

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİD GÜÇ SİSTEM
BESLEMELİ BİR MEKANIN AYDINLIK DÜZEYİNİN
LED'Lİ ARMATÜRLER KULLANILARAK KONTROLÜ

İsmail KIYAK

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Bülent ORAL

Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİD GÜÇ SİSTEM
BESLEMELİ BİR MEKANIN AYDINLIK DÜZEYİNİN
LED'Lİ ARMATÜRLER KULLANILARAK KONTROLÜ

İsmail KIYAK
(141201220050005)

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Bülent ORAL
Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ

İSTANBUL 2010

TEŞEKKÜR

Tezin her aşamasında desteğini ve yardımını esirgemeyen, sabırlı, anlayışlı ve hoşgörölü yaklaşımı ile beni cesaretlendiren, teşvik eden ve daima özveri ile bana vakit ayıran, tezin her aşamasında destekleyici, öğretici, yönlendirici yaklaşımıyla yanımda bulunan değerli danışmanlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent ORAL ve Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ'a,

Destek, teşvik ve yardımlarıyla her zaman çalışma motivasyonumuzu artıran Bölüm Başkanımız değerli hocam Sayın Prof. Dr. Osman KILIÇ'a,

Çalışmalarımnda destek ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Nazmi EKREN, Yrd. Doç. Dr. Şafak Sağlam, Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÖKMEN, Dr. Yelda Karatepe, Dr. Gökhan KOÇYİĞİT, Arş. Gör. Kenan TOKER, Arş. Gör. Seçil Varbak NEŞE ve destek olan bütün çalışma arkadaşlarıma,

Her zaman bana güvenen, yanımda olan, tez süresince her türlü yardımı yapan eşime ve bitmesini sabırla bekleyen kızım ile bütün aileme,

En içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2010

İsmail KIYAK

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
YENİLİK BEYANI.....	x
SEMBOLLER	xii
KISALTMALAR.....	xiv
ŞEKİLLER	xv
TABLolar	xix
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
I.1 GİRİŞ.....	1
I.2 AMAÇ	3
BÖLÜM II. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
II.1 GİRİŞ.....	6
II.2 GÜNEŞ – RÜZGÂR HİBRİD SİSTEMLER.....	6
II.3 LED ARMATÜRLERİN AYDINLATMADA KULLANIMI.....	8
II.4 AYDINLATMADA KULLANILAN KONTROL SİSTEMLERİ	10
BÖLÜM III. TEORİK ÇALIŞMA	15
III.1 GİRİŞ.....	15
III.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ	15
III.3 GÜNEŞ PİLLERİ.....	20
III.3.1 Güneş Pillerinin Yapısı.....	22

III.3.2	Güneş Pillerinin Çalışma Prensipleri.....	23
III.3.3	Güneş Pillerinin Çeşitleri	24
III.3.3.1	Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri.....	25
III.3.3.2	Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri	25
III.3.3.3	İnce Film Güneş Pilleri	26
III.3.3.4	Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	26
III.3.3.5	Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri.....	27
III.3.3.6	Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri.....	28
III.3.4	Güneş Enerjisi Sistemleri	28
III.3.4.1	Fotovoltaik (PV) Santraller	28
III.3.4.2	Güneş Termik Santralleri	29
III.4	TÜRKİYEDE GÜNEŞ ENERJİSİ.....	30
III.5	RÜZGÂR TÜRBİNLERİ	33
III.5.1	Rüzgâr Türbini Çeşitleri	33
III.5.2	Küçük Güçlü Rüzgâr Türbinleri	35
III.5.3	Küçük ve Orta Güçlü Karma Sistemlerin Kullanım Yerleri	37
III.6	BİNA MONTAJLI RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN	
	PROJELENDİRİLME AŞAMALARI	38
III.6.1	Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi	38
III.6.2	Rüzgâr Akışının Bina Üzerindeki Karakteristiği	39
III.6.3	Rüzgâr Türbinlerinin Bina üstü Montaj Yerleri	39
III.7	TÜRKİYEDE RÜZGÂR ENERJİSİ	41
III.8	HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİ	43
III.9	AYDINLATMADA KULLANILAN LED'LER.....	47
III.9.1	Yüksek Güçlü LED'ler ve Katı Hal Aydınlatma.....	48
III.9.2	Power LED'lerde Sıcaklığın Aydınlik Şiddetine Etkisi.....	49
III.9.3	Sıcaklığın Power LED'lerin Ömrüne Etkisi.....	50
III.10	LED ARMATÜR TASARIMI.....	51
III.10.1	Aydınlatma Gereksinimlerini Tanımlamak.....	52
III.10.2	Tasarım Hedeflerini Tanımlamak.....	53
III.10.3	Optik-Termal-Elektrik Sistemlerinin Verimliliklerini Tahmin Etmek.....	53
III.10.4	İhtiyaç Duyulan LED Sayısını Hesaplamak.....	54
III.10.5	Tüm Tasarım İhtimallerini Değerlendirmek	55

III.10.6	Son Adımları Tamamlamak.....	56
III.11	BULANIK MANTIK KONTROL SİSTEMLERİ	57
III.11.1	Bulanık Kontrolör.....	57
III.11.1.1	Bulanık Kümeler	58
III.11.1.2	Bulanık Kontrolörün Temel Yapısı.....	58
III.11.1.3	Bulanıklaştırma	60
III.11.1.4	Kural Tabanı.....	63
III.11.1.5	Çıkarım Ünitesi	64
III.11.1.6	Berraklaştırma	65
BÖLÜM IV.	TEZ ÇALIŞMASI	67
IV.1	GİRİŞ.....	67
IV.2	TEZ AKIŞI.....	67
IV.3	GÜNEŞ- RÜZGÂR HİBRİD SİSTEMİ.....	71
IV.3.1	Fotovoltaik Piller	71
IV.3.2	H-Darrieus Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini	73
IV.4	METEOROLOJİ İSTASYONU	76
IV.4.1	Meteoroloji İstasyonu Teknik Özellikleri	76
IV.4.2	Meteoroloji İstasyonu Yazılım Programı	78
IV.5	ENERJİ ÖLÇÜM VE KONTROL SİSTEMİ	79
IV.5.1	Enerji Ölçüm Sistemi	79
IV.5.2	Şarj Kontrol Sistemi	80
IV.6	LED ARMATÜR TASARIMI.....	81
IV.6.1	Armatür Kontrol Kartı.....	81
IV.6.2	Armatür Besleme Kartı	82
IV.6.3	LED Modül	84
IV.6.4	Armatür Alüminyum Gövde	85
IV.6.5	LED Modül Pasif Soğutucu	85
IV.6.6	Aktif Soğutucu	87
IV.6.7	LED Armatür Montaj ve Elektrik Bağlantıları.....	87
IV.7	AKILLI AYDINLATMA SİSTEMİ	89
BÖLÜM V.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	92
V.1	GİRİŞ.....	92

V.2 RÜZGÂR – GÜNEŞ VERİLERİ.....	92
V.2.1 Meteorolojik Veriler.....	92
V.2.2 Rüzgâr-Güneş Hibrid Enerji Üretim Verileri.....	98
V.2.3 Güç Sistem Tarafından Üretilen Enerjilerin Günlük Eğrileri ..	104
V.3 ÖLÇME SONUÇLARININ BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	107
V.4 GERİLİM DÜŞÜMÜ KONTROLÜ	112
V.5 SİSTEMİN MALİYET ANALİZİ	113
V.5.1 Alım Maliyetleri.....	113
V.5.2 İşletme Maliyetleri	115
V.5.3 Bakım ve Değişirme Maliyetleri.....	115
V.5.4 Enerji Maliyeti	116
V.6 LED'Lİ AYDINLATMA SİSTEMİ LABORATUVAR AYDINLIK DAĞILIMI.....	118
V.7 BULANIK UZMAN SİSTEM TABANLI AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ.....	120
V.7.1 Kontrolör Aç/Kapat Altprogramı.....	121
V.7.2 Kontrolör Zamanlama Altprogramı	122
V.7.3 Bulanık Sistem Kontrol Altprogramı.....	123
V.7.4 Manuel Kontrol Programı	125
V.8 KONROL SİSTEMİ SONUÇLARI.....	126
BÖLÜM VI. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	127
KAYNAKLAR.....	131
EK-1.....	141
EK-2.....	142
ÖZGEÇMİŞ.....	143

ÖZET

RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİD GÜÇ SİSTEM BESLEMELİ BİR MEKANIN AYDINLIK DÜZEYİNİN LED'Lİ ARMATÜRLER KULLANILARAK KONTROLÜ

Enerjinin yeterli, zamanında, ekonomik, güvenilir ve temiz olarak sağlanması günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen en önemli göstergelerden biridir. Enerjide güvenirliliğin sağlanabilmesi, kullanılan fosil kaynakların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının da enerji üretiminde kullanılmasını zorunlu kılar.

Enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalara önem kazanmaktadır. Bu kapsamda düşük enerji tüketimleri, ışık akısı verimlilikleri ve uzun süre aynı ışık akısı değerlerini koruyabilme özelliği ile LED'li armatürler öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, mikro enerji üretim sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım bilincinin yaygınlaştırılması amaçlanmış ve gerçek zamanlı rüzgâr-güneş hibrid güç sistem uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, çok düşük enerji kullanım özelliğinden dolayı LED teknolojisinin, yenilenebilir enerji kaynaklı üretim sistemlerine dahil edilmesine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi binasının çatısına paralel kanatlı tip rüzgâr türbini(500 W) ve fotovoltaik pil grubundan(500 W) oluşan rüzgâr-güneş hibrid güç sistemi kurulmuştur. Üretilen enerji, 400 Ah kapasiteli bakımsız tip jel akü grubunda depolanmıştır. Rüzgâr türbinin ve fotovoltaik pillerin ürettiği enerjinin izlenmesi ve üretim durumlarının yorumlanması için bir enerji üretim ölçüm sistemi kurulmuş ve üretim verileri beş dakika aralıklı olarak veri kaydedicilerde depolanmıştır.

Projenin gerçekleştirildiği bölge ile ilgili meteorolojik verilerin ve bölgenin enerji üretim potansiyelinin bilinmesi amacıyla hibrid güç sisteminin yanına meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Hibrid üretim sistemi için büyük önem arz eden rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı verilerinin yanı sıra bölgeye ait onaltı çeşit meteorolojik veri, beş dakika aralıklı olarak kaydedicide depolanmıştır. Alınan meteorolojik veriler, elektrik üretimi için gerekli olan bölgeye ait rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için kayıt altına alınmıştır. Yapılan araştırmalara

göre, beş dakika potansiyel belirlemede optimum zaman aralığıdır. Kayıt altına alınan veriler, grafikler halinde çizilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Akıllı aydınlatma sisteminin DC enerjisi, güç sisteminin depolama birimi akü grubundan sağlanmış olup, aydınlatma bölümü şebekeden bağımsız çalıştırılmıştır. Akü grubunun aşırı şarj-deşarj durumundan korunması ve aydınlatma sisteminin aşırı gerilim ve akımlara karşı korunması için aydınlatma güç sistemi kontrol kartı tasarlanmıştır. Aydınlatma sisteminde, LED’li armatürlerin direkt kullanabildiği DC besleme yapılmıştır. Bu kullanım ile aydınlatma sistemi enerji kayıplarını minimuma indirilmiş ve sistem maliyetinin düşmesine yardımcı olunmuştur.

Akıllı aydınlatma sistemi için, LED modüllerin tetikleme, dimleme ve çalışma sırasında oluşan ısının kontrol altına alınması, belirli açılarda yönlendirilmiş LED modüllerin daha iyi aydınlatma koşullarını sağlaması ve LED’lerin ışık verimliliği ve ömürlerine ilişkin katalog değerlerinin sağlanması amacı ile LED’li armatürler tasarlanmıştır. Armatür tasarımında, farklı açılarda yönlendirilmiş reflektörlü Power LED modüller, aktif ve pasif soğutucular, sıcaklık sensörleri ve soğutma yardımcılı alüminyum alaşım gövde kullanılmıştır. Power LED’lerin ideal çalışma şartlarının sağlanması ve besleme için armatüre özel LED sürücü kartları tasarlanmıştır. Tasarlanan LED’li armatürde, soğutma kanallı alüminyum alaşım gövdeye LED modül ve kendi ölçülerinde pasif soğutma elamanı akuple edilmiştir. Armatürün en iç kısmında bulunan LED’e sıcaklık sensörü bağlanmış ve belirlenen sıcaklığın üstündeki değerlerde aktif soğutucuların devreye girerek LED modülleri soğutması gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar aydınlatma sisteminde kullanılan LED armatürler, hareket detektörleri, ışık sensörlerine ait her türlü bilgi alışverişi için bir haberleşme kartı tasarlanmış ve RS485 haberleşme hattı kullanılarak bütün sistem birbirine bağlanmıştır. Laboratuarda deney masaları ve anlatımda kullanılan orta masa aydınlatması için bulanık uzman sistem akıllı aydınlatma programı tasarlanmıştır. Akıllı sistem LED’li armatürler kullanımı ile elde edilen enerji tasarrufu bir tablo halinde sunulmuştur.

Proje ile tasarımı ve kontrolü itibariyle dahili ortamlarda kullanılabilecek bir aydınlatma sistemi gerçekleştirilmiştir. Özel durumlara yönelik aydınlatma sistemlerinde kullanılan LED’li armatürlerin, dahili aydınlatmada kullanımına ilişkin kaynak niteliğinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Haziran 2010

İsmail KIYAK

ABSTRACT

CONTROL OF ILLUMINATION LEVEL OF AN AREA SUPPLIED WIND-SOLAR HYBRID POWER SYSTEM BY USING LED ARMATURES

For countries, sufficient, reliable, clean and economic energy supply is one of as the most important indicators of their development level. Energy continuity necessitates the usage of renewable energy sources besides existing fossil sources.

Nowadays, studies about extensive usage of renewable energy sources and to increase its energy usage efficiency is very important. In this scope, LED applications come into prominence with their low energy consumption, light flux efficiency and for keeping life time light flux density.

In this study, generalization of renewable energy sources, usage in micro energy production systems is realized with wind-solar hybrid power system supporting each other. Also, an application for integration of LED technology to energy production system with renewable energy sources is implemented due to its low energy consumption.

Wind-Solar hybrid power system that contains a 500W parallel bladed type wind turbine is the most appropriate type for local usage according to literature. 500W photovoltaic cell is also installed on roof of Technical Education Faculty building of Marmara University for this study. To monitor the generated energy from wind turbine and photovoltaic cells an energy metering system is implemented and production data is recorded with five minutes intervals.

Weather station is installed near to the hybrid power system to measure the meteorological data of the area. Sixteen meteorological data including wind speed and sun time that is very important for hybrid production system is stored at recorder at five minute intervals. Measured meteorological data is stored to determine wind and solar energy potential of area that required for electrical energy production. According to literature search, five minute is optimum time interval for determination of potential. This recorded data is plotted graphically and is interpreted.

DC energy of intelligent lighting system is supplied from storage unit of power system and the lighting part is a stand-alone system. A control card is designed to protect battery pack against excessive charge-discharge current and to protect lighting system against excessive voltage and current. The LED armature in lighting system can be supply directly from the DC system. Energy losses of the lighting system are reduced to a minimum. This helped to reduce system costs.

New LED armatures are designed for the proposed intelligent lighting system. Directed Reflector Power LEDs with different angels, active and passive coolers, heat sensors and an aluminum alloy body is used in the new armature design. Special LED driver cards are designed to provide ideal operation conditions of Power LEDs and energy supply. Cooling is very important for LED containing in systems. Due to it affects on life and light flux value of LED armatures directly. The LED module and passive cooler element are coupled to the aluminum alloy body with cooling canals in designed LED armature. A heat sensor is connected to the LED module that is the innermost point of armature and cooling module of LED system. The cooling is implemented by active cooler that operates at higher values of the preset temperature.

A communication card is designed for all data collection activities. The lighting system contains a number of LED armatures, motion detectors, and light sensors. A RS485 communication line is installed and connects all equipment with each other. A Fuzzy expert system is designed for intelligent lighting system. The lighting system contains laboratory experiment tables and the lighting of middle table which is used for laboratory demonstration. The energy savings with the proposed intelligent LED lighting system is given in table form.

An intelligent lighting system is implemented for indoor use. This study can be reference for using LED armatures that are used for special lighting at indoor lighting.

YENİLİK BEYANI

RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİD GÜÇ SİSTEM BESLEMELİ BİR MEKANIN AYDINLIK DÜZEYİNİN LED'Lİ ARMATÜRLER KULLANILARAK KONTROLÜ

Bu çalışma, bina montajlı hibrid elektrik güç sisteminin aynı bina içerisindeki bir mekanı LED armatürle dahili aydınlatılmasının gerçekleştirilmesi üzerinedir. Bu kapsamda Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi binasının çatısına monte edilen düşey eksenli paralel kanatlı rüzgâr türbini ve fotovoltaiik pillerden oluşan hibrid güç sistemi, Elektrik Tesisleri Laboratuvarı dahili aydınlatmasına uygulanmıştır.

Bu çalışma gerçekleştirdikleri ile uzun vadede küçük güçlü yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin yaygınlaştırılmasına ve ülke ekonomisi elektrik enerjisi tüketiminde aydınlatma maliyetlerinin azaltılmasına katkı yapacaktır.

Çalışmanın literatüre hem bilimsel anlamda hemde uygulama alanında yenilik katkıları hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma,

- Türkiye’de, bilimsel amaçlı hibrid enerji üretim sistemlerinde dikey eksenli paralel kanatlı rüzgâr türbini kullanılması açısından ilk çalışmadır.
- LED’lerin dahili aydınlatmada kullanımının geliştirilmesine öncülük etmesi bakımından önemlidir.
- Kapsamında kurulan hava istasyonu aracılığı ile bölgenin hava durumu hakkındaki veriler kayıt altına alınmakta hem bu çalışma için hemde bölge ile ilgili yapılacak gelecek çalışmalar için bir kaynak olacaktır.
- Yerleşim alanlarında yenilenebilir hibrid enerji üretim sistemlerinin kullanımı, kurulması ve işletilmesi açısından deneysel amaçlı düzeneği ile gelecekte kullanılabilirliğinin artırılması açısından önemli bir uygulamadır.
- Tasarlanan LED armatür dahili aydınlatmada kullanımı açısından ülkemizde yapılan ilk çalışmalardandır ve özgündür.
- Armatür tasarlaması aşamasında LED’lerin aydınlık dağılımının yapay sinir ağları ile modellenmesi, bu konuda literatürdeki yapılan ilk çalışmalardandır.
- Armatür tasarımında geliştirilen besleme ve kontrol kartları özgün tasarımlardır.

- Akıllı aydınlatma sisteminin kontrolünde farklı açılarda yönlendirilmiş reflektörlü Power LED’li armatür kullanılması üzerine yeni bir uygulamadır.
- Tasarlanan armatürde kullanılan alüminyum alaşımlı gövde, pasif ve aktif soğutucularla LED’lerin ömrünü uzatılmakta ve verimliliğini artırılmaktadır.
- Dahili aydınlatma için tasarlanan LED armatürün kontrolü için geliştirilen bulanık uzman sistem kontrol algoritması, literatürdeki ilk çalışmalardan olup, özgündür.
- Tasarlanan armatüründeki akıllı aydınlatma sistemi, haberleşmesi, dim edilebilirliği, hareket ve ışık kontrolü birlikte kullanıldığı uygulama amaçlı ilk çalışmalardandır.
- Tasarlanan armatürlerle ve kontrolü ile bir eğitim alanının (laboratuvar) dahili aydınlatmasının gerçekleştirilmesi açısından yeni bir uygulama olarak kabul edilebilir. Bu kapsamda genel ortam aydınlatmasının yanında özel durumlara yönelik aydınlatmanın gerekli olduğu yerlerde optimal çözümler için LED teknolojisinin kullanılabilirliği üzerine yapılmış bir çalışmadır.
- Kurulumu gerçekleştirilen düşey eksenli rüzgar türbini ve fotovoltaik pillerden oluşan hibrid enerji üretimi ve dahili aydınlatması için geliştirilen LED armatür ile bütün olarak literatürdeki ilk çalışmalardan olup, özgündür.

Haziran 2010

Yrd. Doç. Dr. Bülent ORAL

İsmail KIYAK

Yrd. Doç. Dr. Vedat TOPUZ

SEMBOLLER

- A_1 : İlk yılın ödeme değeri [€]
- C_{TPV} : Toplam PV yatırım maliyeti [€]
- C_{TKL} : Toplam geleneksel sistem yatırım maliyeti [€]
- D_{critic} : Kritik yükler için gerekli depolama gün sayısı
- $D_{noncritic}$: Kritik olmayan yükler için gerekli depolama gün sayısı
- E_{PV} : PV sistemin ürettiği enerji [kwh]
- E_{KL} : Geleneksel sistemin harcadığı enerji [kwh]
- FF : Pil doldurma faktörü (fill factor)
- g_{PV} : PV sistem enerji maliyeti [€/kwh]
- g_{KL} : Geleneksel sistem enerji maliyeti [€/kwh]
- G : Pil aydınlık seviyesi [W/m^2]
- I : Fotovoltaik pil akımı [A]
- I_0 : Açık devre (boşta) pil akımı [A]
- I_l : Pil akımının fotonlardan meydana gelen bileşeni [A]
- I_{mpp} : Maksimum güç çekilmesi durumunda pil akımı [A]
- I_{SC} : Kısa devre durumunda pil akımı [A]
- i : Faiz oranı [%]
- k : Artış oranı [%]
- K : $T^{\circ}C$ sıcaklıktaki batarya kapasitesi [Ah]
- K_0 : $25^{\circ}C$ sıcaklıktaki nominal batarya kapasitesi [Ah]
- n : Hesaplanılacak süre [yıl]
- η_b : Batarya verimi [%]
- η_i : İnverter verimi [%]
- η_w : İletim hattı verimi [%]
- P : Elektriksel güç [W]
- P : Enerji maliyetinin şimdiki değeri [€]

- PB : Para birimi
- q : Elektron yükü [$1,6 \times 10^{-19} C$]
- t : Zaman [s]
- T : Sıcaklık [$^{\circ}C$]
- T_{min} : Seçilen panel eğimi için aylık minimum tepe güneş saatleri toplamı
- U_{mpp} : Maksimum güç çekilmesi durumunda pil gerilimi [V]
- U_{oc} : Açık devre durumunda pil gerilimi [V]
- U_{sys} : Sistem gerilimi [V]
- W : Enerji tüketimi [Ah]

KISALTMALAR

AB	:Avrupa Birliği
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
HPLLED	: Yüksek güçlü ışık yayan diyot
LED	:Işık yayan diyot
IEA	:Uluslar arası Enerji Ajansı
PV	:Fotovoltaik pil
ETKB	:Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EİE	:Enerji İşleri Etüt İdaresi
YERT	: Yatay eksenli rüzgâr türbini
DETR	:Düşey eksenli rüzgâr türbini
CFL	:Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı
USB	:Üniversal Seri Port

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil III.1 1850-2010 Yılları Arasındaki Küresel Sıcaklık Değişimi.	16
Şekil III.2 Dünyadaki Yenilenebilir Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisindeki Artış.	17
Şekil III.3 Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı (2009).18	
Şekil III.4 Türkiye’de Sera Gazı Salınımının Sektörel Dağılımı.	20
Şekil III.5 Güneş Pili, Hücre, Modül ve Panel.	21
Şekil III.6 Güneş Pili İç Yapısı.	22
Şekil III.7 Farklı Malzemeler ile İmal Edilmiş Güneş Pillerinin Elektron Koparmak için Gereken Foton Enerji Değerleri (eV).	24
Şekil III.8 Fotovoltaik Pillerden Elektrik Üretimi.	28
Şekil III.9 Güneş Termik Santrallerinin Yapısı.	29
Şekil III.10 Güneş Termik Santral Uygulaması (İspanya).	30
Şekil III.11 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası.	32
Şekil III.12 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini.	34
Şekil III.13 Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini Örnek Projeleri.	35
Şekil III.14 Bazı Küçük Güçlü Türbinler A)Awp (1kw) B) Aır 400 (400w) C) Whisper H80 (1kw) D) Windsaw Ws (400 W) E) Ampair Dolphin (400 W) F) Windside Ws4c (360 W).	36
Şekil III.15 Binanın Üstten Bakıldığında Türbülans Etki Alanı.	39
Şekil III.16 Bir Binanın Potansiyel Türbin Montaj Noktasının Gösterildiği Plan. ...	40
Şekil III.17 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (50 M Yükseklikte Yıllık Ortalama).	41
Şekil III.18 Güneş – Rüzgâr Hibrid Enerji Sistemi.	44
Şekil III.19 Güneş – Rüzgâr - Minihidroelektrik Hibrid Enerji Sistemi.	46
Şekil III.20 Power Ledin Yapısı.	48
Şekil III.21 Jonksiyon Sıcaklığı İle Işık Şiddeti Arasındaki İlişki.	49
Şekil III.22 LED Ömür ile Sıcaklığın İlişkisi.	50
Şekil III.23 Bir Power LED’in Belirli Yüksekliklerde Oluşturduğu Işık Şiddeti Değerleri.	53

Şekil III.24 Power LED Kullanılarak Yapılmış Bir Armatürün Parçaları.	57
Şekil III.25 Bulanık Kontrolörünün Genel Yapısı.	59
Şekil III.26 Bulanık Kontrolör Tasarım İşlem Adımları.	59
Şekil III.27 Bulanık Üyelik Fonksiyonu (Üçgen).	61
Şekil III.28 Bulanık Üyelik Fonksiyonu (Yamuk).	61
Şekil III.29 Bulanık Üyelik Fonksiyonu (Gauss Eğrisi).	61
Şekil III.30 Örnek Sıvı Seviye Sistemine Ait Bulanık Kümeler Değerleri A)Hata, B)Hatanın Değişimi C) Kontrol	63
Şekil III.31 Mamdani Bulanık Modeli.	64
Şekil III.32 Sugano Bulanık Modeli.	65
Şekil III.33 Örnek Sıvı Seviye Sistemine Ait Bulanık Üyelik Fonksiyonların Değişimi.	66
Şekil IV.1 Sistemin Enerji Üretim Bölümü Bağlantı Şeması.	69
Şekil IV.2 Sistemin Aydınlatma Bölümü Bağlantı Şeması ve Laboratuvar Krokisi.	70
Şekil IV.3 Aydınlatma Sistemi Gerçekleştirilen Laboratuvar.	71
Şekil IV.4 Montajı Yapılmış Fotovoltaik Paneller.	72
Şekil IV.5 a) Rüzgâr Türbini Üç Boyutlu Görünümü b) Rüzgârın Türbine Fiziki Etkisi.	74
Şekil IV.6 Montajı Yapılmış Düşey Çalışan Rüzgâr Türbini.	75
Şekil IV.7 Meteoroloji İstasyonu ve Parçaları.	76
Şekil IV.8 Montajı Yapılmış Meteoroloji İstasyonu.	78
Şekil IV.9 Meteoroloji İstasyonu Software Programı Ekran Görünümü.	78
Şekil IV.10 Enerji Ölçüm Sistemi Bağlantıları.	79
Şekil IV.11 Şarj Kontrol Kartı.	81
Şekil IV.12 Kontrol Kartı Bağlantı Yolları.	82
Şekil IV.13 Kontrol Kartı Elamanları.	82
Şekil IV.14 Besleme Kartı Bağlantı Yolları.	83
Şekil IV.15 Besleme Kartı Elamanları.	83
Şekil IV.16 Power LED Modül.	84
Şekil IV.17 Alüminyum Alaşım Gövde Ölçüleri.	85
Şekil IV.18 Power LED Soğutucu (Coinstar W4).	86
Şekil IV.19 Power LED Soğutucu Ölçüleri.	86
Şekil IV.20 Kapak ve Soğutma Fanı.	87
Şekil IV.21 Montajı Tamalanmış LED Armatür.	88

Şekil IV.22 LED Armatürün Bağlantı Şeması.	89
Şekil IV.23 Akıllı Aydınlatma Sistemi Enerji ve Haberleşme Bağlantıları.	91
Şekil V.1 Şubat Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	93
Şekil V.2 Mart Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	93
Şekil V.3 Nisan Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	94
Şekil V.4 Mayıs Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	94
Şekil V.5 Haziran Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	95
Şekil V.6 Temmuz Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	95
Şekil V.7 Ağustos Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	96
Şekil V.8 Eylül Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	96
Şekil V.9 Ekim Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	97
Şekil V.10 Kasım Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	97
Şekil V.11 Aralık Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	98
Şekil V.12 Ocak Ayı (2010) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.	98
Şekil V.13 Mayıs 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	99
Şekil V.14 Haziran 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	99
Şekil V.15 Temmuz 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	100
Şekil V.16 Ağustos 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	100
Şekil V.17 Eylül 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	101
Şekil V.18 Ekim 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	101
Şekil V.19 Kasım 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	102
Şekil V.20 Aralık 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	102
Şekil V.21 Ocak 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	103
Şekil V.22 Şubat 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	103
Şekil V.23 Mart 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	104
Şekil V.24 Nisan 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.	104
Şekil V.25 15 Ocak Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.	105
Şekil V.26 15 Nisan Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.	105
Şekil V.27 15 Temmuz Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.	106
Şekil V.28 15 Ekim Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.	107
Şekil V.29 Laboratuvar Aydınlik Dağılımı Değerleri.	119
Şekil V.30 LED Modül Montaj Mesafeleri.	119
Şekil V.31 Laboratuvar Aydınlik Dağılımı.	120
Şekil V.32 Bağlantı Ayarları Menüsü.	121

Şekil V.33 Açma/Kapama Program Algoritması.	121
Şekil V.34 Zamanlama Program Algoritması.....	122
Şekil V.35 Bulanık Sistem Kontrol Program Algoritması.	123
Şekil V.36 Bulanık Sistem Kontrol Program Ekran Görüntüsü.	124
Şekil V.37 Bulanık Sistem Kontrol Programı Ayarlar Menüsü.	125
Şekil V.38 Manuel Kontrol Sistemi Menüsü.....	125

TABLolar

SAYFA NO

Tablo III.1 Türkiye Yenilenebilir Enerji Potansiyelleri ve Kullanımı Değerleri.	19
Tablo III.2 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli.	31
Tablo III.3 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı.....	31
Tablo III.4 Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması.	33
Tablo III.5 Rüzgâr Türbinlerinin Kullanım Alanları ve Kurulum Maliyet Tablosu.	37
Tablo III.6 Türkiye Orta-Sıradışı Arası Rüzgâr Kaynağı 50m.	42
Tablo III.7 Bir Armatürü Oluşturan Sistemlerin Verimlilik Verileri.	54
Tablo III.8 Örnek Bulanık Kural Tabanı Tablosu.	64
Tablo IV.1 Fotovoltaik Pillerin Teknik Özellikleri.....	72
Tablo IV.2 Kullanılan Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri.	74
Tablo IV.3 Meteoroloji İstasyonu Teknik Özellikleri.....	77
Tablo IV.4 Armatür Besleme Sistemi Enerji Dağılımı.	83
Tablo IV.5 LED Modüllere (Coinstar W4) Ait Teknik Bilgiler.	84
Tablo IV.6 Sıcaklığa Bağlı LED Ömrü.....	86
Tablo V.1 Hibrid Enerji Üretim Sistemin Alım Maliyeti.	114
Tablo V.2 Geleneksel Sistemin Alım Maliyeti.	114
Tablo V.3 Toplam Maliyetler.....	117
Tablo V.4 Aydınlatma Sistemleri Karşılaştırma Tablosu.	126

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1 GİRİŞ

21. yüzyıl dünyasında enerji hem önemli gereksinim hem de en etkili güç haline gelmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve teknolojiyi kullanan insan sayısındaki artışa paralel olarak artan enerji ihtiyaçları, insanoğlunu daha fazla enerji kaynağı arayışına sevk etmiştir. Fosil kökenli kaynakların tükenebilirliği gerçeği 1970'lerde yaşanan petrol krizi ile daha net ortaya çıkmıştır. Buna paralel olarak elektrik enerjisinin üretilmesinde kullanılan hammaddedeki yüksek maliyetin üretimde sanayiye zorlamasıyla birlikte daha ucuz ve tükenmeyen enerji kaynaklarını ortaya çıkarma çalışmaları hız kazanmıştır.

Yenilenebilir enerji çalışmalarının ilk yıllarında doğal enerji kaynaklarını elektrik enerjisine çevirmede kullanılan yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi daha çok üniversitelerin bünyesinde yapılmıştır. Fakat özellikle son yirmi yılda dünya genelinde hem çevre konusunda duyarlılığın artması ile oluşan kamuoyu baskısı hem de yeni ticari bir sektörün oluşması, büyük sermayeye sahip şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin de araştırma geliştirme çalışmaları kapsamında laboratuvarlar kurmasıyla hem fotovoltaiik piller hem de rüzgâr türbinleri konusundaki teknolojik gelişmeler, artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir.

Kullanımının basit ve kullanım sonrası atık madde oluşmaması nedeniyle diğer enerji türlerine göre elektrik enerjisinin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı her geçen gün artmaktadır. Elektrik enerjisi kullanımının tek dezavantajı, çok uzun süre depolanamaması ve buna bağlı olarak üretildiği anda tüketilmesinin zorunluluğudur. Bu özelliğinden dolayı elektrik üretim sistemi kurmadan önce iyi bir planlama yapılarak; tesis ve dağıtım projelendirmesi safhaları çok titizlikle hazırlanmalıdır.

Projelendirme yapılırken enerjinin birim maliyeti, talebin tamamını veya büyük bir bölümünü karşılayabilmesi, üretim sisteminin güvenilir olması, üretim sonrası çevreye zarar vermemesi gibi önemli kriterlerin sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda elektrik enerjisi üretiminde sahip olunan tükenmeyen doğal enerji kaynakları, yapılan projelendirme sonuçlarına göre o bölgede mevcut ihtiyacın bir bölümünü dahi karşılayabilecek durumda ise mutlaka değerlendirilmelidir.

Elektrik enerjisi üretiminde hammadde olarak genellikle kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO₂), azot dioksit (NO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) emisyonları canlılar için kritik değerlere ulaşmaktadır. Çevreye duyarlılığın artması, fosile dayalı kaynakların sınırsız olmaması ve ithal hammaddeye olan bağımlılığın ortadan kaldırılması isteği yenilenebilir enerji kaynaklarının bütün ülkelerin sürekli gündeminde kalmasını sağlamaktadır.

Avrupa Birliği, özellikle 1997 Kyoto Protokolü sonrasında başta rüzgâr olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleyen güçlü politikalarla gerek teknoloji gerekse kaynakların kullanımını açısından, büyük ilerleme kaydederek dünyada lider konumuna gelmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak Türkiye'nin AB üyelik perspektifi çerçevesinde son yıllarda yakaladığı ivme ve bu kapsamda enerji sektörünün AB ile uyumunu sağlama yolunda attığı adımlar yenilenebilir enerjinin Türkiye gündemindeki önemini daha da arttırmıştır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının desteklenmesi amacıyla hazırlanan "Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK)" 2005 yılında kabul edilmiştir.

Tükenmeyen veya güncel adıyla yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle gibi enerji kaynakları enerjinin üretimi ve dönüştürülmesi sırasında karşılaşılan çevresel ve iklimsel problemleri daha az ortaya çıkarmaları nedeniyle son yıllarda giderek artan bir biçimde kullanılmaktadırlar. Bunu karşın yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisinin üretimi sırasında bir kısım zorluklarla da karşılaşılmaktadır. Özellikle arz sürekliliğinin meteorolojik olaylara bağımlılığı güç üretim sistemlerinin birlikte kullanımını getirmektedir. Enerji üretim sisteminin kurulacağı bölgedeki meteorolojik verilere göre bir veya birden fazla doğal kaynağın bir arada kullanılmasıyla oluşan güç üretim sistemlerine hibrid güç sistemleri denir. Hibrid sistemler genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanılmaları ile elde

edilebilmektedir. Dolayısıyla birbirini destekleyici özellik gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanımının üretim sistemi güvenilirliğini artırmaktadır.

Güneş panellerinden elde edilen çıkış gerilimi ve yakıt hücrelerinin çıkış gerilimi DC'dir. Küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde kullanılan daimi mıknatıslı generatör ve türbin üzerinde bulunan şarj kontrol sistemi gereği çıkış gerilimleri büyük çoğunluğunda DC'dir. Bu durum DC gerilim ile beslenen yüklerde avantaj teşkil etmektedir. Bununla birlikte yüksek güçlü rüzgâr türbinlerinin çıkış güçleri de AC olmasına karşın yüksek değerlere sahip olabilmektedir. Bu gibi sistemlerde rüzgâr türbininin çıkış gerilimi doğrultularak alçaltılır ve sistemde bir DC bara oluşturulur.

Sera gazı emisyonunun azaltılması ve enerjiyi etkin kullanma konularında toplumun yaşantı temelini esas alan projelerle toplumsal değişiklikler yaratılmadığı sürece yapılan çalışmaların ve tedbirlerin etkisi, sınırlı ve kısa süreli olacaktır. Toplumdaki bu değişim öncelikli olarak, yaşam alanları olan evlerden başlatılmalıdır. Bu kapsamda değişimin başlangıç noktasını; yenilenebilir enerji kaynaklarını ve üretilen enerjiyi etkin kullanan binaların oluşturulmasıdır.

Bu çalışma yenilenebilir enerji ve akıllı aydınlatma olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın enerji bölümünde ise 0,5 kW gücünde dikey çalışan bir rüzgâr türbini ile 0,5 kW gücünde fotovoltaik piller kullanılarak bir hibrid enerji üretim sistemi kurulmuştur. Rüzgâr türbininin ürettiği üç fazlı değişken genlikli ve değişken frekanslı AC gerilim 24 V DC gerilime çevirilerek aküye gönderilmektedir. Fotovoltaik piller, 24 V DC üretecek şekilde bağlandıktan sonra üretilen enerji şarj kontrol ünitesinden geçirilerek aküye gönderilmektedir. Bölgenin meteorolojik potansiyelinin belirlenmesi için meteoroloji istasyonu kurulmuş ve veriler depolanmıştır. Projenin aydınlatma bölümünde, Power LED(light emitting diode) modül ışık kaynaklı LED'li armatürler dizayn edilmiştir. Laboratuvar aydınlatması için bulanık mantık aydınlatma kontrolü yapılmıştır. Armatürlerin güç ve haberleşmeleri için ayrı ayrı kartlar tasarlanmıştır.

I.2 AMAÇ

Türkiye, giderek artan elektrik enerjisi talebine karşı dışa bağımlı fosil yakıtlara dayalı enerji arzı darboğazındadır. Avrupa'da rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli en iyi olan ülkelerden biri olan Türkiye, var olan potansiyelini kullanmak açısından yeterli başarıyı sağlayamamıştır. Bununla birlikte, 2020 yılında dünya

elektrik talebinin %12'sinin yenilenebilir enerjiden karşılanması için çalışmalar yapılırken, ülkemizin de bu çalışmaların hızla içinde yer alması gerekmektedir.

Rüzgâr ve güneş enerjisinden faydalanmak için kullanılan rüzgâr türbini ve fotovoltaik pil yerleşkeleri genelde yerleşim bölgelerinden uzak, yüksek rüzgâr potansiyeli olan deniz kıyısı ve açık alanlardır. Rüzgâr türbinlerinin, yerleşim alanlarındaki rüzgâr potansiyelindeki kısıtlılık ve oluşturduğu çevresel etmenlerden dolayı (çıkartıkları ses, kanat kırılması sonrası oluşabilecek zararlar vb. nedenler) kent içi kullanımı sınırlı kalmıştır. Fotovoltaik piller, kuruldukları yerde ve çevresinde kapladıkları alanlar büyüklüğü nedeniyle genelde küçük güçlü sistemler haricinde kent içi kullanımda çok tercih edilmemiştir.

Büyük güçlü sistemlere kıyasla, küçük güçlü sistemler teknolojik altyapı, bilgi birikimi ve yatırım açısından ulusal kaynaklarla daha kolay gerçekleştirilebilirler. Şu anda üretilen küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin büyük çoğunluğunda daimi mıknatıs uyarmalı senkron generatörler kullanılmakta, elde edilen değişken genlik ve frekanstaki alternatif akım türbine akuple şarj kontrol ünitesi ile doğrultularak bir maksimum güç çekme algoritması ile akülere beslenmekte ya da uygun güç elektroniği devreleri yardımıyla şebekeye paralel bağlanabilmektedir. Elektrik makine tasarımı, güç elektroniği ve kanat tasarımı ile bilimsel olarak uğraşan akademisyenler ve KOBİ'lerin güç birliği yapması durumunda küçük güçlü rüzgâr sistemleri kolaylıkla ve özgün tasarımlarla ulusal kaynaklarla üretilebilir ve bu alanda önemli bir dış satım potansiyeli yaratılabilir[1].

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin olan Türkiye, maalesef enerji üretimi kapasitesi olarak kendine yetememektedir. Gerek elektrik enerjisini üretecek ham maddeyi gerekse elektriğin kendisini ithal etmektedir. Yani enerji konusunda dışa bağımlıdır. Bu dışa bağımlılık Türkiye'yi hem ekonomik hem siyasal hem de uluslararası ilişkilerde zaman zaman çok zor durumlara düşürmektedir ve düşürmeye devam edecektir. Bu durumdan kurtulmanın en etkili ve en ucuz çözüm yolu doğal enerji kaynaklarını enerjiye dönüştürmesidir. Enerji sektöründeki gerek resmi kurumların gerekse özel sektör firmalarından elde edilen verilere göre doğal kaynaklarımızdaki zenginlik iyi kullanıldığı takdirde ülkemizin enerji ihtiyacını karşılayacak durumdadır. Yenilenebilir enerji alanında çalışmalara ve yatırımlara hız verilmeli, kamuoyunda yenilenebilir enerji bilinci oluşturulmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi kullanımı, birtakım zorunluluklardan dolayı yerleşim alanlarının dışında gerçekleştirilmektedir. Bu

çalışmadaki temel amaç, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi kullanımını yaygınlaştırmak için yerleşim alanları içinde rüzgâr türbininden ve fotovoltaik pillerin birlikte kurulacağı güç sistemlerine uygulama örnekli bir katkı yapmak ve elektrik enerjisinin verimliliği açısından dahili aydınlatma için LED armatürler kullanımı sağlamaktır. Bu kapsamda bina montajlı gerçekleştirilebilecek bir rüzgâr türbini modeli tespit edilmiştir. M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi çatısına dikey eksenli rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden oluşan hibrid enerji üretim sistemi kurulmuştur. Üretilen enerji şarj kontrol ünitesinden geçtikten sonra doğru gerilime çevrilmekte ve toplam kapasitesi 400 Ah. olan akülerde depolanmaktadır. Depolanan enerji, M.Ü Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Bölümü Elektrik Tesisler Laboratuvarı akıllı aydınlatılmasında kullanılmaktadır. Aydınlatma armatürlerinde ışık kaynağı olarak Power LED kullanılmaktadır.

BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

II.1 GİRİŞ

Bu bölümde ulusal ve uluslararası literatür kapsamında;

- Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük paya sahip rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin birlikte kullanıldığı sistemler,
- Aydınlatma sistemlerinde son zamanlarda kullanılmaya başlanan LED armatürler,
- Aydınlatma sistemlerinde kullanılan kontrol sistemleri, hakkında bilgi verilecektir.

II.2 GÜNEŞ – RÜZGÂR HİBRİD SİSTEMLER

Ülkemizde ve dünyada hızla artan enerji ihtiyacı karşısında mevcut tükenir enerji kaynaklarındaki azalma ve bazı kaynakların yol açtığı çevresel sorunlar yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını gündeme getirmiştir[1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde birinci derece enerji kaynakları arasında kullanılmaya başlanmalarıyla birlikte “hibrid enerji sistemleri” ifadesi kullanılmaya başlanmıştır. Hibrid kelimesi literatürde, birkaç nesnenin birleşmesiyle oluşan yeni nesne anlamında kullanılmaktadır. Enerji üretim sistemlerinde ise kavram olarak birden çok güç üretim sisteminin bir arada kullanılması olarak açıklanabilmektedir[2].

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosile dayalı kaynakların, zamanla tükenmeye başlanması ve enerji dönüşümü esnasında meydana çıkan atıklarının çevreye zarar vermesi yaşam alanlarına kalıcı zararlar vermektedir. Bu soruna çözüm olarak; ikili veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağının aynı sistem içerisinde

kullanımı ile birlikte oluşan hibrid sistemden elde edilebilecek alternatif bir enerji kaynağı gösterilmektedir[3].

Değişik türlerde yenilenebilir enerji kaynağının bir arada kullanılmasının çeşitli nedenleri vardır. Bunlardan en önemlisi rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının meteorolojik şartlara bağlı olarak sürekliliklerinin bulunmaması ve besleyecekleri sistemi tek olarak besleyememeleridir[4]. Bununla birlikte alternatif enerji kaynaklarından oluşan bir hibrid enerji sistemi çiftlikler ya da evler gibi daha çok küçük yüklerin beslenmesinde tek başlarına yeterli olabilmektedirler. Fakat büyük güçte yükler veya kesintisiz enerji gerektiren yüklerin beslenmesinde yenilenebilir enerji kaynakları yeterli gücü sağlayamayabilmektedirler. Bu gibi sistemlerde, doğal enerjinin olmadığı ve depolanan enerjinin tükendiği durumlarda hemen enerji üretilebilen dizel generatörler veya yakıt hücreleri devreye sokularak gerekli güç elde edilebilmektedir. Son yıllarda klasik depolama ekipmanlarından (akümülatör vb.) hidrojen depolama sistemlerine kadar birçok depolama teknolojisi hibrid enerji sistemlerinde kullanılmaktadır[5].

Hibrid sistemlerde, doğal enerji kaynaklarının birlikte kullanımını sağlayarak hem sistem verimi artırmak hem de mevsimlere bağlı olarak kaynaklardan herhangi birinin üretime katılamama veya potansiyelinde azalma durumlarına karşı diğer enerji türlerinin sistemin enerji ihtiyacını karşılamasını sağlayabilmek amaçlanmıştır. Hibrid sistemi oluşturan yenilenebilir enerji bileşenleri, iki veya daha fazla doğal kaynağın bir araya getirilmesiyle oluşturulabilir. Örneğin; güneş-rüzgâr-dizel, güneş-rüzgâr-fuel cell (yakıt hücresi) veya güneş-rüzgâr-hidrojen gibi doğal enerji kaynaklarının birlikte oluşturduğu hibrid enerji üretim sistemi uygulamaları bulunmaktadır[6]. Bu gibi sistemlerde kullanılacak doğal kaynak sayısını ve kaynakların çeşidini belirleyen en önemli faktörler, enerji üretilecek bölgede hibrid sistemde kullanılacak doğal kaynağın enerji üretecek potansiyelde olması ve bazı enerji çeşitlerinde de hibrid sistemi sorunsuz bir şekilde bir araya getirmek için gerekli teknolojinin kullanılmış olmasıdır. Hidrojen, biokütle ve fuel cell gibi enerji kaynakları ile gerçekleştirilmiş sistemleri buna örnek gösterebiliriz.

Yenilenebilir enerjili sistemlerin başka bir uygulama alanı da üretilen enerjinin depolanabilmesini sağlamak amaçlı kullanımlarıdır[7].

Literatürde hibrid enerji sistemleri üzerine pek çok çalışma mevcuttur[8]. Bu tür uygulamalarda hibrid sistemlerin kontrolü ve sistem veriminin artırılması en çok irdelenen konular arasındadır. Sistem verimi artırmaya yönelik çalışmalar

incelendiğinde, hibrid sistem bileşenlerinin kontrolünde bulanık mantık, yapay sinir ağları, mikroişlemci tabanlı modelleme gibi algoritmaların kullanıldığı görülmüştür. Hibrid sistemlerin kontrolünden sonra en çok irdelenen diğer bir konu da, elektrik enerjisi üretilen sistemlerin şebekeye bağlantıları ile şebeke ve hibrid sistemde oluşabilecek arızalardır[9]. Ayrıca şebekeye bağlantılı sistemlere ilave olarak tek başına akü gruplarıyla çalışan şebeke bağımsız hibrid sistem uygulamaları da mevcuttur[10]. Bunlara ek olarak hibrid üretim sistemlerinin güç kalitelerinin artırılması ve sistem ömürlerinin uzatılması konusu da önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır[11].

Rüzgâr ve güneş enerjilerinin birlikte kullanımı ile oluşturulan hibrid sistemlere dair ABD ve Avrupa'da pek çok uygulama bulunmaktadır. Ancak ülkemizde henüz bu konudaki uygulamalar azdır. Ayrıca yapılan pek çok güneş ve rüzgâr enerjisi uygulamasında bir sistem oluşturulup sistemin belirli bir bölgedeki ölçüm değerleri çalışmaların konusu olmuştur. Ülkemizin batı ve güney bölgelerinde nisan-kasım ayları arasında sadece güneşten elektrik enerjisi üreten sistem için gerekli güneş enerjisi bulunmasına rağmen kış aylarında yardımcı kaynak kullanılmalıdır. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan yerlerde bu açık rüzgâr enerjisi ile tamamlanabilir[12].

Birçok avantajının yanı sıra hibrid üretim sistemlerinde kullanılan eleman sayısının fazlalığı bu tür sistemleri konvansiyonel enerji üretim sistemlerine göre daha karmaşık hale getirmektedir. Bu doğrultuda hibrid enerji üretim sistemlerinin planlama aşamasındaki en büyük problemi, ilk kurulum maliyetlerini minimumda, sistem güvenilirliği ise maksimumda tutacak projelendirmenin zor olmasıdır[13].

Son yıllarda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre birbirini tamamlayıcı özellik gösteren alternatif enerji kaynaklarının birlikte kullanımının sistem güvenilirliğini artıracığı belirlenmiştir. Eleman boyutlarının ve denetim stratejisinin iyi seçilmesi durumunda sistem maliyetinin çok az yükseleceği hatta kurulan bölgenin özelliklerine göre biraz düşebileceği belirtilmiştir. Boyutlandırma için en az bir yıl boyunca meteorolojik verilerin ölçülmesi gerekmektedir[14].

II.3 LED ARMATÜRLERİN AYDINLATMADA KULLANIMI

Günümüz teknolojisinde LED'lerin birim güç başına sağladığı ışık akısı floresan armatürlerin 2 katına akkor flamanlı lambaların ise 10 katına ulaşmıştır. Bu yüksek verim oranı LED'lerin aydınlatma alanında kullanımının hızla

yaygınlaşmasına yol açmıştır[15]. Geleneksel aydınlatma elemanlarının çoğunda görünür ışık, metal flamanların ısıtılmasıyla veya bir gaz boşalmasındaki mor-ötesi ışımının görünür ışığa dönüştürülmesiyle ortaya çıkan bir yan üründür. LED’lerde ise bunun aksine, elektrik akımı, ışık vermesine neden olacak şekilde katı bir kristal içerisinden geçirilir[16].

Son yıllarda LED’lerin ışık akısı değerlerinde yükselmesi ile birlikte bazı üretici firmalar LED dizinlerini değişik formlarda oluşturarak çeşitli tipte LED modüller imal etmektedirler. Bu LED modül sistemleri, yaratıcı aydınlatma sistemlerinin elde edilmesine yönelik olarak esnek yapıda uç uca sıralanabilen aydınlatma bloklarıdır. Bu sıralama, bir armatür içinde gerçekleştirilebildiği gibi doğrudan doğruya tavana, duvara veya zemine de uygulanabilir. LED modül sistemleri; LED’ler, LED sürücüleri, kontrol üniteleri, mercekler ve bütünleşik ısı dağıtım ünitelerinin birleşiminden meydana gelir[17]. LED modülleri 5, 10, 12, 24V gibi DC gerilimler ile çalıştırılır.

LED’ler geleneksel lambalardan daha verimli bir şekilde ışık üretmesiyle ve çok daha uzun ömürlü olmaları nedeniyle aydınlatma armatürlerinde de etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. LED’lerde, geleneksel aydınlatmada olduğu gibi çok sık ampul değişimine de gerek kalmamıştır[18].

