesilen durumları kırmızı renkle vurgulanmıştır. Eğer herhangi bir sigorta atarsa, bu durumda o sigortaya bağlı olan armatürlerin enerjisi kesilmekte ve arızanın hangi bölgede olduğu hızla tespit edilebilmektedir.

Pano arıza sayfası, sahada hızlı bir şekilde müdahale ve sorun giderme için operatörlere anlık ve görsel bir referans sunar. Bu sayede elektrik kesintilerinin veya arızalarının etkileri minimize edilerek, aydınlatma sistemine hızlı bir şekilde müdahale edilir ve sistem en kısa sürede tekrar çalışır hale getirilir.



Şekil 3.31 : Pano arıza sayfası.

3.3.8. Enerji sayfası

Şekil 3.32’de enerji sayfası verilmiştir. Bu sayfa, park içinde kullanılan tüm armatürlerin enerji bilgilerini içermektedir. Bu bilgiler, pano içerisinde bulunan analizör aracılığıyla toplanmaktadır. Analizör ile RTU arasında Modbus RTU haberleşmesi kullanılarak bu enerji verileri elde edilmektedir. Modbus RTU haberleşmesi, Analizör ve RTU arasında veri alışverişini sağlamaktadır. Bu iletişim protokolü, endüstriyel otomasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir standardı temsil eder. RTU, bu protokolü kullanarak Analizörden enerji verilerini alır ve enerji sayfası üzerinden kullanıcılara sunar.

Enerji				BOĞLUCA DERESİ PARKI			
Gerilim (V)				Akım (A)			
Faz 1	Faz 2	Faz 3		Faz 1	Faz 2	Faz 3	
0.00	0.00	0.00		0.000	0.000	0.000	
Aktif Güç (kW)				Reaktif Güç (kVAR)			
Faz 1	Faz 2	Faz 3	Top. Aktif Güç	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Top. Reaktif Güç
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Görünür Güç (kVA)				Güç Faktörü			
Faz 1	Faz 2	Faz 3	Top. Görünür Güç	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Top. Güç Faktörü
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
Toplam Enerji							
Aktif Enerji (kWh)	Reaktif (kVARh)	Görünür (kVAh)					
0.00	0.00	0.00					

Şekil 3.32 : Enerji sayfası.

3.3.9. Senaryo sayfası

Şekil 3.33’te senaryo sayfası verilmiştir. Bu sayfa, parkın otomatik modda çalışacak senaryo durumlarını yönetmek için tasarlanmıştır. Toplamda 5 farklı senaryo tanımlama imkanı sunulmuştur. Eğer ihtiyaç duyulursa, RTU yazılımında yapılabilecek geliştirmelerle bu sayı artırılabilir.

Her bir senaryo için ayrılan bölümlerde, belirli gruplara atanmış dim set nesneleri, dakika ve saat nesneleri bulunmaktadır. Bu nesneler sayesinde her senaryo için başlangıç zamanı belirlenir. Belirlenen saat ve dakika geldiğinde ilgili senaryo devreye girer ve bu senaryo kapsamında tanımlanan dim ayarlarına göre armatürlerin yanma durumu etkinleştirilir. Bu sayede kullanıcılar, parkın otomatik modda nasıl çalışacağını belirleyebilirler.

Senaryo Sayfası, enerji tasarrufu sağlamak, belirli zaman dilimlerinde farklı aydınlatma seviyelerini uygulamak veya özel etkinlikler için özel aydınlatma senaryoları oluşturmak gibi çeşitli senaryo durumlarını yönetme esnekliği sunar.

Senaryo Ekranı		BOĞLUCA DERESİ PARKI			
		Dim Set		Başlangıç Zamanı	
Grup	Senaryo	Grup 0	Grup 1	Saat	Dakika
0	1	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0

Şekil 3.33 : Senaryo sayfası.

3.3.10. Kanal ve etiket sayfası

Şekil 3.34’te kanal ve etiket sayfası verilmiştir. Bu sayfa, RTU yazılımında bulunan verilerin, SCADA ekranlarında gösterilmesi için gerekli olan adımları içeren bu alanda, kullanıcıların istedikleri verileri eklemelerine olanak tanınmaktadır. Kanal parametresi, RTU cihazının IP ve port bilgilerini içerir ve bu parametreler aracılığıyla cihaza bağlantı sağlanır. Kanal altında oluşturulan etiketler, RTU yazılımından okunacak olan verileri temsil eder. Her bir veri için bir etiket oluşturulması gerekmektedir. Bu etiketler, SCADA ekranlarında ilgili nesnelere atanarak kullanıcılara sunulur.

Bu süreç, kullanıcıların SCADA ekranları üzerinde istedikleri verileri düzenleyip görmelerini sağlamak amacıyla önemlidir.

TAGS	
Tag ID	Tag Name
Expand/Collapse	
parklar	
ID	Name
1361	IEC Parklar_BakirkoyFloryaSahilParki
1267	Parklar_BarisMancoParki
1531	IEC Parklar_BaruthaneMilletBahcesi
1489	Parklar_BesiktasDikilitasParki
1491	Parklar_BesiktasKurucemesmeParki
1490	Parklar_BesiktasYahyaKemalParki
1520	Parklar_BeyogluHaliciogluParki2
1466	Parklar_Beyoglu_SosyalTesislerParki
1364	Parklar_BoglucaDeresiParki
1458	Parklar_CatladiKapi
1497	Parklar_CemilTopuzlu
487	Parklar_CirozSahil1
1347	IEC Parklar_CirpiciMilletBahcesi
565	Parklar_CobanCesmeParki
1506	Parklar_DalyanParki
1482	Parklar_DerneParki
1279	Parklar_EdirnekapiKaraSehitlik

Şekil 3.34 : Kanal ve etiket sayfası.

3.3.11. Alarm sayfası

Şekil 3.35'te alarm sayfası verilmiştir. Bu sayfa, linye hatlarında bulunan her bir faz için alarm oluşturulmasına yönelik tasarlanmıştır. Tanımlanan alarmların gerçekleşmesi durumunda, SCADA alarmlar sayfası içinde ilgili alarm bilgileri görüntülenir. Bu düzenleme, elektrik hatlarındaki olası sorunları hızlı bir şekilde tespit etmek ve müdahale etmek amacıyla önemli bir araç sağlamaktadır.

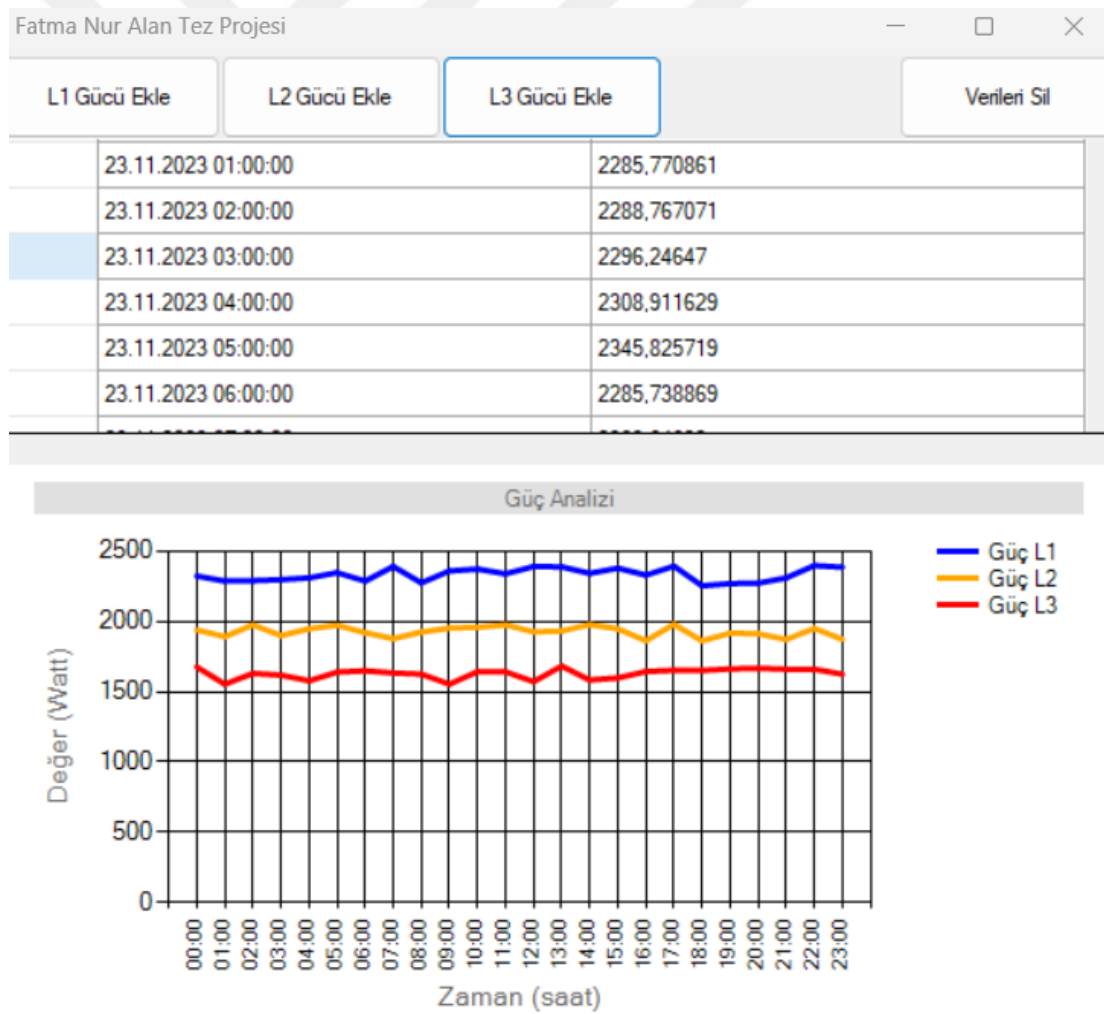
Her faz için oluşturulan alarmlar, genellikle hatlardaki voltaj düşüşleri, aşırı yüklenme durumları veya diğer elektriksel problemlerle ilgili olabilir. Bu alarmlar, SCADA sistemi üzerinden anlık olarak izlenir ve SCADA Alarmlar Sayfasında görüntülenir. SCADA Alarmlar Sayfası, alarmların tarihini, saatini ve ayrıntılı bilgilerini sunarak kullanıcılara anında geri bildirim sağlar.

ALARMS	
Alarm ID	Alarm Name
Expand/Collapse	
Class Name	
Alarm ID	Alarm Name
16122	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L11FazCikisArizasi
16123	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L12FazCikisArizasi
16124	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L13FazCikisArizasi
16125	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L1FazArizasi
16126	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L21FazCikisArizasi
16127	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L22FazCikisArizasi
16128	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L23FazCikisArizasi
16129	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L2FazArizasi
16133	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_L3FazArizasi
18221	AlarmParkAydinlatma_BoglucaDeresiParki_PanoFazArizasi

Şekil 3.35 : Alarm durum sayfası.

BÖLÜM 4. BULGULAR

Bu bölümde, RTU cihazından toplanan veriler C# platformunda geliştirilen enerji grafik programı ile tablo ve grafik haline dönüştürülüp analiz edilmiştir. Butonlar yardımı ile her faza ait enerji değerleri excel dosyasından programa yüklenebilmektedir. Excel dosyasındaki veriler iki sütundan oluşmaktadır. Zaman verisi ilk sütunu, enerji verisi ikinci sütunu oluşturmaktadır. Yüklenen veriler hem tablo hem de grafik olarak gösterilmektedir. Şekil 4.1’de geliştirilen enerji grafik programı verilmiştir.



Şekil 4.1 : Enerji grafik programı.

