



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KABLOSUZ ALGILAYICI/EYLEYİCİ AĞ
TABANLI KONTROL SİSTEMİ TASARIMI
İLE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
ARTTIRILMASI**

Seyit Alperen ÇELTEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Seyit Alperen ÇELTEK tarafından hazırlanan “Kablosuz Algılayıcı/Eyleyici Ağ Tabanlı Kontrol Sistemi Tasarımı ile Binalarda Enerji Verimliliğinin Arttırılması” adlı tez çalışması 11.07.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ahmet ARSLAN

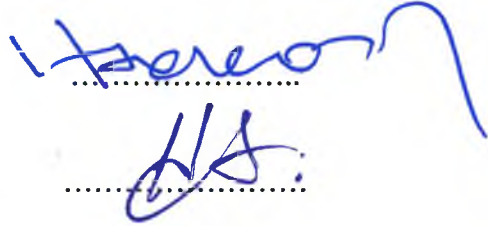
Danışman

Yrd. Doç. Dr. Hakkı SOY

Üye

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 161319011 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Seyit Alperen ÇELTEK
Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KABLOSUZ ALGILAYICI/EYLEYİCİ AĞ TABANLI KONTROL SİSTEMİ TASARIMI İLE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Seyit Alperen ÇELTEK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakkı SOY

2017, 102 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Hakkı SOY

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Prof. Dr. Ahmet ARSLAN

Bina kontrol sistemleri binalarda konforu artırırken, tüketilen enerjinin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Her geçen gün yaygınlaşan bu sistemler aydınlatma ve iklimlendirme cihazlarını kontrol ederek enerji verimliliğini arttırmayı hedefler. Bu tezde kablosuz algılayıcı / eyleyici ağı tabanlı bina iklimlendirme ve aydınlatma kontrol sistemi tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ortam parametrelerini takip etmek için algılayıcı düğümler, aydınlatma ve iklimlendirme görevlerini kontrol etmek için de eyleyici düğümler tasarlanmıştır. Algılayıcı ve eyleyici düğümlerden oluşan bu kablosuz ağı yönetmek ve kullanıcılara bilgi vermek için kontrol düğümüne ve merkezi düğüme yer verilmiştir. Mevcut kablolu sistemlerin kurulum zorluğu ve bakım masrafı, kablosuz sistemlerinin de büyük ölçekli binalarda algılayıcılar ile kontrol merkez arasındaki haberleşme mesafesinin artmasından dolayı haberleşme için harcanan enerjinin artması ve kablosuz bina otomasyonu konusunda dünya standartlarında kabul edilmiş bir haberleşme standartının olmaması bu çalışmanın önemini daha da arttırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kablosuz algılayıcı eyleyici ağı (KAEA) tabanlı bir bina otomasyon sistemi geliştirmek ve geliştirilen bu sistem ile bina aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliğini arttırmaktır. Bu çalışma, kullanılan haberleşme protokolüyle, binalarda iklimlendirme ve aydınlatma alt sistemlerinin KAEA tabanlı bir sistem ile kontrol edilebileceği ortaya koymuştur. Yapılan çalışma, mevcut büyük ölçekli binaları akıllı binalar haline dönüştürmek için gerek maliyet gerek uygulanabilirlik bakımından örnek teşkil edebilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Binalar, Bina Otomasyonu, Kablosuz Algılayıcı Eyleyici Ağları.

ABSTRACT

MS THESIS

THE INCREASING ENERGY EFFICIENCY IN A BUILDING WITH WIRELESS SENSOR and ACTUATOR NETWORK BASED CONTROL SYSTEM

Seyit Alperen ÇELTEK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakkı SOY

2017, 102 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Hakkı SOY

Prof. Dr. Hidayet OGUZ

Prof. Dr. Ahmet ARSLAN

Building control systems are used to increase the comfort of the buildings while reducing the energy consumption. These systems, which are becoming widespread everyday, aim to increase energy efficiency by controlling lighting and air conditioning devices. In this thesis, the wireless sensor actuator network based building control system has been studied. For this purpose, sensor nodes are designed to monitor the environmental parameters and actuator nodes are used to control the illumination and climate conditioning tasks. A control node and a central node are used to manage the wireless sensor actuator network and inform the users. The installing and maintenance of existing wired systems is difficult. On the other hand, the decrease in working efficiency due to the increase of communication distance of wireless systems in large-scale buildings, and the lack of a world-wide communication standard for wireless building automation further increase the importance of this work. The purpose of this study is to develop a building automation system based on wireless sensor actuator network (WSAN) and to improve energy efficiency in building lighting and air conditioning systems. This study shows that the communication protocol can be used to control climate and lighting subsystems of the buildings with a WSAN-based system. The study is an example in terms of cost and applicability to transform existing large scale buildings into intelligent buildings.

Keywords: Smart Buildings, Building Automation, Wireless Sensor and Actuator Networks.

ÖNSÖZ

Son zamanlarda birçok araştırmacı binalarda enerji verimliliğinin artırılması adına çalışmalar yapmaktadır. Ülkemizde, 5627 sayılı enerji verimliliği kanunu ve buna bağlı olarak çıkarılan yönetmeliğe göre binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılması artık zorunlu bir hal almıştır. Bu tez çalışmasında kablosuz algılayıcı/ eyleyici tabanlı bina kontrol sistemi tasarlanmıştır.

Herşeyden önce tez çalışmamı güven ve huzur ortamında yapmamı sağlayan güvenlik güçlerimize ve bu uğurda canlarını feda eden aziz şehitlerimize,

Yüksek lisans tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hakkı SOY’a, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve benden yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Kadir SABANCI ve Yrd. Doç. Dr. Yusuf DİLAY’a ,

Bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, bana yol gösteren Arş. Gör. Numan KAYA ve Arş. Gör. Mahmut DURGUN’a,

Sayın Celaleddin ÜSTÜN, Abdülhamid BİRER ve tüm Fen Bilimleri Enstitüsü personeline,

Her daim desteklerini arkamda hissettiğim başta sevgili babam, canım annem, biricik kardeşlerim ve değerli eşim olmak üzere tüm aileme,

Teşekkürlerimi sunarım.

Seyit Alperen ÇELTEK
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER TABLOSU	x
ÇİZELGELER TABLOSU	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Binalarda Enerji Verimliliği	1
1.2. Kaynak Araştırması	2
1.3. Tezin Konusu, Amacı ve Literatüre Katkısı	6
1.4. Tezin Organizasyonu	7
2. KABLOSUZ ALGILAYICI/EYLEYİCİ AĞLAR	8
3. BİNA KONTROL SİSTEMLERİ	13
3.1. Binalarda Kontrol Sistemi Kavramları	13
3.1.1. Binalarda Kontrol Sistemi Katmanları	13
3.1.2. Haberleşme Ağları	13
3.1.3. Algılayıcılar, Eyleyiciler ve Kontrolörler	14
3.2. Bina Kontrol Sistemi Protokolleri	14
3.2.1. KNX	14
3.2.2. ZigBee	15
3.2.3. 6LoWPAN	16
3.3. Ağ Topolojileri	17
3.4. Haberleşme Protokolü	19
4. SİSTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	23
4.1. Kontrol Probleminin Tanımlanması	23
4.2. Kullanılan Donanımların Seçimi	26

4.2.1.	Mikrodenetleyici Geliştirme Kartı	26
4.2.2.	Sıcaklık ve Nem Sensörü	31
4.2.3.	Parlaklık Sensörü	33
4.2.4.	3.2' TFT Dokunmatik Ekran	34
4.2.5.	RF Haberleşme Modülü	36
4.2.6.	Wi-Fi Haberleşme Modülü	40
4.2.7.	Şerit LED Sürücü	42
4.3.	Donanım Tasarımı	42
4.3.1.	Algılayıcı Düğüm Donanım Tasarımı	42
4.3.2.	Eyleyici Düğüm Donanım Tasarımı	44
4.3.3.	Kontrol Düğüm Donanım Tasarımı	45
4.3.4.	Merkez Düğüm Donanım Tasarımı	46
4.4.	Sistem Paket Gönderimi	48
4.5.	Sistem Haberleşme Protokolü	48
4.6.	Sistem Haberleşme Paket Yapıları	51
4.7.	Bilgisayar Ortamında Kaydedilen Sistem Verileri	53
4.8.	İnternet Ortamında Kaydedilen Sistem Verileri	55
4.9.	Sistem Düğümleri Akış Şemaları	55
4.10.	Test	59
4.11.	Bütünleştirme	59
4.12.	Enerji Tüketimi	59
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
	KAYNAKLAR	65
	EKLER	70
EK-1 :	Eyleyici Düğüm Devresi Şeması	70
EK-2:	Eyleyici Düğüm Devresi Alt Katman Baskı Devre Görseli	71
EK-3:	Eyleyici Düğüm Devresi Üst Katman Baskı Devre Görseli	72
EK-4:	Eyleyici Düğüm Devresi Eleman Yerleşimi	73
EK-5:	Algılayıcı Düğüm Devresi Şeması	74
EK-6:	Algılayıcı Düğüm Devresi Alt Katman Baskı Devre Görseli	75
EK 7:	Algılayıcı Düğüm Devresi Üst Katman Baskı Devre Görseli	76
EK-8:	Algılayıcı Düğüm Devresi Eleman Yerleşimi	77
EK-9:	Kontrol Düğüm Devresi Şeması	78
EK-10:	Algılayıcı Düğüm Devresi Alt Katman Baskı Devre Görseli	79
EK-11:	Algılayıcı Düğüm Devresi Üst Katman Baskı Devre Görseli	80

EK-12: Algılayıcı Düğüm Devresi Eleman Yerleşimi	81
EK-13 : Arduino Mega mikrodnetleyici platformu elektronik şeması	82
EK-14: Arduino UNO mikrodnetleyici platformu elektronik şeması.....	83
EK-15: Şerit LED sürücü elektronik şeması.....	84
EK-16: Merkez Düğüm Görseli.....	85
EK-17: Algılayıcı Düğüm Görseli	86
EK-18: Eyleyici Düğüm Görseli.....	87
ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 2.1. Kablosuz algılayıcı ağlar kullanılarak dağınık algılama	8
Şekil 2.2. Tipik kablosuz algılayıcı/ eyleyici ağları	9
Şekil 2.3. KAA algılayıcı düğümü ana bileşenleri	10
Şekil 2.4. Eyleyici düğüm donanım bileşenleri	10
Şekil 2.5. KAEA’larda otomatik mimariye bir örnek	11
Şekil 2.6. KAEA’lar da yarı otomatik mimariye bir örnek.	12
Şekil 3.1. Tipik KNX protokolü kullanımına bir örnek	15
Şekil 3.2. ZigBee temel araçları	16
Şekil 3.3. Yıldız Topoloji	17
Şekil 3.4. Örgü topoloji	18
Şekil 3.5. Küme ağaç topolojisi	18
Şekil 3.6. CSMA / CA tekniğinde haberleşme	21
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen bina otomasyon modeli	23
Şekil 4.2. Önerilen sistem kapalı döngü blok diyagramı	25
Şekil 4.3. ATmega 328 pin görünüş şeması	26
Şekil 4.4. ATmega 2560 pin görünüş şeması	27
Şekil 4.5. ATmega 328 blok diyagramı	28
Şekil 4.6. ATmega 2560 blok diyagramı	29
Şekil 4.7. Arduino UNO geliştirme kartı görseli.	30
Şekil 4.8. Arduino Mega 2560 geliştirme kartı görseli	31
Şekil 4.9. DHT22 Sıcaklık ve Nem Sensörü	32
Şekil 4.10. TSL 2561 Parlaklık sensörü.	33
Şekil 4.11. TSL 2561 Blok diyagramı	33
Şekil 4.12. 3.2" TFT ekran genel görünümü	35
Şekil 4.13. Resistif ekran mimarisi	36
Şekil 4.14. Elektromanyetik spektrum	37
Şekil 4.15. nRF24L01 genel görünümü	37
Şekil 4.16. nRF24L01 pin diyagramı	38
Şekil 4.17. nRF24L01 RF verici alıcı modülü blok diyagramı	39
Şekil 4.18. ESP 8266 Wi-Fi modülü görünümü	40
Şekil 4.19. Kullanılan Şerit LED Sürücü Modülü	42
Şekil 4.20. Algılayıcı Düğüm Uygulama Devresi	43
Şekil 4.21. Eyleyici Düğüm Uygulama Devresi	44
Şekil 4.22. PWM kontrol işareti.	45
Şekil 4.23. Kontrol düğüm uygulama devresi	46
Şekil 4.24. PLX-DAQ programı arayüzü	47
Şekil 4.25. Merkez düğüm uygulama devresi	47
Şekil 4.26. CSMA/CA Haberleşme protokolünde dinlenme	49
Şekil 4.27. CSMA /CA protokolü	50
Şekil 4.28. CSMA/CA Protokolünde Kanal Erişimi	50
Şekil 4.29. İnternet sitesine aktarılan veriler	55

Şekil 4.30. AD çalışma akış şeması	56
Şekil 4.31. KD akış şeması.	57
Şekil 4.32. ED Akış Şeması.....	58
Şekil 4.33. Hesaplanan PWM sinyali.	61
Şekil 5.1. Aynı bölgede iki farklı aydınlatma alanı	63

ÇİZELGELER TABLOSU

Çizelge 1. Ülke ve bölgelere göre binalarda enerji tüketimi ve enerji verimliliği potansiyeli.....	2
Çizelge 2. Yaygın haberleşme protokollerinin temel özellikleri	14
Çizelge 3. Fiziksel katman protokol veri birimi paket yapısı	20
Çizelge 4. CSMA/ CA sinyalleri, kullanım amaçları ve sinyal içerikleri.....	22
Çizelge 5. nRF 24L01 pinleri ve kullanım amaçları.....	39
Çizelge 6. Kullanılan ESP komutları ve kullanım amacı	41
Çizelge 7. Protokol Açıklaması	48
Çizelge 8. Kullanılan düğümler ve çalışma modları.....	49
Çizelge 9. Düğümler arası veri iletimi için kullanılan kanallar	49
Çizelge 11. Algılayıcı düğüm-Kontrol düğüm veri yapısı	52
Çizelge 12. Kontrol düğüm- Eyleyici düğüm veri yapısı	52
Çizelge 13. Kontrol düğüm- Merkez düğüm veri yapısı	52
Çizelge 14. Merkez düğüm- Sunucu veri yapısı	52
Çizelge 15. Microsoft Office Excel programına kaydedilen veriler	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BKS	: Bina Kontrol Sistemleri
GSYİH	: Gayri Safii Milli Hasıla
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
AB	: Avrupa Birliği
KNX	: Konnex
KAA	: Kablosuz Algılayıcı Ağlar
KAEA	: Kablosuz Algılayıcı Eyleyici Ağlar
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri
IP	: İnternet Protokolü
IPv4	: İnternet Protokolü Versiyon 4
IPv6	: İnternet Protokolü Versiyon 6
6LOWPAN	: Düşük Güçlü Kablosuz Kişisel Ağ Bağlantısı
RF	: Radyo Frekansı
MHz	: Mega Hertz
GHz	: Giga Hertz

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze, insanlar her zaman enerjiye ihtiyaç duymuştur. Dünya genelinde enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Enerji kaynaklarına sahip olmak, enerjiyi yönetmek ve enerjiyi pazara sunmak çağımızın en büyük iş sektörlerini oluşturmaktadır.

Birey ve sektörlerin enerjiye olan ihtiyacı günden güne artmakta ve mevcut enerji kaynakları bu artışı karşılamakta güçlük çekmektedir. Bu durum insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarına ve var olan enerjinin verimli kullanımına yönlendirmektedir.

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması olarak tanımlanmaktadır (Elektrik Mühendisleri Odası, 2012). Enerji verimliliği ekonomik büyüme, çevre kirliliğinin azaltılması ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği ile doğrudan ilişkili olması gibi kritik nedenlerden dolayı ülke politikalarında başrolü oynamaktadır.

Enerji yoğunluğu, bölgesel bazda bir birim gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) oluşturabilmek için gereken enerji miktarını ölçen bir enerji verimliliği parametresidir. Bir ülkenin enerji açısından gelişmiş olmasının en önemli şartı, enerji tüketiminin yüksek olmasına rağmen enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır (Elektrik Mühendisleri Odası, 2012). Türkiye'nin enerji yoğunluğu, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin ortalamasının üzerindedir. 2023 Türkiye hedeflerinden biri de, kanun (5627 nolu kanun-02/05/2007 tarihli resmi gazete) ve ilgili yönetmelikler (28097 sayılı yönetmelik-27/10/2011 tarihli resmi gazete) gibi enerji verimliliği çalışmaları ile enerji yoğunluğunun 2011 yılına göre en az % 20 azaltılmasıdır (AB Avrupa Parlamentosu Çevre Ajansı, 2015).

1.1.Binalarda Enerji Verimliliği

Binalar, dünya genelinde enerji tüketiminin en fazla olduğu kullanım alanlarıdır. Ülke ve bölgelere göre binalarda enerji tüketimi ve enerji verimliliği potansiyeli Çizelge 1'de verilmiştir (Shaikh ve ark., 2014). Birçok gelişmiş ülkede binalarda tüketilen enerji, birincil enerji tüketiminin %40'ından fazladır. Dünya popülasyonunun her geçen gün artması bina sayısını da arttırmakta ve bu artış global enerji ihtiyacı üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. Uluslararası enerji ajansı binaların enerji talebinde 2035 yılı için, %30'lık bir artış öngörmektedir (Uluslararası Enerji Ajansı, 2013).

Mevcut binalarda enerjinin etkin kullanımı enerji tüketimini yaklaşık %30 oranında azaltmaktadır (Avrupa Birliği Enerji Komitesi, 2006). Binalarda enerji tüketimin kaynağında ısıtma, soğutma, iklimlendirme (HVAC), aydınlatma birimleri ve kullanılan diğer elektrikli ev aletleri bulunur. Binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık % 22'si aydınlatma, yaklaşık %48'i iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır (Lombard ve ark., 2008).

Çizelge 1. Ülke ve bölgelere göre binalarda enerji tüketimi ve enerji verimliliği potansiyeli.

Ülke	Binalarda Enerji Tüketimi (%)	Verimlilik Potansiyeli (%)
Amerika	40	20
Avrupa Birliği	40-42	27-30
Çin	33	-
Hollanda	34	-
İran	35	-
Türkiye	36	30
Yunanistan	30	-
Meksika	19	-
Birleşik Krallık	39	-
Sırbistan	50	20
Singapur	53,2	-
Doğu Ülkeleri	40	-
Tüm Dünya	40	5-30

1.2. Kaynak Araştırması

Bina kontrol sistemi (BKS), kapalı ortam koşullarını izleyerek iklimlendirme, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin kontrolünü sağlar. BKS'lerin temel amacı enerji tasarrufu sağlayarak enerji tüketim maliyetini azaltmak ve insanların konfor düzeyini arttırarak yaşam standartlarını yükseltmektir.

Bina kontrol sistemi, bina içine yerleştirilmiş cihazlarla ve bu cihazlar arasındaki etkileşimi sağlamakla ilgilenir. Kullanılan cihazların sayısı onbinleri bulabilmektedir (Kastner ve ark., 2005). Cihazların sayısının artması, cihazlar arası işbirliğini yönetmeyi

güçleştirmekte ve bu cihazlardan elde edilecek veriyi işlemeyi zorlaştırmaktadır. Bu durum binalarda otomasyonu sağlamak için haberleşme protokolleri kullanmayı zorunlu kılmaktadır.

Björn ve arkadaşları (2014) bina aydınlatma ve iklimlendirme birimlerini kontrol etmek için KNX tabanlı otomasyon sistemi tasarlamışlardır. KNX tabanlı sistemlerin mevcut binalara entegrasyonun ve bakım işleminin zorlu olduğunu özellikle belirtmişlerdir. Bujdei ve Moraru (2011) bir iş merkezi için KNX tabanlı bir otomasyon sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemde kontrol paneli ve eyleyicileri KNX protokolüyle haberleştirirken, ortamdaki sıcaklık, nem, parlaklık, karbondioksit, karbonmonooksit, hidrojen sülfür gazlarını izlemek için de kablosuz algılayıcı ağı (KAA) kullanmışlardır. Bingol ve Tasdelen (2014), web tabanlı bir ev otomasyonu üzerine çalışma yapmışlar, sensörler ve kontrol devreleri arasındaki haberleşmeyi PLC (Güç Hattı Haberleşmesi) kullanarak sağlamışlardır.

Günümüzde tercih edilen kontrol sistemlerinde çoğunlukla kablo üzerinden bağlantı tercih edilse de, iletişim hızı, güvenlik ve pil teknolojisinde iyileşme nedeniyle kablosuz cihazlar her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir. Günümüzde kablosuz algılayıcılar, geleneksel kablolu uygulamaların yerini almakta veya bazı hibrid çalışmalarda da kablolu uygulamaları desteklemektedir. Kablosuz Algılayıcı/ Eyleyici Ağı (KAEA) teknolojisi binalarda düşük maliyetli algılama ve esnek kontrol çözümleri üretmektedir (Wu ve Clements, 2007; Rathnayaka ve ark., 2011).

Han ve Lim (2010) çalışmalarında kablolu iletişim protokollerinin kurulum ve bakım maliyetlerinin fazla olduğuna dikkat çekerek, ZigBee tabanlı akıllı ev enerji yönetim sistemlerinin tasarlanması ve uygulanmasını incelemişlerdir. Önerdikleri sistem ile binalara IEEE 802.15.4 haberleşme teknolojisini uygulayarak binaları akıllı hale getirebileceklerini savunmuşlardır. Xu ve arkadaşları (2010) ZigBee ve GPRS teknolojilerini kullanarak hibrit akıllı ev kontrol sistemi tasarlamışlardır. Sistemde kullanılan mikroelektronik cihazlar arası haberleşme ZigBee protokolü ile sağlanırken, sistem verilerinin toplandığı merkez ile internet sunucusu arası haberleşme GPRS ile sağlanmıştır.

Bugün kullanılan çoğu akıllı ev sistemleri genellikle konut sakinleri taşınmadan önce binaya yerleştirilmektedir. KAEA, kolay kurulum sağlayan portatif sistemler olduğu için konut sakinleri taşındıktan sonra binaya entegre edilmesi sorun teşkil etmemektedir. Ghayvat ve arkadaşları (2015), 1938'de inşa edilen antik bir evi, KAEA'ını kullanarak akıllı bir ev haline dönüştürmüştür. Bu çalışmalarında KAEA tabanlı sistemlerin, kablo

iletimin karmaşıklığını azaltarak bina yönetiminde önemli iyileştirmeler sağladığını belirtmektedirler. Ota ve Arens (2017), 1971 yılında inşa edilen bir çiftlik evinin yedi odasında sıcaklık kontrollü iklimlendirme deneyi yapmıştır. Kablosuz sıcaklık ve nem sensörlerinin değerlerine göre gerçekleştirilen iklimlendirmenin daha verimli olduğunu sayısal ifadelerle ortaya koymuşlardır.

Suksha ve Kaur (2014) çalışmalarında KAEA tabanlı bina kontrol sistemlerinin kullanıcı tarafından kabul edilebilmesi için taşınması gereken özellikleri şu şekilde sıralamıştır:

- Kontrol sistemi tasarımı gelecekteki güncellemeleri düşünülerek yapılmalı,
- Önerilen sisteminin ekonomik avantajları, maliyetinin çok üstünde olmalı,
- Sistemler yazılımları yetkisiz erişim, özel hayat gibi sosyal ve güvenlik konularını düşünülerek tasarlanmalı,
- Gerçekleştirilecek sistemin kullanıcı portföyü çok geniş olmalı, yaşlı ve çocukların zorluk çekmeden kontrol edebileceği bir arayüze sahip olmalıdır,
- Sistem elamanları arası haberleşme trafiği düzenlenmeli, özellikle mevcut binalar düşünülerek yapılan tasarımın kablosuz olmalıdır.

Yan ve arkadaşları (2011) bir okul binasını akıllı hale getirip, enerji tüketimini ve gaz emisyonunu azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, kontrol parametrelerinin toplanması, eyleyicilerin kontrol edilmesi ve bütün bunların belirli bir hiyerarşide gerçekleşmesi için KAEA tabanlı bir sistem tasarlamışlardır. KAEA çok fonksiyonlu bir bina kontrol sisteminin gerçekleştirmesini basitleştirir. Sun ve arkadaşları (2013), ortama ait parametreleri takip etmek için ‘ajan’ adı verdikleri cihazlar kullanmıştır. Her ajan kullanım amacına göre spesifik sensörler içermektedir. Zhang ve arkadaşları (2015), akıllı binalarda enerji tasarrufu için bu ajanları kullanarak kablosuz bir sistem tasarlamışlardır. Sistemlerinde mikro elektronik cihazları kişisel ajan ve oda ajanı olarak iki gruba ayırmışlardır. Oda ajanları odaya ait verilerini toplarken, kişisel ajanlar kullanıcının arzu ettiği ortam parametrelerini almakta görevlidir. Bu sistem özellikle ofislerde, kişiye özel ortam koşulları oluşturarak konfor standartını yükseltirken, gereksiz yere enerji harcanmasını engellemektedir. Hareket, sıcaklık, nem, parlaklık sensörleri en yaygın kullanılan sensörlerdir.

Hareket sensörlerinin ‘var’ ya da ‘yok’ bilgisi ile elektrikli ev cihazları, armatürler ve iklimlendirme alt sistemlerinin açılıp kapanması sağlanabilir (Rohini ve

Venkatasubramanian, 2015). Bangali ve Shaligram (2013), KAEA'yı kullanarak enerji verimliliği yüksek bir akıllı ev tasarımı yapmışlardır. Tasarladıkları sistem ile, evin sıcaklık, ışık, yangın ve hırsız alarmını izleyebilmekte ve izlenen verileri otomatik olarak excel tablosuna aktarabilmektedir. Syahrani ve arkadaşları (2014), binalardaki elektrikli cihazları izlemek ve kontrol etmek için bir KAEA tabanlı bir sistem gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri bu sistemde hareket sensörünü kullanmışlar ve sensörden gelen veriye göre elektrikli cihazların kontrolünü programlamışlardır. Sistemin verimlilik performansını üniversite binasında test etmişlerdir. Sistemin gerçekleştirildiği odanın enerji tüketiminin, mevcut kullanılan odalardaki enerji tüketiminden % 42 daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Kablosuz hareket sensörleri ile kontrol edilen termostatlara KAEA uygulamasının tipik bir örneğidir. Lu ve arkadaşlarının (2010) yapmış olduğu çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, binalarda bu tarz bir uygulamayla iklimlendirme enerji tüketimi % 28 oranında azaltılabilmektedir. Agarwal ve arkadaşları (2011) gerçekleştirdikleri KAEA tabanlı bir otomasyon sistemiyle HVAC elektrik kullanımı % 15 ve HVAC termal enerji kullanımını da % 12 azalttıklarını belirtmişlerdir. Brooks ve arkadaşları (2015) KAEA tabanlı bir uygulamayı üniversite binasında uygulamışlar. Yapılan yatırımın bir yıldan daha kısa bir sürede, elde edilen enerji tasarrufu ile yatırımcıya döneceğini göstermiştir.

KAEA tabanlı akıllı kablosuz aydınlatma sistemleri üzerine çalışma yapan Iwayemi ve Yi (2010), KAEA'ların akıllı aydınlatma kontrolü uygulamalarında hem enerji tasarrufu hem de kullanıcı konforunda diğer sistemlere göre önemli avantajları olduğunu belirtmektedir. Ticari ofis ve kamu binaları çalışma alanlarındaki aydınlatma sistemlerinin merkezi olarak kontrol edildiği göz önüne alındığında, KAEA tabanlı aydınlatma uygulamalarının daha dinamik ve daha kişisel bir aydınlatma sağladığı yadsınmaz bir gerçektir. Sharma ve Reddy (2014), bir ofis binasının aydınlatma sisteminin KAA ile kontrolü üzerinde çalışmıştır. Çalışmada kullanılan mikro elektronik cihazlar, algılayıcı ve uzman düğümler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bir algılayıcı düğümünü alarm (buzzer), hareket, sıcaklık sensörleri ile alıcı/verici modülü oluştururken, usta düğümleri alıcı/verici modülü, lcd ekran ve mikrodenetleyiciden oluşturmaktadır. Özellikle aydınlatma üzerine odaklanan bu çalışmada otomatik bir kontrolün, sistemi daha verimli hale getirdiği savunulmuştur.

Izani ve Rawi (2014), mevcut binalarda enerji israfını önlemek ve konutlarda yaşam kalitesini artırarak mevcut binaları daha konforlu bir akıllı bina haline getirmek üzerinde çalışma yapmıştır. Bu amaçla, KAEA tabanlı bir sistem geliştirmiş, sensörleri çevresel parametreleri algılayacak şekilde yerleştirmiştir. Algılanan parametrelere göre

sistemde gerekli olan hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre de eyleyiciler yardımıyla da enerji tüketen birimler yönetilmiştir. Uyguladıkları bu sistem ile bina enerji tüketimini minimuma indirdiklerini belirtmişlerdir. Barbato ve arkadaşları (2010) binalarda fiziksel parametreleri toplamak ve kullanıcı davranışını izlemek için heterojen (farklı iletim güçlerine ve farklı hücre alanlarına sahip birden çok düğümün oluşturduğu) bir kablosuz sensör ağı mimarisi önermişlerdir. Sensörler tarafından toplanan veriler kullanıcı profili oluşturmak için kullanılmaktadır. Sistem tarafından sağlanan kullanıcı profilleri ve gerçek zamanlı ortam verilerine dayanarak, kullanıcı davranışını öngörebilmekte ve ev aletlerini otomatik kontrol edebilmektedir. Bu otomatik kontrol sistemi vasıtası ile enerji tüketimini optimize edildiği savunulmuştur. Kullanıcının ışık şiddeti, parlaklık gibi tercihlerini tahmin etmek için adaptif algoritmalar kullanılmaktadır. Sistemin kullanılma süresi arttıkça sistem tahminin başarısı artmakta ve sistem her koşula göre kendini güncellemektedir.