Günlük hayatta LED’lerle evler çok daha konforlu hale getirilebilir. Çünkü aydınlatmada yapılacak ufak bir değişiklik ile bulunduğunuz odanın atmosferini değiştirebilir ve konforunu arttırabilirsiniz[19]. Sürekli bir ışık açık bırakmak isteyenler için enerji tasarruflu ampullerin yanı sıra ikisi bir arada LED ışık etkili ampuller ile sadece 1W harcayarak koridorlarda sürekli aydınlık ve güvenlik sağlanmış olur. Ayrıca evlerin duvarlarındaki resimler veya farklı dekoratif aksesuarlarımız var ise, bunlar LED’ler ile vurgulu aydınlatılabilir. Merdiven ve basamak gibi kazaların yaşanabileceği bölümlerin aydınlatılmasında da LED’lerden yararlanılabilir[20].

LED’li aydınlatma, şehir mimarisinde ve peyzaj alanlarında kullanıma da uygundur. Bazı yerlerde ışıkların sürekli açık olması çok önemlidir. Özellikle güvenli olması arzu edilen alanlar veya pozitif bir atmosferin yaratılması istenen alanlar da aydınlatma önemlidir[21]. Patika aydınlatması, park alanları, iskele babaları, güvenlik aydınlatması ve bahçe aydınlatması günümüzde LED’lerin getirdiği avantajlardan faydalanmaktadır. Tarihi mekânların ve müzelerin aydınlatılmasında geleneksel aydınlatma armatürlerinin verdiği ısı zararları LED

kullanımı ile ortadan kalkmaktadır[22]. Bahçe düzenlemeleri ve iç mimari alanlarında tabiat şartlarına ve dış etkilere karşı dayanıklı olmaları nedeniyle LED'ler tercih edilmektedir. Şehir güzelleştirmesinde köprülerden tarihi eserlere, meydanlardan çeşmelere kadar pek çok projede kullanılır durumdadır. Son yıllarda giderek yaygınlaşan fotovoltaik pil enerjili yol aydınlatma sistemleri, kent içi ve şehirlerarası yollarda kullanılmaya başlanmıştır[23].

Otomotiv endüstrisi süratle LED aydınlatmasına yönelmektedir. Gösterge aydınlatması, tavan aydınlatması, arka cama monteli fren lambası, arka fren ve sinyal lambaları için zaten milyonlarca araçta kullanılmaktadır. LED'lerden elde edilen ışık akısının güçlendirilmesinin hemen ardından otomobil farlarında LED'lerin kullanımına en kısa sürede geçilmesi beklenilmektedir[24].

Eğlence sektöründe LED'li ürünler yerini almış durumdadır. Film stüdyoları, tiyatro ve sinemalar, cafe ve barların ışıklandırılması için renkli spot ışıkları, projektör ışıklandırması, renk değiştiren ışıklar, duvar aydınlatması kullanılmaktadır. Tüm bu alanlarda kontrol edilebilir dinamik ışıkların gerçek bir farklılık yaratmasına ihtiyaç duyulur. Bilgisayardan ya da sistem için tasarlanmış kumanda cihazı ile istenilen renkler yaratılabilir, ayrıca müzikle hareketlenen duvar ve zeminlerle dinamik bir atmosfer oluşturulabilir. İstenildiğinde ışıkla değiştirilebilen mekânlar, insanları stresten kurtarıp farklı olabilme imkânını sunabilmektedir[25].

Aydınlatma sektörü içerisinde insan sağlığına da önemli ölçüde etkileri olan gıda alanlarının aydınlatılmasında çok titizlik gösterilmesi gerekir. LED'li armatürler ile gerçekleştirilen aydınlatma, mağaza raflarına, gıda maddeleri ve diğer bozulabilen ürünler de dahil olmak üzere her türlü üründen birkaç milimetre uzağa rahatlıkla yerleştirilebilmektedir[26].

LED aydınlatma sistemleri bunların dışında; ofislerde, toplantı salonu ve lobilerde, mağaza ve vitrin aydınlatmasında bina cephelerinin aydınlatılmasında, ışıklı reklam panolarında, yönlendirme tabelalarında, solar sistemle birlikte işaret levhaları gibi birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır[27].

II.4 AYDINLATMADA KULLANILAN KONTROL SİSTEMLERİ

Tasarım ve kontrol olarak başarılı bir aydınlatma sistemi, kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik durumlarını etkiler. Ampul ve aydınlatma armatür üreticilerinin teknolojilerini sürekli geliştirmeleri ve her amaca yönelik değişik tip ve boyutlarda aydınlatma armatürleri üretmeleri ile tasarımcıların hayallerindeki

mekânları oluşturmasında, aydınlatma çok daha önemli bir araç haline gelmiştir. Bununla birlikte mekânlar içerisinde kullanılan aydınlatma armatürlerinin tiplerinin ve sayılarının artması, aydınlatmanın kontrolünü oldukça karmaşık bir hale getirmiştir. Dahili ortamlarda aydınlatma ünitelerinin kontrolünü daha basit bir hale getirmek, dekorasyonu tamamlayacak ışık efektleri elde etmek, en yüksek seviyede enerji tasarrufu sağlamak ve aydınlatmayı en efektif şekilde kullanabilmek amacı ile aydınlatma kontrol sistemleri kullanılmaktadır[28].

Aydınlatma kontrolü, mekânın fiziksel özelliklerine bağlı olarak, doğal aydınlatma ile ya da yapay aydınlatma için ışık kaynaklarının bir takım özelliklerinde değişiklik ya da ekler yapılarak, yapay aydınlatma ile sağlanabilir. Bir mekânın aydınlatılması doğal ve yapay ışığın ideal bir birleşimi ile olmalıdır. Yapay ışık kaynaklarının doğal olana yaklaşma çabasında olduğu iç mekânlarda, doğal aydınlatmayı göz ardı etmek hem enerji verimliliği hem de kullanıcı ihtiyaçları bakımından uygun değildir[29]. Teknolojinin ilerlemesi ve kişisel isteklerin artması sonucu bulunduğumuz mekânlar çeşitlenmiş, daha kalabalık mekânlarda vakit geçilmeye başlanmıştır. Geçmişte, dar bir mekânda tek bir lambanın ışığı aydınlığı sağlamada yeterli olurken, günümüzde daha geniş mekânlarda gereken aydınlık düzeyini sağlamak için daha fazla lambanın ışığına ihtiyaç duyulmaktadır. Mekân içinde birden fazla aydınlatma elemanı kullanıldığı durumlarda, aydınlatma elemanlarının mekânın fonksiyonlarına göre yerleştirilmesi belirli bir aydınlatma düzeni sayesinde olur. Tasarımcı tarafından belirlenip, aydınlatma planına göre yerleştirilen lamba ve aygıtların, mekânın fonksiyonu ve mekândaki kullanıcıların ihtiyaçlarına göre belirli zamanlarda yakılıp söndürölmesi gerekmektedir. Pek çok aydınlatma elemanından oluşan bir aydınlatma düzenin sağlıklı çalışması ve verimliliği için gerekli olan bu durum sonucunda, ortaya aydınlatmanın kontrolü kavramı çıkmıştır[30].

Aydınlatma konusunda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla, doğal ve yapay ışık kaynaklarının birlikte kullanılması, yapay aydınlatma kontrolünün önemini arttırmıştır. Bu bakımdan, uygun yapay aydınlatma kontrol sistemlerinin mekân içinde kullanımının, hem kullanıcı için gereken iyi görme koşullarını oluşturacağı, hem de enerji tasarrufu sağlayacağı unutulmamalıdır. Yapay aydınlatma kontrol sistemlerinin ortaya çıkan ilk sürümlerinde devreye verilen gerilimin düşürölmesi yoluyla lambanın karartılmasıyla (dim edilmesiyle) tamamen aydınlık-tamamen karanlık arasında bir aydınlık düzeyi elde edilmeye çalışılmıştır. Devreye verilen

gerilimin düşürülmesi sonucu lambanın karartılmasına, dim etmek denir. Bu yöntemle hem istenilen aydınlık düzeyi elde edilmiş, hem de enerji tasarrufu sağlanmıştır. İlk denemeler, tungsten telli enkandesan lambalar ile yapılmıştır. Devreye verilen akımın sınırlanması sonucu bu lambaların renk spektrumlarının kırmızıya doğru kaydığı görülmüştür[31].

Günümüzde dahili ortamlarda yaygın olarak kullanılan elektronik balastlı floresan lambalar da akım veya gerilim kontrollü dim edilmesiyle aydınlık düzeyleri ayarlanabilmektedir. Osram, Philips gibi aydınlatma firmalarının aydınlatma kontrolünde mikroişlemcili kontrolörleri kullanılmaktadır. Son yıllarda aydınlatma projelerinde yerini alan LED'ler, kontrol ve dim edilebilmektedir. LED'ler DC gerilim ile çalıştığından kontrol ve dim işlemi diğer aydınlatma kaynaklarından farklıdır[32]. Yarıiletken malzeme olmaları ve dirençlerinin çok küçük olması nedeniyle akım veya gerilim sınırlamalı bir kaynaktan beslenmeleri zorunludur. LED'ler, renklerine ve çeşitlerine göre besleme gerilimleri ve akımları farklı yarıiletken ışık kaynaklarıdır. Üretim katalog değerlerine göre enerji uygulanmaması durumunda ya hemen ya da kısa bir süre içerisinde bozulabilirler. LED'lerin verimli dim edilmesi işlemi "Puls With Modulation" (PWM) sinyali ile olur. Bu mantıkla tasarlanmış dimmer sistemi vasıtasıyla ışık seviyelerini %1 ile %100 değer aralığında ayarlayarak, mekânlarda daha estetik ortamlar oluşturulabilir. Gerilim veya akım kısıtlanarak yapılan dim uygulamasında LED'in katalogunda belirlenen ışık akısı değeri azalacaktır. Ayrıca bu yöntemle yapılan dim uygulamasında LED, gerilim kısıtlanıyorsa nominal çalışma geriliminden fazla gerilimi, akım kısıtlanıyorsa nominal çalışma akımından fazla akımı kaynaktan çekecektir. Bu çalışma şekli, LED'in ömrünü kısaltacaktır. LED'ler, piyasada birçok uygulamada kullanılan DMX 512 veya firmaların kendi tasarladıkları pic tabanlı kontrolörler ile de kullanılabilir. Bu cihazlar ile binlerce çeşit renk senaryoları oluşturulabilmektedir[33].

Genel olarak yapay aydınlatmanın kontrol edilmesinde kullanılan sistemlerde aranan özellikleri, dört ana başlıkta toplamıştır. Bunlar; verimlilik, enerji tasarrufu, estetik ve esnekliktir. Yapay ışığa ihtiyaç duyulan iç mekânlarda, kullanıcının mekân içinde bulunduğu saatler ve mekânın doğal aydınlatmadan yararlanabildiği saatler göz önünde bulundurularak, kontrol sisteminin programlanmasıyla yapay aydınlatma otomatik olarak kontrol edilebilir. Böylece insan eliyle kontrol edilen aydınlatmada karşılaşılan problemler ortadan kalkar. Doğal aydınlatmayla birlikte kurgulanan

aydınlatma senaryolarıyla aydınlık düzeyi, günün her saatinde istenilen düzeyde tutulacağı için elektrik enerjisinden tasarruf edilmiş olunur. Ayrıca aydınlatma kontrolü sayesinde mekân içinde işleve bağlı değişiklikler için aydınlatmanın ihtiyaç duyulan alanlarda değiştirilmesi işlemi, anında yapılarak tesisatın değiştirilmesi sırasındaki zaman kayıpları ortadan kaldırılmış olacaktır. Bu durum sistemin verimlilik sağladığının bir göstergesidir[34].

Aydınlatma sisteminin mekândaki kullanıcının ihtiyaçlarına ya da mekânda bulunduğu süreler göre, bir bilgisayar yardımı ile programlanması sayesinde aydınlatma sistemi esneklik de kazanmış olur. Tek bir merkezden yönetilen sistem, istenildiğinde manuel olarak da kontrol edilebilmelidir. Böylece pek çok kullanıcısı olan mekânlarda aydınlatma, ihtiyaca göre değiştirilebilir, bu durum mekâna esneklik kazandırır. Bunların yanında aydınlatma kontrolü ile aydınlatmanın sağlandığı bilgisayar sistemi üzerinden bilgi toplamak ve toplanan bilgileri istatistiksel olarak değerlendirmek de mümkündür. Bu sistem sayesinde, mekân içinde belirlenen alanlarda ne kadar süre ile ne kadar enerji harcandığını kontrol etmek mümkün olmaktadır. Farklı mekân tipleri ve fonksiyonlarına göre geliştirilen aydınlatma kontrol sistemleri, kullanıcının sistemi ne şekilde kontrol ettiğine bağlı olarak üç ana grup altında incelenebilir[35]. Bunlar;

- Manuel kontrol,
- Otomatik kontrol,
- Bilgisayar destekli kontrol,

Manuel Kontrol; Bu sistemde kullanıcıların kendi gereksinimlerine uygun aydınlık düzeyini ayarlaması esas alınmaktadır. Aydınlatma düzeneklerinde kullanılmakta olan açma-kapama anahtarları ve dim anahtarları yardımıyla bu sistem gerçekleştirilir. Bu sistemin en önemli dezavantajlarından biri kullanıcıların gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda aydınlatmayı açıp, gün ışığının yeterli konuma ulaştığı zamanlarda ise aydınlatma sistemini devreden çıkarmayı unutmasıdır. Bu durumda aydınlatma sürekli açık konumda kalıp enerji israfına yol açmaktadır[36].

Otomatik Kontrol; Zaman anahtarları, zaman röleleri, hareket dedektörleri ve günışığı sensörleri yardımıyla tam otomatik kontrol yapılması sağlanır. Zaman anahtarları yardımıyla çalışma ortamlarının kullanılmadığı saatlerde otomatik olarak kapatılması sağlanır. Zaman röleleri yardımıyla lamba yakıldıktan belli bir süre sonra otomatik olarak lambanın kapatılması sağlanır. Hareket sensörleri yardımıyla ortamda kişilerin bulunmadığı zamanlarda lambaların otomatik olarak kapatılması

sağlanır. Gün ışığına bağlı olarak günışığı sensörleri yardımıyla aydınlık düzeyinin sürekli ayarlanması sağlanır[37].

Bilgisayarlı Kontrol; Bilgisayara dayalı aydınlatma kontrol sistemi, aydınlatma sisteminin verimini ve esnekliğini artırır. Bir bilgisayar yazılımı yardımıyla önceden belirlenmiş bir programa göre veya sensörlerden gelen uyarılara göre lambalara kumanda edilir. Ayrıca bu sistemin kontrol bilgisayarı, diğer alt sistemleri (havalandırma, asansör, vb.) kontrol eden ana bilgisayar merkezine de bağlanabilir. Bu tür sistemler sensörlerden veya binanın değişik yerlerine yerleştirilmiş sabit veya kullanıcıların yanlarında taşıdıkları uzaktan kumanda aletlerinden gelen uyarılara göre işlev görür. Hacim içindeki yerleşim düzenine ve hacim içine giren günışığı miktarına göre de çalışan bu sistemler, aydınlatma enerjisinin etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamanın yanı sıra oldukça esnek bir sistemdir[38].

Aydınlatma kontrolünde özellikle son yıllarda farklı kontrol sistemleri de kullanılmıştır. MATLAB programı bulanık sistem kontrol alt programı ile çeşitli simülasyonlar yapılmıştır. Bu programla hareketli ve durağan durumlar karşısında zaman ertelemeli lineer bir çıkış elde edilmeye çalışılmış ve bununla aydınlatmada tasarruf sağlanmak istenmiştir[39]. Fiber optik aydınlatma ile aydınlatma kontrolü yapılan sistemlerde, aydınlatılacak mekânın merkezine yerleştirilen aydınlık sensörünün aldığı verileri sürekli dim kontrollü bir sisteme bilgi gönderme işinde bulanık sistem kontrolden yararlanılmıştır[40]. Ayrıca, çevre aydınlık şiddetine göre bir ortamın aydınlatılması istenilen yerlerde de bulanık sistem kontrol kullanılmıştır. Dış ortama ve aydınlatılmak istenen ortama sensörler yerleştirilmiş, dış ve iç ortam ışık bilgileri LABVIEW programı ile iletilmiş ve karanlık ortamdaki lamba bulanık sistem kontrol ile dim edilmiştir [41].

BÖLÜM III

TEORİK ÇALIŞMA

III.1 GİRİŞ

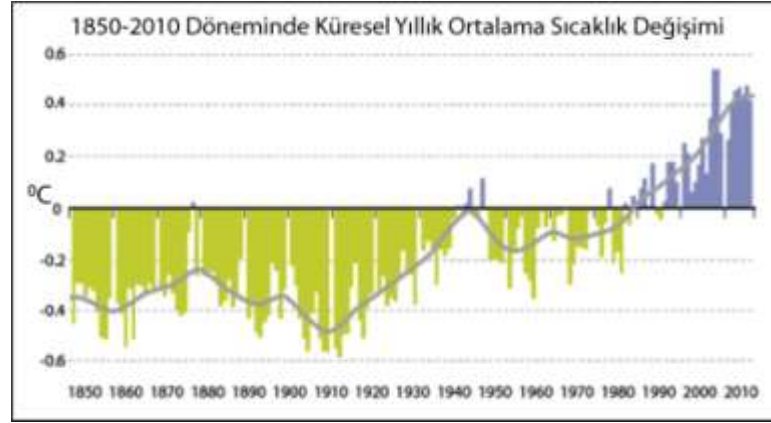
Çalışmanın bu bölümünde güç sistemini oluşturan, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi oluşumları üzerinde durulmaktadır. Böylece rüzgâr ve güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemler ve düzeneklerinden bahsedilmektedir. Sistemin aydınlatma kısmında kullanılan power LED'lerin yapısı ve LED armatür tasarımı üzerine açıklamalarda bulunmaktadır. Ayrıca aydınlatma sistemi kontrolü için kullanılan bulanık mantık kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmektedir.

III.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ

Enerjinin verimli kullanımı ve ülkelerin gelişimlerdeki payı önemli ölçüde enerji kaynaklarının yeterliliğine bağlıdır. Bugün itibariyle, dünya enerji tüketim talebinin %85'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır[42]. Fosil kökenli yakıtlar özellikle son iki yüzyıl içerisinde, üretim teknolojilerinin gelişmesi ve ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılması sonucu yenilenebilir enerji kaynakları karşısında önemli bir üstünlük sağlamıştır. Petrol ve kömür egemenliğine dayanan enerji çağı, uzun yıllar sorunsuz devam etmiş, ancak 1973 Petrol Krizi ilk kez enerji kaynakları konusunda bir güvensizlik ortamı yaratmıştır. 1980'lerin ortalarında petrol fiyatları düşmüş ancak, petrol krizi sonucu gündeme gelen "enerji güvenliği" sorunu kalıcı ve önemini koruyucu olmuş, bunun sonucunda da "enerjinin çeşitlendirilmesi" konusu, enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Bu güvensizlik ortamı, bütün dünyada temiz ve sürdürülebilir (yeni ve yenilenebilir) kaynaklara karşı yoğun bir ilgiye yol açmıştır[43].

Yenilenebilen enerjilerin önemi gaz emisyonlarıyla daha iyi anlaşılabilir. Avrupa Birliği raporlarına göre; yenilenebilir enerji tüketimi 10 yıl içerisinde iki katına çıkarılabilir ise, Avrupa'da karbondioksit emisyonu her yıl 402 Milyon Ton

azalacaktır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferanslarında “temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları tüketim payı tüm enerjiler içerisinde en az %25 olmalıdır” sonucu çıkmıştır. Bu hedefe en geç 30 yıl içerisinde ulaşılması aksi takdirde dünyada yaşanılmayacak bölgelerin oluşacağı ve değişen iklim koşullarının kalıcı olacağı belirtilmiştir[42]. Geçmişte bahsedilen ortamların sağlanmasına yönelik gerekli çabanın gösterilmemesi veya konunun öneminin geç fark edilmesi ve fosil kaynakların kullanımı nedeniyle, dünyadaki sıcaklık son bin yılın en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Bunun yanı sıra iklim değişikliği sonucunda kuraklık, sel, fırtına gibi doğal afetler meydana gelmiş/gelmekte, can ve milyarlarca dolarlık mal kayıplarına sebep olmanın yanı sıra insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemiştir/etkilemektedir. Şekil III.1’de dünya üzerindeki küresel sıcaklık değişimi grafiksel olarak verilmiştir[43].



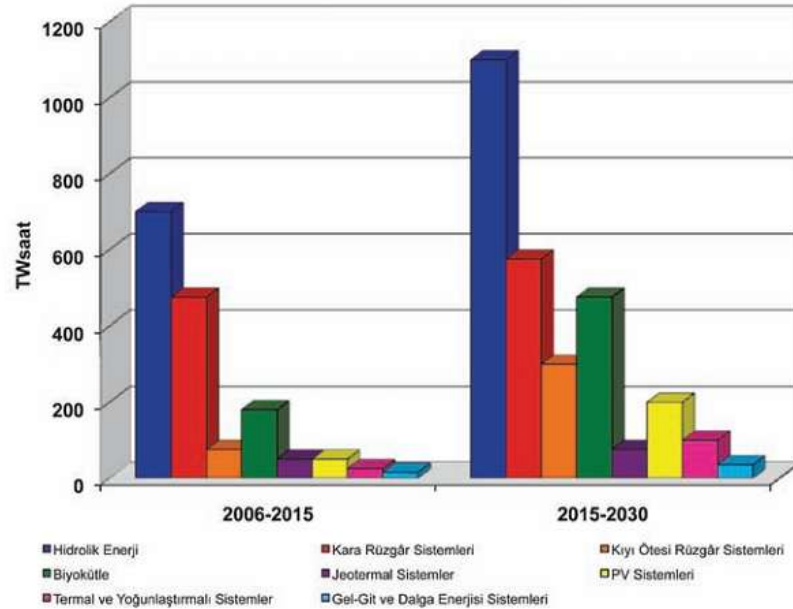
Şekil III.1 1850-2010 Yılları Arasındaki Küresel Sıcaklık Değişimi[43].

Yenilenebilir enerji kavramı, Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) yenilenebilir enerji çalışma grubu tanımına göre, sürekli olarak yenilenen ve doğal süreçlerden elde edilen enerji çeşidi olarak ortaya konulmaktadır. Buna göre; güneş, rüzgâr, biokütle, bio yakıtlar, jeotermal, hidrolik güç, okyanus kaynakları ve doğal kaynaklardan elde edilen hidrojen enerjisi bu kavramı oluşturan enerji kaynaklarıdır.

Avrupa Birliği'nin 2020 yılı yenilenebilir Enerji Yol Haritası'ndaki % 20 yenilenebilir enerji hedefine ulaşılması için araştırma ve geliştirme çalışmalarının hızlandırılması, halkın bilinçlendirilmesi ve yatırımların artması için özel sektörün desteklenmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği'ndeki gelişmelere paralel olarak dünyada da son yıllarda elektrik üretimi, ısıtma ve biyoyakıt uygulamalarına yapılan yatırımlar oldukça artmıştır. Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişimi

desteklemek amacıyla yeni ABD hükümetinin öngördüğü hedefler doğrultusunda, gelecek 10 yıl içinde 150 milyar dolar yatırım yapılması planlanmaktadır[44].

Yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırımların 2007–2030 yılları arasında 5,5 trilyon \$ olacağı öngörülüyor. Bu yatırımların % 60'ının elektrik üretimine, % 36'sının ısı üretimi için yenilenebilir kaynakların kullanılmasına, % 4'ünün ise bio yakıtlara ayrılacağı tahmin edilmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin önümüzdeki on yıllık süreçlerde büyümesi beklenmektedir. 2006 yılında dünya elektrik üretiminin % 18'i (3470 TWh yenilenebilir kaynaklardan karşılanmıştır. Bu değerin 2015 yılında % 20 (4970 TWh), 2030 yılında da % 23 (7705 TWh) olması öngörülüyor. Yenilenebilir enerjiler arasında hidrolik enerji, elektrik üretiminde başı çekmektedir. Hidrolik enerjiyi sırasıyla kıyadaki rüzgâr sistemleri, biyokütle, deniz üzerindeki rüzgâr sistemleri, jeotermal sistemler, PV sistemleri, yoğunlaştırılmalı güneş sistemleri, dalga ve rüzgâr enerjileri izliyor. 2015 yılından sonra genel eğilimin biraz değişmesi ve güneş enerjisi sistemlerinin önem kazanması beklenmektedir[44]. Şekil III.2'de 2006-2015 yılları arasında üretilen ve üretilmesi düşünülen dünyadaki yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisindeki artış oranları verilmiştir.

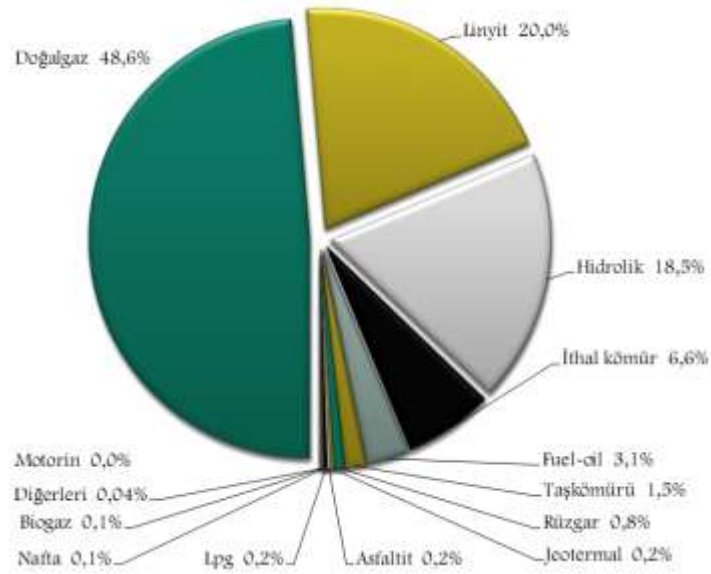


Şekil III.2 Dünyadaki Yenilenebilir Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisindeki Artış[44].

Yenilenebilir kaynaklardan güç üretimi maliyetinin 2030 yılına kadar düşmesi beklenmektedir. Bu düşüş, özellikle göreceli olarak daha olgun olan teknolojilerde (jeotermal ve kıyadaki rüzgâr gücü sistemleri) belirgin hale gelecektir. Hidrolik enerji

kurulum maliyetlerinin deęiőeceęi dūőünölmemektedir. Gerçekte, her bir teknoloji için üretim maliyetleri yerli kaynak bulunabilirliğine, talebe ve tahmin edilen hizmet ömrüne göre bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Örneęin yıllık rüzgâr hızının 10 m/s olduğu Yeni Zelanda'da kıyıdaki rüzgâr enerjisi elde etme sistemlerinin maliyeti 35 \$/kWsaat iken, yıllık karasal rüzgâr hızının 7 m/s olduğu, Danimarka ve Almanya'da farklı retim sistemleri olduğu için maliyet değerleri aynı değildir. Bu sebeple destekleme politikaları da bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir.

Önümüzdeki yıllarda, güneş enerjisinin ısınma amacıyla kullanılması süreçlerinin artacağı ile ilgili veriler bulunmaktadır. Çin, dünyada bu amaçla kurulu toplam sistemlerin % 60'ına sahip, bu sistemlerle 2006 yılında 3 MTEP civarında enerji elde etmiştir. Dünyada güneş enerjisiyle ısınma kapasitesinin 2030 yılında 45 MTEP olacağı tahmin edilmektedir. Dünyada jeotermal ısı 2006 yılında 3 MTEP enerji sağlamıştır. ABD, İsveç, Çin, Türkiye ve İzlanda doğrudan jeotermal enerji kullanımında lider konumundadır. Örneğin İzlanda'da bu yolla toplam ısınma ihtiyacının % 45'i karşılanmaktadır. 2030 yılında doğrudan jeotermal enerji kullanımının 18 MTEP olacağı öngörülmektedir[44].



Şekil III.3 Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (2009)[45].

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile birlikte büyüme oranlarına bakıldığında Türkiye'nin enerji ihtiyacının hızlı bir şekilde artacağı öngörülmektedir.

Bu büyümeye rağmen enerji kaynakları alanının sınırlı olması, Türkiye’yi enerjiyi ithal eden ülke konumuna düşürmektedir. Ülkede enerji ihtiyacının % 50’den fazlasının ithal edildiği ve her yıl bu payın arttığı görülmektedir. Bu enerji ihtiyacının karşılanmasında, bölgesel olarak yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından yararlanılmalıdır. Şekil III.3’ de görüldüğü üzere üretilen elektrik enerjisinin yarısından fazlası ithal hammaddeye endekslidir. Bu durum enerji olarak ülkeyi dışa bağımlı hale getirmektedir[46].

Ayrıca; enerji ihtiyacının tamamını yenilenebilir enerji kaynaklardan sağlayacak bölgelerin oluşturulması (1500 MW’lık artış) belirtilen hedefler içerisindedir. Türkiye’nin de Bakan düzeyinde katıldığı Japonya’nın Kyoto kentinde yapılan “Küresel Isınma” içerikli toplantıda alınan kararlar uyarınca diğer ülkelerin de kabul ettiği enerji politikalarına ülke çapında uyulmak zorundadır. Buna göre, Türkiye enerji tüketim talebini karşılamada yenilenebilir enerji kullanımını özendirmeli, yeni kurulacak sanayi tesisleri için teşvik sistemini geliştirmeli, kurulu tesislerin sera gazı salım oranlarını denetlemeli ve sektörleri yönlendirici yaptırımları uygulamalıdır[42].

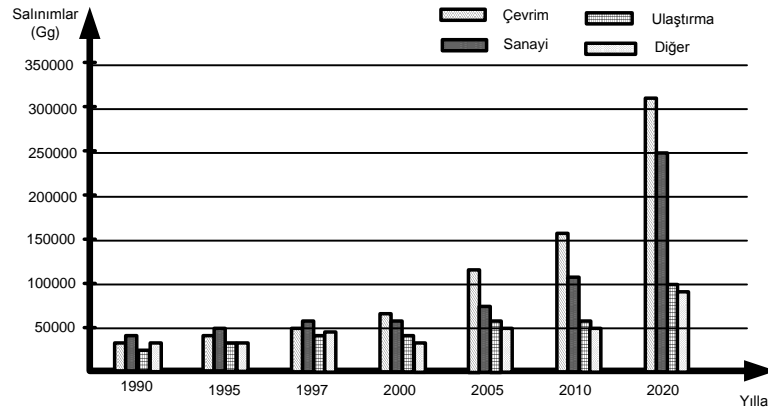
Tablo III.1 Türkiye Yenilenebilir Enerji Potansiyelleri ve Kullanımı Değerleri[44].

Yenilenebilir Enerji Türü	Enerji Potansiyeli (kWh/yıl)	Enerji Kullanımı (kWh/yıl)
Hidroelektrik Güç	129.5	45.3
Rüzgâr Enerjisi Sistemleri	148 milyar	1,3 milyar
Güneş Enerjisi Sistemleri	380 milyar	bilinmiyor
Jeotermal Sistemler	295 milyar	29 milyar
Biyokütle (biyoyakıtlar dahil)	10 milyon	7 milyon

Tablo III.1’den de anlaşılacağı üzere hidrolik enerjiyi yenilenebilir enerjiler içerisine dahil ettiğimizde Türkiye’de yenilenebilir enerji potansiyeli bir çok ülkeye göre yüksektir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bakımından oldukça çeşitli ve zengin, ancak bunlardan sadece su gücü, enerji üretiminde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi açısından Avrupa ortalamasının yaklaşık iki katı

potansiyel mevcut olup kullanımı yok denecek kadar azdır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli Avrupa ortalamasına denk olmasına karşın genel enerji üretimi içerisindeki payı %1 bile değildir. Jeotermal potansiyeli Avrupa'nın potansiyeline yakın, ısı ve elektrik enerjisine dönüşümü çok yetersizdir. Biyoenerji potansiyeli Avrupa'nın üzerinde bir değerdir, fakat hayvansal atıkların büyük bir kısmı yakılarak kullanılmakta enerjiye dönüşümünde kullanımı çok azdır.

Şekil III.4'de ise Türkiye'deki sera gazı salınımına ait sektörel dağılım verilmiştir. Yıllar ilerledikçe sera gazı salınımının arttığı görülmektedir.



Şekil III.4 Türkiye'de Sera Gazı Salınımının Sektörel Dağılımı[42].

Kyoto sözleşmesine göre gelişmiş ülkeler 2008-2012 yılları arasında atmosfere salacakları sera gazı miktarını 1990 yılı değerinin % 5,4 altına indirmiş olması gerekmektedir. Ortak bir çevre bilincine sahip ülkelerin enerji sorununa çözümü; fosil yakıtlara alternatif olarak yaygınlaştırılmak istenilen rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları alanında Ar-Ge çalışmaları sürdürülmesidir[42].

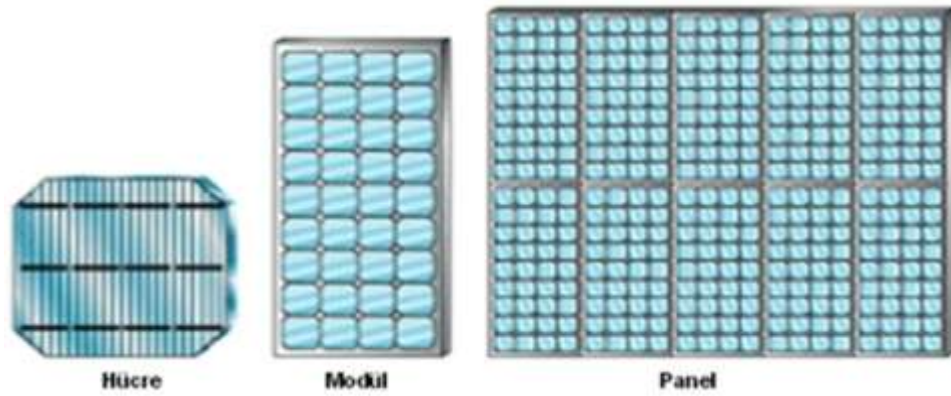
III.3 GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pilleri, güneş ışığını(foton) elektrik enerjisine çevirdiği için fotovoltaik olarak adlandırılır. Fotovoltaik terimi “foto” ve “volta” kelimelerinden oluşmaktadır. Foto “ışık”, Volta ise elektrik birimi olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik “güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirme” anlamına gelmektedir. Fotovoltaikler için kullanılan ortak kısaltma PV'dir[47 , 48].

Fotovoltaik piller için kullanılan ortak terim “Güneş Pilleri” olmakla birlikte, piller her tür ışık altında elektrik üretebilirler. Güneş pilleri, enerjinin korunumu

yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır; ancak enerjiyi depolayamazlar[49].

Güneş pillerinin tarihçesi 1839 yılında Edmund Becquerel'in ışığın etkisini bulmasına kadar gitmektedir. Ancak o yıllardaki teknoloji, bu keşfin kullanılması için yetersiz kalmıştır. Yarı iletken çağı yaklaşık yüz yıl sonra başlamıştır. Shockley P-N birleşimi için bir model geliştirdikten sonra, ilk güneş pili 1954'te Bell laboratuvarlarında üretilmiştir. Bu güneş pilinin verimliliği %5 civarında olmuştur. Sonraki yıllarda güneş pillerinin verimlilikleri sürekli olarak artarak, laboratuvar şartlarında silikon yapıları güneş pillerinin verimlilikleri %25 seviyelerine ulaşmıştır[48]. Basit güneş hücresi ve hücrelerin bir araya getirilmesi ile oluşan modül ve panel sistemleri Şekil III.5'de verilmiştir.



Şekil III.5 Güneş Pili, Hücre, Modül ve Panel[50].

Güneş Pillerinin yapısında temel malzeme olarak silikon kullanılmasına rağmen pillerin yapısında bulunan diğer malzemelerin gelişmesi ile birlikte maliyet kayıpları azaltılmış ve verimlilikleri artırılmıştır. Güneş pili maliyetlerinde son yıllarda etkili bir azalma yaşanmaktadır. Ancak fotovoltaik enerji üretim maliyetleri hala konvansiyonel enerji kaynaklarından daha yüksektir. Fotovoltaik sektöründeki yüksek büyüme oranından dolayı, maliyetlerinin giderek azalacağı yönünde beklentiler devam etmektedir[48].

Güneş pilleri doğru akım ürettiğinden dolayı, elektrikli ev aletleri ve cihazlarda kullanabilmeleri için DC/AC dönüşümünün sağlanması, güneş olmadığı zamanlarda elektrik ihtiyacının, güneş olduğunda ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinden karşılanması gibi etkenler güneş pilleri ile elektrik üretiminin en önemli noktalarını oluşturmaktadır[49].

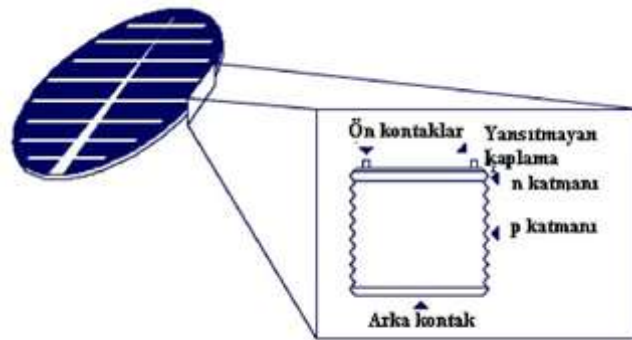
III.3.1 Güneş Pillerinin Yapısı

Güneş pilleri (Fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri birçok farklı maddeden üretilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletkenler; Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum Arsenit, Kadmiyum Tellürid, Bakır İndiyum Diseleneid'tir[51].

Kullanılan malzeme, üretim şekilleri ve diyotların çalışma ilkeleri, temelde benzerdir. Elektronik sanayisinin en önemli malzemelerinden olan silisyum kristali, bugün güneş pillerinin çoğunluğunun üretiminde kullanılmaktadır. Silisyum, teknolojik önemi nedeni ile en iyi bilinen yarı-iletken malzemelerden biridir.

Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gram'dan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ışınımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde tasarlanmıştır. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunmaktadır[52].

Güneş pilleri, güneş-elektrik çevriminin kalbi olup, optiksel ve elektriksel özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemeden yapılmış diyotlardır. PV hücreler, gerçekte birbirine benzemeyen iki zayıf yarı-iletken malzemeden oluşmaktadır (P tipi yarı iletken ve N tipi yarı iletken). Yarı iletken malzemeler başlangıçta silikon malzemelerle yapılırken daha sonralarda farklı malzemelerden üretilmeye başlanmıştır[50].



Şekil III.6 Güneş Pilinin İç Yapısı[52].

Basit bir güneş pilinin içyapısı yukarıda Şekil III.6'da görülmektedir. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. N katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, p-n kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır[52].

III.3.2 Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Güneş pilleri, ilke olarak elektronik düzeneklerin içerisinde kullanılan ve çok küçük boyutlara sahip olan yarı-iletken diyotların, geniş yüzey alanlara uygulanmış şeklidir. Madde içerisinde bulunan elektriksel yük taşıyıcılarının hareketleri malzemelerin elektriksel özelliklerinin; süper iletken, iletken, yarı-iletken ve yalıtkan olarak adlandırılmasını sağlamaktadır. Maddenin yapı taşlarını oluşturan atomların diziliş şekilleri, malzemelerin özellikleri ve elektriksel karakteristiği hakkında bilgi vermektedir. Atom, artı (+) elektrik yüküne sahip protonları ve elektrik yüküne sahip olmayan nötronları içerisinde bulunduran bir çekirdek ve onun çevresinde dolanan eksi (-) yüklü elektronlardan oluşmaktadır.

Atomda, proton sayısı, elektron sayısına eşittir. Bu eşitlik atomun elektrik yükünün sıfır olduğunu göstermektedir. Atomun çekirdeğinden uzaklaştıkça elektronları çekirdeğe bağlayan bağlar zayıflar. Maddenin yapısını belirleyen, çekirdekten en uzakta bulunan elektronlardır. Değerlik elektronu olarak adlandırılan bu elektronlar, iyi bir iletken olan metallerde, komşu atomlar arasında kolayca hareket ederler. Buldukları enerji düzeyinden daha yüksek enerji düzeylerine çıkmadan metal içerisinde rahatça dolaşan bu elektronlara “serbest elektronlar” adı verilir[53].

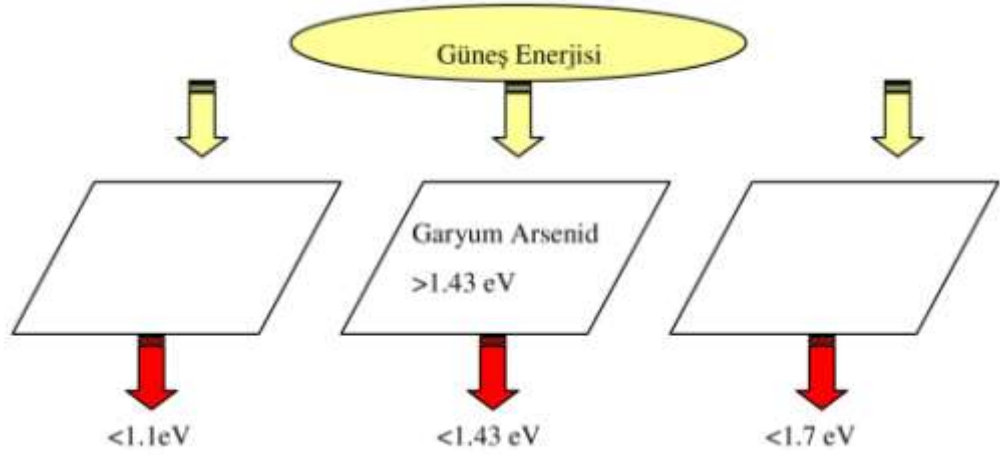
Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda değerlik elektronlarının bulunduğu enerji düzeyi ile bu elektronların bulunabileceği bir sonraki enerji düzeyi arasındaki bölge, elektronların bulunmasının yasak olduğu bölümlerdir. Değerlik elektronlarının bulunduğu enerji bandında “değerlik bandı” ve yasak enerji aralığından sonra elektronların bulunabileceği ilk enerji düzeylerinden başlayan enerji bandına da “iletkenlik bandı” adı verilir[53].

Yasak enerji aralığının büyüklüğü, maddenin yarı iletken ya da yalıtkan olarak sınıflandırılmasının ölçüsüdür. Güneş ışınımında enerji taşıma birimleri olarak tanımladığımız fotoların enerjisi, yasak enerji aralığına eşit ya da ondan büyük ise,

değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini aktararak onu iletken bandına çıkarır. Yasak enerji aralığı 2,5 eV (elektron volt) değerinden daha büyük ise madde yalıtkandır. Güneş spektrumunda enerji 2,5 eV (dalga boyu 0,5 μm) değerinden daha büyük olan bölgedeki güneş ışınlarının tutarı çok az olduğundan, bu tür malzeme fotovoltaik çevrimde soğurucu tabaka olarak kullanılmaya uygun değildir[54].

Işığın görünür dalga boyunda taşıdığı foton enerjisi ile elektron, enerjisini artırarak daha yüksek enerjilere tırmanmaya çalışır. Yasak enerji aralığıyla doğrudan ilişkilendirilen bu enerjinin miktarı, yasak enerji aralığını aşmaya yeterli ise, elektron, içinde bulunduğu değerlik bandından ayrılarak iletkenlik bandına çıkar[53].

Şekil III.7’de farklı malzemeler ile imal edilmiş güneş pillerinin elektron koparmak için gereken foton enerji değerleri verilmiştir.



Şekil III.7 Farklı Malzemeler ile İmal Edilmiş Güneş Pillerinin Elektron Koparmak için Gereken Foton Enerji Değerleri (eV)[54].

Elektron, bulunduğu atomdan ayrıldığı için dengelenmemiş bir artı yük kalacaktır. Değerlik bandında kalan bu artı (+) yüke, boşluk (deşik) adı verilir. Band aralığı 1,4 eV ve 1,6 eV arasındaki yarı-iletkenlerin fotovoltaik çevrimde en uygun malzeme olduğu açıktır[54].

III.3.3 Güneş Pillerinin Çeşitleri

Fotovoltaik teknolojileri, her biri ayrı kristal yapıya sahip atomlara göre sınıflandırılabilir. Bube (1998) tarafından, bu kristallerin boyutlarına göre bir soyağacı tanımlanmıştır[55]. Geçmişte soy olarak polikristal ifadesi tanımlanmasına rağmen daha özel ifadelerle pil çeşitleri;

- Silikon teknolojisinin baskın olduğu tek kristalli piller

- Çok kristalli yapıya sahip, oldukça büyük alanlar üzerine her birinin boyutları 1mm'den 10 cm'ye değişen, tek kristal silikon hücrelerin konulmasıyla elde edilen çok kristalli hücreler,

- Kalınlıkları 1 µm ile 1mm arasında boyutlara sahip birçok taneden oluşan [kadmium tellür (CdTe) hücreler, bakır indiyum diselenid (CuInSe₂)] polikristal yapılı hücreler.

- Mikro kristal yapılı hücreler ile tane büyüklüğü 1 µm'den daha küçük tanelerin birleşmesiyle kristal bölgeye sahip olmayan amorf-silikon yapılı hücrelerdir[55].

III.3.3.1 Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Yakın bir zamana kadar güneş pillerinin çoğu saf tek kristalli silikonlardan yapılmıştır. Tek bir silikonla birbirini takip eden kristal kafes şeklindeki bu yapılar hemen hemen kusursuz denecek saflıktadır[50].

Silisyum elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde elde edilen ilerlemeler bu malzemenin öne çıkmasını sağlamıştır. Saf tek kristal üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. Oksijenden sonra yeryüzündeki en çok bulunan element olan silisyumun en çok bulunan biçimi kum ve kuartzdır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan, kullanılmaya uygun değildir. Ancak, kuartzın %90'ı silisyumdur. Kuartz işlenerek %99 silika elde edilir. Ardından, silikadan metalürji kalitesinde silisyum elde edilir. Bunu izleyen aşamada ise, silisyum saflaştırılarak yarı-iletken niteliğinde çok kristalli silisyum elde edilir. Poly-silisyum elde edilmesine kadar olan aşamaların her birisi yoğun enerji gerektiren ve maliyeti yükselten işlemlerdir[54].

III.3.3.2 Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Çok kristalli silikonlar, tek kristal silikonların küçük taneciklerinden oluşmaktadır. Çok kristalli silikonlardan değişik yollarla direkt güneş pili levhaları yapılmaktadır. Tek kristalli silikonların üretimine benzeyen bu piller eriyen çok kristalli silikonların kontrollü şekilde küp şeklindeki kalıplara dökülüp soğumasından sonra kare şeklinde kesilmesi ile oluşur. Çok kristalli fotovoltaik pillerin üretimi tek kristallilere göre daha kolay ve daha ucuzdur. Fakat çok kristalli silikonların verimi daha düşüktür. Çok kristalli pillerin verimlilikleri laboratuvar üretimlerinde %18, seri üretimlerde ise %13~14 oranındadır. Her iki hücre pili için de yarı-iletken tabakanın kalınlığının artırılması ile verimliliğin artacağı savunulmaktadır[50].

III.3.3.3 İnce Film Güneş Pilleri

İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin; cam, paslanmaz çelik ya da plastikten yapılmış geniş yüzeyler üzerine ince film tabakası şeklinde kaplanması ile elde edilen hücrelerdir[47].

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarından, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi, farklı bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilen birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden-milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. İnce film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar; amorf-silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen bileşiklerdir[54].

Optiksel özellikleri uygun seçilen bir yarı iletken malzemede milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın bir kısmı soğurulabilir. Dolayısı ile ince film fotovoltaik malzemede kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre çok daha azdır. Ayrıca ince-film malzeme istenen bir biçimde çok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, oysa silisyum piller büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Fotovoltaik-modül yapımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur. Bugün laboratuvar verimlilikleri %18'lere kadar çıkmış olan ince film güneş pillerinin uzun dönemde istenen düzeylere ulaşmamış olması, üretici firmaların kararlılıklarını etkilemektedir. Ancak, ulaşılan düzeyde bile ince film güneş pilleri için Siemens, BP Solar, Conan gibi firmalar pilot üretim denemelerini sürdürmektedirler[54].

III.3.3.4 Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silikon olarak bilinen güneş pilleri silikonların çok ince tabakalarından oluşmaktadır. Bu silikon atomları yukarıda belirtilen kristal formlara göre daha düzensiz şekilde yerleşmiştir. Amorf silikon hücrelerini üretmek diğer kristal silikonlara göre oldukça ucuzdur. Ayrıca bir amorf silisyum ışığı daha kolay içine çekmektedir. Bu pillerin üretim işlemleri kristal silikonlar için gerekenden daha

düşük sıcaklıklardadır. Düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde daha çok tercih edilmektedir[50].

Soğurma katsayısı çok büyük olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Amorf Silisyum ilk olarak 1981 yılında ticari anlamda ürün olarak satışa sunulmuştur. Bu yıllardaki verimi %10 civarında olan amorf silisyum PV hücrelerin verimi, 1987 yılına gelindiğinde %12,7'lere ulaşmıştır[56]. Amorf-Silisyum malzemesini kristalli-silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişigüzel olmasıdır. Malzeme içindeki yapı taşlarının gelişigüzel dizilişi amorf-silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, yarı iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak fotovoltaik çevrime uygun düzeyde tutulabilirler[54].

III.3.3.5 Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri

Periyodik tablonun ikinci grubunda bulunan kadmiyum elementi ile altıncı grubunda bulunan tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan (II-VI birleşik yarı-iletkeni kadmiyum tellür) CdTe'nin, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı $E_g=1,5eV$ değeri ile güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır[54].

Kadmiyum tellür modülleri basit ve ucuz galvanize işlemlerine yakın bir şekilde üretilmektedir. Amorf-silikonda meydana gelen başlangıç performans düşüklükleri olmadan Kadmiyum tellürün modül verimliliğinin %10'u aşması istenmektedir. Bu modüller Kadmiyum ve yüksek zehirli madde içerdiklerinden üretimleri boyunca sıkı güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. BP şirketine bağlı BP Solar 2002'de kadmiyum tellür üretimlerini durdurmuştur. Diğer Japon firma Matsushita'da 2002'de kadmiyum tellür üretimini durdurmuştur. Fakat Amerika'da hala kadmiyum tellür üretimi mevcuttur. BP solar firması zehirli etkiyi ortadan kaldırmaya yönelik olarak pilot üretime başlamış olup, 10 MW/yıl üretim kapasiteli bir fabrikayı Fairfield California-ABD kurma çalışmalarını sürdürmektedir. Bu gibi etkenlerin olmasına rağmen BP Solar, Solar Inc. ve Antek gibi çok uluslu şirketler büyük ölçekli üretimler için ciddi adımlar atmaktadır[54].

III.3.3.6 Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grupta yer alan elementlerin üç ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşikte, yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarı-iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. Laboratuardaki küçük alan pillerinin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri %15 dolayındadır[47].

III.3.4 Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneşten elektrik üretimi direkt ve indirekt olarak iki ayrı yöntemle yapılmaktadır. Direkt yöntem kapsamında fotovoltaiik, termoelektrik ve termo iyonik çeviriciler yer almaktadır. Güneş Enerjisinin indirekt biçimde elektriğe dönüştürülmesinde ise, güneşten yararlanılarak üretilen buhar ve bunu değerlendiren bir buhar güç çevrimi ya da güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullanıldığı termik elektrik üretici veya yakıt pili kullanılmaktadır[57].

III.3.4.1 Fotovoltaiik (PV) Santraller

Elektrik üretimi için kullanılan teknolojilerin başında gelen güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Güneş pillerine dayalı fotovoltaiik (PV) güç sistemleri, akım ve voltaj gereksinimlerine bağlı olarak düzenlenmiş PV modüller, sistemde depolamaya gereksinim varsa aküler ve kontrol alt sistemi ile DC/AC dönüşümünü sağlayan çeviricilerden oluşmaktadır.



Şekil III.8 Fotovoltaiik Pillerden Elektrik Üretimi[59].

