

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK AYDINLATMA**  
**SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜ**

**Şafak SAĞLAM**  
**(Teknik Öğretmen, MSc.)**

**DOKTORA TEZİ**  
**ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANLAR**  
**Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN**  
**Yrd.Doç.Dr. Hasan ERDAL**

**İSTANBUL 2006**

**T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK AYDINLATMA  
SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜ**

**Şafak SAĞLAM  
(Teknik Öğretmen, MSc.)  
(141201220000146)**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANLAR  
Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN  
Yrd.Doç.Dr. Hasan ERDAL**

**İSTANBUL 2006**

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABUL VE ONAY BELGESİ**

**ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK AYDINLATMA  
SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜ**

Şafak SAĞLAM'ın "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık ile Kontrolü" isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12.07.2006 tarih ve B.30.2.MAR.0.C1.00.00.sek./2111 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programında DOKTORA Tezi olarak Kabul edilmiştir.

<b>Danışman</b>	: Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN	Marmara Üniversitesi .....
<b>Üye</b>	: Prof.Dr. İrfan GÜNEY	Marmara Üniversitesi .....
<b>Üye</b>	: Prof.Dr. Semra ÖZTÜRK	Kocaeli Üniversitesi .....
<b>Üye</b>	: Prof.Dr. A.Korhan BİNARK	Marmara Üniversitesi .....
<b>Üye</b>	: Doç.Dr. B.Koray TUNÇALP	Marmara Üniversitesi .....

**Tezin Savunulduğu Tarih : 08.09.2006**

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile Şafak SAĞLAM'ın Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programında Doktora (Dr, PhD.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında yardımını hiç bir zaman esirgemeyen, destek ve teşviklerini her zaman Őükranla anacağım danışman hocam Sayın, Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN'e teşekkürü bir borç bilirim. Uygulama çalışmalarını sırasında destekleriyle pek çok sorunu aşmama katkısı bulunan danışman hocam Sayın, Yrd.Doç.Dr. Hasan ERDAL'a da teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında çeşitli konularda fikir ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli mesai arkadaşlarım Gökhan KOÇYİĞİT ve Nevzat ONAT'a, teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çeşitli konularda desteklerini gördüğüm mesai arkadaşlarım ve hocalarıma da teşekkür ederim.

**Haziran 2006**

**Şafak SAĞLAM**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
ÖZET .....	VII
ABSTRACT .....	IX
YENİLİK BEYANI .....	XI
SEMBOLLER LİSTESİ .....	XIII
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	XV
TABLolar LİSTESİ .....	XVIII
I. GİRİŞ .....	1
I.1. SİSTEMİN GENEL YAPISI.....	2
II. GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK DÖNÜŞÜM.....	5
II.1. GÜNEŞ İŞİNİMİ .....	7
II.2. SPEKTRAL ÖZELLİKLER.....	8
II.3. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ .....	9
II.4. ELEKTRİK ENERJİSİ UYGULAMALARI .....	10
II.4.1. Güneş Pili Teknolojileri .....	11
II.4.1.1. Fotonların Etkileri .....	11
II.4.1.2. Güneş Pili Kısımları.....	12
II.4.2. Güneş Pili Uygulamaları.....	16
II.4.2.1. Elektrik Enerjisi Kaynağı Olarak PV Sistem .....	17
II.4.3. Güneş ve Fotovoltaik Panel Açlıları .....	18

### III. AYDINLATMANIN AMACI VE KONTROL YÖNTEMLERİ20

III.1.	AYDINLATMANIN BİLEŞENLERİ .....	21
III.1.1.	Aydınlık Düzeyi .....	21
III.1.2.	Işık Şiddeti .....	21
III.1.3.	Parıltı .....	21
III.1.4.	Doğal Aydınlık Düzeyi.....	22
III.2.	AYDINLATMA KRİTERLERİ.....	22
III.2.1.	Parıltı ve Kontrast Duyarlılığı .....	22
III.2.2.	Düzensüzlük.....	23
III.2.3.	Kamaşma .....	23
III.2.4.	Yansıma .....	23
III.2.5.	Işık Kaynağı Rengi .....	24
III.2.6.	Modelleme.....	24
III.2.7.	Gölge .....	24
III.2.8.	Parıltı Oranları.....	25
III.2.9.	Adaptasyon .....	25
III.2.10.	Pencereler .....	26
III.3.	AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ.....	26
III.3.1.	Aydınlatmada Kontrol Stratejileri .....	27
III.3.1.1.	Zamanlama .....	27
III.3.1.2.	Bölgesel Kontrol.....	27
III.3.1.3.	Işık Akısı Kontrolü .....	28
III.3.1.4.	Doğal Aydınlatma .....	28
III.3.2.	Dahili Aydınlatmanın Otomatik Kontrolü .....	28
III.3.2.1.	Anahtarlama Yoluyla Kontrol .....	29
III.3.2.2.	Sürekli Ayarlamalı Kontrol .....	29
III.3.2.3.	Anahtarlama Ve Sürekli Ayarlamalı Kontrol .....	29
III.3.3.	Kumanda Sistemleri.....	30
III.3.3.1.	Manual Kontrol .....	30
III.3.3.2.	Otomatik Kontrol .....	30
III.3.3.3.	Bilgisayarlı Kontrol .....	30
III.3.4.	Aydınlatma Kontrolünün Yararları.....	31

<b>IV. BULANIK MANTIK.....</b>	<b>32</b>
<b>IV.1. BULANIK MANTIK KAVRAMI VE TARİHÇESİ.....</b>	<b>33</b>
<b>IV.2. BULANIK MANTIK KONTROLÜN ÜSTÜNLÜKLERİ.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2.1. Bulanık Mantık Kontrolün Teorik Üstünlükleri.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2.2. Bulanık Mantık Kontrolün Pratik Üstünlükleri .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2.3. Bulanık Mantık Kontrolünün Sakıncaları .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3. KURAL TABANI.....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3.1. Kontrol Kurallarının Sayısı .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3.2. Bulanık Kontrol Kurallarının Kaynakları .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4. KARAR VERME MANTIĞI.....</b>	<b>37</b>
<b>IV.4.1. Bulanık Gerçeklemenin Tanımlanması .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.4.2. Bileşke Operatörünün Tanımlanması.....</b>	<b>39</b>
<b>IV.4.3. Çıkarsama Mekanizmasının Belirlenmesi .....</b>	<b>40</b>
<b>IV.4.3.1. Birinci Tip Bulanık Çıkarsama .....</b>	<b>40</b>
<b>IV.4.3.2. İkinci Tip Bulanık Çıkarsama.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.4.3.3. Üçüncü Tip Bulanık Çıkarsama.....</b>	<b>41</b>
<b>IV.4.3.4. Dördüncü Tip Bulanık Çıkarsama.....</b>	<b>42</b>
<b>IV.5. DURULAMA STRATEJİSİ.....</b>	<b>42</b>
<b>IV.5.1. Maksimum Kriteri Metodu.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.2. Maksimumların Ortalaması Metodu (MOM) .....</b>	<b>43</b>
<b>IV.5.3. Ağırlık Merkezi Metodu.....</b>	<b>43</b>
<b>V. SİSTEM BİLEŞENLERİ .....</b>	<b>44</b>
<b>V.1. FOTOVOLTAİK PANELLER.....</b>	<b>44</b>
<b>V.1.1. Gerilim Düşümü Kontrolü.....</b>	<b>50</b>
<b>V.2. AKÜ GRUBU.....</b>	<b>51</b>
<b>V.3. ŞARJ REGÜLATÖRÜ.....</b>	<b>52</b>
<b>V.4. İNVERTER.....</b>	<b>52</b>

V.5.	DİJİTAL ANALOG VERİ GİRİŞ ÇIKIŞ KARTI.....	53
V.6.	AYDINLATMA TESİSATI .....	54
V.6.1.	Aydınlatma Armatürleri.....	57
V.6.2.	Aydınlatma Hesabı.....	57
VI.	ELEKTRONİK DEVRELER .....	61
VI.1.	RÖLE KONTROL KARTI.....	62
VI.2.	OPTİK İZOLASYON DEVRESİ.....	64
VI.3.	ŞARJ KONTROL DEVRESİ.....	66
VI.4.	LÜKSMETRE DEVRESİ .....	68
VII.	KONTROL SİSTEMİ .....	70
VII.1.	AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ.....	70
VII.2.	BULANIK KONTROLÖR TASARIMI .....	71
VII.2.1.	Hareket Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi .....	72
VII.2.2.	Akümülatör Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi .....	72
VII.2.3.	Aydınlık Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi .....	73
VII.2.4.	Bulanık Kontrol Kurallarının Belirlenmesi .....	73
VII.3.	BULANIK KONTROLÖR PROGRAMI.....	77
VII.3.1.	Kontrolör Girişleri .....	77
VII.3.2.	Kontrolör Çıkışları.....	79
VII.3.3.	Bulanık Kontrolör Kuralları .....	80
VIII.	DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	82
VIII.1.	DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜ ALETLERİ .....	83
VIII.2.	İŞİĞA DUYARLI DİRENÇ SENSÖRLÜ DEVRE İLE YAPILAN ÖLÇÜMLER.....	87



VIII.2.1.	Oda İçi Aydınlık Seviyesine Bağlı Yapılan Ölçümler .....	88
VIII.2.2.	Koridor Aydınlatma Armatürlerinin Etkisi .....	90
VIII.2.3.	Oda Dışı Aydınlık Seviyesine Bağlı Yapılan Ölçümler .....	91
VIII.2.3.1.	Ölçüm Sonuçlarının Analizi .....	95
VIII.2.4.	LDR Sensörlü Devrenin Tüm Gün Testleri.....	104
VIII.3.	FOTODİYOD SENSÖRLÜ DEVRE İLE YAPILAN ÖLÇÜMLER .....	108
VIII.4.	Ölçme Sonuçlarının Hata Analizi .....	114
IX.	FOTOVOLTAİK ENERJİLİ AYDINLATMA SİSTEMİNİN ENERJİ MALİYET HESABI.....	118
IX.1.	Alım Maliyetleri.....	118
IX.2.	İşletme Maliyetleri.....	119
IX.3.	Bakım ve Değişirme Maliyetleri.....	120
IX.4.	Enerji Maliyeti.....	121
X.	SONUÇ VE YORUMLAR .....	124
	KAYNAKLAR.....	127
	ÖZGEÇMİŞ.....	131

# ÖZET

## ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK AYDINLATMA SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜ

Gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu enerji talebini de gün geçtikçe arttırmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde konvansiyonel kaynakların yüksek oranda kullanılması ve bu kaynaklarında hızla tükenmeleri, yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmaları arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu ve sürekli olmaları fosil yakıtlar karşısında önemli bir avantajlarındanır.

Bulanık mantık ile yapılan kontrol sistemlerinin aydınlatmada kullanılması hem konfor hem de enerji tasarrufu açılarından avantaj kazandırmaktadır. Özellikle sistemin, ortamın aydınlık şiddetine ve harekete duyarlı olarak çalışması klasik anahtarlamalı kontrol sistemlerine göre önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmada, fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi akümülatör gruplarında depolanmaktadır. Aydınlatma amacı ile belirlenen doğu cephe laboratuvara, yüksek verimli floresant lambalarla yeni bir aydınlatma tesisatı döşenmiştir. Laboratuvara yerleştirilen hareket sensörü ve ışık seviyesini ölçen devre yardımı ile kontrol sisteminin giriş değişkenleri belirlenmektedir. Bilgisayarda gerçek zamanlı, olarak yapılan bulanık mantık kontrol sistemi ile laboratuvarın aydınlatması, kademeli olarak yapılmaktadır.

Aydınlatılması yapılan güç elektroniği laboratuvarının, haftalık ders programına bağlı olarak yapılan hesaplamalar ve ölçümler sonucunda bir haftalık sürede eski aydınlatma sisteminin 1,968 kwh, yeni sistemin ise 0,542 kwh enerji harcadığı belirlenmiştir.

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye çevrilerek depolandığı akümülatör grubunun kapasitesi 200 Ah'tir. Ölçümler sırasında bu kapasite değerinin tamamı kullanılmadığı için, şebeke desteğine hiç ihtiyaç duyulmamıştır. Aydınlatma sisteminde bir haftalık test sürecinde 22,824

Ah'lik kapasite kullanılmıştır.Yani aydınlatma sisteminde kullanılan enerjinin tamamı fotovoltaik paneller tarafından üretilmiştir.

Sonuç olarak; şebeke bağlantılı fotovoltaik aydınlatma sisteminin bulanık mantık ile kontrolü çalışmasında İstanbul Göztepe'de bulunan bir laboratuvar için ders saatlerinde ihtiyaç duyulan aydınlatmanın, gerekli aydınlatma düzeyini sağlayacak şekilde bulanık mantık kontrolörü kullanılarak yapılabildiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAPKO) tarafından desteklenen “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık ile Kontrolü” isimli proje ile paralel yürütülmüş ve sözkonusu proje 15.02.2006 tarihinde tamamlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Aydınlatma, Fotovoltaik Enerji, Bulanık Mantık, Enerji Tasarrufu

**Haziran 2006**

**Şafak SAĞLAM**

# **ABSTRACT**

## **GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC LIGHTING SYSTEM CONTROLLED BY FUZZY LOGIC**

Energy consumption is increasing with the technological development and world population. Researchs are increasing for renewable energy sources because of high usage percentage of conventional sources on electrical energy production. They are important advantages of renewable energy sources to be environment friendly and continuous against the fossil fuels.

The control systems which are using fuzzy logic have advantages both energy saving and comfort. Important amount of energy is being saved with movement and environment light level sensible systems.

Electrical energy which produced by photovoltaic panels, is stored at accumulator group. New illumination installation is set with high efficiency fluoresant lamps at laboratory. Control system inputs are determined with movement sensor and luxmeter circuit. The real time controller which is working on computer with fuzzy logic controller is made the staged control.

Electrical consumption of power electronic laboratory lighting system is determined with calculation and measurements, 1.968 kwh with old lighting system and 0.542 kwh with new one, depends on weekly lesson programme.

Accumulator group capacity is 200 Ah that stored electrical energy produced by photovoltaics. This capacity couldn't used during the measurement stage. For that reason system didn't need to grid connection. During the test week system used 22.824 Ah capacity. This mean whole of the system energy consumption produced by photovoltaics.

As a result of research that name is grid connected photovoltaic lighting system controlled by fuzzy logic, illumination of laboratory during the lesson hours is made at required lighting level, where located Goztepe-İstanbul.

This study executed parallel with the project "Grid Connected Photovoltaic Lighting System Controlled By Fuzzy Logic" that supported by Marmara University

Scientific Research Projects Commission (BAPKO) and the project completed at 15.02.2006.

Keywords : Illumination, Photovoltaic Energy, Fuzzy Logic, Energy Saving

**June 2006**

**Şafak SAĞLAM**

# YENİLİK BEYANI

Bu çalışma, elektrik enerjisini fotovoltaik paneller aracılığı ile üreten, şebeke bağlantılı, çalışma düzlemindeki aydınlık şiddetini bulanık mantık kontrolörü ile doğal aydınlatmaya bağlı olarak sabit tutan bir aydınlatma sisteminin ilk uygulamasıdır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisini, fotovoltaik paneller aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürüp, bu enerjiyi kullanılarak bir aydınlatma sisteminin çalıştırılması hedeflenmiştir. Üretilecek elektrik enerjisinin atmosferik ve coğrafi şartlar yüzünden kısıtlı olması sebebi ile sistem enerji tasarrufu ve aydınlatma konforunu optimize edecek şekilde tasarlanmıştır.

Aydınlatma sisteminde enerji tasarrufunu sağlamak amacı ile iki nokta dikkate alınmıştır. Öncelikli olarak aydınlatmada kullanılan armatür ve balastlar yüksek verimli yeni nesil ürünlerden seçilmiştir. İkinci olarak aydınlatma sisteminin kontrolü, gün ışığına ve harekete duyarlı olarak bulanık mantık kontrolörü kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede üretilen kısıtlı miktardaki elektrik enerjisi hem en verimli şekilde kullanılmış, hem de aydınlatma konforu sağlanmıştır.

Tez çalışmasında elektrik eğitimi ve elektrik sektörüne katkıda bulunulmuştur.

Elektrik sektörü açısından bakıldığında ise iki önemli gelişme sağlanmıştır. Fotovoltaik paneller kullanılarak yapılan deneyler tüm mevsim koşullarında, uzun süreli olarak yapıldığından İstanbul ili için panellerin çalışma koşulları ve verimleri de gözlenmiştir. Aydınlatma sisteminde kullanılan bulanık mantık kontrolörü gün ışığına ve ortamdaki harekete duyarlı olarak çalışmaktadır. Kontrolör çalışma düzlemindeki aydınlatma şiddetini sabit tutacak şekilde, ortamda hareket olduğu sürece, armatürleri kademeli olarak devreye alıp çıkartmaktadır. Aynı zamanda güneş enerjisinin kimyasal enerjiye çevrilerek depolandığı akümülatör gruplarının şarj seviyelerini de kontrol etmektedir. Şarj seviyesi sınır değerlerin altına düştüğünde sistemin beslemesini şebekeden sağlamaktadır.

Eğitim açısından katkısı incelendiğinde, söz konusu çalışmada eğitim yapılan bir laboratuvarın aydınlatılması yapılmıştır. Öğrencilerin içerisinde buldukları bir ortamda yapıldığı için, yaşayarak öğrenme sürecine katkı sağlamaktadır. Bu sayede

öğrencilerin aydınlatma kontrol sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları hakkında uygulamalı olarak bilgi edinmesi sağlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı bu çalışma, eğitime ve elektrik sektörüne yönelik özgün bir bilgi ve uygulama kaynağı olma özeliğini göstermektedir.

**Haziran 2006**

**Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN**

**Şafak SAĞLAM**

## SEMBOLLER LİSTESİ

- $A_1$  : İlk yılın ödeme değeri [€]
- $C_{TPV}$  : Toplam PV yatırım maliyeti [€]
- $C_{TKL}$  : Toplam klasik 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]
- $E_{KL}$  : Klasik sistemin harcadığı enerji [kwh]
- $FF$  : Pil doldurma faktörü (fill factor)
- $g_{PV}$  : PV sistem enerji maliyeti [€/kwh]
- $g_{KL}$  : Klasik sistem enerji maliyeti [€/kwh]
- $G$  : Pil aydınlık seviyesi [ $W/m^2$ ]
- $I$  : Fotovoltaik pil akımı [A]
- $I_0$  : Açık devre (boşta) pil akımı [A]
- $I_1$  : 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]
- $h_b$  : Batarya verimi [%]



- $h_i$  : İverter verimi [%]
- $h_w$  : İletim hattı verimi [%]
- $P$  : Elektriksel güç [W]
- $P$  : Enerji masrafının 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]
- $V_{ii}$  : İverter giriş gerilimi [V]
- $W$  : Enerji tüketimi [Ah]

# ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil I-1 Sistem Diyagramı .....	3
Şekil II-1 Güneş ve Dünya'nın Konumları .....	8
Şekil II-2 Tipik Güneş Pili Yapısı .....	11
Şekil II-3 Bir Pilde Fotonun Etki Olasılıkları.....	12
Şekil II-4 Güneş Pilinin Tabakaları .....	13
Şekil II-5 Kuzey Yarım Kürede Güneş Paneli Montaj Açısı .....	19
Şekil IV-1 Birinci Tip Bulanık Çıkarsamanın Grafikselsel Gösterimi .....	40
Şekil IV-2 İkinci Tip Bulanık Çıkarsamanın Grafikselsel Gösterimi .....	41
Şekil IV-3 Üçüncü Tip Bulanık Çıkarsamanın Grafikselsel Gösterimi .....	42
Şekil IV-4 Durulama Stratejileri Gösterilimi .....	43
Şekil V-1 Fotovoltaik Panellerin Görünümü. ....	45
Şekil V-2 Fotovoltaik Panellerden Elde Edilen Gerilimin Dalga Şekli. ....	50
Şekil V-3 Fotovoltaik Panellerin Yerleşim Planı.....	51
Şekil V-4 Akü Grubunun Görünüşü.....	51
Şekil V-5 Şarj Regülatörünün Görünümü .....	52
Şekil V-6 İnverter.....	53
Şekil V-7 Dijital Analog Veri Giriş Çıkış Kartının Bağlantı Üniteleri .....	54
Şekil V-8 Aydınlatma Tesisatı Krokisi .....	56
Şekil V-9 Calculux Programına Girilen Oda Değerleri .....	58
Şekil V-10 Armatür Yerleşim Planı .....	58
Şekil V-11 Üç Boyutlu Yerleşim Planı .....	59
Şekil V-12 Armatürlerin Işık akılarının Tablo Halinde Değerleri.....	59
Şekil V-13 Eş Aydınlatma Eğrileri .....	60
Şekil V-14 Doldurulmuş Eş Aydınlatma Eğrileri .....	60

<b>Şekil VI-1</b> Röle Kontrol Kartının Devre Şeması.....	<b>63</b>
<b>Şekil VI-2</b> Röle Kontrol Kartı .....	<b>63</b>
<b>Şekil VI-3</b> Optik İzolasyon Devresi Şeması.....	<b>65</b>
<b>Şekil VI-4</b> Optik İzolasyon Devresi.....	<b>65</b>
<b>Şekil VI-5</b> Şarj Kontrol Devresi Şeması .....	<b>67</b>
<b>Şekil VI-6</b> Şarj Kontrol Devresi .....	<b>67</b>
<b>Şekil VI-7</b> LDR İle Yapılan Lüksmetre Devresi .....	<b>68</b>
<b>Şekil VI-8</b> Fotodiyod Kullanan Lüksmetre Devresi .....	<b>69</b>
<b>Şekil VI-9</b> Cama Yerleştirilen Lüksmetre Devresi .....	<b>69</b>
<b>Şekil VII-1</b> Aydınlatma Kontrol Sisteminin Çalışma Diyagramı.....	<b>71</b>
<b>Şekil VII-2</b> Hareket Bilgisinin Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Kümeler .....	<b>72</b>
<b>Şekil VII-3</b> Akümülatör Seviye Bilgisinin Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Kümeler.....	<b>73</b>
<b>Şekil VII-4</b> Aydınlık Seviye Bilgisinin Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Kümeler ....	<b>73</b>
<b>Şekil VII-5</b> Matlab Tasarlanan Kontrolörün Genel Görünüşü .....	<b>77</b>
<b>Şekil VII-6</b> Kontrolör Girişindeki Hareket Bilgisi .....	<b>78</b>
<b>Şekil VII-7</b> Kontrolör Girişindeki Akümülatör Seviye Bilgisi .....	<b>78</b>
<b>Şekil VII-8</b> Kontrolör Girişindeki Aydınlık Seviye Bilgisi .....	<b>79</b>
<b>Şekil VII-9</b> Kontrolör Çıkışları.....	<b>80</b>
<b>Şekil VII-10</b> Bulanık Kontrolör Kurallarının Matlab’da Yazılması.....	<b>81</b>
<b>Şekil VIII-1</b> LX-103 Model Lüksmetrenin Sensor Spektrumu.....	<b>85</b>
<b>Şekil VIII-2</b> LX-11102 Model Lüksmetrenin Sensor Spektrumu.....	<b>86</b>
<b>Şekil VIII-3</b> Gün Işığına Bağlı Olarak LDR Çıkış Geriliminin Değişimi Grafiği ....	<b>90</b>
<b>Şekil VIII-4</b> Koridor Aydınlatma Armatürlerinin Etkilerinin Grafiği.....	<b>91</b>
<b>Şekil VIII-5</b> Aydınlatma Şiddetinin ve Devre Uçlarında Ölçülen Gerilimin Değişimi .....	<b>93</b>
<b>Şekil VIII-6</b> 14.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçümlerin Grafiği.....	<b>95</b>
<b>Şekil VIII-7</b> Grafiğin Bölgelere Ayrılarak Denklemlerinin Çıkartılması.....	<b>96</b>
<b>Şekil VIII-8</b> 14.05.2005 Tarihli Ölçümlerde Direkt Eğri Uydurma ile Çizilen Grafik .....	<b>98</b>
<b>Şekil VIII-9</b> LG1’in Devreye Gireceği Işık Şiddeti ve Gerilim Değeri .....	<b>102</b>
<b>Şekil VIII-10</b> LG1+LG2’nin Devreye Gireceği Işık Şiddeti ve Gerilim Değeri ....	<b>103</b>
<b>Şekil VIII-11</b> LG1+LG2+LG3’ün Devreye Gireceği Işık Şiddeti ve Gerilim Değeri .....	<b>103</b>
<b>Şekil VIII-12</b> 13.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm.....	<b>104</b>

<b>Şekil VIII-13</b> 14.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm.....	<b>105</b>
<b>Şekil VIII-14</b> 17.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm.....	<b>106</b>
<b>Şekil VIII-15</b> Işık Şiddeti-Gerilim İlişkisinin Karşılaştırılması .....	<b>107</b>
<b>Şekil VIII-16</b> 29.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm.....	<b>109</b>
<b>Şekil VIII-17</b> 05.06.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm.....	<b>109</b>
<b>Şekil VIII-18</b> Bulutlu ve Açık Günlerin Işık Şiddeti – Gerilim Karşılaştırması.....	<b>110</b>
<b>Şekil VIII-19</b> Güneşli ve Bulutlu Gün Değerlerinin Ortalaması.....	<b>111</b>
<b>Şekil VIII-20</b> Lüksmetre Devresinin Karşılaştırma Sonuç Grafiği.....	<b>113</b>
<b>Şekil VIII-21</b> Doğal Işık Şiddeti Altında Lüksmetre Devresi Geriliminin Karşılaştırılması.....	<b>114</b>
<b>Şekil VIII-22</b> 05.06.05 Tarihinde Yapılan Ölçümlerin Gausien Dağılımı .....	<b>117</b>

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo II-1</b> Türkiye'nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	<b>9</b>
<b>Tablo II-2</b> Türkiye'nin Bölgelere Göre Güneş Enerjisi ve Güneşlenme Dağılımı ...	<b>10</b>
<b>Tablo II-3</b> Güneş Pili Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Fiziksel Özellikleri.....	<b>15</b>
<b>Tablo II-4</b> Kuzey Yarım Küre İçin Aylık Deklinasyon Açıları .....	<b>19</b>
<b>Tablo III-1</b> Parıltı Oranları.....	<b>25</b>
<b>Tablo V-1</b> Fotovoltaik Modülü Etiket Değerleri .....	<b>45</b>
<b>Tablo V-2</b> Fotovoltaik Panellere Ait Güç Hesaplamaları .....	<b>47</b>
<b>Tablo V-3</b> Fotovoltaik Panellerin ve Akümülatör Kapasitesinin Hesaplanması.....	<b>48</b>
<b>Tablo V-4</b> İnvörtörün Elektriksel Özellikleri .....	<b>53</b>
<b>Tablo V-5</b> Floresant Lamba ve Elektronik Balast Teknik Özellikleri .....	<b>57</b>
<b>Tablo VI-1</b> Bilgisayardan Çıkan Kontrol Verileri.....	<b>62</b>
<b>Tablo VI-2</b> Bilgisayara Giren Kontrol Verileri.....	<b>64</b>
<b>Tablo VII-1</b> Hareket Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi.....	<b>72</b>
<b>Tablo VII-2</b> Akümülatör Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi.....	<b>72</b>
<b>Tablo VII-3</b> Aydınlık Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi.....	<b>73</b>
<b>Tablo VII-4</b> Bulanık Mantık Kural Tablosu .....	<b>76</b>
<b>Tablo VIII-1</b> LX-103 Model Lüksmetreye Ait Teknik Özellikler.....	<b>84</b>
<b>Tablo VIII-2</b> LX-1102 Model Lüksmetreye Ait Teknik Özellikler.....	<b>85</b>
<b>Tablo VIII-3</b> Enerji Analizörüne Ait Teknik Özellikler.....	<b>87</b>
<b>Tablo VIII-4</b> Farklı Aydınlatma Şekilleri İçin LDR'li Devre Çıkış Gerilimleri .....	<b>89</b>
<b>Tablo VIII-5</b> Koridor Aydınlatma Armatürlerinin Etkileri .....	<b>90</b>
<b>Tablo VIII-6</b> Doğal Aydınlatmanın Çalışma Düzlemi Üzerindeki Günlük Değişimi .....	<b>92</b>
<b>Tablo VIII-7</b> 14.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçümler .....	<b>94</b>

<b>Tablo VIII-8</b> Formüller Kullanılarak Bulunan Işık Şiddetleri.....	<b>99</b>
<b>Tablo VIII-9</b> Işık Şiddeti-Gerilim İlişkisinin Karşılaştırılması .....	<b>107</b>
<b>Tablo VIII-10</b> Bulutlu ve Açık Günlerin Işık Şiddeti – Gerilim Karşılaştırması ...	<b>110</b>
<b>Tablo VIII-11</b> Lüksmetre Devresinin Karşılaştırma Sonuçları .....	<b>112</b>
<b>Tablo IX-1</b> Fotovoltaik Enerjili Sistemin Alım Maliyeti .....	<b>119</b>
<b>Tablo IX-2</b> Klasik Aydınlatma Sisteminin Alım Maliyeti.....	<b>119</b>
<b>Tablo IX-3</b> Fotovoltaik Enerjili Sistemin Bakım-Değiştirme Maliyetleri.....	<b>121</b>
<b>Tablo IX-4</b> Klasik Sistemin Bakım-Değiştirme Maliyetleri.....	<b>121</b>
<b>Tablo IX-5</b> Toplam Maliyetler .....	<b>122</b>
<b>Tablo IX-6</b> Fotovoltaik Sistem ve Klasik Aydınlatma Sisteminin Karşılaştırılması .....	<b>122</b>

# BÖLÜM I

## I. GİRİŞ

Aydınlatma, insanlık tarihinde ateşin bulunması ile başlayan, mum ve yağ lambalarının kullanılması ile gelişen uzun bir süreçten geçmiştir. Bu sürecin sonucunda günümüzde kompakt floresant lambalara kadar gelinmiştir. Gelişim aşamaları içerisinde temel hedef güneş ışığına en yakın, konforlu ve ekonomik bir aydınlatma sistemine ulaşmak olmuştur.

Günümüzde kullanmakta olduğumuz aydınlatma sistemlerinin, temel enerji kaynağı elektriktir. Elektrik enerjisi ise sadece aydınlatma amaçlı olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle aydınlatma amaçlı olarak kullanılacak elektrik enerjisinin, alternatif enerji kaynaklarından karşılanması önem kazanmıştır. Aydınlatma için ihtiyaç duyulan güç değerlerinin, çok yüksek olmaması bu açıdan avantaj sağlamaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin yapıtaşını, güneş ışığından elektrik enerjisi üretilmesi için yarıiletken malzemelerden üretilen paneller oluşturur. Fotovoltaik panellerde üretilen elektrik enerjisi, şarj kontrol cihazlarından geçirilerek, depolanmak için akümülatör gruplarına veya yüke aktarılır.

Bulanık mantık ile çalışan kontrol sistemleri, giriş değişkenlerini kural tablosunda belirlenen kurallara göre inceleyerek, yine aynı kurallara göre belirlenen çıkış değerlerini verirler. Bu kontrolör sisteminde önemli olan değişkenlerin ara değerlerine göre karar verebilmesidir. Bu ara değerler klasik aç-kapa kontrol sistemlerinin cevap veremediği durumlarda da çıkış üretebilmektedir.

Gün ışığındaki değişimlere bağlı olarak, aydınlatılan ortamlardaki ışık şiddeti istenilen değerlerin çok üzerine çıkabilmektedir. Çünkü aydınlatma hesapları, çalışma düzleminde ihtiyaç duyulan ışık şiddetini yapay olarak armatürler kullanarak elde etmek için yapılmaktadırlar. Bu sebeple gün ışığı alındığı süre boyunca, gerekli aydınlık düzeyinin üzerinde bir ışık şiddeti oluşmaktadır.

Aydınlatmada konforu sağlamak, çalışma ortamında ihtiyaç duyulan aydınlatma şiddetini, uygun ışık renginde, gözü rahatsız etmeden elde etmekle mümkün olmaktadır. Çalışma ortamında ihtiyaç duyulan aydınlatma şiddetinin, belirlenen değerler içerisinde kalmasının sağlanması önemli bir problemdir. Bunun yapılması için iki yöntem kullanılmadığı; Armatürlerin ayarlanarak ışık şiddetinin değiştirilmesi ve Armatürlerin kademeli olarak devreye alınması.

## **I.1. SİSTEMİN GENEL YAPISI**

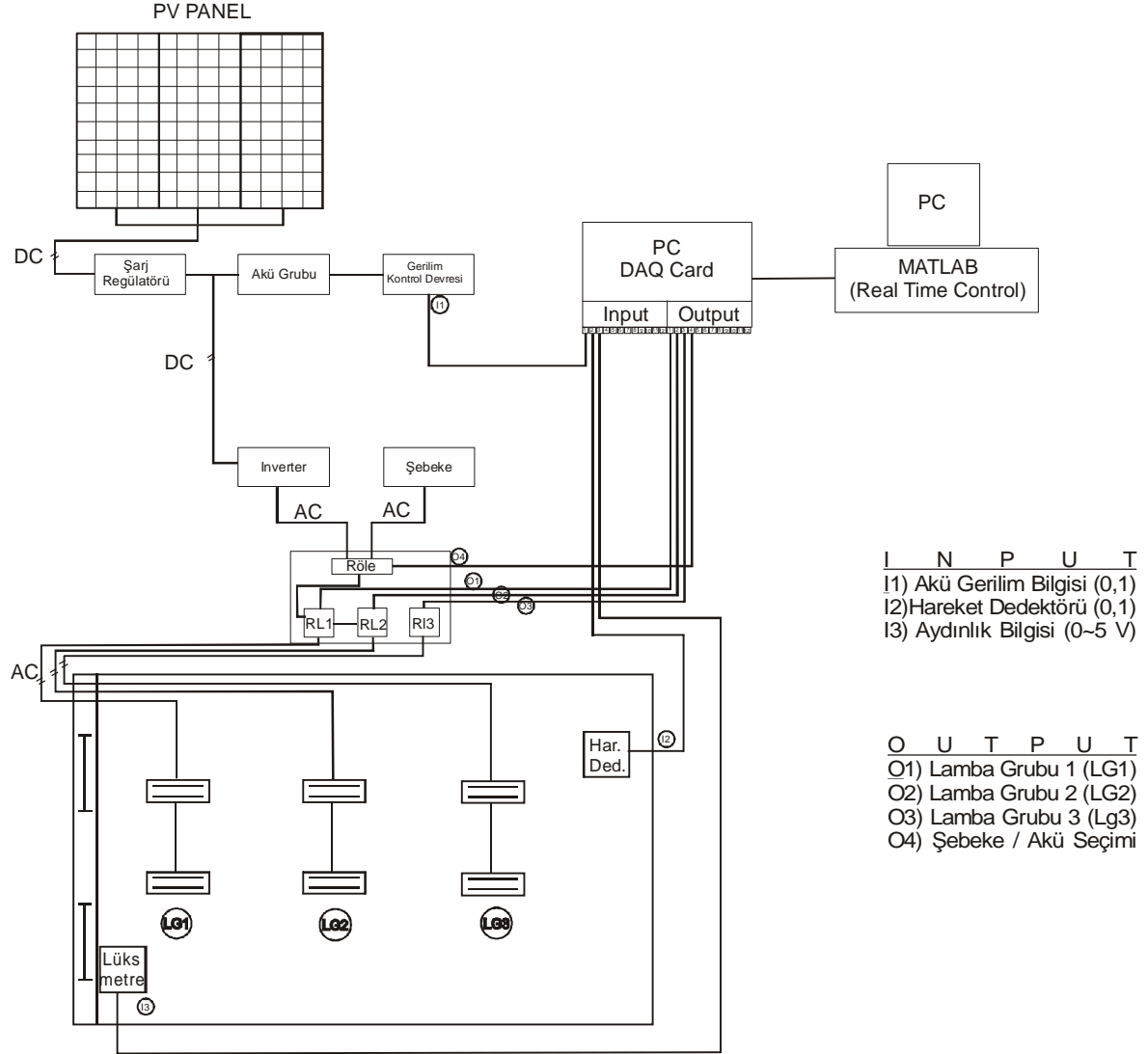
Bu çalışmada, fotovoltaik paneller kullanılarak üretilen elektrik enerjisi akümülatör gruplarında kimyasal enerjiye dönüştürülerek depolanmaktadır. Şarj kontrol cihazının çıkışından alınan doğru akım inverter kullanılarak, alternatif akıma dönüştürülmektedir. Röle kontrol kartı üzerinde, şebekeden gelen alternatif akım ile inverterden gelen alternatif akım arasında seçim yapılmaktadır. Seçilen kaynaktan alınan enerji üç kademe şeklinde düzenlenen armatürlere verilmektedir.

Laboratuvarın ışık şiddetini, ölçmek amacı ile fotodiyot kullanılarak dijital lüksmetre yapılmıştır. Güneş ışığının dahili ortam aydınlatması üzerine etkilerini belirlemek amacı ile deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu deneylerde, laboratuvarın dışarıya, doğu yönüne bakan camına, lüksmetrenin fotodiyotu iç ortamdan izole edilerek yerleştirilmiştir. Bilgisayara dijital analog veri giriş-çıkış kartı üzerinden, lüksmetrenin ürettiği gerilim bilgisi aktarılmıştır. Laboratuvarda çalışma düzlemi üzerinde, uygun pozisyona yerleştirilen iki adet lüksmetreden ölçülen, ışık şiddeti değerleri ile bu gerilim bilgileri kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ile ışık şiddeti – gerilim eğrileri çizilmiştir. Deneyler çeşitli hava koşullarında ve mart-haziran ayları arasında tekrarlanmıştır. Böylece mevsimlere ve farklı atmosfer koşullarına, bağlı olarak çeşitli eğriler elde edilmiştir. Bu eğrilerden, en kötü şart olarak tanımlanan bulutlu ve en iyi koşul olarak tanımlanan güneşli havalara ait olanlar seçilerek ortalamaları alınmıştır. Bulunan bu ortalama eğri üzerinden armatür gruplarının devreye gireceği kademelere ait gerilim değerleri tespit edilmiştir.

Bilgisayarda paket program kullanılarak yapılan bulanık mantık kontrolöründe, aydınlık seviyesi üç kademeye ayrılmıştır. Bu kademelerin her biri, çalışma düzlemi için gerekli aydınlık şiddetine karşılık gelen gerilim değerleri, üç bölgenin sınırları olarak belirlenmiştir.



Bilgisayara dijital analog veri giriş-çıkış kartı üzerinden, bilgi alınırken oluşabilecek muhtemel arızalarda kartın zarar görmemesi için güç devresinin bulunduğu röle kartı ve optik izolasyon devresinde optocoupler entegreleri kullanılmıştır.



**Şekil I-1 Sistem Diyagramı**

Sistemin diyagramı Şekil I-1’de verilmiştir. Diyagramda da görüldüğü gibi dijital analog veri giriş-çıkış kartı (DAQ) üzerinden bilgisayar aracılığı ile 3 giriş bilgisi (3 input), 4 çıkış bilgisi (4 output) kontrolü yapılmaktadır. Giriş bilgileri olan Akü Gerilim bilgisi ve Hareket bilgisi (0,1) yani (0, 5 volt) olarak yapılmaktadır. Bunun için akü gerilimi bir elektronik devre aracılığı ile ölçülmekte ve sonuç (0,5 volt) değerlerine dönüştürülmektedir. Hareket bilgisi için aydınlatılması yapılan laboratuvara, hareket sensörü yerleştirilmiştir. Sensörün çıkışında anahtarlama 220 volt alternatif akım ile yapılmaktadır. Bunun için bir elektronik devre üzerinde bobini 220 volt ile çalışan rölenin

kontakları ile 5 volt doğru akım anahtarlanmaktadır. Bu iki bilgi, dijital giriş bilgisi olarak kullanılmaktadır. Ortamın aydınlık bilgisi olarak, dijital lüksmetrenin çıkışından alınan 0-9 volt doğru akım bilgisi, gerilim bölücü ile bölündükten sonra R-C filtresinden geçirilerek analog bilgi olarak kullanılmaktadır.

## BÖLÜM II

# II. GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK DÖNÜŞÜM

Enerji, insanlığın oluşturduğu uygarlığın temelinde yatan yapıtaşlarından en önemlisidir. İnsanlık tarihi, enerjinin kullanım şekillerine göre gösterilen gelişim safhalarından oluşmaktadır. Bu gelişim dönemleri, insanlığı artan dünya nüfusu, gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar nedeni ile gittikçe daha fazla enerji tüketimine yönelmiştir.

Yoğun şekilde kullanılan enerji kaynakları incelendiklerinde, hemen tamamının fosil yakıtlara ve bunların işlenmiş türevlerine dayandıkları görülmektedir. Son yüzyıl içerisinde bu yakıtların tüketim artışı ile çok önemli sorunlar ortaya çıkmıştır. Bunların en önemlisi Dünya üzerinde sınırlı miktarda bulunan bu kaynakların tükenmekte oluşudur. Bir diğeri ise çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturdukları geri dönüşü olmayan tahribatlardır.

Sanayi toplumlarında bu sorunlar karşısında yeni enerji kaynakları arayışları başlamıştır. Yüzyılın ortasında kullanıma nükleer enerji umut verici görünse de, bugünkü teknolojisi ile ciddi sorunlara yol açmaktadır. Kömürün yerini petrol almış, ancak petrolün yerini nükleer enerji alamamış ve gelişen teknolojiye rağmen alması da oldukça zor gözükmektedir.

Alternatif enerji kaynakları olarak isimlendirilen kaynaklar arasında nükleer füzyon enerjisi ve güneş enerjisi parlak bir gelecek vaad etmektedirler. Nükleer füzyon enerjisinin elde edilmesi için gerekli olan temel yakıt kaynakları deuterium ve tritium doğada bol miktarda bulunduğundan kolay temin edilebilmektedir. Ayrıca nükleer füzyonda radyasyon sebebi ile meydana gelebilecek problemler en düşük seviyededir. Buna rağmen, nükleer füzyon teknolojisi dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir seviyeye ulaşamamıştır[1].

Yenilenebilir enerji, “doğanın kendi evrimi içerisinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanabilir. Hidrolik (su), güneş, rüzgar ve

jeotermal gibi doğal kaynaklar, yenilenebilir olmalarının yanı sıra temiz enerji kaynakları olarak ta karşımıza çıkmaktadırlar[2].

Güneş enerjisi gerek konvansiyonel enerji kaynakları gerekse de diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevreye en az zarar veren enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Kullanımı sırasında küresel ısınmaya sebep olan karbondioksit ve diğer sera gazlarından hiçbirini üretmez. Güneş ışınları dünyanın oluşumundan itibaren yeryüzündeki tüm biyolojik yaşam formları için ana enerji kaynağı olmuştur. Bu kaynak direk ve endirekt yollardan enerji dönüşümü ile canlıların yaşamak için ihtiyaç duydukları enerjiyi sağlamaktadır. Bu enerji kaynağının doğal yollar dışında, insanoğlunun yönlendirmesi ile çeşitli alanlarda kullanılması çalışmaları sonucu daha da önem kazanmıştır.

Kullanım şekilleri açısından bakıldığında bu enerjinin dönüşümü için ihtiyaç duyulan tek şey direkt olarak güneş görebilecek bir yerdir. Aktif kullanım sırasında güneş panellerinin yerleştirildiği yerler genelde binaların yan yüzeyleri ve çatılar, ve özel tasarlanmış direklerin üstleridir. Bu açıdan güneş ışınlarını engellemeleri gibi bir sorun olmamaktadır. Büyük güçlü elektrik enerjisi üretilen “güneş tarlaları” olarak isimlendirilen birçok panelin bir arada kullanıldığı enerji tesisleri ise daha çok güneş ışını alan çöl ve yüksek araziler seçilerek kuruldukları için tarım yapılmasına engel oluşturmamaktadırlar. Bu tip güneş panellerinin arkasında kalan yerler ise panellerin sabit olması nedeni ile günün yalnızca belirli saatlerinde karanlıkta kalmaktadırlar. Güneş’in konumuna bağlı olarak mutlaka ışık almaktadır. Bu nedenle iddia edildiği gibi ekolojik denge bozulmamaktadır.

Olası problemlere karşı önlem alınmaya dikkat edilirse, dönüştürücü sistem donanımının çevreye zarar vereceğine dair hiç bir ciddi neden yoktur. Bazı donanım üretim yöntemlerinde hidrojen selenit gibi zararlı malzemeler ve diğer yarı iletken cihazların üretiminde kullanılanlara benzer çözücüler kullanılır. Eğer üretim sırasında modern atık minimizasyonu ve geri kazanma teknikleri kullanılırsa riskler en düşük düzeye indirilebilir. Kadmiyum ve diğer ağır metalleri içeren modüllerin elden çıkarılması çevre problemleri yaratabilse de kullanım dışı kalan modüller, atık problemlerini en aza indirmek üzere ekonomik olarak geri kazanılabilir.

Tüm bu açıklanan olumsuzluklara rağmen bu yönlerin toplam zararı diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, en az zarar güneş enerjisi kullanımında ortaya çıkmaktadır. Bu söz konusu zararların tamamını çevre dostu malzemeler kullanımı ile ortadan kaldırılabilecek olması diğer önemli bir avantajdır[1][3].

## II.1. GÜNEŞ IŞINIMI

Güneş ve çevresinde belirli yörüngelerde dolaşan gezegenlerden oluşan güneş sistemi içinde yer alan dünya için, temel enerji kaynağı güneştir. Özellikle dünya da yaşayan canlılar için güneş, olmazsa olmaz bir kaynaktır.

Güneşin bazı özellikleri;

Kütlesi:  $2 \times 10^{30}$  kg (Dünyanın 330.000 katı)

Yarı Çapı:  $7 \times 10^8$  m (Dünyanın 109 katı)

Dünyaya Uzaklığı:  $150 \times 10^9$  m

Reaksiyon Tüketimi:  $564 \times 10^9$  kg H/sn

Yüzey Sıcaklığı:  $6000$  °K

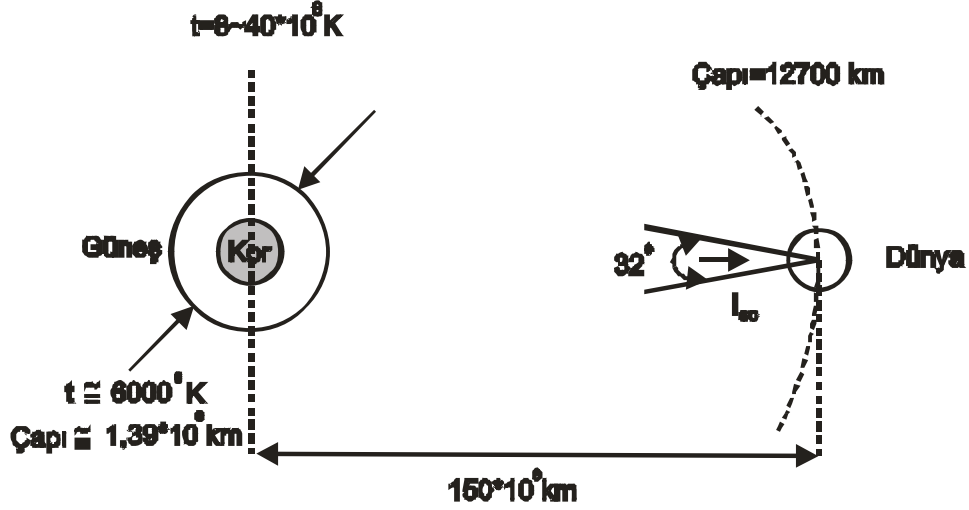
Dünyaya Bir Günde Gelen Enerji:  $1,5 \times 10^{22}$  W

Güneşten her saniye dünyaya ulaşan enerji yaklaşık  $173 \times 10^{17}$  W'tır. Bu rakam güneşin yaydığı enerji miktarı karşısında küçük görünse de günümüzde tüm dünyanın enerji tüketiminin 15-16 bin katıdır[4][5].

Güneş ışınımı genel olarak üç grupta incelenir; foton demetini hiç bir engelle karşılaşmadan, dolayısıyla enerji azalmadan, doğrudan geldiği “direkt ışınım”, bulut ve bunun gibi bir ortamdan geçtiğinde demetin yön değiştirmesi ve bir kısım enerjinin soğurulması sonrası oluşan “yaygın ışınım” ve bu ışınımların ikisini de içeren toplamlarına eşit olan “toplam ışınım” olarak tanımlanır.

Güneş ışınımı, elektromanyetik bir ışınım türü olarak tanımlanabilir. Bu ışınımın iki önemli özelliği, boşlukta ışık hızıyla yayılan bir dalga karakteri göstermesi ve yayılma için özel bir ortama gereksinim duymamasıdır. Güneş ışınımının dalga boyu 0,25 ila 2,6 mikrometre arasında olup; morötesi görünür ve kırmızıaltı bölgelerini kapsar. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının alacağı değerler, dünyanın güneşe olan konumu ile değişir[6].

