



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

AKILLI ŞEHİRLERDE AKILLI SOKAK AYDINLATMA KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Sami ALVISI

Danışman: Doç. Dr. Üyesi Levent GÖKREM

TOKAT- 2023

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Muhammed Sami ALVISI

30 NİSAN 2023

JÜRİ KABUL VE ONAY

Muhammed Sami ALVISI tarafından hazırlanan “**Akıllı Şehirlerde Akıllı Sokak Aydınlatma Kontrolü**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 30.04.2023 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Danışman
Doç. Dr. Levent GÖKREM
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURGUN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜNAL
Amasya Üniversitesi

ONAY

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren, değerli bilgi ve deneyimlerini paylaşan, her zaman destekleyici ve ilgili olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Üyesi Levent GÖKREM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Sami ALVISI

NİSAN 2023

ÖZET

AKILLI ŞEHİRLERDE AKILLI SOKAK AYDINLATMA KONTROLÜ

Alvısı, Muhammed Sami
Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Levent Gökrem
Nisan 2023, xiii+110 sayfa

Sokak aydınlatması hem kentsel hem de kırsal bölgelerdeki kamu altyapısının önemli bir parçasıdır. İnsanların geceleri net bir vizyona sahip olmasını sağlayarak topluma kolaylık kazandırmaktadır. Fakat sokak lambalarının gece boyunca açık olacağından dolayı büyük bir enerji tüketimi gerektirir. Bu yüzden enerji tüketimini azaltmanın yollarını bulmak çok önemlidir. Akıllı sokak aydınlatma sistemi, enerji tüketimini azaltmak için nesnelerin internetinin sensörlerini kullanabilmektedir. Bu tez çalışmasında, birçok uygulamada tercih edilen Wi-Fi ve Bluetooth özellikli ESP32 çipi ile akıllı sokak aydınlatmasının nasıl kontrol edilebileceği gösterilmiştir. ESP32, lambalar arasında mesh network ile haberleşmeyi sağlamak ve darbe genişliği modülasyonu (PWM) sinyali üreterek ışık seviyesini ayarlamak üzere programlanmıştır. Sistem, Adafruit IO platformu ile MQTT protokolünü kullanarak Adafruit IO ile uyumlu bir web sunucusu ile iletişim kurmaktadır. Bu web sunucusu, sistemde kullanılan tüm parametre değerlerini MQTT protokolü aracılığıyla Adafruit IO platformunda yayınlamakta ve abone olan cihazlara göndermektedir. Bu sayede sistemdeki verileri gerçek zamanlı olarak izlemek ve kontrol etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca, sistem sokak lambasının etrafındaki sıcaklık ve nem parametrelerini ölçen bir DHT11 sensörü ile çevresel durumu da izlemektedir. Sistem, güneş panelleri ile güneş enerjisinden yararlanarak pilleri şarj edebilmekte ve bu piller de sistemin çalışması için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Sistem, araçlar ve insanlar gibi nesnelerin geçişini PIR hareket sensörü ile algılayarak sokak lambalarını otomatik olarak açıp kapatabilmektedir. Bu sensör sayesinde sistem, nesnelerin hareketini takip edebilmektedir.

Anahtar Kelimeleri: ESP32, Nesnelerin İnterneti (IoT), Sokak Aydınlatma Sistemi, Kablosuz İletişim

ABSTRACT
SMART STREET LIGHTING CONTROL IN SMART CITIES

ALVİSİ, Muhammed Sami
Master's Thesis, Division of Mechatronics Engineering
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Levent Gökrem
April 2023, xiii+110 pages

Street lighting plays a vital role in public infrastructure, whether in urban or rural areas, by providing clear visibility at night. This not only enhances convenience for society but also promotes safety and security. However, streetlights consume a significant amount of energy, as they operate throughout the night. Therefore, it is crucial to find ways to reduce energy consumption. One promising solution is the use of smart street lighting systems that incorporate Internet of Things (IoT) sensors to optimize energy usage. This thesis demonstrates how smart street lighting can be controlled using the Wi-Fi and Bluetooth-enabled ESP32 chip, which is preferred in many applications. The ESP32 is programmed to communicate via a mesh network between the lamps and generate pulse width modulation (PWM) signals to adjust the light level. The system is using the MQTT protocol with the Adafruit IO platform to communicate with a web server that is compatible with Adafruit IO. This web server publishes all the parameter values used in the system on the Adafruit IO platform through the MQTT protocol and sends them to the devices that subscribe. This way, it is possible to monitor and control the data in the system in real-time. The system also includes a DHT11 sensor to monitor the environmental conditions around the street lamp, measuring both temperature and humidity levels. The system is designed to charge the batteries through the use of solar panels, which provide the necessary energy for the system to operate. The system can automatically turn on and off street lights by detecting the transition of objects such as vehicles and people with a PIR motion sensor. With this sensor, the system can follow the movement of objects.

Keywords: ESP32, Internet of Things (IoT), Street Lighting System, Wireless Communication

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Aydınlatmanın Tarihçesi	5
2.2. Aydınlatma Nedir?	6
2.3. Işık	6
2.4. Aydınlatmanın Amacı	7
2.5. Aydınlatma Çeşitleri	8
2.6. Aydınlatma ile İlgili Temel Kavramlar	8
2.6.1. Işık akısı (Luminous Flux)	8
2.6.2. Işık şiddeti (Light Intensity)	9
2.6.3. Aydınlanma şiddeti (Illuminance)	9
2.6.4. Parıltı (Luminance)	10
2.6.5. Işık verimi (Etkinlik Faktörü)	11
2.7. LED (Işık Yayan Diyot)'un Tanımı	11
2.8. LED'lerin Tarihsel Gelişimi	12
2.9. LED Teknolojisi: SMD ve COB LED'ler	13
2.9.1. SMD LED (Surface Mounted Device)	13
2.9.2. COB LED (Chip on Board)	14
2.10. PWM (Pulse Width Modulation)	16
2.11. LED Teknolojisi ile Tasarlanmış Sokak Armatürleri ve Özellikleri	17
2.12. Akıllı Şehirlerin Tanımı ve Etkileri	20
2.13. Akıllı Sokak Aydınlatması Nedir?	21

2.14. Kablosuz İletişimi (Wireless Communication – Wi-Fi)	22
2.15. Kablosuz Ağ Örgüleri (Wireless Mesh Networks).....	23
2.16. Kablosuz Teknolojilerle Akıllı Sokak Aydınlatması.....	23
2.17. Nesnelerin İnterneti (IoT)	24
2.18. MQTT Protokolü	26
2.19. Dünyada Akıllı Sokak Aydınlatma Uygulamaları.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. ESP32.....	31
3.1.2. Hareket sensörü (PIR).....	37
3.1.3. Sıcaklık ve nem sensörü (DHT11).....	39
3.1.4. Lityum piller	42
3.1.5. Batarya yönetim sistemi (BMS)	43
3.1.6. Güneş paneli	45
3.1.7. MPPT (Maximum Power Point Tracking).....	46
3.1.8. LM7805 voltaj regülatörü.....	47
3.1.9. ESP mesh	48
3.1.10. Arduino IDE	49
3.1.11. Adafruit IO.....	50
3.2. Yöntemler	51
3.2.1. Sistemimize genel bakış.....	51
3.2.2. DHT11 sensörü ile sıcaklık ve nem ölçümü	53
3.2.3. Nem ve sıcaklık verileri gösterge panelinde görüntülenmesi	55
3.2.4. PIR sensörü HC-SR505'nin pin bağlantısı ve konfigürasyonu	56
3.2.5. LED kontrolü	57
3.2.6. Sistemin enerji kaynağına bağlanması.....	58
3.2.7. ESP32 ile voltaj ölçümü ve kalman filtresi	61
3.2.8. Adafruit IO ile pil ve güneş paneli çıkış gerilimi görüntüleme	64
3.2.9. Ağ geçidi ve düğüm devreleri.....	66

3.2.10. 12V DC'nin 5V DC' ye dönüştürülmesi	68
3.2.11. Adafruit IO üzerinden aydınlatma durumu görünmesi	69
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	70
5. SONUÇ	76
6. KAYNAKÇA	78
7. EKLER	83



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
°C	Celsius
Cd	Kandela
E	Aydınlanma şiddeti
F	Frekans
Hz	Hertz
I	Işık Şiddeti
K	Kelvin
KWh	Kilowatt saat
L	Parıltı
Lm	Lümen
Lx	Lüks
mA	Miliamper
η	Işık Verimi
Nm	Nanometre
P	Güç
TWh	Terawatt saat
V	Voltaj
W	Watt
X ışın	Röntgen Işını
γ ışın	Gama Işını
λ	Dalga Boyu
μA	Mikroamper
π	Pi Sayısı
ϕ	Işık Akısı

Kısaltmalar**Açıklama**

ADC	Analog-to-Digital Converter – Analog Dijital Dönüştürücü
AI	Artificial intelligence - Yapay Zeka
BLE	Bluetooth Low Energy - Bluetooth Düşük Enerji
BMS	Battery Management System - Batarya Yönetim Sistemi
BT	Bilgi Teknolojisi
COB	Chip on Board
DAC	Digital to Analog Converter - Dijital Analog Dönüştürücü
DC	Direct Current - Doğru Akım
DHT	Digital Humidity and Temperature - Dijital Nem ve Sıcaklık
DIP	Dual In-Line Package - Çift Sıralı Paket
ESP	Espressif Systems
FET	Field Effective Transistor - Alan Etkili Transistör
GaAs	Gallium Arsenide - Galyum Arsenit
GaAsP	Gallium Arsenide Phosphide - Galyum Arsenit Fosfit
GaP	Gallium phosphide - Galyum Fosfittir
GE	General Electric - Genel elektrik
GND	Ground - Topraklama
GPIO	General-Purpose Input/Output - Genel Amaçlı Bir Giriş/Çıkış
GPRS	General Packet Radio Services - Genel Paket Telsiz Hizmetleri
GSM	Global System for Mobile Communication - Küresel Mobil İletişim Sistemi
HPS	High Pressure Sodium - Yüksek Basıncılı Sodyum
I2C	Inter-Integrated Circuit
I2S	Inter-IC Sound - Dijital Ses Cihazları
IBM	International Business Machines Corporation - Uluslararası İş Makineleri Şirketi
IC	Integrated Circuit - Entegre Devre

IDE	Integrated Development Environment - Tmleşik Geliştirme Ortamı
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers - Elektrik ve Elektronik Mhendisleri Enstitüsü
IoT	Internet of Things - Nesnelerin Interneti
IP	Internet Protocol - İnternet Protokolü
IR	InfraRed - Kızılötesi
IrDA	Infrared Data Association
JSON	JavaScript Object Notation JavaScript Nesnesi Gsterimi
LAN	Local Area Network - Yerel Alan Ağı
LED	Light-Emitting Diode - Işık Yayan Diyot
LoRa	Long Range - Uzun Menzil
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network - Uzun Menzil Geniş Alan Ağı
M2M	Machine to Machine - Makineden Makineye
MAP	Mesh Access Points - Mesh Erişim Noktaları
MPPT	Maximum Power Point Tracking - Maksimum Gç Noktası Takipisi
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport - Mesaj Kuyruklama Telemetri Aktarımı
NLP	Natural Language Processing - Doğal Dil İşleme
NPN	Negative, Positive, Negative
NTC	Negative Temperature Coefficient - Negatif Sıcaklık Katsayısı
OASIS	Outcome and Assessment Information Set - Sonuç ve Değerlendirme Bilgi Seti
OTP	One Time Password - Tek Seferlik Parola
PCB	Printed Circuit Board - Baskı Devre Kartı
PIR	Passive InfraRed - Pasif Kızılötesi
PV	Photovoltaic - Fotovoltaik
PWM	Pulse Width Modulation - Darbe Genişlik Modülasyonu
RCMS	Removal Cost Management System - Uzaktan Kontrol ve İşleme Sistemi

RF	Radio Frequency - Radyo Frekansı
RFID	Radio Frequency Identification - Radyo Frekansı ile Tanımlama
SI	International System of Units - Uluslararası Birimler Sistemi
SiC	Silicon-Carbide - Silisyum Karbür
SMD	Surface Mount Devices - Yüzey Montaj Elemanları
SMT	Surface Mount Technology - Yüzey Montaj Teknolojisi
SOC	State of Charge - Şarj Durumunu
SoC	System on a Chip - Çip üzerinde System
SoH	State of Health - Sağlık Durumunu
SPI	Serial Peripheral Interface
SSL	Solid State Lighting - Katı Hal Aydınlatma
TCP	Transmission Control Protocol - İletim Kontrol Protokolü
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter - Evrensel Asenkron Alıcı Verici
vb.	ve Benzeri
VIN	Voltage Input - Voltaj Girişi
VS	Visual Studio Code
WAP	Wireless Application Protocol - Kablosuz Uygulama Protokolü
Wi-Fi	Wireless Fidelity - Kablosuz Bağlantı Alanı
Wi-SUN	Wireless Smart Utility Network - Kablosuz Akıllı Hizmet Ağı
WLAN	Wireless Local Area Network - Kablosuz Yerel Ağ
WMN	Wireless Mesh Network - Kablosuz Örgü Ağı
WSN	Wireless Sensor Network - Kablosuz Sensör Ağı
ZigBee	Zonal Intercommunication Global-Standard - Bölgesel İletişim Küresel Standart

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1. Işığın tarihsel gelişim süresi	5
Şekil 2. 2. Elektromanyetik spektrumda görünür ışık aralığı	7
Şekil 2. 3. Aydınlanma şiddetinin mesafe ile ilişkisi.....	10
Şekil 2. 4. Işık ölçümünde kullanılan temel birimler.....	11
Şekil 2. 5. LED'in sembolü	12
Şekil 2. 6. SMD LED'ler	14
Şekil 2. 7. LED dizisi paketleme yoğunluğu karşılaştırması (Rice, 2017).....	15
Şekil 2. 8. Görev döngüsü grafiği	17
Şekil 2. 9. Ledli tasarım sokak armatürü	18
Şekil 2. 10. Seul led sokak armatürü	18
Şekil 2. 11. Rio led sokak armatürü	18
Şekil 2. 12. Solar led sokak armatürü	19
Şekil 2. 13. Katener sokak armatürü	19
Şekil 2. 14. Akıllı şehirde yaşamın kolaylığı.....	20
Şekil 2. 15. Wi-Fi.....	22
Şekil 2. 16. Nesnelerin interneti (IoT)	25
Şekil 2. 17. MQTT mimarisi.....	27
Şekil 3. 1. ESP32 modülü	31
Şekil 3. 2. ESP32 blok diyagramı	32
Şekil 3. 3. ESP32 bazı geliştirme kartları	33
Şekil 3. 4. ESP-32 pin diyagramı.....	35
Şekil 3. 5. GPIO pinleri	36
Şekil 3. 6. PIR sensörü	38
Şekil 3. 7. PIR çalışma prensibi	38
Şekil 3. 8. Piroelektrik sensör	38
Şekil 3. 9. PIR pin yapısı	39
Şekil 3. 10. BHT11 sensör	39
Şekil 3. 11. Termistör karakteristiği (NTC).....	40
Şekil 3. 12. 8 bitlik mikrodenetleyici.....	40
Şekil 3. 13. DHT11 pin yapısı	41

Şekil 3. 14. Lityum iyon pillerin şarj edilmesi	43
Şekil 3. 15. 3S BMS lityum batarya koruyucu	44
Şekil 3. 16. Güneş paneli	45
Şekil 3. 17. DC-DC dönüştürücünün çalışma prensibi	46
Şekil 3. 18. MPPT Solar Panel 12V	47
Şekil 3. 19. LM7805 voltaj regülatörü	47
Şekil 3. 20. ESP Wi-Fi-Mesh ağ mimarisi	48
Şekil 3. 21. Arduino IDE program arayüzü	49
Şekil 3. 22. Arduino IDE'de ESP32 eklentisinin yüklemesi	49
Şekil 3. 23. Adafruit arayüzü	50
Şekil 3. 24. Adafruit IO ile ESP32'nin blok diyagramı	50
Şekil 3. 25. Kontrol sisteminin blok diyagramı	51
Şekil 3. 26. Sistemin genel diyagramı	52
Şekil 3. 27. Sokak lambalarının bileşenleri	53
Şekil 3. 28. ESP32- DHT11 bağlantı devresi	54
Şekil 3. 29. DHT11 modülünün ESP32 ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü	54
Şekil 3. 30. Adafruit IO kontrol panelinde anlık olarak görüntülenen sıcaklık ve nem sonuçları	55
Şekil 3. 31. Adafruit IO ile 24 saatlik süreçte nem ve sıcaklık değerleri grafiksel olarak izlenmesi	56
Şekil 3. 32. HC-SR505 PIR sensörünün ESP32 ile bağlantı devresi	56
Şekil 3. 33. HC-SR505 modülünün ESP32 ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü	57
Şekil 3. 34. LED kontrolü devresi	58
Şekil 3. 35. Sistemin besleme devresine genel bakış	58
Şekil 3. 36. BMS ile piller bağlantısı	59
Şekil 3. 37. Güneş paneli özellikleri	60
Şekil 3. 38. Pillerin MPPT ile arkadan görünümü	60
Şekil 3. 39. Pil voltajı hesaplaması için devre tasarımı	61
Şekil 3. 40. Kalman filtreli ADC kodu	63
Şekil 3. 41. Güneş paneli çıkış voltajı hesaplaması için devre tasarımı	64
Şekil 3. 42. Adafruit IO ile pil ve güneş paneli çıkış gerilim değerlerinin gösterimi	65
Şekil 3. 43. Güneş paneli ve pil gerilimlerinin zamanla değişimi	65

Şekil 3. 44. Ağ geçidi devresinin ön ve arka yüzü görünümü	66
Şekil 3. 45. Düğüm devreleri önden ve arkadan görünümü	67
Şekil 3. 46. Node devresi genel görünümü	67
Şekil 3. 47. 12V DC'nin 5V DC' ye dönüştürülmesi devresi.....	68
Şekil 3. 48. 12V DC'nin 5V DC'ye DC düşürücüsüyle dönüştürülme devresi.....	68
Şekil 3. 49. Adafruit IO grafik arayüzü	69
Şekil 4. 1. Birinci durumun akış diyagramı	70
Şekil 4. 2. Bir numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne geçtiğinde önerilen sistemimin durumu	71
Şekil 4. 3. Birinci durum için Adafruit IO kullanarak akıllı sokak aydınlatma sisteminin izlenmesi	72
Şekil 4. 4. İkinci durumun akış diyagramı	72
Şekil 4. 5. İki numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne geçtiğinde önerilen sistemimin durumu	73
Şekil 4. 6. İkinci durum için Adafruit IO kullanarak akıllı sokak aydınlatma sisteminin izlenmesi	73
Şekil 4. 7. Üçüncü durumun akış diyagramı.....	74
Şekil 4. 8. Üç numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne geçtiğinde önerilen sistemimin durumu	74
Şekil 4. 9. Üçüncü durum için Adafruit IO kullanarak akıllı sokak aydınlatma sisteminin izlenmesi	75
Şekil 4. 10. Sistemin akış diyagramı.....	75

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3. 1. ESP32'nin ve ESP8266'nın özellikleri.....	34
Çizelge 3. 2. DHT11 pinlerin açıklaması	41
Çizelge 3. 3. LM7805 Pin Yapısı	48



1. GİRİŞ

Teknoloji, insanların yaşam kalitesini yükseltirken 21. yüzyılda enerji ihtiyacını da artırmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte insanlar daha fazla teknolojik ürün kullanmaya ve konforlu bir yaşam aramaya başlamışlardır. Bu durum da enerji tüketiminde önemli bir artışa yol açmıştır. Artan nüfus ve sanayileşmeyle birlikte Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde de enerji tüketimi hızla yükselmektedir (Gan ve ark., 2018).

Ülkemizin ve dünyanın hızlı ekonomik ve politik gelişiminden dolayı enerji ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketimi artmaktadır (Doğan, 2011).

2020 yılında yaklaşık 305 TWh olarak gerçekleşen elektrik talebinin önümüzdeki 20 yıllık dönemde yıllık ortalama %2,9-3,7 arasındaki artış oranı ile 545-636 TWh bir artış olacağı tahmin edilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020).

Türkiye’de sokak aydınlatması için kullanılan 7 milyon armatürün 2015 yılında 3 milyar 448 milyon kWh elektrik tükettiği belirlenmiştir. Bu miktar, Türkiye’nin toplam elektrik tüketiminin %2’sine karşılık gelmektedir. Sokak aydınlatma sistemlerinin akıllı ve enerji verimli teknolojilerden yararlanmaması nedeniyle, özellikle geceleri gereksiz yere çok fazla elektrik tüketilmektedir. Bu durum hem ekonomik hem de çevresel açıdan sorunlara yol açmaktadır (Öztürk, 2019).

Sokak aydınlatma sistemi, şehrin enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Belediye bütçesinin neredeyse yarısı sokak aydınlatmaya harcanmaktadır. Sokak aydınlatma sistemlerini akıllı bir şekilde kontrol etmek, belediyenin sokak aydınlatma giderlerini büyük ölçüde düşürebilir. Akıllı aydınlatma kontrol sistemleri sayesinde, sokak aydınlatma maliyetleri %70’e varan oranlarda azaltılabilir. Bu da hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamaktadır (Anand ve Jain, 2015).

Sokak aydınlatması dönüşümünde kullanılan ışık yayan diyotlar (LED'ler), yüksek ışık akısı üretirken düşük miktarda enerji tüketen aydınlatma araçlarıdır. Aydınlatma, otomotiv, tabela ve elektronik uygulamaları için idealdirler. Ayrıca yüksek dayanıklılık ve uzun ömür gibi avantajlar sunarlar. Sokak aydınlatma uygulamaları için LED'ler, enerji verimliliği, güvenlik ve çevre koruma açısından büyük bir fırsat oluşturmaktadır (Çiçek ve Şahin, 2020).

Sokak aydınlatmasında LED teknolojisi kullanılmasıyla hem enerji tasarrufu hem de çevre koruma sağlanabilecektir. 2010-2030 yılları arasında sokak aydınlatmasında LED teknolojisine geçiş yapılması halinde enerji tüketiminin %42 oranında azalacağı tahmin edilmektedir. LED'lerin verimliliği ve renk kalitesi sürekli gelişmekte ve aydınlatma sistemlerine uygulanabilmektedir. LED'ler geleneksel aydınlatma sistemlerine göre daha uzun ömürlü, daha güvenilir ve daha az bakım gerektiren aydınlatma araçlarıdır (Yılmaz ve ark., 2019).

Geleneksel aydınlatma sistemleri, sokak aydınlatmasında kullanılan yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar veya metal halide lambalar gibi eski teknolojiye dayanmaktadır. Bu sistemler, iletişim, kontrol ve yönetim fonksiyonlarını tam olarak yerine getirememekte ve enerji verimliliği açısından yetersiz kalmaktadır. Bu da hem elektrik faturalarının artmasına hem de karbon emisyonlarının yükselmesine neden olmaktadır (Yılmaz ve ark., 2019).

Aydınlatma sistemleri hala eski güvenilirlik standartlarına göre tasarlanmakta ve çoğu zaman en son teknolojik gelişmelerden yararlanamamaktadır. Hammaddede maliyetleriyle ilgili son zamanlarda artan baskı ve çevre sorunlarına daha fazla toplumsal duyarlılık, üreticilerin önemli maliyet tasarrufları ve çevreye daha fazla saygı gösterilmesini sağlayan yeni teknikler ve teknolojiler geliştirmelerine yol açmaktadır. Bu sorunlara üç olası çözüm sunabilir. Birincisi, ışık kaynakları için yeni teknolojilerin kullanılmasıdır. Bu alanda LED (Light Emitting Diode) teknolojisi birçok fayda sağladığı için en iyi çözümdür. İkinci olarak, merkezi bir kontrol sistemine bilgi gönderen ve böylece yönetim ve bakım konularını basitleştiren akıllı lamba direklerine dayalı bir uzaktan kontrol sisteminin kullanılmasıdır (Leccese, 2013). Son olarak, çevre üzerinde olumlu bir etkisi olan, geleneksel güç kaynakları yerine yerel olarak mevcut olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması olacaktır.

Sokak aydınlatma sistemlerinin akıllı hale getirilmesi, enerji tasarrufu ve karbon ayak izinin azaltılması açısından önemli bir konudur. Akıllı sokak aydınlatma sistemleri, Sokak lambalarının otomasyonu başlangıçta kablolu bağlantılarla yapılmıştır. Bu sistemler sayesinde şehirler sokak lambalarını uzaktan yönetebilir, izleyebilir ve kontrol edebilir. Ayrıca hava durumu verilerini kaydedebilir ve lamba arızalarını uzaktan tespit edebilir. Kablosuz bağlantı için farklı teknolojiler kullanılabilir (Omar ve ark., 2022).

Günümüzde ise ZigBee, Bluetooth, radyo frekansı ve Wi-Fi teknolojileri de sokak aydınlatma sistemlerine uygulanmaktadır. Bu teknolojilerin her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin, ZigBee düşük güç tüketimi, yüksek ölçeklenebilirlik ve yüksek güvenlik sunarken, Bluetooth daha yüksek veri hızı ve daha kolay eşleştirme sağlamaktadır (Leccese ve ark., 2019).

Wi-Fi, internete bağlanmak için kablosuz ağ teknolojisini kullanan bir sistemdir. Wi-Fi ile donatılmış cihazlar, WLAN adı verilen kablosuz yerel ağlara ve WAP adı verilen kablosuz erişim noktalarına bağlanabilir. Wi-Fi, kablo veya tel gerektirmeden iki veya daha fazla cihaz arasında veri aktarımı sağlar. Otomasyon sistemlerinde, Wi-Fi sensörlerden gelen bilgileri iletmek veya sinyalleri yönetmek için kullanılır. Bu şekilde, cihazlar arasında kablosuz bir iletişim kurulur. Sensörler, aktüatörler ve diğer elektronik cihazlarla birlikte çalışan bir kontrolcü, internet üzerinden diğer cihazlarla haberleşir. Buna ‘Nesnelerin İnterneti’ (IoT) denir (Gujar, 2019).

Nesnelerin interneti (IoT), çevredeki fiziksel durumların izlenmesine ve yönetilmesine imkan veren bir iletişim ağıdır. Bu fiziksel durumlar, değişik sektörlerdeki ölçüler veya kontrol mekanizmaları olabilir. Bu ağdaki cihazlar ve sensörler, insanlarla veya birbiriyle (M2M) iletişim kuran varlıklardır. Bu varlıkların yarattığı büyük verinin analizi ve güvenliği üzerinde pek çok çalışma yapılmaktadır (Gökrem ve Bozuklu, 2016).