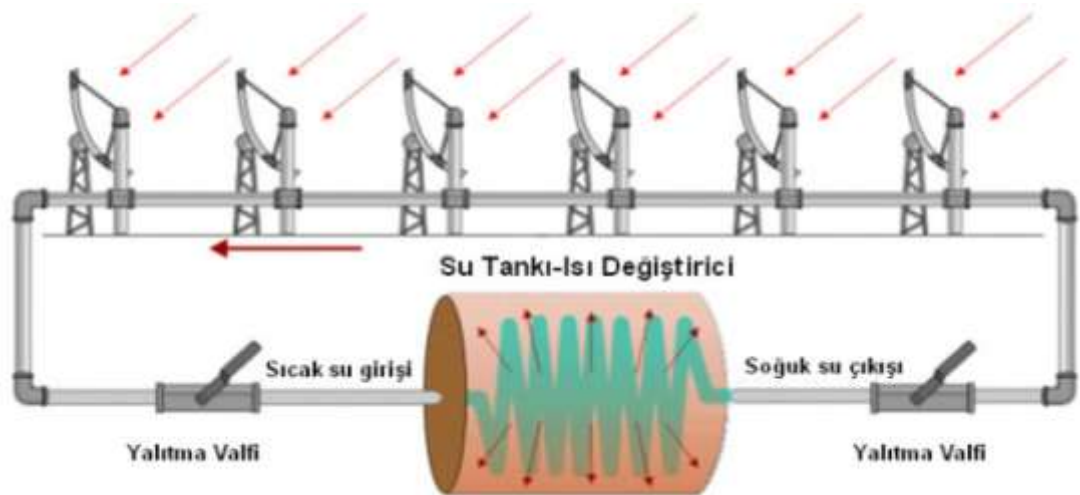
Şekil III.8'de bir binanın çatısına kurulmuş fotovoltaiik piller görülmektedir. Şebekeye bağlı PV santrallerinin güçleri 100 kW ile onlarca MW arasında değişmektedir. Yine şebekeye bağlı ancak dağıtılmış durumda olan bina çatı ve yüzeylerine yerleştirilen sistemler ise 1kW ile 50kW arasında değişmektedir. Güneş PV santralleri olarak, 1982'de California'da 1MW'lık Edison Lugo PV Santrali

kurulmuş, bunu Los Angeles-San Francisco arasında kurulan 6,5 MW'lık Carissa Plains Santrali izlemiştir. Fotovoltaik santral olarak adlandırılan yüksek güçteki PV jeneratörlere yeni bir örnek olarak, halen Girit adasında yapımı sürmekte olan 5 MW'lık santral verilebilmektedir[57]. Güneş santrallerinin yaygınlaştırılmasını etkileyen sebeplerin en başında ekonomik etkenler gelmektedir. Ayrıca PV santralin çok geniş bir alana kurulması gerekmektedir. Bu santrallerin gece üretim yapmayacağı göz önüne alınarak gündüz enerjinin uygun bir şekilde depolanmasını sağlayacak sistemler geliştirilmelidir. Büyük güçlerdeki santrallerin kuruluş maliyeti bugünkü koşullarda diğer santrallere göre daha yüksek olmamasına rağmen gelişen teknolojiye bağlı olarak maliyetin azalması beklenmektedir[58].

III.3.4.2 Güneş Termik Santralleri

Termik güneş güç santrallerinin temel teknolojisi bir akışkanın güneş radyasyonu ile ısıtılarak buharlaştırılması ve buharın bir turbo-jeneratörü hareketlendirmesi ilkesine dayanmaktadır[57].

Bu santrallerde, güneş ışığı yönlendirilebilen güneş izleme aynaları yardımıyla bir kulenin üzerine yerleştirilen alıcıya yansıtılır. Güneş ışınlarının ayna yardımıyla belli bir noktaya yoğunlaştırılmasıyla teorik olarak güneş sıcaklığına yakın bir sıcaklık elde edilir. Alıcının içinden geçen su güneş ışınları yardımıyla ısıtılarak buhar elde edilir. Elde edilen buhar, buhar türbinine uygulanarak mekanik enerjiye ve buradan türbine bağlı olan jeneratöre iletilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir[58]. Şekil III.9'da güneş termik santrallerinin yapısı görülmektedir.



Şekil III.9 Güneş Termik Santrallerinin Yapısı[50].

Termik güneş elektrik teknolojisi doğrusal ve noktasal yoğunlaştırıcı sistemler olarak iki gruba ayrılır. Parabolik oluk, doğrusal yoğunlaştırıcı gruba girerken, merkezi güç kuleli sistem ve parabolik çanak ise noktasal yoğunlaştırıcı sistem grubuna girmektedir. Ünite güçleri 0,5-200 MW arasında olan veya büyük çapta elektrik üretilmesi amaçlanan koşullarda parabolik oluk sistemler, merkezi güç kuleli sistemlerin üzerinde kurulmaktadır[57].



Şekil III.10 Güneş Termik Santral Uygulaması (İspanya)[60].

Şekil III.10'da 1 Temmuz 2009 tarihinde İspanyanın Granda eyaletinde üretime başlayan dünyanın en büyük güneş termik santral uygulaması görülmektedir[60].

III.4 TÜRKİYEDE GÜNEŞ ENERJİSİ

Türkiye'nin EİE ölçümlerine göre güneş enerjisi potansiyeli; yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat, günlük ise 7,2 saattir. Günlük ortalama radyasyon 3,6 kWh/m², yıllık ortalama radyasyon değeri ise 1311 kWh/m²'dir. Hali hazırda güneş enerjisinden çoğunlukla sıcak su temini amacıyla 11,5 milyon m²'lik güneş kolektörlerinden istifade edilmekte olup her yıl ortalama bu kapasiteye 1 milyon m² ilave gelmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası çalışması sonucunda Türkiye'de 56.000 MW termik santral kapasitesine eşdeğere güneş enerji kapasitesi bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar

kWh elektrik enerjisi üretim imkânının olduğu belirlenmiştir. Oysaki bu potansiyelden çok az miktarda yararlanılmakta olup hali hazırda Türkiye'deki toplam güneş pili (PV) kapasitesi 1000 KW mertebesindedir[43].

Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo III.2'de verilmiştir.

Tablo III.2 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli[61].

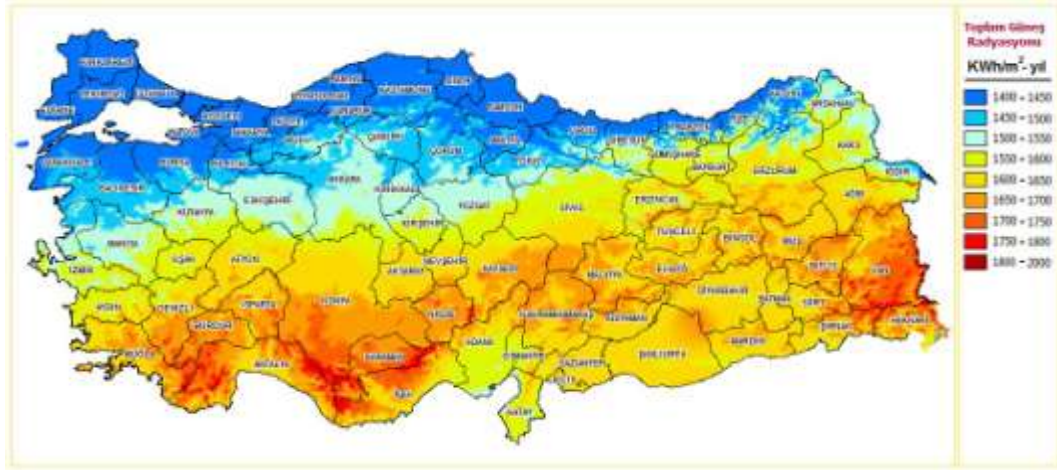
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4.45	51.75	103
ŞUBAT	5.44	63.27	115
MART	8.31	96.65	165
NİSAN	10.51	122.23	197
MAYIS	13.23	153.86	273
HAZİRAN	14.51	168.75	325
TEMMUZ	15.08	175.38	365
AĞUSTOS	13.62	158.4	343
EYLÜL	10.6	123.28	280
EKİM	7.73	89.9	214
KASIM	5.23	60.82	157
ARALIK	4.03	46.87	103
TOPLAM	112.74	1311	2640

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi güney doğu anadolu bölgesi olup, bunu akdeniz bölgesi izlemektedir. Toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo III.3'de verilmiştir.

Tablo III.3 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı[61].

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Türkiye coğrafi konumu itibariyle güneş kuşağı içerisinde yer almakta olup, güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli yüksektir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi konusunda çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından araştırmalar yapılmaktadır. EİE, güneş enerjisi sistemlerin ülkemiz genelinde uygulanabileceği yerlerin ve elde edilebilecek enerjinin tespiti için başlattığı çalışmalarını sürdürmektedir[42]. Şekil III.11'de Türkiye güneş enerjisi potansiyel haritası ve toplam güneş radyasyonu görülmektedir.



Şekil III.11 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası[61].

Güneş enerjisi açısından Doğu Karadeniz hariç bir “güneş ülkesi” diyebileceğimiz Türkiye'nin brüt güneş enerjisi potansiyeli 87,5 milyon TEP olarak belirtilmektedir. Bunun 26,5 milyon TEP'ini ısı üretimine 8.75 milyon TEP'ini ise elektrik enerji üretimine elverişli miktarlar olarak belirtilmektedir. Ancak ETKB verilerine göre Güneş enerjisi kullanımı 2007 de 420 bin tep iken 2008 de 418 bin tep olmuştur. 2008 deki 28,3 milyon tep yerli kaynak üretimimiz içinde % 1,5 un altında pay almıştır. 107 milyon tep enerji tüketimimiz içinde ise bahse değer bir payı zaten yoktur[62].

Türkiye'ye gelen güneş ışınımının sadece yüz binde ikisinden yararlanmaktadır. Ülkemizde şu anda yalnızca 22 milyon konut içinde yalnızca 3,5–4 milyon konutta güneş enerjili sıcak su sistemi bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu sistemlerin ülkemize enerji getirisi yaklaşık olarak 500–600 milyon dolardır. Oysa bu sistemlerin yaygınlaştırılmasıyla yalnızca bu alandan 3–3,5 milyar dolar daha ısı enerji katkısı gerçekleşebilir.

EİE tarafından yapılan çalışmalarda, teknik kapasitesi 405 milyar kWh, ekonomik potansiyeli 380 milyar kWh olarak tahmin edilen, güneşe dayalı elektrik

üretim kapasitesi de bütünüyle değerlendirilmeyi beklemektedir. Güneşe dayalı elektrik üretiminde son yıllarda kaydedilen çok hızlı gelişmeler, yatırım maliyetlerini de ciddi düşüşleri gündeme getirmiştir[62].

III.5 RÜZGÂR TÜRBİNLERİ

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ilk kez 1891 yılında Danimarka'da gerçekleştirilmiştir. 1990 yılından günümüze en hızlı gelişen yenilenebilir enerji kaynağı rüzgâr enerjisidir. 1990 yılında toplam rüzgâr kurulu gücü 2160 MW kadardır. Bu güç hızla artarak 1998 de 9,600 MW'a ve 1999 sonunda da 10200 MW'a ulaşmıştır. 2010 yılına dair yapılan tahminlere göre dünyadaki tüm rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 79363 MW olacağı düşünülmektedir. Bu büyümeye en büyük katkının Avrupa kıtasından geleceği bilinmektedir[42].

Rüzgâr enerjisinin en başarılı pazarları, özellikle Danimarka, Almanya ve İspanya olmak üzere Avrupa ülkeleridir. Rüzgâr enerjisi endüstrisi Avrupa için 2010 yılına kadar 40000 MW rüzgâr enerji kapasitesi kurmak üzere bir hedef koymuştur. "2010 da 40000 MW" kampanyası, Avrupa Komisyonu'nun "AB 'deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklar için Beyaz Rapor" 'u tarafından da desteklenmektedir. Avrupa Kurulu gücünün 2030 yılında 100.000 MW'a (%25'i deniz üstü santral) ulaşması planlanmaktadır. Bu ülkelerin kapasite artışları yıllık yaklaşık %28 düzeyindedir. 2011 yılına kadar ki tahminler ise, dünya toplam kurulu gücünün 179392 MW olacağını göstermektedir[1].

III.5.1 Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Rüzgâr türbinleri için, güç, dönme eksen, jeneratör düzeni ve kontrol sistemlerine göre değişik sınıflamalar yapılmaktadır. Güç odaklı sınıflandırma yaklaşımına göre, dört ana grupta toplanmıştır[63]. Bu gruplar Tablo III.4'de gösterilmektedir.

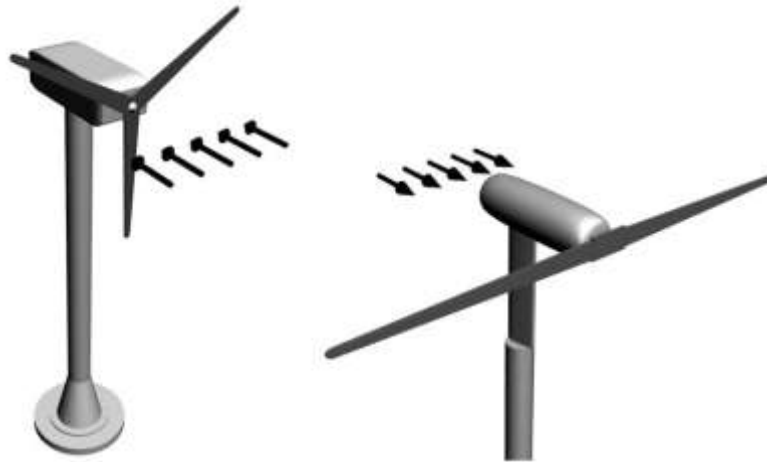
Tablo III.4 Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması[64].

Ölçek	Rotor Çapı (m)	Güç (kW)
Mikro	3m'den küçük	0.05kW-2kW
Küçük	3m-12m	2kW-40kW
Orta	12m-45m	40kW-1000kW
Büyük	45m'den büyük	1000kW'dan büyük

Mekanik gövde yapısı olarak rüzgâr türbinleri sınıflandırılacak olursa;

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT): Yer konumuna göre rotoru yatay ekseninde çalışan bu makineler daha geleneksel ve daha modern bir kullanımı sunarlar. Yatay eksenli makinelerin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları daima rüzgâr akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üstünde dönmesi ile sağlanır. Rüzgârın yönüne dönme hareketi iki değişik yapı ile sağlanır. Bunlar "öne-rüzgâr" ve "arkaya-rüzgâr" olarak adlandırılırlar. Eğer kanat rüzgârı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer şekilde ise kanat rüzgârı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır. Böylece sistem rüzgârı takip ederek maksimum faydayı sağlar[65].

YERT'lerin rotorları maksimum enerjiyi tutabilmek için rüzgâr akışına dik olarak durmalıdır. YERT'ler bu konuma, rotor kule üzerinde döndürülerek getirilir. YERT'ler kule üzerinde yatay eksen yönündeki hareketi motorlar (rüzgâr veya elektrik) rüzgâra yönelik birimlerde kılavuz bir kuyruk ve rüzgârı arkadan gören birimlerde ise oluşturulan konik açı ile sağlanır. Şekil III.12'de yatay eksenli rüzgâr türbinine ait görüntü verilmiştir.



Şekil III.12 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinini[63].

Düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT): DERT'lerin rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğü vardır. Kanatların güç üretebilmeleri rüzgârdan daha hızlı dönmelerini gerektirdiğinden, ilk harekete geçişleri güvenilir değildir. DERT'lerin bir diğer üstünlüğü ise makine aksamı, hız yükselticisi ve jeneratörün toprak üzerine konulabilmesidir[65].

Dönme eksenini rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinin kanatları da düşeydir. Günümüzde çeşitli ülkelerdeki elektrik enerjisi üretimi uygulamalarının

çoğunluğu 2 ve 3 kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleri oluşturmaktadır. Büyük güçlü düşey eksenli uygulamalarda mevcuttur. Özellikle Dorrieus tipi türbinler ve bunun geliştirilmiş daha karmaşık yapılı olanı Cyclogino tipi rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Şekil III.13'de düşey eksenli rüzgâr türbinine ait görüntü verilmiştir [1].



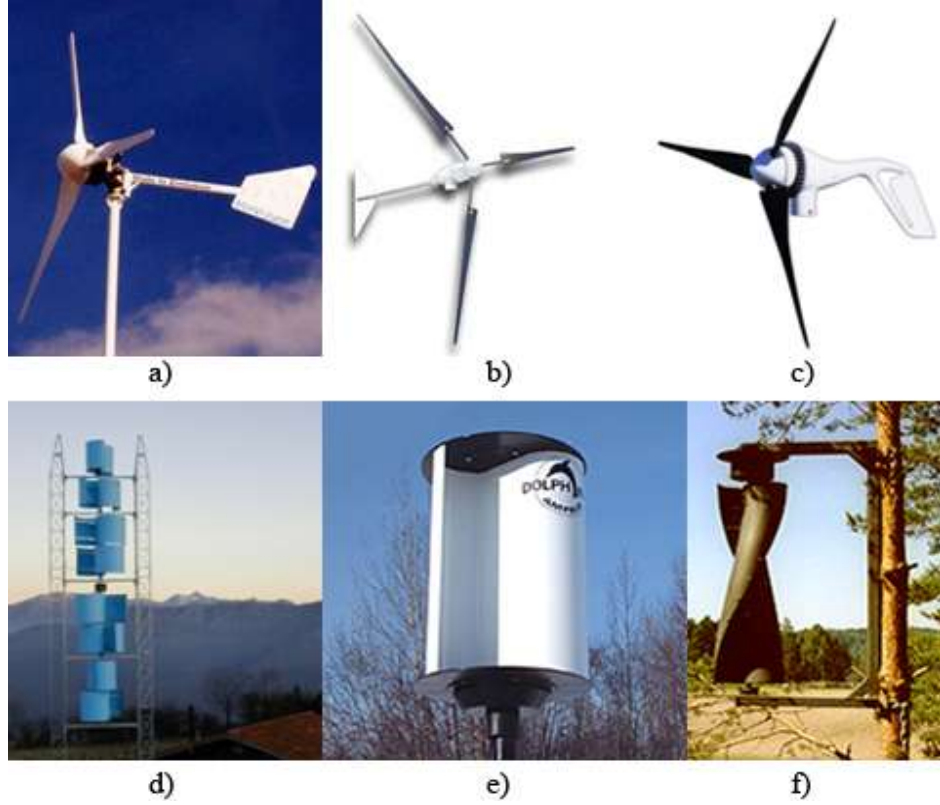
Şekil III.13 Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinini Örnek Projeleri[1].

Günümüzde büyük güçte rüzgâr türbin uygulamalarında en çok iki ve üç kanatlı yatay eksenli rotor tasarımları yapılmaktadır. Küçük güçte üretilen rüzgâr türbinlerinde ise hem yatay hem de düşey eksenli tasarımlar bulunmaktadır. Düşey eksenli tasarımların küçük rüzgâr hızlarında üretime geçmeleri ve rüzgârı her yönden alabilmeleri gibi üstünlükleri vardır [1].

III.5.2 Küçük Güçlü Rüzgâr Türbinleri

Net olarak bir rüzgâr türbin için küçük ve orta güç bölgeleri tanımlanmamış olsa da mevcut ticari sistemlere bakılarak bir sınıflandırma yapılabilir. Buna göre 100 W'tan - 3 Kw'a kadar olan türbinler küçük güçlü sistemler, 3 kW 50 kW arası sistemler de orta güçlü sistemler olarak değerlendirilebilir [66].

Küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde yaygın olarak yatay eksenli türbin sistemleri kullanılmakla beraber, kendine özgü avantajları nedeni ile düşey eksenli küçük güçlü türbinlerde kullanılmaktadır. Bu alanda faaliyet gösteren firmaların çoğu ABD kökenlidir. SWWP, Bergey gibi firmalar uluslararası küçük ve orta güçlü rüzgâr türbin ticaretinde önemli bir pay sahibidir. Şekil III.14'de ticari olarak mevcut olan bazı türbinlerin resimleri görülmektedir [66].



Şekil III.14 Bazı Küçük Güçlü Türbinler A)Awp (1kw) B) Aır 400 (400w) C) Whisper H80 (1kw) D) Windsaw Ws (400 W) E) Ampair Dolphin (400 W) F) Windside Ws4c (360 W)[66].

Üretilen enerjinin depolanmasıyla güvenilir enerji sağlanabilmektedir. En fazla dört adet hareketli parçadan oluşan bu tip türbinler bakımsız ya da çok az bakım gerektirirler. Yapılan çalışmalarda bölgesel elektrik kurumlarıyla ve devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyonel elektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynamaktadır. İşletme giderleri neredeyse yoktur. Her türlü çevre şartlarına dayanabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Otomatik kontrol mekanizmaları sistemi aşırı şarjdan koruyan kontrol sistemleri vardır; çok yüksek rüzgâr hızlarında otomatik korunmalı dizayn edilmişlerdir [1].

Akü şarjı esasına göre çalışan küçük türbinlerle üretilen enerji, ihtiyaca göre seçilen akü bankasına şarj edilerek kullanılmaktadır. Güçleri 50W ile 20KW arasında değişmektedir. Bu güç değerleri, türbinin maksimum hızda dönmesi durumundaki gücü göstermekte, daha düşük hızlarda ise türbin elektrik üretmeyi daha düşük bir güçte sürdürmektedir. Akü bankasının yeterli seviyede seçilmesi durumunda,

depolanmış enerji ihtiyaç duyulan güçte aküden çekilebilmektedir [1]. Tablo III.5’de rüzgâr türbinlerinin kullanım alanları ve kurulum maliyetleri gösterilmektedir.

Tablo III.5 Rüzgâr Türbinlerinin Kullanım Alanları ve Kurulum Maliyet Tablosu[1].

	Kullanım Alanı	Bir Tek TürbinGücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
Büyük RT’ler	Endüstriyel	50kW-2MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük RT’ler	Bireysel	50W-20kW	Çiftlik evleri,	Var	Yok	Düşük
			Telekomünikasyon alıcısı, Seralar vb.			

III.5.3 Küçük ve Orta Güçlü Karma Sistemlerin Kullanım Yerleri

Büyük güçlü rüzgâr sistemleri için uzun süreli rüzgâr ölçümleri, kapasite planlaması, türbin yerlerinin ve güçlerini belirlenmesi, üretilen enerjinin enterkonnekte sisteme aktarılması için alt yapının oluşturulması ve yatırım aşamaları çok ciddi ve maliyetli bir çalışma gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, bazı bölgeler, ortalama rüzgâr hızları ve yıllık üretim potansiyeli açısından çok elverişli olmalarına karşın, endüstri, yerleşim veya tarım alanları içinde kaldığından buralarda büyük güçlü sistemlerin kurulması mümkün olmayabilmektedir. Ayrıca şebeke elektriğinin hiç olmadığı ya da elektrik enerjisinin götürülmesinin yüksek maliyetler oluşturduğu bölgeler (örneğin Karadeniz Bölgesi, Doğu ve G.Doğu Anadolu'daki küçük mezra ve köyler) için küçük ve orta güçlü sistemler, son derecede önem taşımaktadır[1].

Küçük ve orta güçlü karma sistemler temel olarak iki farklı yapıda tasarlanır. Birinci yaklaşımda rüzgâr ve güneş enerjisi sistemi iki yönlü sayaç (net metering) kullanılarak şebekeye paralel çalışır. Bu sistemle mevcut rüzgâr ve güneş potansiyeline ve sistemin gücüne göre elektrik faturalarında önemli bir düşüş hatta sıfırlama sağlanabilir. Ne yazık ki, ülkemizde bu sistemlerin kullanımı mevcut yasa ve yönetmelikler çerçevesinde mümkün değildir. Diğer yaklaşımda ise karma sistem mikro - şebeke (microgrid) olarak otonom bir sistem oluşturur. Bu tip sistemlerde üretilen enerjinin depo edilme zorunluluğu vardır. Mevcut teknoloji ile en uygun depo yöntemi akümülatörlerdir. Ancak elektroliz yolu ile hidrojen eldesi ve elde edilen hidrojenin yakıt pilleri ile elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılması da yakın gelecekte kullanılabilir bir yöntem olacaktır. Akümülatör kullanılması durumunda, elde edilen doğru akım formundaki elektrik enerjisi eviriciler yardımı ile 50 Hz'lik bir ya da 3 fazlı alternatif akım formuna dönüştürülür. Bu tip sistemlerde

ayrıca bir diesel yedek güç sisteme kullanılarak enerjinin kesintisiz olarak sağlanması gereklidir [66].

Genellikle şebekenin bulunmadığı, ulaştırmanın ekonomik olmadığı ya da sorunlu olduğu bölgelerde küçük güçlü rüzgâr türbinleri kurulabilmektedir, bu bağlamda; şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, balık çiftlikleri, seralar vb. yerlerde oldukça uygun kullanım alanları bulmaktadır [1].

III.6 BİNA MONTAJLI RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN PROJELENDİRİLME AŞAMALARI

Yerleşim yerlerinde kullanılması düşünülen rüzgâr türbinleri çalışma şekline göre belirlendikten sonra binaya montajı süreci başlar. Bunun için birtakım verilerin daha önceden bilinmesi önemlidir. Türbinin verimi ve güvenliği için bina üstü rüzgâr hava akışı, uyguladığı kuvvetler, türbin boyutları ve türbinin enterkonnekte şebeke ile bağlantı durumlarının bilinmesi gereklidir[1].

III.6.1 Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgâr türbini projelendirilmesi ve ekonomisi temel olarak montajın yapıldığı yapıdan üretilebilecek enerji miktarına bağlı olmaktadır. Bu enerji miktarının tespiti için bina üzerinde montajın gerçekleştirileceği noktanın belirlenmesi amacıyla o yerleşim alanının hem rüzgâr potansiyeli hem de topoğrafik yapısının bilinmesi gerekmektedir. Kurulması muhtemel noktalarda rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi amaçlı ölçümler yapılmalıdır. Bir bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli rüzgâr hızlarının küpüyle orantılıdır. Bu nedenle rüzgâr hızı ölçümlerinde yapılabilecek ölçüm hatası montaj yeri rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesinde doğruluğu oldukça etkiler[1].

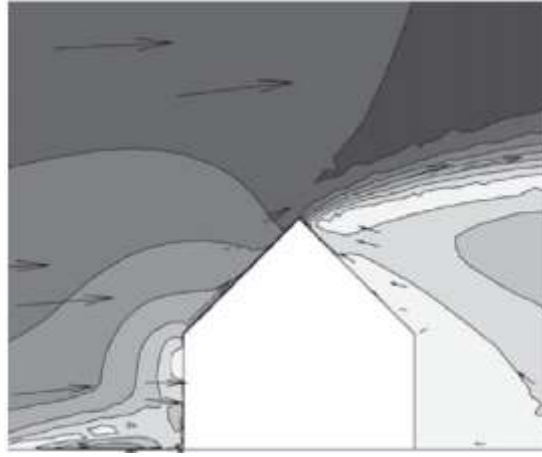
Ölçüm periyodunun uzatılması ve mümkünse türbin gövde yüksekliğinden alınacak rüzgâr hızı, yönü, basınç, nemlilik ve çevre sıcaklığı verileri üretilebilecek enerjinin doğru hesaplanması için gereklidir. Belirlenen süre boyunca belirli aralıklarla alınan verilerde, veri kaybının %10'u geçmemesi gerekmektedir. Ayrıca bölgenin ve montaj yapılacak binanın türbülans yoğunluğu da bilinmelidir. Türbülans yoğunluğu seviyesinin yüksek olması enerji üretim miktarını düşürür, rüzgâr türbini üzerine etkiyen kuvvetlerin şiddetini ve malzeme yorulmasının hızını artırır. Bu durum rüzgâr türbinlerinin ekonomik ömürlerinin azalmasına neden

olmaktadır. Türbülans yoğunluğunun 0,25 den büyük olduğu alanlara türbin kurmaktan kaçınılmalıdır[67].

Enerji amaçlı rüzgâr ölçümlerinde ise rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve çevre sıcaklığı gibi parametreler 30 metre ve mümkünse türbin gövde yüksekliğinde en az bir yıl periyodik olarak ölçülür ve bilgisayar ortamında değerlendirilebilecek şekilde veri paketi olarak tespit edilir[1 , 67].

III.6.2 Rüzgâr Akışının Bina Üzerindeki Karakteristiği

Her bina yapısal olarak farklıdır ve çevresindeki rüzgâr akışı birçok etkene bağlı olarak değişim gösterir. Binaların mimarisine bağlı olarak bacalar, çatı pencereleri gibi farklı yapılar rüzgâr akışının hızını ve yönünü değiştirir[68].



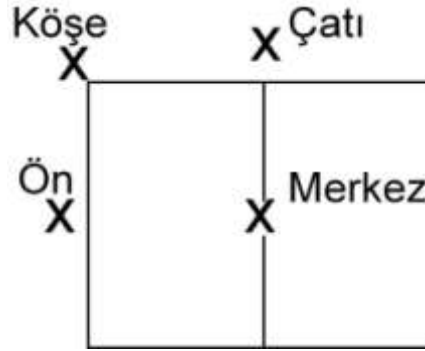
Şekil III.15 Binaın Üstten Bakıldığında Türbülans Etki Alanı[68].

Binalar, ağaçlar, kayalar, vb. rüzgârın hızını azaltan engellerdir. Bu engeller çevrelerinde türbülans yaratırlar. Türbülans alanı engelin yüksekliğinin üç katına kadar uzanabilir. Türbülans engelin arka tarafında daha belirgindir. Yerleşim alanlarında en çok kullanılan kare formunda çok katlı bir yapının rüzgâr akışına etkileri Şekil III.15’de görülmektedir. Daire halindeki bölge türbülansın olduğu alanı belirtir. Bu tür bir engelin olduğu yerde türbinin üreteceği yıllık ortalama enerji %15 civarında azalır[68].

III.6.3 Rüzgâr Türbinlerinin Bina üstü Montaj Yerleri

Rüzgâr türbinlerinin bina üzerine yapılacak montajları özellikle çatıdaki potansiyel montaj noktalarının belirlenmesi önemlidir. Bütün köşeler, duvarların ortası ve çatının tam merkezi Şekil III.16’da gösterilmiştir. Her nokta duvardan 0-5 m kadar uzaktadır, çatıdaki bölmeler montaj aksamına engel olmayacak şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca eğer türbin kule yüksekliği çatı yüksekliğinden daha alt

seviyede ise türbinin rahat dönebilmesi için duvarlardan daha uzağa monte edilmelidir[69].



Şekil III.16 Bir Binanın Potansiyel Türbin Montaj Noktasının Gösterildiği Plan[69].

Rüzgâr türbinlerinin bina montajında kullanılacak konstrüksiyon iyi dizayn edilmelidir. Bu sistemler yerleşim bölgeleri içinde oldukları için meydana gelebilecek her türlü arıza, parçalanma ve kazaların önlemi alınmalıdır. Montaj yapılacak türbin büyük bir türbin ise bina inşa aşamasında türbin montajına yönelik ayrı bir çalışma yapmak en doğrusudur. Sonra yapılacak büyük güçlü rüzgâr türbini montajı ise, çok titizlikle projelendirilmesi gereken bir durumdur[1].

Küçük güçlü bina montajlı rüzgâr türbinlerinde kanat çapı genelde 1-2 m yi geçmediği ve türbinin kendi ağırlığı da fazla olmadığı için montajı daha kolaydır. Bu türbinlerde direk boyu montaj noktasına göre 3 m yi geçmez. Bütün montaj elamanlarının mevsim şartlarına uygun paslanmaz malzemeler olmasına ve dikkatli bir montaj yapılmasına dikkat edilmelidir[70].

Binaların etrafındaki rüzgâr akışı doğası gereği karmaşık yapıdadır. İlk olarak türbin montajı yapılacak bina üzerinde dikey eğim ve girdap yoğunluğunun bilinmesi gerekir. Bunun için ortalama rüzgâr hızlarına dayanarak o bölgenin gelecekteki yerel rüzgâr yapısı ve yönü belirlenmelidir. İkinci olarak, yerel yapının belirlenmesi açısından montaj yapılan ve bitişik durumda olan binaların topolojisi ortaya konulmalıdır[71].

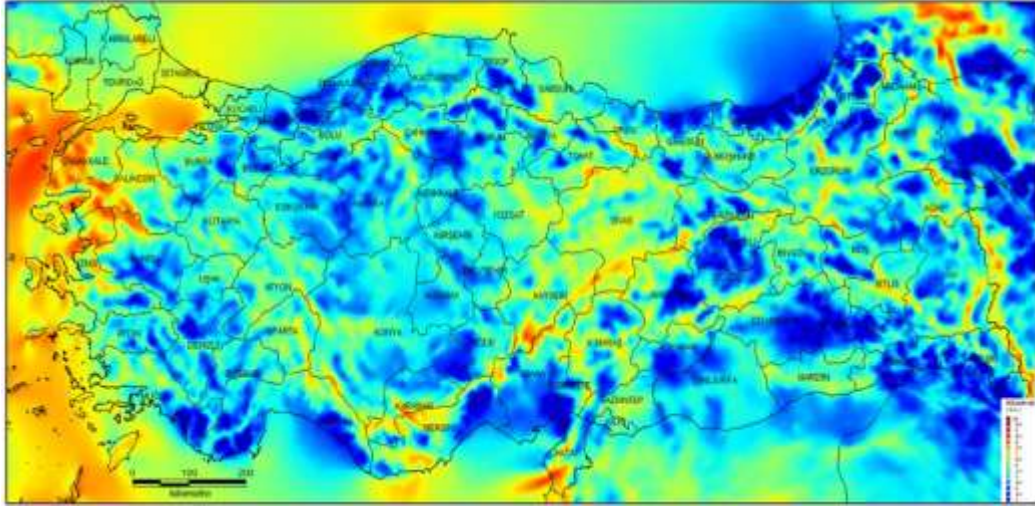
Bina üzerinde türbin montajının yapılacağı alanın yüksekliğinin belirlenmesi, çatıya monte edilecek türbinler için büyük önem arz etmektedir. Monte edilen yere göre rotor performansı kaçınılmaz bir şekilde düşecek ve rotorun yükü daha da artacaktır. Bu nedenle çatı üzerindeki rüzgâr akışının rüzgâr türbini üretimini artıracak şekilde yerleştirilmelidir. Türbin kanatlarının bina üstü rüzgârında maksimum faydalanması sağlanmalıdır. Bunun için rüzgâr türbini, rüzgâr akışının

yön değiştirdiği, şiddetinin ve yoğunluğunun kaybolduğu noktalara değilde rüzgâr akışının en verimli olduğu noktalara monte edilmesi gerekmektedir.

Yapılan hesaplamalardan alınan verilere göre eğer montaj noktası çatının tam merkezinde olursa rotor için gerekli olan en düşük yükseklik ve buna bağlı rüzgâr türbini montaj yeri yüksekliği de azalmış olur[1 , 71]

III.7 TÜRKİYEDE RÜZGÂR ENERJİSİ

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası çalışması sonucunda Türkiye'de rüzgâr hızı 6,8 m/s üzerindeki potansiyel dikkate alındığında Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW civarındadır. ETKB açıklamasına göre işletmede olan bölümü 738 MW, inşa halindeki bölümü ise 1 000 MW'dir. Lisans verilen bütün projelerin toplamının 3386,40 MW, başvurusu uygun bulunan projelerin ise 850,90 MW olduğu göz önüne alındığında, 48 000 MW'lik kapasitenin % 88,8'inin de değerlendirmeyi beklediği görülmektedir[62].



şekil III.17 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (50 M Yükseklikte Yıllık Ortalama)[58].

şekil III.17'de görüleceği üzere, yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgâr kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınındaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgâr hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgâr hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgâr gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Mevsimlik ortalama değerlere göre

ise Türkiye çapında rüzgâr kaynağı karmaşık topografyaya bağlıdır. Birçok yerde, özellikle sahil boyunca ve doğudaki dağlarda kışları daha güçlü rüzgâr hızları görülmektedir. Türkiye'nin orta kesimleri boyunca çoğu yerde rüzgâr hızı değerleri mevsimden mevsime nispeten sabittir. Aylık ortalama değerlere göre ise Türkiye'nin batı sahil bölgesi yanında Marmara Denizi'ni çevreleyen bölgede kış mevsimi süresince en şiddetli rüzgâr hızına sahiptir[72].

Rüzgâr hızı haritaları asgari değerleri Haziran ayı süresince gösterir. Rüzgâr hızları Eylül ve Ekim'de artmaya başlar ve bölgedeki azami değerler Ocak ve Şubat aylarında meydana gelir. Ülkemizin rüzgâr enerjisi bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu bağlamda Türkiye rüzgâr atlası ele alınarak, en elverişli bölgeler ifade edilirse; Çanakkale, Akhisar, Bandırma, Gördes, Bozcaada, Antalya, Sinop, Çorlu, Uzunköprü, Bergama, Çiğli, Datça, Bodrum, Çeşme, Siverek, Cihanbeyli ve Merzifon bölgelerinden söz edilebilir[1 , 72].

Tablo III.6 Türkiye Orta-Sıradışı Arası Rüzgâr Kaynağı 50m[62].

Rüzgar Kaynak Derecesi	Rüzgar Sınıfı	50 m'de Rüzgar Gücü Yoğ.(W/m ²)	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Rüzgarlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	3	300-400	6.5-7.0	16 781.39	2.27	83 906
İyi	4	400 – 500	7.0-7.5	5 851.87	0.79	29 259.36
Harika	5	500 – 600	7.5-8.0	2 598.86	0.35	12 994.32
Mükemmel	6	600 – 800	8.0- 9.0	1 079.98	0.15	5 399.92
Sıradışı	7	> 800	> 9.0	39.17	0.01	195.84
Toplam				26 351.28	3.57	131 756.40

Tablo III.6'dan da anlaşılacağı üzere Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli, belirlenmiş kriterlerin ışığında rüzgâr sınıfı iyi ile sıra dışı arasında 47,849.44 MW olarak belirlenmiştir. Bu araziler Türkiye toplamının %1.30'una denk gelmektedir. Orta ile sıra dışı arası rüzgâr sınıfına ait rüzgârlı arazilere bakıldığında ise 131,756.40 MW'lık rüzgâr enerjisi potansiyelini bulunduğu ve toplam rüzgârlı arazinin alanının ise Türkiye'nin %3.57 'si olduğu görülmüştür[72].

Yerli ve yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr potansiyelinde ülkenin batısı bölümü öne çıkmaktadır. EİE verilerine göre, rüzgâr enerjisi konusunda Türkiye'nin en potansiyelli ili 5.531 megavatlık kurulu güç kapasitesiyle Balıkesir'dir. Potansiyel konusunda ikinci sırada 5.205 megavat ile Çanakkale, ardından 4.742 megavatlık potansiyeliyle İzmir gelmektedir. Ağırlık Marmara ve Ege bölgeleri olsa da, Türkiye'nin pek çok ili rüzgârdan elektrik üretme kapasitesine sahiptir. Ancak, buralar henüz yatırımcılar tarafından keşfedilememiştir. Bunlardan biri de Samsun

olup ilin 2.089 MW'lık rüzgâr enerjisi potansiyeli olmasına rağmen henüz alınmış lisansı bulunmamaktadır. Ayrıca, Tokat (1.200 MW) ve İçel (1.400 MW) farklı bölgelerde olmalarıyla Türkiye'nin önemli bir avantajını ortaya koymaktadır[1 , 42].

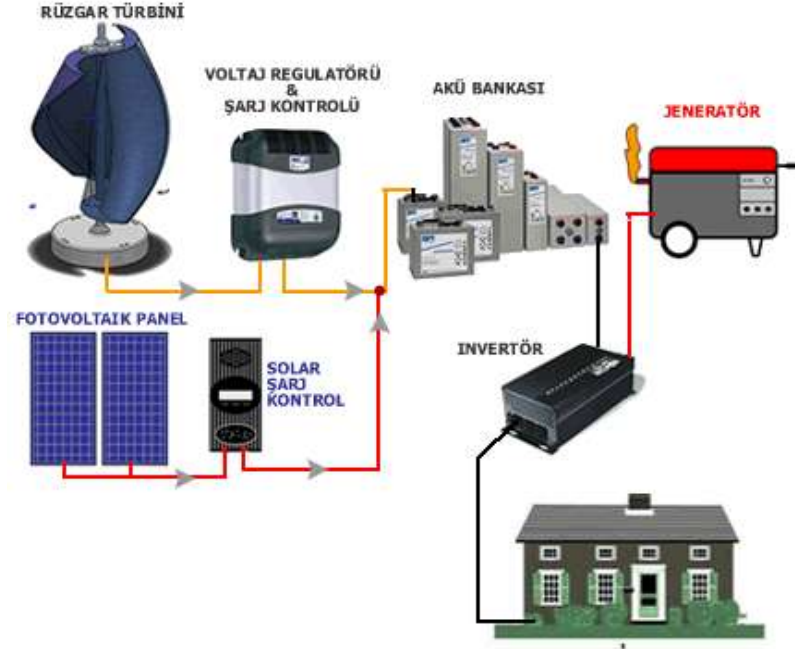
Ancak, dünyada rüzgâr enerjisi üretiminde bazı teknik sorunlar henüz aşılmış değildir. Bunların başında üretim sürekliliğinin sağlanamaması gelmektedir. Bu nedenle, rüzgâr türbinlerinin elektrik üretme kapasitesi yıllık 2.500 saat olarak hesaplanmaktadır. Buradan hareketle Türkiye'nin bütün kapasitesini kullanması halinde bir yılda rüzgârdan üretebileceği elektrik potansiyeli yaklaşık 110 milyar kilovat saate ulaşmaktadır. 2008 yılında rüzgârdan üretilen elektrikse sadece ve sadece 129 milyon kilovat saattir[42].

Türkiye'de henüz rüzgâr enerjisi için tam olarak teknolojik bilgi birikimi bulunmamakta ve rüzgâr türbinleri ithal edilmektedir. Rüzgâr enerjisinin tanınması, teknolojik gelişiminin sağlanması, türbin ve diğer donanımlarını ulusal sermaye ile üretilmesi Türkiye'nin menfaatinedir. Rüzgâr enerjisinde Türkiye'nin 2023 yılı hedefi yılda 10 GW enerji üretmektir. Bu hedefe ulaşırken 2 MW'tın üstünde elektrik üretebilen rüzgâr türbin sistemlerin ülkemizde geliştirilip üretilmesi teknolojik hedef olarak belirlenmiştir[42].

III.8 HİBRİD ENERJİ SİSTEMLERİ

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde su dışındaki en önemli kaynaklar güneş ve rüzgâr enerjisidir. Son 20 yılda gerek rüzgâr enerjisi gerekse fotovoltaik yöntemle elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda, gelen talebin de etkisi ile önemli teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin birim güçleri 2 MW gibi ciddi sınırlara ulaşmış, kuruluş maliyetleri itibarı ile diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilir hale gelmişlerdir. Yeryüzü alanlarının dışına taşan deniz üstü rüzgâr çiftlikleri kurularak rüzgâr enerjisinin toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı her geçen gün giderek artmaktadır. Bu sayede zaten çok düşük olan işletme ve bakım maliyetleri ve en önemlisi, temiz ve kesintisiz bir enerji kaynağı olarak, rüzgâr sistemleri hak ettikleri yeri almaya başlamışlardır. Artık görülmüştür ki, insanoğlu herhangi bir temiz enerji kaynağından, fosil ve nükleer yakıt türlerine göre daha ucuz olmadığı için vazgeçme lüksüne sahip değildir. Gariptir ki endüstri devrimi öncesinde en önemli enerji kaynağı olan, ancak buhar ve petrol kaynaklarının gelişmesi ile bir kenara atılan rüzgâr enerjisi, 21.YY'da yeniden insanlık için bir umut olmuştur. Henüz verimleri düşük ve maliyetleri yüksek olsa da, fotovoltaik sistemler tek başlarına ya da rüzgâr

enerji sistemlerine ek olarak elektrik enerjisi üretimi için çok ciddi ve önemli bir kaynak olarak görülmelidir[66]. Şekil III.18’de güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin oluşturduğu hibrid güç sistemi prensip şeması görülmektedir.



Şekil III.18 Güneş – Rüzgâr Hibrid Enerji Sistemi[55].

Şu andaki fotovoltaik hücre ve panel fiyatları özellikle ARGE payları ve stratejik nedenlerle yapay olarak yüksektir. Pazar gelişip rekabet arttıkça fiyatların çok daha düşeceği öngörülmelidir. Ülkemizin ciddi bir rüzgâr ve güneş potansiyelinin olduğu artık sadece bilimsel çalışmalarla değil, devlet kaynakları tarafından da doğrulanmaktadır. EİE istatistikleri ve Türkiye Rüzgâr Atlası rüzgâr konusundaki potansiyelimizi açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Aynı durum güneş enerjisi için de geçerlidir. Güneş enerjisinden sıcak su elde edilmesi konusunda Türkiye uluslararası sıralamalarda ilk 5 ülke içine girmiştir. Dolayısı ile sivil toplum örgütleri, meslek odaları, kamu kurum ve kuruluşları, özel sektör ve üniversiteler elbirliği ve ciddi bir koordinasyon ve planlama içinde ülkemizin temiz enerji kaynaklarından mümkün olan en yüksek düzeyde faydalanmak için yoğun bir seferberlik başlatılmalıdır [1 , 66].

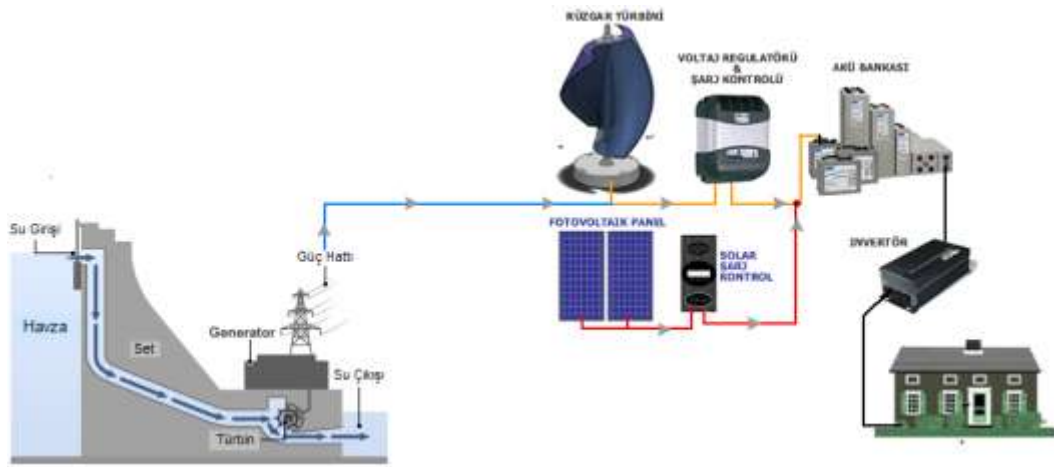
Büyük güçlü rüzgâr çiftliklerinin planlanması, kurulması ve işletilmesi rüzgâr enerjisinden faydalanmak açısından şüphesiz en önemli ve ilk planda değerlendirilmesi gereken konudur. Bunun yanı sıra, küçük ve orta güçte yerel enerji üretim sistemlerinin yaygınlaştırılması hem yenilenebilir enerji kullanımının tanıtılması ve teşvik edilmesi hem de toplam elektrik üretiminde rüzgâr ve güneş

sistemlerin payının artırılması için en az büyük güçlü sistemler kadar önem taşımaktadır. Nitekim özellikle ABD ve AB ülkelerinde gerek şebeke bağlantılı sistemlerin, gerekse otonom olarak küçük güçlü sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır[1 , 66].

Büyük güçlü rüzgar sistemleri için uzun süreli rüzgar ölçümleri, kapasite planlaması, türbin yerlerinin ve güçlerini belirlenmesi, üretilen enerjinin enterkonnekte sisteme aktarılması için alt yapının oluşturulması ve yatırım aşamaları çok ciddi ve maliyetli bir çalışma gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, bazı bölgeler, ortalama rüzgâr hızları ve yıllık üretim potansiyeli açısından çok elverişli olmalarına karşın, endüstri, yerleşim ve veya tarım alanları içinde kaldığından buralarda büyük güçlü sistemlerin kurulması mümkün olmayabilmektedir. Ayrıca şebeke elektriğinin hiç olmadığı ya da elektrik enerjisinin götürülmesinin yüksek maliyetler oluşturduğu bölgeler (örneğin Karadeniz Bölgesi, Doğu ve G.Doğu Anadolu'daki küçük mezra ve köyler) için küçük ve orta güçlü sistemler, son derecede önem taşımaktadır. Küçük ve orta güçlü karma sistemler temel olarak iki farklı yapıda tasarlanır. Birinci yaklaşımda rüzgâr ve güneş enerjisi sistemi iki yönlü sayaç (net metering) kullanılarak şebekeye paralel çalışır. Bu sistemle mevcut rüzgâr ve güneş potansiyeline ve sistemin gücüne göre elektrik faturalarında önemli bir düşüş hatta sıfırlama sağlanabilir. Ne yazık ki, ülkemizde bu sistemlerin kullanımını destekleyen yasa mevcuttur fakat ulusal enterkonnekte sistemimiz bu uygulamaya hazır değildir. Diğer yaklaşımda ise karma sistem mikro - şebeke (microgrid) olarak otonom bir sistem oluşturur. Bu tip sistemlerde üretilen enerjinin depo edilme zorunluluğu vardır. Mevcut teknoloji ile en uygun depo yöntemi akümülatörlerdir. Ancak elektroliz yolu ile hidrojen eldesi ve elde edilen hidrojenin yakıt pilleri ile elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılması da yakın gelecekte kullanılabilir bir yöntem olacaktır. Akümülatör kullanılması durumunda, elde edilen doğru akım formundaki elektrik enerjisi eviriciler yardımı ile 50 Hz'lik bir ya da 3 fazlı alternatif akım formuna dönüştürülür. Bu tip sistemlerde ayrıca bir diesel yedek güç sisteme kullanılarak enerjinin kesintisiz olarak sağlanması gereklidir[66].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını, kesikli çalışmaları nedeniyle kısıtlanmaktadır. Örneğin, en yaygın kullanılacak yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş ve rüzgâr, gün içerisinde ve yıl içerisinde çok değişkendir. Bu enerji kaynaklarının tek başına kullanılması ile oluşan sistemin güvenilirliği, düşük olmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar ile birbirini tamamlayıcı özellik

gösteren iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı birlikte kullanılarak sistem güvenilirliğinin artırılabilmesi düşüncesine varılmıştır. Hibrid enerji üretim sistemi adı verilen bu tür sistemlerde, en çok, rüzgâr-güneş veya rüzgâr-mikro hidroelektrik jeneratörleri birlikte kullanılmaktadır. Küçük ölçekli yüklerin beslenmesinde rüzgâr-güneş hibrid enerji sistemleri ekonomik bir seçenek olarak ortaya çıkarken, orta ölçekli yüklerin beslenmesinde rüzgâr-mikro hidroelektrik jeneratörleri daha ekonomik bir seçenek olmaktadır[73]. Şekil III.19’da güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve mini hidroelektrik barajından oluşan hibrid güç sistemi prensip şeması görülmektedir.



Şekil III.19 Güneş – Rüzgâr - Minihidroelektrik Hibrid Enerji Sistemi[55].

Hibrid enerji üretim sistemlerinde ilk kurulum maliyetleri çok az artmış ve sistemin yapısı daha karmaşık hale getirmiştir. Bu sakıncalarının yanı sıra, hibrid enerji sistemlerinin diğer bir sorunu da, ilk kurulum maliyetlerini minimumda, güvenilirliği maksimumda tutacak boyutlandırmanın yapılmasının zorluğudur. Boyutlandırma için, en az bir yıl boyunca, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızının ölçülmesi gerekmektedir. Günümüzdeki güneş-rüzgâr hibrid enerji üretim sistemlerinin boyutlandırılmasında, kullanım yerine göre, güvenilirliği artırmak amacıyla sistem elemanlarının boyutları gereğinden daha büyük seçilmekte veya tek başına rüzgâr, güneş kaynaklı enerji üretim sistemlerinde olduğu gibi dizel jeneratörle desteklenmektedir. Birinci seçenekte sistemin ilk kurulum maliyetleri, ikinci seçenekte ise işletme maliyetleri yüksek olmaktadır. Türkiye'nin batı ve güney bölgelerinde, Nisan-Kasım ayları arasında sadece güneşten elektrik enerjisi üreten sistem için gerekli güneş enerjisi bulunmasına rağmen, kış aylarında yardımcı

kaynak kullanılmalıdır. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan yerlerde, bu açık, rüzgâr enerjisi ile tamamlanabilir[14].

