



**T.C.**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI AYDINLATMA İÇİN İoT TABANLI PROTOTİP GELİŞTİRİLMESİ  
VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ KONTROLÜ**

**MERVE NUR SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Doç. DR. TURGUT ÖZSEVEN**

**Eylül-2021**

**Her hakkı saklıdır.**

T.C.  
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKILLI AYDINLATMA İÇİN İOT TABANLI PROTOTİP  
GELİŞTİRİLMESİ VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ KONTROLÜ

MERVE NUR SAĞLAM

TOKAT

Eylül-2021

Her hakkı saklıdır.

**Merve Nur SAĞLAM** tarafından hazırlanan “**Akıllı Aydınlatma İçin IoT Tabanlı Prototip Geliştirilmesi ve Bilgisayar Destekli Kontrolü**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 03 Kasım 2021 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



ONAY

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## **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 içerdiği 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.

**MERVE NUR SAĞLAM**

**09 Eylül 2021**

## ÖZET

### AKILLI AYDINLATMA İÇİN İOT TABANLI PROTOTİP GELİŞTİRİLMESİ VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ KONTROLÜ

MERVE NUR SAĞLAM

Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turgut ÖZSEVEN

Aydınlatma, nesnelerin gözle görülebilir hale gelene kadar ışığın yansıtılmasıdır. Akıllı aydınlatma ise birbirleri ile haberleşebilen cihazların uzaktan kontrol edilebilmesi ve yönetilmesidir. Geleneksel sokak aydınlatmalarında karşılaşılan problemler arasında, zamanından önce yanma, hareket yoğunluğunun fazla olduğu saatlerde yetersiz aydınlatma veya arızalanan sokak aydınlatma armatürünün kısa sürede fark edilip değiştirilmemesi yer almaktadır. Yeterli aydınlatmanın olmadığı alanlar insanlar ve canlılar açısından güvenlik olarak tehdit oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında geleneksel aydınlatma armatürlerinin yerine LED aydınlatma armatürü üzerinden aydınlatmanın akıllı hale getirilmesi amaçlanmıştır. Hareket yoğunluğunu algılayan sensörler ile aydınlatma sistemi yoğun zaman dilimlerinde tam güçte çalışacak, hareketin azalması ile birlikte sokak lambası belli saat dilimlerinde loşlaştırılarak enerji verimliliği elde edilecektir. Havanın karamasıyla birlikte ışık sensörü kullanılarak otomatik olarak aydınlatma sağlanacaktır. LED aydınlatma üzerinde yer alan sensörler kablosuz haberleşme ağ teknolojisi olan LoRa ile verileri bulut tabanlı ThingSpeak web ara yüzüne iletmektedir. Aydınlatma, web tabanlı bilgisayar destekli ara yüz üzerinden uzaktan kontrol sağlanmakta, arızalanan sokak aydınlatması ThingSpeak platformu üzerinden kolayca takip edilebilmektedir. Görselleştirilen ara yüz üzerinde LED aydınlatmanın harcadığı elektrik gücü, şebekeden çektiği akım bilgisi, aydınlatma panelinin sıcaklık değeri, ortamın ışık değeri, yer aldığı bölge bilgisi, hareket algılama, aydınlatma lambalarını uzaktan açma-kapama gibi işlemler bilgisayar üzerinden yapılabilmekte ve dünyanın her yerinden ulaşılabilmektedir.

2021,95 Sayfa

**ANAHTAR KELİMELEER:** Nesnelerin İnterneti, Akıllı Şehir, LED Aydınlatma, Akıllı Sokak Aydınlatması, LoRa, ThingSpeak

## ABSTRACT

### PROTOTYPE DEVELOPMENT AND COMPUTER AIDED CONTROL FOR IOT BASED SMART LIGHTING

SAĞLAM, Merve Nur

Master's Thesis, Divisions of Mechatronics Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Turgut ÖZSEVEN

Lighting is the reflection of light until objects become visible to the naked eye. Smart lighting is the remote control and management of devices that can communicate with each other. Early lighting, insufficient lighting during high activity hours, or failure to notice and replace a malfunctioning street lighting armature in a short time are the problems encountered in traditional street lighting. Areas where there is not enough lighting pose a security threat to people and living things. In this thesis, it is aimed to make smart lighting with LED lighting armatures instead of traditional lighting armatures. The system was operated at full power when there was movement intensity with the help of sensors that detect the intensity of movement. When the intensity of movement decreases, the street lamp is dimmed to provide energy efficiency. With the darkening of the air, lighting was provided automatically by using the light sensor. The sensors on the LED lighting transmit the data to the cloud-based ThingSpeak web interface with the wireless communication network technology LoRa. Lighting is controlled remotely via a web-based computer-assisted interface. Faulty street lighting can be easily detected via the ThingSpeak platform. On the visualized interface, operations such as the electrical power consumed by the LED lighting, the current drawn from the mains, the temperature value of the lighting panel, the light value of the environment, the location information, motion detection, remote switching of the lighting lamps can be done via the computer and can be accessed from anywhere in the world.

2021, 95 pages

**KEYWORDS:** Internet Of Things, Smart City, LED Lighting, Smart Street Lighting, Lora, ThingSpeak

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın ortaya çıkmasında fikir, görüş ve nerileri ile bana destek olan ve benden katkısını esirgemeyen danıőmanım Sayın Doç. Dr. Turgut ÖZSEVEN hocama teőekkürlerimi sunarım.

Lisans ve sonraki eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini örnek aldığım Sayın Prof. Dr. Ahmet FENERCİOğLU hocama teőekkürü ayrıca borç bilirim.

Hayatım boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen babam Mehmet SAğLAM'a, annem Asya SAğLAM'a, kardeőlerim Muammer ve Sümeyye SAğLAM'a sonsuz teşekkür ederim.

Her koőulda yanımda olan beni sürekli motive eden sevgili hayat arkadaőım Ahmet Gökhan Gürel'e teşekkür ederim.

**MERVE NUR SAğLAM**

**9 Eylül 2021**

## İÇİNDEKİLER

İçindekiler	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. LED in Gelişimi</b> .....	<b>2</b>
2.1.1. LED'in tanımı, çeşitleri ve çalışma prensibi .....	2
<b>2.2. LED Kullanım Avantajı, Dezavantajı ve Çevre Kirliliğine Etkisi</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. LED Aydınlatma Kriterlerinin Özellikleri</b> .....	<b>8</b>
2.3.1. Işık akısı (lümen) .....	8
2.3.2. Aydınlık düzeyi.....	8
2.3.3. LED aydınlatma etkinlik faktörü (lm/w) .....	8
2.3.4. Işık şiddeti.....	8
2.3.5. Parıltı (Işıklılık).....	9
2.3.6. Renksel geriverim indeksi (CRI) .....	9
2.3.7. Renk sıcaklığı .....	9
2.3.8. Parıltı .....	9
2.3.9. Kamaşa.....	10
2.3.10. IP koruma derecesi.....	10
<b>2.4. Aydınlatmalarda Kullanılan Aydınlatma Seçenekleri</b> .....	<b>10</b>
2.4.1. Akkor flamanlı (Enkandesan) lambalar .....	10
2.4.2. Halojen lambalar .....	11
2.4.3. Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba.....	11
2.4.4. Alçak basınçlı cıva buharlı lamba (Floresan) .....	12

2.4.5. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar .....	13
2.4.6. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar .....	14
<b>2.5. Akıllı Şehir Kavramı, Dünya ve Türkiye’deki Akıllı Şehir Gelişimi .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6. Türkiye’de Akıllı Aydınlatma Sistemi ve Gelişimi .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7. Nesnelerin İnterneti ve M2M Kavramı .....</b>	<b>22</b>
<b>2.8. Nesnelerin İnterneti Uygulama Alanları .....</b>	<b>25</b>
<b>2.9. Nesnelerin İnternetinin Güvenilirliği.....</b>	<b>27</b>
<b>2.10. Nesnelerin İnternetinde Kablosuz Haberleşme Protokolleri, Ağ Yapıları ve Karşılaştırılmaları .....</b>	<b>29</b>
2.10.1. Bluetooth.....	30
2.10.2. ZigBee.....	31
2.10.3. 6LoWPAN .....	32
2.10.4. Wi-Fi.....	33
2.10.5. NFC .....	35
2.10.6 LoRaWAN .....	35
2.10.7. GSM kablosuz haberleşmesi.....	37
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1. Atmega328P Mikrodenetleyici.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2. Kablosuz Haberleşme Protokolü (LoRa).....</b>	<b>40</b>
<b>3.3. Esp8266 (WiFi Modülü) .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4. Transformatör (Trafo) .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5. LED Aydınlatma Paneli .....</b>	<b>44</b>
<b>3.6. MOSFET (Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor).....</b>	<b>45</b>
<b>3.7. Prototipin Algılayıcıları ve Kullanımı.....</b>	<b>46</b>
3.7.1. Hareket sensörü (PIR).....	46
3.7.2. Akım sensörü (ACS712 $\pm$ 5A .....	47
3.7.3. Foto Direnç (LDR).....	49
3.7.4. Real Time Clock (RTC).....	50
3.7.5. Voltaj regülatörü .....	51
3.7.6. Termistör (NTC) .....	54
3.7.7. Gerilim sensörü.....	55
<b>3.8. Akıllı Aydınlatma Elektronik Donanım, Tasarım ve Aşamaları .....</b>	<b>56</b>

3.8.1. Akıllı aydınlatma sensörler ve Lora PCB modülü.....	56
3.8.2. Akıllı aydınlatma Wi-Fi modülü.....	59
<b>3.9. Akıllı Aydınlatma Elektronik Devre Kartlarından Alınan Verilerin Sunucuya İletilmesi ve Kontrolü .....</b>	<b>63</b>
3.9.1 MQTT ile bilgisayar destekli yazılımın gerçekleştirilmesi .....	63
3.9.2. Atmega328 işlemcisinin gömülü yazılımı .....	64
3.9.3. ThingSpeak üzerinden aydınlatma kontrolünün sağlanması .....	66
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>69</b>
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>78</b>
<b>6. KAYNAKÇA .....</b>	<b>79</b>
<b>7. EKLER .....</b>	<b>87</b>
<b>7.1. EK-1: Akıllı Aydınlatma Wi-Fi Modülü Yazılım Kodları.....</b>	<b>87</b>
<b>7.2. EK-2: LORA Algılayıcı Modülü Yazılım Kodları .....</b>	<b>90</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## KISALTMALAR

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AB	Alçak Basınç
AC	Alternatif Akım
AES	Gelişmiş Şifreleme Standardı
BLE	Düşük Bluetooth Enerjisi
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CRI	Renksel Geriverim İndeksi
DC	Doğru Akım
DSSS	Doğrudan Sıralı Yaygın Spektrum
EEPROM	Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek
FHSS	Frekans Atlamalı Yayılmış Spektrum
GSM	Mobil İletişim İçin Küresel Sistem
HVAC	Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
I2C	Entegre Devre
IDE	Entegre Geliştirme Ortamı
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IoT	Nesnelerin İnterneti
IP	Koruma Derecesi
IP	İnternet Protokolü
İSBAK	İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş.
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
LAN	Yerel Ağ Bağlantısı
LED	Işık Yayan Diyot
LoRa	Uzun Mesafe
LPWAN	Düşük Güç Tüketimli Geniş Alan Ağı
LTE	Uzun Vadeli Evrim
M2M	Makineden Makineye
MQTT	Mesajı Kuyruğa Aktarma Protokolü
NFC	Yakın Alan İletişimi
NTC	Negatif Isıl Katsayısı
PAN	Kişisel Ağ Bağlantısı
PCB	Baskı Devre Kartı
PIR	Pyroelektrik Kızılötesi
PWM	Sinyal Genişlik Modülasyonu
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama

RGB	Kırmızı-Yeşil-Mavi
SIG	Özel İlgı Grubu
SIM	Abone Kimlik Modülü
SMD	Yüzey Montaj Devre Elamanı
SRAM	Durađan Rastgele Erişimli Bellek
UART	Evrensel Asenkron Alıcı Verici
UWB	Ultra Geniş Bant
WAN	Geniş Alan Ağı
WiFi	Kablosuz Bağlantı Alanı
WSN	Kablosuz Sensör Ağı
YB	Yüksek Basınç



## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. LED çalışma prensibi .....	3
Şekil 2.2. Kızın ötesi LED dalga boyu .....	3
Şekil 2.3. Power LED iç yapısı ve power LED .....	4
Şekil 2.4. Yuvarlak COB LED ve kare COB LED .....	5
Şekil 2.5. SMD LED .....	5
Şekil 2.6. RGB LED.....	6
Şekil 2.7. Renk sıcaklığı kelvin değerleri .....	9
Şekil 2.8. Alçak basınç sodyum buharlı lamba .....	12
Şekil 2.9. Alçak basınçlı cıva buharlı lamba.....	13
Şekil 2.10. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar .....	13
Şekil 2.11. 250W lık-5500K metal halide lamba.....	15
Şekil 2.12. Enerji alanındaki uygulamaların dağılımı .....	21
Şekil 2.13. Ağ yapılarının kapsamı (Javed, Iqbal, & Abbas, 2017).....	30
Şekil 2.14. Örnek bluetooth modülü.....	31
Şekil 2.15. Örnek ZigBee modülü.....	32
Şekil 2.16. Örnek 6LoWPAN modülü.....	33
Şekil 2.17. Örnek Wi-Fi Modülü.....	34
Şekil 2.18. Örnek NFC modülü .....	35
Şekil 2.19. Örnek LoRaWAN modülü.....	36
Şekil 2.20. Örnek SIM modülü .....	37
Şekil 3.1. Atmega328P pin çıkışları ve entegresi .....	39
Şekil 3.2. Atmega328P şematik .....	40
Şekil 3.3. TCP/IP uygulaması .....	41
Şekil 3.4. E32 TTL 100 LoRa .....	42
Şekil 3.5. ESP8266 pin çıkışları ve entegresi .....	42
Şekil 3.6. ESP8266 devre şeması (THINKER, 2020).....	43
Şekil 3.7. Trafo .....	44
Şekil 3.8. LED panel .....	44
Şekil 3.9. N kanallı ve P kanallı mosfet .....	45
Şekil 3.10. MOSFET iç yapısı ve entegresi .....	45
Şekil 3.11. PIR sensör.....	46
Şekil 3.12. ACS712 pin çıkışları ve entegresi .....	47
Şekil 3.13. ACS712 devre şeması ve çalışma prensibi .....	48
Şekil 3.14. LDR (Foto Direnç) ve çalışma prensibi.....	49
Şekil 3.15. LDR devre şeması.....	49
Şekil 3.16. DS1302 pin çıkışları ve entegresi .....	50
Şekil 3.17. DS1302 devre şematığı.....	51
Şekil 3.18. LM2576 Adj pin çıkışları ve entegresi.....	52
Şekil 3.19. LM2576 regülatör şematik .....	52
Şekil 3.20. AMS1177 voltaj regülatörü ve pin çıkışları .....	53
Şekil 3.21. AMS1177 voltaj regülatör şematik .....	54
Şekil 3.22. NTC ve sıcaklığa bağlı direnç değişim grafiği .....	54

Şekil 3.23. Gerilim sensörü çalışma prensibi.....	55
Şekil 3.24. Akıllı aydınlatma sensörler ve Lora PCB modülü şematik.....	57
Şekil 3.25. Akıllı aydınlatma sensörler ve LoRa PCB modülü footprint .....	58
Şekil 3.26. Akıllı aydınlatma sensörler ve LoRa modülü üç boyutlu tasarımı .....	59
Şekil 3.27. Akıllı aydınlatma Wi-Fi modülü.....	60
Şekil 3.28. Akıllı aydınlatma Wi-Fi footprinti .....	61
Şekil 3.29. Akıllı aydınlatma Wi-Fi modül üç boyutlu tasarımı .....	61
Şekil 3.30. Akıllı aydınlatma prototip genel görünümü .....	62
Şekil 3.31. LED panel LoRa modülü arkadan görünümü .....	62
Şekil 3.32. Akıllı aydınlatma prototipi çalışma anı.....	63
Şekil 3.33. MQTT çalışma prensibi.....	64
Şekil 3.34. Wi-Fi modülünün arduino ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü.....	65
Şekil 3.35. Atmega328 işlemcisinin arduino ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü ....	65
Şekil 3.36. ThingSpeak kanal ayarları .....	67
Şekil 3.37. ThingSpeak grafik ara yüzü .....	68
Şekil 3.38. LED'in ID'si ve aktif durumu (aydınlatma varken).....	70
Şekil 3.39. LED'in aktif durumu (aydınlatma yokken) .....	70
Şekil 3.40. Aydınlatma sağlandığında LED panelin sıcaklık durumu.....	71
Şekil 3.41. Aydınlatma olmadığında LED panelin sıcaklık durumu .....	71
Şekil 3.42. ThingSpeak anlık NTC durumu .....	72
Şekil 3.43. ThingSpeak haftalık NTC durumu .....	72
Şekil 3.44. ThingSpeak anlık akım durumu .....	73
Şekil 3.45. ThingSpeak haftalık akım durumu .....	73
Şekil 3.46. ThingSpeak gerilim durumu .....	74
Şekil 3.47. ThingSpeak haftalık gerilim durumu.....	74
Şekil 3.48. ThingSpeak LDR durumu.....	75
Şekil 3.49 ThingSpeak haftalık LDR durumu .....	75
Şekil 3.50. ThingSpeak PIR durumu.....	76
Şekil 3.51. ThingSpeak haftalık PIR durumu .....	76
Şekil 3.52. ThingSpeak LED aydınlatma konum bilgisi .....	77

## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Aydınlatma çeşitlerinin karşılaştırılması.....	15
Çizelge 2.2. IEEE 802.11X standart karşılaştırmaları.....	34
Çizelge 2.3 LoRaWAN sınıfları .....	36
Çizelge 2.4 Haberleşme protokollerinin karşılaştırılması (Atanasov, 2013).....	38
Çizelge 3.1. ACS712 pin işlevleri.....	47
Çizelge 3.2 ACS712 çalışma hassiyet değerleri .....	48
Çizelge 3.3. DS1302 pin işlevleri.....	51
Çizelge 3.4. LM2576 pin işlevleri.....	52

## 1.GİRİŞ

Türkiye ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin büyük bir çoğunluğunu başka ülkelerden sağlamaktadır. Teknolojinin ve sanayinin gelişmesi diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus ile tüketilen elektrik enerjisinin oranı sürekli olarak artış göstermektedir (Akyazı, Şahin, & Kahveci, 2019).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilere bakıldığında, Türkiye’de elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 304,2 milyar kWh olduğu açıklanmıştır (Enerji, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020). Bu tez çalışmasında sokak aydınlatmada enerji tüketimini en aza indirmek için mevcut olan sokak aydınlatmalarının dışında LED li aydınlatmalar, teknolojik cihazlar ve sensörler ile akıllı hale getirerek sağlanmıştır.

Ülkemizde enerji tüketiminde dışa bağımlılığın azaltılması, elektrik tüketiminin doğru ve etkin kullanılması için 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. “Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasını kapsamaktadır (Resmîgazete, Enerji Verimliliği Kanunu, 2007).

Tez kapsamında 100 W’lık 1 adet SMD LED panel kullanılarak aydınlatma üzerinde yerleştirilen sıcaklık, hareket, ışık yoğunluğu sensörleri ile arıza durum bilgisini, uzun mesafelerde kablosuz ağ teknoloji olan LoRa üzerinden buluta aktaracaktır. Aydınlatma panellerinin ömürleri sıcaklıkla ters orantılı olarak ilişkilendirilmektedir. Sıcaklığın fazla olması LED aydınlatma ömrünü azaltacağından aydınlatmanın anlık olarak sıcaklık değeri okunup sistem üzerinden takip edilebilmektedir. Aydınlatmada tam güçte çalışma ve loşlaştırma yani PWM ile kontrol edilerek enerji verimliliği üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Dünya’daki iklim değişiklikleri, kaynakların kısıtlı hale gelmesi ve enerji fiyatlarının hızlı bir şekilde yükselmesi gibi nedenlerden dolayı LED’ler ışık kaynağı olarak gelecek için çok önemli bir çözüm kaynağı olarak görülmektedir.

Enerji tüketiminin yüksek, verimliliği düşük olan halojen lambaların, Flüoresan lambaların ve yüksek basınçlı cıva lambaların yavaş yavaş pazardan kaldırılarak yerini LED aydınlatmalara bırakmaktadır.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1. LED in Gelişimi**

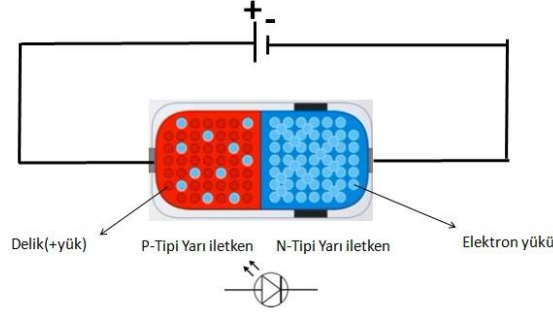
LED’li Sokak aydınlatmalarının verimi ve kullanım ömrü günümüze gelene dek farklı aydınlatma kaynakları kullanılmıştır. 1970’li yılların ortalarında kompakt Flüoresan lambaların (CFLs) icat edilmesine rağmen lambaların üretim maliyetlerinin yüksek olmalarından dolayı bu aydınlatma kaynakları 1990’lı yıllara kadar pazarda yerini alamamıştır (Cole & Driscoll, 2014). Enkandesan lambalar ile karşılaştırıldıklarında kompakt flüoresan lambalar enerji tasarrufu sağlayan ve daha uzun ömürlü lambalar olarak kompakt flüoresan lambalarda kullanılan integral balastlardan ötürü lambaların yangın sebebi olarak bilinmesi ve içerdiği yüksek miktardaki cıva oranı gibi özelliklerinden dolayı çevreye zarar vermekteydi. Mevcut ışık kaynaklarının aksine ışık yayan diyotlar (LEDs) lamba olmayıp, özel yarı iletken malzemeden oluşan elektronik çiplerden oluşmaktadır. LED yurt dışı pazarında ilk olarak 1960’lı yıllarda Amerikalı bilim adamı Nick Holonyak tarafından geliştirilen kırmızı renkli LED ile gerçekleşmiştir. Yeni yarıiletken maddelerin geliştirilmesi üzerine turuncu, sarı, mavi ve yeşil renklerde LED ışık kaynakları 1970 ile 1990 yılları arasında ortaya çıkmıştır. 2000’li yıllarda geleneksel ışık kaynaklarına alternatif olarak LED gelişimi giderek hız kazanmıştır (Licht, 2010).

LED’lerin renklerinin olabildiğince gerçek renkte algılanmasını sağlayan renksel geriverim değeri 85 ve üzerinde olup, geleneksel ışık kaynakları ile kıyaslandığında objeler gerçeğe yakın bir şekilde aydınlatılmış olurlar (M.M., G.B., & A.H.A., 2013). Ayrıca LED ışık kaynakları diğer ışık kaynakları ile karşılaştırıldıklarında uzun bir kullanım ömrüne sahiptirler. Bir akkor lamba yaklaşık 1,000 saat yanarken, bir Flüoresan lamba yaklaşık 18,000 saat yanabilir, yüksek performanslı bir LED ise 50,000 saat ve üzeri çalışma ömrüne sahiptir (Licht, 2010).

#### **2.1.1. LED’in tanımı, çeşitleri ve çalışma prensibi**

LED (Light Emitting Diode) yani ışık yayan diyotlar, gerilimin doğru yönde uygulanmasıyla elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren ışık kaynaklarıdır. Diyot ise akımın tek yönde geçmesini sağlayan yarı iletken bir devre elamanıdır.

LED'lerin içerisinde P (pozitif) ve N(negatif) – tipi olmak üzere iki adet yarıiletken devre madde bulunur. LED de yer alan P-tipi yarı iletken ile N-tipi yarı iletken arasında elektron alışverişinin sonucunda ışık meydana gelir.

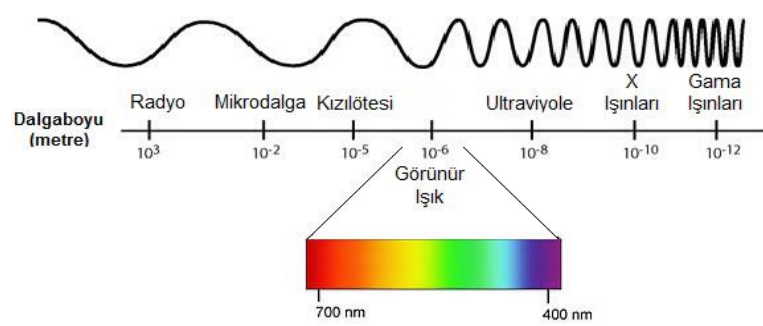


Şekil 2.1. LED çalışma prensibi

LED'ler boyutlarına güçlerine ve yaydıkları ışık miktarına bağlı olarak farklı çeşitleri bulunmaktadır.

### Kızıl Ötesi (Infrared) LED

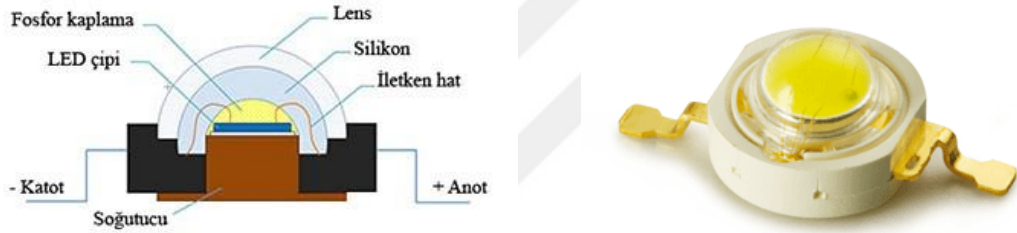
Mikrodalgadan daha küçük dalga boyu ile görünür kırmızı ışık dalga boyundan daha büyük olan elektromanyetik ışımaya kızıl ötesi denir. İnsan gözünün algılayamayacağı dalga boyunda ışık yayan LED'lerdir. İngilizce infrared radiation kelimelerinin baş harfleri bir araya getirilerek IR kısaltması ile kullanılır. IR LED ler 750 nm ile 1 mm aralığında dalga üretirler. Gece görüş kameraları, kumandalarda sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Kızıl ötesi LED dalga boyu

## Power LED

Power LED'ler, düşük enerji tüketimi ile yüksek ışık verimliliği elde edilen LED'lerdir. Power LED'lerin yaydıkları ışık renklerine (kırmızı, mavi vb.) göre enerji tüketimleri farklılık göstermektedir. Power LED'lerin diğer floresan ve enkandesan lambalara göre birçok avantaja sahiptir. Bu LED'ler, küçük paket boyutları ile diğer aydınlatma seçeneklerine göre daha avantajlıdır. Power LED'ler için kullanılan reflektör veya özel lensler sayesinde ışık istenilen yüzeye yansıtılmaktadır. Ayrıca yapı gereği darbelere ve titreşimlere karşı oldukça dayanıklı ve uzun ömürlüdürler. Bu LED'lerin günümüzde kullanım alanları geniş bir yer kaplamaktadır; Kumanda sistemlerindeki aydınlatmalar, paralel ve seri bağlanarak elde edilen yüksek güçlü sokak aydınlatmalarında kullanılmaktadır.

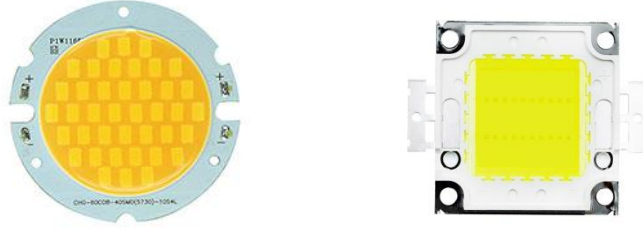


Şekil 2.3. Power LED iç yapısı ve power LED

## COB (Chip-on-Board) LED

İngilizce Chip On Board kelimelerinin baş harflerinden oluşan COB LED'ler seramik veya alüminyum tabanlı baskı devre kartlarının üzerine yerleştirilerek elde edilen ışık yayan diyotlardır. Baskı devre kartları üzerine seri ve paralel yerleştirilerek çoklu LED aydınlanma kaynağı elde edilir. Üzerine yerleştirilen malzemenin cinsine bağlı olarak (seramik veya alüminyum) daha az ısınırlar.

LED'lerin ömürleri ısınma ile doğru orantılı olarak ilişkilendirildiğinde uzun kullanım ömrüne sahiptirler. Farklı alanlarda kullanılmak üzere boyutları SMD LED'lere göre daha özelleştirilmiştir. Reflektör aydınlatmalar için kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Yuvarlak COB LED ve kare COB LED

### SMD LED

Elektronik baskı devre kartlarında (PCB) yüzeye montajlanabilecek küçük boyutlu LED'lerdir. Farklı boyutlarına göre enerji tüketimleri ve verimlilikleri değişmektedir. COB LED'ler gibi seri veya paralel bağlanarak daha güçlü aydınlatmalar elde edilebilmektedir. COB LED'lerin SMD LED ile en büyük farkı yüzeye yerleştirilen tabanlarının farklı olması ve aynı zamanda COB LED'lerde diyot sayılarının daha fazla olmasıdır.

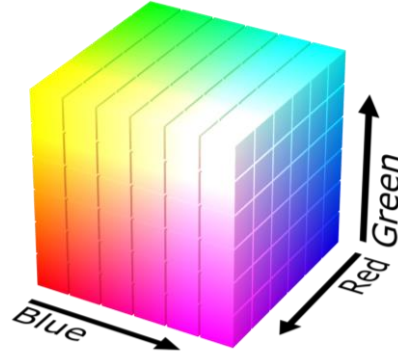
Birden fazla SMD LED'lerin bir araya getirilmesiyle enerji verimliliği yüksek, güçlü aydınlatmalar elde edilir. Bu LED'ler Sokak aydınlatmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. SMD LED

### RGB ve Şerit LED

RGB LED'lerde ışık kaynağının farklı dalga boylarıyla sarı, yeşil ve mavi renkler ile farklı ışık renkleri elde edilir. Bu üç rengin en yüksek yoğunlukta, eşit düzeyde eklenmesiyle beyaz ışık elde edilir. Şerit LED ise SMD LED lerin ardışık olarak elektronik şerit şeklinde dizilmesiyle elde edilir.



Şekil 2.6. RGB LED

## 2.2. LED Kullanım Avantajı, Dezavantajı ve Çevre Kirliliğine Etkisi

LED'ler verimlilik, kullanım ömrü ve maliyet açısından diğer aydınlatma türlerine göre avantajlara sahiptir. Bunlar maddeler halinde özetlenecek olduğunda;

**Kullanım Ömrü:** LED'lerin kullanım ömrü ortalama olarak 30.000 ile 50.000 arasındadır. Günde 24 saat çalışarak yaklaşık 6 yıllık ömre sahiptirler. Floresan lambalar 10.000-15.000 saat arasında ve enkandesan lambalar ise 1000-2000 saat çalışma aralığına sahiptirler.

**Yüksek Işık Verimi:** Aydınlatma elemanının ışık akısının (lm) harcadığı elektrik gücüne(W) oranını ifade etmektedir. Genel olarak hesaplama yapıldığında LED'ler 25-120 lm/W ışık verimliliğine sahipken, akkor flamanlı lambalar 10-15 lm/W, floresan aydınlatmalar 60-80 lm/W ışık verimliliğine sahiptir (Aydınlatma, 2020). LED aydınlatmaları Akkor lambalara göre 10 kat daha fazla enerji verimliliğine sahiptirler (Hinov, Tsankov, & Ibrishimov, 2019).

**Loşlaştırma:** LED'ler darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile kullanılacak alanlara uygun olarak ışık miktarı kısılıp açılarak ayarlanabilir.

**Renk Çeşitliliği:** Diğer aydınlatmalardan farklı olarak farklı dalga boylarından elde edilen renkler ile çeşitli renk çeşitliliğine sahiptir.

Isınma: Sokak aydınlatmalarının fazla ısınması kullanım ömürlerini de doğrudan etkilemektedir. LED'ler enerjinin büyük bir çoğunluğunu ışık olarak çevreye vererek akkor ve floresan aydınlatmalara göre daha az ısınırlar.

Akkor flamanlı lambalar 2700 °C çalışırken LED'ler yaklaşık 110 °C gibi düşük sıcaklıkta çalışırlar. Böylece çalışma alanına çok fazla ısı yaymazlar. Ayrıca LED'ler küçük boyut yapılarından dolayı istenilen güç ve verimlilikte aydınlatma sağlanabilmektedir. Yapıları gereği titreşim ve darbelere karşı sağlamdır.

Alçak basınç cıva buharlı lamba türü olan floresanlar ile LED aydınlatma karşılaştırıldığında, floresanların ömürlerinin açıp-kapatma işlemine bağlı olması, starter ve balast gibi yardımcı elamanlar ile birlikte çalışması, yüksek güç ve verimlilik açısından LED lamba aydınlatmaları daha avantajlıdır (ÖZÇELİK & YILMAZ, 2019).

Yüksek basınç sodyum buharlı lambalar ile LED aydınlatma karşılaştırıldığında, aynı çalışma saatlerine sahip sabit güç tüketimi altında, yüksek basınç sodyum buharlı lamba kayıp güç tüketimleri dahil ortalama 175 W iken LED lamba aydınlatması kayıplar ile birlikte ortalama 90 W tüketmektedir. LED aydınlatmalar aynı güç değerinde daha az enerji tüketmektedir (Akyazı, Şahin, & Kahveci, 2019).

Dezavantajları ise sokak aydınlatmaları için kullanıldığında ilk kurulum maliyetleri fazladır. Gerilim değerleri aralığında çalışan LED'ler bu çalışma geriliminin düşük olması durumunda ışık vermezler, çalışma geriliminin yüksek olması durumunda da zarar görürler. Bu gerilim ayarlamaları harici akım regülatörleri ve seri bağlanan dirençlere ihtiyaç duymaktadır (EMO, 2020).

Çevre kirliliğine olan etkilerine bakıldığında, LED lerin içerisinde bulunan entegrelerden meydana gelen diyotlardan elde edilen ışık kaynağı ile çevreye zararsız aydınlatma sağlanırken, floresan aydınlatmalarında flor gazı ve cıva buharı ile ışık kaynağı oluşturulması çevre açısından zararlıdır.

### **2.3. LED Aydınlatma Kriterlerinin Özellikleri**

LED aydınlatma özelliklerinin en doğrusu uluslararası elektroteknik komisyonu (IEC) tarafından belirlenen standartların yer aldığı kriterlere göre seçim yapılmasıdır.

29383 Sayılı resmî gazetede yayınlanan “LED Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesinde yer alan fotometrik özellikler aşağıda yer almaktadır: (Resmigazete, 2015).

#### **2.3.1. Işık akısı (lümen)**

Işık kaynağı üzerinden yüzey üzerine düşen toplam görünür ışık miktarı ışık akısını ifade etmektedir. Işık akısı ‘ $\Phi$ ’ sembolü ile ifade edilmektedir. Birimi lümen (lm)’dir. Lümen miktarı aydınlatma için parlaklık düzeyini belirler. Bir aydınlatmanın ışık seviyesi güç üzerinden değil lm değerinden belirlenmektedir.

#### **2.3.2. Aydınlanma düzeyi**

Bir yüzeyin birim alanına düşen ışık akısı miktarı aydınlık düzeyi ifade etmektedir. Aydınlanma düzeyi hesaplamaları için ışık akısının dik bileşenlerinin o yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanır. Aydınlanma düzeyinin sembolü ‘E’ harfi ile gösterilir, birimi lux veya lümen/m<sup>2</sup>’dir.

#### **2.3.3. LED aydınlatma etkinlik faktörü (lm/w)**

Toplam ışık akısının aydınlatmanın toplam gücüne oranını ifade etmektedir. Birimi lümen/watt’tır.

#### **2.3.4. Işık şiddeti**

Noktasal ışık kaynağından herhangi bir doğrultuda çıkan ortalama ışık şiddeti, bu doğrultuda birim uzay açıdan çıkan ışık akısıdır. Işık şiddeti ‘T’ harfi ile gösterilir, birimi Candela (cd)’dir.

### 2.3.5. Parıltı (Işıklılık)

Cisimden yansıyan ışık şiddeti parıltı olarak adlandırılmaktadır. Cisimlerin görünümü yüzeylerindeki parıltı ile orantılıdır. Parıltı 'L' ile gösterilir, birimi  $cd/m^2$  dir.

### 2.3.6. Renksel geriverim indeksi (CRI)

Işık kaynağı tarafından aydınlatılan cismin renklerinin ayırt edilebilmesidir. Gün ışığı referans alındığında renk kaybı oranının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. CRI değeri ne kadar yüksek olursa nesnenin doğru rengini algılamak mümkün olmaktadır.

### 2.3.7. Renk sıcaklığı

Aydınlatma kaynağının yaydığı ışığın rengini ifade etmektedir. Birimi Kelvin'dir ve 'K' harfi ile gösterilir.

Aşağıdaki görsel de yer aldığı gibi, 3300 K altındaki aydınlık düzeyi sıcak beyaz, 3300 K-5300 K arası ılık beyaz, 5300 K-6500 K arası soğuk beyaz, 6500 K ve üzeri aydınlık düzeyi gün ışığıdır.



Şekil 2.7. Renk sıcaklığı kelvin değerleri

### 2.3.8. Parıltı

Aydınlatma kaynağı tarafından belirli bir alan içerisinde yayılan ışık şiddetinin miktarıdır. Yani ışık şiddetinin yüzeyin izdüşümüne bölünmesini ifade etmektedir. Birimi  $cd/m^2$  sembolü 'L' ile gösterilmektedir (Cemdag, 2020).

### **2.3.9. Kamaşa**

Parıltı düzeyinin gözü rahatsız edecek durumda olmasıdır.

### **2.3.10. IP koruma derecesi**

Aydınlatma kaynağının dış etkilere karşı (toz, kum, yağmur. vb.) koruma dayanımının bir ölçütüdür. IP derecelendirmesi iki rakamdan oluşmaktadır bu rakamların her biri farklı bir dereceyi ifade etmektedir, ilk rakam katı cisimler için koruma derecesini, ikinci sayı ise sıvılara karşı koruma derecesini ifade etmektedir. Örneğin; IP65 koruma derecesine sahip sokak aydınlatması suya dayanıklı iken IP68 derecesine sahip armatür ise tamamen suya dayanıklıdır.

Aydınlatma seçimleri yapılırken kullanılacak yer ve konuma göre koruma derecesi göz önünde bulundurulması gereken önemli etkenlerden biridir.

## **2.4. Aydınlatmalarda Kullanılan Aydınlatma Seçenekleri**

Geçmişten günümüze kadar birçok aydınlatma türleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Elektrik aydınlatmasında yapılan ilk çalışma 19. Yy kimyager Sir Humphry Davy tarafından yapılmıştır. Platin şeritten oluşan filaman üzerine büyük bir batarya ekleyerek 1802 yılında akkor lambanın ilk prototipini gerçekleştirdi.

Hazırlanan düzeneğe elektrik akımı verildiğinde filaman ısındı ve ışık yaymaya başladı. Platinin ısıya dayanım gücünün fazla olmasına rağmen filaman fazla ısınması sonucu aydınlatma kısa süreli olmuş ve farklı yollar aranmasına neden olmuştur. Aydınlatmada kullanılan seçenekler aşağıdaki alt başlıklar altında incelendiğinde;

### **2.4.1. Akkor flamanlı (Enkandesan) lambalar**

İlk ticari olarak kullanılabilen elektrik ışığını, 1879 yılında Thomas Edison ve Sir Joseph Swann yapmıştır. Daha önceki çalışmalarda yer alan karbon flaman yerine tungsten telden yapılmış flaman üzerinden akım geçirerek telin yüksek derecede kızarması sonucunda daha uzun ömürlü elektrik lambası elde etmişlerdir (Historyoflighting, 2020).

Akkor lambalar düşük üretim maliyetine sahip, gerilim düzenleme işlemine gerek duymaksızın hem AC (Alternatif Akım) hem de DC (Doğru Akım) gerilim ile çalışabilirler.

Akkor lambaların renk verimleri yüksek olmasına rağmen ışık verimleri düşüktür. Verimliliği az aynı zamanda da düşük ömürlü olan akkor lambalar 2009 yılında Avrupa Birliği tarafından kademeli olarak kullanımı yasaklanmıştır (Europa, 2009). Bu yasaklanmadaki asıl amaç aydınlatmada verimliliği daha yüksek olan aydınlatma türlerine geçmek ve enerji üretiminde meydana gelen olumsuz sera gazının önüne geçmesini sağlamaktır.

#### **2.4.2. Halojen lambalar**

Halojen lambalar, akkor flamanlı lambalar ile benzer yapıdadır. Akkor lambalarda yer alan tungsten flamanı sahip bu lambalar içerisine yerleştirilen halojen gazı sayesinde tepkimeye girerek aydınlatma sağlarlar. Akkor Flamanlı lambalara göre daha uzun ömürlü ve küçük yapıdadırlar.

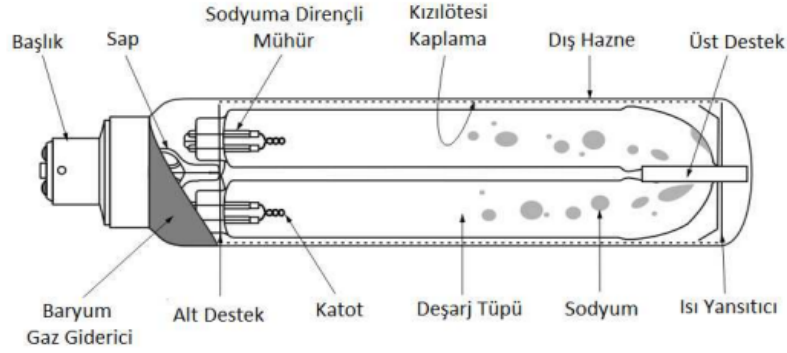
Halojen lambalar, diğer aydınlatma lambalarına göre daha fazla ısı yaymaktadırlar. Bu sebepten dolayı düşük verimlidir (Benga, 2020). Genellikle iç aydınlatma alanlarında kullanılır.

#### **2.4.3. Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba**

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, içerisinde yer alan neon gazından kaynaklı başlangıçta pembe ışık yayarlar daha sonra ön deşarj işleminin tamamlanmasıyla tüp ısınarak sodyum buharlaşır böylece sodyumun ışık spektrumdan kaynaklı turuncu ışık yayarlar.

En verimli aydınlatma türlerinden olan alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların harcadığı güce oranla yaydıkları görünür ışık oldukça fazladır. Verimleri 100-200 lm/W arasındadır. Çalışma ömürleri ortalama 18000 saattir (Kocaeli, 2019).

Başlangıçta çalışması için balast, trafo ve kondansatör gibi yardımcı elamanlara ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 2.8. Alçak basınç sodyum buharlı lamba

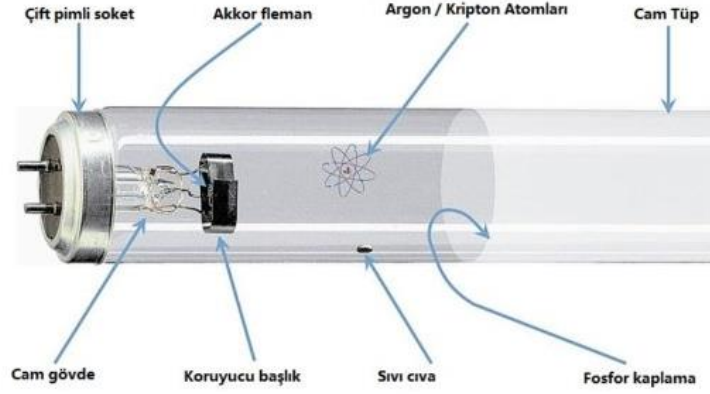
Işık kaynağı açısından oldukça verimli olan alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların en büyük dezavantajlarından biri renksel geriverimi düşük olmasıdır. Bu sebeple nesnelerin gerçek renkleri normalden biraz farklıdır.

Sokak ve cadde aydınlatmalarında tercih edilmektedir. İçerisinde cıva bulunmadığı için kimyasal olarak zararlı değildir. Akkor lambalara göre kullanım ömürleri azalsa bile lümen değeri azalmaz.

#### 2.4.4. Alçak basınçlı cıva buharlı lamba (Floresan)

Floresan lambalar, alçak basınçlı cıva buharlı lambalar adıyla da bilinmektedir. Floresan lambaların iç yüzeyinde fosfor kaplı gazlar ve cıva yer almaktadır. Bu floresan katmanı starter adı verilen otomatik anahtar tarafından uyarılarak ışık meydana gelir (Şahin, 2020). İçerisinde cıva bulunan bu aydınlatma lambaları çevre açısından zararlıdır. Kullanım ömürleri floresan lambaların açıp kapatılması ile doğrudan ilgili olarak zamanla azalmaktadır.

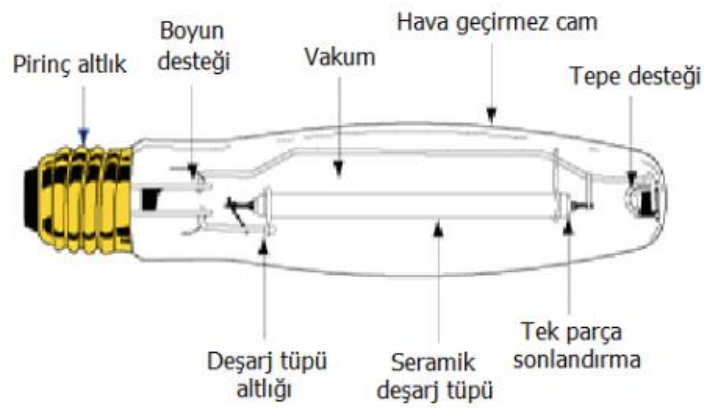
Floresan lambalar, soğuk beyaz, beyaz, gün ışığı gibi farklı ışık renklerinde üretilirler. Floresan lambaların ısı kayıpları düşüktür, verimleri 45 ile 200 lümen/Watt arasındadır (Kocaeli, 2020).



Şekil 2.9. Alçak basınçlı cıva buharlı lamba

#### 2.4.5. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların içerisinde bulunan deşarj tüpünün basıncının yükseltilmesi ve içerisinde cıva eklenmesi ile alçak basınç sodyum buharlı lambalara göre ışık kaynağı alanı genişletilmiştir. Lambanın aydınlatma sağlama işlemi, deşarj tüpü içerisinde yer alan cıva ve sodyum gazlarının yüksek basınç uygulanarak sıcaklıkta bu gazların buharlaşması ile gerçekleşmektedir.



Şekil 2.10. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların deşarj tüpü içerisinde basıncın artması ve yüksek sıcaklığa bağlı olarak aydınlatmanın oluşması için bu lambalarda kullanılan malzeme basınç ve sıcaklığa dayanıklı olan 'saydam seramik' malzemeden yapılmaktadır. Yüksek basınç sodyum buharlı lambalar AC güçte balast yardımı ile çalışmaktadır. Kullanılan balastın endüktif olması aktif güç kaybında en aza indirmektedir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar 30 W ile 100 W arası güçlerde çalışmaktadırlar. Çalışma ömürleri alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara göre daha fazla olup ortalama 20000 saattir (Kocaeli, 2020). Dış aydınlatma alanlarında kullanılmaktadır.

#### **2.4.6. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar**

Yüksek basınçlı cıva buharlı lambaların çalışma sırasında enerjinin iletilmediği anda şebeke gerilimi deşarjı tekrar başlatmak için yeterli olmaz. Bu sebepten dolayı lambanın soğuması ve içerisindeki basıncın da azalması gerekmektedir. Ortalama çalışma ömürleri 6000-9000 saat arasında değişmektedir.

Verimleri ve renksel geri verim oranı düşük olmasından dolayı yol aydınlatmalarında kullanımı uygun değildir (Benga, Işık Kaynakları ve Aydınlatma Tarihi, 2020).

#### **Metal Buharlı (Metal Halide) Lambalar**

Halojen gazlarının meydana getirdiği tuz 'halide' olarak ifade edilmektedir. Yüksek basınçlı cıva buharlı lamba türüdür.

İçerisine cıvadan farklı olarak sodyum, indiyum ve thalyum halojen gazları bulunmaktadır. Yüksek basınç cıva buharlı lambalara göre ışık kaliteleri daha yüksektir (Kocaeli, 2020).

Metal halide lambaların en gelişmiş seramikten üretilmektedir. Genelde kullanılan kuvars tüp yerine seramik tüp kullanıldığında yüksek sıcaklıklara dayanmaktadır. Bu sebepten dolayı seramik halide lambalar, kuvars tipi lambalara göre daha uzun ömürlüdür (Kocaeli, 2020) . İç mekân aydınlatmalarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.11. 250W ılık-5500K metal halide lamba

Aydınlatma da kullanılan lamba türleri tercih edilirken aşağıda yer alan tablodaki gibi kullanım ömürleri, verimlilikleri ve kullanım ömürleri gibi önemli kriterler göz önünde bulundurulur.

Çizelge 2.1. Aydınlatma çeşitlerinin karşılaştırılması

Özellikler	Enkandesan Lambalar	Halojen Lambalar	Floresan Lambalar	Metal Halide Lambalar	Y.B Cıva Buharlı Lambalar	Y.B Sodyum Buharlı Lambalar	A.B Sodyum Buharlı Lambalar
<b>Renksel Geriverim İndeksi</b>	Çok iyi	Çok iyi	İyi	İyi	Orta	Kötü	Kötü
<b>Ortalama Ömür (saat)</b>	1000	1000-4000	5000-16000	6000-12000	15000-25000	16000-32000	16000
<b>Etkinlik Faktörü (Lm/W)</b>	6-16	12-25	60-104	72-110	40-59	88-130	100-192
<b>Avantajları</b>	Kurulumu ucuz, Küçük ebatlar, Açma kapama ömrü yok	Kurulumu ucuz, Açma kapama ömrü yok	Çok iyi ışıksal verim	Çok iyi ışıksal verim	Uzun ömür	Çok iyi ışıksal verim, Uzun Ömür	Çok çok iyi ışıksal verim, Uzun Ömür
<b>Dezavantajları</b>	Enerji sarfiyatı fazla, Ömrü çok kısa	Enerji sarfiyatı fazla, Ömrü kısa	Açma kapamanın ömür üzerine negatif etkisi var	Düşük Ateşleme Frekans	Düşük renksel geriverim	Düşük renksel geriverim	Büyük Lamba ebadı, Çok kötü renksel geriverim
<b>Kullanım Alanlar</b>	Apartman boşlukları, Holler	Müzelerde	Ofis, Ev, Endüstriyel Tesisler	Bina cephe aydınlatması	Yüksek Tavanlı depolar	Yol, Tünel ve Meydan Aydınlatması	Tünel, fabrika dış mekân aydınlatması

## 2.5. Akıllı Şehir Kavramı, Dünya ve Türkiye'deki Akıllı Şehir Gelişimi

Teknolojinin gelişmesiyle beraber şehirlerin planlama, altyapı sistemleri, modern kentleşme anlayışı değişmeye ve gelişmeye başlamıştır.

Ağ bağlantıları, nesnelere interneti ve sensörler ile akıllı kent kavramının ilk aşamaları 1990 yıllarından itibaren öne çıkmaya başlamıştır. (ÖRSELLİ & AKBAY, 2019). Şehirlerde yaşayan toplumların refah düzeylerinin yükseltilmesi, gelişen teknolojinin yaşam ile bir araya getirilmesini de kaçınılmaz kılmaktadır.

Akıllı kent kavramı; insanların talepleri, küresel ısınma, artan nüfus ile birlikte ihtiyaçların fazlaşması, kaynakların sınırlı olması gibi sebeplerden her geçen gün daha yenilikçi ve teknolojik gelişmeler ile şekillenmektedir.

Akıllı şehir uygulamasının amacı kaynakların doğru ve tasarruflu kullanılmasını, enerji tüketimini azaltmayı, çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı, karbon dioksit gazının salınımını azaltmaktır.

Birleşmiş Milletlerin öngörüsüne göre dünya nüfusunun %70'i, 2050 yıllarının sonlarına doğru şehirlerde yaşayacağı yönündedir (Velibeyoğlu, 2016). Kentte yaşayan insan sayısının artması güvenlik, ulaşım ve enerji tüketimini de artırmaktadır. Bu artış ekonomik ve sosyal anlamda şehirlerin gelişmişlik düzeyinin önemini de artırmaktadır.

Akıllı şehirler, mevcut kaynakları daha verimli kullanan, akıllı çözüm yolları sunan, bilgi ve iletişim alanında teknolojik alanlara yatırım yapan, bu alanda tasarruf elde edebilen, bunların sonucunda bireylerin yaşam standartlarını artırarak çevredeki sera gazı salınımlarını azaltmayı hedefleyen sistem yapısıdır (Ateş & Önder, 2019).

Akıllı şehir kavramına finansal açıdan bakıldığında, iletişim teknolojisinin aktif kullanılması, kablosuz ağ yönetimlerinin gelişmesi, gömülü işletim sistemlerine sahip cihazların artması, mobil cihazlar ve nesnelere interneti altyapısının gelişmesi ekonomik kaynakların etkin ve en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Örselli & Akbay, 2019).

Bir şehrin gelişmiş olması yani akıllı hale getirilmesi için bilgisayar destekli donanımlara, gerçek zamanlı takip edilebilmesine, dijital ortamdaki erişilmesine imkân sağlamasına ihtiyaç duymaktadır. Yani bir kentin akıllı olması için yenilikçi çözümler sunması, iletişim teknolojilerinin aktif kullanılması ve karşılaşılan problemlere hızlı çözüm sunması gerekmektedir.

Avrupa Birliği Komisyonu tarafından 2006-2008 yılları arasında 30 ay boyunca birden fazla ülkenin bir araya gelerek E-Street uygulamasını hayata geçirmiştir (Europa-Street, 2008). Bu kapsamda akıllı sokak aydınlatmasının farkındalığını ifade etmek aynı zamanda da bir araya gelen ülkeler de teknolojinin hızlı bir şekilde kullanımını artırmak amaçlanmıştır. Bu rapor sonucunda Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından (akıllı) sokak aydınlatma uygulamaları için yeni standartlar belirlenmiş ve bu bağlamda Oslo'da aydınlatma uygulamalarını faaliyete geçirmiştir. (Europa, Intelligent Road and Street lighting in Europe E-Street, 2008).

2000'li yıllarda Türkiye'de akıllı şehrin ilk uygulaması Yalova ilinde 'Bilişim Vadisi' Projesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eko-tech yerleşim alanı üzerinde bilişim akıllı kent projesi başlatılmıştır. Akıllı şehir uygulamaları daha sonrasında Ankara, Eskişehir gibi illerde gelişmeye devam etmiştir (Alkan, 2015).

Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan 2020-2023 yılları arasında yer alan eylem planı 'Ulusal Akıllı Şehir Stratejileri' kapsamı, akıllı şehir yönetimi ve akıllı şehir uygulamalarını içermektedir (Bakanlığı, 2019). Avrupa Birliğine göre akıllı şehir uygulamaları; 'akıllı çevre, akıllı ekonomi, akıllı yapılar, akıllı insan, akıllı sağlık, akıllı enerji' kavramlarından oluşmaktadır (Manville, 2014). Bu kapsamda akıllı enerji alanında yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının tüketiminin kontrol edilmesi hedeflenmektedir. Teknolojik uygulamalar ile desteklenen ve geliştirilen akıllı aydınlatma sistemleri de elektrik enerjisi tüketimini en aza indirmektedir.

Gelişen ülkelerin akıllı kent kavramı içerisinde yer alması her geçen gün artmaktadır. Dünya genelinde akıllı şehir sayısına bakıldığında Anthopoulos, tarafından yapılan araştırmaya göre 300'den fazla akıllı şehir olduğu belirtilmektedir (Anthopoulos, 2017).

Ayrıca dünya genelinde akıllı şehirlere yapılan harcamalar 2015 yılında 14,85 milyar dolar iken 2020 yılında dünya çapında akıllı şehir girişimlerine yapılan teknolojik yatırımın 2019 yılına oranla %20'lik artış ile 124 milyar olması beklenmektedir. Akıllı şehir çalışmalarına yapılan küresel harcamaların 2023'de 189,5 milyar olması beklenmektedir (Statista, 2020).

Gelişmiş ülkeler akıllı kent uygulamalarında diğer ülkelere göre daha hızlı ilerlemektedir. Bu gelişmeler teknolojik anlamda güçlü bir alt yapı, ekonomik açıdan da yüksek maliyetler gerektirmektedir. Dünya genelinde akıllı kent kavramına bakıldığında genellikle var olan şehirlerin teknolojik olarak geliştirilmesini kapsamaktadır. Sıfırdan akıllı kent haline getirilen ülkeler ise Lusail (Katar), Lavasa (Hindistan), Songdo (Güney Kore), Masdar (Birleşik Arap Emirlikleri)'dir (Gürsoy, 2019).

2018-2019 yılları arasında Eden Strateji Enstitüsü ve ONG & ONG (OXD) tarafından yayınlanan raporda akıllı şehir kriterlerine göre ilk 10 şehir belirlenmiştir. Bir şehrin akıllı olarak sayılması için gerekli olan kriterler aynı enstitü tarafından maddeler şeklinde ifade edilmiştir. Bu bağlamda bir kentin akıllı olması belirlediği vizyona, altyapı sisteminde lider olmasına, akıllı şehir için gerekli bütçeye sahip olmasına, yapılan finansal teşviklere, akıllı şehir bilinci oluşturmak adına yapılan destek uygulama programlarına uyumluluğuna, şehrin akıllı hale getirilmesine hazır olmasına, yapılacak uygulamaların insan odaklı olarak geliştirilmesine, yenilik ekosistemine, akıllı kentsel tasarım (akıllı politika) düzeyine ve geçmiş uygulamalardan elde edilen performans değerlerine bağlıdır (Eden Strategy Institute, 2018). Bu kriterler dahilinde Dünyadaki ilk 10 akıllı şehir sırası ile "Londra, Singapur, Seul, New York, Helsinki, Montreal, Boston, Melbrun, Barselona ve Şangay'dır" (Eden Strategy Institute, 2019).

Deloitte ve Vodafone 'un birlikte çalıştığı 'Akıllı Şehir Yol Haritası' raporunda akıllı şehir çalışmalarında kaynakların tasarruflu kullanılması ve verimlilik elde edilmesi alanında Los Angeles'ta akıllı ulaşım alanında duraklarda %35, yolda bekletmelerde %20, ulaşım süresinde %13 azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte yakıt tüketiminde %12,5 oranında düşüş meydana geldiği ifade edilmektedir. Akıllı sokak aydınlatması uygulamasında Oslo'da elektrik tüketimindeki tasarruf %70 olarak ifade edilmektedir (Deloitte & vodafone, 2016:10).

Avrupa Birliği ereve Programı olan Horizon 2020 programı kapsamında ‘GrowSmarter’ projesi ile Köln, Stokholm ve Barselona kentlerinde 24,8 milyon Euro yatırımı ile akıllı sokak aydınlatması, akıllı elektrik yöntemi gibi 12 farklı alanda akıllı şehir çözümleri uygulanmaya başlanmıştır. (Gürsoy, 2019). GrowSmarter projesi için kapsamlı ‘Akıllı Şehir Pazar Giriş’ raporuna göre akıllı sokak aydınlatma sisteminde şehrin belli bölgelerine yerleştirilen sensörlerin enerji veriminde ekonomik geri dönüşlerde önemli bir paya sahip olduğu belirtilmiştir. (Tapia, ve diğerleri, 2020).

GrowSmarter projesinin sürdürülebilir kentsel mobilite ve düşük enerji bölgesi hedefi ile yatırım yapılan akıllı sokak aydınlatması çalışmasında LED ile aydınlatılan yaya yolları inşa edilmiştir. Akıllı hale getirilen bu çalışma nesnelerin interneti tabanlı olarak, harekete ve ışığa duyarlı sensörler ile uzaktan kontrol edilebilir şekildedir.

Hareketin algılandığı zaman aktif olan sensörler LED lamba aydınlatması üzerinden %50 elektrik tasarrufu sağlanmıştır (Cordis, 2017). Yine elektrik mühendisleri tarafından yapılan çalışmaya göre sokak aydınlatmalarında sistemin sensörler ile akıllı hale getirerek kullanılması elektrik enerji tüketimini azalttığı açıkça ifade edilmektedir (Erkin ve diğerleri, 2013).

Başka bir uygulama olan 2002 yılında Collins ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmaya göre İngiltere’de ki gerçek zamanlı olarak aydınlatma kontrolü sağlayan bir yolda saatte geçen araç sayısına bağlı olarak armatürün loşlaştırılması sağlanmıştır. Saatte 3000 adet aracın geçtiği saatlerde aydınlatma tam verimde çalıştırılan aydınlatma bu sayı 3000 ile 1500 arasında olduğunda %70 seviyesinde aydınlatılmış ve saatte 1500 araç sayısının altına indiğinde ise yarı yarıya loşlaştırma yapılmıştır. Bir yılın sonunda elde edilen rapora göre %24 oranına elektrik enerjisinden tasarruf yapıldığı ortaya çıkmıştır (Collins ve diğerleri, 2002).

## **2.6. Türkiye’de Akıllı Aydınlatma Sistemi ve Gelişimi**

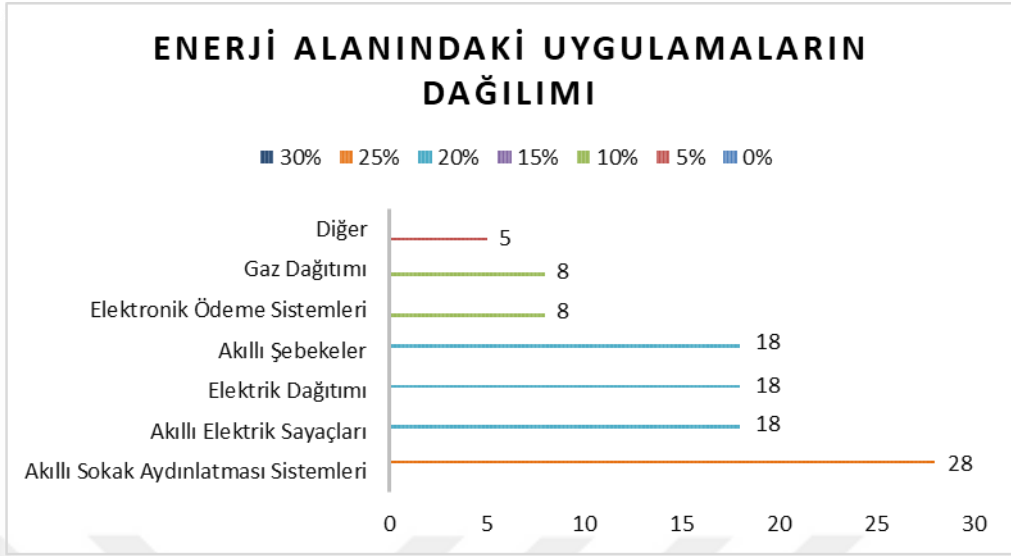
Yaya, sürücü ve diğer canlılar açısından yolların LED ile teknolojik olarak akıllandırılması akıllı enerji alanında elde edilecek tasarruf ile akıllı şehir uygulamaları için önemlidir.

Akıllı Sokak Aydınlatma uygulamaları Dünya genelinde “adaptive”, “dynamic” ve “intelligent control systems” olarak belirtilmiştir. (Büyükkınacı ve diğerleri, 2019). Türkiye’de ise akıllı enerji uygulamaları adı altında “Akıllı Aydınlatma” olarak ifade edilmektedir.

2014 yılında resmî gazetede yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik” gereğince “Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına ilişkin Usul ve Esaslar” belirlenerek 2016 yılı itibari ile belirlenen şartlarda %40 verimli LED armatür ile sokak, cadde aydınlatmalarında dönüşüm başlamıştır (Enerji B. , 2015).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan açıklamaya göre Türkiye de 2015 yılında 7 milyon sokak aydınlatma armatürünün mevcut olduğu ve %2’lik elektrik tüketimi ile yılsonunda 4 milyar kWh elektrik harcanmaktadır. Bu giderin toplam maliyeti 1,1 milyar TL olarak ifade edilmektedir (Enerji B. , 2015).

İstanbul Teknik Üniversitesi, Intel, Türkiye Bilişim Vakfı, MasterCard Vodafone Türkiye ve Novusens Akıllı Şehirler Enstitüsü’nün birlikte düzenlediği ‘Türkiye Akıllı Şehirler Değerlendirme Raporuna’ göre yapılan akıllı şehir uygulamaların dağılımları %36’sı Ulaşım, %34 Su, %21 Enerji ve %9’ Diğer alanlardan oluşmaktadır. Yine bu rapora göre Akıllı Enerji adı altında yapılan uygulamalardan en yaygın olanı aşağıda yer alan Şekil 2.12’de yer aldığı gibi %28’lik bir dağılım ile ‘Akıllı Sokak Aydınlatma Sistemleridir’ (TBV, İTÜ, MasterCard, Novusens, & Inten, 2016).



Şekil 2.12. Enerji alanındaki uygulamaların dağılımı

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan akıllı şehirler kitabında Antalya ilinin belirli parklarında LED akıllı aydınlatma uygulamaları gerçekleştirilmiş ve enerjiden %80 tasarruf edildiği belirtilmiştir (Çevre, ve, Şehircilik, & Bakanlığı, 2019).

Türkiye'de akıllı şehir uygulama faaliyetlerinin daha etkin ve hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlamak adına Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na doğrudan bağlı "Akıllı Şehirler ve Coğrafi Teknolojiler Dairesi Başkanlığı" bulunmaktadır. Bu bakanlığın amacı; akıllı şehir uygulamaları ile ilgili yazılımsal çalışmaları takip etmek, akıllı şehir uygulamaları geliştirmek, kent bilgi sisteminin teknolojik düzenleme ve geliştirme görevlerini yerine getirmektedir (Bilici & Babahanoğlu, 2018).

Geleneksel armatürlerin harcadığı enerji tüketimi, büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemizde enerji de harcanan giderleri artırmaktadır. Bu amaçla oluşturulan projeler, uygulanan uygulamalar ile enerji tüketimi ve verimlilik açısından LED'li aydınlatmaların önemi yapılan çalışmalarda da açıkça belirlenmiştir.

Teknoloji ile akıllı hale getirilen ve her geçen gün geliştirilen aydınlatma alanı gelecek yıllarda da büyük oranlarda enerji verimliliğine katkı sağlayacaktır.

## 2.7. Nesnelerin İnterneti ve M2M Kavramı

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) kavramı kelime anlamıyla ilk olarak 1999 yıllarında Kevin Ashton'un radyo frekansları ile yani RFID (Radio Frequency Identification) uygulamalar ile açıklanmıştır. Ashton'a göre IoT ile insanların müdahalesi olmadan, bilgisayarların topladıkları verilerin kendi hesaplama algoritmalarıyla karar vermesi hem zamandan hem de maliyetten verimlilik elde edileceğini belirtmiştir (Ashton, 2009). Bu bağlamda nesnelerin interneti, daha önceden belirlenmiş özelliklere sahip olan cihazların dijital ortamlarda etkileşime girerek veri alışverişinde bulunmasıdır.

Nesnelerin internetinin ilk uygulaması kavramsal olarak açıklamadan önce 1990 yılında Cambridge Üniversitesinde birkaç akademisyen tarafından yapılmıştır.

Üniversite içerisinde yer alan kahve makinesindeki kahve miktarını takip etmek için makinenin belirlenen aralıklarla fotoğrafının çekilerek bilgisayara göndermesi cihazların bilgi aktarmasını sağlamış ve nesnelerin internetinin gelişimi için ilk adım olmuştur (Cambridge, 1995).

IoT, birbirleriyle iletişim kuran bilgisayarın, dijital makine sistemlerinin, nesne olarak ifade edilen elamanların insan etkileşimine ihtiyaç duymadan ağ üzerinden verilerin iletilmesini sağlayan sistemi oluşturmaktadır. Nesnelerin interneti kavramında nesne olarak nitelendirilen olgu, cihazlar ve sensörleri ifade etmektedir.

Bir nesnenin dünyanın her yerinden erişilebilir olması ve nesne olarak kabul edilmesi için benzersiz kimlik adı, başka cihazlarla iletişim sağlaması ayrıca bir algılayıcıyı içermesi gerekmektedir (FTC, 2015).

Nesnelerin interneti ekosisteminde güçlü kimlik doğrulaması, diğer sistemlerle veya cihazlarla etkileşime girmesi ve buna erişime izin vermek için kullanılır. Bu kimlik doğrulamaları için oluşturulan internet protokolü olan benzersiz IP (Internet Protocol), cihazların internete bağlanırken ağ üzerinden verilerin gönderilip alınmasını sağlayan adres ve IPv6 olan internet protokolünün 6. Versiyonu internete bağlanmak için 2<sup>128</sup> adet benzersiz ağ adresi ile oluşturulmaktadır.

IoT, içerisinde bulunan akıllı sensörlerden elde edilen verilerin başka cihaza iletmesi, depolaması ve algılayıcılardan toplanan sonuçları analiz etmesine dayanmaktadır. Analizler sonucu elde edilen verilerin bulut sunucu üzerinden web servisi aracılığıyla erişimi ve kontrolü uzaktan sağlanabilmektedir. (Miorandi ve diğerleri, 2012).

IoT, çeşitli teknolojileri, uygulamaları ve birçok teknolojik senaryoyu bir araya getirmesinden dolayı çok alanlı bir kavram olarak ifade edilmektedir. İletişim protokollerini ve belirli haberleşme standartlarını kapsamından dolayı oldukça geniş altyapıya sahiptir. Başka bir tanımla nesnelerin interneti, işlemcilerinin düşük güç harcaması ve kablosuz iletişim teknolojileri ile internet üzerinden veri aktarmasını kapsamaktadır. Algılayıcılardan elde edilen veriler haberleşme protokolü üzerinden sunucuya iletilmektedir (Sha ve diğerleri, 2018).

Düşük güç tüketimi sağlayan IoT, haberleşme protokolü olarak genellikle, Wi-Fi (Kablosuz bağlantı alanı), Bluetooth, RFID (Radyo frekans ile tanımlama), NFC (yakın alan iletişimi), UWB (Ultra geniş bant) ve LTE teknolojilerini kullanmaktadır (Al-Fuqaha ve diğerleri, 2015).

RFID grubu tarafından nesnelerin interneti tanımlaması ‘standart haberleşme protokolleri üzerinden, dünya genelinde birbirine bağlı nesnelere ağı’ olarak ifade edilmektedir (Ghaffari ve diğerleri, 2019).

Intel’in yaptığı araştırmaya göre 2006 yılında 2 milyar olan IoT cihazlarının sayısı 2020 yılında toplam 200 milyar olacağı ön görülmektedir.

Yine Aynı araştırmaya göre nesnelerin interneti ile makineleri yönetmek, büyük endüstriyel fabrikalarda ürünlerin birbiri ile haberleşmesini sağlamak, maliyet düşürmek açısından kullanılması amaçlandığı için bu alanla ilgili toplam küresel yatırım değerinin 2025 yılı sonunda 6,2 trilyon dolar olacağı belirtilmiştir (Intel, 2019). Gregory (2015)’nin araştırma raporuna göre ise 2030 yılında IoT’nin dünya ekonomisine 14 trilyon dolar kazanç sağlayacağı ifade edilmektedir (Gregory, 2015).

İnternete bağlanan cihaz sayılarının her geçen gün artması nesnelerin internetinin de gelişmesine katkı sağlamaktadır. İnternet üzerinden dünyanın herhangi bir yerindeki nesne ile iletişim kurmak mümkün hale gelmiştir. Birçok teknolojik faktörlerin bir araya gelmesiyle oluşan bu sistem içinde bilgi iletişim teknolojilerinin kullanılması, kablosuz ağ yapılarını barındırması, makinden makineye olan veri alışverişi ve sensörlerden gelen verileri toplayarak anlamı hale getirmesi bakımından akıllı şehir uygulamalarını da kapsamaktadır.

Makineler arası haberleşme altyapısı yani M2M (Machine to Machine) nesnelerin haberleşme protokolleri üzerinden iletişim kurmasını ifade etmektedir. M2M ve IoT kavramları gerçekte aynı şeyi ifade ediyormuş gibi düşünülse de aralarında ki fark; M2M kavramının makineler arası iletişim kurulmasını kapsarken, IoT de nesne ve insan kavramlarını bir araya getirerek veri alışverişinde bulunmasını ifade etmektedir. IoT uygulamalarında sıklıkla kullanılan sensörlerden alınan değerler sinyallere dönüştürülür ve bu veriler denetleyiciye (kontrolör) gönderilir.

Denetleyicide analiz edilen veriler internet aracılığı ile bulut sunucuya iletilir. Sunucu üzerinden bu sonuçlar dünyanın her yerinden ulaşılabilir hale gelir. IoT çalışma sistemlerinde kullanılan bileşenlerden bir diğeri de aktivatörlerdir. Aktivatörler ise denetleyicilerden analiz edilen verileri değerlendirir (Gündüz M. Z., 2018).

Tezin ana konusu olan nesnelerin interneti tabanlı akıllı aydınlatma prototipi, IoT sayesinde sensörlerden alınan verileri anlamlı hale getirerek kablosuz ağ yapısı ile uzaktan kontrol edilmesini, anlık takip edilmesini ve verilerin saklanmasını sağlamaktadır.

İnternet üzerinden uzaktan erişim sağlanması için genellikle web tabanlı bir sunucu kullanılır. Bu platform sayesinde uygulamalar içerisinde yer alan sensörlerden alınan değerler veri tabanına kaydedilir ve istenildiğinde her yerden zaman ve mekân kısıtlaması olmaksızın ulaşılması mümkün olmaktadır.

IoT'nin avantajlarını özetlediğimizde; konum ve zaman fark etmeksizin cihazların takip edilebilmesi, teknoloji ile birlikte uygulanan sistemler olduğundan erişilmek istenen bilgilere kısa sürede zaman kaybı olmadan ulaşılabilmesi, can güvenliği alanlarında sensörler ile birlikte kullanılması, geçmişe dönük veya anlık olarak veri tabanında kayıtlı tutulan bilgilere erişilebilmesi, nesne insan ilişkisi ile cihazlar üzerinden zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanması olarak belirtilebilir. Dezavantajı ise verilerin güvenlik ve gizlilik problemlerinin olmasıdır (Celal ve diğerleri, 2019).

## **2.8. Nesnelerin İnterneti Uygulama Alanları**

Nesnelerin interneti teknolojinin gelişmesi ve internetin kullanımının artmasıyla birçok alanda yaygınlaşmıştır. IoT'nin kullanım şekilleri insandan insana iletişim, insandan nesneye iletişim, nesneden nesneye iletişim şeklindedir (Keleş, 2018).

Greenstein'e (2018) göre nesnelerin internetinin akıllı hale getirilmesinde yapay zekâ beyin olarak işlem yapmaktadır. Giderek IoT sayılarının artması derin öğrenme, görüntü işleme, sinir ağ yapıları uygulamaların geniş alanda kullanılmasını ve karar verme hızını artırarak otomatik işlem yapmasını sağlayacaktır (Marr, 2018). Örneğin; akıllı ev uygulamalarında kullanılan sensörler ile evin sıcaklık durumu, nem seviyesi, ısı kontrolü uzaktan izlenilebilmektedir.

Cihazlara eklenen sensörlerin verileri okuyup anlamlı hale getirmesi, karar vermede insan müdahalesi olmaması yapay zekâ uygulamalarının her geçen gün arttığını açıkça göstermektedir. Nesnelerin interneti uygulamaları farklı alanlarda geniş kullanım ağına sahiptir. Giyilebilir teknolojilerden, endüstride yaygın kullanılan büyük makinelere kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Akıllı ev sistemleri, e-sağlık sistemleri, akıllı ulaşım, fiziksel bilişim, akıllı enerji, akıllı tarım, akıllı endüstriyel uygulamalar ve akıllı sokak aydınlatma sistemleri de bu alanlardan birkaç tanesidir. Yapılan araştırmalar sonucunda nesnelerin interneti alanında sağlık sektöründe 2020 yıllarında dünya geneli 117 milyar \$ harcama yapılacağı tahmin edilmektedir (Hossain & Muhammad, 2016).

E-sağlık alanında yapılan uygulamalara örnek olarak; hastanede tedavi edilen hastanın tahlil veya tedavi işlemleri mobil uygulama üzerinden takip edilebilmektedir. Diğer bir örnek ise hasta veya doktorların bileklerine takılan akıllı bileklikler sayesinde hastane içerisinde konumlarının takibi ve zamana bağlı olarak hastanenin hangi alanlarını ziyaret ettiği IoT tabanlı bu cihaz sayesinde sunucu üzerinden takip edilebilmektedir (Environics, 2020). Yine sağlık alanında yaşlıların evde takip süreçlerinin izlenmesi, uzaktan periyodik olarak hasta ve doktor görüşmelerinin sağlanması IoT ile internete bağlanan cihaz sayısı arttıkça kullanım sayısı da artmaktadır (Kutay & Ercan, 2019).

Akıllı tarım uygulamalarına örnek olarak; seranın veya arazinin toprak nem seviyesinin belirlenmesi ve ihtiyaç duyduğu besin değerlerini sistemin otomatik olarak aktifleştirmesidir. Yine uzaktan kontrol edilebilir bu sistemlerde insan müdahalesi olmadan uzak mesafelerdeki sera veya tarım alanlarının toprak sıcaklık değeri, havalandırma sistemleri, topraktan alınan değerlere bağlı olarak gübreleme ve otomatik ilaçlama işlemleri yapılabilmektedir. Aynı zamanda insansız hava araçları olan İHA'lar ile de engebeli arazilerin kontrolü sağlanmaktadır. IoT'ye bağlı cihazlar ile internete bağlı tüm cihazlar üzerinden kontrol sağlanabilmektedir (Cömert, Sözlü, & Çağlayan,2018).

Akıllı şebeke uygulamaları da nesnelerin interneti ile yapılmaktadır. Akıllı sayaç sisteminde tüketicilerin kullandığı elektriği yoğun kullanım saatlerin de talep ile orantılı olarak tüketiciye sunmaktadır.

Akıllı ulaşım sistemlerinde, akıllı otopark uygulamaları yer almaktadır.

IoT tabanlı bu sistemler trafiğin yoğun olduğu zamanlarda araçların park yeri aramasına gerek olmadan bulut sunucu üzerinden mobil uygulama yardımı ile o bölge veya alandaki park yerlerinin uygunluk durumunu kısa sürede bulma imkânı sunmaktadır (Kılıç & Tuncer, 2017).

Akıllı şehirlerin amaçları arasında olan insanların yaşam standartlarını yükseltmek ve var olan kaynakların teknoloji ile birleştirilerek verim elde edilmesi nesnelerin interneti ile gerçekleştirilmektedir.

Akıllı şehir sistemlerinde kullanılan IoT uygulamaları ise; hava kirliliği kontrol uygulamaları, merkezi alanlarda trafik yoğunluğu ölçümü, çöp konteynerlerinin doluluk oranı tespiti, peyzaj alanlarının akıllı sulama sistemleri ile sulanması, toplu taşıma araçlarının mobil uygulama üzerinden takip edilmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Tezin amacı olan akıllı şehir uygulamaları içerisinde yer alan akıllı aydınlatma sistemleri de cadde ve sokaklarda bulunan yol aydınlatma direklerine entegre edilen sensörler ve kablosuz haberleşme sistemleri nesnelere interneti ile yapılmaktadır. Sensörler sayesinde algılanan hareket yoğunluğu, akım ve voltaj sensörleri ile arıza ve elektrik tüketim durumu, konum bilgisi gibi durumlar IoT'nin uygulanması ile sistemin kontrol edilmesini sağlamaktadır.

## **2.9. Nesnelere İnternetinin Güvenilirliği**

İnternete bağlı cihaz sayısının artması ile IoT 'ye bağlı cihaz sayısı doğru orantılı olarak artmaktadır. İnternete bağlı bu nesnelere bilgi güvenliğinin korunması önemlidir. Ağ güvenliği kontrolleri yapılması ve siber saldırılara karşı önlemler alınmalıdır.

IoT'nin güvenlik önemleri için uygulamaların kararlı ve kendi kendine karar verebilen yapıda olması, ağdaki bağlantılarının elaman kontrolünü sağlaması ve denetlemesi, gerçek zamanlı olarak verileri işleyebilmesi ve sadece kullanıcılara tanımlı kimlik belirleme şifresi ile sisteme giriş izni sağlaması gerekmektedir (Gündüz & Daş, 2018).

Kullanılan kablolu veya kablosuz haberleşme protokollerinde ağ yapıları denetlenmeli gerekli izinler kullanılan alanla sınırlanacak şekilde erişime açılmalıdır.

Web servisi üzerinden erişim sağlayan yetkili kullanıcılar için güçlü şifre yapıları oluşturulmalı ve güvenlik soruları ile kullanıcının doğruluğundan emin olunmalıdır.

Önerilen diğer bir yöntem ise cihazlardan alınan değerlerin gruplara ayrılması ve verilerin daha alt başlıklarda yer almasıdır. Böylece gerekli olan bilgiler kullanıcı tarafından öze indirgenerek hem daha hızlı erişim sağlanabilecek hem de gereksiz olan verilerin kayıtları genelde yer almayacaktır.

Yazılım ile geliştirilen uygulamalarda önemli olan bilgilerin ağ güvenliği özgün yazılım şifreleri ile kontrol altına alınmalı kimlik denetimleri daha ayrıntılı olarak istenmelidir.

IoT haberleşmelerinde daha güvenli iletişim sağlanması için güvenlik gereksinimlerini karşılamalıdır. Ağ üzerinden güvenli olmayan girişler engellenmelidir. IoT den alınan mesajlar şifrelenerek iletilmelidir. Verilerin iletilmesinde karşılıklı olarak kaynaklar doğrulanmalı böylece dışardan ağa bağlanmak isteyen bağlantıların kontrol edilmesi sağlanmalıdır (Aydın & Ulutaş, 2018).

Ağ üzerinden alınan verilerin bütünlüğüne bakılmalı ve üzerinde herhangi bir değişim olup olmadığı kontrol edilmelidir. Verilerin üzerinde işlem yapıp yapılmadığı Mesaj Asıllama Kodu (MAK) ile denetlenmelidir (Perrig ve diğerleri, 2002).

Nesnelerden alınan verilerin bütünlüğüne dikkat edilmeli ağ üzerindeki cihazların bağlantı sürekliliği kontrol edilmelidir. Farklı özelliklere sahip cihazların haberleşebilmesi için ortak haberleşme ağları eklenmelidir (Anggorojati ve diğerleri, 2013).

Verilerin iletimi sürekli olarak güncel tutulmalı ve tekrar eden mesajlar ağ düğümleri içersin de değerlendirildikten sonra iletilmelidir. Bu alanda standart olarak kullanılan bir yöntem olan verilerin iletimi sırasında anlık zaman bilgisi eklenmeli ve kaydedilmelidir.

Cihazlardan alınacak bilgilerin ağ bütünlüğü kontrol edilmelidir. Ağ düğümleri içerisinde yer alan tüm bilgilerin doğru ve eksiksiz olarak toplanması IoT'nin güvenliği ve doğruluğu için önemlidir. Veri bütünlüğünde cihazların birbiri ile haberleşebilmesi için uygun haberleşme protokollerine ve donanımlarına sahip olmalıdır.

Bu güvenlik aşamalarının dışında nesnelerin interneti alanında güvenlik, cihazların frekans değerlerinin uygunluğu, verilerin sinyal iletim kontrolü, cihazların tükettiği enerjilerin kontrollü olarak takip edilmesi gerekmektedir. Kablosuz ağ iletimlerinde, ağ katman güvenliği ve iletim katman güvenliği ayrı ayrı kontrol edilerek ortam erişim protokolleri üzerinden IEEE 802.15.4-2011 standardı ile güvenlik sağlamaktadır (Atıcı, 2020).

## **2.10. Nesnelerin İnternetinde Kablosuz Haberleşme Protokolleri, Ağ Yapıları ve Karşılaştırılmaları**

Kablosuz haberleşme teknolojileri, iki veya daha fazla bant genişliği olan ve veri iletimini radyo frekans, kızılötesi ve mikrodalga ışınları aracılığı ile sağlayan sistemlerdir.

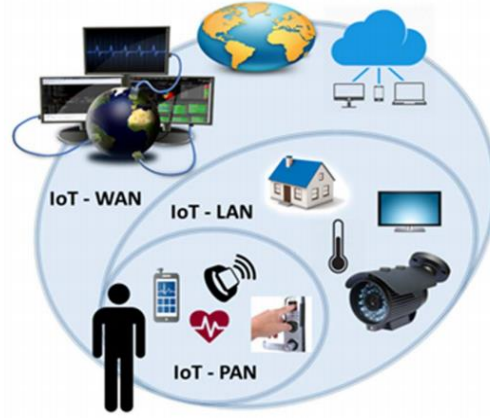
Nesnelerin internetinde verilerin iletimi için farklı haberleşme protokolleri kullanılmaktadır. Tercih edilecek olan ağ sistemi ve cihaz donanımları kullanılacak yer, iletim mesafesi, güç tüketimi, maliyet, haberleşme protokolü gibi farklılıklar sebebiyle birbirinden ayrılmaktadır.

Nesnelerin internetinde yer alan cihazların birbirleriyle veri iletimi sağlaması ağ(network) olarak adlandırılmaktadır. Kablosuz olarak birbirleriyle bağlantı kuran haberleşme modülleri, algılayıcı ağ olarak isimlendirilen dışardan herhangi bir müdahalede bulunulmaksızın üzerinde yer alan elektronik donanım ve yazılım sayesinde verileri toplayıp, merkezi işlemci üzerinden değerlendirip gerekli ağlara iletimini sağlamaktadır. Bu ağ yapıları PAN (Personel Area Network), LAN (Lokal Area Network), WAN (Wide Area Network) şeklindedir. Bu ağ yapılarının kapsamı Şekil 2.13'de yer aldığı gibidir.

PAN ağı kullanıcıların yakın çevresinde yer alan cihazlardan meydana gelen küçük çaptaki ağıdır. Örnek olarak kablosuz ağ yapısı olan bluetooth'a bağlı olan cihazlardan oluşur.

LAN ağ yapısı da belirli bir alanın çevresinde yer alan bilgisayarlar arasında veri bağlantısı sağlayan ağıdır. Kablolu veya kablosuz olarak bağlanılabilir.

WAN ağ yapısı ise geniş alan ağını ifade eder. Farklı noktalarda yer alan LAN ağlarının bir araya gelmesiyle oluşur. Bu ağlardan toplanan veriler router denilen yönlendirici cihazlara bağlanarak kullanılır.



Şekil 2.13. Ağ yapılarının kapsamı (Javed, Iqbal, & Abbas, 2017)

Kablosuz haberleşme sistemlerinin kolay kullanımı, maliyetinin düşük olması ve yüksek verimli olmasından dolayı günümüzde nesnelerin interneti tabanlı uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte veri iletim hızının artması, açık-kapalı alanlarda kapsama alanın genişlemesi ve verilerin güvenlik-gizlilik durumlarının kontrol altında olması kablosuz haberleşme sistemlerinin farklı kullanım alanlarında yaygınlaşmasına imkân sunmaktadır.

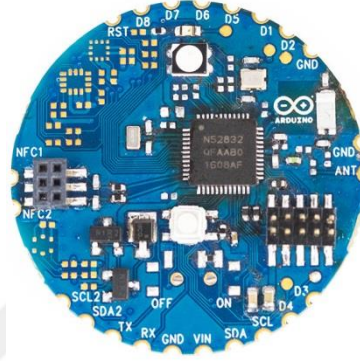
Haberleşme protokolleri ve ağ mimarileri; cihazların enerji tüketimlerini, kablosuz ağların kapasitesini, güvenlik durumunu, frekansın çalışma aralığını ve veri iletim hızını etkileyen etkenlerden biridir.

IoT'de en çok tercih edilen haberleşme teknolojileri Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, 6LoWPAN, NFC vb.'dir. Genellikle 802.15.14 fiziksel katmanı kullanan kablosuz haberleşme elektronik kartlarının temel kullanım nedeni düşük enerji tüketimi ile en iyi veri aktarımını sağlamaktır.

### 2.10.1. Bluetooth

Bluetooth teknolojisi ilk olarak 1998 yılında SIG (Special Interest Group) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bluetooth, radyo dalgaları veya kızılötesi ile iletişim kurmaktadır.

Kablosuz iletişim teknolojilerinden biri olan bluetooth diğer birçok haberleşme teknolojileri gibi lisanssız 2.4 GHz bandında ve 802.11 b/g ağ standardında çalışmaktadır (Kaur, Kau, & Kaur, 2016). 10-100 metre arasında veri ve ses sinyali iletimi yapılabilmektedir (Ünverdi, 2020). Kullanılan anten tipine ve bant genişliğine bağlı olarak veri iletim mesafesi değişkenlik göstermektedir.



Şekil 2.14. Örnek bluetooth modülü

2016 yılı itibariyle bluetooth 5.0 standardı ile veri iletim kapasitesi ve hızı artırılmıştır. Bluetooth 4.0 da 31 byte olan veri kapasitesi bluetooth 5.0 ile 255 byte çıkarılmış ve bağlantı hızı da yükseltilmiştir (Gomez, 2012).

Bluetooth, 5.0 teknolojisi ile birlikte düşük enerjili bluetooth teknolojisini (Bluetooth Low Energy-BLE) geliştirmiş ve geniş kullanım ağına sahip nesnelerin interneti tabanlı uygulamalarda kullanımı giderek artmıştır. Bluetooth tabanlı personel takip sistemleri, öğrenci yoklama sistemi, stok takip uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir.

### 2.10.2. ZigBee

Kablosuz haberleşme teknolojilerinden biri olan ZigBee IEEE 802.15.4 standartlarını kullanan küçük yapılı, düşük enerji tüketimli ağ teknolojilerinden biridir.

ZigBee lisans gerektirmeyen farklı bant aralıklarında yayın yapabilmektedir. 250 kb/s kapasite ile 16 kanallı 2.4 GHz bandını, 40 kb/s ile 10 kanallı 902-928 MHz bandını ve 20 kb/s kapasite ile 1 kanal 868-870 MHz frekans bandını kullanmaktadır (Callaway ve diğerleri,2002).

ZigBee, diğer kablosuz veri iletişim teknolojisi olan Wi-Fi ve Bluetooth ağlarına oranla düşük veri iletim kapasitesine sahiptir (Li ve diğerleri, 2015).

ZigBee kablosuz iletişim sinyallerini otomatik olarak tarayarak birden fazla ağ sinyallerinin bir arada bulunmasını desteklemektedir. Aynı haberleşme yapısına bağlı bulunan cihazlar ile iletim mesafesi 10 ile 75 metre arasındadır.

Enerji kontrol sistemlerinde, HVAC uygulamalarında, çevresel donanım sistemlerinde, ev otomasyon sistemlerinde, araç kontrol sistemlerinde vb. alanlarda kullanılmaktadır. Örnek ZigBee modülü şekil 2.15'de gösterildiği gibidir.



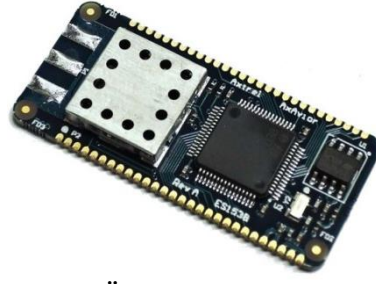
Şekil 2.15. Örnek ZigBee modülü

### 2.10.3. 6LoWPAN

Kablosuz algılayıcı ağ yapısına sahip diğer bir teknolojiye 6LoWPAN teknolojisidir. Bu kablosuz ağların birbirleri ile iletişimde olmaları için her bir düğüm için benzersiz IP ler tanımlanmalıdır. IPv6 internet protokolü 6. Versiyon  $2^{128}$  tane birbirinden farklı adresleme yapısını içermektedir.

6LoWPAN (Düşük Güçlü Kablosuz Alan Ağı) ise ağlar üzerinden toplanan verileri IPv6 protokolü adreslemesi üzerinden IEEE 802.15.4 standartlarını kullanarak düşük enerji tüketimli haberleşme protokolüdür.

Minimum enerji tüketimi sebebiyle batarya ömrünün uzun olması, ortalama 75 metre kapsama alanı, küçük paket boyutuna sahip olmaları IoT alanında kullanılan uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Demir & Ayrancıoğlu, 2020).



Şekil 2.16. Örnek 6LoWPAN modülü

6LoWPAN ile internete bağlanan cihazların ağ üzerinden düğümlerinin yönetilmesi, ağ içerisinde yer alan parametrelerin düzenlenmesi, hataların ayıklanması gerçekleştirilir. Fazla sayıda ağ düğümü içeren cihazlar farklı mimari sistemleri ile veri kaybı olmadan takip edilmesi sağlanmaktadır.

#### **2.10.4. Wi-Fi**

Wi-Fi (Kablosuz Bağlantı Alanı-Wireless Fidelity) radyo frekansları ile çalışan ve yayılan sinyali algılayarak kablosuz olarak aynı protokol üzerinden çalışan cihazlara kablosuz ve güvenli olarak iletmesidir. Şekil 2.17’de örnek Wi-Fi modülü verilmiştir.

IEEE tarafından geliştirilmiş olan 802.11x standart dizisi Wi-Fi kablosuz ağlarda kullanılmaktadır. Bu standartlar 802.11a, 802.11b, ve 802.11g olup temelde aynı özellikleri taşımaktadır. 802.11 standardı 1 Mbps-2 Mbps düzgün sıralı yaygın spektrum (DSSS) ya da frekans atlamalı yaygın spektrum (FSSS) veri iletim hızı ile 2.4 GHz çalışma frekansına sahiptir. Tablo2.3’de IEEE 802.11x standartlarının bazılarının özellikleri yer almaktadır (IEEE, 2007).

Wi-Fi, kablosuz veri güvenlikleri kimlik kontrol anahtarları ile kontrol edilir. Cihazların yetkili kimlik doğrulama ağ adı olmadan ağa bağlantısı yapılmaz. Güvenli ağ, WPA2 şifresi (Wi-Fi Protected Access 2) ile sağlanır.

Wi-Fi yönlendiricilerin içerisinde yer alan teknolojiye göre farklı şifreleme ağları (WPA2, WEP (Wired Equivalent Privacy)) bulunur.

Şifreleme ağları Amerikan karakter kodlama sistemine (American Standard Code for Information Interchange-ASCII) göre farklı karakter kodlama sayısına göre ayrılmaktadır. WEP şifrelemesi 10-26 onaltılık karakterden oluşurken, WPA2 şifreleme ise 8-63 ASCII karakterinden oluşur.

Çizelge 2.2. IEEE 802.11X standart karşılaştırmaları

Açıklama	802.11	802.11a	802.11b
Yayın Tarihi (Yıl)	1997	1999	1999
Frekans (GHz)	2.4	5	2.4
Kapalı Alanda Kapsama(m)	20	35	38
Açık Alanda Kapsama(m)	100	120	140
İletim Programı	FHSS, DSSS	Tek Taşıyıcı	DSSS
Veri Aktarım Hızı (Mbps)	2	54	11



Şekil 2.17. Örnek Wi-Fi Modülü

### 2.10.5. NFC

2002 yılında Sony ve Philips firmalarının beraberliğinde geliştirilmiş olan NFC (Yakın Alan Teknolojisi-Near Field Communication), düşük bant seviyesi ve yüksek frekansta kısa mesafelere radyo frekans yoluyla veri iletimi sağlayan kablosuz yakın alan haberleşme teknolojisidir.

Radyo frekans tabanlı olarak çalışan (Radio Frequency Identification, RFID) NFC'ler 13.56 MHz frekans aralığında ve 424 Kbit/s bant genişlik bandında veri iletimini sağlamaktadır (NFC, 2020).

NFC de veri iletimi bluetooth haberleşmesinden farklı olarak iki cihaz birbirine eşleştirilmeden yakın mesafe (4 cm'ye kadar) ile gerçekleşir.

Akıllı ödeme uygulamaları (temassız ödeme), kimlik doğrulama sistemleri, e-bilet, elektronik reklam, e-anahtar uygulamaları gibi oldukça geniş kullanım alanına sahiptir.



Şekil 2.18. Örnek NFC modülü

### 2.10.6 LoRaWAN

Verilerin uzak mesafelere sorunsuz şekilde ileten kablosuz haberleşme teknolojilerinden bir diğeri de uzun mesafe menzilli LoRa (Long Range)'dır. LoRaWAN (Long Range Wide Area-Uzun Mesafe Geniş Alan) ise LoRa ağ bağlantılarının gerçekleştirilmesi için düşük güç tüketimli, geniş iletim mesafesi (5 km~15 km) olan kablosuz haberleşme teknolojisidir.

LoRa’lardan alınan verilerin sunucuya aktarılması çok kanallı olan ağ geçidi (gateway) üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ağ geçidi yayınlanan radyo frekansları yakalayarak verileri işler ve böylece LoRaWAN kapsama alanını genişletir.



Şekil 2.19. Örnek LoRaWAN modülü

LoRaWAN’lar pil ömrü ile doğrusal olarak bağlantılı olan A, B ve C sınıfına ayrılmaktadır (Thomas, 2019). Bu sınıflar tablo 2.3’de ki şekilde kısaca özetlenecek olursa;

Çizelge 2.3 LoRaWAN sınıfları

<b>A Sınıfı</b>	Düşük enerji tüketimine sahiptir. Mesaj alma durumu veri iletimi sağlandıktan sonra gerçekleşirken sürekli olarak mesaj gönderebilirler. Pille çalışan cihazlar için uygundur.
<b>B Sınıfı</b>	Bu sınıfa ait olan LoRa lar belirlenen zaman aralıklarında veri alma ve gönderme işlemlerini gerçekleştirir.
<b>C Sınıfı</b>	Enerji tüketiminin en fazla olduğu sınıftır. Veri almak veya göndermek için sürekli olarak radyo frekans yayımlar. Sistemde sürekli olarak aktif bulunan güç kaynakları için uygundur.

### 2.10.7. GSM kablosuz haberleşmesi

GSM (Global Systems for Mobile Communication) yani mobil iletişim için küresel sistemler, verilerin kablosuz olarak hücreli bağlantı üzerinden aktarılmasıdır. Küresel olarak kablosuz haberleşmenin başlangıcı ilk olarak 1987 yıllarında Marconi tarafından ortaya çıkmıştır (IEEE, 1998).

Gelişen teknoloji ile birlikte haberleşme GSM teknolojileri alanında birinci nesilden (1G) başlayarak bant genişliğinin artırılması ve hız kapasitesinin yükseltilmesi ile günümüzde dördüncü nesil (4G) ve LTE (Long Term Evolution, 4.5 G)'ye kadar ilerlemiştir.

GSM modüllerin üzerinde yer alan SIM (Subscriber Identity Module) kartlar ile toplanan verilerin sunucuya kablosuz olarak iletilmesi ve çekim alanının diğer ağlara göre oldukça geniş olması uygulamalar üzerinde kullanım oranını artırmaktadır. Farklı sürümleri de bulunan Şekil 2.20' de örnek olarak verilen SIM808 modülüne SIM kart eklenmesi ile istenilen her uygulama üzerinden veriler kablosuz olarak alınabilmektedir.

Kullanım alanlarına bağlı olarak kablosuz teknolojilerine oranla daha avantajlı olan GSM modülleri internet erişimin olmadığı her alandan SMS veya tanımlanan komutlar ile kontrol sağlanabilmektedir. SIM elektronik kartlar, GSM servisine bağlanmak için içerisinde yer alan mikroçiplere tanımlanan abonenin kimlik bilgilerine göre işlem yapmaktadır.



Şekil 2.20. Örnek SIM modülü

## Kablosuz Haberleşme Protokollerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2.4 Haberleşme protokollerinin karşılaştırılması (Atanasov, 2013)

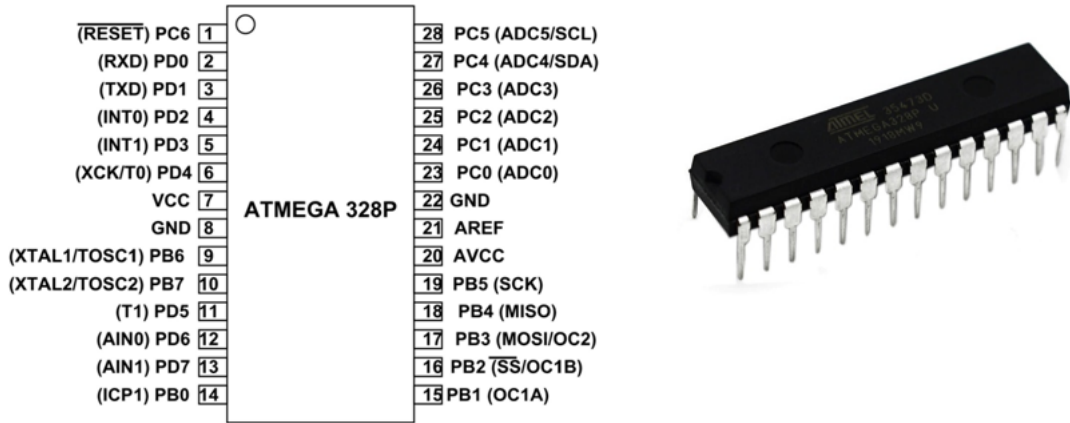
	<b>Wi-Fi</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>ZigBee</b>	<b>NFC</b>	<b>6LoWPAN</b>	<b>LoRa</b>
<b>Çalışma Frekansı</b>	2.4GHz~5GHz	2.4 GHz	868 MHz,915MHz, 2.4 GHZ	13.56 MHz	868 MHz,915MHz, 2.4 GHZ	868MHz-900MHZ
<b>Veri İletim Mesafesi (max)</b>	100 m	10 m	70m-300m	≤ 10 cm	Düşük	< 30Km
<b>Veri İletim Hızı</b>	11-54 Mbps	100 Kbps	20-250 Kbps	212-424 Kbps	20-250 Kbps	400 Kbps
<b>Enerji Tüketim Seviyesi</b>	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
<b>Ağ Sınıfı</b>	WPAN	WPAN	WPAN	Noktadan Noktaya	WPAN	WPAN
<b>Standart</b>	IEEE 802.11	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	ISO 10892	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11b/g/n
<b>Yıl</b>	1991	1994	2003	2004	2005	2009

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

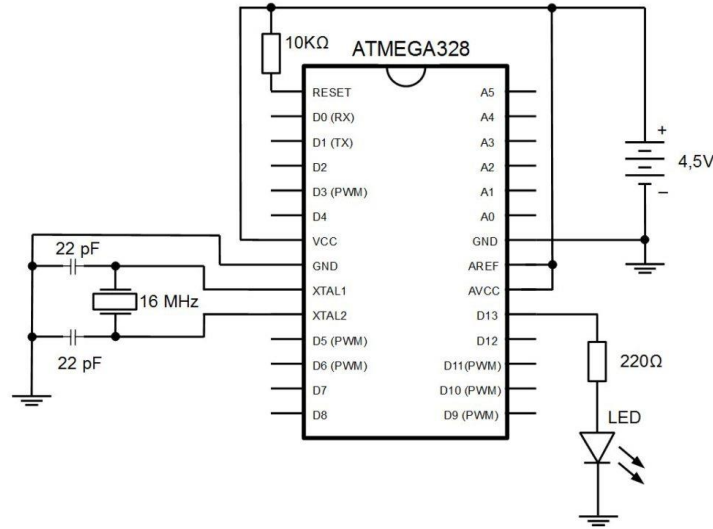
#### 3.1. Atmega328P Mikrodenetleyici

İntel firmasının AVR serisi olan farklı bellek boyutlarına sahip Atmega bir mikro denetleyicidir. Harvard ve RISC (Reduced Instruction Set Compute- Azaltılmış Komut Setli Bilgisayar) mimarisine sahip olmasından dolayı işlem hızı fazladır. Düşük güç tüketimine sahip olan bu mikrodenetleyici içerisinde farklı boyutlarda SRAM (Static random access memory), flash, EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) bulunmaktadır. 20 MHz'e kadar çalışma hızına sahiptir. Aktif çalışma anında 1.5 mA çekerken, uyku modunda minimum 0.1 uA seviyede akım çekmektedir.

UART, SPI, I2C haberleşme protokolleri ile programlanabilmektedir. 28 pin çıkışı olan Atmega328P'nin 23'ü giriş çıkış pinleridir. Bu durumda bir Atmega ile birden fazla komutun kontrolünü gerçekleştirmesine olanak sağlamaktadır. 1.8Volt (V) ~ 5.5Volt(V) çalışma gerilimine sahiptir (Microchip, 2020).



Şekil 3.1. Atmega328P pin çıkışları ve entegresi



Şekil 3.2. Atmega328P şematik

### 3.2. Kablosuz Haberleşme Protokolü (LoRa)

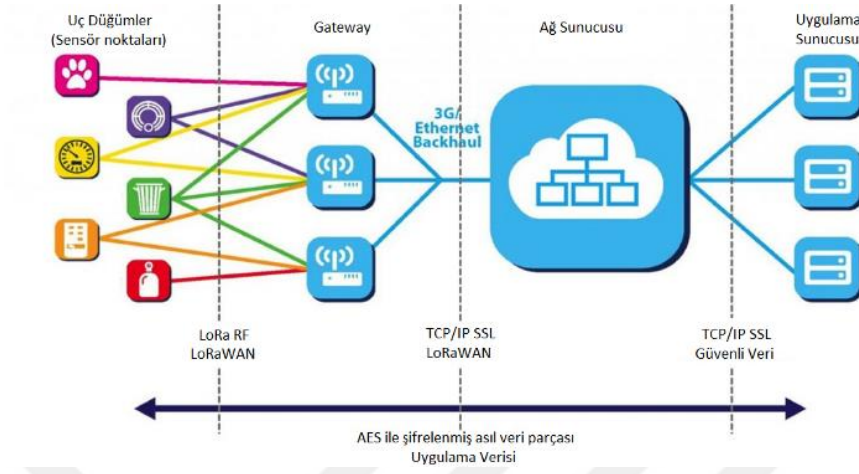
Nesnelerin interneti uygulamalarıyla kablosuz sensör ağları (Wireless Sensor Network-WSN) oldukça geniş kullanım ağına sahiptir. Cihazlara verileri kolayca ve düşük enerji tüketimi ile iletmek kablosuz haberleşme protokolleri üzerinden gerçekleştirilir.

LoRaWAN, LoRa Alliance firması tarafından düzenlenen ücretsiz ağ protokolüdür (Alliance, 2020). Bu ağ, LoRa'ların veri iletilmesinde gateway (ağ geçidi) görevi görmektedir. LoRa teknolojisi uzun mesafelerde kullanım için uygundur.

Diğer kablosuz haberleşme yongalarına göre iletim hızı nispeten daha düşüktür (Ragnoli, Barile, Leoni, & Ferri, 2020).

Düşük güç tüketimli geniş alan ağı (LPWAN), ağ geçidi üzerinden IP bağlantısı ile sunucuya bağlanır.

Sensörlerden alınan veriler, sunucuya iletmek için anlamlı veriler haline dönüştürülür bu işlem ağ geçidi denilen gateway sayesinde gerçekleştirilir. LoRa ile haberleşme yapısı şekil 3.3'de yer aldığı gibi bilgisayarların birbirleriyle haberleşebilmesi ve internete bağlanabilmesi için kullanılan TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) üzerinden uygulama sunucusuna iletilir.



Şekil 3.3. TCP/IP uygulaması

LoRa'lar kullanım alanlarına ve programlanmasına bağlı olarak oldukça düşük enerji tüketimine sahiptirler. Sensörlerden alınan verileri sunucuya ilettikten sonra sleep modda kullanılması minimum enerji tüketimi sağlamaktadır.

LoRa uygulamalarında farklı şifreleme ile veriler korunmaktadır. Ağ güvenliği ve uygulama verilerinin güvenliği için 128 bitlik Gelişmiş Şifreleme Standardı olan AES (Advanced Encryption Standard) kullanılır. LoRa üzerinden ağ geçidine verilerin güvenli aktarılması SSL (Secure Socket Layer) protokolü üzerinden gerçekleştirilir. Bu güvenlik katmanı sayesinde verilerin aktarımı veya alınması koruma altına alınmış olur.

Akıllı prototip aydınlatması için kullanılan LoRa, Ebyte Firmasına ait E32-TTL'dir. 2.8 V~5.5V DC çalışma voltaj aralığına sahip, 433 MHz frekans bandında, UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), haberleşme protokolü üzerinden veri iletimi sağlanmaktadır.

Sokak aydınlatmalarında her aydınlatmanın arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı diğer kablosuz iletim protokollerine göre uzun mesafelerde veri iletmekten dolayı bu LoRa tercih edilmiştir.

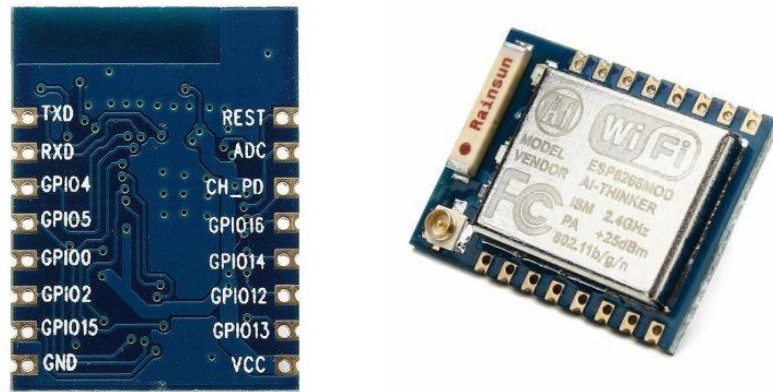
Anten tipi SMA olan 50  $\Omega$  empedansa sahip, 8 km'ye kadar veri iletimi sağlayan LoRa, gerçeğe en yakın prototip aydınlatma tez çalışması için uygun bulunmuştur.



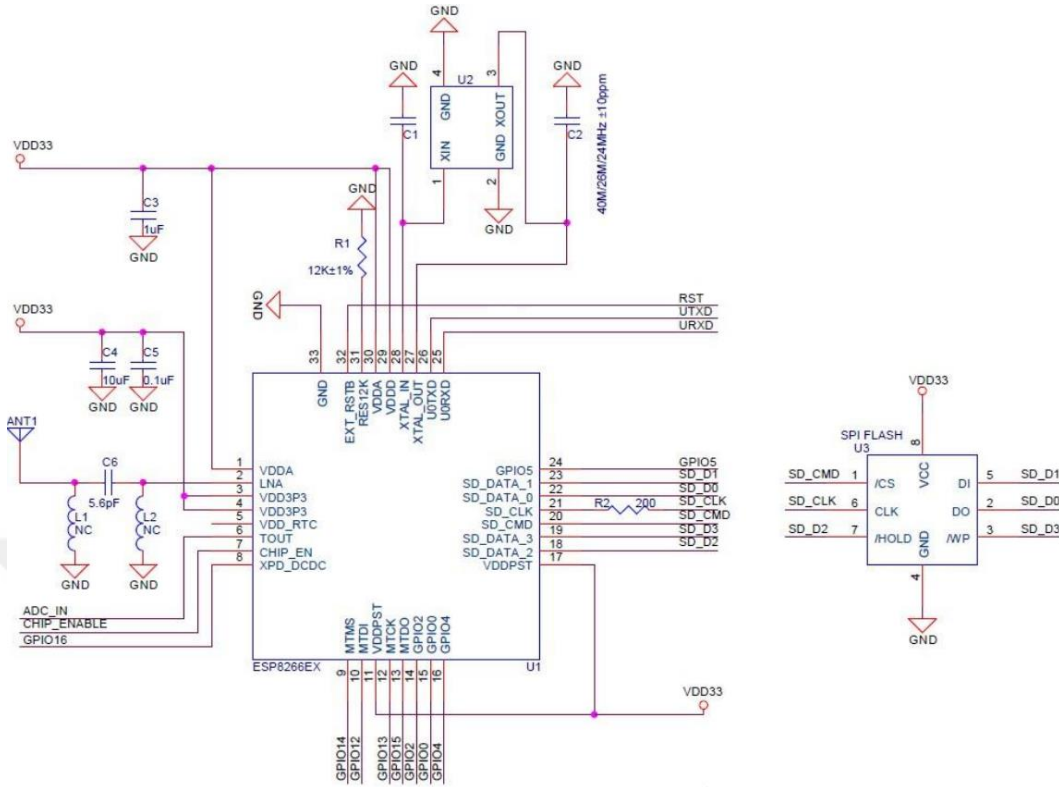
Şekil 3.4. E32 TTL 100 LoRa

### 3.3. Esp8266 (WiFi Modülü)

ESP WiFi Modülü seri haberleşme (TTL) üzerinden kablosuz olarak internete bağlanabilen bir modüldür. Nesnelerin interneti uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. ESP8266 var olan bir internet ağına bağlanabilmekte ayrıca kendi internet ağını yayarak nesnelerin bu ağa bağlanmasını da sağlamaktadır. 3V~ 3.6 V çalışma gerilimine sahip seramik antenli bu Wi-Fi modülü üzerinde yer alan RX/TX pinleri ile UART haberleşme protokolü kullanılmaktadır. LoRa gibi düşük güç tüketimli olan esp8266 uyku modunda 20 uA, normal kullanım esnasında 80 uA güç tüketmektedir. Üzerinde 32 Bit 80 MHz işlemci (kullanıma bağlı olarak artırılabilir), 4MB flash, 40 KB RAM bulundurmaktadır.



Şekil 3.5. ESP8266 pin çıkışları ve entegrasyonu



Şekil 3.6. ESP8266 devre şeması (THINKER, 2020).

### 3.4. Transformatör (Trafo)

Transformatörler diğer adıyla trafolar; elektromanyetik indüksiyon yoluyla gücü kullanılmak istenen cihaza iletirler. Sabit frekansta, istenilen alternatif gerilim artırılarak veya azaltılarak kullanılabilir. Trafoların içyapısında demir nüve ve iletken sargılar bulunmaktadır. Demir nüve kısmı özel yalıtımlı silisli sacların üst üste getirilerek sıkıştırılmasıyla elde edilir. Bu silisli saclardan elde edilen nüve yalıtılan iletkenlerin sarılması ile meydana gelmektedir. Kısaca trafolar, şebekeden çektikleri alternatif akımı (AC), bir veya birden fazla devreye frekansı değiştirmeden istenilen gerilim ve akım değerini ileten elektrik makineleridir (MEB, 2012).

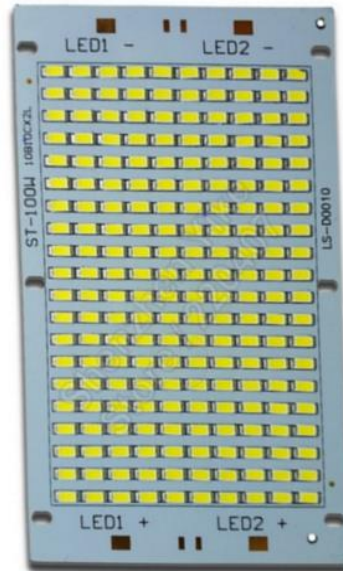
220 V ve 50 Hz olan şebeke gerilimi üzerinden LED panellerin beslemesi ve akıllı aydınlatma prototip elektronik elamanlarının güç girişleri trafo üzerinden sağlanmaktadır.



Şekil 3.7. Trafo

### 3.5. LED Aydınlatma Paneli

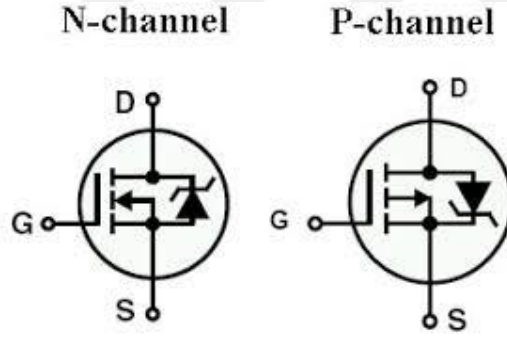
Tez çalışmasında kullanılmak üzere 1 adet 100 W'lık, 30V~36V arasında çalışma gerilimine sahip LED panel kullanılmıştır. LED panel 20X10 olmak üzere 200 adet SMD LED'lerden meydana gelmektedir. Fazla ısınmanın önlenmesi amacıyla alüminyum PCB denilen baskı devre kartları üzerine yerleştirilen LED panellerde armatür üzerindeki ısının bir miktar dağıtılması sağlanmaktadır.



Şekil 3.8. LED panel

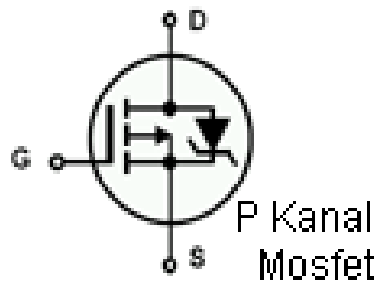
### 3.6. MOSFET (Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor)

Mosfetler; Geçidi Yalıtılmış Alan Etkili Transistor çeşitlerinden biridir. Dijital ve analog elektrik devrelerinde gücü dengelemek ve anahtarlama yapmak için kullanılır. Uygulanan gerilimi çıkışta farklı değerler vermesine göre Artırmalı Kanallı Mosfet ve Azaltan Kanallı Mosfet olarak ifade edilirler. Şekil 3.9’da yer aldığı gibi akımın yönüne göre değişen N kanallı ve P kanallı mosfet olarak ayrılırlar. P kanallı mosfetler de akım Drain ucundan, Source ucuna doğru akarken, N kanallı mosfetler de tam tersi olacak şekilde akımın yönü Source den Drain e doğru olmaktadır. MOSFET’ler genel olarak ileri yönde gerilimi tutarak kontrollü akım iletimi sağlayan tam kontrollü elektronik devre elamanıdır.



Şekil 3.9. N kanallı ve P kanallı mosfet

Akıllı aydınlatma prototip elektronik devre kartının güç girişine uygulanan 32 V’lık gerilim için artırmalı kanallı P tipi mosfet kullanılmıştır. Bu mosfet çeşidinin şematik ve görseli şekil 3.10’da yer almaktadır.



Şekil 3.10. MOSFET içyapısı ve entegresi

Artırılmış kanallı P tipi mosfet kullanılmasının sebebi, azaltan kanallı mosfetin çalışma mantığının tam tersi olan kapalı konumdayken akım geçirmeyen mosfet çeşidi olmasıdır. Yani Gate (G) ucundan gerilim verilmediği sürece Drain (D) ve Source(S) uçlarından herhangi bir akım geçişi olmaz. Böylece mosfet iletme geçmez. Bu mosfetin iletme geçmesi için gerilim pozitif olarak uygulandığında akımın geçeceği alan genişler ve böylece Drain ve Source arasından akım geçişi sağlanır (Robotik, 2020).

Mosfetler, girişe giren gerilimi kontrol etmesinden dolayı devre üzerinde aydınlatma panellerinin loşlaştırması için kullanılacaktır. Elektronik devrede kullanım şartlarına uygun olarak IRFR9120NTRPBF ürün kodlu 100 V giriş gerilimine sahip, 6.6 A'lık P kanallı mosfet tercih edilmiştir.

### 3.7. Prototipin Algılayıcıları ve Kullanımı

#### 3.7.1. Hareket sensörü (PIR)

Hareket sensörleri diğer adıyla PIR (Pyroelectric Infra-Red / Pasif kızılötesi sensör) insan ve canlıların vücut ısısı radyasyonundan yansıyan sinyaller ile farklı dalga boyundaki sinyallerin nesneye çarparak geri yansması mantığıyla çalışmaktadır (Narayana, 2013).

Kullanıldığı alanda sıcaklık değişimi ve kızılötesi dalga değişimine göre tepki vermektedir. Sensör üzerinden enerji ve ısı yayılmadığı için pasif kızılötesi sensör olarak adlandırılmaktadır.

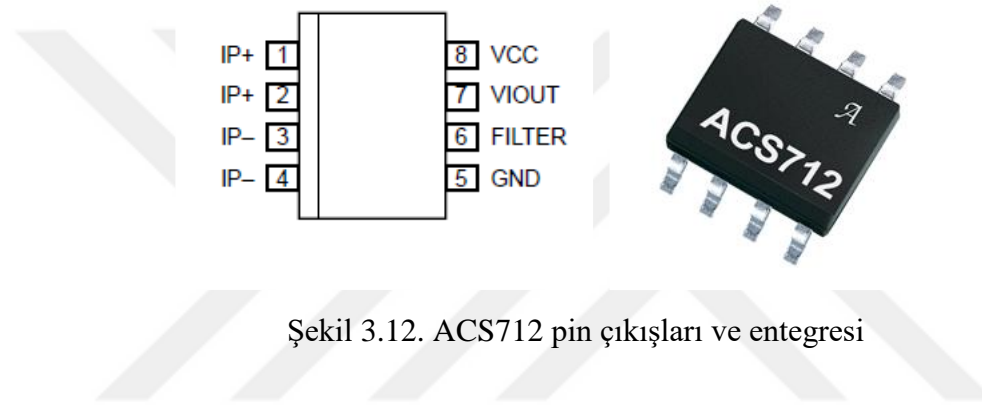


Şekil 3.11. PIR sensör

5 V -20 V çalışma gerilimine sahip, 65 mA güç tüketimine sahip olan HC-SR501 PIR hareket detektörü, üzerinde bulunan lens ile 120° den daha düşük derecelerde 3-5 metre aralıklarında algılama mesafesine sahiptir. Akıllı aydınlatma uygulamasında harekete bağlı olarak LED panellerinin loşlaştırma seviyelerini belirlemek için kullanılacaktır.

### 3.7.2. Akım sensörü (ACS712 $\pm$ 5A)

Allegro firmasına ait acs712 akım sensörü hem AC hemde DC akım ölçümleri için kullanılır.



Şekil 3.12. ACS712 pin çıkışları ve entegresi

Çizelge 3.1. ACS712 pin işlevleri

Numarası	Adı	İşlevi
1-2	IP+	DC akımlarda + kutup bağlanır(AC akım için yön farkı yoktur)
3-4	IP-	DC akımlarda + kutup bağlanır(AC akım için yön farkı yoktur)
5	GND	Ground (Topraklama)
6	FILTER	Kullanılacak akım değerine göre kapasitör bağlanarak filtreleme yapar.
7	VIOUT	Analog çıkış ucu
8	VCC	5 V

Akıllı aydınlatma elektronik kart tasarımı için kullanılan elektriksel akım değerlerine uygun olacak şekilde seçilen ACS712 akım sensörü tercih edilmiştir.

LED panellerinin arıza durumu veya sistemde fazla akım çekilmesinden kaynaklı hataların denetlenmesinde kullanılacaktır.

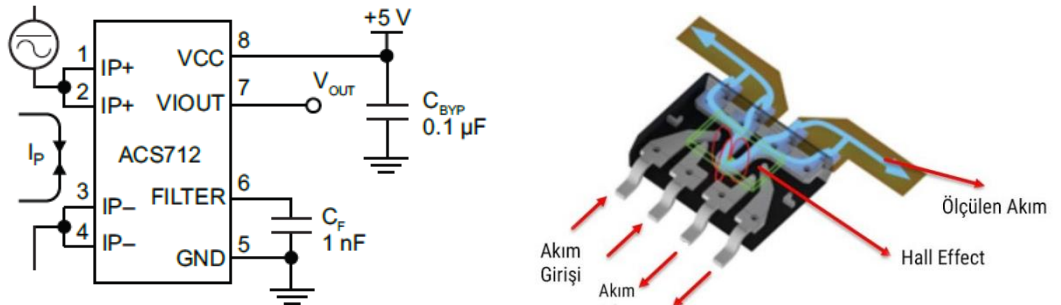
Girişine uygulanan yüksek akım veya gerilim değerlerini diğer elektronik elamanların zarar görmesini engelleyerek elektronik devrelerde koruma görevi görür.

4.5 V ~ 5.5 V arası çalışma gerilimine sahip bu sensör  $\pm 5$  A' e kadar akım ölçmektedir. Kullanım klavuzunda yazan ve aşağıdaki tabloda da belli olduğu gibi bu sensör 185 mV hassasiyete sahiptir ve boşta iken (0 amper değerinde) ölçülen gerilim değeri ise 2.5 V'dur. (Allegro, 2020). Bu bilgiler doğrultusunda analog çıkış veren bu akım sensörü üzerinden ölçülen değerden boşta ölçülen gerilim değeri çıkarılır. Elde edilen her 185 mV luk değer karşılığı 1 A lik değere karşılık gelmiş olur.

Çizelge 3.2 ACS712 çalışma hassiyet değerleri

Paket Numarası	$T_A(^{\circ}C)$	Optimize Oranı (A)	Hassasiyet(mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	-40~85	$\pm 5$	185
ACS712ELCTR-20A-T	-40~85	$\pm 20$	100
ACS712ELCTR-30A-T	-40~85	$\pm 30$	66

ACS712 akım sensörü kullanım klavuzunda yer alan 5V, 5 A lik devre şeması aşağıda gösterildiği gibidir. Bu değerler doğrultusunda yardımcı elektronik devre elamanları kullanılarak uygulamadaki akım değeri elde edilecektir.

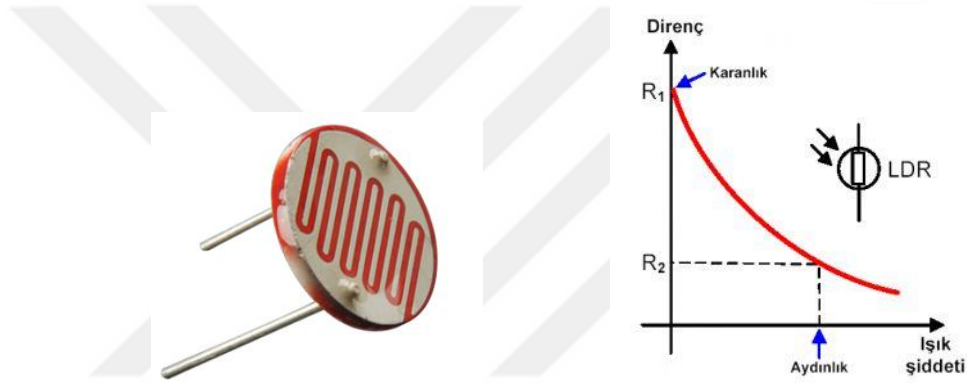


Şekil 3.13. ACS712 devre şeması ve çalışma prensibi

### 3.7.3. Foto Direnç (LDR)

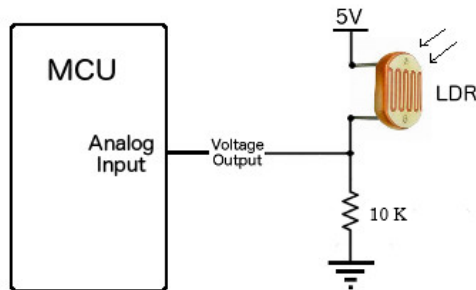
LDR (Light Dependent Resistor) yani ışığın şiddetine göre direnci değişen elektronik devre elamanıdır. LDR sensörünün üzerine düşen ışık değeri arttıkça direnci azalır, ışık değeri azaldıkça direnç değeri artar.

Şekil 3.14’de çalışma prensibinin tablosu yer almaktadır (Dijital, 2020). Pasif sensör olan foto dirençler, analog çıkış vermektedir. Üzerine düşen ışık miktarına bağlı olarak yapısındaki direnç değeri de değişmektedir. 3.3V ~5V çalışma gerilimine sahip olan LDR sensörü bacaklarından biri 5V diğeri ise GND’dir.



Şekil 3.14. LDR (Foto Direnç) ve çalışma prensibi

LDR nin bir bacağı 5V, diğeri bacağı GND ye bağlanarak 1 adette pull-down direnci denilen şekil 3.15’de yer aldığı gibi 10 K değerindeki direnç ile kullanılır. Bu baktan mikroişlemcinin analog pininden değerler okunarak sistemin açık ya da kapalı olması sağlanır.



Şekil 3.15. LDR devre şeması

LDR'ler sokak lambaları, kumanda donanımları, gece aydınlatma lambalarında sıklıkla kullanılmaktadır. LDR sensörü prototip uygulamasında ışık yoğunluğuna bağlı olarak LED panelin gün ışığına duyarlı olarak açılıp kapanması için kullanılacaktır.

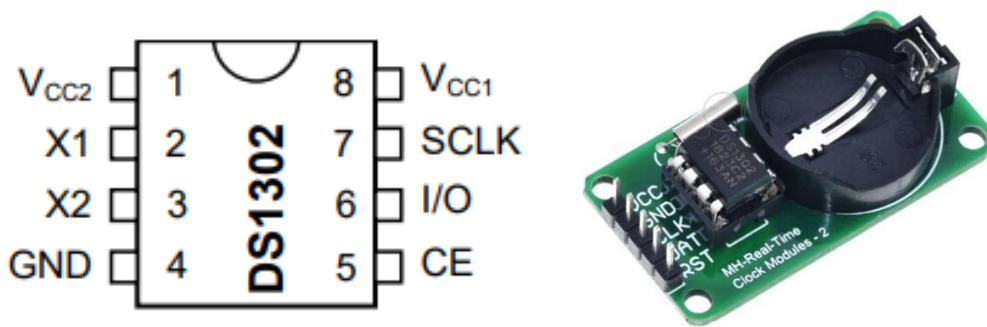
#### 3.7.4. Real Time Clock (RTC)

Akıllı aydınlatma LED panellerinin istenilen saatlerde açıp kapatılması için kullanılacak devre elamanıdır.

Real Time Clock yani gerçek zamanlı saat entegresi ile zaman dilimi anlık ve sürekli olarak takip edilebilmektedir. Maxim firmasına ait 2V ~ 5V çalışma gerilimine sahip DS1302 RTC entegresi I2C (Inter-Integrated Circuit) haberleşme protokolü üzerinden çalışmaktadır.

Entegre içerisinde yer alan SRAM (Static random access memory) sayesinde enerji kesilmediği sürece zaman bilgisini saniye, gün, ay, yıl şeklinde saklar. RTC entegreleri SRAM içerisinde saklanan zaman verilerini enerji kesildiğinde silinmemesi için harici bir batarya ile sisteme dahil edilirler.

Küçük ebatlarda coin battery denilen bozuk para büyüklüğündeki piller entegrelerin enerjisi kesildiğinde devrede aktif olarak kullanılarak zaman bilgisinin hem güncel hem de uzun yıllar boyunca saklı tutulabilmesini sağlarlar.

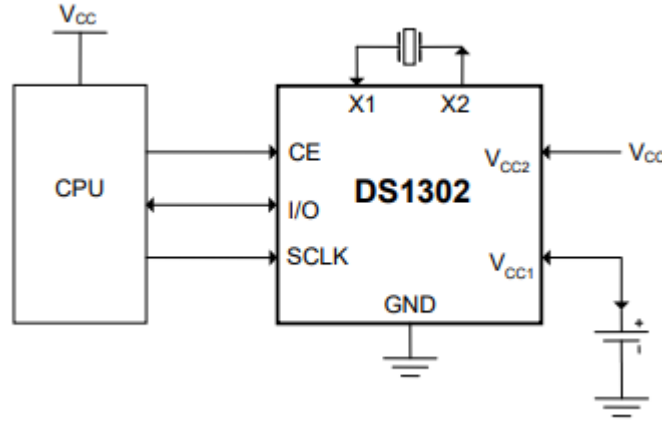


Şekil 3.16. DS1302 pin çıkışları ve entegresi

Çizelge 3.3. DS1302 pin işlevleri

Numarası	Adı	İşlevi
1	VCC2	5V Girişi
2-3	X1, X2	32.768 KHz kristal girişi
4	GND	Ground (Topraklama)
5	CE	Sinyal Çıkışı
6	I/O	Input-Output Data Pini
7	SCLK	Clock Pini
8	VCC1	3V Batarya Pini

DS1302 entegresinde zaman kaymalarının önüne geçebilmek için harici bir tane 32.768 KHz'lik bir kristal kullanılmalıdır (Maxim, 2020). Kullanım kılavuzunda yer alan devre şematiği şekil 3.17'de yer aldığı gibidir.

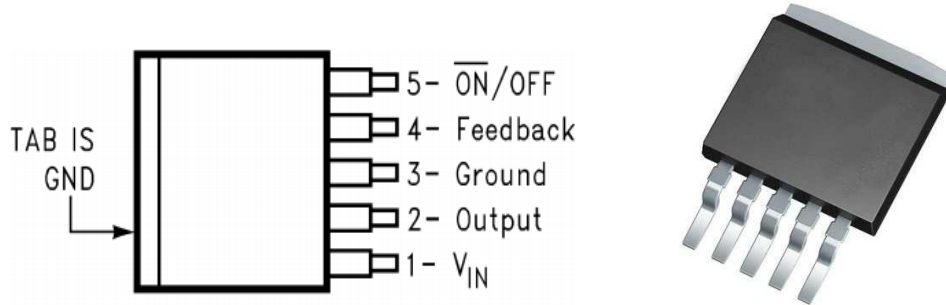


Şekil 3.17. DS1302 devre şematiği

### 3.7.5. Voltaj regülatörü

Voltaj regülatörleri, elektronik devre kartı üzerinde yer alan gerilimin kullanılacak elektronik bileşenin çalışma gerilimine ayarlanması için tercih edilmektedir. PCB'lerin gerilim beslemesi 32 V trafo üzerinden gerçekleşmesinden dolayı bu gerilimin kart üzerinde ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenle kullanılması uygun görülen regülatörler LM2576 Adj (ayarlanabilir voltaj gerilimi) ve AMS1117'dir.

Regülâtör seçilirken üzerinden geçirecek akım miktarına ve uygun gerilimin ayarlanması için gerekli yardımcı elektronik bileşenler (direnç, kondansatör) dikkate alınarak baskı devre kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

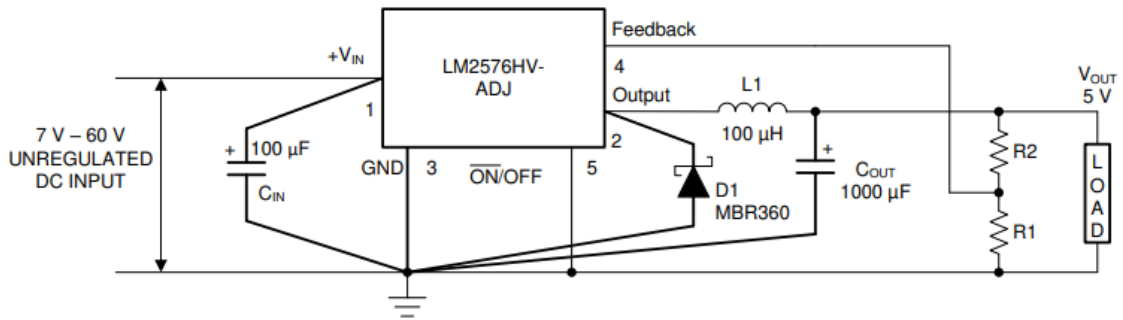


Şekil 3.18. LM2576 Adj pin çıkışları ve entegresi

Çizelge 3.4. LM2576 pin işlevleri

Numarası	Adı	İşlevi
1	$V_{IN}$	Güç Giriş Pini
2	Output	Anahtarlama Pini
3	GND	Toprak
4	Feedback	Geri Bildirim Algılama Pini
5	On/Off	Etkinleştirme Pini, çıkışı GND bağlanır

Girişe uygulanan gerilim değeri LM2576 için 7V ~ 60V aralığında iken, çıkış gerilimi de 1.23V ~ 37V arasındadır. 52 kHz aralığında çalışır. Girişe uygulanan gerilimi çıkışta istenilen değere indirmek için bypass kondansatörü ve bobinler kullanılır. Bilgi kâğıdında yer alan şematik ve gerekli bileşenler Şekil 3.19'da yer aldığı gibidir (Intruments, 2020).



Şekil 3.19. LM2576 regülâtör şematik

Bu elektronik bileşende dikkat edilmesi gereken kullanılacak direnç (R1, R2) değerlerinin gerekli matematiksel formüllerle hesaplanarak çıkışına karar verilmesidir. LoRa' ların giriş voltaj beslemesinde kullanılacak bu gerilim değeri 4.2 V'a indirgenmesi için formüller ile hesaplandığında;

$$V_{out} = V_{ref} \left( \frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \quad (3.1)$$

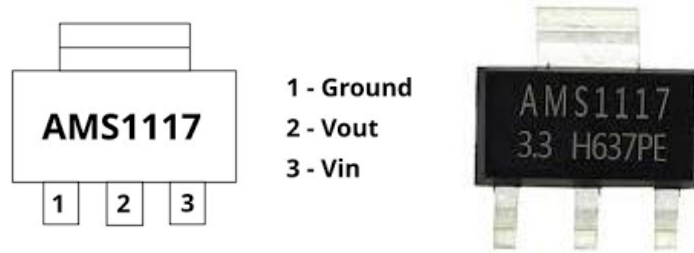
$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

Öncelikle Vref değerinin sabiti:1.23 V, ve R<sub>1</sub>= 1 K alınarak R<sub>2</sub> değeri hesaplanır. V<sub>out</sub>=4.2V için;

$$R_2 = 1 \left( \frac{4.2}{1.23} - 1 \right) \quad R_1=1K \text{ için } R_2=2.4K \text{ olur.}$$

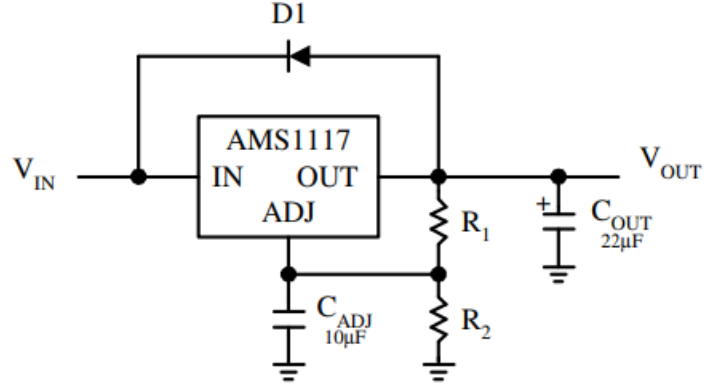
### AMS1117 3.3 V Voltaj Regülatörü

Giriş gerilimi 4.5V ~7V olan ve çıkışta 3.3 V gerilim değeri elde edilen regülatördür. Çıkışta elde edilen en yüksek akım değeri 1 A'dir (Ams, 2020).



Şekil 3.20. AMS1177 voltaj regülatörü ve pin çıkışları

Elektronik baskı devre içerisinde kullanılan AMS1117 voltaj regülatörü giriş de uygulanan 5V gerilimini 3.3V gerilimine düşürecektir.



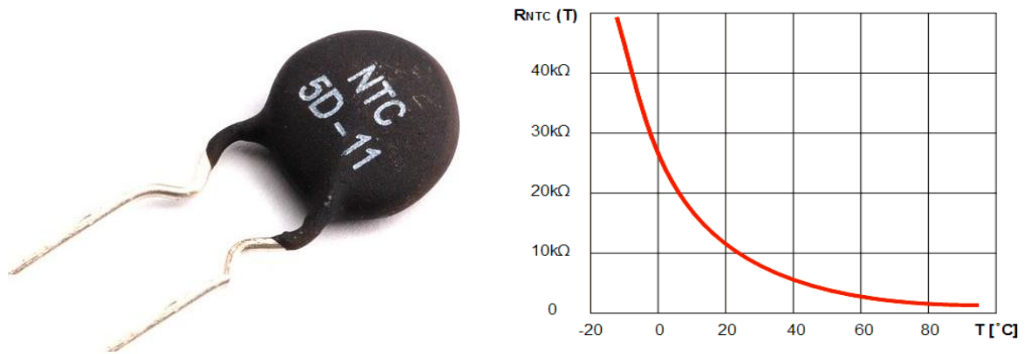
Şekil 3.21. AMS1117 voltaj regülatör şematik

Çıkış geriliminin ayarlanması LM2576 regülatöründe olduğu gibi Denklem 3.1 ve 3.2 ile hesaplanır.

### 3.7.6. Termistör (NTC)

Termistörler, uygulanan sıcaklığa bağlı olarak üzerinde direnç değişimi meydana gelen elektronik bileşendir. PTC (Positive Temperature Coefficient) ve NTC (Negative Temperature Coefficient) olmak üzere iki çeşit termistör bulunmaktadır. NTC'ler sıcaklığa bağlı olarak direnç değerleri değişen elamanlardır.

Akıllı aydınlatma prototip uygulamasında NTC termistörü kullanılacak olup LED aydınlatma panelinin sıcaklığının belirlenmesinde kullanılacaktır. Şekil 3.22'de örnek NTC ve sıcaklık değişim grafiği verilmiştir.

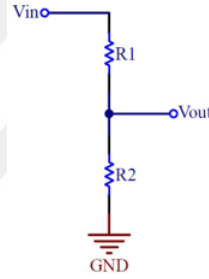


Şekil 3.22. NTC ve sıcaklığa bağlı direnç değişim grafiği

### 3.7.7. Gerilim sensörü

Elektronik kart üzerinde gerilimin ölçülmesi gerilim bölücü prensibine dayanmaktadır. Sisteme uygulanan voltaj değerinin takip edilmesi elektronik sistemin doğru çalıştığının takip edilmesi ve aynı zamanda da güç kaynağı üzerinden fazla gerilim çekilmesi kontrol edilerek olası durum ve arızaların önüne geçilmesini ve elektrik kesintisi tespitini sağlamaktadır. Kapasitif tipi voltaj algılama ve direnç tipi voltaj algılama olarak iki farklı çeşidi bulunmaktadır.

Tez çalışması üzerinde voltaj algılama direnç yolu ile gerçekleştirilecek olup Şekil 3.23 de yer alan şematikte gibi uygulama üzerine dahil edilmiştir.



Şekil 3.23. Gerilim sensörü çalışma prensibi

Gerilim sensörlerinde kullanılan direnç değerleri belirli bir hesaplama formülü ile sisteme dahil edilirler.

Bu formül;

$$V_{out} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \right) \quad (3.3)$$

ile hesaplanır.

32 V giriş gerilimi için çıkışta 4.4 V çıkış gerili elde edilmesi için yukarıda yer alan formüle göre;

$R_1=6.2$  K ve  $R_2=1$  K'dır.

### **3.8. Akıllı Aydınlatma Elektronik Donanım, Tasarım ve Aşamaları**

Elektronik baskı devre kartları, devre elamanlarını monte edilmesi ve bileşenlerin birbirine olan iletken yollarını bakır plakete üzerine aktarılmasıdır. Baskı devre kartları kısaca PCB (Printed Circuit Board) olarak adlandırılmaktadır. Farklı elektronik kart tasarım programları üzerinden tasarlanan PCB'ler üzeri bakır kaplı, altı yalıtkan malzeme üzerine aktarılarak tamamlanır.

Lisanslı veya lisanssız çizim programları ile elektronik baskı devre kurallarına uygun olarak hazırlanan tasarımlar özel yollar ile elde veya PCB üretim alanlarında basılarak son haline getirilir. PCB'ler 2,4,8,16.. katman şeklinde artarak devam eden değerlerde çizilebilmektedir.

Katman sayısı elektronik kartın içerdiği bileşen sayısına ve özelliklerine göre en başta belirlenmelidir. Akıllı aydınlatma prototip PCB kartları 2 katman olarak belirlenmiş ve bu şekilde çizilmiştir.

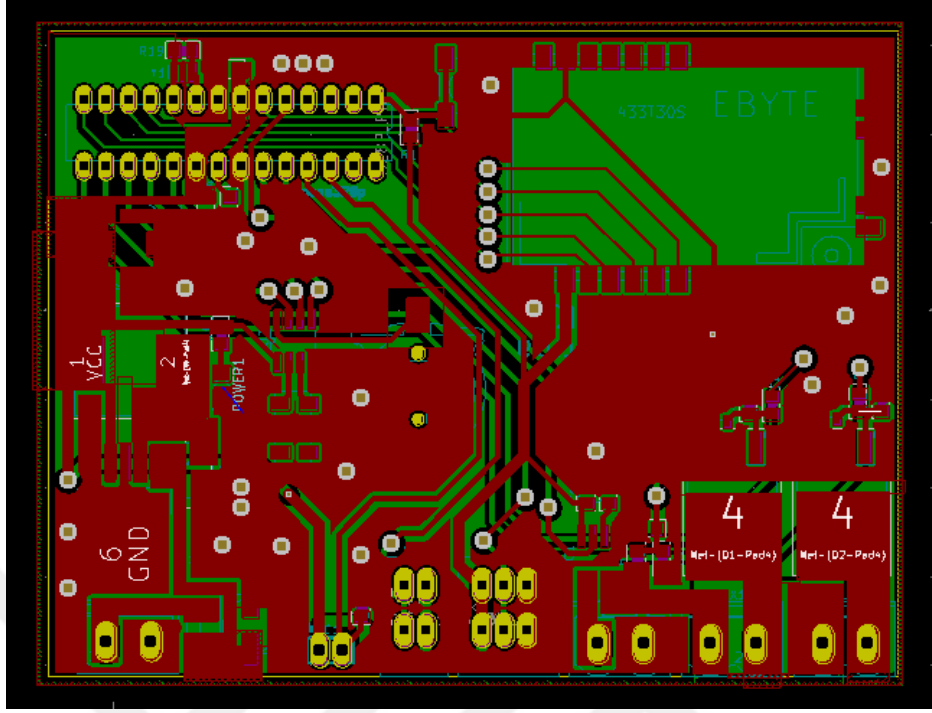
#### **3.8.1. Akıllı aydınlatma sensörler ve Lora PCB modülü**

Sistemin içerisinde yer alan sensörler ve diğer elemanlar en başta belirlenerek KiCad (elektronik baskı devre kart çizimleri için açık kaynak kodlu tasarım) programında şematik üzerinden bağlantı yolları çizilir.

Prototip iki ayrı baskı devre kartından oluşmaktadır. Bunlar, Wi-Fi modülün yer aldığı ana elektronik kart ve LoRa modülünün yer aldığı elektronik karttır. Aşağıda yer alan Şekil 3.24 görselde sensör baskı devre kartının KiCad programındaki şematiği yer almaktadır.

Bu kart üzerinde atmega328p mikro denetleyicisi, voltaj düzenleyici, akım sensörü, gerçek zamanlı saat entegresi (RTC), LDR ve MOSFET'ler ve diğer elektronik elemanlar yer almaktadır.

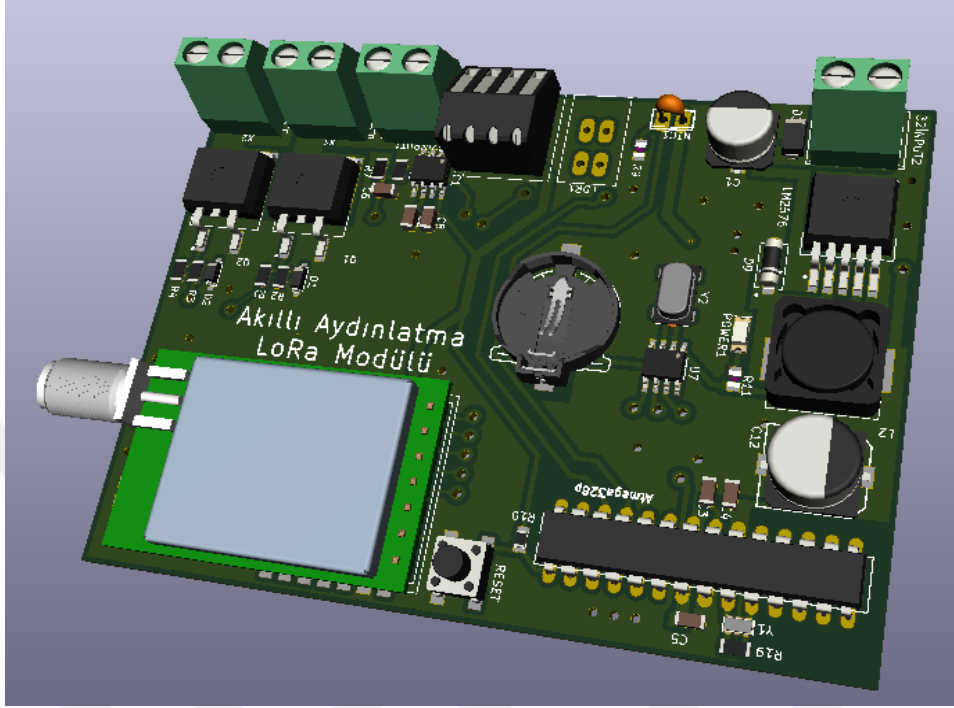




Şekil 3.25. Akıllı aydınlatma sensörler ve LoRa PCB modülü footprint

Footprint üzerinden bağlantıları tamamlanan çizimler KiCad programı üzerinden elektronik bileşenlerin üç boyutlu tasarım kütüphaneleri eklenerek kartın son aşamasına geçilir. Sanal ortamda elektronik ürünlerin gerçekteki ile çok yakın benzerliği ve birebir aynı ölçekli bileşenler yerleştirilerek PCB'nin gerçekte nasıl olacağı ve doğru paket seçilip seçilmediği önceden belirlenmiş olur.

Şekil 3.26’de de Akıllı Aydınlatma Sensörler ve Lora Modülün son halinin sanalda nasıl olduğu gösterilmiştir.

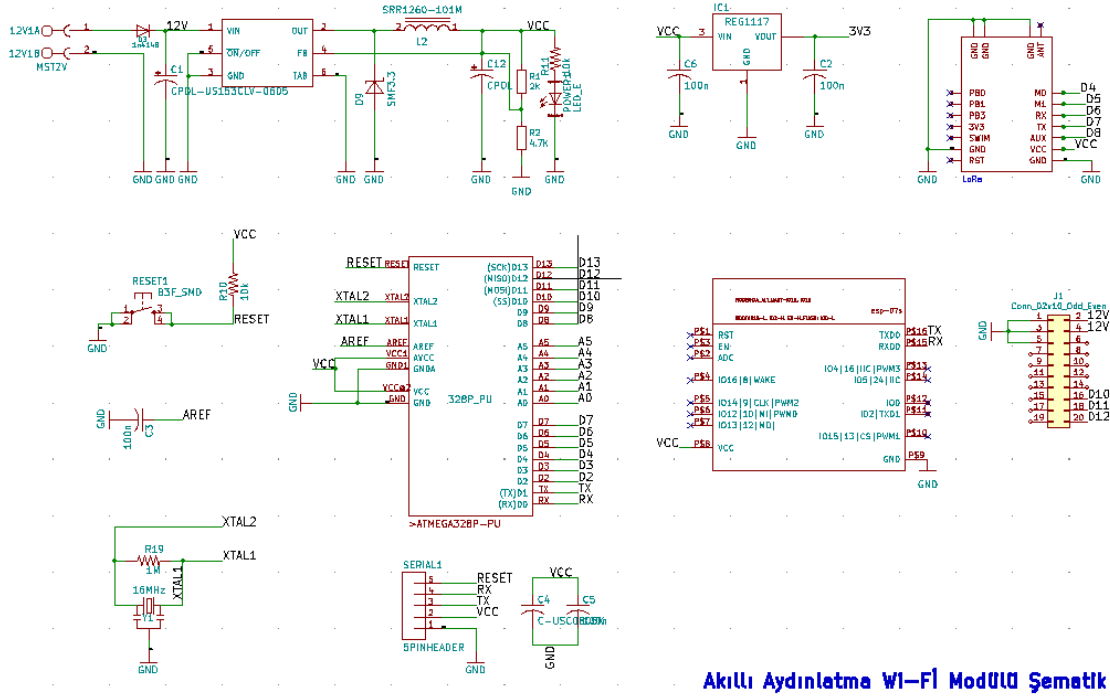


Şekil 3.26. Akıllı aydınlatma sensörler ve LoRa modülü üç boyutlu tasarımı

### 3.8.2. Akıllı aydınlatma Wi-Fi modülü

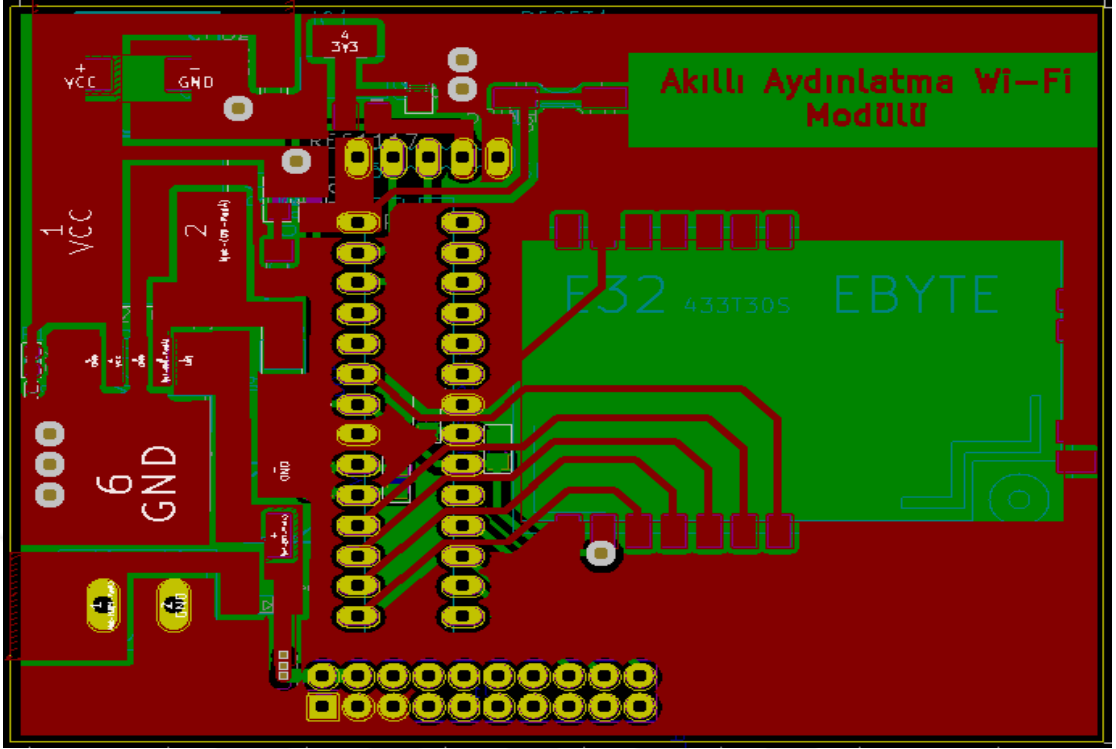
Sensörlerden gelen verilerin alınması ve kablosuz olarak sunucuya aktarması için Wi-Fi modülü tasarlanmıştır. Kart üzerinde LoRa modülü, Atmega328p mikrodenetleyici voltaj regülatörleri ve diğer elektronik bileşenler yer almaktadır.

PCB'nin çalışma mantığı trafo üzerinden alınacak 32 V gerilimi LoRa ve ESP8266 modülü için gerekli voltaj ayarlamaları uygun olan regülatörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Trafodan gelen gerilim LoRa'nın uygun çalışma gerilimine düşmesi için ayarlanabilir LM2576 regülatörü kullanılmıştır. Bu regülatör de gerilimin 4.2 V olması için gerekli matematiksel hesaplamalar bilgi kağıdında yer alan kurallar dikkate alınarak uygun olan yardımcı direnç değerleri belirlenerek sisteme dahil edilmiştir.

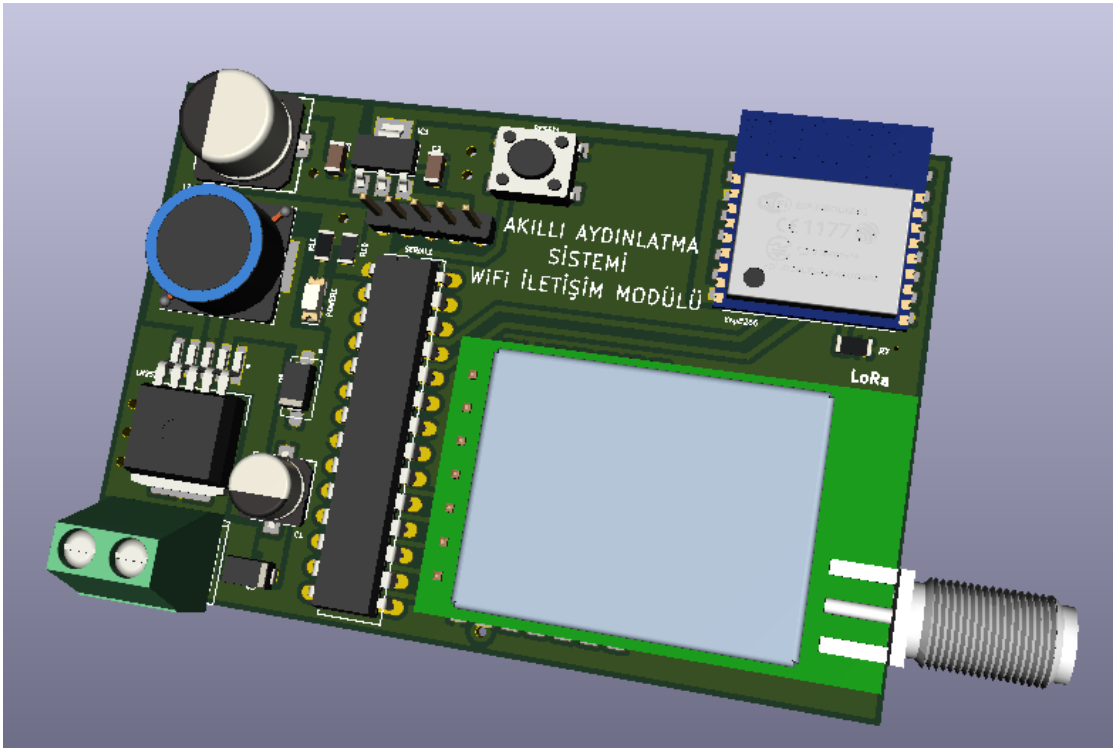


Şekil 3.27. Akıllı aydınlatma Wi-Fi modülü

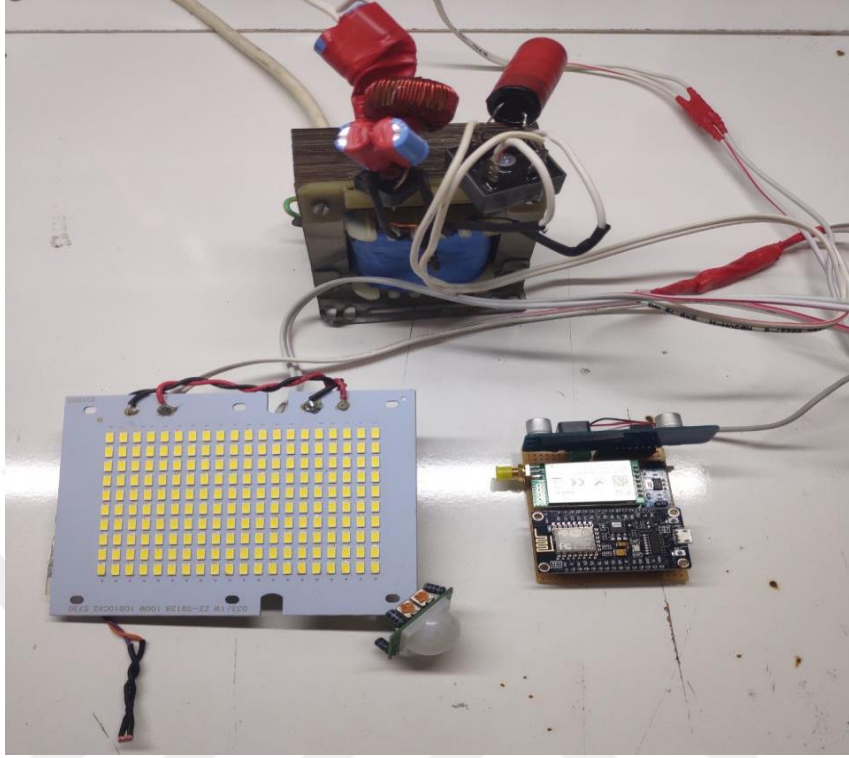
Elektronik bileşenlerin bağlantı yolları ve katman sayıları belirlenerek çizilmiştir. Aşağıda yer aldığı gibi tamamlanmıştır. Bu tasarımlar sırasında elektronik bileşenlerin yol hatları ve yüzey kaplamaları (zone) ile tasarım KiCad programı üzerinden tasarlanmıştır.



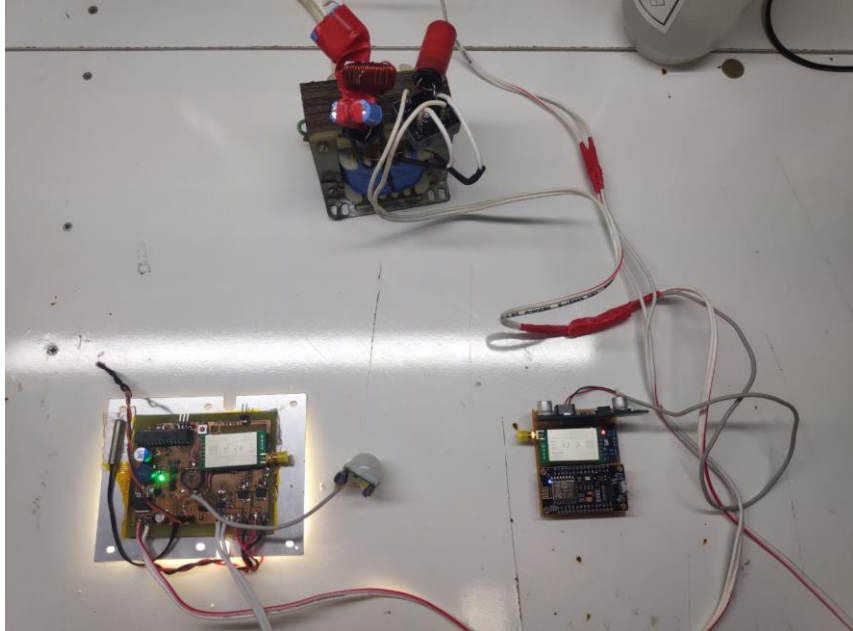
Şekil 3.28. Akıllı aydınlatma Wi-Fi footprinti



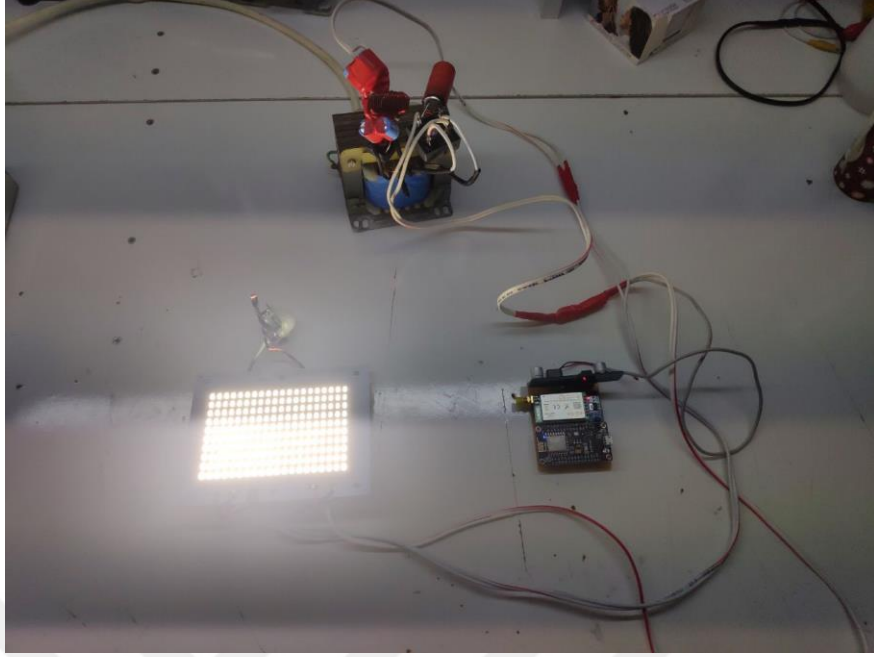
Şekil 3.29. Akıllı aydınlatma Wi-Fi modül üç boyutlu tasarımı



Şekil 3.30. Akıllı aydınlatma prototip genel görünümü



Şekil 3.31. LED panel LoRa modülü arkadan görünümü



Şekil 3.32. Akıllı aydınlatma prototipi çalışma anı

### **3.9. Akıllı Aydınlatma Elektronik Devre Kartlarından Alınan Verilerin Sunucuya İletilmesi ve Kontrolü**

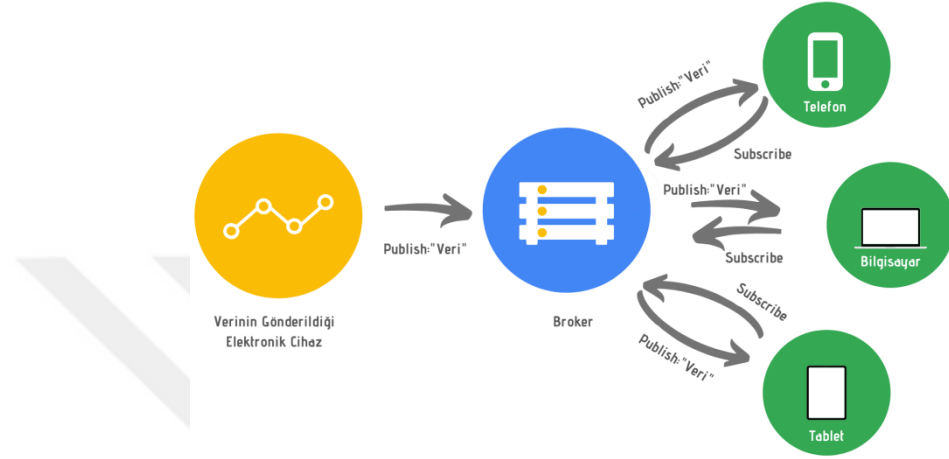
#### **3.9.1 MQTT ile bilgisayar destekli yazılımın gerçekleştirilmesi**

Telemetri aktarımı anlamına gelen MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), makineden makineye iletişim sağlayan ve nesnelerin interneti için önemli bir mesajlaşma protokolünü kapsamaktadır. MQTT daha açık bir ifade ile uzaktan kontrol edilmesi gereken nesnelere aldığı verilerin sunucu üzerinden kontrol edilmesine imkân sunmaktadır. Bu mesajlaşma sistemini TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protokol) protokolleri ile gerçekleştirmektedir. Burada TCP kısmı veri iletimi için gönderilecek noktaları belirlerken, IP protokolü ise verilerin iletim yolunu belirlemektedir. Farklı portlar üzerinden erişim sağlanabilen MQTT sunucusunun kimlik doğrulama yani şifreli portu ile veya şifresiz olarak erişmek mümkündür. MQTT, TCP protokolü üzerinden güvenli iletişimi sağlamaktadır.

MQTT protokolünün temeli yayınlama ve abone olma prensibine dayanmaktadır.

Şekil 3.33’de yer aldığı gibi 3 ana kısımdan meydana gelen MQTT’de mesajlaşma sunucu yani broker üzerinden yönetilir, mesaj yayınlama Publish ve bu mesaj alanına abone olanlarda Subscribe olarak ifade edilir.

Burada elektronik cihazdan alınan yayın (topic) broker iletilir. Broker da toplanan mesajlar değerlendirilerek abone olan adreslere iletir.



Şekil 3.33. MQTT çalışma prensibi

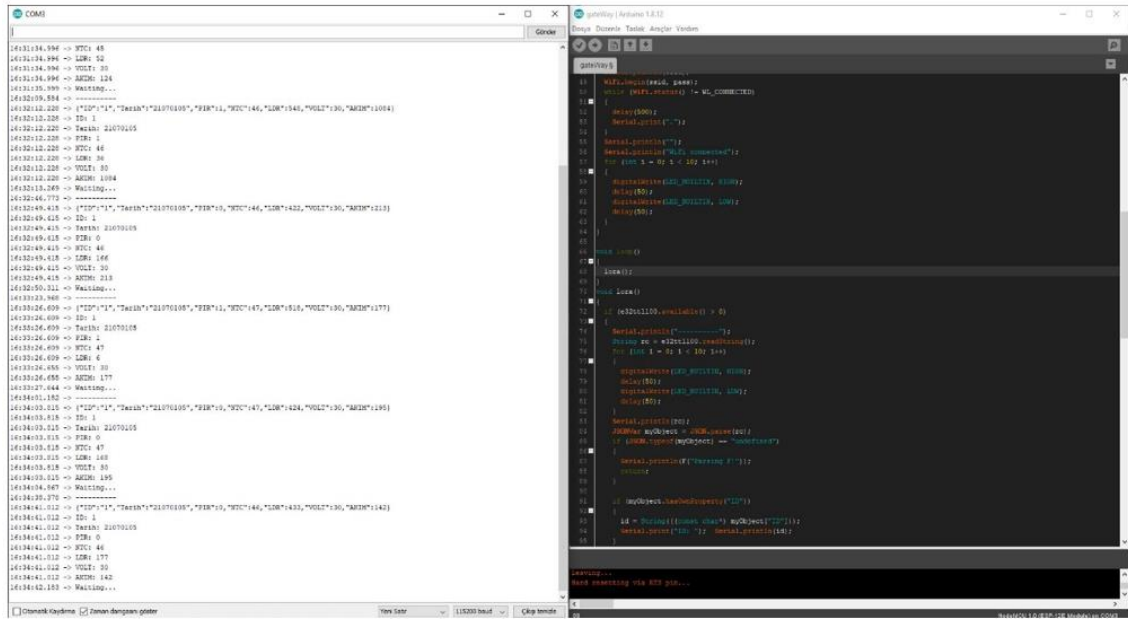
MQTT makineden makineye iletişimde geniş kullanım alanına sahip olmasının en önemli avantajları arasında farklı uygulamalar için kullanıma açık olması, minimum güç tüketimi, birden fazla nesnenin bağlanabilmesi, düşük bant genişliğinde küçük paketler halinde verilerin kaybolmadan iletilmesini sağlamaktadır (Tang & Wang, 2013).

Bilgisayar destekli akıllı aydınlatma prototip uygulamasında verici kart olarak görev yapan sensör LoRa modülü, topladığı verileri, Wi-Fi modül kartına iletir. Üzerinde yer alan ESP8266 internet modülü ile elektronik kart MQTT sunucusuna bağlanır. Böylece bilgisayar, telefon, tablet gibi cihazlar ile sensörlerden alınan veriler istenilen her yerden ulaşılabilir ve kontrol edilebilir hale gelmektedir.

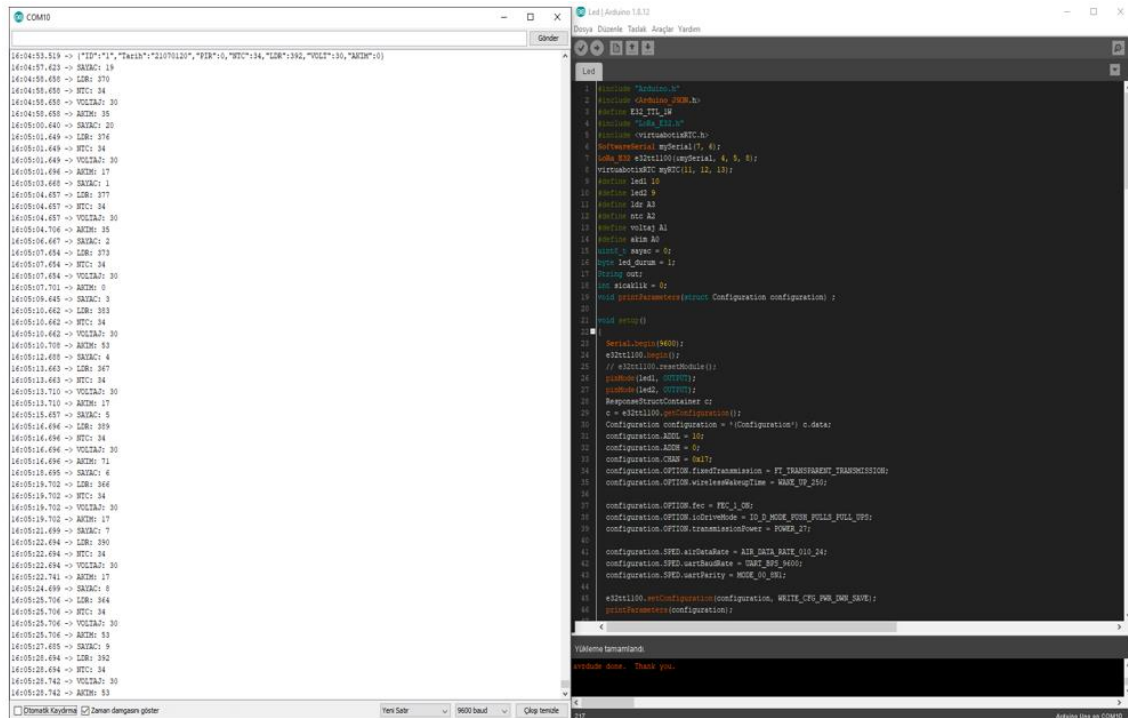
### 3.9.2. Atmega328 işlemcisinin gömülü yazılımı

Arduino uygulaması C ve C++ dilleri ile kendisiyle uyumlu olan elektronik işlemcilerin içerisine kod yazılmasını sağlayan ara yüz programıdır. Tez çalışmasının elektronik kısmında yer alan ESP8266 Wi-Fi Modülü ve atmega328 işlemcisinin programlanması arduino entegre geliştirme ortamında (IDE) yazılmıştır.

Aşağıda yer alan görsellerde yer aldığı gibi esp8266 Atmega işlemcisinin kodlama ekranı yüzü ve sanal ekranda sensörlerden gelen verilerin değerleri yer almaktadır. Ayrıca Wi-Fi Modülünün Arduino Kodları Ekler bölümünde Ek 1’de, Atmega328 İşlemcisinin Arduino Kodları ise Ek 2’de yer verilmiştir.



Şekil 3.34. Wi-Fi modülünün arduino ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü



Şekil 3.35. Atmega328 işlemcisinin arduino ile kodlanması ve sanal ekran kontrolü

### **3.9.3. ThingSpeak üzerinden aydınlatma kontrolünün sağlanması**

Tezin ana konusu olan prototip geliştirme aşamasından sonra yer alan bilgisayar destekli tasarım bu alanda gerçekleştirilmiştir.

Nesnelerin interneti tabanlı uygulamalarda elektronik kartların birbiriyle haberleşmesi ve sunucu üzerinden takip edilmesi sağlanmaktadır. Sensör ağlarından elde edilen veriler bulut tabanlı ThingSpeak platformu üzerinden veri tabanına kaydedilerek çevrimiçi kontrol edilecektir. ThingSpeak uygulamasının tercih edilme nedenleri arasında yer alan gerçek zamanlı ve anlık olarak verileri takip edebilme, elde edilen sonuçları raporlama, MATLAB grafik tasarımları üzerinden analiz edilebilmesi yer almaktadır. Gerçekleştirilen akıllı aydınlatma prototipi üzerinde yer alan sensörlerden alınan veriler anlık olarak bu platform üzerinden takip edilmektedir.

ThingSpeak platformunu kullanabilmek için gerekli üye girişi tamamlanmalıdır. Takip edilmek istenen proje için öncelikle kanal açılır.

IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma adını verdiğim kanal ayarlardan ister herkese açık olarak, istenilirse de özel olarak takip edilebilir. Aşağıda yer alan görseldeki gibi API Keys ve kanal ID'si yazılıma eklenerek her sensörün karşılığı farklı bir alanla eşleştirilerek uygun grafik ara yüz tasarımı ile kontrol edilir. Bu farklı alanlar 'Field' olarak adlandırılmaktadır. Her açılan kanal da en fazla aynı anda sekiz tane sensörden elde edilen verileri görselleştirmektedir.

The screenshot shows the ThingSpeak interface for a channel named 'IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma'. The channel ID is 1430924, the author is mwa0000017331406, and the access is private. The channel is 50% complete. The settings page includes fields for Name, Description, eight Fields (Field 1 to Field 8), Metadata, and Tags. The Name field contains 'IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma'. The Description field is empty. Fields 1 through 8 are labeled 'Field Label 1' through 'Field Label 8' and each has a checked checkbox. The Metadata field is empty. The Tags field contains 'akıllı aydınlatma ; iot'.

ThingSpeak™ Channels Apps Devices Support

## IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma

Channel ID: 1430924 | akıllı aydınlatma ; iot  
Author: mwa0000017331406  
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys

### Channel Settings

Percentage complete 50%

Channel ID 1430924

Name IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma

Description

Field 1 Field Label 1

Field 2 Field Label 2

Field 3 Field Label 3

Field 4 Field Label 4

Field 5 Field Label 5

Field 6 Field Label 6

Field 7 Field Label 7

Field 8 Field Label 8

Metadata

Tags akıllı aydınlatma ; iot

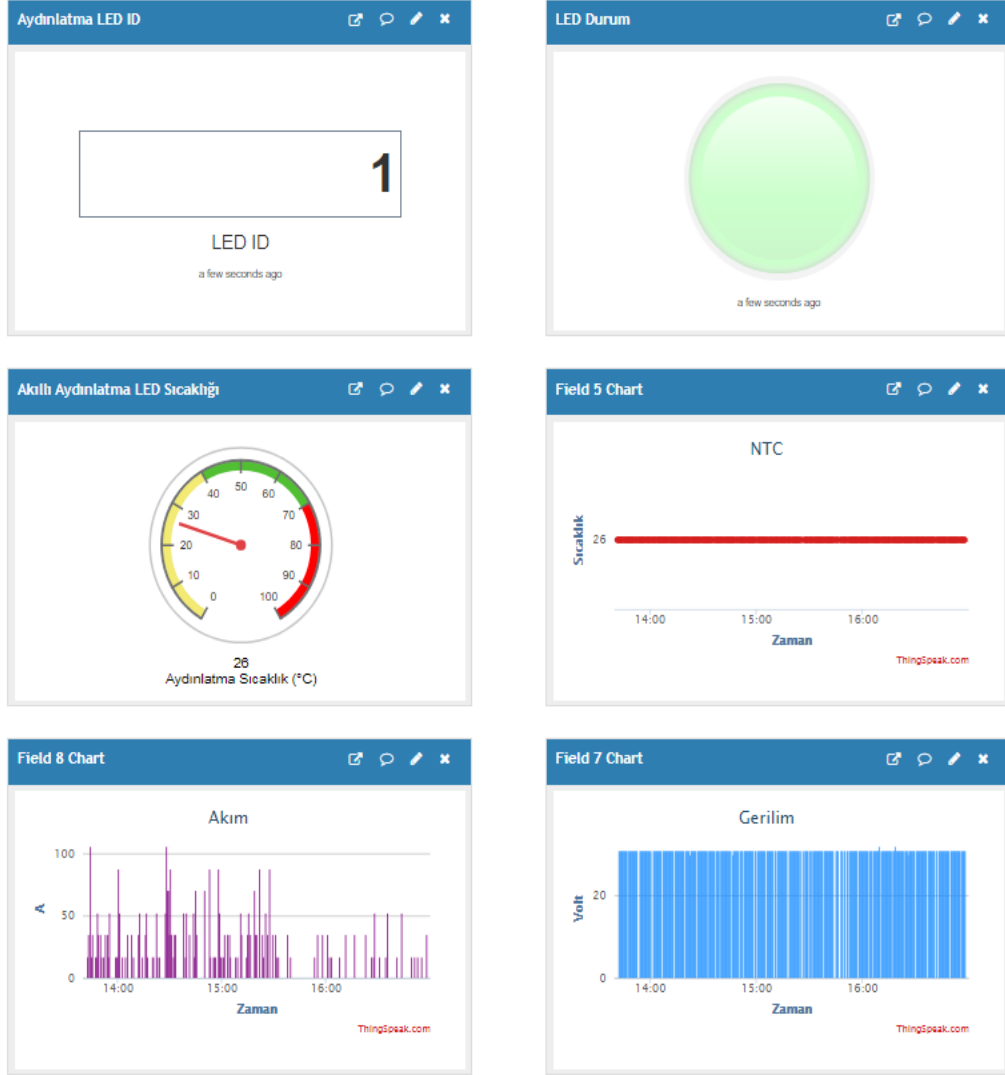
Şekil 3.36. ThingSpeak kanal ayarları

Veri tabanına kaydedilen veriler ThingSpeak içerisinde ücretsiz olarak depolanabildiği gibi makinelerin veya nesnelerin kendi arasında veri paylaşması için kullanıldığı farklı standartlar olan XML, JSON VE CSV formatlarında da dışa aktarılarak depolanabilir ve kullanılabilir.

Tez için açmış olduğum 'IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma' kanalının Kanal IDsi:1430924 olup sistem buradan herkes tarafından takip edilebilmektedir. Field'lara atanan sensörlerden elde edilen değerlerin genel görüntüsü Şekil 3.37'de yer aldığı gibidir.

## Channel Stats

Created: [about a month ago](#)  
Last entry: [less than a minute ago](#)  
Entries: 20285



Şekil 3.37. ThingSpeak grafik ara yüzü

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Kablosuz haberleşme için kullanılan LoRa modülünün geniş kapsama alanı ile kilometrelerce mesafelerde dahi sensörlerden ölçüm yapılabilmektedir.

Lisansız kullanım hakkı olan bu modül istenilen projelerde rahatlıkla kullanılabilir. Enerji tüketiminin düşük olması uygun olan güç kaynağıyla uzun ömürlü kullanılmasını sağlamaktadır.

LoRa ile haberleşme projeleri, son zamanlarda teknolojinin de gelişmesiyle daha sık kullanılmaya başlanmıştır.

Tezin konusu olan akıllı aydınlatma prototipinde verilerin aktarım hızı, maliyetinin uygun olması, sınırsız mesaj okuma kapasitesi, geniş çekim alanına sahip olması gibi avantajlarından dolayı en uygun kablosuz ağ yapısı olarak seçilmiştir. Geliştirilen prototip gerçeğe en yakın şekilde tasarlanmış olup aydınlatmanın gerektiği tüm alanlarda rahatlıkla kullanılabilir.

Yapılan diğer tez araştırmaları sonucunda EBYTE firmasına ait LoRa (E32 TTL 100) haberleşme modülü kullanılmamış olup gerçeğe en yakın aydınlatma prototipi bu tez çalışmasında oluşturulmuştur.

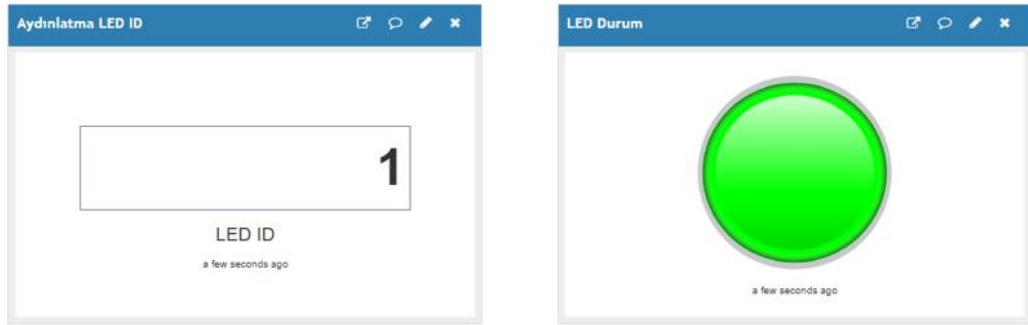
Geleneksel sokak aydınlatmalarında karşılaşılan problemler arasında yer alan zamanı gelmeden yanan aydınlatmalar, hareketin fazla olduğu zaman aralığında yeterli aydınlatma düzeyinin sağlanamaması, arızalanan sokak aydınlatmasının uzaktan fark edilmemesi gibi problemler geliştirilen prototip ile çözüme kavuşturulmuştur. Sisteme dahil edilen PIR sensörü ile hareket yoğunluğuna bağlı olarak tam verimde veya loşlaştırma yapılarak enerjiden tasarruf edilmiştir. Enerjiden tasarruf edilen diğer bir alan ise geleneksel aydınlatmaların yerine minimum enerji tüketimi ile yüksek ışık akısı oluşturan birden fazla LED'in bir araya gelerek oluşturduğu LED panel kullanılmasıdır. Böylece daha aydınlık aydınlatma düzeyi düşük maliyet gideriyle elde edilmiştir.

Sitemin akıllı hale getirilmesiyle birlikte ortam ışığına bağlı olarak aydınlatmanın gerekli olduğu zaman dilimlerinde LDR sensörü aktif hale gelerek aydınlatma sağlanmıştır.

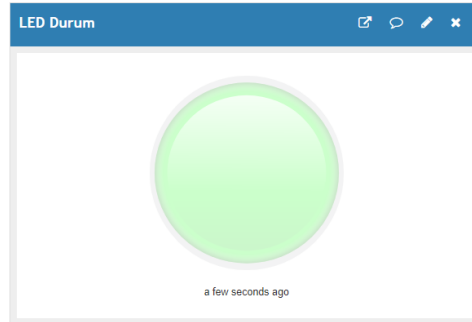
Nesnelerin internetinin gelişmesiyle kablosuz ağ yapılarından toplanan veriler sunucuya aktarılmakta ve istenilen zaman aralığında kolayca ulaşılabilir.

Bulut tabanlı web ara yüzü olan ThingSpeak üzerinden sensörlerden elde edilen değerlerin kontrol yapılabilir. Böylelikle kendi kendine karar verebilen akıllı şehir konseptine uygun akıllı aydınlatma sistemi gerçekleştirilmiştir. Modüller üzerinde yer alan işlemcilerin yazılımları C ve C++ dilleri ile yazılan arduino uygulaması ile yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sensörlerden gelen veriler arduino sanal ekranından da kontrol edilmiş olup ThingSpeak üzerine aktarılan verilerde herhangi bir veri kaybı olmadığı belirlenmiştir.

Akıllı Aydınlatma sisteminde; LED Panelin kontrolü kendisine atanan ID numarası ve anlık olarak yanıp yanmaması kontrolü aşağıda yer alan görseller ile takip edilmektedir. Sistemin çalışma mantığında yer alan ve yazılımsal olarak sisteme dahil edilen LED Panelin çalışma saati aktif olduğunda ve aynı zamanda havanın kararmasına bağlı olarak erken aydınlatmanın sağlanması gereken durumlarda LDR sensörü devreye girerek aydınlatmaktadır.

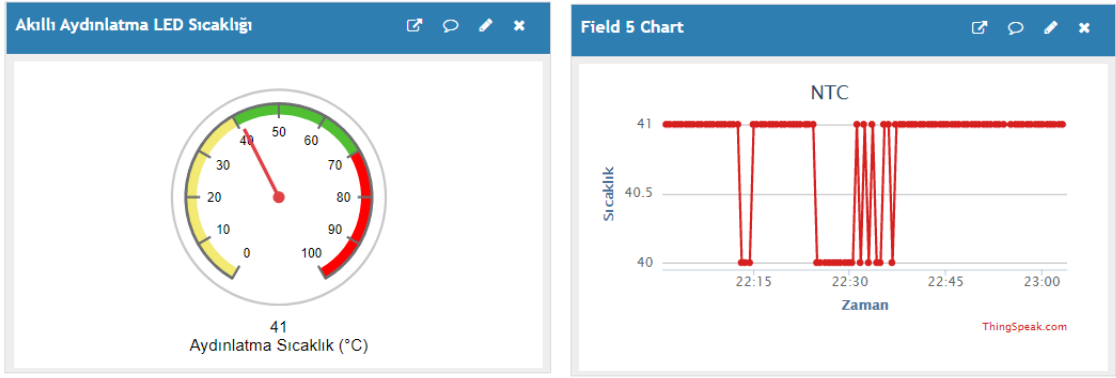


Şekil 3.38. LED'in ID'si ve aktif durumu (aydınlatma varken)

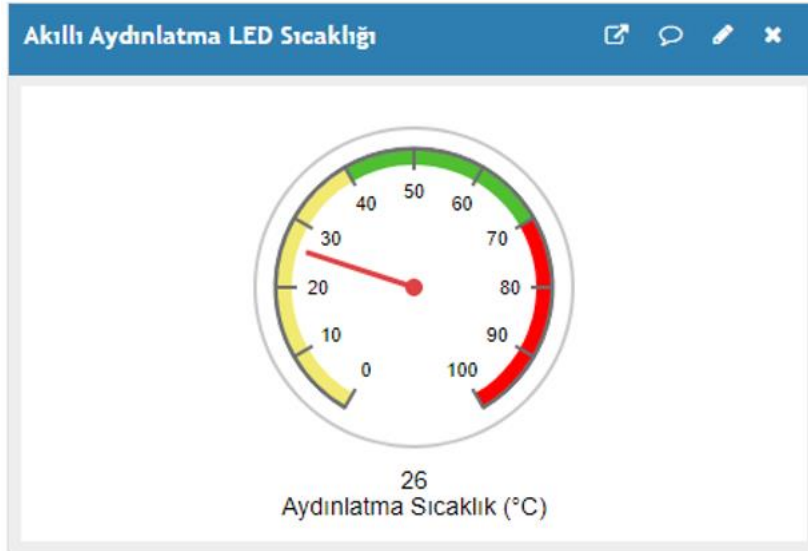


Şekil 3.39. LED'in aktif durumu (aydınlatma yokken)

NTC sensörü ile aydınlatmanın sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. LED panellerin aşırı ısınması hem LED'lere zarar vermekte hem de diğer elektronik bileşenler için tehlike arz etmektedir. LED lerin arıza vereceği sıcaklık değeri 70 °C olup bu değer üzerine çıktığında sistem otomatik olarak çalışmayı durduracak ve olası kazalara karşı korunaklı olacaktır. Bu nedenle anlık olarak kontrol edilen sıcaklık değeri LED aktif iken en yüksek 40 °C ile 42 °C arasında değişmektedir. Gündüz saatlerinde ise sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 26 °C civarındadır.

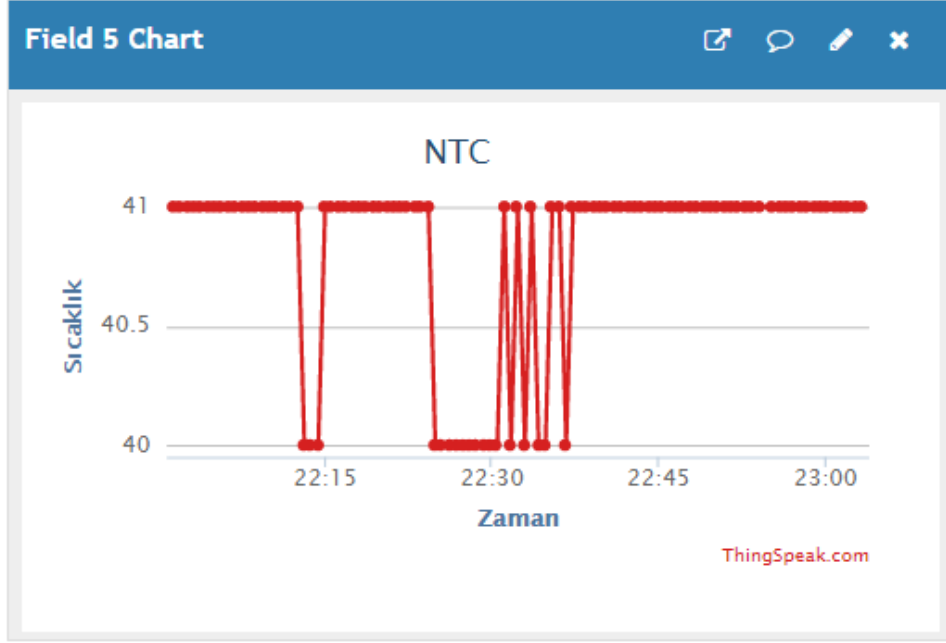


Şekil 3.40. Aydınlatma sağlandığında LED panelin sıcaklık durumu

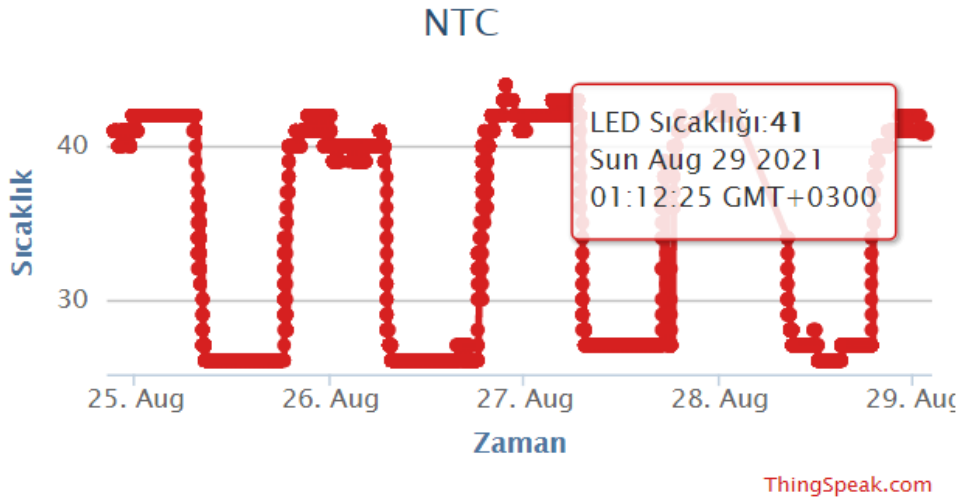


Şekil 3.41. Aydınlatma olmadığında LED panelin sıcaklık durumu

LED aydınlatmanın sıcaklık değerlerinin anlık ve haftalık olarak ölçüm sonuçları aşağıda görselde yer aldığı gibidir.

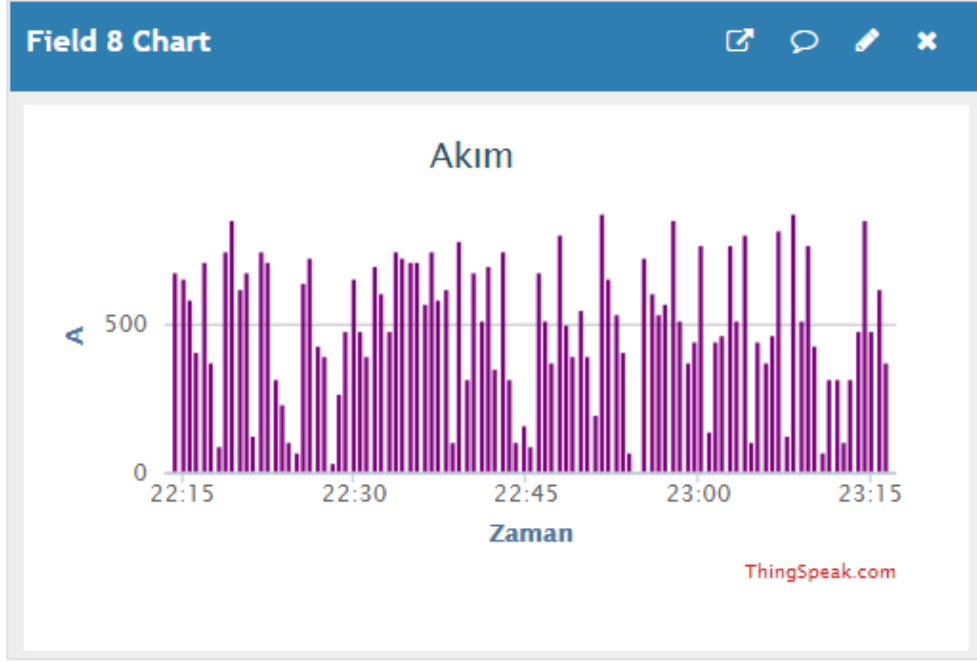


Şekil 3.42. ThingSpeak anlık NTC durumu

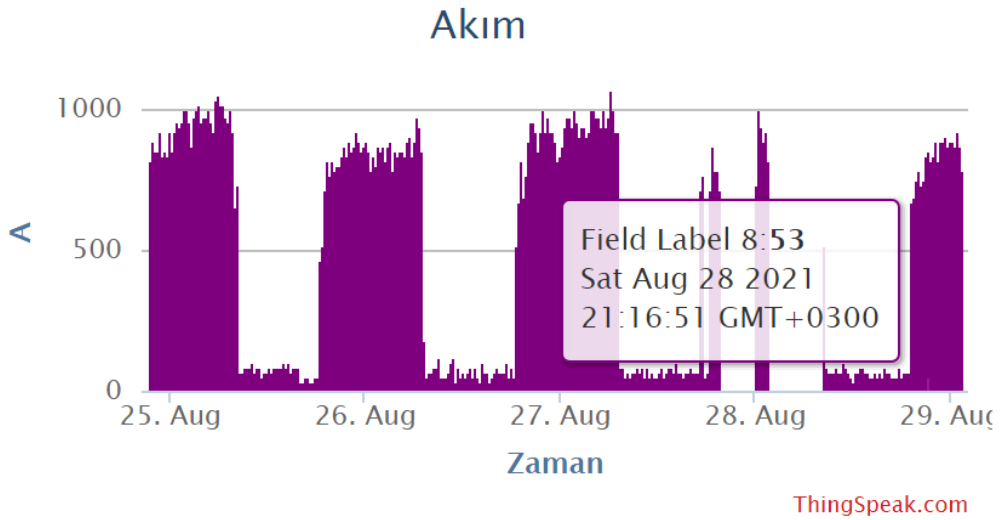


Şekil 3.43. ThingSpeak haftalık NTC durumu

Aşağıda verilen akım değerleri tezin elektronik devre üzerinden çektiği akımı göstermektedir. ThingSpeak web ara yüzü üzerinden istenilen tarih aralığında veya anlık olarak kontrol edilen değerler sistemin hangi zaman aralığında ne kadar akım çektiğini ifade etmektedir. ACS712 akım sensörü sistemden çekilen akımı ölçmekte ve arıza durumunda yüksek akım çekilmesine karşı sistemi korumaktadır.

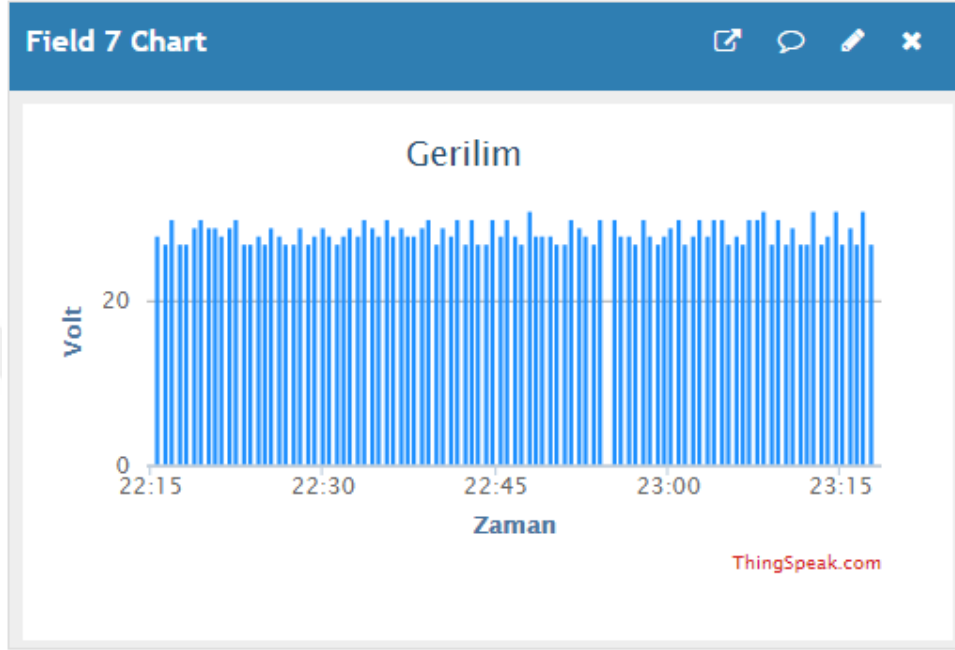


Şekil 3.44. ThingSpeak anlık akım durumu

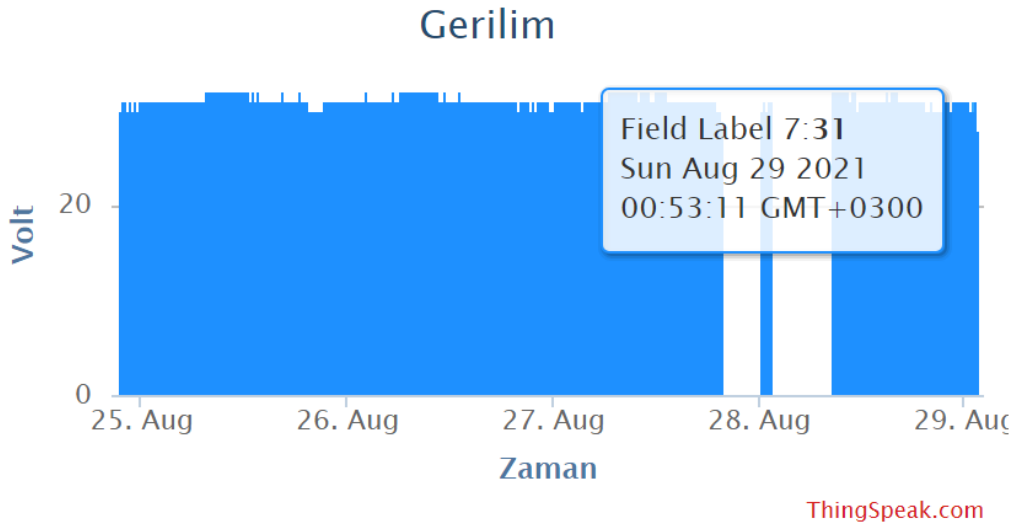


Şekil 3.45. ThingSpeak haftalık akım durumu

Şekil 3.46'da verilen gerilim grafiği LED aydınlatmanın çektiği voltaj değerini göstermektedir. 30 V çalışma gerilimine sahip aydınlatmanın çektiği gerilim değerleri aşağıda yer aldığı gibidir.

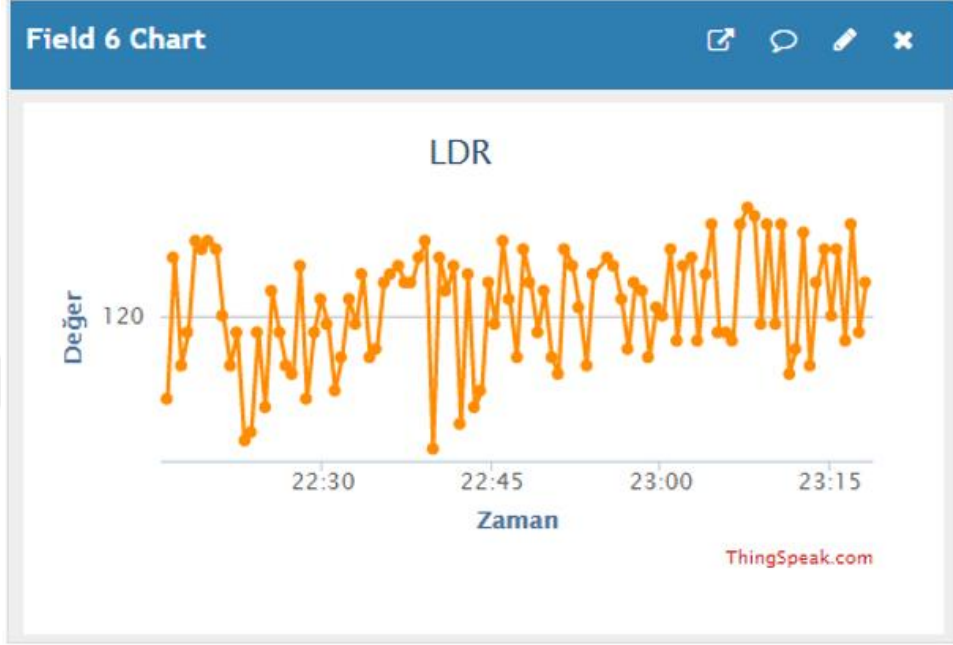


Şekil 3.46. ThingSpeak gerilim durumu

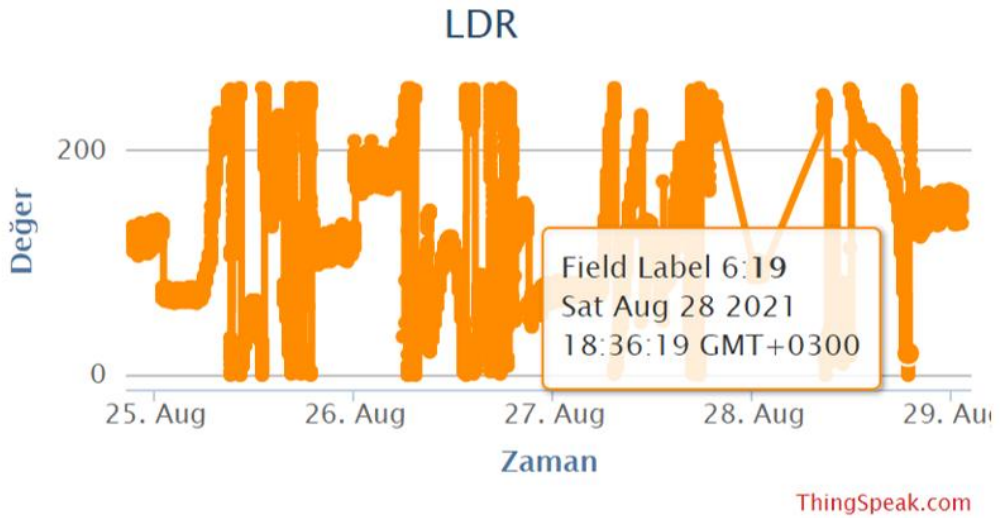


Şekil 3.47. ThingSpeak haftalık gerilim durumu

Gün ışığına bağlı olarak çalışan LDR sensörü havanın karanmasını ve kötü hava şartlarında erken karararı havaları kontrol etmektedir. Böylece saati gelmeden aydınlatmanın zorunlu olduğu zaman aralığında da sistem çalışmaktadır.

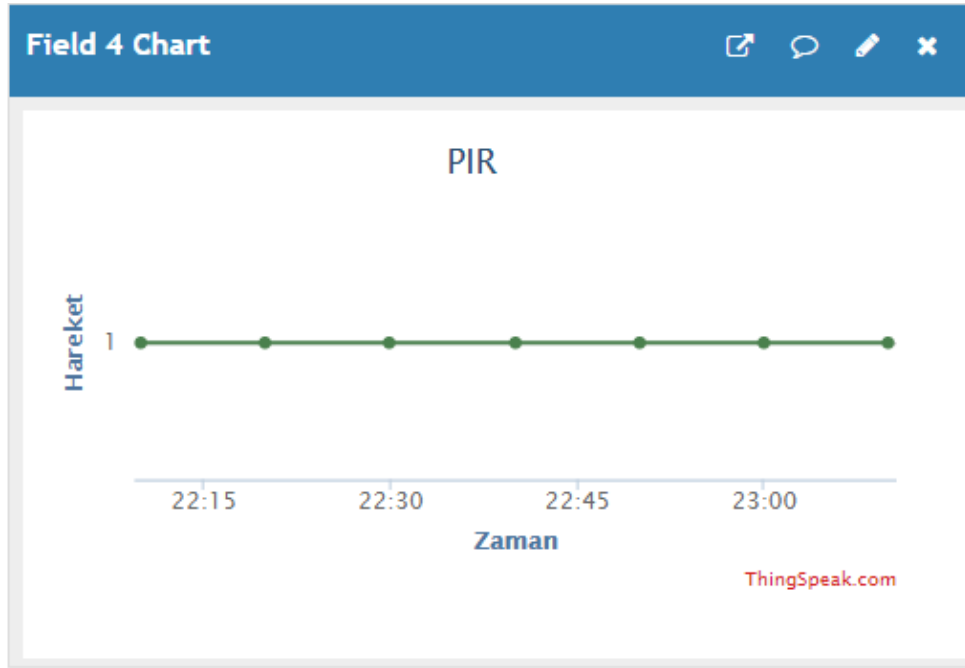


Şekil 3.48. ThingSpeak LDR durumu

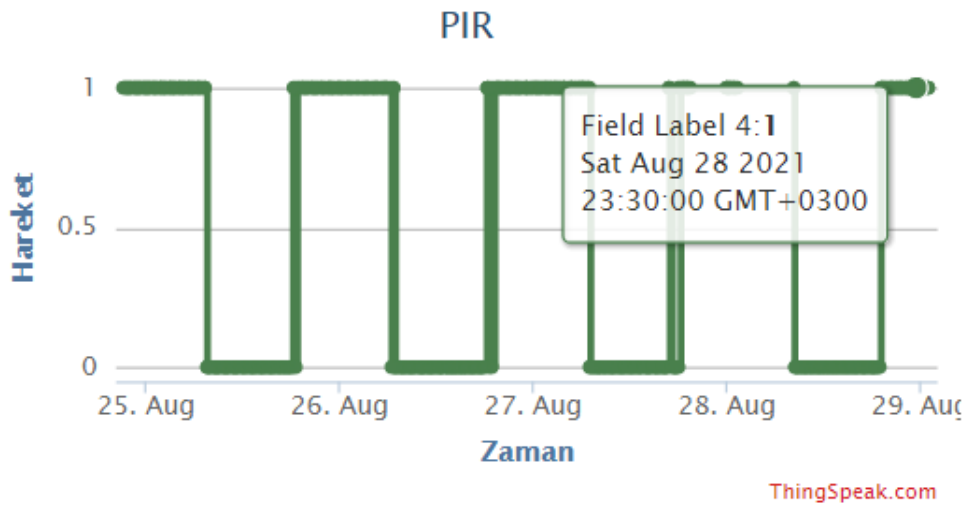


Şekil 3.49 ThingSpeak haftalık LDR durumu

Bu tez çalışmasında hareket durumuna göre LED aydınlatma düzeyi değişmektedir. Hareketin olmadığı durumlarda gece 00:00 ile 04:00 saatleri arasında %50 loşlaştırma sağlanarak enerjiden tasarruf edilmesi amaçlanmıştır. Bu saat aralığında yalnızca hareket algılandığında LED aydınlatma %100 verimle çalışmaktadır. Böylece sokak aydınlatması için kullanılması hedeflenen LED aydınlatma armatürü dışarda araç veya canlı algılandığında sisteme dahil olmaktadır.

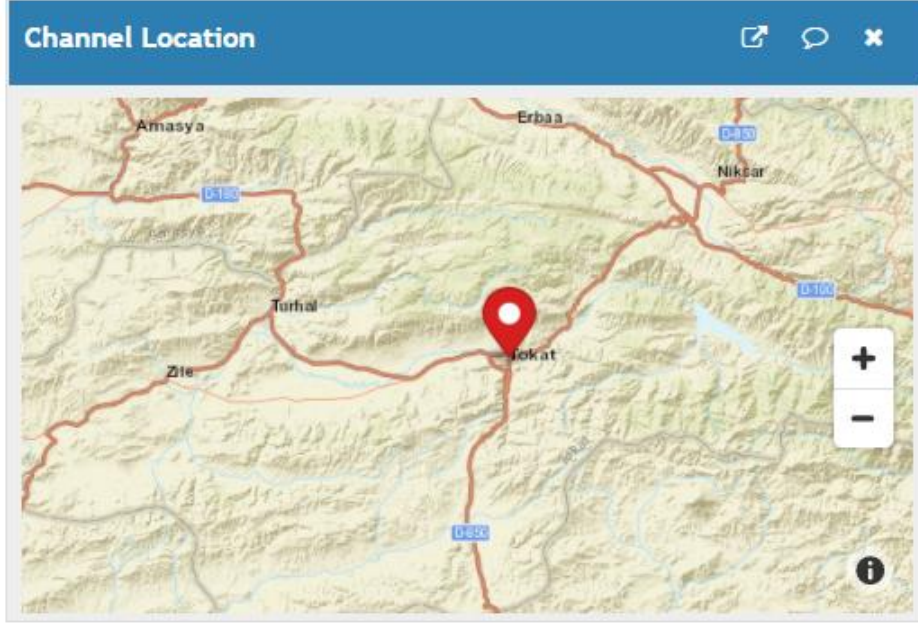


Şekil 3.50. ThingSpeak PIR durumu



Şekil 3.51. ThingSpeak haftalık PIR durumu

ThingSpeak web ara yüzü içerisinde yer alan konum ekleme özelliği sayesinde LED aydınlatmanın konumu bu platform üzerine eklenmiştir.



Şekil 3.52. ThingSpeak LED aydınlatma konum bilgisi

## 5. SONUÇ

Tezin asıl amacı az enerji tüketimi ile iyi derecede ışık kaynağı elde etmektir. Geliştirilen LED’li akıllı sokak aydınlatma sistemi sensörler ve elektronik bileşenler ile kendi kendine karar verebilir hale getirilmiştir.

Akıllı aydınlatma için hedeflenen bulgular başarıyla gerçekleştirilmiştir. Prototipin elektronik donanım ve yazılım alanları anlık ve uzun süreli olarak takip edilmiş ve herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır.

LoRa kablosuz haberleşme ağı ile çok uzun mesafelerden bile sensörden veriler kayıp olmaksızın bulut tabanına aktarılmıştır. Kaydedilen verilere ister anlık ister geçmiş zaman aralıklarında ulaşabilme imkânı sunan ThingSpeak uygulamasının kullanılması ‘Akıllı Aydınlatma Prototipini’ daha kullanışlı ve anlaşılır hale getirmiştir.

LED aydınlatma paneline yerleştirilen NTC sensörü ile sıcaklık ölçümü yapılmış ve sıcaklık değerlerinin normal olduğu tespit edilmiştir. Fakat uzun süreli kullanım alanlarında yapılacak akıllı aydınlatma prototipi için sisteme soğutmanın sağlanması için ayrı bir tasarım eklenmesi yapılabilir ve böylece LED’lerin kullanım ömürlerinin daha da uzun olması sağlanabilir.

## 6. KAYNAKÇA

- Adafruit. (2014, 03 27). Adafruit: [https://cdnshop.adafruit.com/datasheets/SIM808\\_Hardware+Design\\_V1.00.pdf](https://cdnshop.adafruit.com/datasheets/SIM808_Hardware+Design_V1.00.pdf)
- Akyazı, Ö., Şahin, E., & Kahveci, D. C. (2019). Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması. *European Journal of Science and Technology*, 356-360.
- Al-Fuqaha, A., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communication surveys & tutorials*, 2347-2372.
- Alkan, T. (2015). Akıllı Şehirler. *Bilişim Dergisi*, Sayı:182 s.72-73. <http://www.bilisimdergisi.org.tr/bilisim-dergisi-sayilari/s182.pdf>
- Allegro. (2020, Temmuz). <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>
- Alliance. (2020). *LoRa*. <https://lora-alliance.org/>
- Ams. (2020). [http://www.ams-semitech.com/attachments/File/AMS1117\\_20120314.pdf](http://www.ams-semitech.com/attachments/File/AMS1117_20120314.pdf)
- Anggorojati, B., Mahalle, P. N., Prasad, N. R., & Prasad, R. (2013). Identity Authentication and Capability Based Access Control (IACAC) for the Internet of Things. *Journal of Cyber Security and Mobility 1(4)*, 309-348.
- Anthopoulos, L. (2017). *Understanding Smart Cities: A Tool for Smart Government or an Industrial Trick? Public Administration and Information Technology*. [http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9783319](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783319)
- Ashton, K. (2009, Jun 22). *That 'Internet of Things' Thing*. <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- Atanasov, S. (2013). An Overview of Wireless Communication Technologies Used in Wireless Sensor Networks. (s. 11-18). Bulgaria: International Scientific Conference eRA-8.
- ATEŞ, M., & ÖNDER, D. E. (2019). The Concept of 'Smart City' and Criticism within the Context of its Transforming Meaning. *Megaron Dergisi*, 41-50.
- Atıcı, Ş. Y. (2020, july). *Security in IoT*. Eylül 22, 2020 tarihinde [https://www.researchgate.net/publication/342788260\\_Security\\_in\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/342788260_Security_in_IoT)
- Aydın, H., Görmüş, S., & Ulutaş, G. (2018). Nesnelerin İnterneti Teknolojisi İçin Güvenlik: Var Olan Mekanizmalar,Protokoller Ve Yaşanılan Zorlukların Araştırılması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33(4)*, 1247-1272. doi: 10.17341/gazimmfd.416406

- Aydınlatma. (2020). *Işık Verimi*. <https://www.aydinlatma.org/isik-verimi-lm-w.html>
- Bakanlığı, T. Ç. (2019, 05 17). *2020-2023 ULUSAL AKILLI ŞEHİRLER STRATEJİSİ VE EYLEM PLANI*. <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>
- Benga. (2020). <http://www.benga.pro/index.php/2019/05/15/isik-kaynaklarimiz-ve-aydinlatma-tarihi/>
- Benga. (2020). *Işık Kaynakları ve Aydınlatma Tarihi*. <http://www.benga.pro/index.php/2019/05/15/isik-kaynaklarimiz-ve-aydinlatma-tarihi/>
- Bilici, Z., & BABAHANOĞLU, V. (2018). Akıllı Kent Uygulamaları ve Konya Örneği. *AKADEMİK YAKLAŞIMLAR DERGİSİ*, 124-139.
- Büyükkınacı, B., Oyağil, S., Güler, Ö., & Yurtseven, M. B. (2019, Eylül s.169-176). *Aydınlatma Kongresi*. <http://12uak.atmk.org.tr/12uak.pdf>
- Callaway, E., Gorday, P., & Hester, L. (2002). Home Networking with IEEE 802.15.4:A Developing Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks. *IEEE Communications Magazine*, 70-77
- Cambridge, U. (1995, May). *The Trojan Room Coffee Pot*. <https://www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee.html>
- Celal, M. S., Madnick, S. E., Kaiser, J. P., & Siegel, M. D. (2019, March). The Internet of Things Promises New Benefits and Risks: A Systematic Analysis of Adoption Dynamics of IoT Products. *IEEE Security and Privacy Magazine*, 39-48.
- Cemdag. (2020). <http://www.cemdag.com/aydinlatma-sozlugu/>
- Cole, M., & Driscoll, T. (2014). *The Lighting Revolution: If We Were Experts Before, We're Novices Now*. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6654313>
- Collins, A., Thurrell, T., Pink, R., & Feather, J. (2002, 67 s.25-33). *Dynamic Dimming: The Future of Motor Way Lighting*. researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/296770436\\_Dynamic\\_dimming\\_The\\_future\\_of\\_motorway\\_lighting](https://www.researchgate.net/publication/296770436_Dynamic_dimming_The_future_of_motorway_lighting)
- Cordis. (2017). *GrowSmarter Report*. <https://cordis.europa.eu/project/id/646456/reporting>
- Cömert, A., Sözlü, O., & Çağlayan, N. (2018). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Tarımsal Alandaki Uygulamaları. *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 11-33.

- Çevre, ve, Şehircilik, & Bakanlığı. (2019). *Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni*.  
[https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirlerkitap\\_20190311022214\\_20190313032959.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirlerkitap_20190311022214_20190313032959.pdf)
- Deloitte, & vodafone. (2016:10, Aralık). *Akıllı Şehir Yol Haritası*. Vodafone:  
<http://www.vodafone.com.tr/VodafoneBusiness/iot/pdf/akilli-sehir-yol-haritasi.pdf>
- Demir, B., & Ayrancıoğlu, G. (2020). *A Wireless Sensor Network System Using 6LoWPAN*. 09 16, 2020 tarihinde  
[http://www.emo.org.tr/ekler/f46fe7189a3b98a\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/f46fe7189a3b98a_ek.pdf)
- Dijital. (2020). <http://www.dijitalteknoloji.net/elektronik/ldr-isik-sensoru-nedir.html>:  
<http://www.dijitalteknoloji.net/elektronik/ldr-isik-sensoru-nedir.html>
- Eden Strategy Institute. (2018). SMART CITY GOVERNMENTS TOP 50:  
[https://static1.squarespace.com/static/5b3c517fec4eb767a04e73ff/t/5b513c57aa4a99f62d168e60/1532050650562/Eden-OXD\\_Top+50+Smart+City+Governments.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5b3c517fec4eb767a04e73ff/t/5b513c57aa4a99f62d168e60/1532050650562/Eden-OXD_Top+50+Smart+City+Governments.pdf)
- Eden Strategy Institute. (2019). 2018/19 TOP 50 SMART CITY GOVERNMENT RANKINGS: <https://www.smartcitygovt.com/>
- EMO. (2020). *Ledli Işık Kaynakları*.  
[http://www.emo.org.tr/ekler/11a405701da4a51\\_ek.pdf?tipi=2](http://www.emo.org.tr/ekler/11a405701da4a51_ek.pdf?tipi=2)
- Enerji. (2020). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>
- Enerji, & Bakalığı. (2015, Eylül). *Sokak ve cadde aydınlatmasında yüzde 40 tasarruf*.  
<https://www.ntv.com.tr/ekonomi/aydinlatmada-yuzde-40-tasarruf,weKP79oMfECw1ql6u3MFXg>
- Enerji, B. (2015, Eylül). Sokak ve cadde aydınlatmasında yüzde 40 tasarruf:  
<https://www.ntv.com.tr/ekonomi/aydinlatmada-yuzde-40-tasarruf,weKP79oMfECw1ql6u3MFXg>
- Enerji, B. (2015). *Genel Aydınlatma Kapsamında LED Armatürlerin Kullanımına İlişkin Usul ve Esaslar*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Duyurulari/Genel-Aydinlatma-Kapsaminda-LED-Armaturlerin-Kullanimina-Iliskin-Usul-ve-Esaslar>
- Environics. (2020). <https://www.environics.com.tr/ble-hasta-takip-sistemi>
- Erkin, E., Yurtseven, M. B., Güler, Ö., & Onaygil, S. (2013). LED Panel Armatürlerin Ofis Aydınlatmasında. VII. *Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Bildirileri* (s. 1-7). İzmir: Elektirik Mühendisleri Odası.

- Europa. (2008). *Intelligent Road and Street lighting in Europe E-Street*.  
[https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/e-street\\_e\\_street\\_publishable\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/e-street_e_street_publishable_report_en.pdf)
- Europa. (2009, Eylül 1). *Phasing Out Conventional Incandescent Bulbs*.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO\\_09\\_368#d1e826](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_09_368#d1e826)
- FTC. (2015, JANUARY). *Internet of Things: Privacy&Security in a Connected World*.  
<https://www.ftc.gov/system/files/documents/reports/federal-trade-commission-staff-report-november-2013-workshop-entitled-internet-things-privacy/150127iotrpt.pdf>
- Ghaffari, K., Lagzian, M., Kazemi, M., & Malekzadeh, G. (2019, August ). A socio-technical analysis of internet of things development: an interplay of technologies, tasks, structures and actors.  
[https://www.researchgate.net/publication/335447350\\_A\\_socio-technical\\_analysis\\_of\\_internet\\_of\\_things\\_development\\_an\\_interplay\\_of\\_technologies\\_tasks\\_structures\\_and\\_actors](https://www.researchgate.net/publication/335447350_A_socio-technical_analysis_of_internet_of_things_development_an_interplay_of_technologies_tasks_structures_and_actors)
- Gomez, C. (2012). Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. *Sensors Networks*, 11734-11753.
- Gregory, J. (2015). *The Internet of Things: Revolutionizing the Retail Industry*.  
[https://www.accenture.com/\\_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/dualpub\\_14/accenture-the-internet-of-things.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/dualpub_14/accenture-the-internet-of-things.pdf) ,
- Gündüz, M. Z. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Bilim Dergisi* 24(2), 327-335. doi:10.5505/pajes.2017.89106
- Gündüz, M. Z., & Daş, R. (2018). Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 327-335. doi:10.5505/pajes.2017.89106
- Gürsoy, O. (2019). Akıllı Kent Yaklaşımı ve Türkiye'deki. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hinov, N., Tsankov, P., & Ibrishimov, H. (2019). Innovative LED Lighting. 2019 *International conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth (CREBUS)*.  
[https://www.researchgate.net/publication/335936035\\_Innovative\\_LED\\_Lighting](https://www.researchgate.net/publication/335936035_Innovative_LED_Lighting). doi:10.1109/CREBUS.2019.8840095
- Historyoflighting. (2020). *Elektrik Lambaları ve Aydınlatmanın Tarihçesi*.  
<http://www.historyoflighting.net/electric-lighting-history/history-of-electric-lighting/>

- Hossain, S., & Muhammad, g. (2016). Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT) – Enabled framework for health monitoring. *Computer Networks*, 192-202.
- IEEE. (1998). *Sir J.C. Bose diode detector received Marconi's first transatlantic wireless signal of December 1901 (the "Italian Navy Coherer" Scandal Revisited)*. IEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/658778/citations#citations>
- IEEE. (2007). *IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information Local and metropolitan area networks Specific requirements*. <https://www.iith.ac.in/~tbr/teaching/docs/802.11-2007.pdf>
- Intel. (2019, may). *A Guide to the Internet of Things Infographic*. <https://www.intel.com/content/www/us/en/internet-of-things/infographics/guide-to-iiot.html>
- Instruments, T. (2020). LM2576xx Series Simple Switcher® 3-A Step-Down Voltage Regulator. [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf?ts=1599130149056&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf?ts=1599130149056&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- Javed, B., Iqbal, M. W., & Abbas, H. (2017). Internet of things (IoT) design considerations for developers and manufacturers. France: IEEE.
- Kaur, J., Kau, R., & Kaur, M. (2016). Bluetooth Technology. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 16001-16003.
- Keleş, A. K. (2018). Nesnelerin İnternetinin Getirdiği Yenilikler ve Sorunları. *Information Technologies & Applied Sciences*, 53-66.
- Kılıç, T., & Tuncer, T. (2017). *Akıllı Şehir Uygulaması: Android Tabanlı Akıllı Otopark Sistemi*. DOI:10.1109/IDAP.2017.8090284
- Kocaeli, Ü. (2019). *Aydınlatma Tekniği ve Laboratuvarı Deney Kitabı*. <http://elektrik.kocaeli.edu.tr/upload/duyurular/1110191142090137e.pdf>
- Kocaeli, Ü. (2020). Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesiİ Elektrik Mühendisliği Bölümü. *Aydınlatma Tekniği ve Laboratuvarı Deney Kitabı*. <http://elektrik.kocaeli.edu.tr/upload/duyurular/1110191142090137e.pdf>
- Kutay, M., & Ercan, T. (2019). Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler. *Nesnelerin İnterneti ve Yenilikçi Sağlık Hizmeti Uygulamaları* (s. 49-66). içinde Gece Kitaplığı.

- Li, X., Peng, M., Cai, J., Yi, C., & Zhang, H. (2015, March 23). *OPNET-based modeling and simulation of mobile Zigbee sensor networks*. 2020 tarihinde Springer: [http://home.cc.umanitoba.ca/~yic3/Papers/PPNA'16\\_OPNET.pdf](http://home.cc.umanitoba.ca/~yic3/Papers/PPNA'16_OPNET.pdf)
- Licht. (2010). Light wissen 17\_LED:The Light Of The Future.  
[http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen\\_Downloads/lichtwissen17\\_LED.pdf](http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/lichtwissen17_LED.pdf)
- M.M., A., G.B., J., & A.H.A., M. H. (2013). Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy* 52, 482-500.
- Manville, C. C. (2014, January). *Mapping Smart Cities in the EU*. Europarl: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)
- Marr, B. (2018, Jan 4). *The Internet Of Things (IOT) Will Be Massive In 2018: Here Are The 4 Predictions From IBM*.  
<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/01/04/the-internet-of-things-iot-will-be-massive-in-2018-here-are-the-4-predictions-from-ibm/#488eef18edd3>
- Maxim. (2020). DS1302 Trickle-Charge Timekeeping Chip. s.  
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1302.pdf>.
- MEB. (2012). *Güç Transformatörleri*.  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Güç%20Transformatörleri.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Güç%20Transformatörleri.pdf) ,
- Microchip. (2020). [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- Miorandi, D., Sicari, S., Pellegrini, F. D., & Chlamtac, I. (2012, 10). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, s. 1497-1516.
- Narayana, S. (2013, June). PIR Sensors: Characterization and Novel Localization Technique. s. 142-153. DOI: 10.1145/2737095.2742561
- NFC. (2020). <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/what-it-does/>: <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/what-it-does/>
- Örselli, E., & Akbay, C. (2019). Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 228-241.
- Örselli, E., & AKBAY, C. (2019). Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 228-241.

- Özçelik, M. A., & YILMAZ, M. (2019). Gün IşığI Alan Mekânda Önerilen Bölgesel Kontrollü Akıllı LED Sistem ile Flüoresan ve Normal LED Aydınlatmanın Enerji VerimliliğI Açısından Karşılaştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 270-281.
- Perrig, A., Szewczyk, R., & Tygar. (2002). SPINS: Security Protocols for Sensor Networks. *Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands.*, s. 521–534.
- Ragnoli, M., Barile, G., Leoni, A., & Ferri, G. (2020). An Autonomous Low-Power LoRa-Based Flood-Monitoring System. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 1-15. doi:10.3390/jlpea10020015
- Resmigazete. (2007). *Enerji VerimliliğI Kanunu*.  
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>
- Resmigazete. (2015). *LED li Işık Kaynaklı Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/06/20150611-5-1.pdf>
- Robotik. (2020). [http://www.robotiksystem.com/mosfet\\_nedir\\_mosfet\\_cesitleri.html](http://www.robotiksystem.com/mosfet_nedir_mosfet_cesitleri.html)
- Sha, K., Wei, W., Yang, T. A., Wangb, Z., & Shi, W. (2018). On security challenges and open issues in Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 326-337.
- Statista. (2020). *Smart city spending worldwide 2015 and 2020*.  
<https://www.statista.com/statistics/757638/spending-on-smart-cities-worldwide/>
- Şahin, S. A. (2020). Aydınlatma TekniğI Ders Notları.  
[https://www.academia.edu/8695517/AYDINLATMA\\_TEKN%C4%B0%C4%9E%C4%B0\\_DERS\\_NOTLARI](https://www.academia.edu/8695517/AYDINLATMA_TEKN%C4%B0%C4%9E%C4%B0_DERS_NOTLARI)
- Tang, K., & Wang, Y. (2013). Design and Implementation of Push Notification System Based on the MQTT Protocol. *International Conference on Information Science and Computer Applications (ISCA 2013)* (s. 116-119). Published by Atlantis Press.
- Tapia, A., Carrasco, C., Ricart, J. E., Piedra, J., Rodríguez, M., & Franca, P. (2020). *Smart City Market Introduction*. [https://grow-smarter.eu/fileadmin/editor-upload/Reports/Smart\\_City\\_Market\\_Introduction.pdf](https://grow-smarter.eu/fileadmin/editor-upload/Reports/Smart_City_Market_Introduction.pdf)
- TBV, İTÜ, MasterCard, Novusens, & Inten. (2016). *Türkiye Akıllı Şehirler Değİrlendirme Raporu*. İstanbul:  
<https://www.tbb.gov.tr/download.php?dosya=storage/catalogs/0942782001572956872.pdf>

- Thinker, A. (2020). <https://ozdisan.com/kablosuz-ve-iot-cozumleri/rf-moduller/wifi-modulleri/ESP8266-07>
- Thomas, A. (2019). Heterogeneous LPWAN Communication for Electric Vehicle Charging Infrastructure. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 2060-2067.
- Ünverdi, Ö. (2020). *BLUETOOTH KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİSİNİN MODELLENMESİ VE PROPAGASYON ANALİZİ*. [http://www.emo.org.tr/ekler/ca070cc474c0233\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/ca070cc474c0233_ek.pdf)
- Velibeyoğlu, K. (2016). *Akıllı Kentler: Vaatler ve Ötesi*. [https://www.researchgate.net/publication/326679527\\_AKILLI\\_KENTLER\\_VAATLER\\_VE\\_OTESI](https://www.researchgate.net/publication/326679527_AKILLI_KENTLER_VAATLER_VE_OTESI)



## 7. EKLER

### 7.1. EK-1: Akıllı Aydınlatma Wi-Fi Modülü Yazılım Kodları

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "Arduino.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Arduino_JSON.h>
#define M0 D5
#define M1 D6

SoftwareSerial e32ttl100(D2, D3);

String apiKey = "FK6I6WA1GC3XOFDO";
const char *ssid = "*****";
const char *pass = "*****";
const char* server = "api.thingspeak.com";

String id;
String tarih;
uint8_t pir;
uint8_t ldr;
uint8_t ntc;
uint8_t volt;
int akim;
WiFiClient client;
void printParameters(struct Configuration configuration) ;
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  delay(500);
  e32ttl100.begin(9600);
  pinMode(M0, OUTPUT);
  pinMode(M1, OUTPUT);
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  digitalWrite(M0, LOW);
  digitalWrite(M1, LOW);
  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, pass);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print("."); }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  for (int i = 0; i < 10; i++)
  {
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
    delay(50);
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
    delay(50); } }
void loop()
{ lora();}
void lora()
{
```

```

if (e32ttl100.available() > 0)
{
Serial.println("-----");
String rc = e32ttl100.readString();
for (int i = 0; i < 10; i++)
{
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
delay(50);
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
delay(50); }
Serial.println(rc);
JSONVar myObject = JSON.parse(rc);
if (JSON.typeof(myObject) == "undefined")
{
Serial.println(F("Parsing F!"));
return; }
if (myObject.hasOwnProperty("ID"))
{
id = String(((const char*) myObject["ID"]));
Serial.print("ID: "); Serial.println(id); }
if (myObject.hasOwnProperty("Tarih"))
{
tarih = String(((const char*)myObject["Tarih"]));
Serial.print("Tarih: "); Serial.println(tarih); }
if (myObject.hasOwnProperty("PIR"))
{
pir = (int) myObject["PIR"];
Serial.print("PIR: "); Serial.println(pir); }
if (myObject.hasOwnProperty("NTC"))
{
ntc = (int) myObject["NTC"];
Serial.print("NTC: "); Serial.println(ntc); }
if (myObject.hasOwnProperty("LDR"))
{
ldr = (int) myObject["LDR"];
Serial.print("LDR: "); Serial.println(ldr); }
if (myObject.hasOwnProperty("VOLT"))
{
volt = (int) myObject["VOLT"];
Serial.print("VOLT: "); Serial.println(volt); }
if (myObject.hasOwnProperty("AKIM"))
{
akim = (int) myObject["AKIM"];
Serial.print("AKIM: "); Serial.println(akim); }
gonder(); } }
void gonder()
{
if (client.connect(server, 80))
{
String postStr = apiKey;
postStr += "&field1="; // ID
postStr += String(id);
postStr += "&field2="; // Tarih
postStr += String(tarih);
postStr += "&field4="; //PIR
postStr += String(pir);
postStr += "&field5="; //NTC

```

```
postStr += String(nte);
postStr += "&field6="; //LDR
postStr += String(ldr);
postStr += "&field7="; //VOLTAJ
postStr += String(volt);
postStr += "&field8="; //AKIM
postStr += String(akim);
postStr += "\r\n\r\n";
client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(postStr.length());
client.print("\n\n");
client.print(postStr); }
client.stop();
Serial.println("Waiting..."); }
```

## 7.2. EK-2: LORA Algılayıcı Modülü Yazılım Kodları

```
#include "Arduino.h"
#include <Arduino_JSON.h>
#define E32_TTL_1W
#include "LoRa_E32.h"
#include <virtuabotixRTC.h>
SoftwareSerial mySerial(7, 6);
LoRa_E32 e32ttl100(&mySerial, 4, 5, 8);
virtuabotixRTC myRTC(11, 12, 13);
#define led1 10
#define led2 9
#define ldr A3
#define ntc A2
#define voltaj A1
#define akim A0
uint8_t sayac = 0;
byte led_durum = 1;
String out;
int sicaklik = 0;
void printParameters(struct Configuration configuration) ;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  e32ttl100.begin();
  pinMode(led1, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
  ResponseStructContainer c;
  c = e32ttl100.getConfiguration();
  Configuration configuration = *(Configuration*) c.data;
  configuration.ADDL = 10;
  configuration.ADDH = 0;
  configuration.CHAN = 0x17;
  configuration.OPTION.fixedTransmission = FT_TRANSPARENT_TRANSMISSION;
  configuration.OPTION.wirelessWakeupTime = WAKE_UP_250;
  configuration.OPTION.fec = FEC_1_ON;
  configuration.OPTION.ioDriveMode = IO_D_MODE_PUSH_PULLS_PULL_UPS;
  configuration.OPTION.transmissionPower = POWER_27;
  configuration.SPED.airDataRate = AIR_DATA_RATE_010_24;
  configuration.SPED.uartBaudRate = UART_BPS_9600;
  configuration.SPED.uartParity = MODE_00_8N1;
  e32ttl100.setConfiguration(configuration, WRITE_CFG_PWR_DWN_SAVE);
  printParameters(configuration);
  myRTC.updateTime();
  Serial.print("Current Date / Time: ");
  Serial.print(myRTC.dayofmonth);
  Serial.print("/");
  Serial.print(myRTC.month);
  Serial.print("/");
  Serial.print(myRTC.year);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(myRTC.hours);
  Serial.print(":");
  Serial.print(myRTC.minutes);
  Serial.print(":");
  Serial.println(myRTC.seconds);
```

```

attachInterrupt(1, digitalInterrupt, RISING); //interrupt for waking up}
int g = 0;
boolean x = true;
void loop()
{
myRTC.updateTime();
delay(1000);
sensor();
sayici();
if (analogRead(ldr) < 350)
{
led_durum = 1;
ledyak(); } }
void sensor()
{
Serial.print(F("LDR: "));
Serial.println(analogRead(ldr));
Serial.print(F("NTC: "));
sicaklik = analogRead(ntc) * 29;
sicaklik = sicaklik / 566;
Serial.println(sicaklik);
Serial.print(F("VOLTAJ: "));
int volt = map(analogRead(voltaj), 0, 840, 0, 30);
Serial.println(volt);
Serial.print(F("AKIM: "));
int current = map(analogRead(akim), 515, 560, 0, 800);
if ( current < 0)
{
current = 0; }
Serial.println(current);
String ledString = "";
if (led_durum == 0)
{
ledString = ",\"PIR\":0"; }
else if ( led_durum == 1)
{
ledString = ",\"PIR\":1"; }
String saat;
String dakika;
String gun;
String ay;
String yil;
if (myRTC.hours < 10)
{
saat = "0" + String(myRTC.hours); }
else
{
saat = String(myRTC.hours); }
if (myRTC.minutes < 10)
{
dakika = "0" + String(myRTC.minutes); }
else
{
dakika = String(myRTC.minutes); }
if (myRTC.dayofmonth < 10)
{
gun = "0" + String(myRTC.dayofmonth); }

```



```

else if (myRTC.hours == 17 || myRTC.hours == 18 || myRTC.hours == 19 || myRTC.hours == 20 ||
myRTC.hours == 21 || myRTC.hours == 22 || myRTC.hours == 23 || myRTC.hours == 0 )
{
analogWrite(led1, 255);
analogWrite(led2, 255);
} }
else
{
digitalWrite(led1, LOW);
digitalWrite(led2, LOW);
led_durum = 0;
} }
void sayici()
{
sayac++;
Serial.print(F("SAYAC: "));
Serial.println(sayac);
if (sayac >= 20)
{
sayac = 0;
led_durum = 0;
ledyak(); } }
void printParameters(struct Configuration configuration) {
Serial.println(F("="));
Serial.print(F("HEAD : "));
Serial.print(configuration.HEAD, BIN);
Serial.print(" ");
Serial.print(configuration.HEAD, DEC);
Serial.print(" ");
Serial.println(configuration.HEAD, HEX);
Serial.println(F(" "));
Serial.print(F("AddH : "));
Serial.println(configuration.ADDH, DEC);
Serial.print(F("AddL : "));
Serial.println(configuration.ADDL, DEC);
Serial.print(F("Chan : "));
Serial.print(configuration.CHAN, DEC);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.getChannelDescription());
Serial.println(F(" "));
Serial.print(F("SpeedParityBit: "));
Serial.print(configuration.SPED. uartParity, BIN);
Serial.print(" ");
Serial.println(configuration.SPED.getUARTParityDescription());
Serial.print(F("SpeedUARTDatte : "));
Serial.print(configuration.SPED. uartBaudRate, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.SPED.getUARTBaudRate());
Serial.print(F("SpeedAirDataRate :"));
Serial.print(configuration.SPED. airDataRate, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.SPED.getAirDataRate());
Serial.print(F("OptionTrans : "));
Serial.print(configuration.OPTION.fixedTransmission, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.OPTION.getFixedTransmissionDescription());
Serial.print(F("OptionPullup : "));

```

```
Serial.print(configuration.OPTION.ioDriveMode, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.OPTION.getIODroveModeDescription());
Serial.print(F("OptionWakeup    :"));
Serial.print(configuration.OPTION.wirelessWakeupTime, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.OPTION.getWirelessWakeUPTimeDescription());
Serial.print(F("OptionFEC      :"));
Serial.print(configuration.OPTION.fec, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.OPTION.getFECDescription());
Serial.print(F("OptionPower    :"));
Serial.print(configuration.OPTION.transmissionPower, BIN);
Serial.print(" -> ");
Serial.println(configuration.OPTION.getTransmissionPowerDescription());
Serial.println(F("=")); }
```