1.3.Tezin Konusu, Amacı ve Literatüre Katkısı

Bu tez çalışmasında binalarda iklimlendirme ve aydınlatma kontrollerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesi amacıyla KAEA tabanlı uzaktan izleme ve kontrol sistemi tasarımı konusu ele alınmıştır. Bu doğrultuda mevcut binalara kolay entegre edilebilecek bir sistem modeli temel alınarak KAEA tabanlı kontrol sistemi kurulumu ve ağ içinde görev yapan düğümlerin donanım tasarımı incelenmiştir. Ayrıca düğümler arasında kablosuz veri transferini organize eden haberleşme protokolü ve donanım yazılımı (firmware) oluşturularak sistem tasarımı tamamlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, KAEA tabanlı bir kontrol sistemi ile binalarda enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, özellikle büyük ölçekli binalar (okul, üniversite, hastane, iş merkezi, alışveriş merkezi v.b.) için uygulaması kolay ve ucuz maliyetli bir sistem tasarlanmaya çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen tez çalışmasının literatüre katkısı şu ana başlıklar altında aşağıda listelenmiştir:

1. Bu tez çalışması ile literatürde belirtilen verimli aydınlatma sistemleri KAEA tabanlı bir sistem ile gerçekleştirilmiştir.
2. Bu tez çalışması ile literatürde belirtilen verimli iklimlendirme ve havalandırma sistemleri KAEA tabanlı bir sistem ile gerçekleştirilmiştir.
3. Mevcut bina otomasyon sistemlerinin aksine, kablosuz, düşük maliyetli ve uygulanabilirliği daha basit bir sistem tasarlanmıştır.
4. Mevcut kablosuz otomasyon sistemlerinin etkin bir biçimde kullanılmadığı, büyük ölçekli mevcut binalar için, alternatif bir kontrol sistemi önerisinde bulunulmuştur.

1.4.Tezin Organizasyonu

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, ilk olarak neden enerji verimliliğine ihtiyaç duyulduğu ve binalarda enerji verimliliği potansiyeli nümerik değerler ile açıklanmıştır. Ardından sırasıyla bina kontrol sistemleri ve KAEA tabanlı sistemler ile ilgili kaynak araştırması verilmiştir. Tezin amacı ve literatüre katkısı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, KAEA konusu geniş kapsamda incelenmiştir. KAA ile KAEA arasındaki temel farklardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, binalarda kontrol sistemleri ve haberleşme protokolleri gibi bu tez çalışmasının odaklandığı anahtar konular üzerinde literatür araştırmasına dayanan temel bilgilere yer verilmiştir.

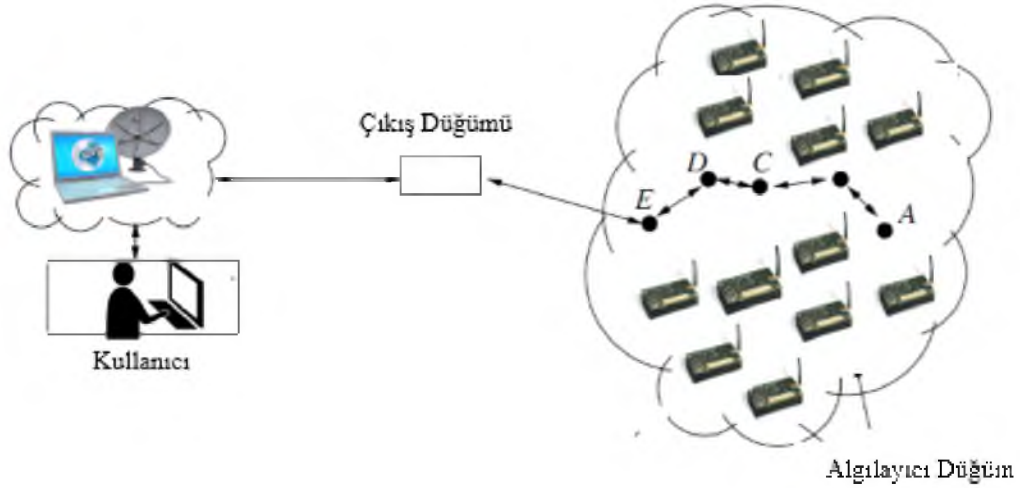
Dördüncü bölümde, KAEA ile binalarda otomasyon sisteminin sağlanması ve enerji verimliliğinin artırılması planı anlatılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, kullanılan KAEA mimarisi, düğüm yapıları, düğüm elektronik devre şemaları ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, gerçekleştirilen sistem ile mevcut kablolu ve kablosuz sistem karşılaştırılmıştır. Son olarak bu tez çalışması ile ilgili genel değerlendirme yapılarak ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ışık tutulmuştur.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI/EYLEYİCİ AĞLAR

Özellikle 2000'li yıllardan sonra haberleşme ve elektronik alanında yaşanan gelişmeler düşük maliyet ve enerji tüketimi ile fonksiyonel elektronik ekipmanların tasarlanmasının önünü açmıştır. Akyildiz ve arkadaşları (2002) tarafından önerilen KAA; ortamdaki sıcaklık, nem, parlaklık, basınç, ivme, ses, gürültü seviyesi, kirlilik, toprak nemi, anlık hız, akım, yön, boyut gibi fiziksel ya da çevresel koşullarını takip etmek için çeşitli sensör kullanan ve birbirinden bağımsız çalışan düğümlerden oluşur.

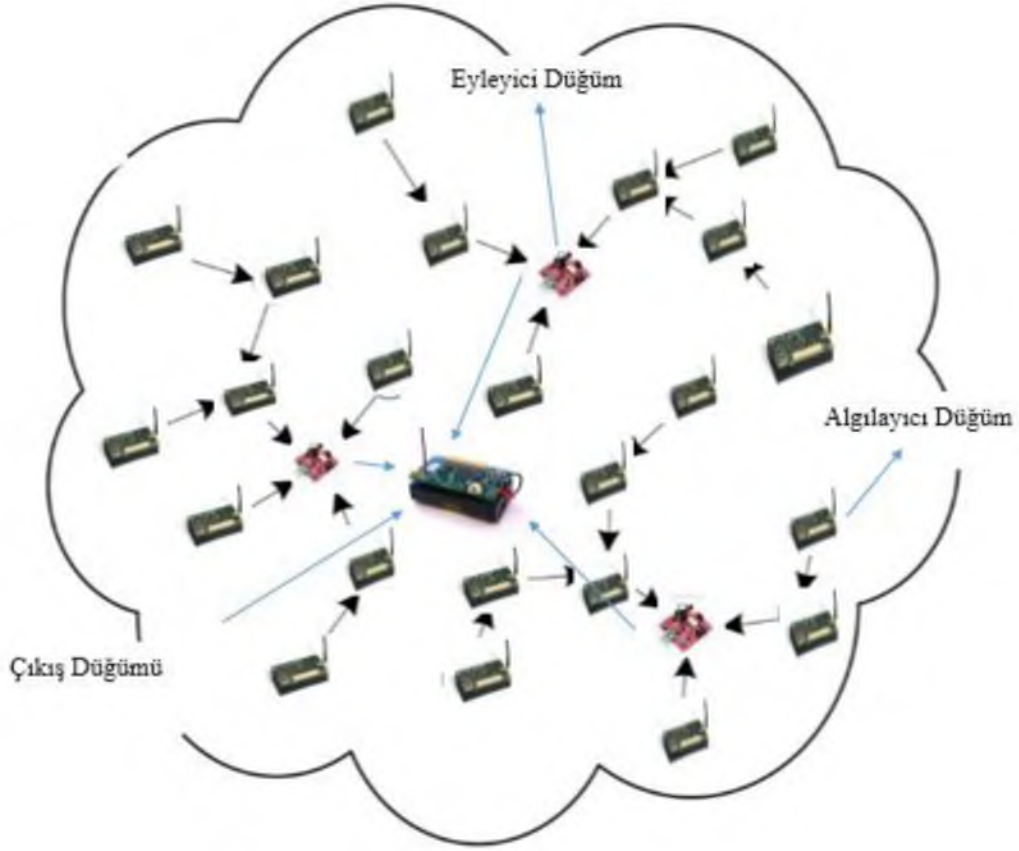
KAA'lar algılayıcı düğümler (AD) ve çıkış düğümünden (ÇD) oluşmaktadır. AD'ler bulundukları ortamda fiziksel parametreleri ÇD'ye kablosuz olarak iletirler. AD'ler saha üzerine rastgele yada planlı olarak yerleştirilebilirler. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi AD'lerin iki temel görevi vardır; fiziksel parametreleri toplamak ve komşu AD'den gelen veriyi çıkış birimine iletmektir. Çıkış düğümü AD'lerden gelen verileri kontrol düğüme (KD) yada merkez düğüme (MD) ileten ağ geçididir (Akyildiz ve Vuran, 2010).



Şekil 2.1. Kablosuz algılayıcı ağlar kullanılarak dağınmık algılama

KAA'larının kullanım amacı uzaktan izlemedir. Herhangi bir eyleyici içermediğinden dolayı, sadece KAA kullanılarak bir sistemin yada prosesin kontrolü mümkün değildir. Akyildiz ve Kasimoğlu (2004) çalışmalarında, KAA'larına eyleyici düğümler entegre ederek literatüre kablosuz algılayıcı/eyleyici ağlarını (KAEA) tanıtmışlardır. Şekil 2.2'de genel amaçlı bir KAEA uygulaması gösterilmiştir.

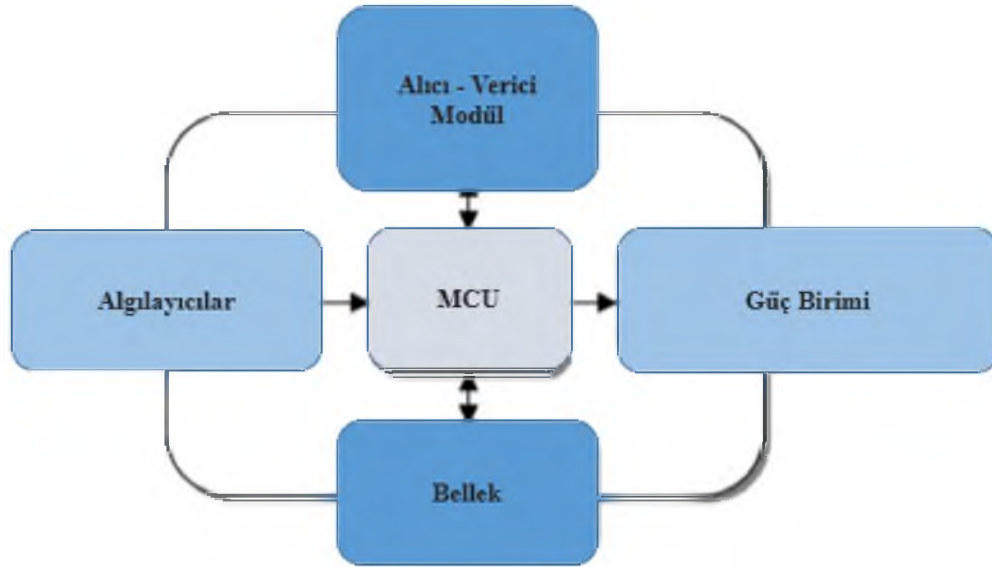
KAEA düğümlerinin bireysel yetenekleri sınırlıdır. Bu düğümler kablosuz ağ yardımıyla kooperatif bir şekilde aynı amaç için çalıştıklarında son derece güçlü bir bağ ortaya çıkar. KAEA, kullanıldığı sisteme uzaktan izleme yanında kontrol yeteneği de kazandırmaktadır. KAEA ile anlık ölçüm yapabilen, alınan ölçüm değerlerine göre karar verebilen, bu kararlara göre prosese müdahale edebilen bir sistem kurmak ve prosesi otomatik olarak yönetmek kolay hale gelmiştir. Bu kolaylık KAEA'nın birçok alanda farklı uygulamalarda kullanılmasını sağlamıştır (Verdone ve ark., 2008).



Şekil 2.2. Tipik kablosuz algılayıcı/ eyleyici ağı

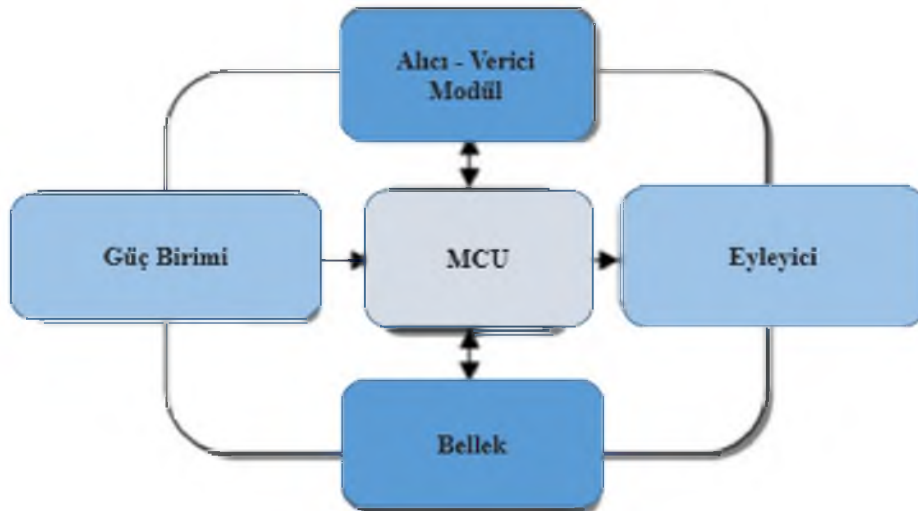
KAEA uygulamalarında kullanılan AD'ler Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, mikrodenetleyici, alıcı- verici, güç kaynağı ve sensör gibi ana bileşenlerden oluşmaktadır. Düğüm üzerindeki tüm birimlerin enerji ihtiyacını güç birimi karşılar. AD'lerin çalışması için gerekli olan enerji üzerlerinde bulunan pil ile sağlanır. Bazı uygulamalarda pillerin güneş paneli ile şarj edilmesi ve böylece çalışma ömürlerinin uzatılması mümkündür. Parlaklık, hareket, basınç, sıcaklık, nem, toprak nem, hava kalitesi ve çeşitli gaz sensörleri kullanılabilir. Bir AD'de kullanılan sensör sayısı değişiklik gösterebilir. Sensörlerin ortamdan topladığı sinyaller dijital yada analog olabilir. Dijital sinyaller algılayıcı

düğümlerden mikrodenetleyici birimine doğrudan iletilirken, analog sinyaller analog dijital dönüştürücü (Analog Digital Converter- ADC) ile dijital sinyale dönüştürüldükten sonra iletilir.



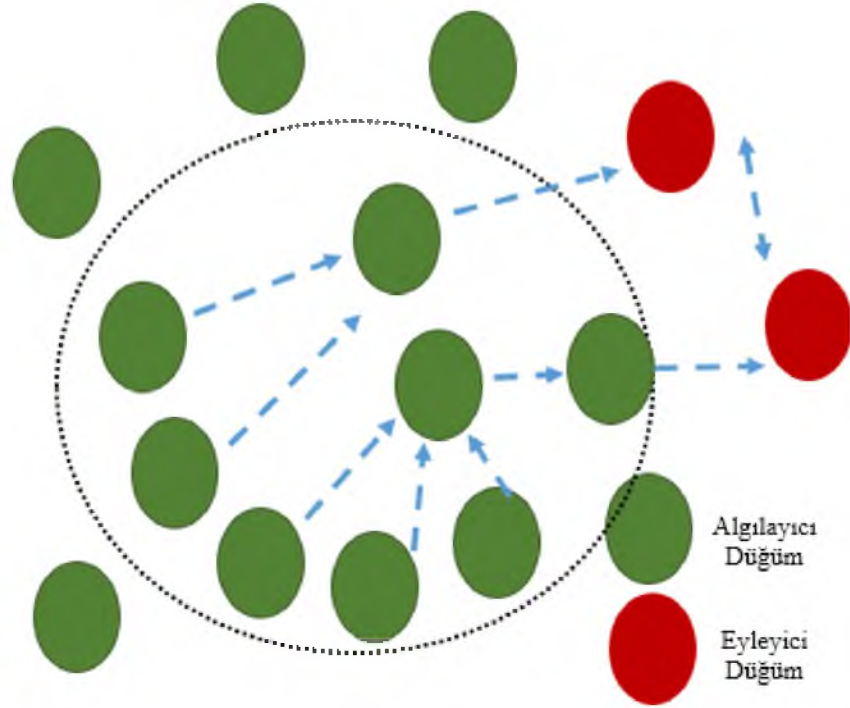
Şekil 2.3. KAA algılayıcı düğümü ana bileşenleri

Şekil 2.4’de eyleyici düğümün ana bileşenleri gösterilmiştir. Eyleyiciler, aldıkları elektrik sinyal ile mekanik veya elektronik birimleri kontrol eden cihazlardır (Akyildiz ve Kasimoglu, 2004). Eyleyicilerin verimli bir şekilde kontrol edilebilmesi için röle, transistör, triyak, mosfet gibi elektronik ekipmanlar kullanılmalıdır.



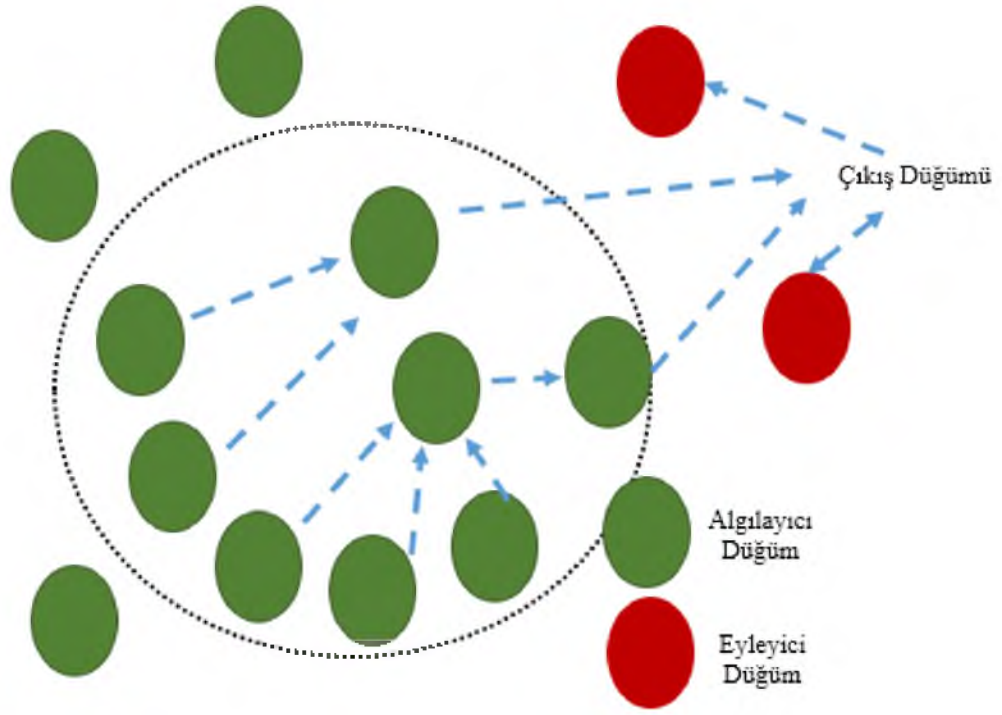
Şekil 2.4. Eyleyici düğüm donanım bileşenleri

Tüm algılayıcı ve eyleyici düğümlerinde mikrodenetleyicinin görevi düğüm üzerinde hesaplama yapmak ve düğümü yönetmektir. Mikrodenetleyiciler düğümler arası veri iletişiminin düzenlenmesini sağlamaktadır. Mikrodenetleyici, sensör tarafından sahadan toplanan verileri ağa göndermeden birleştirir. Bu veri birleştirme (data aggregation) işlemi sayesinde ağ trafiği düşürülür, haberleşme biriminde boşa enerji tüketimi azaltılır (Aboelaze ve Aloul, 2004; Soy, 2013).



Şekil 2.5. KAEA'larda otomatik mimariye bir örnek.

KAEA'larda fiziksel mimari otomatik ve yarı otomatik olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 2.5'te gösterildiği üzere, AD'lerden alınan verilerin direk ED'ler tarafından alınıp işlenmesi otomatik mimari ile gerçekleştirilir. Otomatik mimarinin en önemli avantajı düşük gecikme süresidir. Otomatik mimarinin kullanılabilmesi için, ED'ler ile AD'ler arası mesafenin kısa olması gerekir. Mesafenin uzaması veri iletimini ve koordinasyonu zorlaştırmaktadır. Daha uzun mesafelerde veri iletimi Şekil 2.6'da gösterildiği gibi yarı otomatik mimari ile sağlanır. AD'ler tarafından toplanan veriler ilk olarak çıkış düğümüne gönderilir. Çıkış düğümünde değerlendirme yapılır. Yapılan değerlendirme sonucunda ED'lere sinyal gönderilerek eyleyiciler harekete geçirilir. Yarı otomatik mimaride gecikme süresi otomatik mimari kadar düşük değildir (Akyildiz ve Kasimoğlu, 2004).



Şekil 2.6. KAEA’lar da yarı otomatik mimariye bir örnek.

3. BİNA KONTROL SİSTEMLERİ

Bina kontrol sistemleri (BKS), binaların ısıtma, soğutma, iklimlendirme, havalandırma, aydınlatma ve güvenlik alt sistemlerini takip edip, kontrol eden ve gerektiğinde kullanıcıya rapor halinde sunabilen uzaktan erişimli sistemlerdir. Binalarda kontrol sistemlerinin kullanım amaçları şunlardır;

- Enerji tüketimini minimuma düşürmek,
- Enerji tüketen sistemleri takip edebilmek, uzaktan erişim sağlamak,
- Enerji tüketen sistemlerin analizini yapabilmek,
- Enerji tüketen sistemlerin kontrolünü kolaylaştırmak,
- Elektronik ve mekanik cihazların birbirleriyle işbirliği içinde çalışmasını sağlamak,
- Olası bir arıza veya tehlike anında bilgilendirilmek
- Arıza veya tehlikenin büyümemesi için önlem almak,
- Binalardaki güvenlik zafiyetini minimuma indirmek.

3.1.Binalarda Kontrol Sistemi Kavramları

3.1.1. Binalarda Kontrol Sistemi Katmanları

BKS'leri uygulama katmanı, otomasyon katmanı ve yönetim katmanı olarak üç katmana ayrılabilir. Uygulama katmanı algılayıcı ve eyleyicilerin yer aldığı en alt katmandır. Orta katman olan otomasyon katmanında ölçüm verileri işlenir, kontrol döngüleri yerine getirilir. En üst katman olan yönetim katmanı ise eylem kararlarının alındığı, verilerin kullanıcıya sunulduğu, kayıt işleminin gerçekleştirildiği ve sistemin yönetildiği katmandır (Fernbach ve ark., 2011).

3.1.2. Haberleşme Ağları

Uygulama katmanında bulunan elemanlar (kontrolör, algılayıcı ve eyleyici) arası etkileşim gerçek zamanlı saha veri yolu (fieldbus) ile gerçekleştirilir. Bu şebeke sistemi haberleşme kalitesini arttırmayı ve kurulum maliyetini azaltmayı hedefler. Algılayıcıdan gelen sinyal ağa iletilmeden kontrol edilir. Gereksiz veriler ağa sunulmayarak ağ meşgul edilmez ve enerji kaybı önlenmiş olur (Hawke, 2016).

3.1.3. Algılayıcılar, Eyleyiciler ve Kontrolörler

BKS uygulama katmanı fiziksel olarak algılayıcı, eyleyici ve kontrolör kısmından oluşur. Algılayıcılar, ölçmüş olduğu fiziksel büyüklüğü elektrik sinyaline dönüştüren elemanlardır (Akyildiz ve ark, 2002). Eyleyiciler, aldığı kontrol sinyaline göre fan, röle ve selenoid vana gibi cihazların çalışmasını kontrol eden birimdir (Akyildiz ve Kasimoglu, 2004). Çoğu uygulamalarda, algılayıcıdan alınan veriler direk eyleyiciye iletilmez (Aktaş, 2012). Kontrolörlerde ham veri işlenir, yorumlanır, ardından eyleyiciye yapması gereken işlem ile ilgili komut gönderilir.

3.2.Bina Kontrol Sistemi Protokolleri

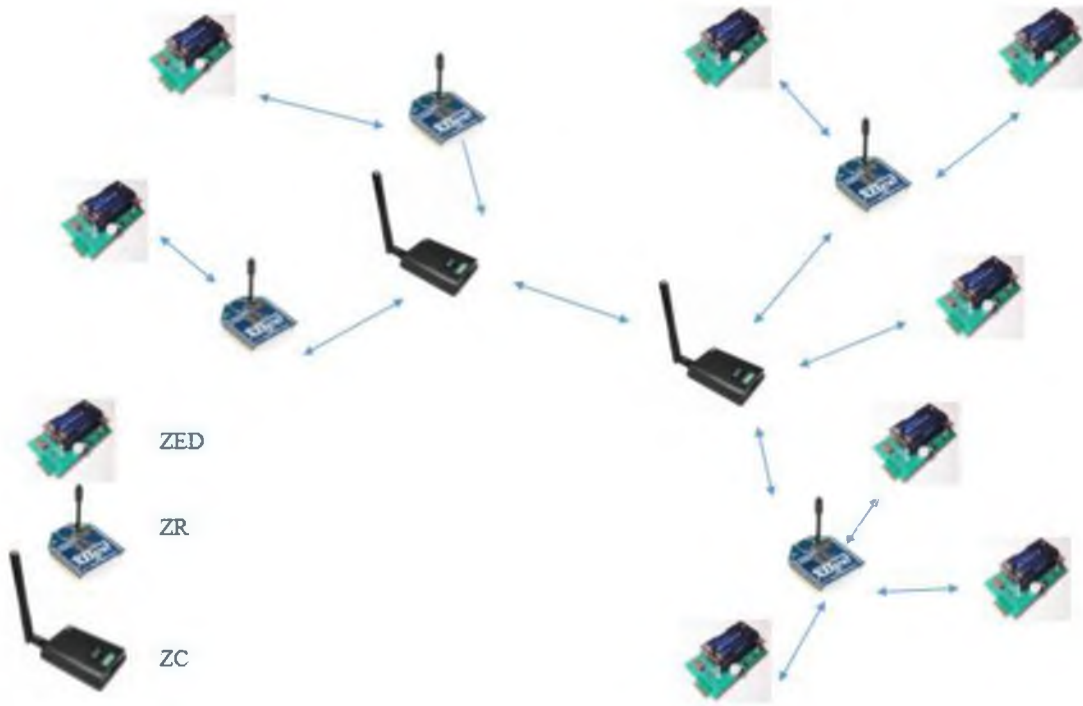
Bina kontrol sistemlerinde saha cihazları ile kontrolör arasında haberleşmenin düzenlenmesi için KNX, LonWorks, ZigBee, BACnet gibi haberleşme protokolleri kullanılır. Bu haberleşme protokollerine ait temel özellikler Çizelge 2’de verilmiştir (Kumar ve ark., 2016).

Çizelge 2. Yaygın haberleşme protokollerinin temel özellikleri

Protokol	Düğüm Sayısı	Güç Tüketimi	Mesafe (m)	İletişim Hızı
Zig-Bee	65000	Düşük	10-100	256 kb/s
Z-wave	232	Düşük	30-300	200 kb/s
Bluetooth	8	Yüksek	10	1 Mb/s
6Lowpan	2 ⁶⁴	Düşük	10-100	256 kb/s
Wi-Fi	255	Çok Yüksek	100	54 Mb/s

3.2.1. KNX

EIB (European Installation Bus) olarak bilinen KNX, 1999 yılında ortaya çıkan akıllı bina yönetim sistemi protokolüdür. 15 farklı üreticinin bir araya gelerek birlikte oluşturduğu, birçok farklı ürünün aynı dili konuşabildiği açık veri yolu standardıdır. KNX ile farklı üreticilere ait ürünler, aynı veri yoluna bağlandıkları takdirde kendi aralarında veri transferi yapabilmektedir. KNX sistemi Şekil 3.1’de gösterildiği gibi kablolu veri iletimi sağlayan bir protokol olup, iki telli bir veri yolu hattı, bu hatta 24V DC enerji veren bir güç kaynağı, algılayıcı ve eyleyicilerden oluşmaktadır. Sistemin çalışması için



Şekil 3.2. ZigBee temel araçları

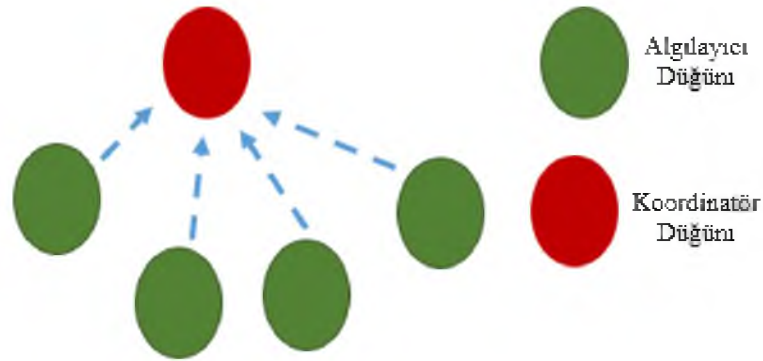
3.2.3. 6LoWPAN

6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) kablosuz düğümlerin kaynak sınırlama engelinin üstesinden gelmek üzere tasarlanmış iletişim protokolüdür. Bina otomasyonlarında bulunan kontrol düğümler, kullanılan algılayıcıları ve eyleyicileri IP (Internet Protocol Address – İnternet Protokol adresi) numaralarına göre tanımlar. Kullanılan algılayıcı ve eyleyicilerin sayısının her geçen gün artması, yeni IP numaralarına ihtiyacı doğurmuş IPv4'ten (İnternet protokolü versiyon 4) IPv6'ya (İnternet protokolü versiyon 6) geçişin kapısını aralamıştır.

IPv4 ile adresler 32 bit uzunluğunda olup, $2^{32}=4.294.967.296$ adet adres türetilmektedir. IPv6'yi IPv4'ten ayıran en temel özellik bit sayısı olup, adresler 128 bit uzunluğundadır. Bu genişleme ile internete bağlı cihaz sayısı teorik olarak hesaplandığında $2^{128} = 3,4 \times 10^{38}$ sayısına denk gelmektedir (Khateeb, 2013). 6LoWPAN temel olarak, IP yığını ve ağ katmanları arasında bir adaptasyon katmanı oluşturur. Bu katman ile kablosuz ağlarda, veri alış verişi için daha az güç tüketilirken, yeni nesil IPv6 kullanabilmek için gerekli adaptasyon sağlanmış olur (Kalyoncu, 2013).