(Şekil II-1)



Şekil II-1 Güneş ve Dünya'nın Konumları

## II.2. SPEKTRAL ÖZELLİKLER

Güneş 5762°K sıcaklıkta ışıyan siyah bir cisim olarak kabul edilir. Dünyanın güneşe olan uzaklığı kadar uzaklıkta bulunan ve güneş ışınlarına dik durumda bir yüzeye, birim zamanda gelen enerji miktarı güneş sabiti ( $I_{sc}$ ) olarak tanımlanır. NASA (National Aeronautics and Space Administration) uyduları yardımıyla yapılan son sağlıklı ölçümlere göre güneş sabitinin değeri  $1352,7 \text{ W/m}^2$  olarak saptanmıştır. Bu değeri daha önceleri Thekaekarn ve Drummond tarafından yapılmış  $1353 \text{ W/m}^2$  değeri ile yaklaşık aynıdır. Güneş ışınımı şiddeti dalga boyuna göre değişir. Buna göre atmosfer dışında elde edilmesi mümkün maksimum güneş enerjisi miktarı  $I_{sc}(l) = dI_{sc} / dl$  ile ifade edilir.

Güneş ışınımı dünya atmosferinden geçerken değişikliğe uğrar ve şiddeti azalır. Buna neden olan etkenler;

- Bulutların neden olduğu saçınım ve soğuma,
- Oksijen, ozon, karbondioksit ve su buharı gibi atmosfer gazlarının ışınımı soğurmaları,
- Işınımın dalga boyundan daha büyük veya eşdeğer boyutlardaki toz v.b. gibi parçacıklar nedeni ile saçınlanması (Mie saçınımı)
- Dalga boyundan çok daha küçük boyutlardaki parçaların ve hava moleküllerinin neden olduğu saçınım (Rayleigh saçınımı)

olarak sıralanabilir[5][6].

## II.3. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Ekvatorun  $30^0$  kuzeyi ve  $30^0$  güneyi arasında kalan bölgelere “güneş kemeri” adı verilir. Türkiye, içinde bulunduğu  $36^0$ - $42^0$  kuzey enlemleri bakımından bu kemere oldukça yakındır. Bu yakınlık ve kapladığı yüz ölçümü bakımından bir çok Avrupa ülkesinden daha fazla güneş enerjisinden faydalanma potansiyeline sahiptir.

Güneş enerjisi potansiyeli belirleme çalışmalarında elde edilen sonuçlara göre Türkiye ortalama günlük  $3,6 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$  ışınım şiddeti alabilmektedir. Bir yılda aldığı güneş enerjisi miktarı 88 milyar TEP kadardır. Bu enerji  $111,5 \text{ TWh}$ ’a karşılıktır. Türkiye’de 1995 yılında kurulu bulunan enerji santralleri gücünün 5.300 katından fazladır. Yine 1995 yılındaki enerji tüketiminin 1.286 katı, bilinen fosil rezervinin 32 katı ve bilinen petrol rezervinin 2.200 katıdır[7].

Ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları genel olarak sıcak su elde edilmesi alanında yapılmaktadır. Özellikle güney bölgelerimizin güneşlenme potansiyelleri çatı üstü sıcak su elde etme sistemleri için oldukça elverişlidir.

Tablo II-1 Türkiye’nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,82	103
Toplam	11,74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Bilinen doğal enerji potansiyelinin ancak binde birinin kullanılabildiği ve bu enerjinin neredeyse tümünün % 30 verimle çalışan sistemlerde sıcak su üretimi veya ısı üretimi gerçekleştirildiği varsayıldığında, Türkiye’nin güneş enerjisi teknik ısı enerji potansiyeli 26,4 milyon TEP/yıl olduğu görülmektedir.

**Tablo II-2 Türkiye'nin Bölgelere Göre Güneş Enerjisi ve Güneşlenme Dağılımı**

Bölgeler	Güneşlenme Süresi (saat)			Toplam Enerji (kWh/m <sup>2</sup> )		
	Yıllık Ortalama	En Yüksek (Haziran)	En Düşük (Aralık)	Yıllık Ortalama	En Yüksek (Haziran)	En Düşük (Aralık)
G.D. Anadolu	3015,8	407,2	126,1	1491,2	1980,35	729,03
Akdeniz	2923,2	360,4	100,9	1542,67	1868,95	475,5
Ege	2726,1	371,1	96,4	1406,61	1863,47	431,01
İç Anadolu	2711,5	381,3	97,6	1432,59	1854,78	411,72
D.Anadolu	2692,5	372,5	165,2	1398,43	1722,72	419,87
Marmara	2525,7	351,3	86,6	1144,17	1529,33	344,7
Karadeniz	1695,9	272,5	82,4	1086,29	1314,85	408,69

Tablo II-1 ve Tablo II-2 incelendiğinde, Türkiye'nin üretebileceği güneş enerjisi miktarı yıllık ortalama 1100 kWh'tir. Ortalama güneşlenme süresi 2500 saat, metrekaşe başına alınan yıllık ortalama enerji miktarı ise 1500 kWh/m<sup>2</sup>'dir[5][7][8].

## **II.4. ELEKTRİK ENERJİSİ UYGULAMALARI**

Elektrik enerjisi uygulamaları, güneş enerjisinden yararlanmada en yaygın kullanım alanı bulan uygulamalardır. Fiziksel özelliklerden dolayı düşük güçlerde elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan pek çok yerde kullanılmaktadır. Örnek uygulama alanları kol saatleri, hesap makineleri, TV-radyo link istasyonları, GSM ve mobil telefon yansıtıcıları, otoyollardaki ilkyardım telefonları vb yerlerdir. Daha büyük güçlerde ise güneş tarlaları veya güneş santralleri olarak adlandırılan büyük tesisler halinde inşa edilip enterkonnekte şebekeye bağlanabilmektedirler.

Işığın doğrudan elektrik enerjisine dönüşmesi fizikte Fotoelektrik olay olarak adlandırılan prensibe dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Günümüzde yarı iletken tabakalar güneş pili üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Basit bir şekilde ifade edersek güneş pili üzerine düşen güneş ışınları ile aktive olan yarı iletken madde atomları elektron aktarımı yaparak, pilin iki ucu arasında potansiyel bir fark oluşturmaktadır. Oluşan bu gerilim yaklaşık olarak sabit kalmakta ancak artan ışık şiddeti ile üretilen akım miktarı artmaktadır. Elde edilen elektrik enerjisinin gelen güneş enerjisine oranı ise güneş pilinin verimi olarak ifade edilmektedir. Klasik yarı iletken teknolojisi ile üretilen mono kristal tip güneş pilleri % 15-18 verimle çalışmaktadırlar[4].

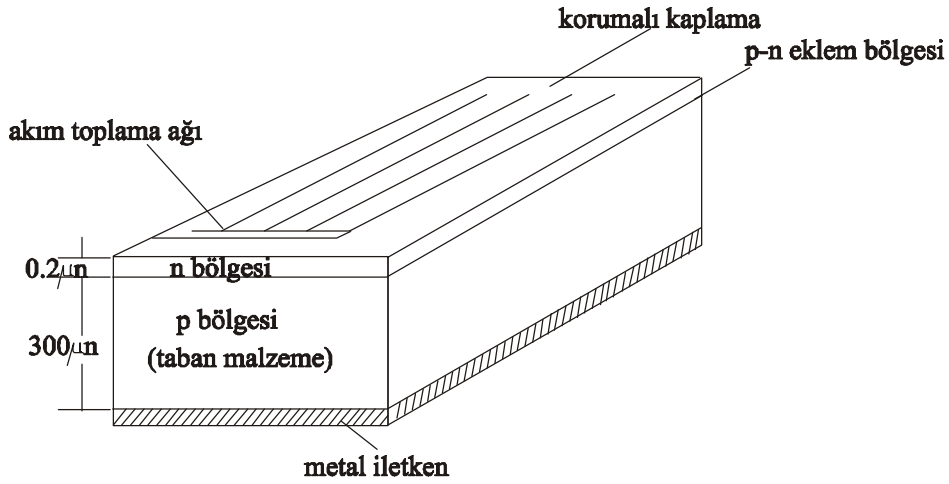


## II.4.1. Güneş Pili Teknolojileri

Güneş pillerinin yapısını inceleyebilmek için öncelikli olarak yarı iletken malzemelerin atom yapıları hakkında bilgi sahibi olmamız gerekir. Daha sonra ise pillerin dış yapısını oluşturup, onları çevrenin fiziksel etkilerinden koruyan kısımlar açıklanacaktır.

### II.4.1.1. Fotonların Etkileri

Fotovoltaik güneş pilleri, Şekil II-2’te görüldüğü gibi elektron delik çiftleri üretmek amacı ile çevresinde ışıksal uyarıya olanak sağlayan yarı iletken bir diyottur.

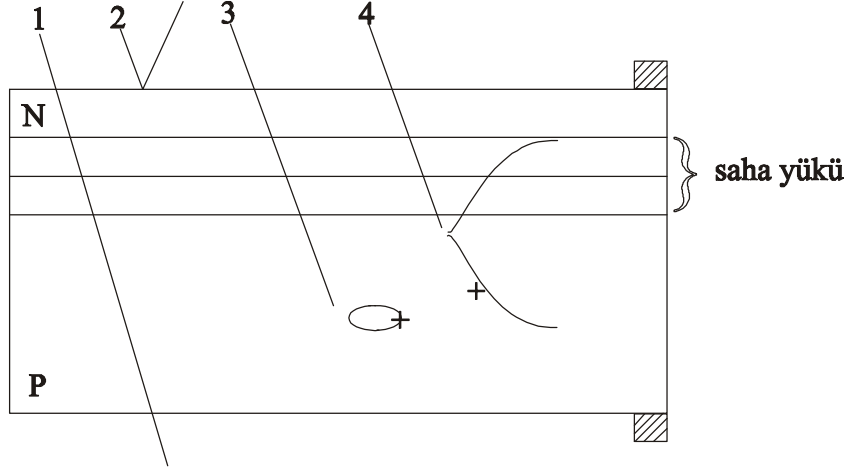


Şekil II-2 Tipik Güneş Pili Yapısı

Güneş ışınımı diyot eklemesinde bulunan potansiyel engel civarında yarı iletken malzemeye ulaştığında bir gerilim farkı yaratabilir. Güneş ışınımının geniş bir spektrumu vardır. Güneş piline ulaşan fotonların her biri, yarı iletken içinde taşıyıcılar (elektron ve delik) üretmeyebilir. Şekil II-3’da fotonun etki olasılıkları gösterilmektedir.

Şekil üzerinde de gösterildiği gibi şu olasılıklar vardır;

- 1) Foton, pil içinde bir elektron delik çifti oluşturmak için gerekli enerjiye sahip değildir. Bu durumda absorblanmaz.
- 2) Foton, pilin dış yüzeyinden yansır.
- 3) Foton, eklemden çok uzak bir noktada absorplanır ve üretilen taşıyıcılar potansiyel engelle ulaşmadan yeniden birleşirler.



**Şekil II-3 Bir Pilde Fotonun Etki Olasılıkları**

- 4) Foton, potansiyel engelden bir yayınımlı uzaklığı içinde elektron-delik çiftini oluşturur. Böylece taşıyıcılar elektrik alanı tarafından yönlendirilebilir.

İlk üç durum enerji çevrim mekanizmasının kayıplarını oluşturur. Sadece son oluşum elektrik enerjisi üretimi için yararlıdır.

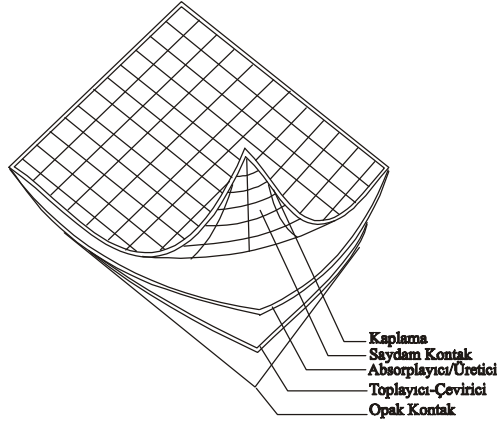
Fotonların etki olasılıkları burada açıklanırken koşulların ideal oldukları kabul edilmiştir. Oysa doğada fotonların fotovoltaiik panele ulaşmadan karşılaştıkları pek çok engel vardır.

Fotonlar atmosferden dünyamıza girdikten sonra geçtiği her atmosfer katmanının içerdiği gaz ve partikül yoğunluğuna bağlı olarak bir miktar enerjisini kaybeder. Bu kayıpların en önemlisi ise günümüzde sera etkisi nedeni ile atmosferde oluşan yüksek yoğunluklu karbondioksit ağırlıklı gazların oluşturdukları etkidir.

Bu etki nedeni ile atmosferdeki gaz yoğunluğu önemli oranda değiştiği için ışığın dalga boyu ve enerjisi çeşitli kırılma ve absorbelere sonucunda değişmektedir. Bunun yanı sıra fotovoltaiik panellerin üzerindeki koruyucu cam tabakası ve doğal koşullar nedeni ile oluşan kir tabakası da önemli etkenlerdendir[7][9].

#### **II.4.1.2. Güneş Pilinin Kısımları**

Bir güneş pilinin beş tabakasını gösteren genel bir taslak Şekil II-4 verilmiştir.



**Şekil II-4 Güneş Pili'nin Tabakaları**

Güneş pillerinin en önemli iki kısmı

- 1) Fotonları absorplayıp elektron-delik çifti üreten yarı iletken tabaka,
- 2) Üretilen taşıyıcıları toplayıp elektronların hareketini yönlendiren bir gerilim bölgesi oluşturur.

Absorplayıcı-üretici tabaka en önemli kısım olduğu için toplayıcı –çevirici ve diğer sistemler bu tabakanın metalürjik ve elektronik özelliklerine uyacak şekilde seçilir. Bu özellikler; örgü sabiti, ısıl genleşme katsayısıdır. Bu özellikler öncelikle toplayıcı-çevirici tabakayı etkilemektedir.

#### *2.a. Absorplayıcı-Üretici Tabaka*

Foton absorplayan ve azınlık taşıyıcısı üreten bu tabakanın önemli özellikleri; enerji aralığı, absorplama katsayısı ve azınlık taşıyıcı yayılım uzaklığıdır. Absorplama katsayısı gerekli olan malzeme kalınlığını belirler.

Özet olarak; ince-yaygı güneş pillerine, 1,0 ve 1,7 eV arasında bir enerji aralığı ile fotonların % 90'ını absorplamak için gerekli kalınlığı iki misli uzunluğunda bir yayılım uzaklığı, güneş ışığı absorplayıcısı ve azınlık-taşıyıcı üreticisinin en kritik özellikleridir. Bu kalınlık absorplama katsayısı tarafından belirlenecektir. Önemli olan diğer özellikler ise şunlardır:

- 1) Yarı-iletken ara yüzeyini oluşturmak üzere, tabakaya uygun katkı maddelerinin eklenmesini ayarlama yeteneği
- 2) Direnç güç kayıplarını en aza indirmek için yeterince düşük bir direnç geliştirme yeteneği
- 3) Güneş ışığının toplayıcı-çeviriciden uzaktaki yüzeyde absorplayıcı üretici yol ile pile girdiği durumda, yüzeyde yeniden birleşmeyi kontrol etme yeteneğidir.

### *2.b. Toplayıcı-Çevirici Tabaka*

Toplayıcı-çeviricinin temel görevi azınlık taşıyıcıların toplamak ve üretilen azınlık taşıyıcılarının uyarım enerjilerinin en yüksek olduğu gerilimde çoğunluk taşıyıcılarına çevirmektedir. Bu gerilimde, genellikle absorplayıcı-üreticinin enerji aralığının yarısı ve dörtte üçü arasında sınırlanmıştır.

Azınlık-taşıyıcı toplayıcısının, çoğunluk-taşıyıcı çeviricisine göre önemli özellikleri, karşıt iletkenlik tipinde olması ve absorplayıcı-üretici ile uyumlu bir elektron afinitesine sahip olmasıdır.

### *2.c. Güneş Pillerinin Elektriksel Yapıları*

Güneş pillerinde elektrik kontakları ve çevre ile etkileşimi düzenleyen bir örtü vardır. Genelde biri saydam diğeri opak olan elektrik kontakları kaplama ya da alt tabaka işlevini görebilir. Saydam kontak alt tabakayı oluşturacak ise, yapımında cam kullanılır. Opak kontak alt tabaka işlevi görecek ise, ince bir metal tabaka ile kaplanır[7][9].

#### ***Saydam Kontak***

Yarı iletkenlerin güneşe dönük yüzlerine saydam bir kontak yerleştirilir. Omik bir kontak oluşturması, ışıksal olarak, güneş ışığının en az % 90'ını geçirecek saydamlıkta ve toplam yapının seri direncini en aza indirecek bir akım taşıma kapasitesine sahip olması temel özellikleridir. Saydam kontakların iki tipi vardır. Kalay oksit veya İndiyum kalay oksit gibi iletici oksitler ve omik kontak işlevini de gören % 95 geçirgenliğe sahip açık metal ızgaralardır.

Saydam kontaklar oluşturulurken yarı iletkenin özelliklerinin değiştirmemesi için çaba harcanır. Saydam kontak olarak kullanılabilen metaller gümüş, gümüş titanyum-paladyum karışımları, altın, grafit, bakır, nikel ve krom sayılabilir.

#### ***Opak Elektrik Kontak***

Opak elektrik kontağının temel özelliği, saydam kontağın karşılığı olarak güneş pilinin diğer yüzeyinde bir elektrik bağlantısı sağlamasıdır. Bu elektrik bağlantısı omik ve az dirençli olmalıdır.

Opak kontak, yarı-iletken tabakaları genişleten bir alt tabaka işlevi de görebilir. Çoğu kez bakır veya çelik gibi ince-metal bir alt tabaka kullanılmaktadır. Bu durumda metal kontak cihazın bir yüzeyinde kaplama işlevini de görür. Alt tabaka olarak da görev

yapan bu kaplama, yarı iletken tabakalar ile uyumlu bir genişleme katsayısına sahip olmalıdır. Bir diğer önemli özellik ise ışığın absorplayıcı-üretici tabaka içinden geçişini etkileyen ışıksal yansıtma oranıdır.

Tablo II-3 Güneş Pili Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Fiziksel Özellikleri

Ab.-Ür./ Top.-Çev.	Yar.İl. Kalınlığı (10 <sup>-4</sup> cm)	Cihaz Alanı (cm <sup>2</sup> )	Absorb. En.Ara. (eV)	V <sub>oc</sub> (Volt)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	Fill Faktörü	Verim (%)	Aydınlanma Şiddeti (mW/cm <sup>2</sup> )
Si/Si	25	9	1,1	0,57	23,5	0,72	9,5	AM1
Cu <sub>2</sub> S/CdS	25	0,9	1,2	0,52	21,8	0,71	9,15	88
CdTe/CdS	8	0,1	1,44	0,75	14	0,58	8,7	70
Cu <sub>2</sub> S/ZnCdS	25	1,3	1,2	0,57	19,2	0,69	8,7	87
CuInSe <sub>2</sub> /CdS	1	1,2	1,04	0,49	25	0,54	6,6	100
GaAs/I-M	25	9	1,43	0,57	19,2	0,6	6,5	AM1
InP/CdS	25	0,25	1,3	0,46	13,5	0,68	5,7	74
a-Si/I-M	1	0,02	1,6	0,8	12	0,58	5,6	65
CdSe/ZnSe/Au	2	0,01	1,7	0,6	20	0,45	5	100
Cu <sub>2</sub> Te/CdTe	10	6	1,4	0,59	13	0,63	4,8	100
CuInS <sub>2</sub> /CuInS <sub>2</sub>	4	0,12	1,55	0,41	18,9	0,43	3,33	100
Zn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> /Mg	10	0,0025	1,5	0,43	13	0,45	3	83
InSe/Bi	10	-----	1,3	0,35	3	0,4	1,3	70
Cu <sub>2</sub> O/Cu	250	1	2	0,35	7	0,45	1,1	100
Merocyanine/Al	5	1	2	1,2	1,8	0,25	0,7	-----

### ***Kaplama***

Kaplamanın temel özelliği güneş pilini çevre etkilerinden korumasıdır. Güneş pilinin bir yüzünde yansıtma kayıplarını en aza indirecek, ışıksal saydam bir kaplama bulunmaktadır. Saydam kontak üzerine uygulanan kaplamalarda cam malzeme başarılı sonuçlar vermiştir. Bu malzeme, silisyum, oksijen ve diğer elemanların çok sayıdaki bileşiklerinden oluşturulabilmektedir. Bugün yaygın kullanımda olan sistemlerde, bu camlar güneş pillerine imalat sonunda eklenmektedir. Güneş pillerine doğrudan uygulanabilecek 5 µm kalınlığındaki entegre kaplamalar üzerinde çalışılmaktadır.

Saydam kontak işlevi de gören bir alt tabaka kullanılırsa, kaplama çevresel verim düşümünü önleme temel amacı ile bakır ve kurşun gibi opak bir tabaka veya metal tabakalardan oluşabilir.

## *Yansımaya Koruyucu*

Güneş pilleri için günümüzde kullanılan yarı iletken sistemlerin tümü  $\frac{3}{4}$  oranında yüksek kırılma oranlarına sahiptir. Bu ise yüzeyden %25-35 kadar bir yansımaya yol açar. Bu yüksek yansımaya kayıplarını engellemek için yansımaya koruyucu tabakalar gereklidir.

Yansımaya kayıplarını azaltmak için iki temel yaklaşım vardır;

- 1) Yarı iletken yüzeyinin işlenmesi, gelen fotonların çoklu yansımalarına ve net foton kaybının azalmasına sebep olur.
- 2) Çok tabakalı yansımaya koruyucu örtüler, yansımayı hem endeks uyumu hem de karışım etkilerini de azaltır.

### *2.d. Güneş Pillerinde Kayıplar*

Teorik olarak güneş pilleri bu malzemelerden yapılsaydı, verimleri %24'e ulaşabilirdi. Gerçek güneş pillerinde ise kayıplar nedeni ile daha düşük verimlerde çalışılabilir.

Bu kayıpların başlıcaları şunlardır;

- a) Işıksal Kayıplar; Güneş ışığı fotonlarının absorplanamaması ve azınlık taşıyıcılarının üretilememesinden kaynaklanan kayıplar,
- b) Elektrik Kayıpları; Fotovoltaik diyotların optimum elektrik parametrelerini düşüren kayıplar,
- c) Ara Yüzey Kayıpları; Beş tabakanın her biri için hacim kayıplarını ek olarak ortaya çıkan kayıplar

olarak sınıflandırılabilirler. Zamanla performansta görülen azalmalar ise tanımlanan hacim veya yüzey özelliklerindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır[10][11].

## **II.4.2. Güneş Pili Uygulamaları**

Güneş pillerinin görevi elektrik enerjisi üretmektir. Pillerden elde edilen enerjinin ise farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Elde edilen elektrik enerjisi, güneş tarlaları olarakta isimlendirilen çok sayıda PV panelin bir arada bulunduğu tesislerde üretilir ve elektrik şebekesine aktarılabilir. Bir başka kullanım şeklinde ise PV panellerden elde edilen enerji ile su pompası veya elektrik motorlu taşıtları çalıştırabilmektedir. Diğer bir kullanım şeklinde ise suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi çalışmalarında kullanılmasıdır.

### **II.4.2.1. Elektrik Enerjisi Kaynağı Olarak PV Sistem**

Güneş pilleri ile üretilen güç miliwatt (mW) düzeyinden megawatt (MW) seviyelerine kadar uzanmaktadır. Düşük güçlerde mW düzeyinde, yani çok düşük güçlerdeki uygulamalara örnek olarak saatlerde ve hesap makinalarında kullanılan güneş pilleri gösterilebilir. Yüksek güçlerde ise elektrik şebekesine uzak Tv yansıtıcıları ve haberleşme sistemleri, orman gözetleme istasyonları, petrol boru hattı katodik korumaları, fener kuleleri ve küçük yerleşim merkezleri ve ünitelerine (karakol, yazlık, çiftlik, otel, tatil köyü) enerji sağlama çalışmaları gösterilebilir.

Çok düşük güçlerdeki uygulamalarda enerji dengelenmesi için güneş piline bağlı bir normal pil yeterli olurken, daha büyük sistemlerde özel bir akümülatör tesisi, inverter ve özel durumlarda kullanılmak üzere bir dizel elektrojen grubu gerekli olmaktadır. Böyle bir uygulamaya örnek olarak, Fraunhofer Gesellschaft Freiburg/Almanya tarafından gerçekleştirilen ve orman içerisinde bulunan bir otelde uygulanan 4 kW gücündeki üretimin % 75'inin güneş pilleri, % 25'inin ise dizel jeneratör ile karşılanması verilebilir. Yapım tarihi itibari ile toplam 120.000 DM'a mal olan bu sistem gerekli enerjinin şebekeden karşılanması halinde maliyeti 380.000 DM olacaktır. Yine orta güç grubundaki birçok uygulamalarda, akü veya dizel elektrojen grubu yerine PV sistem şebekeye bağlanarak, enerji fazlası gündüzleri şebekeye aktarılırken, enerji eksikliği de geceleri şebekeden temin edilmektedir. Buna örnek olarak Almanya da uygulanmakta olan bir projeyi verebiliriz. Bu proje çerçevesinde, evlerine 5 kW güce kadar fotovoltaik üreteç yaptıran kişiler maliyetin % 70'ini devletten aldıkları gibi, kullanmadıkları fazla enerjiyi de zamlı bir tarife üzerinden elektrik idaresine satmaktadırlar. Almanya da elektrik enerjisi birim kWh ücreti 0,12 Euro, güneş pilleri ile üretilen fotovoltaik enerjinin şebekeye satışı ise 0,15 Euro üzerinden olmaktadır. Ancak güneş pilleri ile üretilen elektrik enerjisinin henüz pahalı olması, bugün için bu türden uygulamalar araştırma ve deneme amaçlı olarak sınırlı kalmaya zorlanmaktadır.

Megawatt (MW) seviyesinde büyük güçler üreten PV sistemlerin, yani fotovoltaik santrallerin, önümüzdeki yüzyılda günümüzün fosil ve nükleer yakıtlı santrallerin karşısında önemli bir alternatif olacağı şüphesizdir. Halen Amerika ve Avrupa'da kurulu bulunan bu çaptaki deneme tesislerinde yaklaşık 0,4-1,0 \$/kWh maliyetlerinde elektrik enerjisi üretilmektedir. Yapılan araştırmalar, bu gibi santrallerde üretilen elektriğin, sıcak bölgelerde, soğutma sistemlerinin öğle saatlerinde oluşturdukları enerji tüketim artışlarının

karşılabilmesi için devreye alınması mecbur kalınan petrol ürünü yakıtlı türbinlerde üretilen elektriğe göre daha ekonomik olduğunu göstermektedir[7][12][13].

### II.4.3. Güneş ve Fotovoltaik Panel Açıları

Güneş pili ve su ısıtıcı kollektör uygulamalarında, kullanılan düzlemsel yüzeylerden en yüksek derecede verim alınması, yüzeyin güneş ışınlarına dik tutulmasına bağlıdır. Güneş bir gün boyunca dünyaya göre doğudan batıya doğru hareket ederken, mevsimlere göre güneyden kuzeye, kuzeyden güneye doğru hareket eder. Bu nedenle belirli sabit bir düzleme gelen güneş ışınlarının açıları gün içinde her an ve mevsimler içinde her gün değişmektedir.

Bir güneş enerjisi sisteminden, en yüksek miktarda verim alabilmek için, kullanılan düzlemsel elemanın güneş ışınlarına tam dik olması yani arkasındaki gölge alanının azami seviyede olması gerekmektedir.

Bir gün içerisinde dünyaya göre doğudan batıya doğru hareket halinde olan güneşin, gelen ışınları ile dünyanın doğu – batı eksenini arasında kalan açı farkına “Azimuth” denir. Aylara göre farklılık gösteren ve güney-kuzey eksenindeki güneş hareketlerinden kaynaklanan açı farkına “Deklinasyon” denir. Deklinasyon açısının her ay yapılması yada otomatik güneş takip sistemlerinin kullanılması durumunda kurulan güneş enerjisi sisteminden % 10 ile % 40 arasında daha fazla enerji elde etmek mümkündür.

Gün içerisinde farklı saat dilimlerinde farklı açılardan gelen ışınları daha iyi yakalayabilmek için yapılan saatlik açı ayarı sabit sisteme göre % 25 ile % 35 arasında daha fazla enerji üretilmesini sağlayabilmektedir[5].

Deklinasyon açısı hesaplanırken yılın hangi gününde olduğumuz önem kazanmaktadır. Dünya eksenini normale göre yaklaşık  $23,5^{\circ}$  eğik olduğundan hesap yaparken bu açıyı da göz önünde bulundurmanız gerekmektedir. Aşağıdaki formüllerde;

D: Deklinasyon Açısı

T: Açıyı öğrenmek istediğimiz günün 21 Mart’a olan uzaklığı

L: Açıyı öğrenmek istediğimiz yerin enlemi

A : Güneş enerjisi düzleminin yer düzlemi ile yapması gereken açıdır.

$$D = 23,5^{\circ} \times \sin \left[ \left( \frac{T}{365,25} \right) \times 360^{\circ} \right] \quad (\text{III.1})$$

$$A = L - D \quad (\text{III.2})$$

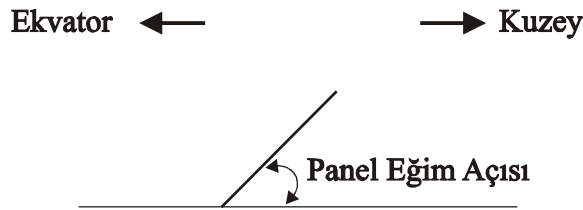


Gece ve gündüzün birbirine eşit olduğu tarihlerde güneş dünyanın ekvator eksenine tam dik olarak gelmektedir. Bu tarihlerdeki panel açıları konumlandırmanın yapıldığı yerin enlem derecesi ile eşit olmalıdır. En kısa gündüzün yaşandığı 21 Aralık tarihinde panel açıları konumlandırmanın yapıldığı yerin enleminden  $23,5^0$  daha fazla, en kısa gecenin yaşandığı 22 Haziran tarihinde panel açıları  $23,5^0$  daha az açı yaparlarsa daha fazla enerji üretebilirler[5].

**Tablo II-4 Kuzey Yarım Küre İçin Aylık Deklinasyon Açıları**

Tarih	Deklinasyon Açısı
21 Aralık	$(+)23,5^0$
20 Ocak	$(+)21,0^0$
20 Şubat	$(+)12,5^0$
22 Mart	$00,0^0$
22 Nisan	$(-)12,5^0$
22 Mayıs	$(-)21,0^0$
22 Haziran	$(-)23,5^0$
22 Temmuz	$(-)21,0^0$
22 Ağustos	$(-)12,5^0$
21 Eylül	$00,0^0$
22 Ekim	$(+)12,5^0$
21 Kasım	$(+)21,0^0$

Çift eksenli güneş takip sistemi kullanarak saatlik bazda yapılan yatay açı değişimleri ile birlikte aylık bazda yapılan dikey açı değişimleri sayesinde yıllık ortalama % 45 daha fazla enerji üretimi söz konusudur.



**Şekil II-5 Kuzey Yarım Kürede Güneş Paneli Montaj Açısı**

## BÖLÜM III

### III. AYDINLATMANIN AMACI VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Aydınlatmanın temel amacı; görme koşullarını iyileştirecek ve konforlu görsel çevre yaratacak bir yaşam ortamı oluşturarak, bireylerin göz sağlığını koruyacak ortalama aydınlık seviyesini sağlamaktır.

Çalışma ve öğrenim hayatının önemli bir bölümünün gerçekleştiği ofis ve sınıf aydınlatmaları, daha özel koşullar taşıyan mekanlardır. Çalışma düzlemine düşen ışığın niteliği ve niceliğine bağlı olarak aydınlatma iş ve öğrenim verimini, görme yeteneğini arttırarak direkt, psikolojik etkisi nedeniyle endirekt olarak etkiler. Bu yüzden doğru ve verimli bir aydınlatma için aydınlatma kriterleri ve ekonomik kriterler değerlendirilirken, aydınlatmanın kişiler üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri birlikte ele alınmalıdır.

Sınıflarda yapılacak doğru ve kaliteli bir aydınlatma;

Görme koşullarını iyileştirir: Sınıflarda yapılan işlerin çoğu görsel olduğundan doğru bir aydınlatma ile görme koşulları iyileştirilir.

Verimliliği arttırır : Sınıflarda yapılan eğitim sırasında, maksimum performansın sağlanması açısından çok önemlidir.

Kaliteyi arttırır : İyi bir aydınlatma; hata yapılma olasılığını azaltır ve yapılan hatanın bulunmasını kolaylaştırır.

Dikkat kaybını azaltır : Kötü aydınlatmanın yol açtığı göz ve beden yorgunluğu, baş ağrısı gibi programları ortadan kaldırarak dikkat kaybını azaltır.

Kişiler üzerinde istenilen motivasyonu sağlar : Özellikle öğrencilerin dersler için gerekli motivasyonlarının sağlanmasında uygun ve yeterli aydınlık düzeyi elde edilmesi önemlidir.

İşletme ve bakım masraflarını azaltır : Amaca uygun aydınlatma elemanları arasından verimli, uzun ömürlü ve montajı kolay olan elemanların seçilmesi ve otomatik

kontrol sistemlerinin kullanılması işletme ve bakım masraflarında önemli miktarda tasarruf sağlar[14][15].

### III.1. AYDINLATMANIN BİLEŞENLERİ

Aydınlatma için gerekli kriterlere geçmeden önce, bu çalışmada bahsedilecek aydınlatma kriterlerinde kullanılan büyüklüklerin tanımlanması faydalı olacaktır.

#### III.1.1. Aydınlik Düzeyi

Aydınlik düzeyi E harfi ile gösterilir. Birimi Lüks'tür. (Lüks:lx) Bir yüzeyin M noktasındaki ortalama aydınlik düzeyi, bu noktayı içine alan bir  $\Delta S$  yüzeyine düşen  $\Delta\Phi$  ışık akısının  $\Delta S$  yüzeyine bölümüne eşittir.  $\Delta S$  yüzeyi sıfıra yaklaşırken  $\Delta\Phi/\Delta S$  oranının limiti, bu noktadaki aydınlik düzeyini verir.

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (IV.1)$$

Bu formülde Işık akısı ( $\Phi$ ) lümen ve yüzey alanı ( $m^2$ ) alınır, E aydınlik düzeyi Lüks olarak bulunur[14][16].

#### III.1.2. Işık Şiddeti

Işık şiddeti I harfi ile gösterilir. Birimi Candela'dır. (cd) Noktasal bir ışık kaynağının bir  $\alpha$  doğrultusundaki ışık şiddeti, bu doğrultuyu içine alan bir  $\Delta\Omega_\alpha$  uzay açısından çıkan  $\Delta\Phi$  ışık akısının  $\Delta\Omega_\alpha$  uzay açısına bölünmesi ile bulunur[14].

$$I_a = \lim_{\Delta\Omega_a \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega_a} = \frac{d\Phi}{d\Omega_a} \quad (IV.2)$$

#### III.1.3. Parıltı

Parıltı doğrultuya bağlı bir büyüklüktür. Parıltı L harfi ile gösterilir. Birimi  $cd/m^2$ 'dir. Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile  $\alpha$  açısı yapan doğrultudaki parıltısı, M noktasını içine alan  $\Delta S$  yüzey elemanının bu doğrultuda doğurduğu  $\Delta I_\alpha$  ışık şiddetinin,  $\Delta S$ 'nin bu doğrultuya dik düzlemdeki  $\Delta S_n$  görünen alanına oranının limitidir[14][16].

$$L = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I_a}{\Delta S_n} = \frac{dI_a}{dS_n} \quad (\text{IV.3})$$

### III.1.4. Doğal Aydınlik Düzeyi

Güneş ışınlarının odanın pencerelerinden içeri girerek oluşturduğu aydınlık düzeyine “doğal aydınlık düzeyi” denir. Doğal aydınlatmanın bireyler üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Bu yüzden binalar inşaa edilirken pencerelerin ışığı en iyi alacak şekilde yerleştirilmeleri doğal aydınlatmanın etkisini arttırması açısından önemlidir.

Pencereler aynı zamanda en büyük kamaşma kaynakları olarak karşımıza çıktıkları için, gün ışığının doğrudan göze gelmesini engelleyecek önlemlerin alınması gerekir[17].

## III.2. AYDINLATMA KRİTERLERİ

Aydınlatmanın amacına uygun olarak, göz sağlığını koruyacak, yeterli ve konforlu aydınlık seviyesini sağlamak için dikkat edilmesi gereken bazı kriterler vardır. Bu kriterlerden, eğitim ortamlarının (sınıf ve laboratuvarların) aydınlatılması sırasında da dikkate alınması gerekenleri aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

### III.2.1. Parıltı ve Kontrast Duyarlılığı

Göz bir detayı, detayla fon arasında bir parıltı farkı olduğunda farkedebilir. Parıltı, cismin aydınlık düzeyi ve yüzey yansıtma faktörü ile doğru orantılı değiştiğinden, belirli bir fon ve detay için bağıl kontrastın değeri, aydınlık düzeyine bağıl olarak değişmez, sabit kalır.

Göz cisimleri, aydınlık-karanlık farkları, şekilleri, hareketleri ve renkleriyle ayırt etme yeteneğine sahiptir. Gözün cisimleri aydınlık-karanlık farkları ile ayırt etme yeteneğine ‘kontrast duyarlılığı’ denir.

Aydınlık farklılıkları görünebilme için gereklidir. Bir kağıda yazılmış yazılar, beyaz sayfa ve siyah yazı arasındaki aydınlık farkından dolayı görülebilir. Eğer arka planın düşük yansıtması söz konusu ise görünebilirlik azalır[15][16].

### **III.2.2. Düzgünlük**

Yapılacak bir aydınlatmada sadece istenilen aydınlık düzeyinin sağlanması yeterli olmaz. İstenilen aydınlık seviyesinin yer ve zaman bakımından düzgün olarak elde edilmesi gerekir.

Zaman bakımından düzgünlük; ışıktaki meydana gelen titreşimlerin gözde rahatsız edici bir etki yapmaması için, zaman bakımından dalgalamanın yeterince yavaş veya hızlı olarak yapılmasıdır.

Yer bakımından düzgünlük; referans olarak alınan düzlemdeki minimum aydınlık düzeyinin, bu düzlem üzerindeki ortalama aydınlık düzeyine oranıdır.

Çalışılan ortamdaki iş düzlemindeki aydınlık düzeyi ile yakın çevresinin aydınlık düzeyi arasındaki büyük farklar, kişilerde performans düşüklüğüne yol açar.

Zamana bağlı düzgünlüğün sağlanması için, floresant lamba ile yapılan aydınlatmalarda, üç fazdan beslenme sağlanarak veya elektronik balast kullanılarak önlem alınabilir[15].

### **III.2.3. Kamaşma**

Görme alanındaki aşırı parlaklık farklarının oluşturduğu duruma ‘kamaşma’ denir. Kamaşma canlılar üzerinde görsel yetersizliğe yol açtığı için hem fizyolojik hem de psikolojik zararlara yol açar. Armatüler ve pencerelerin direkt görünimleri yada bir yüzey üzerindeki yansımaları en önemli kamaşma sebepleridir.

Görme alanı içindeki yüksek parlaklıklı ışık kaynaklarının meydana getirdiği kamaşmaya “direkt kamaşma”, parlak yüzeylerde oluşan yansımış görüntülerin yol açtığı kamaşmaya ise “örtü yansımaları” veya “yansıma kamaşması” denir

Kamaşmanın kişiler üzerinde meydana getirdiği etkiye göre “psikolojik kamaşma” ve “fizyolojik kamaşma” olarak ikiye ayrılır[16].

### **III.2.4. Yansıma**

Aydınlık ve parlaklığın algılanması yüzey yansımalarına bağlıdır. Bir yüzey üzerindeki bağıl aydınlık, yansıtılan ışığın yansıtılma yüzdesinin katı olarak verilir. Örneğin % 80 yansıtma oranına sahip bir beyaz kağıda okumak için, 1’e 1/3 oranının sağlanması düşüncesi ile, kağıdın üzerinde durduğu çalışma masasının yansıtma katsayısı oranının en az % 27 olması gerekir.

Yansımanın aşırı parlak yüzeylerden olması sonucunda, aynalarda görülen yüksek derecedeki yansımaya benzer yansıma oluşur. Bu nedenle parlak çalışma düzlemlerinden kaçınılması gerekir[16].

### **III.2.5. Işık Kaynağı Rengi**

Işık kaynaklarının renk özellikleri iki büyüklükle açıklanır. Birisi “renk sıcaklığı”, diğeri ise “renk ayırım endeksi” dir. Bu iki büyüklük ışık kaynağının yaydığı radyasyonların spektrometrik diyagramlarına bağlı olarak değişir. Yani, bir ışık kaynağının renk özellikleri, görülebilir alanda yaydığı radyasyonların spektral dağılımı ile belirlenmektedir. Renk görünümü aynı olan aynı renk sıcaklıklı iki lambanın, spektrometrik diyagramları farklı olabileceğinden, renk ayırım endeksleri de farklı olabilir. Dolayısıyla, kullanacağımız ışık kaynaklarının renk özelliklerini iyi tanımak ve onları doğru yerlerde kullanmak önemlidir.

Renk sıcaklığı Kelvin (K) cinsinden ifade edilir ve kaynağın ışık rengini belirtir. Işık kaynakları ışık rengi bakımından sıcak, ılık ve soğuk renkli ışık kaynakları olmak üzere üç gruba ayrılır. Kaliteli bir aydınlatma için ışık kaynaklarının renk sıcaklıkları aydınlık düzeyi ile uyumlu seçilmelidir. Düşük aydınlık düzeylerinde mavi renkli ışık kaynakları soğuk ve sıkıntılı bir etki yaparlar. Bu yüzden soğuk renkli ışık kaynakları sadece yüksek aydınlık düzeylerinde kullanılmalıdır. Yapay aydınlatma doğal aydınlatma ile birlikte kullanılıyorsa ılık renkler tercih edilmelidir[18].

### **III.2.6. Modelleme**

Bir cismin yapısının ve üç boyutlu şeklinin gölgeler yardımıyla ortaya çıkarılmasına modelleme denir. İyi bir modelleme ile hacmin yapısı, içindeki insan ve cisimler daha net ortaya çıkarılarak genel görüntüsü daha güzel hale getirilebilir. Aydınlatma ne rahatsız edici keskin gölgeler oluşturacak kadar yönlü, ne de cisimlerin üç boyutlu görüntüsünü yok edecek kadar yayınlık olmalıdır. Aşağıya doğru yönlendirilmiş kuvvetli ışık insanların yüzleri veya iş üzerinde derin gölgeler oluşturur. Diğer taraftan yayınlık bir aydınlatma ise gerçek görüntülerin ortadan kalkmasına yol açar[15].

### **III.2.7. Gölge**

Işık kaynağı ile aydınlatılan yüzey arasında bir veya bir kaç engel bulunuyorsa, o zaman aydınlatılan yüzeyde gölgeler meydana gelir. Yapılan görsel iş üzerine düşen

gölgeler, aydınlık düzeyinin azalmasına sebep olurlar. Cisimlerin yan görünüşleri, büyük ölçüde gölge ile sağlanır. Bu yüzden çalışma ortamlarının aydınlatılmasının tamamen gölgesiz olması istenmez. Çalışma alanlarında 0,2 ile 0,8 arasında bir gölge faktörü olmalıdır[16].

### III.2.8. Parıltı Oranları

Gündelik hayatta karşılaşılan yan yana iki ışık uyarımının parıltı oranları çok farklıdır. Aşağıdaki tabloda günlük hayatta karşılaşılan parıltı oranları görülmektedir (Tablo III-1). Eğer bir parıltıdan diğerine geçiş yavaş oluyorsa, o zaman gözün fark etme yeteneği küçülür. Bir parıltıdan diğerine geçiş yavaş yavaş olduğu zaman parıltı oranı, ani geçişe göre zayıf görünür. Örneğin parıltı oranları 1/2 ila 1/5 olan yüzeyler daha düzgünmüş gibi görünürler[18].

**Tablo III-1 Parıltı Oranları**

Siyah çini mürekkebi ile yazılmış yazı	/ Beyaz resim kağıdı	=	1/18
Siyah matbaa harfleri	/ Kuşe kağıt	=	1/14
Mavi mürekkep harfleri	/ Beyaz resim kağıdı	=	1/10
Siyah matbaa harfleri	/ Gazete kağıdı	=	1/7
2 nolu kurşun kalem yazısı	/ Beyaz resim kağıdı	=	1/3
4 nolu kurşun kalem yazısı	/ Beyaz resim kağıdı	=	1/2
Kopya kalem yazısı	/ Beyaz yazı kağıdı	=	1/2
Daktilo yazısı	/ Yazı kağıdı	=	1/8
Daktilo yazısı kopyası	/ Yazı kağıdı	=	1/2

### III.2.9. Adaptasyon

Gözün değişik aydınlık şiddetlerine dolayısıyla parıltılarına uyma yeteneğine adaptasyon adı verilir. Gözün iki türlü adaptasyonu vardır; karanlık adaptasyonu ve aydınlık adaptasyonu. Karanlık adaptasyonu denince, aydınlık bir yerden karanlık bir yere geçişteki adaptasyon anlaşılır.

Karanlık adaptasyonu oldukça yavaş olur. Adaptasyon derecesini parıltı-eşik değeri veya bunun tersi olan duyarlık ile gösterilebilir. Örneğin güneşli aydınlık bir yerden karanlık bir odaya girişte, ilk andaki parıltı-eşik değeri yüksektir. İlk on dakika içinde parıltı eşik değeri küçülmeğe, dolayısıyla duyarlık büyümeğe başlar. 10 ile 30 dakika arasında duyarlık aşağı yukarı lineer olarak yükselir ve 30'uncu dakikadan itibaren

yükselme tekrar yavaşlar. 30'uncu dakikada parıltı-eşik değeri yarı değerine ulaşır. Karanlık adaptasyonunun en büyük değerine aşağı yukarı 1 saat sonra erişilir.

Aydınlatma tekniği bakımından karanlık adaptasyonunun etkisi çok önemlidir. Örneğin, iyi aydınlatılmış bir bürodan kötü aydınlatılmış bir koridora veya aydınlık şiddeti yüksek tutulmuş bir ana caddeden aydınlık şiddeti düşük tutulmuş tali bir caddeye geçişte karanlık adaptasyonunu göz önünde tutmak gerekir. Bunun için adaptasyon süresini arttırmak amacı ile bir aydınlık düzeyinden diğerine geçiş hızı azaltılır veya daha iyisi adaptasyon karakteristiğine uygun olarak iki aydınlık düzeyi arasındaki fark küçük tutulur. Şüphesiz düzgün bir aydınlık düzeyi ile adaptasyon güçlüklerinden tamamen kurtulmak en iyisidir. Aydınlık adaptasyonu ise çok çabuk olması nedeni ile özel bir önleme ihtiyaç duyulmaz[18].

### **III.2.10. Pencereler**

Pencereler genelde kamaşmaya neden olacak kadar fazla ve değişken aydınlık düzeylerine sahiptir. Tavana monte edilmiş armatürlere göre daha fazla kamaşmaya sebep olurlar. Pencerelerde kullanılacak bir gölgelikle, içeriye giren günışığını kontrol altında tutmak mümkündür. Bu olumsuz etkilerinin yanında pencerelerin pek çok olumlu etkisi mevcuttur. İnsanların dışarı ile bağlantısını sağlayarak, olumlu psikolojik etkilere sebep olurlar. Gün ışığının hacme girmesini sağlayan pencereler gündüz çalışılan hacimlerde ışık kaynağı olarak değerlendirilebilir. Otomatik aydınlatma sistemlerinin gelişmesi ile hacimlerde günışığından faydalanılması ile önemli enerji tasarrufu sağlanmaktadır[16].

### **III.3. AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ**

Gün boyunca sürekli ve yeterli aydınlatmaya ihtiyaç duyulan dahili ortamlarda, aydınlatma sistemlerinin uygun kontrol sistemleri ile kontrolünün yapılması büyük enerji tasarrufu yapılmasını sağlamaktadır.

Bu kontrol sistemlerinin amacı; kişilere kendi isteklerine ve çalışma koşullarına uygun bir aydınlatmayı temin etmek ve gün ışığının yeterli olduğu saatlerde yapay aydınlatmayı sınırlamaktır.

Günışığı ve ortamdaki çalışma durumu dikkate alınmadan gün boyu bütün aydınlatma tesisatını devrede tutan bir anlayış hem sağlıklı değildir, hem de önemli miktarda enerji kaybına neden olur. Sadece çalışma masasının aydınlatılarak diğer yerlerin karanlıkta kaldığı uygulamalar ise görme konforunu etkiler ve iş verimini düşürür. Bu



nedenlerden dolayı binalardaki aydınlatma tesisatının insan eliyle değil de otomatik olarak kontrol edilmesiyle önemli bir enerji tasarrufu sağlanır. Gün ışığının optimal kullanılarak ortam içerisinde yeterli düzeyde ve düzgünlükte bir aydınlatmanın oluşturulduğu sistemlerde, gün ışığının aydınlatmaya etkisi düşünülmeden yapay aydınlatma tasarımının yapıldığı sistemlere göre %15' lik bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Gün ışığı sensörleri ve buna bağlı ayarlama birimleri, zaman anahtarları ve hareket sensörleri de aydınlatma kontrol sistemlerinin temel elemanlarıdır. Bu sistemler ile aydınlatmanın kullanılmadığı saatlerde lambaların kapatılarak yaklaşık %30' lara varan enerji tasarrufu sağlanabilir. Dahili ortamlarda enerji tasarruflu ışık kaynakları, uygun aydınlatma araçları ve uygun kontrol sistemleriyle birlikte kullanılmasıyla %75' lere varan bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir[16][19][20][21].