Bu tez çalışmasında, akıllı şehirlerde akıllı sokak aydınlatma kontrolü yapılması için ESP32 adlı bir mikrodenetleyici kullanılması önerilmektedir. ESP32, Wi-Fi ve Bluetooth bağlantısı

sağlayabilen, düşük güç tüketen ve yüksek performanslı bir mikrodnetleyicidir. Bu mikrodnetleyici, sokak lambalarına bağlanarak çeşitli sensörlerden veri alabilir ve MQTT protokolü ile internet üzerinden bir sunucuya veya buluta gönderebilmektedir. Böylece, sokak lambalarının durumu ve çevresel koşullar izlenebilir ve analiz edilebilir. Ayrıca, ESP32 ile sokak lambalarının parlaklığı otomatik olarak ayarlanabilir ve böylece enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, ESP32 ile donatılmış akıllı sokak lambalarının tasarımı, kurulumu ve testi ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bu çalışma, akıllı şehirlerin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Bu konuyla ilgili literatür taraması, problem tanımı, yöntem seçimi, uygulama aşamaları ve sonuçlar tez çalışmasının bölümlerini oluşturmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

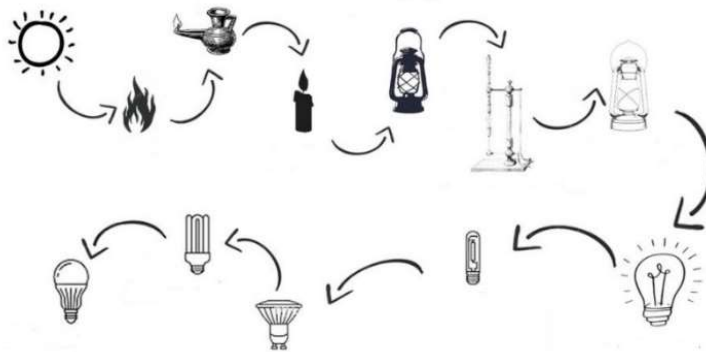
2.1. Aydınlatmanın Tarihçesi

Aydınlatma, karanlık ortamlarda görüşü sağlamak için ışık kaynaklarının kullanılmasıdır. Aydınlatmanın tarihi, insanlığın ateşi bulmasıyla başlar. Ateş, alev ve meşaleler ilk aydınlatma araçları olarak kullanılmıştır. Daha sonra yağlı bezler, fitiller ve mumlar gibi farklı malzemelerle aydınlatma geliştirilmiştir.

Aydınlatmanın tarihçesi oldukça eski dönemlere dayanmaktadır. İlk insanlar, ateş yakarak ve meşaleler kullanarak karanlığı aydınlatmışlardır. Antik Roma’da, sokaklarda ve halka açık alanlarda kullanılan gaz lambaları, aydınlatmanın erken dönemlerine örnek teşkil etmektedir (Kumari ve Zafar, 2021).

19. yüzyılda, gaz lambaları yerini elektrikli aydınlatmaya bırakmıştır. Thomas Edison, 1879 yılında ilk pratik elektrikli ampulu icat etmiştir (Nye, 2013).

20. yüzyılın başlarında, floresan ve halojen lambaların icadı, aydınlatma teknolojisinde bir başka dönüm noktası olmuştur. Günümüzde, LED lambaların kullanımı da giderek artmaktadır (Kumari ve Zafar, 2021).



Şekil 2. 1. Işığın tarihsel gelişim süresi

2.2. Aydınlatma Nedir?

Aydınlatma, ışık kullanarak nesnelerin ve çevrenin görünür hale getirilmesi işlemidir. Aydınlatma, enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamak için önemli bir konudur. Aydınlatma, doğadan veya insan yapımı cihazlardan elde edilen ışık kaynaklarıyla gerçekleştirilebilir. Aydınlatma, farklı mekanlarda ve amaçlarda kullanılabilir. Aydınlatma, hem işlevsel hem de estetik bir etkiye sahiptir. Aydınlatma, insanların görsel algısını, konforunu, performansını ve sağlığını etkiler. Aydınlatma, ışığın renk, yoğunluk, yön ve dağılım gibi özelliklerine göre farklılık gösterir. Aydınlatma, uygun ışık kaynakları ve armatürler seçilerek tasarlanır. Aydınlatma, enerji tasarrufu sağlamak için kontrol sistemleri ile yönetilir (Demir ve ark., 2020).

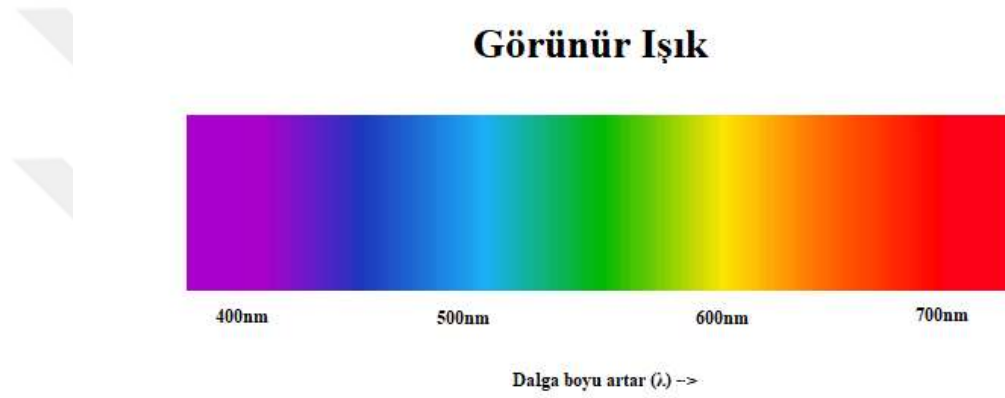
2.3. Işık

Işık, insan yaşamının binlerce yıllık tarihinde önemli bir rol oynamıştır. Aydınlatma teknolojileri zamanla değişse de temel amaç aynı kalmıştır. Aydınlatma, ışığı görsel konfor sağlamak amacıyla kullanma işlemidir. Aydınlatma kavramı, doğal güneş ışığını ve yapay aydınlatmayı kapsamaktadır. Binaların ana ışık kaynağı genellikle gün içinde pencerelerden giren güneş ışığıdır. Güneş ışığı yeterli olmadığında veya gece olduğunda elektrikli yapay ışıklar devreye girer. Güneş ışığından daha fazla yararlanmak, enerji tasarrufu açısından önemlidir (Yılmaz, 2020).

Işık, insan gözünün algılayabildiği elektromanyetik radyasyonun bir türüdür. Işık dalgalarının boyu yaklaşık 380 ile 750 nm arasında değişmektedir (Boyce, 2022).

Elektromanyetik radyasyon, elektrik ve manyetik alanların birlikte dalgalanmasıyla oluşan enerji taşıyan dalgadır. Elektromanyetik radyasyonun dalga boyu ve frekansı arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Dalga boyu kısaltıldıkça frekans artar ve enerji de artar. Elektromanyetik radyasyonun dalga boyuna göre farklı türleri vardır. Bunlar arasında radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınları sayılabilmektedir (Boyce, 2022).

Görünür ışık, insan gözünün algılayabildiği elektromanyetik dalgaların bir bölümüdür. Bu dalgaların dalga boyları 700 nanometreden 380 nanometreye kadar değişir. Bu aralıkta farklı dalga boyları farklı renkler olarak görülür. En uzun dalga boyuna sahip olan kırmızı renk en düşük enerjiye sahiptir. En kısa dalga boyuna sahip olan mor renk ise en yüksek enerjiye sahiptir. İnsan gözü bu dalga boylarına duyarlıdır ve görünür ışık spektrumu olarak adlandırılan bu renk aralığını algılayabilir (Helmenstine, 2020).



Şekil 2. 2. Elektromanyetik spektrumda görünür ışık aralığı

2.4. Aydınlatmanın Amacı

Aydınlatma, ışığın belirli nesneler ve yüzeyler üzerinde görsel algıya en uygun şekilde uygulanmasıdır. Aydınlatmanın amacı, çevreyi ve nesneleri aydınlatma kaynağı ile görünür hale getirmektir. Işık insanları psikolojik ve fiziksel olarak etkileyebilir ve farklı ışıklara karşılık olarak farklı tepkiler ortaya çıkabilir. Açıkçası, ışık bireyin normlarını, eylemlerini, tepkilerini ve davranışlarını dolaylı olarak etkiler (Hashempour, 2018).

Çalışma alanlarında, iyi aydınlatma iş yapanların rahatını, güvenliğini, verimliliğini ve mutluluğunu artırır. Alışveriş yerlerinde, sanat mekanlarında ve toplu kullanım alanlarında ortama karakter katar ve mimariyi ön plana çıkarır. Konutlarda ise, yaşam alanlarını keyifli ve konforlu hale getiren bir hava yaratmaktadır.

2.5. Aydınlatma Çeşitleri

Aydınlatma çeşitleri, ışık kaynağına, uygulama alanına ve ışık dağıtmasına göre sınıflandırılabilir. Işık kaynağına göre aydınlatma, doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma olarak ikiye ayrılır. Doğal aydınlatma, güneş ışığından faydalanarak yapılan aydınlatmadır. Yapay aydınlatma ise, elektrik enerjisi ile çalışan ışık kaynakları ile yapılan aydınlatmadır. Uygulama alanına göre aydınlatma, iç aydınlatma ve dış aydınlatma olarak ikiye ayrılır. İç aydınlatma, bina veya yapı içinde yapılan aydınlatmadır. Dış aydınlatma ise, bina veya yapıların dışında farklı büyüklüklerdeki alanlarda kullanılan aydınlatma türüdür. Işık dağıtmasına göre aydınlatma, direkt aydınlatma, yarı direkt aydınlatma, endirekt aydınlatma ve yarı endirekt aydınlatma olarak dörde ayrılır. Direkt aydınlatma, ışığın büyük bir kısmının doğrudan çalışma alanına yönlendirildiği aydınlatmadır. Yarı direkt aydınlatma, ışığın bir kısmının doğrudan çalışma alanına, bir kısmının da tavana yansıtıldığı aydınlatmadır. Endirekt aydınlatma, ışığın tamamının tavana veya duvarlara yansıtıldığı ve dolaylı olarak çalışma alanını aydınlattığı aydınlatmadır. Yarı endirekt aydınlatma ise, ışığın bir kısmının tavana veya duvarlara yansıtıldığı, bir kısmının da doğrudan çalışma alanına yönlendirildiği aydınlatmadır (Anonim).

2.6. Aydınlatma ile İlgili Temel Kavramlar

2.6.1. Işık akısı (Luminous Flux)

Işık akısı, bir ışık kaynağı tarafından yayılan toplam ışık miktarının ölçüsüdür. "Işıma akısı" olarak adlandırılan yayılan ışığın toplam gücünün ölçüsünden farklıdır, çünkü ilk önce insan gözünün ışığın farklı dalga boylarına karşı değişen hassasiyetini göz önüne almaktadır. Işık akısının SI birimi lümendir (lm) Bir lümen, bir katı bir açı üzerinden ışık şiddeti yayan bir ışık kaynağı tarafından üretilen ışık akısının miktarını olarak tanımlanır (Choudhury, 2014). Işık akısı Φ (fi) simgesiyle gösterilir.

$$\Phi = 4\pi I$$

şeklinde hesaplanır.

Bir ışığı çalıştırmak için gereken güç/enerji miktarını ölçen birim watt'tır. Bir ışık kaynağının yaydığı ışık akısının bir ölçüsü olan lümen ise, bir lambanın ne kadar parlak olduğunu belirlemek için kullanılabilir. Lümen ve watt arasında bir ilişki vardır: watt = lümen / (lümen başına watt) formülü ile hesaplanabilir. Lümen başına watt ise, bir ışık kaynağının enerji verimliliğini gösteren bir ölçüdür. Lümen değeri ne kadar yüksekse, ışık kaynağı o kadar parlaktır; ancak bu değer watt değerine bağlıdır.

2.6.2. Işık şiddeti (Light Intensity)

Işık şiddeti, bir ışık kaynağının belirli bir yönde yaydığı ışık miktarını ifade eden temel ışık değeridir. Aydınlatılmış bir yüzey tarafından verilen ışığın yönüne bağlı olarak dağılımını belirlemektedir. Işık şiddeti (I) simgesiyle gösterilir. Matematiksel olarak ışık şiddeti, bir noktadan belirli bir yönde ışık akısının yayıldığı katı açıya oranı olarak tanımlanır (Choudhury, 2014). Birimi kandela'dır ve (cd) ile gösterilir. Yarıçapı (1m) olan bir kürenin iç yüzeyine düşen ışık akısı oranıdır.

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$

2.6.3. Aydınlanma şiddeti (Illuminance)

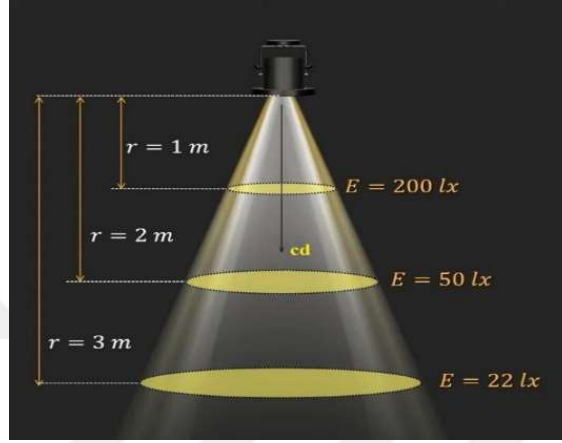
Belirli bir yüzeye düşen ışık akısı miktarıdır (Birim alandaki ışığın görülme oranıdır). 1m² üzerine düşen lümen sayısı olarak da tanımlanabilir. Birimi lüks (lx) olup, lm/m²'ye eşittir. Aydınlanma şiddeti (E) sigmesiyle gösterilir.

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lx}$$

Belirli bir küre merkezinde aydınlanma şiddeti, ışık kaynağından toplam ışık akısı (ϕ) bölü 4π çarpı ışık kaynağı ile yüzey arasındaki mesafenin karesi (r^2)'ne eşittir. aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$E = \frac{\phi}{4\pi r^2} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}$$

Işık kaynağından uzaklaştıkça, yüzeyin aydınlanma şiddeti ışık kaynağı ile yüzey arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu ilişki Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



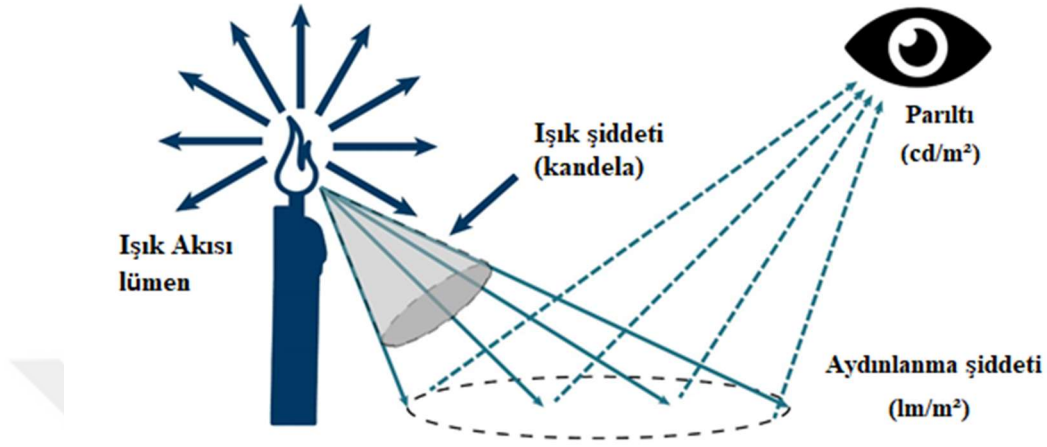
Şekil 2. 3. Aydınlanma şiddetinin mesafe ile ilişkisi

2.6.4. Parıltı (Luminance)

Bir nesne tarafından belirli bir yönde yayılan veya yansıtılan metrekare başına ışık şiddetine parıltı denir. Parıltının simgesi (L) harfidir. SI birimi (cd/m²) metrekare başına kandela olarak tanımlanmaktadır.

Parıltı (Işıklılık), bir yüzeyi oluşturan ışık akısı miktarının bir ölçüsüdür ve bir cismin görülmesini sağlayan ışıktır. Beynin bir nesneden aldığı duyumun büyüklüğünü kontrol eden Parıltıdır. Yüzey parlaklığı, ışığın yüzeye ulaştığı yön, bakıldığı yön ve yüzeyin kendisinin yansıtma özellikleri gibi aydınlatmanın bağımsız olduğu tüm niceliklere bağlıdır (King, 1972).

Işık akısı, ışık şiddeti, aydınlanma şiddeti ve parıltı arasındaki ilişki, ışık alanlarının niceliklerini ve ışık kaynaklarının etkinliklerini belirlemek için değişik birimler kullanılmaktadır. Bu birimlerin her biri farklı bir ölçüm kriterine sahiptir. Aşağıdaki Şekil 2. 4.'te bu birimlerin aralarındaki bağlantılar gösterilmektedir.



Şekil 2. 4. Işık ölçümünde kullanılan temel birimler

2.6.5. Işık verimi (Etkinlik Faktörü)

Işık verimi veya aydınlatma verimi, bir ışık kaynağının görünür ışığı ne kadar iyi ve verimli bir şekilde ürettiğini belirtir. Diğer bir deyişle bir ışık kaynağı tarafından üretilen toplam ışık akısı ile tüketilen elektrik gücü arasındaki ilişkidir, yani ışık akısının elektrik gücüne oranıdır. Bu nedenle Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) watt başına lümen (lm/W) olarak ölçülür.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{lm}{W}$$

2.7. LED (Işık Yayan Diyot)'un Tanımı

LED, "light-emitting diode" olarak adlandırılan bir terimdir. Bu terim, İngilizce sözcüklerin baş harflerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur.

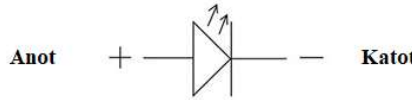
LED'ler, elektrik akımı uygulandığında ışık üreten yarı iletken cihazlardır. Bu cihazlar, çeşitli renklerde ışık yayabilirler ve oldukça düşük bir enerji tüketimi gerektirmektedir.

LED'lerin çalışma prensibi, yarı iletken malzemenin içindeki elektronların enerji seviyeleri arasındaki geçişlerdir. Bu geçişler sırasında, fazla enerji foton adı verilen ışık parçacıkları

olarak yayılmaktadır. Bu süreç, LED'lerin ışık üretmesini sağlayan temel mekanizmadır ve yarı iletken malzemelerin özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

LED'lerin avantajları arasında şunlar sayılabilir: uzun ömür, düşük maliyet, kompakt boyut, çevre dostu olma özelliği ve düşük ısı üretimidir. Bu avantajlar, LED'lerin birçok uygulamada tercih edilmesini sağlamaktadır. Örneğin, LED'lerin uzun ömürleri, bakım maliyetlerini azaltırken, düşük enerji tüketimleri de enerji tasarrufu sağlamaktadır.

LED'ler, aydınlatma, ekran, haberleşme, sensör ve optoelektronik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2. 5'te LED'in sembolünü göstermektedir. LED sembolü, elektronik devrelerin tasarımında ve LED'lerin yerini belirlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca, standart bir sembol olması, elektronik devrelerin tasarımını ve anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 2. 5. LED'in sembolü

2.8. LED'lerin Tarihsel Gelişimi

Birçok insan LED (Işık yayan diyot) aydınlatmanın 21. yüzyılda icat olduğuna inanır, Ancak LED'ler 1927'de yaratılmıştır ve o zamandan beri gelişmektedir. Bugün kullandığımız LED ışıkların yaratılmasına birçok kişi yardımcı olmuştur (Wang ve ark., 2008).

LED'in evrimi, Henry Joseph Round'un elektrolüminesans etkisi nedeniyle bir (SiC) kristali üzerindeki zayıf sarı ışık çalışmasını ilk kez keşfettiği 1907 yılına dayanabilmektedir (Wang ve ark., 2017). Ancak, (SiC) ile çalışmanın zorlukları, onu daha fazla araştırma yapmaktan vazgeçmeye zorlamıştır.

Daha sonra, 1927'de, Rus bilim adamı Oleg Vladimirovich Lossev, Rus, Alman ve İngiliz bilimsel dergilerinde bir LED'in icadını bildirmiş. Fakat ışık verimi oldukça düşük olduğu

için çalışmaları uzun süre göz ardı edilmiş ve keşfi onlarca yıl boyunca gerçek uygulamalarda kullanılmamıştır (Nair & Dhoble, 2015).

Daha sonra 1950’lerde, elektrolüminesans etkisi bir galyum arsenit (GaAs) yarı iletken malzemede görselleştirilmiş ve 1960’larda bu etkiyle bir LED geliştirilmiştir. DeneySEL çalışmadan sonra oda sıcaklığında verimin çok düşük olduğunu gözlemlenmiştir ve yalnızca görünmez bir kızılötesi ışık yayabilirmiş. Bu nedenle, LED’in sıvı nitrojen bazlı lambalarla değiştirilmesine karar verilmiştir (Vishnuram ve ark., 2022).

General Electric şirketinde (GE) alışan bir mühendis olan Nick Holonyak, 1962’de ilk görünür kırmızı ışık yayan LED’i üretmiştir. 1970’lerin ortasında, galyum arsenit fosfit (GaAsP) yerine galyum fosfit (GaP) kullanarak gri yeşil ışık yayan LED’ler geliştirilmiştir. 1990’larda ise AlInGaP malzemesiyle kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil ışık yayan LED’ler ortaya çıkmıştır (Wang ve ark., 2017).

1994 yılında Nichia şirketinden Shuji Nakamura tarafından yüksek parlaklığa sahip ilk mavi LED’i yaratmış. Ampulün parlaklığı önemli ölçüde artırılıp beyaz LED’lerin geliştirilmesine yol açmıştır. Daha sonra kırmızı, mavi ve yeşil LED’ler karıştırılarak beyaz LED’ler elde edilebilir hale gelmiştir (Nanishi, 2014).

LED ışıklar 2008 yılından itibaren okul, ofis ve hastane gibi yerlerde kullanılmaya başlanmıştır. 2019 yılında LED ışıklar aydınlatma için en yaygın seçenek haline gelmiştir. Bu durum halojen ve flüoresan ampullerin yavaş yavaş terk edilmesine yol açmıştır (Anonim, 2020).

2.9. LED Teknolojisi: SMD ve COB LED’ler

2.9.1. SMD LED (Surface Mounted Device)

SMD, Surface Mounted Device (YüzeYE monte cihaz) kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuş bir kısaltmadır. En yaygın kullanılan LED çeşitlerinden biridir. Birçok kullanımı vardır. Yaygın olarak SMT (yüzey montaj devre elemanları) teknolojisi

kullanılarak lehimleme yoluyla doğrudan bir baskılı devre kartına (PCB) monte edilir. Bu uygulama, SMD LED'lerinin devre kartının her iki tarafına, kartı kesmeden veya delmeden lehimlenmesini sağlar. SMD LED'ler için kalıp bağlama malzemelerinin seçimi, LED çiplerinin tipine ve giriş gücüne bağlıdır. LED ampullerde, LED ekranlarda, televizyonda, otomotiv muhafazalarında, ve projektörde kullanılmaktadır.

Bu teknoloji, yüksek verimlilik ve hassas ışık dağılımı kontrolü gerektiren ve ışığın gerekli olduğu hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadır. SMD LED'ler yüksek dayanıklılık, düşük ısı çıkışı, düşük güç tüketimi, uzun ömürlü ve yüksek güvenilirlik gibi birçok avantajlara sahiptir.



Şekil 2. 6. SMD LED'ler

2.9.2. COB LED (Chip on Board)

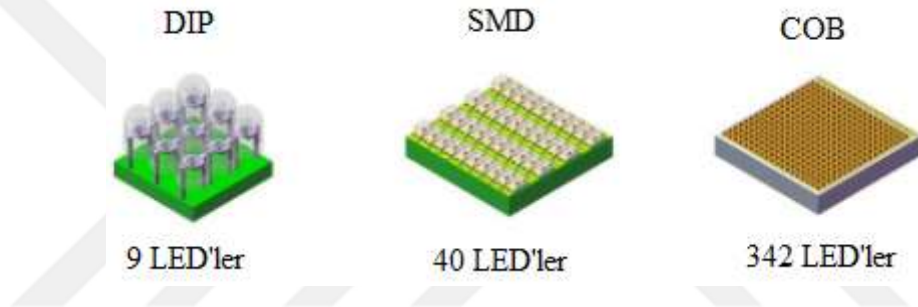
COB LED'ler Kısaltması "Karta yerleşik çip Işık Yayan Diyotlar " anlamına gelmektedir. Işık verimliliğini artırmak ve kaybı azaltmak için COB teknolojisini kullanan bir aydınlatma kaynağıdır. COB LED chip-on-board teknolojisi, aydınlatma endüstrisindeki en güncel LED teknolojilerinden biridir.

Bir dizi diyotu doğrudan bir alt tabaka (silikon karbür veya safir gibi) veya bir baskılı devre kartına monte eden bir montaj yöntemidir. Montaj şekli sayesinde, bir aydınlatma paneli gibi görünür. Bu tür bir konfigürasyon, bir çipte dokuz veya daha fazla diyot barındırabilir,

böylece daha fazla parlaklık üretirken daha az yer kaplar. Eski ışıklarla karşılaştırıldığında nispeten kompakt, verimli ve parlaktır (Synco, 2021).

COB LED'leri, Yüzeye Monte Edilen Cihaz (SMD) LED'leri veya Çift Sıralı Paket (DIP) LED'leri gibi eski LED teknolojilerine göre bir birkaç avantaja sahiptir. En önemlisi, COB teknolojisi, LED dizisinin çok daha yüksek bir paketleme yoğunluğu sağlamaktadır.

Örneğin, Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi, 10mm x 10mm'lik kare şeklindeki bir alana yerleştirilen COB LED'ler, DIP LED teknolojisine göre 38 kat daha fazla LED, SMD LED teknolojisine göre ise 8,5 kat daha fazla LED barındırabilmektedir. Bu sayede daha yüksek bir ışık yoğunluğu ve daha fazla ışık yayılımı sağlanabilmektedir (Rice, 2017).



Şekil 2. 7. LED dizisi paketleme yoğunluğu karşılaştırması (Rice, 2017)

COB LED'ler, son yıllarda hızla yaygınlaşmaktadır ve LED kaynaklarının gücünün artmasına doğrudan katkıda bulunmaktadır. COB LED'ler, yüksek ışık yoğunluğu, homojen ışık dağılımı ve düşük enerji tüketimi gibi avantajları sayesinde ticari aydınlatma ve iç aydınlatma gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. COB LED'lerin gelişimi, aydınlatma teknolojisinde bir devrim yaratmış ve daha verimli, ekonomik ve çevre dostu aydınlatma seçenekleri sunmuştur. Ayrıca, COB LED'lerin daha kompakt boyutları ve farklı renk seçenekleri, uygulama alanlarını daha da çeşitlendirmiştir.

2.10. PWM (Pulse Width Modulation)

PWM (Pulse Width Modulation) kısaltması “Darbe Genişliği Modülasyonu” anlamına gelmektedir. Cihazlara sağlanan elektrik gücünün oranlarını kontrol etmek için kullanılan bir teknolojidir.

Tam açık ve tam kapalı arasında ortalama miktarda elektrik gücü elde edilmesini sağlayan, modüle edilmiş darbelerden oluşan dijital bir sinyaldir.

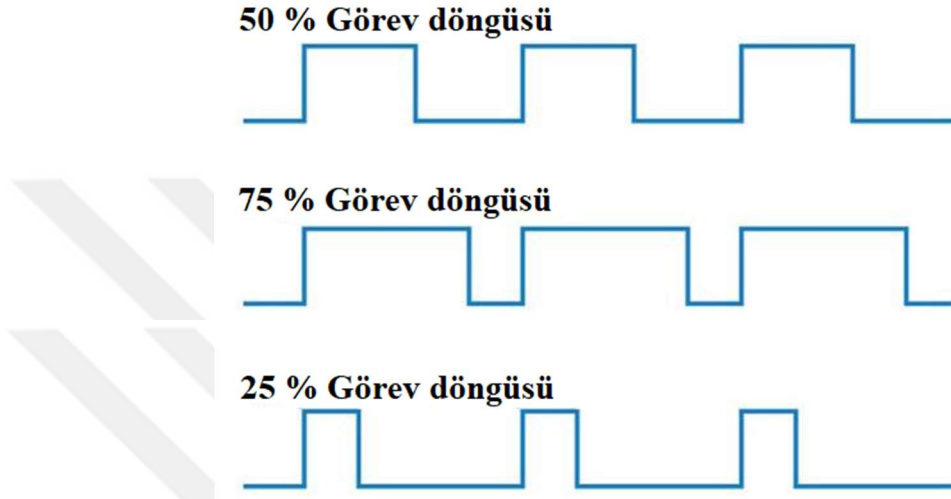
On-Off-Keying modülasyonu, LED’lerin sadece açık veya kapalı olduğu basit ve uygulanabilir bir modülasyon tekniğidir. Bu teknikte LED’lerin parlaklığı değiştirilemez. Darbe genişliği modülasyonu (PWM) ise LED’lerin açık kalma süresini istenen parlaklık düzeyine göre ayarlayan bir modülasyon tekniğidir. Bu teknikte LED’lerin parlaklığı değiştirilebilir. PWM ile sıfırdan %100’e kadar herhangi bir karartma seviyesinden yüksek veri hızına ulaşılabilir (Wani & Qadri).