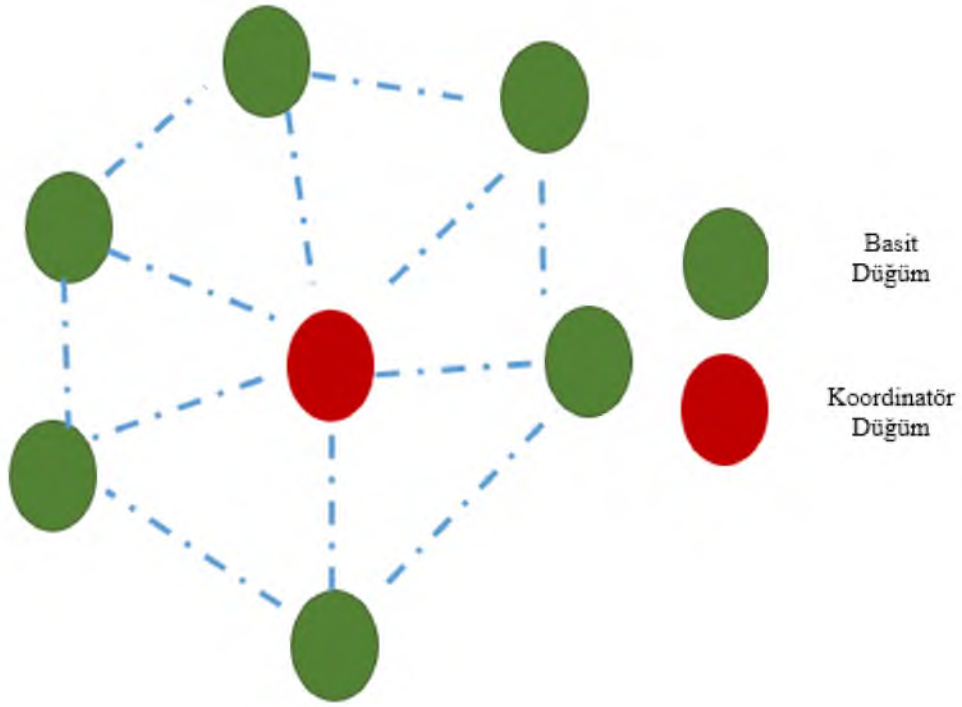
3.3. Ağ Topolojileri

Topoloji, bir cihazın ağa nasıl yerleşeceğini, ağa nasıl bağlanacağını ve bu ağda veri iletiminin nasıl gerçekleşeceğini belirleyen genel yapıdır (Nuşin, 2014). Yol (Bus), çizgi, halka, yıldız, ağaç ve örgü haberleşmede kullanılan başlıca ağ topolojileridir (Yakut, 2012). KAEA uygulamalarında yıldız (star), örgü (mesh) ve küme ağaç (cluster tree) topolojileri kullanılır. Bu topolojilerde düğümler, basit ve gelişmiş olarak iki fonksiyonel gruba ayrılmıştır. Gelişmiş düğümlerin basit düğümlerden farkı yönlendirici düğüm ve koordinatör düğüm olabilmesidir. Yönlendirici düğümler, basit düğümlerin geçit noktası olarak görev yapan gelişmiş düğümlerdir. Gelişmiş düğümlerden biri koordinatör olarak ağı yönetmektedir (Soy, 2013).



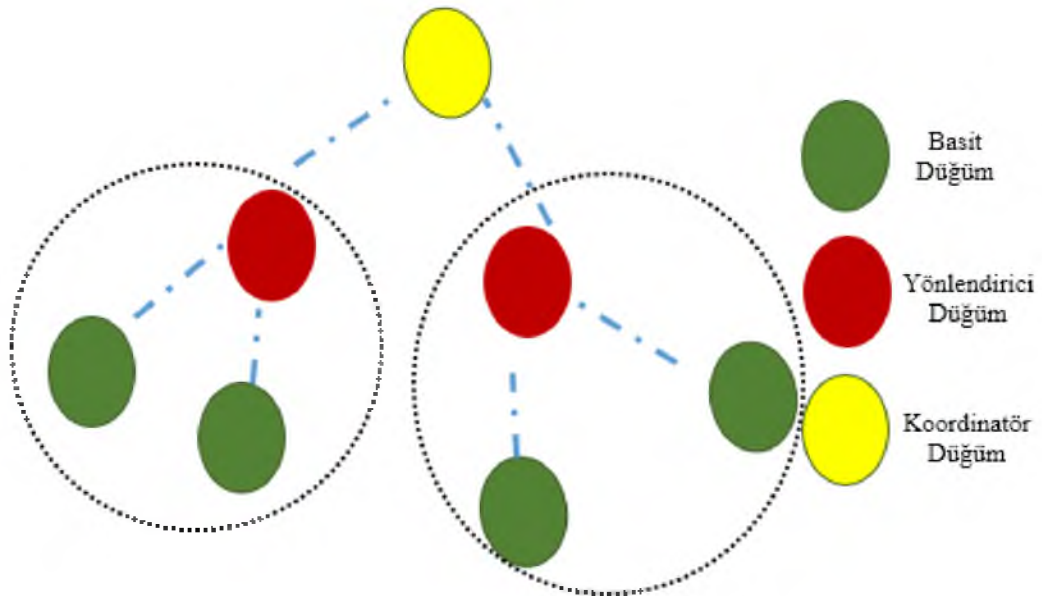
Şekil 3.3. Yıldız Topoloji

Yıldız topolojisi, Şekil 3.3’de gösterildiği gibi ağ içindeki basit düğümlerin, tek bir koordinatör düğümünü geçit olarak kullandığı tek atlamalı ağ yapısıdır. Yıldız topolojisinde basit düğümler ile koordinatör düğümler arasındaki mesafe kısadır (30 m-100 m). Haberleşme mesafesinin kısa olması, harcanan güç tüketimini de azaltmaktadır. Bu sebeple diğer topolojilere nazaran, yıldız topolojisi en düşük toplam güç tüketimini sağlamaktadır. Yıldız topolojisinde düğümler arası veri aktarımı tek hat üzerinde gerçekleşmekte, alternatif bir veri yolu bulunmamaktadır. Ayrıca merkezde oluşacak ufak bir aksaklık, tüm ağın çalışmasını sekteye uğratmaktadır (Crossbow, 2007).



Şekil 3.4. Örgü topoloji

Örgü topolojisi, yıldız topolojisinin aksine tüm düğümlerin yönlendirme işlemlerini yerine getirebilen çoklu-atlamalı bir ağ sistemidir. Örgü topolojisinin en büyük avantajı Şekil 3.5’de görüldüğü gibi veri yolunun birden fazla alternatifi olmasıdır. Bu sayede sistemde yaşanacak tıkanıklar minimize edilir (Yakut, 2012) .



Şekil 3.5. Küme ağ topolojisi

Küme ağaç topolojisi ağdaki düğümleri, basit düğümler ve gelişmiş düğümlerden (yönlendirici düğüm) oluşan kümelere ayıran ağ yapısıdır. Bir kümedeki basit düğümler, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, yönlendirici üzerinden koordinatörle haberleşme gerçekleştirirler. Küme ağaç topolojisinin en büyük avantajı ise, bir kümede oluşan aksaklığın, diğer kümeleri ve sistemi etkilememesidir (Nagarajan ve Ganesh, 2014).

3.4. Haberleşme Protokolü

Haberleşme protokolü düğümler arası veri transferinin güvenilir şekilde yapılması, hata kontrollerinin gerçekleştirilmesi, eksiksiz olarak alındığının bildirilmesi gibi standart fonksiyonları tanımlayan kurallar topluluğudur (ElGholami ve ark., 2012). KAEA'nın verimli çalışabilmesi için kullanım amacına uygun bir haberleşme protokolü uygulanmalıdır.

KAEA'larda düğümlerin paket gönderimi periyodik (time driven), olay tabanlı (event driven) veya sorgu tabanlı (query based) olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. AD'lerin belirli bir periyoda göre paket göndermesi periyodik gönderim modeline, fiziksel ortamda önceden tanımlanan bir olayın gerçekleşmesi durumunda (sıcaklık, nem ve parlaklıktaki ani değişim gibi) paket göndermesi ise olay tabanlı gönderim modeline örnek verilebilir. KD'nin AD'leri sorguladığında paket göndermesi ise sorgu tabanlı modüle örnektir (Tilak ve ark., 2002).

Periyodik gönderim modeli fiziksel ortamdaki en ufak değişikliğin bile gözlenmesini sağlarken, düğümlerin haberleşme için harcadığı enerji tüketimini arttırmaktadır (Uros ve ark., 2008). Olay tabanlı gönderim modelinin verimli çalışması için, fiziksel ortamdaki olayların çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Tanımlamanın aşırı fazla olması ağın sürekli gönderim modeline benzer çalışmasına, az olması ağın ortamdaki değişimlere karşı duyarsız kalmasına neden olur. Sorgu tabanlı gönderim modelinde de sorgulama periyodunun iyi ayarlanması gerekmektedir. Periyodun artması haberleşme enerji tüketimini artırırken, azalması da fiziksel ortamdaki değişimlere karşı hassasiyeti azaltmaktadır.

KAA için IEEE 802.15.4 standardı fiziksel katman ve MAC katmanı özelliklerini tanımlamaktadır. Fiziksel katman, KAA üzerindeki verilerin iletişiminden sorumludur. Haberleşme frekansı, veri hızı, uyku modu gibi özelliklerin ayarlanması fiziksel katman üzerinde gerçekleştirilir. Fiziksel katman protokol veri birimi paket yapısı Çizelge 3'te gösterilmektedir (Chen ve ark., 2008).

Çizelge 3. Fiziksel katman protokol veri birimi paket yapısı

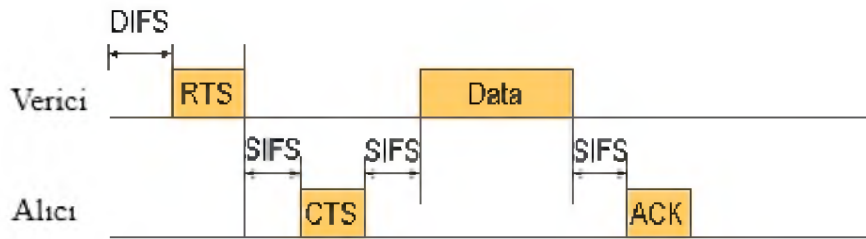
Başlangıç işareti	Adres (3-5 byte)	Veri (1-32 bayt)	Döngüsel Artıklık Denetimi (CRC)
----------------------	------------------------	------------------	---

Başlangıç işareti alanı paket yapısının giriş bölümünü oluşturur. Bu işaret alıcı ve vericinin senkronize olmasını sağlamaktadır. Adres alanı, alıcının adresini içermektedir. Her düğümün kendine özel bir adresi vardır. Düğümler gelen veriyi işlemeyen önce kendilerine gelip gelmediğini öğrenmek için adres alanını kontrol ederler. Düğümün adresi ile gelen verinin adresi aynı ise veri iletimi gerçekleştirilir. Vericinin ağa ilettiği veri ile alıcının ağdan aldığı verinin aynı olup olmadığı döngüsel artıklık denetimi (Cyclic redundancy check, CRC) ile kontrol edilir. CRC yönteminde iletimden önce, veriler önceden tanımlanmış toplama, çıkarma, karesini alma gibi bir fonksiyonlardan geçirilir. Fonksiyon sonucu paket yapısındaki CRC alanına yazılır. Alıcı veriyi alır almaz aynı fonksiyonu uygular ve hesapladığı sonucu CRC alanındaki değerle karşılaştırır. Hesaplanan ile alınan değerlerin aynı olması verilerin hatasız iletilmiş olduğunu göstergesidir (Ullah ve ark., 2013).

MAC alt katmanında düğümlerin kanal erişimleri ve paket gönderimleri kontrol edilir. KAEA uygulamalarında düğümlerin enerji tüketimlerinin minimuma indirgenmesi için MAC katmanı protokolü tasarımı üzerinde yoğunlaşılması gerekmektedir (Al-Anbagi ve ark., 2013). MAC katmanı protokolleri zamanlama tabanlı ve rekabet tabanlı olmak üzere iki grupta incelenir (Kredo ve ark., 2007). Zamanlama tabanlı mod kılavuzlu (uyarı sinyali kullanan) mod, rekabet tabanlı mod ise kılavuzsuz (uyarı sinyali kullanmayan) mod olarak da bilinmektedir (ElGholami ve ark., 2012).

Zamanlama tabanlı MAC protokollerinde zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA-Time Dimension Multiple Access) tekniği kullanılır. TDMA belirli sayıdaki kullanıcının tek bir kanala farklı zaman dilimlerinde (slot) erişmesini sağlayan kanal erişim tekniğidir (Wang ve ark., 2016). TDMA tekniği ile düğümler için zamanlama planı oluşturulur. Koordinatör düğüm tarafından yayınlanan zamanlama planı ile her bir düğümün paket göndereceği zaman dilimi belirlenir. Bu sayede çarpışma (collision) problemi yaşanmaz. Düğümler kendi zaman dilimleri dışında diğer zamanlarda uyku (sleep) modunda tutulmasıyla ağın çalışma ömrü uzatılır (Anwar ve ark., 2015).

Rekabete dayalı modda herhangi bir uyarı sinyali kullanılmamaktadır. Kanal erişimi için taşıyıcı duyarlı çoklu erişim (Carrier Sensing Multiple Access, CSMA) tekniği kullanılmaktadır. CSMA ile bir düğüm ağa paket göndermeden önce haberleşme kanalını dinler, kanal başka bir düğüm tarafından kullanılmıyorsa ağa paket gönderir (Dholey, 2012). CSMA tekniğinin en önemli dezavantajı bazı düğümlerin paket gönderiminin algılanamamasıdır. Bu problem aynı anda birden fazla düğümün paket göndermesine ve çarpışma probleminin oluşmasına neden olmaktadır (Wang, 2016). Bu problemin çözümü için çarpışma sakıncalı taşıyıcı duyarlı çoklu erişim (CSMA/CA) tekniği geliştirilmiştir (Akyildiz ve Vuran, 2010).



Şekil 3.6. CSMA / CA tekniğinde haberleşme

Şekil 3.6’da, CSMA/CA tekniğinde haberleşme görsel olarak verilmiştir. DIFS (distributed interframe space) çerçeveler arası bekleme süresini ifade etmekte, ve bazı çerçevelerin diğerlerinden daha sonra hatta gönderilmesini ayarlamak için kullanılmaktadır. SIFS (short interframe space) ise bazı çerçevelerin daha önce hatta gönderilmesini sağlamak ayarlanan süre miktarıdır. CSMA/CA tekniğinde çakışmanın önlenmesi bazı sinyaller ile sağlanır. Veri transferinden hemen önce kanala iletilen sinyaller, kullanım amaçları ve sinyallerin içerikleri Çizelge 4’de verilmiştir;

Çizelge 4. CSMA/ CA sinyalleri, kullanım amaçları ve sinyal içerikleri

Sinyal	Kullanım Amacı	Sinyal İçeriği
RTS (Request to Send)	Vericiden alıcıya alıcının uygun olup olmadığını sorgulamak için kullanılan sinyaldir.	Gönderilecek verinin transfer süresi, alıcının adresi ve göndericinin adresini içerir.
CTS (Clear to Send)	Alıcıdan vericiye RTS sinyalinin yanıtı olarak gönderilmektedir.	Gönderilecek verinin transfer süresi ve alıcının adresi içerir.
ACK (Acknowledgement)	Verinin alındığının teyidi için gönderilen sinyaldir.	Alıcının adresini içermektedir.

4. SİSTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

4.1.Kontrol Probleminin Tanımlanması

Bu tez çalışmasında bina iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliğini arttırmak için KAEA tabanlı bir sistem gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem modeli çevresel parametreleri ölçen düşük maliyetli algılayıcı düğümler (AD), gerekli eylemleri yerine getiren eyleyici düğümler (ED), koordinasyonu sağlayan kontrol düğümünden (KD) ve sistem sonuçlarının kullanıcıya sunulduğu merkez düğümünden (MD) oluşmaktadır. Gerçekleştirilen bina otomasyon modeli Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



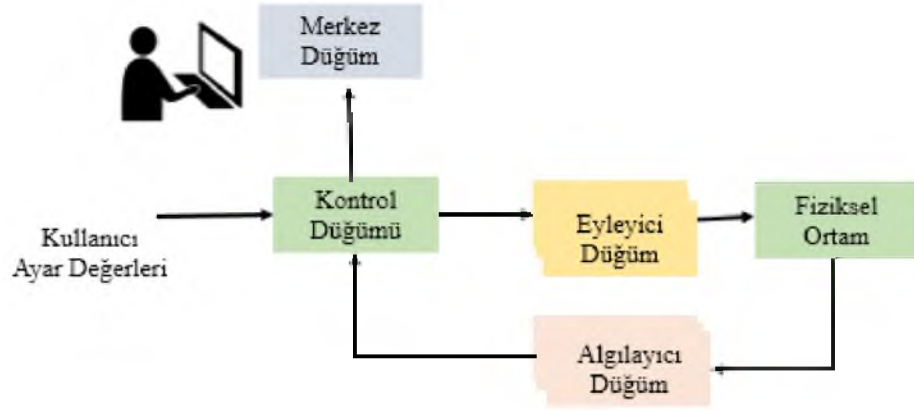
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen bina otomasyon modeli

KAEA tabanlı bina iklimlendirme sisteminin geliştirilmesi donanım tasarımı ve yazılım tasarımı olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Donanım tasarımı için öncelikle, sistemde kullanılacak sensörler, eyleyiciler, mikrodnetleyiciler ve haberleşme modülleri araştırılmış, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetli elektronik elemanlar kullanılması tercih edilmiştir. Seçilen elemanların saha üzerinde istenen şekilde çalışması için gerekli yazılım geliştirilmiştir. Yazılımlar derleyicide derlenmiş ve simülasyon programında simüle edilmiştir. Daha sonra kodlar mikrodnetleyiciye aktarılmış ve sistemin çalışması test edilmiştir. Test aşamasında dikkat edilen parametreler şu şekildedir;

- AD'nin ortam parlaklık değerini doğru ve eksiksiz algılaması: Algılanan ortam parlaklık değeri Luxmetre cihazıyla doğrulanmıştır.
- AD'nin ortam sıcaklık ve nem değerini doğru ve eksiksiz algılaması: Algılanan sıcaklık ve nem değeri çok fonksiyonlu ölçüm cihazı ile doğrulanmıştır.
- AD'nin elde ettiği verilerin KD'ye doğru ve eksiksiz iletimi: AD'nin elde ettiği veriler KD'ye iletimi, her iki düğüm de bilgisayar seri portuna bağlanarak kontrol edilmiştir.
- KD'nin gönderdiği verilerin ED'ye doğru ve eksiksiz iletimi: KD'nin elde ettiği verilerin ED'e iletimi, her iki düğüm de bilgisayar seri portuna bağlanarak kontrol edilmiştir.
- ED'nin aldığı veriler ile eyleyicileri kontrol etmesi: ED'nin aldığı verilere göre eyleyiciye sinyal göndermesi, avometre ile kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır.
- KD'nin yada MD'nin bilgisayar ortamına ve İnternet sunucusuna aktardığı verilerin tam ve eksiksiz olması: KD'nin yada MD'nin bilgisayar ortamına aktardığı verilerin doğruluğu seri port ekranıyla kontrol edilmiştir.

Ortam sıcaklığı ve nemi, aydınlatma seviyesi ile ilgili fiziksel büyüklükleri ölçmek üzere AD'ler kullanılmıştır. Sıcaklık ve nem durumunu takip eden AD üzerinde sıcaklık ve nem sensörü, aydınlatma seviyesini belirleyen AD üzerinde ise parlaklık sensörü bulunmaktadır.

AD'ler tarafından alınan ölçüm değerleri ortak terminal görevi üstlenen KD'ye gönderilir. Kullanıcı tarafından belirlenen ayar değerleri ve alınan ölçüm değerleri KD üzerinde karşılaştırılır. Gerçek ve istenen değerler arasındaki farktan kaynaklanan hata değeri, izin verilen tolerans eşiğini aştığında KD tarafından gönderilen kontrol sinyalleri ile ilgili ED harekete geçirilir. Bina aydınlatma ve iklimlendirme kontrol sistemi kapalı döngü blok diyagramı şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Önerilen sistem kapalı döngü blok diyagramı

Önerilen sistem modelinde iklimlendirme ve aydınlatma olmak üzere iki temel kontrol üzerine odaklanılmıştır. Sistem içinde iklimlendirme ve aydınlatma kontrolleri birbirlerinden bağımsız iki farklı problem olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla sisteme iklimlendirme ve aydınlatma kontrolü gerçekleştirecek eyleyiciler eklenecek şekilde tasarım yapılmıştır. Eyleyici olarak iklimlendirme kontrolü için fan motoru, ısıtma ve soğutma ünitesi, aydınlatma kontrolü için RGB LED şerit sürücü kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen sistemde ED ile bağlantılı eyleyici cihazlar, bina içinde dağıtılmış AD ile bağlantılı sensörler tarafından sahadan toplanan veriler değerlendirilerek kontrol edilmektedir. İklimlendirme için kontrol edilen parametreler fan hızı ve sistem çalışma modudur. Ortam sıcaklık ve nem miktarı gibi giriş parametreleri gözetlenerek fan motorları hız değerleri maksimum devir sayısına göre belirli bir yüzde oranında artırılıp azaltılmıştır. Bina içi sıcaklık değeri ve kapalı ortamdaki nem miktarı, kullanıcının istemiş olduğu aralıkta değil ise, çalışma modu ısıtma veya soğutma gerçekleştirilecek şekilde ayarlanır.

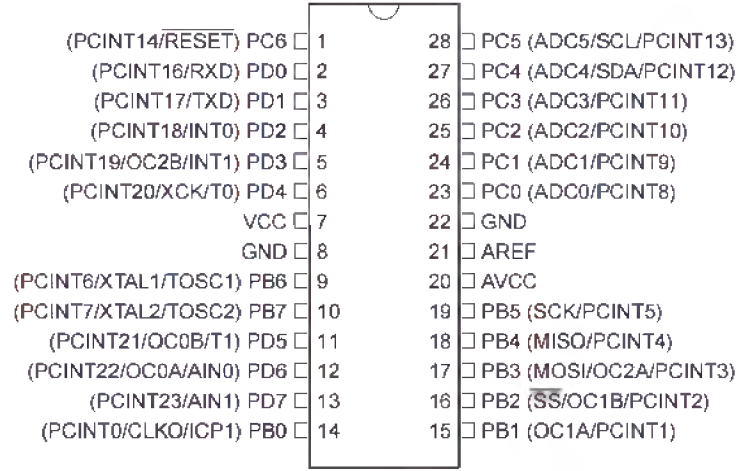
Aydınlatma için kontrol edilen parametreler ise ortam parlaklığıdır. Ortam aydınlık seviyesi gözetlenerek aydınlatma armatürlerini kontrol eden sürücüler kontrol edilmiş ve kullanıcının istediği parlaklık değeri ayarlanmıştır.

İstenilen kontrol fonksiyonlarının gerçekleştirilebilmesi için mikrodenetleyici devresi, sıcaklık sensörü, nem sensörü ve parlaklık sensörü, dokunmatik ekran ve haberleşme modülleri gibi donanımlara ihtiyaç duyulmuştur.

4.2. Kullanılan Donanımların Seçimi

4.2.1. Mikrodenetleyici Geliştirme Kartı

Bu çalışmada prototip geliştirilirken geliştirme kartları kullanılmış ve testler bittikten sonra kart tasarımı yapılmıştır. Sistem içinde gömülü kontrol birimi görevini üstlenmek üzere Atmel firmasının ATmega 328 ve ATmega 2560 mikrodenetleyicileri seçilmiştir. Atmel AVR ailesinin üyeleri olan bu iki mikrodenetleyici hızlı çalışmaları amacıyla RISC (reduced instruction set computing) komut mimarisinde tasarlanmıştır.

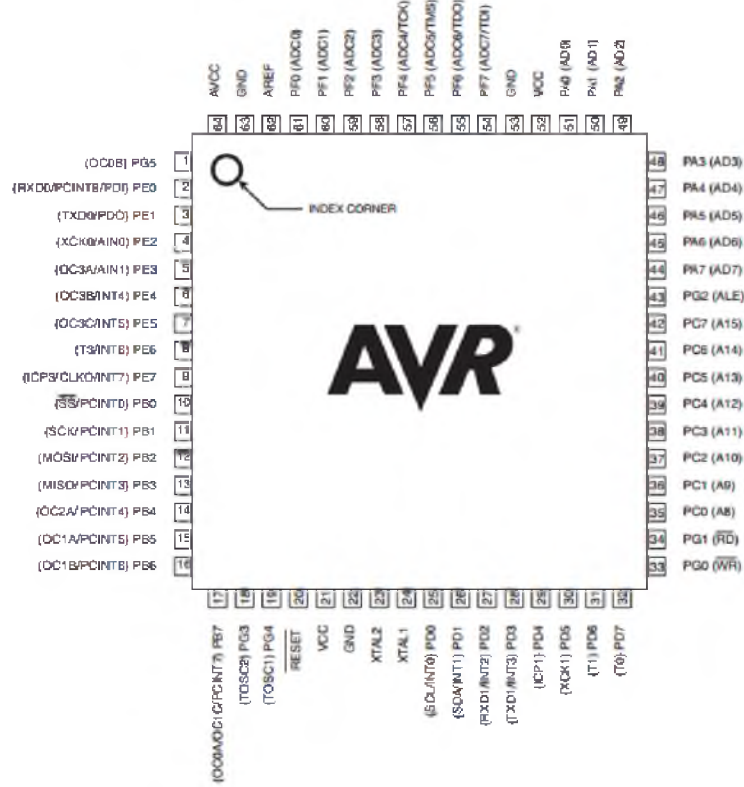


Şekil 4.3. ATmega 328 pin görünüş şeması

ED'ler üzerinde kullanılan ATmega 328 mikrodenetleyicisi Şekil 4.3'te gösterilmiş olup özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Yüksek performans, düşük güç tüketimi,
- RISC komut seti,
- 32 x 8 genel amaçlı çalışan yazmaçlar (registers),
- 20 Mhz çalışma frekansı,
- 32 KB programlanabilir flash program belleği,
- 1 KB EEPROM,
- 2 KB dahili SRAM,
- Master/ Slave SPI arayüz,
- 6 PWM kanalı,
- 6 kanal 10 bit çözünürlüklü ADC,
- Analog karşılaştırıcı,
- Programlanabilir Watchdog zamanlayıcı,
- 100.000 defa program hafızasına silme/yazmaya izin verme,
- 2-tel arayüzü,

- Kesmeler,
- 23 programlanabilir giriş-çıkış pini,
- 1.8 V-5.5 V çalışma gerilimi.