III.9 AYDINLATMADA KULLANILAN LED'LER

Son yıllarda, yüksek güçlü ışık yayan diyot (HP-LED)'lar özel aydınlatma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır[74]. Öncesinde LED'ler genellikle elektronik cihazlarda ve oyuncaklarda basit sinyal lambaları olarak kullanılıyordu. Günümüzde LED'ler en az akkor lambalar ve flüoresanlar kadar parlak ve etkili hale geldiler. Kompakt olmaları, trafikte, otomotivde, vurgu aydınlatmalarında, direkt mimari aydınlatmaları gibi birçok uygulamada kolay kontrol ve dayanıklılıkları ile akkor lambaların yerini almaya başladılar[75].

Ev aydınlatma sistemlerinde güç tüketiminin dünya enerji tüketiminde önemli bir yeri vardır[76]. Bundan dolayı son yıllarda, bina içi aydınlatmalarında enerji tasarrufuna gitme eğilimleri artmıştır[77]. Enerji tasarrufu açısından yüksek parlaklıkları ile HP-LED'ler daha elverişlidir ve geleneksel flüoresan lambaların yerini almaktadır[78].

LED'in teknolojik gelişimi son 40 yılda sürekli olarak artmaktadır. Esas olarak ışık ekstraksiyonunda, iç ve dış kuantum etkilerde, dönüşüm etkinliğinde ve bileşik yarı iletkenlerin yapısında iyileştirilmeler yapılmıştır[79]. Dolayısıyla, HP-LED aydınlatmalar akkor halojen, flüoresan ve gaz/ark lambalara, katı-durum ışık kaynaklarına oranla pek çok potansiyel yarar sağlamakta olup, yeni nesil tarafından muhtemelen en yaygın kullanılacak aydınlatma olacaktır[80 , 81].

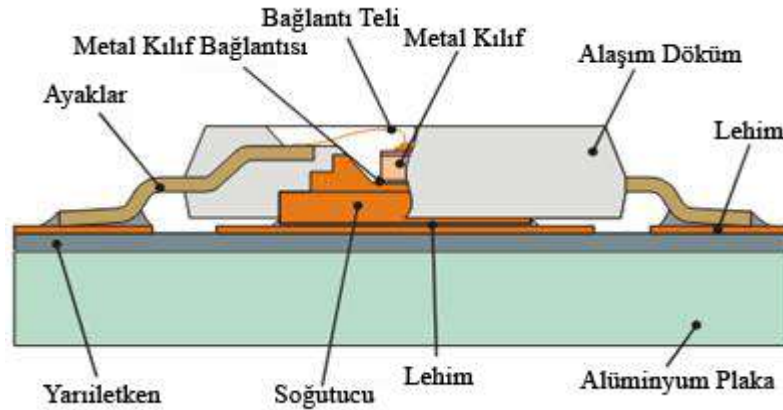
Aydınlatmadaki bu devrim niteliğindeki HPLED lerin başlıca avantajları şunlardır[82]:

1. İnanılmaz uzun ömürlülük, 50.000-100.000 saat
2. Yüksek etkinlik
3. Kolay dim edilebilme
4. Hızlı açma-kapama yapabilme
5. Çevre dostu
6. İyi renk satürasyonu
7. Şok vibrasyon ve diğer çevre koşullarına dayanıklılık
8. Düşük bakım maliyeti
9. Emniyetli DA (doğru akım) voltaj operasyonu,
10. Üstün renk çeşidi ve parlaklığı

HP-LED'lerin aydınlatma etkinliği, aydınlatma şiddetinin elektriksel güç girdisine oranı olarak tanımlanabilir. Uygulanan DA(doğru akım) azalması, doğrusal artışlara neden olacağı için aydınlatma verimi azalır veya aydınlatma etkisi önemli ölçüde düşer[83].

III.9.1 Yüksek Güçlü LED'ler ve Katı Hal Aydınlatma

LED'lere elektrik akımı uygulandığında, foton enerjisi (ışık) yayan yarı iletken araçlardır[84]. Bir diyot basitçe n ve p tipi iki yarı iletkenlerden oluşur. "n" ve "p" tipi yarı iletkenleri bağlayınca bir n ve p bağlantısı oluşur. Pozitif (delikler) ve negatif(elektronlar) yüklemeler p-n bağlantısının içinde yer alır. Elektron ile bir delik bir araya geldiğinde enerji düzeyi düşer ve bir çeşit foton enerjisi yayar. Bu süreç elektronluminisans olarak bilinir. Yayılan ışığın rengi yarı iletkenin bant aralığına göre değişir. Uygun yarı iletken maddeyi seçmek kaydıyla bu renk mor ötesinden (ultraviyole) kızılötesine (infrared) kadar değişiklik gösterebilir. Bu foton enerjisi yüksek gerilimi (HV) p-n bağlantısında bant aralığı enerjisiyle yakından ilişkilidir. Şekil III.20'de HPLED'in yapısı görülmektedir[85 , 86].



Şekil III.20 Power Ledin Yapısı [87].

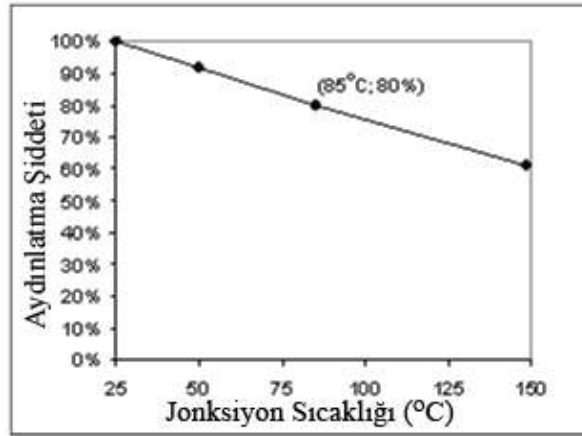
Katı hal aydınlatmalarda akım, bir modüle bağlanmış çoklu HP-LED'den toplam ışık akısı miktarını artırır ve her bir bağımsız HP-LED'lerin aydınlatma etkinliğini yükseltir. 60 watlık bir akkor lamba yaklaşık olarak 1 kilolümen ışık yayar ki bu beyaz bir HP-LED aydınlık şiddetinin 20 katıdır. Bundan dolayı her bir paket için çoklu HP-LED'ler genel amaçlı aydınlatma uygulamalarında yeterli toplam akı çıktısı geliştirmek için zorunludur. Lümen/Watt ile ölçülen ışık etkinliği katı hal aydınlatmalarda güç tasarrufunu ölçmek için kullanılan kriterlerden biridir. HP-LED'lerde mevcut ışık etkinliği yaklaşık olarak 50 lümen/Watt bu da akkor

lambalara göre % 70 halojen lambalara göre floresan lambalara göre %40 tasarruf sağlar. 2009'da katı hal aydınlatma etkinliği 80-100 lümen/Wat a ulaşmıştır[88].

III.9.2 Power LED'lerde Sıcaklığın Aydınlık Şiddetine Etkisi

Aydınlık şiddetinin neredeyse sıcaktan bağımsız olduğu floresan ve akkor ışık kaynaklarına dayanan geleneksel sistemlerin tersine LED'lerde bağlantılardaki sıcaklık arttıkça aydınlık şiddeti azalır. Sonuç olarak aydınlatma sistem tasarımının hem termal yönlerini hem de toplam aydınlık şiddeti etkilerini göz önünde bulundurmak önemlidir[89].

LED jonksiyon sıcaklığı artarsa, LED'in verdiği ışık şiddeti düşer. LED çalışma akımı artışından veya çevre sıcaklığındaki değişikliklerden kaynaklanan etiket değerinin üzerindeki jonksiyon sıcaklığı artışı, aydınlık şiddetini ciddi olarak azaltabilir. AlGaInP (aluminum indium gallium phosphorus) ile üretilen kırmızı ve kehribar renkli LED'lerin jonksiyon sıcaklığı, InGaN (indium gallium nitride) ile üretilen LED'lere göre daha duyarlıdır[90].



Şekil III.21 Jonksiyon Sıcaklığı İle Işık Şiddeti Arasındaki İlişki[91].

Dolayısıyla spesifik aydınlık şiddeti veya etkinlik düzeyini tasarlarken sıcaklığın etkilerini göz önünde bulundurmak sistemin termal yönetimini en iyileştirmek önemlidir. Şekil III.21'de, LED'lerde ışık şiddeti ile sıcaklık arasındaki ilişki gösterilmiştir. Sıcaklığın ışık şiddetini etkilemenin yanı sıra dominant ve zirve dalga boylarına da etkisi vardır. LED döküm dalga boyu karakteristiği bağlantılarda genellikle 25°C olarak kaydedilmektedir. Yüksek akım ve çevre koşullarından kaynaklanan LED jonksiyon sıcaklık artışı LED üretim maddesine bağlı olarak dalga boylarında 1°C için 0,03-0,13nm artış olabilir.

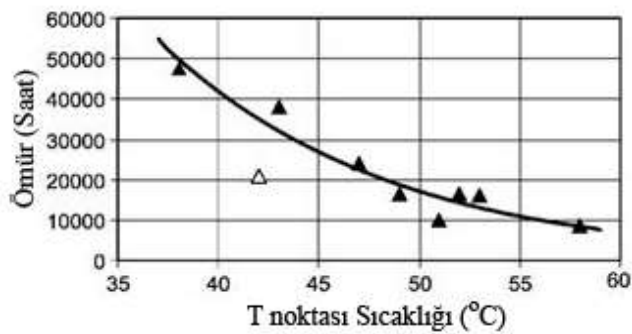
Sıcaklık değişimi LED beyaz ışık kaynaklarında aynı zamanda renk hararetlerinde hafif artışlara neden olabilir. Spesifik dalga boyu ve renk harareti gerektiren uygulamalarda bu etki mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır[90].

III.9.3 Sıcaklığın Power LED'lerin Ömrüne Etkisi

Katı hal aydınlatma elamanları kullanım süreleri ya kararlı halde termal olarak yönetim ile ya da geçici rejimlerde gücün ve soğutmanın denetlenmesine bağlıdır. Geçici rejim üzerinde özellikle yüksek güçlü yarı iletken LED'ler için çalışma yapılmıştır[92].

Nominal çalışmada oluşan ısıyı gidermek için LED gövdesi bir soğutma elamanına veya soğutucu bir kaplamaya lehimlenmelidir. LED'i kılıflama, lehimleme ve fosforlamada paketleme hataları olabilir. Bağlantının kırılması, anot-katotta kopma ve kılıfın dayanıklılığındaki azalmalar aşırı ısınmış epoksiden kaynaklanmaktadır. Bu problem önce yongayı sonra epoksiyi sınırlamaktadır. Ana bağlantılardaki mekanik stres başka bir mekanik arızalara sebep olur ve bunlar cihaz içinde açık devreler oluşturabilir. Anot ve katot bacaklarının lehimine uygulanan elverişsiz basınç, konum ve yön de aynı zamanda LED gövdesine aşırı yakın bükülmeye neden olarak normal işletim sıcaklığını artırmaktadır. Beyaz LED'lerin çoğunda termal degradasyona hassas olan sarı veya kırmızı/yeşil fosforlar kullanılır. Farklı fosforlar karıştığında her bir bileşen renk durumunu muhafaza etmek için uyumlu bir kullanım süresine ve degradasyon davranışına sahip olmalıdır. Zaman içerisinde renk harareti ve fosforların saflık düzeyinde değişme olabilir[93 , 94].

Şekil III.22'de beyaz LED'lerin T noktası sıcaklığının bir fonksiyonu olarak tahmini kullanım süresi gösterilmiştir[95]. Bu çalışmada T noktası sıcaklığı için tahta sıcaklığı terimi kullanılmıştır.



Şekil III.22 LED Ömrü ile Sıcaklığın İlişkisi[95].

III.10 LED ARMATÜR TASARIMI

Günümüzde LED'lerin genel aydınlatmalar için kullanımı, birçok uygulamada ayrı bir aydınlatma sistemi (armatür) tasarlamak yerine mevcut armatürlerdeki ışık kaynağının yerine kullanılması şeklinde olmaktadır. LED'ler için özel tasarlanmış bir armatür, geleneksel armatürden daha iyi optik, termal ve elektrik performansına sahip olacaktır, çünkü mevcut donanım tasarımı sınırlandırmayacaktır. Bu tasarımcının, yeni bir armatürün toplam sistem performansının mı, yenilenmiş ampulün uygunluğunun mu hedef uygulamada daha önemli olduğuna karar vermesine bağlıdır[96].

LED aydınlatma sistemleri (armatür) genellikle üç ana kısımdan oluşmaktadır:

- LED modül
- Isı taşıyıcı gövde
- Soğutucu

LED modül, LED ışık kaynağı ve ikincil optik komponentleri içerir. LED lambalar elektriki bağlantılarının yapılması için bir borda tutturulmuştur. İkincil optikler çoğu zaman LED lambalara tutturulmuş olup hedeflenen ışımaya açısına sahiptirler. Isı taşıyıcı gövde ayakları, LED lamba çevre sıcaklığını dağıtmaktır. Isıl kaybı önlemek için soğutucuya sıkı bir şekilde tutturulmuştur. Soğutucu, LED armatür için çok önemli olan jonksiyon ve çevre sıcaklıklarını nominal çalışma sıcaklıkları seviyesinde tutmaktır. Soğutucu performansında soğutucunun yapıldığı malzeme ve fiziki şekil oldukça önemlidir[97].

Bazı led armatür üreticileri, LED armatür verimi ve kullanım süresi özelliklerinin abartmaktadırlar. Aydınlatma endüstrisi kompakt floresan lamba (CFL) ampullerinin ilk yılları boyunca benzer problemler görmüştür. Endüstri standartlarının eksikliği ve ilk ürün kalitesindeki geniş çeşitler CFL teknolojisinin benimsenmesini yıllarca ertelemiştir. Amerika Birleşik Devleti Enerji Bakanlığı, ilk LED armatürleri ile aynı standartlar ve kalite problemlerinin ortaya çıkabileceğini ve bu durumun da LED ışığının aydınlatmada kullanılmasını geciktirebileceğini öngörmüştür. Buna karşılık Amerika Birleşik Devleti Enerji Bakanlığı (DOE), tasarımı ve üretimi yapılan LED armatürlerin katalog değerleri haricinde gerçek değerlerini ölçen ve standartlaştıran DOE SSL Ticari Ürün Test Programını piyasaya sürmüştür. Bu program marka gözetmeksizin led'e dayanan armatürleri aşağıdaki dört özellik için test eder;

- ✓ Armatür ışık verimi (lümen değeri)
- ✓ Armatür gücü (watt)
- ✓ Aralarında bağ bulunan renk sıcaklıkları (Kelvin dereceleri)
- ✓ Renk verme endeksi[96]

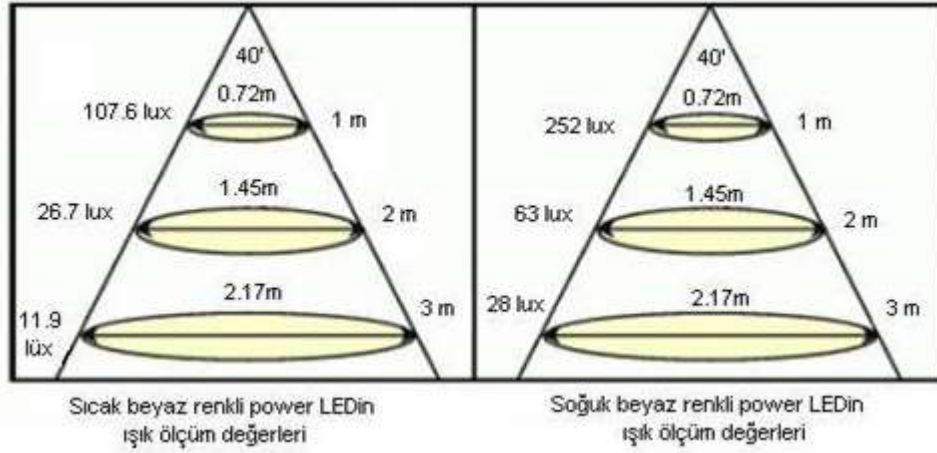
III.10.1 Aydınlatma Gereksinimlerini Tanımlamak

Tasarım hedefleri, mevcut donanım performansına veya uygulamanın aydınlatma gereksinimlerinden birisine dayanmalıdır. LED armatür hedef uygulama için aydınlatma gereksinimlerini karşılamalı veya üzerine çıkmalıdır. Bu yüzden, aydınlatma gereksinimleri, tasarım hedefleri belirlenmeden önce tanımlanmalıdır.

Aydınlatmada temel amaç iyi görme koşullarının sağlanmasıdır. Bürolarda, okullarda, hastanelerde, fabrikalarda, trafikte, güvenlik konularında ve hemen hemen her konuda aydınlatma iyi görme koşullarının sağlanması için yapılır. Yanıltıcı, şaşırtıcı, ilgi çekici, alışılmamış etkiler elde etmeye yönelik amaçlarla yapılan aydınlatmalarda, bu etkilerin elde edilebilmesi de, yine görme koşulları ve aydınlığın niteliği konularının çok iyi bilinmesine bağlıdır. Burada çok önemli bir kurala özellikle dikkat çekmek gerekir. Aydınlatmada amaç, belli bir aydınlık düzeyi elde etmek değil, iyi görme koşullarını sağlamaktır.

Bu amaca ulaşmak, çok büyük oranda, aydınlığın niteliğinin doğru belirlenmesine bağlı olmasına karşın, aydınlatma projesi adı altında hazırlanan projelerin hemen tümünde gerekli aydınlık düzeylerinin sağlanması ile yetinilmektedir. Bu ise, amaçla aracın karıştırılması, önemsiz araçlardan birinin esas amaç sanılması gibi, klasik yanlışların en büyüklerinden birinin yinelenmesinden başka bir şey değildir.

Bazı uygulamalar için, gereksinimleri direkt tanımlayacak mevcut standartlar vardır. Genel uygulamalar için, iyi bir tasarım yaklaşımı, mevcut armatürü iyi nitelendirmektir[98]. Şekil III.23'de bir Power LED'in belirli yüksekliklerde oluşturduğu ışık şiddeti değerleri verilmiştir.



Şekil III.23 Bir Power LED'in Belirli Yüksekliklerde Oluşturduğu Işık Şiddeti Değerleri[96].

III.10.2 Tasarım Hedeflerini Tanımlamak

Uygulamanın aydınlatma gereksinimlerine dayanan tasarım hedefleri belirlenmelidir. Tasarımcı LED için, tasarımı etkileyecek özel optik gereksinimler veya yüksek ısıya dayanabilmesi gibi birtakım durumları önceden belirlemelidir.

Tanımlanan aydınlatma gereksinimleri ile LED armatür için tasarım hedefleri ortaya konulabilir. Tıpkı aydınlatma gereksinimleri tanımlanırken olduğu gibi, eleştirel tasarım hedefleri ışık üretimi ve güç tüketimiyle ilişkili olmalıdır. Hedef uygulama için önemli olabilecek işletme masrafları, malzeme ücretleri ve kullanım ömrü de dahil olmak üzere tasarımı etkileyecek bütün kriterleri göz önünde bulundurmalıdır[96].

III.10.3 Optik-Termal-Elektrik Sistemlerinin Verimliliklerini Tahmin Etmek

Tasarım hedefleri, armatürdeki optik, termal ve elektrik sistemlerinin çalışma şeklini belirleyecektir. Armatür içindeki her sistemin iyi çalışması, genel armatür verimini belirleyecektir. Aydınlatma hedeflerinin ve sistem verimliliklerinin uyumlu kombinasyonu aydınlatmada toplam verimi artıracaktır. Ayrıca aydınlatmada gerekli led sayısını doğru olarak hesaplamak için, optik, termal ve elektrik sistemlerinin verimleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Optik sistem verimi, ışık kaybının inceleyerek hesaplanabilir. Işık kaybını hesaplamamanın iki temel yöntemi vardır. İkincil optikler, LED in kendisinin bir parçası değil ledin üzerine yerleştirilmiş bir lens veya süzgeç gibi tüm optik sistemlerdir. İkincil optiklerle ilgili kayıplar kullanılan belirli unsurlara göre değişir. Her ikincil optik malzeme kullanımında tipik optik verim %80 ve %90 arasındadır[96].

Donanım ışık kaybı, ışık hedefe vurmadan önce ışık kaynağından çıkıp donanım gövdesine vardığında meydana gelir. Işığın bir miktarı donanıma geri yansırken, bir miktar ışık da donanım gövdesi tarafından emilir. Donanımın verimi, ışık kaynağının yerleştirilmesi, donanım gövdesinin şekli ve donanım gövdesinde kullanılan malzemeler tarafından belirlenir.

LED sürücü elektronikleri, mevcut güç kaynağını (prizdeki AC enerjisi veya adaptörü) sabit akım kaynağına dönüştürür. Tüm güç teçhizatında olduğu gibi, bu işlem %100 verimli değildir. Sürücüdeki elektrik kayıplar, ışık yerine sıcaklıkla giren gücü kaybederek genel armatür verimini azaltır. Enerji kaybı, LED sistem tasarımına başlandığında değerlendirmeye alınması gereken bir unsurdur. Tablo III.7’de bir armatür tasarlanırken olması gereken sistem verimlilikleri gösterilmiştir[96].

Tablo III.7 Bir Armatürü Oluşturan Sistemlerin Verimlilik Verileri[96].

Sistem	Verim	Çeşit
Optik	91%	Işık
Termal	85%	Işık
Elektriksel	87%	Güç

III.10.4 İhtiyaç Duyulan LED Sayısını Hesaplamak

Tasarım hedeflerine ve tahmin edilen kayıplara dayanarak, tasarımcı tasarım hedeflerine ulaşabilmek için ihtiyaç duyulan LED sayısını hesaplayabilmelidir. Hesaplanan tüm sistem verimleri ile tasarım hedeflerini tutturmak için gerekli LED sayısı hesaplanabilir. Bu hesaplama için, sadece ışık verimlilikleri (optik ve termal) kullanılır. Enerji verimi, armatürden gelen ışığın miktarını değil, sadece tüketilen toplam güç ve donanım verimini etkiler.

Yapılan uygulamalar için üretilen ışığın verimine ek olarak, ışık yayan diyodun uzun ömürlü olması da toplam tasarrufta önemli bir faktördür. LED’lerin uzun ömürlü olması, bu ışık kaynaklarıyla donatılmış herhangi bir aydınlatma sisteminin bakım periyodunu da bir hayli uzatmaktadır. Uygulamaların çoğunda LED modüllerinin ömrü en az diğer aydınlatma armatürlerinininkine kadardır. Ancak son yıllarda üretilmekte olan yüksek güçlü LED’lerde LED’in çalışma sıcaklığına bağlı olarak kullanım ömrü uzamakta ve eğer iyi bir soğutucu ile birlikte kullanılırsa bu süre normal bir armatürün 10 katına kadar çıkabilmektedir. Şekil 3’te yüksek güçlü bir LED’in sıcaklığa bağlı olarak kullanım ömrüne ilişkin eğri verilmiştir[16].

Belirlenecek başka bir kriter de LED'ler için kullanılacak işletme akımının ne olduğudur. İşletme akımı, ledin ışık akısı değeri ve kullanım ömrünü belirlerken önemli bir rol oynar. İşletme akımının yükselmesi her LED'in daha fazla ışık akısı üretmesini sağlar ve bu da ihtiyaç duyulan led sayısını düşürecektir. Fakat daha yüksek işletme akımı, yarıiletken malzemeden yapılmış güç LED'lerinin verimini azaltacaktır. Armatürde, güç devresinin elamanlarının işletme akımı artacaktır. Çünkü aynı sayıda aynı ışık akısını az sayıda LED ile üretmek için daha fazla güç kullanılacaktır. Daha yüksek akım, LED bağlantıları ve jonksiyon sıcaklığını arasındaki ısı farkını yükseltecektir. Armatürün elektrik sistemi tasarımı yapılırken, maksimum akım derecesine zaten karar verildiği için, armatür için maksimum akım aşılmış olur. Elektrik sistem zarar görmüş olur ve çevre güvenliği için tehlikeli bir durum oluşabilir. Ayrıca tasarımda kullanılan LED'lerin ve dolayısıyla armatürün başlangıçta belirlenen kullanım ömrü kısalmış olur[96].

III.10.5 Tüm Tasarım İhtimallerini Değerlendirmek

Tüm tasarımlarda olduğu gibi, armatür tasarım hedeflerini en iyi şekilde gerçekleştirmenin birçok yolu vardır. LED aydınlatma, aydınlatma sektöründe yeni bir alan ve bu yüzden geleneksel aydınlatma kaynaklarının tasarımında kullanılan ilkeler LED aydınlatma tasarımına uymayabilir. Hesaplanan LED sayısı ile tasarım hedeflerini tamamlama ihtimallerinin hepsini göz önünde bulundurulmalıdır. Her LED küçük bir ışık kaynağı olduğu için ve aynı zamanda geleneksel ışık kaynaklarından daha uzun bir kullanım ömrüne sahip olduğu için, LED'ler yeni ve farklı tasarım elemanları ile armatürleri bütünleştirebilir. Tasarımcılar, orijinal tasarımlar yaratmak için ledlerin açılı ışıklarından ve mevcut ikincil optiklerin çok çeşitliliğinin tüm avantajlarından faydalanabilirler.

Optik olarak en uygun durumu değerlendirecek olursak; LED'lerin belirli bir ışık açısı vardır. Bu yüzden, kullanılabilir seçeneklerden birisi hiçbir ikincil optik yani reflektör kullanmamaktır. Bu seçenek sistem için en düşük ücreti ve en düşük optik kaybı sağlar. Daha az parça ve daha az iş armatürün birleştirilmesini daha kolay ve ucuz yapar. Fakat bu durum aydınlatmada hiç de istenmeyen bir durum olan aydınlatılan ortamda fazla kaynaklı gölge etkisinin oluşmasına yol açar. LED'ler için üretilmiş belirli açı değerlerine sahip reflektörler kullanılarak ışığa istenilen yön verilebilir. Her LED'e ayrı bir reflektör kullanmak da bazı istenmeyen durumlara yol açabilir. Ayrı reflektör kullanmak ile fazla kaynaklı gölgelenme devam eder ve parça

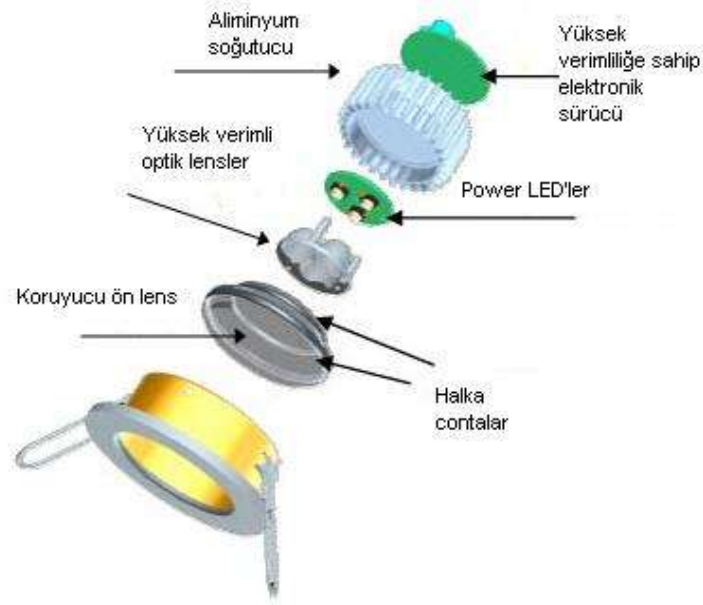
sayısının fazla olması montajı da karmaşık hale getirir. Optik dizaynda istenmeyen bu durumları ortadan kaldırmak için her bir led için bir reflektör kullanmak yerine, bir yansıtıcı ışığı yaymak için tam bir LED dizisinin üzerinde kullanılabilir. Bu yaklaşımın faydaları, çıplak led ile mümkün olandan daha geniş ışın açısı ve çok kaynaklı gölge etkisini ortadan kaldırmaktır[96].

III.10.6 Son Adımları Tamamlamak

Elektrik sistemine ait devrelerin ve bağlantıların kontrolü yapılmalı ve bağlantılar bitirilmelidir. Termal ve fiyat kriterlerine göre gövde malzemesini seçimi yapılmalıdır.

Armatürü oluşturan mekanik parçaların planına göre montajının tamamlanmalıdır. Bu montajın, armatürün ışık verimini ve termal akışına doğrudan etkisinin olduğu unutulmamalıdır. Örnek bir prototip armatür yapılarak tasarımın test edilmesi sağlanmalıdır.

Hatta tasarımın anlaşılabilmesi için birkaç adet örnek imal etmek, tasarımı üretime geçirebilmek için daha doğru kararlar verilmesine olanak sağlar. Optik, termal ve elektrik sistemlerinin yapması gerekenleri yapıp yapmadığını test edilmelidir. Tasarımın bütün tasarım hedeflerini başarıp başarmadığı kontrol edilmelidir. Tüm tasarım hedeflerinin başarıldığından emin olmak için örnek prototip test edilmelidir. Örnek tasarımı sonraki armatür tasarımlarını iyileştirmek için kullanmak çok önemlidir. Örneği analiz ederek edinilen yeni fikirlere dayanarak tasarımda son değişiklikler yapılmalıdır. Son tasarımı ve malzeme faturası belgelendirilmelidir. Gözlemleri ve fikirleri mevcut veya yeni tasarım geliştirmeleri için kaydetmek tasarımcı ve firma için oldukça önemlidir. Şekil III.24' de tasarımı bitmiş bir LED armatür görülmektedir[96].



Şekil III.24 Power LED Kullanılarak Yapılmış Bir Armatürün Parçaları[96].

III.11 BULANIK MANTIK KONTROL SİSTEMLERİ

Bulanık mantık kavramı, ilk olarak 1965 yılında L.Zadeh tarafından kullanılmıştır[96]. Bu kavram ile genel olarak, insanın düşünme biçimi modellenmeye çalışılır. Klasik küme kavramında bir üye, bir kümenin üyesidir veya üyesi değildir. Bulanık mantık kavramında, bir üyenin bir kümenin üyesi olup olmadığı üyelik fonksiyonları ile belirlenir. Bu kavram ile bulanık mantığın kullandığı çıkarım yöntemleri kullanılarak olaylar hakkında yorum yapılır. Bulanık mantığın en güçlü tarafı var olan bir uzman bilgisinin kullanılmasıdır. Bu durum uzman bilgisinin tam olarak elde edilemediği durumlarda ise büyük bir dezavantaj oluşturur[100].

Bulanık kontrolör kısaca, bulanık mantık kavramının bir kontrol kuralı oluşturmak amacıyla kullanılması olarak tanımlanabilir. Bulanık kontrolörde kullanılan kurallar, uzman sistemlerde olduğu gibi çoğunlukla *eğer... ise (if... then)* yapısında oluşturulur. Bulanık kontrolörün ilk uygulaması, 1974 yılında bir buhar kazanının kontrolü için Mamdani tarafından gerçekleştirilmiştir [101].

III.11.1 Bulanık Kontrolör

Bulanık kontrolör, Lofti A. Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık kavramına dayanan bir kontrol tekniğidir. Bulanık kontrolün uygulandığı bu sistemlerin ortak özellikleri, sistemlerin doğrusal olmaması veya sistemin matematik modelinin elde edilememesi veya zor elde edilmesidir.

Bulanık mantık, bulanık üyelik kavramını kullanarak insanın düşünme biçimini modellemeye çalışır ve bu kavram ile birlikte sözel değişkenleri kullanılır. Bulanık kontrolör, özellikle geleneksel sayısal tekniklerle analizi çok karmaşık olan sistemlerde, ya da elde edilebilir bilgi kaynakları sayısal olmayan veya kesin olmayan, belirsiz olan sistemlerde çok etkindir[102].

III.11.1.1 Bulanık Kümeler

Bir bulanık kümede, kümedeki bir elemanın kümeye aitlik derecesi (μ), 0 ile 1 arasında verilir[103]. Bir bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonunu $\mu_A(x)$ ile gösterilir Burada $\mu_A(x)$, üyelik fonksiyonundaki bir x noktasının, A bulanık kümesindeki üyelik derecesidir. $\mu_A(x) = 1$ değeri x'in A bulanık kümesinin kesin bir elemanı olduğunu, $\mu_A(x) = 0$ ise, x'in, A bulanık kümesinin elemanı olmadığını gösterir. $0 < \mu_A(x) < 1$ arasındaki değerler, x'in, A bulanık kümesinin belirsiz bir değeridir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarını tanımlamak için, üçgen, yamuk, gauss eğrisi gibi standart fonksiyonlar kullanılabilir gibi çok farklı üyelik fonksiyonları da oluşturulabilir.

A ve B olarak iki bulanık küme olduğunu varsayalım. μ_A 'yı A'nın ve μ_B 'yi B'nin üyelik fonksiyonları olduğunu kabul edelim. Buna göre bulanık kümeler üzerindeki temel işlemler aşağıdaki şekilde tanımlanır[103]-[104].

$$\text{Birleşim: } \mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (\text{III.1})$$

$$\text{Kesişim: } \mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (\text{III.2})$$

$$\text{Değil: } \mu_{\bar{A}}(x) = \max \{ 1 - \mu_A(x) \} \quad (\text{III.3})$$

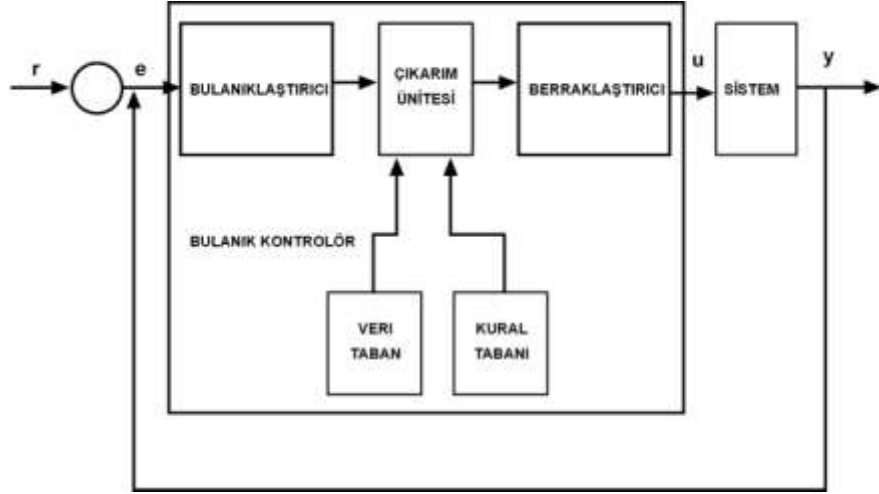
III.11.1.2 Bulanık Kontrolörün Temel Yapısı

Bulanık kontrolör genel olarak,

- 1-)Bulanıklaştırma
- 2-) Bulanık kural ve veri tabanı
- 3-) Çıkarım,
- 4-) Berraklaştırma

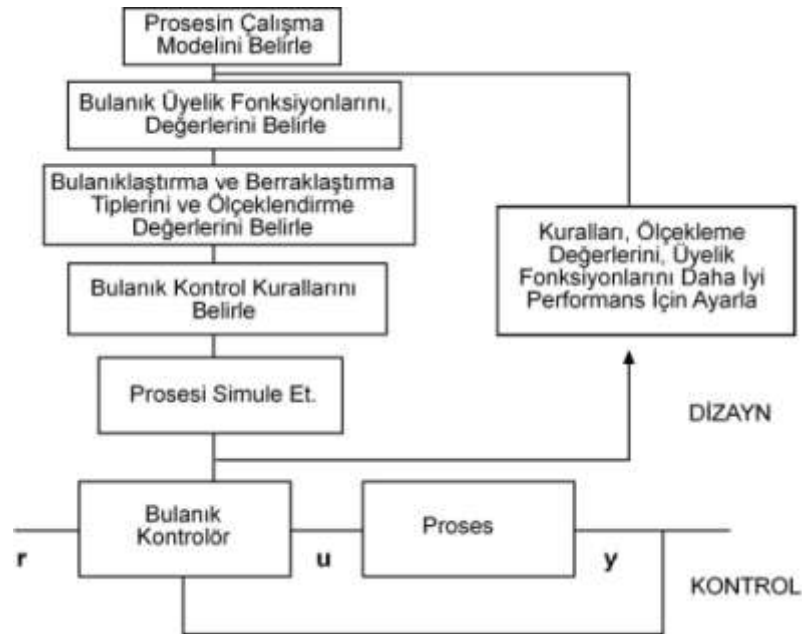
birimlerinden oluşur.

Şekil III.25'de bu dört temel birimden oluşan bulanık mantık kontrolörün yapısı görülmektedir[105].



Şekil III.25 Bulanık Kontrolörün Genel Yapısı[105].

Bulanıklaştırma ünitesi, giriş işaretlerini, üyelik fonksiyonlarını kullanarak sözel değişkenlerden oluşan bulanık ifadelere dönüştürür. Kural tabanı, bir uzman tarafından oluşturulan ve “Eğer...ise” (if...then) şeklinde tanımlanmış olan kurallardan oluşur. Veri tabanı ise, kural tabanı tarafından kullanılan değişkenlerin değerlerini tutar. Çıkarım ünitesi, bulanıklaştırıcı çıkışındaki değerleri kural tabanındaki kurallar ve veri tabanındaki değerler ile birleştirerek tanımlanan bir yorumlama yöntemine göre, yorumlar ve bulanık kontrol davranışına karar verir. Berraklaştırıcı, elde edilen kontrol davranışını bir sisteme uygulayabilmek için gerekli kontrol işaretine çevirir. Bulanık kontrolör tasarlamak için gerekli işlem adımları Şekil III.26’da gösterilmiştir[106].



Şekil III.26 Bulanık Kontrolör Tasarım İşlem Adımları[106].

Bulanık kontrolör tasarım işlemindeki adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

i-) İlk adım prosesin çalışma modelinin belirlenmesidir. Bütün kontrolör tiplerinde olduğu gibi prosesin ana özellikleri bilinmeden kontrol işlemi yapılamaz. Bununla birlikte, bulanık kontrolörler için bilinmesi gereken parametreler, klasik kontrolör yapılarına göre çok daha azdır.

ii-) İkinci adım, bulanık üyelik tiplerinin ve sınırlarının belirlenmesidir. Daley ve Gill üyelik değeri sayısının çift olmasını Cox, ise üyelik değeri sayısını tek olarak kullanılmasını önermektedir[103].

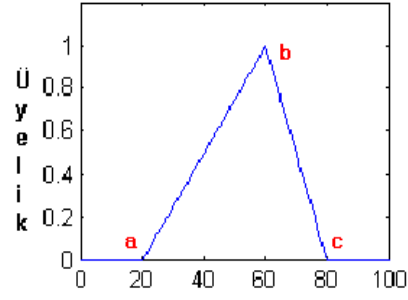
iii-) Üçüncü adım, bulanık uzay içindeki bölünmeler belirtildikten sonra, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları tanımlanabilir. Çalışmaların çoğunda üçgen veya gauss eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılır.

iv-) Dördüncü adımda, uzman bilgisine göre bulanık kurallar oluşturulur. Bulanık kontrol kuralında az sayıda kural olduğunda gauss eğrisi fonksiyonlarını, kuralların sayısı çok fazla olduğunda ise üçgen fonksiyonları kullanmak uygundur. Sürekli ve kararlı bir kontrol yüzeyi elde etmek için bulanık kümelerin birbirlerini belli bir değerde kesmesi gereklidir[103].

Bulanık kontrolör tasarımı, kabul edilebilir bir performansı elde etmek için sonuçların ardışık değişikliği ve sistem davranışı analizine dayanan bir sezgisel (heuristic) deneme ve yanılma yaklaşımını gerektirir.

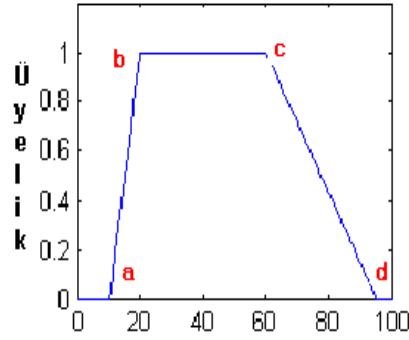
III.11.1.3 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma işleminin amacı, gerçek sayılarla tanımlanan giriş değişkenlerini bulanık ifadelerle çevirmektir. Burada, kesin olmayan ölçümleri ifade eden her giriş değişkeni için, bir bulanıklaştırma fonksiyonu tanımlanır. Bulanıklaştırma işlemi için öncelikle, üyelik fonksiyonlarının tiplerinin, sayılarının ve sınır değerlerinin seçilmesi gereklidir. Burada kullanılabilecek üyelik fonksiyonlarının bazıları Şekil III.27, Şekil III.28 ve Şekil III.29'da gösterilmiştir.



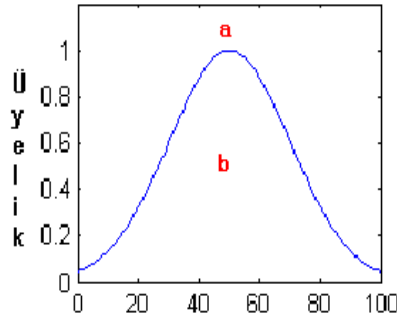
Şekil III.27 Bulanık Üyelik Fonksiyonu (Üçgen)[107].

$$\begin{aligned}
 \mu(x) &= 0, \quad x \leq a \\
 \mu(x) &= (x-a) / (b-a), \quad a \leq x \leq b \\
 \mu(x) &= (c-x) / (c-b), \quad b \leq x \leq c \\
 \mu(x) &= 0, \quad c \leq x
 \end{aligned}
 \tag{III.4}$$



Şekil III.28 Bulanık Üyelik Fonksiyonu (Yamuk)[107].

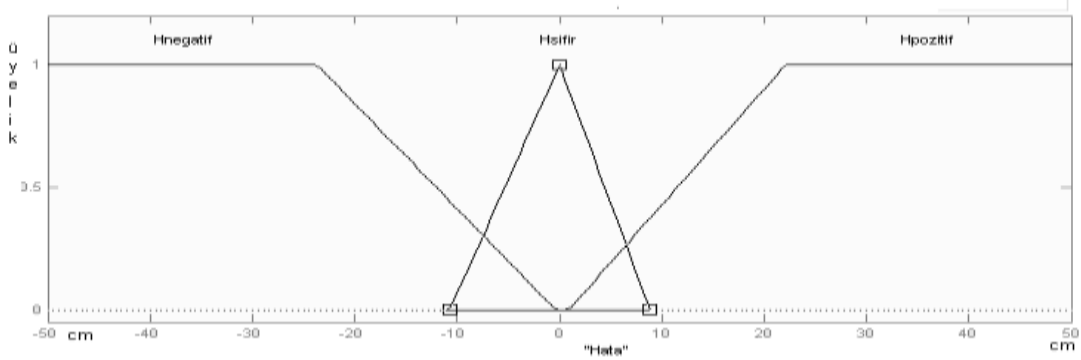
$$\begin{aligned}
 \mu(x) &= 0, \quad x \leq a \\
 \mu(x) &= (x-a)/(b-a), \quad a \leq x \leq b \\
 \mu(x) &= 1, \quad b \leq x \leq c \\
 \mu(x) &= (d-x)/(d-c), \quad c \leq x \leq d \\
 \mu(x) &= 0, \quad d \leq x
 \end{aligned}
 \tag{III.5}$$



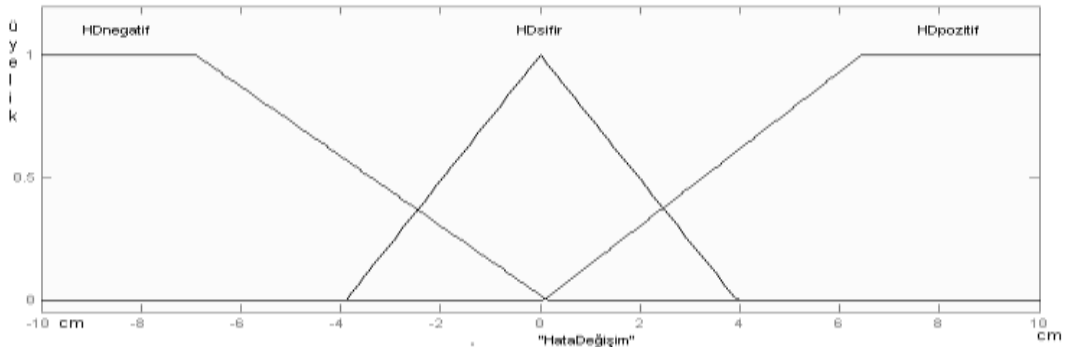
Şekil III.29 Bulanık Üyelik Fonksiyonu (Gauss Eğrisi)[107].

$$\mu(x) = e^{-1/2((x-a)/b)} \quad (III.6)$$

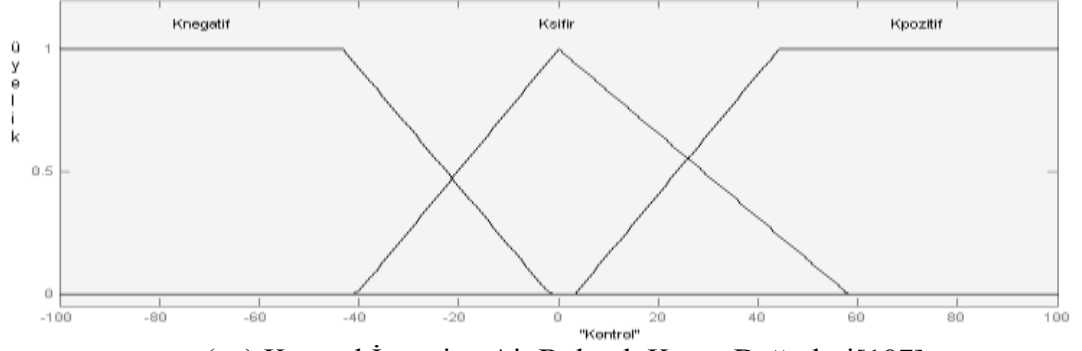
Bulanık kontrolör tasarımı örnek bir tank sıvı seviye kontrol problemi üzerinde gösterelim. Bu amaç için, tank sıvı seviyesi ile istediğimiz seviye arasındaki hata (e) ve hatanın değişimi (δe) olmak üzere, 2 adet giriş değişkeni ve üreteceğimiz kontrol işareti (u) olmak üzere 1 adet çıkış değişkeni alalım. Bu üyelik değerlerinin sınırlarını sırası ile ±50, ±10 ve ±100 olarak seçelim. Bu değişkenlere ait bulanıklaştırılmış değerleri Şekil III.30 a,b ve c'de görülmektedir. Burada seçilen üyelik fonksiyonlarının tipleri, sayıları ve değerleri sezgisel bilgilere göre seçilmiştir. Seçilen bu üyelik değerlerini kural tabanında tanımlayabilmek için, sözel değişkenlerle ifade edilmişlerdir[107].



(a) Hataya Ait Bulanık Küme Değerleri[107].



(b) Hatanın Değişimine Ait Bulanık Küme Değerleri[107].



(c) Kontrol İşaretine Ait Bulanık Küme Değerleri[107].

Şekil III.30 Örnek Sıvı Seviye Sistemine Ait Bulanık Kümeler Değerleri
A)Hata, B)Hatanın Değişimi C) Kontrol[107]

III.11.1.4 Kural Tabanı

Kural tabanı, bulanık kontrolör davranışını belirleyen kontrol kurallarını içerir. Kural tabanı çoğunlukla *eğer.. ise* (if...then) şeklinde tanımlanmış olan kurallardan oluşur ve kolay anlaşılması amacıyla bir tablo şeklinde verilir.

e, δe ve u değişkenli örneğimizde çıkarım kuralları aşağıdaki gibi gösterilebilir.

Eğer e = A ve δe = B ise u = c

Örneğimizde, her giriş değişkeninin 3 adet üyelik fonksiyonu olduğu için, olası bulanık kurallarının toplam sayısı $3^2=9$ olur[107]. Burada, örnek olarak oluşturulan kurallar;

Kural-1... **Eğer e=H_Pozitif ve δe =HD_Pozitif ise u=K_Negatif**

Kural-2...**Eğer e=H_Pozitif ve δe =HD_Sifir ise u=K_Negatif**

Kural-3 ...**Eğer e=H_Pozitif ve δe =HD_Negatif ise u=K_Sifir**

Kural-4...**Eğer e=H_Sifir ve δe =HD_Pozitif ise u=K_Pozitif**

Kural-5...**Eğer e=H_Sifir ve δe =HD_Sifir ise u=K_Sifir**

Kural-6...**Eğer e=H_Sifir ve δe =HD_Negatif ise u=K_Pozitif**

Kural-7...**Eğer e=H_Negatif ve δe =HD_Pozitif ise u=K_Sifir**

Kural-8...**Eğer e=H_Negatif ve δe =HD_Sifir ise u=K_Pozitif**

Kural-9...**Eğer e=H_Negatif ve δe =HD_Negatif ise u=K_Pozitif**

Oluşturulan örnek bulanık kurallardan oluşan tablo, Tablo III.8'da gösterilmiştir.

Tablo III.8 Örnek Bulanık Kural Tabanı Tablosu[107].

u	δe			
e		HD_Pozitif	HD_Sıfır	HD_Negatif
	H_Pozitif	K_Negatif	K_Negatif	K_Sıfır
	H_Sıfır	K_Pozitif	K_Sıfır	K_Pozitif
	H_Negatif	K_Sıfır	K_Pozitif	K_Pozitif

III.11.1.5 Çıkarım Ünitesi

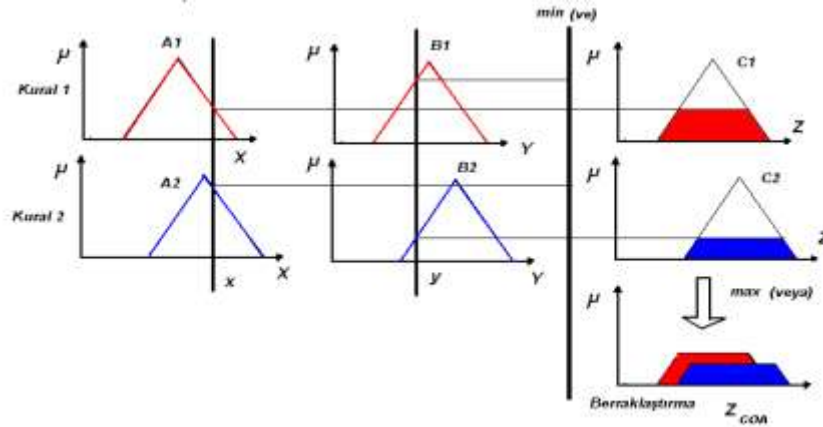
Çıkarım ünitesinin amacı, giriş değişkenlerini amaca uygun olarak, ilgili bulanık kurallar ile birleştirerek bulanık kontrol işaretini bulmaktır. Literatürde farklı bulanık çıkarım modelleri tanımlanmıştır. Bu bulanık çıkarım modellerinde en önemlileri: Mamdani Bulanık Modeli ve Sugano Bulanık Modelidir[108]. Bu modeller aşağıda incelenmektedir.

-Mamdani Bulanık Modeli

İlk oluşturulan bulanık çıkarım modelidir. Mamdani bulanık modelinde çıkarım işlemi, A, B ve C bulanık üyelik değerleri olmak üzere;

“ Eğer $x=A1$ ve $y=B1$ ise $z=C1$ “

formunda yazılabilir. Bu modele göre oluşturulan ve minimum (ve), maximum (veya) çıkarım operatörlerinin kullanıldığı ile bir çıkarım ünitesi Şekil III.31’da görülmektedir[109].



Şekil III.31 Mamdani Bulanık Modeli[109].