### **III.3.1. Aydınlatmada Kontrol Stratejileri**

Aydınlatma kontrolünde kullanılan stratejiler amaca bağlı olarak değişir. Elektrik tüketimini azaltmak için günümüzde aşağıdaki kontrol stratejilerinden biri veya birkaçı birlikte kullanılmaktadır[22].

#### **III.3.1.1. Zamanlama**

Zamanlama stratejisi öngörülebilir veya öngörülemez zamanlama olmak üzere iki türdür. İdeal olarak aydınlatma, sadece gerektiği zamanlarda açılır gerekmediği zamanlarda kapatılır.

Öngörülebilir zamanlama, eğer gün boyunca çalışma periyotları biliniyorsa kullanılır. Zaman anahtarları kullanılarak aydınlatmaya ihtiyaç duyulmayan zaman dilimlerinde sistem devre dışı bırakılır.

Öngörülemez zamanlama, tek kişinin çalıştığı ortamlar ve her zaman kullanılmayan toplantı odası, arşiv gibi yerlerde kullanılır. Bu tip ortamlarda hareket algılayıcı sensörler kullanılarak sistem kontrol edilir[16][21].

#### **III.3.1.2. Bölgesel Kontrol**

Aydınlatma kontrol sistemleri tasarlanırken aydınlatılması yapılacak olarak ortamda ihtiyaç duyulan en yüksek ışık şiddeti dikkate alınır. Ancak laboratuvar gibi bazı özel yerlerde farklı ışık şiddetlerine ihtiyaç duyulabilir. Bu gibi durumlarda, ortam farklı

çalışma bölgelerine ayrılarak her bölge için ayrı seviyede ışık şiddeti sağlayacak kontrol sistemleri tasarlanır[23].

### **III.3.1.3. Işık Akısı Kontrolü**

Bir ortamın aydınlatılması için aydınlatma hesaplamaları yapılırken, kullanılacak armatürlerin kirlenmesi ve ampullerin ışık akılarının zamanla azalacağı dikkate alınarak sistemin ilk ışık şiddeti ihtiyaç duyulan değerlerden %20 - %35 fazla olacak şekilde belirlenir.

Aydınlatılması yapılan ortama yerleştirilen ve ışık şiddeti değerini ölçebilen kontrol sistemleri ile yeni tesisatlarda ortaya çıkan bu durum kontrol edilebilmektedir. Başlangıçta kontrol sistemi yardımı ile lambaların ışık akıları düşürülür. Daha sona zaman içerisinde aydınlatma seviyesinde düşme gözlemlendiğinde ışık akıları arttırılarak istenilen değerler yeniden sağlanır[16].

### **III.3.1.4. Doğal Aydınlatma**

Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol stratejisinde, pencerelerden ortama giren doğal aydınlatmaya bağlı olarak yapay aydınlatma kontrol edilir. Bu kontrolde aydınlatma sistemi anahtarlama yolu ile açılıp kapatılabilir veya loşlaştırma düzenleri kullanılır. Loşlaştırma düzenlerinde ampuller dimmerler yardımı ile sürülebildikleri gibi kademeli olarak devreye alınıp çıkarılabilirler. Sistemin temel amacı doğal ve yapay aydınlatma düzeylerinin toplamını istenilen seviyede tutmaktır[16].

## **III.3.2. Dahili Aydınlatmanın Otomatik Kontrolü**

Dünyada tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık dörtte biri aydınlatma için harcanmaktadır. Sanayi tesislerinin bulunmadığı ev ve büro gibi yerlerin çoğunlukta bulunduğu bölgelerde ise bu oran %50' lere kadar yükselmektedir. Aydınlatma enerjisinden tasarruf, uygun aydınlık düzeyinin temin edilmesini sağlayacak kontrol sistemlerinin, kaliteli ve enerji tasarruflu aydınlatma ekipmanlarının kullanılmasıyla sağlanır.

Aydınlatmanın kontrol altına alınmak istenmesinin başka bir amacı da çalışanların, çalışma ortamındaki aydınlık düzeyini kendi kişisel tercih ve gereksinimlerine göre ayarlamasıdır. Dolayısıyla çalışanların verimliliklerinin ve görsel konforlarının arttırılması sağlanabilir[18][19][20].

### **III.3.2.1. Anahtarlama Yoluyla Kontrol**

Sistemin ışık akısı kademe kademe klasik elektrik anahtarları yardımıyla el ile ayarlanır. Dahili aydınlatmada kullanılan üç tip anahtarlama tekniği vardır.

- Lamba içinde kontrol
- Armatür içinde kontrol
- Armatürlerin gruplar halinde kontrolü.

Anahtarlama tekniğinin lamba ile kullanımı; bu teknikte içinde iki farklı güçte flaman bulunan bir lamba kullanılır. Bu iki flamanın tek tek veya ikisinin bir arada kullanımı ile üç ayrı aydınlık düzeyi elde edilir.

Anahtarlama tekniğinin armatür ile kullanımı; bu yaklaşımda, anahtarlama tekniği yardımıyla bir armatür içerisindeki lambaların tek tek açılıp kapatılması yardımıyla lamba sayısı kadar aydınlık düzeyi elde edilir.

Anahtarlama tekniğinin armatür gruplarıyla kullanımı; bu tür aydınlatma kontrolü pencerelere yakın armatürlerin veya lokal aydınlatma yapılan yerlerin dışındaki genel aydınlatma armatürlerinin kapatılmasıyla yapılır. Yalnız burada aydınlatma düzgünlüğün sağlanmasına özen gösterilmelidir. Bu uygulamanın maliyeti toplam maliyete fazla yük bindirmez ancak sonuçta yüksek tasarruf sağlar[18].

### **III.3.2.2. Sürekli Ayarlamalı Kontrol**

Gün ışığı sensörleri faz kontrol devreleri ile iletim periyodunu değiştirerek aydınlık düzeyini ayarlar. Günümüzde devamlı yenilenen elektronik dimmerleme üniteleri ile aydınlık düzeyinin sürekli kontrol edildiği sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır[21].

### **III.3.2.3. Anahtarlama Ve Sürekli Ayarlamalı Kontrol**

Yüksek aydınlık düzeylerinde çok hassas değişim yerine, kademeli azalmalar kişileri rahatsız etmeyeceği gibi, görme işlevini de bozamaz. Fakat düşük aydınlık düzeylerinde azalmaların çok düzgün ve, sürekli ve hissedilmeyecek karakterde olması gerekir. Bu nedenle yüksek aydınlık düzeyleri istenen ortamlarda aydınlatma armatürleri anahtarlarla kademeli olarak kontrol edilebilir. Aynı ortamda alçak seviyelere ihtiyaç duyulduğunda ise sistem günışığı sensörleri ile günışığına bağlı olarak sürekli kontrol

edilmelidir. Bu şekilde tasarlanmış bir sistem tamamının sürekli kontrol edildiği sistemlere nazaran çok daha ekonomik olmaktadır[18][21].

### **III.3.3. Kumanda Sistemleri**

Aydınlatma kumanda sistemleri kontrol yöntemleri açısından 3' e ayrılır.

- Manual (elle) kontrol,
- Otomatik kontrol,
- Bilgisayar destekli kontrol,

#### **III.3.3.1. Manual Kontrol**

Bu sistemde kullanıcıların kendi gereksinimlerine uygun aydınlık düzeyini ayarlaması esas alınmaktadır. Aydınlatma düzeneklerinde kullanılmakta olan açma-kapama anahtarları ve dimmer'lama 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.

#### **III.3.3.2. 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.

#### **III.3.3.3. 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 sağlamasının yanısıra oldukça esnek bir sistemdir.

Pencerelerden hacime giren günışığının çok fazla olması veya günışığının direkt olarak içeri girmesi durumlarında ortaya çıkabilecek olan kamaşmanın önlenmesi gerekir. Bunun için pencerelerin içine veya dışına jaluziler yerleştirilir. Aydınlatma kumandasının bilgisayarla yapıldığı hacimlerde jaluzilerin de aynı sistem içinde kumanda edilmesi, çalışanların verimlilikleri ve konfor açısından en uygun çözümdür[18][20][23].

### **III.3.4. Aydınlatma Kontrolünün Yararları**

Enfraruj uzaktan kumanda sistemiyle alışılmış elektrik kablosu hattı ve duvarda sabit anahtarlar ortadan kaldırılmıştır. Bu da mimara ve aydınlatma tasarımcısına ve kullanıcıya belli bir esneklik sağlar.

Özellikle belirli bir alanda aydınlatmanın kullanıcılar tarafından istek ve gereksinimlere göre kontrol ve kumanda edilebilmesi hem konfor hem de esneklik sağlar. Çalışma alanından veya hacmin herhangi bir noktasından aydınlatmanın o anda yapılan işe göre nicelik ve nitelik yönünden gerekli düzeye getirilmesi mümkündür.

Aydınlatma kumanda sistemlerinin zamanlama seçeneği yardımıyla aydınlatma noktaları tercihe göre istenen saatte açılıp kapatılabilir. Hareket dedektörü ile sadece kullanıcı içerideyken aydınlatmanın açık durumda olması sağlanır. Günışığı sensörü ile günışığı düzeyine göre aydınlatma açık veya kapalı konuma getirilebilir veya dim edilebilir. Tüm bu avantajlar konforu arttırırken enerji maliyetini düşürür[18][19][21].

# BÖLÜM IV

## IV. BULANIK MANTIK

Dünyadaki bazı olayları açıklamak için kesin tanımlamalarda bulunabilmek imkansızdır ve olaylar çoğu kere belirsizlikler ve doğrusal olmama özellikleri taşır. Cismin ısını kaybetmesi, kondansatörün şarj veya deşarj olayı bu doğrusal olmama özelliklerine birer örnektir. Belli bir miktar uranyumun bozulması esnasında hangi atomun ne zaman bozulacağıın bilinmemesi de belirsizlik taşıyan bir olaydır. Bu nedenle eşya ve olaylar bulanıklık perspektifinde ele alındıkça, çok daha doğru ve verimli sonuçlar elde edilebilir. Bulanık mantık, bu yaklaşım için kullanılabilir oldukça etkili bir mantık anlayışıdır.

Terimler ya da ölçüler kesin olarak tanımlanıp ölçülemediğinden dolayı insanlar çoğu zaman belirsiz ( kesin olmayan ) ifadeler kullanırlar. İşte bulanık mantık bazı sorulara basitçe evet-hayır cevabı verilemeyen durumları kapsar. Bulanıklığın ve bulanık mantığın temeli de budur.

Bulanık mantık, klasik mantık sistemlerinden ziyade insan düşüncesi ve tabii dil ruhuna daha yakındır. Temel olarak, gerçek dünyanın eksik ve yaklaşık özelliğini yakalayan etkili bir araç sağlar.

Matematiksel model ve ölçülen değerlerin yanısıra insan düşüncesini de mühendislik sistemine katmak üzere insan düşüncesini formüle eder.

Mühendislikte ve diğer bilim dallarında sistemler, kesinliği olan matematiksel modelleri kullanmak suretiyle modellenirler. Klasik kontrol teorisi, oluşturulan bu modeller yardımıyla iyi çözümler üretebilir. Fakat sistemin matematiksel modelinin çok karmaşık olduğu veya kesin bilinmediği durumlarda, klasik mantık ya hiç çözüm üretememekte yada istenen performansı sağlayamamaktadır.

Bulanık mantığın temel amacı kesin olmayan bilgiler ışığında, doğru karar vermelerini sağlayan, düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesidir[24].

## IV.1. BULANIK MANTIK KAVRAMI VE TARİHÇESİ

Bulanık mantık ilk defa 1965 yılında, University of California, Berkeley'den Dr.Lotfi Zadeh tarafından, doğal dildeki belirsizliği modellemek için ortaya konmuştur. Zadeh, bulanık mantık teorisinin bağımsız ve tam bir teori olmaktan çok, bulanıklaştırma yönteminin (fuzzification), herhangi bir teorisinin ayrık (crisp,discrete) formdan sürekli (continuous, fuzzy) forma dönüştürülmek suretiyle genelleştirilmesi için kullanılan bir metodoloji olarak ele alınmasını savunmuştur.

Bulanık mantık ilk kez 1973 yılında, Londra'daki Queen Mary College'de profesör olan H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulandı.

Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması 1980 yılında Danimarka'daki bir çimento fabrikasında ( F.L. Smidth ) gerçekleştirilmiş, değirmen içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun bir biçimde yapılmıştır. Bundan sonra bir başka dikkate değer uygulama ise Hitachi firması tarafından 1987 yılında Sendai Metro'sunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede trenin istenen konumda durması üç kat daha iyileştirilmiş, kullanılan enerji ise %10 azaltılmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına benzeri bir sistemin Tokyo Metro'suna da kurması için talep gelmiştir. Yamaichi Securities'in geliştirdiği Bulanık Mantık temelli uzman sistem, 1988 yılının Ekim ayında kara Pazar adlı Tokyo Borsası'nda yaşanan krizin sinyallerini onsekiz gün önceden haber vermiştir. Bu kadar başarılı uygulamaların ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma ortamı oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS, Thomson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsuhita gibi dünya devlerininde bulunduğu 51 firma tarafından LIFE ( Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) laboratuvarları kurulmuştur.

Bulanık mantık kontrol uygulamaları günlük hayatımızda da elektrik süpürgeleri, çamaşır makinaları gibi ev aletleri ile girmiş bulunmaktadır. Bu uygulamalar açısından bakıldığında bulanık kümelerin temel fikrini kavramak kolaydır. Örneğin, kırmızı ışıpta durması gereken bir şoföre yaya geçidinden 25 metre önce frene basmasını söylemek yerine, yaya geçidine oldukça yaklaşınca frene basmasını söylemek, uygulaması daha kolay bir eylem olduğu için daha geçerlidir. Bu örnekte olduğu gibi kesinlik her zaman iyi sonuçlar vermemektedir.

Durumların bulanık yorumları, çeşitli problemleri çözmenin ve bir kalıba sokmanın çok doğal, sezgisel ve akılcı bir yoludur[24][25].

## **IV.2. BULANIK MANTIK KONTROLÜN ÜSTÜNLÜKLERİ**

Bulanık mantık akıllı fonksiyonların bulunduğu sistemlerin geliştirilmesine izin veren bir teknolojidir. Bulanık mantığın diğer kontrol sistemlerine göre teorik ve pratik üstünlükleri aşağıda özetlenmiştir.

### **IV.2.1. Bulanık Mantık Kontrolün Teorik Üstünlükleri**

1) Bir sistemin matematiksel modelinin elde edilmesinin güç olduğu durumlarda, en önemli bilgiler iki kaynaktan alınır.

Bu kaynaklardan birisi, sistemdeki durum değişkenlerinin sayısal değerlerini gösteren algılayıcılardır. Diğeri ise operatör deneyimleridir ki bunlar sistem hakkında operatörün dilsel komutlarını ve kontrol talimatlarını içerir.

Bulanık kontrol bu bilgilerden yararlanırken klasik kontrol bu bilgilerden faydalanamaz. İyi mühendislik yaklaşımının, mevcut olan bütün bilgilerin kullanımını gerektirdiği düşünülürse, sistem hakkındaki bilgilerin bu türden olduğu durumlarda bulanık kontrol en iyi çözüm yoludur.

2) Bulanık kontrol, serbest model yaklaşımına dayanır. Kontrol edilecek sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymaz. Günümüzde kontrol mühendislerinin çok daha kompleks sistemler ile karşılaştıkları düşünülürse bu tip proseslerin matematiksel modellerinin çıkartılması oldukça güçtür. Bu yüzden serbest model yaklaşımı artan bir öneme sahiptir.

3) Bulanık kontrol ile elde edilen kontrolör nonlineer kontrolördür. Bu sebepten dolayı bulanık kontrolörün parametreleri dikkatlice seçilerek nonlineer sistemlerin kontrolü de yapılabilir[16].

### **IV.2.2. Bulanık Mantık Kontrolün Pratik Üstünlükleri**

- 1) Bulanık kontrol insanın kontrol stratejisini taklit ettiği için anlaşılması kolaydır.
- 2) Gerçeklenmesi basittir, çok sayıda paralel işleme olanak verir.
- 3) Diğer sistemlere göre yazılımları basit olduğundan, uygulamalar ucuza mal olmakta ve yapılan işler basitleşmektedir. Bu yüzden bulanık kontrol yüksek performans – maliyet oranına sahip bir yaklaşımdır[16].



### **IV.2.3. Bulanık Mantık Kontrolünün Sakıncaları**

- 1) Bulanık mantık uygulamalarında kullanılan kurallar mutlaka uzman deneyimlerine ve bilgilerine bağlı olarak oluşturulmalıdır.
- 2) Üyelik fonksiyonları deneme yanılma yoluyla bulunduğundan çok zaman alabilir.
- 3) Bulanık mantık ile oluşturulan bir sistemin kararlılık analizi yapılamaz, sadece benzeşim yapılabilir[16].

## **IV.3. KURAL TABANI**

Kural tabanı, kontrol kurallarının saklandığı veri tabanıdır. Bir sistem için kural tabanı geliştirilirken, sistem çıkışını etkileyebilecek giriş değerleri tespit edilmelidir. Bulanık kontrol kuralları genellikle bir uzman bilgisinden türetilir.

Kural tabanı; uzmanlar tarafından belirlenmiş, bulanık mantık denetleyicinin davranışlarını tespit eden denetim kurallarını içerir. Karar verme işlemlerinde kullanılan bir çok paralel kuraldan ve denetim değişkenlerinden oluşmuştur. Bu kurallar, sistemin giriş ve çıkışları arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. Bulanık mantık denetleyicinin çıkışı, durum ve davranış bildiren kuralların değerlendirilmesi ile elde edilir. Kurallar, sistem değişkenlerinin tanımlandığı “eğer” ve denetim değişkenlerinin tanımlandığı “ise” komutlarıyla oluşturulur. Bulanık mantıkla denetimde kurallar iki değişik metotla ifade edilir. Bunlar; kural davranışı bulanık kümeler ile ifade edilmiş kurallar veya kural davranışı fonksiyon şeklinde ifade edilmiş kurallardır.

Bulanık Mantık Denetleyicisinde bir bulanık kontrol kuralı genellikle “Eğer – İse” formundadır[24].

### **IV.3.1. Kontrol Kurallarının Sayısı**

Bir bulanık kontrol algoritması evrensel kümedeki herhangi bir giriş için uygun bir kontrol işlevi çıkarabilmelidir. Bu özellik bütünlük olarak adlandırılmaktadır. Bu bütünlük özelliği bulanık kontrol kuralları, tasarım tecrübesine ve mühendislik bilgisine ihtiyaç duymakta ve genellikle her bir giriş değerinin en az bir bulanık kümede yer alması için bulanık kümelerin belli bir yüzde ile üst üste binmesini gerektirmektedir. Aynı zamanda her bir girişin belli bir tepki vermesi için kuralların dikkatli bir şekilde tasarlanmasında büyük önem taşımaktadır.

Bir geleneksel uzman sistem yaklaşımında eğer her bir giriş değişkeni için bulanık küme sayısı  $m$  ve sistem giriş değişkeni sayısı da  $n$  ise bütünlüğün sağlanması için  $m!$  tane farklı kural gerekmektedir. Fakat bir Bulanık Mantık Denetleyicisi kural tabanı bütünlüğü sağlamak için daha az sayıda kural kullanılmaktadır. Çünkü bulanık kümelerin belli bir yüzde ile üst üste bindirilmesi kural sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır. Böylece daha az hesaplama zamanı ve daha iyi bir performans elde edilmektedir. Bununla birlikte optimal kural sayısını belirleyecek bir prosedür bulunmamaktadır[24].

### **IV.3.2. Bulanık Kontrol Kurallarının Kaynakları**

Bir bulanık denetleyicinin tasarlanmasında denetlenecek sistemin matematik modeline ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun yerine o sistemi çalıştıracak operatörün sistem davranışı konusunda sahip olduğu bilgiler ve tecrübesi ön plana çıkmaktadır. Tasarım sırasında genellikle bu tür bilgilerden yararlanılmaktadır.

Kontrol edilmek istenen sistemden bulanık kuralların çıkarılması için dört değişik metod kullanılır:

1. Bir uzmanın tecrübesi ve/veya kontrol mühendisliği bilgisi: Bunun için uzmana sistem hakkında sorular sorulur ya da sistem hakkında uzmanın tüm bilgisini ortaya koyması istenir. Günlük hayatımızda bizim kararlarımızı ilgilendiren bilgilerin çoğu doğal olarak sayısalardan çok dilbilimselliğe dayanmaktadır. Bu çerçevede bulanık kontrol kuralları insan davranışını ve karar analizini karakterize etmek için doğal bir yapı sağlamaktadır. Çoğu uzmanlar bulanık kontrol kurallarının onların bilgi alanlarını ortaya çıkarmak için uygun bir yol sağladığını bulmuşlardır.

2. Operatörün kontrol hareketlerinin modellenmesi. Bu yöntemde güvenilirliği sağlayan tek unsur operatörün süreç üzerindeki deneyimi ve bilgisidir. Genellikle sistemin matematiksel modelinin elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlarda kullanılır.

3. Sürecin bulanık modeli; sistemin dinamik karakteristiğinin dilsel anlatımı bulanık modeli meydana getirir.

4. Öğrenen algoritmalar kullanılır: Kontrolör kendi kural tabanını oluşturur. İnsanın öğrenme yeteneği simüle edilir. Yapay sinir ağları, kendi kendine ayarlama (self tuning) ve kendi kendine yapılanmalar (self organization) böyle sistemleri oluşturmak için kullanılmaktadır. Procky ve Mamdani ilk defa kendi kendine çalışan kontrolcüyü (SOC) tarif ettiler. SOC iki kural tabanından oluşan, hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Birincisi Bulanık Mantık Denetleyicisi'nin temel kontrol kural tabanıdır. İkincisi değişmiş (meta)

kuralların kullanımını gerektirmektedir. Bu sistem temel kontrol kuralları ve tecrübenin ışığı altında bunların değiştirilmesi ile ilgilidir. Meta kurallar sistemin istenilen performansına bağlı olarak bir bulanık mantık denetleyicisi'nin temel kural tabanını oluşturmak ve değiştirmek için etkili bir imkan sağlamaktadırlar.

Öğrenme kabiliyetine sahip olan bir bulanık kural tabanı sistemine, örnek olarak Sugeno'nun arabası verilebilir. Sugeno'nun bulanık arabası kendi kendine park edebilme yeteneğine sahiptir.

Bulanık kontrol kuralları bazı kriterleri sağlamalıdır. Bu kriterler:

1. Tutarlılık: İki ayrı bulanık kuralın koşullar kısmı hemen hemen aynı ise farklı kararlar çıkması tutarsızlık meydana getirir.

2. Tamamlılık: Bulanık girişlerin her koşulu için bir çıkış olmalıdır ve eksik kural bırakılmamalıdır.

3. Etkileşim: Kontrol kuralları, "Eğer  $x A_i$  ise  $y C_i$ "dir ( $i:1,2,\dots k,\dots,n$ ) şeklinde ise  $x A_k$  iken sonucun  $C_k$  olması beklenir. Fakat kontrol kurallarının etkileşiminden dolayı sonuç  $C_k$ 'nin bir alt ya da üst kümesi olabilir.

4. Bulanık kontrol kurallarının sayısı (Nicelik): Bulanık kuralların sayısının tam olarak ne olması gerektiği söylenemez. Çünkü bu kuralların sayısı bulanık kümelerin tanımına, kontrolün ne derece hassas olacağına ve giriş kombinasyonlarının sayısına bağlıdır.

Bulanık kontrol kurallarını türetmede iki temel yaklaşım ortaya çıkarmak mümkündür:

1. Tecrübeye dayalı( Heuristic ) metod
2. Deterministik metod

Heuristic metod bulanık kontrol kurallarını üretmek için uzman bilgisini ve kontrol edilen sürecin davranışının analizini kullanmaktadır. Deterministik metod ise bulanık modelleme ile kontrol kurallarının yapısını ve parametrelerini belirlemekte ve böylece kontrol amacına ulaşılmaktadır[24][25].

#### **IV.4. KARAR VERME MANTIĞI**

Bulanık mantık kontrolün çalışma mantığının, insanların karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzetimine dayandığı daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Bulanık mantık kontrolü içindeki bu benzetim bulanık gerçekleştirme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir[16].

## IV.4.1. Bulanık Gerçeklemenin Tanımlanması

Bir bulanık kontrol kuralı genel anlamda bulanık bir ilişkidir ve bulanık gerçekleştirme ile açıklanır. Bulanık mantık kontrolü içinde hangi tip bulanık gerçekleştirmenin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir.

Literatürde 40'a yakın farklı bulanık gerçekleştirme kuralı tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar yapılırken t-norm ve s-norm kavramlarından faydalanılmıştır. Buradaki t-norm üçgensel norm, s-norm ise üçgensel co-norm olmaktadır. Bir bulanık mantık kontrol kuralı "eğer  $x=A$  ise  $y=B$ " bulanık gerçekleştirme fonksiyonu ile gösterilen A ve B sırasıyla U, V uzaylarında tanımlanmış bulanık kümelerdir. Bulanık gerçekleştirme fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılan bazı önemli t-norm ve s-norm operatörleri aşağıdaki verilmiştir.

### t-norm (üçgensel norm):

$$\begin{aligned} \text{Kesişme} \quad x \cap y &= \min(x, y) \\ \text{Cebirsel çarpım} \quad x \cdot y &= y \cdot x \\ \text{Sınır çarpımı} \quad x \otimes y &= \max\{0, x + y - 1\} \\ \text{Drastik çarpım} \quad x \cdot y &= \{x \cdot y = 1, y \cdot x = 1, 0 \text{ } x, y < 1\} \end{aligned} \quad (\text{V.1})$$

### s-norm (üçgensel co-norm):

$$\begin{aligned} \text{Birleşme} \quad x \cup y &= \max(x, y) \\ \text{Cebirsel toplama} \quad x + y &= x + y - xy \\ \text{Sınır toplama} \quad x \oplus y &= \min\{1, x + y\} \\ \text{Drastik toplama} \quad x \dots y &= \{x \cdot y = 0, y \cdot x = c, 1 \text{ } x, y > 1\} \\ \text{Ayırma toplama} \quad x \Delta y &= \max\{\min(x, y - 1), \min(1 - x, y)\} \end{aligned} \quad (\text{V.2})$$

Bulanık gerçekleştirme kurallarını açıklamadan önce ileriye ve geriye doğru çıkarılsama kurallarının bilinmesi gerekir. Bu kurallar aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

- 1) İleriye doğru çıkarılsama (GMP : Genarilized Madus Ponens)

$$\text{Öncül 1 : } x = \bar{A}$$

$$\text{Öncül 2 : Eğer } x = A \text{ ise } y = B$$

.....

$$\text{Sonuç : } y = \bar{B}$$

- 2) Geriye doğru çıkarılsama (GTP : Genarilized Tollens Ponens)

$$\text{Öncül 1 : } y = \bar{B}$$

$$\text{Öncül 2 : Eğer } x = A \text{ ise } y = B$$

.....

$$\text{Sonuç : } y = \bar{A}$$

Bulanık gerçekteleme fonksiyonları aşığıdaki 5 gruptan birine aittir.

1.  $A \rightarrow B = (A \text{ değil}) + B$
2.  $A \rightarrow B = (A \text{ değil}) + (A * B)$
3.  $A \rightarrow B = (A \text{ değil} \times B \text{ değil}) + B$
4.  $A \rightarrow B = \sup \{c \in [0,1], A * C \leq B\}$  (GMP'nin tanımıdır)
5.  $A \rightarrow B = \inf \{t \in [0,1], B + 1 \leq A\}$  (GTP'nin tanımıdır)

Buradaki “\*” işareti t-normunda herhangi bir operetörü, “+” ise s-normunda herhangi bir operetörü göstermektedir. Kartezyen çarpım “ $\times$ ” ise “ve” bağlacını ifade eder.

Yukarıdaki tanımları referans kabul ederek t-norm ve s-norm operetörlerini değişik seçerek birçok bulanık gerçekteleme fonksiyonu elde edilebilir. Bulanık mantık kontrolü içinde yaygın olarak kullanılan tip GMP tipinde bulanık gerçektelemedir. Örneğin t-norm operetörü min’u seçerek Mamdani’nin minimum bulanık gerçektelemesi elde edilmiş olur. Eğer t-norm operetörü olarak minumum yerine cebirsel çarpım seçilirse Larsen bulanık gerçekteleme elde edilmiş olur.

Mamdani’nin bulanık gerçektelemesi minumum işlemlili bulanık gerçekteleme, Larsen’in gerçektelemesi ise çarpım işlemlili bulanık gerçekteleme olarak bilinir[16][24][26].

#### **IV.4.2. Bileşke Operetörünün Tanımlanması**

Bileşke operetörler genellikle sup\* operetörler olarak ifade edilir. Kullanılan “\*” işareti “minimum, cebirsel çarpım” gibi operetörleri gösterir. Literatürde bileşke kural çıkarımsaması için sık olarak kullanılan dört çeşit operetör şunlardır;

- sup-min işlemlili (Zadeh, 1973)
- sup-çarpım işlemlili (Kavfmana, 1975)
- sup-sınırsal çarpım işlemlili (Mizumato, 1981)
- sup-drastik çarpım işlemlili (Mizumato, 1981)

Bulanık mantık kontrol ü uygulamalarında en çok kullanılan bileşke operetör, sup-min ve sup-çarpım bileşke operetörleridir. Bununla birlikte çıkarım sonunda diğerleri de kullanılabilir. Değişik uygulamalar için farklı operetörlerin daha iyi performanslar sağlayabildikleri görülmüştür[16].

### IV.4.3. Çıkarsama Mekanizmasının Belirlenmesi

Bir bulanık mantık kontrolünde kullanılan çıkarım mekanizması genellikle tipik bir uzman sisteminde kullanılanlardan daha basittir. Çünkü bir kuralın sonucu diğer bir öncele uygulanmaz. Başka bir deyişle bulanık mantık kontrolündeki kontrol işlemleri, bir derece ilerideki veriye bağlı olduğundan çıkarsama mekanizması dizilmiş olarak kullanılır.

#### IV.4.3.1. Birinci Tip Bulanık Çıkarsama

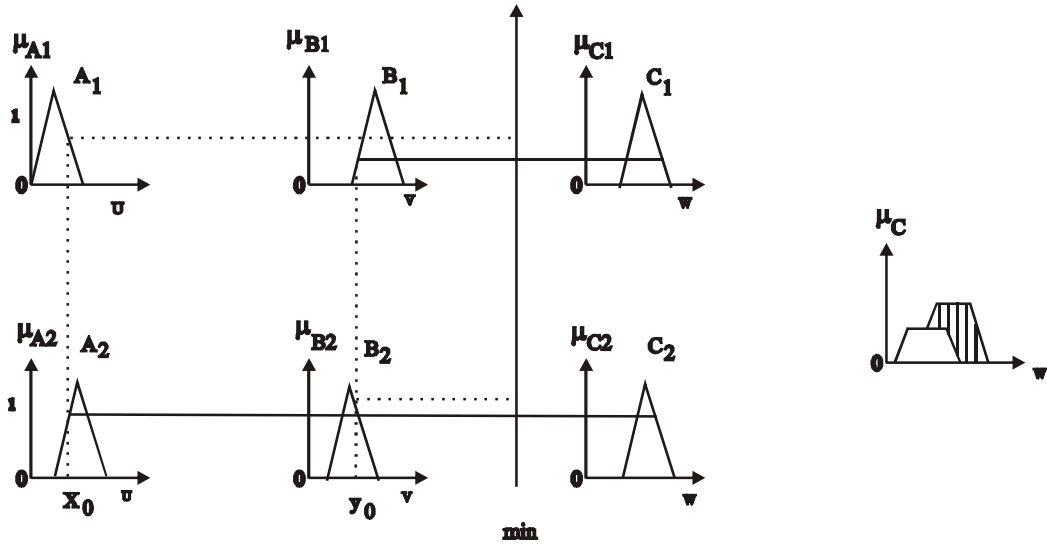
Bu tipte bulanık gerçekleştirme fonksiyonu olarak Mamdani'nin minimum bulanık gerçekleştirme  $R_c$  olarak seçilir. Bu tip çıkarsamada i. kuralın toplam kontrol eylemindeki etkisi,

$$m_{C_i}(w) = a_i \wedge m_{C_i}(w)$$

Bağıntısı ile tanımlanır. İki kuralımız olduğunu düşünelim. Bu durumda sonuçta elde edilen kontrol eylemi aşağıdaki gibidir.

$$m_C(w) = m_{C_1}(w) \wedge m_{C_2}(w) = [a_1 \wedge m_{C_1}(w)] \vee [a_2 \wedge m_{C_2}(w)] \quad (V.3)$$

Birinci tip bulanık çıkarsamanın grafiksel gösterimi Şekil IV-1'de verilmiştir[16][24].



Şekil IV-1 Birinci Tip Bulanık Çıkarsamanın Grafiksel Gösterimi

#### IV.4.3.2. İkinci Tip Bulanık Çıkarsama

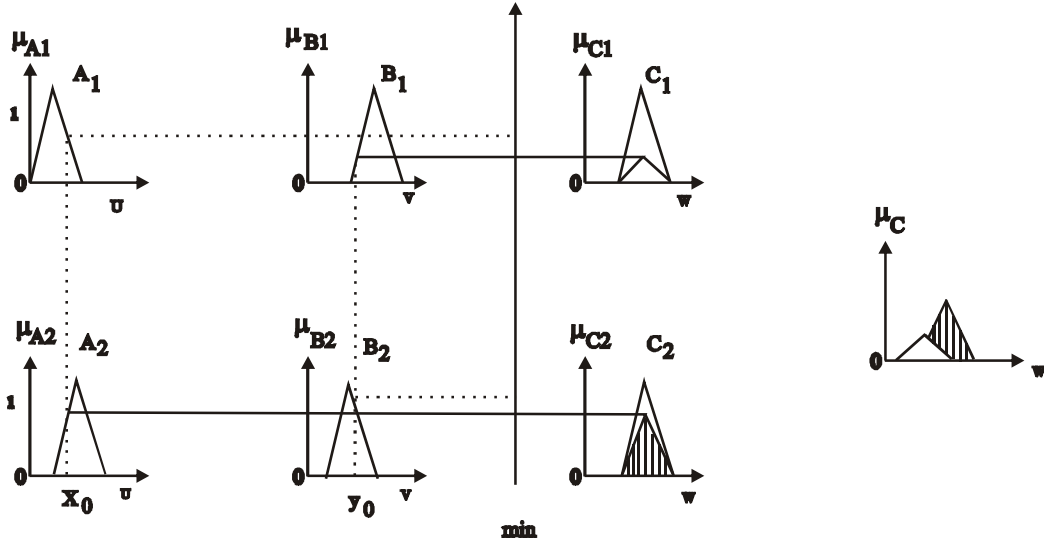
Bu tipte bulanık gerçekleştirme fonksiyonu olarak Larsen'in bulanık gerçekleştirme  $R_c$  olarak seçilirse i. kuraldan elde edilen kontrol eylemi aşağıdaki gibi olur.

$$m_{C_i}(w) = a_i \cdot m_{C_i}(w) \quad (V.4)$$

İki kurallı durumda aşağıdaki gibidir.

$$m_C(w) = m_{C_1} \vee m_{C_2} = [a_1 \cdot m_{C_1}(w)] \vee [a_2 \cdot m_{C_2}(w)] \quad (V.5)$$

İkinci tip bulanık çıkarsamanın grafiksel gösterilimi Şekil IV-2'de verilmiştir[16][24].



Şekil IV-2 İkinci Tip Bulanık Çıkarsamanın Grafiksel Gösterimi

#### IV.4.3.3. Üçüncü Tip Bulanık Çıkarsama

Birinci tip bulanık çıkarsamanın basitleştirilmiş halidir. Bu yöntem, özellikle monoton (monotonic) üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık değişkenleri için uygundur. Her kural için  $y_1$  ve  $y_2$  çıkarım sonuçları aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunur.

$$a_1 = C_1(y_1), \quad a_2 = C_2(y_2) \quad (V.6)$$

Toplam çıkarım sonucu aşağıdaki gibi verilir.

$$z_0 = \frac{a_1 \cdot y_1 + a_2 \cdot y_2}{a_1 + a_2} \quad (V.7)$$

Üçüncü tip bulanık çıkarsamanın grafiksel gösterimi Şekil IV-3'te verilmiştir[16][24].





### IV.5.1. Maksimum Kriteri Metodu

Bu metotla sonuçta elde edilen bulanık kontrol eylemini temsil eden bulanık kümenin maksimum dereceli elemanı kesin kontrol eylemi olarak bulunur. Örneğin sonuçta elde edilen bulanık kontrol eylemi üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık küme ise bu vektör üçgenin tepe noktasındadır.

### IV.5.2. Maksimumların Ortalaması Metodu (MOM)

Eğer birden fazla maksimumlara ulaşan nokta varsa bu durumda, bunların ortalaması kesin kontrol eylemi olarak kullanılır. Örneğin “n” tane maksimuma ulaşan “w<sub>i</sub>” noktası varsa;

$$z_0 = \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{n} \quad (V.9)$$

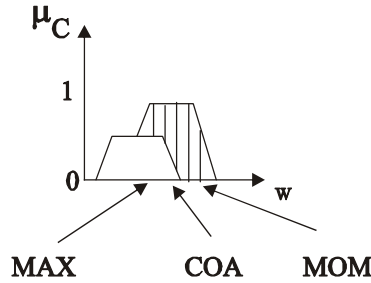
Formülü ile prosesin kontrol eylemi hesaplanır.

### IV.5.3. Ağırlık Merkezi Metodu

Durulama operatörü olarak en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bulanık kontrol eyleminin olasılıksal dağılımının ağırlık merkezi kesin kontrol eylemini belirler.

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n m_2(w_j) \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n m_2(w_j)} \quad (V.10)$$

Şekil IV-4’te bu üç stratejiye göre, belirli bir bulanık kontrol eylemi için kesin kontrol eylem değerleri gösterilmiştir[16][24][25][26].



Şekil IV-4 Durulama Stratejileri Gösterilimi

# BÖLÜM V

## V. SİSTEM BİLEŞENLERİ

Şebeke bağlantılı fotovoltaik aydınlatma sistemini oluşturan bileşenler, fotovoltaik paneller ile başlayan ve aydınlatmada tesisatında kullanılan armatürler ile biten zincirin halkalarıdır. Fotovoltaik paneller, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlamaktadırlar. Şarj regülatörü, fotovoltaik panellerde üretilen DC elektrik enerjisi ile akümülatör gruplarını şarj etmektedir. Akümülatör grubu, şarj regülatörü üzerinden aktarılan elektrik enerjisini, kimyasal enerjiye dönüştürerek depolamaktadır. İnverter, akümülatör gruplarından sağlanan DC elektrik enerjini AC'ye dönüştürmektedir. Dijital analog veri giriş çıkış kartı bilgisayara kontrol bilgilerini aktarmakta ve kontrol sinyallerini gerekli elemanlara aktarmaktadır. Aydınlatma tesisatı, Güç Elektronikği laboratuvarının aydınlatmasını sağlayan, yüksek verimli floresant ampuller ve elektronik balastlar taşıyan armatürlerden oluşmaktadır.

### V.1. FOTOVOLTAİK PANELLER

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Marmara Üniversitesi, MÜSEM Binası çatısında dört adet fotovoltaik panel konumlandırılmıştır. Panellerin burada konumlandırılmasında iki önemli faktör dikkate alınmıştır.

#### I) Güneşlenme Süresi:

Söz konusu binanın çatısı günün büyük bölümünde, güneşi doğu-batı doğrultusundaki hareketi sırasında, çevredeki diğer binaların gölgesinde kalmaksızın direkt olarak görebilmektedir. Bu nedenle, özellikle güneşlenme süresinin kısa olduğu kış ayları dikkate alındığında, önemli bir avantaj sağlamaktadır.

#### II) Gerilim Düşümü:

Deneysel sırasında aydınlatılacak laboratuvar ve panellerin yerleştirileceği çatı arasındaki mesafe, oluşacak gerilim düşümü açısından önem taşımaktadır. Binanın fiziksel

koşulları ve panellerin ürettiği enerjinin depolanacağı yer arasındaki mesafede gerilim düşümü açısından önemlidir.

Fotovoltaik panellerin çatı üzerindeki görüntüsü Şekil V-1’de ve bir modüle ait etiket değerleri Tablo V-1’de verilmiştir. Söz konusu dört modül ikiye 12V + 12V = 24V seri grup yapılarak bu grupların paralel bağlanmasıyla 24V gerilimli bir sistem elde edilmiştir[27][28].



**Şekil V-1 Fotovoltaik Panellerin Görünümü.**

**Tablo V-1 Fotovoltaik Modülü Etiket Değerleri**

<b>SCHÜCO</b>	
Serial	EB030707A077946
$U_{sys}$	600 V
$U_{mpp}$	18,8V - 19,1V
$I_{mpp}$	6,63A - 6,85A
$U_{OC}$	24V - 24,3V
$I_{SC}$	7,27A - 7,38A

Fotovoltaik panellerin güçlerine ait hesaplamalar Tablo V-2’de verilmiştir. Hesaplamaların yapılmasında, Microsoft Excell programında yapılan tablolar kullanılmıştır. Tablolarda hesaplamalar kullanıcı tarafından girilen verilere bağlı olarak otomatik olarak yapılmakta ve sonuçlara göre üretim grafiği çizdirilmektedir.

Tablo V-2 (a)’da armatür gruplarının her birinin, çalışma süreleri birbirinden farklı olduğu için üç ayrı yük grubu olarak gerilim, aktif güç, güç katsayısı, adetleri, günlük çalışma süreleri ve haftanın kaç günü çalıştıkları bilgileri kullanıcı tarafından girilmektedir. Bu değerler kullanılarak, haftada her bir yükün ne kadarlık görünür güç harcayacakları ve bunun toplam haftalık görünür güç tüketimleri hesaplanmaktadır.

Tablo V-2 (b)’de, sistemin çalışacağı DC gerilim kademesi belirlenmekte ve buna bağlı olarak ta gerekli üretim kapasitesi Ampersaat (Ah) olarak hesaplanmaktadır. Kablo ve akümülatör kayıpları ile kullanılan invertörün verimi kullanıcı tarafından girildikten sonra, bu veriler kullanılarak kayıpları da karşılayacak şekilde “Gerekli Net Üretim Kapasitesi” (Ah/hafta) ve “Gerekli Günlük Net Üretim Kapasitesi” (Ah/gün) hesaplanmaktadır.

Tablo V-2 (c)’de, aylara göre sistemin yüklenme oranları yüzde olarak kullanıcı tarafından girilmektedir. Aydınlatma sistemi üniversitenin yaz tatilinde bulunduğu Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kullanılmamaktadır. Ayrıca tablonun başlangıç kısmındaki armatürlerin, devrede kalacakları süreler en az güneşlenme süresine bağlı olarak belirlendikleri için Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında güneşlenme sürelerinin daha uzun olacağı dikkate alınarak yüklenme oranları %100’den düşük seçilmiştir. Aylara göre yüklenme oranlarına bağlı olarak günlük tüketim miktarları hesaplanmaktadır. Aynı bölümde, sistemin güneşten üreteceği elektrik enerjisi miktarının aylara göre radyasyon miktarına bağlı olarak değişeceği için İstanbul ilinin yatay yüzeye gelen ışınım miktarları Tablo V-2 (d)’de girilmektedir.

Tablo V-2 (e)’de, kullanılacak olan güneş pilene ait teknik veriler kullanıcı tarafından girilmektedir. Bu veriler Güç ( $W_p$ ), yükte uç gerilimi ( $U_{mpp}$ ), boşta uç gerilimi ( $U_{oc}$ ), Nominal Akım ( $I_{mpp}$ ), kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) ve panel verimidir.

**Tablo V-2 Fotovoltaik Panellere Ait Güç Hesaplamaları**

**(a) Yük Değerleri**

Yük	Ölçülen Gerilim (V)	Ölçülen Güç (W)	Ölçülen Güç (VA)	Ölçülen Güç Katsayısı	Hesaplanan Güç (VA)	Adedi	Çalışma Süresi (Saat/Gün)	Haftalık Süre (Gün/Hafta)	Toplam Tüketim (VA/Hafta)
Kademe 1-2-3	232	269	280	0,96	280,208333	1	1,5	5	2.101,56
Kademe 1-2	232	177	185	0,96	184,375	1	3	5	2.765,63
Kademe 1	232	78,6	79	0,99	79,3939394	1	5	5	1.984,85

**(b) Sistem Parametreleri**

DC Sistem Gerilimi	24,00 Volt
Gerekli Brüt Üretim Kapasitesi	285,50 Ah/Hafta
Kablo Kayıpları	3,00 %
Akü Kayıpları	5,00 %
Inverter Verimi	93,00 %
Gerekli Net Üretim Kapasitesi	332,01 Ah/Hafta
Gerekli Günlük Üretim Kapasitesi	47,43 Ah/Gün

Toplam Tüketim

6.852,04 VA/Hafta

**(c) Aylık Yüklenme Oranları**

Aylara Göre Yüklenme	%	Tüketim Miktarı (Ah/Gün)
Ocak	100 %	47,43
Şubat	100 %	47,43
Mart	100 %	47,43
Nisan	100 %	47,43
Mayıs	75 %	35,57
Haziran	50 %	23,72
Temmuz	0 %	0,00
Ağustos	0 %	0,00
Eylül	0 %	0,00
Ekim	80 %	37,94
Kasım	100 %	47,43
Aralık	100 %	47,43

**(d) Aylık Radyasyon Değerleri**

Ocak Radyasyon Değeri	1,82 kWh/m <sup>2</sup>
Şubat Radyasyon Değeri	2,42 kWh/m <sup>2</sup>
Mart Radyasyon Değeri	3,48 kWh/m <sup>2</sup>
Nisan Radyasyon Değeri	4,59 kWh/m <sup>2</sup>
Mayıs Radyasyon Değeri	5,72 kWh/m <sup>2</sup>
Haziran Radyasyon Değeri	6,78 kWh/m <sup>2</sup>
Temmuz Radyasyon Değeri	7,11 kWh/m <sup>2</sup>
Ağustos Radyasyon Değeri	6,53 kWh/m <sup>2</sup>
Eylül Radyasyon Değeri	5,22 kWh/m <sup>2</sup>
Ekim Radyasyon Değeri	3,25 kWh/m <sup>2</sup>
Kasım Radyasyon Değeri	1,99 kWh/m <sup>2</sup>
Aralık Radyasyon Değeri	1,53 kWh/m <sup>2</sup>
Yıllık Ortalama Radyasyon	4,20 kWh/m <sup>2</sup>

**(e) Güneş Paneli Değerleri (seri bağlı iki panel)**

Marka	Shüco	
Model	SCH125	
Güç (Wp)	125	Watt
Yükte Uç Gerilimi (Umpp)	38,20	Volt
Boşta Uç Gerilimi (Uoc)	48,60	Volt
Nominal Akımı (Imp)	8,60	Amper
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,40	Amper
Verimi (%Eff)	12	%

**Tablo V-3 Fotovoltaik Panellerin ve Akümülatör Kapasitesinin Hesaplanması**

**(a) Aylara Göre Gerekli PV Adedleri ve Güç Değerleri**

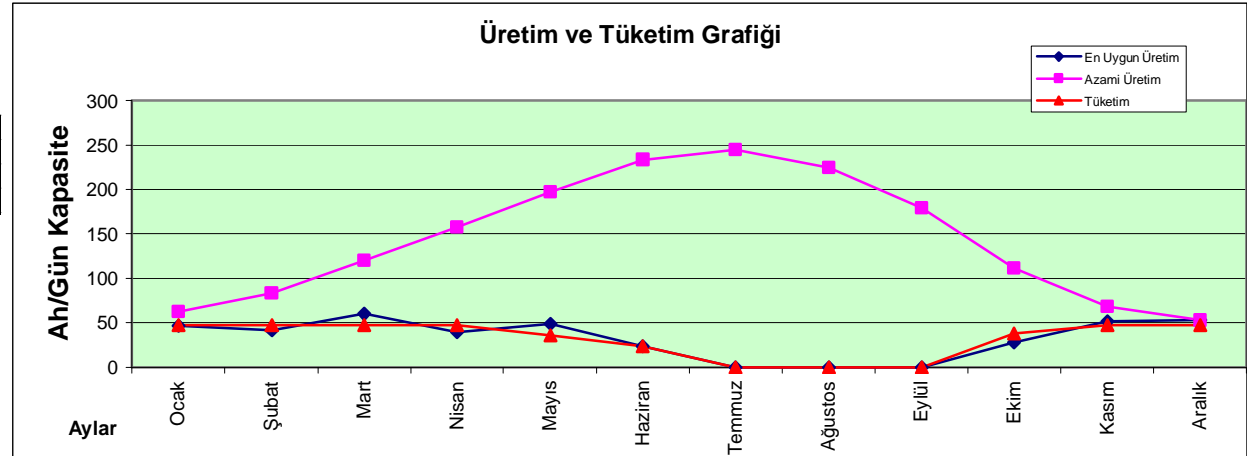
Ay	Adet	Üretim (Ah/Gün)	Kesim (Ah/Gün)	Tüketim (Ah/Gün)
Ocak	3	46,956	62,608	47,43
Şubat	2	41,624	83,248	47,43
Mart	2	59,856	119,712	47,43
Nisan	1	39,474	157,896	47,43
Mayıs	1	49,192	196,768	35,57
Haziran	0,4	23,3232	233,232	23,72
Temmuz	0	0	244,584	0,00
Ağustos	0	0	224,632	0,00
Eylül	0	0	179,568	0,00
Ekim	1	27,95	111,8	37,94
Kasım	3	51,342	68,456	47,43
Aralık	4	52,632	52,632	47,43
Yıllık Ort.	1	36,12	144,48	47,43

Azami İhtiyacı Karşılama İçin  
Gerekli Güneş Pili Adeti

4 ▲  
4 ▼

**(b) Gerekli Akü Kapasitesinin Hesaplanması**

Yedekleme Yapılacak Gün Süresi	3	gün
Akü Derin Deşarj Seviyesi	30	%
Günlük Harcama	47,43	Ah/gün
Gerekli Akü Kapasitesi	184,977	Ah



\* Azami üretim eğrisi en kötü şartlar ele alındığında gerekli güneş pili adedi ile yapılan üretimdir.