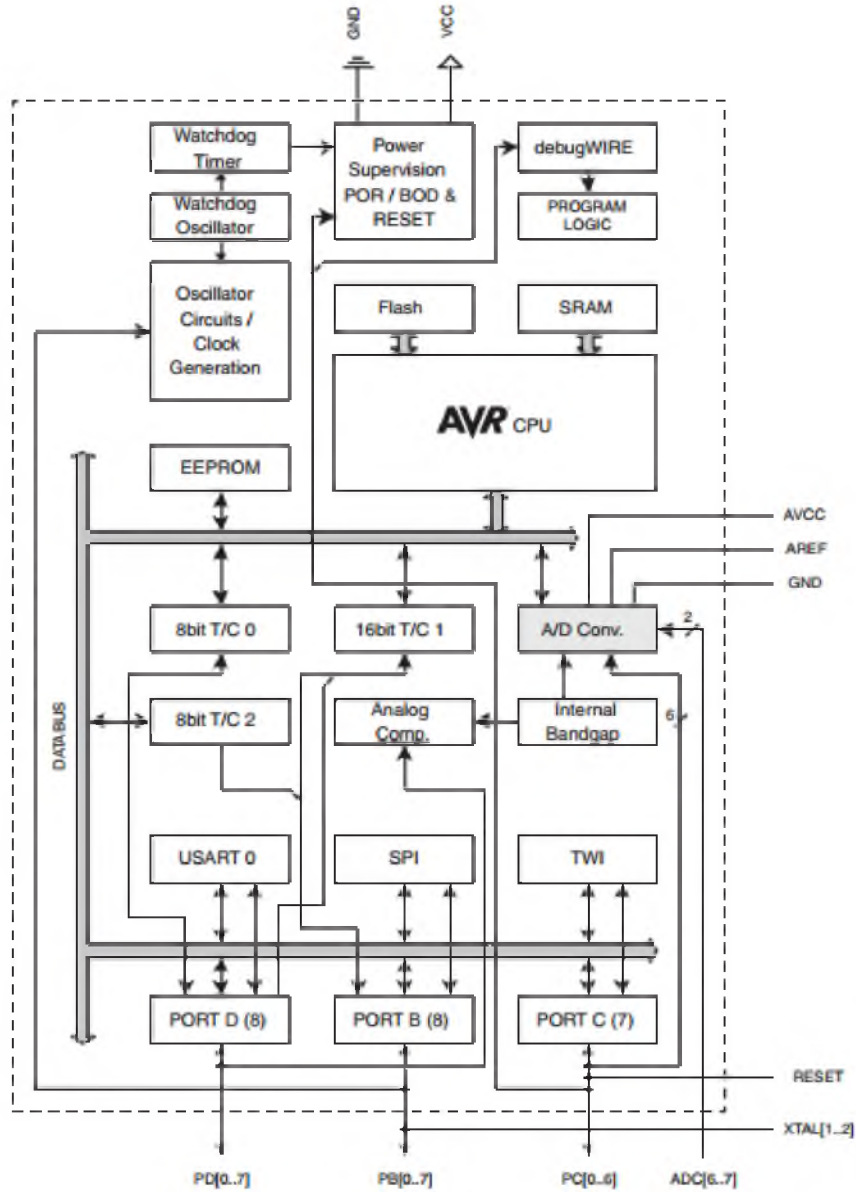
Şekil 4.4. ATmega 2560 pin görünüş şeması

AD'ler üzerinde kullanılan ATmega 2560 mikrodenetleyicisi Şekil 4.4'te gösterilmiş olup özellikleri aşağıda verilmiştir;

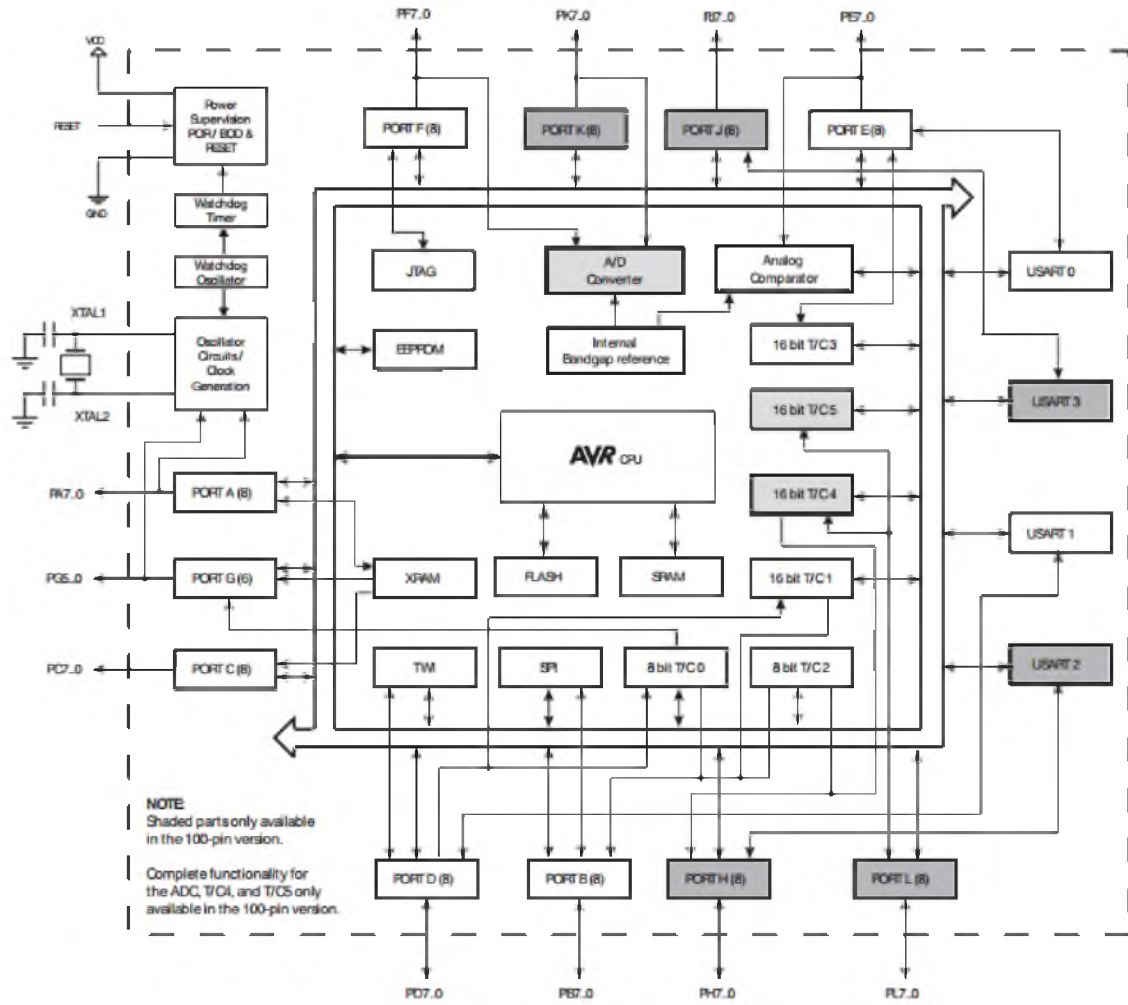
- Yüksek performans, düşük güç tüketimi,
- RISC komut seti,
- 32 x 8 genel amaçlı çalışan yazmaçlar (registers),
- 16 MHz çalışma frekansı,
- 256 KB programlanabilir flash program belleği,
- 4 Kbytes EEPROM,
- 8 Kbytes dahili SRAM,
- Master/ Slave SPI arayüz,
- 12 PWM kanalı,
- 16 kanal 10 bit çözünürlüklü ADC,
- Analog karşılaştırıcı,
- Programlanabilir Watchdog zamanlayıcı,
- 100.000 defa program hafızasına silme/yazmaya izin verme,
- 2-tel arayüzü,

- 6 adet uyku modu
- Kesmeler,
- 86 programlanabilir giriş-çıkış pini,
- Çok düşük enerji tüketimi (aktif mod: 1MHz, 1.8V: 500 μ A – uyku modu: 0.1 μ A at 1.8V).

Kullanılan ATmega 328 ve ATmega 2560 mikrodeneleyicilerin blok diyagramları sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir (Atmel Datasheet, 2014; Atmel Datasheet, 2015).

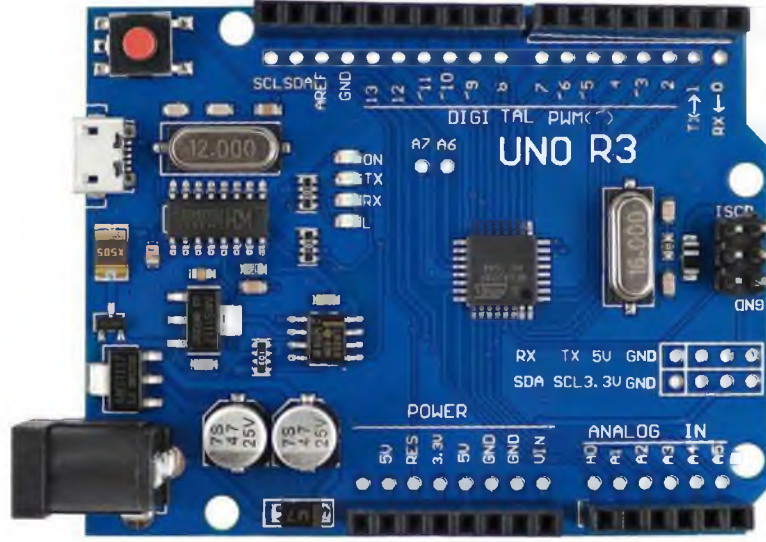


Şekil 4.5. ATmega 328 blok diyagramı



Şekil 4.6. ATmega 2560 blok diyagramı

Bu tez çalışması ile geliştirilen KAEA tabanlı bina kontrol sisteminin saha testlerinin gerçekleştirilmesi sürecinde AD ve ED prototip modelleri oluşturulurken üzerlerinde ATmega 328 ve ATmega 2560 mikrodenetleyicisi bulunduran Arduino UNO Rev3 ve Arduino Mega 2560 geliştirme kartları kullanılmıştır. Bu kartlar, dünya üzerinde kullanımı en yaygın olan gömülü sistem geliştirme platformu olup, Arduino UNO Rev3 ve Arduino Mega 2560 görselleri sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Arduino UNO geliştirme kartı görseli.

Arduino UNO geliştirme kartı özellikleri şu şekildedir;

- 14 Dijital giriş çıkış pini,
- 6 PWM pini,
- 16 MHz dahili osilatör,
- 6 analog giriş,
- ICSP pinleri,
- Adaptör güç bağlantı pini,
- Reset butonu,
- USB bağlantısı,
- Tx/Rx pinleri,
- 5 V DC ve 3.3 V DC çalışma gerilimi.



Şekil 4.8. Arduino Mega 2560 geliştirme kartı görseli.

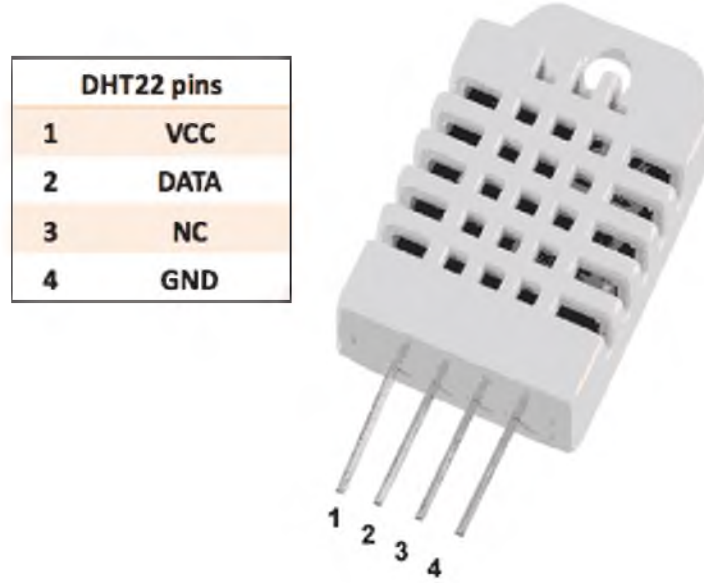
Arduino Mega geliştirme kartı özellikleri şu şekilde sıralanmıştır;

- 54 Dijital giriş çıkış pini,
- 15 PWM pini,
- 16 MHz dahili osilatör,
- 16 analog giriş,
- ICSP pinleri,
- Adaptör güç bağlantı pini,
- Reset butonu,
- USB bağlantısı,
- 4 adet Tx/Rx pinleri,
- 5 V DC ve 3.3 V DC gerilim,
- Aşırı akım koruması.

4.2.2. Sıcaklık ve Nem Sensörü

Ortamdaki sıcaklık ve nem değişimini algılayıp, elektriksel sinyale dönüştüren elemanlardır. Bir çok malzemenin direnç ve kapasite gibi elektriksel özelliği sıcaklık ve nem ile değişim gösterme eğilimindedir. Sıcaklık ölçümünde, germanyum ve silisyum gibi yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Sıcaklık ile germanyum ters, silisyum doğru orantılıdır. Bu maddeler ile üretilen PN birleşmeli diyotlar, sıcaklık değişimine karşı hassas olduğundan dolayı sıcaklık ve nem sensörü olarak kullanılabilir. PN diyotlarda nötr bölgeden geçen anlık akım, sıcaklığın artışı ile artmaktadır.

Bu çalışmada Şekil 4.9’da görseli verilen Aosong electronic tarafından üretilen DHT22 dijital sıcaklık ve nem sensörü kullanılmaktadır. Bu sensörün en büyük avantajları aynı anda sıcaklık ve nem değerlerini ölçebilmesi, analog sıcaklık ve nem sensörlerinden daha hassas ve kararlı çalışmasıdır. Aynı zamanda, sensör çıktısının dijital olmasından dolayı analog dijital dönüşümüne (ADC) gerek yoktur.



Şekil 4.9. DHT22 Sıcaklık ve Nem Sensörü

DHT 22 Sıcaklık ve nem sensörünün birinci pini V_{cc} bacağı olup, besleme gerilimi olan 5 V’a bağlanmıştır. İkinci pin sinyal pini olup, sıcaklık ve nem değerleri bu hattan dijital olarak okunmaktadır. Bu hat bağlantısında mikrodnetleyici pininin kararsız durumda kalmaması için Pull-up direnci denilen direnç kullanılmıştır. Sensörün dördüncü pini mikrodnetleyicinin toprak hattına bağlı olup, üçüncü pinine herhangi bağlantı yapılmamaktadır. Mikrodnetleyici ile haberleşmede tek hat haberleşme (1-Wire Communication) protokolünü kullanır. Pin bağlantılarında, güç bağlantılarının yanında (besleme gerilimi ve toprak) veri göndermek için kullanılmak üzere bir hatta daha ihtiyaç duyar (Liu, 2016).

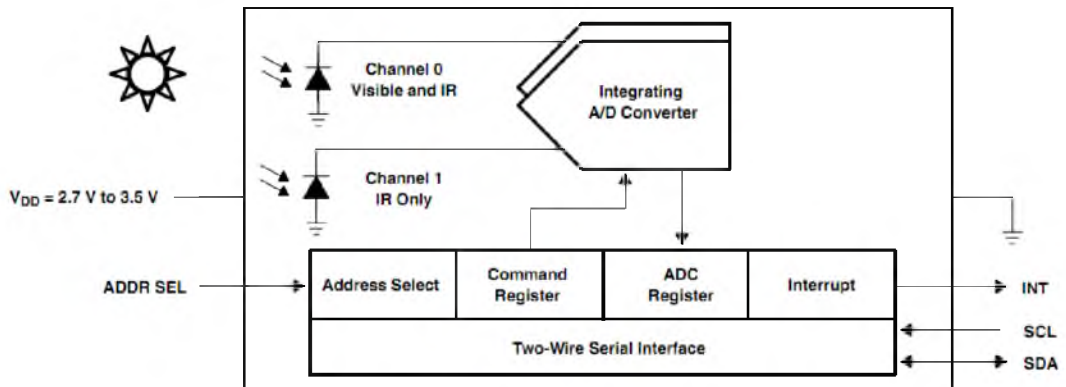
4.2.3. Parlaklık Sensörü

Bu çalışmada ortam parlaklık miktarını ölçmek için Texas Instruments firması tarafından üretilen TSL2561 parlaklık sensörü kullanılmıştır. Sensörün genel görünümü Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. TSL 2561 Parlaklık sensörü.

Parlaklık sensörleri, ışık demetleri içindeki foton değerlerini algılayabilen fotodirençlerden oluşur. Çalışma prensibine bakıldığında, ışık içindeki foton sayısı arttıkça sensör üzerindeki iç direnç azalmakta ve buna bağlı olarak çıkışa verilen sinyal artmaktadır. Şekil 4.11'de blok diyagramında da gösterildiği gibi, TSL2561 iki adet fotodirenç içermektedir. Bu dirençlerden biri sadece kızılötesi ışığı algımlarken, diğer direnç görünür ışığı da algılamaktadır.



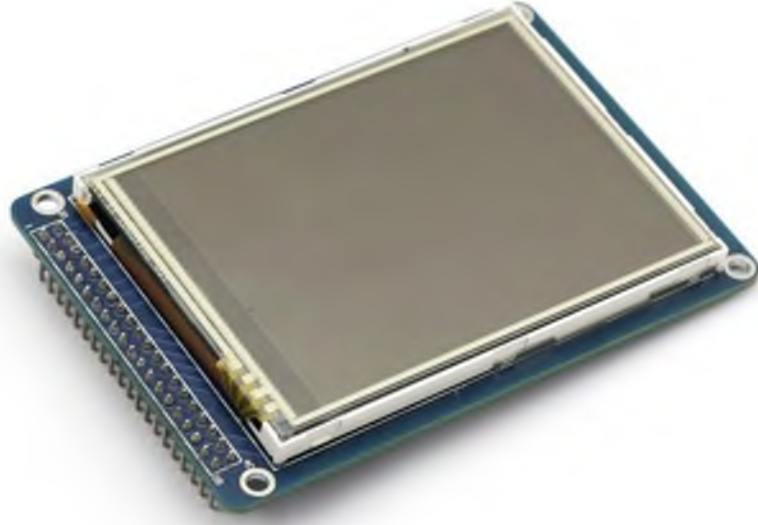
Şekil 4.11. TSL 2561 Blok diyagramı

TSL2561 parlaklık sensörü, içerdği analog dijital dönüştürücü birimi sayesinde, 16 bit dijital çıkış verebilir. Mikrodenetleyici bağlantısında herhangi bir analog dijital dönüştürücü birimi kullanımına ihtiyaç duymaz. Mikrodenetleyici ile haberleşmede I2C (Inter-Integrated Circuit) protokolünü kullanır. Pin bağlantılarında, güç bağlantılarının yanında (besleme gerilimi ve toprak) Serial Clock Line (SCL) ve Serial Data (SDA) olmak üzere 2 adet hatta daha ihtiyaç duyar. I2C protokolünde, haberleşmesi istenilen iki cihaz senkronize olmadan haberleştirilemez. I2C’de cihazlar master (usta) ve slave (çevresel birim-köle) olmak üzere ikiye ayrılır. Master birimindeki SCL hattı, göndermiş olduğu saat (clock) darbeleri ile haberleşmeyi senkronize eder. Senkronize olan cihazlar SDA hattı ile çift yönlü veri transferi yapabilirler.

TSL2561 sensörünün güç tüketimi 0,75 mW’dır. Besleme gerilimi 2,7-3,5 V arasındadır. Çıkış akımı 1-20 mA arasında olmaktadır (TSL 2561, 2009). Bu çalışmada kullanılan mikrodenetleyicinin giriş pinleri bu aralıkta olan bir sinyali algılayabildiğinden herhangi bir yükseltici devreye ihtiyaç duyulmamıştır. TSL 2561 sensörünün SCL ve SDA hattı, Arduino UNO’nun analog 4 ve analog 5 pinlerine bağlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, SCL ve SDA hattının bağlı bulunduğu pinlerin, mikroişlemciye programlama vasıtasıyla bildirilmesidir. TSL2561 parlaklık sensörünün besleme gerilimi 3.3 V olduğundan, platformun 3.3 V kaynağına bağlanmıştır.

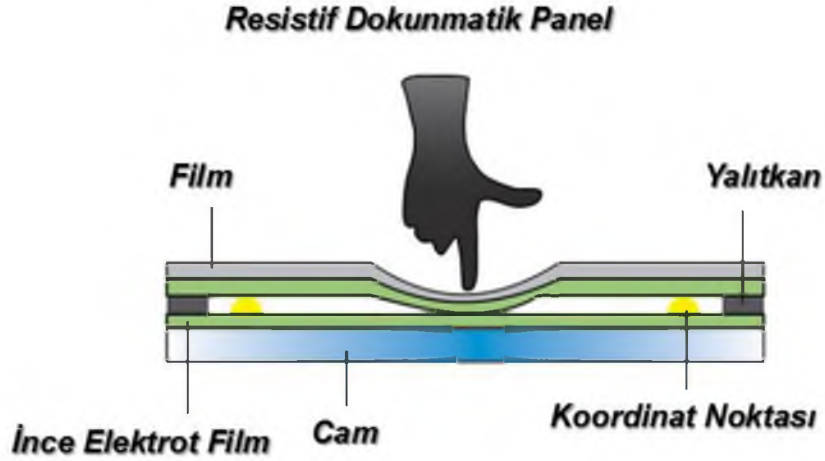
4.2.4. 3.2’ TFT Dokunmatik Ekran

Tez çalışmasında kullanıcının istediği sıcaklık, nem ve parlaklık değerlerini sisteme girebilmesi amacıyla KD’de Embedded Artist firması tarafından üretilen QVGA TFT (Thin Film Transistor Liquid Crsytal Display), Color LCD dokunmatik ekran kullanılmıştır. Sistemin giriş ve çıkış birimi gibi görev yapan TFT dokunmatik ekran, kullanıcının istediği ortam parametrelerini ayarlamasını sağlamaktadır. Ayrıca anlık ölçüm değerleri de TFT ekran ile izlenebilir. TFT ekranın genel görünümü Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 3.2" TFT ekran genel görünümü

3.2" TFT LCD diğer LCD'ler gibi ekran adından da anlaşılacağı üzere, iki cam tabakanın arası tamamen sıkıştırılmış likit kristalle doldurularak elde edilir. TFT LCD'in, diğer LCD'lerden farkı ise her bir pikselin oluşumundan sorumlu cam katmanında bir dizi transistör yapısı bulunmasıdır. Bu ince film transistörlere uygulanan gerilime göre piksele çıkış verilir. Gerilimin değeri ile pikselin rengi de değişmektedir. Kullanılan TFT ekranda 320x240 piksel bulunmaktadır. TFT ekran çıkış birimi olarak kullanıldığında, besleme hatlarının yanında, 16 adet veri hattına ve 4 bitlik kontrol hattına ihtiyaç duyar. Renk oluşumu için 16 adet veri hattı kullanılır. Kontrol hattı RS(register seçimi), W/R (okuma / yazma), CS yonga (chip seçimi) ve RST (reset) pinlerinden oluşur.



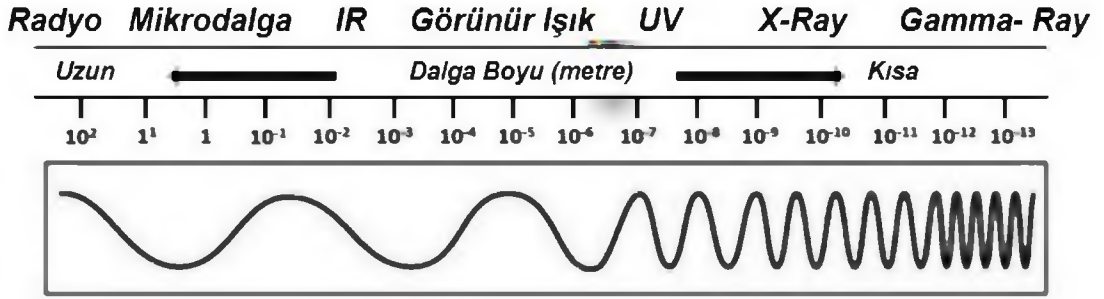
Şekil 4.13. Rezistif ekran mimarisi

Şekil 4.13’de gösterildiği gibi, kullanılan TFT ekran ayrıca rezistif ekran içermektedir. Rezistif ekranlar aralarında mesafe bulunan iki ince katmandan meydana gelmektedir. Bu iki katmanların birbirlerine dönük tarafı iletken bir madde ile kaplıdır. İki katman birbirlerine temas ettiğinde elektriksel iletim sağlanır ve dokunma işlemi elektriksel sinyale çevrilmiş olur. TFT ekranın dokunmatik kısmının kullanılması için, ekran bağlantılarına ek olarak, 5 adet dokunmatik kontrol bağlantısına ihtiyaç duyulur. Bu bağlantı uçları CLK (saat), CS (yonga seçimi), IN (giriş sinyali), OUT (çıkış sinyali) ve IRQ (kesme kontrol) pinleridir.

4.2.5. RF Haberleşme Modülü

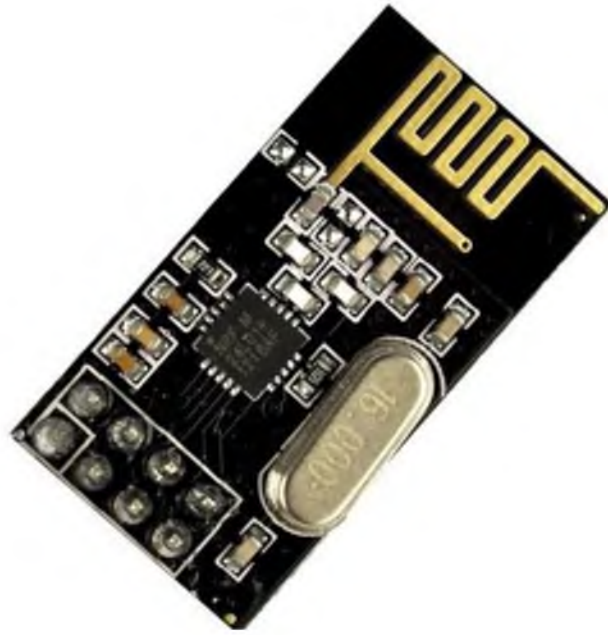
İki nokta arasında kablosuz veri transferi yapılan uygulamalarda elektromanyetik dalgalar kullanılır. Kablosuz veri iletimi için genellikle RF bandında elektromanyetik dalga yayılımı tercih edilir (Mathur ve Malik 2016). Elektromanyetik spektrum içinde RF bandı Şekil 4.14 ile gösterilmiştir.

Elektromanyetik Spektrum



Şekil 4.14. Elektromanyetik spektrum

RF haberleşme sistemlerinde frekans seçimi önemlidir. Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar daha fazla mesafe katederler. Fakat gürültülerden etkilenip bozulma ihtimalleri fazladır.



Şekil 4.15. nRF24L01 genel görünümü

Bu çalışmada düğümler arasında kablosuz veri transferi için Şekil 4.15'te genel görünümü verilen Nordic Semiconductor firmasına ait nRF24L01 RF verici alıcı modülü kullanılmıştır. nRF24L01 modülü, çalışma frekansı 2,4 Ghz'dir. Ultra düşük güç

tüketimine sahip olmasının yanında düşük maliyeti sebebiyle bina otomasyon sistemleri için uygun bir modüldür. Antensiz kullanımda açık alan haberleşmesi 20-200 metre arasında iken antenli kullanımında mesafe 250-900 metreye çıkabilmektedir. 125 farklı kanalda veri transferi gerçekleştirebilmektedir (Nordic Semiconductor, 2006).

nRF24L01 modülü SPI (Seri Çevresel Arayüz) protokolüne bağlı olarak haberleşme sağlar. SPI, dijital entegrelerin verimli bir şekilde haberleşmesi için geliştirilmiş haberleşme protokolüdür. SPI protokolü ile haberleşmenin sağlanabilmesi için SCK (saat), MISO (slave'den master'a gönderilen veri), MOSI (master'dan çevresel cihazlara gönderilen data) ve CS (yonga seçim) olmak üzere 4 adet hat gereklidir. SPI haberleşmede I2C'de olduğu gibi slavelerin (çevresel birimlerin) adresinin olmasına gerek yoktur. Master iletişime geçeceği slave'in CS hattını aktif eder ve iletişim başlar (Nordic Semiconductor, 2006).



Şekil 4.16. nRF24L01 pin diyagramı

nRF24L01 RF modülünün pin diyagramı Şekil 4.16'da verilmiştir. Modül besleme gerilimi 3.3 V'dur. Besleme geriliminde olan anlık gerilim düşümleri, modülün hatalı çalışmasına neden olmaktadır. Gerilimdeki bu dalgalanmayı önlemek adına, besleme gerilimi ve toprak arasında 10 uF kondansatör eklenmiştir. Kullanılan kondansatör, olası gerilim düşümlerini filtre etmekte ve modüle tam 3.3V sağlamaktadır. Şekil 4.17'de nRF24L01 RF modülüne ait blok diyagramı gösterilmiştir.

4.2.6. Wi-Fi Haberleşme Modülü

Bu çalışmada sistemden elde edilen verilerin internet ortamına aktarılması için Espressif System firması tarafından üretilen ESP8266 Wi-Fi modülü kullanılmıştır. Şekil 4.18’de genel görünümü verilmiştir (Espressif Semiconductor, 2017). ESP8266 modülünün kullanımı için seri port programına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Espressif System firması tarafından üretilen ESP8266 Flasher seri port programı ile Arduino IDE programı kullanılmış ve AT komutlarıyla ESP 8266 kontrol edilmiştir.



Şekil 4.18. ESP 8266 Wi-Fi modülü görünümü

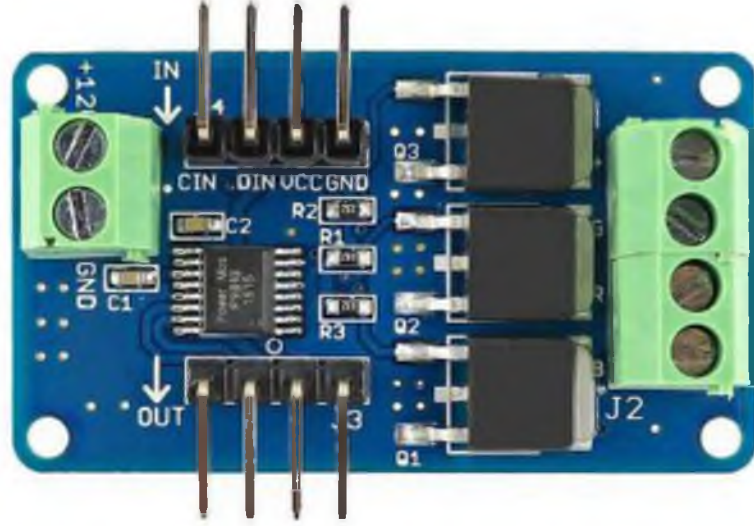
AT komutları, fax ve modem gibi cihazlarda kullanılan haberleşme standartıdır. AT komutları, ESP8266’nın kablosuz ağı taraması, kablosuz ağlara bağlanması ve bu ağlara ait isim ve parola bilgisini göndermesi sağlanabilir. Bu çalışmada ESP 8266 için AT komutları, bu komutlara ESP 8266’nın verdiği yanıtlar ve komutların kullanım amacı Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Kullanılan ESP komutları ve kullanım amacı

Kullanılan komut	ESP Yanıtı	Kullanım Amacı
AT	“OK” $\Rightarrow$ bağlantı var. “ ” $\Rightarrow$ bağlantı yok.	Modül ile var olan iletişimi kontrol etmek.
AT+CWMODE?	“1” STA modu “2” Acces Point “3” STA ve AP	Çalışma modunu teyit etmek kullanılır.
AT+CWMODE=1	“OK”	Modülü STA modunda bir kablosuz ağa bağlanmak için kullanılır.
AT+CWMODE=2	“OK”	Modülü AP modunda bir yerel ağ oluşturmak için kullanılır.
AT+CWMODE=3	“OK”	Modülü hem AP hemde STA modunda çalıştırmak için kullanılır.
AT+CWLAP	Ortamda bulunan kablosuz cihazlar listelenecektir.	Kablosuz ağların taranması için kullanılır.
AT+CWJAP=”Wi-Fi adı”,”Wi-Fisifresi”	“WIFI CONNECTED” “WIFI GOT IP” “OK”	Bir ağa bağlanmak için ağ adı ve şifresiyle beraber kullanılır.
AT+CWQAP	“OK”	Ağ ile bağlantının kesilmesi için kullanılır.
AT+CIPSERVER=1,80	“OK”	Portu 80 olan internet sunucusu kurmak.
AT+CIPSERVER=0	“OK”	Sunucu ile bağlantıyı kesmek.

4.2.7. Şerit LED Sürücü

Bu çalışmada aydınlatma armatürü olarak kullanılan Şerit LED'i kontrol etmek için Seed Studio firması tarafından üretilen Şerit LED sürücü modülü kullanılmıştır. Şekil 4.19'da sürücüye ait genel görünüm verilmiştir.