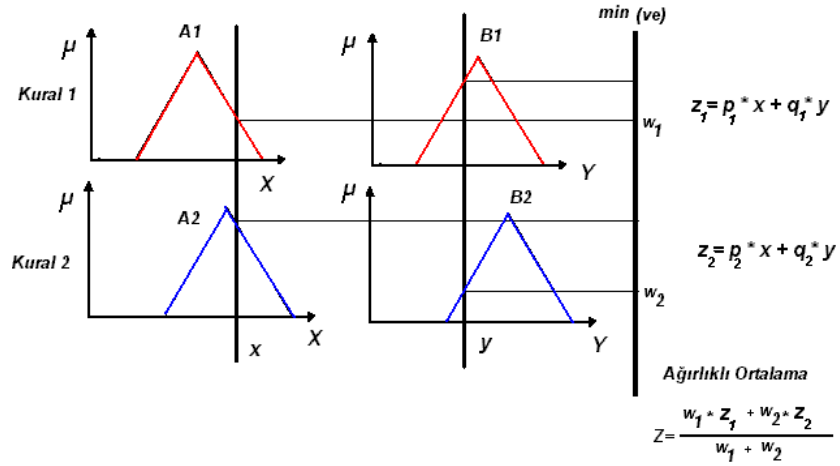
- Sugano Bulanık Modeli,

Bu model, Sugano tarafından giriş çıkış veri bilgilerine dayanan bir sistemde bulanık kontrolör tasarlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu modelde çıkarım işlemi, A,

B bulanık üyelik değerleri, Z gerçel değer ve f () x,y arasında bir fonksiyon olmak üzere;

“Eğer $x=A1$ ve $y=B1$ ise $z=f(x,y)$ ”

formunda yazılabilir. Bu modele göre oluşturulan maximum (veya) çıkarım operatörlerinin kullanıldığı ile bir çıkarım ünitesi Şekil III.32’de görülmektedir. Burada p ve q sırasıyla A ve B bulanık kümelerinin ağırlık değerleri, W_1, W_2 her bir kurala ait ağırlık değerleridir[109].



Şekil III.32 Sugano Bulanık Modeli[109].

III.11.1.6 Berraklaştırma

Berraklaştırma, Mamdani bulanık modelinde, çıkarım ünitesinden elde edilen bulanık kontrol işaretini istenen kontrol işaretine çevirmek için kullanılır[103].

Berraklaştırma işlemi için yaygın olarak kullanılan üç metod vardır;

- Alan merkezi metodu
- Maksimum berraklaştırma metodu
- Maksimum ortalama metodu

Alan merkezi metodu, alan ağırlık merkezi metodu olarak da bilinmektedir ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Alan merkezi yöntemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

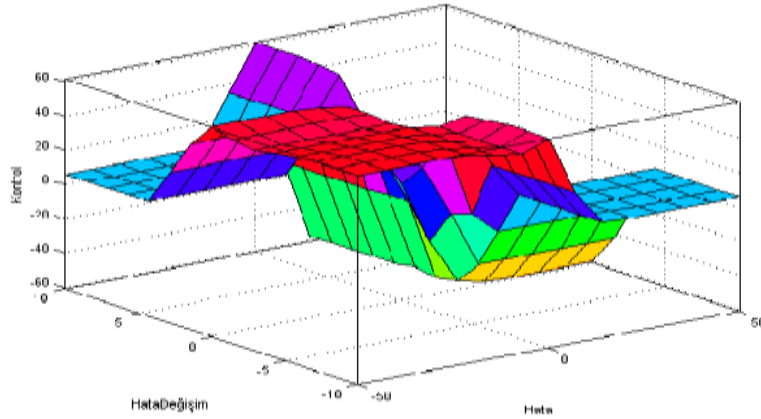
$$Z_{COA}(C) = \frac{\sum_{k=1}^n C(Z_k)Z_k}{\sum_{k=1}^n C(Z_k)} \quad (III.7)$$

Burada, $C(z_k)$ üyelik fonksiyon değeri, z_k ; her kuralın gerçekleştirme oranıdır.

Maksimum berraklaştırma metodu, aktif olan kuralların en büyük üyelik derecesi, kontrol işareti olarak alınır.

Maksimum ortalama değer metodu ise, üyelik fonksiyonunun maksimum seviyeye ulaştığı değerlerinin toplamının, aktif olan kural sayısına bölünmesiyle kontrol işaretini bulur.

Örnek olarak oluşturulan tank seviyesi kontrol probleminde Mamdani çıkarım yöntemi ile alan merkezi berraklaştırma metodu kullanılarak oluşturulan bir bulanık kontrolöre ait üyelik fonksiyonlarının değişimleri Şekil III.33’de görülmektedir.



Şekil III.33 Örnek Sıvı Seviye Sistemine Ait Bulanık Üyelik Fonksiyonların Değişimi[107].

BÖLÜM IV

TEZ ÇALIŞMASI

IV.1 GİRİŞ

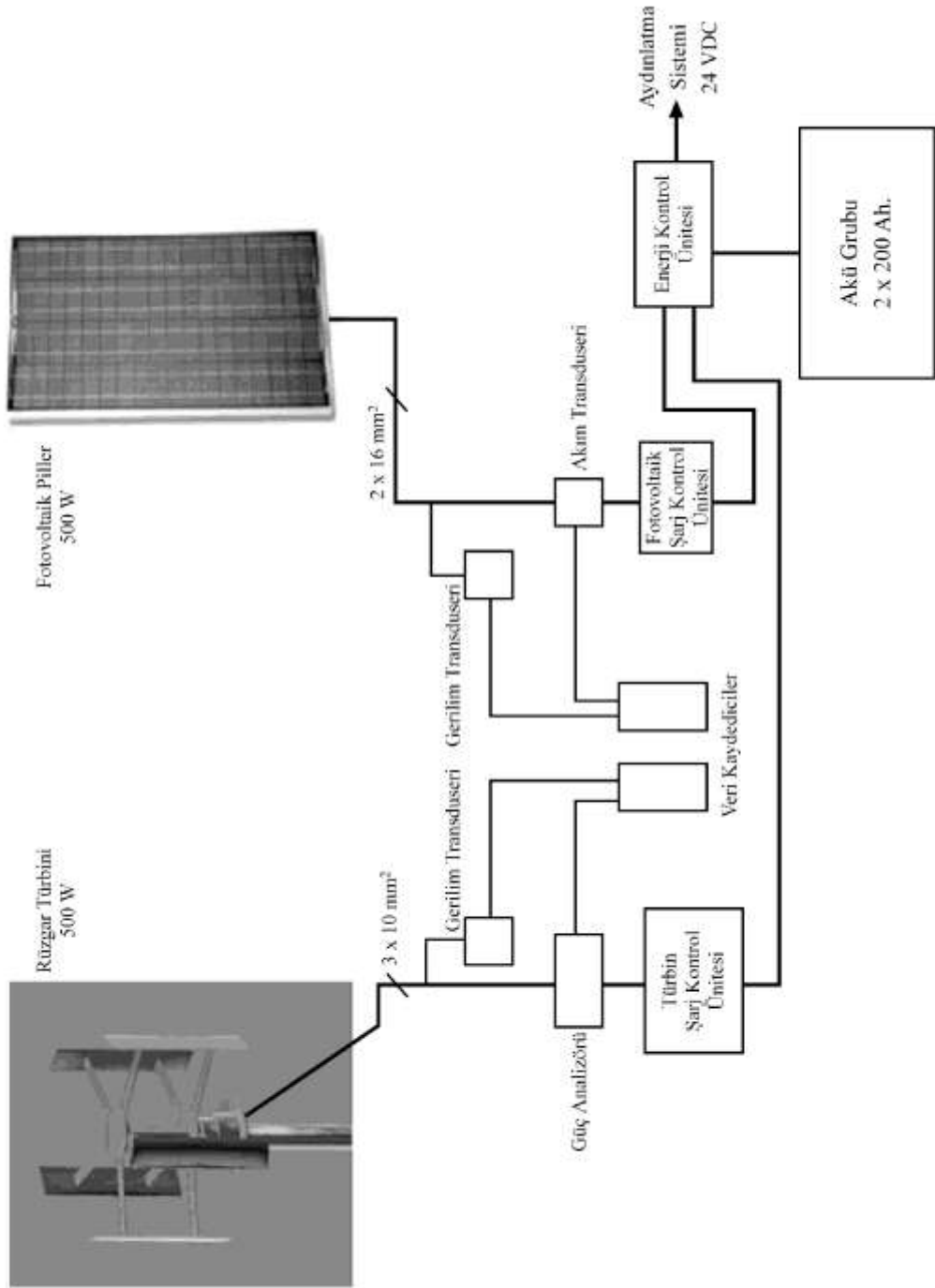
Bu bölümde çalışmanın gerçekleştirilen uygulaması hakkında bilgi verilmektedir. Enerji kısmında; fotovoltaik paneller, rüzgâr türbini, meteoroloji istasyonu ve güneş-rüzgâr enerji üretim ölçüm sistemi aktarılmaktadır. Aydınlatma kısmında ise, tasarlanan power LED armatürler tanıtılmakta ve armatürlerin bulunduğu mekâna uygulanan akıllı aydınlatma kontrol sisteminden bahsedilmektedir.

IV.2 TEZ AKIŞI

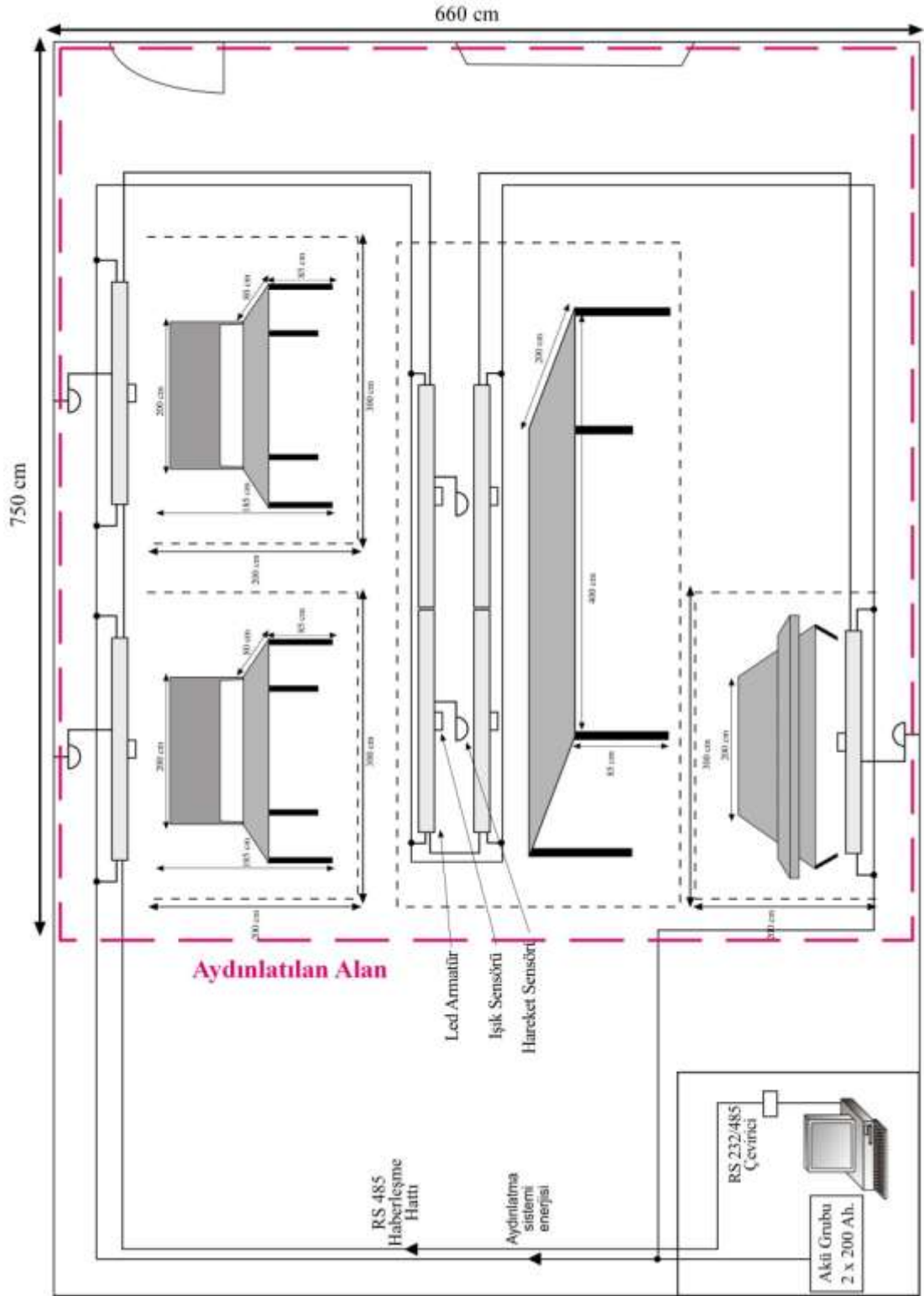
Tez aşamaları aşağıdaki adımlarla gerçekleşmiştir.

1. Projenin enerji ve aydınlatma bölümleri ile ilgili literatür taraması yapılmıştır.
2. Bölgeye kurulması planlanan güç sisteminin üreteceği enerji hakkında alt yapı olması için bölgeye ait meteorolojik verilerin tesbit edilmesi gerekmektedir. Sistemin kurulması planlanan noktada bir meteoroloji istasyonu kurulmuş ve sistem kurulmadan yaklaşık bir yıl önce başlanarak, meteorolojik veriler kaydedilmiştir.
3. Bilgisayar ortamında güç sistemi tasarlanmış ve eksiklikler giderilmiştir. Rüzgâr türbini tipi belirlenmiştir.
4. Fotovoltaik pillerin ve düşey eksenli rüzgâr türbininin montajları yapılmıştır. Ayrıca üretilen enerjinin bilinmesi için fotovoltaik panel ve rüzgâr türbininin akım ve gerilim ölçüm sistemi montajı yapılmıştır. Akü grubu bağlantıları yapılarak enerji üretim sistemi tamamlanmıştır. (Şekil IV.1)

5. Power LED’li armatürlerin bilgisayar ortamında tasarımları ve aydınlık dağılımları yapılmıştır. Ayrıca istenilen akıllı aydınlık kontrolünü modellenmesi gerçekleştirilmiştir.(Şekil IV.2)
6. Power LED’li aydınlatma armatürlerinin tasarımı bitirilmiş ve aydınlatılacak laboratuara montajları yapılmıştır. Akıllı aydınlatma sistemi bağlantıları bitirilerek, sistem bilgisayardan kontrol edilecek duruma getirilmiştir. (Şekil IV.3)
7. Elektrik güç sistemi ile ilgili verilerin kaydedilmekte ve kayıt olunan bilgileri analizi yapılmaktadır.
8. Sistem bütün halde devreye alınmış, karşılaşılan problemlere göre düzenlenmeler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.



Şekil IV.1 Sistemin Enerji Üretim Bölümü Bağlantı Şeması.



Şekil IV.2 Sistemin Aydınlatma Bölümü Bağlantı Şeması ve Laboratuvar Krokisi.



Şekil IV.3 Aydınlatma Sistemi Gerçekleştirilen Laboratuar.

IV.3 GÜNEŞ- RÜZGÂR HİBRİD SİSTEMİ

Projenin yenilenebilir enerji üretim sistemi fotovoltaik piller ve düşey eksenli rüzgâr türbininden oluşmaktadır. Ülkemizdeki yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek ve sistemin güvenilirliğini artırmak amacıyla güneş-rüzgâr hibrid sistemi tercih edilmiştir.

IV.3.1 Fotovoltaik Piller

Projenin enerji bölümünde kurulması planlanan fotovoltaik panellerin montajı gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda dört adet 125 W'lık fotovoltaik pil, İstanbul için en iyi güneşlenme için sağlanacağı güney 42° açı ile yerleştirilmiştir. Söz konusu dört modül ikişerli $12V + 12V = 24V$ seri grup yapılarak bu grupların paralel bağlanmasıyla 24V gerilimli bir sistem elde edilmiştir. Elde edilen 24 V'luk çıkış uçları 40 A. solar şarj regülâtörüne girilmiş, şarj regülâtörü çıkışı da 24 V akü grubuna bağlanmıştır. Şekil IV.4'de montajı yapılmış fotovoltaik paneller görülmektedir.



Şekil IV.4 Montajı Yapılmış Fotovoltaik Paneller.

Proje kapsamında kullanılan, fotovoltaik pillerin teknik özellikleri Tablo IV.1’de gösterilmektedir.

Tablo IV.1 Fotovoltaik Pillerin Teknik Özellikleri.

Model: SCHUCO	Monopolar güneş paneli
Üretime başladığında verdiği güç	75 W
Nominal güç	125 W
Maksimum güç	135 W
Nominal çıkış gerilimi	12 V
U_{sys}	600 V.
U_{mpp}	18,8 V - 19,1 V
I_{mpp}	6,63 A - 6,85 A
U_{ODC}	24 V - 24,3 V.
I_{SC}	7,27 A - 7,37 A.
Tolerans	5%
Boyutlar	1200 mm X 900 mm
Ağırlık	12 kg.
Kullanım ömrü	25 YIL

IV.3.2 H-Darrieus Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini

H-Darrieus rüzgâr türbinleri, düşey eksenli en önemli rüzgâr türbinlerinden biridir. Darrirus rüzgâr türbininin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbinidir. Klasik Darrirus rüzgâr türbininden iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- 1) Aerodinamik profili düzdür.
- 2) Kanatlara pitch kontrol uygulanır.

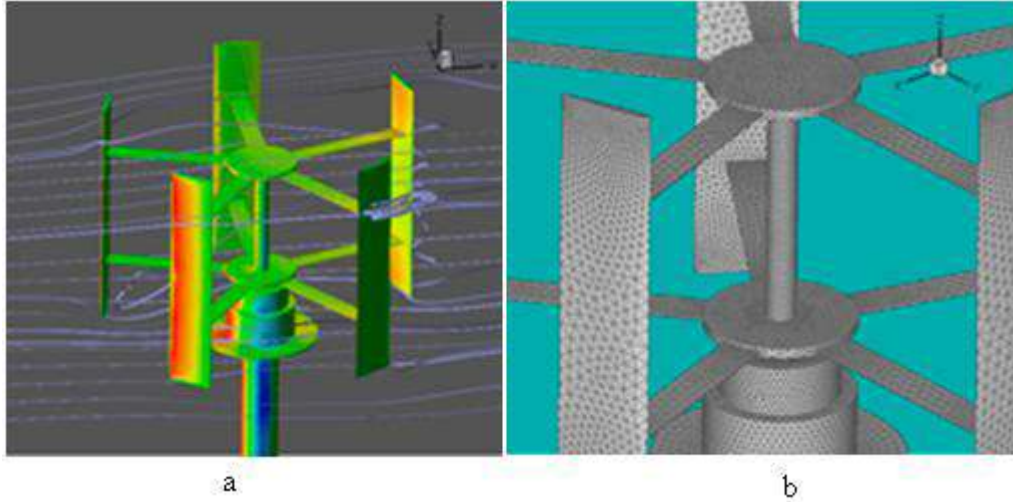
Bu türbinler rüzgârı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35 civarındadır. Türbinlerin generatör ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgâr hızlarında çalışmak zorunda kalırlar. Dişli sistemine(yaw mekanizması) ihtiyaçlar yoktur. Düşük rüzgâr hızlarında da enerji üretmeye başlayabilirler. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgâr hızlarında verimsiz çalışır.

Coğrafik yüzey yapısı, bitki örtüsü ve yüksek bina gibi engeller rüzgâr hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bunlar rüzgârın kinetiğini değiştirerek hızında ve yönünde süreklilik göstermeyen değişikliklere sebep olur.

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, çalışma şekli olarak yönü ve şiddeti çok değişmeyen rüzgâr hızları için uygundur. Ayrıca gücü ne olursa olsun montaj için mutlaka belirli bir yükseklikte direğe ihtiyaç duyarlar. Çalıştıkları ortama oldukça yüksek ses ve titreşim verirler. Ayrıca yüksek rüzgâr hızlarında kanat kırılması ve tehlikeli çalışma gibi dezavantajları vardır.

H Darrieus türbinlerin dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Rüzgârı heryönden alabildikleri için, hızı ve yönü çok değişen yerleşim alanları için de kullanıma uygundur. Düşey eksenli çalışan rüzgâr türbinlerinin montajı kolay olup çok yüksek kuleye ihtiyaç duymazlar. 1-2 m'lik bir direk bina üzerinde rüzgâr akımının elverişli ve montajın iyi yapılabileceği uygun noktaya monte edilebilir. Çalıştığı alanda çok fazla tehlike oluşturmaz ve yapısı itibariyle kanat kırılma riski yatay eksenliye göre daha düşüktür. Ayrıca yapılan literatür taramalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda çalışma esnasında çıkardıkları ses ve titreşimin yatay eksenli türbine göre oldukça az olması da, yerleşim bölgeleri içinde kullanıma en uygun rüzgâr türbini tipinin düşey

eksenli rüzgâr türbini olduğunu göstermektedir. Şekil IV.5 (a)'da türbinin üç bayutlu görünümü ve (b)'de de rüzgârın türbinde oluşturduğu fiziki etki görülmektedir.



Şekil IV.5 a) Rüzgâr Türbini Üç Boyutlu Görünümü b) Rüzgârın Türbine Fiziki Etkisi.

Proje kapsamında kullanılan, paralel kanatlı düşey eksenli rüzgâr türbinine ait teknik özellikler Tablo IV.2 gösterilmiştir.

Tablo IV.2 Kullanılan Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri.

Güç	500 Watt
Tip	Paralel kanatlı tip
Kanat mil çapı	136 cm
Kanat boyu	105 cm
Kanat ağırlığı	8,4 kg
Toplam ağırlık	88 kg
Generatör	Düşük hızlı PM Senkron Alternatör
Üretime başlama hızı	4 m/sn
Nominal üretim hızı	14 m/sn
Maksimum çalışma hızı	45 m/sn
Güvenlik/Fren	Mekanik/Elektronik güvenlik sistemi
Ömür/ Garanti	Dizayn ömrü 20 yıl, garanti süresi 2 yıl

Çalışmamızda kullanılan paralel kanatlı tip düşey eksenli çalışan rüzgâr türbini, Teknik Eğitim Fakültesi çatısına monte edilmiştir. Türbin montajı yapıldıktan sonra üç fazlı 42 VAC çıkışı, şarj kontrol ünitesine girilmiştir. Şarj kontrol ünitesi, gerilimi 24 VDC ye çevirmektedir. Kontrol ünitesi çıkışı 24 V'luk akü grubuna bağlanmıştır. Şekil IV.6'da çatıya montajı yapılmış türbin görülmektedir.



Şekil IV.6 Montajı Yapılmış Düşey Çalışan Rüzgâr Türbini.

Türbin yapısal ve çalışma özellikleri olarak;

- ✓ Kanat materyali, özel olarak güçlendirilmiş üçlü örgülü fiber ve özel koruma boyasından oluşur.
- ✓ Şaft materyali yüksek kaliteli paslanmaz çelik malzemedendir.
- ✓ Alternatörün kutupları ve bağlantı parçaları yüksek kaliteli paslanmaz çelik malzemedendir.
- ✓ Alternatör 3 fazlı yıldız bağlı düşük devirli senkron alternatördür.
- ✓ Özel dizayn edilmiş şarj kontrol ünitesi 12-24 V otomatiktir.

IV.4 METEOROLOJİ İSTASYONU

Projenin enerji bölümünde rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinden elektrik üretme işlemi gerçekleştirileceği için o bölgeye ait meteorolojik değerlerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda, bir meteoroloji istasyonu kurulmuş ve rüzgâr hızı(m/s), rüzgâr yönü, basınç(mb), nem miktarı(%), yağış miktarı(mm), iç ve dış sıcaklık değerleri($^{\circ}$ C), güneşlenme miktarı(W/m^2) değerleri alınmaya başlanmıştır. Ayrıca bu değerler hem anlık olarak görülmekte hem de veri olarak saklanabilmektedir. Şekil IV.7’de meteoroloji istasyonu parçaları görülmektedir.



Şekil IV.7 Meteoroloji İstasyonu ve Parçaları.

IV.4.1 Meteoroloji İstasyonu Teknik Özellikleri

Meteoroloji istasyonu kumanda ve görüntü cihazı grafik ekrana sahiptir. İstasyondaki sensörlerin tamamı dış ortama dayanıklı siperler içerisine yerleştirilmiştir. Meteoroloji istasyonunda bulunan sensörlerin özellikleri Tablo IV.3 verilmiştir.

Tablo IV.3 Meteoroloji İstasyonu Teknik Özellikleri.

Barometrik basınç sensörü özellikleri		Dışortam nem sensörü özellikleri	
Hassasiyet	0.1mb	Hassasiyet	1%
Kesinlik	±1.0 mb	Kesinlik	5%
Ölçüm Aralığı	880.....1080 mb	Ölçüm Aralığı	%0.....%100
Anemometre özellikleri		Çiğ Noktası Sıcaklık sensörü	
Rüzgar yönü	0-359°	Hassasiyet	1°C
Doğruluk	±7°	Kesinlik	±1.5 °C
Çözünürlük	1°	Ölçüm Aralığı	-76.....54°C
Aralık	1-67 m/sn (3-241 km/hr)	Yağış Sensörü özellikleri	
İçortam sıcaklık sensörü özellikleri		Hassasiyet	0.2mm
Hassasiyet	0.1°C	Kesinlik	4%
Kesinlik	±0.5 °C	Ölçüm Aralığı	0.....9999mm (Günlük)
Ölçüm Aralığı	0.....60 °C		0.....19.99mm(Aylık/yıllık)
Dışortam sıcaklık sensörü özellikleri		Solar radyasyon Sensörü özellikleri	
Hassasiyet	0.1°C	Hassasiyet	1 W/m ²
Kesinlik	±0.5 °C	Kesinlik	±%5
Ölçüm Aralığı	-40.....65°C	Ölçüm Aralığı	0.....2000 W/m ²
İçortam nem sensörü özellikleri		UV Sensörü özellikleri	
Hassasiyet	1%	Hassasiyet	0.1MEDs
Kesinlik	3%	Kesinlik	5%
Ölçüm Aralığı	%10.....%90	Ölçüm Aralığı	0199 MEDs

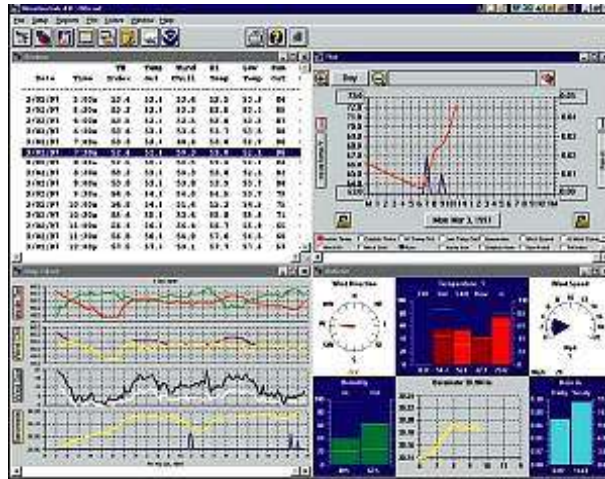
Şekil IV.8’de Teknik Eğitim Fakültesi çatısına montajı yapılmış meteoroloji istasyonu görülmektedir.



Şekil IV.8 Montajı Yapılmış Meteoroloji İstasyonu.

IV.4.2 Meteoroloji İstasyonu Yazılım Programı

Kablolu tip meteoroloji istasyonu, sensörlerden bilgileri aldıktan sonra veriler işlenerek ilgili meteorolojik büyüklüğün birimine dönüştürülür ve ekrana yansıtılır. Şekil IV.9'da software programının ekran görünümü verilmiştir.



Şekil IV.9 Meteoroloji İstasyonu Software Programı Ekran Görünümü.

Software programın özellikleri;

- 1,5,10,15,30,60,120 dakika aralıkla veriyi kaydedebilme,
- 6 aya kadar veri depolama,

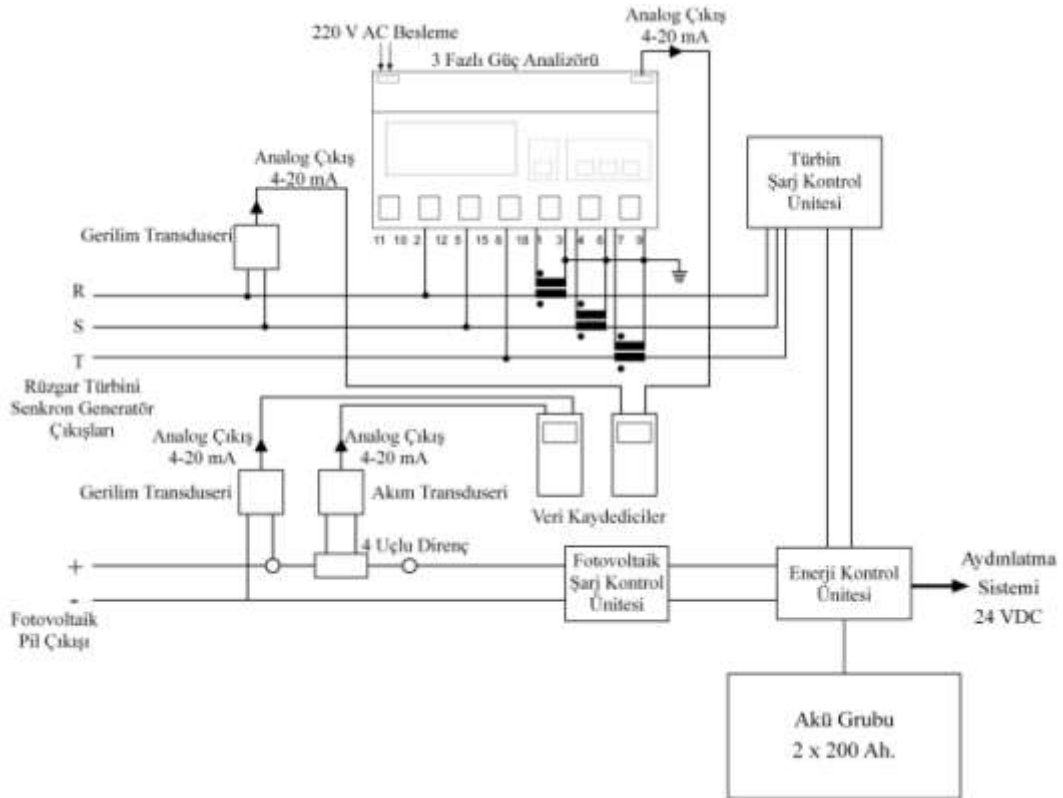
- USB port aracılığı ile PC ye kolay veri aktarımı,
- Beraberindeki yazılım aracılığı ile grafik oluşturma,
- Verinin günlük haftalık ve aylık skalada analizini yapabilme özelliklerine sahiptir.

IV.5 ENERJİ ÖLÇÜM ve KONTROL SİSTEMİ

Proje kapsamında rüzgâr ve güneş enerjisi ile üretilen enerjinin bilinmesi ve aydınlatma sistemi ile akü grubunun korunması amacıyla enerji ölçüm ve şarj kontrol sistemi tasarlanmıştır.

IV.5.1 Enerji Ölçüm Sistemi

Üretilen enerjinin anlık görülmesi ve kayıt altına alınması için fotovoltaiik pillerin çıkış akım ve gerilimi ile rüzgâr türbini çıkış güç ve gerilimi transduserler yardımıyla ölçülmüştür. Şekil IV.10'da enerji ölçüm sistemi bağlantıları görülmektedir.



Şekil IV.10 Enerji Ölçüm Sistemi Bağlantıları.

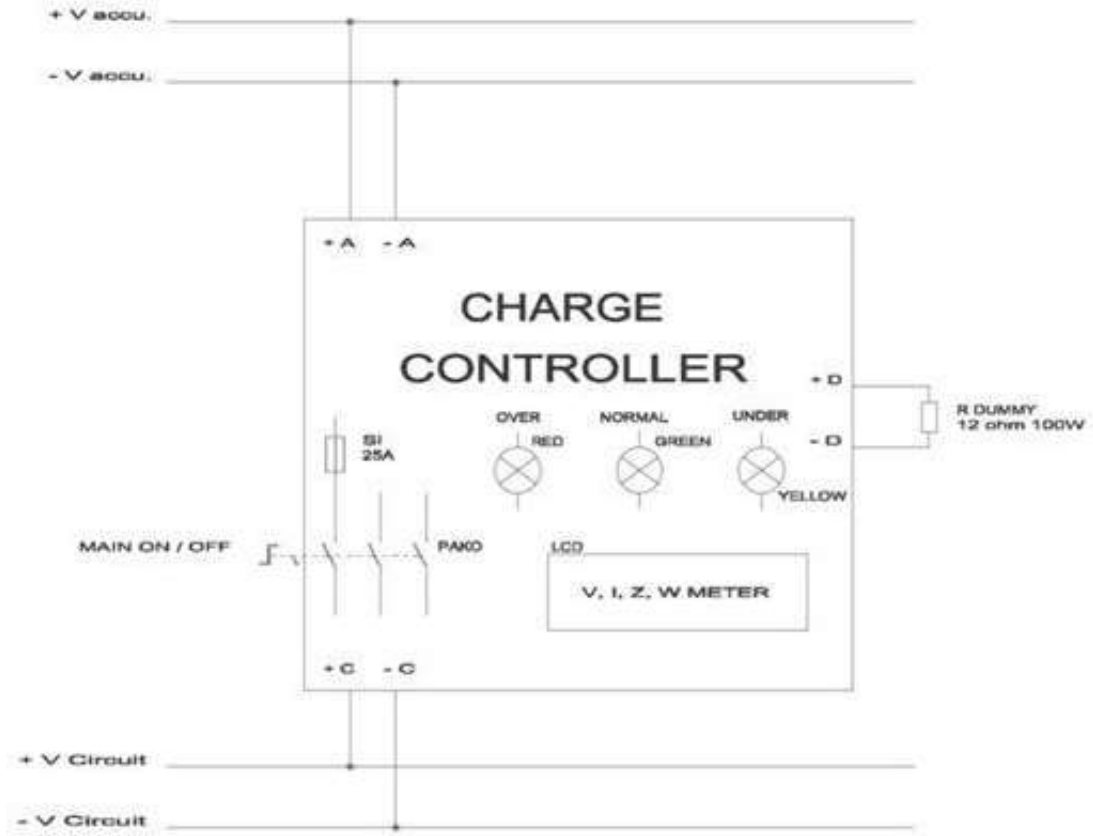
Fotovoltaiik pillerin çıkış + ucu, dört uçlu yüksek akımlı dirence girilmiş direnç çıkışı solar şarj kontrol ünitesine girilmiştir. Dört uçlu direncin gerilim uçları transduserine bağlanmış, transduser 4-20 mA çıkışı da dataloggera bağlanmıştır.

Pillerin – ucu direkt solar şarj kontrolörüne bağlanmıştır. Fotovoltaik pillerin + ve – ucundan paralel ekle transduser girilmiş, transduser 4-20 mA çıkışı pil gerilim bilgisi olarak dataloggera bağlanmıştır. Fotovoltaik pil akım ve gerilim bilgileri 5 dakika aralıklarla kaydedilmiştir.

Rüzgar türbini senkron generatör çıkışı olan 3 fazlı 42 VAC gerilimin aktif ölçümü güç analizörü ile yapılmıştır. Güç analizörünü korumak amacıyla generatör çıkışları 20/5 dönüştürme oranına sahip akım trafolarına girilmiş, akım çıkışları rüzgâr türbini şarj kontrol ünitesine bağlanmıştır. Akım trafosu güç analizörü bağlantısı ile aktif güç ölçülmekte ve güç analizörünün 4-20 mA analog çıkışı dataloggera bağlanmış, aktif güç verileri 5 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Senkron generatör 3 faz çıkışlarından 2 faz seçilerek paralel bağlantı ile transduser girilmiştir. Transduser 4-20 mA çıkışı dataloggera bağlanarak rüzgâr türbini çıkış gerilim bilgisi 5 dakika aralıklarla dataloggerda kaydedilmiştir.

IV.5.2 Şarj Kontrol Sistemi

Şarj kontrol kartı, akünün çalışma gereksinimleri için tasarlanmış olup akünün aşırı boşalmasını önleme, aşırı şarj olma durumunda sahte yük (dummy load) dereye alma görevlerini yerine getirir. Aküde ki gerilimi 22 ile azami 27V arasında olmasını sağlar. Türbin ve güneş enerjisi şarj devreleri aküye bağlıdır. Şarj kontrol kartı akü gerilimini sürekli izler. 27V üzerinde çıktığında sahte yükü devreye alır. 22Voltun altına indiğinde ise armatür beslemelerini keser. Pencere ayırıcısı olarak tasarlanan kontrol kartı gerilimleri hassas olarak ayarlanıp sabitlenmiştir. Ayrıca V, I, Z, W gibi ölçüm çeşitlerini gösteren bir LCD ekrana sahiptir. Şekil IV.11’de şarj kontrol kartı bağlantı şekli gösterilmektedir.



Şekil IV.11 Şarj Kontrol Kartı.

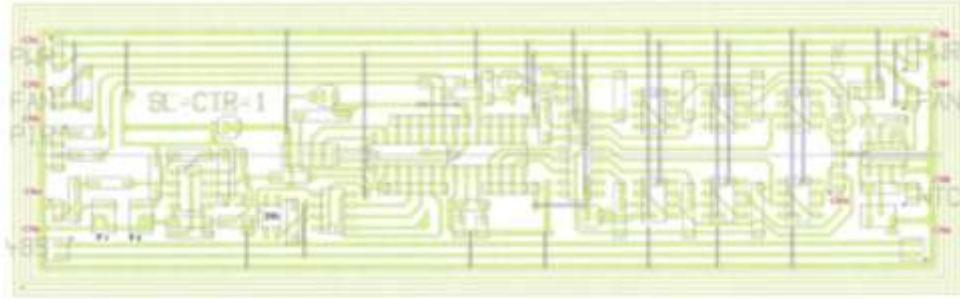
IV.6 LED ARMATÜR TASARIMI

Laboratuvar akıllı aydınlatma sisteminde kullanılmak üzere LED armatür tasarlanmıştır. Aydınlatma, üç adet deney seti aydınlatması ve dört adet orta masa aydınlatılması olarak toplam yedi LED armatürle gerçekleştirilmiştir.

IV.6.1 Armatür Kontrol Kartı

Akıllı aydınlatma sisteminde kontrol devresi teorik olarak her bir kontrol bağlantısında toplam 30 armatür olacak şekilde düşünülmüştür. Bu sistemde ise tek bir kontrol bağlantısında 7 armatür mevcuttur. Tüm armatürlerin haberleşmesi (Daisy Chain) papaty zinciri gibi seri olarak bağlanmış RS485 tipi half-duplex iletişim alt yapısından gerçekleşmektedir. Her bir armatür 6 lambanın parlaklığını ayrı ayrı teorik olarak 64 kademedede ayarlayabilmektedir. Bu lambalar 0 ile $10V_{DC}$ arasında kontrol gerilimi ile parlaklıklarını ayarlayabilmektedirler. Ancak tasarımı yapılan kontrol kartı ve lüxmetre sistemi ile karanlık odada yapılan deneylerle lambaların 0 ve 10 V arasında lamba dim kademesi olarak 64 yerine 42 kademedede aynı parlaklık değerlerini sunduğu gözlemlenmiştir.

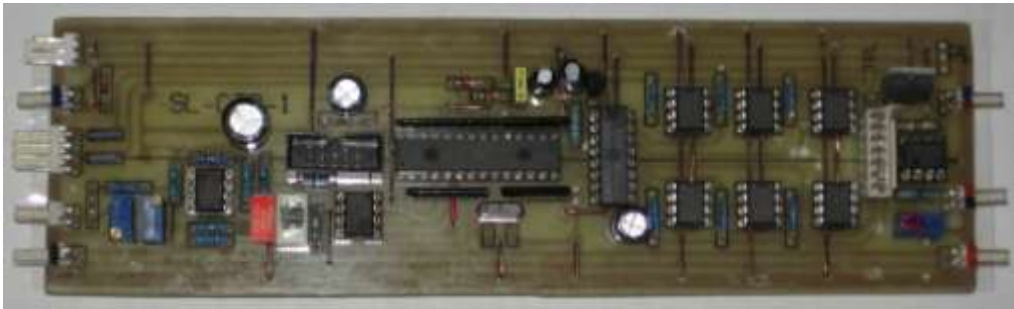
Kontrol devresi 2 sayısal girişe, 1 analog (4-20mA) girişe (8 bit) ve 6 analog çıkışa sahiptir. Ayrıca, aktif soğutmada kullanılan fan için bir termostat içermektedir. Termostat değeri 55 ° C'ye ayarlanmıştır. LED pcb sıcaklığı bu sıcaklıktan daha fazla olduğunda armatür aktif soğutma işlemine tabi tutulacaktır. Şekil IV.12'de kontrol kartı bağlantı yolları görülmektedir.



Şekil IV.12 Kontrol Kartı Bağlantı Yolları.

Bu tür sistemlerde haberleşme için aslında P-bus ve ya en azından L/N Bus, M-Bus gibi yöntemler kullanılır. Bahsedilen bu yöntemler ayrıca haberleşme hattına gerek duymadan, güç hattı üzerinden haberleşme yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak belirli bir ek maliyet getirdiği için bu metotlar kullanılmamış, ayrıca haberleşme kablosu gerektiren seri haberleşme kullanılmıştır.

Kontrol devresi besleme olarak +5V ile +12V gerektirmektedir. +12V hem analog sistem ve hem fanların sürülmesi gerekmektedir. Şekil IV.13'de de kontrol kartı elamanları görülmektedir.



Şekil IV.13 Kontrol Kartı Elamanları.

IV.6.2 Armatür Besleme Kartı

Tasarımı yapılan LED armatürde kullanılan LED modüller çalışma anında 24 V_{DC} gerilim ve 0,5 A akım çekmektedir. Her bir LED armatür 6 LED modül içerdiğinden tasarlanan besleme devresi iki parça halinde yapılmıştır. Besleme kartının bir parçası 3 LED modülün enerjisini karşılayacak şekilde 24 V_{DC} +1V, -

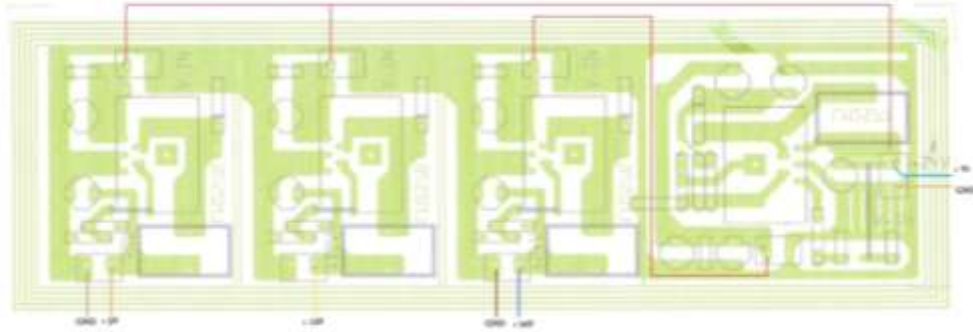
0,5V ve 1,6A çıkış verebilmektedir. Armatür besleme sisteminde kullanılan kartta enerji dağılımı Tablo IV.4 gösterilmektedir.

Tablo IV.4 Armatür Besleme Sistemi Enerji Dağılımı.

1. Giriş	Çıkış	2. Giriş	Çıkış
16-32 V _{DC}	+24V ^{+1V} _{-0.5V} - 1.6A _{MAX}	16-32 V _{DC}	+24V ^{+1V} _{-0.5V} - 1.6A _{MAX}
			+5V [±] 0.5V - 1A _{MAX}
			+12V [±] 0.5V - 1A _{MAX}

Besleme devresi Flyback özelliği karşılayabilmekte ve dolayısıyla 16 V_{DC} ile 32 V_{DC} arasında geniş giriş gerilimi aralığında çıkışta 24 V_{DC} 1,6 A gerilimi garanti edebilmektedir.

Bu projede aydınlatma sistemini besleyen akülerle ilgili çalışma bölgesi 22V ile 27V arasındadır. Dolayısıyla besleme devresi yüksek stres altında değildir. Şekil IV.14'de besleme kartı bağlantı yolları görülmektedir.



Şekil IV.14 Besleme Kartı Bağlantı Yolları.

Her led armatürdeki 6 LED modülün beslenmesini üçerli gruplar halinde iki besleme devresi sağlar. Ayrıca besleme devrelerinden biri aynı zamanda akıllı aydınlatma kontrol sisteminin güç gereksinimi de sağlamaktadır. Şekil IV.15'de besleme kartı elamanları görülmektedir.



Şekil IV.15 Besleme Kartı Elamanları.

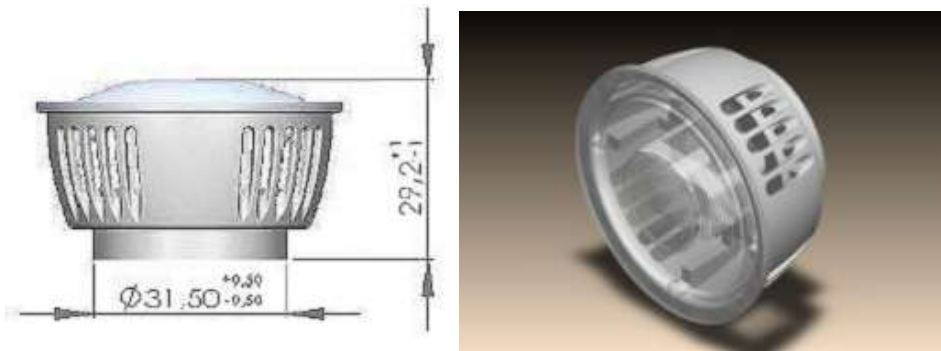
IV.6.3 LED Modül

LED Modül Sistemleri, yaratıcı aydınlatma sistemlerinin elde edilmesine yönelik olarak esnek yapıda değişik şekillerde sıralanabilen aydınlatma bloklarıdır. Bu sıralama bir armatür içinde gerçekleştirilebildiği gibi doğrudan doğruya tavana, duvara veya zemine de uygulanabilir. Temel LED birimlerinin bir sistem içinde birleştirilmesi suretiyle, ışıpta dönüşüme ulaşmak mümkün olabilmektedir. Sahip oldukları renk özellikleri, kompakt yapıları, hızlı tepki süreleri ve kolay kontrol edilebilirlikleri, LED'leri diğer aydınlatma sistemlerinin ulaşamayacağı bir esnek tasarım potansiyeline çıkarmaktadır. Bu avantajlara ek olarak az enerji harcamaları ve son yıllarda giderek artan ışık verimlilikleri bu projede LED modül kullanılmasında önemli etkenlerdir. LED modüllere ait teknik bilgiler Tablo IV.5 verilmiştir.

Tablo IV.5 LED Modüllere (Coinstar W4) Ait Teknik Bilgiler.

Çalışma gerilimi	24 VDC
Çalışma akımı	0,5 A
Harcadığı güç	max. 12 W
Işıma açısı	38°
Renk sıcaklığı	5400 K
Renk	Beyaz
Işık Akısı	450 cd
Voltaaj Aralığı	23 ... 25 VDC
Çalışma Sıcaklığı	-30 ... 105 0C
Ters Gerilim	25 VDC

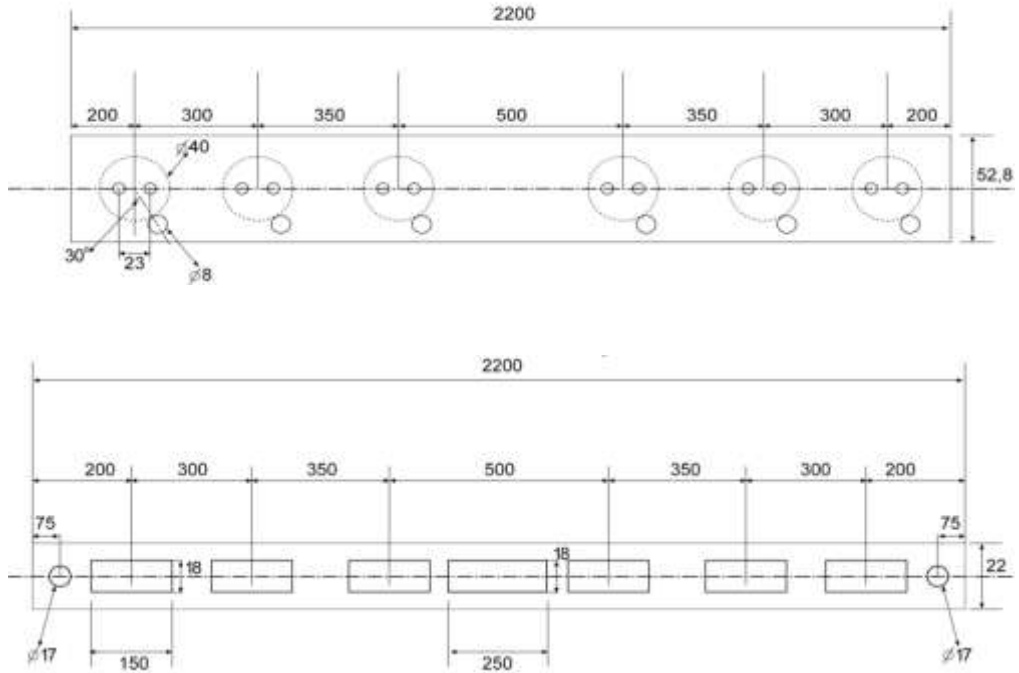
Aydınlatma sistemi için tasarlanan led armatürlerde 42 adet osram coinstar W4 marka power LED modül kullanılmıştır. Kullanılan power LED modül Şekil IV.16'da gösterilmektedir.



Şekil IV.16 Power LED Modül.

IV.6.4 Armatür Alüminyum Gövde

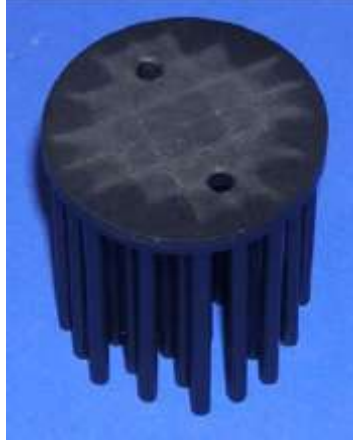
LED armatürde elektrik, elektronik ve mekanik parçalar kullanılmıştır. Power LED modüllerin, power LED modül soğutucularının, güç kartlarının, kontrol kartlarının, enerji ve data kablolarının da içinde bulunduğu alüminyum alaşım gövde tasarlanmıştır. Malzeme olarak alüminyum seçilmesindeki amaç hem armatür soğutmasına yardımcı olmak hem de fazla ağır olmayan bir armatür tasarlamaktır. Armatür alüminyum alaşım gövde ölçüleri Şekil IV.17’de gösterilmiştir.



Şekil IV.17 Alüminyum Alaşım Gövde Ölçüleri.

IV.6.5 LED Modül Pasif Soğutucu

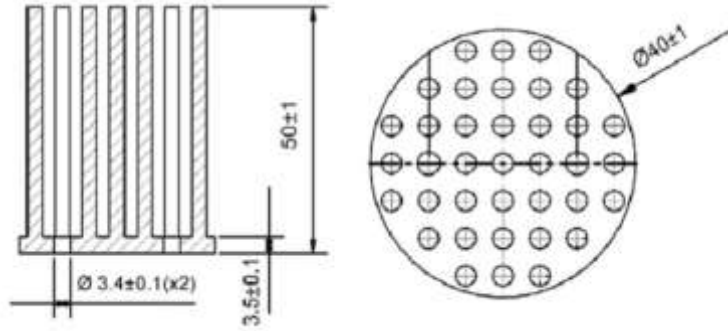
Aydınlatma sistemi için tasarımı yapılacak LED’li armatürde kullanılacak LED modülün soğutulması, ömrü ve çalışma performansı bakımından büyük önem arz etmektedir. Armatürde aydınlatma elemanı olarak kullanmayı düşündüğümüz Osram marka Coinstar W4 serisi power LED’lerin teknik özellikleri incelendiğinde çalışma akımı 0,5 A. olduğu görülmektedir. Bu LED için oldukça yüksek bir çalışma akımıdır. Katalog değerlerine göre 25 °C ve 0,5 A çalışma akımında vereceği ışık akısı 450 cd. ve renk sıcaklığı 5400 K dir. Power LED’lerin nominal çalışma şartlarında ömürleri yaklaşık 50000 saattir. Işık verimleri ve ömürleri çalışma sıcaklığı ile ters orantılı olarak değişim gösterebilir. Şekil IV.18’de coinstar W4 soğutucusu ve Şekil IV.19’da da soğutucu ölçüleri görülmektedir.



Şekil IV.18 Power LED Soğutucu (Coinstar W4).