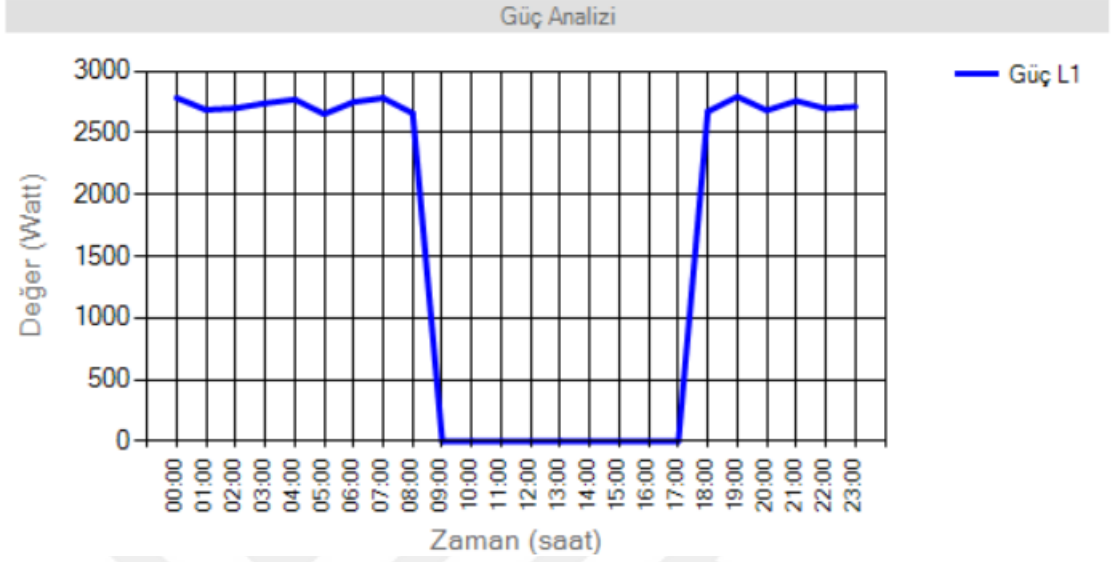
4.1. Senaryosuz Durumda Güç ve Maliyet Hesabı

Senaryosuz durumda armatürlerin parlaklık seviyeleri, 18:00'dan gün doğumuna kadar %100 parlaklık seviyesindedir. Tüm fazlara aynı zamanda ve aynı oranda parlaklık seviyeleri uygulanmıştır. Tablo 4.1'de senaryosuz durumda izlenen enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1: Senaryosuz durumda izlenen enerji değerleri.

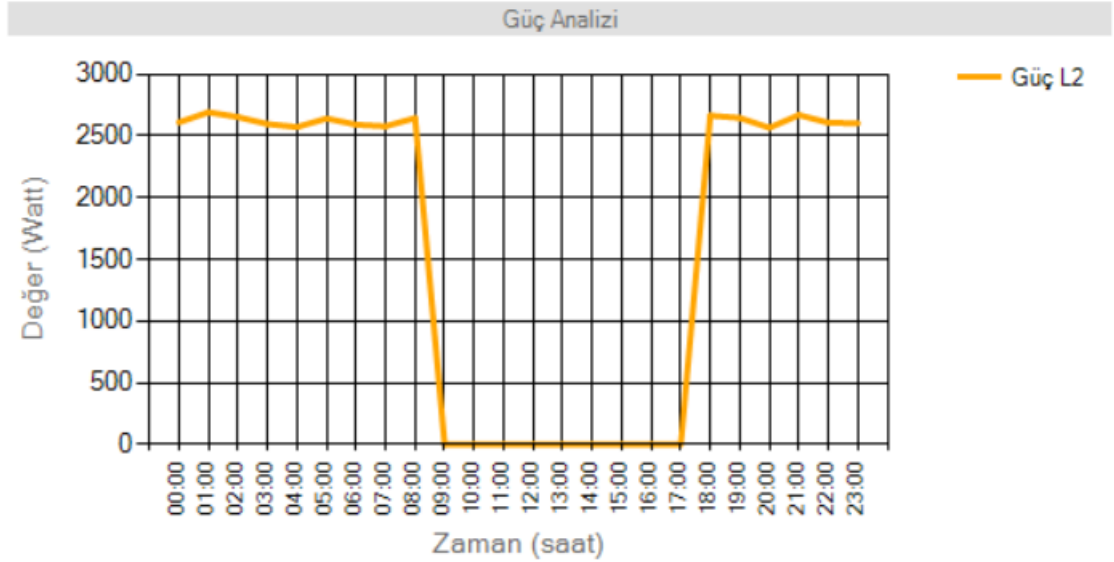
Zaman	Aktif Güç L1 (Watt)	Aktif Güç L2 (Watt)	Aktif Güç L3 (Watt)
20.11.2023 00:00	2785,266082	2610,801092	2547,486154
20.11.2023 01:00	2687,152413	2692,59425	2594,314691
20.11.2023 02:00	2700,684658	2653,910732	2455,244092
20.11.2023 03:00	2740,8627	2597,144603	2480,10956
20.11.2023 04:00	2771,518467	2572,551462	2462,196854
20.11.2023 05:00	2653,546922	2642,104533	2572,713141
20.11.2023 06:00	2750,907734	2592,620548	2496,917301
20.11.2023 07:00	2782,882189	2579,020432	2591,239924
20.11.2023 08:00	2659,650949	2646,335765	2579,973799
20.11.2023 09:00	0,169999993	0,199999954	0,00097
20.11.2023 10:00	1,200000042	0	1,149999966
20.11.2023 11:00	1,000000021	0,199999946	0,159999992
20.11.2023 12:00	0,449999988	0	0,359999965
20.11.2023 13:00	0,99999991	0,199999933	0,599999912
20.11.2023 14:00	0,699999951	0,00088	0,79999991
20.11.2023 15:00	0,599999977	0,145999992	0,0027
20.11.2023 16:00	0	1,299999933	0,349999996
20.11.2023 17:00	0,039999993	0,959999992	0,599999912
20.11.2023 18:00	2674,27679	2665,18148	2487,789247
20.11.2023 19:00	2794,164074	2646,563384	2558,42883
20.11.2023 20:00	2683,091109	2567,086449	2485,592542
20.11.2023 21:00	2759,897241	2670,278303	2489,65994
20.11.2023 22:00	2697,753232	2607,837169	2512,217165
20.11.2023 23:00	2712,515437	2603,620977	2581,210149

Senaryosuz durumda L1 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



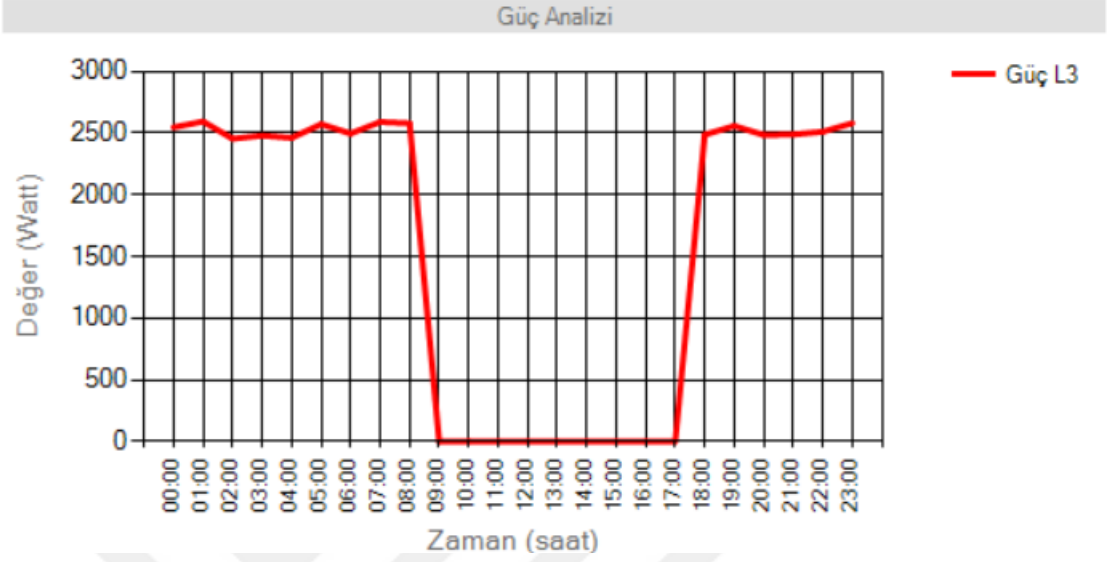
Şekil 4.2 : Senaryosuz durumda L1 fazı enerji grafiği.

Senaryosuz durumda L2 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.3’te verilmiştir.



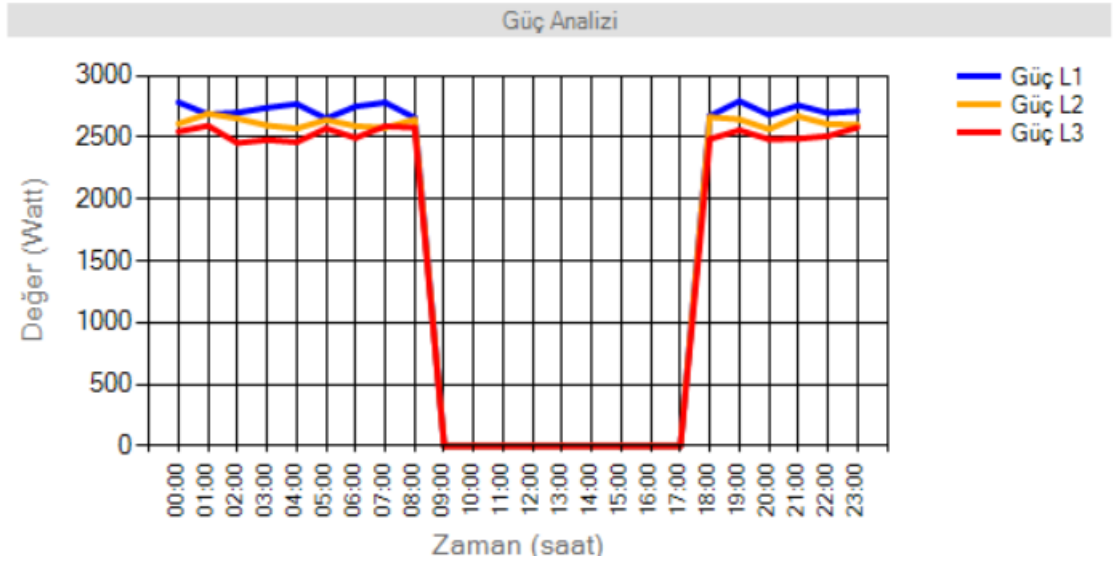
Şekil 4.3 : Senaryosuz durumda L2 fazı enerji grafiği.

Senaryosuz durumda L3 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



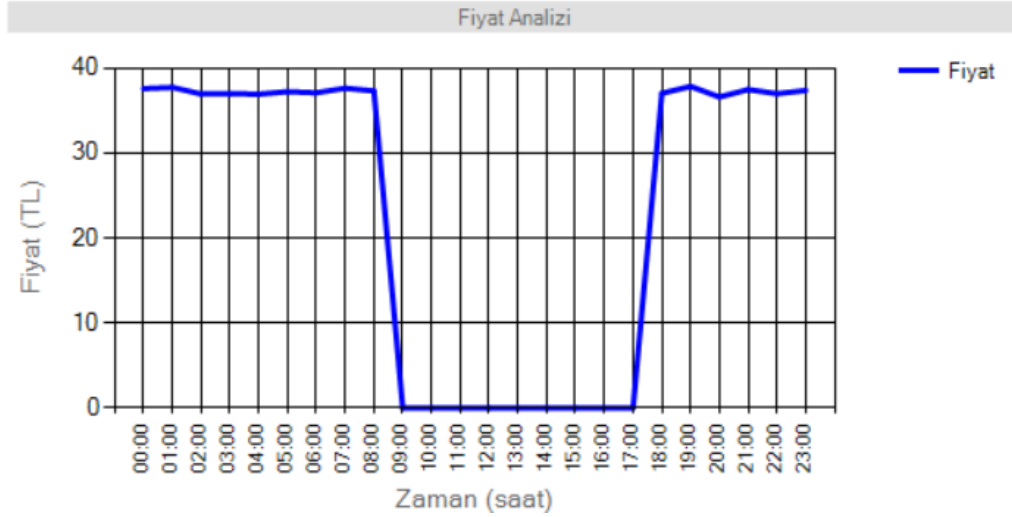
Şekil 4.4 : Senaryosuz durumda L3 fazı enerji grafiği.