Şekil 4.19. Kullanılan Şerit LED Sürücü Modülü

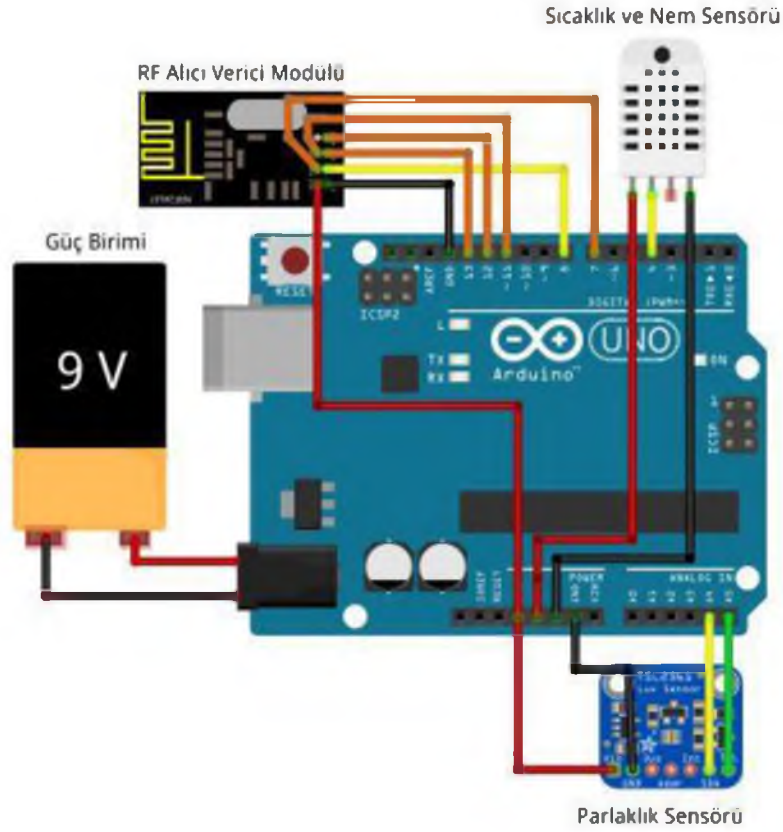
Kullanılan LED Sürücü modülü 3 adet anahtarlama N kanal Mosfet ve kondansatörlerden oluşmaktadır. Harici güç girişi 12 V DC olan modül, 72 Watt'a kadar çıkış verebilmektedir. Şerit Led Sürücü devresine ait elektronik şema EK-15'te ek olarak verilmiştir.

4.3. Donanım Tasarımı

Gerçekleştirilen bina kontrol sisteminde görev yapan algılayıcı, eyleyici, kontrol ve merkezi düğümler için donanım tasarımları bu bölümde açıklanmıştır.

4.3.1. Algılayıcı Düğüm Donanım Tasarımı

Sistemin gerçekleştirilmesi için tüm çevre parametrelerini ölçüp kontrol düğümüne iletecek bir düğüm tasarlanmıştır. Şekil 4.20'de gösterildiği gibi, algılayıcı düğüm, geliştirme kartı, RF haberleşme modülü, sıcaklık, nem ve parlaklık sensöründen oluşmaktadır.



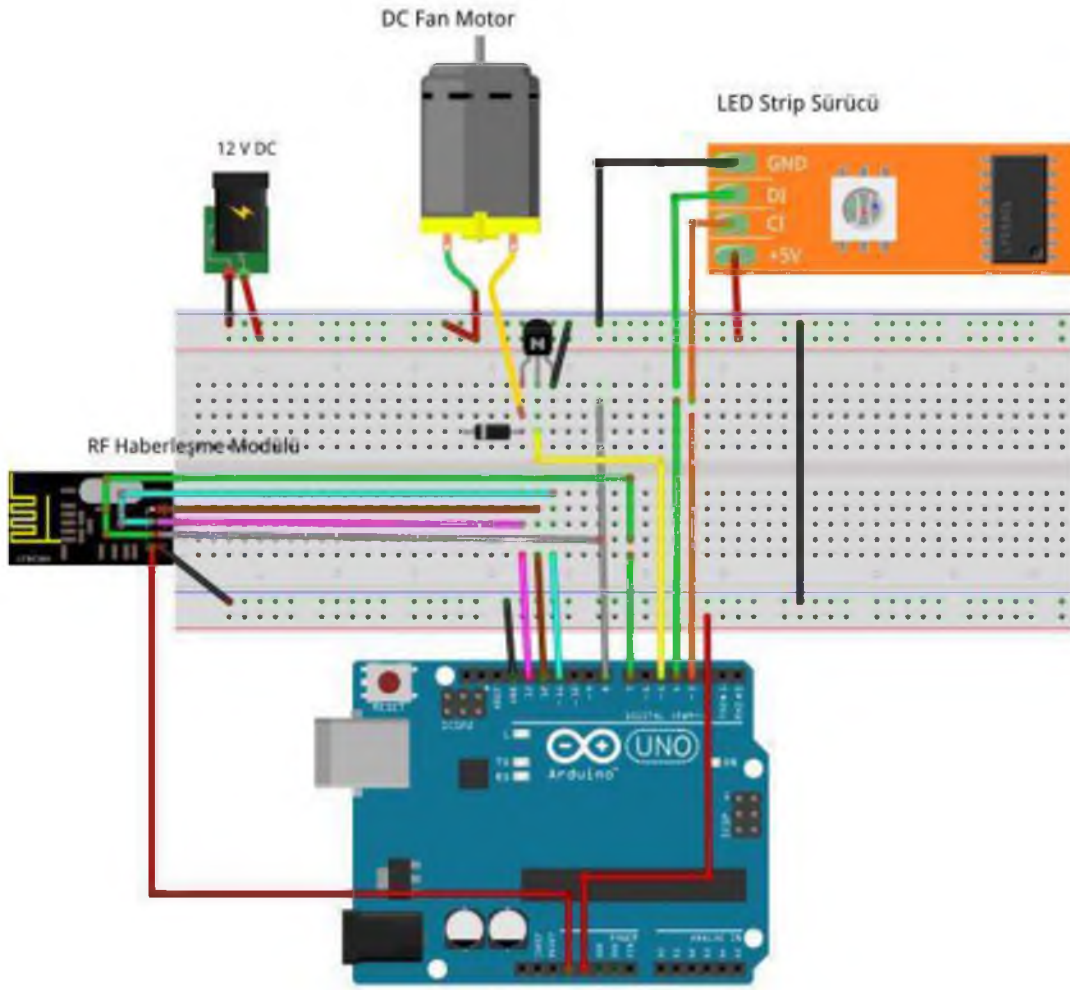
Şekil 4.20. Algılayıcı Düğüm Uygulama Devresi

AD ve ED prototip tasarımları gerçekleştirildikten sonra sistem kurulum maliyetini düşürmek ve sensör mikrodenetleyici bağlantılarında kullanılan kabloları ortadan kaldırmak için baskı devre (PCB) üzerinde düğüm tasarımları yapılmıştır. Tasarlanan kartın üzerinde mikrodenetleyici, 16 MHz kristal, kondansatör, direnç, sensör pinleri, haberleşme modül pinleri ve programlama soketi bulunmaktadır. Mikrodenetleyici ve sensörlerin çalışma gerilimleri için 5 V ve 3.3 V voltaj regülatörü kullanılmıştır.

Sistemin genişletilmesi olasılığı da düşünülerek kart üzerinde analog/dijital giriş ve çıkış imkânları sunulmuş boşta olan pinlerin bacakları da pin şeklinde çizilmiştir. Baskı devre tasarımında Fritzing PCB çizim programından faydalanılmıştır. Tasarlanan devrenin açık şeması EK 5'te, baskı devre şemaları EK 6 ve EK 7'de, yerleşim planı ve kart üzerindeki elektronik ekipman bilgileri ise EK 8'de verilmiştir.

4.3.2. Eyleyici Düğüm Donanım Tasarımı

Sistemin gerçekleştirilmesi için kontrol düğümünden aldığı veriler doğrultusunda, ortam koşullarının istenen aralıktaki kontrol edilmesi için eyleyici düğüm devresi tasarlanmıştır. şekil 4.21’de gösterildiği gibi, ED geliştirme kartı, RF haberleşme modülü, fan, fan sürücü devresi, şerit LED ve LED sürücü devresinden oluşmaktadır.

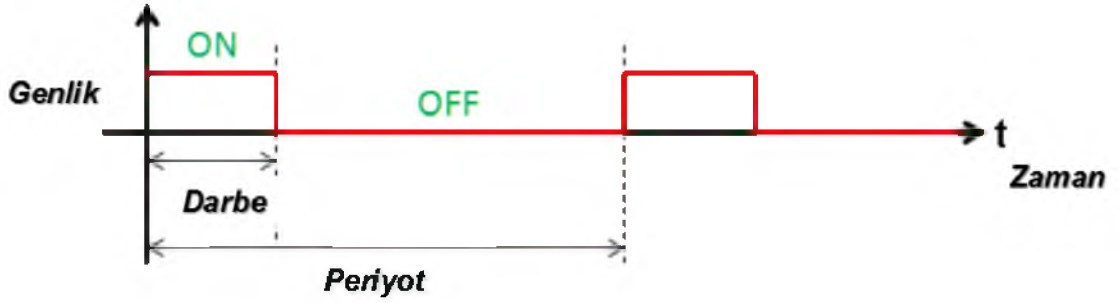


şekil 4.21. Eyleyici Düğüm Uygulama Devresi

Sistem geliştirilirken havalandırma için kullanılan fan motorlarına model teşkil edebilecek bir adet bilgisayar fanı kullanılmıştır. Kullanılan fan motorlarının besleme gerilimleri DC 12 volt ve devreden çektikleri tam yük akımı ise 0,5 amperdir. Fan motorunun hızını ayarlamak için basit bir sürücü devresi tasarlanmıştır. Sürücü devresinde direnç, NPN transistör (BD139) ve diyot bulunmaktadır. Fan kontrolü için gerekli anahtarlama NPN transistör kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Direnç ise, mikrodeneleyici pini ile NPN transistörü tetiklemek için gereken akım değerini sabit bir

değerde tutmak için kullanılmaktadır. NPN transistör kapandığında fan üzerinde oluşan ters gerilimin kısa devre edilmesi içinde, fana paralel olarak diyot bağlantısı yapılmıştır. Fan motorunun hız kontrolü için PWM (Darbe genişliği modülasyonu) kullanılmıştır. PWM üretilecek olan darbelerin genişliklerini kontrol ederek çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değerin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir. Analog devrelerin sayısal bir çıkışla kontrol edilmesini sağlamaktadır. Şekil 4.22’de gösterilen darbenin genişliğinin bulunması için aşağıdaki ifade kullanılır;

$$\text{Darbe Genişliği} = \frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}}$$



Şekil 4.22. PWM kontrol işareti.

Açık süresinin (T_{on}) sürenin artması darbe genişliğini de arttıracak, darbe genişliğinin artması çıkışa verilen gerilimin ortalama değerini arttıracaktır. T_{on} süresinin %100 olması ile elde edilen maksimum gerilim V ise, PWM uygulanan birimin çıkış gerilimi aşağıdaki ifade ile bulunur;

$$\text{Çıkış gerilimi} = \frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}} \times V$$

Tasarlanan ED devresinin açık şeması EK 1’de, baskı devre şemaları EK 2 ve EK 3’de, yerleşim planı ve kart üzerindeki elektronik ekipman bilgileri ise EK 4’de verilmiştir.

4.3.3. Kontrol Düğüm Donanım Tasarımı

Kontrol düğüm, mikrodenetleyici platformu, RF haberleşme modülü, ve 3,2” TFT dokunmatik ekrandan oluşmaktadır. Bu düğüm, kullanıcının arzu ettiği ortam koşullarını ayarlayabildiği ve sistem parametrelerini takip edebildiği bir giriş çıkış birimi gibi

düşünülebilir. Kontrol düğümü algılayıcılardan gelen verilere göre eyleyicilere komut bilgisi gönderen ağ koordinatörüdür. Kullanıcı aynı zamanda hangi eyleyici düğümün, hangi algılayıcı düğümün verilerine göre kontrol edilmesini de belirler. Kullanıcı dokunmatik paneli kullanarak sisteme manuel olarak müdahale edebilir eyleyici düğümü seçip, istediği eyleyiciyi açıp kapatabilir (Şekil 4.23). Kontrol düğümü aynı zamanda sisteme ait verileri, bilgisayar ortamında kaydedilmesi için merkez düğümüne gönderir. Tasarlanan KD devresinin açık şeması EK 8’de verilmiştir.

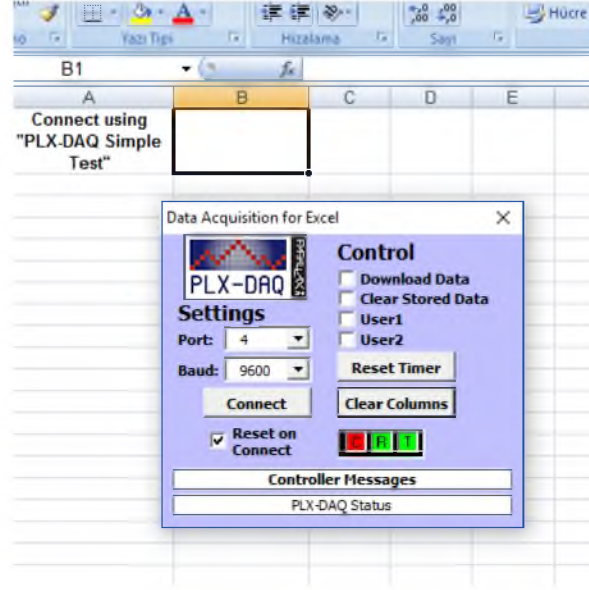


Şekil 4.23. Kontrol düğüm uygulama devresi

4.3.4. Merkez Düğüm Donanım Tasarımı

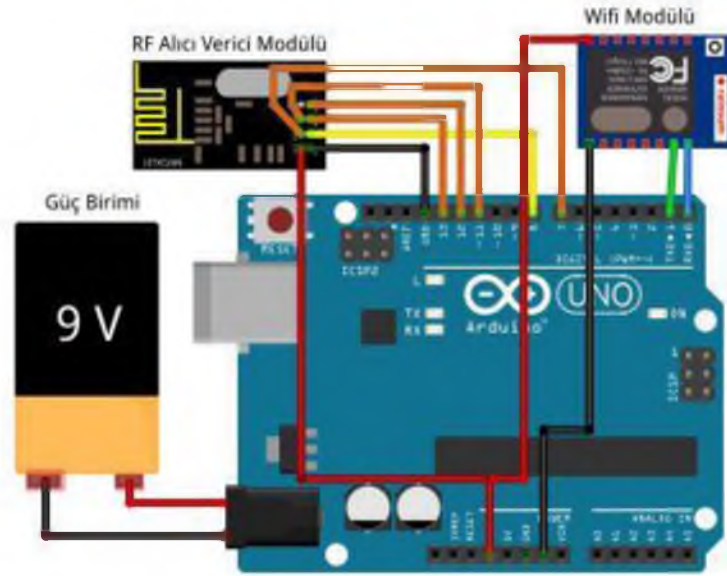
Merkez düğüm, mikrodenetleyici platformu, RF haberleşme modülü ve Wi-Fi modülünden oluşmaktadır. Merkez düğümün tek görevi, kontrol düğümünden gelen verileri elektronik ortamda otomatik olarak kaydetmektir. Bu çalışmada, veri kaydetme işlemi iki farklı senaryo düşünülerek tasarlanmış ve seçim kullanıcıya bırakılmıştır.

Birinci senaryo da, sistemin internet ortamına bağlı olmama durumu üzerinde durulmuş, kontrol düğümünden gelen veriler bilgisayar ortamında Microsoft Office Excel programına kaydedilmiştir. Bu senaryo da herhangi bir internet bağlantısı olmayacağından merkez düğümde Wi-Fi modülünün kullanılmasına gerek yoktur. Bilgisayarın USB portuna bağlı olan merkez düğüm, bir seri port veri aktarım programı vasıtasıyla excele veri kaydı işlemini gerçekleştirilir. Bu çalışmada seri port veri aktarım programı olarak Şekil 4.24’de görseli verilen PLX-DAQ programı kullanılmıştır.



Şekil 4.24. PLX-DAQ programı arayüzü

Sade bir arayüze sahip olan PLX-DAQ programı, bilgisayarın usb portuna bağlı mikrodnetleyicilerden Excele veri kaydı yapmak için kullanılmaktadır. Mikrodnetleyicinin bağlı bulunduğu port seçilip, seri porta veri gönderme hızı ayarlandıktan sonra veri transferi başlatılmaktadır.



Şekil 4.25. Merkez düğüm uygulama devresi

Veri kaydı için üzerinde durulan bir diğer senaryo ise, sistemin internete bağlanabilmesidir. Bu durumda merkez düğümde Şekil 4.25'deki gibi Wi-Fi modülü bulunmalıdır. İkinci senaryoda kontrol düğümünden gelen veriler direk seri port

aracılığıyla Wi-Fi modülüne iletilmektedir. Wi-Fi modülü, ortam parametrelerini her beş saniyede sunucuya kaydetmektedir. Kullanıcı, sunucuya kaydedilen verilere, internet aracılığıyla, <http://www.mrme.net/alperen/> adresini kullanarak, dünyanın her yerinden erişebilmektedir.

Ayrıca internetin olduğu ikinci senaryo için merkez düğümün kullanılmasına gerek yoktur. Kontrol düğüm, merkez düğüm gibi hareket edebilir, verileri direk Wi-Fi modülü aracılığıyla internet sunucusuna gönderebilmektedir. Bu sebepten dolayı, merkez düğüm ve kontrol düğüm kartlarında donanımsal olarak fark yoktur.

4.4. Sistem Paket Gönderimi

Bu çalışmada periyodik gönderim modeli kullanılmıştır. Periyodik gönderim modelinde algılayıcı düğümlerden veri iletimi her 5 saniyede bir gerçekleştirilmiştir. Periyodik gönderim modeli sonuçları fiziksel ortamdaki tüm değişikliklerin gözlenmesini sağlamıştır.

4.5. Sistem Haberleşme Protokolü

Bu çalışmada, nRF24L01 RF verici/alıcı modülleri kullanılarak yıldız topoloji üzerinde standart olmayan bir haberleşme protokolü oluşturulmuştur. Kullanılan protokolün temel hedefi, KAEA tabanlı BKS uygulamalarında düğümler arası veri transferi için harcanan enerjiyi minimize etmektir. Çizelge 7’de gösterildiği gibi, kullanılan protokol fiziksel katman ve MAC katmanı olarak ikiye ayrılmıştır.

Çizelge 7. Protokol Açıklaması

Fiziksel Katman	Mikrodenetleyici Geliştirme Kartı
	NRF24L01 Kartı
MAC Katmanı	CSMA/CA
	ACK
	Kanal Değiştirme

Tez çalışmasında kullanılan düğümler için alıcı, verici ve uyku modu olmak üzere 3 farklı mod tanımlanmıştır. Çizelge 8’de düğümlerin çalışma modları verilmiştir.

Çizelge 8. Kullanılan düğümler ve çalışma modları

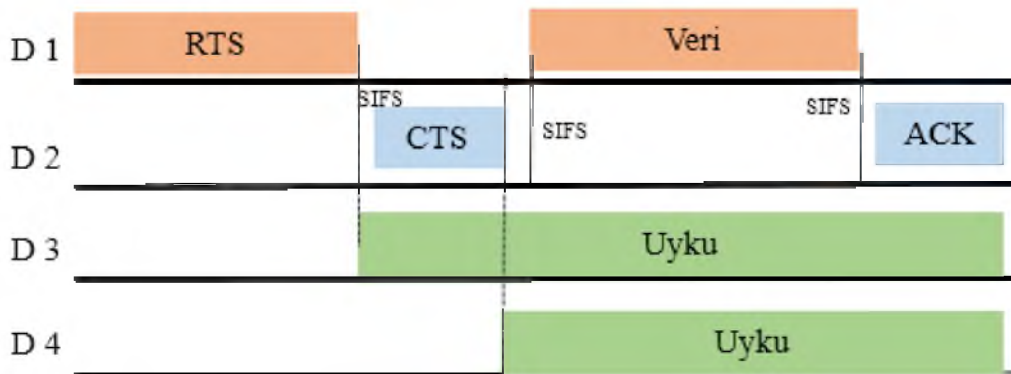
Düğüm Adı	Alıcı	Verici	Uyku
Algılayıcı Düğüm		✓	✓
Eyleyici Düğüm	✓		
Kontrol Düğüm	✓	✓	
Merkez Düğüm	✓		

AD'ler verici ve uyku modunda çalışmakta iken, ED'ler ve MD'ler sadece alıcı modda çalışmaktadır. KD ise AD ile iletişim halinde iken alıcı modunda, ED ve MD ile iletişim halinde iken verici modunda çalışmaktadır. KD AD'ler, ED'ler ve MD ile haberleşmek için üç ayrı kanal kullanmaktadır. Düğümler arası veri iletiminin sağlanması için kullanılan haberleşme kanalları Çizelge 9'da verilmiştir.

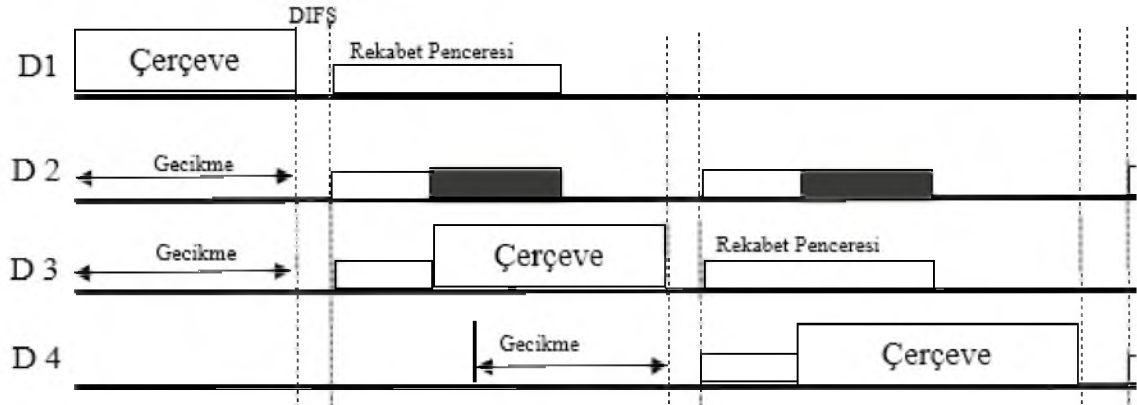
Çizelge 9. Düğümler arası veri iletimi için kullanılan kanallar

Veri İletimi	Kanal Adresi
KD-AD	0x7878787878
KD-ED	0xB3B4B5B6F1
KD-MD	0xE7E7E7E7E7

Düğümlerin kanal erişimleri ve paket gönderimleri ise Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterildiği üzere CSMA/CA tekniğiyle kontrol edilmiştir. Verici modundaki düğüm alıcı durumdaki düğüme RTS sinyali gönderilerek alıcı düğümün müsait olup olmadığını sorgular. Alıcı düğüm müsait ise CTS sinyali gönderir ve düğümler arası veri transferi başlatılır. Veri transferi tamamlandıktan sonra alıcıdan vericiye doğru ACK sinyali gönderilir.

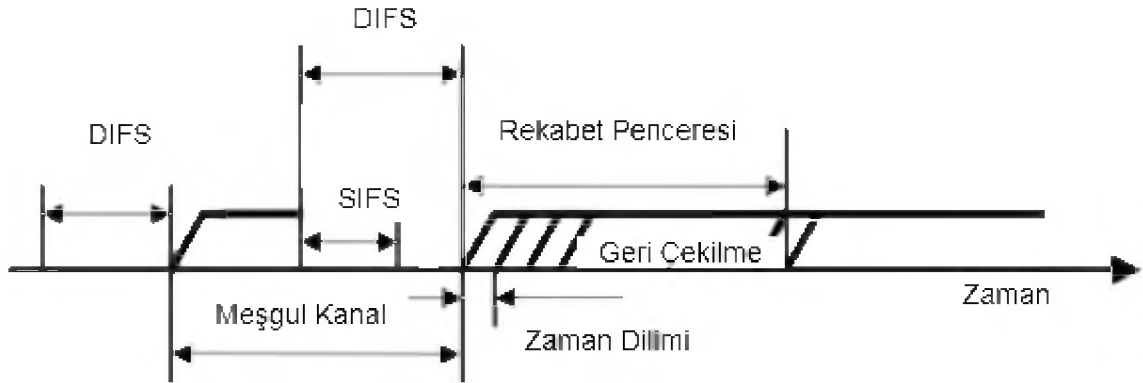


Şekil 4.26. CSMA/CA Haberleşme protokolünde dinlenme



Şekil 4.27. CSMA /CA protokolü

Şekil 4.28’de gösterildiği üzere, düğümler kanal erişimi için rekabete girerler. Rekabet sonucunda alıcı düğümden CTS sinyalini alan düğüm veri iletimine başlar. Aynı anda diğer düğümler kanal meşgul olduğu için haberleşmeyi belirli bir süre geciktirirler. Bu süre sonunda kanalı tekrar dinlerler ve kanal haberleşmeye hazır ise yeni bir rekabet süreci başlar.



Şekil 4.28. CSMA/CA Protokolünde Kanal Erişimi

ACK (Alındı Onayı) alıcı tarafından sinyalin alındığını teyit eder. NRF24L01 RF haberleşme modülünde otomatik ACK modülü vardır. Verici veri gönderdikten sonra alıcıdan ACK sinyalini bekler, ACK sinyali gelene kadar alıcıya paket göndermeye devam eder.

nRF24L01 RF haberleşme modülü 125 farklı kanalda yayın yapabilmektedir. Bu çalışmada AD-KD, ED-KD ve KD-MD arası veri transferi için 3 farklı kanal kullanılmıştır. AD’ler, ED’ler ve MD tek bir kanalda çalışmaktadır. KD ise haberleşeceği düğüme göre 3 farklı kanalda çalışmaktadır.

KD'lerin uyku modunda çalışan düğümlerle verimli bir şekilde iletişim kurabilmesi için düğümlerin uyku sürelerinin ve KD'nin bir kanalda aktif kalma süresinin ayarlanması gerekmektedir. KD'nin kanalda aktif kalma süresi (KDKAKS) ve düğümlerin uyku süreleri için şu fonksiyon tanımlanmıştır ;

$$KDKAKS = \sum_0^{ADSayı+EDsayısı+1} AD \text{ uyku süresi}$$

KD'nin diğer düğümler ile verimli bir şekilde haberleşebilmesi için gereken minimum KDKAKS değeri yukarıdaki fonksiyon ile hesaplanmaktadır. AD uyku süresi algılayıcı düğümlerin önceden belirlenmiş uyku sürelerini belirtmektedir. Bu fonksiyon sayesinde elde edilen değer ile bir haberleşme iterasyonunda her düğüm en az bir kez KD ile iletişim kurabilmektedir.

4.6. Sistem Haberleşme Paket Yapıları

Düğümler arası haberleşmenin düzenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için ortam fiziksel koşulları ve eyleyici parametrelerinden oluşan veri yapılarının ayarlanması önem teşkil etmektedir. Gönderilen veri yapısının alıcı tarafından önceden bilinmesi gelen verinin içeriğinin daha verimli bir şekilde yorumlanmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan herhangi bir kanalı birden çok düğüm kullanmaktadır. Birden çok düğümün aynı kanalı kullanarak aynı anda haberleşmeye çalışması çarpışma probleminin oluşmasına neden olabilir. İletilen düğüm verilerinin doğruluğunu test etmek amaçlı CTS fonksiyonu tanımlanmıştır. Verici modunda çalışan düğüm ileteceği veriyi kanala iletmeden fonksiyona sokmakta ve fonksiyon sonucunu paket yapısının sonuna eklemektedir. Alıcı düğüme kendisine gelen verileri aynı fonksiyonda çalıştırmakta elde ettiği sonucu gelen fonksiyon sonucu ile karşılaştırmaktadır. Aşağıdaki formülde gösterildiği üzere, CTS fonksiyonu iletilen verilerin toplamının ileten düğümün ID'si ile çarpımının sistem şifresine bölümü şeklinde tanımlanmıştır.

$$CTS \text{ Fonksiyonu} = \frac{\text{Düğüm ID} \times (\sum \text{iletilen veriler})}{\text{Şifre}}$$

Bu çalışmada, veriler teker teker değil grup olarak yapı (structure) halinde gönderilmiştir. Çizelge 10'da algılayıcı düğüm-kontrol düğüm, Çizelge 11'de kontrol

düğüm-eyleyici düğüm, Çizelge 12’de kontrol düğüm-merkez düğüm ve Çizelge 13’de merkez düğüm-sunucu arası veri yapı içerikleri verilmiştir.

Çizelge 10. Algılayıcı düğüm-Kontrol düğüm veri yapısı

Algılayıcı Düğüm ID	Şifre	Ortam sıcaklık değeri	Ortam nem değeri	Ortam parlaklık değeri	Test fonksiyon sonucu
------------------------	-------	-----------------------------	---------------------	---------------------------	-----------------------------

Çizelge 11. Kontrol düğüm- Eyleyici düğüm veri yapısı

Eyleyici Düğüm ID	Şifre	Fan PWM değeri	LED PWM değeri	Test fonksiyon sonucu
----------------------	-------	----------------	----------------	-----------------------------

Çizelge 12. Kontrol düğüm- Merkez düğüm veri yapısı

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

1. veri	Kontrol Düğüm ID
2.veri	Şifre
3.veri	Algılayıcı 1 sıcaklık değeri
4.veri	Algılayıcı 1 nem değeri
5.veri	Algılayıcı 1 parlaklık değeri
6.veri	Algılayıcı 2 sıcaklık değeri
7.veri	Algılayıcı 2 nem değeri
8.veri	Algılayıcı 2 parlaklık değeri
9.veri	Eyleyici 1 LED PWM değeri
10.veri	Eyleyici 1 Fan PWM değeri
12.veri	Eyleyici 2 LED PWM değeri
13.veri	Eyleyici 2 Fan PWM değeri
14. veri	Test fonksiyon sonucu

Çizelge 13. Merkez düğüm- Sunucu veri yapısı

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

1. veri	Bölge ID
2.veri	Algılayıcı ID
3.veri	Sıcaklık değeri
4.veri	Nem değeri
5.veri	Parlaklık değeri
6.veri	Eyleyici fan PWM değeri
7.veri	Eyleyici LED PWM değeri
8. veri	Test fonksiyon sonucu

Çizelge 10, Çizelge 11, Çizelge 12 ve Çizelge 13’de verilen yapılar, tez çalışmasında gerçekleştirilmiş düğümlerin veri paket yapılarıdır. Veri paketleri, kullanılan algılayıcılar, eyleyiciler ve kontrol düğüm sayısına göre değişiklik göstermektedir. Düğüm sayıları, sensörler ve eyleyiciler arttıkça veri paketi karmaşıklaşacak, veri paket içeriğindeki veri sayısı da artacaktır.