Soğutucu özellikleri;

- ✓ Power LED T_c sıcaklığını $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ kadar düşürür.
- ✓ Power LED ömrünü 25000 saat artırır.
- ✓ Alaşım metal malzemedendir yapılmıştır (% 99,5 alüminyum, % 0,5 nikel).
- ✓ Soğutucu ağırlığı 45 g. dır.
- ✓ Power LED modüle montajı yapılırken soğutucu ile modül arasında termal macun sürülmelidir.



Şekil IV.19 Power LED Soğutucu Ölçüleri.

Teknik verilere göre soğutucu kullanıldığı durumda sıcaklığa bağlı power LED ömrü Tablo IV.6’de verilmiştir.

Tablo IV.6 Sıcaklığa Bağlı LED Ömrü.

Tc Sıcaklığı [°C]	Led Ömrü [h]
40	55 000
90	18 000

IV.6.6 Aktif Soğutucu

Armatür içinde bulunan kontrol kartı, güç kartı ve pasif soğutucuların soğutma işleminin daha verimli olması ve hava sirkülasyonu sağlamak amacı ile armatüre akuple kapak tasarlanmış ve biri hava çeken biri hava boşaltan olmak üzere iki adet düşük güçlü fan montajı yapılmıştır. En içteki power LED'lerden birinin çalışma sıcaklığı bilgisi kontrol kartına aktarılmakta, istenilen sıcaklığın üzerindeki değerlerde itici ve çekici fanlar devreye girmektedir. Bu şekilde power LED'lerin pasif soğutmaya ek olarak aktif soğutulması da amaçlanmış ve verimlerinin yükseldiği görülmüştür. Şekil IV.20'de aktif soğutmayı gerçekleştirecek fan ve soğutma fanını armatüre monte edebilmek için tasarlanmış kapak görülmektedir.



Şekil IV.20 Kapak ve Soğutma Fanı.

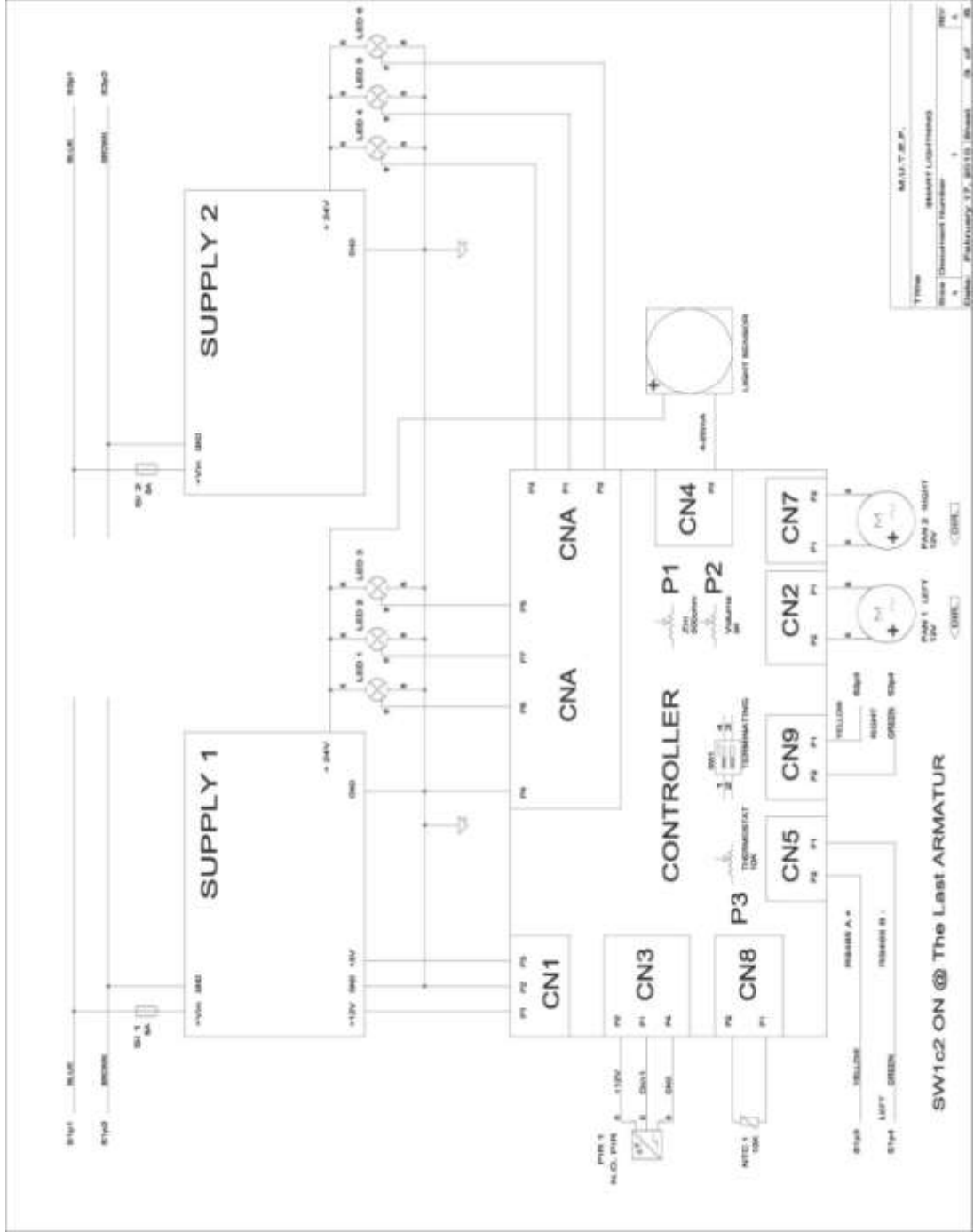
IV.6.7 LED Armatür Montaj ve Elektrik Bağlantıları

Tasarımı tamamlanan LED armatürün besleme ve kontrol kartları montajları ve bağlantıları yapılmıştır. LED'e ait pasif soğutucular ve modülleri monte edilmiştir. Son olarak da aktif soğutma fanları montajı yapılarak LED armatür montajı tamamlanmıştır. LED armatür son hali Şekil IV.21'de gösterilmektedir.



Şekil IV.21 Montajı Tamalanmış LED Armatür.

LED armatürü oluşturan kontrol kartı, besleme kartı, aktif soğutucular, ışık sensörleri ve hareket dedektörleri elektriki bağlantıları Şekil IV.22’de gösterilmektedir.



Şekil IV.22 LED Armatürün Bağlantı Şeması.

IV.7 AKILLI AYDINLATMA SİSTEMİ

Proje aydınlatma bölümünde bulanık uzman sistem akıllı aydınlatma kontrolü kullanılmıştır. Bu kapsamda mekân olarak bir laboratuvar aydınlatılmış ve aydınlatma da yedi adet LED armatür kullanılmıştır. Her bir armatürde kontrol sisteminin bir

adresi vardır. İlk armatürün adresi 1, ikinci 2 ve sonuncu 7 şeklindedir. İletişim protokolünde hangi armatürün hangi lambasının hangi seviyede yanacağını belirlemek için bir komut seti oluşmuştur. 9600, 8, n, 1 formatındadır.

*+CnT# komutunda C: kanal, n: armatür numarası, T: işlem tipi ve #: sonlandırmadır. n:1 ile 7 arasında armatür numarasıdır ve ya n: Z ise hepsi T: test işlemi yapar.

Haberleşme sisteminde tüm kanalları test etmek için *+CZT# komutu girilir.

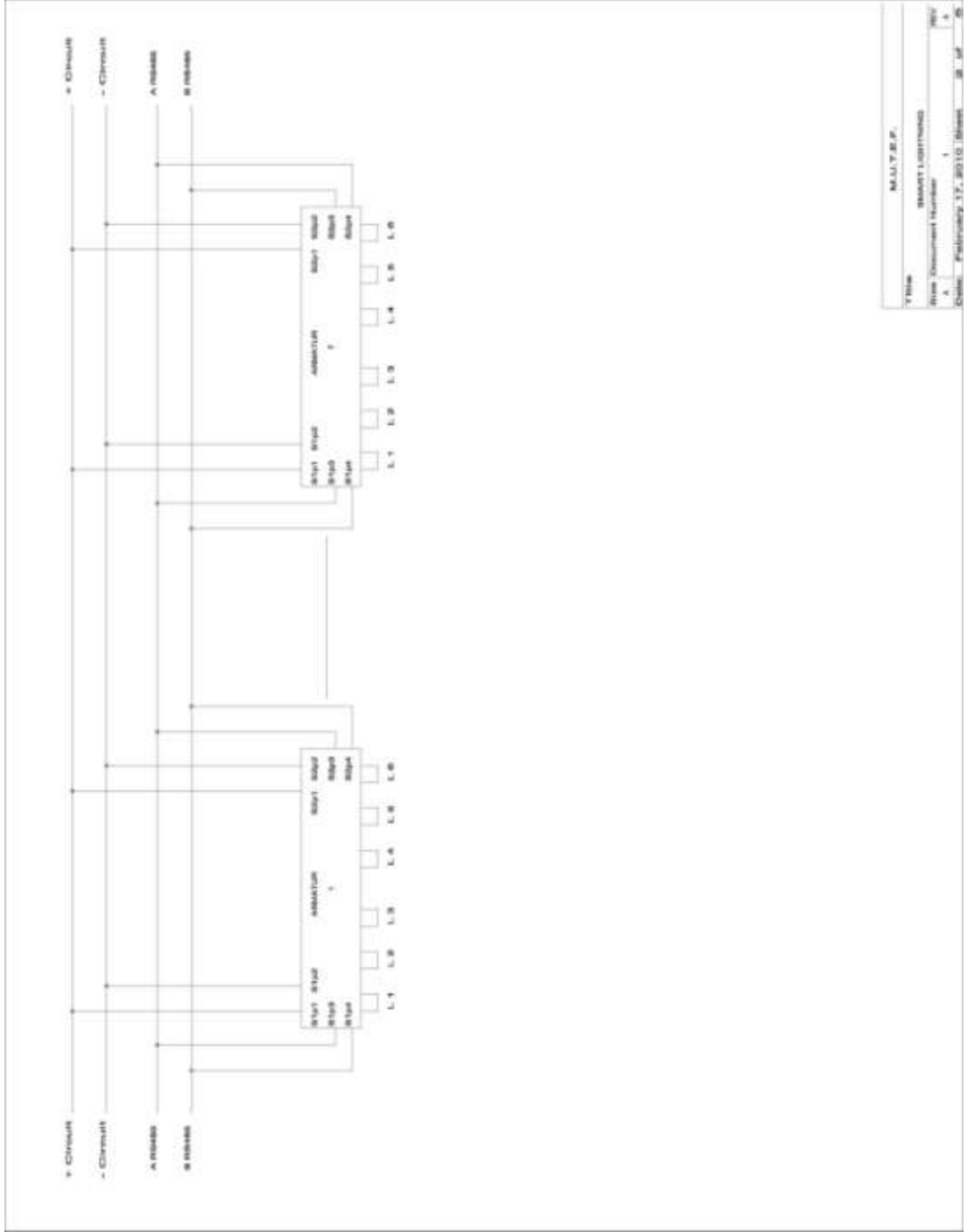
*+C1Q163# : Birinci armatürün birinci lambasının parlaklık değeri maksimum 63'tür.

*+CnQpde# : n: armatür numarası, p: 1...6 arasında lamba numarası ve ya 7 ise o armatürün tüm lambaları, d; data high ve e; data low (00...63) demektir.

Programda tüm armatürlerin sensör durumlarını öğrenmek için şu komut gönderilir.

*+CZI#, Z: tüm armatürler, I: input işlemidir. Dönüşte *#CnAdeDF#, n: armatür no, A: analog değer, d: analog değer üst, e: analog değer alt sayı, D: dijital değer, f: 2, 4 (Pin var) ve ya 6 (Pin yok). *? İse komut seti hakkında yardım almak için help komutudur.

Aydınlatma sistemindeki LED armatürler enerji olarak paralel sistemde bağlanmış, haberleşme olarak da RS485 protokolü kullanılmıştır. Sistemin enerji ve haberleşme bağlantıları Şekil IV.23'da gösterilmektedir.



Şekil IV.23 Akıllı Aydınlatma Sistemi Enerji ve Haberleşme Bağlantıları.

BÖLÜM V

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

V.1 GİRİŞ

Bu bölümde tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulamalara ilişkin veriler ve grafiklere yer verilmektedir. Enerji bölümünde; meteorolojik veriler ve üretilen elektrik enerjisi arasındaki ilişkiler sunulmaktadır. Aydınlatma bölümünde ise, tasarımı yapılan power LED armatürlere ait aydınlık dağılımı grafiklerine de yer verilmekte ve kontrol sistemi akışı ifade edilmektedir.

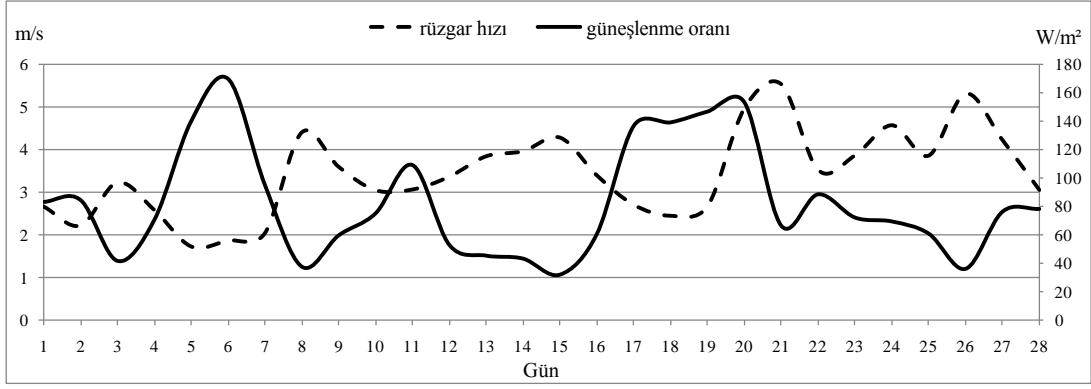
V.2 RÜZGÂR – GÜNEŞ VERİLERİ

Tezin rüzgâr-güneş hibrid enerji üretim bölümünde meteorolojik veriler ve üretilen enerjinin aylık değerleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak sunulmuştur.

V.2.1 Meteorolojik Veriler

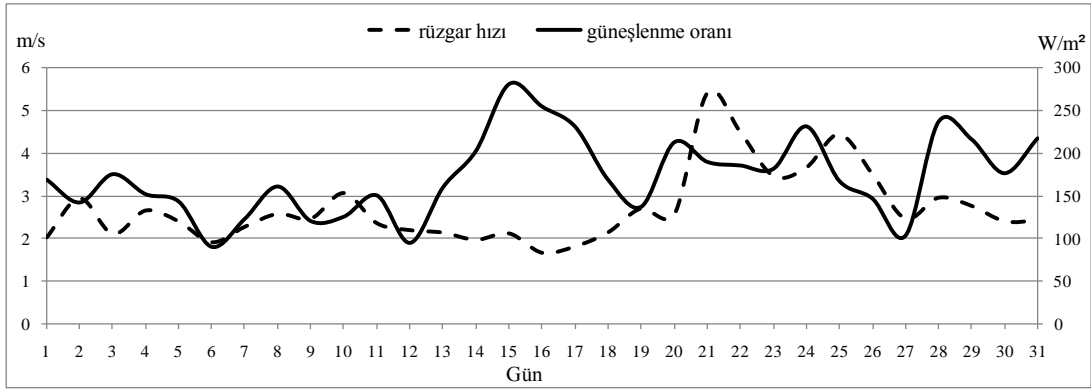
İstanbul/Göztepe bölgesine ait meteorolojik verilerin bilinmesi ve bölgeye ait rüzgâr-güneş enerji üretim potansiyelinin çıkarılması için hibrid enerji üretim sisteminin yanına meteoroloji istasyonu montajı yapılmıştır. Meteoroloji istasyonu ile 19 çeşit meteorolojik büyüklük beş dakika aralıklı olarak meteorolojik veri kaydediciye kaydedilmiştir. Meteorolojik verilerden ancak rüzgâr hızı ve güneşlenme oran verileri grafikler halinde çizilmiştir.

Şekil V.1’de şubat ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Şubat ayı rüzgâr ortalamasının 3,42 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Şubat ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 83,41 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda güneşe oranla rüzgârdan daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



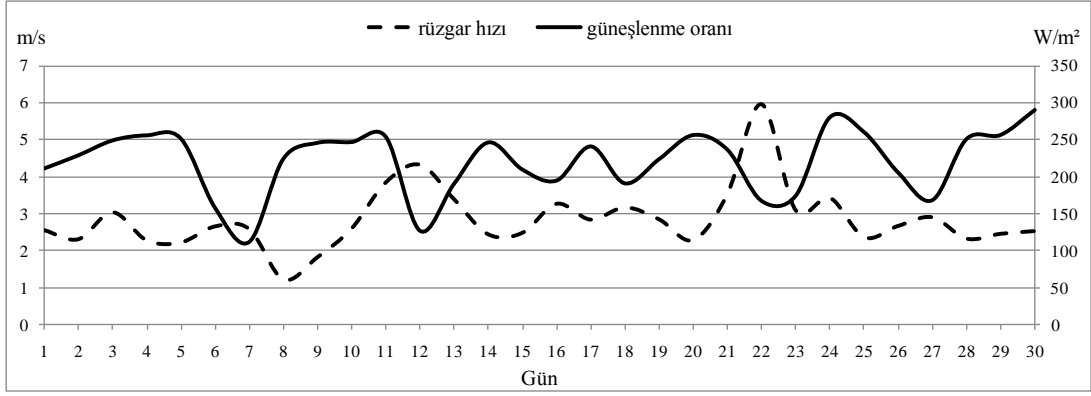
Şekil V.1 Şubat Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.2’de mart ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Mart ayı rüzgâr ortalamasının 2,70 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Mart ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 172,43 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda güneşe oranla rüzgârdan daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



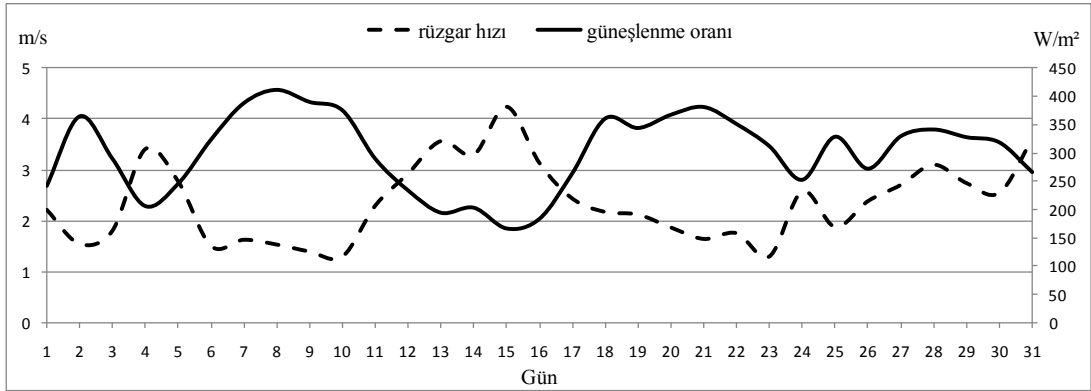
Şekil V.2 Mart Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.3’de nisan ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Nisan ayı rüzgâr ortalamasının 2,84 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Nisan ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 220,93 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda enerji üretiminde rüzgâr ve güneş enerjisinin toplam enerji üretimini yaklaşık olarak eşit oranlarda destekleyecekleri anlaşılmaktadır.



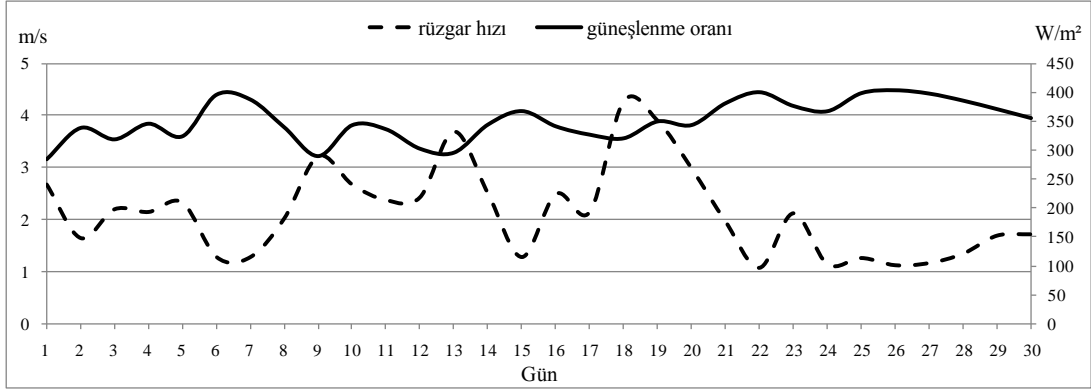
Şekil V.3 Nisan Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.4'de Mayıs ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Mayıs ayı rüzgâr ortalamasının 2,16 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Mayıs ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 301,50 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda rüzgâra oranla güneşten daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



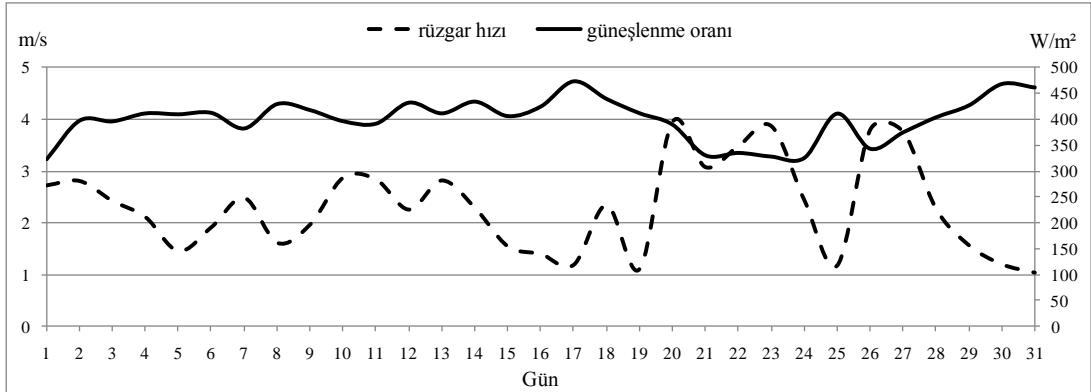
Şekil V.4 Mayıs Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.5'de Haziran ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Haziran ayı rüzgâr ortalamasının 2,04 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Haziran ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 350,02 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda rüzgâra oranla güneşten daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



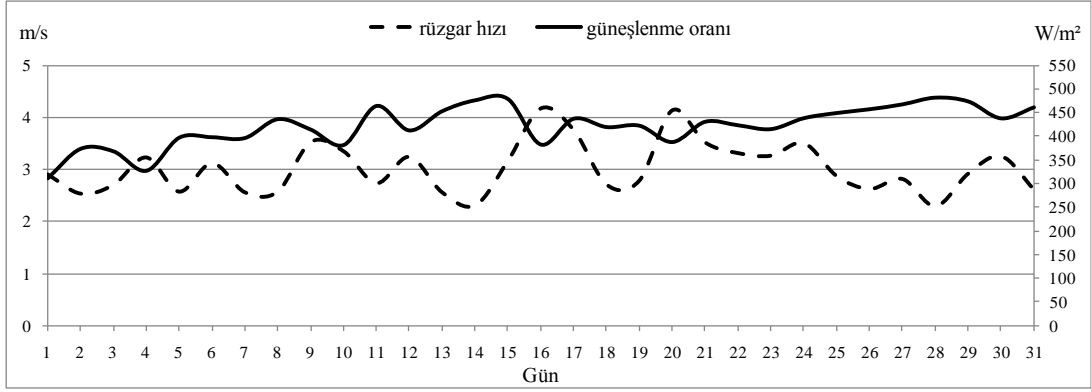
Şekil V.5 Haziran Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.6’de temmuz ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Temmuz ayı rüzgâr ortalamasının 2,24 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Temmuz ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 399,72 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda rüzgâra oranla güneşten daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



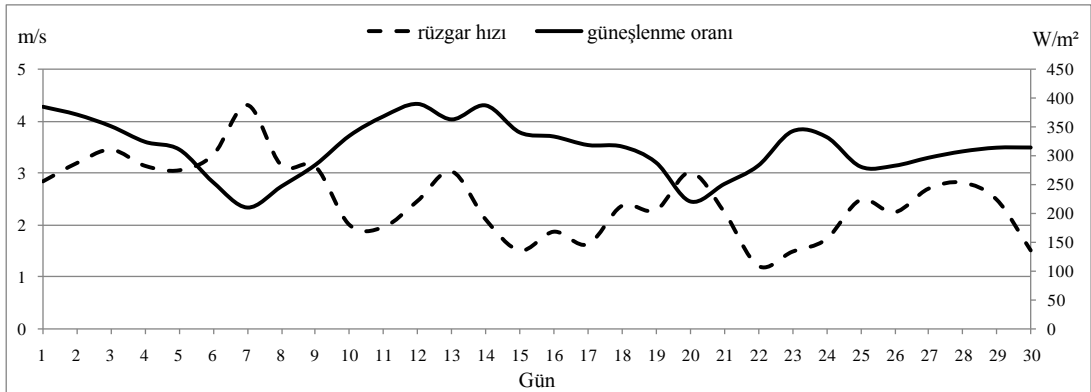
Şekil V.6 Temmuz Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.7’de ağustos ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Ağustos ayı rüzgâr ortalamasının 2,74 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Ağustos ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 422,21 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda rüzgâra oranla güneşten daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



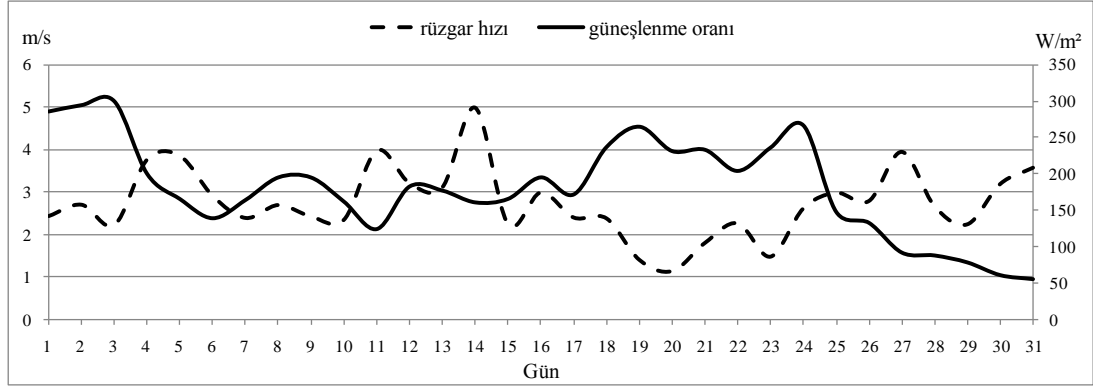
Şekil V.7 Ağustos Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.8'da eylül ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Eylül ayı rüzgâr ortalamasının 2,84 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Eylül ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 314,08 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda enerji üretiminde rüzgâr ve güneş enerjisinin toplam enerji üretimini yaklaşık olarak eşit oranlarda destekleyecekleri anlaşılmaktadır.



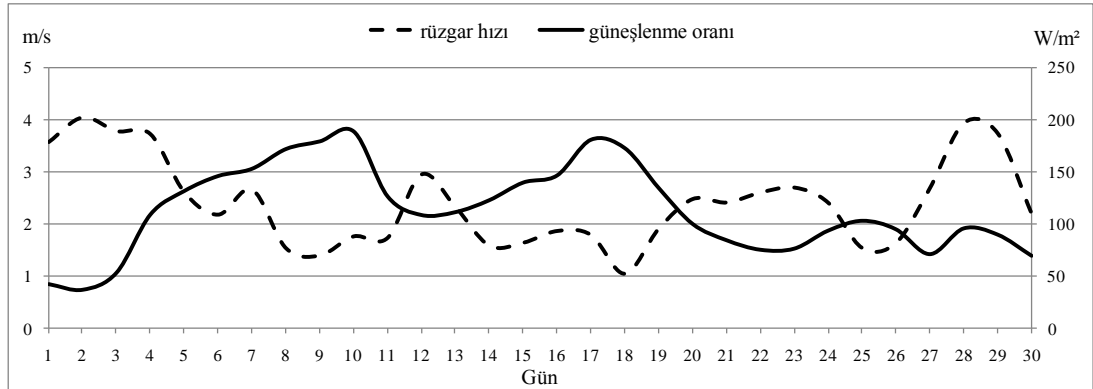
Şekil V.8 Eylül Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.9'da ekim ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Ekim ayı rüzgâr ortalamasının 2,94 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Ekim ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değer 181,08 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda enerji üretiminde rüzgâr ve güneş enerjisinin toplam enerji üretimini yaklaşık olarak eşit oranlarda destekleyecekleri anlaşılmaktadır.



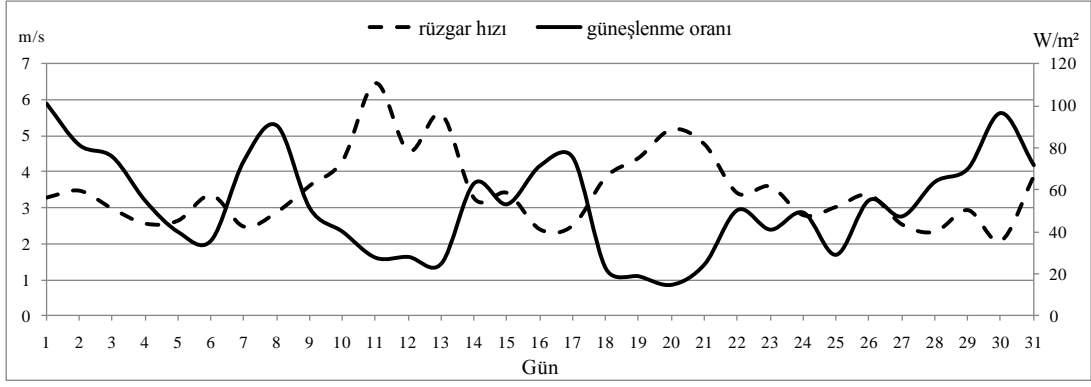
Şekil V.9 Ekim Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.10'de kasım ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Kasım ayı rüzgâr ortalamasının 2,69 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Kasım ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değerin $113,75 \text{ W/m}^2$ olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda enerji üretiminde rüzgâr ve güneş enerjisinin toplam enerji üretimini yaklaşık olarak eşit oranlarda destekleyecekleri anlaşılmaktadır.



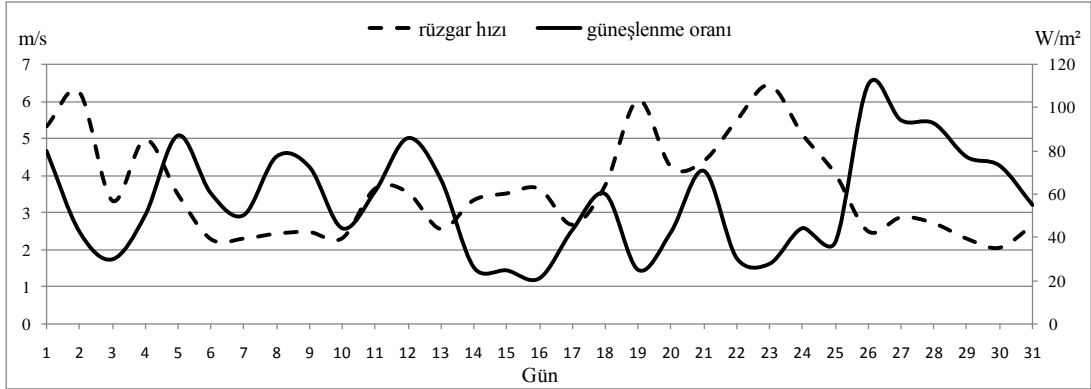
Şekil V.10 Kasım Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.11'de aralık ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2009 Aralık ayı rüzgâr ortalamasının 3,89 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2009 Aralık ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değerin $53,36 \text{ W/m}^2$ olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda güneşe oranla rüzgârdan daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil V.11 Aralık Ayı (2009) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

Şekil V.12’de ocak ayına ait rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı eğrileri verilmiştir. Şekildeki veriler incelendiğinde 2010 Ocak ayı rüzgâr ortalamasının 3,64 m/s olduğu görülmektedir. Ayrıca 2010 Ocak ayı güneşlenme oranına baktığımızda ortalama değerin 57,02 W/m² olduğu görülmektedir. Rüzgâr-güneş hibrid sistemi içerisinde bu ayda güneşe oranla rüzgârdan daha fazla enerji elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



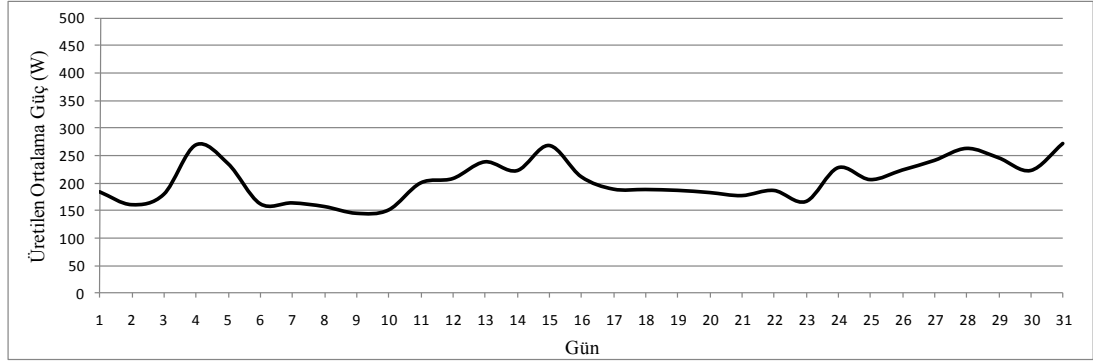
Şekil V.12 Ocak Ayı (2010) Rüzgâr Hızı-Güneşlenme Oranı Verileri.

V.2.2 Rüzgâr-Güneş Hibrid Enerji Üretim Verileri

Tezin enerji bölümünde rüzgâr-güneş hibrid enerji üretim sistemi ile enerji üretilmiş ve üretilen enerji aydınlatma sisteminde kullanılmak üzere akülerde depolanmıştır. Rüzgâr türbinin ve fotovoltaik pillerin ürettiği enerjinin anlık olarak görülmesi ve kayıt altına alınması için ölçme ve veri depolama sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem ile rüzgâr türbini üç fazlı senkron generatörün gücü ve gerilimi ile fotovoltaik pillerin akım ve gerilim bilgileri veri kaydedicide beş dakika aralıklarla kaydedilmiştir.

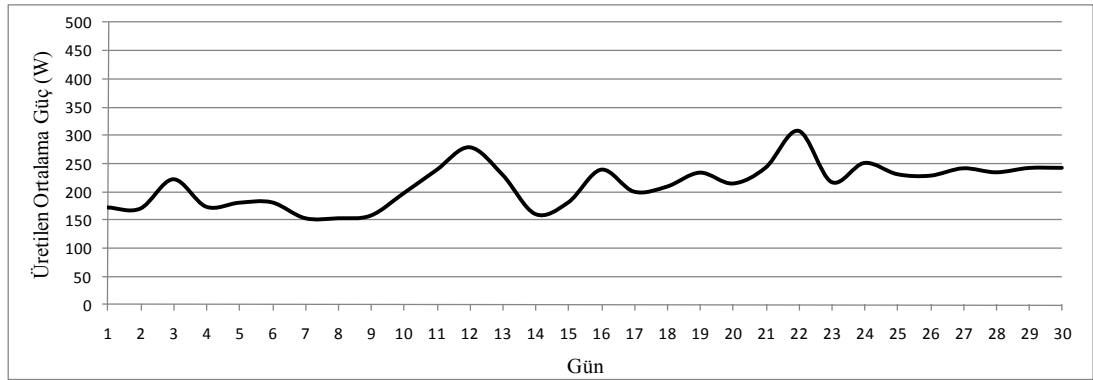
Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Mayıs ayında hibrid sistem toplam 34854,62 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.13’de mayıs ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim

eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin mayıs ayının günlük ortalama olarak 256,58 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



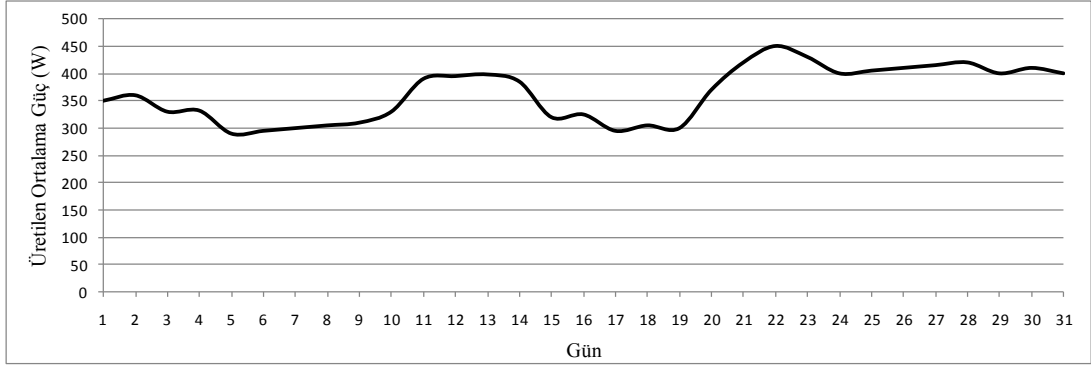
Şekil V.13 Mayıs 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Haziran ayında hibrid sistem toplam 40016,22 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.14’de haziran ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin haziran ayının günlük ortalama olarak 298,32 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



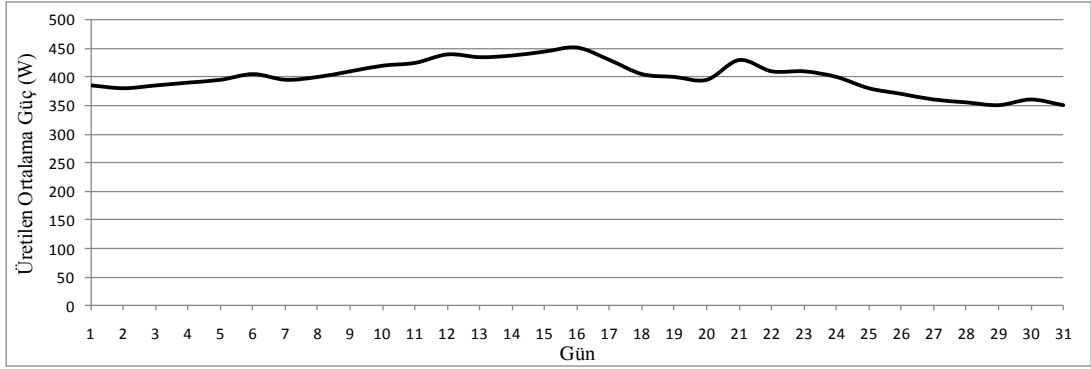
Şekil V.14 Haziran 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Temmuz ayında hibrid sistem toplam 48659,91 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.15’de temmuz ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin temmuz ayının günlük ortalama olarak 369,56 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



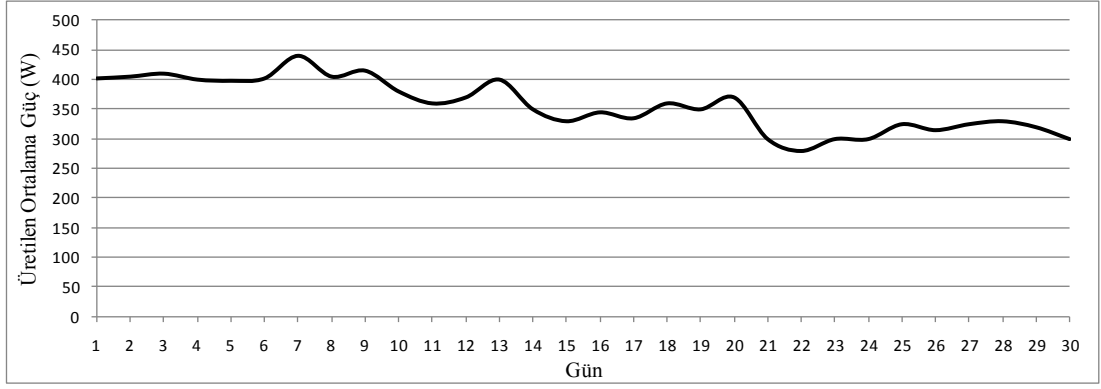
Şekil V.15 Temmuz 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Ağustos ayında hibrid sistem toplam 53180,32 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.16'de ağustos ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaiik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin ağustos ayının günlük ortalama olarak 402,54 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



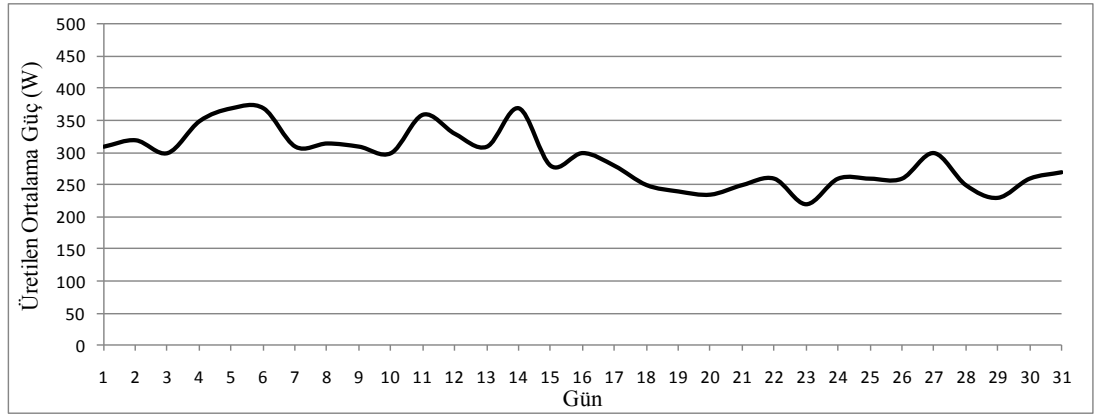
Şekil V.16 Ağustos 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Eylül ayında hibrid sistem toplam 45109,43 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.17'de eylül ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaiik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin eylül ayının günlük ortalama olarak 359,68 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



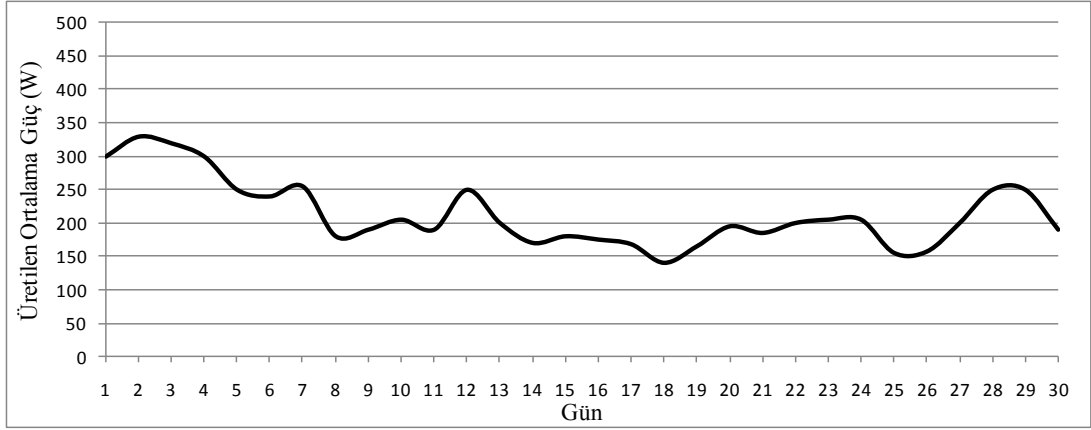
Şekil V.17 Eylül 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Ekim ayında hibrid sistem toplam 37909,77 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.18’de ekim ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin ekim ayının günlük ortalama olarak 289,54 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



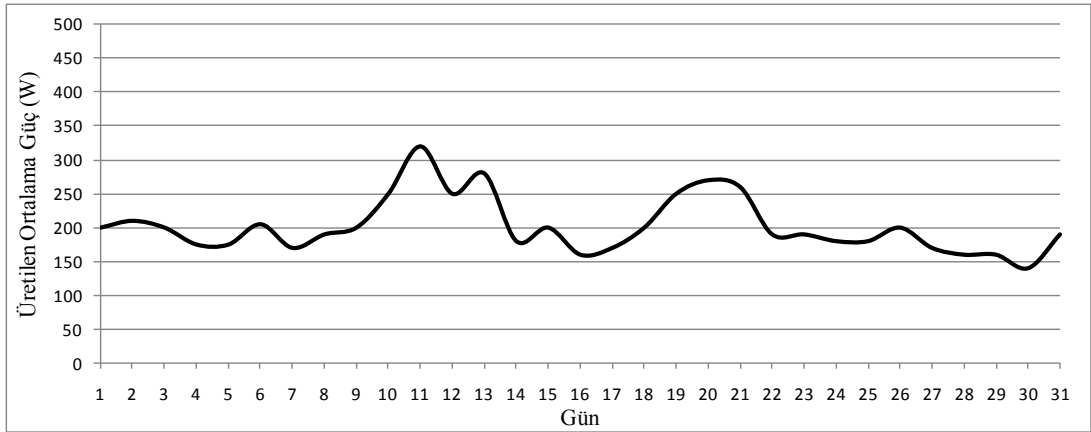
Şekil V.18 Ekim 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Kasım ayında hibrid sistem toplam 28679,02 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.19’de kasım ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin kasım ayının günlük ortalama olarak 216,51 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



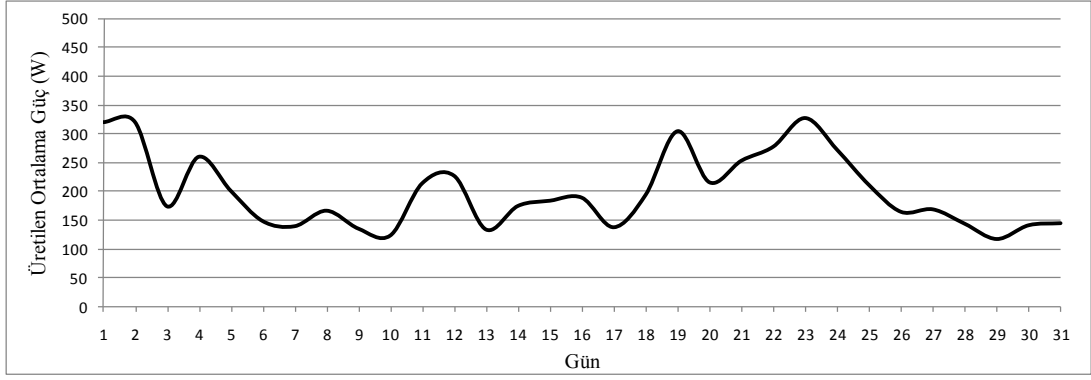
Şekil V.19 Kasım 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2009 Aralık ayında hibrid sistem toplam 21689,95 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.20’de aralık ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin aralık ayının günlük ortalama olarak 205,92 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



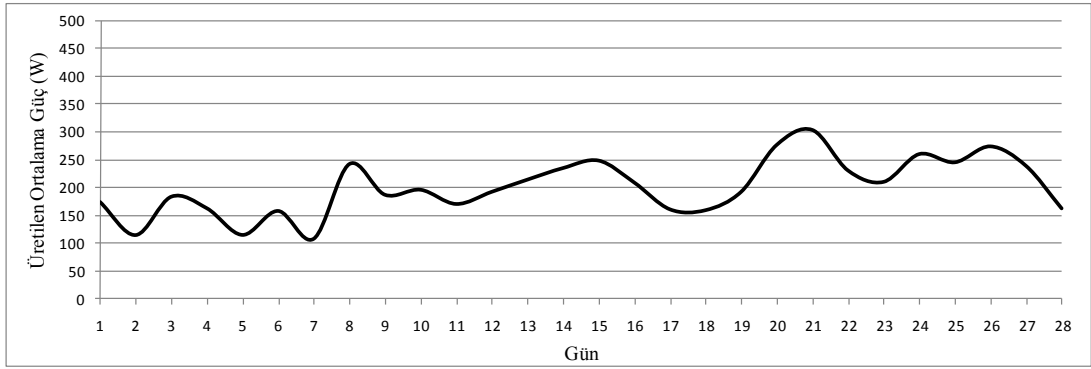
Şekil V.20 Aralık 2009 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2010 Ocak ayında hibrid sistem toplam 20689,22 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.21’de ocak ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjinin günlük ortalama değerlerine ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin ocak ayının günlük ortalama olarak 200,64 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



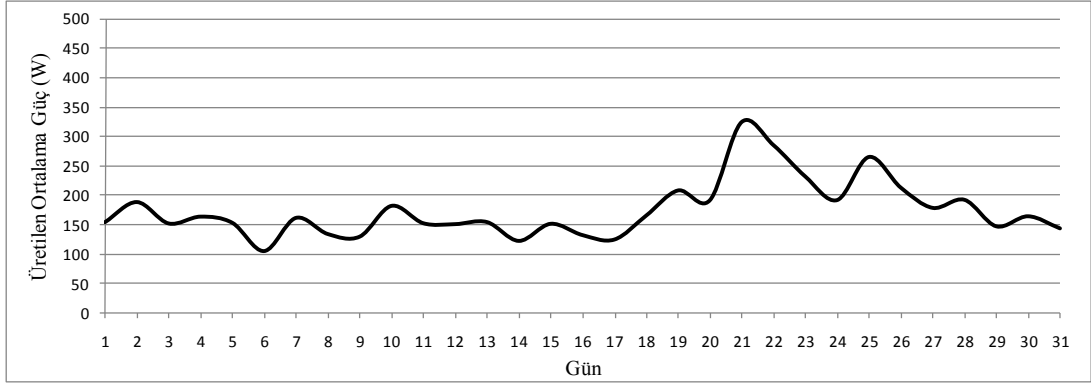
Şekil V.21 Ocak 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2010 Şubat ayında hibrid sistem toplam 22523,13 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.22’de şubat ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin şubat ayının günlük ortalama olarak 203,94 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



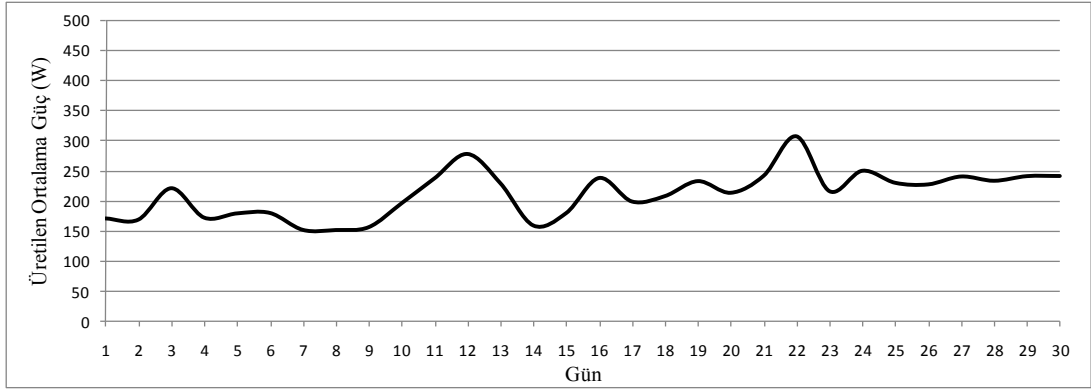
Şekil V.22 Şubat 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2010 Mart ayında hibrid sistem toplam 27112,70 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.23’de mart ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin mart ayının günlük ortalama olarak 200,68 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



Şekil V.23 Mart 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

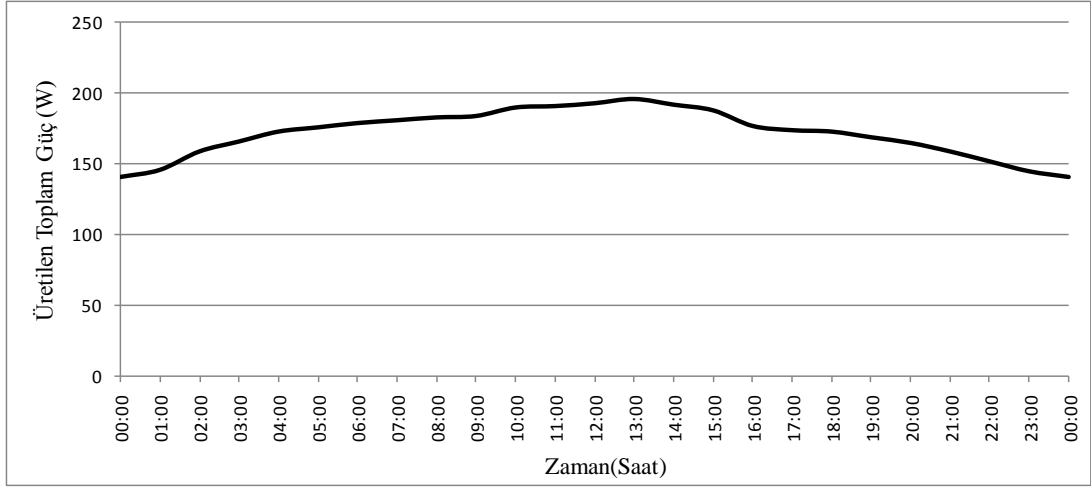
Üretilen enerji kayıtlarından yapılan hesaplamalara göre 2010 Nisan ayında hibrid sistem toplam 29746,76 Wh enerji üretmiştir. Şekil V.24'de nisan ayında rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerden üretilen toplam enerjiye ait hibrid enerji üretim eğrisi görülmektedir. Eğri incelendiğinde, hibrid sistemin nisan ayının günlük ortalama olarak 219,52 W güç ürettiği anlaşılmaktadır.