Senaryosuz durumda L1, L2, L3 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Senaryosuz durumda L1, L2, L3 fazı enerji grafiği.

Şekil 4.6'da senaryosuz durumda günlük harcanan toplam maliyet grafiği verilmiştir.



Şekil 4.6 : Senaryosuz durumda günlük harcanan maliyet grafiği.

Tablo 4.2’de EPDK tarafından düzenlenmiş kullanım alanlarına göre vergi ve fonlar hariç elektrik birim fiyatları verilmiştir.

Tablo 4.2: EPDK tarafından düzenlenen elektrik birim fiyatları.

Tip	Aktif Enerji (TL/kWh)
Konut (240 kWh/ay altı)	1,34107
Konut (240 kWh/ay üstü)	1,991154
Ticarethane (900 kWh/ay altı)	2,790395
Ticarethane (900 kWh/ay üstü)	3,706589
Sanayi	3,701826
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	0,64111
Tarımsal Sulama	2,374675
Genel Aydınlatma	4,731539

Her bir fazın saatlik maliyet hesabı, faz başına düşen saatlik güç değerleri ile Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayınlanan genel aydınlatma birim maliyeti ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Denklem 4.1’de görüleceği üzere saatlik tüketilen enerjiyi bulabilmek için saatlik faz başına düşen güç değerleri toplanmaktadır.

$$\text{Enerji (kWh)} = P1_{\text{toplam}} + P2_{\text{toplam}} + P3_{\text{toplam}} \quad (4.1)$$

Tüketilen toplam enerji 118,109 kWh değeri elde edilmiştir.

Ocak 2024 itibariyle EPDK tarifenin vergiler dâhil olmamakla beraber 1 kWh elektrik birim fiyatı, genel aydınlatmada 4,731539 TL’dir. Denklem 4.2’de genel aydınlatma için tüketilen enerjinin maliyeti hesaplanmaktadır.

$$\text{Toplam Maliyet (TL)} = \text{Enerji} \times 4,731539 \text{ TL/kWh} \quad (4.2)$$

Senaryosuz durumda aydınlatmalarda günlük enerji tüketimi 558837 TL olarak hesaplanmıştır.

4.2. Senaryolu Durumda Güç ve Maliyet Hesabı

4.2.1. 1. Senaryo durumu

1. Senaryo durumunda armatürlerin parlaklık seviyeleri, 18:00’dan gün doğumuna kadar %80 parlaklık seviyesindedir. Tüm fazlara aynı zamanda ve aynı oranda parlaklık seviyeleri uygulanmıştır. Tablo 4.3’te 1. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri verilmiştir.

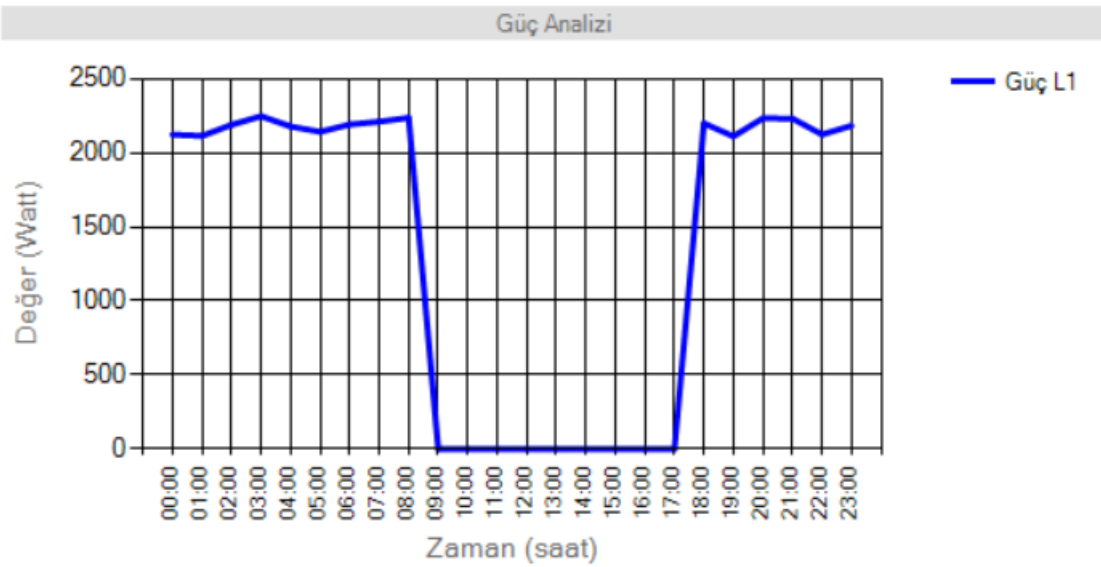
Tablo 4.3: 1. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri.

Zaman	Aktif Güç	Aktif Güç	Aktif Güç
	L1 (Watt)	L2 (Watt)	L3 (Watt)
23.11.2023 00:00	2122,538	2192,874	2188,65
23.11.2023 01:00	2114,186	2196,35	2198,863
23.11.2023 02:00	2189,289	2192,673	2193,24
23.11.2023 03:00	2247,328	2118,195	2192,362
23.11.2023 04:00	2177,79	2210,329	2197,875
23.11.2023 05:00	2142,129	2237,129	2191,85
23.11.2023 06:00	2191,274	2177,385	2192,965
23.11.2023 07:00	2210,329	2192,45	2188,137
23.11.2023 08:00	2236,335	2188,129	2186,55
23.11.2023 09:00	0,18	0,1989	0,00085
23.11.2023 10:00	1,2436	0	1,11437
23.11.2023 11:00	1,200001	0,2233	0,1164
23.11.2023 12:00	0,666	0	0,268

Tablo 4.3 (devam): 1. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri.

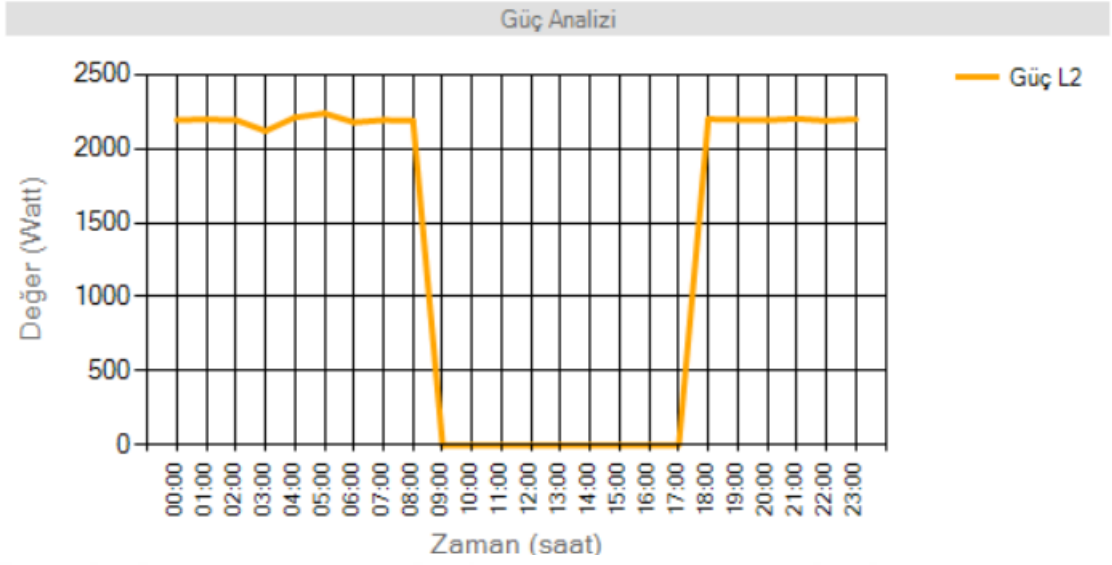
Zaman	Aktif Güç	Aktif Güç	Aktif Güç
	L1	L2	L3
	(Watt)	(Watt)	(Watt)
23.11.2023 13:00	0,644	0,27	0,689999
23.11.2023 14:00	0,2	0,00088	0,89
23.11.2023 15:00	0,73	0,27	0,0008
23.11.2023 16:00	0	1,23	0,55
23.11.2023 17:00	0,056	0,9	0,9
23.11.2023 18:00	2198,629	2198,75	2194,257
23.11.2023 19:00	2111,255	2195,15	2196,129
23.11.2023 20:00	2233,249	2191,4	2193,128
23.11.2023 21:00	2231,129	2201,25	2192,95
23.11.2023 22:00	2123,438	2188,35	2194,127
23.11.2023 23:00	2182,6	2198,55	2189,232

1. Senaryo durumunda L1 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



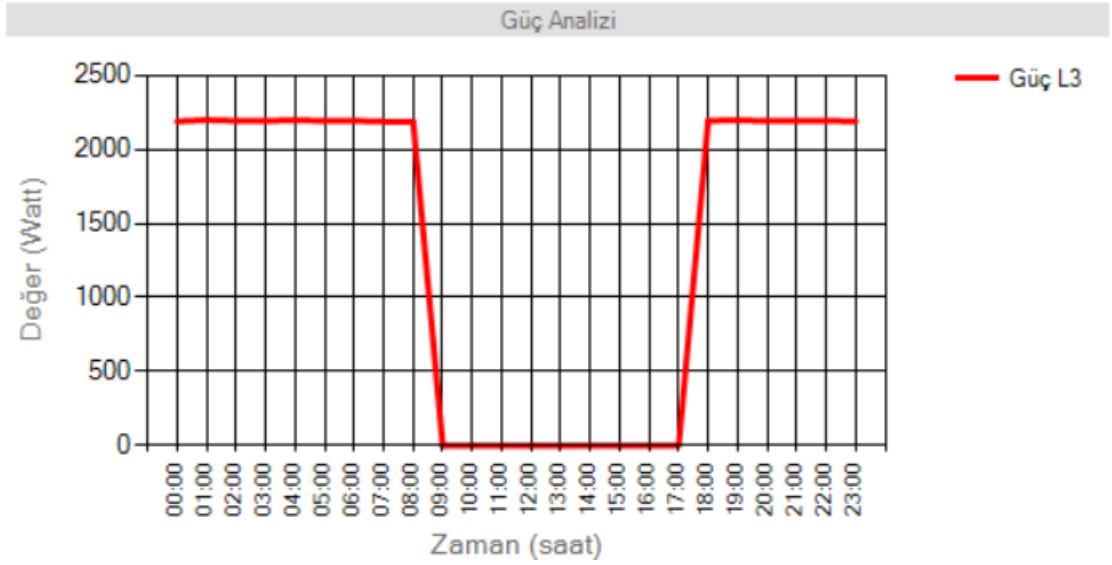
Şekil 4.7 : 1. Senaryo durumunda L1 fazı enerji grafiği.

1. Senaryo durumunda L2 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



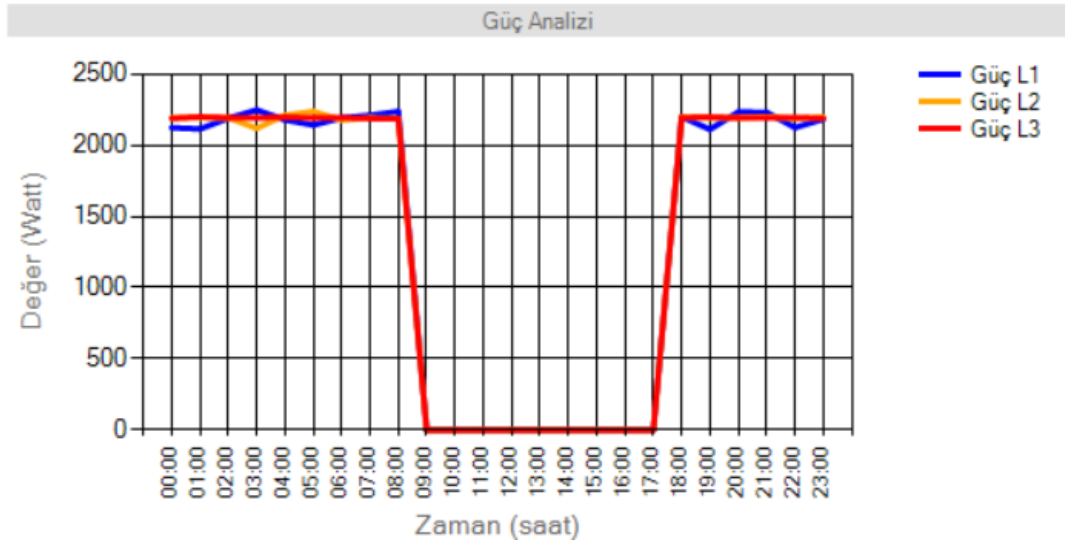
Şekil 4.8 : 1. Senaryolu durumunda L2 fazı enerji grafiği.

1. Senaryo durumunda L3 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir.



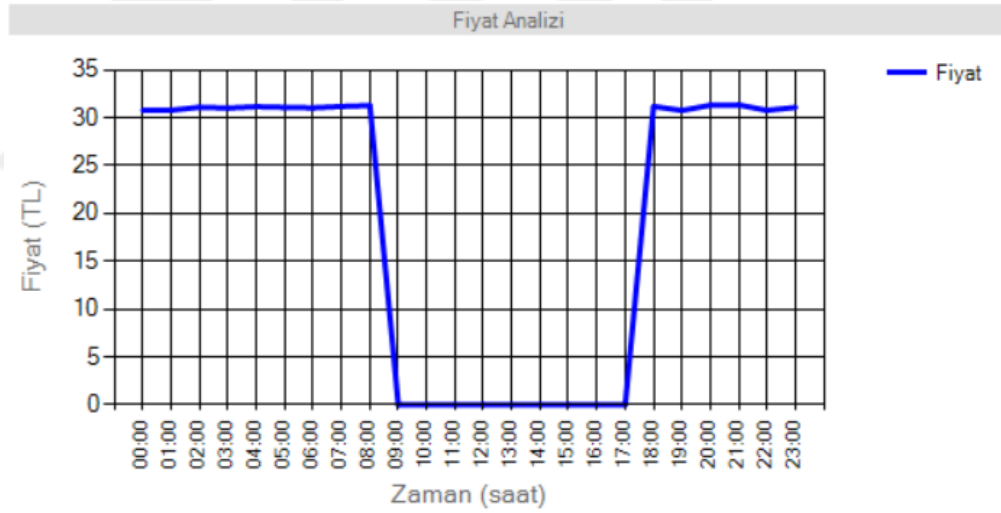
Şekil 4.9 : 1. Senaryo durumunda L3 fazı enerji grafiği.

1. Senaryo durumunda L1, L2, L3 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 : 1. Senaryo durumunda L1, L2, L3 fazı enerji grafiği.

Şekil 4.11’de 1. Senaryo durumunda günlük harcanan toplam maliyet grafiği verilmiştir.



Şekil 4.11 : 1. Senaryo durumunda günlük harcanan maliyet grafiği.

Tüketilen toplam enerji değeri elde edilmiştir.

$$\text{Enerji} = 98,493 \text{ kWh}$$

1. Senaryo durumunda aydınlatmalarda günlük enerji tüketimi 466.023 TL olarak hesaplanmıştır.

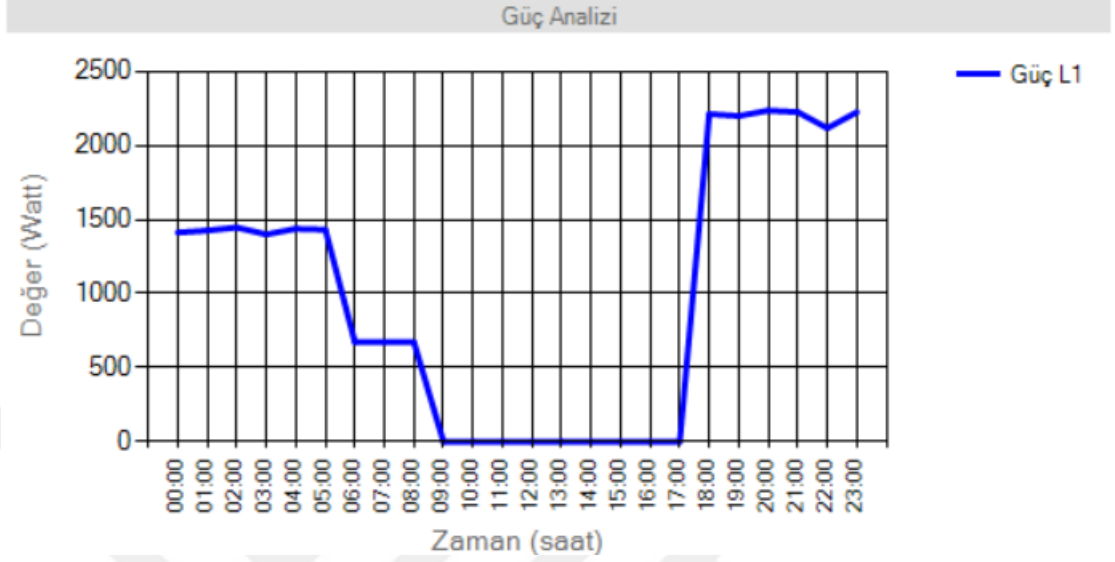
4.2.2. 2. Senaryo durumu

2. Senaryo durumunda armatürlerin parlaklık seviyeleri, 18:00-23:00 saatleri arasında %80, 23:00-05:00 saatleri arasında %50, 05:00'dan gün doğumuna kadar %20 parlaklık düşürülmüştür. Tüm fazlara aynı zamanda ve aynı oranda parlaklık seviyeleri uygulanmıştır. Tablo 4.4'te 2. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4: 2. Senaryo durumunda izlenen enerji değerleri.

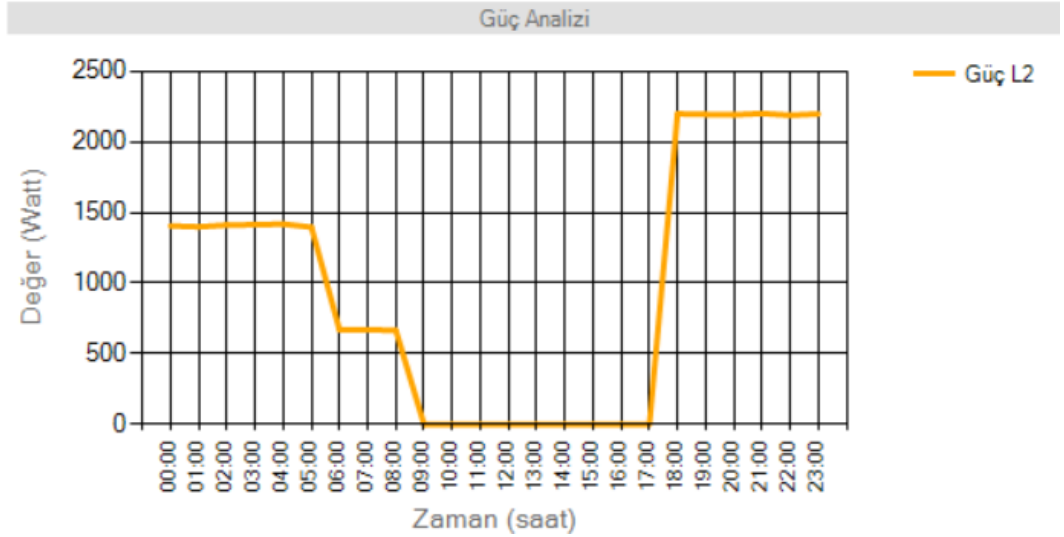
Zaman	Aktif Güç L1 (Watt)	Aktif Güç L2 (Watt)	Aktif Güç L3 (Watt)
27.11.2023 00:00	1412,599976	1405,172233	1405,25
27.11.2023 01:00	1425,899963	1398,549988	1401,849976
27.11.2023 02:00	1446,75	1411,349976	1407,25
27.11.2023 03:00	1399,899963	1413,599976	1411,649963
27.11.2023 04:00	1437,919939	1418,5	1413,5
27.11.2023 05:00	1431,799988	1396,75	1415,899963
27.11.2023 06:00	672,6000366	668,6999512	565,650024
27.11.2023 07:00	672,999939	671,3499756	562,650024
27.11.2023 08:00	672,0999756	665,9500122	559,700012
27.11.2023 09:00	0,149999991	0,199999988	0,00095
27.11.2023 10:00	1,100000024	0	1,149999976
27.11.2023 11:00	1,100000024	0,299999982	0,149999991
27.11.2023 12:00	0,449999988	0	0,349999994
27.11.2023 13:00	0,99999994	0,23	0,599999964
27.11.2023 14:00	0,599999964	0,00095	0,74999994
27.11.2023 15:00	0,699999988	0,149999991	0,0003
27.11.2023 16:00	0	1,399999976	0,349999994
27.11.2023 17:00	0,049999997	0,949999988	0,599999964
27.11.2023 18:00	2211,949951	2198,75	2191,549927
27.11.2023 19:00	2199,5	2195,150024	2193,649963
27.11.2023 20:00	2235,649902	2191,399902	2199,349976
27.11.2023 21:00	2225,400024	2201,25	2198,25
27.11.2023 22:00	2117,099976	2188,349976	2185,199951
27.11.2023 23:00	2225,050049	2198,549927	2196,899963

2. Senaryo durumunda L1 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir.



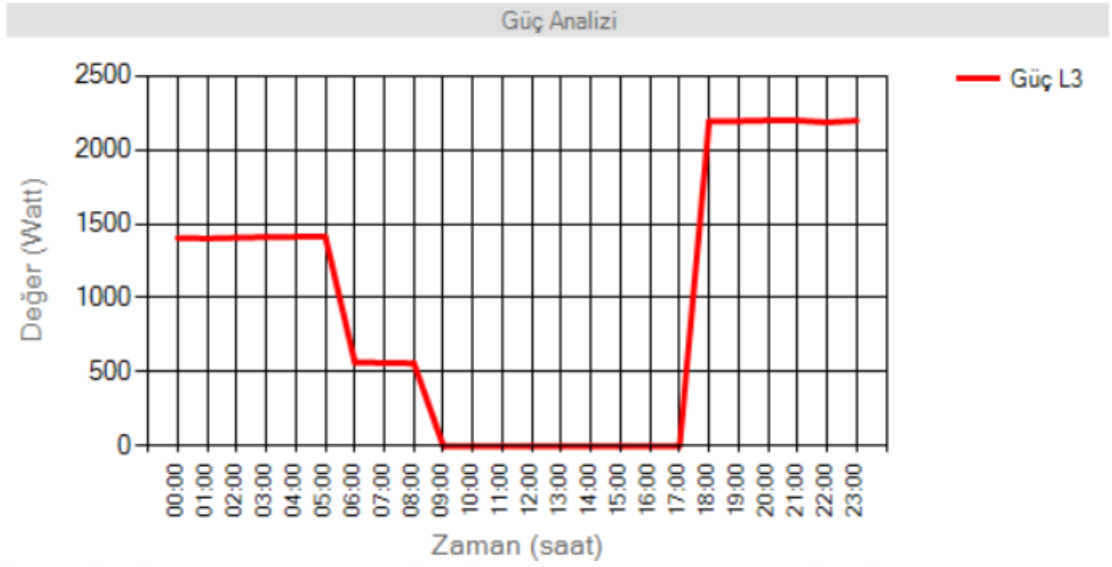
Şekil 4.12 : 2. Senaryo durumunda L1 fazı enerji grafiği.

2. Senaryo durumunda L2 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.13’te verilmiştir.



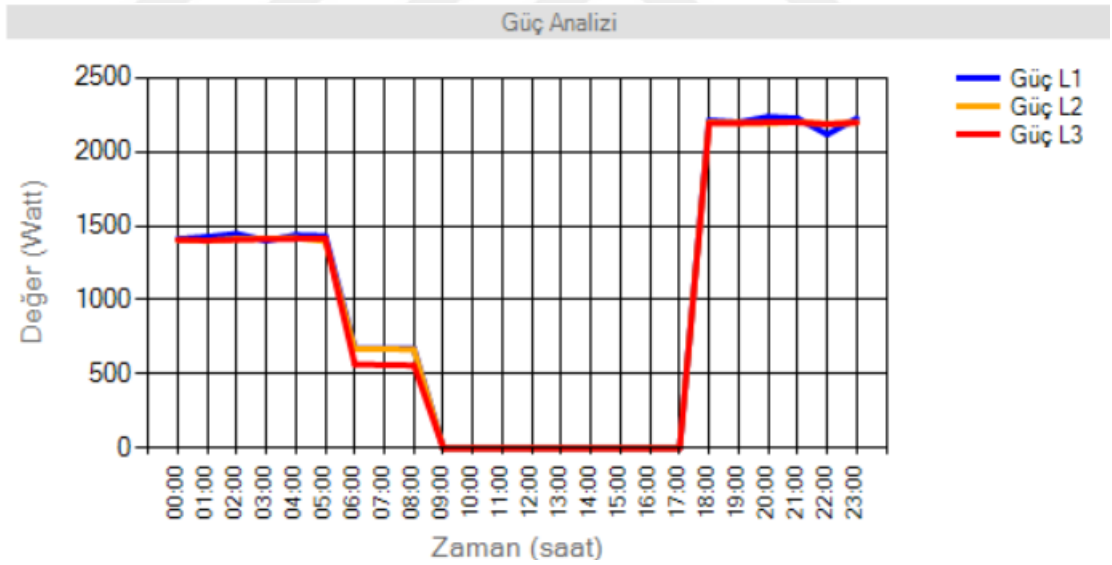
Şekil 4.13 : 2. Senaryo durumunda L2 fazı enerji grafiği.

2. Senaryo durumunda L3 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.14’te verilmiştir.



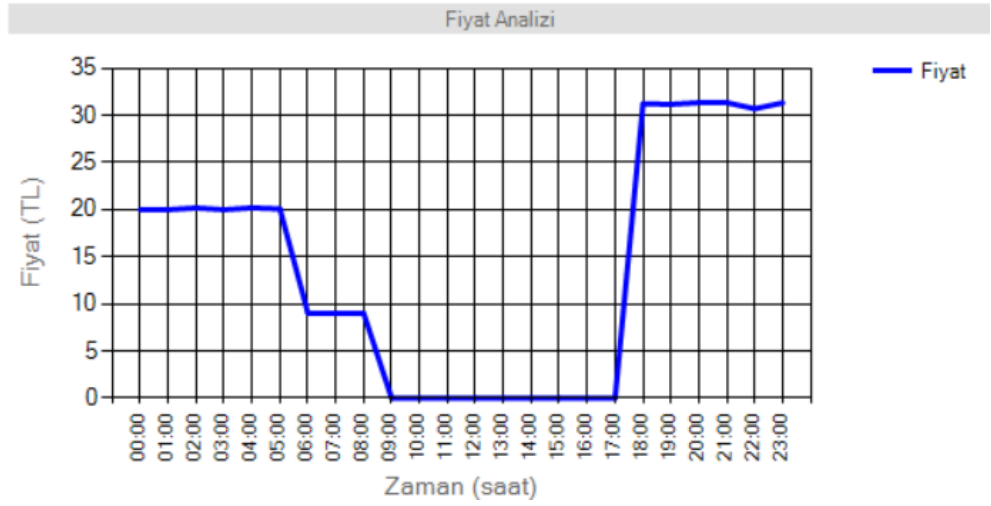
Şekil 4.14 : 2. Senaryo durumunda L3 fazı enerji grafiği.

2. Senaryo durumunda L1, L2, L3 fazına ait bir günü içeren saatlik enerji grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 : 2. Senaryo durumunda L1, L2, L3 fazı enerji grafiği.

Şekil 4.16'da 2. Senaryo durumunda günlük harcanan toplam maliyet grafiği verilmiştir.



Şekil 4.16 : 2. Senaryo durumunda günlük harcanan maliyet grafiği.

Tüketilen toplam enerji değeri elde edilmiştir.

$$\text{Enerji (kWh)} = 70,731 \text{ kWh}$$

2. Senaryo durumunda aydınlatmalarda günlük enerji tüketimi 334,666 TL olarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇ

Yapılan senaryolu/senaryosuz olarak akıllı aydınlatma sisteminin çalıştırılması doğrultusunda tüketilen güç verilerine ilişkin grafik Şekil 5.1’de belirtilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere günlük sistem çalışmasında senaryosuz durumda (%100 parlaklık) 118,109 kWh güç tüketimi yapılırken 1. Senaryo durumunda (%80 parlaklık) bu tüketim 98,493 kWh’e indirgenmiştir. Bu yapılan çalışma doğrultusunda;

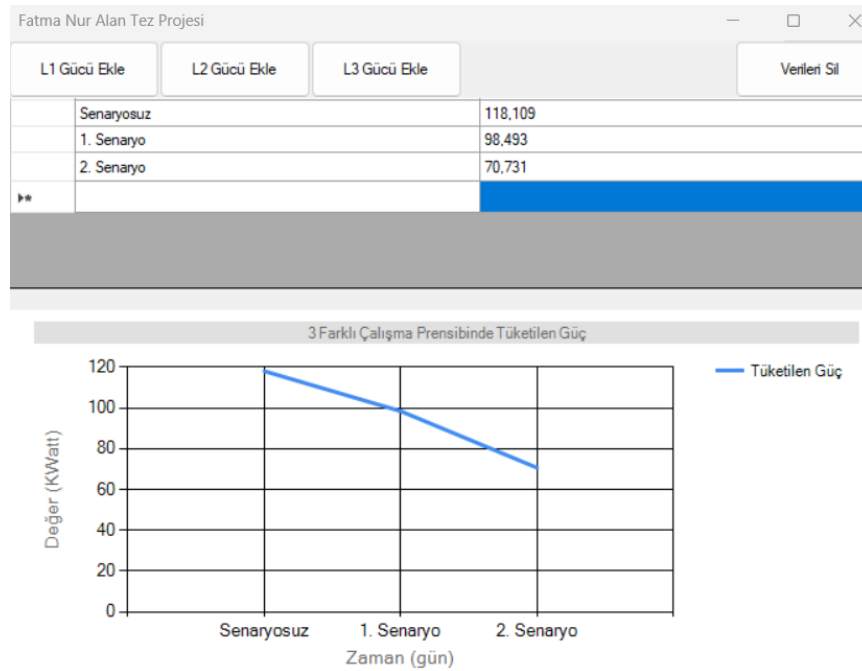
%100 Parlaklık:118,109 kWh (A)

%80 Parlaklık :98,493 kWh (B)

Yapılan enerji tasarrufu: $(A-B)/A*100$ (5.1)

$(118,109-98,493)/118,109*100$ (5.2)

Senaryosuz çalışma durumundan 1. Senaryolu durumda çalışmaya geçildiğinde gün bazlı olarak %16.6 enerji tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 5.1 : Senaryo durumuna bağlı günlük harcanan güç grafiği.

Bu enerji tasarrufu kullanılabilecek sensörler ile arttırılabilmektedir. Fakat hareket sensörü veya insan algılamaya dayalı görüntü işleme gibi sistemlerin kurulması da ek olarak maliyeti arttırmaktadır. Fakat park gözlemlendiğinde belirli bir zamandan sonra yoğunluk azalmaktadır. Bu durum 2. Senaryo olarak sunulmaktadır ve bu çalışma sonucunda 70,731 kWh güç tüketimi yapılmıştır. %80 parlaklıkta çalışma ile elde edilen enerji tasarrufundan daha fazla tasarruf yapılması beklenmektedir.

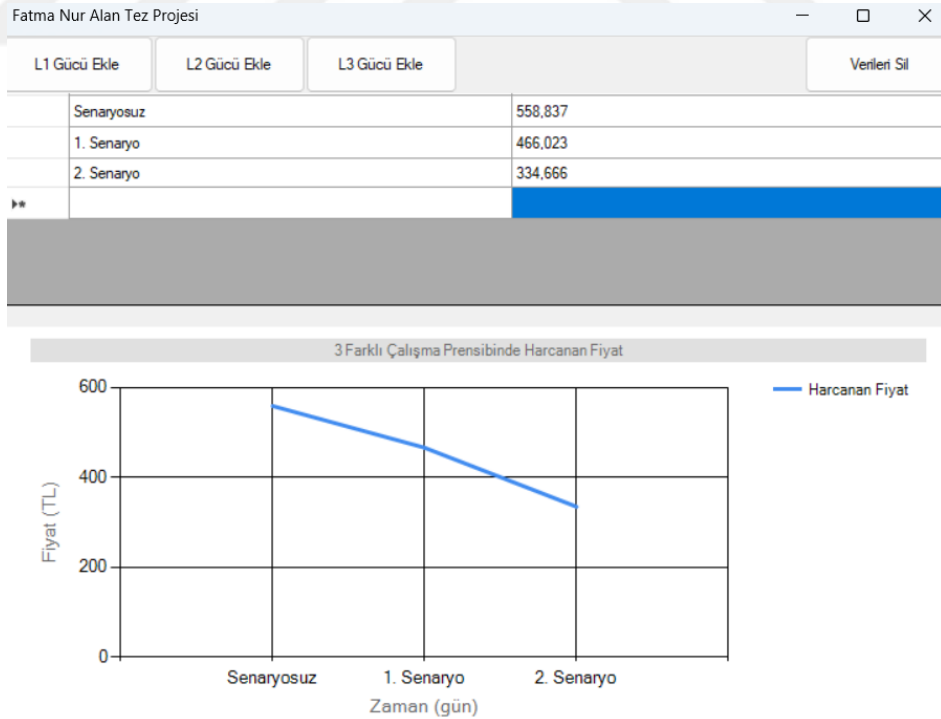
%100 Parlaklık:118,109 kWh (A)

%80-50-20 Parlaklık :70,731 kWh (B)

Yapılan enerji tasarrufu: $(A-B)/A \times 100$ (5.3)

$(118,109-70,731)/118,109 \times 100$ (5.4)

Senaryosuz çalışma durumundan 2. Senaryolu durumda çalışmaya geçildiğinde gün bazlı olarak %40.1 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Enerji tüketiminin azalması ile maliyet doğru orantılı olarak azalmaktadır. Şekil 5.2’de harcanan fiyat grafiğinde bu azalma durumu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.2 : Senaryo durumuna bağlı günlük harcanan maliyet grafiği.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, DALI, RF, Powerline haberleşme protokolleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve bu protokoller arasından DALI'nin park aydınlatma sistemine uygulanması detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Araştırma sonucunda, DALI protokolünün özellikle enerji verimliliği ve maliyet etkinliği açısından öne çıktığı tespit edilmiştir. DALI protokolünün park aydınlatma sistemlerine uygulanmasının birçok avantajı bulunmaktadır. DALI, yüksek düzeyde kontrol yeteneği sunarak, aydınlatma sistemlerinin esnek ve dinamik bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Bu, hem enerji tasarrufu hem de bakım maliyetlerinin azaltılması açısından önemli katkılar sunmaktadır. Tez kapsamında yapılan analizler ve saha testleri, DALI tabanlı aydınlatma sistemlerinin, geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek enerji verimliliği sağladığını ve işletme maliyetlerini düşürdüğünü göstermektedir. Park aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Araştırmada elde edilen bulgular, DALI sistemlerinin çevresel koşullara göre aydınlatma seviyelerini dinamik olarak ayarlayabilme yeteneği sayesinde enerji tüketimini optimize ettiğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

Aydınlatma senaryolarının geliştirilmesi, çevresel koşullara dayalı daha dinamik aydınlatma senaryolarının geliştirilmesi, enerji tasarrufu sağlamada etkili olabilir. Örneğin, gece yarısı saatlerinde aydınlatma seviyelerinin otomatik olarak düşürülmesi veya yalnızca belirli bölgelerde tam aydınlatmanın sağlanması gibi senaryolar, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Sensör entegrasyonu, hareket ve gün ışığı sensörleri gibi ek sensörlerin entegrasyonu, aydınlatma sisteminin sadece gerektiği zamanlarda aktif olmasını sağlayarak enerji tasarrufunu maksimize edebilir. Bu sensörler, özellikle az kullanılan saatlerde veya düşük yoğunluklu bölgelerde aydınlatma ihtiyacını dinamik olarak ayarlayarak enerji israfını önleyebilir.

Sonuçlar, DALI protokolünün park aydınlatma sistemlerine uygulanmasının enerji verimliliği ve kontrol yetenekleri açısından oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, gelecekte benzer uygulamalar için değerli bir referans olarak kullanılabilir ve akıllı aydınlatma sistemlerinin daha geniş bir kabul görmesini teşvik edebilir. Özellikle büyük ölçekli park ve bahçe aydınlatma projelerinde DALI tabanlı sistemlerin kullanımı, uzun vadede hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir çözümler sunacaktır.

Tezin bir diğer önemli bulgusu, park aydınlatma sistemlerinin sistemleri ile entegrasyonunun, sistemin genel etkinliğini ve yönetilebilirliğini artırmasıdır. Çeşitli protokollerin SCADA entegrasyonu için yapılan fiyat analizleri, DALI protokolünün maliyet etkin bir çözüm sunduğunu göstermiştir.

Tablo 5.1'de detaylandırılan bu analizler, DALI protokolünün uzun vadeli maliyet tasarrufları sağladığını ve yatırım geri dönüş süresinin kısa olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 5.1 : Haberleşme protokolü fiyat karşılaştırması (2024 ocak ayı).

Haberleşme Protokolü	Kontrolör	IO Modülü	Armatür Sürücüsü	Toplam Fiyat
DALI	6.600 TL	3.300 TL	84.136 TL	94.036 TL
RF	16.005 TL	6.435 TL	187.044 TL	209.484 TL
POWER LINE	23.100 TL	7.590 TL	214.500 TL	245.190 TL

DALI entegrasyonu ile donatılan parkın sadece cihaz maliyetleri için toplamda 94.036 TL harcanmıştır. Parkın senaryosuz aydınlatma sisteminde günlük enerji gideri 558,837 TL olarak hesaplanmıştır. Ancak, DALI entegrasyonu sonrasında uygulanan 2. Senaryoda bu günlük aydınlatma maliyeti 334,666 TL'ye düşmektedir. Bu da günlük bazda 224,171 TL'lik bir tasarruf anlamına gelmektedir.

Bu tasarruf oranı dikkate alındığında, DALI entegrasyonu için yapılan 94.036 TL'lik cihaz harcamasının geri dönüşü, yaklaşık 420 gün sürecektir. Yaklaşık 14 ay içinde yapılan yatırım kendini amorti etmiş olacaktır. Bu süre zarfından sonra, parkın aydınlatma sisteminde elde edilen günlük tasarruf, toplam maliyetlerin ötesine geçerek ciddi bir ekonomik avantaj sağlayacaktır.

Böylece, DALI entegrasyonu sayesinde parkın enerji verimliliği artırılmakla kalmayıp, aynı zamanda uzun vadede önemli ölçüde maliyet tasarrufu da sağlanmış olacaktır. Bu durum, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir kazanç anlamına gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Eüaş. (2015). *Sektör Raporu*. Ankara: Elektrik Üretim Anonim Şirketi.
- [2] Lin, B., Zhu, J. (2019), Impact of energy saving and emission reduction policy on urban sustainable development: Empirical evidence from China, *Applied Energy*, 239, 12-22, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.166>.
- [3] Jackett, M., Frith, W. (2013), Quantifying the impact of road lighting on road safety — A New Zealand Study, *IATSS Research*, 36, 139-145, <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2012.09.001>.
- [4] Şenol, L., Akman, G. (2019), İmalat işletmelerinde enerji verimliliğinin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 205-215.
- [5] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). *Akıllı Şehirler Kapasite Geliştirme ve Rehberlik Projesi Akıllı Aydınlatma Teknoloji İnceleme Raporu*. [Erişim Tarihi: 02.05.2024], <https://cevresehiriklimkutuphanesi.csb.gov.tr/>
- [6] Aydoğdu, E. (2019), *Mevcut ticari binaların aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği analizi için örnek bir çalışma* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Yapar, T. (2007), *Aydınlatma otomasyonu ile enerji tasarrufu* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Mora, H., Peral, J., Ferrández, A., Gil, D., Szymanski, J. (2019), Distributed Architectures for Intensive Urban Computing: A Case Study on Smart Lighting for Sustainable Cities, *IEEE Access*, pp. 1-1, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2914613>.
- [9] Gagliardi, G., Lupia, M., Cario, G., Tedesco, F., Gaccio, F., Scudo, F., Casavola, A. (2020), Advanced Adaptive Street Lighting Systems for Smart Cities, *Smart Cities*, 3, 1495-1512, <https://doi.org/10.3390/smartcities3040071>.
- [10] Poulsen, E.S., Andersen, H.J., Jensen, O.B., Gade, R., Thyrrestrup, T., Moeslund, T.B. (2012, 29 October–2 November), Controlling urban lighting by human motion patterns: results from a full scale experiment. *In Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimedia*, Nara, Japan; pp. 339–348.
- [11] Mahmoud, M., Muradkhanli, L. (2020), Safer Design and Less Cost Operation for Low-Traffic Long-Road Illumination Using Control System Based on Pattern Recognition Technique, *Intelligent Control and Automation*, 11, 47-62, <https://doi.org/10.4236/ica.2020.113005>.

- [12] Ożadowicz, A., Grela, J. (2017), Energy saving in the street lighting control system—a new approach based on the EN-15232 standard, *Energy Efficiency*, 10, <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9476-1>.
- [13] García-Castellano, M., González-Romo, J.M., Gómez-Galán, J.A., García-Martín, J.P., Torralba, A., Pérez-Mira, V. (2019), ITERL: A Wireless Adaptive System for Efficient Road Lighting. *Sensors*, 19(23), 5101.
- [14] Chiradeja, P., Yoomak, S., Ngaopitakkul, A. (2020), Economic Analysis of Improving the Energy Efficiency of Nanogrid Solar Road Lighting Using Adaptive Lighting Control. *IEEE Access*, 8, 202623-202638.
- [15] Tang, R., Zhang, C., Tang, K., He, X., He, Q. (2023), An Energy-Saving Road-Lighting Control System Based on Improved YOLOv5s. *Computation*, 11(3), 66.
- [16] Zamanidou, A., Giannakopoulos, D., Pappa, D., Pitsilis, V., Makropoulos, C., Manolitsis, K. (2023), Day-ahead scheduling of a Hybrid Renewable Energy System based on generation forecasting using deep learning approach. *Energy Science & Engineering*, 11, <https://doi.org/10.1002/ese3.1413>.
- [17] Balazs, L., Braun, F., Lengyel, J. (2023), Energy Saving Potential of Traffic-Regulated Street Lighting. *Sustainability*, 15, 6750, <https://doi.org/10.3390/su15086750>.
- [18] Smys, S., Basar, D., Wang, D. (2020), Artificial Neural Network Based Power Management for Smart Street Lighting Systems. *Journal of Artificial Intelligence and Capsule Networks*, 2, 42-52, <https://doi.org/10.36548/jaicn.2020.1.005>.
- [19] Yun, Q., Leng, C. (2020), Intelligent Control of Urban Lighting System Based on Video Image Processing Technology. *IEEE Access*, pp. 1-1, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3019284>.
- [20] Tukymbekov, D., Saymbetov, A., Nurgaliyev, M., Kuttybay, N., Dosymbetova, G., Svanbayev, Y. (2021), Intelligent autonomous street lighting system based on weather forecast using LSTM. *Energy*, 231, 120902, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120902>.
- [21] Pizzuti, S., Annunziato, M., Moretti, F. (2013), Smart street lighting management. *Energy Efficiency*, 6, <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9195-9>.
- [22] Mohandas, P., Anni, J., Gao, X.-Z. (2019), Artificial Neural Network based Smart and Energy Efficient Street Lighting System: A Case Study for Residential area in Hosur. *Sustainable Cities and Society*, 48, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101499>.
- [23] De Paz, J., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., Corchado Rodríguez, J. (2016), Intelligent system for lighting control in smart cities. *Information Sciences*, 372, 241-255, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.08.045>.
- [24] Agramelal, F., Sadik, M., Hannani, A.E., Moubarak, Y. (2022), A Traffic-aware Street Lighting System Based on Fuzzy Logic Controller. In *2022 IEEE 18th International Colloquium on Signal Processing & Applications (CSPA)*, Selangor, Malaysia, pp. 132-137.

- [25] Agramelal, F., Sadik, M., Sabir, E. (2023). A Dual Carriageway Smart Street Lighting Controller Based on Multi-variate Traffic Forecast. DOI: 10.1007/978-3-031-26384-2_41.
- [26] Fryc, I., Czyżewski, D., Fan, J., Gălăţanu, C. (2021), The Drive towards Optimization of Road Lighting Energy Consumption Based on Mesopic Vision—A Suburban Street Case Study. *Energies*, 14, 1175, <https://doi.org/10.3390/en14041175>.
- [27] Bellido, F., Quiles Latorre, F., Moreno, C.D., Flores-Arias, J.-M., Moreno-Garcia, I., Ortiz, M. (2016), Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol. *Sensors*, 16, 597, <https://doi.org/10.3390/s16050597>.
- [28] Thungtong, A., Chaichan, C., Suwannarat, K. (2021), A web-based control system for traditional street lighting that uses high-pressure sodium lamps. *Heliyon*, 7, e08329, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08329>.
- [29] Beccali, M., Bonomolo, M., Galatioto, A., Pulvirenti, E. (2017), Smart lighting in a historic context: a case study. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 28, 282-298, <https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2015-0109>.
- [30] Pagden, M., Ngahane, K., Amin, S. (2019), Changing the colour of night on urban streets - LED vs. part-night lighting system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.02.007>.
- [31] Chung, H., Ho, C., Hui, S.Y., Mai, W.Z. (2005), Case study of a highly-reliable dimmable road lighting system with intelligent remote control. 2005. 1 pp. - P.10. <https://doi.org/10.1109/EPE.2005.219632>.
- [32] Davidovic, M., Kostic, M. (2022), Comparison of energy efficiency and costs related to conventional and LED road lighting installations. *Energy*, 254, 124299, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124299>.
- [33] Dwiyani, M., Nitisasmita, K., Tohazen. (2019), Energy Efficiency On Smart Street Lighting Using Raspberry Pi Based On Scada And Internet Of Things (IoT). *Journal of Physics: Conference Series*, 1364, 012034, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012034>.
- [34] Juntunen, E., Sarjanoja, E.-M., Eskeli, J., Pihlajaniemi, H., Österlund, T. (2018), Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking. *Building and Environment*, 142, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.048>.
- [35] Mustafa, A., Abubakr, O., Derbala, A., Ahmed, E., Mokhtar, B. (2017), Towards a Smart Highway Lighting System Based on Road Occupancy: Model Design and Simulation. DOI: 10.1007/978-3-319-49622-1_4.
- [36] Sifakis, N., Kalaitzakis, K., Tsoutsos, T. (2021), Integrating a novel smart control system for outdoor lighting infrastructures in ports. *Energy Conversion and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114684>.
- [37] Sikder, A.K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A.S., Akkaya, K., Conti, M. (2018, Ocak). IoT-enabled smart lighting systems for smart cities. In *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (s. 639-645). IEEE.

- [38] Barve, V. (2017, Temmuz). Smart lighting for smart cities. In *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (s. 1-5). IEEE.
- [39] Amangeldy, B., Tasmurzayev, N., Nurakhov, Y., Shinassylov, S., Bekele, S.D. (2023). Development and Evaluation of an Intelligent Control System for Sustainable and Efficient Energy Management. *WSEAS TRANSACTIONS ON ELECTRONICS*, 14, 135-143, <https://doi.org/10.37394/232017.2023.14.16>.
- [40] Onaygil, S. (2013). 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, *İTÜ Enerji Enstitüsü Enerji Planlaması ve Yönetimi A.B.D.*, Mayıs 2013.
- [41] Alvisi, M. (2023), *Akıllı şehirlerde akıllı sokak aydınlatma kontrolü* (Yüksek Lisans Tezi), Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [42] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- [43] Khansari, N., Mostashari, A., Mansouri, M. (2013). Impacting Sustainable Behaviour and Planning in Smart City. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*, 1(2), 46-61.
- [44] Castro, M., Jara, A. J., Skarmeta, A. F. G. (2013). Smart Lighting Solutions for Smart Cities. In *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Barcelona, Spain, pp. 1374-1379.
- [45] Issa Zadeh, S. B., Garay-Rondero, C. L. (2023). Enhancing Urban Sustainability: Unravelling Carbon Footprint Reduction in Smart Cities through Modern Supply-Chain Measures. *Smart Cities*, 6(6), pp. 3225.
- [46] Lee, W., Song, K., Cho, H. (2018). Visual comfort considered light control methods for energy efficient office buildings. *Thermal Science*, 22, 21-21. <https://doi.org/10.2298/TSCI170915021L>.
- [47] Suk, Y., J., Rebecca, J., Walter, R. J. (2019). New nighttime roadway lighting documentation applied to public safety at night: A case study in San Antonio, Texas. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101459.
- [48] Karagöz Küçük, Z., & Ekren, N. (2021). Light Pollution and Smart Outdoor Lighting. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(2), 191-200.
- [49] Petritoli, E., Leccese, F., Pizzuti, S., Pieroni, F. (2018). Smart Lighting as basic building block of Smart City: an energy performance comparative case study. *Measurement*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.095>.
- [50] Avotins, A., Apse-Apsitis, P., Kunickis, M., Ribickis, L. (2014). Towards smart street LED lighting systems and preliminary energy saving results. pp. 130-135. <https://doi.org/10.1109/RTUON.2014.6998219>.
- [51] Papalambrou, A., Doulos, L. (2019). Identifying, Examining, and Planning Areas Protected from Light Pollution. The Case Study of Planning the First National Dark Sky Park in Greece. *Sustainability*, 11, 5963. <https://doi.org/10.3390/su11215963>.

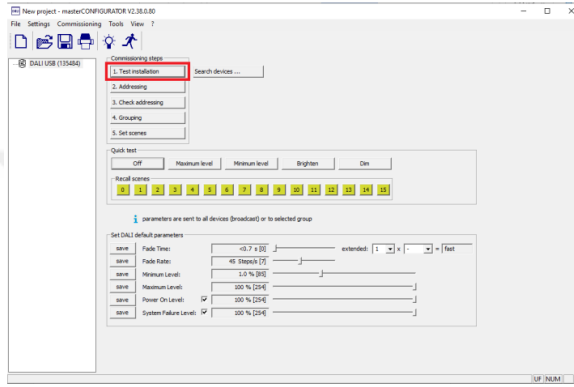
- [52] Hermoso-Orzáez, M.J.; Lozano-Miralles, J.A.; Lopez-Garcia, R.; Brito, P. (2019). "Environmental Criteria for Assessing the Competitiveness of Public Tenders with the Replacement of Large-Scale LEDs in the Outdoor Lighting of Cities as a Key Element for Sustainable Development: Case Study Applied with PROMETHEE Methodology." *Sustainability*, 11(21), 5982.
- [53] Madias, Evangelos-Nikolaos & Doulos, Lambros & Kontaxis, Panagiotis & Topalis, Frangiskos. (2021). "A decision support system for techno-economic evaluation of indoor lighting systems with LED luminaires." *Operational Research*, 21. doi: 10.1007/s12351-019-00485-1.
- [54] Kyba, C.C.M., Garz, S., Kuechly, H., de Miguel, A.S., Zamorano, J., Fischer, J., Hölker, F. (2015). High-resolution imagery of Earth at night: New sources, opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 7, 1–23.
- [55] Estrada-García, R., García-Gil, M., Acosta, L., Bará, S., de Miguel, A.S., Zamorano, J. (2016). Statistical modelling and satellite monitoring of upward light from public lighting. *Lighting Research & Technology*, 48, 810–822.
- [56] Aditya, G.T., Prakash, N.K. (2018). Smart and Efficient Outdoor Lighting System. In *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 1598-1602). Madurai, India.
- [57] Doulos, L.T., Sioutis, I., Kontaxis, P., Zissis, G., Faidas, K. (2019). A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101759.
- [58] Carli, R., Dotoli, M., Pellegrino, R. (2018). A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting. *Computers & Operations Research*, 96, 223–235.
- [59] Pelsan. (Erişim tarihi: 02.05.2024). Işık Kaynakları. URL: <https://pelsan.com.tr/isik-kaynaklari>.
- [60] Brodrick, J., Petrow, E., & Scholand, M. (2002). Lighting Energy Consumption Trends and R&D Opportunities. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. <https://doi.org/10.1117/12.457121>.
- [61] Buccitelli, N., Elliott, C., Schober, S., & Yamada, M. (2015). *U.S. lighting market characterization* (DOE, Doe/Ee-1719). Washington DC.
- [62] Li, F., Chen, D., Song, X., & Chen, Y. (2009). LEDs: A Promising Energy-Saving Light Source for Road Lighting. In *2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference* (pp. 1-3). Wuhan, China. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2009.4918460>.
- [63] Ismail, A. H., Muhamad Azmi, M. S., Hashim, M., Ayob, M. N., Mohamad Hashim, M. S., & Hassrizal, H. (2013). Development of a webcam based lux meter. *IEEE Symposium on Computers and Informatics, ISCI 2013*, 70-74. <https://doi.org/10.1109/ISCI.2013.6612378>.

- [64] Suseendran, S. C., Nanda, K. B., Andrew, J., & Bennet Praba, M. S. (2018). Smart Street Lighting System. In *2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 630-633). Coimbatore, India. <https://doi.org/10.1109/CESYS.2018.8723949>.
- [65] European Committee for Standardization. (2016). EN 13201-2: Road Lighting—Part 2: Performance Requirements. Brussels, Belgium.
- [66] Agramelal, F., Sadik, M., Moubarak, Y., & Abouzahir, S. (2023). Smart Street Light Control: A Review on Methods, Innovations, and Extended Applications. *Energies*, 16(21), 7415. [DOI: 10.3390/en16217415]
- [67] Ekren, N., & Sogut, B. (2023). DALI Compatible Smart LED Driver Controller with Wi-Fi Communication. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(2), 172-183.
- [68] Zhang, Y., Zhou, P., & Wu, M. (2006). Research on DALI and Development of Master-Slave module. In *2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control* (s. 1106-1110). Ft. Lauderdale, FL.
- [69] Li, H., Wu, M., & Zhong, Y. (2008). Development and research of lighting system based on DALI. In *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (s. 1302-1307). Singapore. [DOI: 10.1109/ICIEA.2008.4582728]
- [70] Contenti, C. (2002). Digitally addressable DALI dimming ballast. In *APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition* (Vol. 2, s. 936-942). Dallas, TX, USA.
- [71] Aydınlatma Teknik Dergisi. (2020). [Online]. Erişim: 17.05.2024. URL: <https://www.aydinlatmateknik.com/wp-content/uploads/2020/07/Turkish-lighting-Magazine.pdf>
- [72] Berberoglu, R. (2007). Elektrik hatlarından iletişim (Power line communication): Sistem verilerinin aktarılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [73] Ünsal, D. B., & Yalçınöz, T. (2015). Applications of New Power Line Communication Model for Smart Grid. *International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE)*, 7(3), 168-178.
- [74] Güneş, M. (2004), *Enerji hatları üzerinden haberleşme (power line communication): mevcut düzenlemelerin değerlendirilmesi ve ülkemize yönelik öneriler*, (Uzmanlık Tezi), Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara.
- [75] Nessum. What is Power Line Communication? [Teknoloji Blogu]. Erişim tarihi: 02.05.2024. URL: <https://nessum.org/media/technology-blog/what-is-power-line-communication>
- [76] Ergül, T. (2009), *RF multi kontrol*, (Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [77] Büyükgüçlü A., Özkök C., & Erdal H. (2009, 13-15 Mayıs), İki malzemeli ağırlık dozajlama sistemi otomasyonu için scada yazılımının tasarlanması, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük.

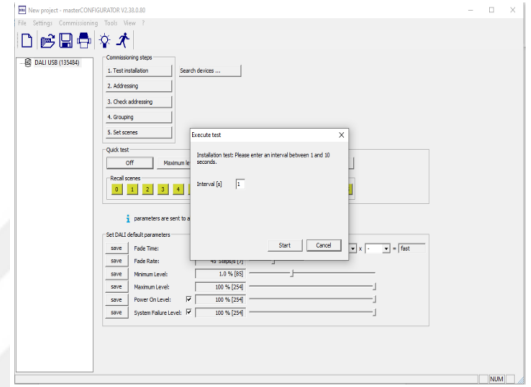
- [78] Avşaroğulları, Ö. E. (2009), *Railway signalization scada and simulation project for Interlocking systems*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar ve Teknoloji Eğitimi Enstitüsü, İstanbul.
- [79] Zecevic, G. (1998). "Web Based Interface to SCADA System." *Power System Technology Powercon '98*, Beijing, 1218-1221.
- [80] Gümüş, S. (2009), *Plc kontrollü boy kesme makinesinde scada uygulaması*, (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [81] Özbilen, A. (2012), *TCP / IP tabanlı dağıtık endüstriyel denetim sistemlerinde güvenlik ve çözüm önerileri*, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [82] Boyer, S. A. (1999). *SCADA Supervisory Control and Data Acquisition* (2nd Edition). New York: The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- [83] Marcuse, J., Menz, B., Payne, J. (1995). Servers in SCADA applications. *Thirtieth IAS Annual Meeting IAS '95 Conference Record of the 1995 IEEE*, 3, 2124-2129.
- [84] Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for Industry*. Oxford, England: An imprint of Elsevier.
- [85] Kul, N. (2009), *1500 KVA Gücünde 6.3 KV çıkış gerilimli jeneratör grubu ve yüksek gerilim kesicilerinin PLC-SCADA ile uzaktan izlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

EKLER

EK A: DALI konfigürasyon adımları



(a)

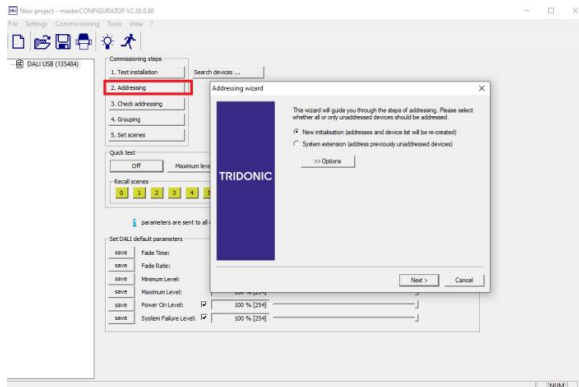


(b)

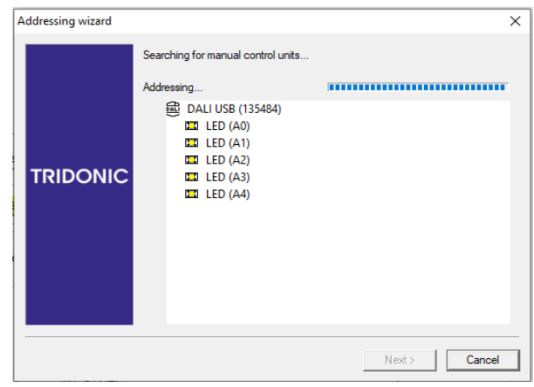


(c)

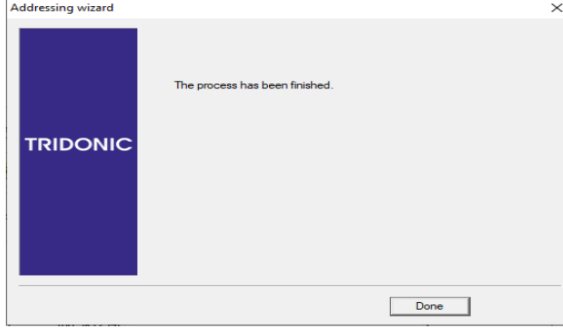
Şekil A.1 : Enerji test : (a) Enerji test adım 1. (b) Enerji test adım 2. (c) Enerji test adım 3.



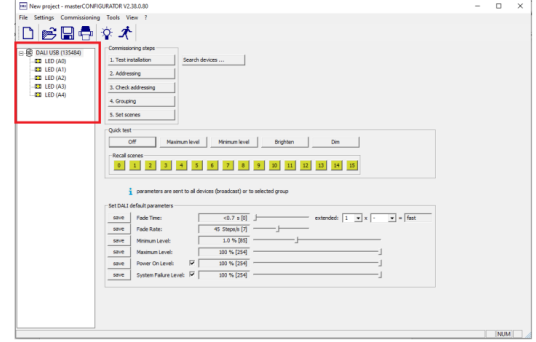
(a)



(b)



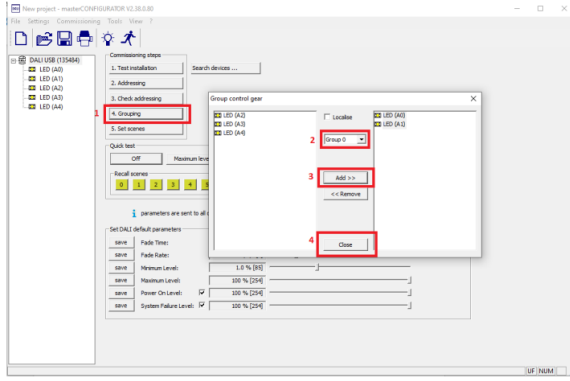
(c)



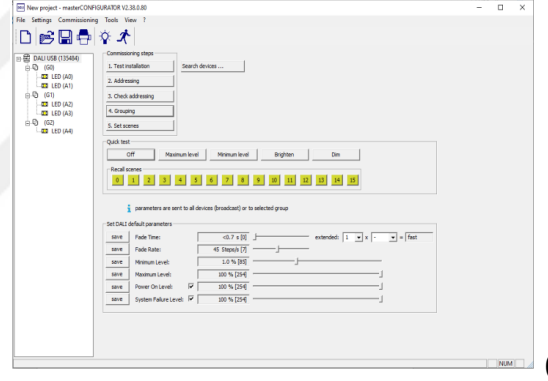
(d)

Şekil A.2 : Adresleme : (a) Adresleme adım 1. (b) Adresleme adım 2. (c) Adresleme adım 3.

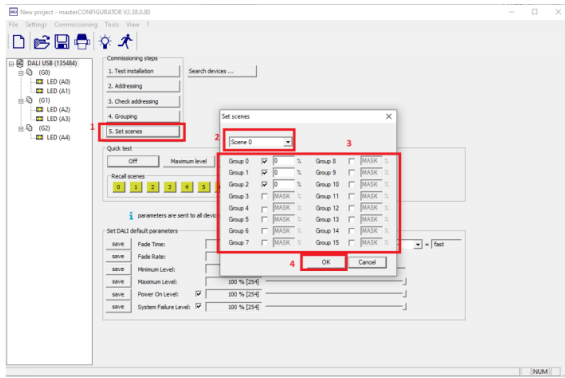
(d) Adresleme adım 4.



(a)



(b)

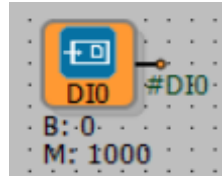


(c)

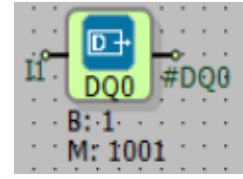
Şekil A.3 : Gruplama ve senaryo : (a) Gruplama adım 1. (b) Gruplama adım 2.

(c) Senaryo.

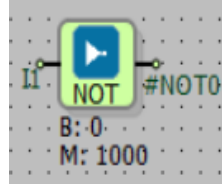
EK B: RTU yazılım adımları



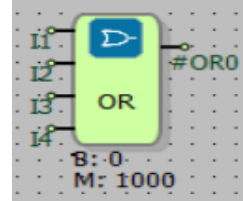
(a)



(b)

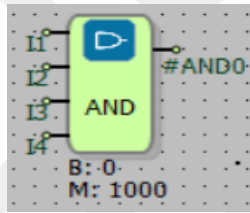


(c)

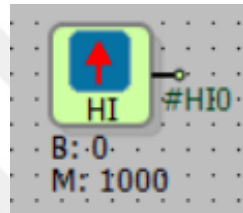


(d)

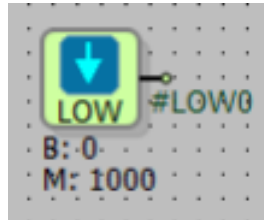
Şekil B.1 : Blok tanımları : (a) Dijital giriş. (b) Dijital çıkış. (c) Değil kapısı. (d) Veya kapısı.



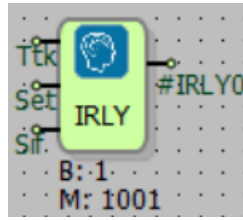
(a)



(b)

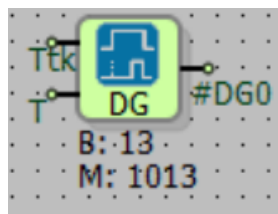


(c)

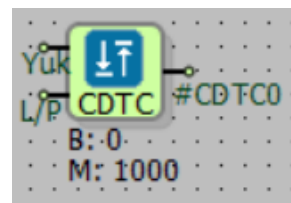


(d)

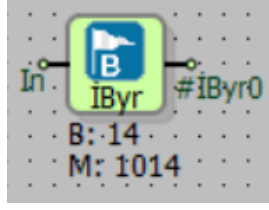
Şekil B.2 : Blok tanımları : (a) Ve kapısı. (b) Yüksek kapısı. (c) Düşük kapısı. (d) Darbe rölesi.



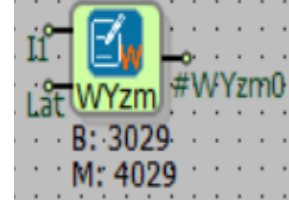
(a)



(b)

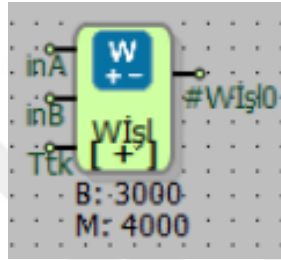


(c)

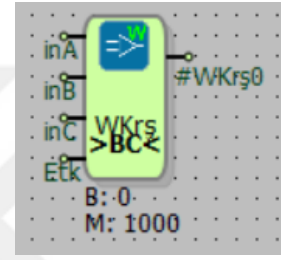


(d)

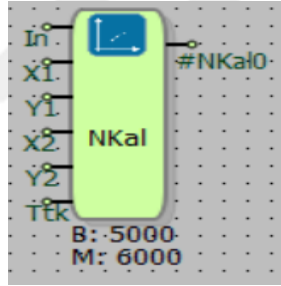
Şekil B.3 : Blok tanımları : (a) Düşmede gecikme. (b) Değişim dedektörü. (c) İkili bayrak. (d) Word yazmaç.



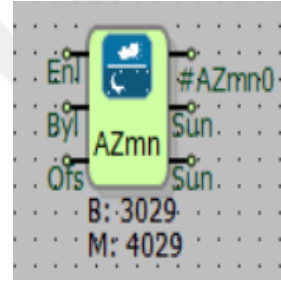
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil B.4 : Blok tanımları : (a) Word işlem. (b) Word karşılaştırıcı. (c) Noktasal kalibratör. (d) Astronomik zamanlayıcı.

EK C : İlgili Kurumdan Alınan İzin



T.C.
İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI
İnsan Kaynakları ve Eğitim Dairesi Başkanlığı

BK No:3430 / 28.09.2023



Sayı : E-80790574-622.03-
Konu : Bilgi Talebi

DAĞITIM YERLERİNE

İlgi : Enerji Yönetimi ve Aydınlatma Şube Müdürlüğünün 26/9/2023 tarihli ve E-49011048-622.01-2023.1529898 sayılı yazısı.

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü yüksek lisans öğrencisi olan Fatma Nur ALAN'ın dış aydınlatma bölgelerinde kullanılan RF-Powerline-Dali protokolleri ile devreye alınmış aydınlatma verileri üzerinde verimlilik analizi çalışmaları için İBB SCADA bünyesinden veri alma talebini belirten ilgi dilekçesi incelenmiştir.

Bahsi geçenin, talebi Başkanlık Makamınca uygun görülmüştür.

Çalışması için biriminizi ziyaret edecek olan Fatma Nur ALAN'a kişisel verilerin gizliliği ilkesine riayet edilerek 27 Ekim 2023 tarihine kadar gerekli kolaylığın sağlanması, çalışmanın sonucunun Kalite ve Yönetim Sistemleri Şube Müdürlüğüne gönderilmesi beklenmektedir.

Gereğini rica ederim.

Nurcan ALAN
Büyükşehir Belediye Başkanı a.
İnsan Kaynakları ve Eğitim Dairesi Başkanı

Dağıtım:
Enerji Yönetimi ve Aydınlatma Şube Müdürlüğüne
Sayın Fatma Nur ALAN
(fatmanurcakici96@gmail.com)

5070 sayılı kanun gereğince E-İMZA ile imzalanmıştır.

Doğrulama Adresi : <http://application2.ibb.gov.tr/et/ImzaDogrula.aspx?prm=7A65qLCrCgK0DUkO%2b5echA%3d%3d>



Kemalpaşa Mah. 15 Temmuz Şehitleri Cad. No: 5 34134 Fatih İSTANBUL
Telefon No: (0 212) 455 19 00 Faks: (0 212) 455 26 38
e-Posta: kaliteyonetim@ibb.gov.tr İnternet Adresi: www.ibb.gov.tr

Bilgi için: Elif TOY
Raportör
Telefon No: (0 212) 455 16 75