\*Tüketim armatürlerin aylara göre harcadıkları enerji miktarıdır

\*En Uygun Üretim aylık gerekli minimum güneş paneli tarafından üretilen enerji miktarıdır

Tablo V-3 (a)'da, yukarıda girilen ve hesaplanan verilere bağılı olarak aylık ihtiyaç duyulacak fotovoltaik panel sayısı, birinci sütunda hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada o ayın tüketim miktarı, o aya ait güneş radyasyonu değeri ve fotovoltaik panelin nominal akımı kullanılmaktadır. İkinci sütunda fotovoltaik panel adedi, o ayın güneş radyasyonu değeri ve fotovoltaik panelin nominal akımı kullanılarak, panellerin üretecekleri elektrik enerjisi "Ah/gün" olarak hesaplanmaktadır. En az güneş radyasyonu miktarına sahip olan ay aralık olduğu için elektrik enerjisi üretimi açısından, en kötü koşullar bu ayda oluşmaktadır. Sistemin ihtiyaç duyacağı fotovoltaik panel adedi de bu ay ihtiyaç duyulan panel sayısı olarak belirlenmiştir. Üçüncü sütunda bu fotovoltaik panel sayısı, hesaplanacak ayın güneş radyasyonu değeri ve fotovoltaik panelin nominal akımı kullanılarak üretilen kesin elektrik enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Son sütunda ise, Tablo V-2 (c)'den alınan tüketim miktarları eklenerek grafik çiziminde kullanılmıştır.

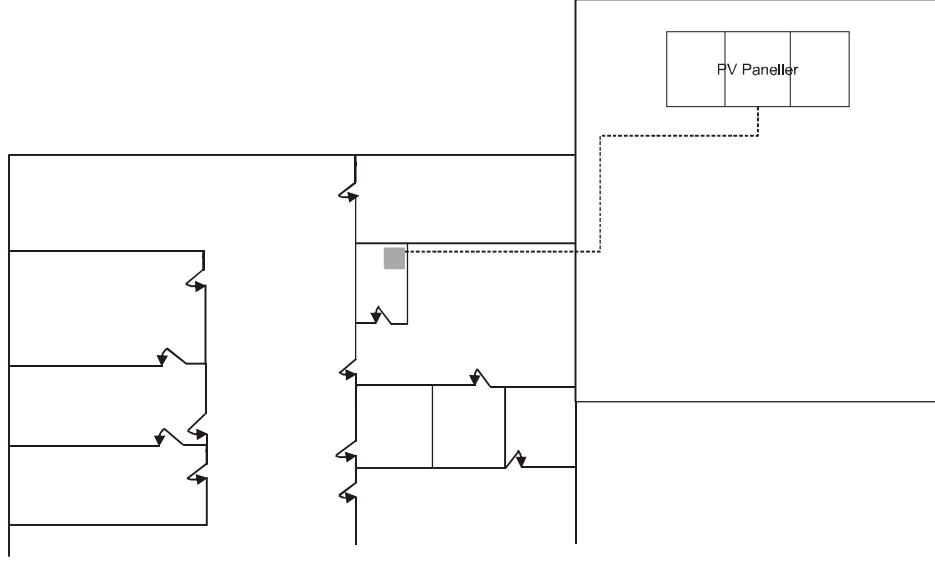
Üretim tüketim grafiğinde, ikinci ve üçüncü sütunlarda yer alan panellerin üretecekleri elektrik enerjisi ve kesin elektrik enerjisi değerleri ile daha önce hesaplanmış olan aylık tüketim değerleri kullanılarak aylara göre üretim-tüketim grafikleri çizdirilmiştir.

Tablo V-3'de ise gerekli akümülatör kapasitesi hesaplanmıştır. Bu hesaplama için kullanıcı tarafından, yedekleme yapılacak gün sayısı ve akümülatörün derin deşarj seviyesi girilmektedir. Yedekleme yapılacak gün sayısı belirlenirken fotovoltaik panellerin havanın tamamen bulutlu olacağı ve hiç güneş görmeyecekleri maksimum gün sayısı dikkate alınmaktadır. Yedekleme yapılacak gün sayısı, akümülatörün derin deşarj seviyesi ve sistemin günlük elektrik enerjisi harcaması değerleri kullanılarak yedekleme için gerekli akümülatör kapasitesi hesaplanmıştır[29].

Fotovoltaik panellerden elde edilen gerilimin dalga şekli Şekil V-2'de görülmektedir.







**Şekil V-3 Fotovoltaik Panellerin Yerleşim Planı**

## V.2. AKÜ GRUBU

Fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin depolanması amacıyla iki adet 12V gerilimli 100Ah'lik akü seri bağlanarak şarj regülatörü üzerinden sisteme bağlanmıştır. Aküler kuru tip ve bakım gerektirmeyen tiplerde seçilmiştir[31].



**Şekil V-4 Akü Grubunun Görünüşü.**

### V.3. ŞARJ REGÜLATÖRÜ

Akü grubunun aşırı şarj veya deşarj olmasını engellemek ve yükün enerjisiz kalmasını en aza indirmek amacıyla, fotovoltaik sistemlerde şarj regülatörü kullanmak gereklidir. Şarj regülatörünün görevi yükün sisteme bağlı olduğu zamanlarda yükün istediği akımı sağlamak ve eğer fazla gelen bir enerji varsa bu enerjiyle aküleri şarj etmektir. Ayrıca aküler fazla şarj olduğunda aküye giden deşarj akımını kesmek, akülerin aşırı deşarj durumunda ise yüke aktarılan akımı kesmek gibi sistem elemanlarını koruma işlevi vardır[29].



Şekil V-5 Şarj Regülatörünün Görünümü

### V.4. İNVERTER

Devrede akü grubundan alınan doğru gerilimi, gerilim kontrol ünitesinin çalışma gerilimi olan alternatif gerilime yükseltmek için uygun gerilim ve güç değerlerine sahip bir inverter kullanılmıştır[32].



**Şekil V-6 İnverter**

İnvertörün elektriksel özelliklerine ait değerler Tablo V-4’de verilmiştir.

**Tablo V-4 İnvertörün Elektriksel Özellikleri**

<b>XANTREX 250 i Inverter</b>	
24 VDC 230 VAC / 50 Hz	
Çıkış Gücü (sürekli)	250 Watt
Şok Güç Kapasitesi (tepe değeri)	500 Watt
Çıkış Gerilimi	230 Volt AC +/- 5%
Çıkış Frekansı	50 Hertz +/- 3
Çıkış Dalga şekli	Modifiye edilmiş Sinüs
Maksimum Verim	90%
Boşta Çektiği Akım	< 0,1 A
Giriş Gerilimi Sınırları	20 - 28 Volt DC

## **V.5. DİJİTAL ANALOG VERİ GİRİŞ ÇIKIŞ KARTI**

Sistemin kontrolü bilgisayar üzerinden gerçek zamanlı bir kontrolör ile yapılmıştır. Bilgisayara gerekli kontrol verilerinin giriş ve çıkışı içinde Advantech firmasının ürettiği “PCL 818L” ISA slot dijital analog veri giriş çıkış kartı (DAQ) kartı kullanılmıştır. Kartın temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 16 tek sonlu veya 8 Diferansiyel Analog Giriş
- 1 adet 12 bit Analog Çıkış
- 16 Dijital giriş ve 16 Dijital Çıkış
- 12 bit A/D Konverter

- Giriş Empedansı :10 M $\Omega$
- Maks. Giriş Gerilimi : 30 Volt

Bilgisayarın kontrol programının üç temel giriş sinyali; Hareket bilgisi, Akümülatör seviye bilgisi ve Aydınlık seviye bilgisi DAQ kartının analog girişleri tarafından okunmaktadır. Bu girişler PCDL 815 Adams klamens bordu üzerinden yapılmaktadır[33]. (Şekil V-7)



**Şekil V-7 Dijital Analog Veri Giriş Çıkış Kartının Bağlantı Üniteleri**

Programın çıkış bilgileri ise dört dijital sinyaldir. Bunlar LG1, LG2, LG3 ve Akü/Şebeke kontrol sinyalleridir. Dijital çıkışlar DAQ kartının üzerinden alınan DB37 data kablosu ile yapılmaktadır.

## **V.6. AYDINLATMA TESİSATI**

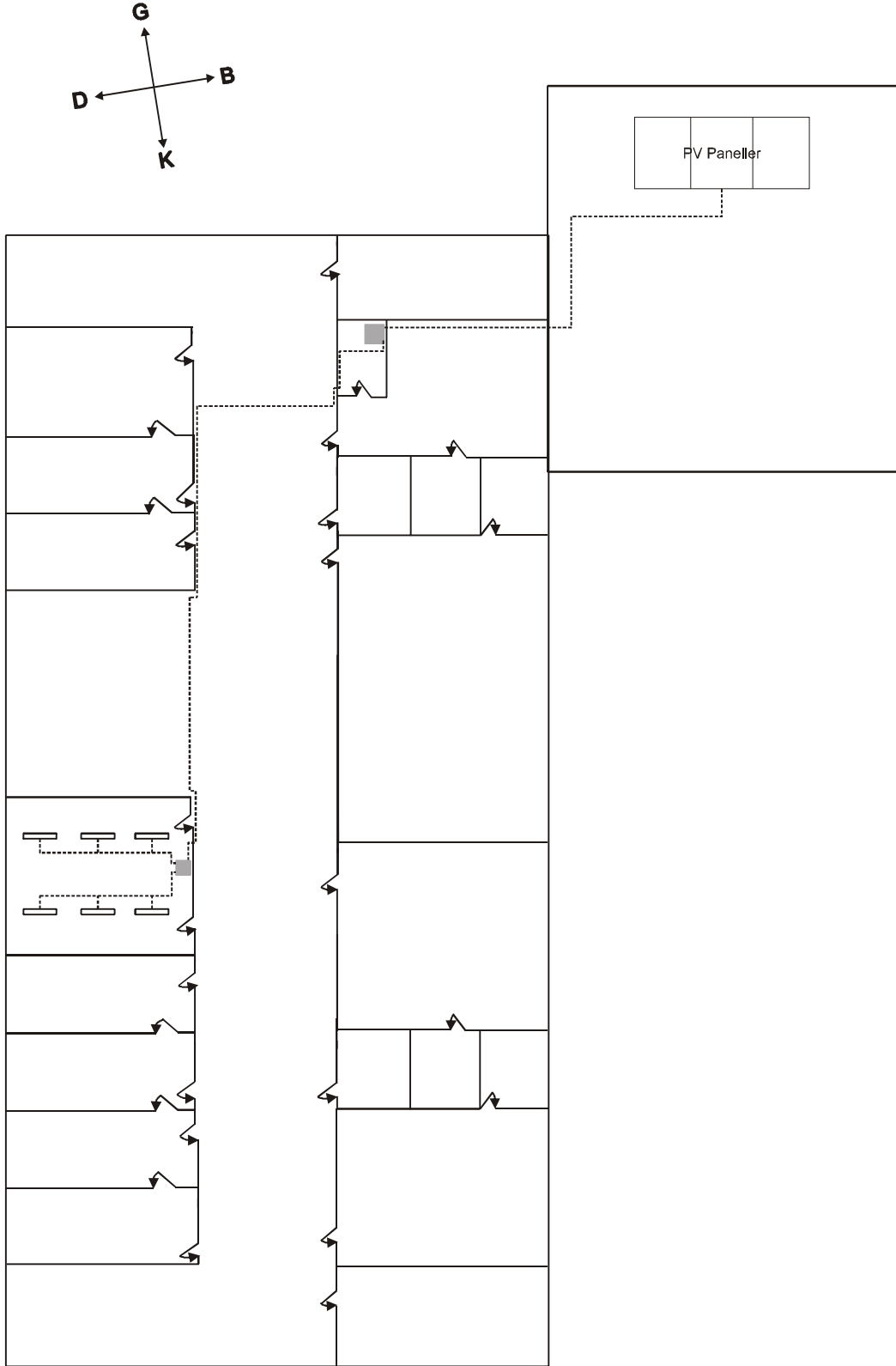
Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümünde bulunan Güç Elektroniği laboratuvarı aydınlatma tesisatının döşenmesi için kullanılmıştır. Laboratuvar binanın doğuya bakan cephesinde yer almaktadır. Bu nedenle güneşin doğuşu ile güneşlenmeye başlamakta ve öğle saatlerine kadar direkt olarak güneş ışığı almaktadır. Mevcut bulunan aydınlatma tesisatında dört adet armatür yer almaktadır. Armatürlerin her birinde 2 adet 36 watt'lık floresant ampul bulunmaktadır.

Fotovoltaik enerjili aydınlatma sistemi, armatür gruplarını kademeli olarak devreye alarak, çalışma düzleminde aydınlatma şiddetini 300 lux'te sabit tutacak şekilde tasarlanmıştır. Laboratuvarında mevcut bulunan aydınlatma tesisatı ile bu sistem kurulamamıştır. Bu nedenle yeni bir aydınlatma tesisatı çekilmiştir.

Yeni çekilen aydınlatma tesisatı için yapılan gerilim düşümü hesabında, %e=0,281 olarak bulunmuştur. Bu değer aydınlatma tesisatlarında izin verilen %e=3 değerinin altında kaldığı için kullanılan iletkenin kesiti yeterlidir[34][35].

P : 283 Watt U : 220 Volt s : 2,5 mm<sup>2</sup> k : 56 l : 33,67 metre

$$\%e = 2 \times \frac{100 \times l \times P}{k \times s \times u^2} = 2 \times \frac{100 \times 33,67 \times 283}{56 \times 2,5 \times 220^2} = 0,281 \quad (6.2)$$



**Şekil V-8 Aydınlatma Tesisatı Krokisi**

## V.6.1. Aydınlatma Armatürleri

Fotovoltaik panellerden üretilen enerjinin, etkin ve ekonomik bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle aydınlatmada kullanılacak floresant lambaların seçiminde, düşük güç tüketimi ile yüksek ışık akısı vermelerine dikkat edilmiştir. Aydınlatılması yapılacak ortamın ders yapılan bir laboratuvar olması nedeni ile ışık rengi daha sıcak olan bir floresant lamba kullanılmıştır.

Philips firması tarafından üretilen, TL5 serisi 21 Watt'lık floresant ampullerin yukarıda belirtilen özellikleri taşımaktadır. Lambaların devresinde de elektronik balast kullanılmıştır. Bu malzemelerin teknik özellikleri Tablo V-5'de verilmiştir.

Floresant ampullerin takılacağı TL5 serisi armatür askı tipi olarak piyasada bulunamamıştır. Bu nedenle standart floresant ampuller için kullanılan 84 cm'lik armatürler kesilip TL5 floresant ampullerin takılabileceği boyutta yeniden birleştirilmiştir. Soketlerin baş kısımlarında bulunan yuvalara da ampullerin takılabilmesi için elektrik klemensleri yerleştirilmiştir[36].

**Tablo V-5 Floresant Lamba ve Elektronik Balast Teknik Özellikleri**

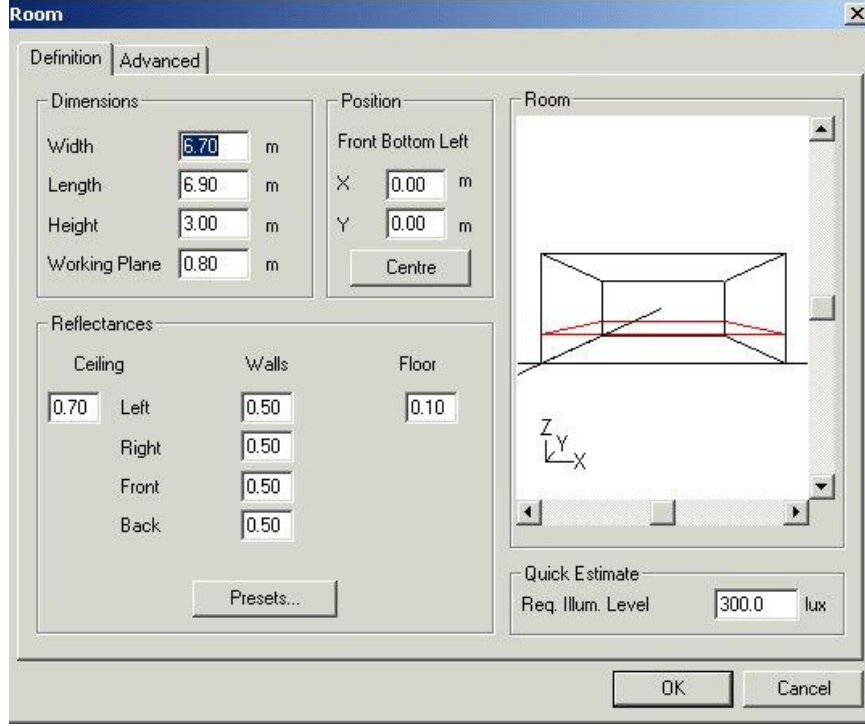
Lamba Tipi	Işık Rengi (kelwin)	Deşarj Akımı (mA)	Lamba Gerilimi (volt)	Lamba Gücü (watt)	Işık Akısı (lumen)	Işık Verimi (lumen/watt)
TL5 21W	840	170	123	21	2100	100

Balast Tipi	Lamba Sayısı (adet)	Güç (watt)	Akım (amper)	Verim (lumen/watt)	Kayıp (watt)	İletken Kesiti (mm <sup>2</sup> )
HF-P 418 TL5	2	48	0,21	83	6	1

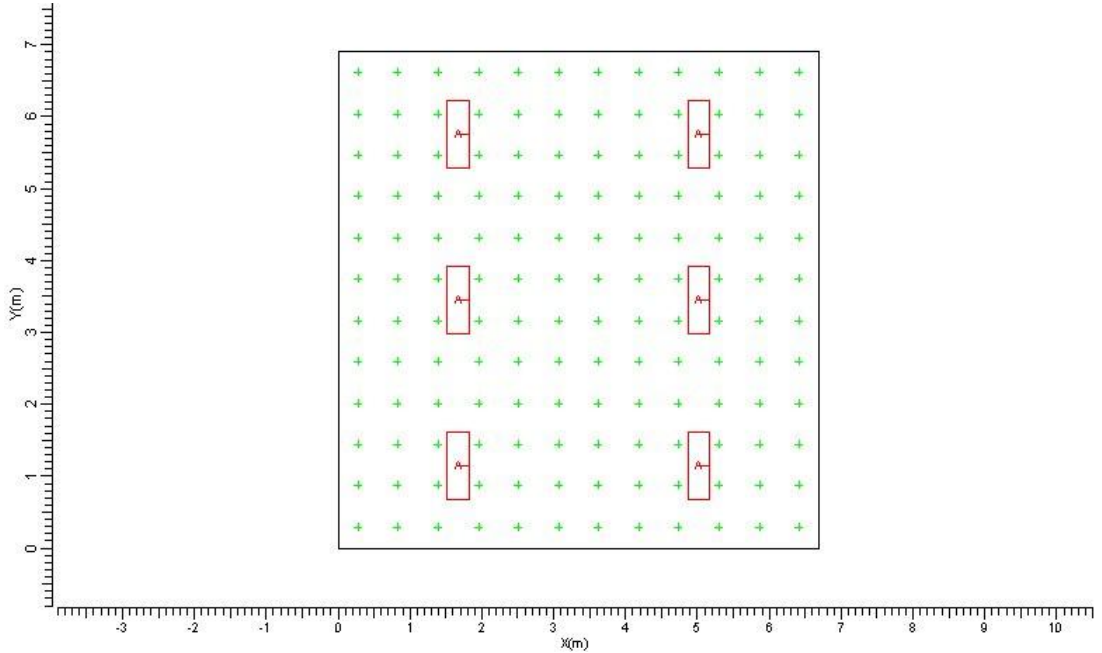
## V.6.2. Aydınlatma Hesabı

Güç elektroniği laboratuvarının, aydınlatılması için gerekli hesaplamalar Philips firmasının "Calculux" programında yapılmıştır. Hesaplamalar için bilgisayara veri girişi olarak odanın en, boy ve yükseklik olarak ölçüleri, tavan ve duvarların yansıtma katsayıları, armatürlerin tipleri, floresant lambaların tipleri, çalışma düzlemin yüksekliği, armatürlerin tij boyları ve çalışma düzleminde istenilen aydınlatma düzeyi (300 lux) girilmiştir[37]. (Şekil V-9)



**Şekil V-9 Calculux Programına Girilen Oda Değerleri**

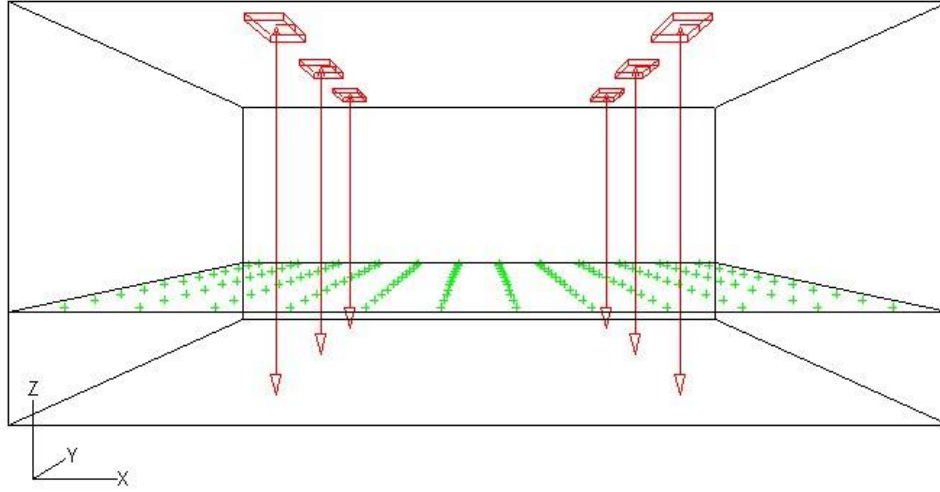
Bu değerler ile yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan armatür yerleşim planı Şekil V-10'de verilmiştir.



**Şekil V-10 Armatür Yerleşim Planı**

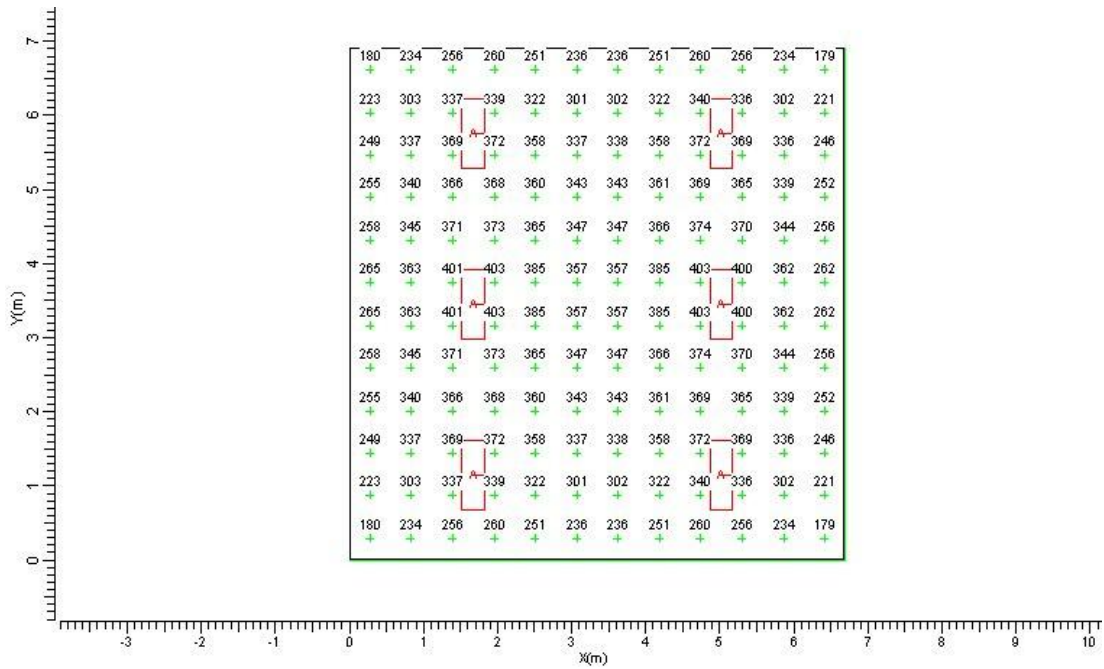
Odanın üç boyutlu olarak armatürlerin yerleştirilmiş durumunu gösteren üç boyutlu planda Şekil V-11'de görülmektedir.





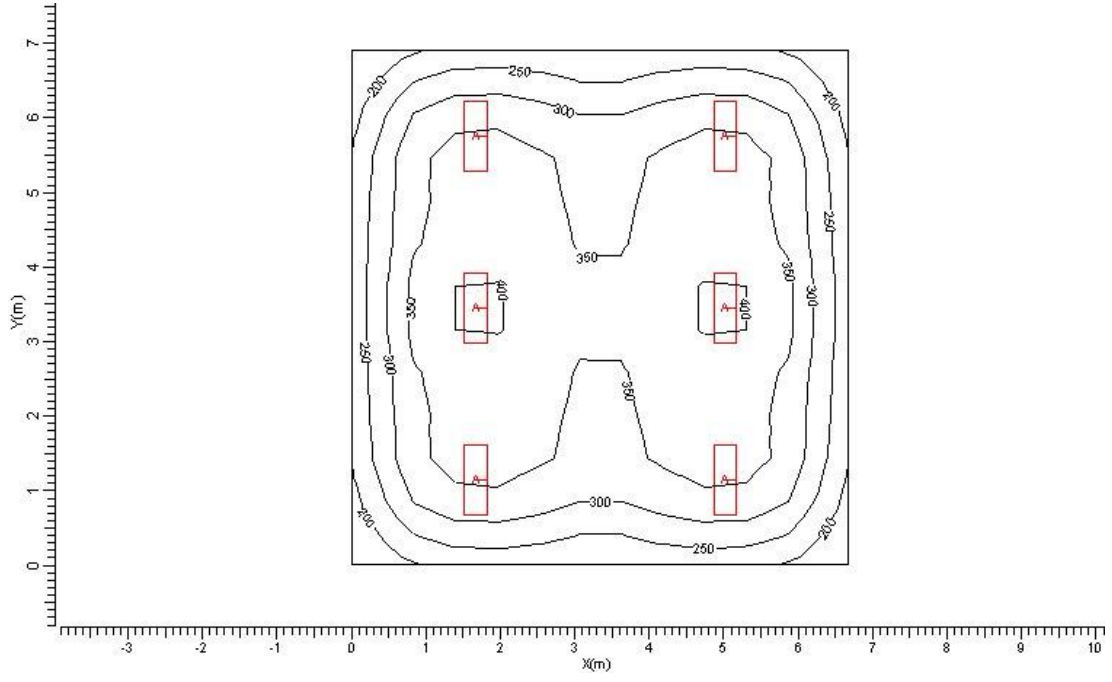
**Şekil V-11 Üç Boyutlu Yerleşim Planı**

Armatürlerin ağıladığı ışık akısının oda içerisindeki dağılımının tablo şeklindeki değerleri Şekil V-12’de görülmektedir.

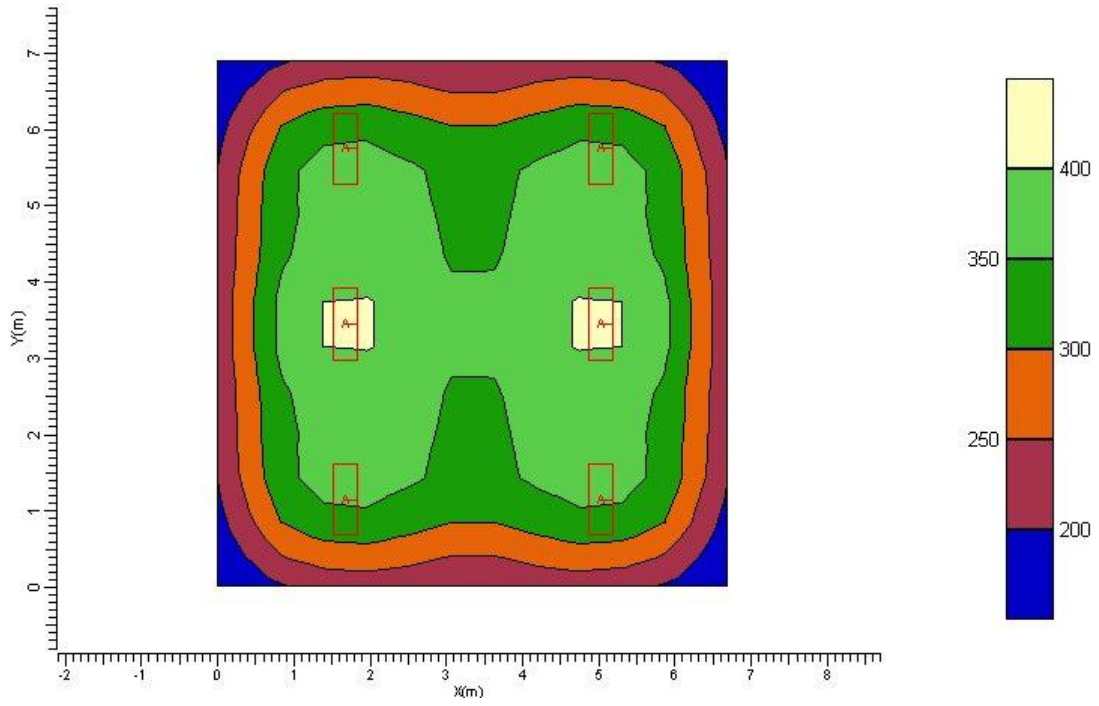


**Şekil V-12 Armatürlerin Işık akılarının Tablo Halinde Değerleri**

Aydınlatılması yapılan laboratuvardaki ışık şiddetlerinin eş aydınlatma eğrileri ve doldurulmuş eş aydınlatma eğrileri ile gösterilmeleri ve görülmektedir.



Şekil V-13 Eş Aydınlatma Eğrileri



Şekil V-14 Doldurulmuş Eş Aydınlatma Eğrileri

## BÖLÜM VI

### VI. ELEKTRONİK DEVRELER

Sistemde ölçüm, kontrol ve izolasyon yapabilmek amacı ile elektronik devreler kullanılmıştır. Devreler elektronik devre çizim “Express PCB” programının “Schematic” denilen kısmında devre elemanları kullanılarak tasarlanmıştır. Devrelerin çalışma şekillerini ve oluşabilecek problemleri görmek üzere, gerçek devre elemanları kullanılarak, elektronik board’lar üzerinde kurulmuşlardır. Enerji verilerek devrelerin çalışmaları kontrol edilmiştir. Devrelerde oluşan sorunlar giderildikten sonra “Schematic” programında gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Express PCB programının PCB (Printed Circuit Board) kısmında aynı devre baskı devre oluşturacak şekilde çizilmiştir. Devre şeması ile PCB kendi aralarında birbirine bağlanarak eksik elemanlar ve bağlantı yollarının kontrolü yapılmıştır. Bağlantı yollarındaki bazı kesişmeler tek yüzlü baskı yapılacağı için işaretlenerek devre yapıldıktan sonra iletkenler ile yapılmıştır.

Baskı devrelerin yazıcıdan çıkışları alındıktan sonra, uygun ölçüde kesilmiş bakır levhalar üzerine, baskı devre kalem (kalıcı kalem) kullanarak kopyaları ters yüzden çıkarılmıştır.  $Fe_3Cl$  (demirüçklörür) çözeltisine atılan bakır levhalar, sabit kalemlerle çizilmemiş tüm bölgeler eriyinceye kadar burada tutulmuşlardır. Baskı devre kaleminin bazı yollarda yeterli yoğunlukta çizim yapamaması sebebi ile buralarda aşınma oluşmuştur. Çözeltiden çıkarılan bakır plakalar, pertinaks kısımlarının temizlenmesinden sonra devre elemanlarının takılabilmesi için matkap ile işaretli noktalarından delinmişlerdir. Devre elemanları yerlerine takılıp, lehimleme işlemlerinden sonra, eksik kalan bağlantılar iletkenler kullanılarak yapılmıştır.

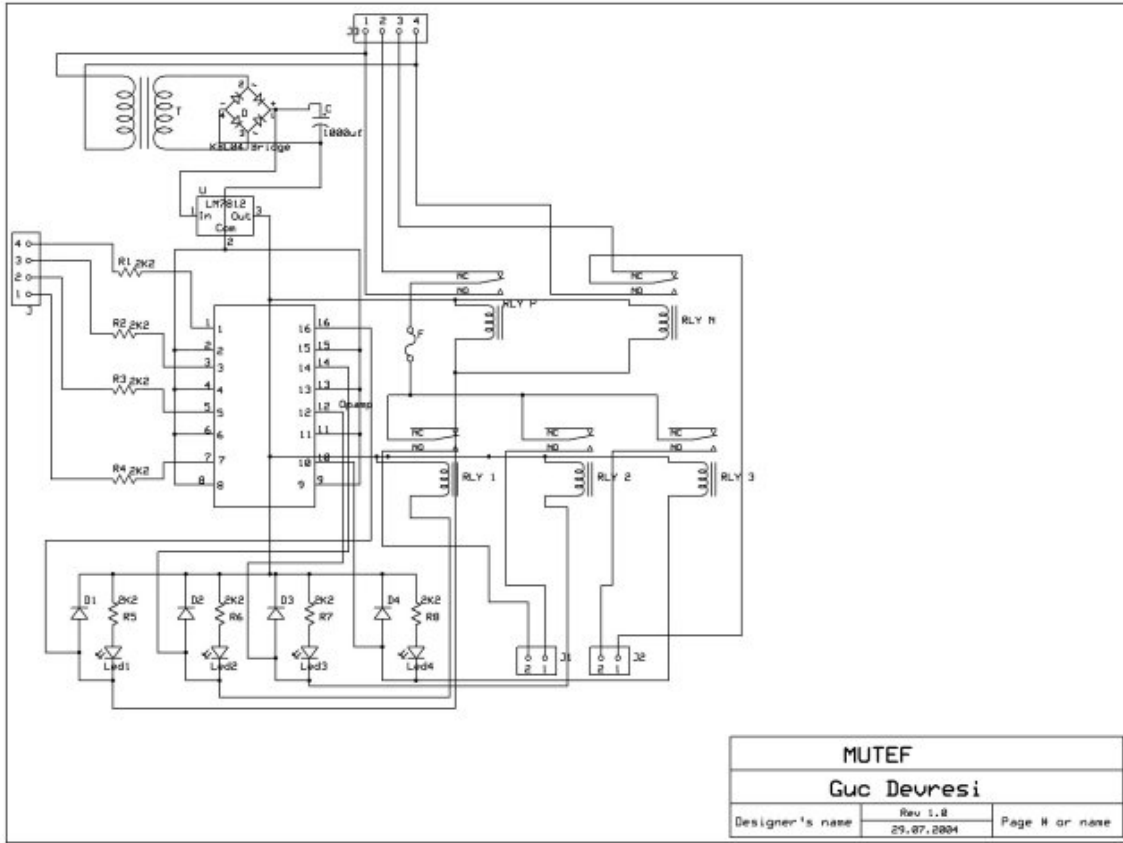
Ölçü aleti kullanılarak kısa devre kontrolü yapılan devrelere, enerji verilerek çalışmaları test edilmiştir.

## VI.1. RÖLE KONTROL KARTI

Aydınlatmada kullanılan armatürlerin beslemelerinin, bu kart üzerinden yapılmasından dolayı “Röle Kontrol Kartı” olarak isimlendirilmiştir. Devrenin görevi bilgisayara bağlı bulunan dijital analog veri giriş-çıkış (DAQ) kartı gelen sinyallere (Tablo VI-1) bağlı olarak, öncelikle faz ve nötr rölelerini kontrol ederek, beslemenin fotovoltaik panellerden veya şebekeden yapılmasını sağlamaktır. Daha sonra yine DAQ kartından gelen sinyallere bağlı olarak, armatürleri üç kademe halinde üç ayrı röle üzerinden devreye alır ve çıkarır. Devrenin çalışması için, kartın giriş klamenslerinde bulunan 220 volt AC Şebeke gerilimi ile 220/12 voltluk bir transformator beslenmektedir. Transformatorün sekonderinde bulunan 12 voltluk sargı uçlarına diyot köprüsü ve filtre kondansatörü (1000  $\mu$ F) konulmuştur. Elde edilen DC gerilim, 7812 gerilim regüle entegresine verilerek, sabit 12 volt DC gerilim elde edilmesi sağlanmıştır. Röle kontrol kartının, DAQ kartının çıkışlarından fazla akım çekmesini engellemek ve devrede oluşabilecek bir arızadan etkilenmesini engellemek için TLP serisi optocoupler entegresi kullanılarak izolasyon sağlanmıştır. Kart üzerinde bulunan rölelerden hangisinin sürüldüğünün görsel olarak anlaşılabilmesi için, optocoupler entegresinin çıkışına diyot direnç ve led kombinasyonundan oluşan bir devre eklenmiştir. Böylece hangi röle sürülürse, o röleye ait led yanmakta ve sistemin kontrolü görsel olarak ta sağlanmaktadır. Şekil VI-1 ve Şekil VI-2 kartın şeması ve PCB’si görülmektedir.

**Tablo VI-1 Bilgisayardan Çıkan Kontrol Verileri**

<b>Çıkış Verileri</b>	<b>Türü</b>	<b>Gerilim (volt)</b>
Armatür Kademe 1	Dijital	0, 5
Armatür Kademe 2	Dijital	0, 5
Armatür Kademe 3	Dijital	0, 5
Şebeke / Akü Seçimi	Dijital	0, 5



Şekil VI-1 Röle Kontrol Kartının Devre Şeması



Şekil VI-2 Röle Kontrol Kartı

## VI.2. OPTİK İZOLASYON DEVRESİ

Kontrol sistemin çalışması için, sensörlerden gelen bilgilerin DAQ kartı aracılığı ile bilgisayara aktarılması gerekmektedir. Sistemin giriş verileri Tablo VI-2’te gösterilmektedir.

Tablo VI-2 Bilgisayara Giren Kontrol Verileri

Giriş Verileri	Türü	Gerilim (volt)
Akü Gerilim Bilgisi	Dijital	0, 5
Hareket Bilgisi	Dijital	0, 5
Aydınlık Seviye Bilgisi	Analog	0 ~ 5

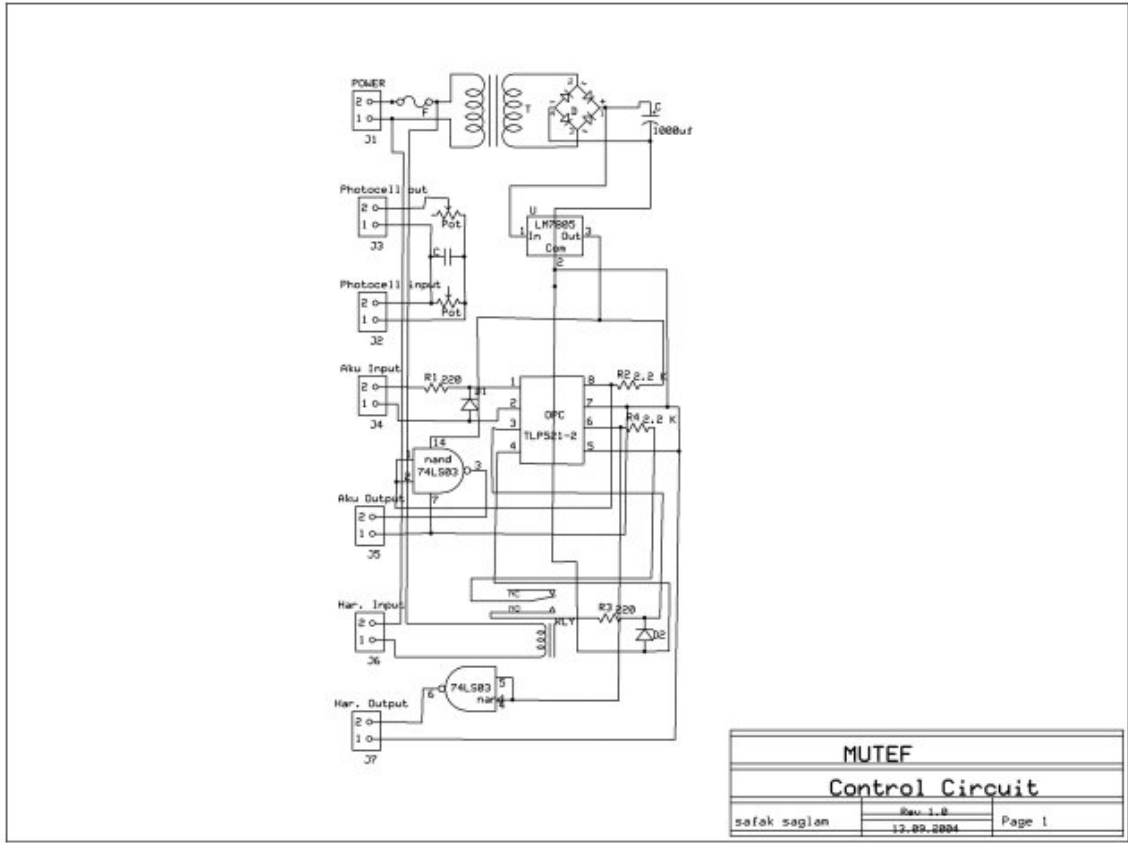
Bu verilerin DAQ kartına ve bilgisayara zarar vermemesi için, dijital bilgiler bir optocoupler üzerinden izole edilmektedir. Bu amaçla kullanılan devreye “Optik İzolasyon Devresi” denilmiştir. Devrenin çalışması için, kartın giriş klemenslerinde bulunan 220 volt AC Şebeke gerilimi ile 220/6 voltluk bir transformatör beslenmektedir. Transformatörün sekonderinde bulunan 6 voltluk sargı uçlarına diyot köprüsü ve filtre kondansatörü (1000  $\mu$ F) konulmuştur. Elde edilen gerilim, 7805 regüle entegresine verilerek sabit 5 volt DC gerilim elde edilmiştir.

Akü gerilimini kontrol eden karttan gelen bilgi, optocoupler’ı sürdüğü zaman çıkışında bulunan nand kapısının iki girişi birden “0” seviyesine düşer. Nand kapısının 3 nolu çıkışından “1” bilgisi alınır. Bu bilgi, akünün seviyesinin belirlenen sınır değerlerin altına düştüğünü belirtir.

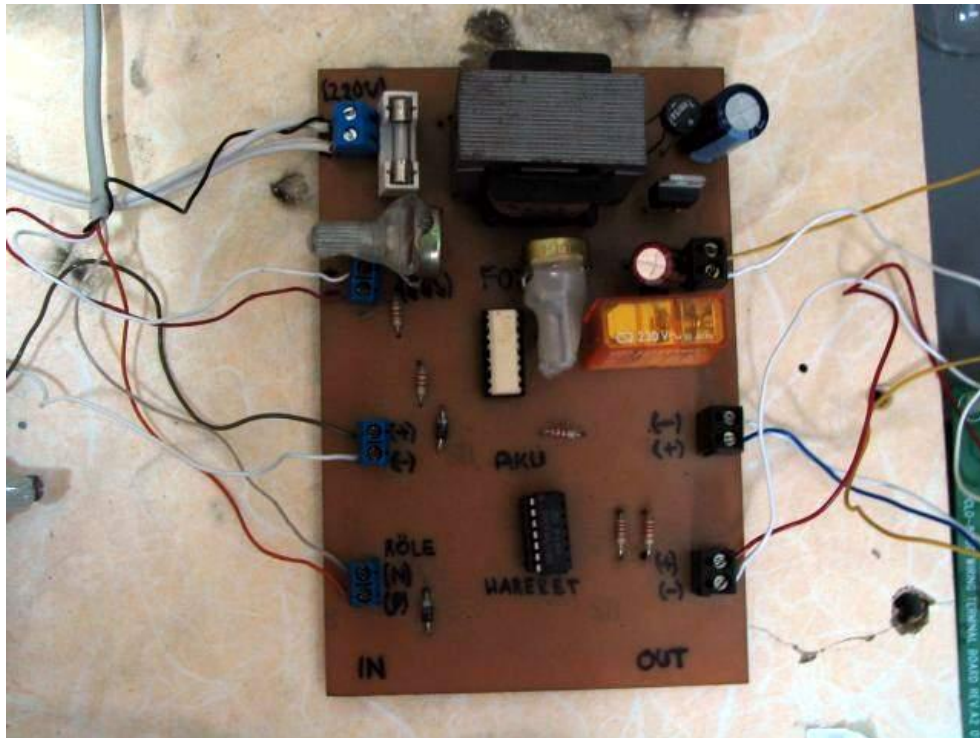
Hareket sensörü, aydınlatılması yapılacak laboratuvarında giriş kapısını ve deney masalarını göreceğ şekilde, duvara yerden 215 cm yükseğe monte edilmiştir. Sensörün çıkışları 220 volt 2300 watt AC yükleri besleyecek şekilde röle çıkışlıdır. Bu nedenle hareket sensörünün röle girişine, 220 volt AC faz gerilimi verilerek bunu anahtarlama sağlanmıştır. Optik izolasyon devresine gelen bu faz, kartın üzerinde bulunan ve bobini 220 volt AC ile çalışan röleyi sürmektedir. Rölenin çıkış kontağına verilen 5 volt DC, anahtarlama yapılırca optocoupler’ı sürmektedir.