Şekil V.24 Nisan 2010 Hibrid Enerji Üretim Eğrisi.

V.2.3 Güç Sistemi Tarafından Üretilen Enerjilerin Günlük Eğrileri

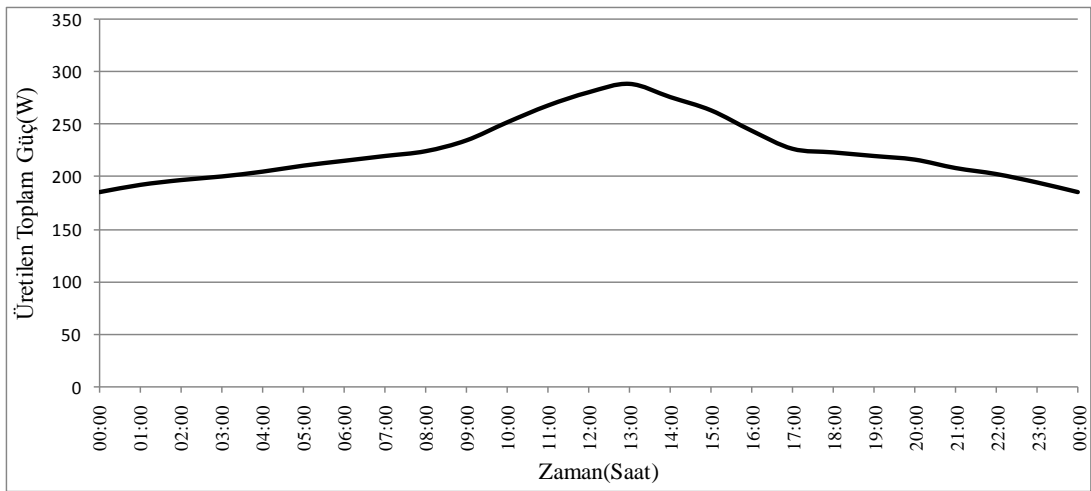
Günlük yük eğrileri bir bölgenin elektrik enerji talep durumun incelenmesi hakkında bir bilgi vermektedir. Çalışmada rüzgâr-güneş hibrid güç üretim sistemi ile üretilen enerjinin durumunu göz önüne koymak amacı ile mevsimler bazlı günlük enerji üretim eğrileri çizilmiştir. Her mevsimden bir gün seçilerek o günün 24 saatlik enerji üretimi incelenmiştir. Bu kapsamda, veri kaydedicilerde beş dakika aralıklarla saklanan verilerden, bir saatte alınan 12 adet verinin saatlik ortalamaları alınmıştır. Toplamda 24 saatlik veri bütünü ile bir günlük üretim eğrisi çıkarılmıştır. Kış mevsimi için belirlenen 15 Ocak 2010 gününe ait enerji üretim değerleri Şekil V.25'de görülmektedir.



Şekil V.25 15 Ocak Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.

Şekil V.25'deki eğri incelendiğinde, rüzgâr-güneş hibrid enerji üretim sistemi belirlenen günde, gece saatlerinde enerji üretimi sadece rüzgâr türbinlerinden sağlanmaktadır. Gün içinde üretilen enerjinin geneline baktığımızda, hibrid sistemin ürettiği güç saatlik ortalama 170 W değerinde iken, saat 09:00 ile 17:00 arası sistem üretim ortalamasının %12 oranında arttığı görülmektedir. Buna göre fotovoltaik pillerin verimi güneşlenme ile orantılı olarak bu saatlerde yükseldiği ve üretim sistemi gücünün saatlik üretim ortalamasını 190 W değerine çıkardığı anlaşılmaktadır. Bu mevsimde hibrid enerji üretim sisteminin ürettiği enerjinin büyük bir bölümü rüzgâr türbini tarafından üretilmektedir.

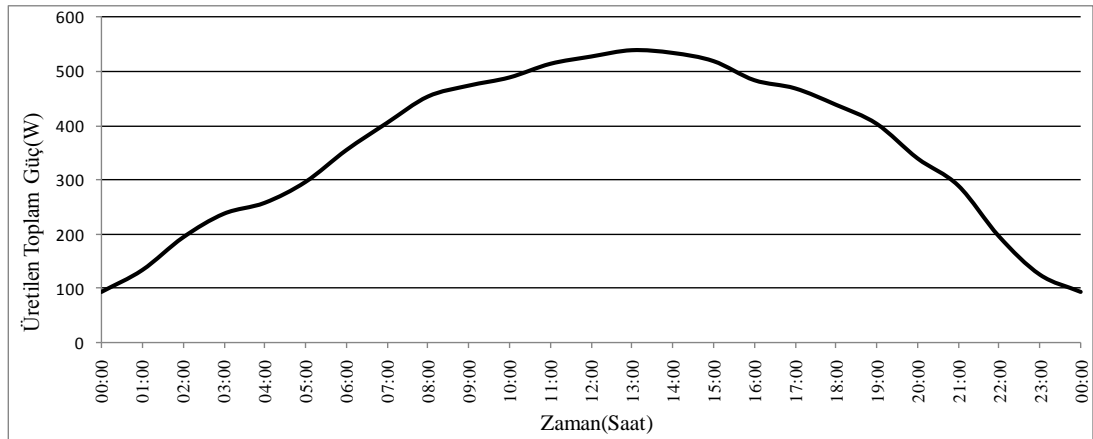
Bahar mevsimi için belirlenen 15 Nisan 2010 gününe ait enerji üretim değerleri Şekil V.26'de görülmektedir.



Şekil V.26 15 Nisan Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.

Şekil V.26'daki eğri incelendiğinde, rüzgâr-güneş hibrid enerji üretim sistemi belirlenen günde, gece saatlerinde enerji üretimi sadece rüzgâr türbinlerinden sağlanmaktadır. Gün içinde üretilen enerjinin geneline baktığımızda, hibrid sistemin ürettiği güç saatlik ortalama 200 W değerinde iken, saat 11:00 ile 15:00 arası sistem üretim ortalamasının %40 oranında arttığı görülmektedir. Buna göre fotovoltaik pillerin verimi güneşlenme ile orantılı olarak bu saatlerde yükseldiği ve üretim sistemi gücünün saatlik üretim ortalamasını 280 W değerine çıkardığı anlaşılmaktadır. Bu mevsimde hibrid enerji üretim sisteminin ürettiği enerjiyi rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerin paylaştığı görülmektedir.

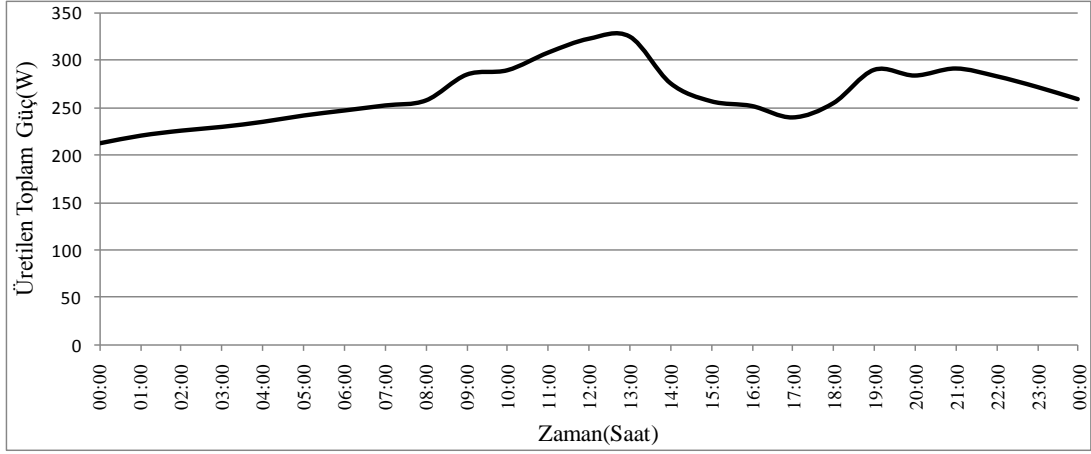
Yaz mevsimi için belirlenen 15 Temmuz 2009 gününe ait enerji üretim değerleri Şekil V.27'de görülmektedir.



Şekil V.27 15 Temmuz Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.

Şekil V.27'deki eğri incelendiğinde, rüzgâr-güneş hibrid enerji üretim sistemi belirlenen günde, gece saatlerinde enerji üretimi sadece rüzgâr türbinlerinden sağlanmaktadır. Gün içinde üretilen enerjinin geneline baktığımızda, hibrid sistemin ürettiği güç saatlik ortalama 360 W değerinde iken, saat 23:00 ile 04:00 arası sistem üretim ortalamasının %10 oranında arttığı görülmektedir. Buna göre fotovoltaik pillerin verimi güneşlenme ile orantılı olarak bu saatlerde yükseldiği ve üretim sistemi gücünün saatlik üretim ortalamasını 400 W değerine çıkardığı anlaşılmaktadır. Bu mevsimde hibrid enerji üretim sisteminin ürettiği enerjinin büyük bir bölümü fotovoltaik piller tarafından üretilmektedir.

Sonbahar mevsimi için belirlenen 15 Ekim 2009 gününe ait enerji üretim değerleri Şekil V.28'de görülmektedir.



Şekil V.28 15 Ekim Gününe Ait Günlük Üretim Eğrisi.

Şekil V.28'deki eğri incelendiğinde, rüzgâr-güneş hibrid enerji üretim sistemi belirlenen günde, gece saatlerinde enerji üretimi sadece rüzgâr türbinlerinden sağlanmaktadır. Gün içinde üretilen enerjinin geneline baktığımızda, hibrid sistemin ürettiği güç saatlik ortalama 200W değerinde iken, saat 12:00 ile 15:00 arası sistem üretim ortalamasının %25 oranında arttığı görülmektedir. Buna göre fotovoltaik pillerin verimi güneşlenme ile orantılı olarak bu saatlerde yükseldiği ve üretim sistemi gücünün saatlik üretim ortalamasını 250 W değerine çıkardığı anlaşılmaktadır. Ayrıca saat 19:00 ile 23:00 arası rüzgâr türbininin sisteme yaklaşık % 12 oranında katkıda bulunarak üretilen 200W ortalama gücü yaklaşık 224W değerine yükselttiği anlaşılmaktadır. Bu mevsimde hibrid enerji üretim sisteminin ürettiği enerjiyi rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerin paylaştığı görülmektedir.

V.3 ÖLÇME SONUÇLARININ BELİRSİZLİK ANALİZİ

Ölçme sistemlerinde, ölçüm sonucunun doğru bulunması için çeşitli hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Sistemdeki sonucu etkileyen değişkenlere ve sistemde kullanılan aygıtların doğruluk sınıflarına bağlı olarak belirsizlik(hata) hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Birbirinden bağımsız ve sürekli değişken iki veya daha fazla değişkenli bir sistemde belirsizlik hesaplaması yapılırken bağımsız değişkenli bileşik belirsizlik hesaplaması yöntemi kullanılır[36].

Bileşik belirsizlik hesaplamalarında, ölçüm sonucu y 'nin standart belirsizliği, y ölçülebilir büyüklük y 'nin kestirilen değeri iken girdi büyüklükleri kestirilen değerlerini $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ standart belirsizliklerinin uygun bir kombinasyonu halinde elde edilmektedir. Bu yöntemle belirlenen belirsizlik bileşik standart belirsizlik olarak adlandırılır ve $u_c(y)$ olarak işaretlenir.

Bileşik standart belirsizlik aşağıdaki ifadeyle hesaplanan bileşik standart varyansın pozitif karekökü olarak tanımlanır.

$$u_c^2(y) = \sum \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (V.1)$$

Buradaki f fonksiyonu daha önce ölçüm modelini belirleyen fonksiyondur. $u(x_i)$ değerlerinin herbiri A-tip yöntem veya B-tip yöntem'de gösterilen bir şekilde hesaplanır. $u_c(y)$ bileşik standart belirsizlik olarak kabul edilir ve ölçülen büyüklük y ile ilintili kestirilen y değerlerinin dağılımını sergiler.

İfade (V.1)'deki ve daha sonra verilecek olan (birbirlerine bağlı büyüklükler için) $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ fonksiyonunun Taylor serisi açımına dayanır ve genellikle belirsizliğin yayılması kanunu olarak adlandırılır.

Bazı durumlarda, f fonksiyonu non-lineer olduğunda, $u_c^2(y)$ 'nin belirlenmesi için; taylor serisi açımının daha yüksek dereceli bileşenleri dikkate alınmalıdır.

Birinci dereceli bileşenler f lineer fonksiyon olduğu halde $u_c^2(y)$ 'nin bileşenlerini ideal olarak tanımlar. Örneğin, herbir X_i kendi ortalama değeri etrafında simetrik ise, (V.2)'de dikkate alınacak daha yüksek bir bileşen

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right)^2 + \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial^3 f}{\partial x_i \partial x_j^2} \right] x u^2(x_i) u^2(x_j) \quad (V.2)$$

kabul edilir.

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} \text{ kısmi türevler } X_i=x_i \text{ değerinde hesaplanan } \frac{\partial f}{\partial X_i} \text{ türevlere eşittir. Bu}$$

türevler genellikle duyarlılık katsayıları olarak adlandırılır ve x_1, x_2, \dots, x_N değerlerinin değişiminin kestirilen değer y'yi nasıl etkilediğini gösterir. İstatistikte bu türevler duyarlılık faktörleri olarak adlandırılır. Pratikte, girdi büyüklüklerinin küçük değişimi Δx_i ile y'nin değerinde meydana gelen değişim aşağıdaki ifade ile verilir.

$$(\Delta y)_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \quad (V.3)$$

Eğer bu değişimin nedeni x_i 'lerin standart belirsizlikleri ise buna uygun y 'deki değişim $(\partial f/\partial x_i)u(x_i)$ olacaktır. Böylece bileşik varyans $u_c^2(y)$ herbir girdi büyüklüğün varyansını içeren bileşenlerin toplamı olarak kabul edilir.

Bu durumda,

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (V.4)$$

Bu ifadede

$$u_i \equiv \frac{\partial f}{\partial x_i}, \quad u_i(y) \equiv |c_i| u(x_i) \quad (V.5)$$

Notlar:

1. Genellikle $\partial f/\partial x_i = \partial f/\partial X_i$ kısmi türevleri X_i 'nin beklenen değeri için hesaplanmalıdır. Ancak pratikte kısmi türevler

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{x_1, x_2, \dots, x_N} \quad (V.6)$$

ifadesi ile hesaplanır.

2. bileşik standart belirsizlik $u_c(y)$ (V.5)'deki $c_i u(x_i)$ yerine kullanılırken de sayısal olarak elde edilir. Diğer bir deyişle, $u_i(y)$ 'nin x_i 'deki $+u(x_i)$ ve $-u(x_i)$ kadar değişiminden meydana gelen değişimdir. $u_i(y)$ 'nin değeri bu durumda $|Z_i|$ olarak verilebilir ve buna uygun duyarlılık katsayısı $c_i = Z_i/u(x_i)$ 'dir [110].

Örnek için duyarlılık katsayılarını ve bileşik standart belirsizliği hesaplayalım. Ölçümlerde kullanılan fonksiyon;

$$P = F(V, R_0, \alpha, t) = \frac{V^2}{R_0[1 + \alpha(t - t_0)]} \quad (V.7)$$

ifade (V.5)'e göre;

$$C_1 \equiv \frac{\partial P}{\partial V} = \frac{2V}{R_0[1 + \alpha(t - t_0)]} = \frac{2V}{V} \frac{V^2}{R_0[1 + \alpha(t - t_0)]} = \frac{2P}{V} \quad (V.8)$$

$$C_2 \equiv \frac{\partial P}{\partial R_0} = -\frac{V^2}{R_0^2[1+\alpha(t-t_0)]} = -\frac{V}{R_0} \frac{V^2}{R_0[1+\alpha(t-t_0)]} = -\frac{P}{R_0} \quad (V.9)$$

$$C_3 \equiv \frac{\partial P}{\partial \alpha} = -\frac{V^2(t-t_0)}{R_0[1+\alpha(t-t_0)]^2} = -\frac{t-t_0}{1+\alpha(t-t_0)} \frac{V^2}{R_0[1+\alpha(t-t_0)]} = -\frac{P(t-t_0)}{1+\alpha(t-t_0)} \quad (V.10)$$

$$C_4 \equiv \frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{\alpha V^2}{R_0[1+\alpha(t-t_0)]^2} = -\frac{t-t_0}{1+\alpha(t-t_0)} \frac{V^2}{R_0[1+\alpha(t-t_0)]} = -\frac{\alpha P}{1+\alpha(t-t_0)} \quad (V.11)$$

Elde edilen duyarlılık katsayılarını kullanarak

$$\begin{aligned} u_2(P) &= \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)^2 u^2(V) + \left(\frac{\partial P}{\partial R_0}\right)^2 u^2(R_0) + \left(\frac{\partial P}{\partial \alpha}\right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial P}{\partial t}\right)^2 u^2(t) = \\ &= [c_1 u(V)]^2 + [c_2 u(R_0)]^2 + [c_3 u(\alpha)]^2 + [c_4 u(t)]^2 \\ &= u_1^2(P) + u_2^2(P) + u_3^2(P) + u_4^2(P) \end{aligned} \quad (V.12)$$

Bazen hassasiyet katsayıları $\partial f/\partial x_i$ girdi büyüklükleri ve ölçülecek büyüklük arasındaki f fonksiyonunu kullanmadan deneysel olarak belirlenebilir.

Bu yöntem kullanıldığında X_i 'nin değerini değiştirerek Y 'deki değişim kaydedilir. Bu arada diğer X 'ler ise sabit tutulur. Böylece bulunan hassasiyet katsayısının Taylor seri açılımının birinci dereceli bileşenlerine eşit olacağı açıktır.

Tezin hibrid enerji üretim sisteminde fotovoltaik pillerin ve rüzgâr türbininin ürettiği elektrik enerjisini belirleme için ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Fotovoltaik pillerin ürettiği aktif güç grafiği elde edilirken, akım ve gerilim sinyal çeviricilerinin ölçtüğü değerler çarpılmıştır. Bu güç değerleri elde edilirken sinyal çeviricilerinin hata sınıfından kaynaklı belirsizlik mevcuttur. Ayrıca akım ve gerilim verileri veri kaydedicide depolandığı için veri kaydedici hatası da eklenmiştir. Rüzgâr türbininin ürettiği aktif güç grafiği elde edilirken güç analizörünün verdiği güç bilgisi kullanılmıştır. Aktif güç grafiği verileri hesaplanırken, güç analizörünün hata sınıfından kaynaklanan belirsizlik ve verilerin depolandığı veri kaydedici hatası eklenmiştir. Sistemde akım, gerilim ve güç gibi birbirinden bağımsız girdilerin hata analizi yapılırken, bağımsız girdili bileşik belirsizlik hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

Enerji üretim grafikleri çizilirken yapılan hatanın hesaplanmasında, örnek olarak bir hesaplama gösterilmiştir. Üretilen aktif gücün bulunmasında, yapılan en büyük belirsizlik değeri hesaplanmıştır. Bu kapsamda fotovoltaik pillere bağlı sinyal çeviricilerde okunan maksimum akım-gerilim bilgileri ile rüzgâr türbininin ürettiği maksimum güç bilgileri bileşik belirsizlik hesaplamalarında kullanılmıştır[110].

Fotovoltaik pillerden elde edilen güç belirsizlik hesaplaması;

$$V_{\max} = 37,2 \text{ V}$$

$$I_{\max} = 12,6 \text{ A}$$

Sinyal çevirici yapım hatası: % 0,5

Veri kaydedici yapım hatası: % 0,5

$$U_{(V)} = 0,372$$

$$U_{(I)} = 0,126$$

$$P_{(g)} = U \cdot I = 37,2 \times 12,6 = 468,72 \text{ W}$$

$$U_c^2(P_g) = \left[\frac{\partial P_g}{\partial U} \cdot U(U) \right]^2 + \left[\frac{\partial P_g}{\partial I} \cdot U(I) \right]^2$$

$$\frac{\partial P_g}{\partial U} = \frac{\partial (U \cdot I)}{\partial U} = I = 12,6 \text{ A}$$

$$\frac{\partial P_g}{\partial I} = \frac{\partial (U \cdot I)}{\partial I} = U = 37,2 \text{ V}$$

$$U_c^2(P_g) = (I \cdot U_{(V)})^2 + (V \cdot U_{(I)})^2$$

$$U_c^2(P_g) = (12,6 \cdot 0,372)^2 + (37,2 \cdot 0,126)^2$$

$$U_c^2(P_g) = 6,6287 \text{ W}$$

Rüzgâr türbininden elde edilen güç belirsizlik hesaplaması;

$$P_{\max} = 285,37 \text{ W}$$

Güç analizörü yapım hatası: % 0,5

Veri kaydedici yapım hatası: % 0,5

$$U(P_r) = 2,853$$

Sistemin toplam bileşik güç belirsizlik hesaplaması;

$$P_g = 468,72 \text{ W}$$

$$P_r = 285,37 \text{ W}$$

$$P_t = V \cdot I + P_r$$

$$P_t = 754,02 \text{ W}$$

$$U_{(V)} = 0,372$$

$$U_{(I)} = 0,126$$

$$U_{(P_r)} = 2,853$$

$$\frac{\partial P_t}{\partial V} = \frac{\partial(P_t)}{\partial V} = I = 12,6$$

$$\frac{\partial P_t}{I} = \frac{\partial(P_t)}{\partial I} = V = 37,2$$

$$\frac{\partial P_t}{I} = \frac{\partial(P_t)}{\partial(P_r)} = P = 1$$

$$U_c^2(P_t) = (I.U_{(v)})^2 + (V.U_{(I)})^2 + (P.U_{(P_r)})^2$$

$$U_c^2(P_t) = (12,6 \cdot 0,372)^2 + (37,2 \cdot 0,126)^2 + (1 \cdot 2,853)^2$$

$$U_c(P_t) = \sqrt{21,969843 + 21,969843 + 8,139609}$$

$$U_c(P_t) = 7,216598W$$

Yapılan belirsizlik analizi sonucuna göre, ölçme sisteminin yaptığı en büyük ölçme değeri olan 754,09 W'lık değerinin en büyük belirsizlik değeri 7,216598 W olarak bulunmuştur. Bu belirsizlik değeri, ölçme sistemi ile yapılan bütün ölçmeler içerisindeki en büyük belirsizlik değeri olup diğer ölçme değerlerindeki belirsizlik bu değer altındadır.

V.4 GERİLİM DÜŞÜMÜ KONTROLÜ

Fotovoltaik panellerin ürettiği enerjinin şarj regülâtörüne aktarılacağı iletkenin gerilim düşümü kontrolü aşağıda verilmiştir.

$$P = 500 \text{ Watt} \quad U = 42 \text{ Volt} \quad s = 16 \text{ mm}^2 \quad k = 56 \quad l = 19,4 \text{ metre}$$

$$\%e = 2 \times \frac{100 \times l \times P}{k \times s \times u^2} = 2 \times \frac{100 \times 19,4 \times 500}{56 \times 16 \times 42^2} = 1,2274 \quad (\text{V.13})$$

Gerilim düşümü hesabı sonucunda bulunan % 1,2274 değeri güç tesisatları için izin verilen % 3 değerinden küçüktür. Bu yüzden kullanılan iletkenin kesitinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Rüzgâr türbininin ürettiği üç fazlı enerjinin şarj regülâtörüne aktarılacağı iletkenin gerilim düşümü kontrolü aşağıda verilmiştir.

$$P = 500 \text{ Watt} \quad U = 42 \text{ Volt} \quad s = 10 \text{ mm}^2 \quad k = 56 \quad l = 21,8 \text{ metre}$$

$$\%e = \frac{100 \times l \times P}{k \times s \times u^2} = \frac{100 \times 21,8 \times 500}{56 \times 10 \times 42^2} = 1,1034$$

Gerilim düşümü hesabı sonucunda bulunan % 1,1034 değeri güç tesisatları için izin verilen % 3 değerinden küçüktür. Bu yüzden kullanılan iletkenin kesitinin yeterli olduğu belirlenmiştir[111].

V.5 SİSTEMİN MALİYET ANALİZİ

Hibrid enerji üretim sistemlerinde yapılan maliyet hesaplamaları, üretilen elektrik enerjisinin birim miktarının (1 kWh) maliyetinin bulunmasıdır. Hibrid sistemin enerji maliyeti, sistemin toplam maliyetinin, sistem ömrü boyunca üreteceği enerjiye oranlanması ile bulunur[112]. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda sistem ömrü 25 yıl alınmıştır. Çalışmada kurulan sistemin şebekeden beslenen geleneksel aydınlatma sistemi ile karşılaştırılabilmesi için tüm maliyetler üç ana başlık altında her iki sistem içinde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Maliyetlerin hesaplanmasında para birimi olarak Türk Lirası (TL) alınmıştır.

V.5.1 Alım Maliyetleri

Sistemlerin alım maliyetleri hesaplanırken, her iki sistem içinde tüm bileşenlerin birim maliyetleri dikkate alınmıştır. Maliyetler, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından desteklenen “Rüzgâr-Güneş Hibrid Güç Sistem Beslemeli Bir Mekânın Aydınlik Düzeyinin LED'li Armatürler Kullanılarak Kontrolü” isimli projede yapılan alımlardaki fiyatlardan alınmıştır. Değerler TL olup Tablo V.1’de gösterilmektedir[36].

Her iki sistemin alım maliyetleri içerisinde, çekilen elektrik tesisatlarının malzeme, proje ve işçilik maliyetleride eklenmiştir.

Tablo V.1 Hibrid Enerji Üretim Sistemin Alım Maliyeti.

Malzemenin Adı	Adet	Maliyet(TL)	Ömrü(yıl)
Fotovoltaik panel	4	2190	25
Rüzgar türbini	1	650	25
Akümülatör	2	320	9
Şarj regülatörü	2	400	25
Led modüller ve soğutucular	40	1450	25
Armatürler	7	350	25
Elektronik kartlar	21	850	25
Işık sensörleri	7	350	25
Hareket sensörleri	5	125	25
Sistem kurulumu ve kablolama		1000	25
Toplam Alım Maliyeti		7685	

Hibrid enerji üretim sistemi ve LED’li akıllı aydınlatma sisteminin kurulduğu Elektrik Tesisleri Laboratuvarında, klasik aydınlatma için toplam 12 adet 40W floresant lamba bulunmaktadır. Bu sisteme ilişkin alım maliyetleri bugünün elektrik malzemesi piyasa fiyatları üzerinden Tablo V.2’de gösterilmektedir.

Tablo V.2 Geleneksel Sistemin Alım Maliyeti.

Malzemenin Adı	Adet	Maliyet(TL)	Ömrü(yıl)
Fluoresant ampul	12	96	4
Endüktif balast	12	72	25
Armatürler	12	180	25
Starter	12	24	4
Anahtar	2	18	25
Elektrik tesisatı		900	25
Toplam Alım Maliyeti		1290	

Tablo V.2’de görüldüğü üzere geleneksel sistemin alım maliyeti hibrid enerji üretim sisteminin alım maliyetine oranla 5,9573 kat daha düşük olmaktadır. Hibrid enerji üretim sistemin ilk yatırım maliyeti görüldüğü gibi oldukça yüksektir.

V.5.2 İşletme Maliyetleri

Hibrid enerji üretim sistemlerinin kurulumlarından sonra, işletilmeleri esnasında çok düşük bir işletme maliyetine sahiptirler. Bu nedenle bu kısımda sadece geleneksel aydınlatma sisteminin işletme maliyeti hesaplanacaktır.

Geleneksel aydınlatma sistem ömrü olarak 25 yıl alındığı için, geleneksel aydınlatma sisteminin bu süre boyunca şebekeden alacağı enerjinin maliyeti, onun işletme maliyetini oluşturmaktadır. Geleneksel aydınlatma sisteminde bulunan 12 adet floresant lamba şebekeden 660 W güç çekmektedir. Aydınlatılması yapılan laboratuvar da dersler sırasında armatürler haftada 8,5 saat yandıkları için yıllık enerji harcaması 197,195 kWh olur. Elektriğin kWh'i 21,376 Krş olarak alındığında yıllık enerji harcaması 42,1524 TL'ye mal olmaktadır.

İşletmelerde bazı ödemeler ve masraflar (enerji ve işletme maliyetleri gibi) enflasyon ve ekipmanların yıpranması nedeniyle yıldan yıla artış göstermektedir. Artan bu ödemeler serisinin şimdiki değerinin hesaplanması, işletmenin ekonomik değerlendirilmesinde önemli olmaktadır. Bu nedenle aydınlatma sisteminin yıllık enerji maliyetinin 25 yıl için hesaplanması gerekmektedir[36].

$$P = \frac{A_1}{i-k} \left[1 - (1+k)^n (1+i)^{-n} \right] \quad (V.14)$$

Formülde P enerji masraflarının şimdiki değerini, A_1 ilk yılın ödeme değerini, i faiz oranını, k artış oranını, n ise yıl olarak hesaplanılacak süreyi göstermektedir.

$A_1=42,1524$ TL, $i=5\%$, $k=10\%$ ve $n=25$ yıl olmak üzere

$$P = \frac{42,15}{0,05 - 0,1} \left[1 - (1+0,1)^{25} (1+0,05)^{-25} \right] = 1854,091 \quad TL$$

olarak hesaplanır.

V.5.3 Bakım ve Değişirme Maliyetleri

Enerji maliyetini etkileyen diğer bir unsurda sistemin bakım ve değiştirme maliyetleridir. Maliyetin hesaplandığı 25 yıllık süre içerisinde, sistem bileşenlerinin değiştirilmesi ve bakımları için yapılacak harcamalar maliyeti etkileyecektir. Hibrid enerji üretim sistemi ve geleneksel sistem için ayrı ayrı hesaplamalar aşağıdaki görüldüğü gibi yapılmıştır[36].

Hibrid enerji üretim sisteminde akümülatörlerin 9 yılda bir değiştirilmesi, katalog değerlerine göre rüzgâr türbini bakımı ise 7,5 yılda bir yapılması

gerekmektedir. Buna göre akümülatör değiştirme sayısı 2, rüzgâr türbini bakım sayısı ise 3 olarak belirlenmiştir. Rüzgâr türbini bakımı kurulumu yapan firma tarafından yapılacak ve servis ücreti ilk yıl için 80 TL olarak belirlenmiştir. Bu değiştirme ve bakım periyotları için akümülatör ve rüzgâr türbinine ait hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$PW = C_0 * P_r = C_0 * \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n \quad (V.15)$$

$$PW_{PVA} = 320 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^9 + 320 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{18} = 348,83TL$$

$$PW_{PVR} = 80 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{7,5} + 80 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{15} + 80 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{22,5} = 123,75TL$$

Yapılan hesaplamalara göre hibrid enerji üretim sistemi toplam bakım ve değiştirme maliyeti 452,58 TL olarak bulunmuştur.

Geleneksel aydınlatma sisteminde ise floresant ampullerin ve starterlerin 4 yıllık ömürleri sonunda değiştirilmeleri gerekmektedir.

$$PW_{GF} = 96 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^4 + 96 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^8 + 96 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{12} + 96 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{16} \\ + 96 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{20} + 96 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{24} = 313,6TL$$

$$PW_{Gs} = 24 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^4 + 24 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^8 + 24 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{12} + 24 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{16} \\ + 24 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{20} + 24 * \left(\frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{24} = 78,4TL$$

Tablolarda görüldüğü gibi hibrid enerji üretim sisteminin akümülatör gruplarının değiştirilmesi sistemin bakım-değiştirme maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır[112].

V.5.4 Enerji Maliyeti

Hibrid enerji üretim sistemi ve geleneksel aydınlatma sistemleri için yapılan maliyet hesaplamaları sonucunda Tablo V.3'de görülen toplam maliyetler bulunmuştur.

Tablo V.3 Toplam Maliyetler.

Sistemin Adı	Alım Maliyeti(TL)	İşletme Maliyeti(TL)	Bakım-Değişirme Maliyeti(TL)	Toplam Maliyet(TL)
Hibrid Enerji Üretim Sistemi ve LED Aydınlatma Sistemi	7685		452,582	8137,581
Geleneksel Aydınlatma Sistemi	1290	1854,091	392	3536,091

Hibrid enerji üretim sistemi ve LED aydınlatma sistemi toplam yatırım maliyeti 8137,58 TL iken geleneksel aydınlatma sistemin maliyeti 3536,091 TL olmaktadır. Bu değerler ve sistemlerin 25 yıl boyunca ürettikleri/tükettikleri elektrik enerjisi kullanılarak birim enerji maliyetleri hesaplanır.

Hibrid enerji üretim sisteminin ürettiği elektrik enerjisi için;

$$g_{pv} = \frac{C_{Tpv}}{E_{pv}} = \frac{8137,58}{3249,2979} = 2,5044 \quad TL/kWh$$

Geleneksel aydınlatma sisteminin tükettiği elektrik enerjisi için;

$$g_{kl} = \frac{C_{TKl}}{E_{kl}} = \frac{3536,091}{7342,3816} = 0,4816 \quad TL/kWh$$

olarak hesaplanır[112].

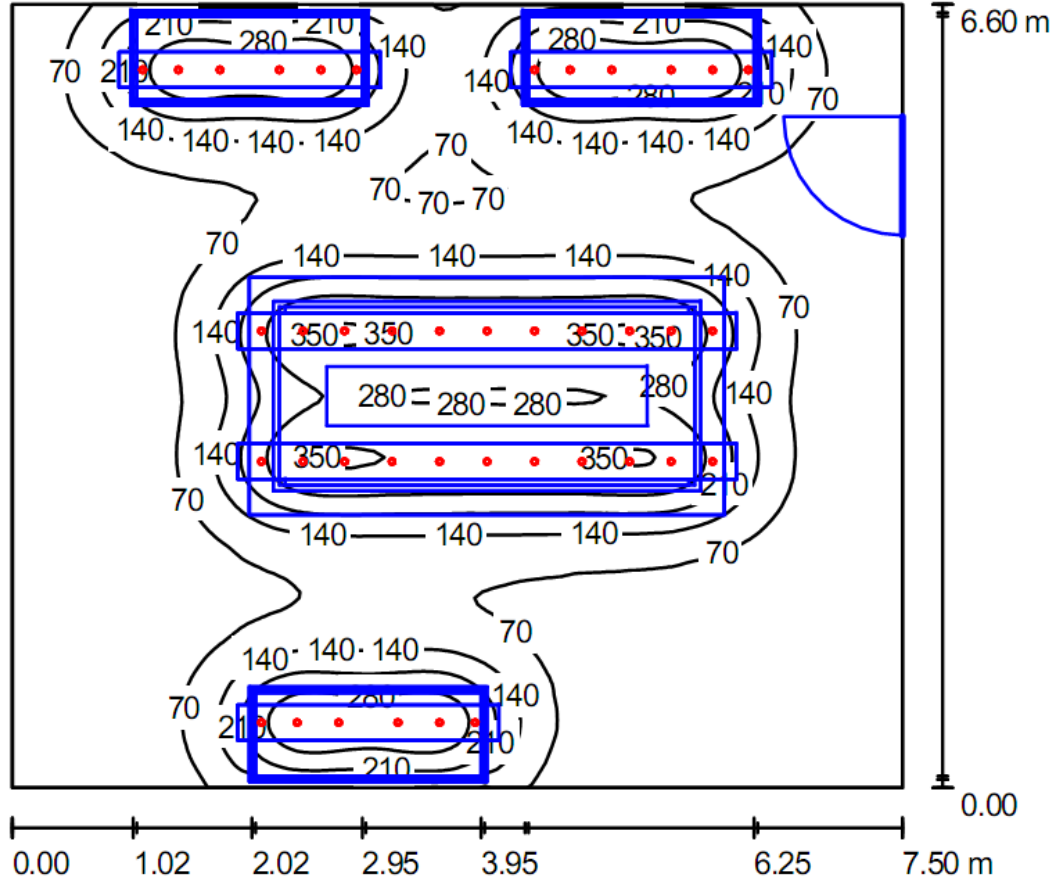
Hibrid enerji üretim beslemeli aydınlatma sisteminin ürettiği elektrik enerjisinin maliyeti ile klasik aydınlatma sisteminde harcanılan elektrik enerjisinin maliyeti arasında 5,2 kat fark olduğu görülmektedir. Bunun nedenlerini araştırıldığında, LED armatürde kullanılan LED modül fiyatının günümüzde yüksek olduğu ve hibrid sistemde kullanılan fotovoltaik panellerin üretim maliyetlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Fotovoltaik panellerin bir güneş izleme sistemi ile kullanılmalari durumunda verim %30 civarında arttırılabileceği için, daha düşük güçlü seçilmeleri ile panel, akümülatör ve şarj regülatörlerinin maliyetleri düşürülebilecektir. Ayrıca LED teknolojisindeki gelişmelerle birlikte LED ışık akısı seviyesi artması ve üretim maliyetlerinin düşmesi de bu tür sistemlerdeki birim enerji üretim maliyetini düşürecek ve sistemin amortisman süresi de kısacaktır.

V.6 LED'Lİ AYDINLATMA SİSTEMİ LABORATUVAR AYDINLIK DAĞILIMI

LED armatür tasarımında kullanılması için LED modüllerin sayısının ve armatür üzerindeki montaj noktalarının belirlenmesi amacıyla dialüx aydınlatma programı ile Elektrik Tesisleri Laboratuvarı aydınlık dağılımı yapılmıştır. Laboratuvarda üç adet deney masası ve bir adet projede orta masa diye adlandırdığımız öğrencilerin deney anlatımlarında kullandıkları masa aydınlatması yapılmıştır.

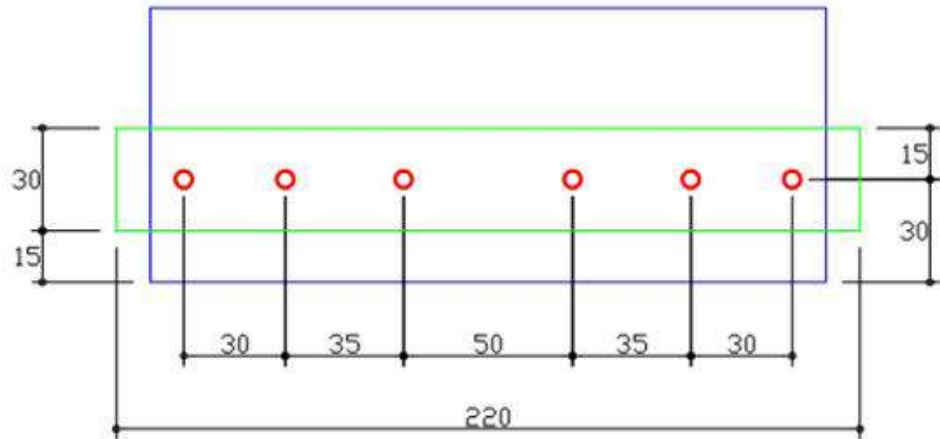
Deney masalarının aydınlatma yüzey boyutları 0,80m x 2 m ve orta masa aydınlatma yüzey boyutları 2m x 4m dir. Masaların yerden yükseklikleri 0,85m dir. CIE standartlarına göre laboratuvar aydınlık düzeyleri en az 300 Lük olmalıdır. Bu kapsamda dialüx programında, bakım katsayısı standart değeri 0,8 alınmış olup hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Oda yüksekliği, 3,80 m olup armatür tutturma yüksekliği 2,60m alınmıştır. Yaralı düzlem 0,855m belirlenmiş olup, ağ 128 x 128 noktalar alınmıştır. Aydınlik oranı LG7'ye göre duvarlar/çalışma düzleminde 0,256, tavan/çalışma düzleminde ise 0,365 alınmıştır. Şekil V.29'de aydınlatma programında bulunan aydınlık dağılımı görülmektedir.



Şekil V.29 Laboratuvar Aydınlık Dağılımı Değerleri.

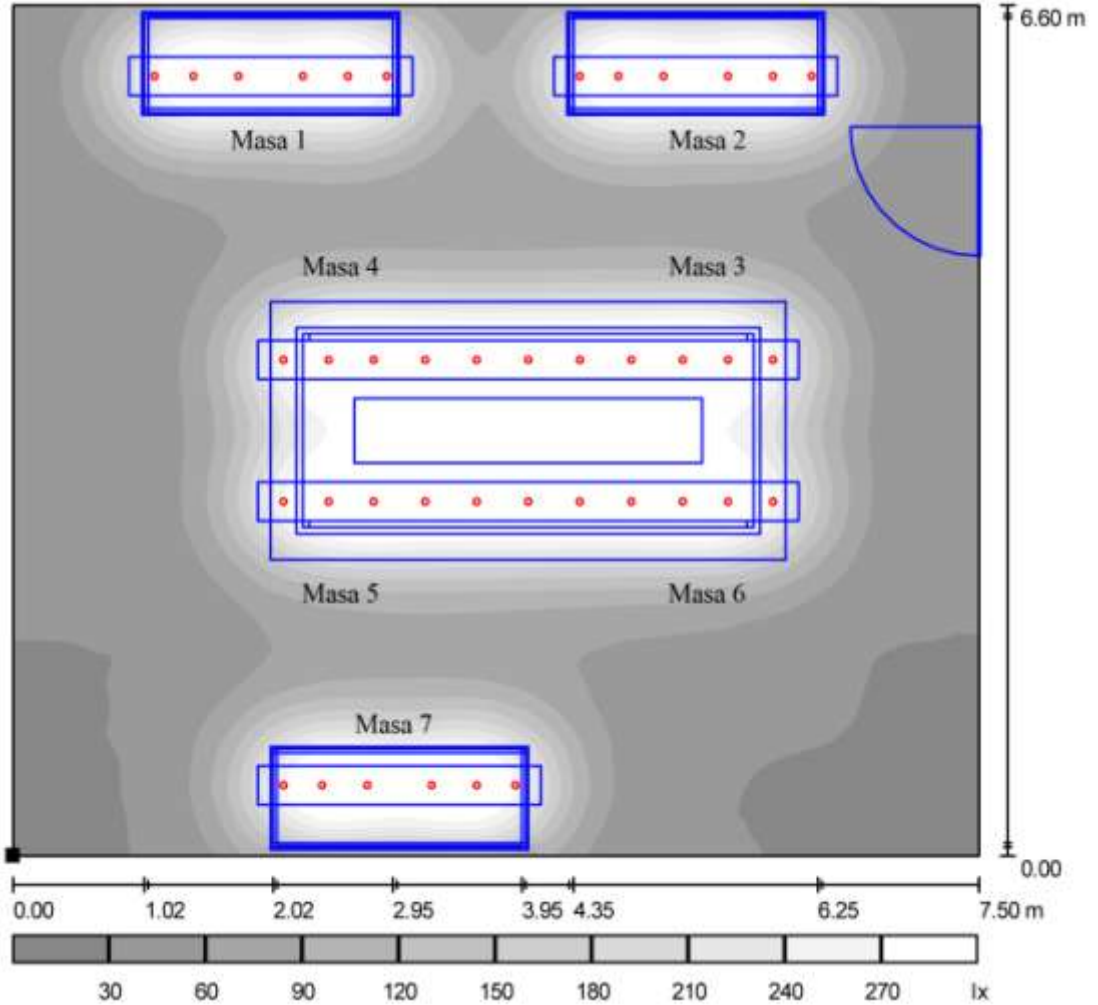
Yapılan hesaplama sonucunda deney masaları aydınlık şiddeti 337 lüks ve orta masa için 371 lüks olarak bulunmuştur. Normal şartlar altında ve projenin ilk uygulama dönemlerinde genellikle hesaplanan bu değerlerin %25 üzerinde bir aydınlık düzeyi elde edilmektedir.



Şekil V.30 LED Modül Montaj Mesafeleri.

Dialux programında yapılan aydınlık dağılımına göre, bir armatürde toplam altı adet LED modül kullanılacaktır. LED modüllerin armatür gövdelerine montajları sırasında aralarında olması gereken mesafeler de Şekil V.30'da verilmiştir.

Ayrıca laboratuvar deney masalarının aydınlatmasında bir adet ve orta masa aydınlatmasında dört adet olmak üzere toplam yedi adet armatür kullanılacaktır. Akıllı aydınlatma sisteminde kullanılacak LED armatürlerin gri tonlamalı aydınlık dağılımı Şekil V.31'de gösterilmektedir.



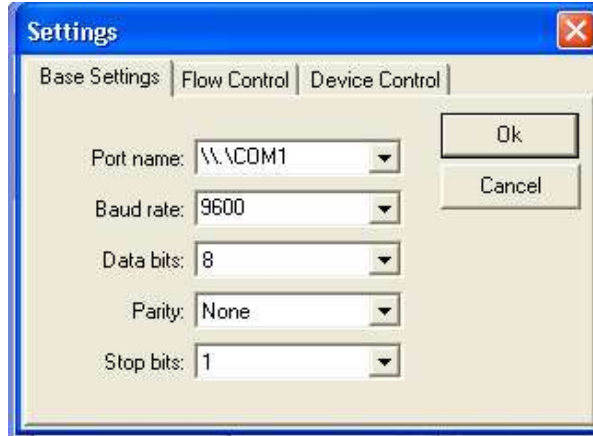
Şekil V.31 Laboratuvar Aydınlatma Dağılımı.

V.7 BULANIK UZMAN SİSTEM TABANLI AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ

Projede, laboratuvarın LED'li armatürlerle akıllı aydınlatma sistemi uygulaması kapsamında akıllı aydınlatma kontrol sistemi tasarlanmıştır. Akıllı aydınlatma sistemi, kontrolör açma-kapama, zamanlama, bulanık kontrolör olmak üzere üç alt programın birleşmesiyle oluşturulmuştur.

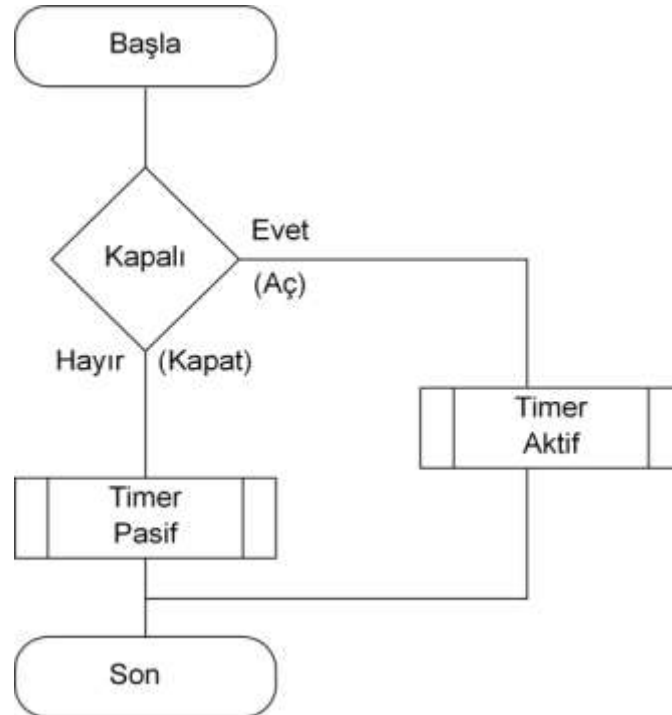
V.7.1 Kontrolör Aç/Kapat Altprogramı

Akıllı aydınlatma sisteminde kontrolörün açma ve kapama işlemi için bir alt program tasarlanmıştır. Kontrolörün sisteme bağlantısı için öncelikle manuel ayarlardan sistem ile bilgisayar arasında kullanılacak seri port(COM1) ve bağlantı hızı(9600) ayarlarının yapılması gerekmektedir. Şekil V.32’de bağlantı ayarları program görüntüsü verilmiştir.



Şekil V.32 Bağlantı Ayarları Menüsü.

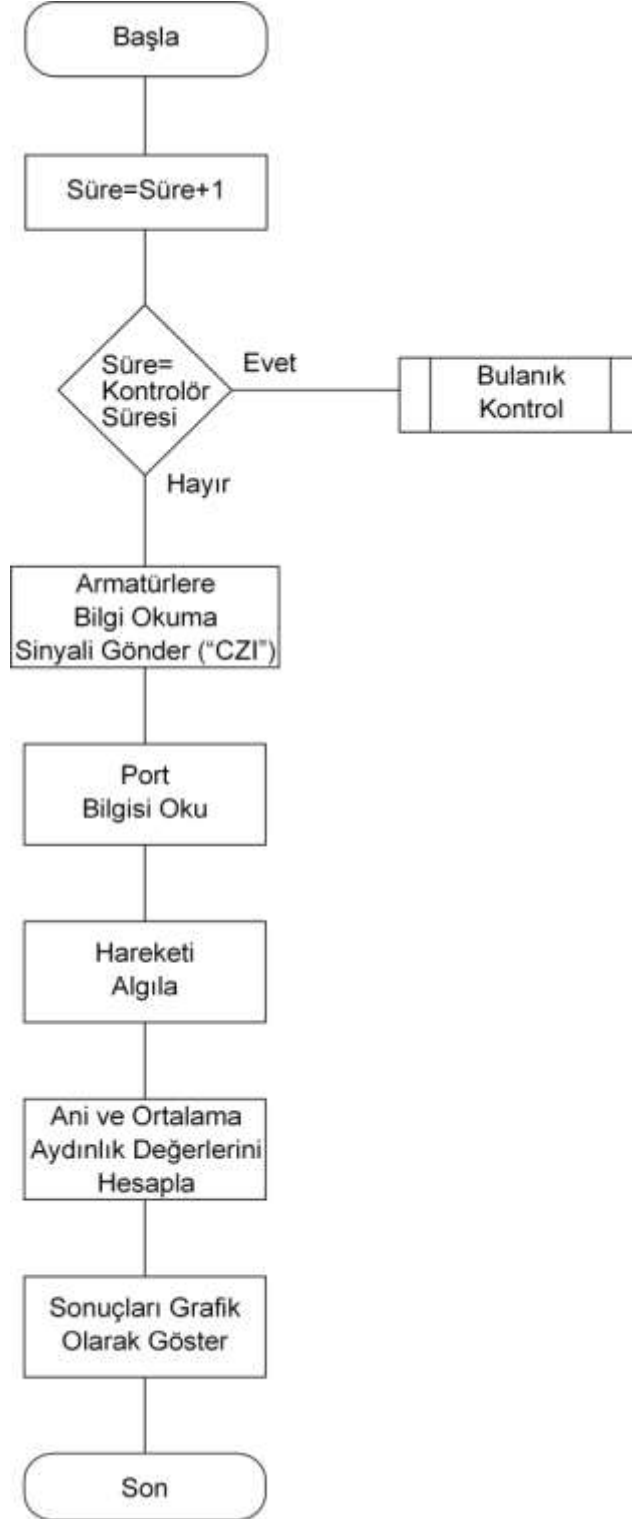
Akıllı sistem açma-kapama işlemi için tasarlanan alt programa ait algoritma Şekil V.33’de gösterilmektedir. Program, zamanlama alt programını aktif ve pasif duruma getirmek için kullanılmaktadır.



Şekil V.33 Açma/Kapama Program Algoritması.