4.7. Bilgisayar Ortamında Kaydedilen Sistem Verileri

Sistemin internete bağlı olmamasının durumunda sistem verilerin kayıt işlemi bölüm 4.3.4’te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Microsoft Office Excel programına kaydedilen veriler Çizelge 14’de verilmiştir. Bu veriler bir günlük üniversite binası öğretim elemanı odasından alınan ölçüm sonuçlarını içermektedir. Bu verilerin elde edilmesi için iki adet algılayıcı düğüm kullanılmıştır. Düğüm 1 çalışma masasının tam üstüne, düğüm 2 ise cam kenarına yerleştirilmiş ve beş saniyede veri aktarmıştır. Alınan verilerin sayısının 65000’i geçmesi excele veri kaydını durduracağından dolayı, veri kaydı için süre daha da azaltılmıştır. Excele yazılan makro kod sayesinde her yarım saatte (bilgisayar saatine göre) veri kaydı gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 14. Microsoft Office Excel programına kaydedilen veriler

Computer Time	Parola	Sensor Node 1 Temp °C	Sensor Node 1 Hum (%)	Sensor Node 1 Lum (Lux)	Sensor Node 2 Temp °C	Sensor Node 2 Hum (%)	Sensor Node 2 Lum (Lux)
10:14:42	304	27	47	530	29	39	533
10:44:42	304	27	43	517	27	35	527
11:14:42	304	26	45	420	26	33	527
11:44:42	304	26	35	342	28	35	561
12:14:42	304	26	39	366	28	32	598
12:44:42	304	26	33	352	26	29	651
13:14:42	304	26	34	347	24	31	667

13:44:42	304	26	36	370	24	39	400
14:14:42	304	26	36	333	21	36	337
14:44:42	304	26	40	351	21	49	355
15:14:42	304	22	24	291	19	54	310
15:44:42	304	22	26	198	21	51	209
16:14:42	304	22	25	259	22	47	303
16:44:42	304	22	23	257	17	44	301
17:14:42	304	22	27	242	17	44	303
17:44:42	304	22	27	173	17	37	254
18:14:42	304	22	23	102	13	36	207
18:44:42	304	22	23	102	11	33	194
19:14:42	304	22	27	60	11	27	83
19:44:42	304	21	21	35	9	36	54
20:14:42	304	21	21	3	7	33	17
20:44:42	304	21	22	4	7	29	6
21:14:42	304	21	29	5	7	31	8
21:44:42	304	21	29	7	7	29	7

4.8. İnternet Ortamında Kaydedilen Sistem Verileri

İnternete bağlı sistem senaryosunda, sistem verilerin kayıt işlemi Bölüm 4.3.4’te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Merkez düğümünden sunucuya iletilen veriler her beş saniyede bir İnternet sitesine kaydedilmektedir. İnternet sitesine kaydedilen verilere ait örnek görsel Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Kullanıcı bu verileri internet sitesini kullanarak word, excel, csv ve pdf formata çevirip depolayabilir veya doğrudan direk internet sitesinden çıktı alabilmektedir. Kullanıcı sistem verilerini, spesifik saat ve gün olarak aratabilir ve sıralayabilmektedir.

Alperen Otomasyon Sistemi

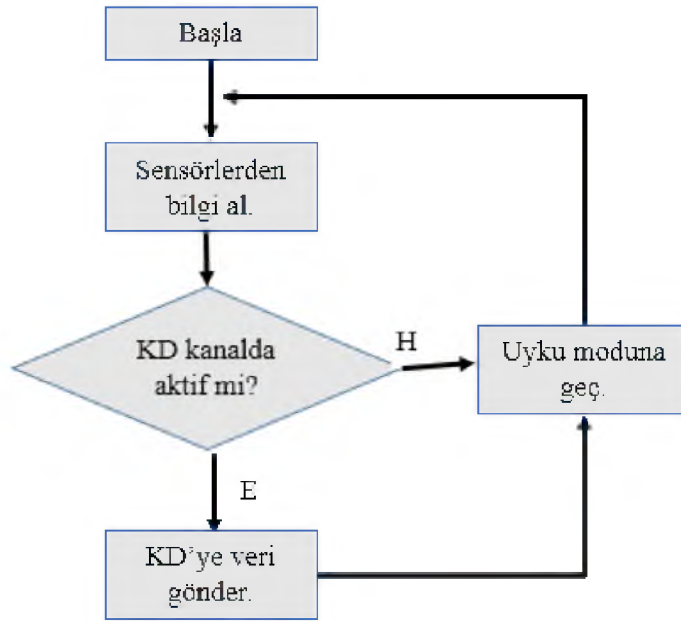
Show 10 entries Export Search:

Bolge No	Tarih	Saat	Unix Time	ID	Sıcaklık	Nem	Parlaklık	Fan	LED
1	2017-05-24	16:00:10	1495639025000	1	23	52	21	0	0
1	2017-05-24	16:00:14	1495639029000	1	24	52	21	0	0
1	2017-05-24	16:00:20	1495639035000	1	24	52	21	0	0
1	2017-05-24	16:00:25	1495639040000	1	24	52	22	0	0
1	2017-05-24	16:00:30	1495639045000	1	24	52	20	0	0
1	2017-05-24	16:00:35	1495639050000	1	24	52	20	0	0
1	2017-05-24	16:00:40	1495639055000	1	24	52	20	0	0
1	2017-05-24	16:00:45	1495639060000	1	24	52	21	0	0
1	2017-05-24	16:00:51	1495639065000	1	0	0	0	0	0

Şekil 4.29. İnternet sitesine aktarılan veriler

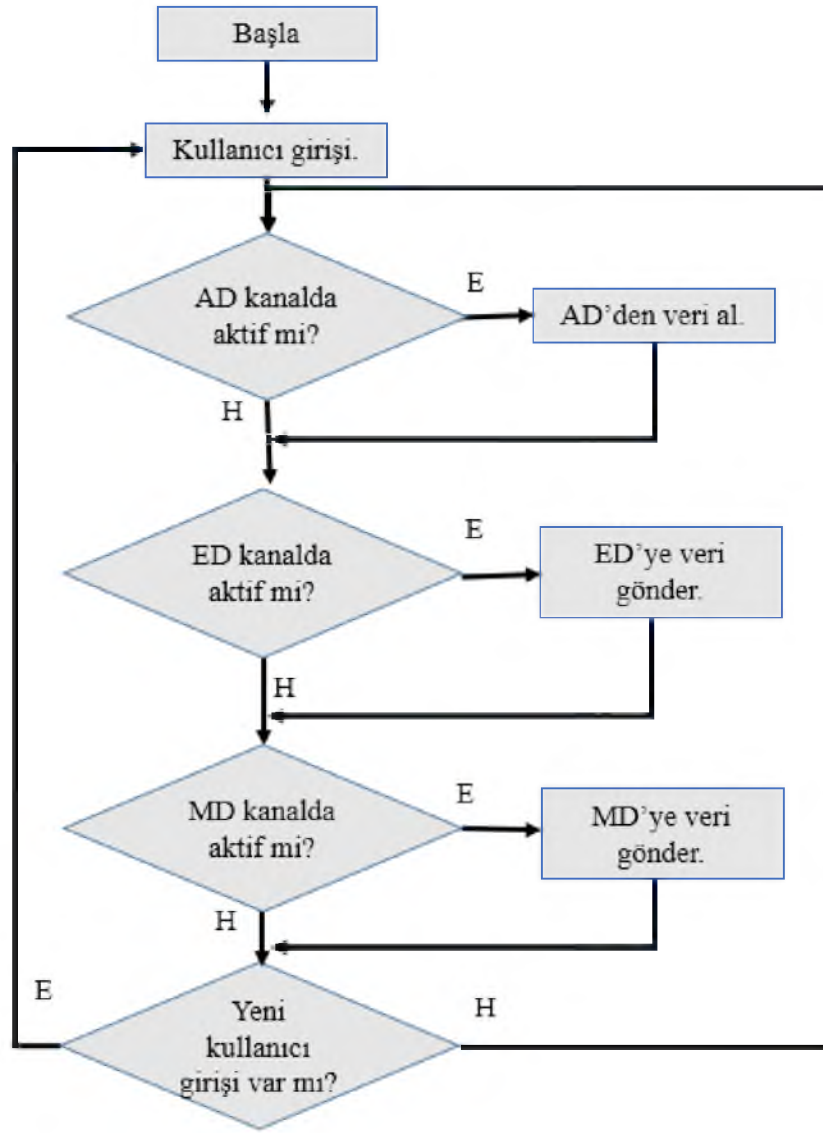
4.9. Sistem Düğümleri Akış Şemaları

Bu çalışmada iklimlendirme ve aydınlatma birimlerinin kontrolü için AD’ler, ED’ler ve KD işbirliği yapacak bir biçimde çalışmaktadır. AD’lerin akış şeması Şekil 4.30’da gösterilmiştir. AD ilk olarak sensörlerden sıcaklık, nem ve parlaklık bilgisini almaktadır. KD’ye veri göndermeden KD’nin kanalda aktif olup olmama durumu kontrol edilir. KD aynı kanalda aktif ise gönderilecek paket yapısı hazırlanır ve kanala iletilir. KD kanalda değilse uyku moduna geçerek haberleşme ertelenir. Bir süre uyku modunda beklenildikten sonra sensörler tekrar kontrol edilerek işlem başa döner.

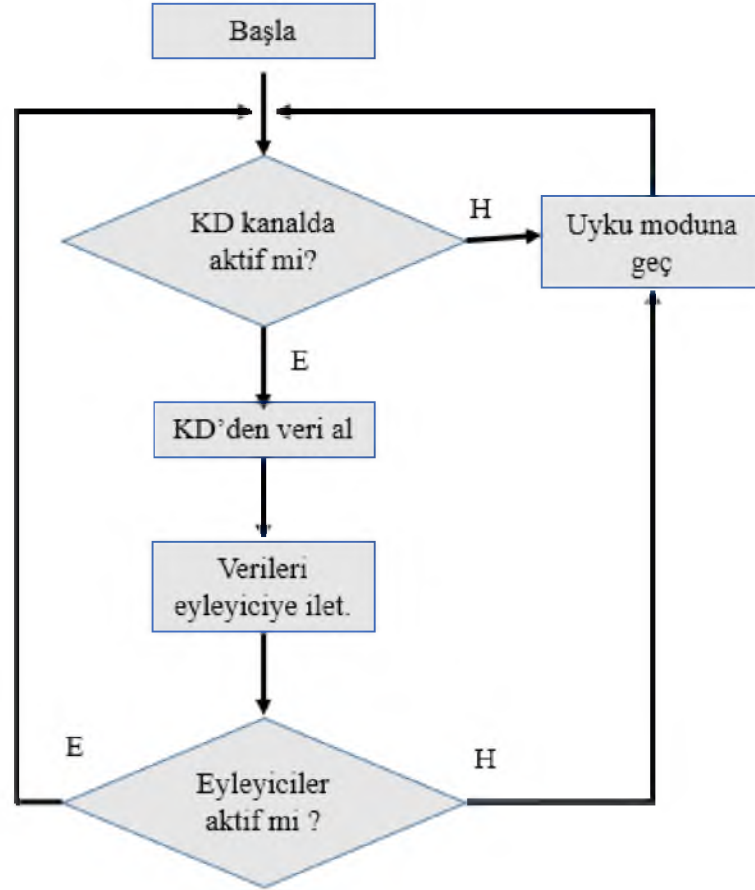


Şekil 4.30. AD çalışma akış şeması

Şekil 4.31’de KD çalışma şeması gösterilmiştir. KD ilk olarak kullanıcıdan kullanıcı ayar değerlerini almaktadır. Kullanıcı ayar değerlerini girmediği takdirde varsayılan (default) değerler kullanılmaktadır. Varsayılan değerler, oda sıcaklığı için 25 °C ve ortam aydınlık seviyesi için 350 lux’tur. Ardından haberleşme kanalı AD’ler ile aynı olacak şekilde ayarlanmakta ve kanalda AD’nin aktif olup olmadığı sorgulanmaktadır. Aktif ise AD’ler tarafından kanala iletilen fiziksel ortam parametrelerini almakta ve kullanıcı değerleri ile karşılaştırıp ED için paket yapısı oluşturmaktadır. ED ile haberleşmek için kanalı değiştirmekte ve ED’nin bu kanalda dinleme modunda hazır olup olmadığını kontrol etmektedir. Dinleme modunda olan ED’ye veri paketini göndermektedir. Veri transferinin son adımı olarak ise KD MD’ye küme çalışması hakkında rapor vermektedir.



Şekil 4.31. KD akış şeması.



Şekil 4.32. ED Akış Şeması

Şekil 4.32’de ED akış şeması gösterilmiştir. ED’ler ilk olarak KD’nin haberleşme kanalında aktif olup olmadığını kontrol etmektedirler. Aktif değilse uyku moduna geçmekte, aktif ise KD tarafından kanala iletilen verileri almaktadırlar. ED’ye gelen veriler doğrulandıktan eyleyicilere iletirler. Son olarak eyleyicilerin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir. ED’de aktif eyleyici yok ise ED uyku moduna geçerek enerji tüketimini azaltmaktadır.

4.10. Test

Algılayıcı düğüm devreleri gerçekleştirilmeden, tasarlanan sistemin çalışmasının test edilmesi amacıyla Labcenter Electronics firmasının Proteus ISIS v8.6.23525 şematik çizim ve simulasyon programı ile Arduino IDE programından faydalanılmıştır. Arduino IDE ile derlenen programların hex kodları, ISIS programındaki mikrodenetleyiciye gömülmüş ve sistem sensörlerinin yazılan kod ile çalışıp çalışmaması test edilmiştir.

4.11. Bütünleştirme

İlk etapta, algılayıcı, eyleyici ve kontrol düğümleri birbirlerinden bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Her düğümün eksikleri giderilip kararlı bir şekilde çalışması sağlandıktan sonra düğümlerin birbirleriyle koordine bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde yazılımsal ve donanımsal olarak eksiklikler giderilip sistemin düğümlerinin kooperatif bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Sistemi oluşturan kontrol düğüm, algılayıcı düğüm ve eyleyici düğüme ait görsellere EK 16, EK 17 ve EK 18’de yer verilmiştir.

4.12. Enerji Tüketimi

Bu bölümde sistemin binalarda enerji verimliliğine faydası örnek bir aydınlatma uygulaması üzerinden açıklanacaktır. Bir aydınlatma armatürünün harcadığı güç P (watt) ve aydınlatma ünitelerinin çalıştığı süre de T (saat) ile ifade edilirse; aydınlatma ünitelerinin enerji tüketimi W şu şekilde hesaplanır (Dursun, 2005);

$$W = P \times T \quad (\text{Wh})$$

Aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu için iki seçenek mevcuttur; Armatürün harcadığı gücü yada çalışma süresini azaltmak. Armatürün harcadığı güç, parlaklığı ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Sistemde kullanıcının istediği ortam aydınlatma seviyesi değerine göre armatüre verilen güç ED kontrol kontrol birimi tarafından sınırlandırılmaktadır. Kullanıcının istediği parlaklık değeri 350 lux, ortamın doğal aydınlatması 200 lux, ve kullanılan armatürlerinin 72 W olduğu durumda sistemin çalışması için aşağıdaki hesaplamalar yapılarak kontrol eylemleri üretilir; (Kullanılan armatürler tam güçte 9 m² bir oda için yaklaşık 500 lux bir aydınlatma sağlamaktadır).

$$\text{İstenen ile mevcut aydınlatma seviyesi farkı} = 350 - 200 = 150 \text{ lux}$$

Sistemin istenen aydınlık seviyesini ayarlayabilmesi için, 150 lux'lük bir aydınlatma daha sağlaması gerekmektedir. Bu 150 lux'lük aydınlatma için gereken güç şu şekilde hesaplanmaktadır (Alaa ve ark., 2014);

$$\frac{P_{tamgüç}}{Elde Edilen Aydınlatma} = \frac{P_{pwm}}{Gereken Aydınlatma}$$

$$\frac{72 W}{500 Lux} = \frac{P_{pwm}}{150 Lux}$$

$$P_{pwm} = 21,6 W$$

PWM ile sağlanacak güç 21,6 W olarak bulunur. Aydınlatma armatürlerinde harcanan güç (P), gerilim değişimi (V) ile kontrol edilmektedir. Çünkü direnç (R) değişmez, direncin değişmesi için armatürün değişmesi gerekmektedir;

$$P = \frac{V \times V}{R}$$

Tam güçte çalıştığında durumda P 72 W ve armatürün gerilimi ise 12 V'dur. Direncin sabit olduğu durumda, yukarıdaki denklem aşağıdaki gibi düzenlenip gerekli işlemler yapılırsa;

$$\frac{V_{tamgüç} \times V_{tamgüç}}{P_{tamgüç}} = \frac{V_{pwm} \times V_{pwm}}{P_{pwm}}$$

$$\frac{12 V \times 12 V}{72 W} = \frac{V_{pwm} \times V_{pwm}}{21,6 W}$$

$$V_{pwm} = 6,57 Volt$$

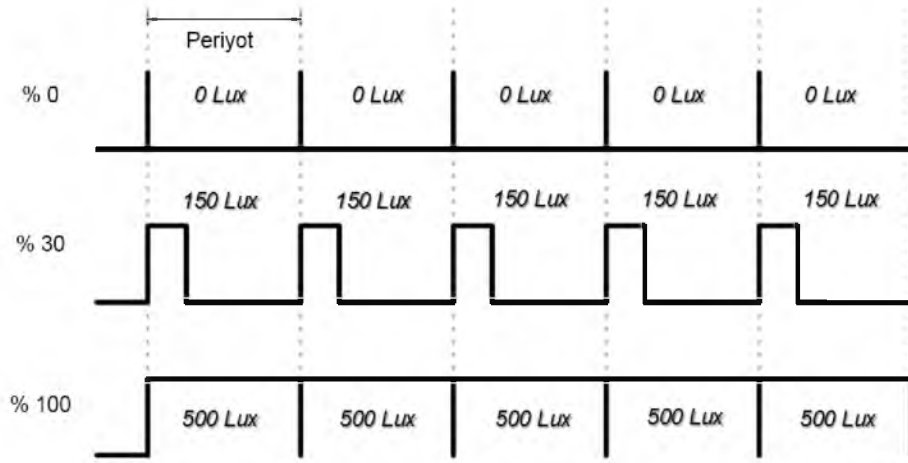
V_{pwm} değeri 6,57 Volt olarak bulunur, PWM hesabı şu şekilde yapılmaktadır; (Darbe genişliği, T_{on} ve T_{off} bölüm 4.3.2'de açıklanmıştır.)

$$V_{pwm} = \frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}} \times V_{tamgüç}$$

$$6,57 V = \frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}} \times 21,6$$

$$\frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}} = 0,30 = \text{Darbe Genişliği}$$

Yukarıdaki işlemlerin neticesinde darbe genişliği % 30 olarak bulunur. Mevcut durum parametreleri ve istenen koşullar için hesaplanan PWM sinyali şekil 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.33. Hesaplanan PWM sinyali.

Klasik aydınlatma teknikleri, armatürleri tam güçte sürmekte ve maksimum enerji tüketimine neden olmaktadır. Gerçekleştirilen sistem ile istenen aydınlık seviyesi ile mevcut aydınlık seviyesi farkı hesaplanmakta ve bu farkı gidermek için armatürlere minimum enerji verilmektedir. Sadece bu tarz bir uygulamayla yukarıda hesaplandığı üzere %30'luk bir enerji tasarrufu söz konusudur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Aydınlatma ve iklimlendirme, binalarda enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bundan dolayı binalarda enerji verimliliğini arttırmak amacıyla yapılan çalışmaların çoğu aydınlatma ve iklimlendirme odaklıdır. Verimlilik potansiyelinin bu kadar büyük olması ister istemez insanoğlunu gerekli adımları atmaya yöneltmektedir. 2000’li yıllardan sonra binalarda verimliliğin artması için pasif (yalıtım, doğal aydınlatma v.b.) verimlilik arttırıcı sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Teknolojinin gelişmesi, haberleşme teknolojisi alanında kullanılan düşük maliyetli elemanların çeşitliliğini arttırmıştır. Bu çeşitlilik binalarda enerji tüketen birimlerin kablosuz olarak otomatik takibi ve kontrolünün önünü açmıştır.

Bu çalışmada binalarda enerji verimliliği artırılması amacıyla KAEA tabanlı bina otomasyon sistemi üzerinde bir uygulama yapılmıştır. Bu çalışmada binalarda yoğun enerji tüketimine sahip aydınlatma ve iklimlendirme sistemleri hedef alınmış ve otomasyon sistemi buna göre tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen sistemin mevcut kullanılan yöntemlere göre pek çok yönden üstünlüğü bulunmaktadır;

- Şuan bu amaçla kullanılan bina kontrol sistemleri KNX tabanlı olup kablolu sistemlerdir. Kablolu sistemlerin yeni yapılan bir binaya entegre edilmesi bile oldukça zordur. Yerleştirilen sistem elemanının sonradan yerinin değiştirilmesi veya bakım işlemleri çok zahmetlidir. Gerçekleştirilen sistemin kablosuz olması, sistemin uygulanabilirliğini ve esnekliğini arttırmaktadır. Önerilen sistem herhangi bir kablolama gerektirmediğinden hem sistem maliyeti düşmekte hemde mevcut bir binaya entegrasyon işlemi daha kısa zamanda yapılabilir.
- Sistem anlık ortam koşullarını kendi içinde ayrı ayrı değerlendirerek kullanıcının belirlediği değerlere yaklaşmak için kontrol eylemleri üretmektedir. Klasik kontrol sistemlerinde hava soğuk ise ısıtıcı fan çalıştırılıp soğutma sağlanır. Tasarlanan sistemde ise öncelikle hava sıcaklığı ile istenen sıcaklık arasındaki fark belirlenir. Bu farkın fanın dönüş hızını belirlemektedir. Bu sayede ortam çok sıcak ise fanın dönüş hızı yüksek tutularak daha hızlı bir havalandırma sağlanırken, ortamın serin olması durumunda da fan hızı yavaşlatılarak tüketilen enerji miktarı düşürülecektir. Bu tip çalışma hem daha ekonomik hemde daha konforludur.

- Mevcut binalarda kullanılan aydınlatma sistemlerinde kullanıcı armatürü aç-kapa şeklinde kontrol edebilmektedir. Bu durum hem aydınlatma konforu açısından hemde enerji verimliliği açısından uygun değildir. Gerçekleştirilen sistem ile kullanıcı aynı bölgede istediği lokasyonun parlaklık seviyesini ayarlayabilmektedir. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi, aynı odada iki farklı aydınlatma alanı oluşturulabilir.



Şekil 5.1. Aynı bölgede iki farklı aydınlatma alanı

- Bir diğer önemli fark ise, aydınlatma armatürlerinin sabit bir güçte değil ortam parlaklığı ile istenen parlaklık arasındaki farka göre kontrol edilmesidir. Bu kontrol yöntemi ile istenen parlaklık düzeyi için aydınlatma armatürlerinin enerji tüketimi minimuma indirgenir.

Binalarda otomasyon sistemleri kullanımı günden güne artmaktadır. Gerçekleştirilen sistem mevcut binalarımızı teknolojik geleceğe hazırlamak için atılması gereken ilk adım olarak düşünülmelidir. Bu tez çalışmasında aydınlatma kontrolü için LED, iklimlendirme kontrolü içinde fan kontrolü gerçekleştirilmiştir. Gelecekte yapılacak eklentilerle sistemin odak noktası olan birimler arttırılabilir, mevcut binalarda daha fazla kullanılan kombi ve klimaların kontrolü sağlanabilir. Herhangi bir müdahaleye gerek kalmadan yapay zeka tabanlı kontrol uygulamaları binalarda tüketilen enerji

miktarını aşıya çekerken, konfor seviyesini de arttırılabilir. Sistemden elde edilen veriler ile binanın enerji haritası oluşturulabilir. Her on yılda bir Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından istenen BEP kimlik belgesi raporu ve büyük ölçekli binalar için her yıl istenen enerji etüd raporu için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- AB Avrupa Parlamentosu Çevre Ajansı, 2015. *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı*.
- Aboelaze, M. and Aloul, F., 2004. "Current and Future Trends in Sensor Networks: A Survey." *Second IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks. WOCN 2005*. 551–55.
- Agarwal I., Yuvrajm M., Bharathan B., Dutta S., Rajesh K. G., and Weng, T., 2011. "Duty-Cycling Buildings Aggressively: The Next Frontier in HVAC Control Categories and Subject Descriptors." 246–57.
- Aktaş, F., 2012. "Kablosuz Algılayıcı Eyleyici Ağlarla Denetim Sistemi Tasarımı." Kocaeli Üniversitesi.
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci E., 2002. "Wireless Sensor Networks: A Survey." *Computer Networks* 38(4):393–422.
- Akyildiz, Ian F. and Kasimoglu, Ismail H, 2004. "Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges." *Ad Hoc Networks* 2(4):351–67.
- Akyildiz, Ian F. and Vuran, M., 2010. "WSN-Wireless Sensor Networks" *Ad Hoc Networks*.
- Al-Anbagi, I., Kantarci, M.E., and Mouftah. H. T. 2013. "Priority- and Delay-Aware Medium Access for Wireless Sensor Networks in the Smart Grid." *IEEE Systems Journal* Early Acce:1–11.
- Alaa, S. E. H., Babiker, A., and Mustafa, A. N., 2014. "The Use of Pulse Width Modulation ' PWM ' Technique in LED Lighting Systems." 3(11):2316–20.
- Anwar, M., Yuanqing X., and Yufeng Z., 2015. "TDMA Based IEEE 802.15.4 for Low Latency Deterministic Control Applications." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 12(1):338–47.
- Atmel Data Sheet, 2014. *Atmel ATmega640 / V-1280 / V-1281 / V-2560 / V-2561 / V – Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits*.
- Atmel Data Sheet, 2015. "ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P."
- Bangali, J. and Shaligram A., 2013. "Open Access Energy Efficient Smart Home Based on Wireless Sensor Network Using LabVIEW American Journal of Engineering Research (AJER)." (12):409–13.
- Barbato, A., Luca, B., and Capone, A., 2010. "A Wireless Sensor Network Based System for Reducing Home Energy Consumption." *Energy and Buildings*.
- Bingol, O. and Tasdelen K., 2014. "Web-Based Smart Home Automation: PLC-Controlled Implementation." 11(3):51–63.

- Brooks, J., Goyal, S., Subramany, R., Lin, Y., 2015. "Experimental Evaluation of Occupancy-Based Energy-Efficient Climate Control of VAV Terminal Units Experimental Evaluation of Occupancy-Based Energy-Efficient Climate Control of VAV Terminal Units." 4731(June 2017).
- Bujdei, C. and Moraru, S. A., 2011. "Ensuring Comfort in Office Buildings Designing a KNX Monitoring and Control System." 222–29.
- Björn, B., Golasowski, F., Niedermeier, C., Vicari, N., and Wuchner, E., 2014. "A Model Based Development Approach for Building Automation Systems."
- Commission of the European Energy Communities, 2006. *Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential*.
- Crossbow, X., 2007. *XMESH User 'S Manual Revision, D*.
- Dholey, M. K., 2012. "Node-Blockage Reduction and Removal of Hidden- Terminal Problem of CSMA / CA MAC Protocol." 2–5.
- Domingues, P., Paulo, C., Vieira, R., and Kastner, W., 2016. "Building Automation Systems: Concepts and Technology Review." *Computer Standards & Interfaces* 45:1–12.
- Dursun, B., 2005. "Dahili Ortamlarda Aydınlatma Hesaplama Tekniklerinin Analizi ve Bir Uygulama Örneği." Marmara University.
- Elektrik Mühendisleri Odası, 2012. *Enerji Verimliliği Raporu 2012*. TMMOB EMO Yayınları.
- ElGholami, K., Kun-Mean, H. and Elkamoun, N., 2012. "Enhanced Superframe Structure of the IEEE802. 15. 4 Standard for Real-Time Data Transmission in Star Network." *International Journal of Computer Applications* 51(15):26–32.
- Espressif Semiconductor, 2017. *ESP8266EX Datasheet Version 5.4*.
- Fernbach, A., Wolfgang, G., and Kastner, W., 2011. "Interoperability at the Management Level of Building Automation Systems : A Case Study for BACnet and OPC UA."
- Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S., Gui, X. and Suryadevara, N., 2015. "WSN- and IOT- Based Smart Homes and Their Extension to Smart Buildings." 10350–79.
- Han, D. and Lim, J., 2010. "Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems Based on Zigbee." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 56(3):1417–25.
- Hawke, M., 2016. *Introduction to Fieldbus*. FieldCOMP Publishing.
- TSL 2561 Datasheet, Texas Instruments, 2009. "Tsl2560 Light-to-Digital Converter." 1–42.

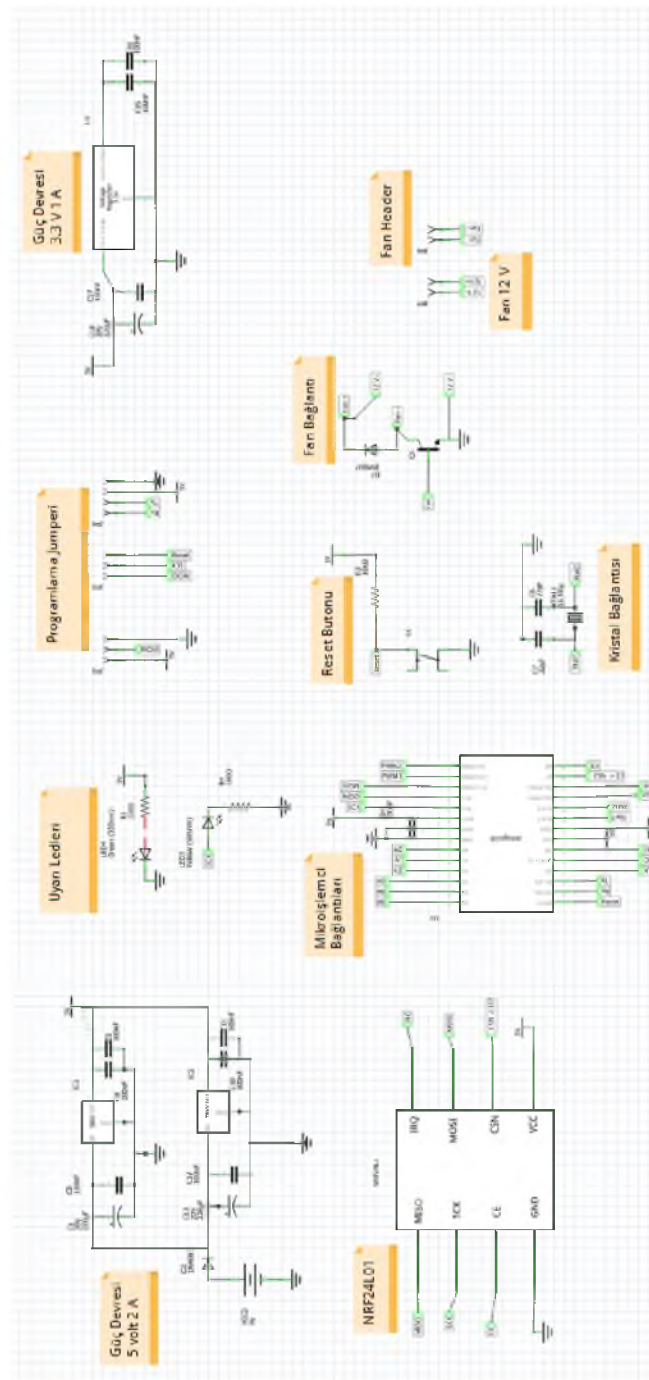
- Iwayemi, A. and Yi, P., 2010. "Intelligent Wireless Lighting Control Using Wireless Sensor and Actuator Networks : A Survey." *EJSE Special Issue: Wireless Sensor Networks and Practical Applications (2010)*.
- Izani, M. and Rawi, M., 2014. "Enabling Intelligent Wireless Sensor Networks for Passive House." 26–28.
- Kalyoncu, S., 2013. "Wireless Solutions and Authentication Mechanisms for Contiki Based Internet of Things Networks." Halmstad University, Master Thesis.
- Kastner, W., Neugschwandtner, G., Soucek, S., and Newman, H. M., 2005. "Communication Systems for Building Automation and Control." 93-99.
- Suksha, Kaur, H. P., 2014. "Home Automation and Energy Harvesting In Wireless Sensors Network." 4460–69.
- Khateeb, S., 2013. "IPv4'ten IPv6'ya Gececek Bilgisayar Ağlarının Geliştirilmesi ve IPv4 ve IPv6 Ağlarında Performans İyileştirme Çalışmaları." Ege University.
- Kıral, G. E., 2014. "Akıllı Şebekelerde Enerji Yönetimi İçin Akıllı Priz Geliştirilmesi." Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Kredo, K., Mohapatra, P. and Kredoi, K., 2007. "Medium Access Control in Wireless Sensor Networks." *Computer Networks* 51(4):961–94.
- Kumar, P., Martani, C., Morawska L. 2016. "Indoor Air Quality and Energy Management through Real-Time Sensing in Commercial Buildings." *Energy and Buildings* 111:145–53.
- Liu, T. 2016. "Digital Humidity and Temperature Sensor." *Adafruit DHTXX Sensor Datasheet*, 1–5.
- Lu, J., Sookoor, T., Srinivasan V. "The Smart Thermostat : Using Occupancy Sensors to Save Energy in Homes.", Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor System Pages 211- 214.
- Lombard, L. P., Ortiz J., Pout C., 2007 "A Review on Buildings Energy Consumption Information ", Energy and Buildings.
- Mathur, V. and Malik, V., 2016. "Wireless Communication : Data Transfer with Optimal Energy Harvesting." IEEE System Modeling Conference 2016.
- Nagarajan, S. and Ganesh, S., 2014. "Energy Efficient Zigbee Cluster-Tree Wireless Sensor Network Using Modified Distributed Algorithm.", IEEE Conference on Communications and Signal Processing 2014, 1912–16.
- Neugschwandtner, M., Georg Neugschwandtner, and Wolfgang Kastner. "Web Services in Building Automation: Mapping KNX to oBIX." IEEE 5th Industrial Informatic Conference 2007. 87–92.

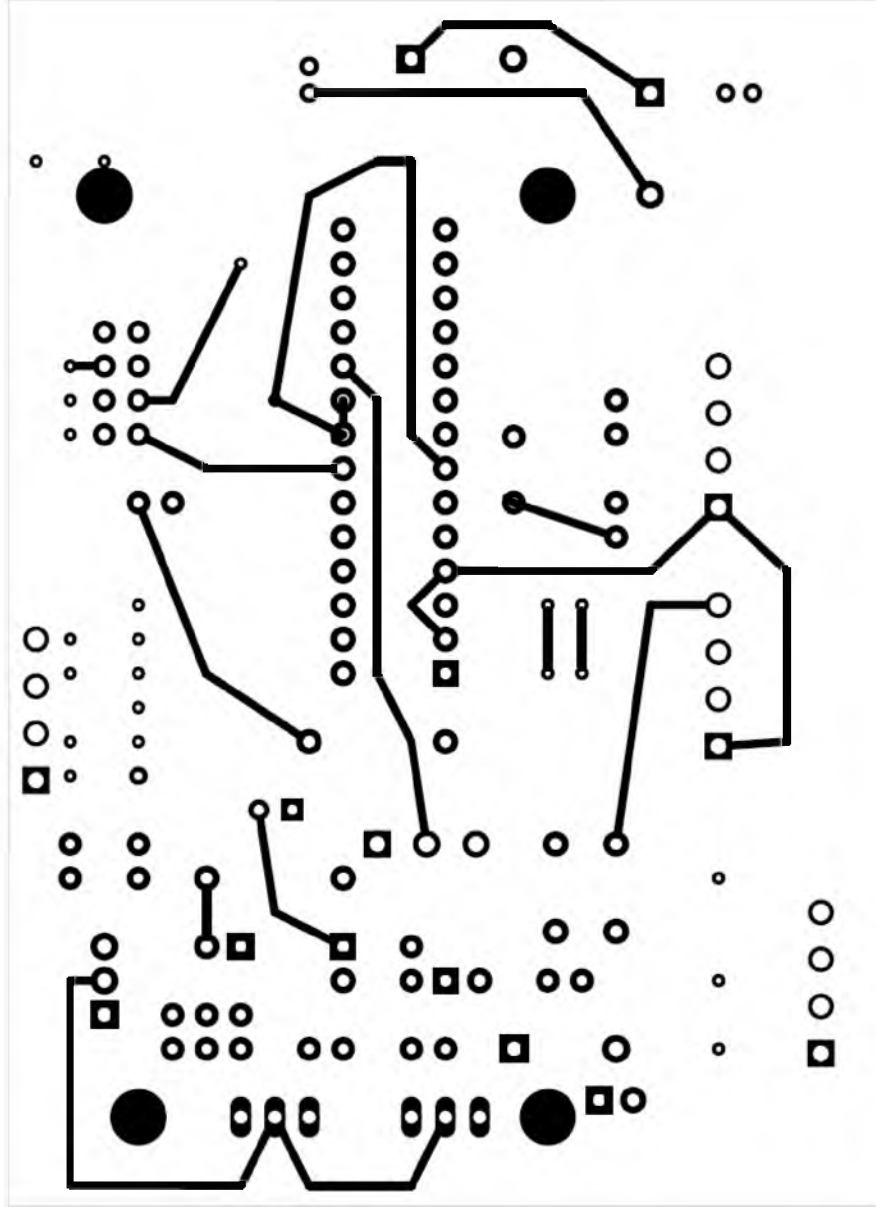
- Nordic Semiconductor, 2006. *Single Chip 2.4 GHz Transceiver nRF24L01 Data Sheet*.
- Nuşin, U., 2014. "Bilgisayar Ağ Topolojilerinde Kapasite ve Dolaşım Süresinin Simülasyon Optimizasyonu." Çukurova Üniversitesi.
- Ota, N. and Arens, E., 2017. "Sensor Networks : A Case Study For Air Conditioning In California." ASME 2008 Conference Book, 1–10.
- Pérez-Lombard, L., José, O., and Pout, C., 2008. "A Review on Buildings Energy Consumption Information." *Energy and Buildings* 40(3):394–98.
- Rathnayaka, A., Dinusha, J., and Vidyasagar M. P., 2011. "Evaluation of Wireless Home Automation Technologies." 5(June):76–81.
- Verdone R., Dardari, D., Mazzini, G., Conti, A., 2008. *Wireless Sensor and Actuator Networks Technologies, Analysis and Design*.
- Rohini, S. and Venkatasubramanian, K., 2015. "Z-Wave Based Zoning Sensor for Smart Thermostats." 8(August).
- Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., and Ibrahim, T., 2014. "A Review on Optimized Control Systems for Building Energy and Comfort Management of Smart Sustainable Buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34:409–29.
- Sharma, U. and Reddy, S. R. N., 2014. "Implementation of a WSN Based Home / Office Automation (HOA)." (3):370–76.
- Soy, H., 2013. "Kablosuz Algılayıcı Ağlar İçin Eşik Tabanlı Fırsatçı Paket Gönderim Planı Tasarımı." Selçuk Üniversitesi.
- Sun, Q., Yu, W., Kochurov, N., Hao, Q., and Hu, F., 2013. "A Multi-Agent-Based Intelligent Sensor and Actuator Network Design for Smart House and Home Automation." *Journal of Sensor and Actuator Networks* 2(3):557–88.
- Syahrani, A., Agung, G., Putri, A. A. R. P., 2014. "WSAN-Based Energy Efficient System in Building : A Monitoring and Scheduling." (November):59–64.
- Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N. B., and Heinzelman, W., 2002. "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models." *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 6(2):28–36.
- Ullah, S., Mohaisen, M. and Alnuem, M., 2013. "A Review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY and Security Specifications." *International Journal of Distributed Sensor Networks*: 17–26.
- Uluslararası Enerji Ajansı. 2013. *Bina Enerji Mevzuatının Modernleştirilmesi Politika Haritası*.

- Uros, P., Aleksandar, P., and Zarko, C., 2007. "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks." 75(October 2007):50–55.
- Wang, Q., Jaffrès-Runser, K., Xu, Y., Scharbarg, J. L., An, Z. and Fraboul, C., 2016. "TDMA versus CSMA/CA for Wireless Multi-Hop Communications: A Stochastic Worst-Case Delay Analysis." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* PP(99):1–4.
- Wu, S. and Clements, D., 2007. "Understanding the Indoor Environment through Mining Sensory Data — A Case Study." 39:1183–1191.
- Xu, M., Xu, L. M., Feng, X., Yuan, T., Qian, J., Shao, M., 2010. "Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Smart Homes." *Ubiquitous Intelligence Computing and 7th International Conference on Autonomic Trusted Computing (UIC/ATC), 2010 7th International Conference on* 2(2):1–5.
- Yakut, Ö. 2012. "Kablosuz Algılayıcı Eyleyici Ağlar İle Web Tabanlı Ortam Gözleme ve Denetim Uygulamsı." Kocaeli University.
- Yan, S. U. N., Guotao, Z. and Hong, L. U. O, 2011. "Smart Building Control Based on Wireless." *Chinese Journal of Electronics* 20(3):437–42.
- Zhang, L., Chang, T., Cui, H., Tian, X. and Wang, Z., 2015. "Multi-Agent System Design for Energy Saving in Intelligent Building." *2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)* 297–300.
- Zhurong, C., Hu, C., Liao, J., and Liu, S., 2008. "Protocol Architecture for Wireless Body Area Network Based on nRF24L01." *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics* (September):3050–54.

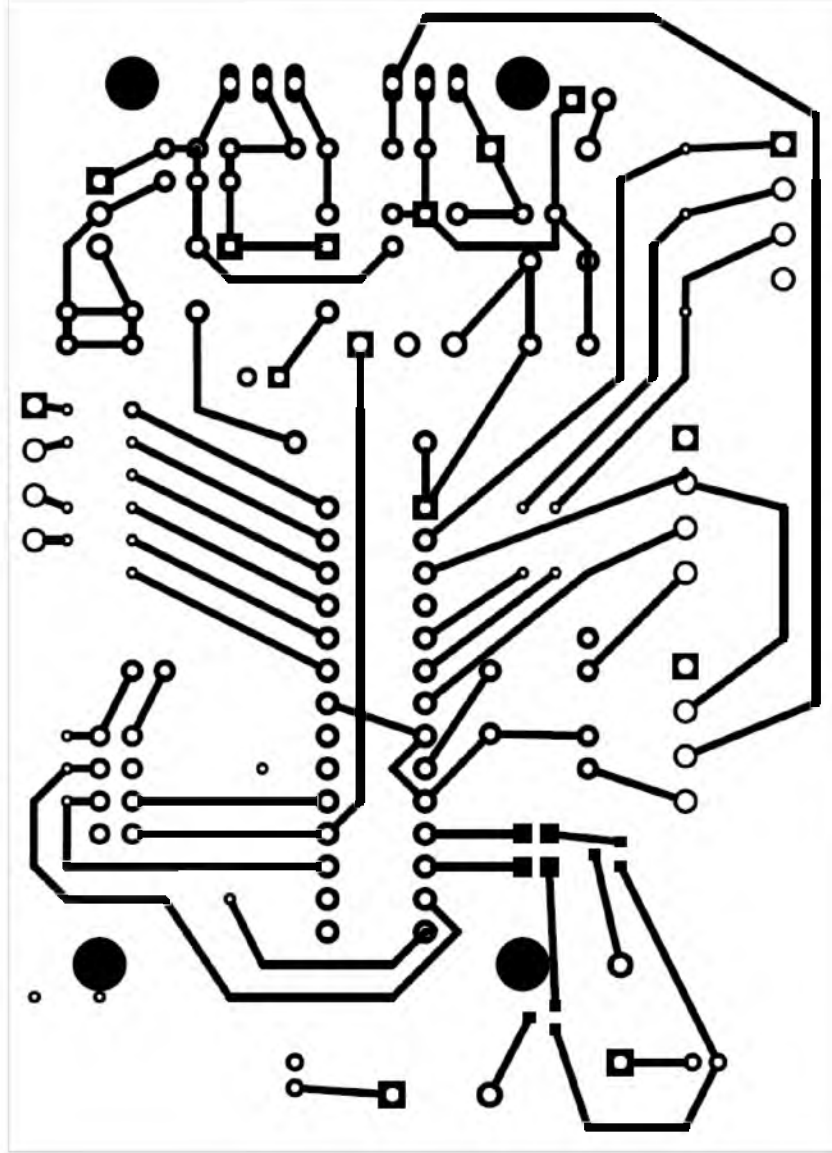
EKLER

EK-1 :Eyleyici Dügüm Devresi Şeması

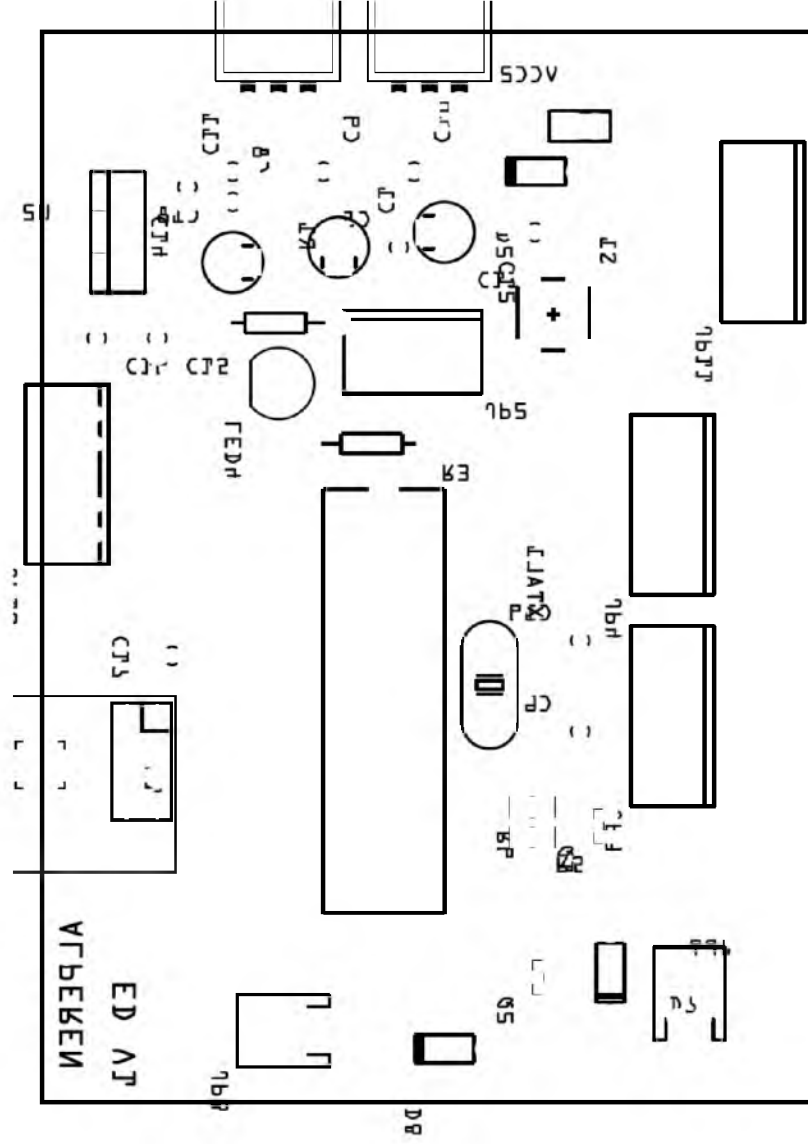


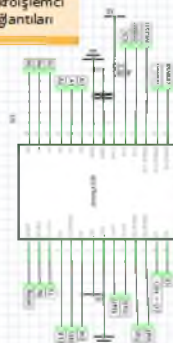
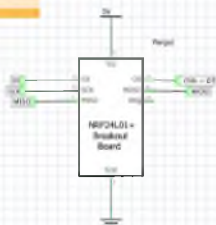
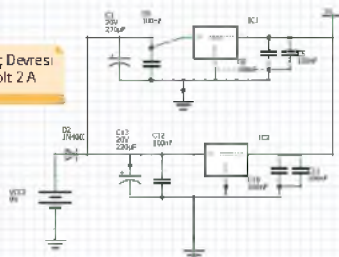
EK-2: Eyleyici Düğüm Devresi Alt Katman Baskı Devre Görseli

EK-3: Eyleyici Dügüm Devresi Üst Katman Baskı Devre Görseli

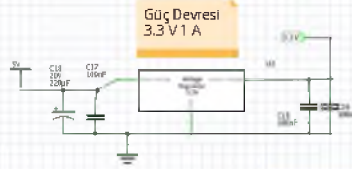
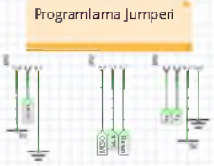


EK-4: Eyleyici Düğüm Devresi Eleman Yerleşimi

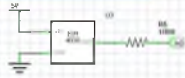




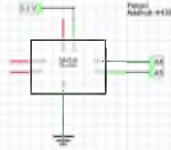
EK-5: Algılayıcı Dügüm Devresi Şeması



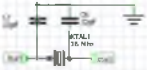
Toprak Nem Sensörü



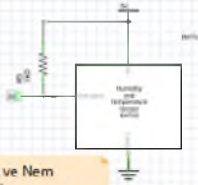
Parlaklık Sensörü



Kristal Bağlantısı

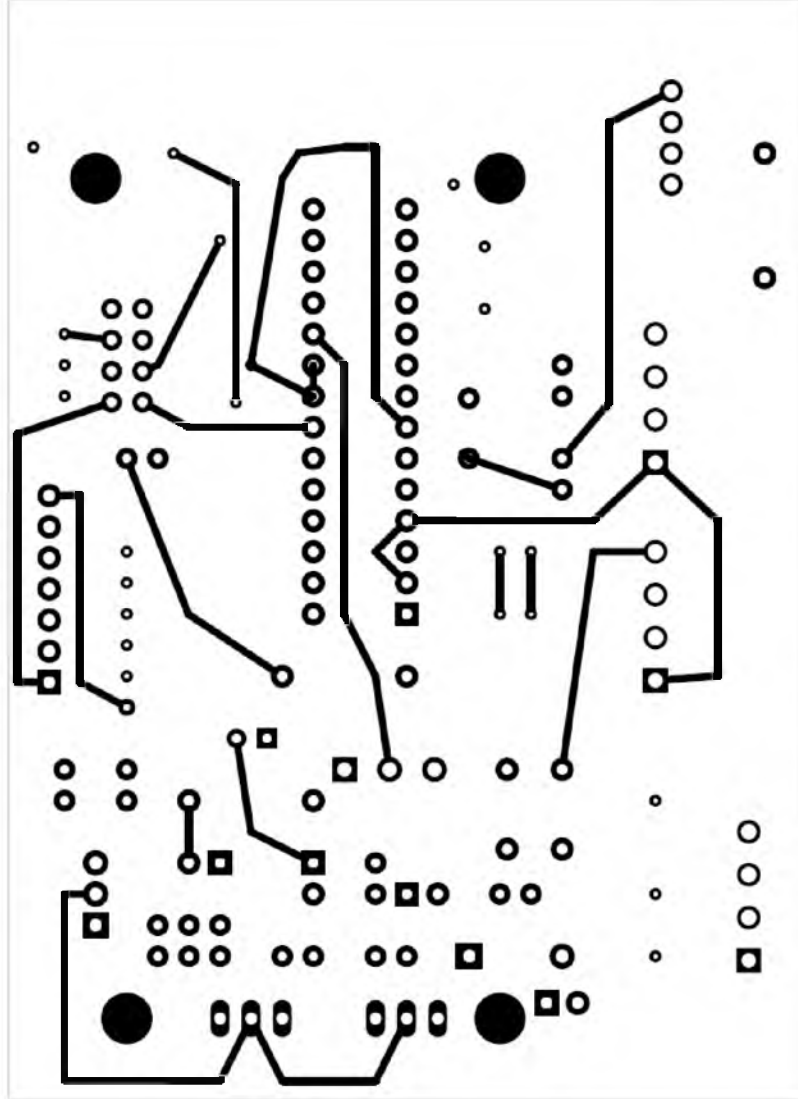


**Sıcaklık ve Nem
Sensörü**

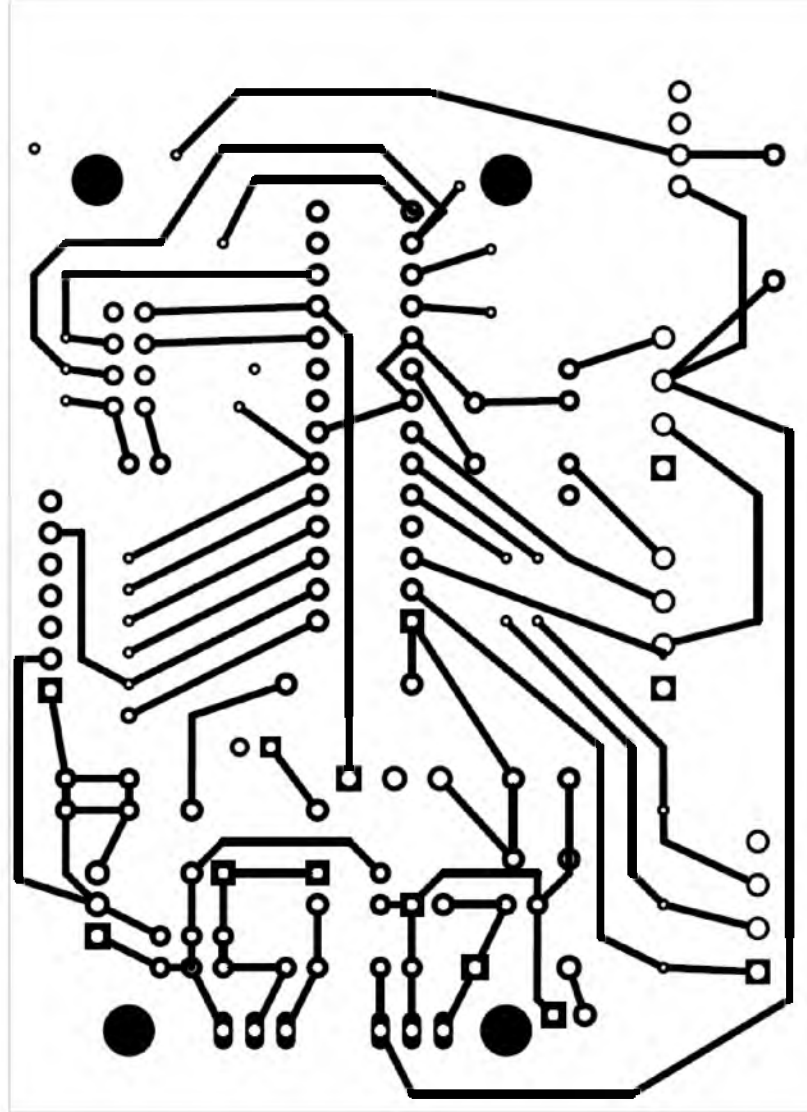


**Flowmeter
Sensor**

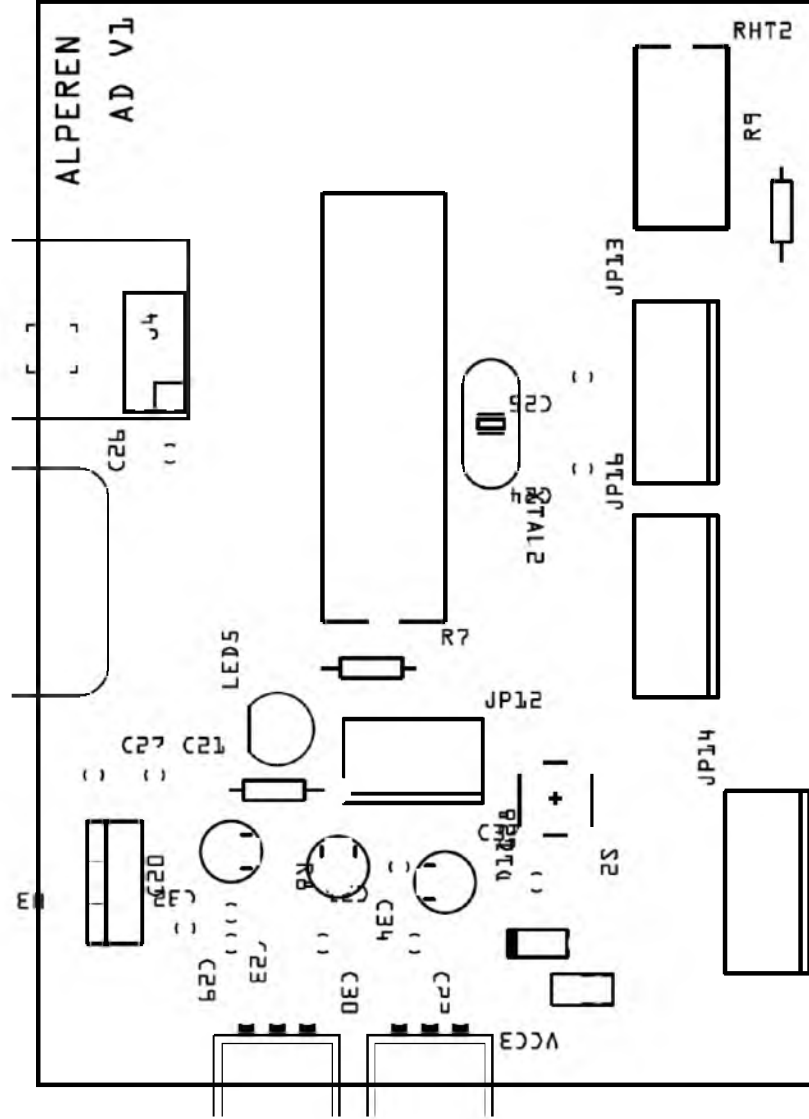


EK-6: Algılayıcı Düğüm Devresi Alt Katman Baskı Devre Görseli

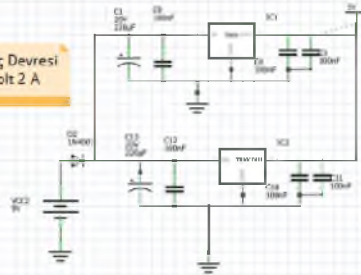
EK 7: Algılayıcı D ğ m Devresi  st Katman Baskı Devre Görseli



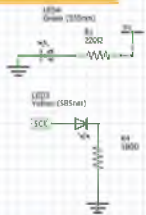
EK-8: Algılayıcı Düğüm Devresi Eleman Yerleşimi



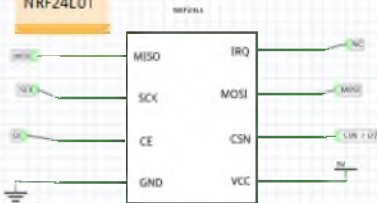
Güç Devresi 5 volt 2 A



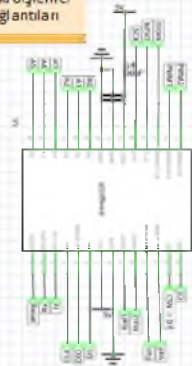
Uyarı Ledleri



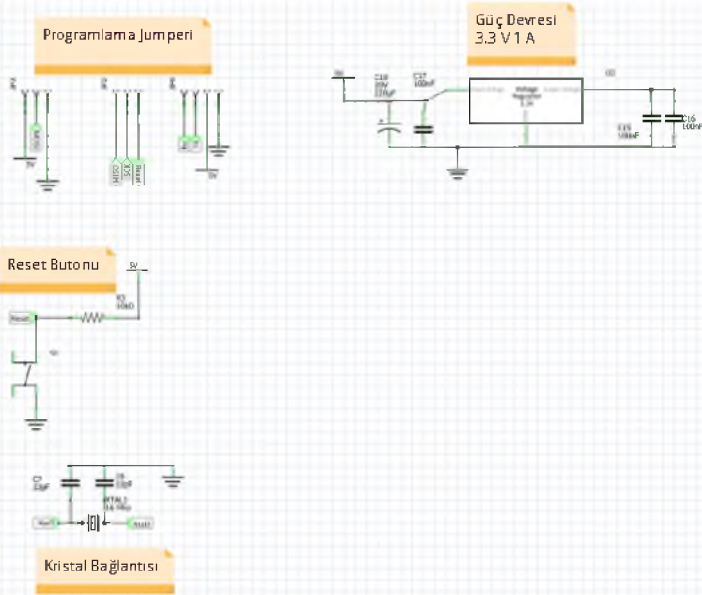
NRF24L01

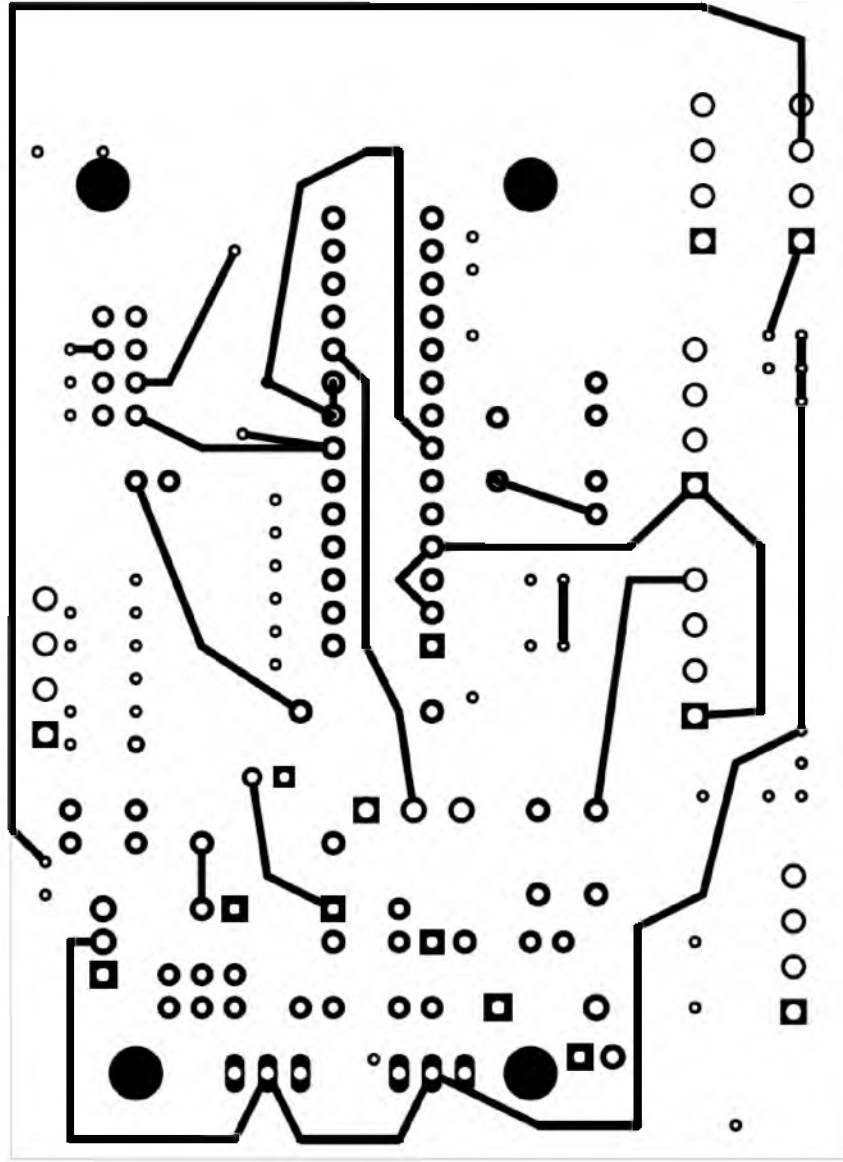


Mikroişlemci Bağlantıları

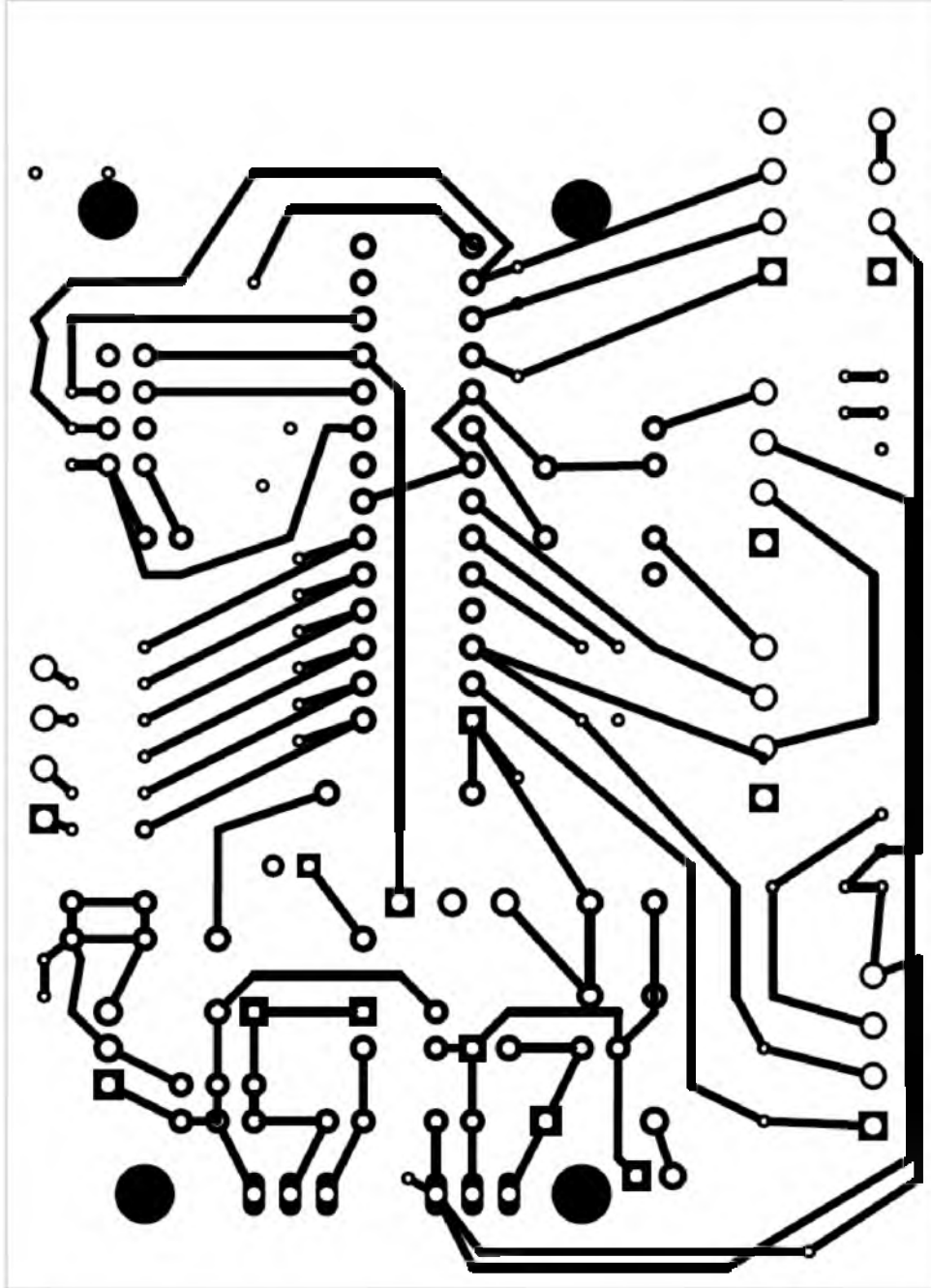


EK-9: Kontrol Düğüm Devresi Şeması

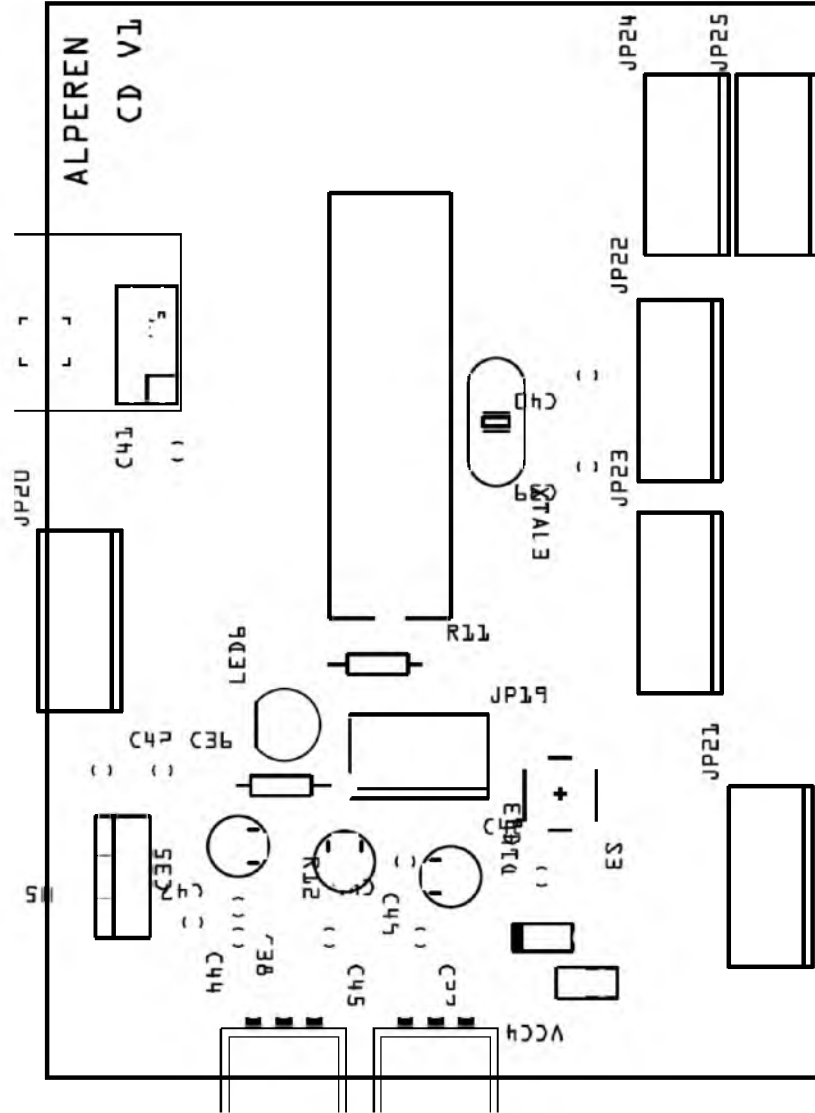


EK-10: Algılayıcı Düğüm Devresi Alt Katman Baskı Devre Görseli

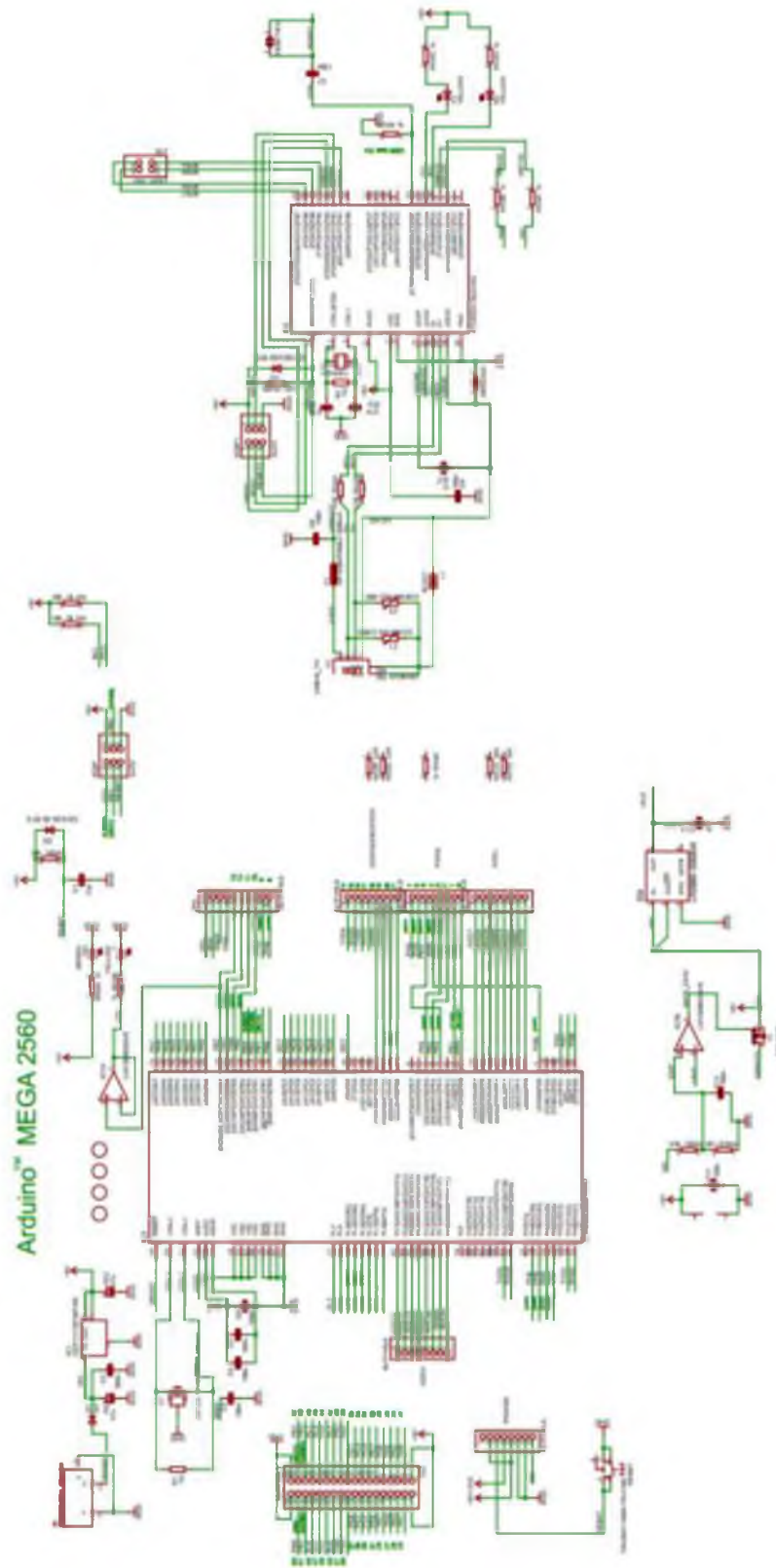
EK-11: Algılayıcı D ğ m Devresi  st Katman Baskı Devre Görseli

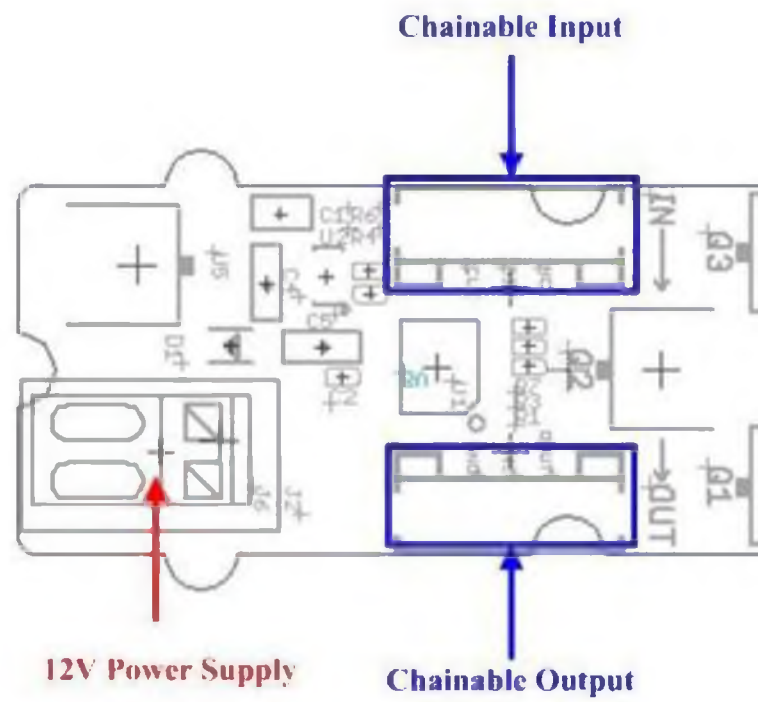


EK-12: Algılayıcı Düğüm Devresi Eleman Yerleşimi

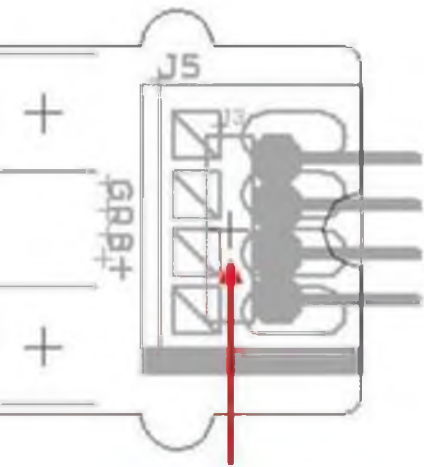


EK-13 : Arduino Mega mikrodenetleyici platformu elektronik şeması

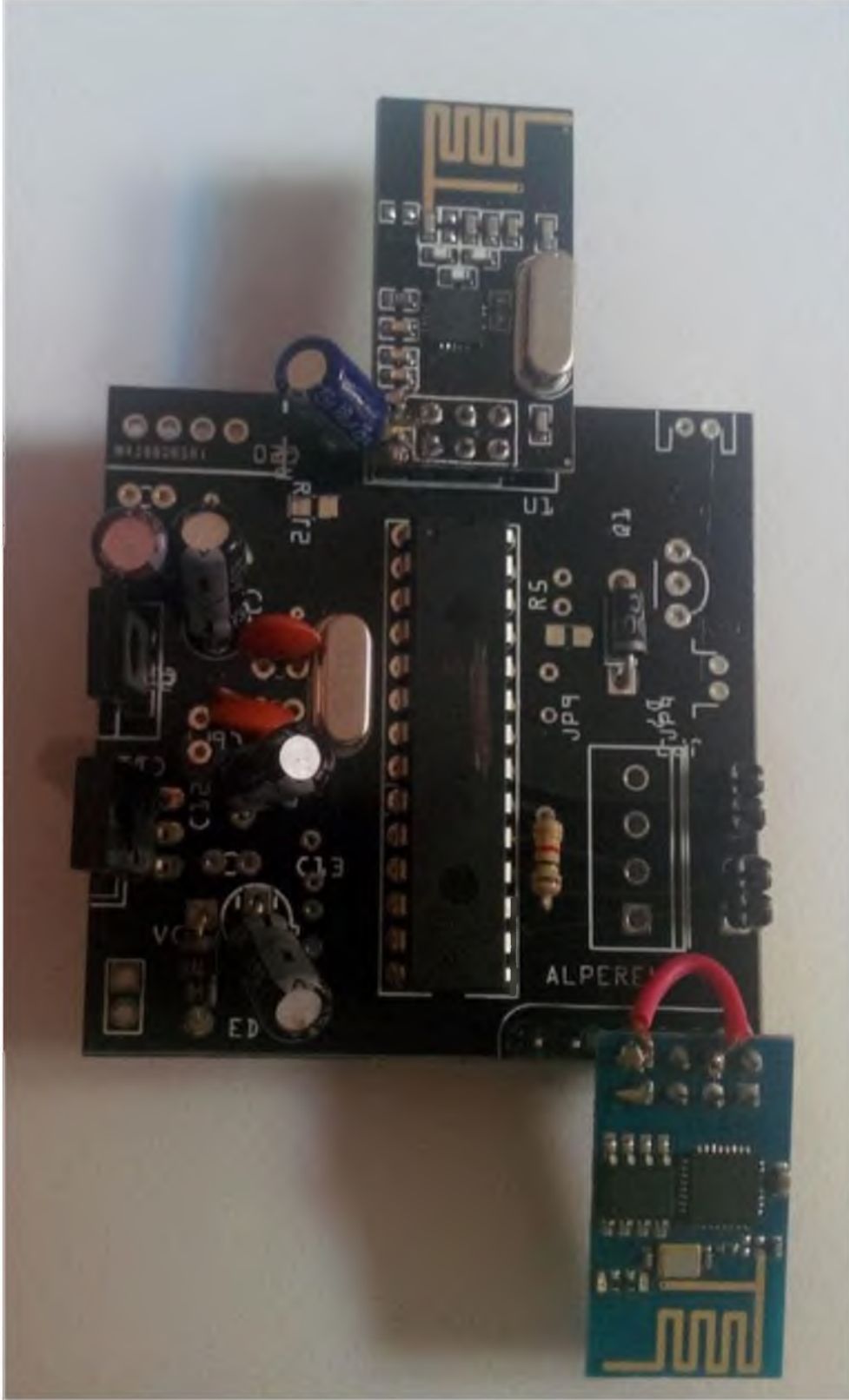


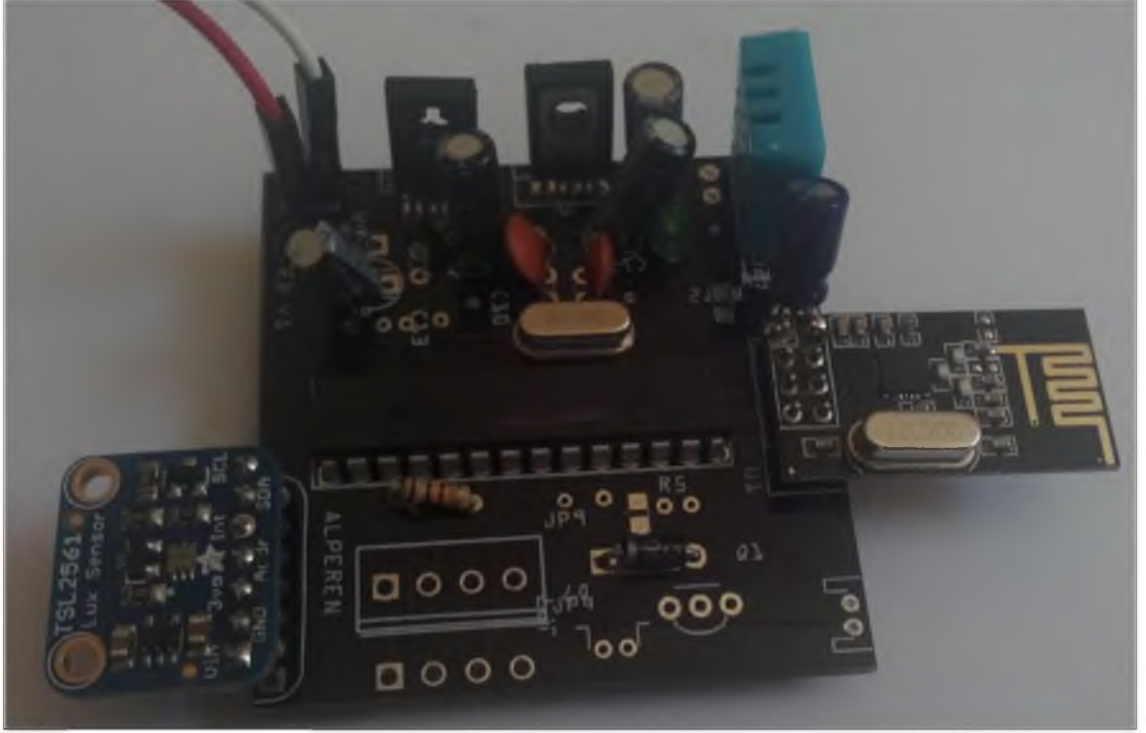


EK-15: Şerit LED sürücü elektronik şeması

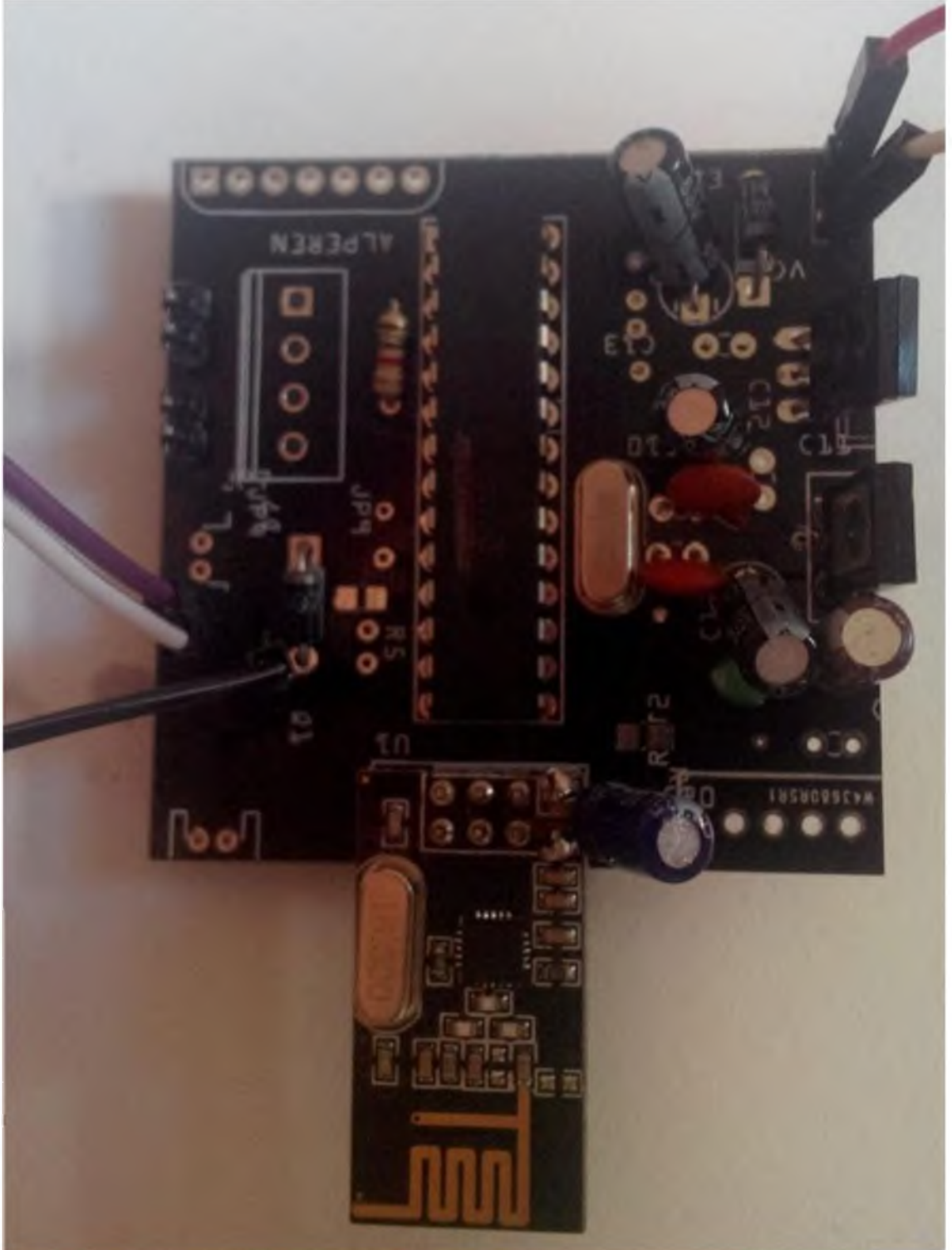


LED Strip Interface

EK-16: Merkez Düğüm Görseli

EK-17: Algılayıcı Düğüm Görseli

EK-18: Eyleyici Dügüm Görseli



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Seyit Alperen ÇELTEK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Meram- Konya / 1991
Telefon :
Faks :
e-mail : alperenceltek@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Anadolu Lisesi	2009
Üniversite	: Mevlana Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-....	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Enerji Verimliliği ve Uygulamaları
 Kontrol Sistemleri
 Gömülü Sistemler
 Yenilebilir Enerji

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Sanayi Etüd Proje Enerji Yöneticisi
 Bina Etüd Proje Enerji Yöneticisi

YAYINLAR

Çeltek Seyit Alperen, Soy Hakkı, Hacıbeyoğlu Mehmet (2015). Nesnelerin İnternetine Doğru Güncel Konular Ve Gelecekteki Eğilimler. AB2015 Akademik Bilişim Konferansı

Çeltek Seyit Alperen, Soy Hakkı (2015). An Application Of Building Automation System Based On Wireless Sensor Actuator Networks. 2015 9th International Conference On Application Of Information And Communication Technologies (AICT), 450-453

Çeltek Seyit Alperen, Soy Hakkı (2016). Design And Development Of Wireless Building Lighting Management. 2nd International Conference On Engineering And Natural Science.

Çeltek Seyit Alperen, Soy Hakkı (2016). Industrial Energy Saving With Wireless Sensor Actuator Networks. I. International Academic Research Congress Ines 2016

Çeltek Seyit Alperen, Sönmez Mesut Ersin, Sabancı Kadir (2016). Image Segmentation With Background Subtraction Using Fcm. I. International Conference On Engineering And Natural Sciences (Icens).

Çeltek Seyit Alperen, Ener Rüşen Selmin, Karanfil Gamze (2016). Effects Of Electric Motors On The Energy Efficiency. 8th International Ege Energy Symposium And Exhibition.

Kaya Mehmet Numan, Çeltek Seyit Alperen, Köse Faruk, Mayda Murat (2016). Estimation Of Mean Wind Speeds Using ANNs. 8th International Ege Energy Symposium And Exhibition.

Karakaya Burak, Çeltek Seyit Alperen, Kaya Mehmet Numan (2016). Investigation Of Smart Energy Management Systems. 8th International Ege Energy Symposium And Exhibition.

Ener Rüşen Selmin, Karanfil Gamze, Çeltek Seyit Alperen (2016). Enhancement Of Lighting Efficiency In A Factory. 8th International Ege Energy Symposium And Exhibition.

Tolu Muhammed Emin, Kaya Mehmet Numan, Çeltek Seyit Alperen (2015). Photovoltaic Solar Cooling In Regions With High Solar Irradiation A Case Study. The 25th Annual International Conference On Soil, Water, Energy And Air.

Karanfil Celep Gamze, Ener Rüşen Selmin, Topçu Mehmet Ali, Çeltek Seyit Alperen, Rüşen Aydın (2017). Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Isı Merkezinin Bacagazı Atık Isısının Reküperatör İlavesi İle Geri Kazanımı. 8. Enerji Verimliliği Forumu Ve Fuarı.