Laboratuvarın aydınlık seviyesinin ölçülmesi için yapılan lüksmetrenin çıkışları 0 ~ 9 volt DC gerilim vermektedir. Optik izolasyon devresinin girişine gelen bu gerilim, önce bir tripod aracılığı ile yarıya düşürülmektedir. Daha sonra gerilimin iletilmesi sırasında oluşan harmonikler için RC filtresi ile filtrelenmektedir.

$$R : 1201\Omega \quad C : 100 \text{ mF} \quad \mathcal{S} = R * C = 1201 * 100 * 10^{-6} \cong 0.12 \text{ sn} \quad (6.3)$$



Şekil VI-3 Optik İzolasyon Devresi Şeması



Şekil VI-4 Optik İzolasyon Devresi

### VI.3. ŞARJ KONTROL DEVRESİ

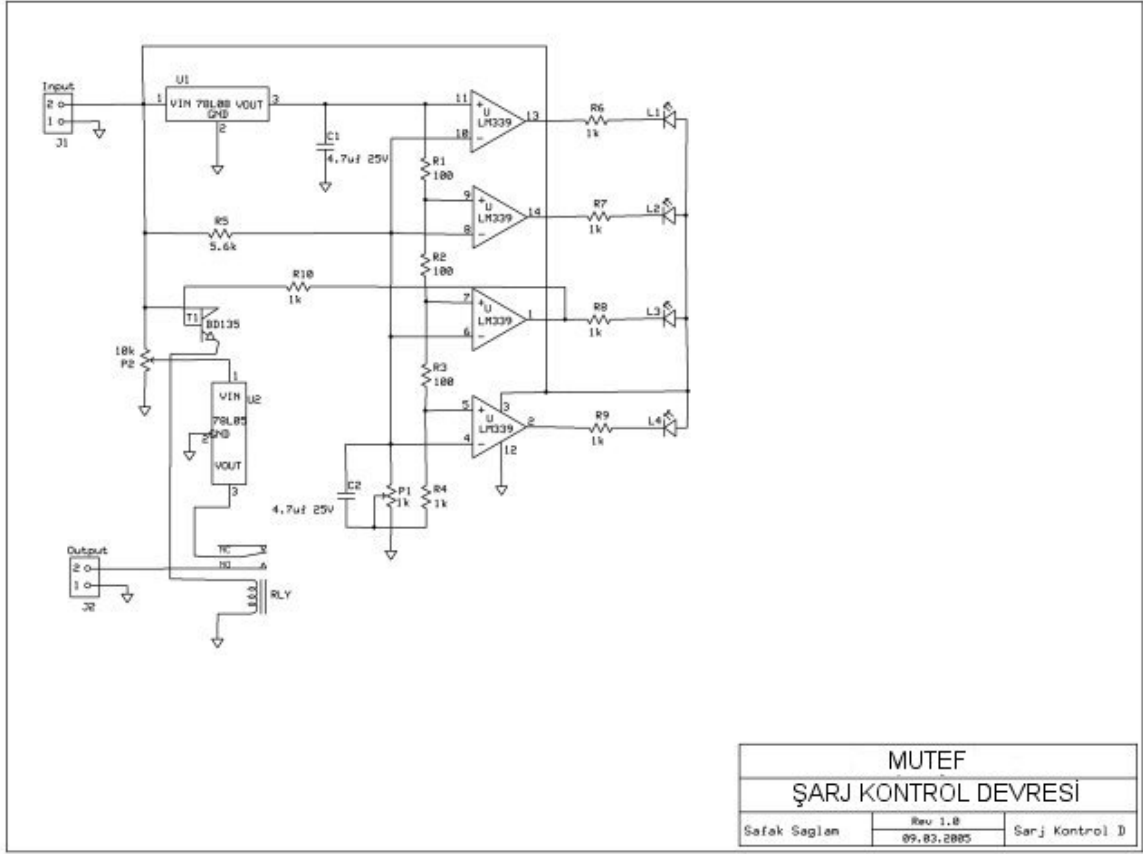
Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi, şarj regülatöründen geçtikten sonra akümülatör gruplarında kimyasal enerjiye dönüştürülerek depo edilmektedir. İki adet 12 voltluk kuru tip bakımsız akümülatörün seri bağlanmaları ile 24 voltluk sistem elde edilmiştir.

Şarj kontrol devresinin girişinde yer alan 7808 gerilim regülasyon entegresi ile 8 volta sabitlenen 12 voltluk DC giriş gerilimi ile aynı zamanda kartın çalışması için gerekli enerjide sağlanmaktadır.  $R_1...R_4$  gerilim bölücüsü üzerinden, gerilim karşılaştırıcının (LM339) evirmeyen girişlerine referans gerilim olarak uygulanır. Eviren girişler ise ayarlanabilen bir gerilim bölücüye paralel bağlanmıştır. Bu sayede akümülatör gerilimindeki değişim, her bölümdeki referans gerilim ile karşılaştırılır.

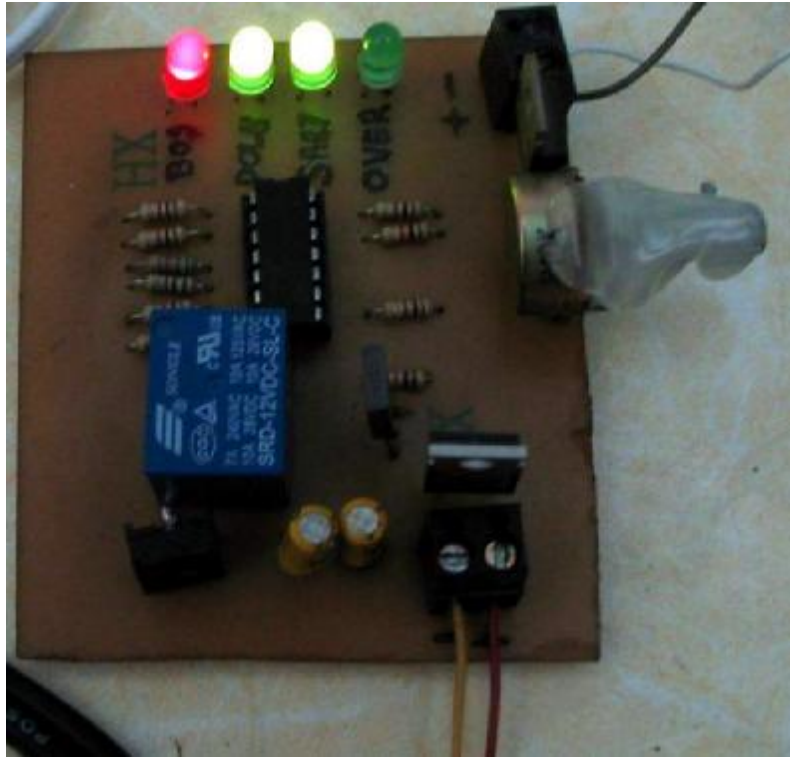
Devrenin offset ayarının yapılması için yani 11 – 14 volt bölgesinde 1'er volt aralıklarla ledlerin yanmaları  $P_1$  potansiyometresi ile yapılır. Bunun için devre 13 volt ile beslenir. Bu durumda  $L_3$  yanma sınırında olacak şekilde potansiyometre ile gerekli ayarlama yapılmıştır.

Akümülatörün boş kabul edilmesi için  $L_3$  ledinin sönmesi gerekmektedir. Buradan yola çıkılarak LM339'un 1 nolu çıkışından alınan sinyal ile BD135 transistörü sürülmüştür. BD135'in emitörüne bağlanan 12 voltluk rölenin bobini  $L_3$  söndüğü zaman enerjilenmektedir. 10 K $\Omega$ 'luk potansiyometre yardımı ile bölünen 12 voltluk giriş geriliminden 5 volt DC 7805'e uygulanarak 5 volt DC olarak sabitlenmektedir. Rölenin normalde açık kontağına verilen bu gerilim,  $L_3$ 'ün sönmesi ile çıkış bilgisi olarak verilmektedir[38][39].





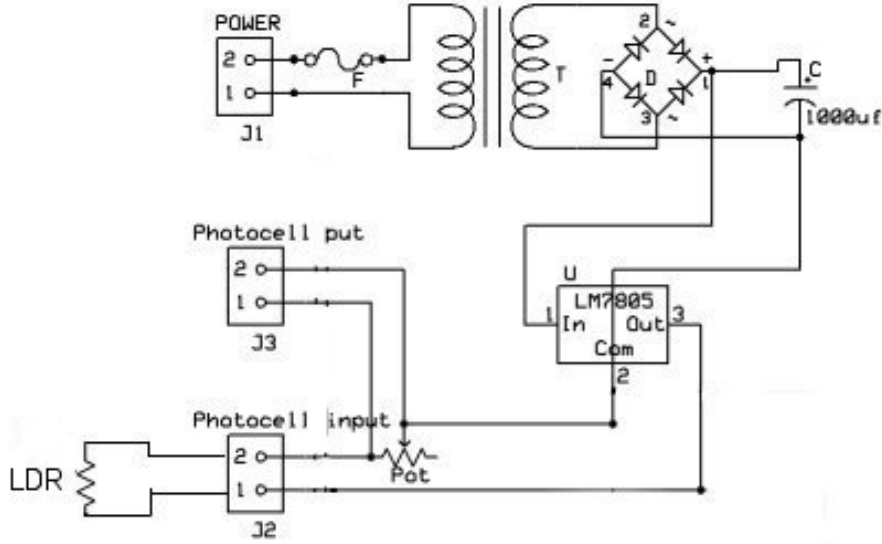
Şekil VI-5 Şarj Kontrol Devresi Şeması



Şekil VI-6 Şarj Kontrol Devresi

## VI.4. LÜKSMETRE DEVRESİ

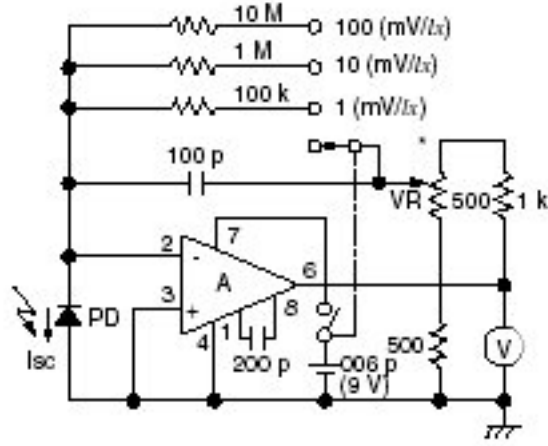
Aydınlatma kontrolünün, doğal aydınlatma seviyesine bağlı olarak yapılabilmesi için, dış ortam aydınlık şiddetinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla önce LDR kullanılarak bir gerilim bölücü devre yapılmıştır.



Şekil VI-7 LDR İle Yapılan Lüksmetre Devresi

LDR'li devre ile yapılan ölçümler sonucunda bazı sorunlar ile karşılaşmıştır. Bunların en önemlisi aynı ışık şiddeti için devrenin farklı günlerde farklı gerilim değerleri vermesi olmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu bunun sebebinin, direkt ve dağınık güneş ışınımı arasındaki enerji farkı olduğu bulunmuştur. LDR'nin direnci üzerine düşen güneş ışığı şiddeti ile azalmaktadır. Ancak hava bulutlu olduğunda veya yansıma ile gelen güneş ışınımı, aynı aydınlık seviyesini sağlasa da direnç değişimi farklı olduğu için, devre gerilimi de değişmektedir. Bu nedenle LDR'li bu devreden vazgeçilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda fotodiyot kullanarak aydınlık seviyesini ölçen bir devre yapılmıştır. Devrenin ışık şiddetini algılayacak olan fotodiyodun önüne ışınımı dağıtıp, direkt ve endirekt ışınım arasındaki farkı azaltacak konkav bir PVC konulmuştur. (Şekil VI-8) Devrenin çıkışı voltmetre uçlarından gerilim olarak alınmaktadır.



**Şekil VI-8 Fotodiyod Kullanan Lüksmetre Devresi**

Devrenin beslemesi olarak 9V'luk pil kullanılmaktadır. Fotodiyodun üzerine düşen güneş ışığı şiddeti ile doğru orantılı olarak opamp bir akım ile beslenmektedir. Yüksek kazançlı olan opampın çıkış uçlarından 0 ~ 9 volt DC gerilim ölçülmektedir[40].



**Şekil VI-9 Cama Yerleştirilen Lüksmetre Devresi**

## **BÖLÜM VII**

### **VII.KONTROL SİSTEMİ**

Sistemin kontrolü, bulanık mantık kontrolörü kullanılarak yapılmaktadır. Kontrol sisteminin giriş bilgilerini ise Akü gerilim bilgisi, hareket bilgisi ve aydınlık seviyesi bilgisi oluşturmaktadır. Söz konusu bilgilerin elde edilmiş şekilleri önceki bölümlerde tasarlanan devreler ile anlatılmıştır.

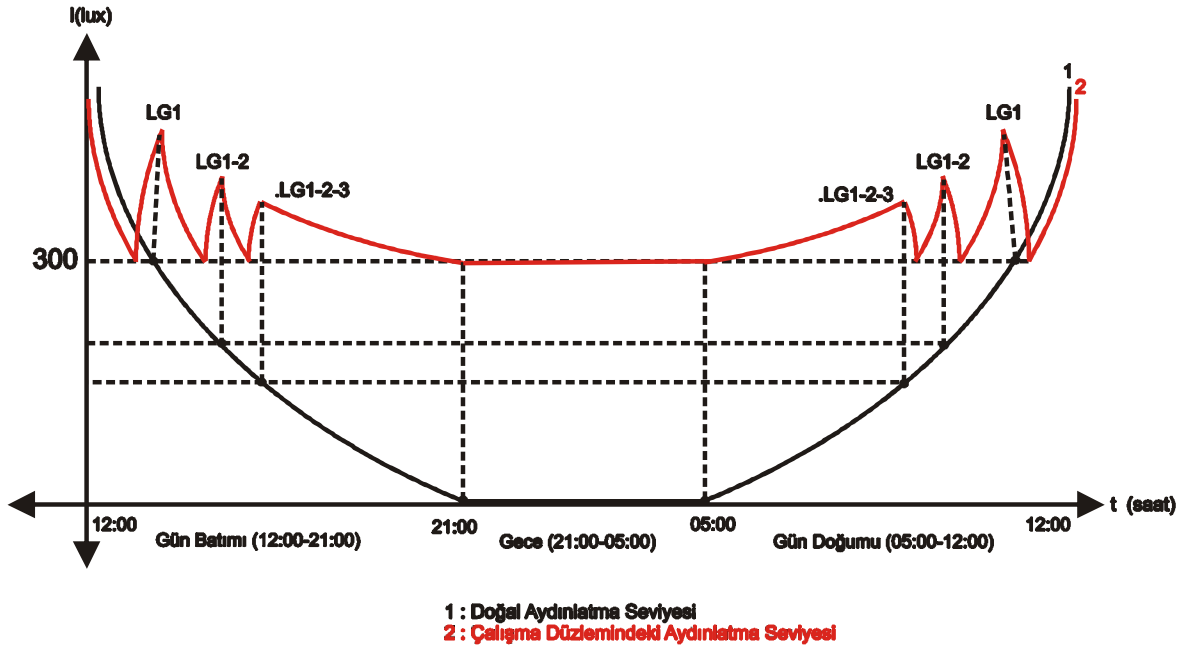
#### **VII.1. AYDINLATMA KONTROL SİSTEMİ**

Aydınlatma kontrol sistemlerinde doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol yapılabilmektedir. Bu tip kontrol sistemlerinde pencerelerden içeriye giren doğal aydınlatmaya bağlı olarak yapay aydınlatma ya anahtarlama sureti ile açıp kapatılır yada loşlaştırma düzenleri yardımıyla hacim içindeki toplam aydınlık düzeyi (yapay+doğal) sabit kalacak şekilde ayarlanır.

Bu uygulamada, laboratuvar ortamının aydınlık seviyesinin doğal aydınlık seviyesinin değişimi ile sabit kalabilmesi için armatürler üç gruba ayrılmıştır. Pencereden yani doğal ışık kaynağından en uzakta kalan grup 1, orta sıradaki grup 2 ve pencereye en yakın grupta 3 numara olarak numaralanmıştır. Kontrol sırasında doğal aydınlık şiddeti azaldıkça 1 nolu gruptan başlayarak sıra ile armatür grupları devreye alınmaktadır. Böylece laboratuvarın içerisinde çalışma düzleminde istenilen 300 lux aydınlık şiddetinin sürekli olması sağlanmıştır.

Armatürlerin, devreye girecekleri aydınlık şiddetinin belirlenmesi için doğal aydınlatma şiddeti, cama yerleştirilen ve dış ortamın aydınlık şiddetini ölçen bir lüksmetre kullanılmıştır. Odanın aydınlatma hesaplarında belirlenen ve 300 lux aydınlık şiddetinin sabit tutulacağı iki noktaya ayrı ayrı birer lüksmetre yerleştirilmiştir. Bu lüksmetrelerde 300 lux değeri okunduğunda dış ortamın aydınlık seviyesini ölçen lüksmetrenin çıkış

gerilimi kaydedilmiştir. Doğal aydınlık seviyesi azalır, sınır değerin altına düştüğünde armatür grubu 1 devreye alınmıştır. Havanın kararması ile birini grup armatür yeterli olmayıp yeniden sınır değere düşüldüğünde yine çıkış gerilimi kaydedilip armatür grubu 2’de devreye alınmıştır. Bir süre sonra doğal aydınlık şiddetinin azalır tekrar sınır değere gelindiğinde gerilim kaydedilip, armatür grubu 3 devreye alınmıştır. Bu döngü her gün güneşin batı yönüne hareket edip laboratuvarın aydınlık şiddetinin azalması ile tekrarlanmaktadır.



**Şekil VII-1 Aydınlatma Kontrol Sisteminin Çalışma Diyagramı (Haziran Ayı İçin)**

Gün doğumunda ise sistem tam ters yönde çalışmaktadır. Başlangıçta tüm armatür grupları devrededir. Doğal aydınlık seviyesi gün doğumu ile artmaya başlamaktadır. Çalışma düzlemi üzerinde yer alan iki ayrı lüksmetreden ölçülen aydınlık şiddeti 300 lux değerini geçince önce armatür grubu 3 devreden çıkartılmakta ve camda bulunan lüksmetrenin ölçtüğü gerilim kaydedilmektedir. Güneşin yükselmesi ile doğal aydınlık seviyesi artmakta ve sırasıyla armatür grubu 2 ve armatür grubu 1’de devreden çıkartılmaktadır. Bu anahtarlamalar sırasında dış ortamın aydınlık seviyesini ölçen lüksmetrenin çıkışlarındaki gerilim kaydedilmektedir.

## VII.2. BULANIK KONTROLÖR TASARIMI

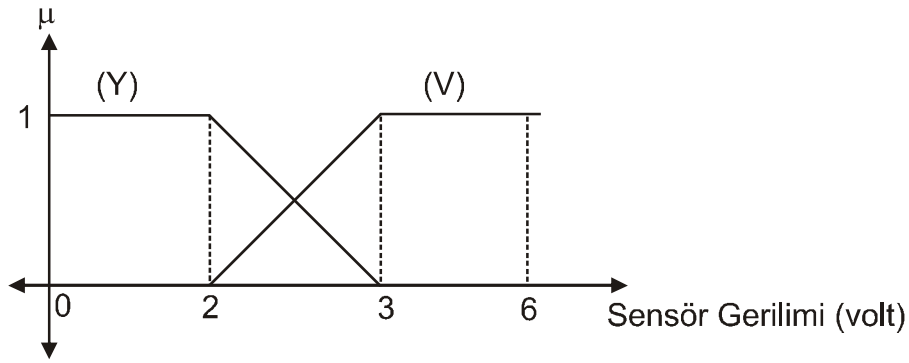
Bulanık mantık kontrolörünün üç giriş değişkeni, dört çıkış değişkeni bulunmaktadır.

## VII.2.1. Hareket Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi

Laboratuvarın içerisinde hareket olup olmadığını kontrol etmek, eğer içeride hareket varsa armatürleri devreye almak üzere bir hareket sensörü kullanılmaktadır. Sensörden gelen hareket bilgisi DAQ kartına 0-5 volt DC gerilim değeri olarak aktarılmaktadır.

Tablo VII-1 Hareket Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi

Bulanık Küme	Sınırlar	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Yok (Y)	0≤Sensör Gerilimi≤3	0	0	2	3
Var (V)	2≤Sensör Gerilimi≤6	2	3	6	6



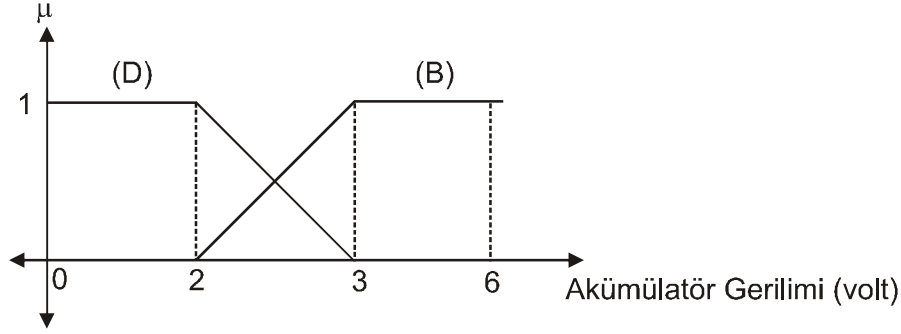
Şekil VII-2 Hareket Bilgisinin Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Kümeler

## VII.2.2. Akümülatör Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi

Akümülatör geriliminin bilinmesi tamamen deşarj olup zarar görmesinin engellenmesi açısından önemlidir. Ayrıca sistem şebeke bağlantılı olduğu için akümülatörün boşalması durumunda besleme şebeke üzerinden yapılacaktır. Şarj kontrol devresi ile ölçülen akümülatörün gerilim bilgisi DAQ kartına 0-5 volt DC gerilim değeri olarak aktarılmaktadır.

Tablo VII-2 Akümülatör Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi

Bulanık Küme	Sınırlar	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Dolu (D)	0≤Akümülatör Gerilimi≤3	0	0	2	3
Boş (B)	2≤Akümülatör Gerilimi≤6	2	3	6	6



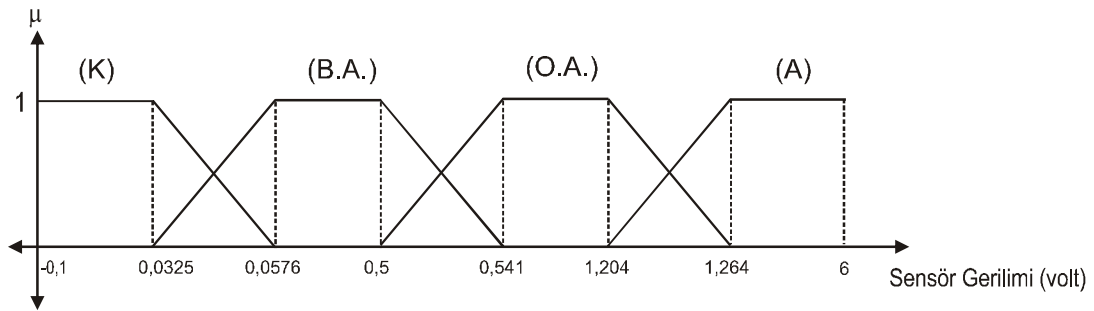
Şekil VII-3 Akümülatör Seviye Bilgisinin Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Kümeler

### VII.2.3. Aydınlık Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi

Aydınlik seviyesi Laboratuvarın camına yerleştirilmiş ve doğal aydınlik seviyesini ölçen, lüksmetre devresinin çıkışındaki 0 ~ 5 volt DC gerilim bilgisinden oluşmaktadır.

Tablo VII-3 Aydınlik Seviye Bilgisinin Bulanık Formda İfade Edilmesi

Bulanık Küme	Sınırlar	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Karanlık (K)	$-0,1 \leq \text{Akümülatör Gerilimi} \leq 0,0576$	-0,1	-0,1	0,0325	0,0576
Biraz Aydınlik (B.A.)	$0,0325 \leq \text{Akümülatör Gerilimi} \leq 0,541$	0,0325	0,0576	0,5	0,541
Orta Aydınlik (O.A.)	$0,5 \leq \text{Akümülatör Gerilimi} \leq 1,264$	0,5	0,541	1,204	1,264
Aydınlik (A)	$1,204 \leq \text{Akümülatör Gerilimi} \leq 6$	1,204	1,264	6	6



Şekil VII-4 Aydınlik Seviye Bilgisinin Üyelik Fonksiyonu ve Bulanık Kümeler

### VII.2.4. Bulanık Kontrol Kurallarının Belirlenmesi

Bulanık kontrolör tasarımında kullanılan 16 adet kural, aşağıda verilmiştir. Kural listesinin başında kuralların yazımı sırasında kullanılan kısaltmalar belirtilmiştir.

Kontrolör kuralları belirlenirken aydınlatılan laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalar dikkate alınmıştır. Kuralların yazılmasının ilk safhalarında sistem bir döngü içerisinde çalıştırılmak istenmiştir. Bu döngüye ait üç örnek kural aşağıda görülmektedir.

- 1) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlık Seviyesi KAR. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 2) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlık Seviyesi KAR. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 3) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlık Seviyesi KAR. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 AÇIK ve Besleme ŞEB.

Bu çalışma mantığında ortamda hareketin olması, armatürlerin yanması için gereken temel şarttır. Ortamda hareket olması durumunda, beslemenin yapılması için akümülatör grubunun şarj durumu kontrol edilir. Buna göre armatürlerin beslemesi akümülatörden veya şebekeden yapılmaktadır. Aydınlık seviyesi karanlık durumda ise öncelikli olarak LG1 devreye alınır. Aydınlık seviye bilgisinin LG1'in devreye girmesi ile artması beklenmektedir. Eğer ölçülen aydınlık seviyesi hala "karanlık" olarak tanımlanan değer aralığında ise LG2 devreye alınır. Aydınlık seviyesi bilgisi tekrar ölçülüp yeni değere göre LG3 devreye alınır veya LG1 ve LG2 devrede bırakılır.

Bu çalışma mantığı ile yazılan kuralların gerçek zamanlı olarak denenmesi sonucunda sistemin istenilen şekilde çalışmadığı görülmüştür. Kurallar ve sistemin çalışma mantığı tekrar incelenerek izlenen yöntemin hatası bulunmuştur. Sistemin çıkışında armatür gruplarının (LG) istenilen aydınlık seviyesini karşılayacak şekilde LG1, LG1-LG2 veya LG1-LG2-LG3 gruplandırması ile devreye girmeleri gerekmektedir.

Sistem aydınlık seviyesi bilgisini ölçtüğünde öncelikli olarak bunun hangi aydınlık seviyesi grubuna dahil olduğunu belirler. Buna bağlı olarak ta LG1, LG1-LG2 veya LG1-LG2-LG3 gruplarından sadece birini devreye alır. Yani sistemin çalışması sırasında, yapılan her giriş bilgisi ölçümünde, yalnızca bir kural aktif olmalıdır. Bu çalışma mantığı ile belirlenen kurallar aşağıda görülmektedir.



## GİRİŞLER

## ÇIKIŞLAR

<u>AKÜ</u>	<u>HAREKET</u>	<u>AYDINLIK</u>	<u>ARMATÜRLER</u>			<u>BESLEME</u>	
BOŞ, DOLU	YOK,VAR	KARANLIK, BİRAZ AYDINLIK, ORTA AYDINLIK, AYDINLIK KAR. B.AYD. O.AYD. AYD.	L.G.1 AÇIK, KAPALI	L.G.2 AÇIK, KAPALI	L.G.3 AÇIK, KAPALI	AKÜ,	ŞEB.

- 1) Hareket YOK ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi KAR. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 2) Hareket YOK ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi B.AYD. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 3) Hareket YOK ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi O.AYD. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 4) Hareket YOK ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi AYD. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 5) Hareket YOK ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi KAR.. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 6) Hareket YOK ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi B.AYD. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 7) Hareket YOK ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi O.AYD. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 8) Hareket YOK ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi AYD. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 9) Hareket VAR ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi KAR. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 AÇIK ve Besleme AKÜ.
- 10) Hareket VAR ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi B.AYD. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 KAPALI ve Besleme AKÜ.
- 11) Hareket VAR ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi O.AYD. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme AKÜ.
- 12) Hareket VAR ve Akü DOLU ve Aydınlik Seviyesi AYD. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 13) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi KAR. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 AÇIK ve Besleme ŞEB.
- 14) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi B.AYD. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 AÇIK ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 15) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi O.AYD. ise L.G.1 AÇIK ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.
- 16) Hareket VAR ve Akü BOŞ ve Aydınlik Seviyesi AYD. ise L.G.1 KAPALI ve L.G.2 KAPALI ve L.G.3 KAPALI ve Besleme ŞEB.

**Tablo VII-4 Bulanık Mantık Kural Tablosu**

Kural No	Hareket	Aku. Bil.	Ayd. Bil.	L.G.1	L.G.2	L.G.3	Besleme
1	Y	D	K	KP	KP	KP	SB
2	Y	D	BA	KP	KP	KP	SB
3	Y	D	OA	KP	KP	KP	SB
4	Y	D	A	KP	KP	KP	SB
5	Y	B	K	KP	KP	KP	SB
6	Y	B	BA	KP	KP	KP	SB
7	Y	B	OA	KP	KP	KP	SB
8	Y	B	A	KP	KP	KP	SB
9	V	D	K	AC	AC	AC	AK
10	V	D	BA	AC	AC	KP	AK
11	V	D	OA	AC	KP	KP	AK
12	V	D	A	KP	KP	KP	AK
13	V	B	K	AC	AC	AC	SB
14	V	B	BA	AC	AC	KP	SB
15	V	B	OA	AC	KP	KP	SB
16	V	B	A	KP	KP	KP	SB

Y : yok

V : var

D : dolu

B : bos

K : karanlık

BA : biraz aydınlık

OA : orta aydınlık

A : aydınlık

AC : acik

KP : kapalı

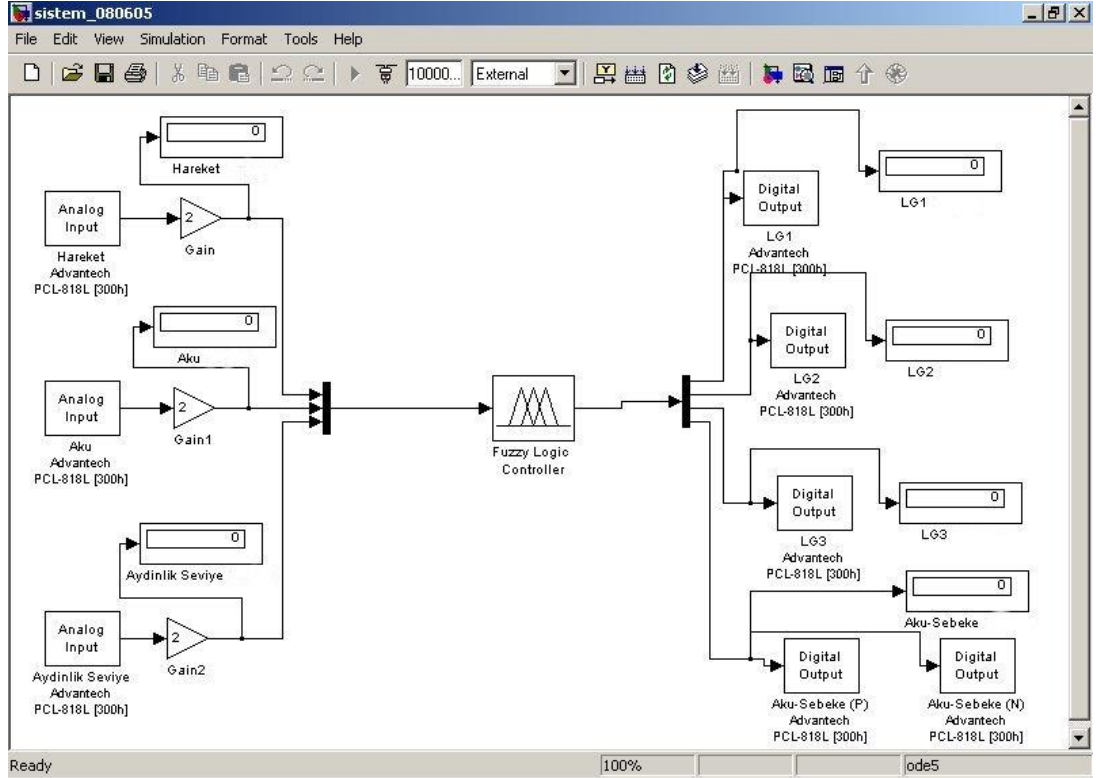
SB : sebeke

AK : aku

## VII.3. BULANIK KONTROLÖR PROGRAMI

Tasarlanan sistemin gerçek zamanlı uygulamasının yapılması için Mathworks firmasının “Matlab 7” yazılımı ve bu yazılıma ait “Real Time Windows Target Toolbox” ve “Fuzzy Logic Toolbox”ları kullanılmıştır.

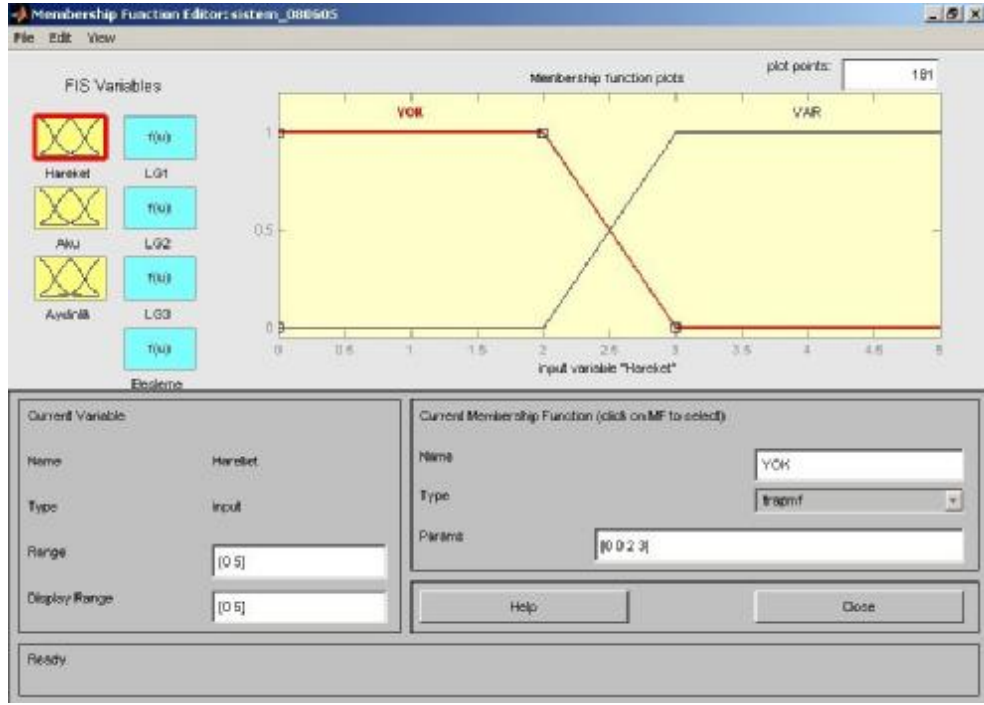
Kontrolör programının genel yapısı Şekil VII-5’de görülmektedir.



Şekil VII-5 Matlab Tasarlanan Kontrolörün Genel Görünüşü

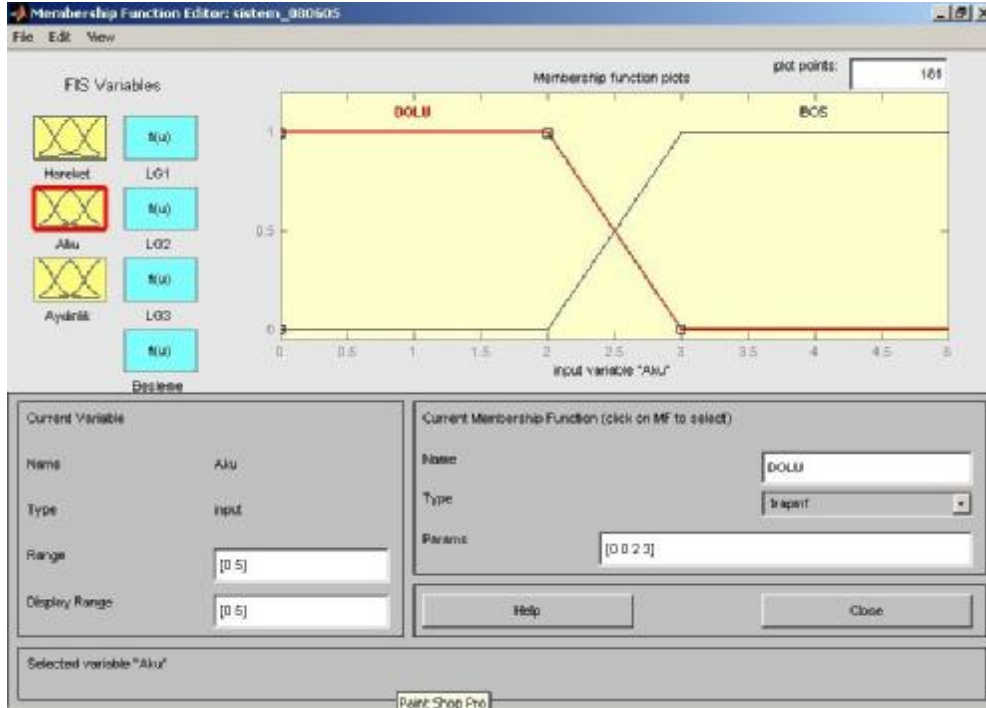
### VII.3.1. Kontrolör Girişleri

Kontrolörün giriş bilgileri üç adet analog giriş üzerinden yapılmaktadır. Bu girişlerden birincisi “Hareket Bilgisi”dir. Aydınlatılması yapılan Laboratuvar içerisinde hareket algılandığında 5 volt DC gerilim bu girişe uygulanmaktadır. Hareket olmadığı sürece bu girişteki gerilim 0 voltur.



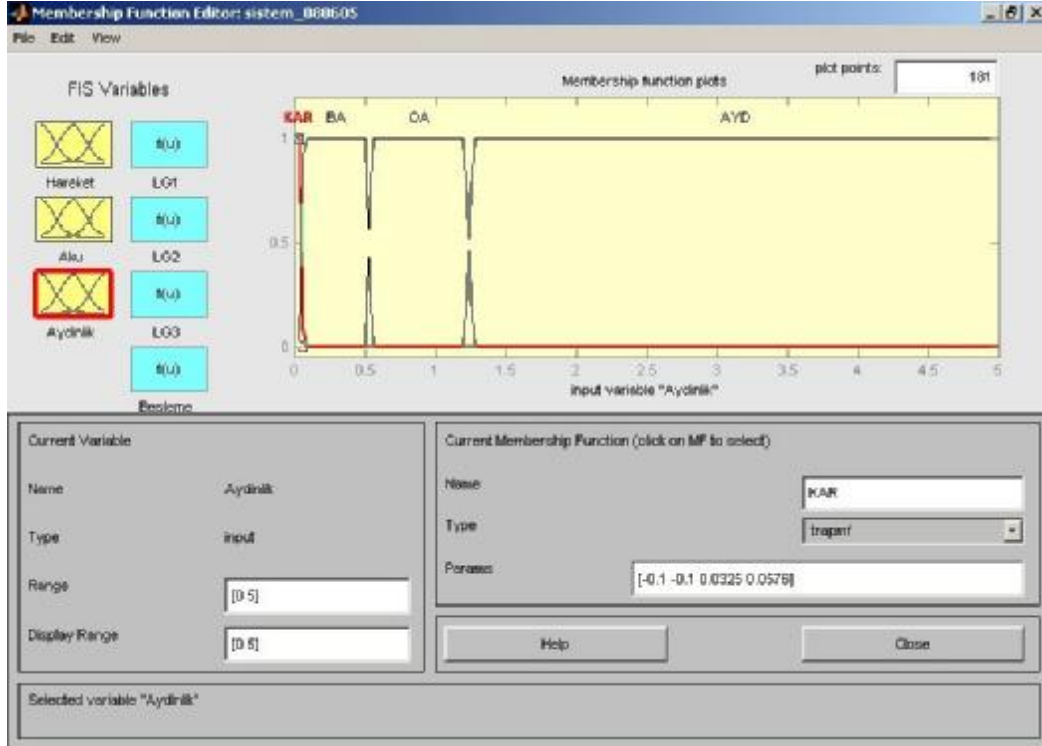
**Şekil VII-6 Kontrolör Girişindeki Hareket Bilgisi**

İkinci giriş bilgisi “Akümülatör Seviye Bilgisi”dir. Akümülatörün tamamen deşarj olmasını engellemek amacı ile gerilimini kontrol eden şarj kontrol devresinden gelen bilgidir. Akümülatör dolu olduğu sürece girişte 0 volt DC gerilim okunur. Akümülatör boşaldığında bu girişteki gerilim bilgisi 5 volt DC seviyesine yükselir.



**Şekil VII-7 Kontrolör Girişindeki Akümülatör Seviye Bilgisi**

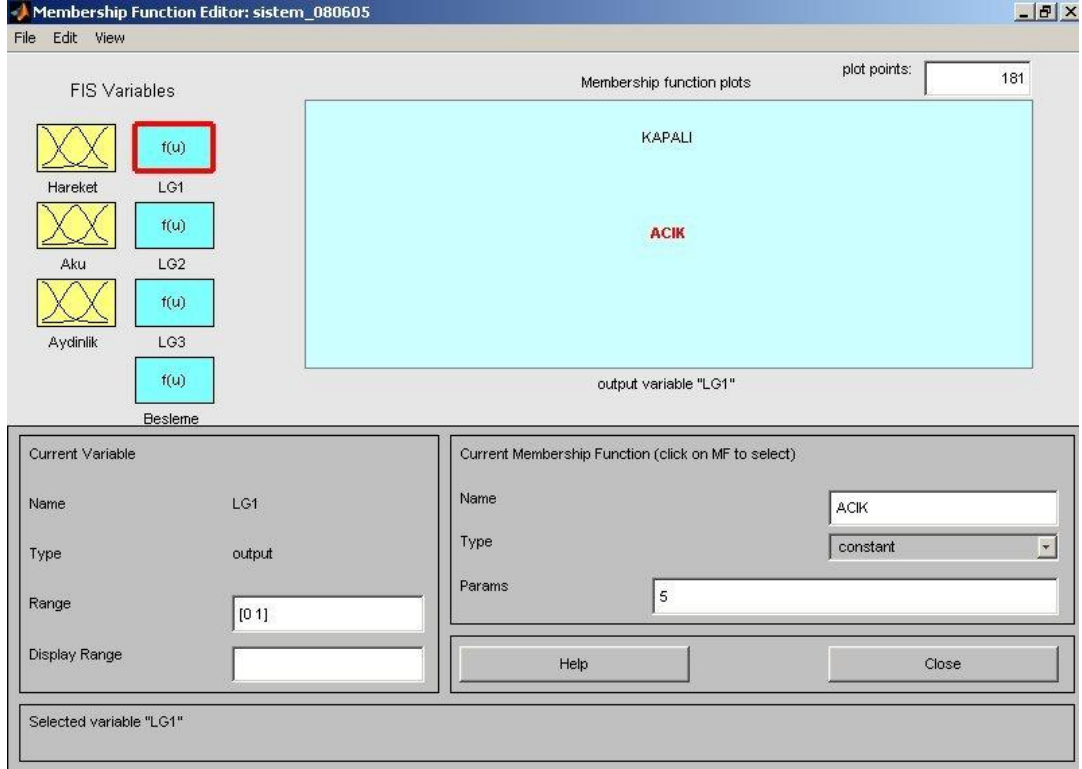
Sistemin üçüncü giriş bilgisi ise lüksmetreden alınan ve doğal aydınlık seviyesini gösteren 0 ~ 5 volt DC gerilimdir. Bu gerilim bilgisi kontrolör içerisinde Karanlık, Biraz Aydınlık, Orta Aydınlık ve Aydınlık olmak üzere dört bölgeye ayrılır.



Şekil VII-8 Kontrolör Girişindeki Aydınlık Seviye Bilgisi

### VII.3.2. Kontrolör Çıktıları

Kontrol sisteminin dört adet dijital çıkışı bulunmaktadır. Bu çıkışlardan ilk üçü “LG1, LG2, LG3” olarak isimleri ile üç adet armatür grubuna enerji verilmesini sağlamaktadırlar. Çıkışların seviyesi “0” olduğunda armatürler enerjisiz, “1” seviyesinde olduğunda ise enerjili konuma geçmektedirler. Son çıkış ise armatürlerin beslemesini akümülatör veya şebeke üzerinden yapılmasını sağlayan “Besleme” çıkışıdır. Bu çıkışın seviyesi “0” olduğu sürece, besleme akümülatör grubunda depo edilen enerji ile sağlanmaktadır. Seviye “1” olduğunda ise besleme şebeke üzerinden yapılmaya başlanmaktadır.



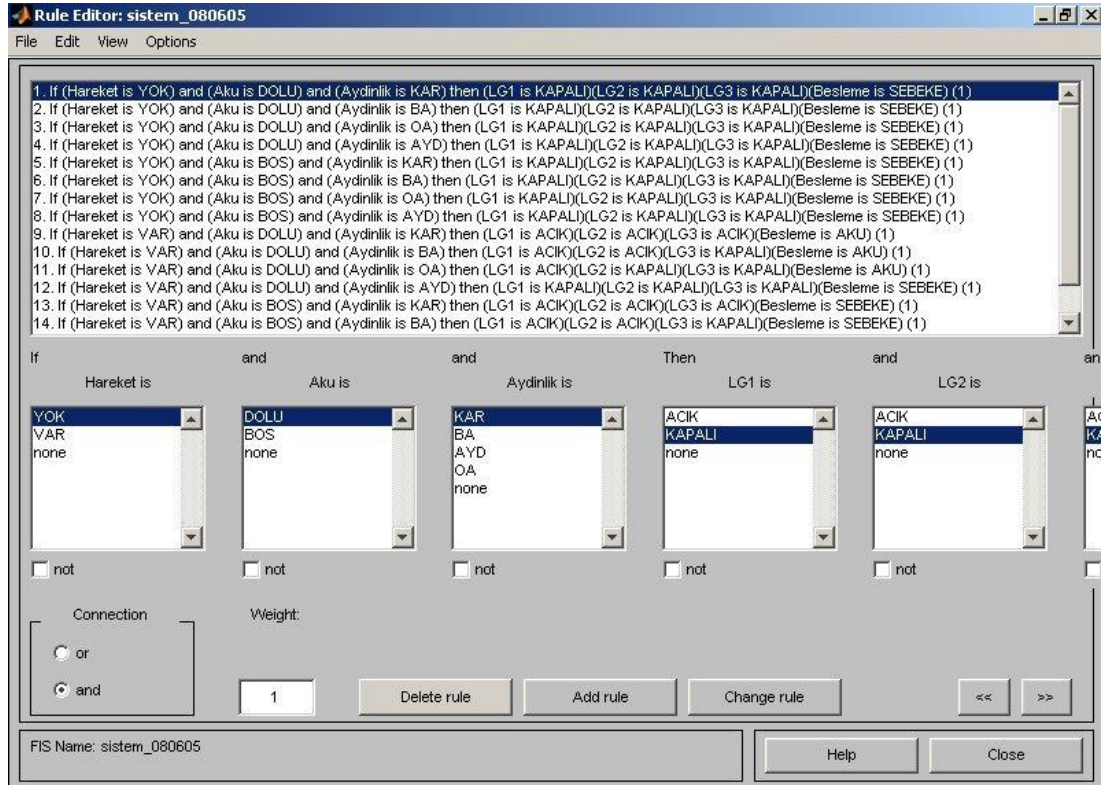
Şekil VII-9 Kontrolör Çıktıları

### VII.3.3. Bulanık Kontrolör Kuralları

Bölüm VII.2.4’de belirlenmeleri anlatılan bulanık mantık kuralları Matlab programının “Fuzzy Logic Toolbox” kısmındaki editörde Şekil VII-10’da görüldüğü gibi yazılmışlardır.

Editör penceresinde sistemin giriş ve çıkış değişkenleri ayrı ayrı gösterilmektedir. Eğer (if) ifadesinden sonra giriş değişkenleri veya (or) yada ve (and) bağlaçları ile birleştirilerek ard arda yazılır. İse (then) ifadesinden sonrada çıkış değişkenleri yine veya (or) yada ve (and) bağlaçları ile birleştirilerek yazılır. Değişkenlerin yazılması sırasında her bir değişkenin alacağı durumda aşağıdaki örnekteki gibi belirtilir.

1) If (Hareket is YOK) and (Aku is DOLU) and (Aydinlik is KAR) then (LG1 is KAPALI)(LG2 is KAPALI)(LG3 is KAPALI)(BESLEME is SEBEKE)



Şekil VII-10 Bulanık Kontrolör Kurallarının Matlab'da Yazılması

## BÖLÜM VIII

### VIII. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Aydınlatılması yapılan Güç Elektroniği Laboratuvarında, Mart –Haziran ayları arasında dört aylık bir dönem içerisinde, çeşitli ölçümler yapılmıştır. Kıştan Yaza geçiş yaşanan bu dönemde meteorolojik olarak farklı koşullar oluşmuştur. Gözlem yapılan günlerin bazılarında havanın gün boyu bulutlu olması nedeni ile güneş ışınımı düşük değerlerde olmuş ve aydınlatma sistemi en uzun çalışma koşullarında test edilmiştir. Haziran ayında yapılan ölçümlerde ise gün doğumundan gün batımına kadar olan süre içerisinde deneyler açık hava koşullarında yapılmıştır. Açık hava koşullarında, atmosferde güneş ışınlarını engelleyecek bulut tabakası olmadığı için en iyi doğal aydınlatma sürelerinde deneyler yapılmıştır. Bu sayede farklı güneşlenme sürelerinde deneysel çalışma yapılması sağlanmıştır. Atmosferik şartların değişimi ile bulut yoğunluğunda yaşanan değişikliklerden, güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısının mevsimsel değişimlerine kadar pek çok farklı koşul altında gözlem yapılmıştır.

Deneysel çalışmaların başlangıcında, ışığa duyarlı direnci sensör olarak kullanan elektronik devrenin kararlılığı test edilmiştir. Bu deneylerde gün boyu çalışma düzlemindeki aydınlık şiddeti ile sensör uçlarından alınan gerilim değerleri kaydedilmiştir. Çalışmanın ilk safhasında ışığa duyarlı direnç (LDR) laboratuvar içerisinde, iç aydınlık seviyesini ölçmek üzere duvara yerleştirilmiştir. Deneyler esnasında armatürlerin devreye girmesi ile sensörün üzerine düşen ışık seviyesinin arttığı ancak daha sonra havanın kararması ile çalışma düzlemindeki aydınlık seviyesinin düşmesine rağmen, sensör uçlarındaki gerilimin düşmediği ölçülmüştür. (Söz konusu deneyler 07.03.2005 ile 02.04.2005 tarihleri arasında yapılmıştır.) Bu nedenle sensör oda dışı aydınlık seviyesini ölçmek için laboratuvarın doğu yönüne bakan penceresine yerleştirilmiştir. Havanın açık (atmosferin bulutsuz ve sis



tabakasının olmadığı koşullar), yarı açık (atmosferde parçalı yapıda bulutların veya ince sis tabakasının olduğu koşullar) ve kapalı (atmosferde yoğun bulutların veya kalın sis tabakasının olduğu koşullar) olduğu atmosfer şartları için ölçümler yapılmıştır. Gerilim bölücü devre kullanarak sensör uçlarından okunan en yüksek gerilim değeri 5 volt ile sınırlanmıştır. Ölçülen değerlerin grafiklerinin çizilmesinden sonra armatürlerin devreye girmeleri gereken çalışma düzlemindeki 300 lux aydınlık seviyesine karşılık gelen gerilim değerleri belirlenmiştir. Bilgisayarda kontrol sistemi için kullanılan bulanık mantık programında sınır değerler olarak girilen bu gerilim değerlerine göre tüm gün testlerine geçilmiştir. Testlerde sensör uçlarından ölçülen gerilim bilgisayara bağlı veri giriş-çıkış kartı ile sürekli olarak ölçülmüştür. Çalışma düzleminde bulunan lüksmetre ile aydınlık şiddeti kontrol edilerek armatürlerin devreye girdikleri anlardaki değerler ölçülmüştür. 02.04.2005 ile 17.05.2005 tarihleri arasında yapılan ölçümler sonucunda sistemin istenildiği şekilde kararlı çalışmadığı gözlenmiştir. Işığa duyarlı direnç güneş ışınlarının atmosferde yansımalarına bağlı olarak farklı direnç değerleri göstermektedir. Üzerine direkt güneş ışını düştüğünde en düşük direnç değerini vermektedir. Laboratuvar içerisinde çalışma düzleminde aynı ışık şiddetinin sağlandığı bulutlu veya sisli bir günde ise direkt güneş ışığı alamadığı için direnç değeri daha yüksek olmaktadır. Bu sebeplerle aynı ışık şiddetlerinde, kontrol sistemine farklı gerilim değerleri verilmekte ve sistem istenildiği şekilde çalışmamaktadır. Işık şiddetini doğru olarak ölçmek için lüksmetrelere benzer şekilde fotodiyod kullanan elektronik bir devre yapılmıştır. Yeni devre ile gün doğumundan gün batışına kadar farklı tarihlerde deneyler yapılmıştır. 17.05.2005 ile 05.06.2005 tarihleri arasında yapılan deneyler sonucunda fotodiyod kullanan devrenin aynı aydınlık şiddeti değerleri için yaklaşık olarak aynı gerilim değerlerini verdiği ve sistemin daha kararlı olarak çalıştığı görülmüştür.

## **VIII.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜ ALETLERİ**

Deneysel çalışma esnasında ışık şiddetini ölçmek için iki adet lüksmetre, şebeke ve fotovoltaik sisteme ait akım, gerilim, güç ve enerji değerlerini ölçmek için güç analizörü ve sensör gerilimlerini ölçmek içinde DAQ (veri giriş-çıkış kartı) kullanılmıştır.

Işık şiddetini ölçmek için kullanılan lüksmetrelerden LX-1102 modeli RS-232 seri port üzerinden bilgisayara bağlanıp, yazılım yardımı ile ölçtüğü değerlerin kaydedilmesine olanak tanımaktadır.

### Tablo VIII-1 LX-103 Model Lüksmetreye Ait Teknik Özellikler

#### Genel Özellikleri

**Ekran:** 13 mm 3 1/2 dijit

**Ölçüm :** LUX - 0 dan 50000 Lux'e 3 kademe

Foot Candle (Fc) 0 dan 5000 Fc 3 kademe

**Sensör :** Özel fotodiyot ve renk düzeltme filtresi

**Çalışma Sıcaklığı :** 0 °C - 50 °C

**Çalışma Akımı :** Yaklaşık 2,7 mA DC

Ölçüm	Çalışma Sahası	Hassasiyet	Doğruluk
Lux	0 - 1999 Lux	1 Lux	±(5 % +2 d)
	2000 - 19990 Lux	10 Lux	±(5 % +2 d)
	19990 - 50000 Lux	100 Lux	±(5 % +2 d)
Foot-Candle (Fc)	0 - 199,9 Fc	0,1 Fc	±(5 % +2 d)
	200 - 1999 Fc	1 Fc	±(5 % +2 d)
	2000-5000 Fc	10 Fc	±(5 % +2 d)

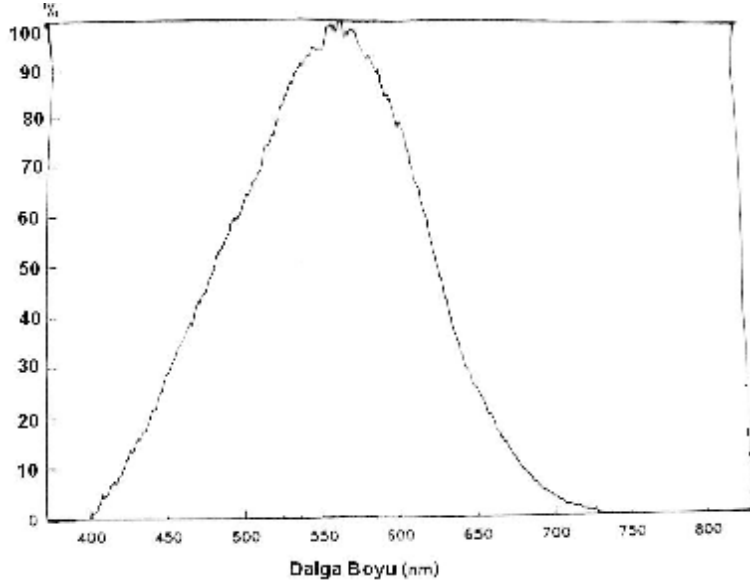
Çeşitli Işık Kaynakları için Düzeltme Faktörü

Luxmetre standart 2856 °K sıcaklığındaki tungsten flamanlı lamba için kalibre edilmiştir.

Eğer ölçümler farklı ışık kaynakları altında yapılacaksa aşağıda belirtilen düzeltme katsayıları kullanılmalıdır.

Işık Kaynağı	Düzeltilme Faktörü
Cıva Buharlı Lamba	x1,05
Fluoresant Lamba	x1,05
Gün Işığı	x0,95

LX-103 model lüksmetre el tipi bir ölçü aletidir. Hassasiyeti üç farklı kademeyle ölçüm yapması ile değişmektedir. Güç tüketimi düşük olduğu için gün boyu yapılan ölçümlerde, sürekli açık bırakılarak, kontrol amaçlı ikinci ölçü aleti olarak kullanılmıştır. Bu ölçü aletinin fotodiyoduna ait karakteristik Şekil VIII-1'de verilmiştir[43].



**Şekil VIII-1 LX-103 Model Lüksmetrenin Sensor Spektrumu**

**Tablo VIII-2 LX-1102 Model Lüksmetreye Ait Teknik Özellikler**

**Genel Özellikleri**

**Ekran:** 52 mm 5 dijit

**Ölçüm :** LUX - 0 dan 400000 Lux'e 5 kademe

**Sensör :** Özel fotodiyot ve renk düzeltme filtresi

**Çalışma Sıcaklığı :** 0 °C - 50 °C

**Çalışma Akımı :** Yaklaşık 8 mA DC

Ölçüm	Çalışma Sahası	Hassasiyet	Doğruluk
Lux	0 - 40 Lux	0,01 Lux	±(3 % +0,5 d)
	36 - 400 Lux	0,1 Lux	±(3 % +0,5 d)
	360 - 4000 Lux	1 Lux	±(3 % +0,5 d)
	3600 - 40000 Lux	10 Lux	±(3 % +0,5 d)
	10000 - 400000 Lux	100 Lux	±(3 % +0,5 d)
Foot-Candle (Fc)	0 - 3,72 Fc	0,001 Fc	±(3 % +0,5 d)
	3,35 - 37,2 Fc	0,01 Fc	±(3 % +0,5 d)
	33,5 - 372 Fc	0,1 Fc	±(3 % +0,5 d)
	335 - 3720 Fc	1 Fc	±(3 % +0,5 d)
	930 - 37200 Fc	10 Fc	±(3 % +0,5 d)

Çeşitli Işık Kaynakları için Düzeltme Faktörü

Luxmetre standart 2856 °K sıcaklığındaki tungsten flamanlı lamba için kalibre edilmiştir.

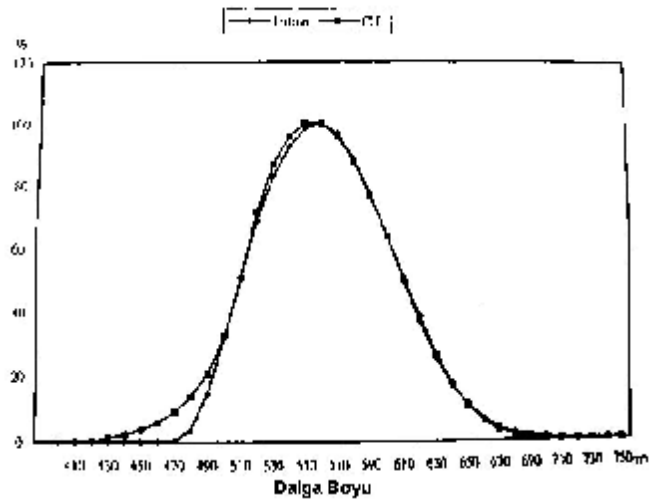
Eğer ölçümler farklı ışık kaynakları altında yapılacaksa aşağıda belirtilen düzeltme katsayıları kullanılmalıdır.

Işık Kaynağı	Düzeltilme Faktörü
Civa Buharlı Lamba	x1,05
Fluoresant Lamba	x1,05
Gün Işığı	x0,95

LX-1102 model lüksmetre el tipi, renk düzeltme filtrelili, beş kademeli bir ölçü aletidir. Ölçü aletinin kademeleri arasında otomatik olarak seçim yapılamamaktadır.

Bu nedenle ışık şiddeti, ölçüm yapılan kademenin alt veya üst sınır değerine ulaştığında ölçüm kaydının devam edebilmesi için kademe değiştirilmektedir. Ölçü aletinin üzerinde bulunan RS232 seri bağlantı noktası kullanılarak bilgisayar bağlantısı yapılmaktadır. Böylece uzun süreli olarak yapılan ölçümlerde belirlenen aralıklar ile alınan ölçümler bilgisayarda izlenebilmekte ve bir kayıt dosyasında saklanmaktadır.

Ölçü aletinde, ışık şiddetini algılamak için fotodiyod kullanılmaktadır. Fotodiyodun sağlıklı ölçüm yapabilmesi içinde önüne renk düzeltme filtresi konulmuştur. Bu ölçü aletinin fotodiyoduna ait karakteristik Şekil VIII-2’de görülmektedir[44].



**Şekil VIII-2 LX-11102 Model Lüksmetrenin Sensor Spektrumu**

Sistemde güç devresinde yapılacak tüm ölçmeler için iki adet üç fazlı enerji analizörü kullanılmıştır. Bu ölçü aletlerinden birisi şebeke beslemesi için diğeri de fotovoltaik sistem beslemesi için devreye bağlanmıştır. Ölçü aletleri aracılığı ile gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç, güç katsayısı, aktif enerji ve reaktif enerji tüketimi ölçümleri yapılmıştır(Tablo V-2). Söz konusu enerji analizörüne ait özellikler Tablo VIII-3’te görülmektedir[45].

**Tablo VIII-3 Enerji Analizörüne Ait Teknik Özellikler**

**Ölçülen Büyüklükler**

<b>U :</b>	Gerilim (RMS)*
<b>I :</b>	Akım (RMS)*
<b>P :</b>	Aktif Güç *
<b>P.F. :</b>	Güç Katsayısı (Cos $\Phi$ )*
<b>S :</b>	Görünür Güç*
<b>Q :</b>	Rektif Güç*

<b>P<sub>m</sub> :</b>	Ortalama Aktif Güç
<b>S<sub>m</sub> :</b>	Ortalama Görünür Güç
<b>P<sub>MD</sub> :</b>	Çekilen Maksimum Aktif Güç
<b>S<sub>MD</sub> :</b>	Çekilen Maksimum Görünür Güç
<b>E<sub>A</sub> :</b>	Aktif Enerji Tüketimi
<b>E<sub>R</sub> :</b>	Reaktif Enerji Tüketimi

\* : Faz ve Üç Faz Değerleri

**Teknik Özellikleri**

<b>Ekran :</b>	Yüksek Işık Yoğunluklu Floresant Alfanümerik Ekran
<b>Girişler :</b>	Gerilim 500 Volt (20-800 Hz) Akım 5 Amper (20-800 Hz)
<b>Yardımcı Girişler:</b>	2 adet Opto-izole Dijital Giriş (12-18 Volt DC 1,3 kOhm)
<b>Çıkışlar :</b>	İzalsasyonlu RS485 Veri Çıkışı
<b>Röle Çıkışları :</b>	2 adet Yarı İletken Röle (250 Volt AC-DC 100 mA)
<b>Aşırı Yük :</b>	Gerilim Girişi Maksimum 800 Vrms; Deşarj Gerilimi 900 Vrms (1 saniye) Akım Girişi Maksimum 20 Arms; Deşarj Akımı 100 Arms (1 saniye) Güç Kaynağı 200-240 Volt $\pm$ 10% 50/60 Hz
<b>Doğruluk :</b>	Gerilim ve Akım için 0,25%; Güç için 0,5%; Enerji için CEI EN 61036 St.
<b>Güç Tüketimi :</b>	5 VA
<b>Çalışma Sıcaklığı:</b>	-10 ila +60 °C

Lüksmetre devresinin uçlarındaki gerilim ölçmek için kullanılan Advantech firmasına ait PCL-818L model veri giriş-çıkış kartına ait teknik veriler bölüm V.5'te verilmiştir.

## **VIII.2. IŞIĞA DUYARLI DİRENÇ SENSÖRLÜ DEVRE İLE YAPILAN ÖLÇÜMLER**

Gün ışığına duyarlı aydınlatma sistemlerinde, gün ışığını algılamada LDR (Light Dependent Resistance) “Işığa Duyarlı Direnç” kullanılmaktadır. Üzerine düşen güneş ışığının şiddeti arttıkça LDR'nin direnci düşmektedir. Bu özellikten faydalanarak yapılan devre Şekil VI-7 de görülmektedir.

## VIII.2.1. Oda İçi Aydınlık Seviyesine Bağlı Yapılan Ölçümler

Bu ölçümlerin ilk safhasında LDR ile yapılan devre kullanılmıştır. Ölçüm devresi laboratuvarın pencereye en uzak noktasında direkt güneş ışınımında etkilenmeyecek bir konumda duvara monte edilmiştir.

Bu safhadaki ölçümlerin amacı çalışma düzlemindeki aydınlık şiddeti ile ölçüm yapan devrenin çıkışındaki gerilim arasındaki sonuçlarda tutarlılık sağlamak olmuştur. Örneğin 14.03.2005 tarihinde saat 14:34'te yapılan ölçümde 268 lux aydınlık şiddetinde 3,92 volt gerilim ölçülmüştür. 18.03.2005 tarihinde saat 14:46'da yapılan ölçümde ise 341 lux aydınlık şiddetinde yine 3,92 volt gerilim ölçülmüştür. Görüldüğü gibi iki farklı günde yapılan ölçümlerde farklı aydınlık şiddetleri için aynı gerilim değeri ölçülmüştür. Laboratuvarın, koridor tarafındaki direkt güneş ışınımı almayan duvara, armatür seviyesine yerleştirilmiş olan ışığa duyarlı direnç, ortam içerisindeki ışık şiddeti değişimlerine karşı farklı değişimler göstermiştir. Aralarında 73 lux fark bulunan iki farklı ışık şiddeti için aynı gerilim değerini vermiştir. Tablodaki (Tablo VIII-4) ölçümler doğal aydınlık şiddetiyle, laboratuvarda bulunan mevcut aydınlatma armatürleriyle (cam ve kapı grubu) ve yeni çekilen aydınlatma tesisatıyla (LG1, LG2, LG3) olmak üzere üç farklı ışık kaynağı ile yapılmıştır.

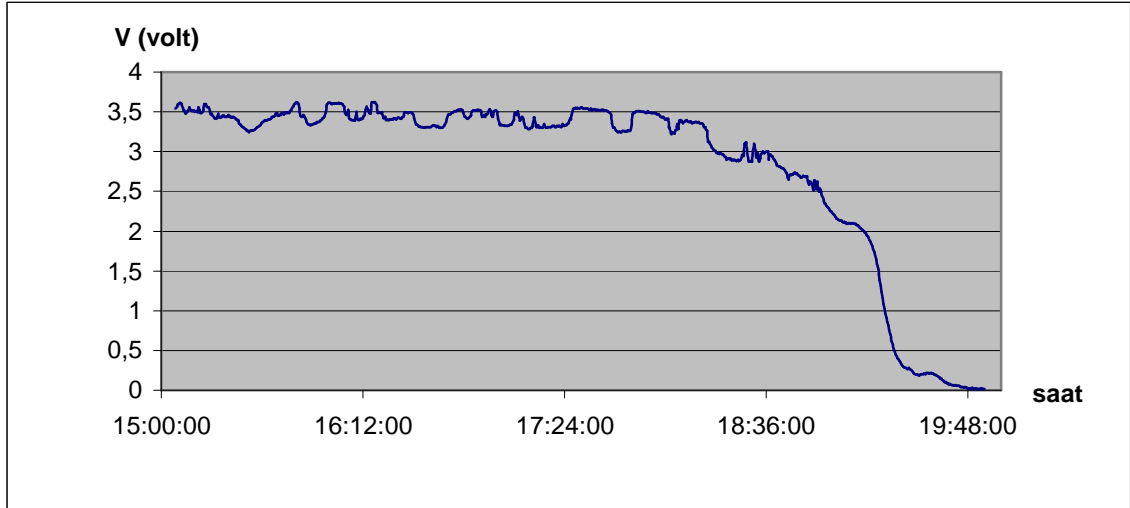
Doğal aydınlatma durumunda sadece camdan içeri giren güneş ışığının etkisi ile LDR'li devrede oluşan gerilim ölçülmektedir. Cam ve kapı grubu ile LG1, LG2 ve LG3 ile ifade edilen durumlarda ise güneş ışığı ile beraber armatürlerin verdiği ışık şiddetlerinin toplam etkisi ile oluşan gerilim ölçülmektedir.

**Tablo VIII-4 Farklı Aydınlatma Şekilleri İçin LDR’li Devre Çıkış Gerilimleri**

Ölçüm	Tarih	Saat	Aydınlık Siddeti(Lux)	Gerilim Değeri	Aydınlatma Sekli
28	22.03.2005	18:44	0	0,27	Dogal
27	22.03.2005	18:25	3	1,17	Dogal
26	22.03.2005	18:16	8	2,30	Dogal
25	22.03.2005	17:46	45	3,02	Dogal
24	22.03.2005	17:28	93	3,48	Dogal
17	18.03.2005	14:32	166	3,64	Kapı Grubu Devrede
23	22.03.2005	17:08	121	3,66	Dogal
18	18.03.2005	14:40	175	3,69	Kapı Grubu Devrede
19	18.03.2005	14:42	215	3,76	LG 3 Devrede
1	07.03.2005	13:46	216	3,80	Dogal
2	07.03.2005	14:32	256	3,83	Dogal
22	18.03.2005	14:53	225	3,83	Kapı Grubu Devrede
3	14.03.2005	14:29	233	3,86	Dogal
4	14.03.2005	14:57	223	3,87	LG 3 Devrede
5	14.03.2005	14:54	280	3,91	LG 2 Devrede
6	14.03.2005	14:34	268	3,92	Cam Grubu Devrede
7	14.03.2005	15:05	300	3,92	LG 2-3 Devrede
20	18.03.2005	14:46	341	3,93	LG 2-3 Devrede
14	18.03.2005	10:56	384	3,96	Dogal
13	18.03.2005	10:50	401	3,97	Dogal
8	14.03.2005	14:51	348	4,00	LG 1 Devrede
9	14.03.2005	14:38	390	4,03	Kapı Grubu Devrede
10	14.03.2005	14:36	429	4,05	Cam ve Kapı Grubu Devrede
11	14.03.2005	15:00	451	4,06	LG 1-2 Devrede
12	14.03.2005	15:02	500	4,10	LG 1-2-3 Devrede
21	18.03.2005	14:50	525	4,13	LG 1-2-3 Devrede
15	18.03.2005	11:01	543	4,14	LG 1 Devrede
16	18.03.2005	11:04	691	4,18	LG 1-2-3 Devrede

Aydınlatılması yapılan laboratuvarın içerisinde, duvara monte edilmiş bulunan LDR’li devrenin gün ışığına bağlı ışık şiddeti değişimi karşısında davranışı incelenmiştir. Bunun için 20 saniye ölçüm aralığı ile DAQ kartı kullanılarak LDR’li devrenin çıkış gerilimi ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre grafiksel olarak değişim eğrisi çizilmiştir. Ölçümler 30.03.2005 tarihinde yapılmışlardır. (Şekil VIII-3)

Grafikte görüldüğü gibi ölçüme öğleden sonra 15’te başlanmıştır. Hava şartları olarak atmosferde yoğun bulut ve sis tabakasının olmadığı, parçalı bulutlu bir durumda ölçümler yapılmıştır. Laboratuvar direkt olarak güneş ışınımı almadığı için atmosferden yansıyan güneş ışınları ile aydınlatmaktadır. Bu nedenle bulutların güneşin önünden geçerek direkt ışımayı engelledikleri anlarda gerilimde 0,3 volt’luk dalgalanmalar görülmektedir. Gün batımına yakın saatlerde doğal aydınlatma şiddetinin azalması ile saat 18’den sonra devre uçlarındaki gerilim düşmeye başlamıştır. Saat 19:50 civarında havanın tamamen kararması ile devrenin uç gerilimi de 0 volta düşmüştür.



**Şekil VIII-3 Gün Işığına Bağlı Olarak LDR Çıkış Geriliminin Değişimi Grafiği**

Oda içi aydınlık seviyesine bağlı yapılan ölçümlerde LDR laboratuvarın içerisinde pencereye en uzak noktasında direkt güneş ışınımında etkilenmeyecek bir konumda duvara monte edilmiştir. Yapılan deneyler sırasında LDR'nin bu konumunun aydınlatma sisteminin kontrolünde hatalara yol açtığı görülmüştür.

Armatür gruplarından LG1 ile isimlendirilen armatür devreye girdiğinde, LDR'ye çok yakın olduğu için direnç değerinin düşmesine ve devrenin yüksek çıkış gerilimi vermesine sebep olmaktadır. Bu yüksek gerilimde çalışma düzlemindeki aydınlatma seviyesinin yanlış ölçülmesi anlamına gelmektedir.

## VIII.2.2. Koridor Aydınlatma Armatürlerinin Etkisi

Laboratuvarın bina içerisindeki konumu, nedeni ile koridor tarafında bulunan pencerelerden içeriye aydınlatma armatürlerinden kaynaklanan ışık girmektedir. Koridor aydınlatma armatürlerinin, laboratuvarın çalışma düzlemindeki aydınlatma şiddetine etkisini incelemek için hava tamamen karardıktan sonra ölçümler yapılmıştır.

**Tablo VIII-5 Koridor Aydınlatma Armatürlerinin Etkileri**

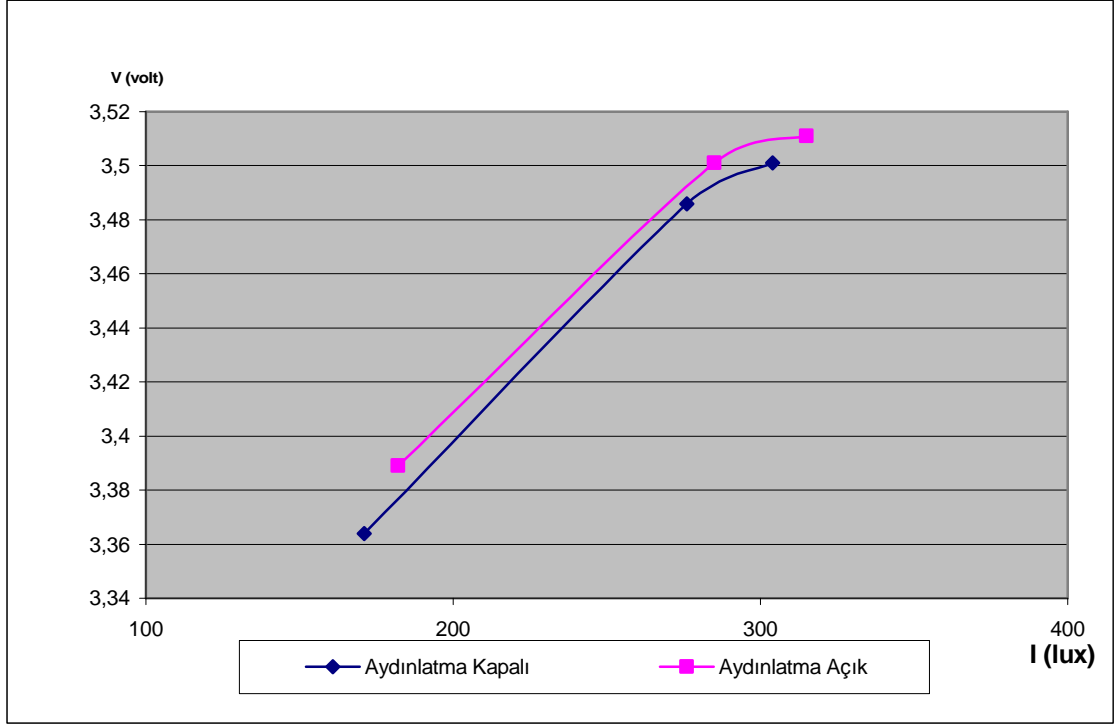
Koridor Aydınlatması Kapalı		
	I (lux)	V (volt)
LG 1	171	3,364
LG 1-2	276	3,486
LG 1-2-3	304	3,501

(a)

Koridor Aydınlatması Açık		
	I (lux)	V (volt)
LG 1	182	3,389
LG 1-2	285	3,501
LG 1-2-3	315	3,511

(b)





**Şekil VIII-4 Koridor Aydınlatma Armatürlerinin Etkilerinin Grafiği**

Yapılan ölçümler sonucunda koridor aydınlatmalarının laboratuvarın iç aydınlatmasında 10 Lux kadar bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Işık şiddetindeki bu artış değerinin kontrol sisteminin çalışma kararlılığını etkilemediğine karar verilmiştir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda koridor aydınlatmalarının etkisi ihmal edilmiştir.

### **VIII.2.3. Oda Dışı Aydınlık Seviyesine Bağlı Yapılan Ölçümler**

Armatür gruplarının oda içerisinde duvara monte edilmiş olan LDR'nin hatalı çalışmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ışık seviyesini algılamada kullanılan LDR'nin konumu değiştirilmiştir. Laboratuvarın pencere kenarına, armatürlerden etkilenmeyecek şekilde dışarıya yöneltilerek yerleştirilmiştir.

Doğal aydınlık seviyesinin güneşin konumuna bağlı olarak değişimi ile laboratuvarın içerisine giren gün ışığı şiddeti de değişmektedir. Laboratuvarın pencereleri doğu yönüne cephelidir. Bu nedenle sabah güneşin doğuşu ile laboratuvar aydınlanmaya başlamakta ve öğle saatlerine kadar maksimum düzeyde güneş ışığı almaktadır. Öğle saatlerinden sonra ise güneşin konum değiştirmesi ile aydınlık şiddeti azalmaktadır.

Doğal aydınlık seviyesinin değişmesi ile çalışma düzlemi üzerindeki ışık şiddeti de değişmektedir. Laboratuvarın penceresine yerleştirilmiş olan LDR'li ölçüm devresinin uçlarında oluşan gerilim ve aynı anda çalışma düzlemi üzerine konulmuş olan lüksmetrenin ölçtüğü ışık şiddetleri kaydedilmektedir. Bu amaçla yapılan ölçüm sonuçları Tablo VIII-6'da görülmektedir.

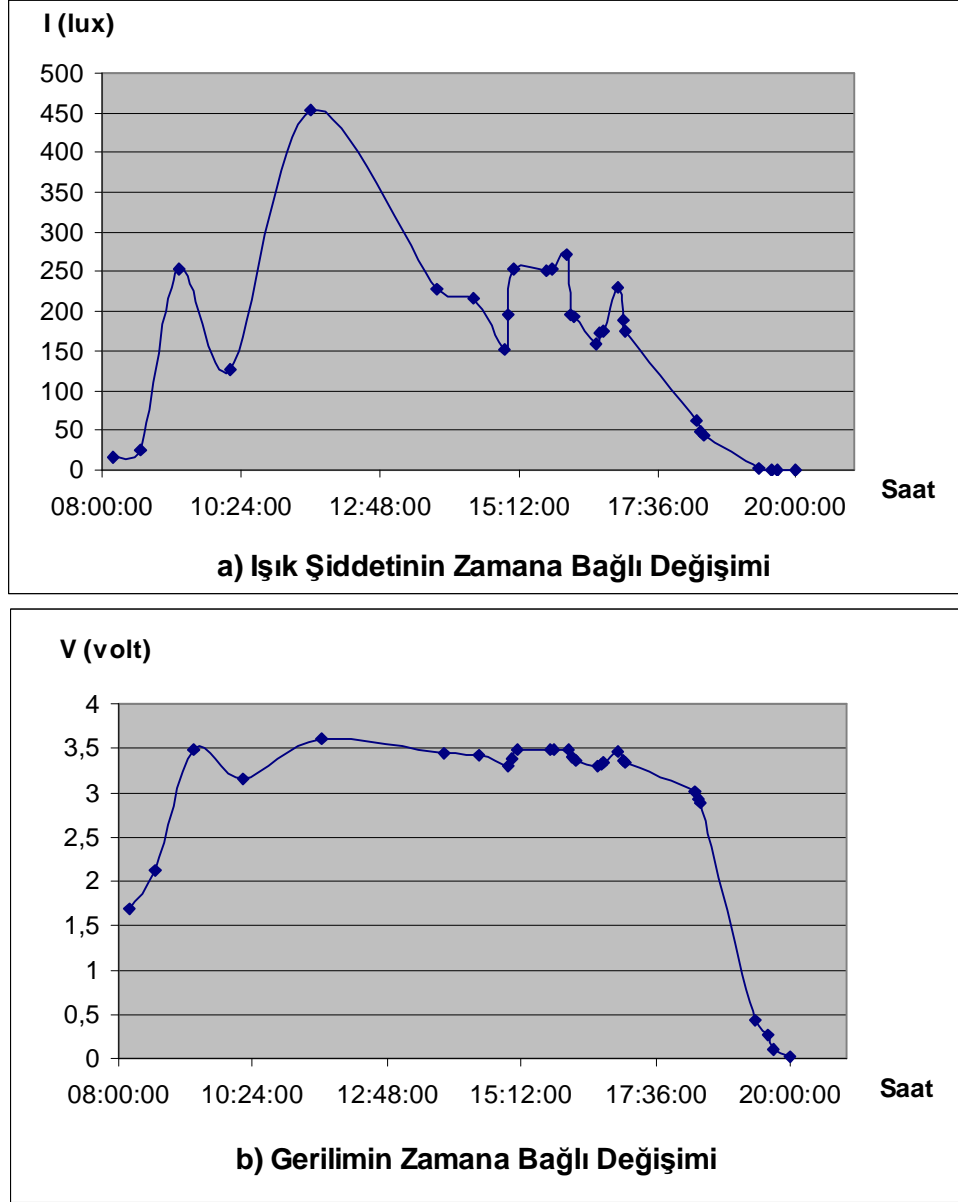
**Tablo VIII-6 Doğal Aydınlatmanın Çalışma Düzlemi Üzerindeki Günlük Değişimi**

Ölçüm	Tarih	Saat	Aydınlık Şiddeti (lux)	Gerilim Değeri (volt)	Aydınlatma Şekli
1	02.04.2005	08:12:00	15	1,689	Doğal
2	02.04.2005	08:39:00	25	2,114	Doğal
3	02.04.2005	09:20:00	253	3,483	Doğal
4	02.04.2005	10:13:00	126	3,149	Doğal
5	02.04.2005	11:37:00	453	3,613	Doğal
6	02.04.2005	13:48:00	228	3,447	Doğal
7	02.04.2005	14:26:00	217	3,413	Doğal
8	02.04.2005	14:58:00	153	3,306	Doğal
9	02.04.2005	15:01:00	195	3,379	Doğal
10	02.04.2005	15:07:00	254	3,484	Doğal
11	02.04.2005	15:42:00	252	3,481	Doğal
12	02.04.2005	15:46:00	253	3,482	Doğal
13	02.04.2005	16:02:00	273	3,486	Doğal
14	02.04.2005	16:06:00	196	3,407	Doğal
15	02.04.2005	16:10:00	194	3,369	Doğal
16	02.04.2005	16:33:00	158	3,306	Doğal
17	02.04.2005	16:37:00	172	3,311	Doğal
18	02.04.2005	16:40:00	174	3,33	Doğal
19	02.04.2005	16:56:00	231	3,463	Doğal
20	02.04.2005	17:00:00	188	3,364	Doğal
21	02.04.2005	17:02:00	174	3,33	Doğal
22	02.04.2005	18:17:00	62	3,001	Doğal
23	02.04.2005	18:21:00	49	2,93	Doğal
24	02.04.2005	18:24:00	43	2,881	Doğal
25	02.04.2005	19:22:00	2	0,4297	Doğal
26	02.04.2005	19:35:00	1	0,2783	Doğal
27	02.04.2005	19:41:00	0,5	0,093	Doğal
28	02.04.2005	20:00:00	0	0,014	Doğal

Tablo VIII-6'da görüldüğü gibi ölçümlere sabah 08:12'de başlanmıştır. 15 lux değerinde 1,689 volt gerilim ölçülmektedir. En yüksek ışık şiddeti 453 lux ölçüldüğünde devrenin uçlarında 3,613 gerilime ulaşılmıştır. Havanın bulutlanması ile aydınlık şiddeti 14:58'de 153 lux'e düşmesine rağmen devre uçlarındaki gerilim 3,306 volt'ta kalmaktadır. Akşamüstü havanın kararmaya başlaması ile ışık şiddeti ve buna bağlı olarak ta devrenin uç gerilimi düşmektedir.

Işık şiddetindeki değişim ile devre uçlarındaki gerilim karşılaştırmak için ölçüm sonuçları zamana bağlı olarak iki ayrı grafikte alt alta çizdirilmiştir. Şekil

VIII-5'te görüldüğü gibi ışık şiddetindeki değişim ile aynı anlarda LDR'li devre uçlarındaki gerilimde değişmektedir. Ancak bu değişim oranı devre uçlarındaki gerilimde aynı olmamaktadır.



**Şekil VIII-5 Aydınlatma Şiddetinin ve Devre Uçlarında Ölçülen Gerilimin Değişimi**

Kontrol sisteminin, armatürleri devreye alıp çıkartması için gerekli sınır değerlerin LDR'li devre uçlarındaki gerilim olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için çalışma düzlemindeki ışık şiddeti ile LDR'li devrenin uçlarındaki gerilim ölçülmüştür. Işık şiddeti 300 lux değerinin altına düştüğünde LG1 devreye alınmıştır. Laboratuvarın içerisindeki ışık şiddeti yükselmiştir. Doğal aydınlık şiddetinin azalması ile çalışma düzlemindeki aydınlık şiddeti yeniden azalmış ve tekrar 300

lux'un altına düşmüştür. Bu sıradaki gerilim değerinde LG2 'de devreye alınmıştır. Laboratuvarın ışık şiddeti tekrar yükselmiş ve havanın kararması ile tekrar 300 lux'un altına düşmüştür. LG3 grubunda bu gerilim değerinde devreye alınmıştır. Tablo VIII-7'de yapılan ölçüm sonuçları ve armatür gruplarının devreye girdikleri gerilim değerleri görülmektedir.

**Tablo VIII-7 14.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçümler**

Tarih	Saat	Işık Akısı (lux)		Gerilim (volt)		Armatür
		Doğal	Yapay	Doğal	Yapay	
14.05.2005	11:00	567	-	2,28	-	D O Ğ A L
14.05.2005	11:13	516	-	2,119	-	
14.05.2005	11:44	438	-	1,948	-	
14.05.2005	11:48	387	-	1,77	-	
14.05.2005	11:51	369	-	1,669	-	
14.05.2005	12:10	328	-	1,611	-	
14.05.2005	12:21	348	-	1,655	-	
14.05.2005	12:27	308	-	1,577	-	
14.05.2005	12:31	288	-	1,553	-	
14.05.2005	12:35	283	441	1,55	1,553	
14.05.2005	12:45	278	424	1,548	1,548	
14.05.2005	13:17	253	406	1,519	1,519	
14.05.2005	13:44	241	390	1,396	1,494	
14.05.2005	13:54	234	380	1,362	1,362	
14.05.2005	14:42	216	365	1,309	1,362	
14.05.2005	14:50	210	356	1,269	1,313	
14.05.2005	15:40	207	357	1,211	1,233	
14.05.2005	15:48	205	351	1,175	1,177	
14.05.2005	16:37	200	351	1,279	1,279	
14.05.2005	16:44	199	345	1,274	1,272	
14.05.2005	17:19	193	326	1,216	1,216	
14.05.2005	17:31	189	337	1,206	1,206	
14.05.2005	18:26	168	321	1,167	1,167	
14.05.2005	18:35	161	306	1,147	1,139	
14.05.2005	18:45	153	300	1,128	1,133	
14.05.2005	18:50	146	440	1,108	1,118	LG1-2
14.05.2005	19:26	83	374	0,893	0,898	
14.05.2005	19:39	69	353	0,819	0,832	
14.05.2005	19:45	57	338	0,648	0,758	
14.05.2005	19:52	41	328	0,507	0,518	
14.05.2005	19:57	32	305	0,428	0,385	
14.05.2005	20:02	22	300	0,327	0,341	
14.05.2005	20:06	15	344	0,263	0,284	LG1-2-3
14.05.2005	20:12	7	340	0,146	0,178	
14.05.2005	20:18	4	334	0,099	0,095	
14.05.2005	20:24	2	327	0,044	0,062	
14.05.2005	20:34	1	326	0,007	0,029	

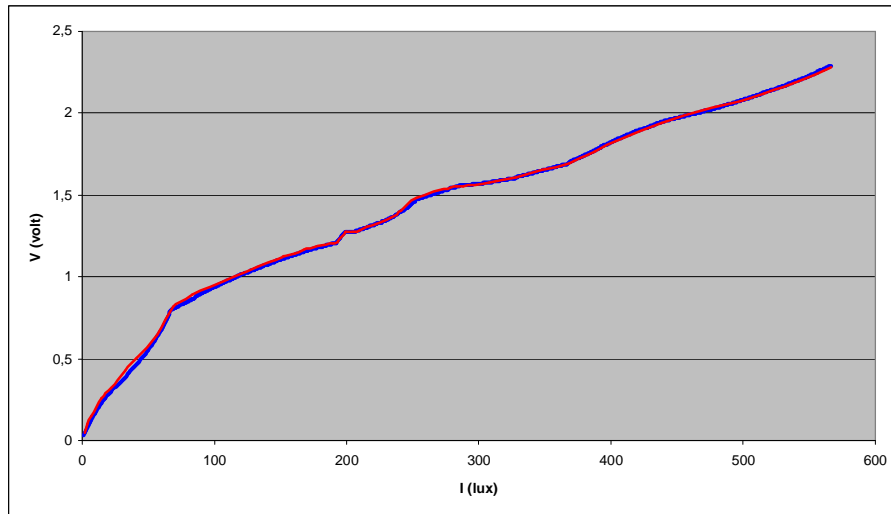
Yapılan bu ölçümler sonucunda lamba gruplarının (LG1- LG2- LG3) devreye girecekleri gerilim değerleri bulunmuştur. Bu değerler için ölçüm yapılırken yukarıda anlatıldığı gibi çalışma düzlemindeki 300 lux ışık şiddetinin sağlanması

amaçlanmıştır. Çalışma düzlemine yerleştirilen lüksmetrede 300 lux değeri görüldüğünde, LDR'li devrenin uçlarındaki gerilim ölçülmüştür. Ancak aydınlık düzeyindeki değişim hızlı olduğunda, bu değer tam olarak ölçülemediği kademeler olmaktadır. Bu nedenle ölçüm sonuçlarının analizi yapılarak 300 lux değerine karşılık gelen gerilim değeri tam olarak belirlenmiştir.

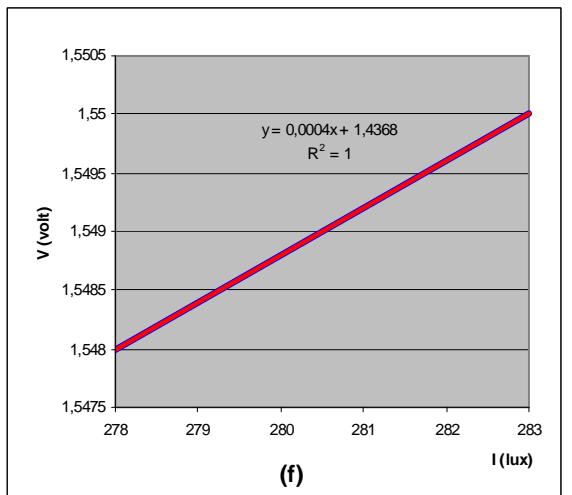
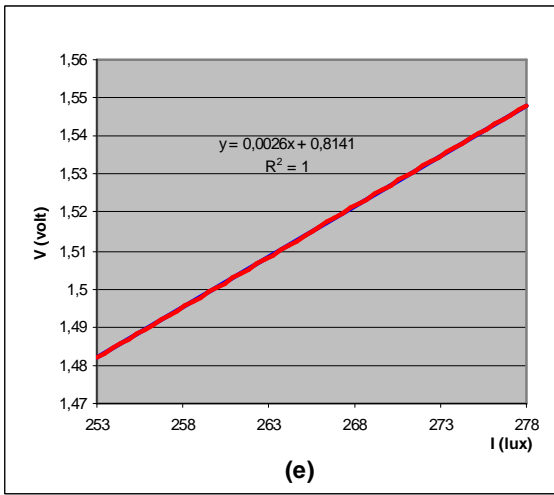
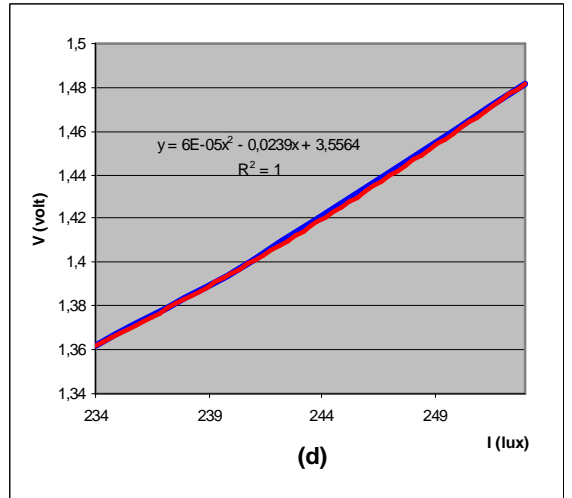
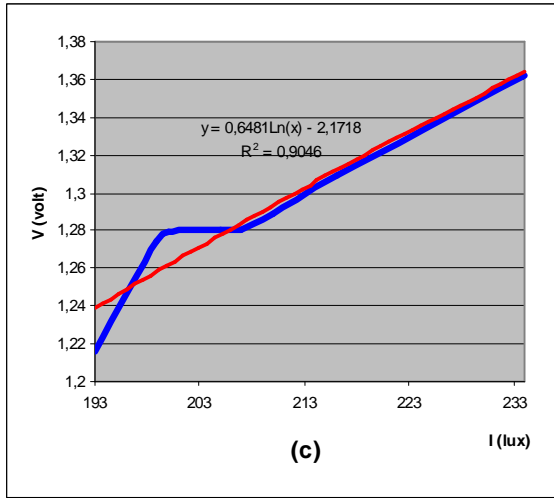
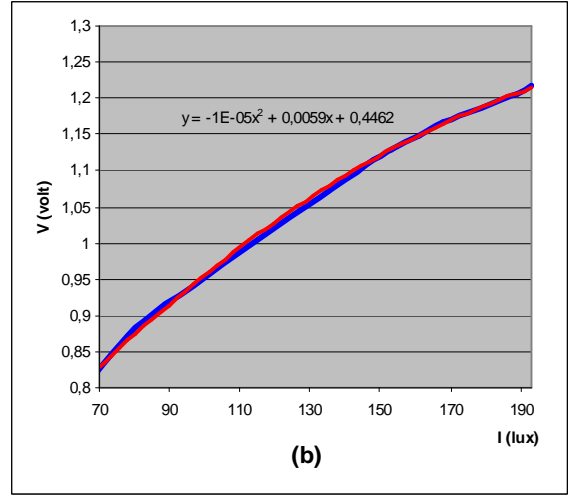
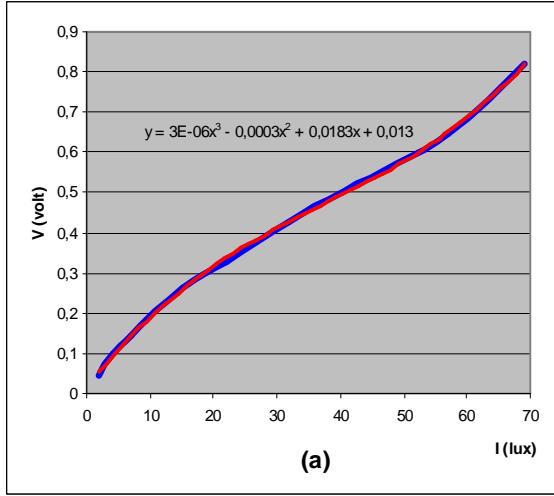
### VIII.2.3.1. Ölçüm Sonuçlarının Analizi

Yapılan ölçümler sonucunda, atmosferik şartlarda oluşan değişiklikler sebebi ile, kontrol sistemi için sınır değer olarak belirlenen 300 lux aydınlık şiddetine karşılık gelen gerilimin ölçülmesinin zor olduğu görülmüştür. Ölçüm sonuçları ile çizilen Işık Şiddeti-Gerilim (Şekil VIII-6) eğrisinin matematiksel denklemler ile ifade edilmelerinin oldukça güç olduğu görülmüştür. Bu nedenle gün içerisinde yapılan ölçümlerden elde edilen eğri çeşitli bölgelere ayrılmış ve her bir bölge için ayrı ayrı matematiksel denklemleri bulunmuştur.

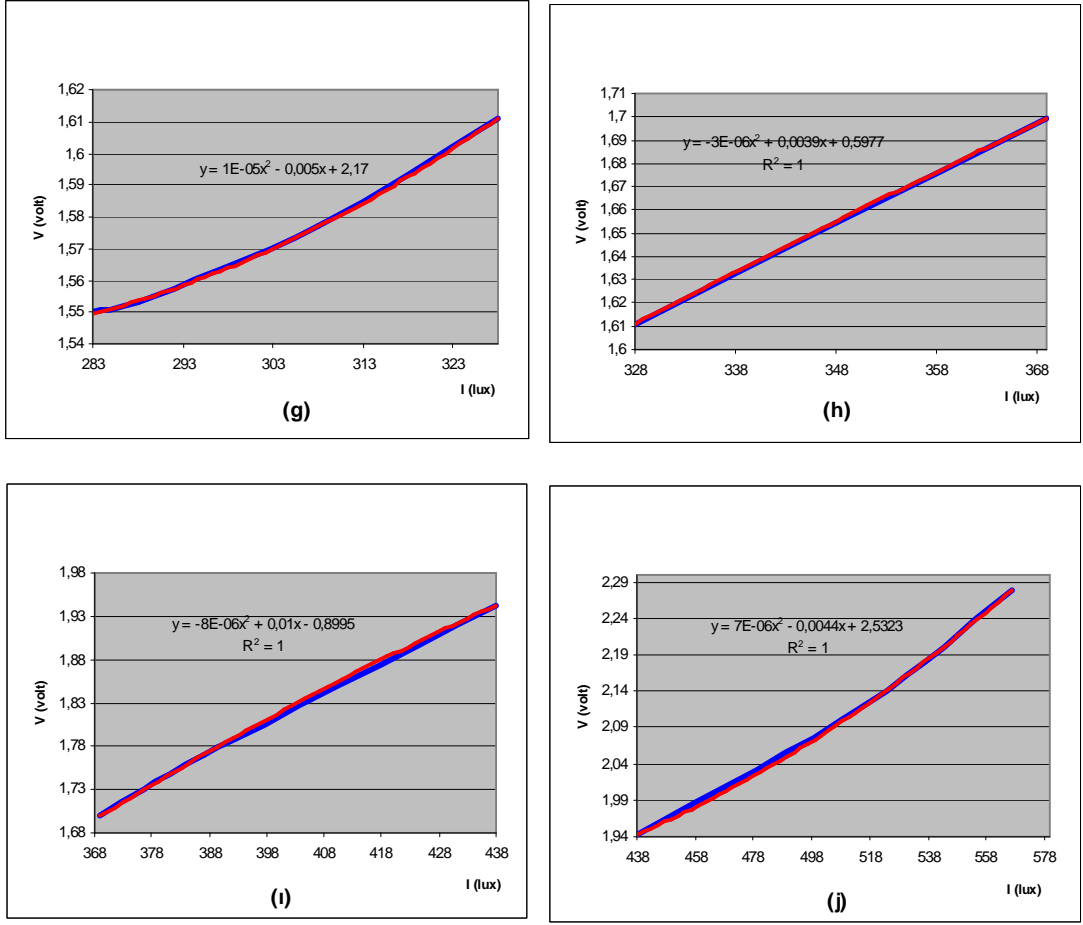
Bulunan bu denklemler kullanılarak 0 ile 567 lux arasındaki ışık şiddeti değerleri de gibi hesaplanmıştır. Bu değerler (0 ve 567 lux) ölçümleri yapılabilen en düşük ve en yüksek ışık şiddeti değerleri oldukları için seçilmişlerdir. Kontrol sisteminde 300 lux ışık şiddeti sınır değer olarak kabul edildiği için 0-567 lux ışık şiddeti aralığı sistemin çalışması için yeterli olmaktadır. Bu değerlerin ölçümü esnasında, armatürler kademeler halinde devreye alınarak, çalışma düzleminde sürekli olarak 300 lux ışık akısını sağlayacak, gerilim değerleri de grafik çizim yöntemiyle belirlenmiştir.



Şekil VIII-6 14.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçümlerin Grafiği



Şekil VIII-7 Grafiğin Bölgelere Ayırılarak Denklemlerinin Çıkartılması



### Şekil VIII-7'in Devamı

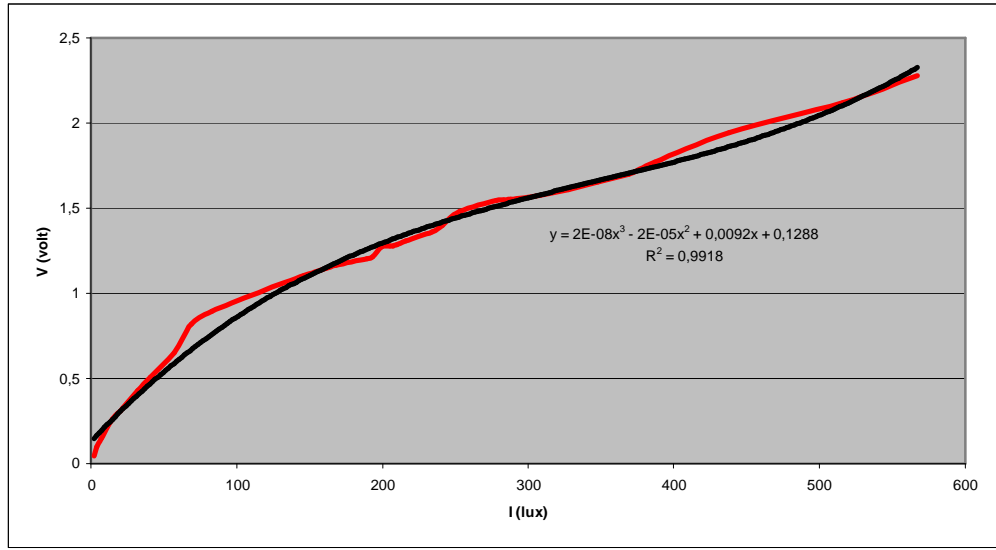
Bulunan bu denklemler kullanılarak 0 ~ 567 lux arasındaki ışık şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Eğrilerin çizimi sırasında Microsoft Excel programının “Eğri uydurma” (curve fitting) özelliği kullanılmıştır. Eğri uydurma yönteminde bulunan eğrilerin denklemleri her grafiğin üzerinde ayrı ayrı verilmiştir. Işık Şiddeti-Gerilim grafiğinin tamamının tek bir matematiksel denklem ile ifade edilmesi güç olduğu için on parçaya ayrılmıştır. Her bir parça bir önceki eğrinin sınır değerini ilk değer olarak çizilmiştir. (0-70, 70-193, 193-234, 234-253 lux gibi)

Şekil VIII-8 14.05.2005 Tarihli Ölçümlerde Direkt Eğri Uydurma ile Çizilen Grafik

Sistem üzerinde 14.05.2005 tarihinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen Işık Akısı – Gerilim grafiğinde, bölgelere ayrılmadan direkt eğri uydurma yöntemi kullanılması ile elde edilen grafik Şekil VIII-8’de görülmektedir. Direkt eğri uydurma yönteminde grafik bölgelere ayrılmamıştır. Elde edilen veriler ile çizilen Işık Akısı – Gerilim grafiğine Microsoft Excel’de eğri uydurma fonksiyonu kullanarak uygun fonksiyonlu eğri çizdirilmiştir.

Şekil VIII-6'da çizilen grafikte yapılan eğri uydurmada grafiğin parçalara ayrılması ile elde edilen eğri Şekil VIII-8'de elde edilen eğriye göre daha iyi uyum sağlamıştır. Kontrol sisteminin çalışması için aydınlık şiddetinin 300 lux'e karşılık gelen gerilim değerlerinin hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle eğrinin bölgelere ayrılarak incelenmesi kontrol sistemi açısından daha doğru olmuştur.

Tablo VIII-8'de bir arada gösterilmişlerdir. Hesaplanan değerler, gerçekte ölçüm sonucu bulunan değerler ile yaklaşık aynı olmuştur.



**Şekil VIII-8 14.05.2005 Tarihli Ölçümlerde Direkt Eğri Uydurma ile Çizilen Grafik**

Sistem üzerinde 14.05.2005 tarihinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen Işık Akısı – Gerilim grafiğinde, bölgelere ayrılmadan direkt eğri uydurma yöntemi kullanılması ile elde edilen grafik Şekil VIII-8'de görülmektedir. Direkt eğri uydurma yönteminde grafik bölgelere ayrılmamıştır. Elde edilen veriler ile çizilen Işık Akısı – Gerilim grafiğine Microsoft Excel'de eğri uydurma fonksiyonu kullanarak uygun fonksiyonlu eğri çizdirilmiştir.

Şekil VIII-6'da çizilen grafikte yapılan eğri uydurmada grafiğin parçalara ayrılması ile elde edilen eğri Şekil VIII-8'de elde edilen eğriye göre daha iyi uyum sağlamıştır. Kontrol sisteminin çalışması için aydınlık şiddetinin 300 lux'e karşılık gelen gerilim değerlerinin hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle eğrinin bölgelere ayrılarak incelenmesi kontrol sistemi açısından daha doğru olmuştur.



**Tablo VIII-8 Formüller Kullanılarak Bulunan Işık Şiddetleri**

Isık Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isık Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isık Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isık Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)
1	0,0310	0,007	58	0,6505	-	115	0,9925	-	172	1,1652	-
2	0,0484	0,044	59	0,6645	-	116	0,9960	-	173	1,1676	-
3	0,0653	-	60	0,6790	-	117	0,9996	-	174	1,1700	-
4	0,0816	0,099	61	0,6939	-	118	1,0032	-	175	1,1725	-
5	0,0974	-	62	0,7094	-	119	1,0067	-	176	1,1748	-
6	0,1126	-	63	0,7253	-	120	1,0102	-	177	1,1772	-
7	0,1274	0,146	64	0,7418	-	121	1,0137	-	178	1,1796	-
8	0,1417	-	65	0,7589	-	122	1,0172	-	179	1,1819	-
9	0,1556	-	66	0,7765	-	123	1,0206	-	180	1,1842	-
10	0,1690	-	67	0,7947	-	124	1,0240	-	181	1,1865	-
11	0,1820	-	68	0,8045	-	125	1,0275	-	182	1,1888	-
12	0,1946	-	69	0,8057	0,819	126	1,0308	-	183	1,1910	-
13	0,2068	-	70	0,8102	-	127	1,0342	-	184	1,1932	-
14	0,2186	-	71	0,8147	-	128	1,0376	-	185	1,1955	-
15	0,2301	0,263	72	0,8192	-	129	1,0409	-	186	1,1976	-
16	0,2413	-	73	0,8236	-	130	1,0442	-	187	1,1998	-
17	0,2521	-	74	0,8280	-	131	1,0475	-	188	1,2020	-
18	0,2627	-	75	0,8325	-	132	1,0508	-	189	1,2041	1,206
19	0,2730	-	76	0,8368	-	133	1,0540	-	190	1,2062	-
20	0,2830	-	77	0,8412	-	134	1,0572	-	191	1,2083	-
21	0,2928	-	78	0,8456	-	135	1,0605	-	192	1,2104	-
22	0,3023	0,327	79	0,8499	-	136	1,0636	-	193	1,2224	1,216
23	0,3117	-	80	0,8542	-	137	1,0668	-	194	1,2321	-
24	0,3209	-	81	0,8585	-	138	1,0700	-	195	1,2418	-
25	0,3299	-	82	0,8628	-	139	1,0731	-	196	1,2515	-
26	0,3387	-	83	0,8670	0,893	140	1,0762	-	197	1,2612	-
27	0,3474	-	84	0,8712	-	141	1,0793	-	198	1,2709	-
28	0,3561	-	85	0,8755	-	142	1,0824	-	199	1,2781	1,274
29	0,3646	-	86	0,8796	-	143	1,0854	-	200	1,2790	1,279
30	0,3730	-	87	0,8838	-	144	1,0884	-	201	1,2792	-
31	0,3814	-	88	0,8880	-	145	1,0915	-	202	1,2794	-
32	0,3897	-	89	0,8921	-	146	1,0944	1,108	203	1,2796	-
33	0,3980	-	90	0,8962	-	147	1,0974	-	204	1,2798	-
34	0,4063	-	91	0,9003	-	148	1,1004	-	205	1,2800	1,275
35	0,4146	-	92	0,9044	-	149	1,1033	-	206	1,2810	-
36	0,4230	-	93	0,9084	-	150	1,1062	-	207	1,2810	1,211
37	0,4314	-	94	0,9124	-	151	1,1091	-	208	1,2820	-
38	0,4398	-	95	0,9165	-	152	1,1120	-	209	1,2840	-
39	0,4484	-	96	0,9204	-	153	1,1148	1,128	210	1,2870	1,269
40	0,4570	-	97	0,9244	-	154	1,1176	-	211	1,2900	-
41	0,4658	0,507	98	0,9284	-	155	1,1205	-	212	1,2930	-
42	0,4747	-	99	0,9323	-	156	1,1232	-	213	1,2960	-
43	0,4837	-	100	0,9362	-	157	1,1260	-	214	1,2990	-
44	0,4930	-	101	0,9401	-	158	1,1288	-	215	1,3020	-
45	0,5024	-	102	0,9440	-	159	1,1315	-	216	1,3050	1,309
46	0,5120	-	103	0,9478	-	160	1,1342	1,147	217	1,3080	-
47	0,5219	-	104	0,9516	-	161	1,1369	-	218	1,3110	-
48	0,5320	-	105	0,9555	-	162	1,1396	-	219	1,3140	-
49	0,5423	-	106	0,9592	-	163	1,1422	-	220	1,3170	-
50	0,5530	-	107	0,9630	-	164	1,1448	-	221	1,3200	-
51	0,5640	-	108	0,9668	-	165	1,1475	-	222	1,3230	-
52	0,5752	-	109	0,9705	-	166	1,1500	-	223	1,3260	-
53	0,5868	-	110	0,9742	-	167	1,1526	-	224	1,3290	-
54	0,5988	-	111	0,9779	-	168	1,1552	1,167	225	1,3320	-
55	0,6111	-	112	0,9816	-	169	1,1577	-	226	1,3350	-
56	0,6238	-	113	0,9852	-	170	1,1602	-	227	1,3380	-
57	0,6370	0,648	114	0,9888	-	171	1,1627	-	228	1,3410	-

Tablo VIII.8'in Devamı

Isik Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isik Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isik Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isik Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)
229	1,3440	-	286	1,5580	-	343	1,6403	-	400	1,8205	-
230	1,3470	-	287	1,5587	-	344	1,6424	-	401	1,8241	-
231	1,3500	-	288	1,5594	1,553	345	1,6445	-	402	1,8277	-
232	1,3530	-	289	1,5602	-	346	1,6466	-	403	1,8312	-
233	1,3560	-	290	1,5610	-	347	1,6487	-	404	1,8348	-
234	1,3614	1,362	291	1,5618	-	348	1,6508	1,655	405	1,8383	-
235	1,3670	-	292	1,5626	-	349	1,6529	-	406	1,8418	-
236	1,3726	-	293	1,5635	-	350	1,6550	-	407	1,8453	-
237	1,3782	-	294	1,5644	-	351	1,6571	-	408	1,8488	-
238	1,3838	-	295	1,5653	-	352	1,6592	-	409	1,8523	-
239	1,3894	-	296	1,5662	-	353	1,6613	-	410	1,8557	-
240	1,3922	-	297	1,5671	-	354	1,6634	-	411	1,8591	-
241	1,3989	1,396	298	1,5680	-	355	1,6655	-	412	1,8625	-
242	1,4056	-	299	1,5690	-	356	1,6676	-	413	1,8659	-
243	1,4023	-	300	1,5700	-	357	1,6697	-	414	1,8693	-
244	1,4090	-	301	1,5710	-	358	1,6718	-	415	1,8727	-
245	1,4157	-	302	1,5720	-	359	1,6739	-	416	1,8761	-
246	1,4224	-	303	1,5731	-	360	1,6760	-	417	1,8794	-
247	1,4291	-	304	1,5742	-	361	1,6781	-	418	1,8827	-
248	1,4358	-	305	1,5753	-	362	1,6802	-	419	1,8860	-
249	1,4425	-	306	1,5764	-	363	1,6823	-	420	1,8893	-
250	1,4492	-	307	1,5775	-	364	1,6844	-	421	1,8926	-
251	1,4559	-	308	1,5786	1,577	365	1,6865	-	422	1,8958	-
252	1,4626	-	309	1,5798	-	366	1,6886	-	423	1,8991	-
253	1,4719	1,519	310	1,5810	-	367	1,6907	-	424	1,9023	-
254	1,4745	-	311	1,5822	-	368	1,6928	-	425	1,9055	-
255	1,4771	-	312	1,5834	-	369	1,7012	1,669	426	1,9087	-
256	1,4797	-	313	1,5847	-	370	1,7053	-	427	1,9119	-
257	1,4823	-	314	1,5860	-	371	1,7094	-	428	1,9150	-
258	1,4849	-	315	1,5873	-	372	1,7134	-	429	1,9182	-
259	1,4875	-	316	1,5886	-	373	1,7175	-	430	1,9213	-
260	1,4901	-	317	1,5899	-	374	1,7215	-	431	1,9244	-
261	1,4927	-	318	1,5912	-	375	1,7255	-	432	1,9275	-
262	1,4953	-	319	1,5926	-	376	1,7295	-	433	1,9306	-
263	1,4979	-	320	1,5940	-	377	1,7335	-	434	1,9337	-
264	1,5005	-	321	1,5954	-	378	1,7374	-	435	1,9367	-
265	1,5031	-	322	1,5968	-	379	1,7414	-	436	1,9397	-
266	1,5057	-	323	1,5983	-	380	1,7453	-	437	1,9427	-
267	1,5083	-	324	1,5998	-	381	1,7492	-	438	1,9480	1,948
268	1,5109	-	325	1,6013	-	382	1,7531	-	439	1,9497	-
269	1,5135	-	326	1,6028	-	383	1,7570	-	440	1,9515	-
270	1,5161	-	327	1,6043	-	384	1,7609	-	441	1,9533	-
271	1,5187	-	328	1,6088	1,611	385	1,7647	-	442	1,9550	-
272	1,5213	-	329	1,6109	-	386	1,7685	-	443	1,9568	-
273	1,5239	-	330	1,6130	-	387	1,7723	1,77	444	1,9587	-
274	1,5265	-	331	1,6151	-	388	1,7761	-	445	1,9605	-
275	1,5291	-	332	1,6172	-	389	1,7799	-	446	1,9623	-
276	1,5317	-	333	1,6193	-	390	1,7837	-	447	1,9642	-
277	1,5343	-	334	1,6214	-	391	1,7875	-	448	1,9660	-
278	1,5480	1,548	335	1,6235	-	392	1,7912	-	449	1,9679	-
279	1,5484	-	336	1,6256	-	393	1,7949	-	450	1,9698	-
280	1,5488	-	337	1,6277	-	394	1,7986	-	451	1,9717	-
281	1,5492	-	338	1,6298	-	395	1,8023	-	452	1,9736	-
282	1,5496	-	339	1,6319	-	396	1,8060	-	453	1,9756	-
283	1,5500	1,55	340	1,6340	-	397	1,8096	-	454	1,9775	-
284	1,5566	-	341	1,6361	-	398	1,8133	-	455	1,9795	-
285	1,5573	-	342	1,6382	-	399	1,8169	-	456	1,9815	-

Tablo VIII.8'in Devamı

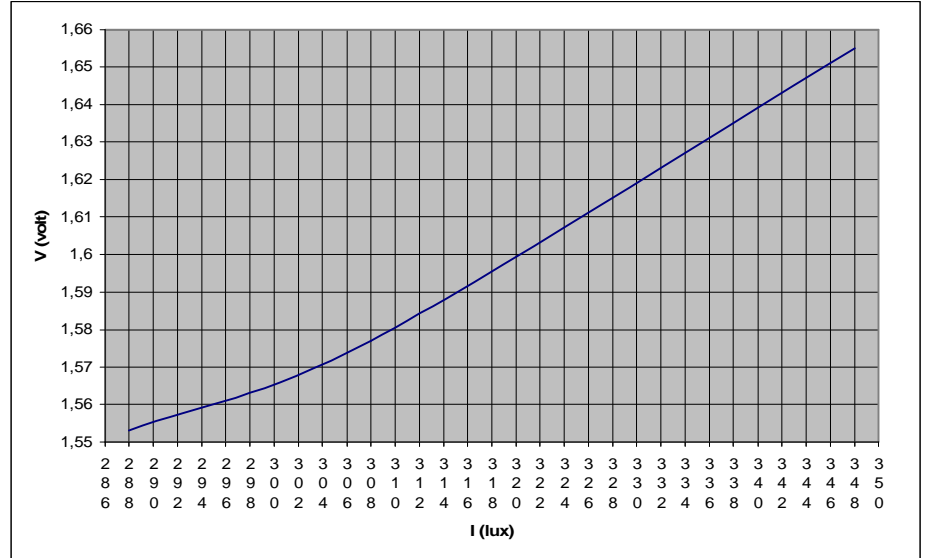
Isik Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)	Isik Akisi (lux)	Hesaplanan Gerilim (volt)	Ölçülen Gerilim (volt)
457	1,9834	-	514	2,1201	-
458	1,9854	-	515	2,1229	-
459	1,9875	-	516	2,1257	2,119
460	1,9895	-	517	2,1285	-
461	1,9915	-	518	2,1314	-
462	1,9936	-	519	2,1342	-
463	1,9957	-	520	2,1371	-
464	1,9978	-	521	2,1400	-
465	1,9999	-	522	2,1429	-
466	2,0020	-	523	2,1458	-
467	2,0041	-	524	2,1487	-
468	2,0063	-	525	2,1517	-
469	2,0084	-	526	2,1546	-
470	2,0106	-	527	2,1576	-
471	2,0128	-	528	2,1606	-
472	2,0150	-	529	2,1636	-
473	2,0172	-	530	2,1666	-
474	2,0194	-	531	2,1696	-
475	2,0217	-	532	2,1727	-
476	2,0239	-	533	2,1757	-
477	2,0262	-	534	2,1788	-
478	2,0285	-	535	2,1819	-
479	2,0308	-	536	2,1850	-
480	2,0331	-	537	2,1881	-
481	2,0354	-	538	2,1912	-
482	2,0378	-	539	2,1943	-
483	2,0401	-	540	2,1975	-
484	2,0425	-	541	2,2007	-
485	2,0449	-	542	2,2038	-
486	2,0473	-	543	2,2070	-
487	2,0497	-	544	2,2103	-
488	2,0521	-	545	2,2135	-
489	2,0545	-	546	2,2167	-
490	2,0570	-	547	2,2200	-
491	2,0595	-	548	2,2232	-
492	2,0619	-	549	2,2265	-
493	2,0644	-	550	2,2298	-
494	2,0670	-	551	2,2331	-
495	2,0695	-	552	2,2364	-
496	2,0720	-	553	2,2398	-
497	2,0746	-	554	2,2431	-
498	2,0771	-	555	2,2465	-
499	2,0797	-	556	2,2499	-
500	2,0823	-	557	2,2532	-
501	2,0849	-	558	2,2566	-
502	2,0875	-	559	2,2601	-
503	2,0902	-	560	2,2635	-
504	2,0928	-	561	2,2669	-
505	2,0955	-	562	2,2704	-
506	2,0982	-	563	2,2739	-
507	2,1008	-	564	2,2774	-
508	2,1035	-	565	2,2809	-
509	2,1063	-	566	2,2844	-
510	2,1090	-	567	2,2879	2,28
511	2,1117	-			
512	2,1145	-			
513	2,1173	-			

Bu değerlerin ölçümü esnasında, armatürler kademeler halinde devreye alınarak, çalışma düzleminde sürekli olarak 300 lux ışık akısını sağlayacak, gerilim değerleri de grafik çizim yöntemiyle belirlenmiştir. Grafik çizim yönteminde 300 lux değerine en yakın değer ile buna en yakın önceki ve sonraki değer olmak üzere üç ölçüm değeri esas alınmıştır. Örneğin

Şekil VIII-9'de 308 lux için alt değer olarak 288 lux üst değer olarakta 348 lux değeri alınmıştır. Bu değerlerin ortak özellikleri 300 lux sınır değerine en yakın olarak ölçülebilen değerler olmalarıdır. Bu üç değer oluşturduğu grafik mili metrik kağıt üzerinde çizilerek, 300 lux'e karşılık gelen gerilim değeri y ekseninden okunarak tespit edilmiştir.

Isık Akisi (lux)	Gerilim (volt)
348	1,655
308	1,577
288	1,553

300 1,565

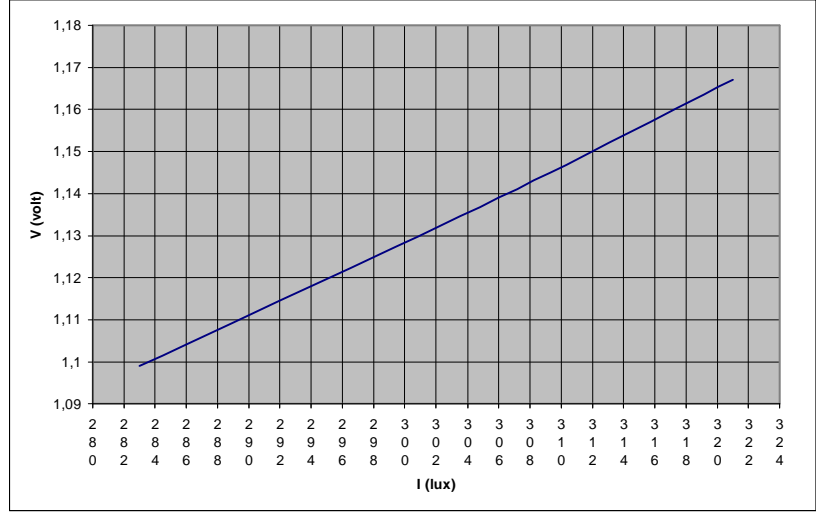


**Şekil VIII-9 LG1'in Devreye Gireceği Işık Şiddeti ve Gerilim Değeri**

Şekil VIII-9'daki grafikte görüldüğü gibi LG1'in devreye gireceği, 300 lux ışık şiddetine karşılık gelen gerilim değeri, gerilim ekseninden (y akseni), 1,565 volt olarak okunmuştur.

Isık Akisi (lux)	Gerilim (volt)
321	1,167
306	1,139
283	1,099

300 1,128

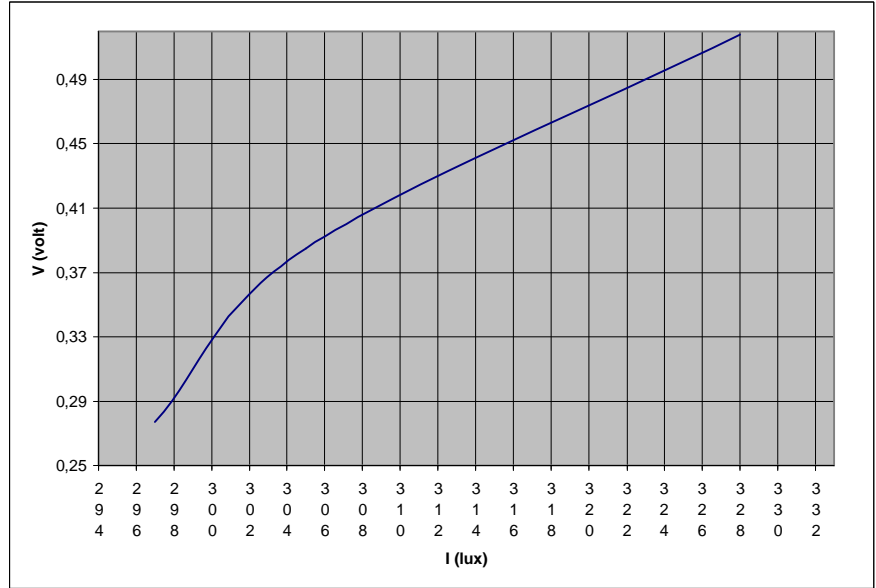


**Şekil VIII-10 LG1+LG2'nin Devreye Gireceği Işık Şiddeti ve Gerilim Değeri**

Şekil VIII-10'daki grafikte görüldüğü gibi LG1+LG2'nin devreye gireceği, 300 lux ışık şiddetine karşılık gelen gerilim değeri, gerilim ekseninden (y eksen), 1,128 volt olarak okunmuştur.

Isık Akisi (lux)	Gerilim (volt)
328	0,518
305	0,385
297	0,277

300 0,327



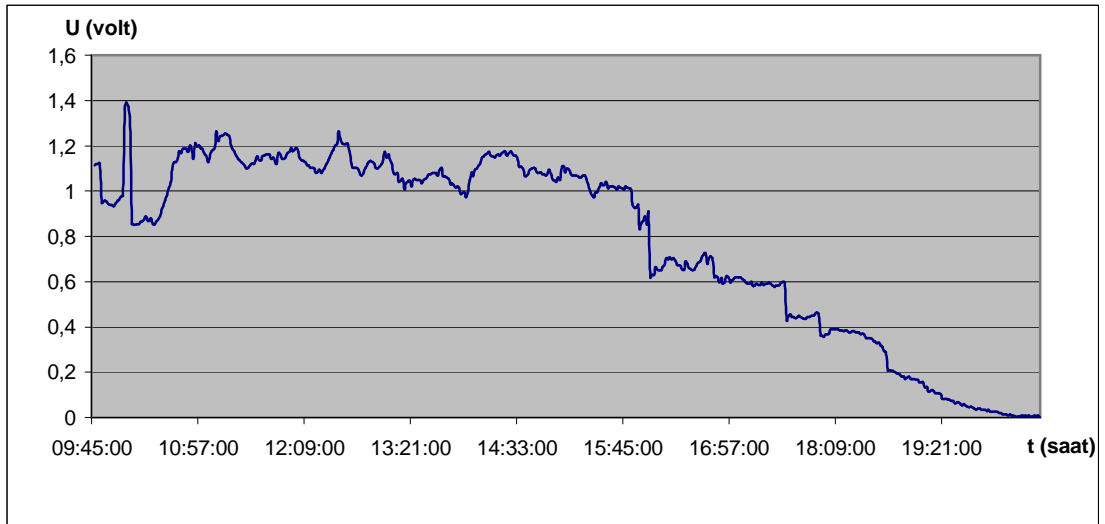
**Şekil VIII-11 LG1+LG2+LG3'ün Devreye Gireceği Işık Şiddeti ve Gerilim Değeri**

Şekil VIII-11'deki grafikte görüldüğü gibi LG1+LG2+LG3'ün devreye gireceği, 300 lux ışık şiddetine karşılık gelen gerilim değeri, gerilim ekseninden (y eksen), 0,327 volt olarak okunmuştur.

## VIII.2.4. LDR Sensörlü Devrenin Tüm Gün Testleri

Yapılan ölçümler ve bunun sonucunda bulunan değerlerin ardından kontrolörün tüm gün testlerine geçilmiştir. Bu testler güneşin doğuşu ile batışı arasında kalan doğal aydınlatmanın bulunduğu zaman diliminde yapılmıştır. Aşağıdaki grafiklerde, 13.05.2005 ve 14.05.2005 17.05.2005 tarihlerinde yapılan ölçüm sonuçları görülmektedir. Aydınlatılması yapılan Güç Elektroniği Laboratuvarı konumu nedeni ile sabah güneşin doğuşu ile direkt güneş ışınımı almaya başlamaktadır. Bu nedenle öğle saatlerine kadar (11:30'a kadar) armatürlerin devreye girmesine ihtiyaç olmamaktadır.

Kontrolörün tüm gün testinin yapıldığı ilk gün 13.05.2005 tarihidir. Tüm gün testinin yapılması sırasında, armatür grupları bulanık mantık kontrolörü tarafından kontrol edilmektedirler. Testin yapıldığı ilk gün atmosferde yoğun bir bulut tabakası bulunmaktadır ve direkt güneşlenme imkanı olmamıştır.



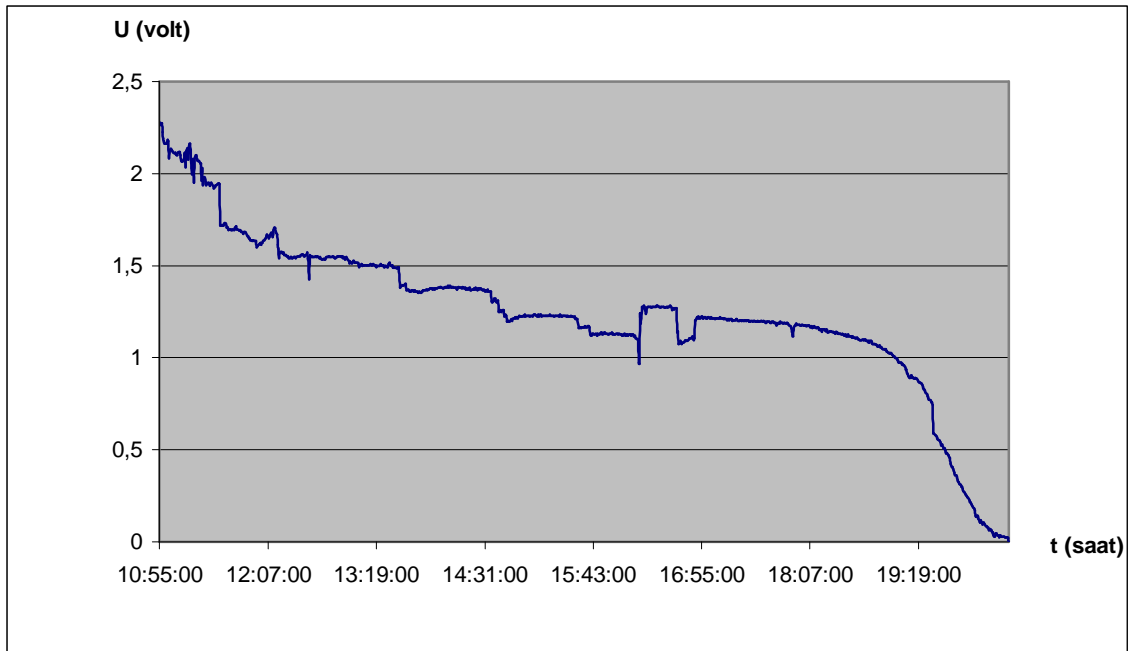
Şekil VIII-12 13.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm

Test süresince laboratuvarın penceresine yerleştirilen LDR sensörlü devre direkt güneş ışınımı alamadığı için devrenin uçlarındaki gerilim 1.4 volt değerini geçememiştir. Deneye sabah saat 9:45'te başlanmış ve devre uçlarındaki gerilim bilgisayarda bulunan DAQ kartı aracılığı ile ölçülmüştür. Çalışma düzlemi üzerine yerleştirilen lüksmetre ile 300 lux sınır değerinin altına düştüğünde armatürlerin devreye girip girmedikleri kontrol edilmiştir.

Gerilim değeri, atmosferde bulunan bulut tabakasının hareketi ile gün ışığında oluşan değişime paralel olarak artıp azalmaktadır. Saat 15:30'a kadar 1 voltun üzerinde ölçülen gerilim değeri, güneşin alçalmaya başlaması ile düşüş eğilimine girip, havanın tamamen kararması ile 0 volta kadar azalmaktadır.

Testlere devam edildiği 14.05.2005 Cumartesi günü enerji kesintisi nedeni ile bilgisayar ile yapılan ölçümlere 10:55'te başlanabilmıştır. Atmosferde direkt güneş ışınımı engelleyecek kadar yoğun bir bulut tabakası olmamasına rağmen, "cirrostratus" tabakası nedeni ile zaman zaman ışınımında azalma olmuştur.

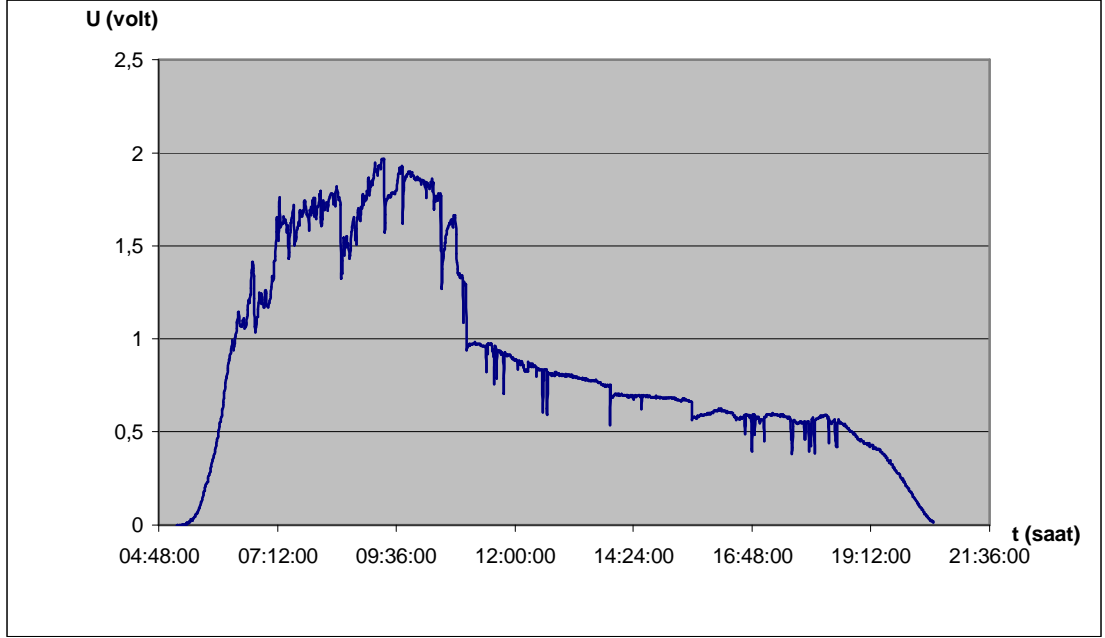
Sabah saatlerinde, güneşin doğu yönünde olması nedeni ile LDR'li devrenin uç gerilimi 2,2754 volt gibi bir gün öncesinden daha yüksek bir değerde ölçülmüştür. Güneşin batı yönündeki hareketi ile öğle saatlerinde 1.5 volt seviyesine gerilemiştir. Bulutlar nedeni sürekli artış-azalış şeklinde 1,5 – 1 volt aralığında akşam 19'a kadar değişim göstermiştir. Bu saatten sonra güneşin etkisini kaybedip alçalması ile daha hızlı bir düşme eğilimine girmiş, 20:19'da "0" volta düşmüştür.



**Şekil VIII-13 14.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm**

Ölçüm yapılan üç tarihten 17.05.2005 tarihinde ise yarı açık ve "cirrostratus" bulutlarının bulunduğu şeffaf bir tabaka bulunmaktadır. Çıplak göz ile bakıldığında güneş ışığının, aydınlatma etkisinin değişimi net olarak görülmektedir. Ancak ışınların atmosferi geçişi sırasında bulutlardan süzülmesi ve geliş açılarının değişimi nedeni ile sürekli bir artış- azalış yaşanmaktadır. Bu nedenle LDR'li devrenin

uçlarında ölçülen gerilimde bu değişimle orantılı olarak Şekil VIII-14'te görüldüğü gibi değişim göstermektedir.



**Şekil VIII-14 17.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm**

Güneşin doğuşu ile direkt gün ışığı almaya başlayan laboratuvarında, aydınlık seviyesi hızla yükselmektedir. Atmosferde bulunan ince bulut tabakasından dolayı ölçülen gerilimde dalgalanmalar oluşmaktadır.

Gökyüzünde bulunan ve yağış oluşumuna sebep olan bulut tabakası yüzünden, laboratuvardaki aydınlık seviyesi oldukça düşük olmuştur. Bulutların parçalandığı dönemlerde ise hızla artmaktadır.

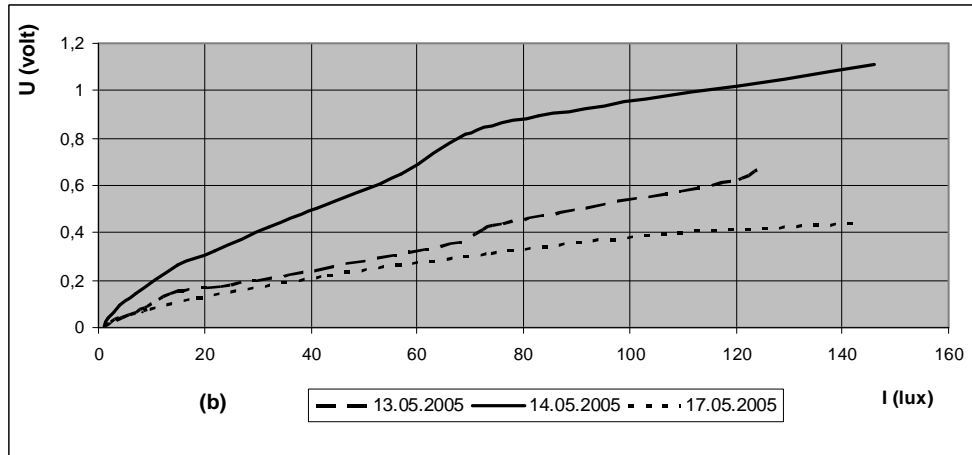
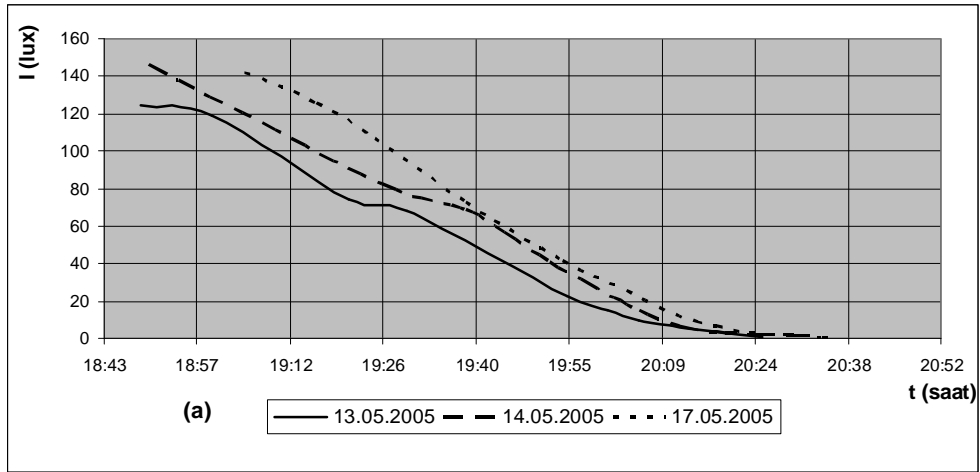
Laboratuvarın konumu nedeni ile öğle saatlerine kadar oldukça iyi aydınlanan ortamdaki ışık şiddeti, güneşin konum değiştirmesi ile giderek azalmaktadır.

Ölçümler sırasında LDR kullanılan ışık şiddeti ölçüm devresinin farklı günlerde aynı ışık şiddeti değerleri için farklı gerilim çıkışları verdiği görülmüştür. (Tablo VIII-9 ve Şekil VIII-15)



**Tablo VIII-9 Işık Şiddeti-Gerilim İlişkisinin Karşılaştırılması**

13.05.2005			14.05.2005			17.05.2005		
Saat	I (lux)	U (volt)	Saat	I (lux)	U (volt)	Saat	I (lux)	U (volt)
16:35	124	0,6689	18:50	146	1,108	19:05	142	0,441
16:47	119	0,6201	19:26	83	0,893	19:16	126	0,422
17:36	74	0,4297	19:39	69	0,819	19:25	107	0,396
17:59	68	0,3613	19:45	57	0,648	19:39	73	0,315
18:57	23	0,1758	19:52	41	0,507	19:54	42	0,219
19:08	15	0,1563	19:57	32	0,428	20:04	26	0,159
19:20	10	0,1025	20:02	22	0,327	20:09	17	0,123
19:33	7	0,0634	20:06	15	0,263	20:15	9	0,081
20:26	1	0,0096	20:12	7	0,146	20:18	7	0,063
			20:18	4	0,099	20:23	3	0,036
			20:24	2	0,044	20:29	2	0,018
			20:34	1	0,007	20:36	1	0,006



**Şekil VIII-15 Işık Şiddeti-Gerilim İlişkisinin Karşılaştırılması**

Yapılan deney sonuçları ile çizilen grafiklerde de görüldüğü gibi, aynı ışık şiddeti değerleri için, farklı günlerde yapılan ölçümlerde, farklı gerilim değerleri ölçülmüştür. Örneğin 100 lux ışık şiddeti için 13.05.2005'te 0,551 volt, 14.05.2005'te 0,961 volt, 17.05.2005'te 0,375 volt gerilim değerleri ölçülmüştür.

Kontrol sistemi bu gerilim değerlerini referans alarak, armatür gruplarını devreye alıp çıkartmaktadır. Aralarında oluşan büyük farklılıklardan dolayı kontrol sistemi, amaçlanan kontrolü sağlayacak şekilde çalışmamaktadır.

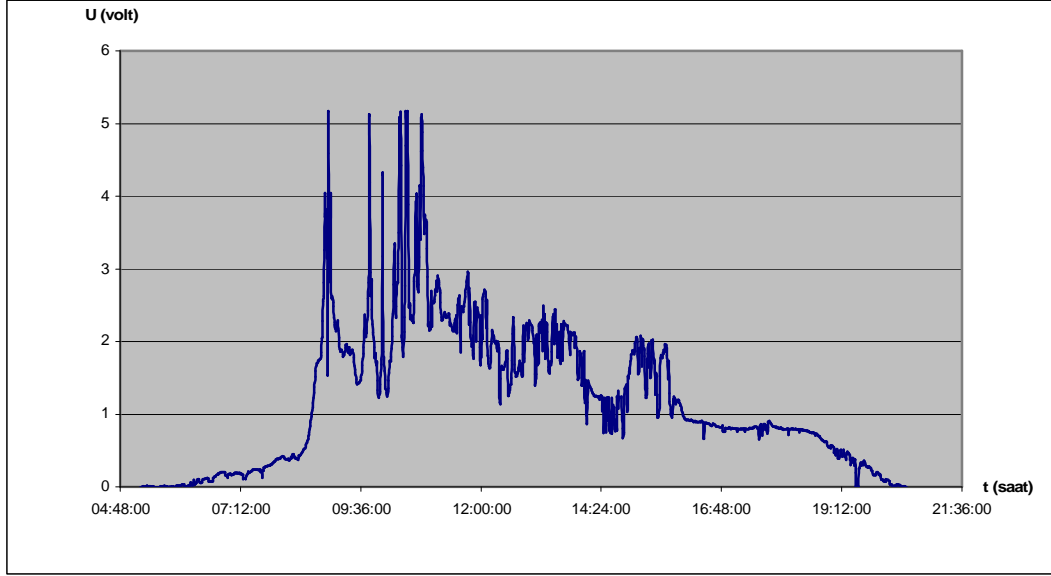
Bu nedenle ışık sensörü olarak LDR kullanan devreden vazgeçilerek, yeni bir devre tasarlanmıştır.

### **VIII.3. FOTODİYOD SENSÖRLÜ DEVRE İLE YAPILAN ÖLÇÜMLER**

Işığa duyarlı direncin sensör olarak kullanıldığı devrenin, istenildiği gibi çalışmaması üzerine yapılan araştırmalarda, lüksmetrelerde ışık şiddetini algılamak için sensör olarak fotodiyod kullanıldığı görülmüştür. Yine bu araştırmalar sırasında fotodiyod'un üzerine düşen ışık şiddeti ile orantılı olarak uçlarında bir gerilim oluştuğu belirlenmiştir. Bu gerilim yüksek kazançlı bir opamp ve 9 voltluk kaynak kullanılarak yükseltilmiş ve bir devre haline getirilmiştir.

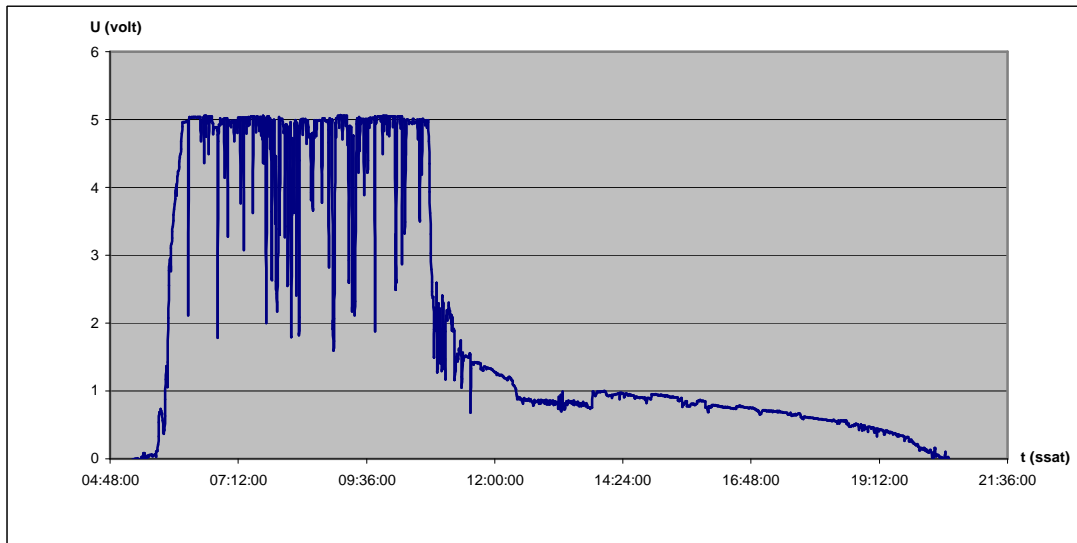
Bu devre ile yapılan ölçümler farklı atmosferik koşullarda (bulut durumu) birbirine daha yakın sonuçlar vermiştir. Kontrol sisteminin daha kararlı çalışmasını, sağlamak için fotodiyodlu devre tercih edilmiştir. Atmosferdeki bulut oluşumunun, kontrol sistemindeki etkisini en aza indirmek amacı ile bulutlu ve açık gökyüzüne sahip iki farklı güne ait ışık şiddeti-gerilim değerleri alınıp, bunların ortalama eğrileri çizdirilmiştir. Çizilen bu eğrinin de matematiksel fonksiyonu bulunarak tüm ışık şiddeti değerleri hesaplanmıştır.

Fotodiyodlu devre ile yapılan ilk tam gün testinde (29.05.2005) havanın yağışlı olması nedeni ile güneş ışınları direkt olarak aydınlatmayı sağlayamamaktadır. İlk ölçüm sabah 05:12'de yapılmıştır. DAQ kartı her 30 saniyede bir devre uçlarındaki gerilimi ölçmektedir. Öğle saatlerine kadar (11:00) olan sürede, güneşin doğu yönünde bulunduğu zaman diliminde bulutların parçalanıp direkt güneş ışınımı alındığı anlarda devre uçlarındaki gerilim 5 volta kadar yükselmektedir. Güneşin önüne bulutların geçmesi ile gerilim hızla düşmekte ve grafikte görülen artış-azalış noktaları oluşmaktadır. Öğle saatlerinden sonra güneşin batı yönünde hareketi laboratuvar içerisindeki doğal aydınlık seviyesi düşmektedir. Devre uçlarındaki gerilim saat 16'ya kadar 3 volt ile 1 volt arasında değişim göstermektedir. Güneşin alçalmaya başlaması ile bulutlu olan atmosferdeki ışık şiddeti daha hızlı düşmekte ve 20:30'da "0" volta düşmektedir.



**Şekil VIII-16 29.05.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm**

05.06.2005 tarihinde hava açık ve gökyüzünde az miktarda “cirrus” bulutları bulunmaktadır. Ölçüme güneşin doğması ile sabah 05:22’de başlanmıştır. Fotodiyodun doğu yönünde, güneşin yükselmeye başlaması ile direkt güneş ışınımı alması sonucu devrenin uç gerilimi en yüksek değer olan 5 volt’a çıkmıştır. Bulutların güneşin önüne geçmesi ile direkt güneş ışınımı engellenmiş ve devrenin gerilimi 2 volt’a kadar düşmüştür. Saat 11:01’den itibaren güneşin batı yönünde hareketi sonucu, laboratuvar direkt güneş ışınımını alamamış ve gerilim 2 volt’un altına düşmüştür.

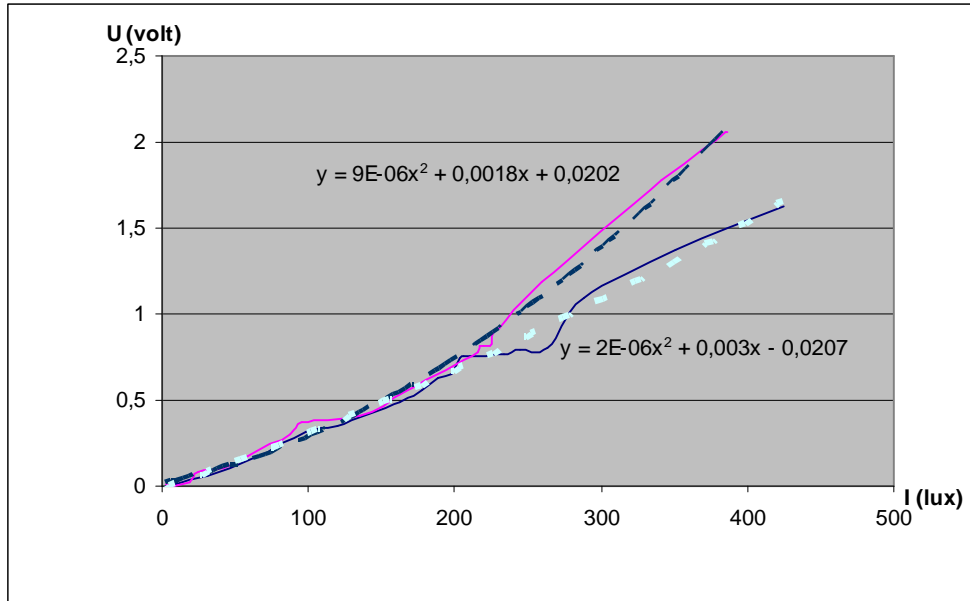


**Şekil VIII-17 05.06.2005 Tarihinde Yapılan Ölçüm**

Öğleden sonra, atmosferde oluşan ince bulut tabakası nedeni ile güneş ışınımı azalmış ve devre uç gerilimi 1 voltun altına düşmüştür. Güneşin alçalıp günbatımına doğru ışınımın azalması ile fotodiyod'lu devrenin uç gerilimi de yavaş yavaş azalmış ve 20:30'da "0" volta düşmüştür.

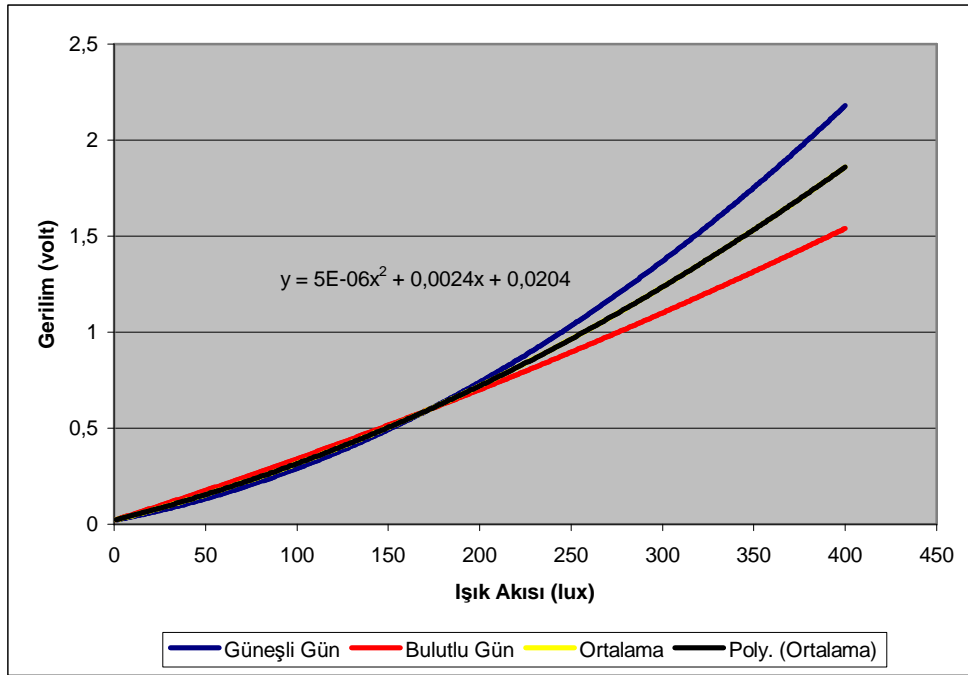
**Tablo VIII-10 Bulutlu ve Açık Günlerin Işık Şiddeti – Gerilim Karşılaştırması**

29.05.2005		05.06.2005	
I (lux)	U (volt)	I (lux)	U (volt)
425	1,626	386	2,061
351	1,372	385	2,056
288	1,089	342	1,782
263	0,808	260	1,183
244	0,788	231	0,92
234	0,767	227	0,9
211	0,756	224	0,818
206	0,752	220	0,81
203	0,745	217	0,81
201	0,696	216	0,7813
198	0,652	168	0,5615
189	0,6335	135	0,4039
178	0,562	96	0,3741
163	0,493	87	0,3027
120	0,352	59	0,175
98	0,3125	42	0,109
63	0,1595	24	0,083
31	0,057	19	0,019
10	0,0162	8	0,0048
4	0,0048	3	0,00976
1	0,009766		



**Şekil VIII-18 Bulutlu ve Açık Günlerin Işık Şiddeti – Gerilim Karşılaştırması**

Fotodiyod sensörlü lüksmetre devresi ile yapılan ölçümlerden sonra bulunan değerler kontrol devresinin sınır değerlerinin belirlenmesi için analiz edilmiştir. Bu analizde güneşli ve bulutlu günlerde alınan ölçümler kullanılarak, aynı grafik üzerinde ışık şiddeti (lux) – gerilim (volt) eğrileri çizilmiştir.(Şekil VIII-18) Bu eğrilerin “eğri uydurma” yöntemi ile denklemleri bulunmuş ve bu denklemlere göre Şekil VIII-19’deki ortalama eğri çizilmiştir. Ortalama eğrinin denklemi de “eğri uydurma” yöntemi ile bulunarak, kontrol sistemi için gerekli olan 0-400 lux arasındaki ışık şiddetlerine karşılık gelen gerilim değerleri hesaplanmıştır



**Şekil VIII-19 Güneşli ve Bulutlu Gün Değerlerinin Ortalaması**

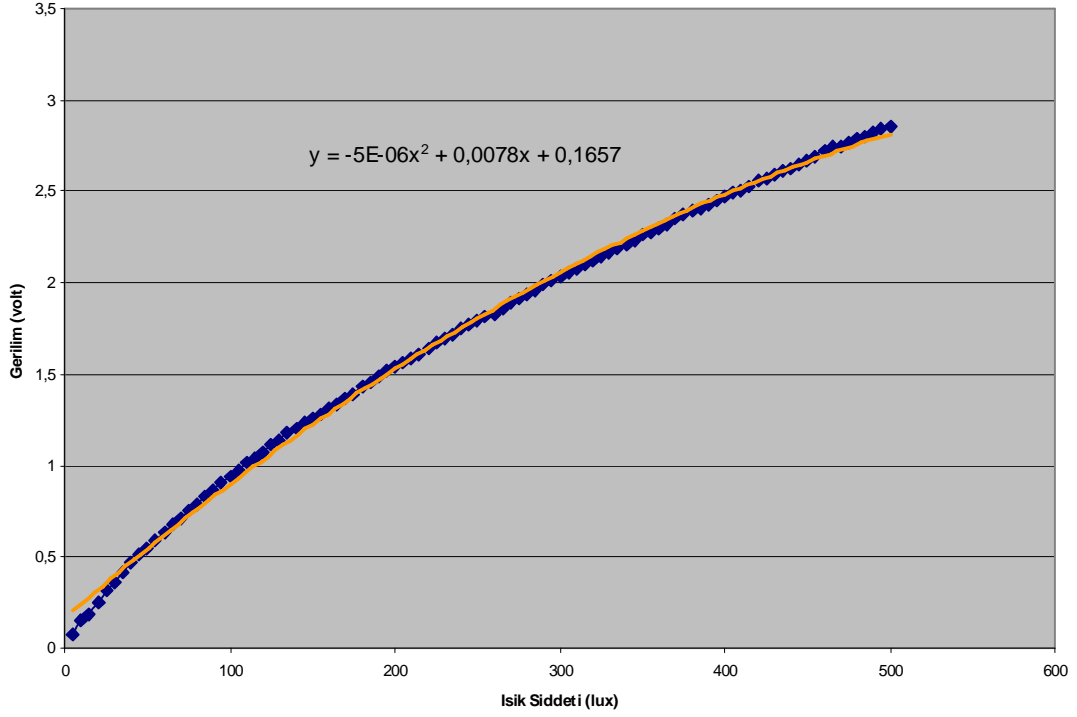
Sistemin ışık şiddetini ölçmek için kullanacağı lüksmetre devresinin çıkış geriliminin incelenmesi amacı ile bir deney yapılmıştır. Güneş ışığı girmeyen bir odada gerilimi varyak yardımı ile arttırılan akkor flamanlı 100 wattlık bir ampul ışık kaynağı olarak kullanılmıştır. Birisi bilgisayara bağlı olarak sonuçları kaydeden diğeri ise normal ölçüm yapan iki lüksmetre ile ışık şiddeti kademeli olarak arttırılarak kaydedilmiştir. Her kademedeki aydınlık şiddeti için, tasarlanan lüksmetre devresinin çıkış gerilimi bilgisayara bağlı DAQ kartı kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo VIII-11’de verilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak çizilen grafik ve eğri uydurma yöntemi ile bulunan denklem Şekil VIII-19’de görülmektedir.

**Tablo VIII-11 Lüksmetre Devresinin Karşılaştırma Sonuçları**

08.09.2005

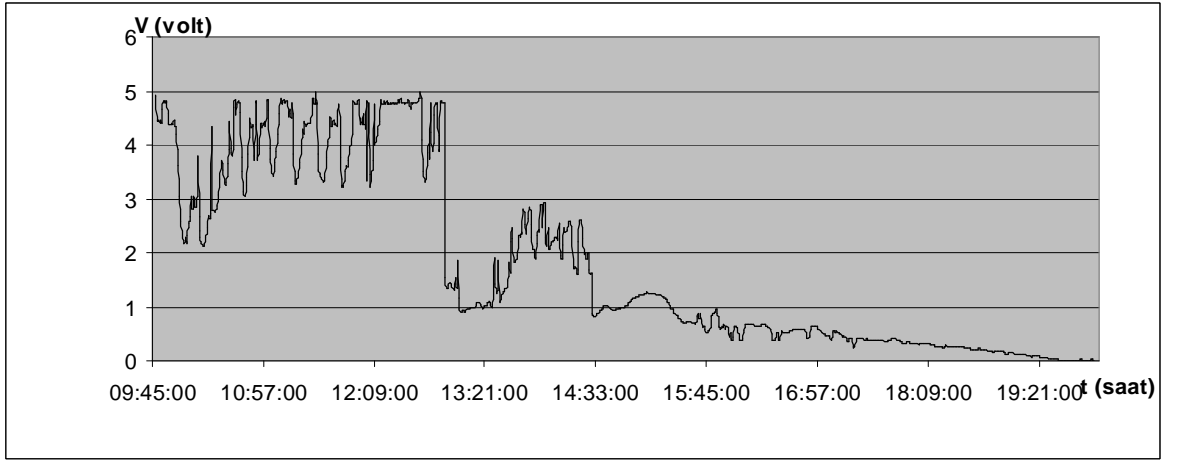
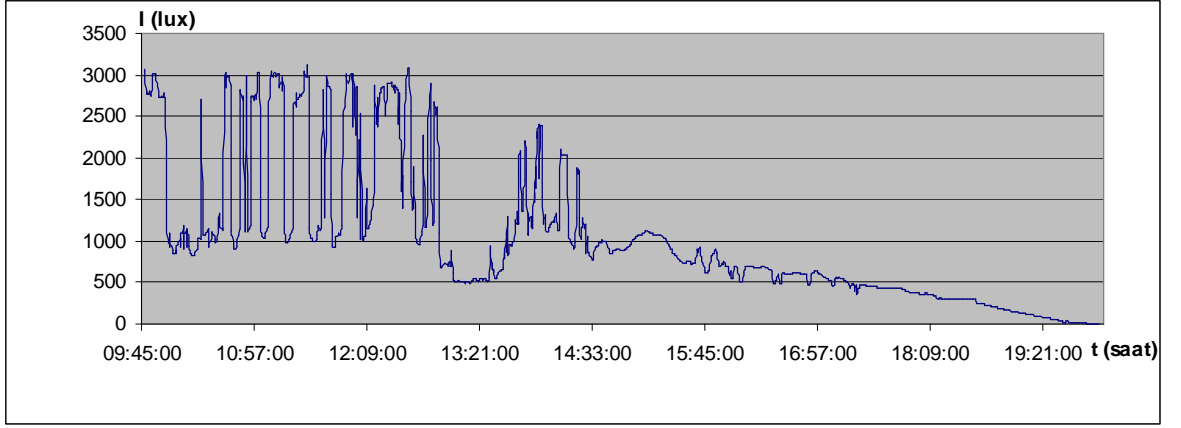
Luxmetre 1 (lux)	Luxmetre 2 (lux)	Voltmetre (volt)	Luxmetre 1 (lux)	Luxmetre 2 (lux)	Voltmetre (volt)
5	5,34	0,0774	275	275,6	1,911
10	10,01	0,15	280	281,2	1,941
15	14,66	0,189	285	285,4	1,96
20	19,24	0,248	290	290,6	1,99
25	24,2	0,313	295	291,4	2,01
30	28,85	0,365	300	301,2	2,03
35	33,42	0,414	305	305,7	2,06
40	38,44	0,466	310	310,6	2,08
45	43,3	0,512	315	314,8	2,1
50	48,2	0,551	320	319,4	2,12
55	53,6	0,594	325	324,6	2,14
60	57,4	0,639	330	229,9	2,17
65	63,5	0,676	335	334,8	2,19
70	67,4	0,709	340	339,9	2,21
75	73,6	0,76	345	344,9	2,23
80	77,8	0,784	350	349,2	2,26
85	83,5	0,83	355	355,2	2,28
90	88,3	0,864	360	359,9	2,3
95	93,4	0,906	365	365,5	2,32
100	98,4	0,946	370	369,8	2,35
105	104,1	0,978	375	374,9	2,37
110	108,8	1,015	380	380,2	2,39
115	113,7	1,043	385	385	2,41
120	118,5	1,068	390	384,8	2,43
125	123,1	1,112	395	395,8	2,45
130	128,4	1,139	400	399,4	2,47
135	133,8	1,178	405	405	2,49
140	138,4	1,204	410	410	2,51
145	143,8	1,232	415	415	2,53
150	149,2	1,261	420	421	2,56
155	154,7	1,283	425	425	2,57
160	159,4	1,31	430	430	2,59
165	164,4	1,335	435	436	2,61
170	170,1	1,368	440	441	2,63
175	144,5	1,394	445	446	2,65
180	179,6	1,429	450	452	2,67
185	184,8	1,455	455	457	2,69
190	189,8	1,487	460	462	2,72
195	194,4	1,515	465	468	2,74
200	199,6	1,54	470	474	2,75
205	205,6	1,569	475	479	2,77
210	210,7	1,59	480	487	2,79
215	214,8	1,612	485	490	2,8
220	219,8	1,645	490	497	2,82
225	225,3	1,671	495	504	2,84
230	230,1	1,692	500	510	2,86
235	234,8	1,722			
240	244,3	1,745			
245	245,7	1,772			
250	250,4	1,791			
255	255,9	1,814			
260	260,8	1,831			
265	265,4	1,863			
270	271,2	1,889			

Luxmetre 1 (lux):Gözle Yapılan Okuma Voltmetre (volt) : DAQ Kartı ile Yapılan Öl  
Luxmetre 2 (lux): Bilgisayarla Yapılan Okur



**Şekil VIII-20 Lüksmetre Devresinin Karşılaştırma Sonuç Grafiği**

Lüksmetre devresinin, doğal ışık şiddeti değişimi karşısında gösterdiği çıkış gerilimi değişimi de lüksmetre de ölçülen ışık şiddeti ile karşılaştırılmıştır. Bu deney için lüksmetrenin probu ile tasarlanan devrenin fotodiyodu, direkt güneş ışığından etkilenmelerini engellemek için plastik bir muhafaza içerisinde binanın dışına yerleştirilmiştir. Daha sonra lüksmetrenin ölçümleri bilgisayara kaydedilip, DAQ kartı ile ölçülen lüksmetre devresinin çıkış gerilimi ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil VIII-21 Doğal Işık Şiddeti Altında Lüksmetre Devresi Geriliminin Karşılaştırılması**

Deney sonucu elde edilen veriler ile çizilen grafiklerde, lüksmetrenin ölçtüğü ışık şiddeti değerleri ile fotodiyod sensörlü devrenin çıkış gerilimleri karşılaştırılmıştır. Parçalı bulutlu bir havada yapılan deneylerde, lüksmetrenin ölçtüğü ışık şiddeti değerlerindeki değişim ile DAQ kartı kullanılarak yapılan gerilim ölçümü sonuçlarının aynı zaman dilimleri içinde uyumlu olarak değişim gösterdikleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre; fotodiyod sensörlü ışık şiddeti ölçüm devresinin kararlı ve doğru çalıştığı söylenebilir.

#### **VIII.4. ÖLÇME SONUÇLARININ HATA ANALİZİ**

Bütün deneylerden elde edilen bulgular belirli bir şekilde analiz edilmelidir. Bu analizler bazen çok kolay olmasına karşılık, bazende deneysel sonuçların temel fizik kurallarını uymasını sağlayabilmek için çok karmaşık olabilir. Hatta bazen deneysel sonuçları açıklayabilmek için yeni prensipler ortaya atmak gerekebilir.



Deneyleri yapan ve bu deney sonuçlarını kullanan araştırmacılar daima elde edilen bulguların geçerliliğini bilmek isterler. En basit bir ölçme şekli olan bir uzunluk ölçmesinde bile, kullanılan ölçme aletinin hassasiyeti bilinmelidir[46].

Bu çalışmada aydınlatma sistemin kontrolünde kullanılan giriş büyüklüklerinin iki tanesi dijital (0,5 V), bir tanesi ise analog (0-5 V) bilgisidir. Analog bilgi yapılan luxmetre devresi ile gün ışığındaki değişime göre 0 ila 5 volt arasında verilmektedir. Bu nedenle hata analizi sırasında hesaplanacak büyüklükler sınırlı olmaktadır.

Burada yapılacak olan hesaplamalar 05.06.05 tarihinde sistemin tüm gün testlerinde elde edilen değerlere göre hesaplanacaktır.

Aritmetik ortalama ( $x_m$ ), n ölçme sayısı ve  $x_i$ 'de i.'ci ölçüm olmak üzere tüm ölçülen değerlerin formülde yerine konulması ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır[46].

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{VI.4})$$

$$x_m = \frac{1}{1866} \sum_{i=1}^{1866} (-0,0097656 + -0,0048828 + -0,0048828 + \dots + 0,0097656)$$

$$x_m = 1,985395686$$

Her bir ölçüm değerinin, ortalama değerden farkı ise sapma ( $d_i$ ) olarak tanımlanmaktadır[46]. Ölçüm sayısının çok miktara olması nedeni ile burada örnek olarak hesaplanan değerlerden sadece bir tanesi verilmiştir.

$$d_i = x_i - x_m \quad (\text{VI.5})$$

$$d_{150} = x_{150} - x_m = 5,0342 - 1,985395686 = 3,048804314$$

Sapmaların mutlak değerlerinin ortalaması  $|\bar{d}_i|$  ise ölçülen büyüklükler nedeni ile sapmanın negatif çıkabileceği değerlerde anlam kazanır.

$$|\bar{d}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_m| \quad (\text{VI.6})$$

$$|\bar{d}_i| = \frac{1}{1866} \sum_{i=1}^{1866} \left| \begin{array}{l} (-0,0097656 \\ -1,985395686) + (-0,0048828 \\ -1,985395686) + \dots + (0,0097656 \\ -1,985395686) \end{array} \right| = 1,984331707$$

Deneyisel bulguların, aritmetik ortalama değerden olan sapmaların dağılımını gösteren bir büyüklük standart sapma veya sapmaların karelerinin karekökü denir ve “ $\sigma$ ” ile gösterilir[46].

$$s = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{VI.7})$$

$$s = \left[ \frac{1}{1866} \sum_{i=1}^{1866} (x_i - 1,984331707)^2 \right]^{1/2} = 1,894338875$$

Standart sapmanın karesi ise ( $\sigma^2$ ) değişiklik varyans olarak adlandırılır[46].

$$s^2 = (1,894338875)^2 = 3,588519773$$

Belirli hata oranına sahip bir seri deney yapıldığında, bu deneylere ait x fiziksel büyüklüğünün belirli bir aralıkta bulunma olasılığını tespit etmek amacıyla gaussian (veya normal) dağılım adı verilen

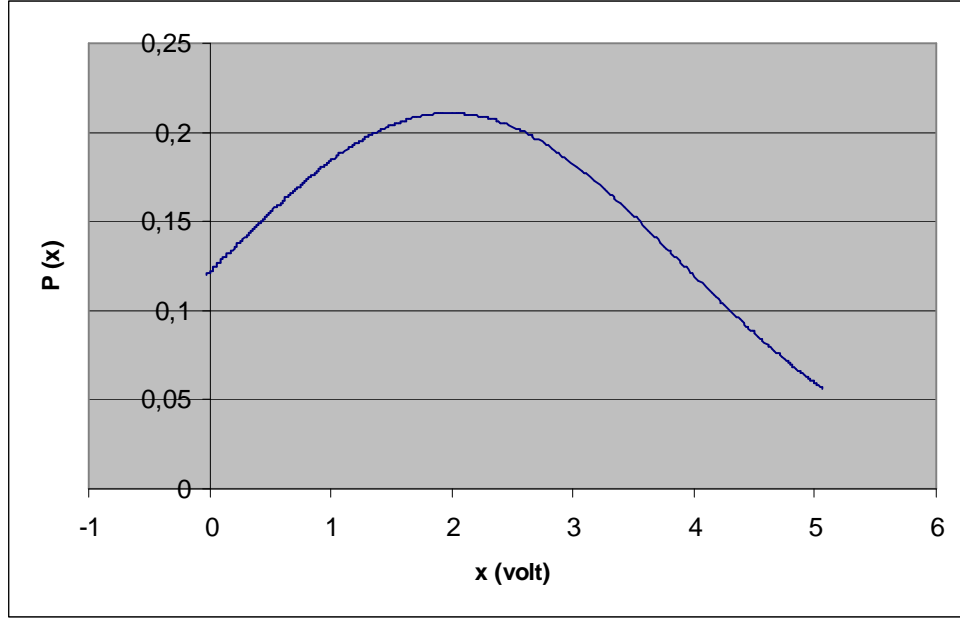
$$P(x) = \frac{1}{s\sqrt{2p}} e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2s^2}} \quad (\text{VI.8})$$

şeklindeki tanım kullanılır[46].

Bu ifade de yukarıda hesaplanmış bulunan büyüklükler yerine konulduğunda aşağıdaki P(x) fonksiyonu ve bu fonksiyonun grafiği (Şekil VIII-22) elde edilmektedir.

$$P(x) = \frac{1}{1,894338875\sqrt{2p}} e^{-\frac{(x-1,985395686)^2}{23,588519773^2}}$$

Grafikte görüldüğü gibi elde edilen değerler  $x_m=1,985395686$  değerinin sol tarafında yığılma göstermektedir. Standart sapma değeri  $\sigma = 1,894338875$  gibi oldukça küçük bir değer çıktığı için yığılmanın ortalama değerden uzak bir bölgede oluşması doğaldır. Eğer  $\sigma$  değeri daha büyük olsaydı eğri daha basık olacak ve yığılma ortalama değer çevresinde oluşacaktı. Ölçümü yapılan büyüklük doğal ışık şiddetinin zamana bağlı olarak değişimidir. Atmosferik şartlar sebebi ile ışık şiddetinde oluşan ani değişimler değerlerin 0-5 volt arasında değişim göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle elde edilen gaussian dağılımı Şekil VIII-22’teki görüldüğü gibi olmaktadır.



**Şekil VIII-22 05.06.05 Tarihinde Yapılan Ölçümlerin Gausien Dağılımı**

## **BÖLÜM IX**

### **IX. FOTOVOLTAİK ENERJİLİ AYDINLATMA SİSTEMİNİN ENERJİ MALİYET HESABI**

Fotovoltaik enerjili sistemlerde yapılan maliyet hesaplamaları, üretilen elektrik enerjisinin birim miktarının (1 kWh) maliyetinin bulunmasıdır. Fotovoltaik enerjili sistemlerde üretilen elektrik enerjisi, şebekeden alınan enerjiye göre oldukça pahalıya mal olmaktadır. Bu sebeple fotovoltaik enerjili sistemlerin ekonomik kullanım alanları, üretilen elektrik enerjisinin şebekeden enerjisi almaya göre daha ucuza mal olduğu özel uygulamalardır.

Fotovoltaik sistemin enerji maliyeti, sistemin toplam maliyetinin, sistem ömrü boyunca üreteceği enerjiye oranlanması ile bulunur. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda sistem ömrü 25 yıl alınmıştır. Çalışmada kurulan sistemin klasik şebekeden beslenen aydınlatma sistemi ile karşılaştırılabilmesi için tüm maliyetler üç ana başlık altında her iki sistem içinde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Maliyetlerin hesaplanmasında para birimi olarak Euro (€) alınmıştır.

#### **IX.1. ALIM MALİYETLERİ**

Sistemlerin alım maliyetleri hesaplanırken, her iki sistem içinde tüm bileşenlerin birim maliyetleri dikkate alınmıştır. Maliyetler, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından desteklenen “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık ile Kontrolü” isimli projede yapılan alımlardaki fiyatlardan alınmıştır. (Tablo IX-1)

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

**Tablo IX-1 Fotovoltaik Enerjili Sistemin Alım Maliyeti**

<b>Fotovoltaik Sistemin Alım Maliyetleri</b>		
<b>Malzemenin Adı</b>	<b>Maliyeti (₺)</b>	<b>Ömrü (yıl)</b>
Fotovoltaik Panel	2306	25
Şarj Regülatörü	123	25
Akümülatör	313	9
İnverter	117	25
Fluoresant Ampul	64	7,5
Elektronik Balast	58	25
Hareket Dedektörü	37	25
Armatür	52	25
Elektronik Devre	195	25
Elektrik Tesisatı	162	25
<b>Toplam Alım Maliyeti</b>	<b>3427</b>	

Sistem deneysel amaçlı olarak yapıldığı için kontrol bilgisayar üzerinden yapılmaktadır. Bilgisayara kontrol verilerinin giriş ve çıkışı için bir Dijital Analog Veri kartı kullanılmıştır. Bunlar sistemin günlük hayatta kullanılması esnasında maliyeti düşürmek için elektronik devre ile değiştirileceklerdir. Bu nedenle fotovoltaik sistem maliyeti hesaplarına dahil edilmemiştir. Bunun yerine kontrolör olarak elektronik devre maliyeti kullanılmıştır.

**Tablo IX-2 Klasik Aydınlatma Sisteminin Alım Maliyeti**

<b>Klasik Sistemin Alım Maliyetleri</b>		
<b>Malzemenin Adı</b>	<b>Maliyeti (₺)</b>	<b>Ömrü (yıl)</b>
Fluoresant Ampul	15	4
Endüktif Balast	25	25
Armatür	61	25
Elektrik Tesisatı	385	25
<b>Toplam Alım Maliyet</b>	<b>486</b>	

Tablo IX-2’de görüldüğü gibi klasik sistemin alım maliyeti fotovoltaik enerjili sistemin alım maliyetine oranla 7,051 kat daha düşük olmaktadır. Fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyeti görüldüğü gibi oldukça yüksektir.

## **IX.2. İŞLETME MALİYETLERİ**

Fotovoltaik enerjili sistemlerin kurulumlarından sonra, işletilmeleri esnasında yok denebilecek kadar düşük bir işletme maliyetine sahiptirler. Bu nedenle burada sadece klasik aydınlatma sisteminin, işletme maliyeti hesaplanacaktır.

Sistem ömrü olarak 25 yıl alındığı için, klasik aydınlatma sisteminin bu süre boyunca şebekeden alacağı enerjinin maliyeti, onun işletme maliyetini oluşturmaktadır.

Klasik aydınlatma sisteminin harcadığı güç 328 watt'tır. Aydınlatılması yapılan laboratuvar da dersler sırasında armatürler haftada 8,5 saat yandıkları için yıllık enerji harcaması 98,0064 kWh olur. Elektriğin kWh'i 0,0977 € olarak alındığında yıllık enerji harcaması 9,5746 €'ya mal olmaktadır.

İşletmelerde bazı ödemeler ve masraflar (enerji ve işletme masrafları 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 masrafının 25 yıl için hesaplanması gerekmektedir[47].

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

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.

$A_1=9,5746$  €,  $i=5\%$ ,  $k=10\%$  ve  $n=25$  yıl olmak üzere

$$P = \frac{9,5746}{0,05-0,1} \left[ 1 - (1+0,1)^{25} (1+0,05)^{-25} \right] = 421,167 \text{ €} \quad (\text{VII.2})$$

olarak hesaplanır.

### IX.3. BAKIM VE DEĞİŞTİRME MALİYETLERİ

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. Fotovoltaik enerjili sistem ve klasik sistem için ayrı ayrı hesaplamalar aşağıdaki görüldüğü gibi yapılmıştır.

Fotovoltaik enerjili sistemde akümülatörlerin 9 yılda bir, yüksek verimli floresant ampüllerin ise 7,5 yılda bir değiştirilmeleri gerekmektedir. Bu değiştirme periyotları için akümülatör ve floresant ampüller için yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir[47].(Tablo IX-3)

$$PW = C_0 * P_r = C_0 * \left( \frac{1+i}{1+d} \right)^n \quad (\text{VII.3})$$

$$PW_{PVA} = 313 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^9 + 313 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{18} = 341,205\text{€} \quad (\text{VII.4})$$

$$PW_{PVF} = 64 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{7,5} + 64 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{15} + 64 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{22,5} = 99,4048\text{€} \quad (\text{VII.5})$$

**Tablo IX-3 Fotovoltaik Enerjili Sistemin Bakım-Değişirme Maliyetleri**

<b>Fotovoltaik Sistemin Bakım-Değişirme Maliyetleri</b>		
<b>Malzemenin Adı</b>	<b>Maliyeti (€)</b>	<b>Değişirme Sayısı</b>
Akümülatör	341,205	2
Fluoresant Ampul	99,4048	3
<b>Toplam Bakım-Değişirme Maliyeti</b>	<b>440,6098</b>	

Klasik aydınlatma sisteminde ise sadece floresant ampullerin, 4 yıllık ömürleri sonunda değiştirilmeleri gerekmektedir.

$$PW_{KF} = 15 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^4 + 15 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^8 + 15 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{12} + 15 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{16} + 15 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{20} + 15 * \left( \frac{1+0,05}{1+0,1} \right)^{24} = 49,2945\text{€} \quad (\text{VII.6})$$

**Tablo IX-4 Klasik Sistemin Bakım-Değişirme Maliyetleri**

<b>Klasik Sistemin Bakım-Değişirme Maliyetleri</b>		
<b>Malzemenin Adı</b>	<b>Maliyeti (€)</b>	<b>Değişirme Sayısı</b>
Fluoresant Ampul	49,2945	6
<b>Toplam Bakım-Değişirme Maliyeti</b>	<b>49,2945</b>	

Tablolarda görüldüğü gibi fotovoltaik sistemin akümülatör gruplarının değiştirilmesi sistemin bakım-değişirme maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca kullanılan yüksek verimli floresant ampullerde, klasik sistemde kullanılan ampullere göre oldukça pahalıdır.

## **IX.4. ENERJİ MALİYETİ**

Sistemler için yapılan yukarıdaki hesaplamalar sonucunda Tablo IX-5'te görülen toplam maliyetler hesaplanmıştır.

**Tablo IX-5 Toplam Maliyetler**

Sistemin Adı	Alım Maliyeti (€)	İşletme Maliyeti (€)	Bakım-Değişirme Maliyeti (€)	Toplam Maliyet (€)
Fotovoltaik Sistem	3427	-	440,6098	3867,6098
Klasik Sistem	486	421,167	49,2945	956,4615

Fotovoltaik sistemin toplam yatırım maliyeti 3867,6098 € iken klasik sistemin maliyeti 956,4615 € olmaktadır. Bu değerler ve sistemlerin 25 yıl boyunca ürettikleri/tükettikleri elektrik enerjisi kullanılarak birim enerji maliyetleri hesaplanır.

Fotovoltaik enerjili aydınlatma sisteminin ürettiği elektrik enerjisi için;

$$g_{pv} = \frac{C_{Tpv}}{E_{pv}} = \frac{3867,6098}{1249,2979} = 3,0958 \quad \text{€/kWh} \quad (\text{VII.7})$$

Klasik Aydınlatma sisteminin tükettiği elektrik enerjisi için;

$$g_{kl} = \frac{C_{Tkl}}{E_{kl}} = \frac{956,4615}{2449,8} = 0,3904 \quad \text{€/kWh} \quad (\text{VII.8})$$

olarak hesaplanır[47].

Fotovoltaik enerjili sistemle, klasik aydınlatma sisteminin enerji maliyeti açısından karşılaştırılmaları için birim enerji maliyetleri Tablo IX-6'da bir arada verilmiştir.

**Tablo IX-6 Fotovoltaik Sistem ve Klasik Aydınlatma Sisteminin Karşılaştırılması**

	25 Yıllık Ortalama		
	Toplam Üretilen	Yüke Harcanan	Artan
<b>Enerji İhtiyacı (kWh)</b>	1027,8		
<b>PV Enerjisi (kWh)</b>	1249,275	1027,8	221,475
<b>Sistemin Toplam Maliyeti (€)</b>	3867,6098		
<b>Birim Maliyet (PV)(€/kWh)</b>	3,0959	3,7630	-
<b>Birim Maliyet (Şebeke)(€/kWh)</b>	0,3904		
<b><u>Birim Maliyet (PV)</u> Birim Maliyet (Sebeke)</b>	7,9300	9,6388	-

Fotovoltaik enerjili aydınlatma sisteminin ürettiği elektrik enerjisinin maliyeti ile klasik aydınlatma sisteminde harcanılan elektrik enerjisinin maliyeti arasında 7,93



kat fark olduğu gör÷lmektedir. Bunun en önemli nedeni fotovoltaik aydınlatma sisteminin alım maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Fotovoltaik panellerin üretim maliyetlerinin yüksek, verimlerinin de %10-15 arasında olması enerji maliyetini arttıran en önemli etkenlerdir. Ayrıca fotovoltaik panellerin bir güneş izleme sistemi ile kullanılmaları durumunda verim %30 civarında arttırılabileceği için, daha düşük güçlü seçilmeleri ile panel, akümülatör ve şarj regülatörlerinde maliyetleri düşürülebilecektir. İki sistem enerji tüketimleri açısından karşılaştırıldıklarında, fotovoltaik enerjili aydınlatma sistemi 0,542 kWh enerji harcarken, klasik sistem 1,968 kWh enerji harcamaktadır. Bu açıdan fotovoltaik enerjili sistem 3,63 kat enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu nedenle fotovoltaik enerjili sistem şu an için şehir içi şartlarda klasik sistem ile rekabet edecek durumda değildir. Ancak şehir dışında enerji taşıma maliyetinin yüksek olduğu yerlerde iyi bir alternatif olmaktadır. Bu yüzden uzun vadede ekonomik olabilecektir.

## BÖLÜM X

### X. SONUÇ VE YORUMLAR

Şebeke bağlantılı fotovoltaik aydınlatma sisteminin bulanık mantık ile kontrolü isimli çalışmada İstanbul, Göztepe’de bulunan Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, güç elektroniği laboratuvarının aydınlatma çalışması yapılmıştır. Aydınlatma tesisatında düşük güç tüketimli ve elektronik balastlı floresant ampuller kullanılmıştır. Sistemin çalışması için gerekli elektrik enerjisi fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden üretilmiştir. Kontrol sistemi harekete ve doğal aydınlatmaya bağlı olarak bulanık mantık kontrolörü kullanılarak yapılmıştır.

Sistemin kurulmasından itibaren yapılan mart, nisan, mayıs ve haziran aylarını içeren yaklaşık dört aylık test döneminde gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde, bulanık mantık kontrolörü ile çalışan aydınlatma sisteminin gün boyu, çalışma düzleminde sınır değer olarak kabul edilen 300 lux’luk ışık şiddetini, sağlayıp sağlayamadığı kontrol edilmiştir.

Bu dönem sürecinde mevsime bağlı olarak güneşin izlediği yörünge ve güneş ışınlarının açısına bağlı olarak farklı güneşlenme süreleri ve doğal aydınlanma süreleri görülmüştür. Güneşlenme süreleri fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik enerjisini, doğal aydınlanma süreleri ise yapay aydınlatmanın (armatürlerin) devrede kalma sürelerini etkilemiştir.

Sistemin doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrolü için iki farklı devre kullanılmıştır. Birinci devrede ışık şiddetini ölçmek amacı ile ışığa bağımlı direnç (LDR), ikinci devrede ise fotodiyod kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda fotodiyod kullanılan lüksmetre devresinin daha kararlı çalıştığı görülmüştür.

Aydınlatılması yapılan güç elektroniği laboratuvarının, haftalık ders programına (5-10 Haziran 2005 tarihleri arasında laboratuvarda ders yapılan saatler

dikkate alınmıştır) bağı olarak yapılan hesaplamalar ve ölçümler sonucunda eski aydınlatma sisteminin 1,968 kwh, yeni sistemin ise 0,542 kwh enerji harcadığı belirlenmiştir.

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjinin kimyasal enerjiye çevrilerek depolandığı akümülatör grubunun kapasitesi 200 Ah'tir. Ölçümler sırasında bu kapasite değerinin tamamı kullanılmadığı için, şebeke desteğine hiç ihtiyaç duyulmamıştır. Aydınlatma sisteminde bir haftalık test sürecinde 22,824 Ah'lik kapasite kullanılmıştır. Yani aydınlatma sisteminde kullanılan enerjinin tamamı fotovoltaik paneller tarafından üretilmiştir.

Sonuç olarak; şebeke bağlantılı fotovoltaik aydınlatma sisteminin bulanık mantık ile kontrolü çalışmasında İstanbul Göztepe'de bulunan bir laboratuvar için ders saatlerinde ihtiyaç duyulan aydınlatmanın, gerekli aydınlatma düzeyini sağlayacak şekilde bulanık mantık kontrolörü kullanılarak yapılabildiği ortaya konulmuştur.

Kontrolörün çalışması esnasında, laboratuvar içerisine yerleştirilen hareket sensörleri aracılığı ile içeride insan olduğu sürece armatürlerin yanması sağlanmıştır. Böylece laboratuvarın kullanılmadığı saatlerde, armatürlerin yanık bırakılarak enerji sarf etmeleri engellenmiştir.

Aydınlatma sisteminin, çalışma düzleminde 300 lux aydınlık şiddetini sağlayacak şekilde dış aydınlık seviyesine bağı olarak çalışması sağlanmıştır. Armatürlerin üç kademe halinde devreye alınmaları ile gereğinden fazla ışık akısı elde edilmesinin önüne geçilmiştir. Çalışma düzlemindeki aydınlık şiddeti belirlenen 300 lux değerinin üzerine çıkması durumunda, armatürler yine kademeli olarak devreden çıkartıldıkları için, doğal aydınlatmadan da en üst seviyede yararlanılması sağlanmıştır.

Fotovoltaik panel kullanılan sistemlerin verimlerinin arttırılmasında en sık kullanılan yöntem, panellerin güneşi takip etmelerinin sağlanmasıdır. Panellerden en yüksek verim, güneş ışınlarının panel yüzeyine dik olarak geldiği zaman elde edilmektedir. Söz konusu aydınlatma sisteminde, fotovoltaik panellerin güneşi takip etmelerinin sağlanması halinde genel sistem veriminde artacağı görülmüştür. Böylece elde edilen enerjinin maliyeti de düşecektir.

Bulanık mantık kontrolörü deneysel amaçlı olarak yapıldığı için dijital analog veri giriş çıkış kartı ve bilgisayar yardımı ile kullanılmıştır. Kontrolörün tasarlanacak

bir elektronik devre ile yapılması halinde sistemin genel maliyeti içerisinde önemli bir yer tutan bu bileşenlerden de tasarruf edilmiş olunacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] ALTIN, V., “Enerji Sorunu ve Türkiye”, <http://www.nuce.boun.edu.tr/va3.html>, (Erişim Tarihi: Aralık 2005)
- [2] KANATLIGİL, C., “Güneş Enerjisi için Genel Değerlendirmeler”, Güneş Enerjisi Konferansı Tebliğleri, Ankara, 16-18 Mayıs (1994)
- [3] MARKVART, T., “Solar Electricity 2nd Edition” John Wiley & Sons Inc., April (2000)
- [4] OKTİK, Ş., “Güneş-Elektrik Dönüşümleri”, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara, Kasım (2001)
- [5] DEVYARAN, İ., “Rüzgar Jeneratörleri ve Güneş Pilleri ile Kurulan Hibrid Sistemlerin Optimal Seçiminin Bilgisayar Destekli Gerçekleştirilmesi”, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Ocak (2005)
- [6] BALCI, S., “Güneş Işınımının Ölçülmesi”, 2.Uluslararası Güneş Enerjisi Kongresi, İstanbul, Ekim (1983)
- [7] SAĞLAM, Ş., “Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi”, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Haziran(2000)
- [8] GÜNEY, İ., TERZİ, Ü.K, "Ülkemiz Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi", Türkiye 7. Enerji Kongresi ODTÜ, 3-7 Kasım (1997)
- [9] WARFIELD, G., “Solar Electric Systems” Gibbs and Hill Inc., Newyork, January(1992)
- [10] ROBERTS, S., “Solar Electricity A Practical Guide to Design and Installing Small Photovoltaic Systems” Prentice Hall, Cambridge (1991)
- [11] PARTAIN, L.D., “ Solar Cells and Their Applications” John Wiley & Sons Inc. (1995)

- [12] DUNN, P.D., “Renewable Energies: Sources, Conversion and Application” Peter Peregrinus Ltd. Press, London (1996)
- [13] IGA, A., KANEKO, T., ISHIHARA, Y., “Evaluation Method of Generated Energy of Photovoltaic Power System”, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, 11-18 May (2003)
- [14] ÖZKAYA, M., “Aydınlatma Tekniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul (1994)
- [15] ÇOLAK, N., “Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Kullanılacak Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi” İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şubat(1999)
- [16] TÜMER, P., “Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Kullanılacak Verilerin Yapay Bulanık Mantık ile Belirlenmesi” İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran(2001)
- [17] GÜRSOY, E.H., “Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs(2003)
- [18] KOCABEY, S. “Dahili Ortamlarda Aydınlik Düzeyinin Kontrolü” M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Ocak (2000)
- [19] ONAYGİL, S., GÜLER, Ö., “Determination of the Energy Saving by Daylight Responsive Lighting Control Systems with an Example from Istanbul”, Building and Environment, Vol 38, (2003)
- [20] GOVEN, T. “Energy Efficient Lighting of Indoor Workplaces” International Lighting Congress, İstanbul, 12-14 September (2001)
- [21] RUBINSTEIN, F., SIMINOVITCH, M., VERDERBER, R., “50% Energy Savings with Automatic Controls”, IEEE (1990)
- [22] VILJANEN, T., HALONEN, L., LEHTOVAARA, J., “Advanced Lighting Control Technologies for User Satisfaction and Energy Efficiency” Right Light, Volume 1, (1997)
- [23] KNIGHT, I.P., “Measured Energy Savings Due to Photocell Control of Individual Luminaires”, Lighting Research Technology, Great Britain, (1999)
- [24] ÇOBANOĞLU, B., “Bulanık Mantık”, <http://www.cobanoglu.fws1.com/bulanik.htm>, (Erişim Tarihi Ocak 2006)
- [25] ERDAL, H., “Bir İklimlendirme Odasının Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü” M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul (1998)

- [26] GÜRSOY, H., “Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs(2003)
- [27] Photovoltaic-Module “Schüco S 125 SP Technical Data Sheet”, <http://www.schuco-usa.com>, (Erişim Tarihi Ocak 2006)
- [28] FARMAN, D., BERMAN, D., BUKOBZA, D., KABOLA, S., “A 1-Year, Side-by-Side Comparison of: 1-Axis Tracking; and V-Trough Mirror-Assisted Grid Connected PV Modules in a Desert Environment” 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, May (2003)
- [29] AEE Solar, “Alternative Energy 2000-2001 Design Guide&Catalog”, California, USA, 2000
- [30] Elektrik Mühendisleri Odası, “AG ve OG Şebekelerde Gerilim Düşümü Hesapları”, Ankara, (2003)
- [31] LINDEN, D., REDDY, T., “Handbook of Batteries (Third Edition)”, McGraw-Hill, August (2001)
- [32] “Xantrex Prowatt 250 Technical Data Sheet”, <http://www.xantrex.com>, (Erişim Tarihi Ocak 2006)
- [33] Advantech, “PCL-818 Series User’s Manual”, Taiwan, September (2003)
- [34] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Elektrik İç Tesisleri Proje Hazırlama Yönetmeliği”, Ankara, Aralık (2003)
- [35] KÜÇÜKDOĞU, M.Ş., “Aydınlatmada Etkin Enerji Kullanımı”, II. Aydınlatma Sempozyumu, Diyarbakır, Ekim (2003)
- [36] BERG, W.M., WIEHAGEN, J., “PV Assisted DC and AC Fluorescent Lighting Systems Compared” IEEE (1991)
- [37] ONAYGİL, S., “Aydınlatmada Verimlilik ve Enerji Tasarrufu”, İzmir Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Kasım (2001)
- [38] “AP5031 - Akü Seviye Göstergesi”, <http://www.eproje.com>, (Erişim Tarihi Ocak 2006)
- [39] ROSS J.N., MARKVART, T., HE, W., “Modelling Battery Charge Regulation for a Stand Alone Photovoltaic System”, Elsevier Science Ltd., Solar Energy, Vol 69 (2000)
- [40] “Application Circuit Examples of Si Photodiode”, <http://sales.hamamatsu.com>, (Erişim Tarihi Ocak 2006)

- [41] SIMOES, M.G., FRANCESSETTI, N.N., “A Risc-Microcontroller Based Photovoltaic System for Illumination Applications”, Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, New Orleans, February (2000)
- [42] WU, T., “A Fuzzy Logic Controlled Single Stage Converter for PV Powered Lighting System Applications” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 47, April (2000)
- [43] Lutron, “LX-103 Digital Light Meter Manual”, Korea (2001)
- [44] Lutron, “LX-1102 Digital Display with Bar Graph Light Meter Manual”, Korea(2002)
- [45] Elextrex “Three-Phase Electrical Energy Analyser & Controller User Manual”, Italy(1997)
- [46] GENCELİ, O. “Ölçme Tekniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2000)
- [47] AYBERS, N., ŞAHİN, B.“Enerji Maliyeti”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, (1995)



## ÖZGEÇMİŞ

Şafak SAĞLAM 11.09.1976 yılında Samsun'da doğdu. İlk öğrenimini Samsun'da, orta ve lise öğrenimini ise Eskişehir'de tamamladı. 1993 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nü kazandı. 1997 yılında aynı yerden mezun oldu. 1997-98 öğretim yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nce açılan yüksek lisans sınavı sonucu Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı'nda lisans üstü eğitime hak kazandı. Yüksek lisans eğitimini 2000 yılı Temmuz ayında tamamlayarak aynı yıl yukarıda belirtilen bölümde doktora eğitimine başladı. 04.11.1997 tarihinde M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne araştırma görevlisi olarak atandı. 30.09.2002 tarihinde Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN ve Yrd.Doç.Dr. Hasan ERDAL'ın danışmanlıkların doktora tez çalışmasına başlayan SAĞLAM, halen araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

**İstanbul, 22.06.2006**