PWM (Pulse Width Modulation), sinyalin yüksek değerli durumunun süresini değiştirerek ortalama gücünü kontrol etmeyi sağlayan bir modülasyon tekniğidir. Sinyal, sabit bir frekans ve amplitüde sahip olmakla birlikte, herhangi bir anda yalnızca yüksek (genellikle 5V) veya düşük (toprak) değerlerini alabilir. PWM tekniğinde, sinyalin yüksek değerli durumunun toplam periyoda oranı “Duty Cycle” belirli bir zaman aralığında değiştirilebilir.

“Duty Cycle” Türkçede görev döngüsü olarak çevrilen bir terimdir. Sinyalin yüksek değerli durumunun süresine “çalışma süresi (on time)” olarak adlandırılır. Çalışma süresinin toplam periyoda oranı ise görev döngüsü ile ifade edilir. Görev döngüsü yüzde cinsinden belirtilir. Görev döngüsü, bir zaman döngüsü içinde sinyalin yüksek değerli durumda kaldığı sürenin yüzdesini tanımlar. Bu zaman döngüsü (ya da periyot süresi), dalga formunun frekansına eşittir.

Sinyal yüksek değerli durumda zamanın yarısı kadar, düşük değerli durumda da kalan yarısı kadar kalıyorsa, bu dijital sinyalin görev döngüsünün %50 olduğu ve ideal bir kare dalga ile ifade edilebileceği anlamına gelir. Eğer görev döngüsü %50’den büyükse, dijital sinyal düşük

değerli durumdan daha fazla süre yüksek değerli durumda kalır. Eğer görev döngüsü %50'den küçükse, dijital sinyal yüksek değerli durumdan daha az süre düşük değerli durumda kalır. Aşağıdaki Şekil 2.8.'de bu üç durumu göstermektedir.



Şekil 2. 8. Görev döngüsü grafiği

2.11. LED Teknolojisi ile Tasarlanmış Sokak Armatürleri ve Özellikleri

Sokak aydınlatması için kullanılan armatürler farklı çeşitlere sahip olabilirler. Bunlar arasında LED teknolojisi ile tasarlanmış armatürler, güneş enerjisi ile çalışan armatürler, katener sokak armatürleri, modül sokak armatürleri ve projektör sokak armatürleri gibi seçenekler yer almaktadır. LED armatürler, enerji tasarruflu, uzun ömürlü ve yüksek verimli ürünlerdir. Güneş enerjisi ile çalışan armatürler ise kablosuz ve kolay montajlıdır. Katener sokak armatürleri, katener hatları üzerine monte edilerek kullanılmaktadır. Modül sokak armatürleri, farklı açılarda monte edilebilen modüler yapıya sahiptir. Projektör sokak armatürleri ise yüksek performanslı LED çipleri ile donatılmış, geniş alanların aydınlatılmasında kullanılan armatürlerdir. Bu çeşitler arasından seçim yapılırken, kullanım alanı, enerji verimliliği, ışık dağılımı gibi kriterler göz önünde bulundurulabilir. Sokak aydınlatması kullanılan armatürler arasında şu çeşitler bulunmaktadır.

Ledli tasarım sokak armatürü, 40 ila 100 watt arasında değişen güçlere sahip olan bu armatürler, modern bir tasarıma sahiptir. Geniş açılı lensleri sayesinde ışığı geniş bir alana dağıtmaktadır.



Şekil 2. 9. Ledli tasarım sokak armatürü

Seul led sokak armatürü, 36 watt gücünde olan bu armatür, ılık beyaz renkte ışık verir. Yol ve cadde aydınlatmasında kullanılabilmektedir.



Şekil 2. 10. Seul led sokak armatürü

Rio led sokak armatürü, 65 watt gücünde olan bu armatür, 4000K renk sıcaklığında ışık verir. Yüksek yol aydınlatma direklerinde kullanılabilmektedir.



Şekil 2. 11. Rio led sokak armatürü

Ledli projektör sokak armatürü, 100 ila 250 watt arasında değişen güçlere sahip olan bu armatürler, yüksek performanslı LED çipleri ile donatılmıştır. Geniş alanların aydınlatılmasında kullanılabilir.

Solar led sokak armatürü, 20 ila 80 watt arasında değişen güçlere sahip olan bu armatürler, güneş enerjisi ile çalışır. Kablosuz ve kolay montajlıdır. Güneşli bölgelerde kullanılabilir.



Şekil 2. 12. Solar led sokak armatürü

Katener sokak armatürü, 60 ila 90 watt arasında değişen güçlere sahip olan bu armatürler, katener hatları üzerine monte edilir. Yol ve cadde aydınlatmasında kullanılabilir.



Şekil 2. 13. Katener sokak armatürü

Modül sokak armatürü, 40 ila 60 watt arasında değişen güçlere sahip olan bu armatürler, modüler bir yapıya sahiptir. Farklı açılarda monte edilebilir. Yol ve cadde aydınlatmasında kullanılabilmektedir.

2.12. Akıllı Şehirlerin Tanımı ve Etkileri

Akıllı şehirler, yeni teknolojileri kullanarak, daha sürdürülebilir, verimli ve yaşanabilir şehirler yaratmaktadır. Bu şehirler, çevreye duyarlı olmak, enerjiyi tasarruflu kullanmak, güvenliği sağlamak, verileri iyi yönetmek ve hizmetleri iyileştirmek gibi amaçlarla çalışmaktadır. Bu sayede, akıllı şehirler kaynakları daha iyi değerlendirmekte, hizmetleri daha iyi sunmakta ve yaşam kalitesini yükseltmektedir. Ayrıca, akıllı şehirler çevreyi koruyarak, çevresel zararları azaltmaktadır. Akıllı şehirlerin birçok yararı vardır; özellikle yaşam kalitesi, ekonomik gelişme ve çevresel sürdürülebilirlik açısından fayda sağlamaktadır (Al-Fuqaha ve ark., 2015).



Şekil 2. 14. Akıllı şehirde yaşamın kolaylığı

2.13. Akıllı Sokak Aydınlatması Nedir?

Akıllı sokak aydınlatması, kentsel ortamlar için enerji verimli, maliyet etkin ve sürdürülebilir çözümler sunmayı hedefleyen akıllı şehir konseptinin önemli bir bileşenidir. LED aydınlatma ve sensör ağları gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu, akıllı sokak aydınlatma sistemleri sokak aydınlatmasının verimliliğini ve kontrol edilebilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır. LED aydınlatma, geleneksel aydınlatma kaynaklarına kıyasla daha uzun ömür, daha düşük enerji tüketimi ve daha iyi renkli ışık yansıtma gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Sensör ağları, ışık, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlerle ilgili gerçek zamanlı veriler sağlayarak sokak aydınlatma sistemlerinin işletimini optimize etmek için kullanılabilmektedir (Avotins ve ark., 2014).

İleri teknolojilerin entegrasyonu ile akıllı sokak aydınlatması, aydınlatma birimi ve kontrol ve yönetim birimi olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Aydınlatma birimi, sokak aydınlatmasının fiziksel bileşenlerini oluşturur ve genellikle LED lambaları içerir. Kontrol ve yönetim birimi, aydınlatma birimlerinin çalışmasını kontrol eder ve yönetir. Bu birim, kablosuz sensör ağları, iletişim protokolleri ve yazılım uygulamaları gibi ileri teknolojileri kullanarak, sokak aydınlatmasının otomatik olarak açılıp kapanmasını, parlaklık düzeyini ayarlamasını ve hatta trafik yoğunluğuna göre değişen ışık seviyelerini kontrol etmesini sağlayabilir (Mohamed, 2013).

Akıllı sokak aydınlatması, IoT (nesnelerin interneti) teknolojilerinin entegrasyonu ile çalışır. Bu teknolojiler sayesinde sistem, çevre, trafik ve diğer faktörleri gerçek zamanlı olarak toplayarak işleyebilir. Toplanan veriler, aydınlatma sisteminin performansını optimize etmek için kullanılır. Örneğin, trafik yoğunluğuna göre aydınlatma seviyesi ayarlanabilir veya enerji tasarrufu sağlamak için aydınlatmanın çalışma düzeni planlanabilir. Ayrıca, acil durumlar veya kazalar gibi olaylara otomatik olarak tepki vermek için sistem programlanabilir. Akıllı sokak aydınlatması, enerji tasarrufu, güvenlik ve yaşam kalitesinin artırılması gibi avantajlar sağlamaktadır (Zeng ve ark., 2021).

2.14. Kablosuz İletişimi (Wireless Communication – Wi-Fi)

Wi-Fi açılımı (İngilizce: Wireless Fidelity, Türkçe: Kablosuz Bağlantı Alanı), İnternet'e yüksek hızlı kablosuz erişim sağlamak için radyo dalgalarını kullanan bir kablosuz ağ teknolojisidir. Bilgisayarın kablosuz adaptörü, verileri kablosuz bir sinyale çevirir ve bir anten kullanarak göndermektedir. Ardından, Kablosuz Yönlendirici (Wireless Router) sinyali alır ve şifresini çözmektedir. Daha sonra bilgiler bir Ethernet bağlantısı kullanılarak internete gönderilir ve bu işlem de ters yönde çalışmaktadır. Yönlendirici internetten bilgi alır, bunu kablosuz bir sinyale çevirir ve bilgisayarın kablosuz adaptörüne göndermektedir (Brain & Homer, 2023).

Kablosuz iletişim, hücresel ve kablosuz yerel ağların (Wi-Fi olarak da bilinen IEEE 802.11 ailesine dayalı olanlar) büyük bir gelişme gösterdiği bir alandır. Ancak, bu iki farklı teknoloji sadece belirli bir bağlantı gereksinimini karşılamakta ve kablosuz bağlantıdan yararlanabilecek pek çok başka uygulama bulunmaktadır. Hücresel ağlar geniş kapsama alanı sağlar, ancak hizmet nispeten pahalıdır ve düşük veri hızları sunar: üçüncü nesil hücresel ağlar (3G) bile WLAN'lara göre çok düşük veri hızları sunmaktadır. Öte yandan, WLAN'ların kapsama alanı oldukça sınırlıdır. Ayrıca, WLAN'ların kapsama alanını genişletmek için birden fazla erişim noktasını birbirine bağlayan kablolu bir omurga gerekmektedir (Sichitiu, 2005).



Şekil 2. 15. Wi-Fi

2.15. Kablosuz Ağ Örgüleri (Wireless Mesh Networks)

Kablosuz ağ örgüleri (Wireless mesh networks - WMN), geniş bir coğrafi bölgede kablosuz internet erişimi sağlamak için uygun bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır; bu yeni paradigma, geleneksel Wi-Fi ağlarına kıyasla ağ dağıtımının çok daha düşük bir maliyetle gerçekleştirilmesine imkan vermektedir (Salem & Hubaux, 2006).

Mesh network'lar (WMN), örgü yönlendiricileri ve örgü istemcileri adı verilen iki çeşit cihazdan oluşmaktadır. Örgü yönlendiricileri, hem ağa bağlanmak için geçit/köprü işlevleri sağlayan hem de örgü ağının çalışması için ek yönlendirme işlevleri gerçekleştiren normal kablosuz yönlendiricilere benzerdir. Örgü yönlendiricileri, birbirleriyle ve ağa bağlı diğer cihazlarla çoklu-hop iletişimi kurarak ağın kapsama alanını ve esnekliğini artırmaktadır. Örgü yönlendiricileri, normal kablosuz yönlendiricilere benzer bir donanım platformuna sahiptir, ancak minimum hareketliliğe sahiptir ve örgü istemcilerine hizmet vermektedir. Örgü istemcileri ise örgü ağına katılan cihazlardır. Örgü istemcileri, daha basit bir donanım platformu ve yazılıma sahiptir ve örgü yönlendiricilerine göre daha az işlev sunmaktadır. Örneğin, örgü istemcileri için iletişim protokolleri hafif olabilir, geçit veya köprü işlevleri örgü istemcilerinde bulunmaz, bir örgü istemcisi için sadece tek bir kablosuz arayüz gereklidir (Akyildiz & Wang, 2005).

Mesh network'a bağlanabilen potansiyel olarak hareketli istemciler (örneğin dizüstü bilgisayarlar veya akıllı telefonlar) için Mesh Erişim Noktaları (MAP) adı verilen özel cihazlar vardır. MAP'ler, standart bir WLAN arayüzü sunar ve mesh yönlendiricileri olarak da işlev görmektedir. MAP'ler, trafiği diğer mesh yönlendiricileri aracılığıyla veya mesh network'ı İnternet'e bağlayan bir geçit cihazı aracılığıyla hedefe yönlendirmektedir (Dely ve ark., 2011).

2.16. Kablosuz Teknolojilerle Akıllı Sokak Aydınlatması

Akıllı sokak aydınlatması sistemleri, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve kablosuz haberleşme teknolojileri kullanılarak geliştirilmiştir. Bu teknolojiler, aydınlatma sistemlerinin uzaktan izlenmesini, kontrol edilmesini ve arızaların hızlı bir şekilde tespit edilerek müdahale

edilmesini sağlar. Bu nedenle, kablosuz haberleşme teknolojilerinin seçimi, akıllı sokak aydınlatması sistemlerinin performansı için kritik bir faktördür. Araştırmalar, Bluetooth, ZigBee, LoRa, Wi-Fi, RFID ve GSM/GPRS gibi farklı kablosuz haberleşme teknolojilerinin akıllı sokak aydınlatması sistemleri için uygun olduğunu göstermiştir. Ancak, her teknolojinin avantajları ve dezavantajları vardır ve seçim sürecinde dikkate alınması gereken birçok faktör vardır. Bu faktörler arasında, kapsama alanı, enerji tüketimi, veri iletim hızı, güvenlik, maliyet ve mevcut altyapı gibi konular yer almaktadır (Kuzlu ve ark., 2018).

2.17. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti, BT alanında yeni bir paradigma değişikliğidir. Kısaca IoT olarak da bilinen “Nesnelerin İnterneti” ifadesi iki kelimedenden türetilmiştir. İlk kelime “İnternet” ve ikinci kelime “Things” dir.

İnternet, dünya çapında milyarlarca kullanıcıya hizmet vermek için standart İnternet protokol paketini (TCP/IP) kullanan birbiriyle bağlantılı bilgisayar ağlarının küresel bir sistemidir. Çok çeşitli elektronik, kablosuz ve optik ağ teknolojileri ile birbirine bağlanan milyonlarca kamu, özel, akademik, ticari ve devlet ağından oluşan yerel ve küresel bir kapsama ağıdır. Bugün 100'den fazla ülke İnternet üzerinden veri, haber ve fikir alışverişine bağlı durumdadır (Madakam ve ark., 2015).

Dünya, her şeyi ve herkesi birbirine bağlı hale getiren Nesnelerin İnterneti büyük bir gelişmeye tanık olmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT), bilgi teknolojisi ile fiziksel altyapı (örneğin, elektrik şebekesi, ulaşım, sağlık sistemleri, binalar, vb.) birbirine bağlanmasını sağlar ve akıllı şehirler vizyonunu gerçekleştirmek için bir temel oluşturur (Jin ve ark., 2016).

Bu şekilde, gerçek dünyadaki gündelik nesneler benzersiz dijital kimlikler kazanır ve daha sonra bir ağa entegre edilebilir ve dijital bilgi veya hizmetlerle ilişkilendirilebilir. Gündelik nesneler, yalnızca her gün kullandığımız elektronik cihazları değil, aynı zamanda yiyecek, giyecek ve mobilya gibi; genellikle elektronik olarak hiç düşünmediğimiz "şeyleri"

IoT terimi ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından önerilmiş ve IoT'yi Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi kullanılarak benzersiz bir şekilde tanımlanabilen bağlantılı nesneler olarak adlandırmıştır (Gokhale ve ark., 2018).

IoT'nin temel fikri aygıtlar arasında bilgi alışverişine izin vermektir. Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) ve Kablosuz sensör ağları (WSN) Nesnelerin İnternetini (IoT) etkinleştiren iki temel unsurdur. RFID sistemleri, aygıtları belirleyip izleyebilirken, WSN'ler birlikte çalışarak bağlantılı sensörlerden bilgi toplayabilirler (Landaluce ve ark., 2020).

IoT fikri yeni değildir, ancak son yıllarda birçok teknolojiye ilerlemeler IoT'yi daha uygulanabilir ve yaygın hale getirmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır:

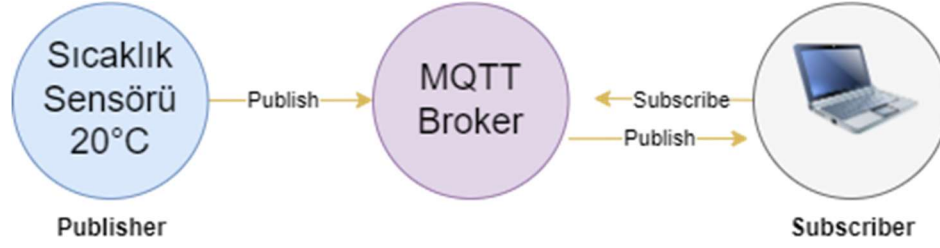
Düşük maliyetli ve düşük enerjili sensörlerin geliştirilmesi. Bu sensörler, IoT cihazlarının çevrelerini algılamasını ve veri toplamasını sağlamaktadır (Razzaque ve ark., 2013).

Ağ protokollerinin standartlaştırılması ve iyileştirilmesi, Bu protokoller, IoT cihazlarının internete ve birbirlerine güvenli ve verimli bir şekilde bağlanmasını mümkün kılmaktadır (Gillis, 2022).

Konuşma tabanlı yapay zekanın gelişmesi, Bu yapay zeka (AI), IoT cihazlarına (Alexa, Cortana ve Siri gibi dijital kişisel asistanlara) doğal dil işleme (NLP) yeteneği kazandırır ve onları daha kullanıcı dostu, uygun fiyatlı ve ev ortamına uygun hale getirmektedir.

2.18. MQTT Protokolü

MQTT, açık bir standart protokoldür ve cihazların yayın/abone modelini kullanarak mesajları ilettiği bir iletişim protokolüdür. Diğer IoT uygulama katmanı protokollerine kıyasla daha yaygın olarak kullanılmasının nedenleri, hafif yapısı, düşük bant genişliği kullanımı ve uygulama talebidir. Protokol, kullanımının kolay ve anlaşılır olması nedeniyle, kaynak sınırlı durumlarda, makine-makine (M2M), kablosuz sensör ağları (WSN) gibi durumlarda ve MQTT mesaj brokerı aracılığıyla aktüatör ve sensör düğümlerinin uygulamalarla bağlandığı IoT durumlarında iletişim için idealdir (PS ve ark., 2022).



Şekil 2. 17. MQTT mimarisi

İnternet Nesneleri (IoT) cihazları için internete bağlanmak bir gerekliliktir. İnternete bağlanmak, cihazların birbirleriyle ve arka uç servislerle çalışmasını sağlar. İnternetin temel ağ protokolü TCP/IP'dir. TCP/IP yığınının üzerine inşa edilen MQTT (Mesaj Kuyruğu Telemetri Taşıma), IoT iletişimi için standart haline gelmiştir. MQTT, ayrıca TCP/IP üzerine inşa edilen güvenli bir protokol olan SSL/TLS üzerinde de çalışabilir ve cihazlar arasındaki tüm veri iletişiminin şifreli ve güvenli olmasını sağlamaktadır. 2014 yılının sonunda resmi olarak bir OASIS açık standardı haline gelmiştir ve popüler programlama dillerinde birden fazla açık kaynaklı uygulama ile desteklenmektedir (Yuan, 2021).

MQTT, IBM tarafından 1999 yılında tasarlanan ve yayınlanan bir iletişim protokolüdür. MQTT'nin popüleritesi, 2012 yılında EMQX adlı açık kaynaklı bir MQTT brokerının GitHub'da duyurulmasıyla artmıştır. EMQX, milyonlarca cihazı destekleyebilen ve yüksek performanslı bir mesajlaşma platformu sunan bir yazılımdır. IoT alanında MQTT'nin kullanımı giderek artmaktadır. Bu bağlamda, MQTT teknolojisinde 2023 yılına kadar ortaya çıkması beklenen yedi önemli trend vardır. Bu trendler şunlardır: güvenliğin artırılması, verimliliğin iyileştirilmesi, standartlaştırmanın geliştirilmesi, bulut entegrasyonunun genişletilmesi, yapay zeka uygulamalarının çoğalması, veri analizinin derinleştirilmesi ve cihaz yönetiminin kolaylaştırılmasıdır (Shi, 2023).

2.19. Dünyada Akıllı Sokak Aydınlatma Uygulamaları

Los Angeles'ta Philips'in geliştirdiği CityTouch adlı akıllı aydınlatma yönetim sistemi, sokak aydınlatmasında önemli bir dönüşüm sağlamıştır (Anonim, 2021). Bu sistem, sokak lambalarını uzaktan ve güvenli bir şekilde kontrol etmeye, enerji kullanımını ve arızaları izlemeye, aydınlatmayı mahallelerin ihtiyaçlarına göre özelleştirmeye ve veri tabanlı olarak yönetmeye olanak tanımaktadır. Böylece Los Angeles hem enerji tasarrufu hem de güvenlik açısından fayda elde etmekte, aynı zamanda akıllı şehir olma yolunda ilerlemekte ve sokaklarını daha canlı ve hareketli hale getirmektedir (Anonim, 2015).

Singapur, 2013 yılından itibaren halka açık sokak lambalarında enerji tasarruflu LED teknolojisini kullanmaktadır. LED sokak aydınlatması, konvansiyonel sokak aydınlatmasına kıyasla yaklaşık %25 oranında daha fazla enerji verimliliği sağlamakta, daha güvenilir olmakta ve daha az bakım gerektirmektedir. LTA, 2014 yılından bu yana yaklaşık 29.000 sokak lambasını LED aydınlatma ile donatmış ve 2022 yılına kadar kalan sokak lambalarını da LED aydınlatma ile değiştirmeyi planlamaktadır. Ayrıca, hava değişikliklerine daha iyi uyum sağlamak için Uzaktan Kontrol ve İzleme Sistemi (RCMS) uygulamaya konulmuştur (Anonim, 2017).

2025 yılında karbon ayak izini sıfıra indirmektir. Bu hedefe ulaşmak için, "akıllı şehir" konsepti kapsamında sokak aydınlatmasında önemli bir iyileştirme yapılmıştır. Sokaklarda 20.000 adet akıllı LED lamba kurulmuş ve bu lambalar, geleneksel lambalara göre %65 daha az enerji tüketmektedir. Bu sayede hem enerji tasarrufu hem de çevre koruması sağlanmıştır. Ayrıca, akıllı LED lambalar, bisikletçilerin güvenliğini artırmak için özel bir özellik içermektedir. Lambalara yerleştirilen akıllı modüller, bisikletçileri algılayabilmekte ve bisikletçiler kavşaklara yaklaştıkça ışık şiddetlerini artırabilmektedir. Bu şekilde, bisikletçilerin görünürlüğü ve güvenliği sağlanmaktadır. Bisikletçi olmadığına ise ışıklar karartılmakta ve böylece gereksiz ışık yayılımı önlenmektedir (Bachanek ve ark., 2021).

Chicago, 2017 yılında akıllı aydınlatma programını başlatmıştır. Bu programın amacı, 270.000'den fazla yüksek basınçlı sodyum (HPS) lambanın enerji verimli LED lambalarla değiştirilmesidir. Şehir, bu değişikliğin her yıl yaklaşık 8,17 milyon Euro enerji tasarrufu

sağlayacağını tahmin etmektedir. LED teknolojisi, şehrin görünürlük ve güvenlik seviyesini artıran daha kaliteli ve parlak bir aydınlatma sunmaktadır. Program, ayrıca, modern bir aydınlatma yönetim sistemi oluşturmayı da hedeflemektedir. Bu sistem, aydınlatma altyapısının uzaktan izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanıyarak, bakım ve onarım süreçlerini kolaylaştırmakta ve hızlandırmaktadır (Anonim, 2021).

Miami, bağlantılı sokak lambalarının en fazla olduğu şehir olarak dünyada birinci sıradadır. Şehir konseyi, MiPlan isimli İklim Eylem Planı doğrultusunda, 2020 yılı itibarıyla karbondioksit emisyonlarını (2006 yılına kıyasla) %25 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Akıllı LED sokak lambalarına geçiş yapmak, şehir yönetimlerinin yargı yetkileri içerisindeki enerji tüketimini düşürerek karbondioksit emisyonlarını azaltmalarına imkan tanıyan stratejilerden biridir. Miami'deki bağlantılı sokak lambalarının dağıtımı, teknoloji firması Itron ve enerji şirketi Florida Power & Light tarafından gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 500.000 adet bağlantılı sokak lambası, Wi-SUN Alliance tarafından desteklenen IEEE 802.15.4g kablosuz RF mesh mimarisi kullanarak çalışmaktadır (Lueth, 2022).

Signify (eski adıyla Philips Lighting), Madrid'de bağlantılı sokak lambalarının retrofit edilmesi için bir proje gerçekleştirmiştir. Bu projede, 225.000 adet sokak lambası değiştirilmiştir. Bu sokak lambaları, 84.000 adet yerel olarak üretilen Philips LED lamba ve aydınlatma armatürü ile 141.000 adet LED olmayan aydınlatma çözümlerinden oluşmaktadır. Yeni sokak lambaları, merkezi bir komuta merkezi tarafından uzaktan izlenebilen ve kontrol edilebilen bir sistemle donatılmıştır. Bu sistem, ışık yoğunluğunun ihtiyaca göre uzaktan ayarlanmasına ve gereksiz enerji harcamasının önlenmesine olanak tanımaktadır. Madrid Şehri, bu sokak lambalarının kullanımıyla birlikte önceki sokak lambalarına göre yıllık %44 oranında enerji tasarrufu elde etmiştir. Bu proje, sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda daha kaliteli aydınlatma sunmuştur. Yeni LED sokak lambaları, daha az enerji kullanarak daha yüksek kaliteli aydınlatma sağlamıştır. Bu durum, Madrid'de daha güvenli ve daha aydınlık bir şehir ortamı oluşturmuştur (Lueth, 2022).

Grottaglie kentinde gerçekleştirilen bir proje, LoRaWAN ve GSM iletişimlerinin birleştirildiği akıllı sokak aydınlatma sistemini tanıtmaktadır. Projenin amacı, sokak aydınlatma sisteminin enerji verimliliğini ve hizmet kalitesini artırmak, işletme maliyetlerini ve karbon salınımını azaltmak ve aynı zamanda tarihi mimariyi korumaktır. ENGIE ve inteliLIGHT® firmaları proje yürütücülerini arasındadır. Mevcut sokak lambalarına inteliLIGHT® LoRaWAN uyumlu denetleyiciler monte edilmiştir. Bu denetleyiciler, LoRaWAN ağı üzerinden çalışır ve binlerce cihaz tek bir ağ geçidi ile bağlanabilir. Bu sayede, kurulum ve işletme maliyetleri düşürülebilir. Projenin hedefi, daha sürdürülebilir bir sokak aydınlatma sistemi oluşturmak ve teknolojinin mevcut mimari ve altyapı ile uyumlu olmasını sağlamaktır (Anonim, 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. ESP32

IoT, akıllı şehir sistemleri ve yerleşik sistemler hızla gelişen alanlardır. Bu gelişim, mevcut donanım modülleri ve işlemcilerin iyileştirilmesini gerektirmektedir. Geliştirme kartları, ana işlemci yongasının yanı sıra bir iletişim arayüzü ve çevre birimlerini barındıracak şekilde tasarlanmıştır (Batal, 2017).

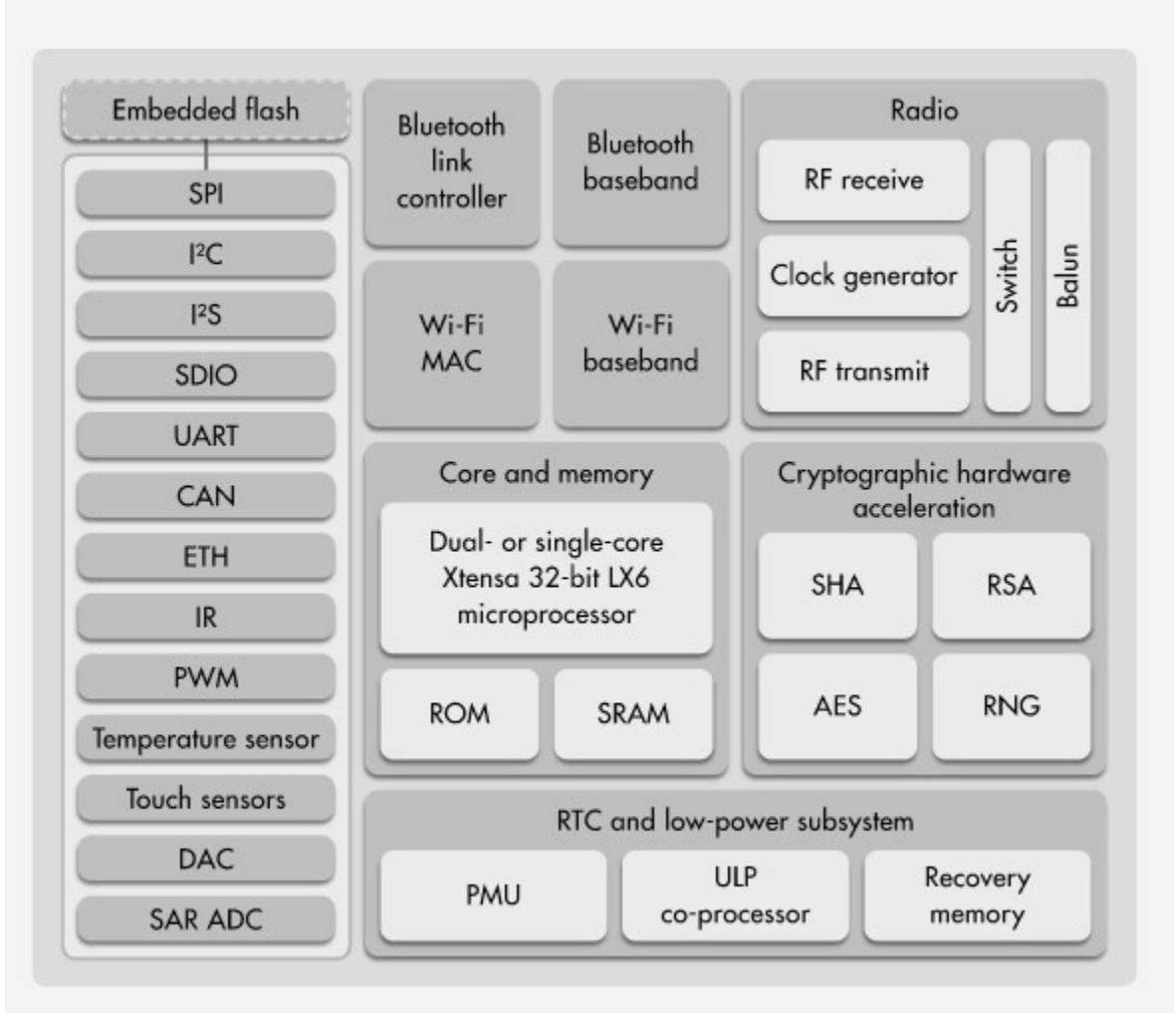
ESP32 yongası, günümüzde hem donanım varyantları hem de yazılım geliştirme çalışmaları açısından popüler bir seçenek haline gelmiştir. Geniş bir geliştirici topluluğunun yanı sıra akademisyenler de ESP8266 mikrodenetleyicinin daha gelişmiş bir versiyonu olan ESP32 yongasını kullanmaya ilgi duymaktadır (Babiuch ve ark., 2019). ESP32, Espressif Systems adlı Şanghay merkezli bir Çin şirketi tarafından tasarlanıp geliştirilmiştir.

ESP32, Wi-Fi 802.11 b/g/n ve Bluetooth 4.2 protokollerini destekleyen entegre bir kablosuz iletişim modülüne ve çeşitli giriş/çıkış birimlerine sahip güçlü bir SoC (System on Chip) mikro denetleyicidir (Babiuch ve ark., 2019).



Şekil 3. 1. ESP32 modülü

Şekil 3.2.'de ESP32 modülünün bileşenleri ve aralarındaki bağlantılar blok diyagram şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 3. 2. ESP32 blok diyagramı

ESP32 SoC yongası, 150 Mbps'ye kadar hızlarda Wi-Fi iletişimini tümleşik olarak sağlamaktadır. Ayrıca Bluetooth 4.2 standardına uygun hem Klasik Bluetooth hem de Bluetooth Düşük Enerji (BLE) modlarını desteklemektedir.

ESP32, 30, 36 ve 38 pin çıkışlı farklı modelleri olan bir SoC yongasıdır. ESP32'nin içerisinde 240 MHz'e kadar çalışma frekansına sahip Tensilica Xtensa LX6 mimarisine dayanan çift çekirdekli bir mikroişlemci bulunmaktadır.

ESP32 paketi, anten anahtarları, balun'dan RF'ye, güç yükseltici, düşük gürültülü alıcı yükseltici, filtreler ve güç yönetimi modülleri gibi yüksek entegrasyonlu bileşenleri içermektedir. Ayrıca saat senkronizasyonu ve dinamik güç ölçeklendirme gibi güç tasarrufu sağlayan özelliklere sahiptir..

ADC, SPI, I2C veya DAC gibi donanımlar içerir. Ayrıca dahili "Touch" pinleri ve "Hall Effect" sensörü bulunmaktadır. Hall effect sensörü, manyetik alandaki değişiklikleri ölçebilir. Touch pinler ise, kablo ile bağlayan metal yüzeyin dokunma sensörüne dönüşmesini sağlar. ESP32 çipinin doğru akımı μA 'dan daha azdır ve bu da onu pil gücüyle çalışan projeleri veya IoT uygulamaları için ideal araç yapar. Bu da onu pille çalışan projeleri veya IoT uygulamaları için uygun haline getirir. ESP32 geliştirme kartları pek çok versiyon mevcuttur. Aşağıdaki Şekil 3.3.'de ESP32'nin bazı versiyonlarını gösterilmektedir.



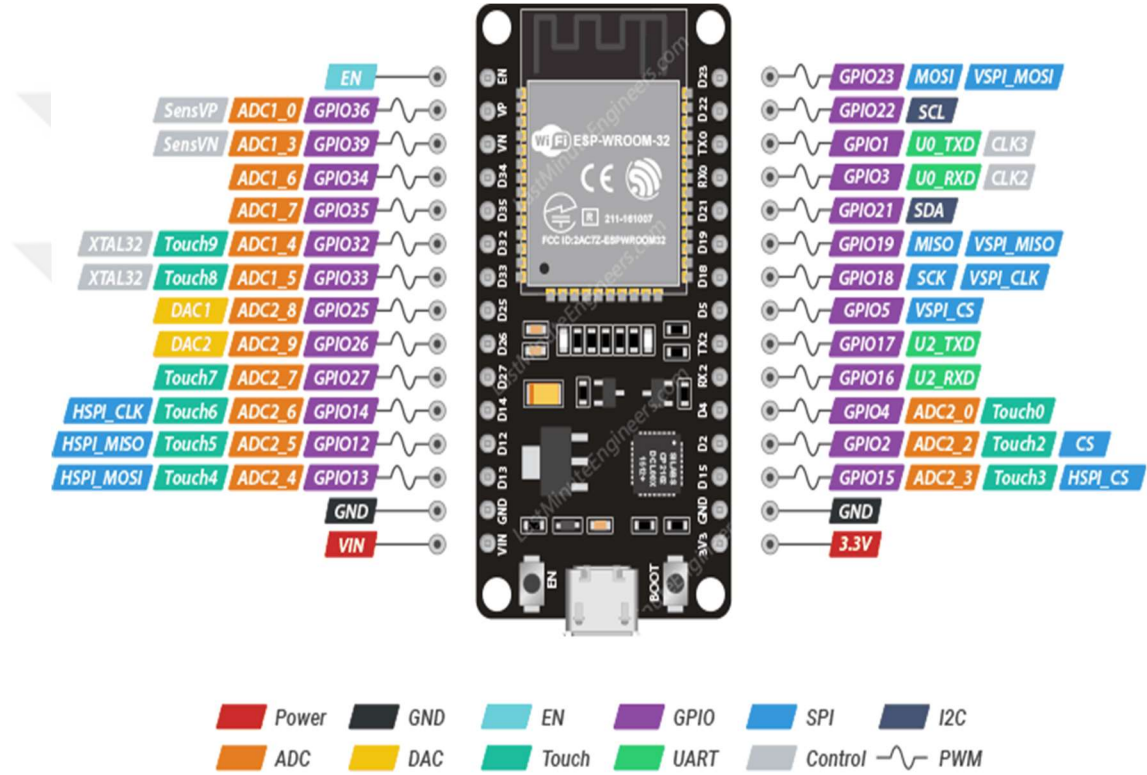
Şekil 3. 3. ESP32 bazı geliştirme kartları

ESP32'nin ESP8266'nın halefi olduğu daha önce belirtildiği gibi, ESP32, ESP8266'ya göre ek bir çekirdek, daha hızlı Wi-Fi ve daha fazla GPIO (giriş/çıkış) pinine sahiptir. Ayrıca Bluetooth 4.2 ve Bluetooth Düşük Enerji (BLE) ile uyumludur. ESP32 ve ESP8266 arasındaki farklar aşağıdaki Çizelge 3. 1.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. ESP32 ve ESP8266'nın karşılaştırılması

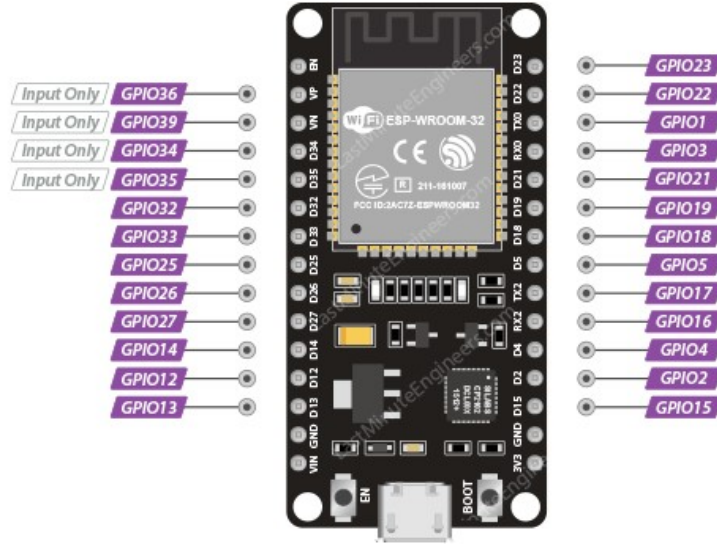
ÖZELLİKLER	ESP8266	ESP32
Mikroişlemci	Xtensa Tek çekirdekli 32 bit	Xtensa Çift Çekirdekli 32 bit
WiFi	HT20	HT40
Bluetooth	Yok	Bluetooth 4.2 ve BLE
Frekans	80 MHz	160 MHz
Flaş	Yok	520 kb
GPIO	17	30 – 36
PWM kanalı	8	16
SPI	2	4
I2C	1	2
I2S	2	2
UART	2	2
ADC	10 Bit 1 adet	12 Bit 18 adet
Touch sensör	Yok	Mevcut
Hall effect sensör	Yok	Mevcut

ESP32 geliştirme kartları, farklı versiyonlar, pin sayıları, şekiller vb. özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir. ESP32 30-pin Devkit geliştirme kartının pinout şeması Şekil 3.4.'te gösterilmiştir. Bu kart, ESP-WROOM-32 modülünü ve ESP32 ile iletişim kurmayı kolaylaştıran bazı pinleri ve bileşenleri içermektedir. Benzer işlevlere sahip pinler, gruplandırılarak belirtilmiştir.



Şekil 3. 4. ESP-32 pin diyagramı

ESP32 geliştirme kartı, programlanabilir çeşitli işlevlere atanabilen 25 GPIO pinine sahiptir, ancak bunlardan sadece 19'u hem giriş hem de çıkış olarak yapılandırılabilir. GPIO34, GPIO35, GPIO36(VP) ve GPIO39(VN) pinleri yalnızca giriş olarak yapılandırılabilir; dijital girişler, analog girişler veya diğer benzersiz amaçlar için kullanılabilir.



Şekil 3. 5. GPIO pinleri

ADC pinleri, 15 adet 12 bit ADC (Analog to Digital) giriş kanalına sahiptir ve pin üzerindeki analog voltajı dijital bir sayıya dönüştürmek için kullanılabilen GPIO'lardır. DAC pinleri ise 2 adet 8 bitlik DAC (Digital to Analog) kanalına sahiptir ve dijital sinyalleri gerçek analog voltajlara dönüştürmek için kullanılabilen GPIO'lardır.

ESP32, 9 adet kapasitif dokunmatik algılamalı GPIO'ya sahip olan Touch pinleri ve neredeyse tüm GPIO pinlerinin PWM (Darbe Genişliği Modülasyonu) kanalı olarak kullanılabilirdiği 16 adet PWM pinleri içermektedir. Ayrıca, ESP32'de bağımlı ve ana modlarda üç SPI'ye (SPI, HSPI ve VSPI) sahiptir. I2C pinleri açısından, ESP32 bu sürümünde çevre birimi bağlamasına izin veren tek bir I2C'ye sahiptir. I2C pinleri açısından, ESP32 bu sürümünde tek bir I2C'ye sahiptir ve bu, çevre birimi bağlamasına izin verir. Son olarak UART pinleri, 2 UART arayüzü. Biri seri olarak kod yüklemek için kullanılır. Akış kontrolüne sahiptirler ve IrDA'yı da desteklemektedir.

ESP32 geliştirme kartı, VIN pin'i ve 3V3 pin'i olmak üzere iki adet güç pini içermektedir. ESP32 ve çevresel bileşenler doğrudan beslemek için, 5V voltaj kaynağı kullanılarak VIN pin'i tercih edilebilir. 3.3V pini, yerleşik bir voltaj regülatörü tarafından sağlanan sabit bir çıkış gerilimi sunmaktadır. Bu pin, harici bileşenlere güç sağlamak için de kullanılabilir.

GND pin'i, ESP32 geliştirme kartının topraklama pin'idir ve devre elemanlarının doğru çalışması için gereklidir. EN pin'i ise, ESP32'yi etkinleştirmek için kullanılır. Bu pin, YÜKSEK seviyede olduğunda çip aktif hale getirilir ve DÜŞÜK seviyede olduğunda minimum güç tüketimi sağlayarak çip çalışmaya devam etmektedir.

ESP32'nin sunduğu bu özellikler, birçok farklı proje ve uygulama için kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Touch pinleri dokunmatik algılama, PWM pinleri motor ve LED kontrolü, SPI pinleri sensör ve ekranlarla iletişim, I2C pinleri çevresel bileşenlerle iletişim ve UART pinleri ise seri iletişim ve programlama işlemleri için kullanılabilir. Bu özellikler, ESP32'nin çok yönlü ve güçlü bir mikrokontrolör olduğunu göstermektedir.

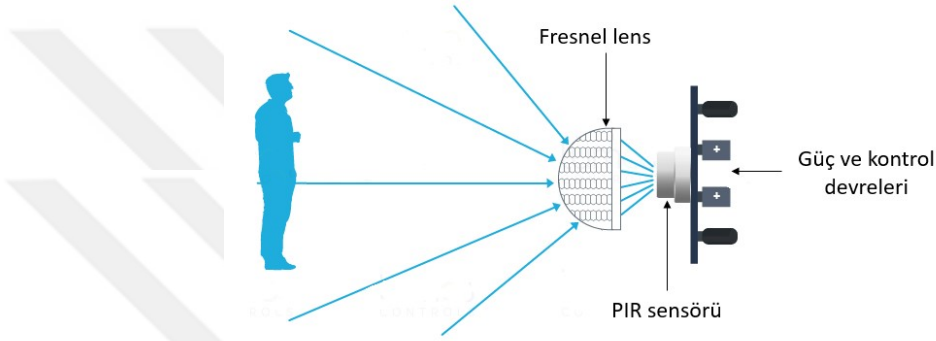
ESP32, çeşitli donanım yazılımları ve programlama dilleri ile uyumlu bir mikrodenetleyicidir. Bu programlama dilleri arasında Arduino IDE, PlatformIO IDE (VS Kodu), MicroPython, ESP IoT Development Framework ve JavaScript gibi popüler seçenekler bulunmaktadır. Bu programlama ortamları, ESP32'nin farklı uygulama alanlarına uygun olarak geliştirilmesini sağlamaktadır.

3.1.2. Hareket sensörü (PIR)

Passive Infrared sensor'in kısaltması olan PIR sensör türkçe karşılığı olarak da 'pasif kızılötesi' olarak bilinmektedir. PIR (pasif kızılötesi) sensörleri, ısı yayan tüm nesnelerden yayılan kızılötesi ışınların algılanmasını alarak hareketi algılamak için kullanılan bir sensördür. Bu tür bir emisyon insan gözü tarafından görülmez, ancak kızılötesi dalga boylarını kullanarak çalışan sensörler bu tür emisyonları tespit edebilir. kızılötesi dalga boylarının hareketi yoluyla insanların, hayvanların ve nesnelerin varlığını algılayabildiğinden dolayı genellikle PIR, "Pasif Kızılötesi", "Pyroelektrik" veya "IR hareket" sensörleri olarak adlandırılırlar.

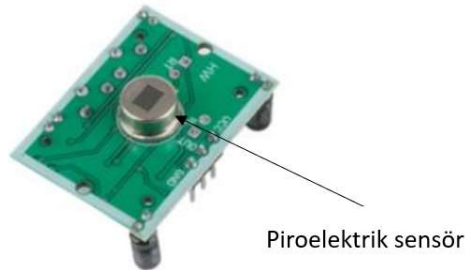


Şekil 3. 6. PIR sensörü



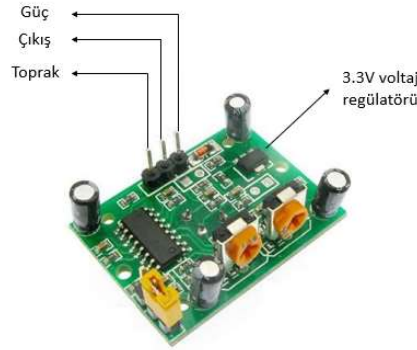
Şekil 3. 7. PIR çalışma prensibi

PIR sensörünün ana bileşeni, plastik kapağın arkasında bulunan piroelektrik sensördür. Piroelektrik sensör ikiye bölünmüştür. Bu iki yarı birbirlerini iptal edecek şekilde birbirine bağlanmıştır. Hareket olmadığında her iki yarı aynı miktarda IR radyasyonu almaktadır. Bir nesne sensörden geçtiği zaman bir yarıda alınan IR radyasyon seviyesi diğer yarıdaki radyasyondan daha fazla olur. PIR bu değişikliğe tepki verip çıktıyı yüksek hale getirir. Algılama aralığı 6 m'ye kadardır ve gücü AÇIK olduğunda çevreye göre kendini stabilize etmek biraz zaman almaktadır (Sahoo & Pati, 2017).



Şekil 3. 8. Piroelektrik sensör

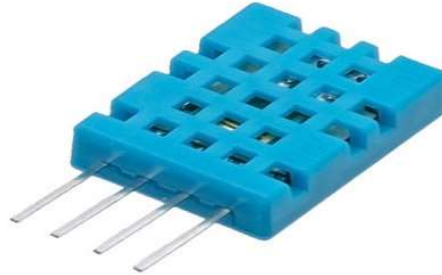
PIR hareket sensörü güç, çıkış ve toprak olmak üzere üç çıkış pini vardır. Modülün içinde bir pasif kızılötesi (PIR) denetleyici bulunur. Piroelektrik sensörün çıktısını alıp bir dijital çıkış darbesi yaymak için üzerinde bazı küçük işlemler yapar. Modül 3,3 V hassas voltaj regülatörü ile birlikte gelir, bu nedenle yaygın olarak 5 V kullanılmasına rağmen 4,5 ila 12 volt arasındaki herhangi bir DC voltajı ile çalıştırılabilir.



Şekil 3. 9. PIR pin yapısı

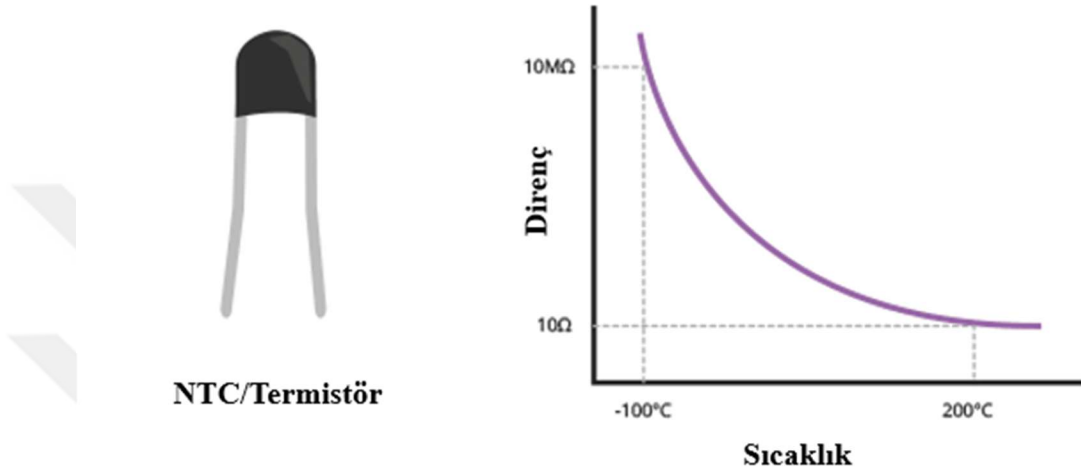
3.1.3. Sıcaklık ve nem sensörü (DHT11)

DHT11 sensör, kalibre edilmiş bir dijital çıkış sinyali veren birleşik bir nem ve sıcaklık algılayıcı birimdir. DHT11 çok hassas bir kalibrasyon özelliğine sahiptir. Yüksek güvenilirlik ve uzun vadeli kararlılık sağlar (Srivastava ve ark., 2018).



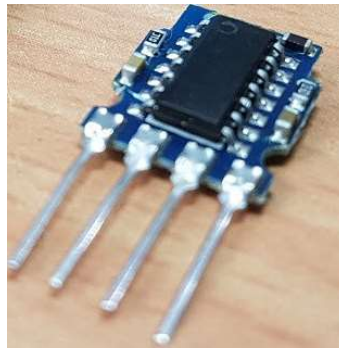
Şekil 3. 10. BHT11 sensör

DHT11 sıcaklığı ölçmek için bir NTC/Termistör içermektedir. Termistörün direnci sıcaklığa göre büyük ölçüde değişen bir termal dirençtir. “NTC” terimi “Negatif Sıcaklık Katsayısı” sıcaklığın artmasıyla direncin azaldığı anlamına gelmektedir.



Şekil 3. 11. Termistör karakteristiği (NTC)

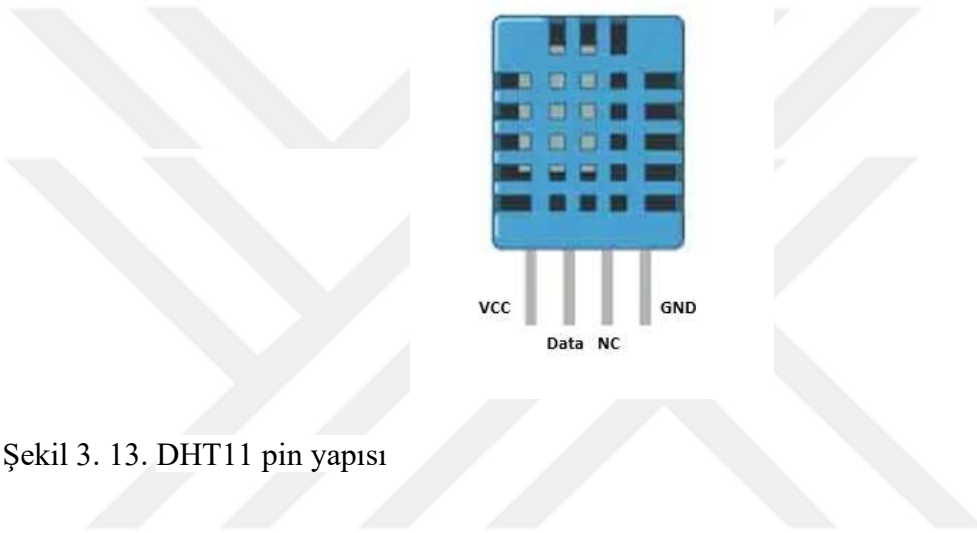
Diğer tarafta ise hızlı yanıt verme özelliğine sahip uygun maliyetli dahili 8 bitlik bir mikrodnetleyici içermektedir. Mikrodnetleyici saklanan kalibrasyon katsayılarıyla analog sinyali ölçüp işler, Analog sinyalleri dijitale dönüştürüp bir sıcaklık ve nem dijital bir sinyali vermektedir.



Şekil 3. 12. 8 bitlik mikrodnetleyici

DHT11'in $\pm 2^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle $0 - 50^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklığı ve $\pm 5\%$ doğrulukla $20 - 95$ arasındaki nemi ölçebilir.

Bu kalibrasyon katsayısı OTP program belleğinde saklanır, böylece iç sensör sıcaklık veya nem algıladığında bu birim sensör katsayısını okur. 20 metreye kadar sinyal iletimi sağlayan düşük güç tüketimi ve küçük boyutlu sensördür (Novelan & Amin, 2020).



Şekil 3. 13. DHT11 pin yapısı

Çizelge 3. 2. DHT11 pinlerin açıklaması

Pin	Açıklama
Vcc	Güç kaynağı 3,5V - 5,5V
Data	Seri veriler aracılığıyla sıcaklık ve nemi vermektedir
NC	Bağlantı yok ve bu nedenle kullanılmaz
Ground	Topraklama pin'idir

3.1.4. Lityum piller

Lityum piller, düşük enerji tüketimi, yüksek güvenilirlik ve uzun ömür gerektiren uygulamalarda kullanılan bir pil türüdür. Lityum piller, özellikle saatler, kameralar ve hesap makineleri gibi küçük boyutlu ve taşınabilir cihazlarda tercih edilmektedir. Bu piller, pilin ağırlığını azaltan ve taşınabilirliğini artıran düşük yoğunluklu ve hafif bir kimyasal element olan lityum içerir. Bu sayede çeşitli elektronik ve elektrikli cihazların işlevselliği ve verimliliği artmaktadır.

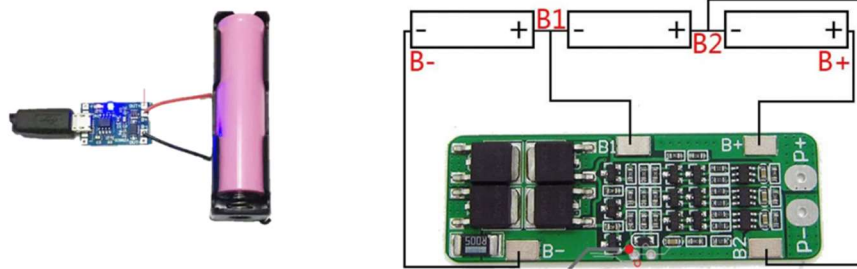
Lityum-iyon piller, birincil pillerden farklı olarak elektrot malzemesi olarak lityum metal yerine lityum bileşikleri içeren şarj edilebilir pil çeşididir. Bu piller, nikel ve kadmiyum pillere göre daha hızlı şarj olma ve daha yavaş deşarj olma kapasitesine sahiptir. Bu özellikler, lityum-iyon pilleri pek çok uygulama alanı için uygun kılmaktadır. Dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonları gibi elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılan lityum-iyon piller, yüksek enerji yoğunluğu ile tanımlanmaktadır.

Lityum-iyon piller, pil kapasitesinin %80'ine ulaştıktan sonra hızlı şarj modundan yavaş şarj moduna geçerler. Bu iki evreli şarj işlemi, pil performansını artırır ve kullanıcıya zaman tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, lityum-iyon piller, kurşun asit pillerin aksine absorpsiyon fazına gerek duymazlar. Bu nedenle, bu pil türü şarj etmek için farklı enerji kaynakları kullanılabileceği için gerekli esnekliği sağlamaktadır (Anonim).

Lityum İyon Pillerin benzersiz türlerden biri olmasına rağmen bazı dezavantajları da vardır:

- Üretimden sonra sadece 2 ila 3 yıl kullanılır.
- Yüksek sıcaklıklara karşı hassastır.
- Batarya tamamen boşalmışsa tekrar şarj edilemez.
- Nispeten pahalıdır.
- "Ayırıcı" hasar görürse patlayabilir.

Lityum pilleri şarj etmek için tek bir pil için basit bir şarj devresi kullanılır. Fakat birden fazla pil varsa yük dengeleme devreleri (BMS devresi gibi) kullanılır.



Şekil 3. 14. Lityum iyon pillerin şarj edilmesi

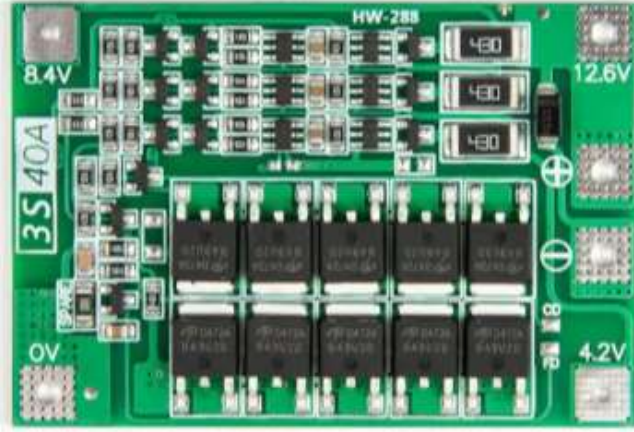
3.1.5. Batarya yönetim sistemi (BMS)

BMS (Battery Management System), şarj ve deşarj sırasında pillerin güvenli çalışma aralığının dışına çıkmamasını sağlayan bir sistemdir. Bu sistem, şarj ve deşarj sırasında voltaj, akım ve kısa devre gibi parametreleri izleyerek koruma fonksiyonu gerçekleştirmektedir. Ayrıca BMS, güvenlik ve performansı optimize etmek için pilin Şarj Durumu (SoC) ve Sağlık Durumu (SoH) gibi durumlarını tahmin etmektedir. Böylece pil paketinin aşırı şarj veya aşırı deşarj olmasını önleyerek potansiyel patlama riskini azaltır. Dolayısıyla BMS, pil ve kullanıcı güvenliğini sağlamak için en önemli cihazlardan biridir.

Batarya yönetim sistemleri, günümüzde pek çok teknolojik cihazda ve özellikle taşınabilir elektronik cihazlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler, bataryanın verimli ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için çalışma parametrelerini (voltaj, sıcaklık vb.) izlerler. Bu parametrelerin izlenmesi, bataryanın performansını ve ömrünü arttırırken, aynı zamanda bataryanın aşırı ısınması, aşırı şarjı veya aşırı deşarjı gibi risklerin önlenmesine de yardımcı olur.

Batarya yönetim sistemleri, teknolojik cihazların verimli ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için önemli bir bileşendir. Bu sistemler, bataryaların ömrünü uzatırken, aynı zamanda güvenliğini de sağlar ve bataryaların verimli bir şekilde

kullanılmasını mümkün kılar. Bu nedenle, batarya yönetim sistemleri, günümüz teknolojisinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.



Şekil 3. 15. 3S BMS lityum batarya koruyucu

BMS'nin dört temel işlevsel bloğu vardır. Bunlar şunlardır:

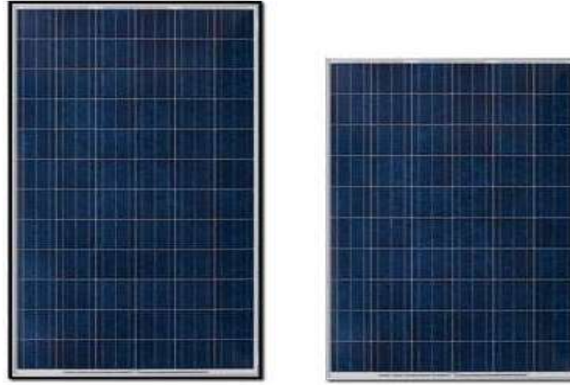
- Kesme FET sürücüsü: Bu sürücü, pil ile şarj cihazı arasında izolasyon görevi görür. Pil paketinin yüksek gerilimli ve düşük gerilimli tarafını birbirine bağlamak için kullanılır.
- Yakıt göstergesi: Bu gösterge, pil paketine giren ve çıkan şarj miktarını takip eder. Bunun için Coulomb sayımı adı verilen bir yöntem kullanır. Bu yöntemde, pil paketinden geçen akımın zamana bağlı integrali alınır ve pilin şarj durumunu (SOC) belirlemek için kullanılır.
- Hücre voltajı izleme: Bu izleme, pil sağlığının belirlenmesine yardımcı olur.
- Sıcaklık monitörü: Pillerin yüksek akım sağlama kapasitesi teknolojik gelişmelerle artmıştır. Ancak yüksek akım, pil sıcaklığının ani olarak yükselmesine ve pillerin patlama riskine yol açabilir. Bu sebeple, sıcaklık monitörü, pil sıcaklığının nominal değerden ayrılmasını önlemek için kesme FET'lerinin çalışmasını sağlar.

3.1.6. Güneş paneli

"Güneş pilleri", "PV panelleri" veya "fotovoltaik hücreler" olarak da bilinen güneş panelleri, "foton" adı verilen enerji parçacıklarından oluşan güneş ışığını elektrik yüklerine güç sağlamak için kullanılabilecek elektriğe dönüştüren bir cihazdır. Tek bir güneş pili doğrudan güç kaynağı olarak kullanılamaz. Güç kaynağı için, bir modül oluşturmak için birkaç ayrı güneş pili dizisi paralel olarak bağlanmalı ve hava geçirmez şekilde kapatılmalıdır.

Güneş panelleri, güneş enerjisi sisteminin ana bileşenidir. Güneş enerjisi çok eski bir teknolojidir, ancak güneş panellerinin verimliliği son yıllarda belirgin bir şekilde artmıştır.

Güneş pillerinin büyük çoğunluğu yarı iletken malzemelerden silikon gibi yapılmaktadır. Silikon malzemeyi dış etkenlerden ve çizilmelerden korumak için güneş panelinin üzerine cam kapak yerleştirilir. Güneş pilleri, elektrik üretmek için kimyasal reaksiyonlara veya yakıta ihtiyaç duymazlar ve elektrik jeneratörleri dışında hareketli parçaları yoktur. Panel, bir çerçevede birbirine seri veya paralel bağlanmış bir grup PV hücresinden oluşmaktadır.



Şekil 3. 16. Güneş paneli

Güneş panelinin çalışma prensibi, güneş paneline ulaşan güneş ışığının silikon metalden oluşan güneş hücrelerinde voltaj farklılıkları yaratması ve böylece elektrik akımının oluşmasıdır.

Güneş hücreleri, fosfor ile katkılanmış bir üst tabaka ve bor ile katkılanmış bir alt tabaka ile kaplıdır. Üst tabaka, güneş enerjisini elektriğe dönüştürme kapasitesini artırırken, alt tabaka, üretilen elektrik enerjisinin aktarılmasını sağlamaktadır.

Tek bir panel, güneş enerjisini soğuracak şekilde dizayn edilmiş birçok hücreden oluşur ve güneş hücrelerini dış etkilere ve hasarlara karşı korumak için cam bir tabaka ile örtülmektedir.

3.1.7. MPPT (Maximum Power Point Tracking)

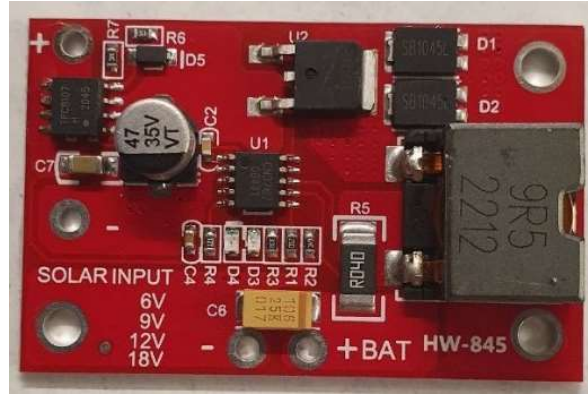
MPPT, bir elektronik DC-DC dönüştürücü olup, güneş paneli (PV panelleri), pil bankası veya elektrik şebekesi arasındaki uyumu sağlamaktadır. Basitçe söylemek gerekirse, güneş panellerinden (ve birkaç rüzgar jeneratöründen) gelen yüksek voltajlı DC akımını, pilleri şarj etmek için gereken düşük voltaja dönüştürmektedir.



Şekil 3. 17. DC-DC dönüştürücünün çalışma prensibi

MPPT (Maksimum Güç Noktası Takibi), güneş enerjisi panelleri (PV panelleri-fotovoltaik paneller) ve rüzgar jeneratörleri ile aküleri daha verimli şarj etmekte kullanılan bir yöntemdir.

Bu tekniğin amacı, güneş paneli hücrelerinin anlık ve değişken enerji üretimine uyum sağlamak için özel bir algoritma ile en yüksek güç noktası tespit edilmektedir. Bu sayede, güneş panelinden gelen elektrik akımı, akü şarjı için ideal olan voltaja dönüştürülmektedir. Bu şekilde, hem güneş panelinin hem de akünün performansı artmakta ve enerji kaybı azalmaktadır.



Şekil 3. 18. MPPT Solar Panel 12V

3.1.8. LM7805 voltaj regülatörü

LM7805 Voltaj Regülatörü IC, elektronik projelerinin çoğunda uygulamasını bulan, yaygın olarak kullanılan bir voltaj regülatörüdür.

Sabit bir 5V çıkış sağlayan üç ayaklı pozitif voltaj regülatörü, bir soğutucu ile birlikte kullanıldığında 1A'e kadar çıkış akımı sağlayabilir. Sabit gerilim kaynağı olmasının yanı sıra minimum 5V ile ayarlanabilir gerilim kaynağı olarak da kullanılabilir.



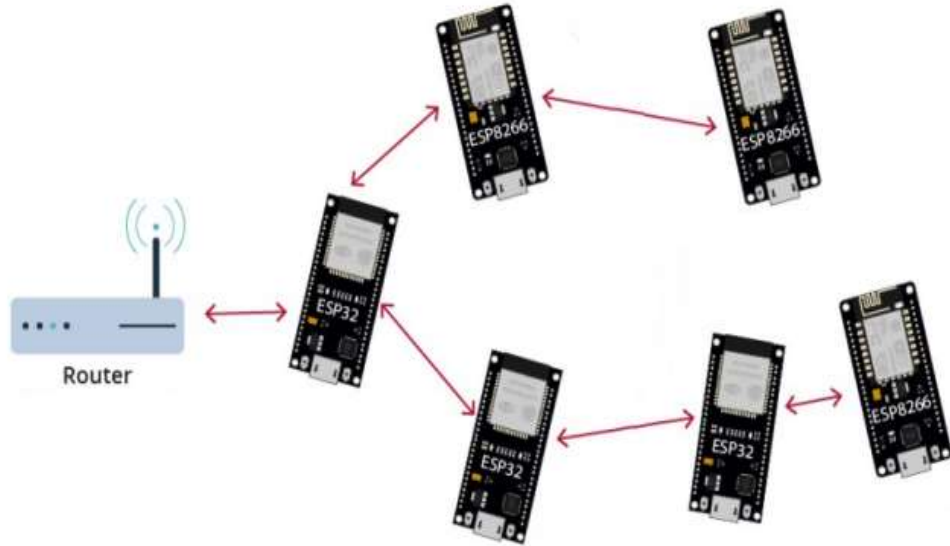
Şekil 3. 19. LM7805 voltaj regülatörü

Çizelge 3. 3. LM7805 pin yapısı

Pin numarası	Pin	Açıklama
1	Giriş (V+)	7V ila 35V olması gerekmektedir. Düzensiz giriş voltajıdır
2	Toprak (Gnd)	Toprağa bağlanır
3	Çıkış (Vo)	Çıkışlar düzenlenmiş +5V

3.1.9. ESP mesh

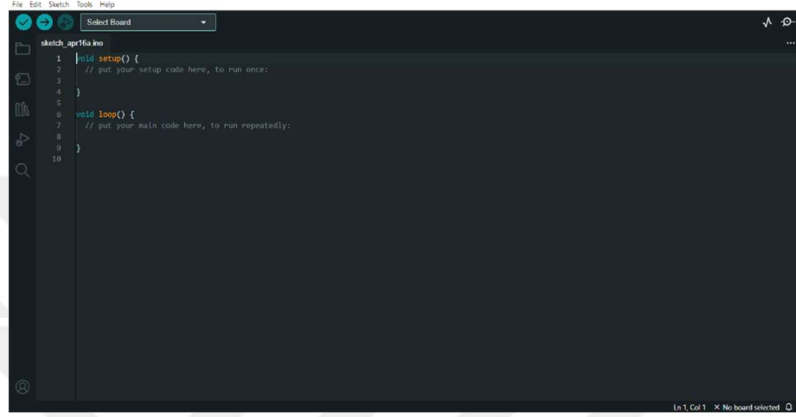
Esp-Mesh, düğümlerin bir merkezi düğüme bağlı olmasını gerektirmeyen bir ağ protokolüdür. Düğümler, birbirleriyle iletişim kurarak veri aktarımından sorumludurlar. Bu sayede, çok sayıda cihazın geniş bir fiziksel alana dağılması mümkün olur. Düğümler, kendi kendilerini yönetebilir ve paketlerin son düğüm hedefine ulaşması için birbirleriyle dinamik olarak iletişim kurabilir. Ağdan herhangi bir düğüm çıkarıldığında veya arızalandığında, diğer düğümler bağımsız olarak yeniden yapılandırılır ve paketlerin hedefine ulaşmasını sağlamaktadır. Esp-Mesh, ağın güvenilirliğini ve esnekliğini artıran bir teknolojidir.



Şekil 3. 20. ESP Wi-Fi-Mesh ağ mimarisi

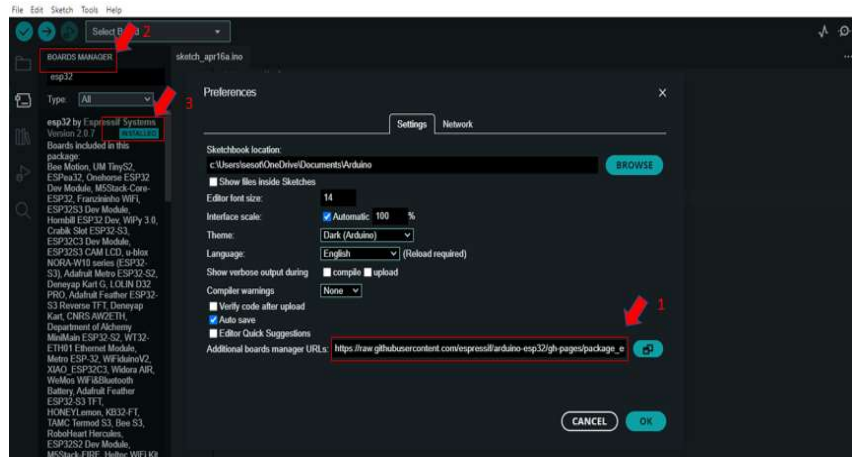
3.1.10. Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) bilgisayarda kod yazmak ve bu kodu fiziksel kartla iletişim kurarak yüklemek için kullanılan bir yazılımdır.



Şekil 3. 21. Arduino IDE program arayüzü

Arduino IDE, ESP32 kartlarını programlamak için bir eklenti sunmaktadır. Bu eklentiye yüklemek için Arduino IDE'nin tercihler bölümüne Espressif'in sağladığı bir JSON dosyasının bağlantısını eklemek gerekmektedir. Ardından, Arduino IDE'nin kart yöneticisi aracılığıyla ESP32 kartlarını seçip indirmek gerekmektedir. Böylece Arduino IDE, ESP32 ile uyumlu hale gelir. Espressif, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi JSON dosyasına bir bağlantı sağlamıştır.

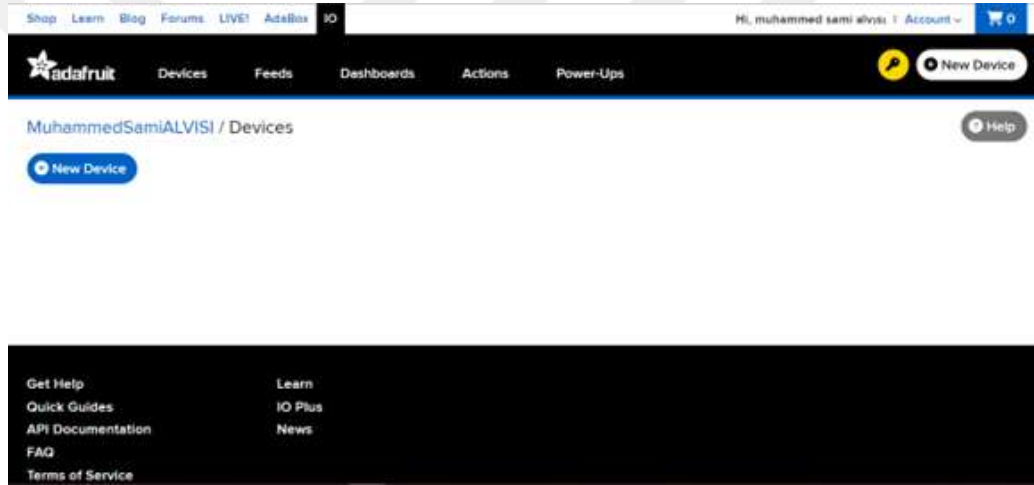


Şekil 3. 22. Arduino IDE'de ESP32 eklentisinin yüklemesi

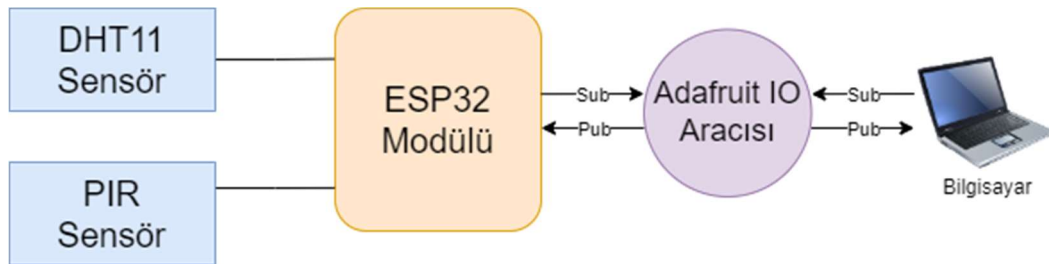
3.1.11. Adafruit IO

Adafruit IO, diğer birçok bulut hizmeti gibi öncelikle verileri almak ve depolamak için tasarlanmış IoT cihazları için entegre bir bulut hizmetidir (Menon ve ark., 2022).

Bu platform, kullanıcıların çeşitli donanım platformlarıyla uyumlu basit istemci kütüphaneleri aracılığıyla veri gönderip almasına olanak tanımaktadır. Adafruit IO, verileri gerçek zamanlı olarak görselleştirmek ve web tabanlı gösterge panolarında yönetmek için araçlar sunmaktadır. Adafruit IO, ücretsiz olarak kullanılabilen bir platformdur, ancak daha fazla veri noktası, depolama süresi, eylem sıklığı ve SMS bildirimi gibi ek özellikler için Adafruit IO Plus adlı ücretli bir plan da mevcuttur (Anonim, 2018).



Şekil 3. 23. Adafruit arayüzü



Şekil 3. 24. Adafruit IO ile ESP32'nin blok diyagramı

3.2. Yöntemler

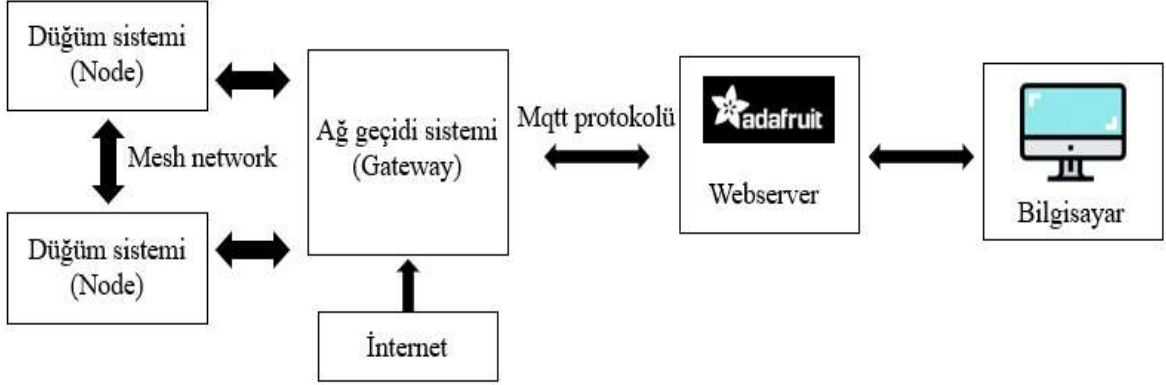
3.2.1. Sistemimize genel bakış

Akıllı sokak lambası kontrol sistemimiz, Şekil 3.25'teki görüldüğü üzere dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar şunlardır:

- Ağ geçidi, akıllı sokak lambalarının merkezi kontrol birimidir. Lambaların çalışma durumunu ve enerji tüketimini sürekli olarak izler, aydınlatma seviyelerini ortam koşullarına göre ayarlar ve web sunucusuna periyodik olarak veri göndermektedir.
- İki düğüm, bir akıllı aydınlatma sisteminin temel bileşenleridir. Her bir düğüm, sokak lambalarının aydınlatma seviyesini kontrol eden elektrik devreleri ve akıllı bir kontrol cihazı içermektedir. Bu kontrol cihazı, ağ geçidi aracılığıyla iletişim kurarak sensörlerden gelen verileri işler ve lambaların aydınlatma seviyelerini buna göre ayarlar. Bu sayede, sokak lambalarının aydınlatma seviyeleri, çevredeki ışık seviyesine ve trafiğe göre otomatik olarak ayarlanabilmektedir.
- Modem, ağ geçidi ile web sunucusu arasındaki haberleşmeyi sağlar. Kablosuz ağ teknolojileri kullanarak veri aktarmaktadır.
- Kullanıcı olarak web sunucusu, kullanıcının akıllı sokak lambası kontrol sistemine erişmesini sağlar. Kullanıcı, web arayüzü üzerinden lambaların durumunu görüntüleyebilir, aydınlatma seviyelerini değiştirebilir ve enerji tasarrufu raporlarını alabilmektedir.



Şekil 3. 25. Kontrol sisteminin blok diyagramı



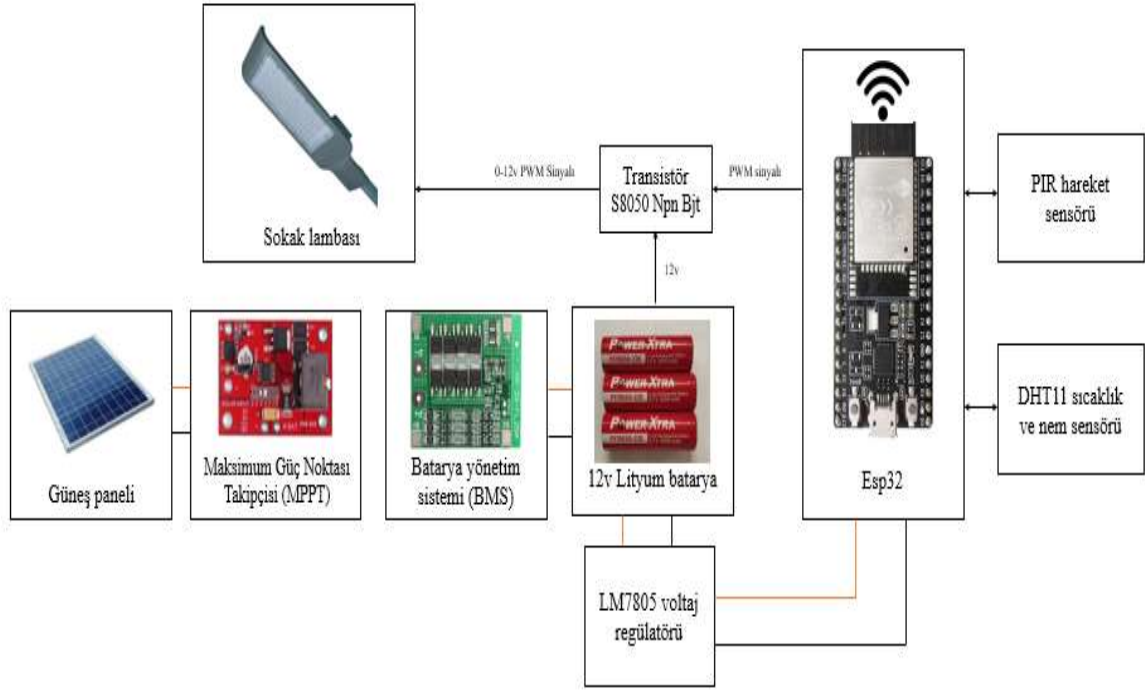
Şekil 3. 26. Sistemin genel diyagramı

Akıllı sokak aydınlatma sisteminiz, sokak lambalarını otomatik olarak yönetmeye yarayan bir sistemdir. Bu sistem sayesinde, sokak lambalarının çalışma süresi ve parlaklığı ihtiyaca göre otomatik olarak ayarlanabilir. Ayrıca, sokak lambalarının ne kadar ışık yaydığı, hava durumu, pillerin şarj seviyesi gibi önemli bilgiler toplanır ve bilgisayarda görüntülenir.

Düğümmler birbirine mesh network üzerinden bağlanır. Ağ geçidi, nodelerden gelen verileri toplar ve internete bağlanarak web sunucusuna gönderir.

Bu veriler, MQTT protokolü aracılığıyla Adafruit IO platformu üzerindeki oluşturduğumuz web sunucusuna gönderilir. Web sunucusu, kullanıcıya bu verileri görsel olarak bilgisayar ekranında sunar. Kullanıcı, web sunucusu üzerinden sokak lambalarının durumunu izleyebilir. Bu sistem, enerji tasarrufu, güvenlik, bakım kolaylığı ve çevre koruması gibi avantajlar sağlamaktadır.

Sisteminizdeki her sokak lambası, Şekil 3.27’de görüldüğü üzere şu bileşenlerden oluşmaktadır: LED, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, PIR hareket sensörü, solar panel, batarya yönetim sistemi, anahtarlama devresi, DC düşürücü veya LM7805, MPPT kartı ve ESP32. Bu bileşenler, sokak lambalarının çalışmasını ve sensör verilerinin iletilmesini sağlamaktadır.

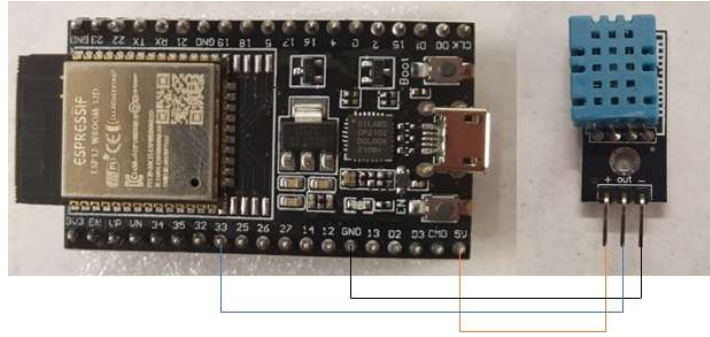


Şekil 3. 27. Sokak lambalarının bileşenleri

3.2.2. DHT11 sensörü ile sıcaklık ve nem ölçümü

DHT11 sıcaklık ve nem sensörünü test etmek için öncelikle ESP32 mikrodnetleyicisi ile DHT11 sensörü arasındaki bağlantıları yapılması gerekmektedir. DHT11 sensörü, ESP32 mikrodnetleyicisi ile bağlantı kurmak için aşağıdaki Şekil 3.28.'de gösterildiği gibi bağlanmıştır.

Bu bağlantılar, DHT11 sensörünün VCC pini ESP32'nin 3.3V çıkışına, GND pini ESP32'nin GND (toprak) çıkışına ve DATA pini ise ESP32'nin 33 numaralı GPIO pinesine bağlanacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 3. 28. ESP32- DHT11 bağlantı devresi

Daha sonra, Arduino IDE gibi bir programlama ortamı açarak, ESP32 mikrodeneleyicisine DHT11 sensöründen veri okumak için uygun kodları yazılmıştır. Aşağıdaki kod örneğin, ESP32 mikrodeneleyicisi ile DHT11 sensörü arasındaki bağlantının yapıldığı devredeki sıcaklık ve nem verilerini okuyarak seri monitöre yazdırmaktadır.

```

42  delay(2000);
43
44  // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
45  // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
46  float h = dht.readHumidity();
47  // Read temperature as Celsius (the default)
48  float t = dht.readTemperature();
49  // Read temperature as Fahrenheit (isFahrenheit = true)
50  float f = dht.readTemperature(true);
51
52  // Check if any reads failed and exit early (to try again).
53  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
54      Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
55      return;
56  }
57
58  // Compute heat index in Fahrenheit (the default)
59  float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
60  // Compute heat index in Celsius (isFahrenheit = false)
61  float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
62
63  Serial.print(F("Humidity: "));
64  Serial.print(h);
65  Serial.print(F("% \tTemperature: "));
66  Serial.print(t);
67  Serial.println(F("°C "));
68  // Serial.print(hic);
69  // Serial.print(F("°F "));

```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM13')

```

U...DHT11 test!
Humidity: 61.00%    Temperature: 24.80°C
Humidity: 61.00%    Temperature: 24.80°C
Humidity: 61.00%    Temperature: 24.80°C
Humidity: 61.00%    Temperature: 24.80°C
Humidity: 60.00%    Temperature: 24.80°C
Humidity: 60.00%    Temperature: 24.80°C

```

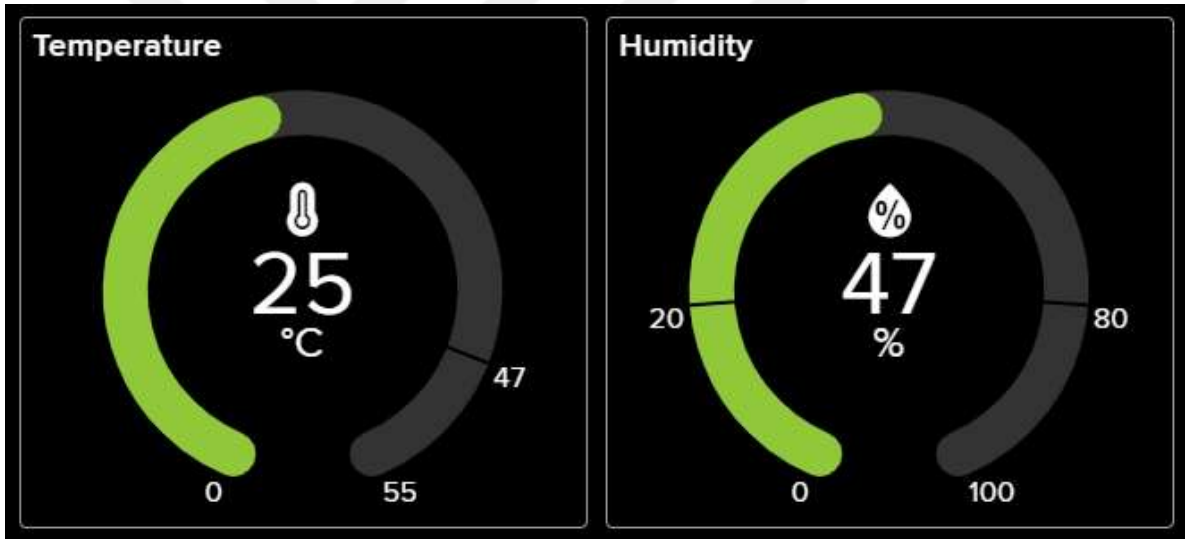
Şekil 3. 29. DHT11 modülünün ESP32 ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü

Yukarıdaki kodu ESP32 mikrodenetleyicisine yükledikten sonra seri monitörü açarak DHT11 sensöründen okunan sıcaklık ve nem değerlerini izlenmiştir.

3.2.3. Nem ve sıcaklık verileri gösterge panelinde görüntülenmesi

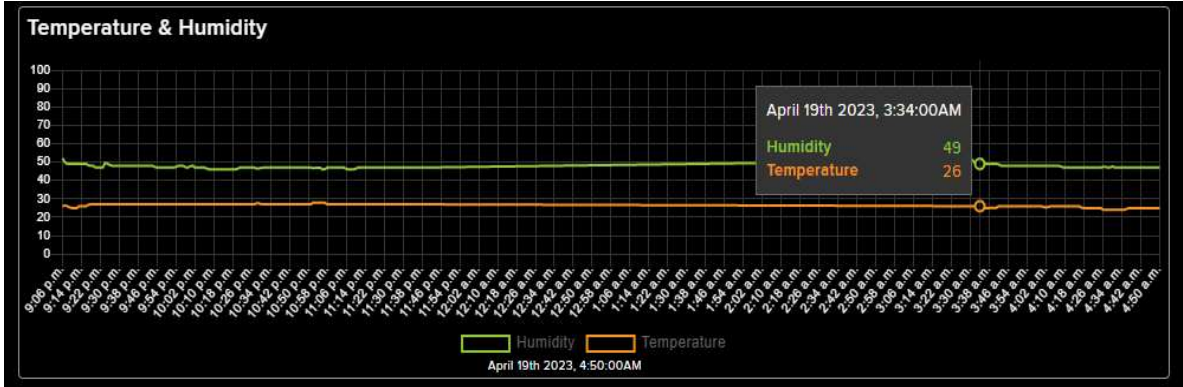
ESP32 ve DHT11 sensörü ile ölçülen nem ve sıcaklık değerleri, Adafruit IO platformu ile entegre edilen bir dashboard (gösterge paneli) üzerinde kullanıcılara sunulabilmektedir.

Şekil 3.30.'ta gösterildiği gibi, adafruit IO aracılığıyla görüntülenen gösterge paneli, kullanıcılara ölçülen nem ve sıcaklık değerlerini görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3. 30. Adafruit IO kontrol panelinde anlık olarak görüntülenen sıcaklık ve nem sonuçları

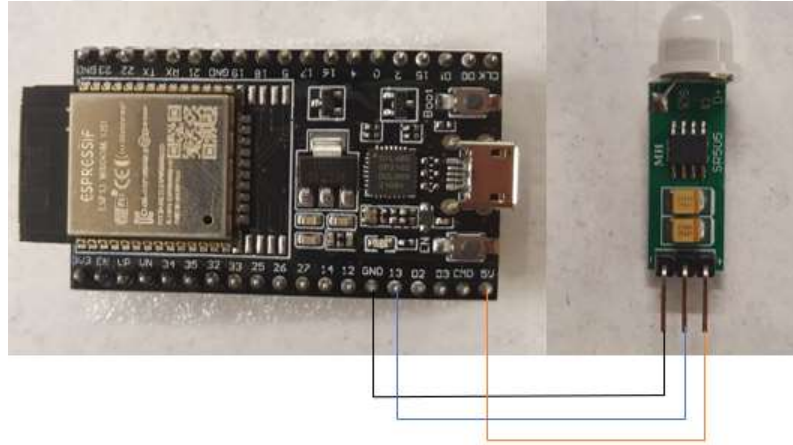
Adafruit IO platformu, kullanıcılara ölçülen nem ve sıcaklık değerlerini izlemek için farklı grafik seçenekleri sunmaktadır. Şekil 3.31'de görüldüğü gibi, gösterge paneli kullanıcılara ölçülen nem ve sıcaklık değerlerinin yanı sıra, son 24 saat boyunca ölçülen verilerin grafiksel olarak gösterilmesine de olanak tanır. Bu sayede, kullanıcılar nem ve sıcaklık değerlerindeki değişiklikleri daha ayrıntılı bir şekilde analiz edebilirler.



Şekil 3. 31. Adafruit IO ile 24 saatlik süreçte nem ve sıcaklık değerleri grafiksel olarak izlenmesi

3.2.4. PIR sensörü HC-SR505'nin pin bağlantısı ve konfigürasyonu

Sensörün pin 1'i sol tarafta toprağa, yani GND'ye bağlanmıştır. Pin 2, sensör verilerinin okunması için kullanılan 13 numaralı GPIO pine bağlanmıştır. Pin 3 ise sağ tarafta yer alan +5V güç kaynağına bağlanmıştır.



Şekil 3. 32. HC-SR505 PIR sensörünün ESP32 ile bağlantı devresi

```
1  /*
2   PIR sensor
3   */
4
5  #define timeSeconds 2
6
7  const int motionSensor = 13;
8
9  bool pirDetected = false;
10
11
12 void IRAM_ATTR detectsMovement() {
13     pirDetected = true;
14 }
15
16 void setup() {
17     // Serial port for debugging purposes
18     Serial.begin(9600);
19
20     // PIR Motion Sensor mode INPUT_PULLUP
21     pinMode(motionSensor, INPUT_PULLUP);
22     // Set motionSensor pin as interrupt, assign interrupt function and set RISING mode
23     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(motionSensor), detectsMovement, RISING);
24
25     Serial.println(F("\nPIR test!"));
26 }
27
28 void loop()
29 {
30
31     if(pirDetected) {
32         Serial.println("MOTION DETECTED!!!");
33         pirDetected = false;
34     }
35 }
36
```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM13')

MOTION DETECTED!!!
MOTION DETECTED!!!
MOTION DETECTED!!!
MOTION DETECTED!!!
MOTION DETECTED!!!

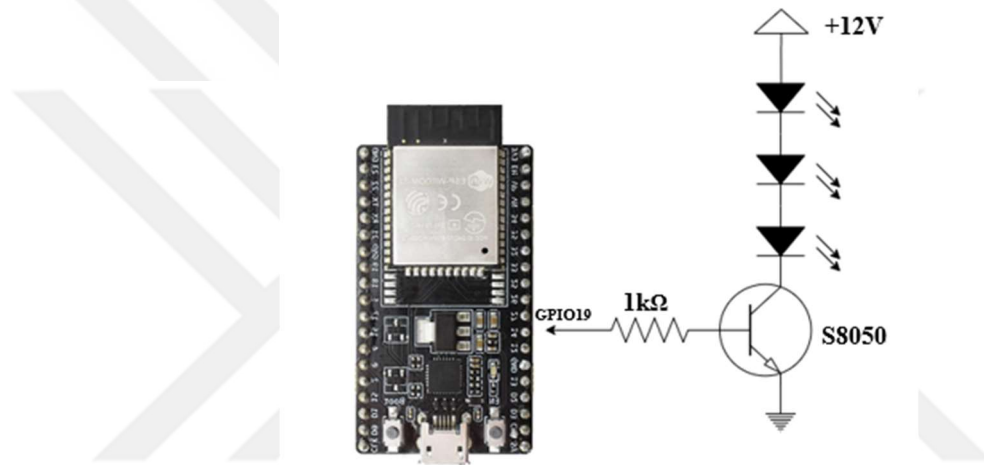
Şekil 3. 33. HC-SR505 modülünün ESP32 ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü

3.2.5. LED kontrolü

LED (Sokak lambası) kontrolü için S8050 Npn Bjt transistörü kullanılmıştır. Bu transistör, düşük voltajlı ve yüksek akımlı devrelerde kullanılabilen bir transistördür. 0.5A kollektör akımına sahip olup 25V'lık Kollektör-Emiter gerilimine sahiptir.

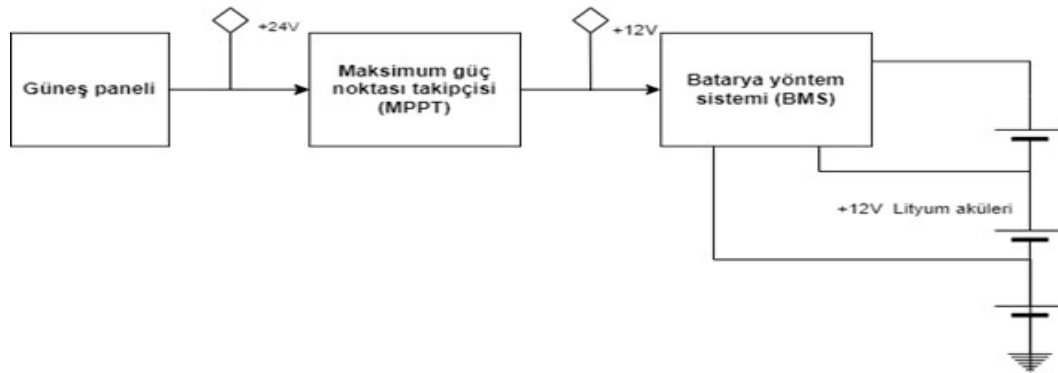
LED'i anahtarlama modunda çalıştırarak base akımı kontrol etmek için base terminaline bir direnç bağlanmıştır. Transistör, LED'e akım sağlayarak veya keserek LED'in yanıp sönmesini sağlamaktadır.

Bu projede, ESP32 GPIO19 pini kullanılarak LED kontrolü yapılması amaçlanmıştır. GPIO19 pini, LED'in parlaklığını değiştirmek için PWM (Pulse Width Modulation) sinyali üretir. PWM sinyali, LED'in açık ve kapalı kaldığı süreleri ayarlayarak parlaklığı kontrol eder. Bu sayede, yolun ışık ihtiyacına göre LED'in parlaklığı ayarlanabilir.



Şekil 3. 34. LED kontrolü devresi

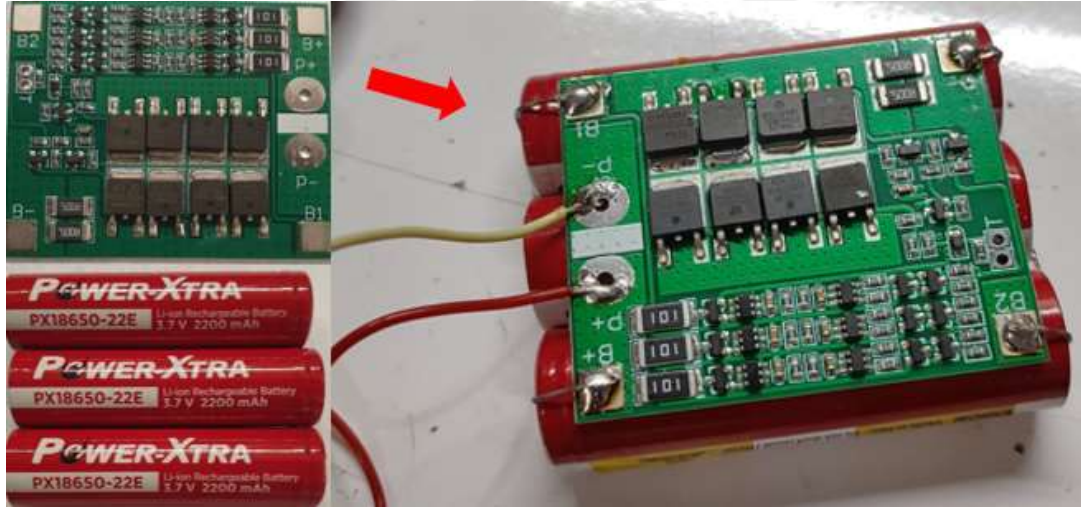
3.2.6. Sistemin enerji kaynağına bağlanması



Şekil 3. 35. Sistemin besleme devresine genel bakış

Sistemdeki her sokak lambası üç tane 3.7V'lık Li-ion pil ile beslenmektedir. Bu piller seri şekilde bağlanarak toplamda yaklaşık 12V'luk bir gerilim sağlamaktadır. Bu gerilim LED'i çalıştırmak için yeterli bir değerdir.

Pillerin aşırı şarj, aşırı deşarj, kısa devre ve aşırı ısınma gibi durumlarda zarar görmesini önlemek için BMS 3S 25A LiPo batarya yönetim sistemi kullanılmıştır. BMS 3S 25A LiPo batarya yönetim sistemi, pillerin voltajını ve akımını izleyerek, pillerin güvenli bir şekilde çalışmasını ve ömrünü uzatmasını sağlar. Bu sistem, pillerin seri bağlantısından gelen gerilimi düzenler ve pillerin tam dolu veya tam boş olmasını engeller. Böylece pillerin verimliliği ve performansı artar. Aşağıdaki Şekil 3.36'da bu devrenin nasıl bağlandığı görülmektedir.



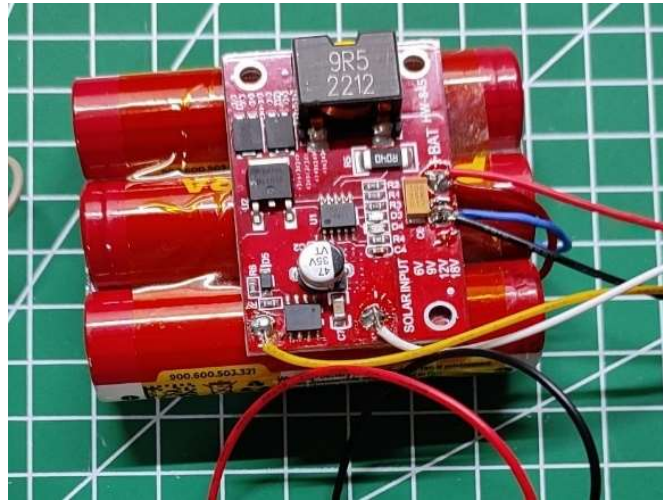
Şekil 3. 36. BMS ile piller bağlantısı

Sistem, akıllı ve çevreci bir tasarıma sahip olduğu için piller güneş enerjisinden yararlanarak güneş paneli kullanılarak şarj edilecektir. Bu sayede sistem hem enerji tasarrufu sağlar hem de çevreye zarar vermez.

Premium Quality	URETECH
Monocrystal Photovoltaic Module	MM – M364 – 12
Maximum Power(Pmax):12W	
Power Tolerance: 0 to %5W	
Open Circuit Voltage (Voc): 24.62V	
Short Circuit Current (Isc): 0,64A	
Maximum Power Voltage (Vmp): 20.84V	
Maximum Power Current (Imp):0,61A	
Dimension: 355×255×20mm	
Series Fuse: 12A	
Application Class : A Grade	
Minimum Field Wiring (Copper only) : 14AWG	

Şekil 3. 37. Güneş paneli özellikleri

Güneş paneli ile BMS arasına bir MPPT solar panel 12V akü şarj kartı bağlanmıştır. Bu kart, güneş panelinin ürettiği 24 volt voltajı 12 volta kadar düşürerek aküye uygun hale getirmektedir. Ayrıca, maksimum akımı düzenleyerek akünün aşırı şarj olmasını veya boşalmasını engeller. Bu kartın bir diğer önemli özelliği de MPPT (Maximum Power Point Tracking) fonksiyonudur. Bu fonksiyon sayesinde kart, güneş panelinden en iyi verimi almak için güneş panelinin çalışma noktasını sürekli olarak takip edip ayarlamaktadır.



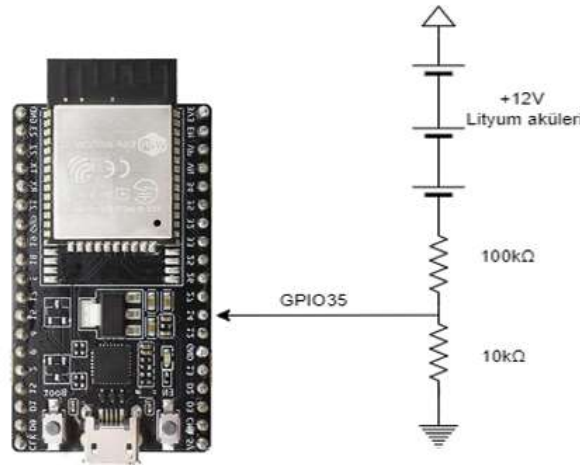
Şekil 3. 38. Pillerin MPPT ile arkadan görünümü

3.2.7. ESP32 ile voltaj ölçümü ve kalman filtresi

12V'luk pillerin voltajını ölçmek için ESP32'nin ADC (Analog-to-Digital Converter) özelliği kullanılmıştır. Ancak ölçümlerde gürültü ve hatalar olduğu için ölçüm hatasını azaltmak için Kalman filtresi algoritması uygulanmıştır.

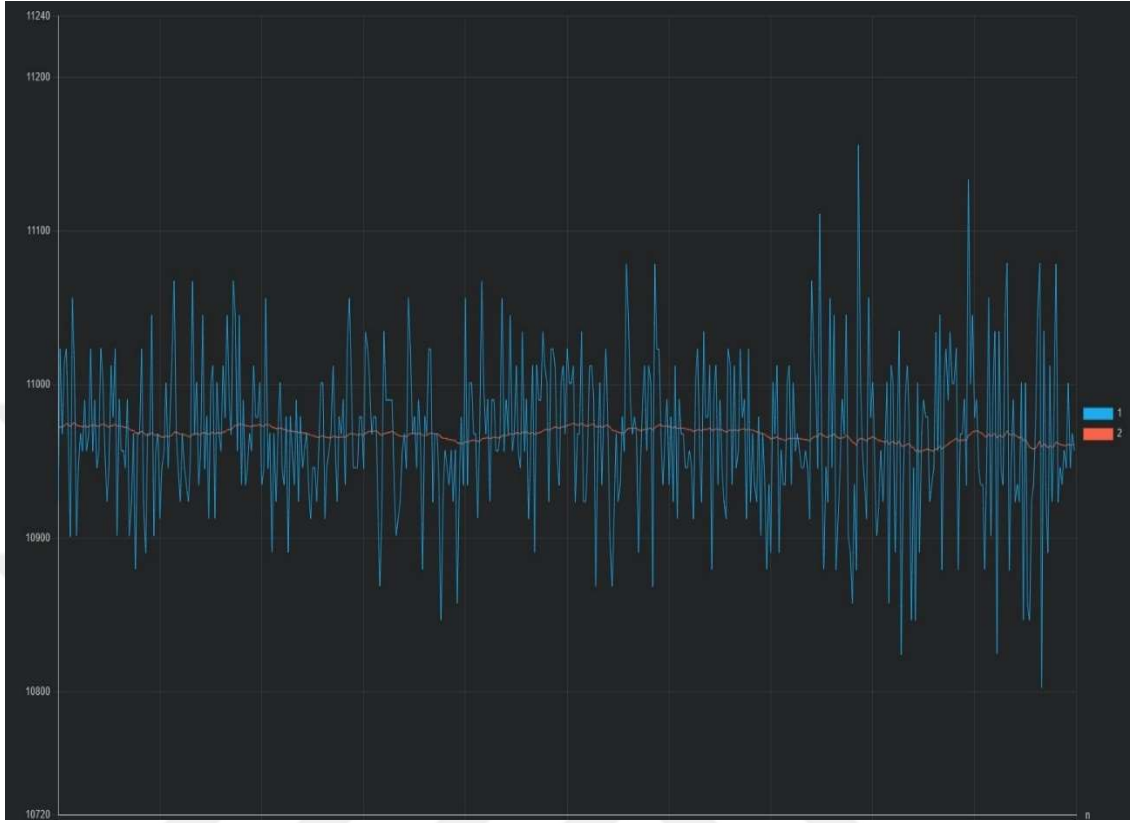
Pil voltajını ESP32'nin okuyabilmesi için iki tane seri bağlı direnç (100K ohm ve 10K ohm) kullanılmıştır.

Bu dirençler gerilim bölücü devresi olarak çalışarak pil voltajı ESP32'nin okuyabileceği bir seviyeye düşürülmüştür. Ardından, bu devrelerin ESP32'nin ADC kanallarından biri olan bu pin üzerinden voltaj ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3. 39. Pil voltajı hesaplaması için devre tasarımı

Kalman filtresi algoritması, sistemdeki gürültü parametrelerini ve matematiksel modeli kullanarak sistem durumunu tahmin etmektedir. Bu tahmin gerçek pil voltajına daha yakın bir değer vermektedir. Aşağıdaki grafik ADC ve Kalman filtresi arasındaki farkı göstermektedir. Mavi sinyal ADC'yi, kırmızı sinyal ise ADC ile Kalman filtresini göstermektedir.



ADC ve kalman filtresi ölçümlerinin karşılaştırılması grafiği

Grafikte görüldüğü gibi ADC ölçümleri dalgalanmalar gösterirken, Kalman filtresi ölçümleri daha sabit bir seviyede seyretmektedir. Bu da Kalman filtresi algoritmasının ölçüm hatasını azalttığını ve gerçek pil voltajına daha yakın bir ölçüm aldığını göstermektedir.

Böylece, Kalman filtresi algoritması kullanılarak pillerin voltajı ve daha doğru bir şekilde ölçülmüştür. Bu sayede pil voltajının ve gerçek değerine daha yakın bir ölçüm alınarak pilin durumu hakkında daha doğru ve güvenilir bir bilgi elde edilmiştir.

```

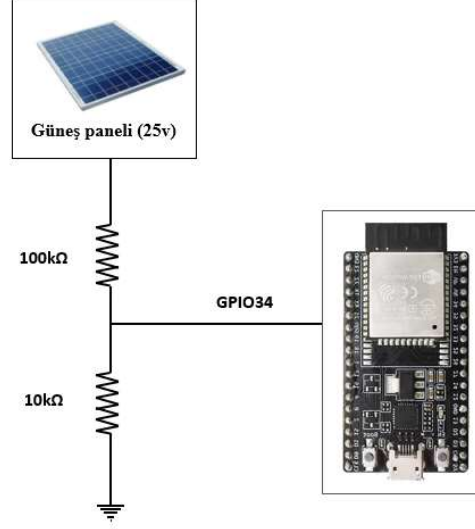
1  #include "Arduino.h"
2  #include <ESP32AnalogRead.h>
3  #include <SimpleKalmanFilter.h>
4
5  #define ADC_BAT_PIN 35 // 35-ADC1_CH7
6  #define ADC_PANEL_PIN 34 // 34-ADC1_CH6
7
8  uint16_t voltBattery, lastVoltBattery;
9  uint16_t voltPanel, lastVoltPanel;
10 uint32_t last_read_time;
11
12 SimpleKalmanFilter simpleKalmanFilter(2, 2, 0.01);
13
14 ESP32AnalogRead adc;
15
16 void setup()
17 {
18     adc.attach(ADC_BAT_PIN);
19     Serial.begin(115200);
20 }
21
22 void loop()
23 {
24     unsigned long t_now = millis();
25
26     long adcValue = 0;
27     for(uint8_t n = 0; n < 100; n++) {
28         adcValue += adc.readMiliVolts();
29         delayMicroseconds(100);
30     }
31     adcValue /= 100;
32
33     Serial.print(adcValue / 0.09);
34     // calculate the estimated value with Kalman Filter
35     float estimated_value = simpleKalmanFilter.updateEstimate((float)adcValue);
36     Serial.print(" ");
37     Serial.println(estimated_value / 0.09);
38
39     delay(90);
40 }
41

```

Şekil 3. 40. Kalman filtreli ADC kodu

Bu kod Kalman kütüphanesini kullanarak filtre parametrelerini ayarlar ve ADC ölçümlerini gerçekleştirir. Kalman filtresi, ölçülen analog sinyallerin gürültüsünü azaltarak daha doğru sonuçlar üretir. Filtrelenmiş sonuçlar, seri bağlantı aracılığıyla bilgisayar ekranına veya başka bir cihaza aktarılabilir.

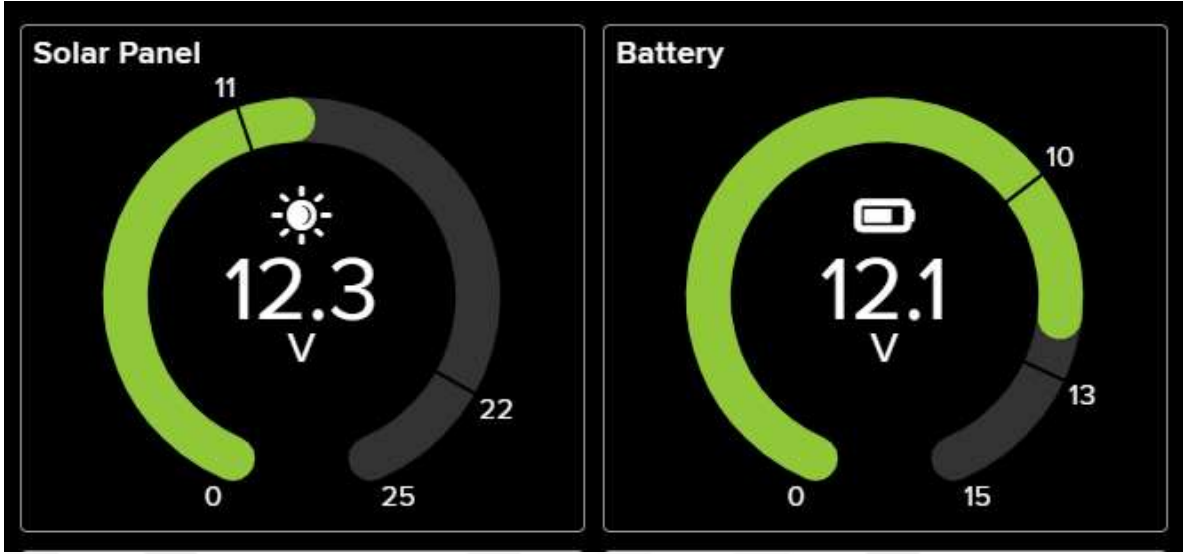
Aynı yöntem, güneş enerjisinden elde edilen voltaj çıkışını hesaplamak için de uygulanmıştır. Aşağıdaki Şekil 3. 41.'de güneş paneli çıkış voltajı hesaplaması için devre tasarımıdır.



Şekil 3. 41. Güneş paneli çıkış voltajı hesaplaması için devre tasarımı

3.2.8. Adafruit IO ile pil ve güneş paneli çıkış gerilimi görüntüleme

Pillerin ve güneş panelinin gerilim değerleri aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bilgisayar ekranında görüntülenmiştir. Pillerin ve güneş panelinin çıkış gerilim değerlerini bir bilgisayar ekranında görüntülenebilen bir web tabanlı arayüz olan Adafruit IO dashboard kullanılarak gösterilmiştir. Bu arayüz, pil ve güneş panelinin çıkış gerilim değerlerini grafiksel olarak sunmakta ve bu değerlerin zaman içinde nasıl değiştiğini izlemeyi sağlamaktadır. Aşağıdaki şekilde, pil ve güneş panelinin çıkış gerilim değerlerinin Adafruit IO dashboard üzerinde nasıl görüntülendiği görülmektedir.



Şekil 3. 42. Adafruit IO ile pil ve güneş paneli çıkış gerilim değerlerinin gösterimi

Pillerin ve güneş panelinin performansını daha iyi takip edebilmek için bu cihazların çıkış gerilim değerleri 24 saatlik bir zaman dilimi içinde grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafik akü ve güneş panelinin gerilim değerlerinin gün içinde nasıl değiştiğini ve hangi saatlerde daha yüksek veya daha düşük olduğunu görmeyi sağlamaktadır. Ayrıca akü ve güneş panelinin birbirleriyle nasıl etkileşim halinde olduklarını da göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 3. 43.'de, akü ve güneş panelinin 24 saatlik gerilim değerleri grafikleri görülmektedir.



Şekil 3. 43. Güneş paneli ve pil gerilimlerinin zamanla değişimi

3.2.9. Ağ geçidi ve düğüm devreleri



Şekil 3. 44. Ağ geçidi devresinin ön ve arka yüzü görünümü

Bir IoT ağ geçidi sistemi tasarlanırken farklı cihazların birbirleriyle iletişim kurabilmesi için bir kontrol merkezi gereklidir. Bu kontrol merkezi, ana düğüm olarak adlandırılır ve tüm düğümleri kontrol eder. Bu amaçla, bu sistemde ilk ESP32 ana düğüm olarak kullanılmıştır.

Ana düğüm, farklı protokolleri destekleyen ve verileri filtreleyip işleyen bir akıllı merkezdir. Ana düğüm, tüm düğümlerin birbiriyle etkileşim halinde olması ve verileri birbirleriyle paylaşması sağlar. Ana düğüm, ayrıca düğümlerin durumunu izleyerek sorunları tespit edebilir ve gerekli önlemleri alabilir.

İkinci ESP32 ise internete bağlanarak sistemi MQTT protokolü aracılığıyla sunucuya bağlamaktadır. Bu sayede, sensörlerden alınan veriler sunucuya aktarılır ve uzaktan erişilebilir hale gelmektedir.

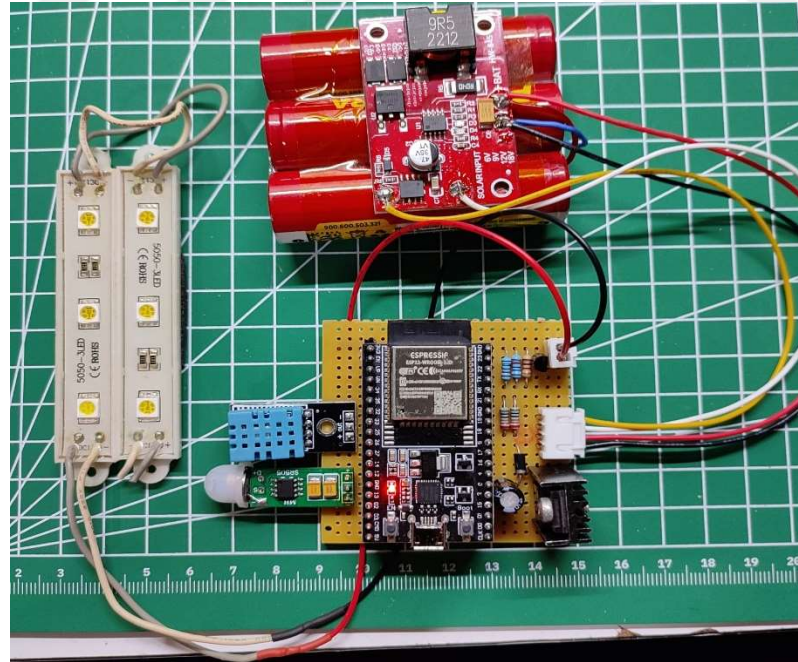
Ağ geçidi sistemi, nesnelerin interneti (IoT) kapsamında farklı cihazların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlar ve verilerin toplanması ve işlenmesi için bir merkezi kontrol mekanizması sunar. Bu sayede, sistem daha verimli ve etkili bir şekilde çalışır. Ayrıca,

internete bağlanarak uzaktan erişilebilir hale gelmesi, sistem yöneticilerinin sorunları daha hızlı ve etkili bir şekilde çözmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, ESP32 tabanlı bir ağ geçidi sistemi, IoT cihazlarını buluta ve birbirine bağlayan akıllı bir merkezdir. Ana düğüm tüm düğümleri kontrol ederken, ikinci ESP32 internete bağlanarak verilerin sunucuya aktarılmasını sağlar. Bu sayede, daha verimli bir sistem yönetimi sağlanır ve sorunlar daha hızlı bir şekilde çözülebilir.



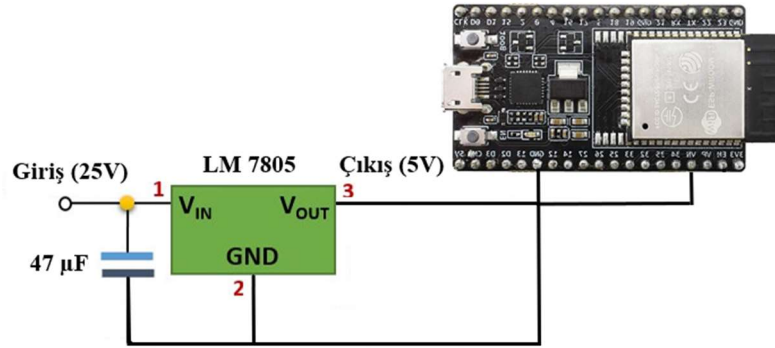
Şekil 3. 45. Düğüm devreleri önden ve arkadan görünümü



Şekil 3. 46. Node devresi genel görünümü

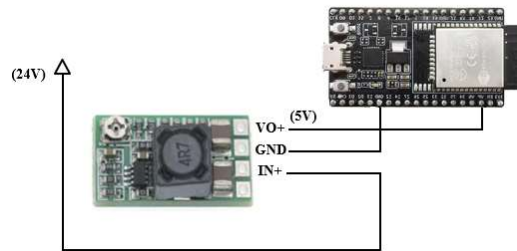
3.2.10. 12V DC'nin 5V DC'ye dönüştürülmesi

Düğüm devrelerin besleme gerilimi 12V DC'dir. 5V DC ile çalışan bazı sensörler ve modeller bulunmaktadır. Bu nedenle harici bir kaynak kullanmadan 5V DC almamız gerekmektedir. LM7805 voltaj regülatörlü 12V DC'den 5V DC'ye dönüşüm devre şeması aşağıdaki Şekil 3.47.'de verilmiştir.



Şekil 3. 47. 12V DC'nin 5V DC'ye dönüştürülmesi devresi

LM7805 üzerinde büyük bir yük olduğunda yükü ısıya çevirir. Düğüm devrelerinde sadece bir tane ESP32 var olduğu için LM7805 kullanılmıştır. Fakat ağ geçit devresinde her biri yaklaşık 300 mA veren iki tane ESP32 var olduğu için ve bazı hesaplamalar yapıp bunları LM7805'in datasheetinde karşılaştırdığımızda yükün büyük olacağını görülmektedir. Bu da LM7805'in sıcaklığının çok büyük olacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle ağ geçit devresinde LM7805 voltaj regülatörlü yerine Mini DC Düşürücü Modülü kullanılmıştır. DC düşürücü'yü ESP32'ye bağlamanın şekli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3. 48. 12V DC'nin 5V DC'ye DC düşürücüsüyle dönüştürülme devresi

3.2.11. Adafruit IO üzerinden aydınlatma durumu görünmesi

Aşağıdaki Şekil 3.49’da, sensörlerden, pillerden, güneş enerjisinden elde edilen verilerin ve sokak lambalarının aydınlatma seviyelerinin Adafruit IO bulut hizmeti ile izlenmesi sağlanmıştır. Bu şekilde, sistemin çalışma durumu ve enerji tüketimi hakkında gerçek zamanlı bilgi edinilebilmektedir.



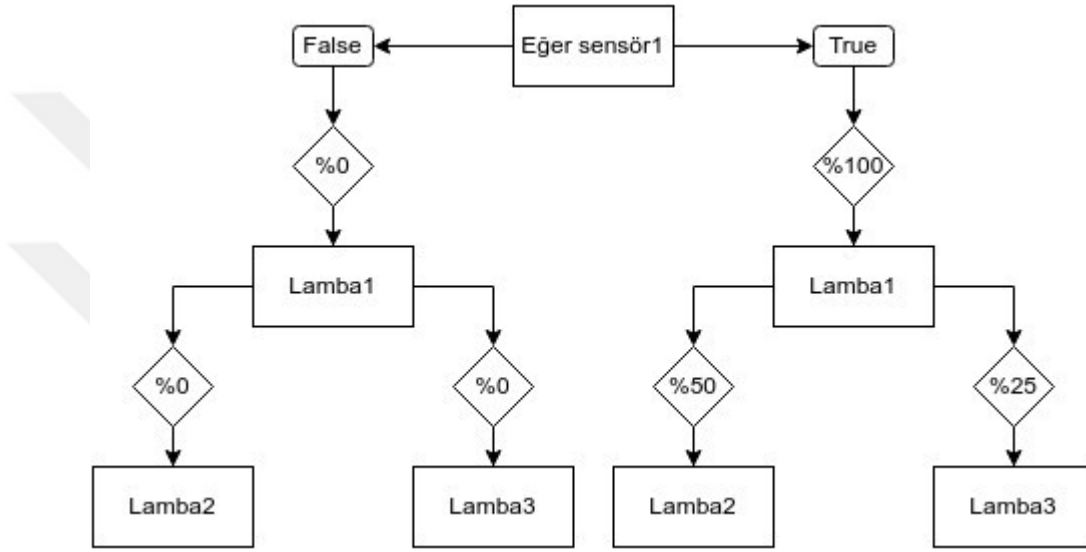
Şekil 3. 49. Adafruit IO grafik arayüzü

“Get data from node 1”, “Get data from node 2” veya “Get data from node 3” butonlarından herhangi birine basıldığında, gösterge paneli yalnızca seçilen düğüme ait veri değerlerini (sıcaklık ve nem, pil durumu ve güneş enerjisi çıkış gerilimi gibi) göstermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sistemin çalışabileceği üç durumu vardır:

1.durum



Şekil 4. 1. Birinci durumun akış diyagramı

Bu çalışmada, akıllı sokak aydınlatma sistemi tasarlanmış ve enerji tasarrufu potansiyeli incelenmiştir. Sistem, sokak lambalarının hareket sensörleri ile donatılmasını ve birbirleriyle haberleşmesini içermektedir. Buna göre, bir kişi ya da araç birinci LED'in yanından geçtiğinde lamba %100 oranında yanar ve aynı anda ikinci LED'e %50 oranında yanması için sinyal gönderilir. Ayrıca, üçüncü LED'e da %25 oranında yanması için bir sinyal gönderilir. Böylece, sokakta sadece gerekli oranda ışık sağlanarak enerji tasarrufu yapılmış olur. Bu sistem, akıllı şehirlerin gelişimine katkı sağlayabilecek bir çözüm olarak sunulmaktadır.

Önerilen sistemin bir numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne algıladığında sistemin çalışma prensibi sunulmuştur. Sistemin etkinliği deneylerle değerlendirilmiş ve bulgular Şekil 4. 2.'de gösterilmiştir.



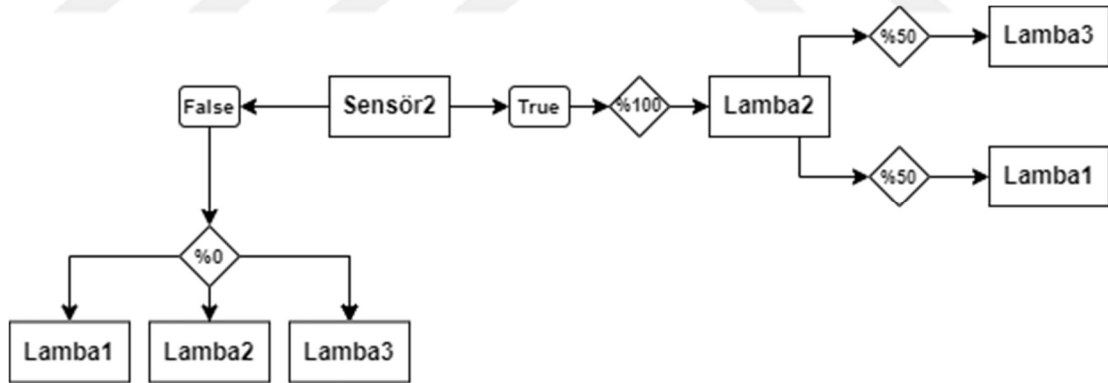
Şekil 4. 2. Bir numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne geçtiğinde önerilen sistemimin durumu

Adafruit IO bulut hizmeti kullanılarak bir numaralı LED'in önünden geçen bir nesne algılandığında sistemin aydınlatma durumunun nasıl değiştiği gösterilmiştir. Sistemin performansı Adafruit IO üzerinden oluşturulan bir dashboard ile izlenmiş ve sonuçlar Şekil 4. 3.'te sunulmuştur.



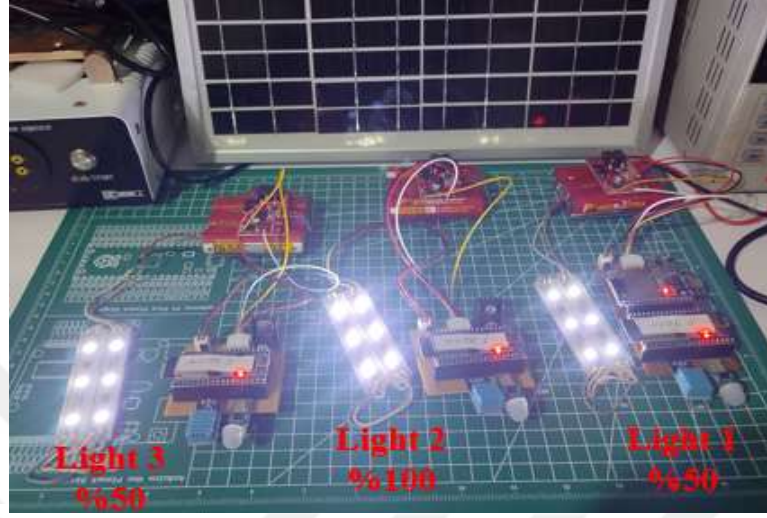
Şekil 4. 3. Birinci durum için Adafruit IO kullanarak akıllı sokak aydınlatma sisteminin izlenmesi

2.durum



Şekil 4. 4. İkinci durumun akış diyagramı

Aynı şekilde, araç, insan, hayvan vb üç numaralı lambanın önünden geçtiği zaman üç numaralı LED %100 yanacak ve aynı anda iki numaralı LED ile bir numaralı LED'e %50 oranında yanması için sinyal gönderilecektir. Bu şekilde, sistem her lambanın önünden geçen hareketli nesnelere göre aydınlatma seviyesini otomatik olarak ayarlayacaktır.

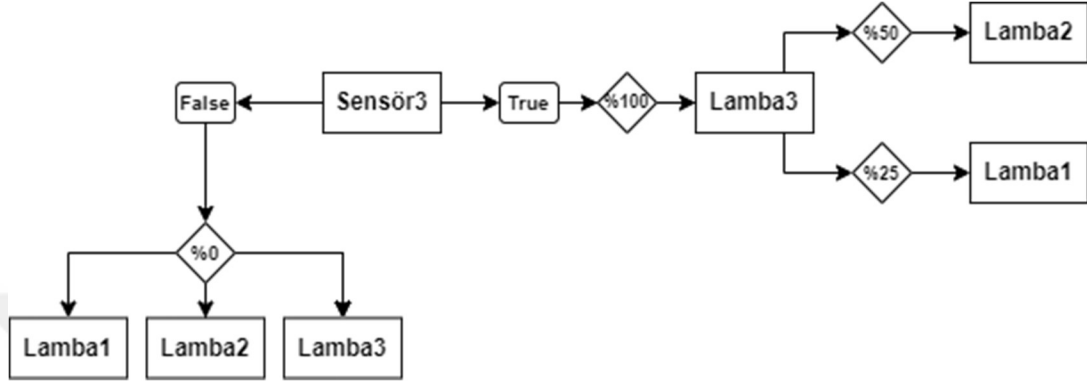


Şekil 4. 5. İki numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne geçtiğinde önerilen sistemimin durumu



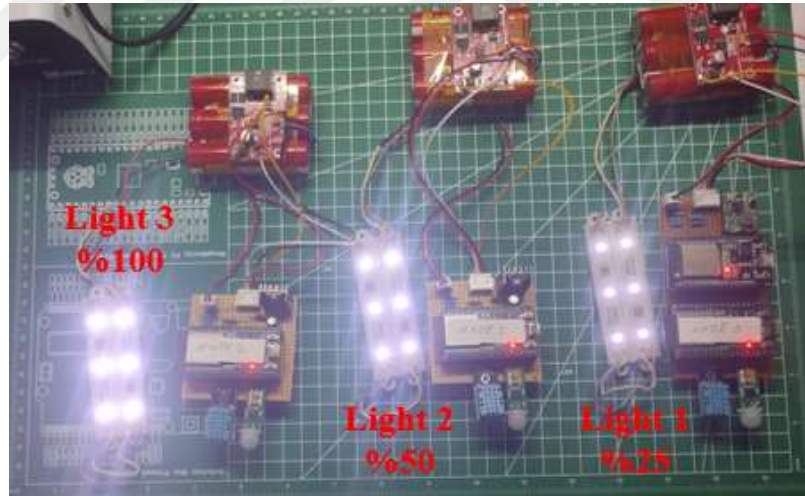
Şekil 4. 6. İkinci durum için Adafruit IO kullanarak akıllı sokak aydınlatma sisteminin izlenmesi

3.durum



Şekil 4. 7. Üçüncü durumun akış diyagramı

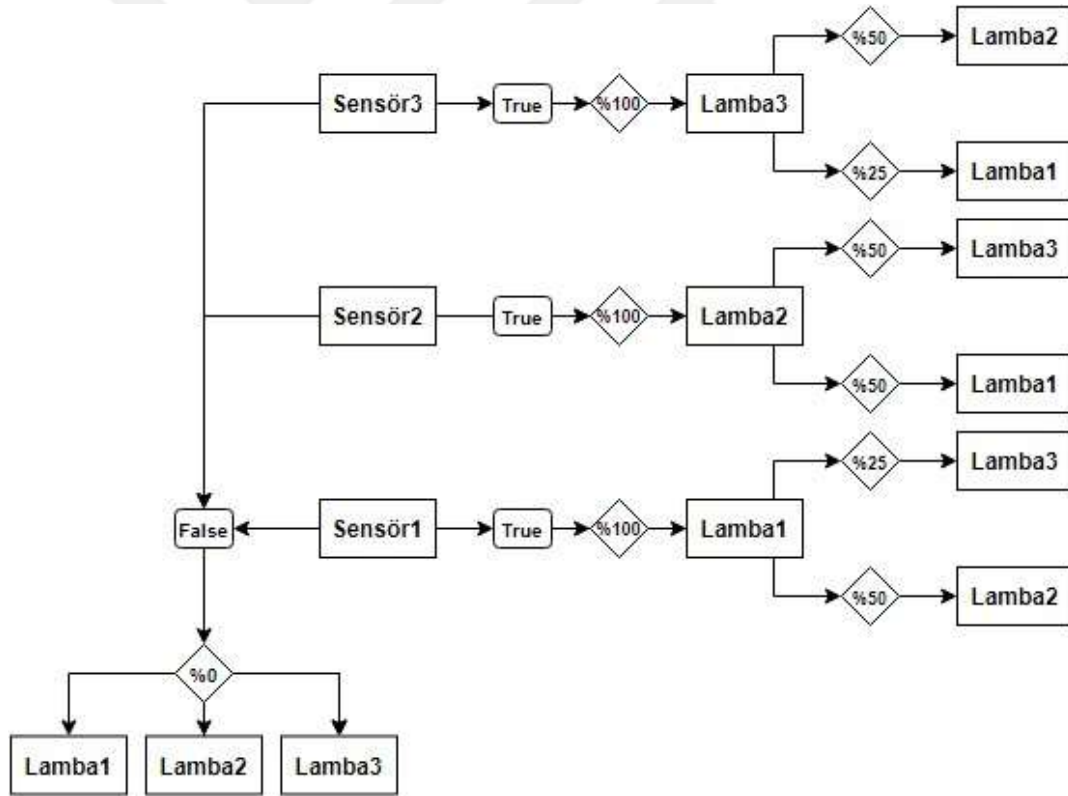
Üçüncü durumda ise, 3 numaralı LED'in önünden biri geçtiği zaman 3 numaralı LED %100, 2 numaralı LED %50 ve 1 numaralı LED %25 oranında yanacaktır.



Şekil 4. 8. Üç numaralı LED'in önünden hareketli bir nesne geçtiğinde önerilen sistemimin durumu



Şekil 4. 9. Üçüncü durum için Adafruit IO kullanarak akıllı sokak aydınlatma sisteminin izlenmesi



Şekil 4. 10. Sistemin akış diyagramı

5. SONUÇ

Bu tezin temel amacı, enerji tasarrufu sağlayan akıllı bir soket aydınlatma sistemi tasarlamaktır. Bu sistem, güneş enerjisinden beslenen ve sensörlerle donatılmış bir IoT tabanlı sistemdir. Bu sistem sayesinde sokak aydınlatmalarının ihtiyaç duyulan yerlerde ve zamanlarda çalışması sağlanarak hem enerji hem de maliyet tasarrufu elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, Mesh network tabanlı ESP32 kullanarak böyle bir sistem tasarlanmış ve test edilmiştir. Test sonuçları, sistemin hedeflenen performans kriterlerini karşıladığını göstermiştir.

Bu çalışmada, sistemin elektronik donanımı ve yazılımı hem anlık hem de uzun süreli olarak izlenmiştir. Sistem, birden fazla yönlendiricinin birbirleriyle doğrudan ve dinamik olarak haberleştiği bir ağ topolojisi olan Mesh network tabanlı ESP32 kullanmaktadır. Testler, sistemin istenen şekilde çalıştığını ve ağ geçidi ile düğümler arasındaki haberleşmenin Mesh network üzerinden sorunsuz bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca sistemin Adafruit IO platformu üzerinden MQTT protokolü kullanarak cihaza çok iyi bir bağlantı sağladığı tespit edilmiştir. Bu sayede, hava koşulları, pil voltajı, aydınlatma durumu gibi veriler Adafruit IO web sunucusu üzerinden gerçek zamanlı olarak takip edilebilmiştir.

Sistemde bulunan PIR hareket sensörü ve DHT11 sensörü kullanılarak nesnelerin hareketi ve sıcaklık/nem ölçümleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, bu sensörlerin verileri doğru bir şekilde toplanıp işlenmiştir. Sıcaklık ve nem değerlerinin normal olduğu belirlenmiştir.

Sistem, kullanıcının ihtiyaçlarına göre tamamen ayarlanabilir ve genişletilebilir bir yapıya sahiptir. Ağ geçidindeki küçük değişikliklerle daha fazla düğüm veya çevre birimi kolayca entegre edilebilir. Bu sayede, düşük maliyetli ve düşük güç tüketen bir sistem tasarlanıp uygulanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma güneş enerjisi kullanımı, IoT teknolojisi ve sensörlerin entegrasyonu ile akıllı sokak aydınlatma sistemlerinin tasarımı ve uygulanması konusunda önemli bir adım niteliğindedir. Ayrıca, bu çalışma ile birlikte sokak aydınlatma sistemlerinin

enerji verimliliği artırılmış ve evre dostu hale getirilmiştir. Sistem, güneş enerjisi kullanarak çalıştığından, elektrik tüketimini azaltarak kaynak tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, PIR hareket sensörleri gibi sensörlerin kullanımı sayesinde, sokak lambaları gereksiz yere yanmamakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Bu alışma, IoT teknolojilerinin sokak aydınlatma sistemleri gibi şehir altyapılarına entegrasyonunu ve akıllı şehirlerin oluşumunu desteklemektedir. Bu sayede, şehirler daha enerji verimli ve sürdürülebilir hale getirilebilir. Gelecekte, bu çalışma ile elde edilen sonuçlar ve tasarım yaklaşımları, benzer projelerin yapılmasına ve bu alanda araştırmaların devam etmesine katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Akyildiz, I. F., & Wang, X. (2005). A survey on wireless mesh networks. IEEE Communications magazine, 43(9), S23-S30.
- 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.
- Anand, S., & Jain, N. (2015). Intelligent Street Light System using RF Transmission. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 5(5).
- Anonim, 2015. Los Angeles sokaklarında Philips'in akıllı sistemi. PLD Türkiye. <https://pldturkiye.com/los-angeles-sokaklarinda-philipsin-akilli-sistemi/> (14.04.2023).
- Anonim, 2017. Singapore aims to convert all roads to smart LED street lighting systems by 2022. LEDinside, https://www.ledinside.com/news/2017/1/singapore_aims_to_convert_all_roads_to_smart_led_streetlighting_systems_by_2022 (14.04.2023).
- Anonim, 2018. Adafruit Learning System. Adafruit IO, <https://learn.adafruit.com/welcome-to-adafruit-io/overview> (23.04.2023).
- Anonim, 2019. LoRaWAN and GSM communications, combined in a smart street lighting implementation in the Italian city of Grottaglie. <https://intelilight.eu/lorawan-and-gsm-communications-combined-in-a-smart-street-lighting-implementation-in-the-italian-city-of-grottaglie/> (14.04.2023).
- Anonim, 2021. Chicago Smart Lighting Project. Chicago Open Data Portal, <https://chicagosmartlighting-chicago.opendata.arcgis.com/> (14.04.2023).
- Anonim, 2021. CityTouch in Los Angeles, USA. Philips, <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/road-and-street/los-angeles> (14.04. 2023).
- Anonim, Aydınlatma nedir? Yakan Aydınlatma. <https://www.yakanaydinlatma.com/aydinlatma-nedir>. (15.03.2023).
- Anonim. (2020). A brief summary of the history, benefits and Working Mechanisms. Reliable Lighting Solutions., <https://www.reliablelighting.ca/2020/07/22/leds-a-brief-summary-of-the-history-benefits-and-working-mechanisms/>(01.10.2022).
- Anonim, Neden lityum iyon?. Piller, <https://www.apple.com/tr/batteries/why-lithium-ion/> (18.03.2023).
- Avotins, A., Apse-Apsitis, P., Kunickis, M., & Ribickis, L. (2014). Towards smart street LED lighting systems and preliminary energy saving results. In 2014 55th

- International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) (pp. 130-135). IEEE.
- Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. In 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC), (pp. 1-6). IEEE.
- Bachanek, K. H., Tundys, B., Wiśniewski, T., Puzio, E., & Maroušková, A. (2021). Intelligent street lighting in a smart city concepts—a direction to energy saving in cities: an overview and case study. *Energies*, 14(11), 3018.
- Batal, M. S. (2017). NESNELERİN İNTERNETİ (IOT) TABANLI AKILLI ŞEHİR TEKNOLOJİLERİ VE İYİ UYGULAMALAR. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17926.52806>
- Boyce, P. R. (2022). Light, lighting and human health. *Lighting Research & Technology*, 54(2), 101-144.
- Brain, M., & Homer, T. (2023). How WiFi Works. HowStuffWorks, <https://computer.howstuffworks.com/wireless-network.htm#pt1>.
- Choudhury, A. K. R. (2014). Characteristics of light sources. *Principles of colour and appearance measurement: Object appearance, colour perception and instrumental measurement*. Elsevier, 1-52.
- Çiçek, B., & Şahin, N. (2020). Sokak Aydınlatmalarında Kullanılacak Yüksek Güçlü LED'lerin Termal Performansının Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 185-197.
- Dely, P., Kassler, A., & Bayer, N. (2011). Openflow for wireless mesh networks. In 2011 proceedings of 20th international conference on computer communications and networks (ICCCN) (pp. 1-6). IEEE.
- Dely, P., Kassler, A., & Bayer, N. (2011). Openflow for wireless mesh networks. In 2011 proceedings of 20th international conference on computer communications and networks (ICCCN) (pp. 1-6). IEEE.
- Demir, H., ÇIRACI, G., Reyhan, K., & Ünver, Ü. (2020). AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DURUM DEĞERLENDİRMESİ. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1637-1652.
- Doğan, M. (2011). Enerji kullanımının coğrafi çevre üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23 (23) 33-52.
- Evangelos, A. K., Nikolaos, D. T., & Anthony, C. B. (2011). Integrating RFIDs and smart objects into a Unified Internet of Things architecture. *Advances in Internet of Things*.
- Farooq, M. U., Waseem, M., Mazhar, S., Khairi, A., & Kamal, T. (2015). A review on internet of things (IoT). *International journal of computer applications*, 113(1), 1-7.

- Gan, S., Li, K., Wang, Y., & Cameron, C. (2018). IoT based energy consumption monitoring platform for industrial processes. In 2018 UKACC 12th International Conference on Control (CONTROL) (pp. 236-240). IEEE.
- Gillis, A. S. (2022). What is the internet of things (IoT)? IoT Agenda. <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (10.04.2023).
- Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). Introduction to IOT. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 5(1), 41-44.
- Gökrem, L., & Bozuklu, M. (2016). Nesnelerin interneti: Yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki mevcut durum. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, (13), 47-68.
- Gujar, N. S. (2019). Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) based hybrid smart streetlight system for smart applications. In 2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) (pp. 832-836). IEEE.
- Hartvigsen, P. (2014). The Computer for the 21 st Century (1991). Semantic Scholar, [https://www.semanticscholar.org/paper/The-Computer-for-the-21-st-Century-\(1991\)-Hartvigsen/5487bf46b300fda81554fbb5857a80a31d591f97](https://www.semanticscholar.org/paper/The-Computer-for-the-21-st-Century-(1991)-Hartvigsen/5487bf46b300fda81554fbb5857a80a31d591f97) (20/12/2022).
- Hashempour, L. (2018). Effect and importance of lighting systems in school libraries. In IASL Annual Conference Proceedings (1-6). International Association of School Librarianship.
- Helmenstine, A. M. (2020). Visible light definition and wavelengths. ThoughtCo. <https://www.thoughtco.com/definition-of-visible-light-605941>
- Jin, D., Hannon, C., Li, Z., Cortes, P., Ramaraju, S., & Shahidehpour, M. (2016). Smart street lighting system: A platform for innovative smart city applications and a new frontier for cyber-security. The Electricity Journal, 29(10), 28-35.
- Kumari, K., & Zafar, S. (2021). A Brief History of Lighting. International Journal of Engineering Research and Technology, 14(6), 178-181. Nye, D. E. (2013). The history of electric lighting. IEEE Power & Energy Magazine, 11(1), 52-59.
- Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2018, September). Assessment of communication technologies supporting smart streetlighting applications. In 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) (pp. 1-7). IEEE.
- Landaluce, H., Arjona, L., Perallos, A., Falcone, F., Angulo, I., & Muralter, F. (2020). A review of IoT sensing applications and challenges using RFID and wireless sensor networks. Sensors, 20(9), 2495.
- Leccese, F. (2013). Yüksek verimlilikli ve akıllı sokak aydınlatması için ZigBee ağına dayalı uzaktan kontrol sistemi. IEEE transactions on power delivery, 28(1), 21-28.
- Leccese, F., Cagnetti, M., Trinca, D., Di Pasquale, S., Giarnetti, S., & Cozzella, L. (2019). A smart city application: A fully controlled street lighting system based on Raspberry-Pi card and ZigBee sensor network. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(4), 2418-2426.

- Lueth, K. L. (2022). The Top 10 Cities Implementing Connected Streetlights: Miami, Paris and Madrid on top. IoT Analytics. <https://iot-analytics.com/top-10-cities-implementing-connected-streetlights/> (14.04.2023).
- Madakam, S., Lake, V., Lake, V., & Lake, V. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- Menon, V. G., Jacob, S., Joseph, S., Sehdev, P., Khosravi, M. R., & Al-Turjman, F. (2022). An IoT-enabled intelligent automobile system for smart cities. *Internet of Things*, 18, 100213.
- Mohamed, S. A. E. (2013). Smart street lighting control and monitoring system for electrical power saving by using VANET. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 6(8), 351.
- Nair, G. B., & Dhoble, S. J. (2015). A perspective perception on the applications of light-emitting diodes. *Luminescence*, 30(8), 1167-1175.
- Nanishi, Y. (2014). The birth of the blue LED. *Nature Photonics*, 8(12), 884-886.
- Novelan, M. S., & Amin, A. (2020). Monitoring System for Temperature and Humidity Measurements with DHT11 Sensor Using NodeMCU. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(10), 123-128.
- Nye, D. E. (2013). The history of electric lighting. *IEEE Power & Energy Magazine*, 11(1), 52-59.
- Öztürk, M. (2019). Aydınlatmada enerji verimliliği: LED lambalar cıva veya başka tehlikeli kimyasal içermez. Independent Türkçe. <https://www.indyturk.com/node/75091/turkiyeden-sesler/aydinlatmada-enerji-verimliliği-led-lambalar-cıva-veya-baska-tehlikeli>
- PS, A., Dilip Kumar, S. M., & KR, V. (2022). MQTT Implementations, Open Issues, and Challenges: A Detailed Comparison and Survey. *International Journal of Sensors Wireless Communications and Control*, 12(8), 553-576.
- Razzaque, M. A., Bleakley, C., & Dobson, S. (2013). Compression in wireless sensor networks: A survey and comparative evaluation. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 10(1), 1-44.
- Rice, C. (2017). What Are "COB" LEDs and Why Do They Matter? Silicon Lightwork, <https://siliconlightworks.com/resoures/what-are-cob-leds> (15,11,2022).
- Sahoo, K. C., & Pati, U. C. (2017). IoT based intrusion detection system using PIR sensor. In 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), 1641-1645. IEEE.
- Salem, N. B., & Hubaux, J. P. (2006). Securing wireless mesh networks. *IEEE Wireless Communications*, 13(2), 50-55.
- Shi, Z. (2023). Shaping the Future of IoT: 7 MQTT Technology Trends in 2023. dzone.com. <https://dzone.com/articles/shaping-the-future-of-iot-7-mqtt-technology-trends>

- Sichitiu, M. L. (2005). Wireless mesh networks: opportunities and challenges. In Proceedings of World Wireless Congress (Vol. 2, p. 21).
- Srivastava, D., Kesarwani, A., & Dubey, S. (2018). Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(12), 876-878.
- Synco, O. (2021). Three basics of LED COB. COLBOR, <https://www.colborlight.com/blogs/articles/what-makes-led-cob-so-popular>. (15.11.2022).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu raporu (2020-2040 Dönemi). Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Verma, D. K., Salman, U., & Samant, V. (2019). An Application Perspective of IoT.
- Vishnuram, P., Narayanamoorthi, R., Vijayakumar, K., Bajaj, M., Shouran, M., Abdul Samad, B., & Kamel, S. (2022). A comprehensive review on various non-isolated power converter topologies for a light-emitting diode driver. Frontiers in Energy Research, 10.
- Wang, G. Z., Ferguson, I. T., Garter, M. R., & Tansu, N. (2008). History, development, and applications of high-brightness visible light-emitting diodes. Journal of Lightwave Technology, 26(9), 1154-1171.
- Wang, Y., Alonso, J. M., & Ruan, X. (2017). A review of LED drivers and related technologies. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64(7), 5754-5765.
- Wani, T., & Qadri, S. A. A. (tarih yok). An Insight into the Modulation schemes for Visible light communication.
- Yılmaz, E. (2020). Aydınlatma nedir? Aydınlatma portalı, <https://www.aydinlatma.org/aydinlatma-nedir.html> (15.11.2022).
- Yılmaz, E., Erden, O., & Kocadağ, N. Y. (2019). Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(3), 280-289.
- Yuan, M. 2021. Getting to know MQTT. IBM Developer. <https://developer.ibm.com/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/> (25.04.2023).
- Zeng, X., Li, X., & Yang, Y. (2021). Smart Street Lighting System Based on IoT Technologies: A Comprehensive Review. Energies, 14(11), 3018.

7. EKLER

SmartStreetLight_Node kodu

```
#include <Wire.h>
#include <painlessMesh.h>
#include <DHT.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <ESP32AnalogRead.h>
#include <SimpleKalmanFilter.h>

#define MESH_PREFIX "SmartStreetLight"
#define MESH_PASSWORD "72rQnJD3"
#define MESH_PORT 5555

#define ADC_BAT_PIN 35
#define ADC_PANEL_PIN 34

painlessMesh mesh;

const int myNodeNumber = 0;

const int maxNodes = 3;

typedef struct {
    float temperature;
    float humidity;
    float batteryVoltage;
    float solarPanelVoltage;
    bool motionDetected;
    int motionDetectionCount;
    int maxBrightness;
} NodeData_t;

NodeData_t NodeData[maxNodes];

const int pirPin = 13;
unsigned long lastPirCheck = 0;
const unsigned long pirDebounceTime = 100;
unsigned long motionSensorEnableTime = 0;
const unsigned long pirCooldown = 5000
```

```

const unsigned long motionDetectionWindow = 3600000;
const int bufferSize = 100;
unsigned long motionDetectionTimestamps[bufferSize];
int bufferHead = 0;
int bufferTail = 0;

const int ledPin = 19; // PWM pin for LED
unsigned long lastFadeUpdate;
int fadeStep;
bool ledFading, ledFadingExternal;
unsigned long fadeStartTime;

const int dhtPin = 33;
DHT dht(dhtPin, DHT11);

const unsigned long dhtReadInterval = 10000;
unsigned long lastDhtRead = 0;

ESP32AnalogRead batteryADC;
ESP32AnalogRead panelADC;
float adcBatterySamples = 0;
float adcPanelSamples = 0;
byte SamplesNum = 0;
bool adcReadChannel;

SimpleKalmanFilter batteryKalmanFilter(2, 2, 0.1);
SimpleKalmanFilter panelKalmanFilter(2, 2, 0.1);

void adcReadSamples();

Scheduler adcScheduler;
Task taskAdc(TASK_SECOND * 0.1, TASK_FOREVER, &adcReadSamples);

void broadcastData() {
    StaticJsonDocument<256> jsonDoc;
    jsonDoc["node"] = myNodeNumber;
    jsonDoc["temperature"] = NodeData[myNodeNumber].temperature;
    jsonDoc["humidity"] = NodeData[myNodeNumber].humidity;
    jsonDoc["batteryVoltage"] = NodeData[myNodeNumber].batteryVoltage;
    jsonDoc["solarPanelVoltage"] = NodeData[myNodeNumber].solarPanelVoltage;
    jsonDoc["motionDetected"] = NodeData[myNodeNumber].motionDetected;
    jsonDoc["motionDetectionCount"] = NodeData[myNodeNumber].motionDetectionCount;

```

```

jsonDoc["brightness"] = NodeData[myNodeNumber].maxBrightness;

#ifdef DEBUG
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].temperature);
  Serial.print(" *C ,Humidity: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].humidity);
  Serial.print(" % ,Battery: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].batteryVoltage);
  Serial.print(" V ,Panel: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].solarPanelVoltage);
  Serial.print(" V ,Motion Detected: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].motionDetected);
  Serial.print(" ,Motion Detection Count: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].motionDetectionCount);
  Serial.print(" in one Hour, brightness: ");
  Serial.print(NodeData[myNodeNumber].maxBrightness);
  Serial.println(" %");
#endif

String jsonMsg;
serializeJson(jsonDoc, jsonMsg);

mesh.sendBroadcast(jsonMsg);
Serial.printf("%s\n", jsonMsg.c_str());
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);

  batteryADC.attach(ADC_BAT_PIN);
  panelADC.attach(ADC_PANEL_PIN);

  mesh.setDebugMsgTypes(ERROR | STARTUP);
  mesh.init(MESH_PREFIX, MESH_PASSWORD, MESH_PORT);
  mesh.onReceive(&receivedCallback);
  mesh.onNewConnection(&newConnectionCallback);

  dht.begin();

```

```

lastFadeUpdate = 0;
fadeStep = 0;
ledFading = false;

adcScheduler.addTask(taskAdc);
taskAdc.enable();
}

void loop() {
  mesh.update();
  adcScheduler.execute();

  if (millis() > motionSensorEnableTime) {
    checkPirSensor();
  }

  if (NodeData[myNodeNumber].motionDetected && !ledFading) {
    NodeData[myNodeNumber].motionDetected = false;
    ledFading = true;
    fadeStartTime = millis();
  }

  if (ledFading || ledFadingExternal) {
    updateLedFade();
  }

  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - lastDhtRead >= dhtReadInterval) {
    NodeData[myNodeNumber].temperature = dht.readTemperature();
    NodeData[myNodeNumber].humidity = dht.readHumidity();

    while (bufferHead != bufferTail && currentMillis -
motionDetectionTimestamps[bufferTail] > motionDetectionWindow) {
      bufferTail = (bufferTail + 1) % bufferSize;
    }
    NodeData[myNodeNumber].motionDetectionCount = (bufferHead - bufferTail +
bufferSize) % bufferSize;

    if (isnan(NodeData[myNodeNumber].temperature) ||
isnan(NodeData[myNodeNumber].humidity)) {
#ifdef DEBUG
      Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");

```

```

#endif
    } else {
        broadcastData();
    }
    lastDhtRead = currentMillis;
}
}

void checkPirSensor() {
    unsigned long currentTime = millis();
    int currentState = digitalRead(pirPin);

    if (currentState != NodeData[myNodeNumber].motionDetected && currentTime -
lastPirCheck >= pirDebounceTime) {
        NodeData[myNodeNumber].motionDetected = currentState;

        if (NodeData[myNodeNumber].motionDetected == HIGH) {
            motionDetectionTimestamps[bufferHead] = currentTime;
            bufferHead = (bufferHead + 1) % bufferSize;

            if (bufferHead == bufferTail) {
                bufferTail = (bufferTail + 1) % bufferSize;
            }

            NodeData[myNodeNumber].maxBrightness = 255;

            broadcastData();
        }

        motionSensorEnableTime = currentTime + pirCooldown;

        lastPirCheck = currentTime;
    }
}

void receivedCallback(uint32_t from, String &msg) {
    StaticJsonDocument<256> jsonDoc;
    deserializeJson(jsonDoc, msg);

    int nodeNum = jsonDoc["node"];
    if (nodeNum < maxNodes) {
        NodeData[nodeNum].temperature = jsonDoc["temperature"];
    }
}

```

```

NodeData[nodeNum].humidity = jsonDoc["humidity"];
NodeData[nodeNum].batteryVoltage = jsonDoc["batteryVoltage"];
NodeData[nodeNum].solarPanelVoltage = jsonDoc["solarPanelVoltage"];
NodeData[nodeNum].motionDetected = jsonDoc["motionDetected"];
NodeData[nodeNum].motionDetectionCount = jsonDoc["motionDetectionCount"];
NodeData[nodeNum].maxBrightness = jsonDoc["brightness"];

if (NodeData[nodeNum].motionDetected) {
    int distance = abs(myNodeNumber - nodeNum);

    if (distance == 1) {
        NodeData[myNodeNumber].maxBrightness = 255 / 2;
    } else if (distance == 2) {
        NodeData[myNodeNumber].maxBrightness = 255 / 4;
    } else {
        NodeData[myNodeNumber].maxBrightness = 0;
    }

    if (NodeData[myNodeNumber].maxBrightness) {
        ledFadingExternal = true;
        fadeStartTime = millis();
    }

    broadcastData();
}

Serial.printf("%s\n", msg.c_str());
}

#ifdef DEBUG
    Serial.printf("Received from %u: %s\n", from, msg.c_str());
#endif
}

void newConnectionCallback(uint32_t nodeId) {
#ifdef DEBUG
    Serial.printf("New connection, nodeId = %u\n", nodeId);
#endif
}

void updateLedFade() {

```

```

unsigned long currentTime = millis();
unsigned long elapsedTime = currentTime - fadeStartTime;

if (elapsedTime < 1000) {
    analogWrite(ledPin, map(elapsedTime, 0, 1000, 0,
NodeData[myNodeNumber].maxBrightness));
} else if (elapsedTime >= 1000 && elapsedTime < 6000) {
    analogWrite(ledPin, map(elapsedTime, 1000, 6000,
NodeData[myNodeNumber].maxBrightness, 0));
} else if (elapsedTime >= 6000) {
    analogWrite(ledPin, 0);
    ledFading = false;
    ledFadingExternal = false;
    NodeData[myNodeNumber].maxBrightness = 0;
    motionSensorEnableTime = currentTime + 2000;
}
}

void adcReadSamples() {
    if (SamplesNum < 50) {
        if (adcReadChannel) {
            adcBatterySamples = adcBatterySamples + batteryADC.readVoltage();
        } else {
            adcPanelSamples = adcPanelSamples + panelADC.readVoltage();
            SamplesNum++;
        }
    }

    adcReadChannel = !adcReadChannel;

} else {
    NodeData[myNodeNumber].batteryVoltage =
batteryKalmanFilter.updateEstimate((adcBatterySamples / 50) / 0.09);
    NodeData[myNodeNumber].solarPanelVoltage =
panelKalmanFilter.updateEstimate((adcPanelSamples / 50) / 0.09);

    adcBatterySamples = 0.0;
    adcPanelSamples = 0.0;
    SamplesNum = 0;
}
}

```

```

#include <Arduino.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include "config.h"

#define DEBUG

const int maxNodes = 3;
int nodeSelected = 1;
uint32_t mqttMsgTimer;

typedef struct {
    float temperature;
    float humidity;
    float batteryVoltage;
    float solarPanelVoltage;
    bool motionDetected;
    int motionDetectionCount;
    int maxBrightness;
    int brightnessPercentage;
} NodeData_t;

NodeData_t NodeData[maxNodes];

AdafruitIO_Group *group = io.group("device1");

void mqttSendMessage() {
    if (nodeSelected > 0 && nodeSelected <= maxNodes) {
        group->set("vbat", NodeData[nodeSelected - 1].batteryVoltage);
        group->set("vpanel", NodeData[nodeSelected - 1].solarPanelVoltage);
        group->set("hum", NodeData[nodeSelected - 1].humidity);
        group->set("temp", NodeData[nodeSelected - 1].temperature);
        group->set("pircounter", NodeData[nodeSelected - 1].motionDetectionCount);
    }

    group->set("light1", NodeData[0].brightnessPercentage);
    group->set("light2", NodeData[1].brightnessPercentage);
    group->set("light3", NodeData[2].brightnessPercentage);

    group->save();
}

void setup() {

```

```

Serial.begin(115200);

while (!Serial)
    ;

#ifdef DEBUG
    Serial.print("Connecting to Adafruit IO");
#endif
    io.connect();

    while (io.status() < AIO_CONNECTED) {
#ifdef DEBUG
        Serial.print(".");
#endif
        delay(500);
    }

    Serial.println();
    Serial.println(io.statusText());

    group->onMessage("selectnode", node_selected);

    mqttMsgTimer = millis() + 4000;
}

void loop() {
    io.run();

    if (millis() > mqttMsgTimer) {
        mqttMsgTimer = millis() + 4000;
        mqttSendMessage();
    }

    if (Serial.available()) {
        String jsonMsg = Serial.readStringUntil('\n');
        deserializeAndStoreData(jsonMsg);
    }
}

void node_selected(AdafruitIO_Data *data) {
    if (data->toInt() != nodeSelected) {
        nodeSelected = data->toInt();
    }
}

```

```

    if (nodeSelected == 0) {
        nodeSelected = 1;
    }

#ifdef DEBUG
    Serial.printf("Select Node:%d\n", nodeSelected);
#endif
}

void deserializeAndStoreData(String jsonMsg) {
    StaticJsonDocument<256> jsonDoc;

    DeserializationError error = deserializeJson(jsonDoc, jsonMsg);
    if (error) {
#ifdef DEBUG_JSON
        Serial.print("deserializeJson() failed: ");
        Serial.println(error.c_str());
#endif
        return;
    }

#ifdef DEBUG_JSON
    Serial.print("Received JSON: ");
    serializeJsonPretty(jsonDoc, Serial);
    Serial.println();
#endif
    int node = jsonDoc["node"];
#ifdef DEBUG_JSON
    Serial.print("Received node: ");
    Serial.println(node);
#endif

    if (node >= 0 && node < maxNodes) {
        if (jsonDoc.containsKey("temperature")) {
            NodeData[node].temperature = jsonDoc["temperature"];
        }
        if (jsonDoc.containsKey("humidity")) {
            NodeData[node].humidity = jsonDoc["humidity"];
        }
        if (jsonDoc.containsKey("batteryVoltage")) {
            NodeData[node].batteryVoltage = jsonDoc["batteryVoltage"];
        }
    }
}

```

```

    if (jsonDoc.containsKey("solarPanelVoltage")) {
        NodeData[node].solarPanelVoltage = jsonDoc["solarPanelVoltage"];
    }
    if (jsonDoc.containsKey("motionDetected")) {
        NodeData[node].motionDetected = jsonDoc["motionDetected"];
    }
    if (jsonDoc.containsKey("motionDetectionCount")) {
        NodeData[node].motionDetectionCount = jsonDoc["motionDetectionCount"];
    }
    if (jsonDoc.containsKey("brightness")) {
        NodeData[node].maxBrightness = jsonDoc["brightness"];

        float brightnessPercentage = (NodeData[node].maxBrightness / 255.0) * 100;

        NodeData[node].brightnessPercentage = round(brightnessPercentage);
    }

#ifdef DEBUG_JSON
    Serial.print("Data stored for node: ");
    Serial.println(node);
#endif
} else {
#ifdef DEBUG_JSON
    Serial.print("Invalid node number received: ");
    Serial.println(node);
#endif
}
}
}

```