V.7.2 Kontrolör Zamanlama Altprogramı

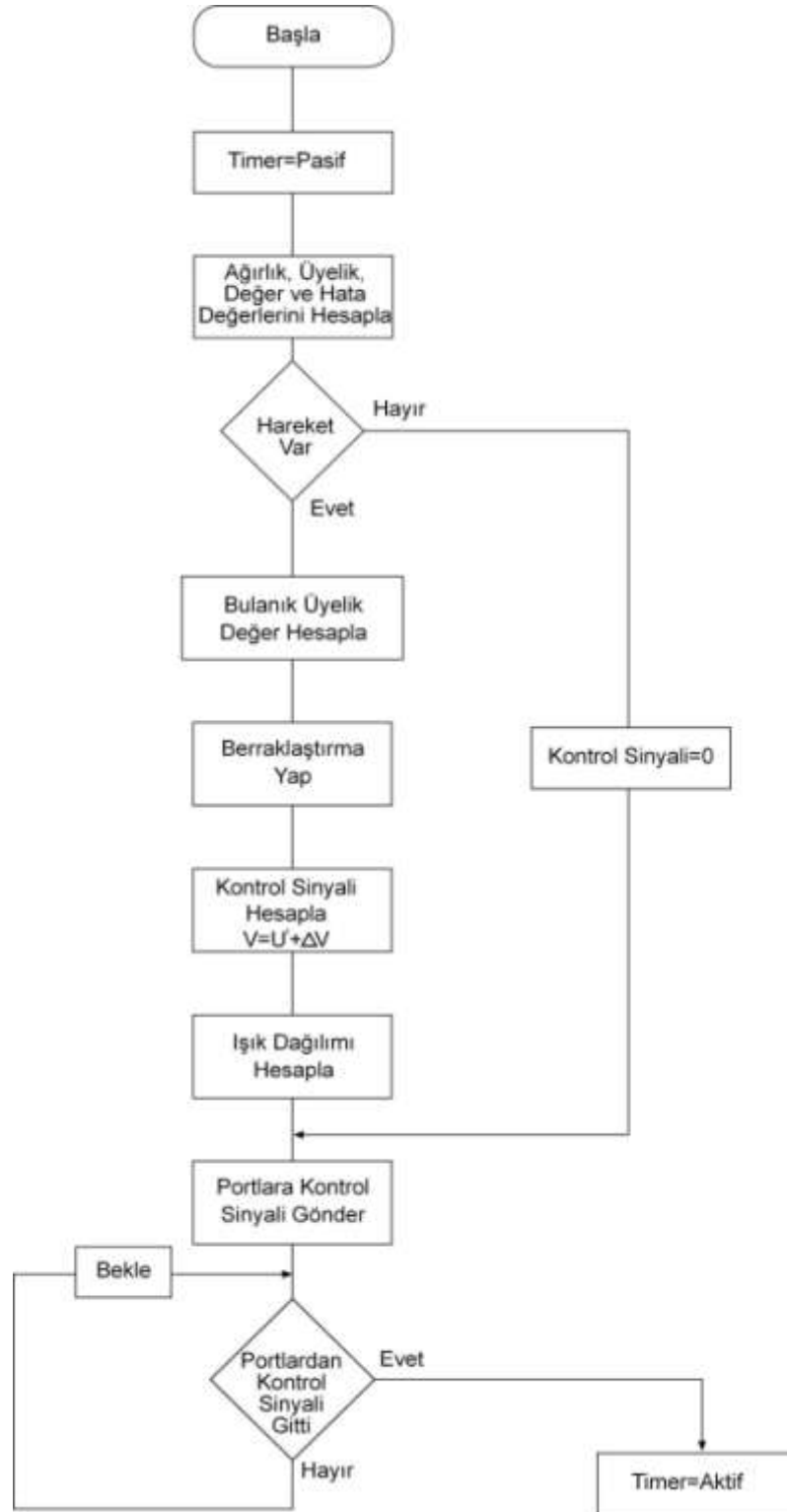
Akıllı aydınlatma sistemi için kullanılan zamanlama altprogram algoritması Şekil V.34’de gösterilmektedir. Programda, zamanın kontrolör zamanına eşitlenmesi ve bulanık kontrolörün kullanacağı bilgilerin istenmesi işlemleri yapılmaktadır.



Şekil V.34 Zamanlama Program Algoritması.

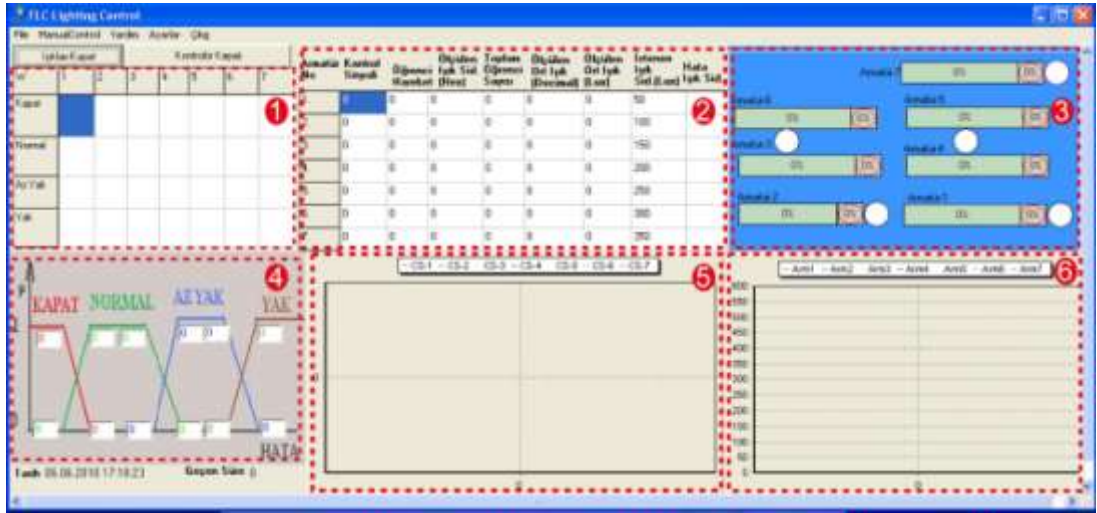
V.7.3 Bulanık Sistem Kontrol Altprogramı

Akıllı aydınlatma sistemi için kullanılan bulanık sistem kontrol altprogram algoritması Şekil V.35’de gösterilmektedir. Programda, laboratuvar da deney setleri ve orta masa için öğrencinin varlığına bağlı olarak aydınlık seviyelerinin kontrolünün sağlanması gerçekleştirilmiştir.



Şekil V.35 Bulanık Sistem Kontrol Program Algoritması.

Bulanık sistem kontrol programı ekran görüntüsü Şekil V.36’da gösterilmiştir. Program görüntüsünde, 1 numara ile gösterilen bölümde programın ağırlık değer tablosu görülmektedir. 2 numara ile gösterilen bölümde, kontrol sinyali değeri, ölçülen ışık şiddetinin değerleri, istenilen ışık şiddeti değerleri ve hesaplanan hata sinyali değerleri yer almaktadır. 3 numara ile gösterilen bölümde, hareket algılama bilgisi, gönderilen dim bilgisi ve armatürün ışık şiddetinin yüzdelik oranı bilgileri bulunmaktadır. 4 numara ile gösterilen bölümde, üyelik değerler gösterilmektedir. 5 numara ile gösterilen bölümde, armatürlerin hata sinyaline göre aldığı değerler grafik olarak ve 6 numara ile gösterilen bölümde de armatürlerin ışık şiddetlerine göre aldığı değerler grafik olarak görülebilmektedir.



Şekil V.36 Bulanık Sistem Kontrol Program Ekran Görüntüsü.

Program ayarlar menüsünü Şekil V.37’de gösterilmiştir. Menüdeki ayarları inceleyecek olursak;

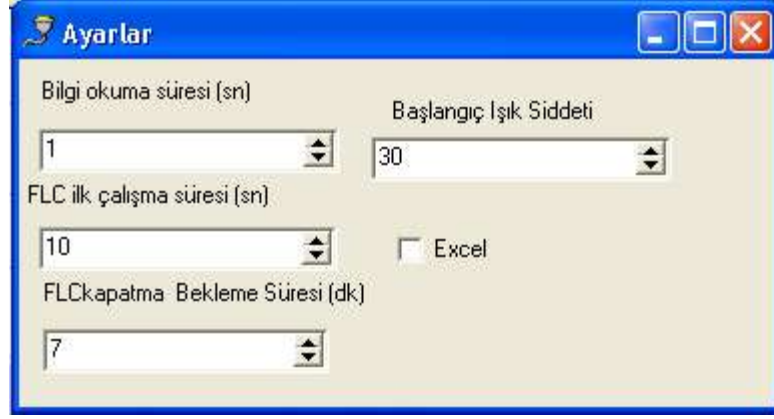
“bilgi okuma süresi” butonu ile kontrolörden bilgi okunma işleminin tekrar süresi ayarı,

“ilk çalışma süresi” butonu ile dim bilgisi kontrol sinyali gönderme süresi ayarı,

“kapatma bekleme süresi” butonu ile hareket olmadı andan itibaren kontrolörün kapatma süresi ayarı,

“başlangıç ışık şiddeti” butonu ile kontrolörler çalıştığı ilk anda olması istenilen dim değeri ayarı,

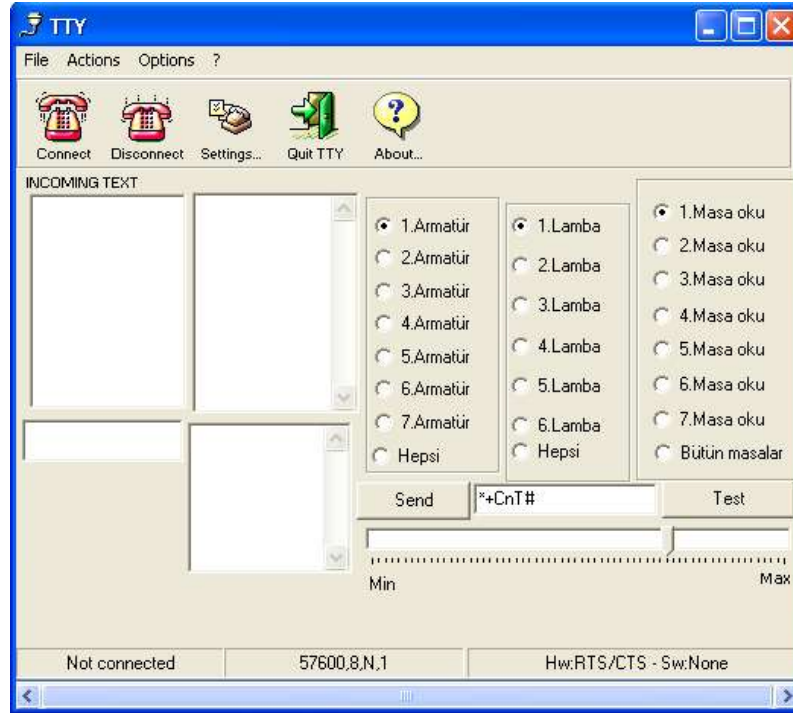
“Excel” sekmesi seçili durumda olursa kontrolör çalıştığı sürece gönderilen dim bilgilerinin “xls” formatında kayıt işlemi yapılabilmektedir.



Şekil V.37 Bulanık Sistem Kontrol Programı Ayarlar Menüsü.

V.7.4 Manuel Kontrol Programı

Akıllı aydınlatma sistem kontrolü Bulanık uzman sistem kontrol ile yapılabildiği gibi manuel kontrolle de yapılabilmektedir. Manuel kontrolde, sistemde bulunan yedi adet kontrolörden hareket ve ışık seviyeleri hakkında ayrı ayrı bilgi istenebilmektedir. Aydınlatma amaçlı kullanılan tüm LED modüllerinin dim seviyeleri ayrı olarak veya toplu olarak ayarlanabilmektedir. Manuel kontrol sistemi ekran görüntüsü Şekil V.38’de gösterilmektedir.



Şekil V.38 Manuel Kontrol Sistemi Menüsü.

V.8 KONTROL SİSTEMİ SONUÇLARI

Çalışmanın akıllı aydınlatma bölümünde kullanılan bulanık uzman sistem kontrollü LED aydınlatma sistemi ile geleneksel floresan lamba aydınlatması ve manuel kontrol sürekli son kademe dimli LED'li aydınlatma sistemleri karşılaştırılmıştır. Laboratuvar geleneksel aydınlatma sisteminde kullanılan floresan lambanın bir tanesinin 55W güç çektiği kabul edilmiştir[113]. Ayrıca laboratuvarında günlük aydınlatma ihtiyacı duyulabilecek maksimumu kullanım saati olarak 8 saat belirlenmiştir. Bu kapsamda üç sistem de bir gün boyunca çalıştırılmış ve harcadıkları güç kayıt altına alınmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo V.4'de verilmiştir.

Tablo V.4 Aydınlatma Sistemleri Karşılaştırma Tablosu.

Aydınlatma Sistemi	Geleneksel Floresan Aydınlatma Sistemi	Manuel Kontrol LED'li Aydınlatma Sistemi	Akıllı LED Aydınlatma Sistemi
Lamba Adedi	12	42	42
Armatür Adedi	6	7	7
1 Lambanın Harcadığı Güç(W)	55	10,972	10,972
Toplam Aydınlatma Gücü(W)	660	460,831	460,833
1 Günde(8 saat) Harcanan Enerji(KWh)	5,282	3,686	2,845
Aylık Harcanan Enerji(KWh)	105,642	73,732	56,918

Tablo incelendiğinde, geleneksel aydınlatma sisteminin günlük 5,28KWh enerji, aylık 105,6 KWh enerji harcadığı, manuel kontrol LED'li aydınlatma sisteminin günlük 3,686 KWh enerji, aylık 73,732KWh enerji harcadığı görülmektedir. Buna göre sadece LED lamba kullanmak ile geleneksel sisteme göre % 30,8 'lik bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Akıllı aydınlatma sistemi ile yapılan uygulamada, günlük 2,845 KWh enerji ve aylık 56,918 KWh enerjinin akü grubundan çekildiği ölçülmüştür. Akıllı aydınlatma sisteminin manuel kontrol LED armatür aydınlatmasına göre % 23,4 enerji tasarrufu, geleneksel floresan aydınlatma sistemine göre % 54,2'lik bir tasarruf sağladığı ortaya çıkmıştır.

BÖLÜM VI

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüz dünyasında yenilenebilir enerji kaynaklarını mümkün olan en yüksek düzeyde kullanmak bir tercih olmaktan çıkıp bir zorunluluk haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde su dışındaki en önemli kaynaklar, güneş ve rüzgâr enerjisidir. Son 20 yılda gerek rüzgâr enerjisi gerekse fotovoltaik yöntemle elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda, gelen talebin etkisiyle de, önemli teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin birim güçleri 2 MW gibi ciddi sınırlara ulaşmış, kuruluş maliyetleri itibarı ile diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilir duruma gelmiştir. Aynı zamanda birçok ülkede, konutlarda yenilenebilir enerjisi üretimi çalışmalarına önem verilmeye başlanmaktadır. Öncelikli olarak, Avrupa ülkeleri ve A.B.D.'de yapımı planlanan yüksek binalarda, rüzgâr-güneş enerjisi etkin tasarımı somutlaştırılmış hedefler olmakla beraber yerleşim alanlarında yaygın kullanımı üzerine sektör daha yeni gelişmektedir. Birim maliyetlerdeki düşme, rüzgâr türbini ve fotovoltaik pil performanslarının artması, gelecek için önemli beklentiler doğurmaktadır.

2020 yılında dünya elektrik enerjisi talebinin yaklaşık %12'sinin rüzgâr ve güneş kaynaklı enerjilerden karşılanması için çalışmalar yapılırken, ülkemizin de bu çalışmaların içinde yer alması gerekmektedir. Bu hedefin içinde olmak sadece büyük güçlü rüzgâr türbinleri teşkil etmek yanında yerleşim alanlarında kullanımı ile olabilir. Türkiye'de rüzgâr türbinlerinin, yerleşim alanlarındaki rüzgâr potansiyelindeki kısıtlılık ve oluşturduğu çevresel etmenlerden dolayı yerleşim alanlarındaki kullanımı sınırlı kalmıştır. Aynı zamanda fotovoltaik piller maliyetlerindeki yükseklik ve kurulumu sırasında kapladıkları alanların fazla olması gibi etkenler orta ve uzun vadeli ülke hedeflerine ulaşılmasında zorluklar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr ve güneş enerjisinin özellikle yerleşim yerleri içinde kullanılabilirliği ortaya konmuş ve dahili aydınlatmada kullanılması üzerinde durulmuştur. Çalışma uygulama kapsamında üç ana başlıktan oluşmaktadır:

- Rüzgâr-fotovoltaik hibrid enerji sistemi,
- LED armatürlerin tasarımı ve mekâna uygulanması,
- Bulanık uzman sistem kontroldür.

Yukarıdaki başlıklar kapsamında ele alınan çalışmada, elde edilen sonuçlar maddeler halinde değerlendirilerek, aşağıda sunulmuştur.

- ✓ Hibrid enerji üretim sistemi kapsamında kurulan hava istasyonu ile bölgeye ait meteorolojik veriler; rüzgârın yönü ve hızı, güneşlenme miktarı ve ışıması, basınç, nem, iç-dış sıcaklık, yağış miktarı beş dakika aralıklı olarak, veri kaydedicide kaydedilmiştir. Elde edilen verilerle grafiksel değerlendirmeler yapılmış, bölgeye ait rüzgâr ve güneş enerji potansiyeli çıkarılmıştır.
- ✓ Çalışmanın amaçlarından biri, yenilenebilir enerjinin kaynaklarının yerleşim alanlarında kullanılabilirliği yaygınlaştırabilmektir. Yerleşim bölgelerinde enerji kaynaklarının oluşturacağı ses ve bina üzerinde oluşacak titreşim önemli kısıtlılıklardır. Araştırmalarımız sonucu, yapısal ve çalışma özellikleri bakımından paralel kanatlı düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin çalışma koşullarının daha uygun bulunmuştur. Bu kapsamda hibrid enerji üretim sisteminde kullanılmak üzere Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi binasının çatısına düşey eksenli paralel kanatlı tip rüzgâr türbini kurulumu gerçekleştirilmiştir. Türbinin yerleşim alanlarında bina montajlı olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.
- ✓ Hibrid enerji üretim sisteminde dört adet 125W gücünde fotovoltaik piller kullanılmıştır. Fotovoltaik piller, İstanbul için en uygun güneş açısı olan 42^0 açı doğu-batı doğrultusunda yerleştirilmiştir. Söz konusu dört modül ikişerli $12V + 12V = 24V$ seri grup yapılarak bu grupların paralel bağlanmasıyla 24V gerilimli bir sistem elde edilmiştir. Fotovoltaik paneller $2 \times 16 \text{ mm}^2$ kablo ile rüzgâr türbinin ürettiği üç fazlı AC enerji $3 \times 10 \text{ mm}^2$ kablo ile bina içindeki Elektrik Tesisleri Laboratuvarına taşınmıştır. Sistemin her iki parçası içinde gerilim düşümü kontrolü yapılarak, alçak gerilim kuvvet tesisatları için izin verilen değerlerin altında olduğu tesbit edilmiştir.

- ✓ Üretilen enejinin izlenmesi ve kayıt altına alınması için ölçme sistemleri tasarlanmıştır. Rüzgâr türbininden çıkan üç fazlı değişken frekanslı ve değişken genlikli AC enerjinin ölçülmesi ve saklanabilmesi için üç fazlı güç analizörü kullanılmıştır. Güç analizörü analog çıkışı veri kaydediciye bağlanarak beş dakika aralıklı olarak üretilen enerji saklanmıştır. Fotovoltaik pillerin çıkışı DC olduğu için akım ve gerilim sinyal çeviricisi bağlanmış, sinyal çevirici çıkışı veri kaydediciye bağlanarak beş dakika aralıklı olarak akım ve gerilim bilgileri kayıt edilmiştir. Bu veriler altında sistemin güç değerleri hesaplanmış, sistemin ortalama günlük güç değerleri üzerinden aylık grafikler sunulmuş ve aylık ürettiği elektrik enerji değerleri hesaplanmıştır.
- ✓ Rüzgâr türbini ve fotovoltaik pillerin çıkışlarındaki ölçme sistemlerindeki sonuçlar ve aylık güç grafiklerinde gücün hesaplanması sırasında yapılan hatanın belirsizlik analizi yapılmış ve hesapların doğruluğu sunulmuştur.
- ✓ Hibrid sistemin ürettiği enerji akü grubunda depolanmıştır. Tamamen bakımsız tip jel akü kapasitesi 2x200 Ah'dir. Akıllı aydınlatma sisteminin enerjisi bu akü grubundan sağlanmaktadır. Akü grubunu aşırı şarj ve derin deşarj durumlarına karşı korumak için bir kontrol kartı tasarlanmıştır.
- ✓ Elde edilen sonuçlar göre, bölge için birbirini destekleyen rüzgâr-fotovoltaik hibrid sistemin kullanılmasının uygun bir çözüm olduğu ve bu kapsamda özellikle yerleşim alanlarında bina montajlı düzenekler için önerilebilir.
- ✓ Çalışmanın amaçlarından bir diğeri ise, LED'lerin dahili aydınlatmada kullanılabilirliği. Bu kapsamda laboratuvarın akıllı aydınlatma sisteminde kullanılmak üzere LED'li armatür tasarımı gerçekleştirilmiştir.
- ✓ LED teknolojisinin çok düşük enerji kullanım özelliği, bu teknolojinin yenilenebilir enerji kaynakları ile entegresini mümkün kılmaktadır.
- ✓ LED modüllerin soğutma işleminin, çalışma performansı ve ömrü üzerinde çok önemli etkileri vardır. Soğutmaya yardımcı olması için armatür, alüminyum malzemeden ve soğutmaya yardımcı yüzey şekillerine sahip gövdeden oluşan bir yapıda seçilmiştir. LED modüllerinin soğutmasında pasif soğutmanın yanında aynı zamanda aktif soğutma sisteminin de bulunduğu özgün bir tasarım sunulmuştur.
- ✓ Armatürlerde kullanılan LED modüllerin beslenmesinde çalışma performansı ve ömürleri artırmak için armatüre ait özel bir besleme kartı tasarlanmıştır.

- ✓ Akıllı aydınlatma sistemi kapsamında LED armatürler içindeki modüllerin ışık, hareket, dim gibi bilgilerinin bilgisayarla haberleşmesi için haberleşme kartı tasarlanmıştır. Haberleşme kartı aydınlatma sistemindeki 42 adet LED modülü ve bilgisayarı RS485 haberleşme hattından birbirine bağlamaktadır.
- ✓ Çalışmanın akıllı aydınlatma kontrol sisteminde, bulanık uzman sistem kontrol algoritması kullanılmıştır. Bu kontrol sistemi ile deney setleri ve çalışma düzleminde sınır değer olarak kabul edilen 300 lüks'lik ışık şiddeti değerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiş ve buna bağlı olarak ilgili LED'lerin devreye girmesi ve dim edilmesi sağlanmıştır.
- ✓ Mekânın aydınlatılması; mevcut geleneksel floresan aydınlatma sistemi, manuel kontrollü LED armatürü düzeneği ve akıllı aydınlatma sistemi karşılaştırılmıştır. Akıllı aydınlatma sisteminin harcadığı enerjinin avantajı ortaya konulmuştur.
- ✓ Çalışmada sistemin maliyet analizi yapılmış, bu sistem, şebekeden beslenen floresan aydınlatma düzeneği ile karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlar, çalışmada ortaya konulan sistemin maliyeti açısından olumsuzdur. Fakat bu çalışmanın bilimsel amaçlı bir araştırma geliştirme çalışması olması, gelişen teknolojiye bağlı olarak rüzgâr türbini ve fotovoltaik pil fiyatlarındaki düşüşler, tasarlanan LED armatürün ve kartlarının üretim aşamasına gelindiğinde sürüme bağlı olarak birim fiyatlarındaki azalmaları dikkate alındığında, kısa vadeli olumsuzluğun uzun vadede olumlu bir hal alacağı beklentisini artırmaktadır.

Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımların artırılması ile rüzgâr-güneş potansiyelinden faydalanılması öncelikle dışa bağımlı enerji politikamızı en aza indirecektir. Ayrıca, yenilenebilir enerji sistemlerinin ülke içinde üretilmesi ve ilgili sektörün gelişimi de bir devlet politikası olarak benimsenmelidir. Ülkemiz için küçük güçlü rüzgâr türbini tasarımları gerçekleştirilerek, sektörün teşviklerle desteklenmesi yerli küçük rüzgâr türbinlerinin ve kurulumlarının geliştirilmesi, iş alanı ve istihdamı içinde önemlidir.

Aynı zamanda LED'lerin gelecekte lümen/watt etkinlik faktörlerinin artması ve maliyetlerinin düşmesi ile dahili ortam aydınlatmalarında vazgeçilmez bir araç olacağı kaçınılmazdır. Ülke olarak, bu konuda çalışmalara destek verilmeli ve LED'lerin her alanda kullanımları yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Kıyak, İ.; Oral, B.; Topuz, V.: “Yerleşim Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Kullanımının Yaygınlaştırılması: Bina Montajlı Rüzgar Türbinleri”, *Türkiye 11. Enerji Kongresi*, İzmir, Türkiye, 21-23 Ekim (2009) 168-179.
- [2] Nema, P.; Nema, R.K.; Ragnekar, S.: “A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009) 2096-2103.
- [3] Chen, T.; Yang, J.M.: “Research on Energy Management for Wind/PV Hybrid Power System”, *Electronics Systems and Applications*, PESA 3rd International Conference on, Hong Kong, China, (2009) 364-370.
- [4] Abouelnaga, A.E.; Metwally, A.; Nagy, M.E.; Agamy, S.: “Optimum selection of an energy resource using fuzzy logic”, *Nuclear Engineering and Design*, 239 (2009) 3062–3068.
- [5] Shively, D.; Gardner, J.; Haynes, T.; Ferguson, J.: “Energy Storage Methods for Renewable Energy Integration and Grid Support”, *IEEE Energy 2030 Conference*, Atlanta, Georgia, USA, 17-18 November (2008) 1-4.
- [6] Uzunoglu, M.; Onar, O.C.; Alam, M.S.: “Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications”, *Renewable Energy*, 34 (2009) 509–520.
- [7] Mousavi, S.M.; Fathi, S.H.; Riahy, G.H.: “Energy Management of Wind/PV and Battery Hybrid System with Consideration of Memory Effect in Battery”, *Clean Electrical Power International Conference on*, Capri, (2009) 1-6.
- [8] Brent, A.C.; Rogers, D.E.: “Renewable rural electrification: Sustainability assessment of mini-hybrid off-grid technological systems in the African context”, *Renewable energy*, 35 (2010) 257–265.
- [9] Bernal-Agustin, J.L.; Duflo-Lopez, R.: “Techno-economical optimization of the production of hydrogen from PV-Wind systems connected to the electrical grid”, *Renewable Energy*, 35 (2010) 747–758.
- [10] Khan, M.J.; Iqbal, M.T.: “Analysis of a small wind-hydrogen stand-alone hybrid energy system”, *Applied Energy*, 86 (2009) 2429–2442.

- [11] Kusiak, A.; Zheng, H.: “Optimization of wind turbine energy and power factor with an evolutionary computation algorithm”, *Energy*, 32 (2009) 1–9.
- [12] Demiroren, A.; Yılmaz, U.: “Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gokceada, Turkey: An island example”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010) 323–333.
- [13] Li, X.; Lopes, L.A.C.; Williamson, S.S.: “On the Suitability of Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Charging Infrastructures Based on Wind and Solar Energy”, *Power & Energy Society General Meeting*, Calgary, USA, (2009) 2546-2552.
- [14] Engin, M.; Çolak, M.: “Analysing Solar-Wind Hybrid Power Generating System”, *Journal of Engineering Sciences*, 11 (2005) 225-230.
- [15] Tsao, J.Y.: “Solid-state lighting: lamps, chips, and materials for tomorrow”, *Circuits and Devices Magazine IEEE*, 20 (2004) 28–37.
- [16] Çolak, İ.; Sefa, İ.; Bayındır, R.; Demirtaş, M.: “Design of Led Armature Based on Solar Energy”, *Journal of Polytechnic*, 10 (2007) 347-352.
- [17] Huang, B.J.; Tang, C.W.; Wu, M.S.: “System dynamics model of high-power LED luminaire”, *Applied Thermal Engineering*, 29 (2009) 609–616.
- [18] Guan, R.; Tian, D.; Wang, X.: “Design and Implementation of LED Daylight Lamp Lighting System”, *Electronic Packaging Technology & High Density Packaging International Conference on*, Shanghai, China, (2008) 457-461.
- [19] Grubor, J.; Randel, S.; Langer, K.D.; Walewski, J.W.: “Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting”, *Journal Of Lightwave Technology*, 26, December (2008) 745-750.
- [20] Yeh, N.; Chung, J.P.: “High-brightness LEDs Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, (2009) 2175–2180.
- [21] Lagorse, J.; Paire, D.; Miraoui, A.: “Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery”, *Renewable Energy*, 34 (2009) 683–691.
- [22] Choi, A.S.; Kim, C.H.; Park, B.C.; Song, K.D.; Kim, Y.S.: “Preliminary study on luminous intensity distribution modeling of the dome pendent prismatic luminaire and application of optimization techniques”, *Building and Environment*, 42 (2007) 48-53.

- [23] Aoyama, Y.; Yachi, T.: “An LED Module Array System Designed for Streetlight Use”, *IEEE Energy Conference on*, Atlanta, USA, 17-18 November (2008) 1-4.
- [24] Jang, S.; Shin, M.V.: “Thermal Analysis of LED Arrays for Automotive Headlamp With a Novel Cooling System”, *IEEE Transactions On Device And Materials Reliability*, 8 (2008) 561-564.
- [25] Linnartz, J.P.G.; Feri, L.; Yang, H.; Colak, S.B.; Schenk, T.C.W.: “Communications and Sensing of Illumination Contributions in a Power LED Lighting System”, *Communications International Conference on*, Beijing, China, (2008) 1-8.
- [26] Lee, K.M.; Li, Q.; Daley, W.: “Effects of Classification Methods on Color-Based Feature Detection With Food Processing Applications”, *IEEE Transactions On Automation Science And Engineering*, 4, (2007) 40-51.
- [27] Zhou, J.: “Experimental investigation on the performance characteristics of white LEDs used in illumination application”, *Power Electronics Specialists Conference*, Orlando, USA, (2007) 75-81.
- [28] Altuncu, D.; Tansel, B.: “Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Hastanelerde Kullanımı”, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, İzmir, 7-8 Mayıs (2009) 265-272.
- [29] Lyons, S.: “Lighting for Industry and Security”, *A Handbook for Providers and Users for Lighting*, A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd, London, (1992) 100-112.
- [30] Sugiyama, H.; Haruyama, S.; Nakagawa, M.: “Brightness Control Methods for Illumination and Visible-Light Communication Systems”, *Wireless and Mobile Communications Third International Conference on*, Guadeloupe, (2007) 1-6.
- [31] Bo, F.; Zhengming, Z.; Yingchao, Z.; Deji, Z.; Liqiang, Y.: “Intelligent Controller for LEDs Lighting Systems Supplied by Batteries”, *Vehicle Power and Propulsion Conference*, Harbin, (2008) 68-73.
- [32] Yu, L.; Yang, J.: “The Topologies of White LED Lamps' Power Drivers”, *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, Hong Kong, China, (2009) 1-4.

- [33] Jiaying, L.; Xiaobo, W.: “A Novel Multiple Modes PWM Controller for LEDs”, *Circuits and System. IEEE International Symposium on*, Taipei, (2009) 1767-1770.
- [34] Yang, L.; Hu, J.; Shin, M.W.: “Degradation of high power LEDs at dynamic working conditions”, *Solid-State Electronics*, 53, (2009) 567–570.
- [35] Chiu, H.J.; Cheng, S.J.: “Design considerations of an SEPIC PFC converter for driving, multiple lighting LED lamps”, *WILEY International Journal Of Circuit Theory And Applications Int. J. Circ. Theor. Appl.*, 37, (2009) 928–940.
- [36] Sağlam, Ş.: “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık İle Kontrolü”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2006) 30-32.
- [37] Long, X.; Zhou, J.: “An Intelligent Driver for Light Emitting Diode Street Lighting”, *Automation Congress*, Hawai, USA, (2008) 1-5.
- [38] Yang, H.; Bergmans, J.W.; Schenk, T.C.: “ Illumination Sensing in LED Lighting Systems Based on Frequency-Division Multiplexing”, *IEEE Transactions On Signal Processing*, 57, November (2009) 788-795.
- [39] Wang, G.; Wang, Z.; Gu, S.: “The Design of Fuzzy Control System for Power-Saving Lighting on MATLAB”, *Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, China, 6, (2009) 455-458.
- [40] Sulaiman, F.; Ahmad, A.; Kamarulzaman, M.S.: “Automated Fuzzy Logic Light Balanced Control Algorithm Implemented in Passive Optical Fiber Daylighting System”, *Artificial Intelligence Machine Learning International Conference*, Egypt, (2006) 33-40.
- [41] Jin, M.L.; Ho, M.C.: “Labview-Based Fuzzy Controller Design of a Lighting Control System”, *Journal of Marine Science and Technology*, 17, (2009)116-121.
- [42] Çolak, İ.; Bayindir, R.; Sefa, İ.; Demirbaş, Ş.; Ergen, H.: “ Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, Türkiye, 19-21 Ekim (2005) 267-277.
- [43] Gürbüz, A.: “The Role And Importance Of Renewable Energy Sources In The Market”, *V. International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs (2009) 364-374.

- [44] Karadağ, Ç.; Gülsaç, I.; Ersöz, A.; Çalışkan, M.: “Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 5, Mayıs (2009) 24-27.
- [45] İrkıçatal, B.O.: “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” *Orman Biyokütlesi ve Biyoenerji Çalıştayı*, Kastamonu, Türkiye, 25-26 Şubat (2010) 287-299.
- [46] Keçel, S.; Yavuzcan, H.: “Türkiye’deki Bölgesel Sıcaklık Değişimlerinin Güneş Panellerinin Verimliliğine Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, (2008) 12-20.
- [47] Keçel, S.: “Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri ile Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2007) 78-83.
- [48] Quaschnig, V.: “Understanding Renewable Energy Systems”, *CPL Press Publishing*, Newbury, UK, (2005) 117-118.
- [49] Güven, Ş.Y.: “Güneş Pil Destekli Çevre Aydınlatma ve Sulama Sisteminin Örnek Bir Uygulaması”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48 (2006) 46-48.
- [50] Boyle, G.: “Solar Photovoltaics Renewable Energy Power for a Sustainable Future”, *Oxford University Press*, 1st edition, New York, USA, (2004) 66–83.
- [51] Alaçakır, T.F.: “Didim Şebeke Bağlantılı Güneş Plili Sistemi”, *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara, Türkiye, 3, (2001) 1-3.
- [52] Çıtıroğlu, A.: “Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 85, (2000) 1-5.
- [53] Nelson, J.: “The Physics of Solar Cells”, *Imperial College Press*, 1st edition, UK, (2000) 140-143.
- [54] Habitat İçin Gençlik Deneği: “Enerji Güneş Pilleri”, <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/gunespilleri/gunespilleri.html> (12.09.2009).
- [55] Gilbert, M.M.: “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, *John Wiley & Sons Hoboken Press*, USA, (2004) 471-486.
- [56] Oktik, Ş.: “Fotovoltaik Güneş Pilleri ve Güç Sistemleri; Dünü Bugünü Yarını”, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 8. Enerji Kongresi*, Ankara, Türkiye, (2000) 47-55.

- [57] Türkiye Cumhuriyeti Çevre Bakanlığı: “Çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynakları, Güneş Enerjisi” , *Alt Grup Raporu*, Ankara, Türkiye, (2004) 27-33.
- [58] Kocaman, B.: “Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri”, *Birsen Yayınevi*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye, (2003) 195-196.
- [59] Demirer, E.: “Türkiyenin Yenilenebilir Enerji Politikası”, *Power & Electricity Eurasia Conference*, İstanbul, Türkiye, 24-25 Kasım (2009) 45-57.
- [60] Solar Millenium Alternative Energy Group: “Solar Systems”, <http://www.solarmillennium.de>, (25.03.2010).
- [61] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: “Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri”, <http://www.enerji.gov.tr>, (15.03.2010).
- [62] Türkyılmaz, O.: “Türkiye’nin Enerji Görünümü”, *Türkiye 11. Enerji Kongresi*, İzmir, Türkiye, 21-23 Ekim (2009) 64-72.
- [63] Demirtaş, M.: “ Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrid Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması”, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2007) 46-49.
- [64] DÇD Doğalgaz Isı Sistemleri Pazarlama ve Sanayi A.Ş: “Fotovoltaik Piller İle Elektrik Üretimi”, <http://www.dcdenergy.com>, (25.03.2010).
- [65] Burton, T.; Sharpe, D.; Jenkins, N.; Bossanyi, E.: “Wind Energy Handbook”, *John Wiley & Sons Ltd.*, England, (2001) 41-170.
- [66] Duru, H.T.; Öztürk, S.: “ Küçük ve Orta Güçlü Rüzgar - Güneş Elektrik Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinin Yenilenebilir Enerji Kullanımına Katkısı ve Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Karma Sistem Örneği”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, Türkiye, 19-21 Ekim (2005) 321-330.
- [67] Heath, M.; Walshe, J.; Watson, S.: “Estimating the Potential Yield of Small Building-mounted Wind Turbines”, *Wind Energy in Wiley Interscience*, 12, (2007) 271-287.
- [68] Fabrizio, E.; Carrado, V.; Filippi, M.: “A model to design and optimize multi-energy systems in buildings at the design concept stage”, *Renewable Energy*, 35, (2010) 644-655.
- [69] Muller, G.; Jentsch, M.F.; Stoddart, E.: “Vertical Axis Resistance Type Wind Turbines For Use in Buildings”, *Renewable Energy*, 4, (2009) 1407-1412.

- [70] Van Bussel, G.V.; Mertens, S.M.: “Small Wind Turbines For The Built Environment”, *The Fourth European & African Conference on Wind Engineering*, Prague, (2005) 1-9.
- [71] Günel, M.H.; Ilgın, H.E.: “Bir Mimari Tasarım Kriteri Olarak Rüzgar Enerjisi Kullanımı”, *Ege Üniversitesi Mimarlık Dergisi*, 7, (2008) 6-11.
- [72] Malkoç, Y.: “Türkiye Elektrik Enerjisi İhtiyacının Karşılmasında Rüzgar Enerjisinin Yeri”, *EMO Enerji Dergisi*, 3, Eylül (2007) 45-50.
- [73] Engin, M.: “Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji İle Su Pompalama”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41, (2004) 155-164.
- [74] Kıyak, İ.; Topuz, V.; Oral, B.: “Modeling of High Power Led Illumination Distribution Using Ann”, *6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Bursa, Türkiye, 5-8 Kasım (2009) 182-186.
- [75] Wendt, M.; Andriese, J.W.: “LEDs in Real Lighting Applications: from Niche Markets to General Lighting”, *Industry Applications Conference 41st IAS Annual Meeting*, USA, 5, (2006) 2601-2603.
- [76] Bai, Y.W.; Ku, Y.T.: “Automatic Room Light Intensity Detection and Control Using a Microprocessor and Light Sensors”, *Consumer Electronics IEEE Transactions on*, China, 54, August (2008)1173-1176.
- [77] Burgos, A.; Bilbao, J.; Miguel, A.: “An evaluation of illuminance measurements at Valladolid”, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69, June (2007) 939-946.
- [78] Guan, R.; Tian, D.; Wang, X.: “Design and Implementation of LED Daylight Lamp Lighting System”, *Electronic Packaging Technology & High Density Packaging International Conference on*, China, July (2008) 28-31.
- [79] Pinho, P.; Tetri, E.; Halonen, L.: “Synergies of Controller-Based LED Drivers and Quality Solid-State Lighting”, *Research in Microelectronics and Electronics Conference on*, Switzerland, (2006) 405-408.
- [80] Steigerwald, D.A; Bhat, J.C; Collins, D; Fletcher, R.M; Holcomb, M.O; Ludowise, M.J.: “ Illumination with Solid State Lighting Technology” , *IEEE JSel Top Quantum Electron*, 8, (2002) 310–320.
- [81] Nguyen, F.; Terao, B.; Laski, J.: “Realizing LED illumination lighting applications” , *Proc SPIE*, 5941, (2005) 31-37.

- [82] Carraro, G.: “Solving high-voltage off-line HB-LED constant current control circuit issues”, *IEEE Applied Power Electronics Conference*, Twenty Second Annual, Anaheim, USA, February (2007) 1316 – 1318.
- [83] Huh, W.J.; Schaff, L.F.; Eastman, S.J.: “Temperature dependence of performance of InGaN/GaN MQW LEDs with different indium compositions”, *IEEE Electron Device Lett.*, 25, February (2004) 61–63.
- [84] Kıyak, İ.; Oral, B.; Topuz, V.: “Effects Of Lighting Performance On Cooling For Power Led”, *11th European Lighting Conference*, İstanbul, Türkiye, 2, September (2009) 833-840.
- [85] Dynalite Technical Guide: “LED Control”, *Dynalite Intelligent Light Limited Publishing*, USA, (2006) 14-20.
- [86] Omiya, H.: “Structural, Electrical Optical Characterization of High Brightness Phosphor-Free White Light Emitting Diodes”, *Degree Doctor of Philosophy*, Arizona State University, USA, (2006) 3-4.
- [87] Osram Opto Semiconductors GmbH.: “Thermal Management of OSTAR® Projection Light Source Application Note”, *Osram Opto Semiconductors GmbH Press*, Germany, (2006) 24-30.
- [88] Wang, D.X.: “Optoelectronic Device Simulation: Optical Modeling For Semiconductor Optical Amplifiers And Solid State Lighting”, *Doctor of Philosophy*, School of Electrical & Computer Engineering Georgia Institute of Technology, USA, May (2006) 65-69.
- [89] Christensen, A.; Graham, S.: “Thermal Effects In Packaging High Power Light Emitting Diode Arrays”, *Elsevier Applied Thermal Engineering*, 29, (2009) 364–371.
- [90] Cooper, J.: “Driving LED Lamps”, *LEDs Magazine PennWell Corporation Technology Group Publishing*, USA, August (2007) 94-98.
- [91] Cree Semiconductors: “X Lamp Thermal Management Projection Light Source Application Note”, *Cree Semiconductors GmbH Publishing*, USA. (2006) 45-48.
- [92] Bechoua, L.; Rehiouia, O.; Deshayesa, Y.; Gilardb, O.; Quadrib, G.; Ousten, Y.: “Measurement Of The Thermal Characteristics Of Packaged Double-Heterostructure Light Emitting Diodes For Space Applications Using Spontaneous Optical Spectrum Properties”, *Elsevier Optics & Laser Technology*, 40, (2008) 589-601.

- [93] Lin, Y.; Tran, N.; Zhou, Y.; He, Y.; Shi, F.: “Materials Challenges and Solutions for the Packaging of High Power LEDs”, *International Microsystems Packaging Assembly Conference*, Taiwan, (2006) 735-739.
- [94] Osram Opto Semiconductors GmbH: “Life Expectancy of LED Modules”, *Osram Opto Semiconductors GmbH Publishing*, Germany, (2008) 52-55.
- [95] Narendran, N.; Yimin, G.: “Life of Led based white light sources”, *Journal of Display Technology*, 1, (2005) 167-171.
- [96] LED Luminaire Design Guide, : “LED Application Series: Recessed Downlights”, *Cree, Inc Publication*, Energy Efficiency and Renewable Energy, USA, (2007) 32-36.
- [97] Huang, B.J.; Hsu, P.C.; Wu, M.S.; Tang, C.W.: “Study Of System Dynamics Model And Control Of A High-Power Led Lighting Luminaire”, *Elsevier Energy*, 32, (2007) 2187-2198.
- [98] Sirel, Ş.: “Aydınlığın Niteliği”, *Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü Yayınları*, İstanbul, 4, (1992) 26-31.
- [99] Klir, G.J.; Yuan, B.: “ Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications”, *Prentice Hall Press*, NJ, USA, (1996) 164-167.
- [100] Tanaka, K.: “An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications”, *Springer Verlag Press*, NJ, USA, (1998) 16-17.
- [101] Jamshidi, M.; Vadiiee, N.; Ross, T.: “ Fuzzy Logic and Control” , *Software and Hardware Applications Conference*, USA, (1993) 264-271.
- [102] Baba, A.F.: “İTU Triga Mark-II Reaktörünün Bulanık Kontrolü”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1995) 94-97.
- [103] Ross, J.T.: “ Fuzzy Logic with Engineering Applications”, *McGraw Hill Inc Press*, USA, (1995) 87-91.
- [104] Kosko, B.: “Fuzzy Engineering”, *Prentice Hall Press* ,NJ, USA, (1997) 51-53.
- [105] Yen, J.; Langari, R.; Zadeh, L.A.: “Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems”, *IEEE Press* ,NY, ABD, (1995) 132-135.
- [106] Linkens, D.A.; Nyongesa, M.: “ Genetic Algorithms for Fuzzy Control Part 1: Offline systems development and applications”, *IEE Proc.-Control Theory Applications*, U.K., 142 (1995) 365-372.

- [107] Topuz, V.: “Bulanık Genetik Proses Kontrolü”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2002) 68-76.
- [108] Mathworks Corp.: “Fuzzy Logic Toolbox User Guide”, *Mathworks Corp. Press*, USA, (1998).
- [109] Jang, R.J.S.; Sun, C.T.; Mizutani, E.: “Neuro Fuzzy and Soft Computing”, *Prentice Hall Press*, NJ, ABD, (1997) 23-26.
- [110] Genceli, O.: “Ölçme Tekniği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (2000) 97-102.
- [111] Elektrik Mühendisleri Odası: “AG ve OG Şebekelerde Gerilim Düşümü Hesapları”, *Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, Türkiye (2003) 17-20.
- [112] Aybers, N.; Şahin, B.: “Enerji Maliyeti”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1995) 116-121.
- [113] Enarun, D.; Durmaz, H.: “Konut Aydınlatmasında Floresat Lambanın Yeri”, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 350, (1998) 339-340.

EK-1

TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN YAYINLAR

- 1- Kıyak, İ.; Oral, B.; Topuz, V.: “Effects Of Lighting Performance On Cooling For Power Led”, *11th European Lighting Conference*, İstanbul, Türkiye, 2, September (2009).
- 2- Kıyak, İ.; Oral, B.; Topuz, V.: “Yerleşim Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Kullanımının Yaygınlaştırılması: Bina Montajlı Rüzgar Türbinleri”, *Türkiye 11. Enerji Kongresi*, İzmir, Türkiye, 21-23 Ekim (2009).
- 3- Kıyak, İ.; Topuz, V.; Oral, B.: “Modeling of High Power Led Illumination Distribution Using Ann”, *6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Bursa, Türkiye, 5-8 November, (2009).
- 4- Kıyak, İ.; Topuz, V.; Oral, B.: “Modelling of Dimable High Power Led Illumination Distribution Using Anfis on the Isolated Area”, *Expert System with Application*, ISSN:0957-4174, (2010), (Değerlendirme Aşamasında).

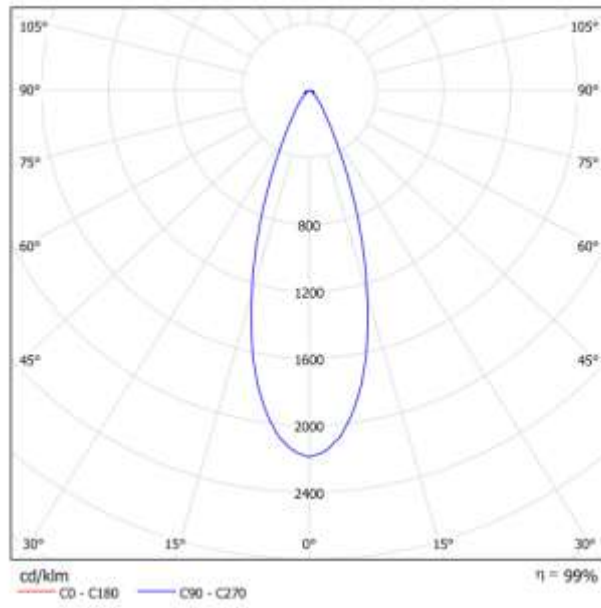
EK-2

COINSTAR W4 LED MODÜL IŞIK YAYIMI DEĞERLERİ

Işıklık Sınıflandırma, DIN: A60

CIE Akı Kodu: 90 94 99 100 101

Işık yayımı 1:



Işık yayımı 1:

UGR'ye göre kamaşma değerlendirilmesi											
μ Tavan	75	70	50	30	70	70	50	30	70	30	
μ Duvarlar	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
μ Zemin	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Oda büyüklüğü		Bakış yönü enlemesine				Bakış yönü boylamasına					
X	Y	Lamba eksenine				Lamba eksenine					
2H	2H	13.1	13.8	13.3	14.0	14.2	13.1	13.8	13.3	14.0	14.2
	3H	14.8	15.5	15.1	15.7	16.0	14.8	15.5	15.1	15.7	16.0
	4H	16.3	16.9	16.6	17.2	17.4	16.3	16.9	16.6	17.2	17.4
	6H	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8
	8H	17.8	18.4	18.1	18.7	19.0	17.8	18.4	18.1	18.7	19.0
4H	2H	13.5	14.2	13.8	14.4	14.7	13.5	14.2	13.8	14.4	14.7
	3H	15.7	16.3	16.1	16.6	16.9	15.7	16.3	16.1	16.6	16.9
	4H	17.5	18.0	17.9	18.3	18.7	17.5	18.0	17.9	18.3	18.7
	6H	19.0	19.4	19.4	19.8	20.2	19.0	19.4	19.4	19.8	20.2
	8H	19.3	19.6	19.7	20.0	20.4	19.3	19.6	19.7	20.0	20.4
8H	2H	18.2	18.8	18.6	19.0	19.4	18.2	18.8	18.6	19.0	19.4
	3H	19.8	20.1	20.3	20.5	21.0	19.8	20.1	20.3	20.5	21.0
	4H	20.1	20.3	20.5	20.8	21.2	20.1	20.3	20.5	20.8	21.2
	6H	20.1	20.3	20.6	20.8	21.3	20.1	20.3	20.6	20.8	21.3
	8H	18.3	18.6	18.7	19.0	19.5	18.3	18.6	18.7	19.0	19.5
12H	4H	19.9	20.1	20.4	20.6	21.1	19.9	20.1	20.4	20.6	21.1
	6H	20.2	20.4	20.7	20.8	21.3	20.2	20.4	20.7	20.8	21.3
	8H	20.2	20.4	20.7	20.8	21.3	20.2	20.4	20.7	20.8	21.3
Işıklık açılardan S ışık gücü oranı konusundan değeri											
S = 1.0H	+0.4 / -0.3				+0.4 / -0.3						
S = 1.5H	+1.1 / -0.4				+1.1 / -0.4						
S = 2.0H	+1.7 / -0.6				+1.7 / -0.6						
Standart sınıfı	B009				B009						
Düzeltilme için	3.2				3.2						
Düzeltilmiş kamaşma sınıfı sınıfı değeri Z18'in Toplam ışık akısı											

ÖZGEÇMİŞ

İsmail KIYAK, 1977 Bolu'da doğdu. İlköğrenimini Paşaköy İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini 1993 yılında Bolu Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nde birincilikle tamamladı. 1996 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi (MÜTEF) Elektrik Eğitimi Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. Bir yıl Milli Eğitim Bakanlığı bünyesinde Bolu'da görev yaptı. 2001 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Aynı yıl MÜTEF Elektrik Eğitimi Bölümü Elektrik Makinaları Anabilimdalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Yrd. Doç.Dr. Fevzi KENTLİ danışmanlığında "Lineer Asenkron Motorlarda Uç Etkilerinin İncelenmesi" konulu yüksek lisans tezini tamamladı. 2007 yılında başladığı "Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistem Beslemeli Bir Mekanın LED'li Armatürler Kullanılarak Kontrolü" isimli doktora çalışmasını Yrd. Doç.Dr. Bülent ORAL birinci danışmanlığında ve Yrd. Doç.Dr. Vedat TOPUZ ikinci danışmanlığında sürdürmektedir. Halen aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir.