

**ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN GÜNEŞ PİLLERİNİN  
KULLANIMINDA VERİMİ ARTTIRICI YENİ BİR  
YÖNTEM**

**T.C. YÖKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. M. Alp BATMAN  
(504922016)**

**104 245**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Şubat 2001  
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Mayıs 2001**

**Tez Danışmanı :** Prof. Dr. Nesrin TARKAN  
**Diğer Jüri Üyeleri** Prof. Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU  
Doç. Dr. Metin GÖKAŞAN  
Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR (Y.T.Ü.)  
Doç. Dr. Bekir ÇAKIR (KO.Ü.)

**MAYIS 2001**

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmam sırasında yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Nesrin TARKAN'a ve ölçü düzeneğini fakülte binasına kurmama izin veren İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Dekanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

**Şubat, 2001**

**M. Alp BATMAN**



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                             | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ .....                                                                                                 | ii              |
| KISALTMALAR .....                                                                                           | vi              |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                                         | vii             |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                                         | viii            |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                                                                        | xi              |
| ÖZET .....                                                                                                  | xii             |
| SUMMARY .....                                                                                               | xiv             |
| <br>                                                                                                        |                 |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                              | 1               |
| <br>                                                                                                        |                 |
| 2. ALTERNATİF ELEKTRİK ENERJİ KAYNAĞI OLARAK<br>GÜNEŞ VE GÜNEŞ PİLLERİ .....                                | 6               |
| 2.1. Güneş ve Yapısı .....                                                                                  | 6               |
| 2.2. Güneşten Dünyaya Gelen Enerji .....                                                                    | 7               |
| 2.3. Güneşten Gelen Enerjinin Değişimi .....                                                                | 8               |
| 2.4. Güneş Işınımının Atmosferde Yutulması .....                                                            | 9               |
| 2.5. Bağlı Hava Kütlesi .....                                                                               | 10              |
| 2.6. Güneşin Konumunun Belirlenmesi .....                                                                   | 12              |
| 2.7. Güneşten Gelen Enerjinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi .....                                      | 15              |
| 2.8. Fotovoltaik Güneş Pilleri .....                                                                        | 16              |
| 2.8.1. Fotovoltaik güneş pillerinin elektriksel özellikleri .....                                           | 18              |
| 2.8.2. Gün ışığının panele yönlendirilmesi .....                                                            | 20              |
| 2.8.3. Güneş modüllerinin yerleştirilmesi .....                                                             | 21              |
| <br>                                                                                                        |                 |
| 3. YAPAY SİNİR AĞI MODELLERİ VE BUNLARIN GÜNEŞTEN<br>GELEN ENERJİ İLE İLGİLİ TAHMİNLERDE KULLANILMASI ..... | 26              |
| 3.1. Yapay Sinir Ağları ve Biyolojik Beyinler .....                                                         | 26              |
| 3.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri .....                                                                | 27              |
| 3.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....                                                                     | 28              |
| 3.4. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Algoritmalarının Ortaya Çıkışı .....                                        | 31              |
| 3.5. Yapay Sinir Ağı Algoritması Teori ve Modelleri .....                                                   | 31              |
| 3.6. Çok Tabakalı Yapay Sinir Ağı Algoritmaları .....                                                       | 33              |
| 3.6.1. Hopfield algoritması .....                                                                           | 33              |
| 3.6.2. Kohonen modeli .....                                                                                 | 34              |

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.3. Adaptif rezonans teorisi (ART modeli) .....                                                        | 34        |
| 3.6.4 Geriye yayılım (Back Propagation) algoritması .....                                                 | 34        |
| <b>3.7. Yapay Sinir Ağları Algoritmasının Güneşten Gelen Enerji İle İlgili Tahminlere Uygunluğu .....</b> | <b>36</b> |
| <b>4. GÜNEŞ PİLLERİNDEN YÜKSEK VERİMLE YARARLANMAK İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜ SİSTEMİ .....</b>           | <b>38</b> |
| 4.1. Genel Yapı .....                                                                                     | 38        |
| 4.2. Veri Toplayıcı Kısım .....                                                                           | 40        |
| 4.3. Güneş Pillerini Temsil Eden Kısım .....                                                              | 42        |
| 4.4. Kodlayıcı ve Kod Çözücü Kısım .....                                                                  | 43        |
| 4.5. Ölçü Sisteminde Kullanılan Bilgisayarlar ve Yazılımları .....                                        | 44        |
| 4.6. Ölçü Sisteminin Kurulduğu Yer .....                                                                  | 44        |
| <b>5. GÜNEŞ PİLLERİNİ YÖNLENDİRME İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA .....</b>                                   | <b>46</b> |
| 5.1. Görev Paylaşımı .....                                                                                | 46        |
| 5.2. Gökyüzünden Gelen Enerji Miktarına Göre Sınıflandırma .....                                          | 46        |
| 5.3. Sensör Tarafından Ölçülen Değerler .....                                                             | 52        |
| 5.4. Bulutlu Havalarda Gökyüzünün Parıltısının Tahmini .....                                              | 54        |
| 5.4.1. Gerçek zamanda çalışan yapay sinir ağı algoritması için giriş ve çıkış verileri .....              | 54        |
| 5.4.2. Parametrelerin belirlenmesi .....                                                                  | 56        |
| 5.4.3. Bulutlu havalarda gökyüzünün parıltısının tahmininde farklı yöntemlerin karşılaştırılması .....    | 57        |
| 5.5. Ölçüm Değerleriyle Panellerinin Hareketine Bağlı Üretim Enerjisinin Tahmini .....                    | 58        |
| 5.5.1. Panellerden alınacak enerjinin, klasik yöntemlerle tahmin zorluğu .....                            | 58        |
| 5.5.2. Güç tahmininde kullanılan yapay sinir ağı algoritmasındaki parametrelerin seçimi .....             | 59        |
| 5.5.3. Öğrenme süreci için veri toplanması .....                                                          | 62        |
| 5.6. Kapalı Havalarda Maksimum Enerji Üretecek Şekilde Güneş Panellerinin Yönlendirilmesi .....           | 62        |
| <b>6. ELDE EDİLEN DEĞERLERİN YORUMU VE KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>                                        | <b>64</b> |
| <b>7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>                                                                      | <b>68</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                    | <b>70</b> |



|                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>EK A. SEÇİLEN ŞEHİRLER İÇİN ORTALAMA GÜNLÜK İŞİNİM<br/>MİKTARI .....</b>                                        | <b>75</b>  |
| <b>EK B. İKİ TABAKALI GERİYE YAYILIM (BACK PROPAGATION)<br/>ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI VE AKIŞ DİYAGRAMI ...</b> | <b>85</b>  |
| <b>EK C. ÖLÇÜ SİSTEMİNİN KURULDUĞU YERDEKİ AYRINTILI<br/>RESİMLERİ VE DATA BAĞLANTI ŞEMASI .....</b>               | <b>95</b>  |
| <b>EK D. SOLAREX POLİKRİSTAL SİLİKON GÜNEŞ PANELİ<br/>MSX-01F 'NİN PARAMETRELERİ .....</b>                         | <b>100</b> |
| <b>EK E. SİEMENS MONOKRİSTAL GÜNEŞ PANELİ SM110 'UN<br/>PARAMETRELERİ .....</b>                                    | <b>102</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                              | <b>104</b> |



## KISALTMALAR

|             |                                          |
|-------------|------------------------------------------|
| <b>ART</b>  | : Adaptif Rezonans Teorisi               |
| <b>ASTM</b> | : American Society of Testing Materials  |
| <b>BWR</b>  | : Kaynar Sulu Reaktör                    |
| <b>GYA</b>  | : Geriye Yayılım Algoritması             |
| <b>PC</b>   | : Kişisel Bilgisayar (Personal Computer) |
| <b>PV</b>   | : Fotovoltaik                            |
| <b>VLSI</b> | : Very Large Scale Integrated            |
| <b>YSA</b>  | : Yapay Sinir Ağları Algoritması         |
| <b>YS</b>   | : Yapay Sinir Ağları                     |



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 1.1</b> : PV modüllerinin üretiminde karbondioksitin çevreye salınımı (kiloton/gigawatt-yıl) .....                                        | 3   |
| <b>Tablo 2.1</b> : Çeşitli gök durumları için toplam ışıınım miktarı ve yaygın ışıınım oranları .....                                              | 8   |
| <b>Tablo 2.2</b> : Fotovoltaik uygulamalarında kullanılan temel yarıiletkenlerin enerji boşlukları (değerler oda sıcaklığı için verilmiştir) ..... | 18  |
| <b>Tablo 3.1</b> : Yapay sinir ağlarının uygulama alanları ve kronolojik sırası .....                                                              | 32  |
| <b>Tablo 5.1</b> : 20 ocak 2000 saat 12:40 deki veriler .....                                                                                      | 52  |
| <b>Tablo A.1</b> : Fairbanks, Alaska. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                        | 75  |
| <b>Tablo A.2</b> : Sacramento, California. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                   | 75  |
| <b>Tablo A.3</b> : Denver, Colorado. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                         | 76  |
| <b>Tablo A.4</b> : Miami, Florida. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                           | 76  |
| <b>Tablo A.5</b> : Atlanta, Georgia. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                         | 77  |
| <b>Tablo A.6</b> : Boston, Massachusetts. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                    | 77  |
| <b>Tablo A.7</b> : Albuquerque, New Mexico. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                  | 78  |
| <b>Tablo A.8</b> : Bismarck, North Dakota. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                   | 78  |
| <b>Tablo A.9</b> : Austin, Texas. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                            | 79  |
| <b>Tablo A.10</b> : Seattle, Washington. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                     | 79  |
| <b>Tablo A.11</b> : Paris-St. Maur, France. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                  | 80  |
| <b>Tablo A.12</b> : New Delhi, India. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                        | 80  |
| <b>Tablo A.13</b> : Tokyo, Japan. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                            | 81  |
| <b>Tablo A.14</b> : Nairobi, Kenya. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                          | 81  |
| <b>Tablo A.15</b> : Mexico D. F., Mexico. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                    | 82  |
| <b>Tablo A.16</b> : Stockholm, Sweden. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                       | 82  |
| <b>Tablo A.17</b> : Luanda, Angola. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                          | 83  |
| <b>Tablo A.18</b> : Buenos Aires, Argentina. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                 | 83  |
| <b>Tablo A.19</b> : Melbourne, Australia. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> ...                                                      | 84  |
| <b>Tablo A.20</b> : Shanghai, China. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m <sup>2</sup> .....                                                         | 84  |
| <b>Tablo D.1</b> : Panelin elektriksel, ısıl ve fiziksel parametreleri .....                                                                       | 100 |
| <b>Tablo E.1</b> : Panelin elektriksel, ısıl, test ve fiziksel parametreleri .....                                                                 | 102 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                      | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 : Dünyanın global sıcaklığındaki değişim .....                                                             | 2               |
| Şekil 2.1 : Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi .....                                                     | 8               |
| Şekil 2.2 : Atmosfer dışına ve yer yüzüne gelen güneş ışıının spektral dağılımı .....                                | 10              |
| Şekil 2.3 : Güneş ışıının atmosfer içinde izlediği yol .....                                                         | 11              |
| Şekil 2.4 : Farklı bağıl hava kütleleri için yer yüzüne ulaşan güneş ışıının spektral dağılımı .....                 | 11              |
| Şekil 2.5 : Kuzey yarıküre için, güneşin mevsimsel ve günlük hareketleri ...                                         | 12              |
| Şekil 2.6 : Güneşin yükseklik ve azimut açılarının gök küre üzerinde gösterimi .....                                 | 12              |
| Şekil 2.7 : Zaman denkleminin değişimi .....                                                                         | 14              |
| Şekil 2.8 : Güneşin deklinasyon açısının değişimi .....                                                              | 15              |
| Şekil 2.9 : Güneşin deklinasyon açısının yıl içindeki değişimi .....                                                 | 15              |
| Şekil 2.10 : Güneşin ısı enerjisini kullanan bir elektrik santralinin şematik gösterimi .....                        | 16              |
| Şekil 2.11 : Silikon Güneş hücresi .....                                                                             | 17              |
| Şekil 2.12 : Fotovoltaik gruplar .....                                                                               | 17              |
| Şekil 2.13 : Bir güneş hücresinin eşdeğer devresi .....                                                              | 18              |
| Şekil 2.14 : Bir güneş hücresinde seri direncin Akım-Gerilim diyagramı üzerindeki etkisi .....                       | 19              |
| Şekil 2.15 : Güneş hücresinin akım-gerilim karakteristiği .....                                                      | 19              |
| Şekil 2.16 : Farklı ışıık ve sıcaklık değerleri için bir güneş panelinin I-V karakteristiği .....                    | 20              |
| Şekil 2.17 : Normal ve yoğun güneş pillerinde ışıığın gelişi .....                                                   | 20              |
| Şekil 2.18 : Güneş modülünün sabit bir açıda yerleştirilmesi (kuzey yarı küredeki ülkeler için) .....                | 21              |
| Şekil 2.19 : Güneşi tek eksenle izleyen güneş modülünün yerleşim şeması ..                                           | 21              |
| Şekil 2.20 : Güneşi iki eksenle izleyen güneş modülünün yerleşim şeması ...                                          | 22              |
| Şekil 2.21 : Eğim açısı enleme eşit eğik bir düzleme kış aylarında gelen günlük toplam ışıınım enerjisi .....        | 23              |
| Şekil 2.22 : Eğim açısı enleme eşit eğik bir düzleme yaz aylarında gelen günlük toplam ışıınım enerjisi .....        | 24              |
| Şekil 2.23 : Farklı mevsimler için, hareketli ve sabit güneş panellerinde toplanan birikmeli enerji miktarları ..... | 25              |
| Şekil 2.24 : Panel eğim açısına bağılı olarak aylık panel verimi .....                                               | 25              |
| Şekil 3.1 : Bir nöronun yapısı .....                                                                                 | 28              |
| Şekil 3.2 : Doğrusal olmayan bazı aktivasyon fonksiyonları .....                                                     | 29              |

|                    |                                                                                                                                               |    |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.3</b>   | : Yapay sinir ağlarının genel sınıflandırması .....                                                                                           | 32 |
| <b>Şekil 3.4</b>   | : Üç giriş ve bir çıkış ve bir saklı tabakaya sahip çok<br>: tabakalı bir yapay sinir ağının mimari yapısı .....                              | 33 |
| <b>Şekil 3.5</b>   | : Dört nöronlu bir Hopfield devresinin mimari yapısı .....                                                                                    | 33 |
| <b>Şekil 3.6</b>   | : Bir nöronun açık gösterimi .....                                                                                                            | 35 |
| <b>Şekil 3.7</b>   | : Üç tabakalı bir ağ .....                                                                                                                    | 35 |
| <b>Şekil 4.1</b>   | : Ölçü sisteminin şematik gösterimi .....                                                                                                     | 39 |
| <b>Şekil 4.2</b>   | : Veri toplayıcı kısmın şematik gösterimi .....                                                                                               | 40 |
| <b>Şekil 4.3</b>   | : Fotodiyotun gördüğü uzay açının belirlenmesi .....                                                                                          | 41 |
| <b>Şekil 4.4</b>   | : Veri toplayıcı kısmın fotoğrafı .....                                                                                                       | 41 |
| <b>Şekil 4.5</b>   | : Güneş panellerini temsil eden kısmın şematik gösterimi .....                                                                                | 42 |
| <b>Şekil 4.6</b>   | : Güneş panellerini temsil eden kısmın fotoğrafı .....                                                                                        | 43 |
| <b>Şekil 4.7</b>   | : Düzenegin kurulduğu noktadan 360 derecelik bir<br>görüş açısı ile bakıldığı zaman görünen engeller .....                                    | 45 |
| <b>Şekil 5.1</b>   | : Güneş modüllerinin güneşten daha verimli bir şekilde<br>yararlanabilmesi için geliştirilen programın akış diyagramı .....                   | 47 |
| <b>Şekil 5.2</b>   | : Programın gece durumundaki döngüsü .....                                                                                                    | 48 |
| <b>Şekil 5.3</b>   | : Programın çalışmaya yeni başladığı veya her hangi bir<br>sebepten dolayı çalışmasında kesinti meydana geldiği zaman<br>izleyeceği yol ..... | 49 |
| <b>Şekil 5.4</b>   | : Programın ışık seviyesinin düşük olduğu durumundaki<br>döngüsü .....                                                                        | 49 |
| <b>Şekil 5.5</b>   | : Gelen ışık enerjisinin bir periyotluk zaman için kesintiye<br>uğraması veya azalması dördüncü durumda programın<br>izleyeceği yol .....     | 50 |
| <b>Şekil 5.6</b>   | : Programın güneşin olduğu durumdaki döngüsü .....                                                                                            | 50 |
| <b>Şekil 5.7</b>   | : Programın kapalı havalarda izlediği döngü .....                                                                                             | 51 |
| <b>Şekil 5.8</b>   | : Tablo 5.1 deki verilerin kutupsal koordinatlarda gösterimi.....                                                                             | 53 |
| <b>Şekil 5.9</b>   | : Şekil 5.1’de verilen sayısal değerlerin gri tonlar ile gösterimi .....                                                                      | 53 |
| <b>Şekil 5.10</b>  | : Tahmin sürecinde giriş ve çıkış verileri .....                                                                                              | 55 |
| <b>Şekil 5.11</b>  | : Öğrenme sürecinde giriş ve çıkış verileri .....                                                                                             | 55 |
| <b>Şekil 5.12</b>  | : Öğrenme katsayısı ve saklı tabakadaki nöron sayısının yüzde<br>bağıl hata üzerindeki etkisi .....                                           | 57 |
| <b>Şekil 5.13</b>  | : Birinci , ikinci mertebeden fonksiyonlar ve YSA<br>kullanılarak yapılan tahminler sonucu oluşan ortalama bağıl<br>hatalar .....             | 58 |
| <b>Şekil 5.14a</b> | : İterasyon sayısı ile toplam hatanın değişimi .....                                                                                          | 60 |
| <b>Şekil 5.14b</b> | : İterasyon sayısı ile toplam hatanın değişimi .....                                                                                          | 60 |
| <b>Şekil 5.15</b>  | : Saklı tabakadaki nöron sayısı ile bağıl hatanın değişimi .....                                                                              | 61 |
| <b>Şekil 5.16</b>  | : Farklı öğrenme katsayıları için bağıl hatanın değerleri .....                                                                               | 61 |
| <b>Şekil 5.17</b>  | : İterasyon sayısının bağıl ve toplam hata üzerindeki etkisi .....                                                                            | 61 |
| <b>Şekil 6.1</b>   | : Bir gün içindeki ortalama güneşli saat sayısının aylara göre<br>değişimi .....                                                              | 64 |
| <b>Şekil 6.2</b>   | : Panelin 54 derecelik sabit bir açı altında ürettiği güçler .....                                                                            | 65 |
| <b>Şekil 6.3</b>   | : Panelin sürekli olarak güneşi izleme durumunda ürettiği<br>güçler .....                                                                     | 65 |
| <b>Şekil 6.5</b>   | : Geliştirilen algoritma tarafından yönlendirilen güneş<br>panelinin ürettiği güçler .....                                                    | 66 |

|                  |                                                                                                                                                        |     |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.6</b> | : Geliştirilen algoritmayla yönlendirilen panel ile güneşi iki ekseninde takip eden panelin ürettiği güçlerin oranının yüzde cinsinden değerleri ..... | 66  |
| <b>Şekil 6.7</b> | : Altı ay boyunca alınan enerjiler açısından üç sistemin karşılaştırılması .....                                                                       | 67  |
| <b>Şekil B.1</b> | : Üç tabakalı bir ağ yapısı .....                                                                                                                      | 85  |
| <b>Şekil B.2</b> | : Geriye Yayılım Ağı Algoritmasının şematik gösterimi .....                                                                                            | 92  |
| <b>Şekil B.3</b> | : Öğrenme aşaması için, Geriye Yayılım Ağı Algoritmasının akış diyagramı .....                                                                         | 94  |
| <b>Şekil C.1</b> | : Sensör ve kontrol kutusunun dıştan görünüşü .....                                                                                                    | 95  |
| <b>Şekil C.2</b> | : Sensör motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun genel iç görüntüsü .....                                                                            | 96  |
| <b>Şekil C.3</b> | : Sensör motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun iç görüntüsü .....                                                                                  | 96  |
| <b>Şekil C.4</b> | : Sensör motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun kapak görüntüsü .....                                                                               | 97  |
| <b>Şekil C.5</b> | : Güneş modülü ve kontrol kutusunun dıştan görünüşü .....                                                                                              | 97  |
| <b>Şekil C.6</b> | : Modül motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun genel iç görüntüsü .....                                                                             | 98  |
| <b>Şekil C.7</b> | : Modül motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun üstten görünüşü .....                                                                                | 99  |
| <b>Şekil C.8</b> | : Bilgisayar ve ölçü düzeneği arasındaki bağlantılar .....                                                                                             | 99  |
| <b>Şekil D.1</b> | : Akım – Gerilim Karakteristiği .....                                                                                                                  | 101 |
| <b>Şekil E.1</b> | : Akım – Gerilim Karakteristiği .....                                                                                                                  | 103 |

## SEMBOL LİSTESİ

|               |                                                                                          |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha_b$    | : Fotodiyotun gördüğü uzay açısı                                                         |
| $\alpha_s$    | : Güneşin azimut açısı                                                                   |
| $d_{b1}$      | : Fotodiyotun görüş alanını belirleyen boru borunun iç çapı                              |
| $d_{b2}$      | : Fotodiyotun ışık gören bölgesinin çapı                                                 |
| $\delta$      | : Deklinasyon açısı                                                                      |
| $E_{co}$      | : Güneş sabiti ( $1353 \text{ W/m}^2$ )                                                  |
| $E_g$         | : Atmosfer dışına gelen güneş ışıınımı ( $\text{W/m}^2$ )                                |
| $E_{pk}$      | : Çıkış düğümleri için enerji fonksiyonu                                                 |
| $f$           | : Doğrusal olmayan bir fonksiyon                                                         |
| $f_g$         | : Güneş sabitini düzeltme faktörü                                                        |
| $f(v)$        | : Aktivasyon fonksiyonu                                                                  |
| $g$           | : 1 ocaktan itibaren gün sayısı                                                          |
| <b>GYS</b>    | : Gerçek yerel saat                                                                      |
| $\gamma_s$    | : Güneşin yükseklik açısı                                                                |
| $L_b$         | : Fotodiyotun görüş alanını belirleyen borunun uzunluğu                                  |
| $\lambda$     | : Boylam                                                                                 |
| $N_e$         | : Panelden alınan net enerjiyi gösteren matris                                           |
| $net_{pk}$    | : Çıkış tabakasına ilişkin ağırlıklı toplamalar                                          |
| $net_{pj}$    | : Ara tabakaya ilişkin ağırlıklı toplamalar                                              |
| $o_i$         | : j nörona giriş değerleri                                                               |
| $o_j$         | : j. nöron çıkışı                                                                        |
| $o_{pj}$      | : Ara tabaka çıkışları                                                                   |
| $o_{pk}$      | : Gerçek çıkışlar                                                                        |
| <b>OYS</b>    | : Ortalama yerel saat                                                                    |
| $p$           | : Örüntü (pattern) sayısı                                                                |
| $r_g$         | : Dünya - Güneş arası uzaklık                                                            |
| $r_o$         | : Yıllık ortalama Dünya - Güneş uzaklığı                                                 |
| $T_t$         | : Panelin hareket etmek için harcayacağı enerji matrisi                                  |
| $t_j$         | : j. nöronun hedef çıkış değeri                                                          |
| $\theta_j$    | : j. nörona ilişkin ek terim (bias)                                                      |
| <b>US</b>     | : Bulunulan ülkede kullanılan saat                                                       |
| <b>USD</b>    | : Bulunulan ülkenin saat dilimi                                                          |
| $U_{t05}$     | : Panelin beş dakika içinde herhangi bir konumda durduğunda aldığı toplam enerji matrisi |
| $W_{t0}$      | : Panelin $t=0$ anında olası tüm yönlerle döndüğünde verebileceği güç matrisi            |
| $W_{t5}$      | : Panelin $t=5$ anında olası tüm yönlerle döndüğünde verebileceği güç matrisi            |
| $\omega_{ij}$ | : j. nörona bağlı ağırlık katsayıları                                                    |
| $\omega_t$    | : Zaman acısı                                                                            |
| $Z_d$         | : Zaman denklemi                                                                         |

## ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN GÜNEŞ PİLLERİNİN KULLANIMINDA VERİMİ ARTIRICI YENİ BİR YÖNTEM

### ÖZET

Günümüzde, artan enerji ihtiyacına paralel olarak çevre sorunlarının da büyümesi, yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönelme gereğini gündeme getirmiştir. Gerek fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervlerinin sınırlı oluşu, gerekse bunların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinde alternatif enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır. Başlıca alternatif enerji kaynakları, hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisidir. Elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynakları arasında, nükleer enerji ve jeotermal enerji hariç, diğer tüm kaynaklar güneş kökenlidir.

Güneşten doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesi, Fotovoltaik güneş pilleri ile yapılmaktadır. Fotovoltaik güneş pillerinin ticari alanda kullanımı, 80'li yıllarda başlamıştır. Yapılan tüm çalışmalara karşın, bu gün için güneş pilleri ile büyük miktarlarda elektrik enerjisi üretmek hala pahalı bir yöntemdir. Bunun başlıca sebebi, güneş pillerinin ucuza üretilmemesi ve veriminin düşük oluşudur. Bu faktörler göz önüne alındığında, güneş pillerinin verimli kullanılması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, güneş pillerinin kullanımında verimi arttırmak için oluşturulan deneysel ve sayısal bir yöntem sunulmuştur. Yöntemin temeli, tüm hava koşulları için güneş pili modüllerini en fazla enerji alabilecekleri yöne çevirmektir. Açık havalarda, modüllerin sadece güneşe çevrilmesi yeterli olmaktadır. Fakat, bulutlu günlerde bu yetersiz kalmaktadır. Bu tip havalarda, gökyüzünden gelen ışık enerjisinin doğrultusu, şiddeti ve güneş modülünün üreteceği enerjiyi tahmin etmek gerekmektedir. Sözü geçen tahmin, statik modellerle, belirli zaman dilimleri için sağlıklı olarak yapılamamaktadır. Bu tezde, gerekli verileri toplamak amacıyla İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi binasına bir ölçü düzeneği kurulmuştur. Tahmin için, bu düzeneğim topladığı verilere göre kendini sürekli olarak güncelleyen yapay sinir ağı algoritması kullanılmıştır.

Güneş modüllerini yönlendirmek amacıyla geliştirilen algoritma, gündüz, üç durum göz önüne alarak çalışmaktadır. Bu durumlar ve algoritmanın bunlar karşısındaki davranışı aşağıda özetle verilmiştir.

- Havanın açık ve güneşli olması.  
Bu durumda, modüller güneşin konumu hesaplanarak güneşe yönlendirilir.
- Havanın çok bulutlu olması ve gelen ışığın belirli bir doğrultusunun olmaması.  
Modüller en çok enerji toplayabilecekleri zenit (başucu) noktasına çevrilirler.



- Havanın bulutlu olması durumu.

Bu durumda modüller, yapay sinir ağı algoritmasının yaptığı tahminler sonucu, en çok enerji toplayabilecekleri yöne çevrilirler

Yapılan bu çalışmada, kurulan ölçü düzeneğinden alınan veriler, algoritma tarafından kullanılarak örnek bir güneş modülü yönlendirilmiştir. Güneş modülünden alınan veriler yorumlanarak, geliştirilen algoritma tarafından yönlendirilen panellerin daha verimli çalıştıkları sonucu elde edilmiştir.



## **A NEW METHOD TO INCREASE THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF SOLAR CELLS FOR GENERATING ELECTRICITY**

### **SUMMARY**

Today, due to the increasing rate of energy consumption and the environmental problems, electric utilities go towards environment-friendly green energy sources. Since the reserves of the fossil sources are limited and these sources have adverse effects on the environment, alternative energy sources become important especially in the last quarter of 20<sup>th</sup> century. The main alternative energy sources are hydraulic energy, geothermal energy, wind energy and solar energy. All, but nuclear and geothermal, energy resources, which generate electricity, are originated from the sun.

Electrical energy is directly obtained from the sun by means of photovoltaic solar cells. The commercial use of photovoltaic solar cell was started in 1980's. In spite of the long-term research carried out in this area, today it's still too expensive to generate large amount of electrical energy by means of solar cells. One of the main reasons for this that the manufacture of solar cells isn't cost-effective and its efficiency is very poor. Therefore, considering these factors, the operational efficiency of solar cells becomes important.

In this study, a new method, which uses both experimental and numerical results, to increase the operational efficiency of solar cells, is presented. This method is based on the orientation of solar cells so that they can get the maximum energy. In a clear day, it's sufficient to turn arrays towards the sun. But in a cloudy day, it's necessary to estimate the direction and the magnitude of light as well as the energy produced by the solar arrays. This estimate can't be done in specific time intervals by static models. In this thesis, an experimental setup is mounted on I.T.U. Electrical and Electronic Faculty building to acquire the necessary data. Artificial Neural Network Algorithm, which updates itself continuously according to the obtained data, is used for the estimation.

The algorithm developed for the orientation of solar cells, works for three cases. These cases and how the algorithm works according to them are described below.

- Clear and sunny days  
In this case after the sun's position is determined, solar modules are turned towards the sun.
- Very cloudy days and coming sun light doesn't have specific direction.  
Modules are turned towards the zenith where they can get maximum energy.

- Cloudy days

In this case, solar arrays are directed towards where they can get maximum energy according to the estimates of Artificial Neural Network Algorithm.

In this study, the algorithm uses data acquired from the experimental setup and it orients a sample solar module. The results obtained show that the developed algorithm increases the operational efficiency of solar modules.



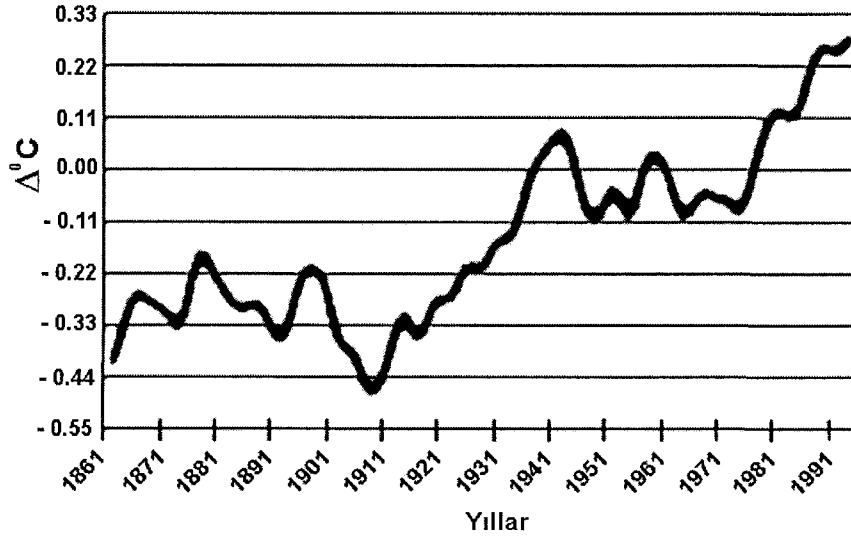
## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, uygarlığın temel taşlarından biridir. Elektrik enerji üretimindeki ufak aksamalar bile, temel endüstri ile ticari gelişmeler ve bağlantılarda karmaşaya yol açmakta, hatta günlük hayatı olumsuz şekilde etkilemektedir. Bugün, dünya ticari elektrik enerji üretiminin %80'i yenilenemeyen kaynaklardan (kömür, doğal gaz, petrol ve uranyum) sağlanmaktadır [1]. Ancak, bu kaynaklardan elde edilen yakıtların çevreye olan zararları her geçen gün artmaktadır. Sonuçta, yeni alternatif enerji kaynakları arayışı hızlanmaktadır.

Gerek fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervlerinin sınırlı oluşu, gerekse bunların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinde alternatif enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır. Ayrıca, nükleer enerjinin de yapılan olumsuz propagandaların da etkisiyle halkın tepkisini kazanması, hükümetlerin yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalara daha fazla fon ayırmasını sağlamıştır. Günümüzde, fosil kökenli enerji kaynaklarına rakip olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıcaları hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar ve güneş enerjisidir. Elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynakları arasında, nükleer enerji ve jeotermal enerji hariç, diğer tüm kaynaklar güneş kökenlidir. Aynı zamanda dünyayı yaşanabilir bir gezegen yapan da güneş enerjisidir [2].

Dünyanın yüzey sıcaklığını güneşten gelen enerji belirler. Dünya yüzeyini ısıtan enerji, güneşten gelen kızılötesi dalga boyundaki enerjidir. Bu enerjinin bir kısmı, atmosfer tarafından geçirilerek yer yüzeyine ulaşır ve oradan yansıyarak uzaya geri döner. Karbondioksit ( $CO_2$ ), Metan ve  $NO_x$  gibi gazlar, atmosferin üst tabakalarına yerleşerek, yerden yansıyan enerjiyi tekrar yüzeye yönlendirir. Böylece yüzey sıcaklığı artmış olur. Bu olay, Sera Etkisi (Green House Effect) olarak adlandırılır [3]. Sera etkisini oluşturan gazların başında  $CO_2$  gelmektedir. Atmosferdeki  $CO_2$  oranı, son 200 yılda %30 artmıştır [4]. Bunun başlıca sebebi, fosil kökenli yakıtların kullanılması ve ekvator bölgesinde bulunan yağmur ormanlarının kapladıkları alanın

hızla azaltılmasıdır. Sera etkisi sonucu, son 140 yıl için dünyanın global sıcaklığındaki değişim Şekil 1.1'de verilmiştir [5].



Şekil 1.1 Dünyanın global sıcaklığındaki değişim.

İklim değişiklikleri ile ilgili 1997 yılında yapılan Kyoto konferansında, eğer bir önlem alınmazsa, global sıcaklığın önümüzdeki her on yıl için 0.5 derece artarak, 2050 yılında günümüzdekinin 1.6, yüz yıl sonra ise 3.5 derece üzerinde olacağı öngörülmüştür.

Atmosfer dışına gelen güneş enerjisi, yıl içinde küçük oynamalar gösterse de sabit ve kesintisizdir. Fakat yer yüzeyine ulaşan enerji, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu belirli periyotlarda kesintiye uğrar. Aynı zamanda atmosfer içindeki bulut hareketleri ve atmosfer içindeki çeşitli partiküller de enerji şiddetinde değişimler yapar [6]. Tüm bu olumsuzluklarına ve güneş panellerinin pahalı olmasına karşın, temiz bir enerji kaynağı olan güneşten doğrudan elektrik enerjisi üreten santrallere ilgi, gün geçtikçe artmaktadır [7-11].

Güneşten doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesi, Fotovoltaik (PV) güneş pilleri ile yapılmaktadır. PV güneş pillerinin kökeni, 1839 yılında Becquerel'in elektrotlar daldırılmış bir elektrolite ışık düştüğünde bir gerilim endüklendiğini göstermesine dayanmaktadır [12]. Benzer bir etkiyi Adams ve Day, 1877'de, katı selenyum üzerine ışık düşürerek gözlemlemişlerdir. 1914'de, selenyum güneş pillerinin güneş ışığı enerjisini doğru gerilim elektrik enerjisine çevirmedeki verimi %1'ler civarına çıkarılmıştır [13]. Modern yarı iletkenlerin güneş pillerinde kullanılmaya başlaması

Chaplin ve arkadaşlarının çalışmaları ile olmuştur. Bu kişilerin kullandığı mono kristal silisyum güneş pillerinin verimi, %6'lar civarındaydı. Aynı yıllarda yapılmaya başlayan uzay çalışmaları çok daha yüksek verimlerle çalışan güneş pillerinin üretilmesini sağladı. Fakat bu piller, üretim aşamasındaki çok yüksek maliyetlerinden dolayı, 1980'lere kadar sadece başka enerji alternatifi olmayan pahalı araçlarda kullanıldılar. Üretim teknolojisinin ve malzeme biliminin gelişmesine paralel olarak, yüksek verimli (%10-20) güneş pillerinin ticari amaçlar için kullanılması 1980'lerin ortalarından itibaren yaygınlaşmıştır [12].

PV güneş pilleri her ne kadar temiz enerji kaynağı olarak gösterilseler de, üretim ve kullanım aşamaları incelendiğinde, çevre yönünden olumsuz yanlarının olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri, güneş panellerinin yerleştirildikleri bölgede, koyu renkleri nedeniyle, yerin ışığı yansıtma katsayısını sıfıra yakın bir değere getirmeleridir. Bu özellik, başlangıçta önemsiz gibi gözüke de, büyük miktarda enerji üretimi için, geniş yüzeye ihtiyaç duyulmasından dolayı dikkate alınmalıdır [14-15]. Güneş panellerinin yapımı sırasında atmosfere oldukça fazla miktarda CO<sub>2</sub> salınmaktadır. Tablo 1.1 PV modüllerinin üretiminde karbondioksitin çevreye salınım miktarlarını göstermektedir [16].

Tablo 1.1 PV modüllerinin üretiminde karbondioksitin çevreye salınımı (kiloton/gigawatt-yıl)

| PV Hücre Malzemesi               | Üretim ölçeği | Verim (%) | Ömür (yıl) | CO <sub>2</sub> (kt.GW <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------------|---------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------|
| Mono kristal Silikon             | Sınırlı       | 12        | 20         | 400                                                     |
|                                  | Yaygın        | 16        | 30         | 150                                                     |
| Multikristal Silikon             | Sınırlı       | 10        | 20         | 400                                                     |
|                                  | Yaygın        | 15        | 30         | 100                                                     |
| İnce-film Silikon                | Sınırlı       | 10        | 20         | 130                                                     |
|                                  | Yaygın        | 15        | 30         | 50                                                      |
| İnce-film Polikristal malzemeler | Sınırlı       | 10        | 20         | 100                                                     |
|                                  | Yaygın        | 14        | 30         | 40                                                      |
| Gelecek(2020) Çoklu jonksiyon    | Yaygın        | 30        | 30         | 24                                                      |

Tablo 1.1'deki büyüklüklerin daha rahat anlaşılabilmesi için bu değerler, kömür santralleri için 9000 kiloton/gigawatt-yıl ve BWR (kaynar sulu reaktör) nükleer santralleri için ise 75 kiloton/gigawatt-yıl değerleriyle karşılaştırılabilir. Bu faktörler ve güneş modüllerinin yüksek maliyeti göz önüne alındığında, güneş pillerinin verimli kullanılması önem kazanmaktadır.

Güneş pillerinin kullanım aşamasında verimini arttırmak için kullanılacak yöntemlerden biri, güneş modülleri üzerine yoğunlaştırılmış güneş ışığı göndermektir [17]. Bu durum, özel olarak tasarlanmış ve soğutulan güneş modülleri gerektirmektedir [12,18]. Verimi arttıran bir başka yöntem ise, modüllerin gökyüzündeki en aydınlık noktaya dik açı yapacak şekilde yerleştirilmesi ve gün boyunca bu konumu korumasının sağlanmasıdır [10,19-22]. Bu işlemin sağlıklı olarak yapılabilmesi için, herhangi bir zaman diliminde gökyüzünden gelecek enerjinin büyüklüğü ve doğrultusunun önceden tahmini gerekmektedir [23].

Bir yüzeye güneşten gelen enerjinin tahmini ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunda, belirli gök modeli için geliştirilen ve amprik değerlerin yer aldığı ifadeler kullanılmaktadır. Bu ifadeler, genelde belirli bölgeler için, uzun yıllar sonucu yapılan ölçümlerin ortalamaları kullanılarak çıkarılmaktadır [15,24-30]. Sözü geçen yöntemler, ortalama değerlerde iyi sonuçlar verseler bile belirli bir anda güneşten gelen ışık enerjisinin tahmininde kullanılamazlar. Bu tip tahminler için sürekli olarak kendini yenileyen dinamik akıllı algoritmalara ihtiyaç vardır. Son yıllarda, bilgisayar işlemci hızlarındaki artışa paralel olarak gelişen akıllı ve dinamik algoritmalar, güneşten gelen enerji ile ilgili tahminlerde kullanılmaya başlanmıştır [31-33]. Bu algoritmalar içinde yapay sinir ağları algoritması (YSA) da yer almaktadır [34-36]. YSA ve diğer dinamik algoritmalar güneşi izleyen mekanizmaların kontrolü ve kumandası için de kullanılmaktadır [37].

Bu tezde, güneş pillerinin kullanımında verimi arttırmak amacı ile yapılan bir çalışma sunulmaktadır.

İkinci bölümde alternatif enerji kaynağı olarak güneş, yapısı ve dünyaya gönderdiği enerji üzerinde durulmuştur. Güneşin konumuna bağlı olarak gelen enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü ve bu dönüşümde kullanılan fotovoltaiik (PV) güneş pilleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, güneşten gelen elektrik enerjisi tahminleri için bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağları ele alınarak, özellikleri, yapıları ve öğrenme algoritmaları açıklanmıştır. Ayrıca yapay sinir ağı algoritmasının (YSA) güneşten gelen enerji ile ilgili tahminlere uygunluğu sınanmıştır.

Dördüncü bölümde, güneş pillerinden yüksek verim elde etmek için İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesi'nde gerçekleştirilen ölçü sistemi tanıtılmıştır.

Beşinci bölüm, güneş pillerini yönlendirme için geliştirilen algoritmanın ayrıntılı anlatımına ayrılmıştır.

Altıncı bölümde, ölçümler sonucu elde edilen değerlerin algoritma tarafından işlenerek değerlendirilmesi sonuçların yorumu ve karşılaştırılması sunulmuştur.





## 2. ALTERNATİF ELEKTRİK ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ VE GÜNEŞ PİLLERİ

Güneşten enerji sağlayacak bir sistemi incelemeye başlamadan önce, güneşten gelen enerji miktarı ve değişiminin bağlı olduğu etkenler hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu bölümde, kısaca, güneşin ürettiği enerji, yeryüzüne gelişi ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi incelenmektedir.

### 2.1 Güneş ve Yapısı [38,39]

Güneş, samanyolu galaksisi içinde yer alan orta büyüklükte bir yıldızdır. Bundan yaklaşık 4.6 milyar yıl önce ışımaya başlamış olan bu yıldız, ömrünün ortalarındadır. Atomların birleşerek enerji açığa çıkardığı kısım, güneşin merkezindedir ve çekirdek adını alır. Günümüzde, güneşin çekirdeğinde hidrojen atomları birleşerek helyum atomlarını oluşturmakta ve açığa çıkan enerji, güneşin boyutlarını kararlı bir halde tutarak, uzaya yayılmaktadır. Bu işlev, çekirdekteki tüm hidrojen helyuma dönüşüncüye kadar, yaklaşık 5 milyar yıl daha sürecektir.

Günümüzden 5 milyar yıl sonra güneşin çekirdeğindeki hidrojen bitecek ve helyum atomları birleşmeye başlayacaktır. 5.25 milyar yıl sonra, içeride üretilen enerjinin güneşin çekim kuvvetinden daha fazla olması yüzünden, güneş genişleyerek Merkür ve Venüs'ü yutacak ve dünyanın yörüngesine yakın bir büyüklüğe gelecektir

5.5 milyar yıl sonra, çekirdekteki tüm elementler demire dönüşünce, içeride üretilen enerji birdenbire kesilecek ve güneş bir nova patlaması ile yüzeyini uzaya saçarak dünya boyutlarında bir beyaz cüceye dönüşecektir. Zamanla o da soğuyarak yoğun bir kaya parçası haline gelecektir.

Güneşin çekirdeğindeki sıcaklık 15 milyon derece ve basınç da 340 milyar atmosfer dolaylarındadır. Çekirdekte saniyede 700 milyon ton hidrojen helyuma dönüşürken, 5 milyon ton madde enerjiye dönüşmektedir. Başka bir deyişle, güneşin kütlesi saniyede 5 milyon ton eksilmektedir.

Çekirdekte oluşan fotonlar, ışık hızına yakın hızlarda hareket etmelerine rağmen, bu hareket belirli bir yön içermediğinden, bir fotonun çekirdekten yüzeye çıkması 1 ile 2 milyon yıl arası bir zaman almaktadır.

Güneşin görünen yüzeyi fotosfer olarak adlandırılır. Yüzeyin ortalama sıcaklığı 5500 - 6000 derece arasındadır. Yüzeyde sıcaklık homojen olarak dağılmaz. Magnetik alan yüzünden daha soğuk (3800 derece) bölgeler oluşur. Bunlar, dünyadan leke olarak gözlenir

Güneşin katı bir cisim olmamasından dolayı kutup ve ekvator kısımları farklı hızlarda döner, bunun sonucu magnetik alanda burulmalar ve kopmalar meydana gelir. Magnetik alandaki bu dengesizlikler, güneş püskürmeleri ve uzaya yüklü parçacıkların salınmasına neden olur.

Güneşte 22 yılda bir magnetik kutuplar yer değiştirir ve 11 yılda bir güneş lekeleri maksimum hale gelir. Güneş lekeleri ile güneş patlamaları arasında doğru bir orantı vardır. 2000 yılı lekelerin üst düzeye eriştiği bir yıl olmuştur.

## **2.2 Güneşten Dünyaya Gelen Enerji**

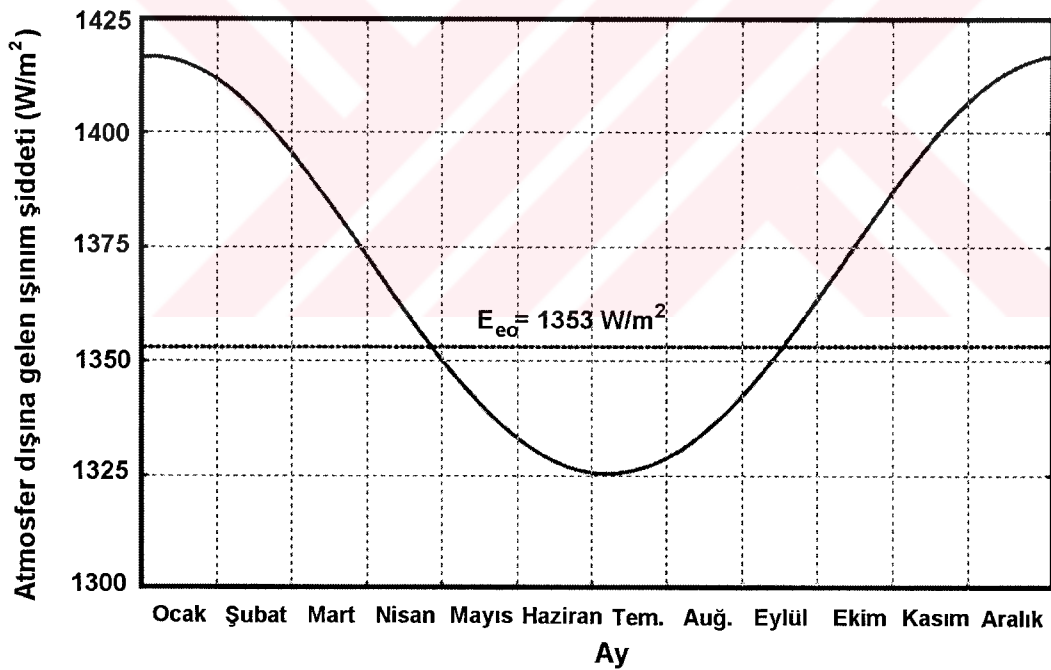
Güneş enerjisinden yararlanmada verimin artırılabilmesi için, güneşin yer düzlemine göre, bir yıl içindeki hareketinin bilinmesi gereklidir. Güneşten dünya atmosferi dışına gelen enerji, metrekaşe başına 1300 ile 1400 watt arasındadır. Bu enerjinin en az %3 ü atmosfer tarafından yutulmakta veya saçılmaktadır. Bulutsuz açık bir günde yere dik olarak gelen güneş enerjisi en fazla  $1000 \text{ W/m}^2$  civarında olabilmektedir [40]. Güneşten yeryüzüne gelen ışıınım, dolaysız (direkt) ve dolaylı (yaygın) olarak iki bileşene ayrılabilir. Direkt ışıınım, adından da anlaşılacağı üzere, doğrudan güneşten gelen ışıınımdır. Yaygın ışıınım ise, tüm gök küreden gelen belirli bir doğrultusu ve yönü bulunmayan ışıınımdır. Güneş ışıınımının bir kısmı, atmosfer içine girdikten sonra yeryüzüne ulaşınca kadar, miktarı geçtiği hava kütesine bağlı olarak, atmosferi oluşturan bileşenlerden ozon ve su buharı tarafından, belirli dalga uzunluklarında seçilmeli olarak yutulur. Hava içerisindeki moleküller, toz ve su buharı tarafından saçılır. Işıınımın bu yutulan ve saçılan kısmı yaygın ışıınımı oluşturur [41]. Çeşitli gök durumları için toplam ışıınım miktarı ve yaygın ışıınım oranları Tablo 2.1'de verilmiştir.[40]

Tablo 2.1 Çeşitli gök durumları için toplam ışıınım miktarı ve yaygın ışıınım oranları

|                       | Açık gök                      | Puslu Gök<br>(güneş zayıf olarak<br>gözüküyor) | Tam kapalı gök              |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Toplam Işıınım</b> | 600 ... 1000 W/m <sup>2</sup> | 200 ... 400 W/m <sup>2</sup>                   | 50 ... 150 W/m <sup>2</sup> |
| <b>Yaygın Işıınım</b> | %10 ... %20                   | %20 ... %80                                    | %80 ... %100                |

### 2.3 Güneşten Gelen Enerjinin Değişimi

Güneşten yer yüzüne gelen ışıınım şiddeti, gün içinde geliş açısına bağlı olarak değişir. Bu şiddet, öğle vaktinde o gün içindeki en yüksek değerine ulaşır. Bunun sebebi, güneş ışıınlarının atmosfer içinde izlediği yolun öğle vaktinde en az olmasıdır.



Şekil 2.1 Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi

Bilindiği gibi, dünya, Kepler kanunlarına göre, bir yıl boyunca odağı güneş olan eliptik bir yörünge çizer. Ortalama 149.6 milyon km olan Dünya - Güneş arası uzaklık, 3 ocakta en az ve 4 temmuzda en fazla olur. Bunun doğal bir sonucu olarak da dünya atmosferine güneşten gelen enerji ocakta en yüksek değerini alarak 1412

$W/m^2$  değerine ulaşır ve temmuzda en düşük değerini alarak  $1322 W/m^2$  değerine iner [42]. Enerjideki bu değişim %3 civarındadır. Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi Şekil 2.1'de göstermektedir.

Güneş ışıınımı hesaplarında kolaylık sağlamak amacı ile, güneş sabiti adı verilen  $E_{eo}$  kullanılır. Bu büyüklük, atmosfer dışında birim alana tüm dalga boylarında bir anda gelen güneş ışıınımı olarak tanımlanır. Atmosfer dışına, her hangi bir günde, tüm dalga boylarında gelen güneş ışıınımı değeri, güneş sabiti tanımından yola çıkarak, dünya-güneş arası uzaklık  $r_g$  ve yıllık ortalama uzaklık  $r_o$  olmak üzere,

$$E_g = \frac{r_o^2}{r_g^2} \cdot E_{eo} = f_g \cdot E_{eo} \quad (2.1)$$

yazılabilir. Burada  $f_g$  , güneş sabiti düzeltme faktörü adını alır ve g, 1 ocaktan itibaren belirlenen güne kadar gün sayısı olmak üzere

$$f_g = 1 + 0.033 \cdot \cos \left( 360 - \frac{g}{365} \right) \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir [43].

Thekaekara güneş sabitini  $1353 W/m^2$  olarak vermiştir. Bu değer ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir [44].

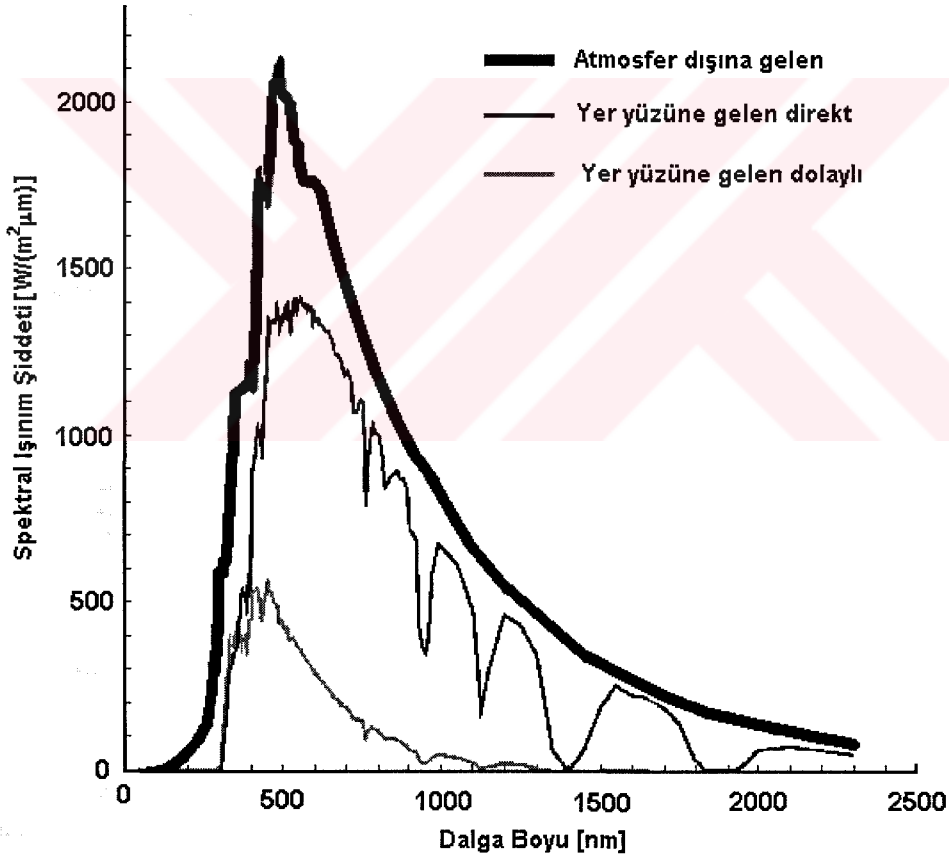
Güneş-Dünya arasındaki uzaklığın değişimi dışında güneşten gelen enerjiyi belirleyen bir başka faktör de periyodu 11 yıl olan güneş lekelerinin artışı ve azalışıdır. Bunun da güneşten gelen enerji üzerinde %2 'lik bir etkisi olmaktadır [43].

#### 2.4 Güneş ışıınının Atmosferde Yutulması

Atmosferde bulunan su buharı, ozon ve karbondioksit, gelen ışıınının büyük bir kısmını yutarlar. Oksijen, azot ve metan gibi gazlar da mor ötesi ışıınının bir kısmını yutarlar. Ancak, bu gazlar tarafından yutulan ışıının miktarı, su buharı, ozon ve karbondioksit tarafından yutulan ışıının yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Su buharının yutma spektrumu çok karmaşıktır. Değişik dalga boylarında çok sayıda yutma bandı mevcuttur. Özellikle, görülen ışınım ve kırmızı altı ışınımın büyük kısmı su buharı tarafından yutulur. Her dalga boyundaki yutulma çok farklıdır ve değişim düzgün değildir.

Ozonun esas yutma bantları, morötesinde 0.21.-0.34  $\mu\text{m}$ , görülen ışınım bölgesinde 0.44-0.74  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralıklarında bulunmaktadır. Ozonun azaltma katsayısı dalga boyunun 0.25  $\mu\text{m}$  değerinde maksimum olmaktadır. Morötesi bölgede monokromatik güneş ışınımı şiddeti düşüktür Bu nedenle, ışınımın tamamına yakınının ozon tarafından yutulmasına rağmen, yutulan toplam ışınım miktarı güneş sabitinin % 2.5 i mertebesindedir [43]. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının spektrumu Şekil 2.2'de görülmektedir.

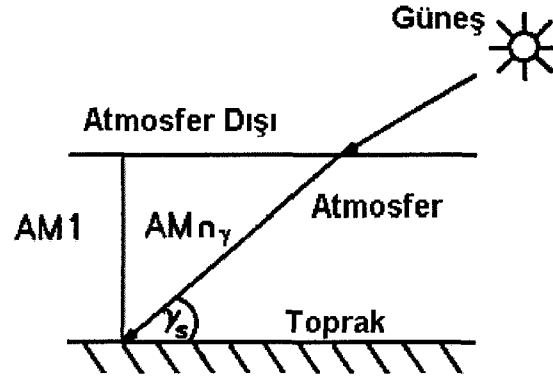


Şekil 2.2 Atmosfer dışına ve yer yüzüne gelen güneş ışınımının spektral dağılımı [41]

## 2.5 Bağlı Hava Kütlesi

Güneşten gelen enerjinin atmosfer içinde zayıflaması, ışınların atmosfer içinde aldığı yolun uzunluğuna da bağlıdır Bu yol, güneşin yatayla yaptığı açıya, yani yükseklik

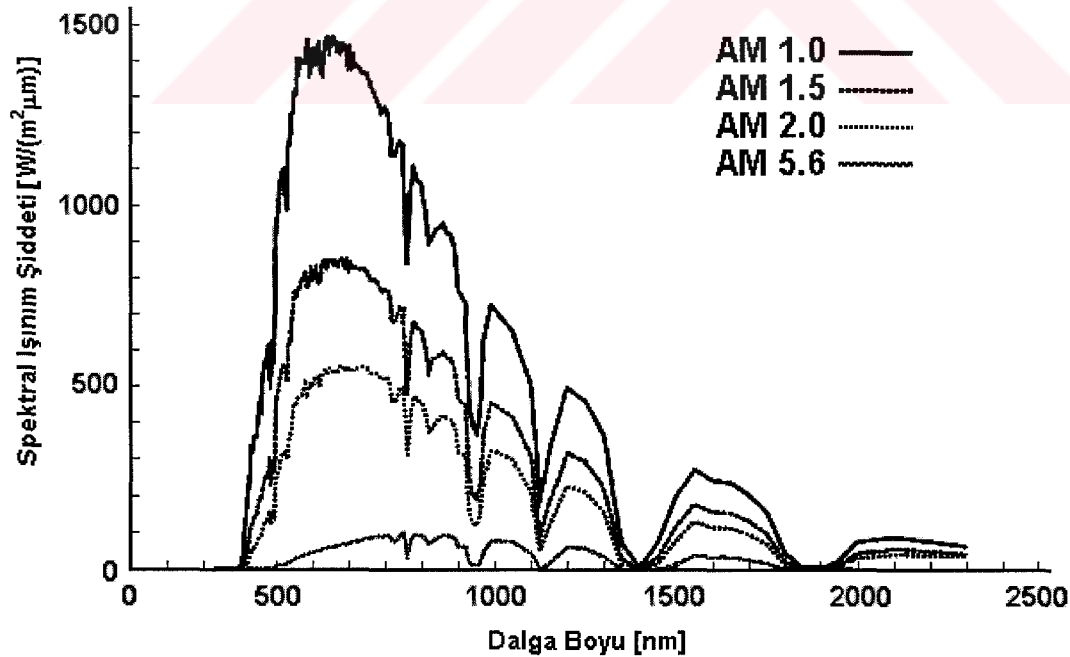
açısına bağlı olarak tanımlanır ve bağıl hava kütlesi ( $AM n_\gamma$ ) olarak adlandırılır [40] (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yol

Burada güneşin geliş açısı ( $\gamma_s$ ) ile  $n_\gamma$  arasında  $n_\gamma = \frac{1}{\sin \gamma_s}$  şeklinde bir ilişki vardır.

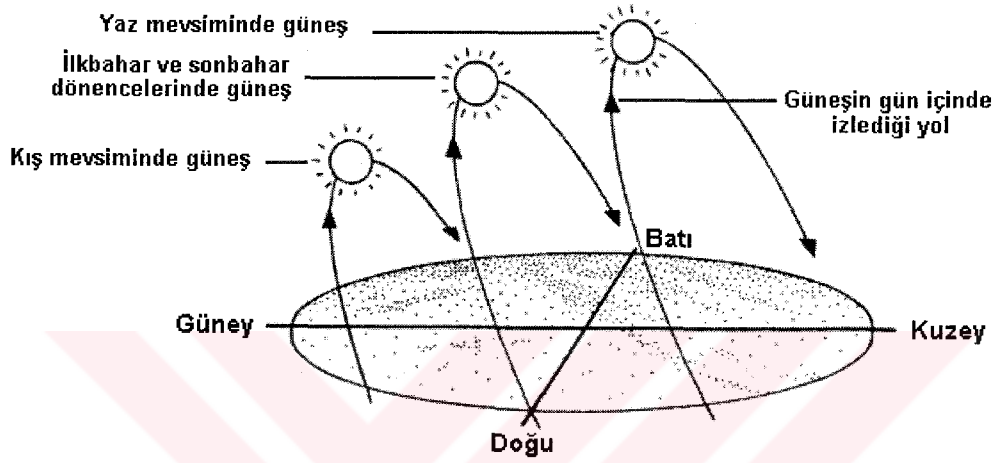
AM 1, güneşin zenitte ( başucu noktasında [45] ) olması durumuna karşı düşer ( $\gamma_s = 90$  derece). Farklı bağıl hava kütleleri için yer yüzüne ulaşan güneş ışınımının spektral dağılımı Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4 Farklı bağıl hava kütleleri için yer yüzüne ulaşan güneş ışınımının spektral dağılımı

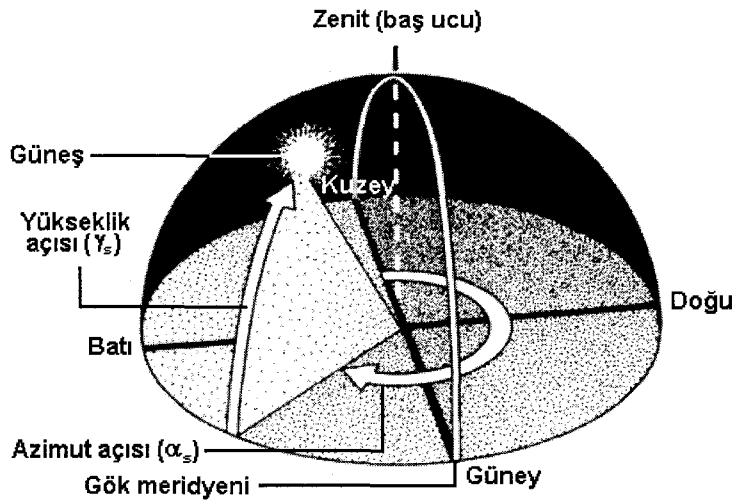
## 2.6 Güneşin Konumunun Belirlenmesi

Güneşten yeryüzüne gelen ışınlam şiddeti güneşin yer ile yaptığı açı ile ilişkili olduğundan, her hangi bir anda güneşin hangi konumda olduğunun bilinmesi gereklidir. Güneş, yerdeki bir gözlemciye göre yıl içinde iki eksen üzerinde hareket eder. Şekil 2.5, kuzey yarıküre için güneşin mevsimsel ve günlük hareketlerini göstermektedir [46].



Şekil 2.5 Kuzey yarıküre için, güneşin mevsimsel ve günlük hareketleri.

Güneşin yıllık ve günlük hareketleri, güneşin yükseklik açısı ( $\gamma_s$ ) ve azimut açısı ( $\alpha_s$ ) yardımı ile matematiksel olarak modellenenir.



Şekil 2.6 Güneşin yükseklik ve azimut açılarının gök küre üzerinde gösterimi [46]

$\gamma_s = 0$  güneşin ufuk çizgisinde,  $\gamma_s = 90$  güneşin zenit noktasında olduğu duruma karşı gelir. Ayrıca,  $\alpha_s = 0$  kuzey,  $\alpha_s = 90$  doğu,  $\alpha_s = 180$  güney ve  $\alpha_s = 270$  batı yönünü gösterir. Şekil 2.6’da bu açılar gösterilmiştir.

Yükseklik açısı  $\gamma_s$  ve azimut açısı  $\alpha_s$  derece cinsinden

$$\gamma_s = \arcsin(\cos \omega_t \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta) \quad (2.3)$$

$$\alpha_s = 180^\circ - \arccos\left(\frac{\sin \gamma_s \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_s \cdot \cos \varphi}\right) \quad \text{GYS} \leq 12 \quad (2.4)$$

$$\alpha_s = 180^\circ + \arccos\left(\frac{\sin \gamma_s \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_s \cdot \cos \varphi}\right) \quad \text{GYS} > 12 \quad (2.5)$$

şeklinde tanımlanır [42].

Bu ifadelerde

$\omega_t$  : zaman açısı olup

$$\omega_t = (12 - \text{GYS}) \cdot 15 \quad [\text{derece}] \quad (2.6)$$

şeklinde verilebilir.

GYS : Gerçek Yerel Saat

$$\text{GYS} = \text{OYS} + \frac{Z_d}{60} \quad [\text{saat}] \quad (2.7)$$

OYS : ortalama yerel saat

$$\text{OYS} = \text{US} - \frac{4 \cdot (\text{USD} \cdot 15 - \lambda)}{60} \quad [\text{saat}] \quad (2.8)$$

US : bulunulan ülkede kullanılan saat

USD: bulunulan ülkenin saat dilimi (Türkiye için 2, Almanya için 1)

$\lambda$  : derece olarak, bulunulan boylam



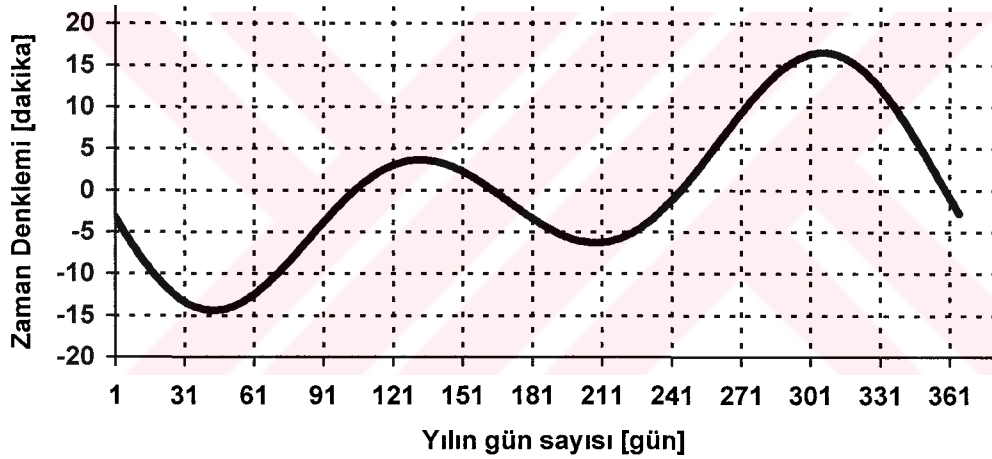
$Z_d$  : zaman denklemidir.  $g$ , 1 ocaktan itibaren belirlenen güne kadar gün sayısı olmak üzere

$$g_o = \frac{360 \cdot g}{365} \quad [\text{derece}] \quad (2.9)$$

alınırsa

$$Z_d = 0.0066 + 7.3525 \cdot \cos(g_o + 85.9^\circ) + 9.9359 \cdot \cos(2 \cdot g_o + 108.9^\circ) + 0.3387 \cdot \cos(3 \cdot g_o + 105.2^\circ) \quad [\text{dakika}] \quad (2.10)$$

şeklinde bir ampirik bir ifade kullanılarak hesaplanabilir [42].  $Z_d$ 'nin yıl içindeki değişimi Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu değişimin fiziki anlamı, güneşin yükseklik açısının maksimum olduğu anın, gerçek yerel saate göre 12:00'den olan farkıdır



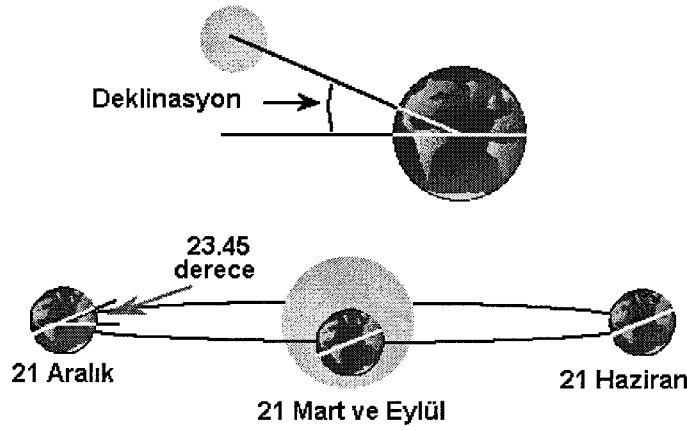
Şekil 2.7 Zaman denkleminin değişimi

Yükseklik ve azimut açısı ifadelerindeki  $\delta$ , güneşin deklinasyon (dik açıklık [45]) açısına karşı gelmektedir. Şekil 2.8, dünya ve güneşin konumlarına göre deklinasyon açısını göstermektedir.

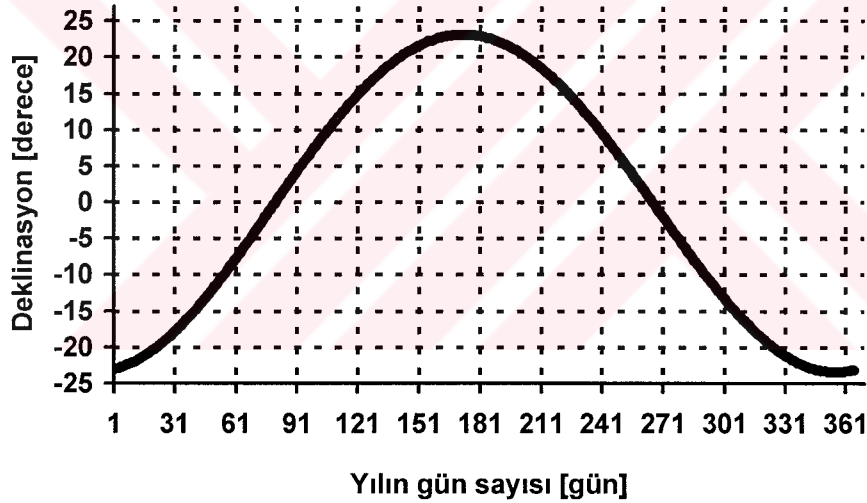
Deklinasyon açısı, derece cinsinden

$$\delta = 0.3948 - 23.2559 \cdot \cos(g_o + 9.1^\circ) - 0.3915 \cdot \cos(2 \cdot g_o + 5.4^\circ) - 0.1764 \cdot \cos(3 \cdot g_o + 105.2^\circ) \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir [42]. Şekil 2.9, deklinasyon açısının yıl içindeki değişimini göstermektedir.



Şekil 2.8 Güneşin deklinasyon açısının değişimi



Şekil 2.9 Güneşin deklinasyon açısının yıl içindeki değişimi

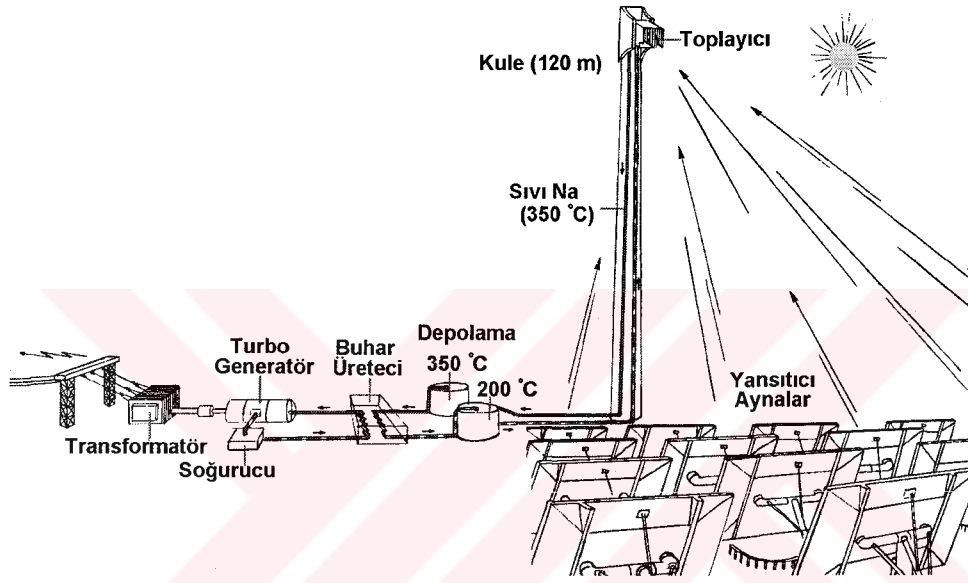
## 2.7 Güneşten Gelen Enerjinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi

Elektrik enerjisi üretimi açısından, güneşten gelen enerjiyi başlıca iki sınıfa ayrılabilir. Bunların biri, kızılötesi dalga boylarını içeren ve ısı enerjisi olarak ortaya çıkan kısımdır. Diğer grup ise, görünür ve mor ötesi dalga boylarını kapsar.

Güneşin ısı enerjisini kullanan elektrik santrallerinde, güneş ışığı, bilgisayar kontrollü aynalar tarafından bir kulede odaklanmaktadır. Burada, güneşten gelen ısı

enerjisi, bir akışkana aktarılmakta ve akışkan tarafından kuleden alınmaktadır (Şekil 2.10). Daha sonra bu ısı enerjisi bir turbojeneratörü tahrik edecek buharı elde etmek için kullanılmaktadır. Bu tip bir santralin verimi, %5 ile %6 arasında olmaktadır.[47]

Güneşten gelen fotonların enerjilerini doğrudan kullanarak da elektrik enerjisi elde edilebilir. Burada malzeme olarak yarıiletkenler ve fotovoltaiik etki kullanılmaktadır. Bu yöntemle elektrik enerjisi üreten cihazlar, fotovoltaiik güneş hücreleri (pilleri) olarak adlandırılmaktadır.

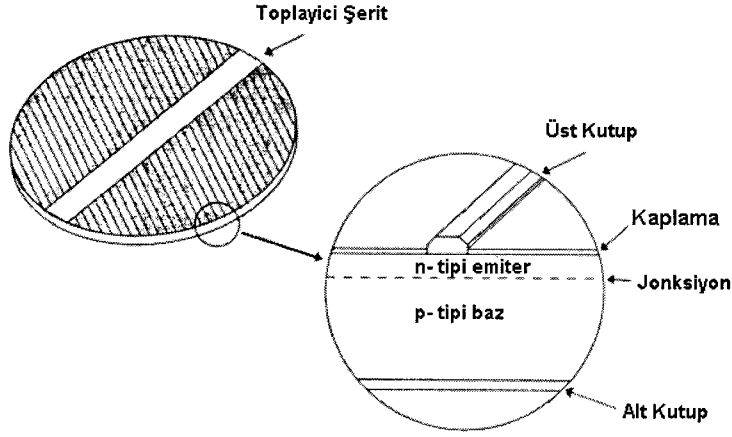


Şekil 2.10 Güneşin ısı enerjisini kullanan bir elektrik santralinin şematik gösterimi.

## 2.8 Fotovoltaiik Güneş Pilleri

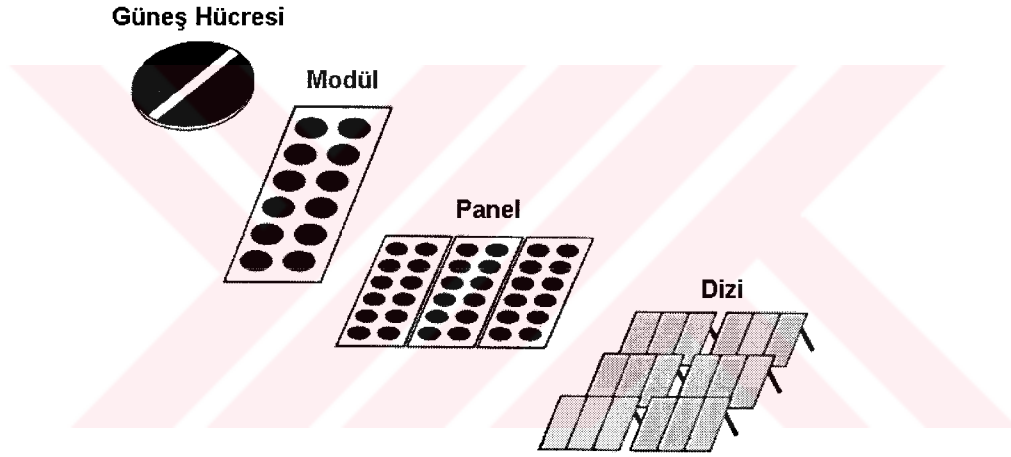
Bu piller, yarıiletkenlerdeki fotoelektrik etkiyi kullanarak çalışırlar. Transistör ve diyotlardan farklı olarak bu elemanlarda p ve n tipi malzemelerin birleştiği yüzeyler büyük tutulmuştur. Bu arakesitlere düşen fotonların enerjilerinin bir kısmı, malzemedeki serbest elektronları hareket ettirir. Bu sayede elektrik akımı üretilmiş olur [12, 48].

Şekil 2.11’de bir silikon güneş hücresinin yapısı görülmektedir. Hücrenin ışık alan yüzeyi güneş ışınlarını alt tabakaya geçiren ve yansımayı engelleyen dielektrik bir malzeme ile kaplanmıştır.



Şekil 2.11 Silikon Güneş hücresi

Yüksek miktarlarda güç üretmek için güneş hücreleri belirli gruplar halinde toplanırlar [16]. Bunlar Şekil 2.12 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Fotovoltaik gruplar

Güneşin yeryüzüne ulaşan ışık spektrumunda kırmızı ışığın enerjisi 1.7 eV ve mavi ışığın enerjisi 2.7 eV kadardır. Teorik olarak güneş hücrelerinin 0.5 ile 3.3 eV'luk enerjiyi kullanması beklenir. Bu da, bu değerler arasında enerji boşlukları (gap) olan malzemelerin kullanılmasını gerektirmektedir. Pratikte, 1eV ile 1.8 eV olan malzemeler güneş hücresi yapımında kullanılmaktadır. Tablo 2.2'de bazı yarıiletken malzemelerin oda sıcaklığındaki enerji boşlukları verilmiştir [16].

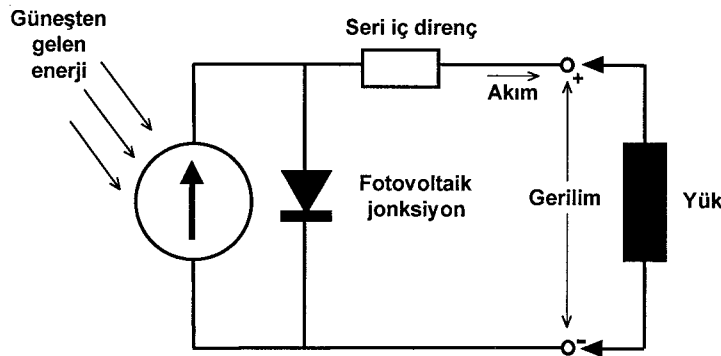
Tablo 2.2 Fotovoltaik uygulamalarında kullanılan temel yarıiletkenlerin enerji boşlukları (değerler oda sıcaklığı için verilmiştir)

| Malzeme             | Enerji boşluğu (gap) |
|---------------------|----------------------|
| Kristal Silisyum    | 1.12 eV              |
| Amorf Silisyum      | ~1.75 eV             |
| CuInSe <sub>2</sub> | 1.05 eV              |
| CdTe                | 1.45 eV              |
| GaAs                | 1.42 eV              |
| InP                 | 1.34 eV              |

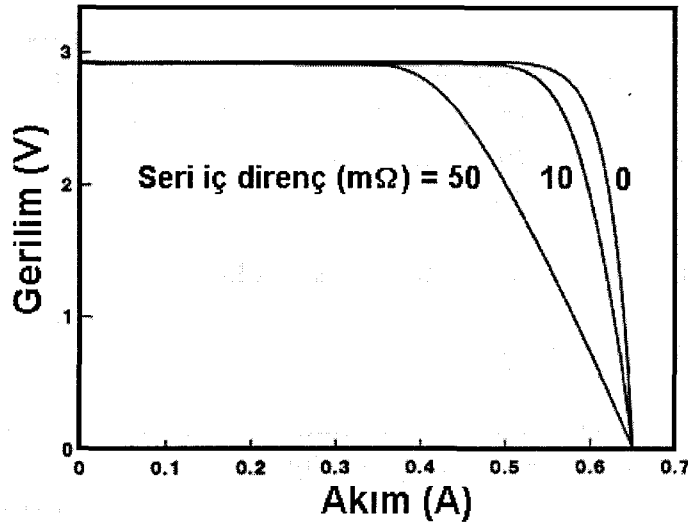
Ticari amaçlar için piyasaya sürülmüş güneş pili tipleri arasında en çok adı geçenler, tek (mono) kristal silisyum, çok (poli) kristalli silisyum, amorf silisyum, kadmium tellür ve bakır indium diselenyum güneş pilleri şeklindedir. Bunların dışında yarı iletken malzemelerin çeşitli materyaller üzerine kaplanması ile elde edilen ince film tipi güneş pilleri de mevcuttur. Bunlar, diğer malzemelere göre düşük verimli olmalarına rağmen, kolay ve seri üretilmeleri sonucu, piyasada bir yer edinmişlerdir. Yukarıda sözü edilen güneş pili malzemeleri arasında verimi en yüksek olan monokristal silisyumdur. Fakat bunun maliyetli diğer malzemelere göre yüksektir. Son yıllarda yüksek verimli güneş pilleri üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır [49].

### 2.8.1 Fotovoltaik güneş pillerinin elektriksel özellikleri

Bir fotovoltaik güneş hücresinin eşdeğer devresi Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Jonksiyonda üretilen enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar, seri bir dirençle gösterilebilir. Bu seri direncin değeri hücrenin verimini doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Şekil 2.14'te, seri direncin farklı değerleri için, güneş hücresinin Akım-gerilim diyagramı görülmektedir [16].

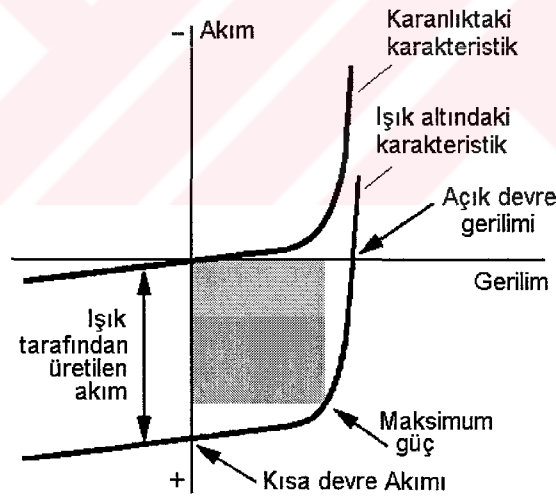


Şekil 2.13 Bir güneş hücresinin eşdeğer devresi



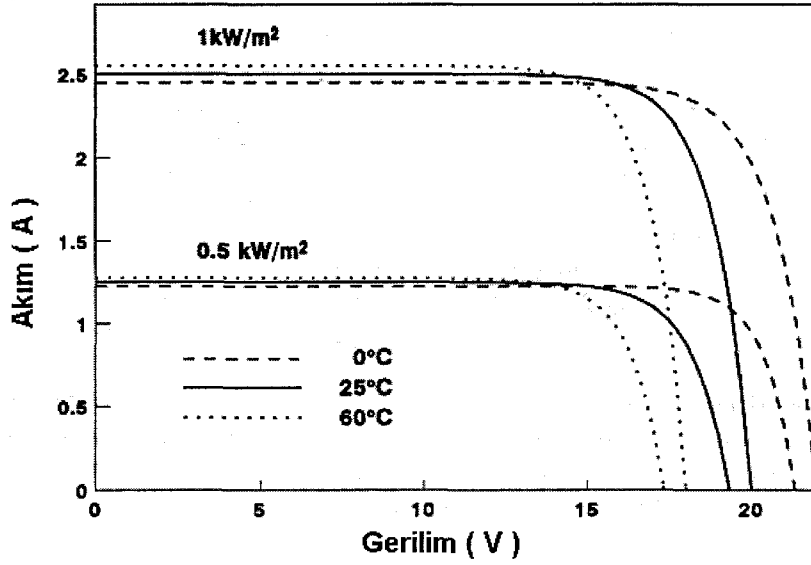
Şekil 2.14 Bir güneş hücresinde seri direncin Akım-Gerilim diyagramı üzerindeki etkisi

Fotovoltaik hücreler karanlıkta bir diyot karakteristiği gösterirler. Jonksiyon yüzeyine ışık düştükçe bu karakteristik pozitif akım ekseninde kayar (Şekil 2.15). Hücreden maksimum güç alabilmek için, taralı alanı maksimum yapacak akım-gerilim değerlerinde çalışılmalıdır.



Şekil 2.15 Güneş hücresinin akım-gerilim karakteristiği

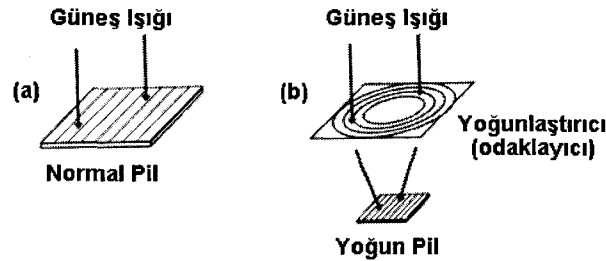
Bir fotovoltaik hücrede, jonksiyon yüzeyine düşen ışık enerjisi hücrenin kısa devre akımı ile doğru orantılıdır ve açık devre gerilimine ise daha az bağlıdır. Hücre sıcaklığının değişmesi, açık devre gerilimi üzerinde etkili olmaktadır [13]. Şekil 2.16, bir güneş paneli üzerine gelen ışık enerjisinin ve panel sıcaklığının farklı durumları için akım-gerilim grafiğini göstermektedir.



Şekil 2.16 Farklı ışık ve sıcaklık değerleri için bir güneş panelinin I-V karakteristiği

### 2.8.2 Gün ışığının panele yönlendirilmesi

Gün ışığı, güneş modüllerine ya doğrudan (Şekil 2.17 a) ya da bir odaklama düzeneği tarafından (Şekil 2.17 b) gönderilir. Odak mekanizması olan sistemlerde, güneş modülü hücreleri daha yoğun ışıktan enerji üretecek şekilde tasarlanır. Burada modülün yüzeyi küçük olduğu için, üretilen birim enerji başına maliyet düşer. Bununla birlikte, bu tip güneş hücreleri, sadece doğrudan güneş ışığından yararlandıklarından, bulutluluk oranı düşük olan bölgelerde kullanılmaya uygundurlar. Ayrıca, bir ışık toplayıcı ile güneşi izleyen bir mekanizma da gerektirirler [16]. Doksanlı yılların başından itibaren, tek eksenle takiple yüksek odaklama gücü veren tasarımlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [17].

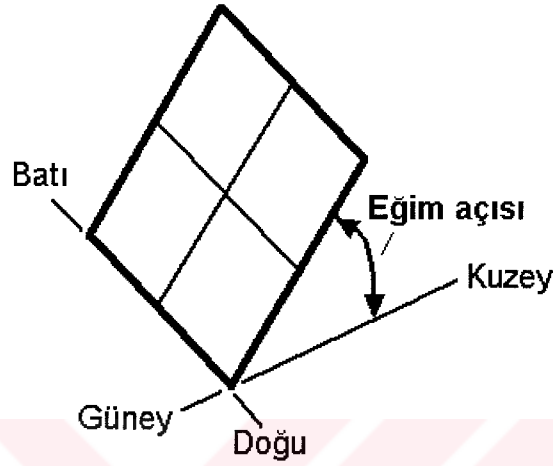


Şekil 2.17 Normal ve yoğun güneş pillerinde ışığın gelişi

Günümüzde, ticari amaçla herhangi bir odaklama düzeneği gerektirmeyen düzlemsel güneş modülleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

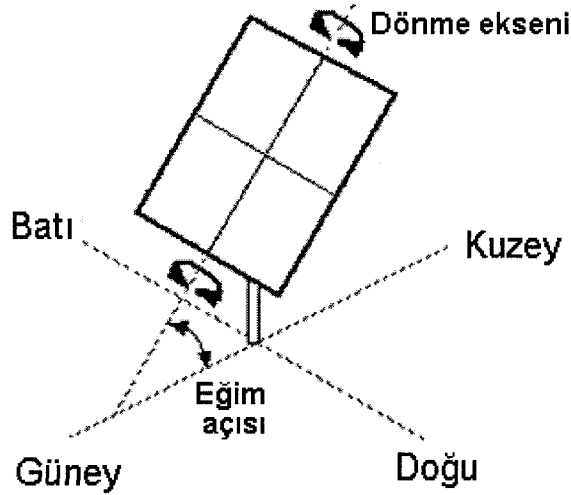
### 2.8.3 Güneş modüllerinin yerleştirilmesi

Düzlemsel güneş modüllerinin yerleştirilmesinde üç durum söz konusudur. Bunlardan birincisi, modülün sabit bir eğim açısıyla güney-kuzey doğrultusu üzerine yerleştirildiği durumdur (Şekil 2.18). Burada eğim açısı modülün kurulduğu enleme yakın bir açı olarak seçilir [50].



Şekil 2.18 Güneş modülünün sabit bir açıda yerleştirilmesi (kuzey yarı küredeki ülkeler için)

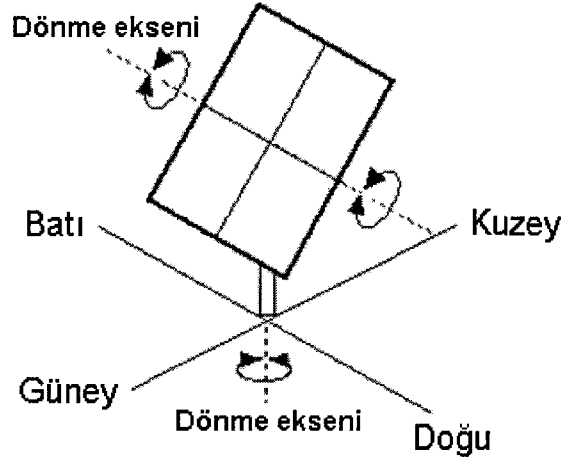
İkinci yerleştirme türü, modüllerin güney-kuzey doğrultusu üzerine sabit bir açı yaparak, ve doğu-batı doğrultusunda da hareket ederek güneşin konumunu izleyecek şekilde yerleştirilmesidir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 Güneşi tek ekseninde izleyen güneş modülünün yerleşim şeması



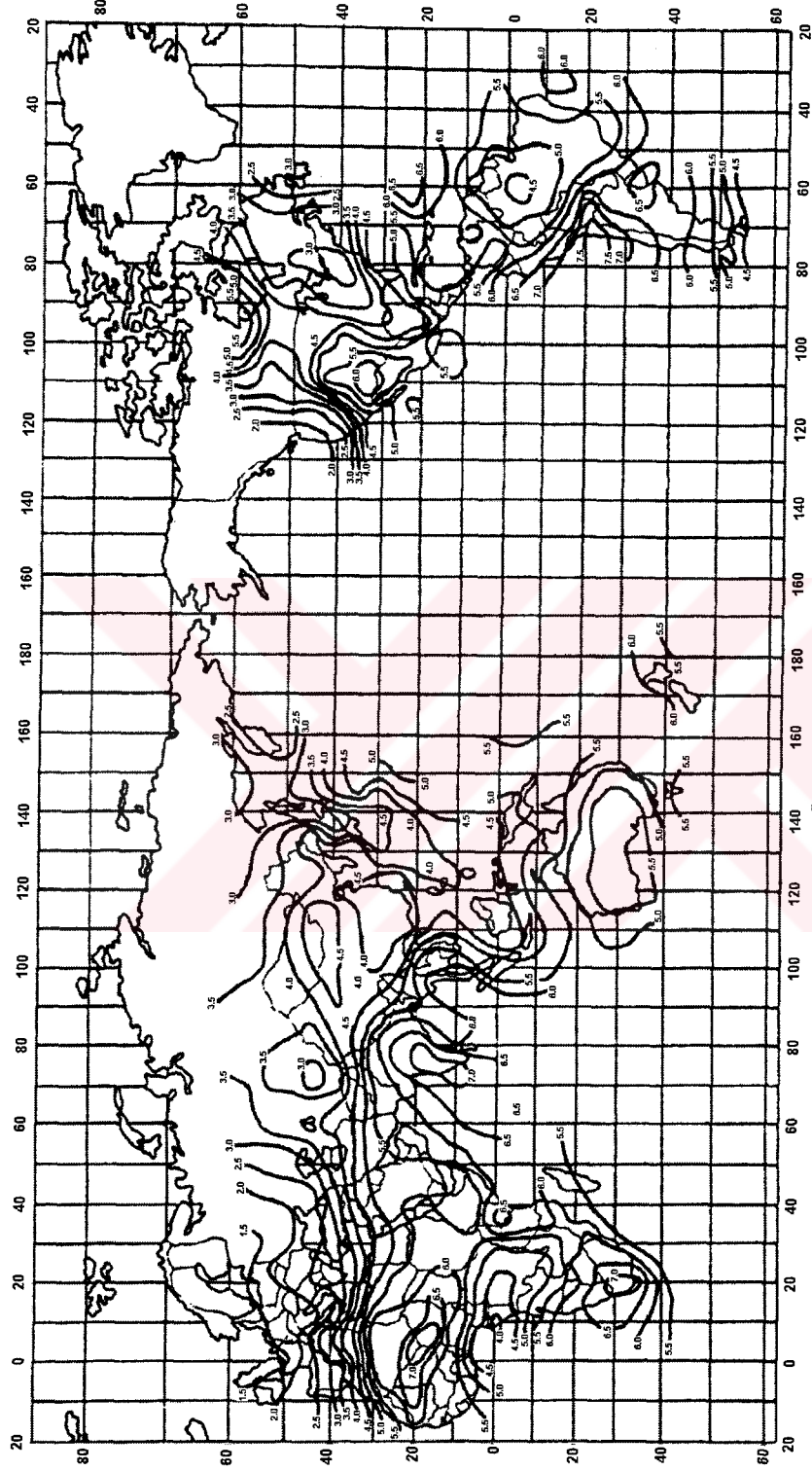
Son durum ise modüllerin iki ekseninde de hareketli olarak güneşi izledikleri durumdur. Bunun şematik bir gösterimi, Şekil 2.20'de verilmiştir.



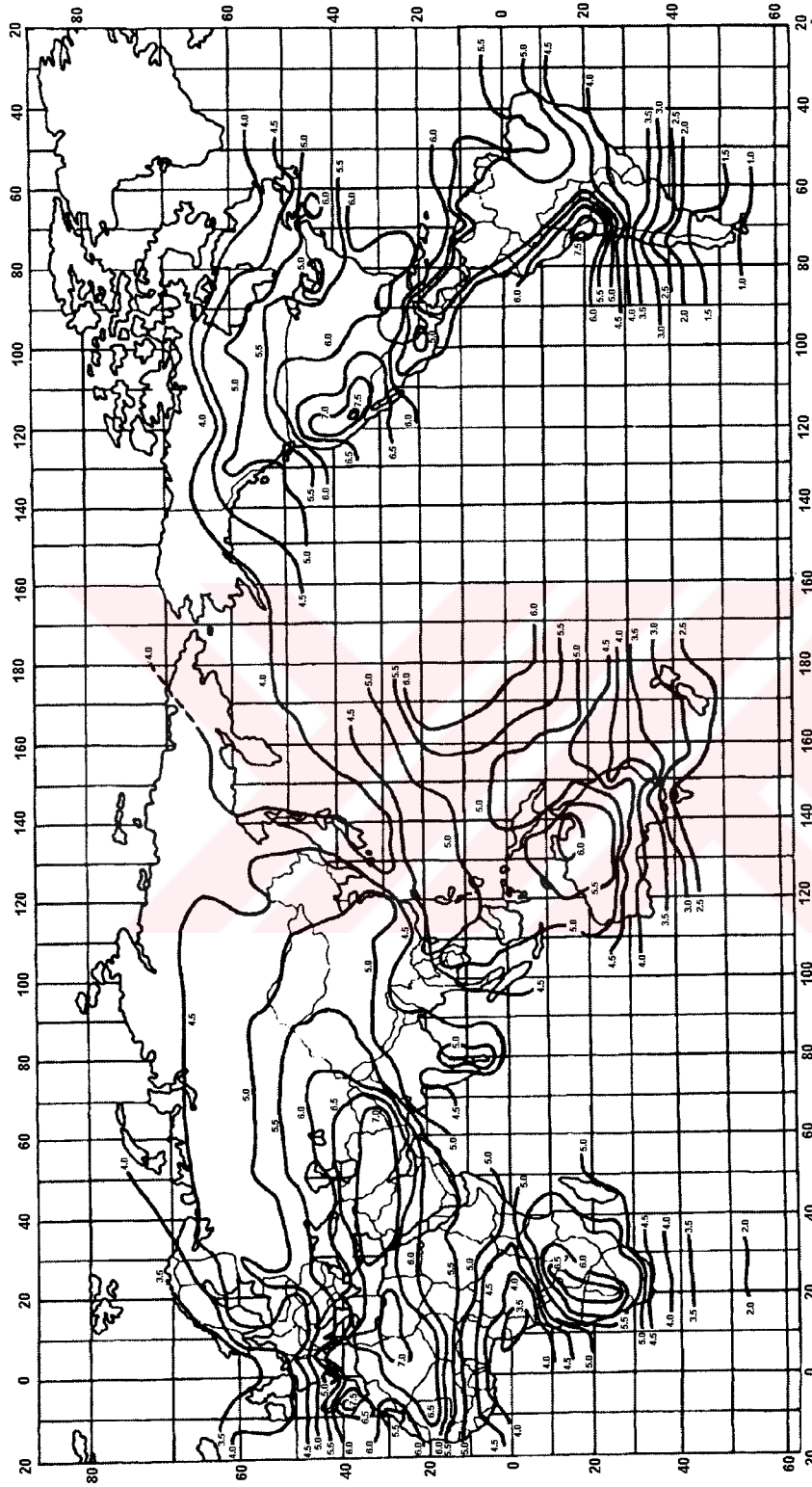
Şekil 2.20 Güneşi iki ekseninde izleyen güneş modülünün yerleşim şeması

Dünya genelinde, yaz ve kış ayları için, eğim açısı bulunulan bölgenin eğimine eşit bir düzleme gelen ortalama günlük toplam enerjileri Şekil 2.21 ve 2.22'de verilmiştir [19].

Çeşitli ülkelerde, eğim açısı, enlem -  $15^{\circ}$ , enlem, enlem +  $15^{\circ}$  olan, güneşi bir ve iki ekseninde takip eden yüzeylere gelen günlük ortalama enerji miktarları Ek A'da verilmiştir [19]. Bu tablolardan yola çıkarak, sabit bir modül ile iki ekseninde güneşi izleyen bir modüle gelen enerjiler arasında yaklaşık %37'lik bir fark olduğu görülmektedir.

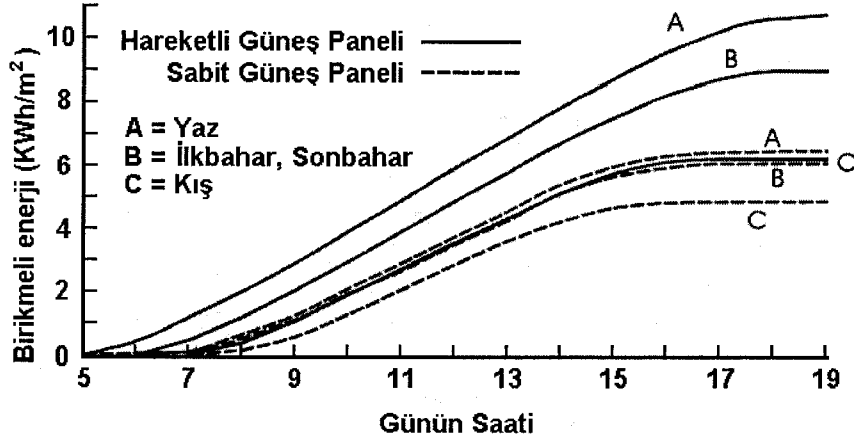


Şekil 2.21 Eğim açısı enleme eşit eğik bir düzleme gelen günlük toplam ışıınım enerjisi ( $KWh/m^2/gün$ )



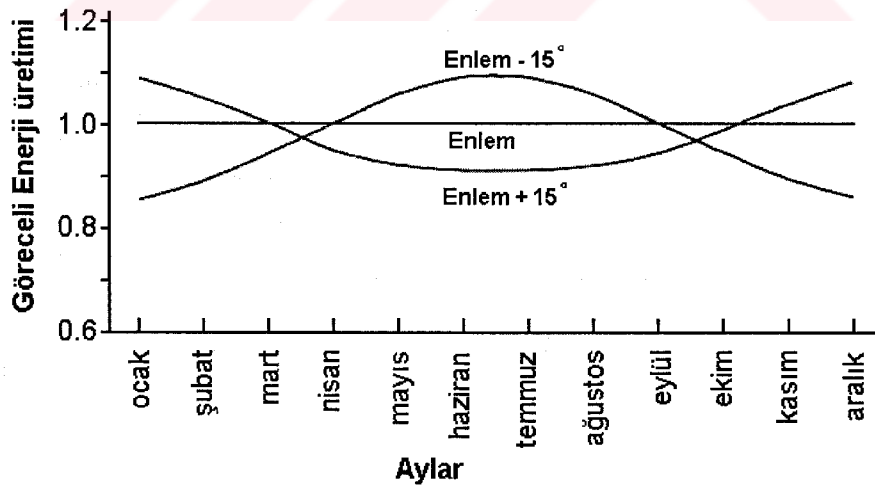
Şekil 2.22 Eğim açısı enleme eşit eğik bir düzleme yaz aylarında gelen günlük toplam ışıınım enerjisi (KWh/m<sup>2</sup>/gün)

Kuzey yarı kürede bulunan bir bölgeye yerleştirilmiş, iki eksenle güneşi izleyen bir güneş paneli ile sabit olarak duran bir güneş panelinin, günün saatlerine göre, topladığı birikmeli enerjiler Şekil 2.23’de gösterilmiştir [19]. Şekilde, grafiğin eğiminin fazla olduğu saatler, enerjinin en çok üretildiği saatlerdir.



Şekil 2.23 Farklı mevsimler için, hareketli ve sabit güneş panellerinde toplanan birikmeli enerji miktarları

Şekil 2.24, sabit güneş panelleri üzerinde yapılan ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Burada, paneller bulundukları bölgenin enlem açısında, 15 derece üstünde ve 15 derece altında tutularak aldıkları enerji miktarları göreceli olarak gösterilmiştir [19].



Şekil 2.24 Panel eğim açısına bağlı olarak aylık panel verimi

### 3. YAPAY SİNİR AĞI MODELLERİ VE BUNLARIN GÜNEŞ ENERJİSİ İLE İLGİLİ TAHMİNLERDE KULLANILMASI

#### 3.1 Yapay Sinir Ağları (Nöral Devreler) ve Biyolojik Beyinler

Yapay sinir ağları üzerindeki çalışmalara insan beyninin klasik bilgisayarlardan daha hızlı çalıştığı mantığından yola çıkılarak başlanmıştır. Ramòn y Cajal, 1911’de nöron kavramını ortaya atarak beynin çalışmasını açıklamaya çalışmıştır. Nöronlar silikon kapılara göre çok daha yavaştır. Nöronların hızı milisaniyeler mertebesinde olurken, silikon kapılar nano saniyeler mertebesindeki hızlarda çalışmaktadır. Beyin, bu yavaşlığı nöron sayısının çokluğu ve nöronların birbirleri ile olan bağlantılarının karmaşıklığı ile kompanze etmektedir. Bir insan beyninde yaklaşık 10 milyar nöron ve 60 trilyon bağlantı vardır. Çok etkin bir yapıya sahip olan beynin, enerjik verimi çok yüksektir. Her bir işlem için beyin yaklaşık  $10^{-16}$  joule harcarken, bilgisayarlar  $10^{-6}$  joule harcamaktadır [51].

İnsan beyni oldukça karmaşık, lineer olmayan ve paralel veri işleyebilen bir sistemdir. Bu özelliklerinden dolayı karakter tanımlama, ses algılama ve sentezi gibi işlemleri milisaniyeler mertebesinde yaparken, günümüzün en hızlı bilgisayarlarında bu gibi işlemler saatler mertebesinde olabilmektedir.

Gelişmiş beyinler, kendi kurallarını (nöronlar arası ilişkiler) doğuştan başlayarak zaman içinde oluşturur ve geliştirir. Bu olay, deneyim veya öğrenme olarak adlandırılır. Örnek olarak insan beyni, hayatı boyunca kazanacağı toplam deneyimin büyük bir bölümünü ilk iki yıl içinde oluşturur. Öğrenme veya deneyim kazanma, bundan sonra da ölüme kadar devam eder. Snapslar, nöronlar arasındaki bilgi alışverişini sağlayan fonksiyonel ve yapısal bileşenlerdir. Öğrenme, bunlar sayesinde olmaktadır [52].

Yapay sinir ağları (YS) (Artificial Neural Networks), insan beyninden esinlenerek, belli bir amaca yönelik olarak gerçekleştirilmiş, öğretilbilir bir topolojik yapı olarak

tanımlanabilir [53]. YS'nın, algoritmik yapısı yarıiletken elemanlardan oluşmuş donanım şeklinde de gerçekleştirilebilir. Üç temel özelliği ile beyne çok benzer. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- Yapıları elektronik olarak tasarlanmış veya bir algoritma sonucu oluşturulmuş nöronlar ve bunları birbirine bağlayan bağlantılarından oluşur.
- Nöral devrelerde bilgi, bir öğrenme sonucunda kazanılır.
- Nöronlar arası bağlantı kuvveti (snaptik ağırlıklar) bilgiyi saklamakta kullanılır.

YS 'da öğrenme işlemi öğrenme algoritması tarafından gerçekleştirilir. Bu algoritma, devrenin snaptik ağırlıklarını (ağırlık katsayıları) değiştirir ve devreyi istenen tasarım amacına ulaştırır. Ayrıca, bazı durumlarda devre kendi yapısını da değiştirebilir. Bu da, biyolojik beyinlerde bazı hücrelerin ölüp yerine yeni bağlantılar kurulmasına karşı gelmektedir.

### **3.2 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri**

- Nöron, tek basına lineer olmayan bir elemandır ve nöronların oluşturduğu ağ da lineer olmayan karakteristiğe sahiptir. Bu özellik giriş işaretini üreten fiziksel sistemin lineer olmadığı durumlarda önem kazanmaktadır.
- Yapay sinir ağları, bir matematik model olmaksızın, sadece giriş ve çıkış çiftleri kullanarak öğrenbilme özelliğine sahiptirler.
- YS örüntü (pattern), sınıflandırmada hangi örüntünün seçileceği hakkında bilgi verebileceği gibi, seçilenin doğruluk oranı hakkında da bilgi verme özelliğine sahiptir.
- Öğrenme tüm nöronlar tarafından paylaşılan bir süreçtir ve devredeki her bir nöron sonuca katkıda bulunmaktadır.
- Donanım olarak tasarlanmış yapay sinir ağlarında, nöronların küçük bir kısmının hasar görmesi devrenin çalışmasını fazla etkilemez. Çünkü bilgi, tüm ağa paralel dağıtılmış bir yapıda yayılmıştır.

- Paralel yapısı yüzünden, VLSI (Very Large Scale Integrated) yapıyı kullanan donanımla gerçeklenmeye uygundur. VLSI yapı, karmaşık bir davranışı hiyerarşik biçimde algılayabildiği için, bu yapı kullanılarak tasarlanmış nöral devreler, karakter tanımlama, işaret işleme ve kontrol gibi gerçek zaman uygulamalarına çok uygundur.

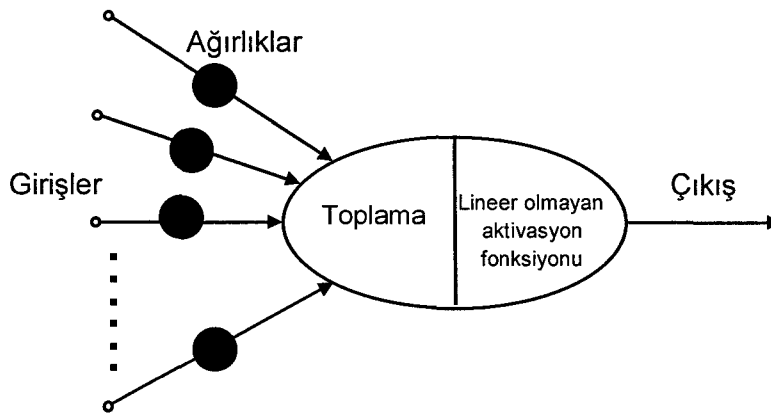
Çeşitli yapay sinir ağı algoritmalarında aşağıdaki ortak noktalar mevcuttur:

- Nöron, tüm devrelerde ortak elemandır.
- Yukarıdaki sebepten, tüm YS uygulamalarında, paylaşılan teori ve öğrenme algoritmaları mevcuttur.
- Modüler ağlar, modüllerin birleşim yerleri belli olmadan kurulabilmektedirler.

YS, nörobiyolojik sistemler ile benzerdirler. Nörobiyologlar bu özelliği kullanarak, biyolojik sistemleri anlamakta bunlardan yararlanmaktadırlar. Benzer bir şekilde, mühendisler de YS tasarımında biyolojik sistemlerden esinlenmektedirler.

### 3.3 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

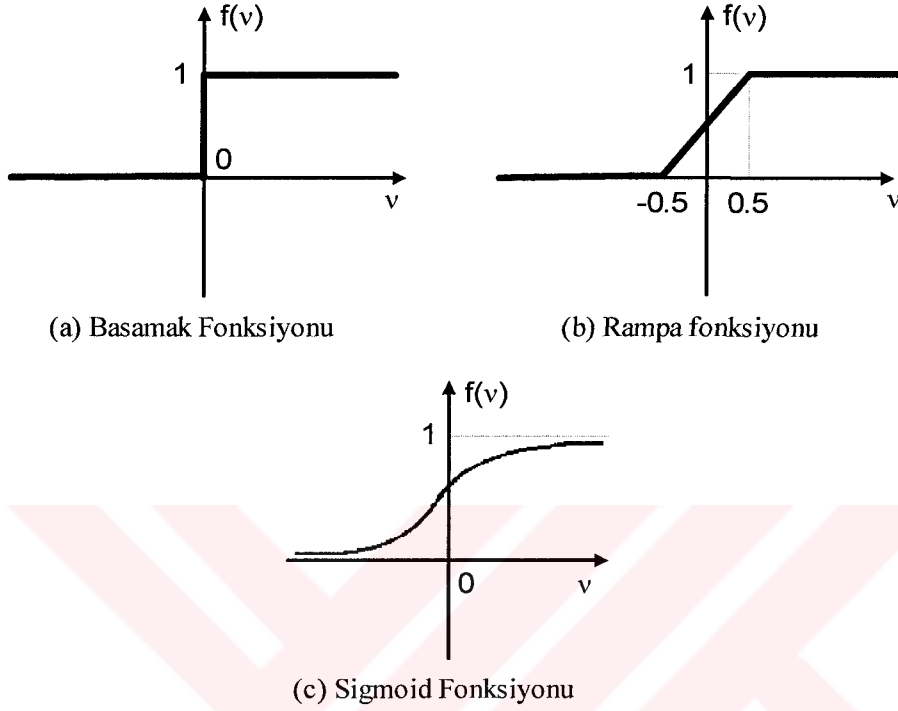
Yapay sinir ağları Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilen ve nöron adı verilen çok girişli ve tek çıkışlı işleme elemanlarından oluşur.



Şekil 3.1 Bir nöronun yapısı

Şekilden görülebileceği gibi, nöronların, her bir giriş yolu üzerinde ağırlık katsayıları denilen uyarlamalı bağlantı katsayıları bulunur. Bu şekildeki nöron, basit bir toplamla, ağırlıklı girişleri birleştirerek doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçirir.

Doğrusal olmayan fonksiyon olarak, ya ikili çıkış durumuna ilişkin bir eşik fonksiyonu ya da sürekli bir fonksiyon olarak sigmoid, arctan(x) gibi fonksiyonlar kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları Şekil 3.2'de gösterilmiştir [51, 53].



Şekil 3.2 Doğrusal olmayan bazı aktivasyon fonksiyonları

Şekil 3.2 a, Şekil 3.2 b ve Şekil 3.2 c de gösterilen fonksiyonlar sırasıyla,

$$f(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$f(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 1/2 \\ v, & -1/2 > v > 1/2 \\ 0, & v \leq -1/2 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$f(v) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha v}} \quad (3.3)$$

ifadeleri ile tanımlanabilir.

Bazı durumlarda aktivasyon fonksiyonlarını -1 ile 1 arasında tanımlanmak gerekebilir. Bu durumda rampa fonksiyonu yerine



$$f(v) = \begin{cases} 1, & v > 0 \\ 0, & v = 0 \\ -1, & v < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanan işaret (signum) fonksiyonu, sigmoid fonksiyonu yerine ise,

$$f(v) = \tanh\left(\frac{v}{2}\right) = \frac{1 - e^{-v}}{1 + e^{-v}} \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanan hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılır.

Eşik fonksiyonları veya aktivasyon fonksiyonları da denilen bu doğrusal olmayan fonksiyonlar, nöronların çıkışını, belli bir aralığa betimler.

Bir nöronun çıkışı, bağlantı ağırlıkları aracılığı ile diğer nöronun girişlerine, yine bu uyarlamalı katsayılarla çarpılarak, dağıtılır. Bu şekilde bir nöron, diğer elemanlardan gelen değiştirilmiş aktivasyon değerlerini birleştirici rol oynar. Bu anlamda, bir YS, giriş ve çıkışı arasında, bir dizi şeklinde oluşturulan tabakalar içersinde gruplandırılmış, bir çok nöronu içerir. Böylece, yukarıda sözü geçen bağlantılar, birbirini izleyen tabakalar arasında kurulmuş olur. Giriş ve çıkış tabakaları, sırasıyla bilgiyi alan ve dışarıya ileten tabakalar olup, bu ikisi arasında kalan diğer tabakalar ise saklı tabakalar olarak isimlendirilir. Bu şekilde, bir YS, tümüyle paralel dağıtılmış bir yapıyı içerir.

Bir YS modeli geliştirmede, önemli iki çalışma durumundan biri "Öğrenme" diğeri ise "geri çağırma" dır. Öğrenme, YS girişine uygulanan işarete cevap olarak, çıkış tabakasının ürettiği değer ile istenen çıkış büyüklüğü arasındaki, farkı en küçük yapacak şekilde, tabakalar arasındaki ağırlık katsayılarını uyarlamalı olarak değiştiren bir süreçtir. Burada sözü geçen istenen çıkış büyüklüğü, önceden belirlenmiş bir büyüklük olarak, devreye bir öğretici aracılığı ile öğretildiği için, bu tip yapay sinir ağlarının öğrenmesine "Denetimli Öğrenme " denir. Eğer istenilen çıkış verilmemişse, bu tip öğrenmeye de "Denetimsiz Öğrenme" denir. Öğrenme süreci ise yine bir kurala göre gerçekleştirilir. "Öğrenme Kuralı " denilen bu kural, girişlere cevap olarak, bağlantı ağırlıklarının nasıl değiştirileceğini tanımlar. Öğrenme, genel olarak, tüm örüntülerin bir çok kez tekrar edilmesini gerektirir. Bu şekilde YS'nin eğitim sürecinde giriş-çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmesi

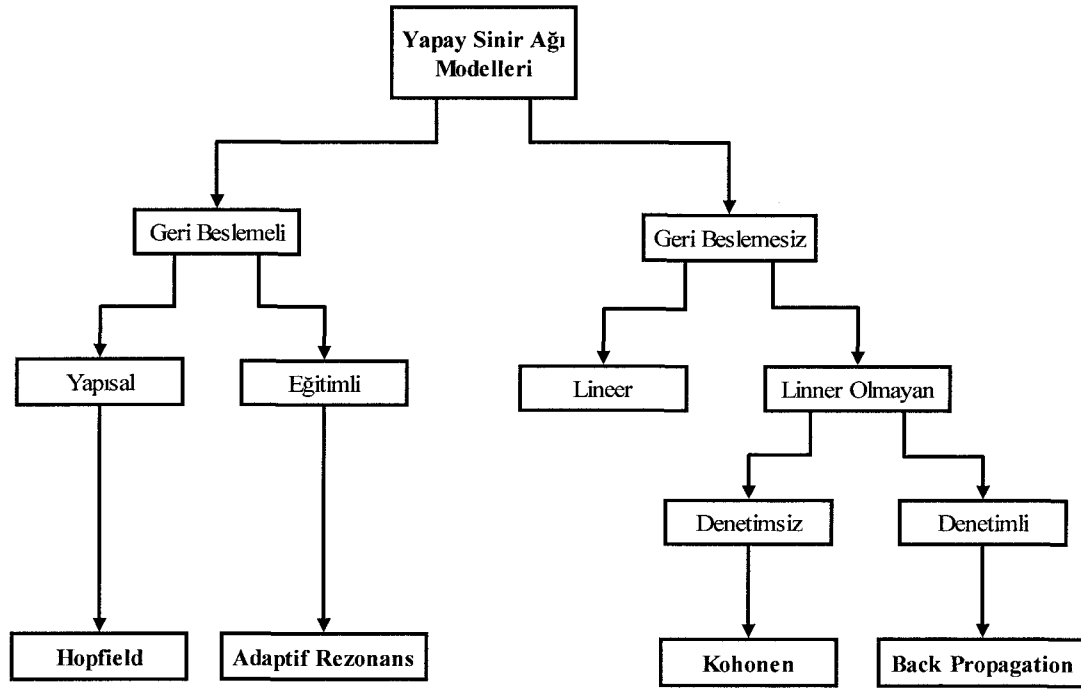
sağlanır. Geri çağırma ise, eğitimini tamamlamış bir YS için, girişe uygulanan işarete karşı, çıkıştan bir işaret üretilmesidir.

### 3.4 Yapay Sinir Ağları Öğrenme Algoritmalarının Ortaya Çıkışı

Yapay sinir ağları ile ilgili eğitim algoritmalarının başlangıç noktası Hebb'in 1949'da ortaya attığı öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma, bir nöronun nasıl öğrendiğini açıklamaktadır. 1950 ve 60'lı yıllarda araştırmacılar, fizyolojik ve biyolojik kavramları birleştirerek, nöronlardan oluşan yapay ağları geliştirdiler. Bu ağlar, başlangıçta elektronik devreler şeklinde oluşturulurken, zaman içinde algoritma şekline dönüştürülmüştür. Bu başarılar, yeni gelişme ve araştırmaların önünü açmıştır. Minsky, Rosenblatt ve Woodrow gibi araştırmacılar, perceptron adı verilen tek katmanlı devreler geliştirdiler ve bunları hava tahminleri, elektrokardiogram analizi ve yapay görme alanlarına başarı ile uyguladılar. Bunlardan sonra, yapay sinir ağları üzerindeki çalışmalar, yaklaşık 20 sene sürecek bir duraklama dönemine girmiştir. 1983'te, Amerika'daki "Gelişmiş Savunma Araştırma Projeleri" kurumunun yapay sinir ağları üzerindeki araştırmalar için bir fon ayırması, bu konudaki çalışmaları hızlandırmıştır. Bu ilgiye, yeni matematik yöntemlerin ortaya çıkması ve eskisine oranla çok güçlü bilgisayarların yapımı da neden olmuştur. Böylelikle daha karmaşık algoritmalar, daha kısa zamanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu konunun heyecan verici bir hale gelmesinin bir nedeni de, yapay sinir ağları algoritmalarının (YSA) ve mimarilerinin VLSI teknolojisine uygulanabilmesidir [54].

### 3.5 Yapay Sinir Ağı Algoritması Teori ve Modelleri

Mimari yapıları ve öğrenme algoritmalarına göre çok farklı tiplerde YS yapıları mevcuttur. Örnek olarak, Hopfield modellerinde yapıyı tek katmanlı nöronlar oluşturur. Her nöronun çıkışı, komşularına geri besleme ile bağlıdır. Back propagation (geri yayılım) ve Boltzmann gibi modellerde giriş ve çıkış nöronları arasında bir veya daha fazla katman vardır. Kendini düzenleyen modellerde ise, devre giriş vektörü, iki boyutlu nöron çıkış ağına bağlıdır. Şekil 3.3, yapay sinir ağlarının genel sınıflandırmasını, Tablo 3.1 ise uygulama alanlarının kronolojik sırasını göstermektedir [54].

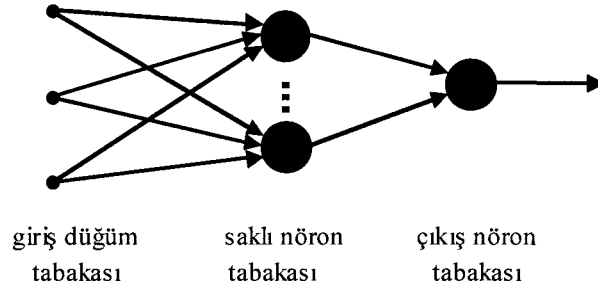


Şekil 3.3. Yapay sinir ağlarının genel sınıflandırması

Tablo 3.1 Yapay sinir ağlarının uygulama alanları ve kronolojik sırası

| Uygulama Alanları                                      | Kullanılan Model         | Yıl     |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|---------|
| Daktilo yazı karakteri tanımlama                       | Perceptron               | 1957    |
| Adaptif modemler, Telefon hatlarında yankı önleyiciler | Madaline                 | 1960-62 |
| Ses tanımlama, robot kollarda öğrenme                  | Avalanche                | 1967    |
| Konuşma sentezi                                        | Back-propagation         | 1974-85 |
| Veri tabanı açılımları                                 | Brain state in a box     | 1977    |
| Karakter tanımlama                                     | Neocognition             | 1978-84 |
| Radar ve sonar tanımlama                               | Adaptif rezonans teorisi | 1978-86 |
| Uçak yönlendirmesi                                     | Self-organizing map      | 1980    |
| Görüntü işleme                                         | Hopfield                 | 1982    |
| Çağırmsal bellek                                       | Hopfield                 | 1985    |
| Sonar ve radar                                         | Boltzmann                | 1985-86 |

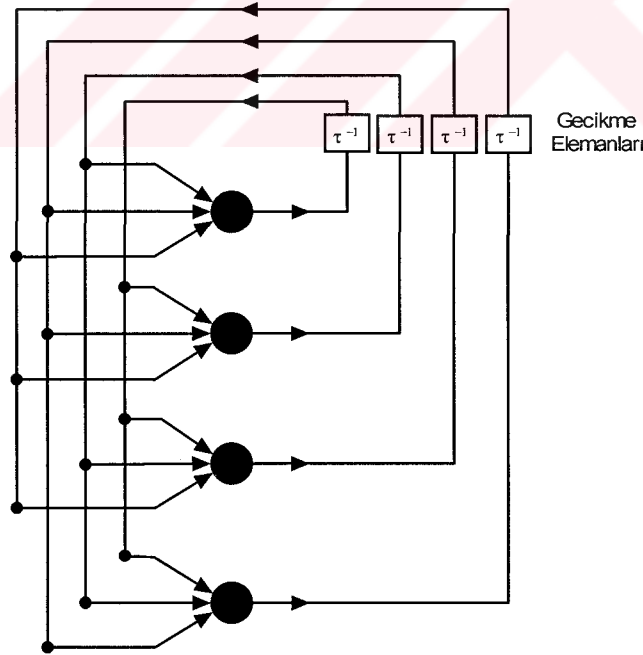
### 3.6 Çok Tabakalı Yapay Sinir Ağı Algoritmaları



Şekil 3.4 Üç girişe ve bir çıkışa ve bir saklı tabakaya sahip çok tabakalı bir yapay sinir ağının mimari yapısı.

Bu yapılar (Şekil 3.4), günümüzde çoğu YS uygulamalarının temelini oluşturmaktadır. Sözü edilen algoritmalar, yük tahmini, arıza yeri belirlenmesi, güvenlik değerlendirmesi sinyal işleme, optimal otomatik kompanzasyon, güç sistemi kararlılık kontrolü gibi elektrik güç sistemi alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadırlar [51, 53, 54].

#### 3.6.1 Hopfield algoritması



Şekil 3.5 Dört nöronlu bir Hopfield devresinin mimari yapısı

Kendini düzenleyen, çağrimsal bellek kullanan bir algoritmadır (Şekil 3.5). Tek tabakalı nöronlardan oluşur. Bunlar, hem giriş hem de çıkış işlemini yaparlar. Her

nöron çıkış işaretini kendi dışındaki diğer nöronlara giriş işareti olarak geri verir. Yapı, gecikme elemanlarını da içerir. Bu da, nöronların yapılarından kaynaklanan nonlinearliğe bağlı olarak, nonlinear dinamik bir davranış sergiler. Nonlinear dinamiklik, saklama fonksiyonuna da etkiler. Hopfield devresine bir nörona giriş örüntüsü uygulandığında, daha önce saklanmış örüntüler arasından ona en yakın olanı seçilerek çıkışa yollanır. Bu özellikleriyle, elektrik güç sistemlerinde optimizasyon problemlerinin çözümünde ve kısıtlılık analizlerinde çok başarılı sonuçlar veren bir yöntem olarak kullanılır [51, 54, 55].

### 3.6.2 Kohonen modeli

Denetimsiz (eğitici) ileri yönde bir modeldir. Bir olay uzayında işaret almak için adaptif nöronlar kullanır. Eğitmenin amacı, birbirine komşu nöronların benzer girişlere benzer çıkışlar vermesini sağlamaktır. Bu da, o birimin ve komşu birimlerin sinaptik ağırlıklarını değiştirerek sağlanır. Elektrik güç sistemlerinde, çok tabakalı devreler gibi, Kohonen modeli de yük tahmini incelemelerinde başarı ile kullanılmaktadır [53, 56].

### 3.6.3 Adaptif rezonans teorisi (ART modeli)

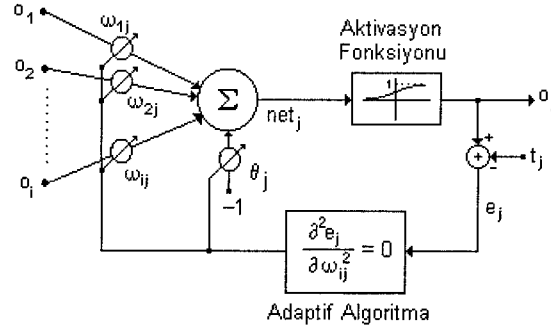
Oldukça güçlü bir model olmasına karşılık, veri depolama tabakasındaki nöronların sayılarının sınırlı kalması (arttırılamaması) gibi bir problemi vardır. ART modeli günümüzde araştırma amacı ile kullanılmaktadır. Belirli bir uygulama alanı yoktur [57].

### 3.6.4 Geriye yayılım (Back Propagation) algoritması

Matematiksel olarak geriye yayılım algoritması, interaktif (etkileşimli) ve denetimli (eğitici) bir algoritmadır. İleri yönde bilgi akışı, hatanın geri yönde yayılması ve ağırlıkların güncellenmesi algoritmanın üç temel unsurudur. Bu algoritma, saklı tabakalarda giriş uzayını tekrar kodlayabilme özelliği sayesinde zor öğrenme problemlerini çözebilen, çok katmanlı, lineer olmayan bir yöntem olarak tanımlanabilir. Araştırmacılar, iki tabakadan oluşmuş ve sigmoid fonksiyon kullanan bir geri yayılım algoritmasının oldukça güçlü problem çözme yeteneğine sahip

olduğuna işaret etmişlerdir. Fakat birden fazla sayıda saklı tabakaya sahip YSA'nin daha üstün olduğuna dair matematiksel bir kanıt yoktur [54].

Tüm nöral devrelerde olduğu gibi, bu algoritmada da problem, temel yapı taşları olan nöronlara bağlı ağırlık katsayılarının ayarlanmasıdır.



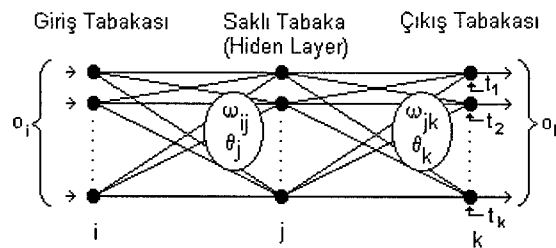
Şekil 3.6 Bir nöronun açık gösterimi

Şekil 3.6'da,

- $o_i$  : j. nörona giriş değeri
- $\omega_{ij}$  : j. nörona bağlı ağırlık katsayıları
- $\theta_j$  : j. nörona ilişkin ek terim (bias)
- $o_j$  : j. nöron çıkışı
- $t_j$  : j. nöronun hedef çıkış değeri

olarak tanımlanabilir.

Şekil 3.7'de yukarıdaki temel yapı kullanılarak gerçekleştirilmiş, giriş, ara ve çıkış tabakalarından oluşmuş, bilginin ileri yönde yayıldığı üç tabakalı bir ađ göz gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Üç tabakalı bir ađ

Burada, çıkış tabakasına ilişkin, ağırlıklı toplamlar ve gerçek çıkışlar aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\text{net}_{pk} = \sum_j \omega_{jk} \cdot o_{pj} + \theta_k \quad (3.6)$$

$$o_{pk} = f(\text{net}_{pk}) = f_{pk} \quad (3.7)$$

Benzer şekilde ara tabaka çıkarımları için de

$$\text{net}_{pj} = \sum_i \omega_{ij} \cdot o_{pi} + \theta_j \quad (3.8)$$

$$o_{pj} = f(\text{net}_{pj}) = f_{pj} \quad (3.9)$$

yazılabilir. Burada p örüntü sayısı, f lineer olmayan bir fonksiyondur.

f sigmoid fonksiyonu olarak tanımlanırsa

$$o_{pk} = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_j \omega_{jk} \cdot o_{pj} + \theta_k\right)}} \quad (3.10)$$

$$o_{pj} = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_i \omega_{ij} \cdot o_{pi} + \theta_j\right)}} \quad (3.11)$$

olur.

Şekil 3.5'deki ağız çıkış düğümleri için bir enerji fonksiyonu tanımlanırsa,

$$E = \frac{1}{2} \cdot \sum_p \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2, \quad E_{pk} = \frac{1}{2} \cdot (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Geriye yayılım algoritmasının amacı,  $E_{pk}$ 'yi minimum yapacak şekilde ağırlık katsayılarının ayarlanmasıdır. İlgili algoritma, Ek B'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

### 3.7 Yapay Sinir Ağları Algoritmasının Güneşten Gelen Enerji İle İlgili Tahminlere Uygunluğu

Güneşten gelen ve yeryüzüne ulaşan radyasyonun önceden kolaylıkla tahmin edilememesinin en büyük sebebi, atmosfer içindeki ışığı tutan ve yutan cisimlerin

tam olarak modellenememesidir. Ayrıca, yeryüzünden ve diğer cisimlerden yansıyan ışığın, her durum için hesaplanmasında da ciddi zorluklar vardır. Yeryüzüne gelen gün ışığı ile ilgili matematik modeller, belirli durumlar göz önüne alınarak çıkarılmışlardır ve değişken durumlar için doğru sonuçlar vermezler [24, 58] . Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, dinamik bir tahmin yöntemi ile daha iyi tahminler yapılabileceği sonucu ortaya çıkar [31,33,34,36].

Gökyüzünden gelen radyasyonun tahmini için kullanılacak yöntemin belirlenmesinde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır :

- Giriş ve çıkış büyüklükleri arasında karmaşık lineer olmayan ilişki kurma yeteneği,
- Bilgiyi güncellemek için öğrenme ve bunlarla ilgili genelleştirme yapabilme yeteneği,
- Tam olmayan ve birbiri ile ilişkisi az olan çok fazla bilginin işleneceği durumlara uygunluk,
- Esneklik,
- Belirsizlikleri değerlendirme yeteneği,
- Çok büyük ve karmaşık bir model kurulmasına ihtiyaç olmaması,
- Birbiri ile doğrudan ilişkisi olmayan verileri kullanabilme.

Tüm bu durumları göz önüne aldığımızda, YSA bir tahmin yöntemi olarak güneşten gelen enerjinin belirlenmesine uygunluk göstermektedir [33, 36].

Her bir giriş vektörünün istenilen bir çıkışla karşılaştırıldığı denetimli algoritma olarak geriye yayılım algoritması, basitliği, bu tip tahminlerde iyi sonuç verme özelliğinden dolayı kullanılmaktadır [33, 34]. Bu nedenle, bu çalışmada da geriye yayılım algoritması kullanılmıştır.



#### **4. GÜNEŞ PİLLERİNDEN YÜKSEK VERİMLE YARARLANMAK İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜ SİSTEMİ**

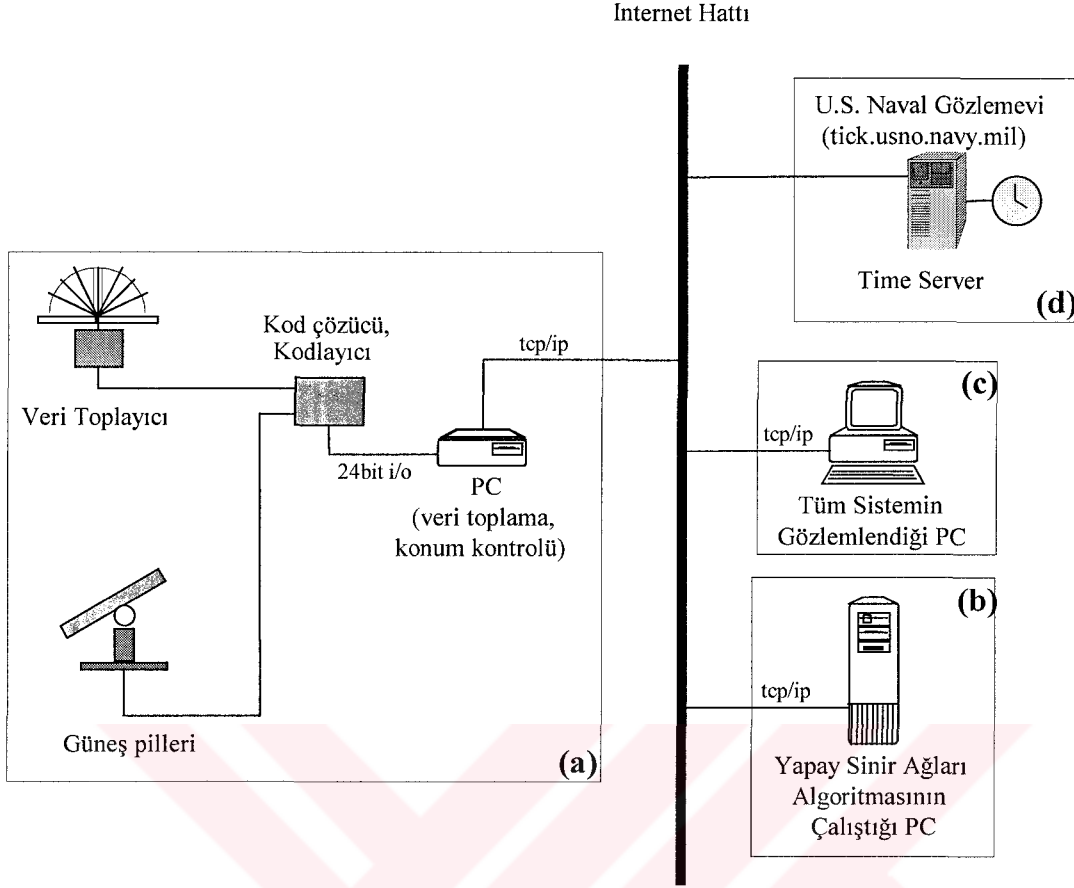
Bu bölümde, güneşten gelen enerjinin güneş panelleri tarafından daha verimli kullanımını sağlamak amacıyla geliştirilen algoritmanın çalışabilmesi için tasarlanan ölçü sistemi, genel hatları ile anlatılacaktır. Ölçü sisteminin kurulduğu yerdeki ayrıntılı resimleri ve data bağlantı şemaları EK C'de verilmiştir.

##### **4.1 Genel Yapı**

Ölçü sistemi, bir bilgisayar ağı üzerine kurulmuştur. Sistemin esnekliğini arttırmak amacı ile bu ağ, internet ağı seçilmiştir. Bu sayede, sistemin parçalarının aynı hacimde bulundurulma veya aralarında özel bir bağlantı yapılma zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Böylelikle, sistemin işleyişini kontrol edecek ve ona gerektiğinde müdahalede bulunacak kişi veya kişilerin bir telefon hattı olan herhangi bir yerde bulunmaları yeterli olmaktadır.

Şekil 4.1'de şematik gösterimi verilen düzenek, birbirleri ile internet hattı üzerinden haberleşen, üç temel bileşenden (a,b,c) meydana gelmektedir. Bunların dışında, PC'lerin (kişisel bilgisayar) saatlerinde zaman içinde oluşacak farkların ortadan kaldırılması için, bir zaman sunucusuna (time server) (d) ihtiyaç vardır. PC'ler, belirli periyotlarda, bu zaman sunucusundan saatlerini ayarlayarak kendi aralarındaki senkronizasyon hatalarını ortadan kaldırmaktadırlar.

Şekil 4.1a'da bulunan bilgisayar, ana program algoritmasının çalıştırıldığı makinedir. Ayrıca, atmosferden ve güneşten gelen ışık enerjisi ile ilgili bilgilerin toplandığı "Veri Toplayıcı" ve "Güneş modülü", bu bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayar, 24 (3x8) bitlik bir giriş/çıkış (i/o) kartı ile ölçüm ve kontrol işlemleri yapmaktadır.



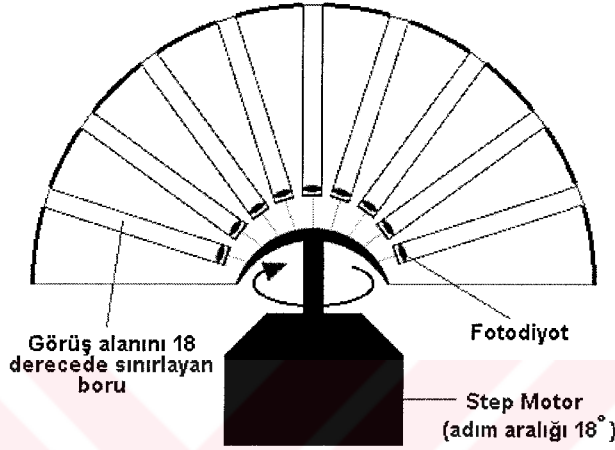
Şekil 4.1 Ölçü sisteminin şematik gösterimi

Şekil 4.1 b, yapay sinir ağları algoritmasının (YSA) üzerinde çalıştığı bilgisayarı göstermektedir. YSA'nin çalıştığı bilgisayar, ana algoritmayı çalıştıran bilgisayardan ayrı bir makine olarak tasarlanmıştır. Bunun amacı, oldukça fazla işlem gücü gerektiren YSA yazılımının daha hızlı çalışmasını sağlamaktır. Ayrıca, bu yapı sistemi modüler hale getirdiğinden, donanımsal olarak tasarlanmış bir YSA kullanılmak istendiğinde, düzeneğin genel yapısında ve yazılımlarında fazla bir değişiklik yapmasını gerektirmeyecektir.

Şekil 4.1 c, tüm düzeneğin çalışmasının izlendiği bir bilgisayardır. Bu bilgisayarla güneş modülünden alınan enerjinin miktarı, güneş modülünün konumu, veri toplayıcının aldığı veriler ve YSA işleyişi gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, gerektiğinde bunlara müdahale edilebilmektedir.

## 4.2 Veri Toplayıcı Kısım

Bu kısım, gökyüzünü 18'er derecelik uzay açıları ile tarayarak o bölgelerden gelen ışık enerjisini ölçmek amacı ile tasarlanmıştır. Sistem, iki eksende ölçüm yapabilmek için, dokuz tane birbirine eş özellikte ve uygun açılarda yerleştirilmiş fotodiyot ve adım aralığı 18 derece olan bir step motordan (adım motoru) oluşmaktadır.



Şekil 4.2 Veri toplayıcı kısmın şematik gösterimi

Adım motoru, 18 derecelik adımlarla, 180 derece kadar dönmektedir. Bu sayede fotodiyotlar tüm gökyüzünü taramaktadır (Şekil 4.2).

Şekil 4.3, fotodiyotun  $\alpha_b$  uzay açısını görmesi için içine konulacağı borunun kesitini göstermektedir.

Şekil 4.3'deki borunun uzunluğu ( $L_b$ ) basit bir geometrik ifade kullanılarak

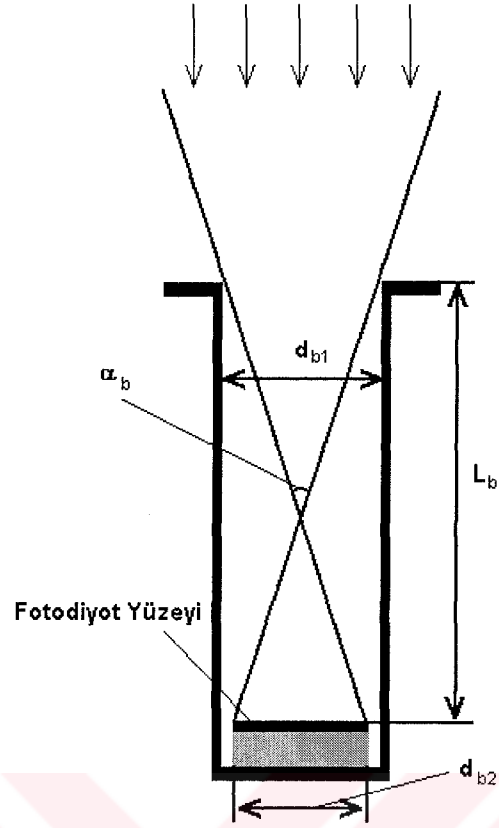
$$L_b = \tan\left(90 - \frac{\alpha_b}{2}\right) \cdot \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada

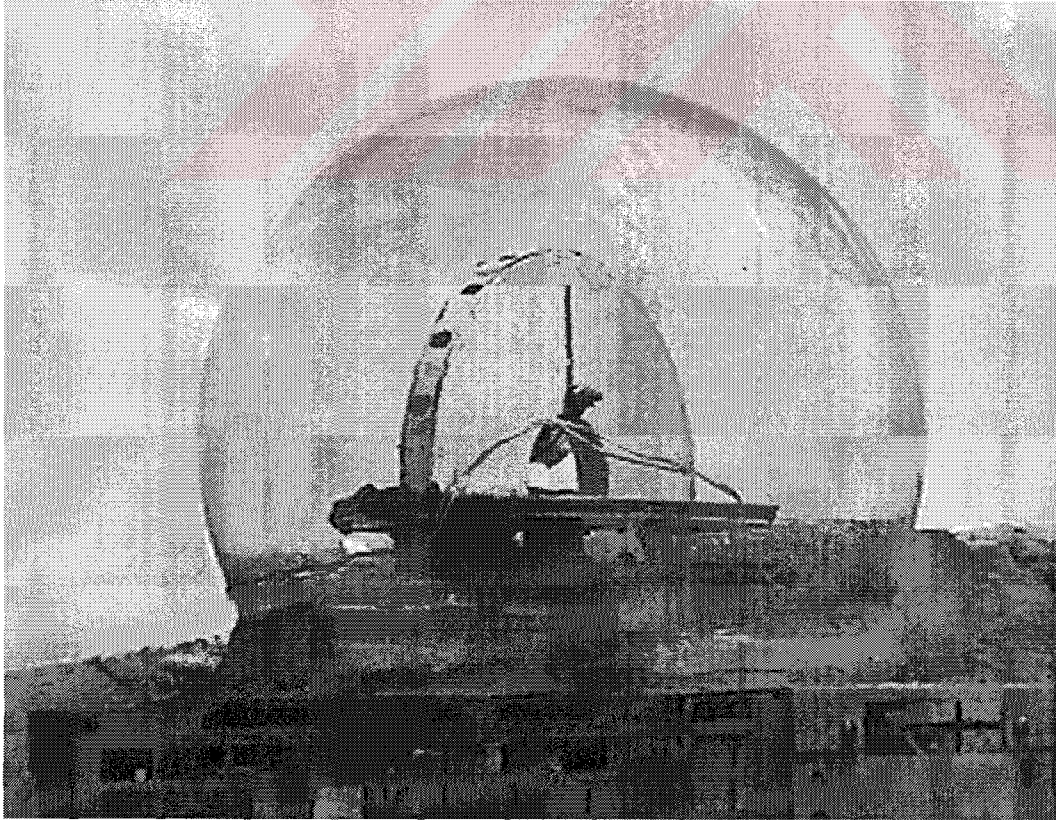
$d_{b1}$  : boru iç çapı,

$d_{b2}$  : fotodiyotun ışık gören bölgesinin çapını

göstermektedir.



Şekil 4.3 Fotodiyotun gördüğü uzay açının belirlenmesi



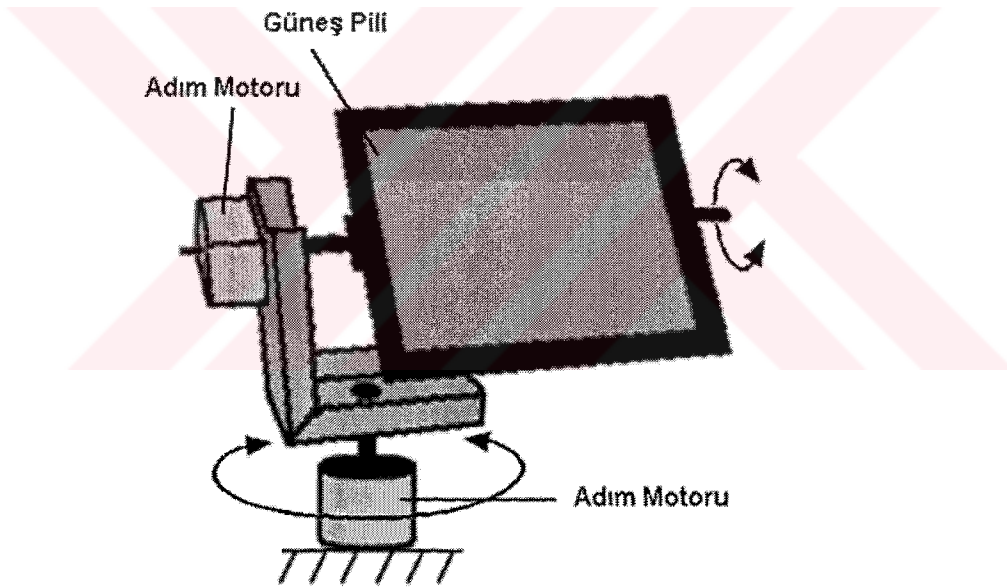
Şekil 4.4 Veri toplayıcı kısmın fotoğrafı

Veri toplayıcı kısmın kuzey-güney konumunda yerleştirildiği yerdeki fotoğrafı, Şekil 4.4'te verilmiştir. Burada, polikarbondan yapılmış saydam küre, içindeki cihazları dış etkilerden korumak amacı ile yerleştirilmiştir. Döner kısmın konumu, optik bir sensör tarafından algılanmaktadır.

#### 4.3 Güneş Panellerini Temsil Eden Kısım

Ölçü sisteminin bu kısmı, maksimum çıkış gücü 1.2 Watt olan Solarex firmasının MSX-01F modeli bir güneş modülü (Ek D) ile 18'er derecelik adımlarla dönebilen iki adet adım motorundan meydana gelmektedir.

Şekil 4.5, bu kısmın şematik bir gösterimidir. Güneş modülü iki adım motorunun uygun konum kombinasyonları sayesinde gökyüzünün istenilen bölgesine yönlendirilebilmektedir.



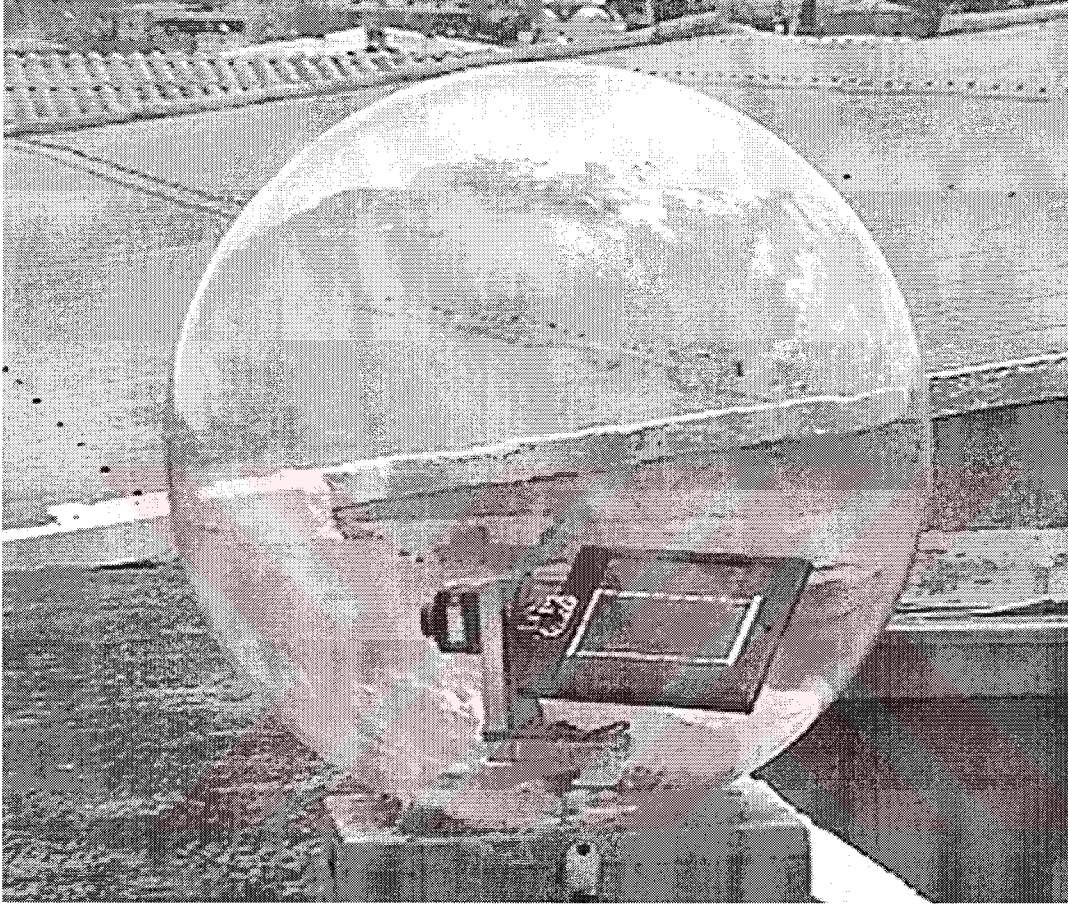
Şekil 4.5 Güneş panellerini temsil eden kısmın şematik gösterimi

Güneş panellerini modelleyen 1.2 Watt'lık güneş modülü ve bunu iki ekseninde hareket ettiren motorların bulunduğu grubun fotoğrafı, Şekil 4.6'da verilmiştir. Burada, grubun dışı, cihazları dış etkilerden korumak amacı ile bir saydam polikarbon koruma ile çevrelenmiştir. Bu koruma, güneş modülünün koyu renk olması yüzünden içeride oluşacak sera etkisini azaltmak amacı ile büyük tutulmuştur. Ayrıca, alt kısma yerleştirilmiş bir fanla sürekli olarak içerideki havanın değiştirilmesi sağlanmıştır.



Güneş modülünün sınır konumları, düşeyde ve yatayda iki limit anahtarı ile algılanmaktadır.

Veri toplayıcı sensörü ve güneş modülünü koruyan yarıkürelerin, iç yüzeyinden gelen ışık yansımalarının etkileri, uygun bilgisayar yazılımları ile yok edilmiştir.



Şekil 4.6 Güneş panellerini temsil eden kısmın fotoğrafı

#### 4.4 Kodlayıcı ve Kod Çözücü Kısım

Bu kısım, ölçü sisteminin, veri toplayıcı kısmı ile güneş panellerini modelleyen kısmının, bilgisayar ile olan bağlantısı için bir ara yüz (interface) görevini görür. Bilgisayarın giriş/çıkış (i/o) kartından gelen adım motorlarının hareket bilgilerini kuvvetlendirerek, adım motorlarına yönlendirir. Adım motorlarının konumlarını bildiren bilgileri de bilgisayarın i/o kartına yönlendirir. Veri toplayıcının fotodiyotlarından gelen analog işaretler, bir çoğullayıcı (multiplexer) tarafından teker teker alınır ve 8 bitlik bir analog-digital çevirici kullanarak sayısal hale getirilir.

Daha sonra, bu veriler bilgisayara gönderilir. Ayrıca bu kısımda, güneş modülünün gücü ölçülüp sayısal hale çevrilerek i/o kartına iletilir.

#### **4.5 Ölçü Sisteminde Kullanılan Bilgisayarlar ve Yazılımları**

Düzenek, üç adet PC tarafından çalıştırılmaktadır. Bunlar, mümkün olan en düşük işlemci gücü ve hafıza düşünülerek seçilmişlerdir.

Veri toplama ve konum kontrolü yapan bilgisayar Intel 80486 /66 işlemcili ve 8 Mb RAM'e sahip bir bilgisayardır. Üzerinde bir 24 bitlik i/o kartı bulunmaktadır. İşletim sistemi, Windows 95 olup, Bölüm 5 de ayrıntıları verilecek olan "Kontrol ve Yönlendirme Algoritması" bu bilgisayar üzerinde çalışmaktadır.

Üzerinde YSA'nın çalıştığı bilgisayar, Intel PII 450 Mhz işlemciye ve 64 Mb RAM'e sahiptir. İşletim sistemi olarak Windows NT Workstation 4 kullanmakta olan bilgisayarda DOS modunda, YSA çalıştırılmaktadır.

Sistemi gözlemlemekte kullanılan PC, Intel Celeron 433 işlemcili 32 RAM'e sahip bir Notebook bilgisayardır. Üzerinde Windows 98 işletim sistemi bulunan bilgisayarla, gerektiğinde internet hattının her hangi bir noktasından bağlanılarak, otomatik olarak işleyen ölçü sisteminin çalışması hakkında bilgi alınmakta ve istenirse, işleyişe müdahale edilebilmektedir.

#### **4.6 Ölçü Sisteminin Kurulduğu Yer**

Yukarıdaki bölümlerde kısaca yapısı ve parçaları tanıtılan ölçü sistemi,  $41^{\circ} 6.3'$  kuzey enlemi ile  $29^{\circ} 1.46'$  doğu boylamına bulunan, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsündeki Elektrik-Elektronik Fakültesi binasının terasına kurulmuştur.

Düzenegin kurulduğu noktadan 360 derecelik bir görüş açısı ile bakıldığı zaman görünen engeller, Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Bu şekil, 36 derecelik 10 tane fotoğrafın birleştirilmesi sonucu elde edilen resmin, parlaklık ve kontrastı değiştirilip iki renkli bir biçime getirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu fotoğraftan da rahatlıkla görülebileceği üzere, gökyüzünden gelen ışığı etkileyebilecek engellerin tamamına yakın bir kısmı, ölçüm bölgesinin altı olan 9 derecelik yükseklik açısı sınırının altında kalmaktadır.



Şekil 4.7 Düzenegin kurulduğu noktadan 360 derecelik bir görüş açısı ile bakıldığı zaman görünen engeller.



## **5. GÜNEŞ PİLLERİNİ YÖNLENDİRME İÇİN GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA**

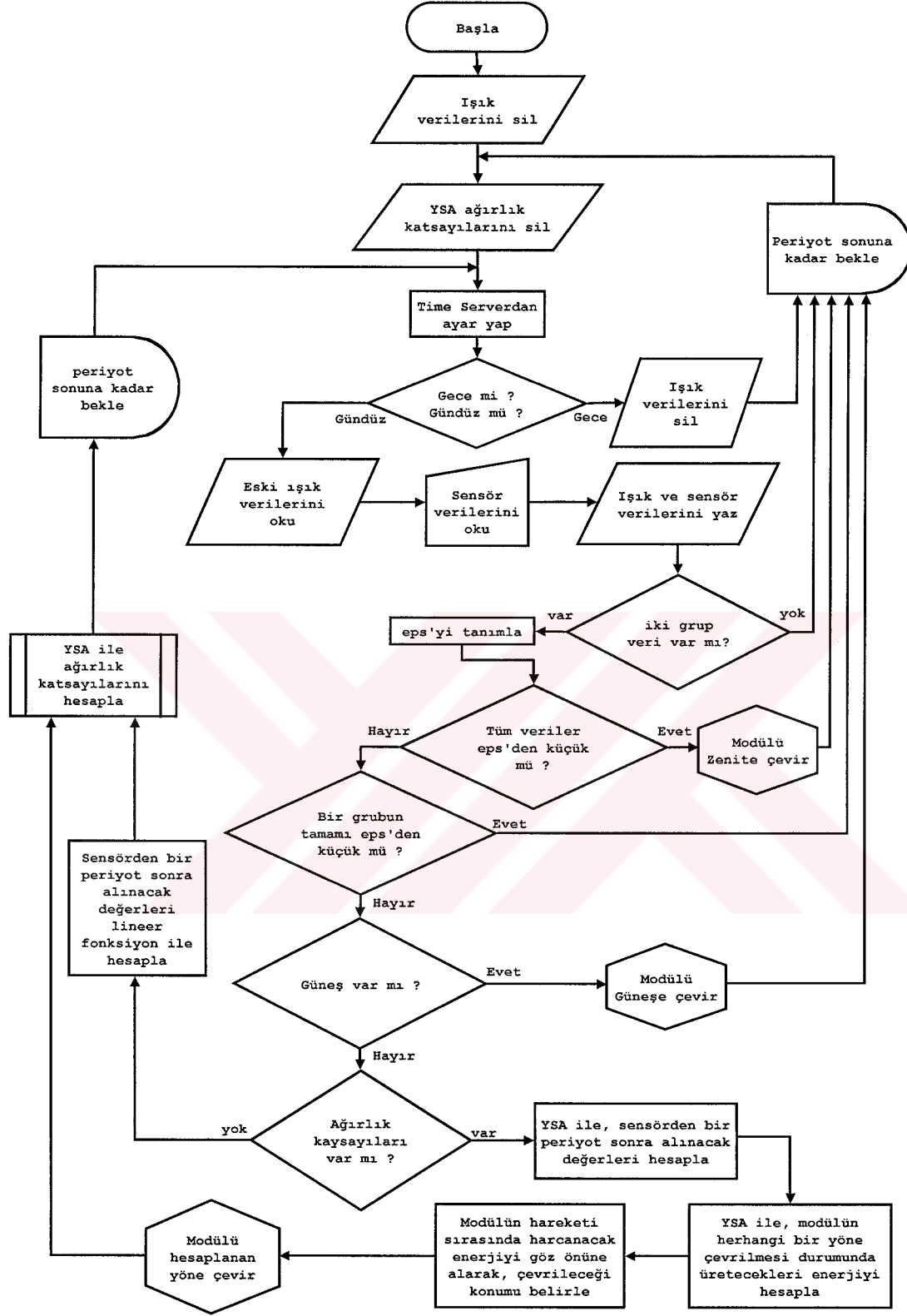
Güneş panellerinin kullanımında verimi arttırmanın yollarından biri, panelleri gün ışığından daha fazla yararlanacakları bir şekilde yönlendirmektir. Bu işlemi gerçekleştirmek için geliştirilen bir algoritma, bu bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

### **5.1 Görev Paylaşımı**

Ana program, periyodik olarak belirli zaman dilimlerinde çalışmakta, gelen enerjinin durumuna göre panellerin yönü ile ilgili bir karar vermekte ve bunu uygulamaktadır. Program, iki bilgisayarda eş zamanlı olarak çalışmaktadır. Bunlardan bir tanesi, yapay sinir ağları algoritmasının (YSA) modül olarak çalıştığı, işlem gücü yüksek bir bilgisayardır. Burada, YSA'nın öğrenme aşaması yapılmakta ve ağırlık katsayıları oluşturulmaktadır. Diğer ise, programın ana döngülerinin, karar verme mekanizmalarının ve panellerin hareketi için gerekli alt programların çalıştığı bilgisayardır. Bu makine, aynı zamanda, sensörün hareketi ile veri toplama kısmının çalıştırılmasını da üstlenmiştir.

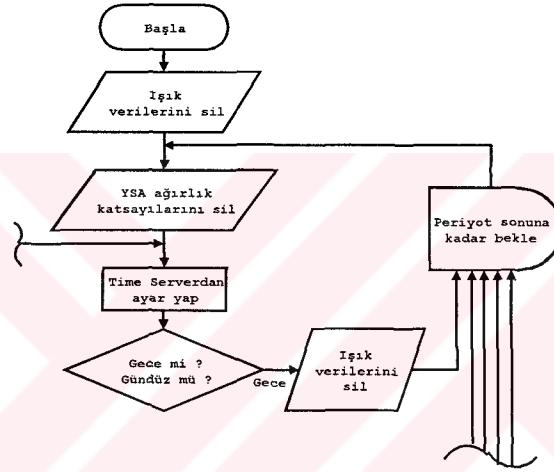
### **5.2 Gökyüzünden Gelen Enerji Miktarına Göre Sınıflandırma**

Tarafımızdan tasarlanan ve Şekil 5.1'de, akış diyagramının tamamı verilen program, güneş modülünün ürettiği enerji miktarına göre, altı durumu göz önüne alarak çalışmaktadır.



Şekil 5.1 Güneş modüllerinin güneşten daha verimli bir şekilde yararlanabilmesi için geliştirilen programın akış diyagramı

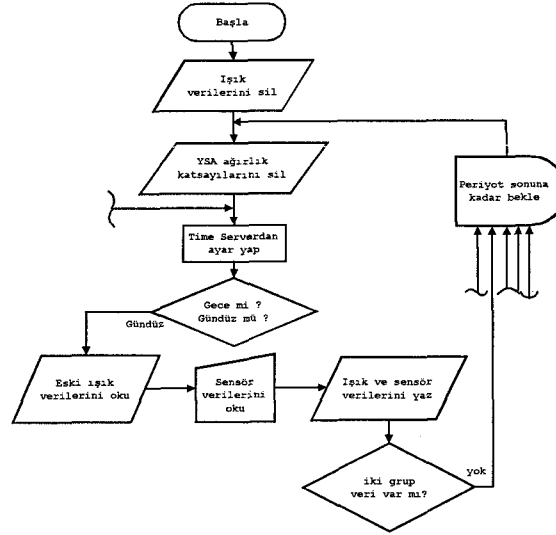
Bunlardan birincisi, gece durumudur (Şekil 5.1 deki akış diyagramının Şekil 5.2'deki döngüsü). Bu durum, güneş battıktan (ufuk çizgisinin altına indikten) 20 dakika sonraki ve doğmadan (ufuk çizgisinin üstüne çıkmadan) 20 dakika öncesi arasında geçen zamana karşılık gelmektedir. Elimizde bulunan güneş modülü ile yapılan ölçümlerde, açık bir günde, bu süreler arasında, güneş modülünden alınabilecek en yüksek enerji değerinin pilin nominal gücünün % 0.1 'inden daha aşağıda kaldığı görülmüştür. Tasarlanan algoritma, bu durum için, güneş panellerini hareket ettirmemektedir. Güneşin doğma ve batma zamanları, Bölüm 2'de verilen 2.3 ile 2.11 arasındaki ifadeler kullanılarak yazılan alt program yardımıyla hesaplanmaktadır.



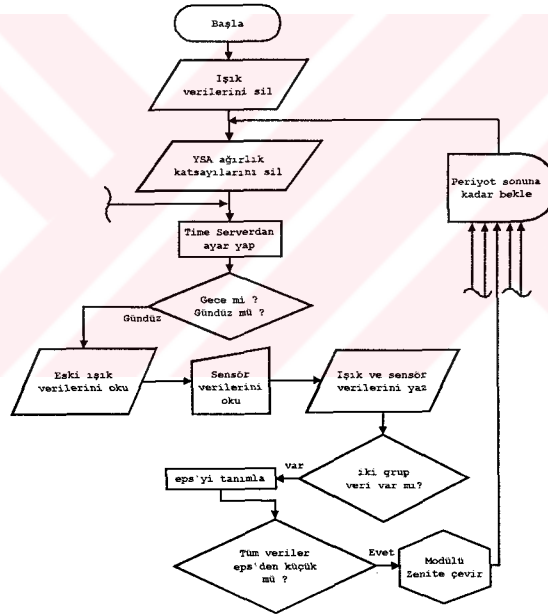
Şekil 5.2 Programın gece durumundaki döngüsü

İkinci durum, programın çalışmaya yeni başladığı veya her hangi bir sebepten dolayı çalışmasında kesinti meydana geldiği zamana karşı gelmektedir (Şekil 5.1'deki akış diyagramının Şekil 5.3'deki döngüsü). Burada program, sadece sensör tarafından veri toplamakta, panelleri hareket ettirmemektedir.

Üçüncü durum, tüm konumlar için, pillerin üretebileceği enerjinin düşük bir seviyede olmasına karşı gelmektedir (Şekil 5.1'deki akış diyagramının Şekil 5.4'deki döngüsü). Burada, paneller en fazla enerji alabileceği tahmin edilen ve her hangi bir yöne dönmesi için en az enerji harcanacak zenit doğrultusuna çevrilmektedir. Bu çalışma biçimi, güneşin ufka yakın olduğu bulutlu günler ile kış mevsiminde kapalı ve yağmurlu havalarda tercih edilmektedir.

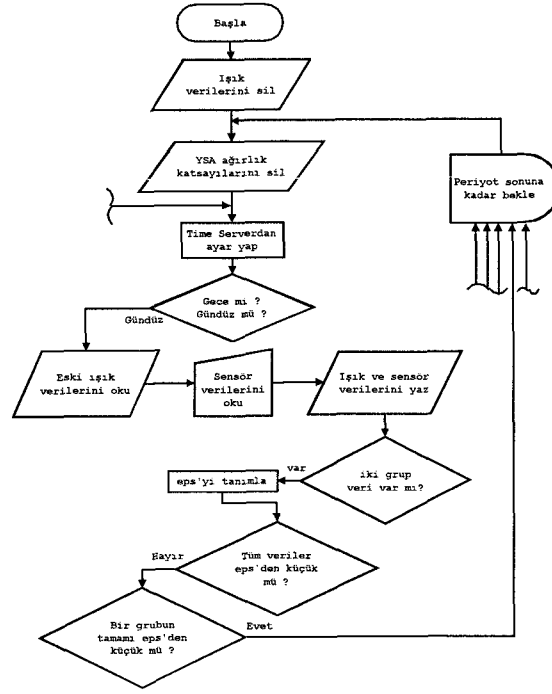


Şekil 5.3 Programın çalışmaya yeni başladığı veya her hangi bir sebepten dolayı çalışmasında kesinti meydana geldiği zaman izleyeceği yol

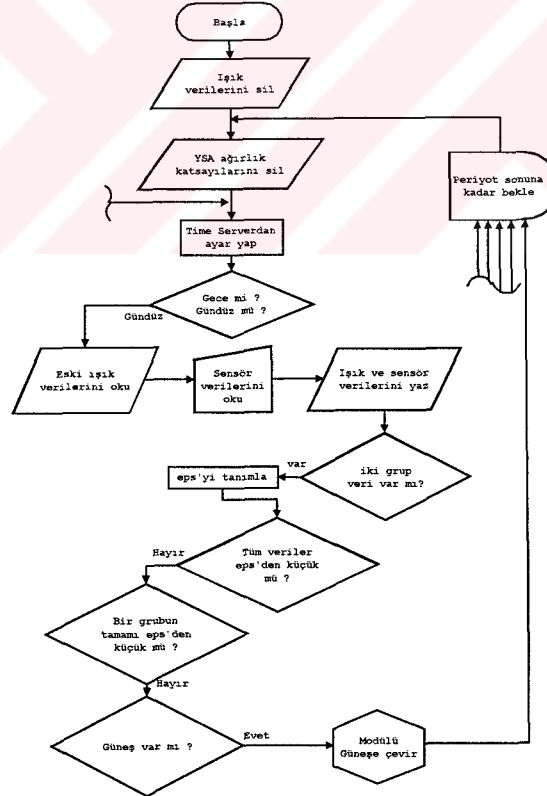


Şekil 5.4 Programın ışık seviyesinin düşük olduğu durumundaki döngüsü

Pillere gelen ışık enerjisinin bir periyotluk zaman için kesintiye uğraması veya azalması, dördüncü durum olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.1'deki akış diyagramının Şekil 5.5'deki döngüsü). Bu olay, havanın geçici olarak hızlı bir şekilde kararması veya herhangi bir sebepten dolayı gök ışığını ölçen cihazın önünün kapanmasından kaynaklanabilir. Burada, güneş modüllerinin konumları değiştirilmemektedir.



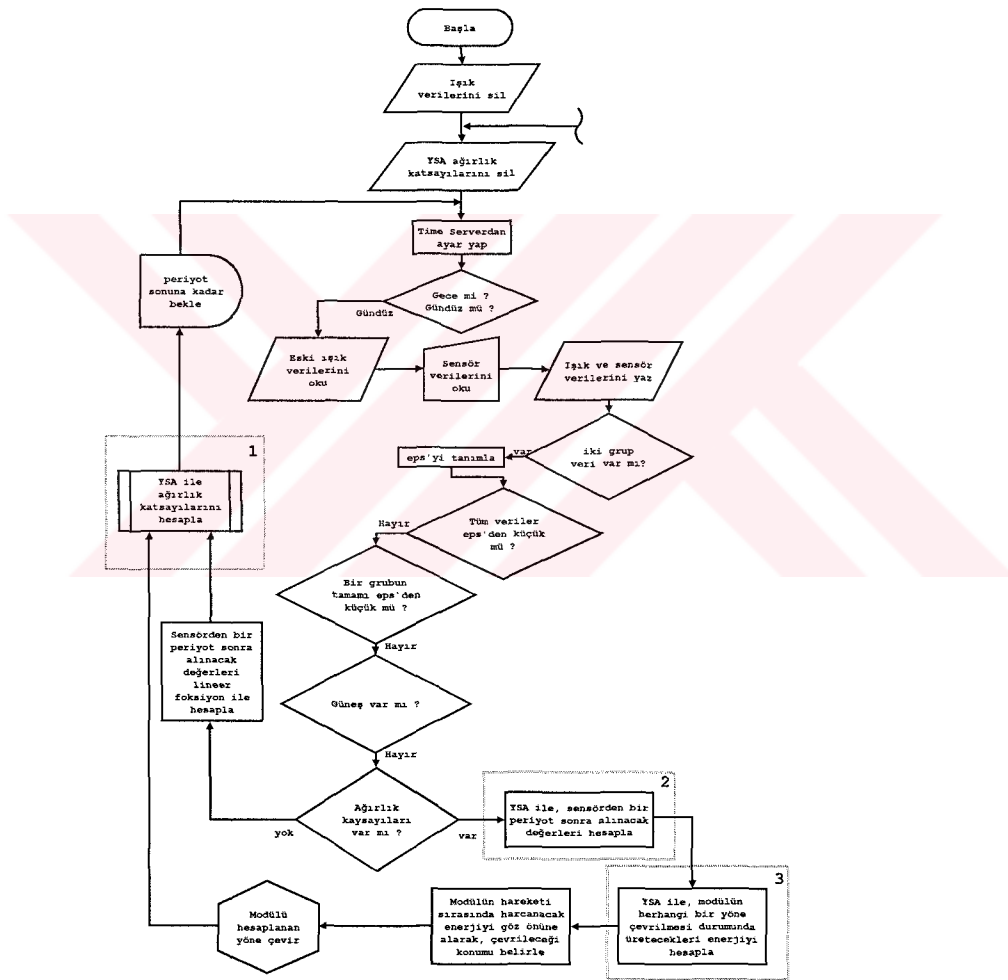
Şekil 5.5 Gelen ışık enerjisinin bir periyotluk zaman için kesintiye uğraması veya azalması durumunda programın izleyeceği yol.



Şekil 5.6 Programın güneşin olduğu durumdaki döngüsü

Beşinci durum güneşin olduğu durumdur (Şekil 5.1'deki akış diyagramının Şekil 5.6'daki döngüsü). Güneşin o andaki konumu, Bölüm 2'de verilen 2.3 ile 2.11 arasındaki ifadeler kullanılarak yazılan alt program yardımıyla hesaplanmakta ve paneller güneşe çevrilmektedir.

Altıncı ve son durum, havanın kapalı olduğu ama kullanılabilecek miktarlarda enerji üretmeye yetecek kadar ısımanın bulunduğu durumdur (Şekil 5.1'deki akış diyagramının Şekil 5.7'deki döngüsü). Bu durumda, yapay sinir ağları algoritması kullanılarak paneller, sistemden net olarak en çok enerji alınacak pozisyona getirilmektedir.



Şekil 5.7 Programın kapalı havalarda izlediği döngü

Bu döngü iki temel bölümden oluşmaktadır. Bunlardan biri, gerçek zamanda (real time) veri işleyerek, YSA için ağırlık katsayılarını sürekli güncelleyen kısımdır (1). Bu kısım başka bir bilgisayarda çalışmaktadır. Burada hesaplanan ağırlık katsayılarıyla sonraki döngüde, bir zaman dilimi (periyot) sonrası için sensörün

ölçeceği değerler tahmin edilmektedir (2). İkinci bölüm ise, daha önce hesaplanmış sabit ağırlık katsayılarını kullanarak, sensörün ölçtüğü değerlerden güneş panelinin istenen bir yöne çevrildiği durumda üreteceği enerjiyi tahmin eden, YSA programını içermektedir (3). Bu iki YSA programından sürekli ağırlık katsayılarını güncelleyeni Bölüm 5.4'de, diğeri ise Bölüm 5.5'de ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Ayrıca Şekil 5.7'deki döngüde yapılan işlemler de, bir bütün halinde ayrıntılı olarak, Bölüm 5.6'de açıklanmaktadır.

### 5.3 Sensör Tarafından Ölçülen Değerler

Program, Bölüm 5.2'de anlatılan durumlara, sensör tarafından alınan verileri değerlendirerek karar vermektedir. Bu yüzden, bu bölümde, sensörün ölçtüğü ve analog-digital çevirici ile sayısal hale getirilen verilerin anlamı yorumlanacaktır.

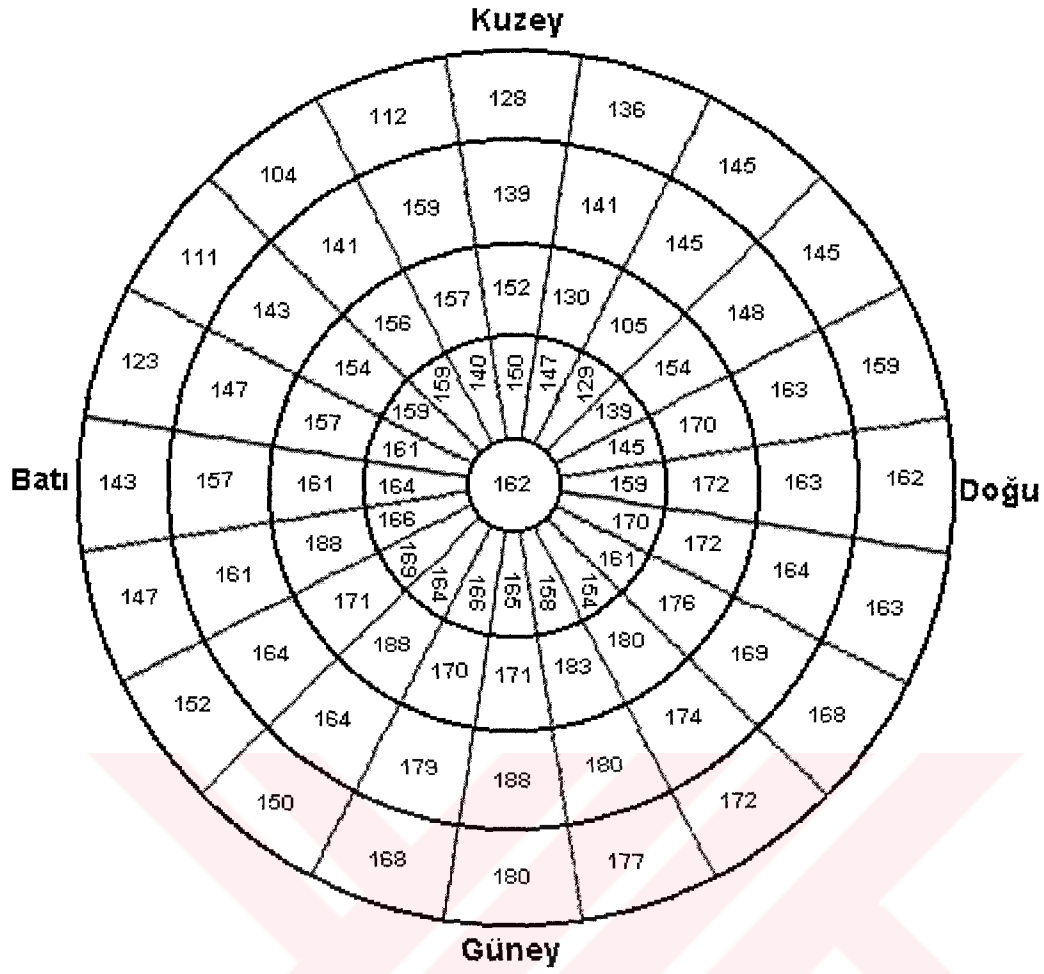
Tüm gökyüzü, sensör tarafından, her periyotun başında taranır. 18 derecelik uzay açılar ile taranan gökyüzünden gelen parıltı değerleri ile ilgili bilgiler, 8 bitlik bir Analog-Digital çevirici tarafından 0-255 arası sayısal değerlere çevrilerek bir matriste saklanır.

Yapılan çok sayıdaki ölçümler içinden, örnek olarak alınan 20 ocak 2000 saat 12:40 ta sensör tarafından ölçülen değerler, Tablo 5.1'de verilmiştir.

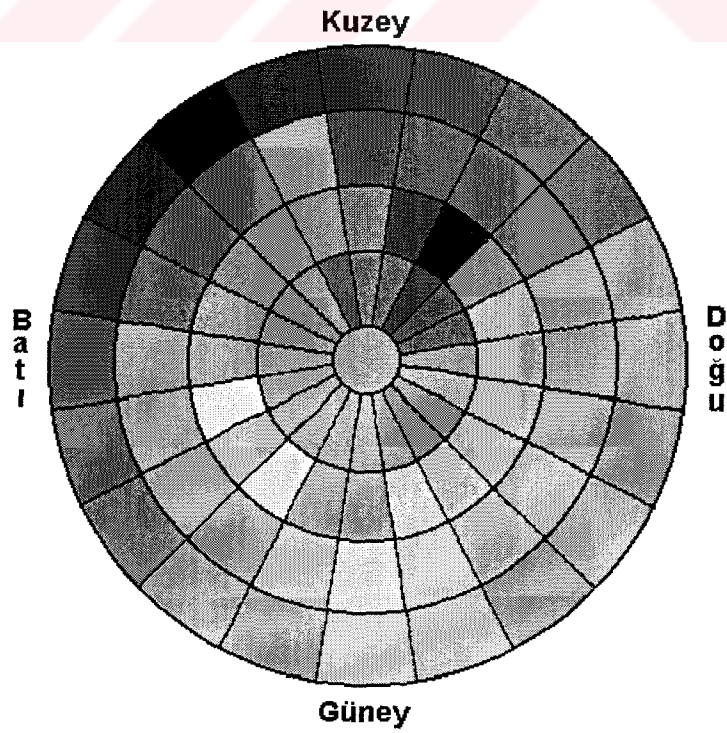
Tablo 5.1 20 ocak 2000 saat 12:40 daki veriler

| $\gamma_s \rightarrow$<br>$\alpha_s \downarrow$ | $18^\circ$ | $36^\circ$ | $54^\circ$ | $72^\circ$ | $90^\circ$ | $72^\circ$ | $54^\circ$ | $36^\circ$ | $18^\circ$ | $\leftarrow \gamma_s$<br>$\downarrow \alpha_s$ |
|-------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------------------------|
| $0^\circ$                                       | 128        | 139        | 152        | 150        | 162        | 165        | 171        | 188        | 180        | $180^\circ$                                    |
| $18^\circ$                                      | 136        | 141        | 130        | 147        | 162        | 166        | 170        | 179        | 168        | $198^\circ$                                    |
| $36^\circ$                                      | 145        | 145        | 105        | 129        | 162        | 164        | 188        | 164        | 150        | $126^\circ$                                    |
| $54^\circ$                                      | 145        | 148        | 154        | 139        | 162        | 169        | 171        | 164        | 152        | $234^\circ$                                    |
| $72^\circ$                                      | 159        | 163        | 170        | 145        | 162        | 166        | 188        | 161        | 147        | $252^\circ$                                    |
| $90^\circ$                                      | 162        | 163        | 172        | 159        | 162        | 164        | 161        | 157        | 143        | $270^\circ$                                    |
| $108^\circ$                                     | 163        | 164        | 172        | 170        | 162        | 161        | 157        | 147        | 123        | $288^\circ$                                    |
| $126^\circ$                                     | 168        | 169        | 176        | 161        | 162        | 159        | 154        | 143        | 111        | $306^\circ$                                    |
| $144^\circ$                                     | 172        | 174        | 180        | 154        | 162        | 159        | 156        | 141        | 104        | $324^\circ$                                    |
| $162^\circ$                                     | 177        | 180        | 183        | 158        | 162        | 140        | 157        | 129        | 112        | $342^\circ$                                    |





Şekil 5.8 Tablo 5.1'deki verilerin kutupsal koordinatlarda gösterimi



Şekil 5.9 Şekil 5.1'de verilen sayısal değerlerin gri tonlar ile gösterimi

Daha rahat izlenebilmesi açısından Tablo 5.1'de görülen örnek veriler, Şekil 5.8'de gökyüzünün yerdeki izdüşümünü çağrıştıran kutupsal koordinatlarda verilmiştir. Şekil 5.9'da ise kutupsal koordinatlarda açıklanan bu değerler, en aydınlık kısım açık gri ve en karanlık kısım koyu gri olmak üzere renklendirilerek gösterilmiştir.

Ana programın çalışması ve bulutluluk ile ilgili tahminler sırasında, YSA'ya öğretilen ve YSA tarafından hesaplanan veriler, Tablo 5.1'de verilen yapıdadır.

#### **5.4 Bulutlu Havalarda Gökyüzünün Parıltısının Tahmini**

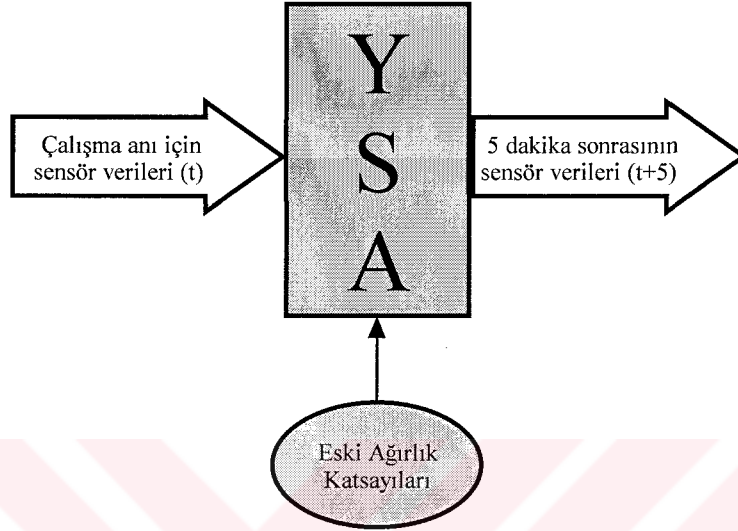
Güneş panellerinin kapalı havalarda en yüksek verimle çalıştığı durum, gökyüzünün parıltısının en çok olduğu yöne doğru çevrildiği durumdur. Gökyüzünün parıltısı, bulutların yapısı ve hızına bağlı olarak sürekli değişmektedir. Her an için parıltının en yüksek olduğu bölgeyi güneş panellerine izletmek fazla enerji harcayan bir yöntemdir. Çoğu durumda, özellikle kapalı havalarda, panellerin çıkış gücünün de nominal çıkış gücünün yüzde beşinin altında olduğu göz önüne alınırsa, bu yöntemin kullanışsız olduğu görülür. Burada, önerebilecek yöntemlerden biri, panelleri, belirli periyotlarda en az enerji harcayıp en çok enerji üretebilecekleri konuma getirmektir. Bunun sağlanması için, panelin, seçilen bir zaman dilimi sonrası ne kadar enerji üreteceğinin ve buna bağlı olarak da gökyüzünün parıltı dağılımının tahmin edilmesi gerekmektedir.

Geliştirilen program, yukarıda anlatılan amaçlar doğrultusunda, gökyüzünün parıltı dağılımının tahminini yapabilmek için gerçek zamanda çalışan bir YSA kullanmaktadır.

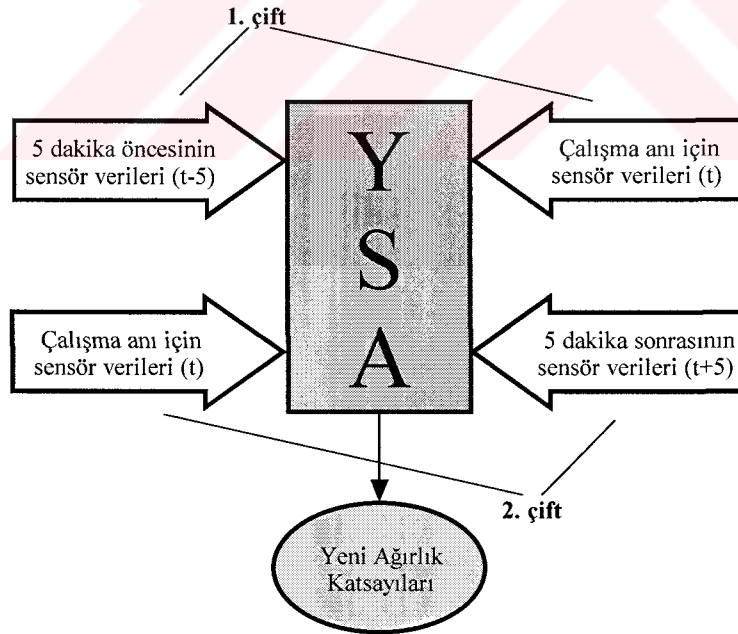
##### **5.4.1 Gerçek zamanda çalışan yapay sinir ağı algoritması için giriş ve çıkış verileri**

Gerçek zamanda çalışılan YSA için üç periyottaki veriler esas alınmıştır. Bunlar bir önceki, çalışma anındaki ve bir sonraki zaman dilimindeki verilerdir. Çalışmada periyot olarak 5 dakika alınmıştır. Bu değer göz önüne alındığında ve programın çalıştığı an  $t$  anı olarak adlandırıldığında YSA'nın öğrenme çiftlerinin ait olduğu zaman dilimleri  $t-5$ ,  $t$  ve  $t+5$  dakikadır. Bunlardan  $t-5$  ve  $t$  anlarındaki veriler doğrudan ölçüm sonucu sensörden elde edilen değerlerdir.  $t+5$  anındaki veriler ise bir önceki çevrimde YSA tarafından tahmin edilmiş verilerdir.

Eğer program, Şekil 5.7 'deki döngüye geldiğinde, bir önceki döngüden hesaplanmış  $t+5$  anına ait veriler yoksa (bu, ağırlık katsayılarının olup olmaması ile saptanmaktadır), bu değerler doğrusal bir fonsiyon yardımıyla hesaplanmaktadır. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de, gerçek zamanda çalışan YSA için, tahmin ve öğrenme süreçlerindeki giriş ve çıkış verileri gösterilmektedir.



Şekil 5.10 Tahmin sürecinde giriş ve çıkış verileri



Şekil 5.11 Öğrenme sürecinde giriş ve çıkış verileri

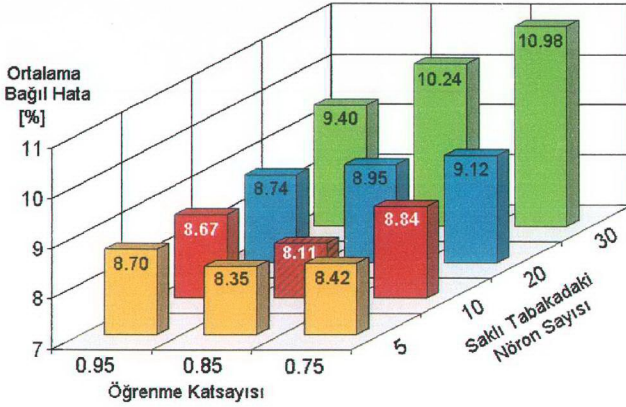
#### 5.4.2 Parametrelerin belirlenmesi

Sensörden herhangi bir t anında gelen veriler, Tablo 5.1'deki yapıdadır. Buradan, YSA'nın giriş ve çıkış düğümleri sayısı 90 olarak belirlenmiştir. İki tabakalı olarak seçilen ağda öğrenmeyi sağlamak (uygun ağırlık katsayılarının bulunması) için Geriye Yayılım Algoritması (GYA), aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

YSA, bir döngüdeki öğrenme sürecini bir periyotluk zaman dolmadan tamamlamak zorundadır. Bu yüzden, YSA'nın üzerinde çalıştığı bilgisayarın işlemcisinin gücü yüksek olmalıdır. Sınırlı bir zaman aralığı içinde öğrenme işini tamamlamak zorunda olan algoritmanın öğrenmesini kolaylaştırmak için, ağırlık katsayılarının ilk değerleri rasgele seçilmemekte ve bir önceki periyotta hesaplanan değerler alınmaktadır.

İterasyonu durdurma kriteri olarak, toplam hata yerine, iterasyon zamanı alınmıştır. Bunun sebebi, öğrenme işleminin beş dakika (300 s) olarak seçilen bir periyotluk zaman içinde tamamlanma zorunluluğudur. Öğrenme süreci dışında, ana algoritmanın bir döngüde harcadığı en fazla zaman, 10 saniyenin altında kaldığından, YSA'nın öğrenme süreci için 280 saniye ayrılmıştır. Geriye kalan 10 saniyelik süre ise bilgisayarların haberleşmesi sırasında oluşabilecek gecikmelere bırakılmıştır.

Gerçek zamanda çalışan YSA'nın saklı tabakadaki nöron sayısının ve öğrenme katsayısının saptanmasında, 1999 yılının rasgele seçilen 90 gününde alınan 2500 örnek veri kullanılmıştır. Öğrenme katsayısının 0.95, 0.85, 0.75 değerleri ve saklı tabakadaki nöron sayısının 5, 10, 20, 30 değerleri için, bu veriler kullanılarak, YSA çalıştırılmıştır. Hesaplanan ağırlık katsayıları yardımı ile tahmin edilen değerler, bir periyot sonra ölçülen değerlerle karşılaştırılarak, bağıl hatalar yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar, Şekil 5.12 de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere bağıl hatanın en az olduğu durum, öğrenme katsayısının 0.85 ve saklı tabakadaki nöron sayısının 10 alındığı durumdur. Burada, iterasyonu durdurma kriteri zaman olduğundan, YSA'nın öğrenme sürecinin çalıştığı bilgisayarın işlem hızı değiştirilirse bu parametrelerin yeniden belirlenmesi gerekir.

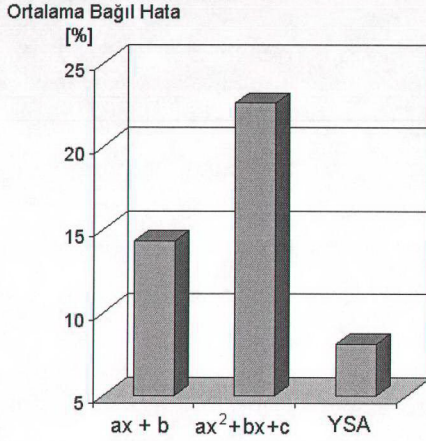


Şekil 5.12 Öğrenme katsayısı ve saklı tabakadaki nöron sayısının yüzde bağıl hata üzerindeki etkisi

#### 5.4.3 Bulutlu havalarda gökyüzünün parıltısının tahmininde farklı yöntemlerin karşılaştırılması

Bu çalışmada, YSA dışında, alınan verilere birinci ve ikinci mertebeden fonksiyonlar uydurularak da tahmin yapılmıştır. Bunun amacı, seçilen YSA yönteminin kullanılabilirliğini göstermektir. Şekil 5.14, 1999 yılında toplanan tüm veriler için bu üç yöntem sonucu hesaplanan tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama bağıl hatayı karşılaştırmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi YSA kullanıldığında %8 civarında olan hata, son iki değerden geçirilen birinci mertebeden bir fonksiyon kullanıldığında %14 dolaylarına çıkmıştır. Son üç değerle hesaplanan 2. mertebeden fonksiyon kullanıldığında da, bu hata, %22 dolaylarına çıkmaktadır. Tüm bu sonuçların ışığı altında, sözü edilen tahmin için YSA kullanılmasının uygun bir karar olacağı görülmüştür.





Şekil 5.13 Birinci , ikinci mertebeden fonksiyonlar ve YSA kullanılarak yapılan tahminler sonucu oluşan ortalama bağlı hatalar

#### 5.5 Ölçüm Değerleriyle Panellerinin Hareketine Bağlı Üretim Enerjisinin Tahmini

Kapalı havalarda, sensörden alınan bilgiler kullanılarak, panellerin herhangi bir yöne çevrilmesi durumunda üretecekleri enerjinin bilinmesi, pillerin o yöne çevrilme kararını etkileyen en önemli parametrelerden biridir.

Tasarlanan program içindeki bir alt program, bu amaçla, YSA kullanarak sensör verileri ile panel çıkış güçleri arasında bir bağlantı kurmaktadır. Bu işlem, 90 giriş ve 90 çıkış düğümü bulunan bir yapay sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. Ağırlık katsayılarının belirlenmesi için bu tip verilerin işlenmesinde oldukça iyi sonuçlar veren, Geriye Yayılım (Back Propagation) Algoritması kullanılmıştır.

##### 5.5.1 Panellerden alınacak enerjinin klasik yöntemlerle tahmin zorluğu

Güneş panellerine ulaşan ışık enerjisi, üç kaynaktan gelmektedir. Bunların en kuvvetlisi, doğrudan güneşten gelen ışıktır. Kaynaklardan ikincisi, gökyüzüdür. Dolaylı güneş ışıınının bir bölümü gökyüzünden ve buradaki bulutlardan yansarak gelmektedir. Bu iki kaynaktan gelen ışığın bir kısmı yeryüzü tarafından yutulur. Bir kısmı ise yansıtılır. Özellikle panellerin yer normali ile yaptıkları açının küçük olduğu durumlarda, yerden yansarak gelen enerji de önem kazanır [19].

Yerden yansiyarak gelen ışık (ground albedo), yerin bitki örtüsünden yapışmanın türüne ve mevsimlere kadar bir çok değişkene bağlıdır [14]. Ayrıca, güneş panellerine bu yolla gelen enerji, panellerin açısı ve yönü ile de ilişkilidir.

Tüm bu veriler ışığı altında, gökyüzünden gelen enerjiyi, daha önce anlatılan ve ölçme sisteminde kullanılan yapıda bir sensörle ölçmek gerekir. Daha sonra buradan alınan verileri kullanarak, panellerin her hangi bir konumunda üretilecek enerjiyi hesaplamak için gelişmiş bir yöntemle ihtiyaç vardır. Klasik eğri uydurma ve regresyon analizi yöntemleri hatalı sonuçlar verebilmektedir.

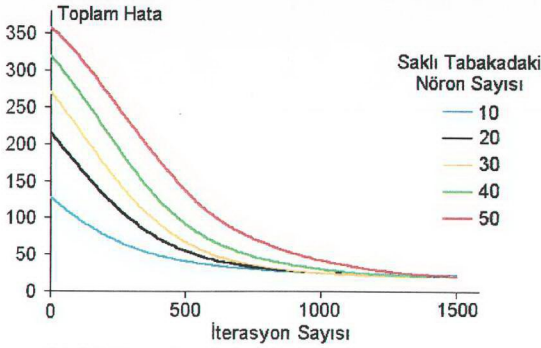
Bu çalışmada, sonraki bölümlerde ayrıntıları verilecek olan yapay sinir ağları kullanarak, yukarıda sözü geçen tahmin yapılmaya çalışılmıştır. YSA'nın gerek lineer olmayan verileri işlemedeki başarısı, gerekse bu tip, çok sayıda parametrenin iç içe geçtiği durumlardaki tahmin yeteneği, bu kararı vermeye iten faktörlerin başında gelmektedir.

#### 5.5.2 Güç tahmininde kullanılan yapay sinir ağı algoritmasındaki parametrelerin seçimi

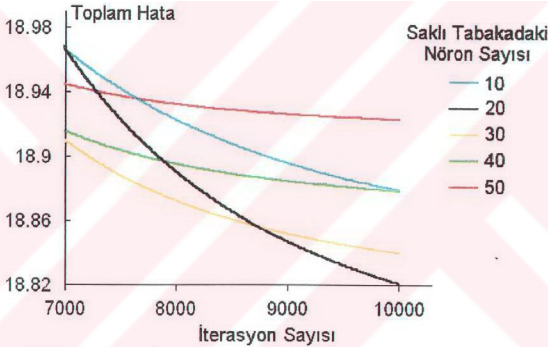
Veri toplayıcı sistem gökyüzünün bir andaki durumu için 90 sayısal büyüklük toplamaktadır. Buna benzer şekilde, güneş paneli de yatay ve düşeyde 18 derecelik hareketler sonucu, 90 farklı konuma getirilebilmektedir. Bu verilerden yola çıkılarak YSA için tasarlanan ağ 90 girişli ve 90 çıkışlı ve iki tabakalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Aktivasyon fonksiyonu olarak 0 ile 1 arasında değişen sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

Saklı tabakadaki nöron sayısı 10, 20, 30, 40 ve 50 alınarak, öğrenme aşamasındaki toplam hataların iterasyon sayısı ile değişimleri (Şekil 5.14a ve Şekil 5.14b) incelenmiştir.



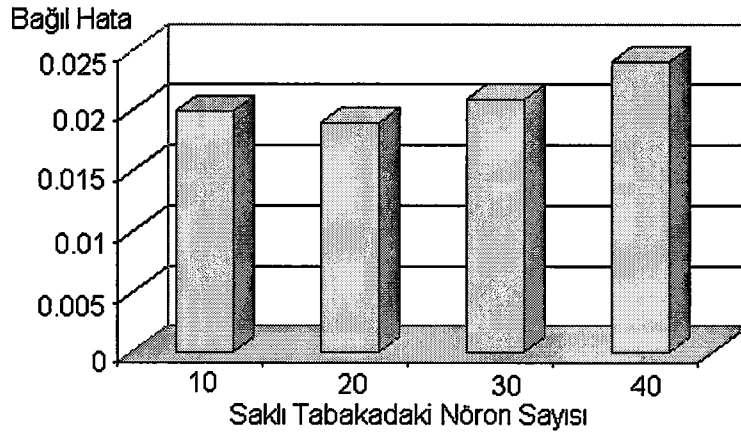
Şekil 5.14a İterasyon sayısı ile toplam hatanın değişimi



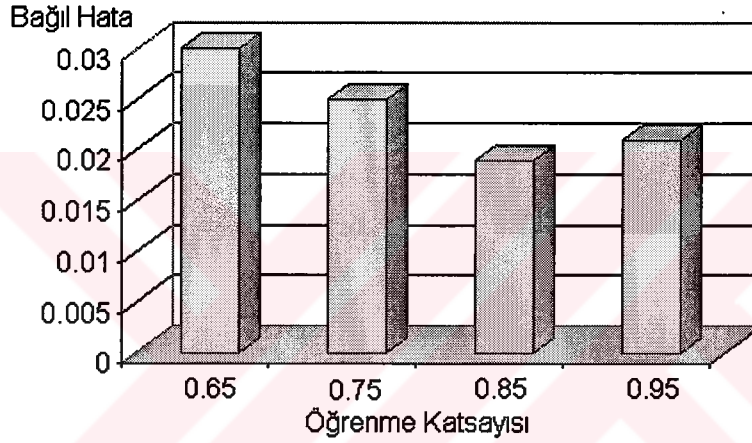
Şekil 5.14b İterasyon sayısı ile toplam hatanın değişimi

Ayrıca, 15000 iterasyon sonucu elde edilen ağırlık katsayıları kullanılarak yapılan tahmin değerlerindeki ortalama bağıl hatalar, farklı nöron sayıları için hesaplanmıştır (Şekil 5.15). Bu eğrilerden yola çıkılarak, saklı tabakadaki en uygun nöron sayısı 20 olarak belirlenmiştir. 0 ile 1 arasında değerler alabilen öğrenme parametresinin de, 0.65, .0.75, 0.85 ve 0.95 değerlerindeki bağıl hatanın değişimi incelenerek (Şekil 5.16), 0.85 alınmasına karar verilmiştir.



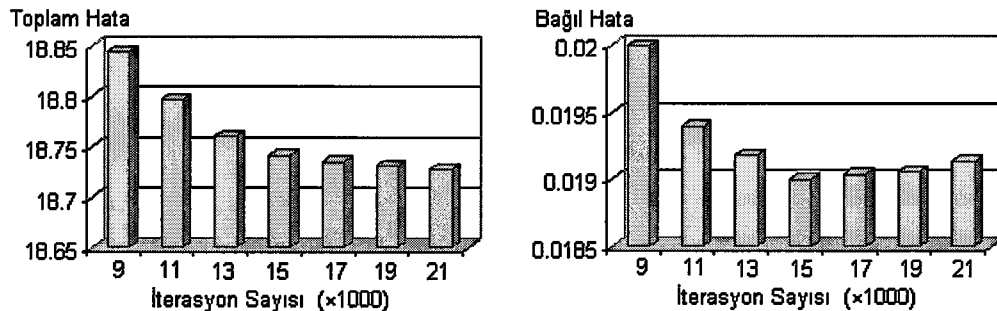


Şekil 5.15 Saklı tabakadaki nöron sayısı ile bağıl hatanın değişimi



Şekil 5.16 Farklı öğrenme katsayıları için bağıl hatanın değerleri

Yapılan incelemeler sonucu, iterasyon sayısının belirli bir değerden sonraki artışı, tahmin sonucu bulunan değerlerdeki bağıl hatanın artmasına yol açmaktadır. Saklı tabakadaki nöron sayısı 20, öğrenme katsayısı 0.85 alınarak çeşitli iterasyon değerleri için, öğrenme sırasındaki toplam hata ile tahmin sırasındaki bağıl hata Şekil 5.17'de verilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkarak, kullanılan sistem için en uygun iterasyon değerinin 15000 olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.17 İterasyon sayısının bağıl ve toplam hata üzerindeki etkisi

### 5.5.3 Öğrenme süreci için veri toplanması

Güneş panelinin üreteceği enerjinin, sensörün ölçtüğü değerlerle tahmin edilmesi aşaması için çalıştırılan YSA'nın öğrenme sürecindeki veriler, 1999 yılı içinde rasgele alınan yüz örneği içermektedir. Bağlı hataların hesaplanmasında, aynı yıla ilişkin rasgele farklı yüz adet örnek alınmıştır. Bu bilgilerin güneş modülünden gelen kısmı watt biriminde olup, YSA'nın çıkış büyüklükleridir. Sensörden gelen bilgiler ise, o bölgeden gelen enerji ile orantılı 0-255 arasında değerlerden oluşmaktadır. Bu veriler, YSA'nın giriş büyüklükleridir. Giriş ve çıkış dizileri, kendi aralarında değerleri 0.1 ile 0.9 arasında olacak şekilde normalize edilerek, YSA'da kullanılmışlardır. Bunun amacı, 0-1 arasında değişen sigmoid fonksiyonunun asimtotik değerlerinden uzak durmaktır.

## 5.6 Kapalı Havalarda Maksimum Enerji Üretecek Şekilde Güneş Panellerinin Yönlendirilmesi

Kapalı, fakat enerji üretilebilecek kadar aydınlık olan havalarda program, Şekil 5.7'deki döngüyü izler. Daha önceden, gerçek zamanda çalışan YSA için hesaplanmış ağırlık katsayılarının olmaması durumunda,  $t+5$  anındaki sensör verileri, önceden ölçülmüş değerler ( $t-5$  ve  $t$  anlarındaki) kullanılarak bir doğrusal fonksiyon yardımıyla üretilir. Sonra, tüm bu değerler YSA'nın öğrenme aşamasında kullanılır (Şekil 5.11).

Önceden hesaplanmış ağırlık katsayılarının olması durumunda, YSA ile  $t+5$  anı için sensör verileri tahmin edilir (Şekil 5.10).

$t$  anı için ölçülen ve  $t+5$  anı için hesaplanan değerler, Bölüm 5.5'de anlatılan ve sensör verilerini kullanarak, tüm yönler için, 1.2 watt gücündeki güneş panelinin üreteceği güçleri hesaplayan YSA'ya gönderilir. Bu YSA'nın çıkışı olarak,  $t$  ve  $t+5$  anlarında tüm yönlerle ilişkin üretilebilecek güçler bulunur. Bu değerler  $W_{t0}$  ve  $W_{t5}$  matrislerinde saklanır. Matrislerin yapısı Tablo 5.1 de verilen biçimdedir. Sadece sensör verilerinin yerini, panel o konuma döndüğünde, panelin üreteceği güç değeri almıştır.

$t$  anından  $t+5$  anına kadar geçen süre içinde, tüm yönler için panellere gelen enerjinin doğrusal olarak değiştiği kabul edilirse, sözü geçen beş dakikalık (300 saniye)

zaman diliminde panellerin üreteceği toplam enerjiyi gösteren matris ( $U_{t05}$ ) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$[U_{t05}] = \left( \frac{[W_{t0}] + [W_{t5}]}{2} \right) \cdot 300 \quad [\text{joule}] \quad (5.1)$$

Burada  $U_{t05}$  , panelin 300 saniyelik süre içinde herhangi bir konumda sabit olarak durduğunda aldığı toplam enerji değerlerini içermektedir.

Panelin bulunduğu konumdan, olası tüm konumlara dönmesi ve o konumda tutulması için harcanacak enerjileri içeren matrisi  $T_t$  olarak tanımlanırsa.

$$[N_e] = [U_{t05}] - [T_t] \quad [\text{joule}] \quad (5.2)$$

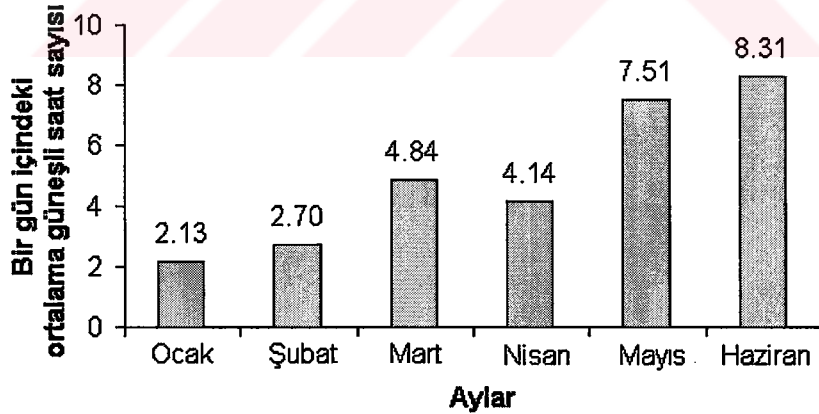
şeklinde yazılabilir. İfadede  $N_e$  ile gösterilen matris, panelin  $t$  anında, bulunduğu konumdan olası diğer tüm konumlara çevrilmesi ve 5 dakika süresince orada sabit durması halinde sistemden alınacak enerji değerlerini göstermektedir. Algoritma, paneli, bu matrisin en büyük değerinin bulunduğu konuma çevirmektedir.

## 6. ELDE EDİLEN DEĞERLERİN YORUMU VE KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 4'te ayrıntıları verilen ölçü sisteminin 1 Ocak 2000 tarihinden 30 Haziran 2000 tarihine kadar topladığı verilerden yararlanılarak elde edilen grafikler ve bunların yorumları bu bölümde anlatılacaktır.

Güçler, Ek D'de özellikleri verilen mini modül tarafından alınan değerlerin Ek E'deki modül tarafından alınabilecek değerlere dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Dönüşümün yapılma sebebi, Ek E'deki modülün çıkış gücünün, yaklaşık olarak bir metrekaarelik alana gelen toplam enerjinin 1/10 'una karşı gelmesidir. Bu sayede, üretilen değerlere bakılarak, yeryüzüne gelen enerji miktarı hakkında bir fikre sahip olunabilmektedir.

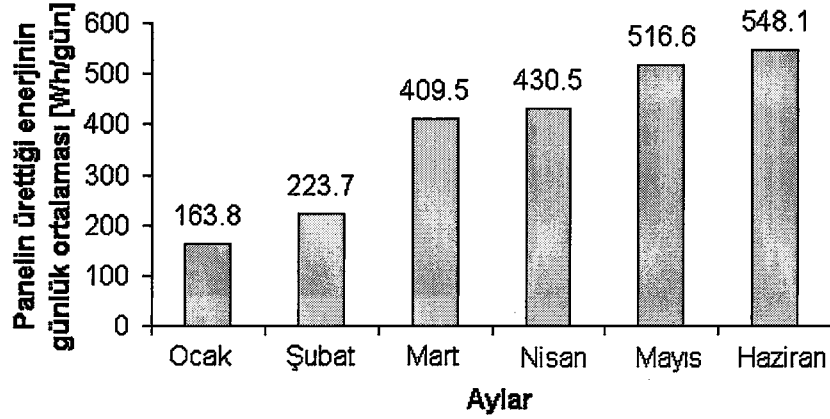
Ölçüm yapılan dönemde, bir gün içindeki ortalama güneşli saat sayısının, aylara göre, değişimi Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Bir gün içindeki ortalama güneşli saat sayısının aylara göre değişimi

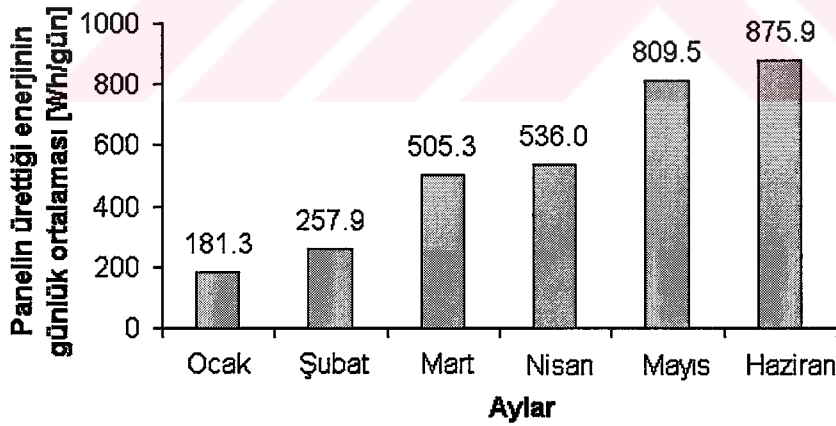
Türkiye ortalaması için bir sabit güneş panelinin en fazla enerji alacağı konum, yükseklik açısı 56.1 ve azimut açısı 90 derece olan bir noktaya yönlendirildiği durumdur [50]. 18 derecelik adımlarla çalışan ölçü sisteminin paneli getirebileceği bu değerlere en yakın açılar, 54 derece yükseklik ve 90 derece azimut açılarıdır. 2000 yılının ilk altı ayı için, panelin ufuktan 54 derece sabit bir açı ile güney yönüne

bakması durumunda ürettiği enerjinin günlük ortalama değerleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



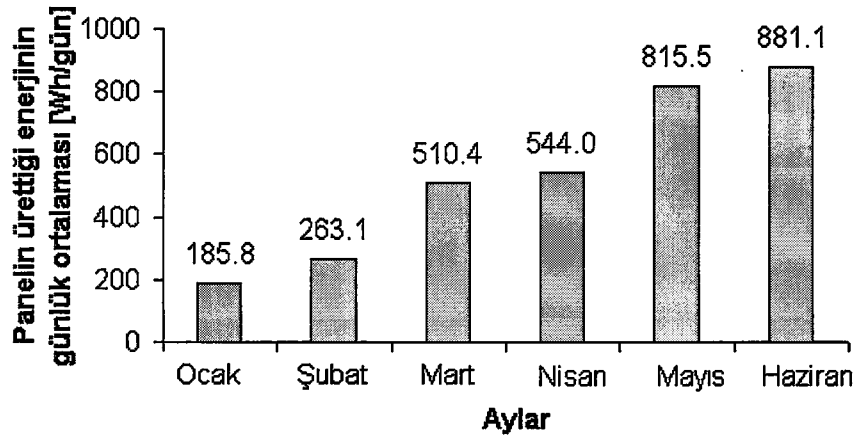
Şekil 6.2 Panelin 54 derecelik sabit bir açı altında ürettiği güçler

Panelin iki eksenle güneşi izlediği durumda ürettiği enerji Şekil 6.3’te gösterilmiştir. Burada izleme 18 derecelik adımlarla yapılmıştır ve gün içinde güneş ışınlarının doğrudan yeryüzüne ulaşmadığı zamanlarda da panel, güneşin olması gereken doğrultuda tutulmuştur.



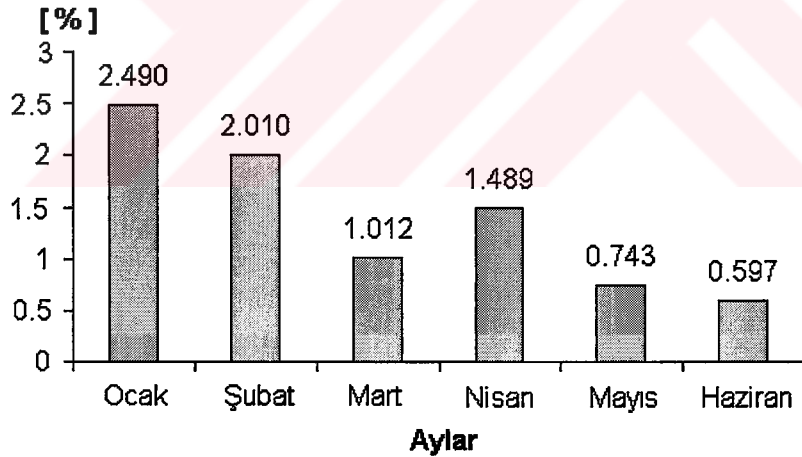
Şekil 6.3 Panelin sürekli olarak güneşi izleme durumunda ürettiği güçler

5. bölümde ayrıntılı olarak anlatılan algoritma kullanılarak yönlendirilen güneş panelinin ürettiği güçler Şekil 6.4’te verilmiştir. Algoritma, güneşin yeryüzüne ulaştığı zamanlarda panelleri güneşe yönlendirmekte, diğer zamanlarda ise en fazla net enerji üreteceği konuma getirmektedir.



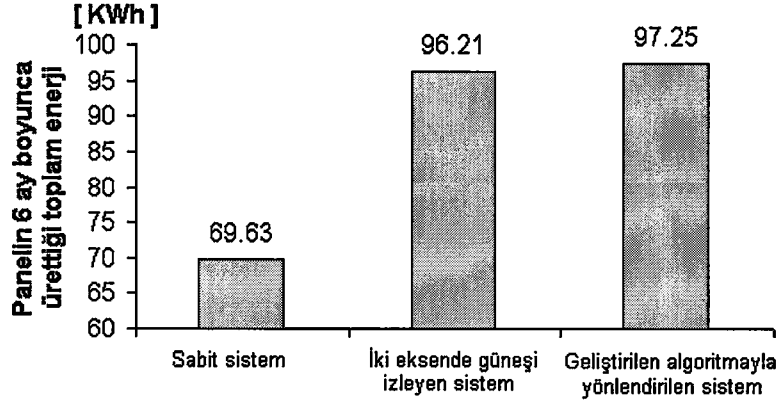
Şekil 6.5 Geliştirilen algoritma tarafından yönlendirilen güneş panelinin ürettiği güçler

Şekil 6.4 ile Şekil 6.5’deki güçler oranlandığında geliştirilen algoritmanın üretilen gücü ne kadar arttırdığı görülebilir. Bu artış, yüzde cinsinden Şekil 6.6’da verilmiştir. Bu şekilde dikkat edilmesi gereken bir husus, bulutlu günlerin fazla olduğu aylarda algoritmanın sürekli güneşi izleyen sisteme göre üstünlüğünün fazla olmasıdır. Bu da, beklenen bir durumdur.



Şekil 6.6 Geliştirilen algoritmayla yönlendirilen panel ile güneşi iki eksenle takip eden panelin ürettiği güçlerin oranının yüzde cinsinden değerleri

Tüm ölçüm süresince, sabit, iki eksenle güneşi izleyen ve algoritma tarafından yönlendirilen güneş panelinden alınan güçler Şekil 6.7’deki grafikte verilmiştir. Bu şekilde, güneşi izleyen sistemin, sabit sistemle karşılaştırıldığında, yaklaşık %38 daha verimli olduğu görülmektedir. Ayrıca, akıllı bir algoritmayla kontrol edilen güneş panelinin de, hareketli sisteme göre, %1.1’lik verim artışı getirdiği görülmüştür.



Şekil 6.7 Altı ay boyunca alınan enerjiler açısından üç sistemin karşılaştırılması

Bu incelemelerde panelin hareketi için harcanan enerji hesaba katılmamıştır. Bu enerjinin de göz önüne alınması durumunda algoritmanın üstünlüğünün daha da artması beklenir.



## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve buna paralel olarak, çevre sorunlarının da büyümesi, yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönelme gereğini gündeme getirmiştir. Bununla birlikte, kaynakların sınırlı oluşu daha verimli kullanım yollarının aranmasının gereğini ortaya koymuştur. Bu amaçla yola çıkılan bu çalışmada, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi ele alınmıştır.

Bugün, güneşten doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesinde en etkin araç olan fotovoltaiik güneş pilleri kullanılmaktadır. Ancak, bu pillerin verimlerinin düşük ve fiyatlarının yüksek olması uygulama alanlarını sınırlamaktadır. Kullanım aşamasında, verimin artırılması, yaygınlaşmayı sağlayarak enerji ve çevre sorunları üzerinde olumlu bir etki yapabilecektir.

Bu çalışmada, güneş pillerinin kullanımında verimi arttırmak için oluşturulan deneysel ve sayısal bir yöntem sunulmuştur. Yapısı, tarafımızdan tasarlanan ve gerçekleştirilen bir ölçü sistemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi binasının terasına yerleştirilmiştir. Bu sistemi yönlendirmede yapay sinir ağları kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem, sürekli olarak ölçü sistemi tarafından güneş ve atmosferden gelen enerji ile ilgili bilgileri toplayarak bunları işlemektedir

Yapay sinir ağları algoritması yapısının belirlenmesinde, 1999 yılında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Aynı yıla ait verilerden, yapay sinir ağları algoritmasının güç tahmininde kullanılan bölümü için, ağırlık katsayılarının hesaplanmasında da yararlanılmıştır.

Yazılım ve ölçü sistemi, 2000 yılının ilk altı ayı için kesintisiz olarak çalıştırılmıştır ve panelin üreteceği güç kaydedilmiştir. Ayrıca, aynı dönem içinde güneş panelinin sabit durması ile sürekli güneşi izlemesi durumlarında üreteceği güçler ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada ölçülen değerler ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sabit olarak tutulan panelin ürettiği güç ölçülmüştür.

- Gündüz sürekli olarak güneşi izleyen panelin ürettiği gücün ölçümü yapılmıştır.
- Geliştirilen yazılım tarafından yönlendirilen panelde üretilen güçler belirlenmiştir.
- Yukarıdaki üç maddede belirtilen güç değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve grafik halinde verilmiştir (Şekil 6.7).
- İncelenen döneme ait elde edilen değerlerden, panelin sürekli güneşi izlemesi durumunda, sabit durması durumuna göre, %38'lik bir güç artışı olduğu görülmüştür.
- Geliştirilen algoritma ile kontrol edilen panelin sürekli güneşi izleyen sistemden %1.1 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.
- Bulutlu havalarda algoritmanın üstünlüğünün daha da arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun İstanbul gibi bulutlu gün sayısı fazla olan bölgelerde önem taşıyacağı açıktır.

Deneysel sistemde gerçekleştirilmiş olan %1'ler mertebesindeki bir verim artışının, pratikteki büyük boyutlu sistemlerde daha etkili olacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışma, küçük ölçekte yapılmıştır. Daha büyük, ticari güneş paneli ve ölçü devrelerinin kullanıldığı sistemlerde verimin artacağı öngörülmektedir. Ayrıca, deney yapılan sistemde, rüzgar tarafından oluşturulan ek yükün ve motor gücünün ölçülememesi yüzünden, bu değerler, algoritmada göz önüne alınmasına rağmen, hesaba katılamamıştır. Bunların katılması ile verim farkının olumlu yönde artması beklenir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Gençoğlu, M. T. ve Cebeci, M.**, 2000. Türkiye'nin enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin yeri ve önemi, *Türkiye 8. Enerji Kongresi*, Mayıs 2000, Cilt 2, 63-73.
- [2] **Wilson, R. and Jones, W.J.**, 1975. Energy ecology and environment, Academic Press, New York, ISBN: 0-127-57550-2.
- [3] <http://www.doe.gov> , U.S. Department of Energy Home Page.
- [4] <http://www.greenhouse.gov.au> , Australian Greenhouse Office Home Page.
- [5] **Watson, R.T. and Zinyowera, M.C., Moss, R. H.**, 1997, The regional impacts of climate change, published for the intergovernmental panel on climate change, November 1997, ISBN: 92-9169-110-0.
- [6] **Jacovides, C. P. and Steven, M. D. and Asimakopoulos, D. N.**, 2000. Spectral solar irradiance and some optical properties for various polluted atmospheres, *Solar Energy*, 69, 3, 215-227.
- [7] **Rannels, J.**, 2000. The DOE Office of Solar Energy Technologies' Vision for Advancing Solar Technologies in The New Millennium, *Solar-Energy*, 69, 5, 363-368.
- [8] **Iliceto, A. and Sardi, L.**, 1996. Electricity from the sun: the largest photovoltaic plants in operation in Italy, *Renewable Energy*, 8, 77-84.
- [9] **Smith, P. A.**, 1994. Value of solar thermal and photovoltaic power plants to Arizona public service company, *Solar Engineering ASME-JSES-JSME International Solar Energy Conference*, 617-622.
- [10] **Stern, M. J. and West, R. T.**, 1996. Development of a low cost integrated 15 kW A.C. solar tracking sub-array for grid connected PV power system applications, *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1369-1372.
- [11] **Osborn, D. E.**, 1994. Utility implementation of grid-connected photovoltaics, *Proceedings of the 1994 ASME/JSME/JSES International Solar Energy Conference*, 413-419.
- [12] **Fahrenbruch, A. L. and Bube, R. H.**, 1983. Fundamentals of solar cells, Academic Press, New York.

- [13] **Spring, K. H.**, 1965. Direct generation of electricity, Academic Press.
- [14] **Iqbal, M.**, 1983. An introduction to solar radiation, Academic Press, Toronto.
- [15] **Skartveit, A. Olseth, J.A. and Tuft, M.E.**, 1998. An hourly diffuse fraction model with correction for variability and surface albedo, *Solar-Energy*, 63, 3, 173-183.
- [16] **Markvart, T.**, 1994. Solar electricity, John Wiley & Sons Inc., New York, ISBN: 0-471-94161-1.
- [17] **Brunotte, M., Goetzberger, A. and Blieske, U.**, 1996. Two-stage concentrator permitting concentration factors up to 300X with one-axis tracking, *Solar-Energy*, 56, 3, 285-300.
- [18] **Partain, L.D.**, 1995. Solar cells and their applications, John Wiley & Sons Inc., New York, ISBN: 0-471-57420-1.
- [19] **Messenger, R. and Ventre, J.**, 2000. Photovoltaic systems engineering, , CRC Press, New York, ISBN: 0-8493-2017-8.
- [20] **Rahman, S. and Kroposki, B.D.**, 1993. Photovoltaics and demand side management performance analysis at a university building, *IEEE Transactions an Energy Conversion*, 18, 3, 491-489.
- [21] **Wood, N., Cox, S. and Cornwall, C.**, 1996., Solar tracking system with linear regression error correction, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2832, 118-125.
- [22] **Davies, P. A.**, 1993. Sun tracking mechanism using equatorial and ecliptic axes, *Solar Energy*, 50, 6, 487-489.
- [23] **Kou, Q. Klein, S. A., Backman, W. A.**, 1998. A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems, *Solar-Energy*, 64, 1, 33-40.
- [24] **Rigollier, C., Bauer, O. and Wald, L.**, 2000. On the clear sky model of the ESRA - European solar radiation atlas- with respect to the Heliosat Method, *Solar Energy*, 68, 1, 33-48.
- [25] **Daves, J. A.**, 1982. Estimating solar irradiance and components, *Solar Energy*, 29, 1, 55-64.
- [26] **Kittler R. and Darula S.**, 1998: Parametrization problems of the very brightcloudy sky conditions. *Solar Energy*, 62, 2, 93-100.
- [27] **Mohandes, M., Balghonaim, A., Kassas, M., Rehman S. and Halawani, T.O.**, 2000. Use of radial basis functions for estimating monthly mean daily solar radiation, *Solar Energy*, 68, 2, 161-168.

- [28] **Enarun, D.**, 1996. Adaptation of Aydınlı's average sky model to Turkey, *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 49, 481-495.
- [29] **Tarawneh, Q.**, 1988. Estimation of solar radiation under cloudy skies in Istanbul, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] **Topçu, S.**, 1988. Açık ve bulutlu atmosfer koşullarında saatlik toplam ışıınım öngörüsü için bir model, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Sfetsos, A. and Coonick, H.**, 2000. Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques, *Solar Energy*, 68, 2, 169-178.
- [32] **Şen, Z.**, 1998. Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration, *Solar Energy*, 63, 1, 39-49.
- [33] **Momoh, J. A. and Kaddah, S. S.**, 2000. Optimal tracker for a faulted pv system using ANN and genetic algorithm, *2000 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering Conference Proceedings*, 129-134.
- [34] **Kalogirou, S. A., Panteliou, S. and Dentsoras, A.**, 1999. Modeling of solar domestic water heating systems using artificial neural networks, *Solar Energy*, 65, 6, 335-342.
- [35] **Kalogirou, S. A. and Panteliou, S.**, 2000. Thermosiphon solar domestic water heating systems: long term performance prediction using artificial neural networks, *Solar Energy*, 69, 2, 163-174.
- [36] **Kemmoku, Y., Orita, S., Nakagwa, S. and Sakakibara, T.**, 1999. Daily Insolation Forecasting Using a Multi-Stage Neural Network, *Solar Energy*, 66, 3, 193-199.
- [37] **Yousef, H. A.**, 1999. Design and Implementation of a Fuzzy Logic Computer-Controlled Sun Tracking System, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 3, 1030-1034.
- [38] **Haisch, B. and Schmitt, J.**, 1999. The Mysteries of Solar Activity, *Sky and Telescope*, October 1999, 47-54, Sky Publishing Corporation, ISSN:0037-6604.
- [39] **Pagles, H.**, 1993. Kozmik Kod II, Sarmal Yayın Evi, Birinci Basım, 1993.
- [40] **Ertürk, N.**, 1997. Simulation und experimentelle Untersuchungen von Stationären und nachgeführten Photovoltaiksystemen, *PhD Thesis*, Berlin Technical University, ISBN:3-89574-268-6.
- [41] **Enarun, D.**, 1987. Bina Tasarımı Aşamasında Hacim İçindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek İçin Bir Model, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [42] **DIN 5034**, 1993. Teil 2, Tageslicht in Innenräumen-Grundlagen, Berlin 1993.
- [43] **Kılıç, A.**, 1982. Direkt Güneş Işınımı Tayini İçin Yeni Bir Metod *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ Müh.-Mim. Fakültesi Matbaası.
- [44] **Thekaekara, M. P.**, 1977. Solar Radiation Measurements, Techniques and Instrumentation, *Solar Energy Engineering*, 37-59, Academic Press.
- [45] **Kızıllırmak, A.**, 1998. Gökbilim Dersleri *Cilt I (Küresel Gökbilim)*, Ege Üniversitesi Basımevi, Üçüncü Baskı, Bornova, İzmir.
- [46] **Chartrand, M. R.**, 1988. National Audubon Society Field Guide to the Night Sky, Alfred A. Knopf Inc. 10 th Printing, ISBN:0-679-40852-5.
- [47] **Ledoux, A.**, 1977. THEM I, Centrale Solarie Française, Première d'une Série, *Science et Vie.*, 717, 108-112.
- [48] **Sutton, G. W.**, 1966. Direct Energy Conversion, McGraw-Hill.
- [49] **Benner, J. P. and Kazmerski, L.**, 1999. Photovoltaics Gaining greater visibility, *IEEE Spectrum*, 36, 9, 34-42.
- [50] **Batman, M. A.**, 1991. Enerji Sistemlerinde Güneş Pillerinin Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] **Haykin, S.**, 1994. Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Macmillian College Publishing Company, NY USA.
- [52] **Zurada, J. M.**, 1992. Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing Company, USA, ISBN 0-314-93391-3.
- [53] **Şeker, S.**, 1995. Güç Sistemi Gözetlemelerinde Yapay Nöral Devre ile Stokastik İşaret İşleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [54] **Vankayala, V. and Rao, N.**, 1993. Artificial Neural Networks and Their Applications to Power Systems - A Bibliographical Survey, *Electrical Power System Research*, 28, 67-79.
- [55] **Nielsen, R.**, 1990. Neurocomputing, Addison Wesley Publishing Company, USA.
- [56] **Murray, A.**, 1995. Applications of Neural Networks, Kluwer Academic Publishers.
- [57] **Freeman, J. A. and Skapura, D. M.**, 1991. Neural Networks, Algorithms, Applications and Programming Techniques. Addison-Wesley, MA USA.

- [58] **Chain, C., Dumortier, D. and Fontoynt, M., 1999.** A Comprehensive Model of Luminance, Correlated Colour Temperature and Spectral Distribution of Skylight: Comparison With Experimental Data, *Solar Energy*, 65, 5, 285-295.
- [59] **<http://www.solarex.com/solarex.html>** , Catalog, Solarex Modules.
- [60] **[http://www.siemenssolar.com/sm110\\_sm100.html](http://www.siemenssolar.com/sm110_sm100.html)**, Catalog, Siemens Modules.





**EK A. SEÇİLEN ŞEHİRLER İÇİN ORTALAMA GÜNLÜK İŞINIM  
MİKTARI[KWH/M<sup>2</sup>] [19]**

**Tablo A.1 Fairbanks, Alaska. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 64° 49' Kuzey, Boylam: 147° 52' Batı**

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 0.31                     | 0.32                | 0.35                 | 0.36                | 0.37                     | 0.38                | 0.38                               |
| Sbt  | 2.30                     | 2.58                | 2.54                 | 2.79                | 2.62                     | 2.86                | 2.87                               |
| Mrt  | 4.94                     | 6.42                | 5.19                 | 6.62                | 5.13                     | 6.56                | 6.62                               |
| Nsn  | 5.75                     | 8.49                | 5.68                 | 8.46                | 5.29                     | 8.18                | 8.52                               |
| Mys  | 5.76                     | 8.95                | 5.43                 | 8.77                | 4.83                     | 8.40                | 9.13                               |
| Hzz  | 5.38                     | 8.40                | 4.97                 | 8.19                | 4.34                     | 7.84                | 8.73                               |
| Tnz  | 5.15                     | 7.89                | 4.88                 | 7.69                | 4.30                     | 7.34                | 8.12                               |
| Ags  | 4.10                     | 5.74                | 3.93                 | 5.64                | 3.57                     | 5.40                | 5.79                               |
| Eyl  | 3.62                     | 4.81                | 3.68                 | 4.86                | 3.54                     | 4.75                | 4.87                               |
| Ekm  | 2.50                     | 2.94                | 2.69                 | 3.11                | 2.73                     | 3.14                | 3.15                               |
| Ksm  | 8.84                     | 0.90                | 0.95                 | 0.99                | 0.99                     | 1.03                | 1.04                               |
| Arl  | 0.00                     | 0.00                | 0.00                 | 0.00                | 0.00                     | 0.00                | 0.00                               |
| ORT. | 3.40                     | 4.80                | 3.36                 | 4.80                | 3.14                     | 4.66                | 4.94                               |

**Tablo A.2 Sacramento, California. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 38° 31' Kuzey, Boylam: 121° 30' Batı**

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 2.84                     | 3.33                | 3.22                 | 3.65                | 3.43                     | 3.83                | 3.87                               |
| Sbt  | 3.83                     | 4.85                | 4.23                 | 5.16                | 4.40                     | 5.28                | 5.29                               |
| Mrt  | 5.63                     | 7.57                | 5.93                 | 7.79                | 5.91                     | 7.76                | 7.80                               |
| Nsn  | 7.01                     | 9.98                | 6.97                 | 9.97                | 6.55                     | 9.67                | 10.03                              |
| Mys  | 7.63                     | 11.29               | 7.20                 | 11.02               | 6.39                     | 10.50               | 11.42                              |
| Hzz  | 8.13                     | 12.27               | 7.47                 | 11.85               | 6.41                     | 11.20               | 12.58                              |
| Tnz  | 8.39                     | 12.43               | 7.80                 | 12.05               | 6.78                     | 11.40               | 12.65                              |
| Ags  | 8.08                     | 11.57               | 7.86                 | 11.44               | 7.21                     | 10.99               | 11.61                              |
| Eyl  | 7.31                     | 10.18               | 7.58                 | 10.38               | 7.41                     | 10.24               | 10.36                              |
| Ekm  | 5.55                     | 7.27                | 6.10                 | 7.69                | 6.30                     | 7.82                | 7.81                               |
| Ksm  | 3.89                     | 4.90                | 4.47                 | 5.35                | 4.79                     | 5.61                | 5.64                               |
| Arl  | 2.47                     | 2.87                | 2.83                 | 3.17                | 3.03                     | 3.35                | 3.40                               |
| ORT. | 5.95                     | 8.22                | 5.98                 | 8.31                | 5.72                     | 8.15                | 8.55                               |

Tablo A.3 Denver, Colorado. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 39° 45' Kuzey, Boylam: 105° 52' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 4.32                     | 5.49                | 5.07                 | 6.08                | 5.51                     | 6.43                | 6.50                               |
| Sbt  | 4.94                     | 6.55                | 5.54                 | 7.00                | 5.81                     | 7.19                | 7.19                               |
| Mrt  | 6.42                     | 8.92                | 6.80                 | 9.20                | 6.80                     | 9.18                | 9.21                               |
| Nsn  | 6.69                     | 9.37                | 6.65                 | 9.36                | 6.24                     | 9.07                | 9.41                               |
| Mys  | 7.07                     | 10.10               | 6.69                 | 9.86                | 5.97                     | 9.39                | 10.22                              |
| Hzz  | 7.22                     | 10.27               | 6.67                 | 9.91                | 5.78                     | 9.34                | 10.50                              |
| Tmz  | 7.32                     | 10.30               | 6.84                 | 9.99                | 6.01                     | 9.45                | 10.47                              |
| Ags  | 6.84                     | 9.39                | 6.66                 | 9.29                | 6.13                     | 8.92                | 9.43                               |
| Eyl  | 6.78                     | 9.43                | 7.02                 | 9.61                | 6.85                     | 8.48                | 9.60                               |
| Ekm  | 5.92                     | 7.94                | 6.53                 | 8.40                | 6.75                     | 8.55                | 8.53                               |
| Ksm  | 4.37                     | 5.64                | 5.05                 | 6.17                | 5.43                     | 6.46                | 6.50                               |
| Arl  | 4.05                     | 5.06                | 4.81                 | 5.67                | 5.28                     | 6.06                | 6.16                               |
| ORT. | 6.00                     | 8.21                | 6.20                 | 8.39                | 6.05                     | 8.30                | 8.65                               |

Tablo A.4 Miami, Florida. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 25° 48' Kuzey, Boylam: 80° 16' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 3.77                     | 4.79                | 4.31                 | 5.19                | 4.62                     | 5.43                | 5.49                               |
| Sbt  | 4.71                     | 6.04                | 5.21                 | 6.42                | 5.45                     | 6.59                | 6.59                               |
| Mrt  | 5.38                     | 7.19                | 5.67                 | 7.40                | 5.67                     | 7.38                | 7.42                               |
| Nsn  | 6.15                     | 8.00                | 6.12                 | 7.98                | 5.79                     | 7.72                | 8.04                               |
| Mys  | 5.61                     | 7.14                | 5.34                 | 6.95                | 4.83                     | 6.59                | 7.20                               |
| Hzz  | 5.18                     | 6.24                | 4.86                 | 6.00                | 4.33                     | 5.62                | 6.35                               |
| Tmz  | 5.43                     | 6.74                | 5.12                 | 6.52                | 4.59                     | 6.14                | 6.81                               |
| Ags  | 5.39                     | 6.47                | 5.27                 | 6.38                | 4.90                     | 6.09                | 6.49                               |
| Eyl  | 4.92                     | 6.03                | 5.03                 | 6.10                | 4.90                     | 5.99                | 6.11                               |
| Ekm  | 4.40                     | 5.66                | 4.75                 | 5.91                | 4.85                     | 5.97                | 5.98                               |
| Ksm  | 4.27                     | 5.52                | 4.87                 | 5.97                | 5.20                     | 6.22                | 6.27                               |
| Arl  | 3.79                     | 4.94                | 4.41                 | 5.40                | 4.81                     | 5.70                | 5.80                               |
| ORT. | 4.92                     | 6.23                | 5.08                 | 6.35                | 4.99                     | 6.28                | 6.55                               |

Tablo A.5 Atlanta, Georgia.Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 33° 39' Kuzey, Boylam: 84° 36' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 2.87                     | 3.68                | 3.27                 | 3.98                | 3.49                     | 4.15                | 4.19                               |
| Sbt  | 3.61                     | 4.57                | 3.96                 | 4.83                | 4.10                     | 4.94                | 4.95                               |
| Mrt  | 4.77                     | 6.45                | 4.98                 | 6.61                | 4.94                     | 6.56                | 6.61                               |
| Nsn  | 5.56                     | 7.55                | 5.52                 | 7.52                | 5.20                     | 7.29                | 7.58                               |
| Mys  | 6.26                     | 8.32                | 5.95                 | 8.11                | 5.34                     | 7.69                | 8.40                               |
| Hzz  | 5.84                     | 7.46                | 5.44                 | 7.18                | 4.79                     | 6.74                | 7.60                               |
| Tmz  | 5.90                     | 7.54                | 5.54                 | 7.29                | 4.93                     | 6.87                | 7.64                               |
| Ags  | 5.83                     | 7.45                | 5.69                 | 7.34                | 5.27                     | 7.04                | 7.47                               |
| Eyl  | 4.69                     | 5.87                | 4.79                 | 5.95                | 4.66                     | 5.84                | 5.96                               |
| Ekm  | 4.84                     | 6.17                | 5.29                 | 6.51                | 5.44                     | 6.62                | 6.62                               |
| Ksm  | 3.69                     | 4.76                | 4.21                 | 5.15                | 4.50                     | 5.37                | 5.41                               |
| Arl  | 2.95                     | 3.80                | 3.43                 | 4.16                | 3.72                     | 4.38                | 4.46                               |
| ORT. | 4.74                     | 6.14                | 4.84                 | 6.23                | 4.70                     | 6.13                | 6.42                               |

Tablo A.6 Boston, Massachusetts. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 41° 40' Kuzey, Boylam: 71° 10' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 2.24                     | 2.60                | 2.54                 | 2.85                | 2.71                     | 2.99                | 3.02                               |
| Sbt  | 3.12                     | 3.92                | 3.44                 | 4.17                | 3.57                     | 4.27                | 4.27                               |
| Mrt  | 4.07                     | 5.25                | 4.25                 | 5.38                | 4.19                     | 5.33                | 5.38                               |
| Nsn  | 4.49                     | 5.80                | 4.43                 | 5.77                | 4.16                     | 5.57                | 5.82                               |
| Mys  | 5.17                     | 7.27                | 4.88                 | 7.08                | 4.36                     | 6.74                | 7.36                               |
| Hzz  | 5.87                     | 8.29                | 5.43                 | 8.02                | 4.75                     | 7.58                | 8.49                               |
| Tmz  | 5.48                     | 7.06                | 5.14                 | 6.83                | 4.57                     | 6.44                | 7.16                               |
| Ags  | 4.95                     | 6.39                | 4.79                 | 6.28                | 4.41                     | 6.01                | 6.41                               |
| Eyl  | 4.90                     | 6.54                | 5.01                 | 6.63                | 4.86                     | 6.50                | 6.62                               |
| Ekm  | 3.58                     | 4.47                | 3.85                 | 4.68                | 3.92                     | 4.72                | 4.73                               |
| Ksm  | 2.41                     | 2.90                | 2.71                 | 3.14                | 2.86                     | 3.26                | 3.28                               |
| Arl  | 2.01                     | 2.34                | 2.31                 | 2.60                | 2.49                     | 2.75                | 2.79                               |
| ORT. | 4.03                     | 5.24                | 4.07                 | 5.29                | 3.90                     | 5.18                | 5.45                               |

Tablo A.7 Albuquerque, New Mexico. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 35° 03' Kuzey, Boylam: 106° 37' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 4.49                     | 5.87                | 5.27                 | 6.47                | 5.74                     | 6.84                | 6.92                               |
| Sbt  | 5.61                     | 7.44                | 6.31                 | 7.97                | 6.65                     | 8.22                | 8.22                               |
| Mrt  | 6.53                     | 8.84                | 6.91                 | 9.13                | 6.91                     | 9.11                | 9.15                               |
| Nsn  | 7.85                     | 10.85               | 7.84                 | 10.85               | 7.39                     | 10.52               | 10.90                              |
| Mys  | 8.18                     | 11.62               | 7.75                 | 11.33               | 6.90                     | 10.76               | 11.74                              |
| Hzz  | 8.06                     | 11.88               | 7.40                 | 11.45               | 6.37                     | 10.79               | 12.18                              |
| Tnz  | 7.78                     | 10.45               | 7.27                 | 10.10               | 6.38                     | 9.48                | 10.60                              |
| Ags  | 7.61                     | 10.33               | 7.42                 | 10.21               | 6.83                     | 9.78                | 10.37                              |
| Eyl  | 7.09                     | 9.84                | 7.35                 | 10.03               | 7.19                     | 9.90                | 10.02                              |
| Ekm  | 6.46                     | 8.60                | 7.13                 | 9.11                | 7.39                     | 9.29                | 9.26                               |
| Ksm  | 5.31                     | 7.05                | 6.19                 | 7.73                | 6.70                     | 8.11                | 8.18                               |
| Arl  | 4.44                     | 5.71                | 5.28                 | 6.37                | 5.81                     | 6.79                | 6.91                               |
| ORT. | 6.62                     | 9.04                | 6.84                 | 9.23                | 6.69                     | 9.13                | 9.54                               |

Tablo A.8 Bismarck, North Dakota. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 46° 46' Kuzey, Boylam: 100° 45' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 2.80                     | 3.32                | 3.21                 | 3.66                | 3.44                     | 3.85                | 3.89                               |
| Sbt  | 4.13                     | 5.26                | 4.60                 | 5.62                | 4.80                     | 5.77                | 5.77                               |
| Mrt  | 4.89                     | 6.54                | 5.14                 | 6.73                | 5.12                     | 6.70                | 6.74                               |
| Nsn  | 5.37                     | 7.25                | 5.33                 | 7.24                | 5.02                     | 7.01                | 7.29                               |
| Mys  | 6.14                     | 8.70                | 5.82                 | 8.50                | 5.21                     | 8.09                | 8.80                               |
| Hzz  | 6.50                     | 9.08                | 6.03                 | 8.77                | 5.26                     | 8.26                | 9.27                               |
| Tnz  | 7.06                     | 9.83                | 6.62                 | 9.54                | 5.84                     | 9.01                | 9.97                               |
| Ags  | 6.69                     | 9.53                | 6.51                 | 9.43                | 5.98                     | 9.06                | 9.57                               |
| Eyl  | 5.44                     | 7.36                | 5.61                 | 7.49                | 5.47                     | 7.38                | 7.49                               |
| Ekm  | 4.23                     | 5.34                | 4.59                 | 5.62                | 4.69                     | 5.69                | 5.69                               |
| Ksm  | 2.82                     | 3.39                | 3.20                 | 3.69                | 3.39                     | 3.85                | 3.08                               |
| Arl  | 2.59                     | 3.09                | 3.03                 | 3.45                | 3.29                     | 3.67                | 3.73                               |
| ORT. | 4.89                     | 6.57                | 4.98                 | 6.65                | 4.79                     | 6.53                | 6.85                               |

Tablo A.9 Austin, Texas. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 30° 18' Kuzey, Boylam: 97° 42' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 3.56                     | 4.66                | 4.13                 | 5.08                | 4.47                     | 5.34                | 5.42                               |
| Sbt  | 4.14                     | 5.38                | 4.58                 | 5.71                | 4.78                     | 5.85                | 5.86                               |
| Mrt  | 5.20                     | 7.06                | 5.45                 | 7.24                | 5.42                     | 7.20                | 7.25                               |
| Nsn  | 5.09                     | 6.63                | 5.04                 | 6.61                | 4.76                     | 6.40                | 6.66                               |
| Mys  | 5.80                     | 7.46                | 5.51                 | 7.26                | 4.96                     | 6.87                | 7.52                               |
| Hzz  | 6.39                     | 8.35                | 5.94                 | 8.04                | 5.21                     | 7.54                | 8.51                               |
| Tmz  | 6.63                     | 8.77                | 6.22                 | 8.48                | 5.51                     | 7.99                | 8.89                               |
| Ags  | 6.20                     | 8.09                | 6.03                 | 7.98                | 5.57                     | 7.64                | 8.12                               |
| Eyl  | 5.48                     | 7.11                | 5.63                 | 7.22                | 5.49                     | 7.10                | 7.22                               |
| Ekm  | 4.91                     | 6.44                | 5.35                 | 6.77                | 5.51                     | 6.87                | 6.87                               |
| Ksm  | 4.00                     | 5.25                | 4.57                 | 5.68                | 4.89                     | 5.92                | 5.96                               |
| Arl  | 3.58                     | 4.71                | 4.20                 | 5.17                | 4.59                     | 5.47                | 5.57                               |
| ORT. | 5.09                     | 6.67                | 5.23                 | 6.78                | 5.10                     | 6.69                | 7.00                               |

Tablo A.10 Seattle, Washington. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 47° 27' Kuzey, Boylam: 122° 18' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 1.28                     | 1.41                | 1.39                 | 1.51                | 1.44                     | 1.55                | 1.56                               |
| Sbt  | 2.08                     | 2.36                | 2.22                 | 2.48                | 2.25                     | 2.51                | 2.52                               |
| Mrt  | 3.73                     | 4.73                | 3.87                 | 4.84                | 3.80                     | 4.79                | 4.85                               |
| Nsn  | 4.64                     | 6.09                | 4.56                 | 6.04                | 4.26                     | 5.82                | 6.11                               |
| Mys  | 5.40                     | 7.16                | 5.12                 | 6.97                | 4.58                     | 6.61                | 7.24                               |
| Hzz  | 5.53                     | 7.25                | 5.14                 | 6.99                | 4.53                     | 6.57                | 7.40                               |
| Tmz  | 6.46                     | 8.92                | 6.06                 | 8.66                | 5.36                     | 8.19                | 9.05                               |
| Ags  | 5.92                     | 7.97                | 5.75                 | 7.87                | 5.29                     | 7.54                | 8.00                               |
| Eyl  | 4.60                     | 5.91                | 4.69                 | 5.99                | 4.53                     | 5.86                | 5.99                               |
| Ekm  | 2.88                     | 3.46                | 3.07                 | 3.61                | 3.10                     | 3.63                | 3.65                               |
| Ksm  | 1.52                     | 1.70                | 1.65                 | 1.81                | 1.70                     | 1.85                | 1.86                               |
| Arl  | 1.04                     | 1.16                | 1.16                 | 1.26                | 1.22                     | 1.32                | 1.33                               |
| ORT. | 3.77                     | 4.86                | 3.73                 | 4.85                | 3.51                     | 4.70                | 4.98                               |

Tablo A.11 Paris-St. Maur, France. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 48° 49' Kuzey, Boylam: 2° 30' Doğu

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 1.77                     | 1.77                | 2.06                 | 2.06                | 2.24                     | 2.24                | 2.24                               |
| Sbt  | 2.47                     | 2.54                | 2.75                 | 2.82                | 2.91                     | 2.94                | 2.94                               |
| Mrt  | 3.75                     | 4.56                | 3.90                 | 4.79                | 3.88                     | 4.69                | 4.81                               |
| Nsn  | 4.32                     | 6.02                | 4.25                 | 5.99                | 4.04                     | 5.54                | 6.06                               |
| Mys  | 5.01                     | 7.39                | 4.78                 | 7.05                | 4.41                     | 6.22                | 7.41                               |
| Hzz  | 5.37                     | 8.04                | 5.05                 | 7.50                | 4.61                     | 6.45                | 8.10                               |
| Tmz  | 5.14                     | 7.66                | 4.87                 | 7.21                | 4.47                     | 6.28                | 7.69                               |
| Ags  | 4.59                     | 6.60                | 4.45                 | 6.46                | 4.18                     | 5.87                | 6.62                               |
| Eyl  | 3.95                     | 5.04                | 4.02                 | 5.19                | 3.93                     | 4.98                | 5.20                               |
| Ekm  | 2.74                     | 3.01                | 2.95                 | 3.27                | 3.02                     | 3.31                | 3.33                               |
| Ksm  | 1.71                     | 1.71                | 1.95                 | 1.95                | 2.11                     | 2.11                | 2.11                               |
| Arl  | 1.56                     | 1.56                | 1.83                 | 1.83                | 2.02                     | 2.02                | 2.02                               |
| ORT. | 3.53                     | 4.66                | 3.57                 | 4.68                | 3.49                     | 4.39                | 4.88                               |

Tablo A.12 New Delhi, India. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 28° 35' Kuzey, Boylam: 77° 12' Doğu

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 5.04                     | 6.38                | 5.83                 | 7.38                | 6.28                     | 7.87                | 7.92                               |
| Sbt  | 6.37                     | 8.09                | 7.04                 | 8.97                | 7.31                     | 9.23                | 9.24                               |
| Mrt  | 7.05                     | 8.60                | 7.31                 | 9.02                | 7.18                     | 8.83                | 9.05                               |
| Nsn  | 7.12                     | 9.23                | 6.94                 | 9.17                | 6.42                     | 8.50                | 9.30                               |
| Mys  | 7.38                     | 9.83                | 6.87                 | 9.36                | 6.08                     | 8.25                | 9.86                               |
| Hzz  | 6.76                     | 9.15                | 6.19                 | 8.53                | 5.38                     | 7.32                | 9.23                               |
| Tmz  | 4.50                     | 6.31                | 4.20                 | 5.94                | 3.75                     | 5.17                | 6.34                               |
| Ags  | 5.53                     | 7.44                | 5.30                 | 7.27                | 4.83                     | 6.60                | 7.46                               |
| Eyl  | 5.66                     | 7.23                | 5.70                 | 7.44                | 5.46                     | 7.13                | 7.45                               |
| Ekm  | 6.09                     | 7.34                | 6.57                 | 7.99                | 6.69                     | 8.09                | 8.13                               |
| Ksm  | 5.62                     | 7.49                | 6.43                 | 8.56                | 6.88                     | 9.05                | 9.08                               |
| Arl  | 4.87                     | 6.06                | 5.73                 | 7.11                | 6.26                     | 7.68                | 7.77                               |
| ORT. | 6.00                     | 7.76                | 6.18                 | 8.06                | 6.04                     | 7.81                | 8.40                               |

Tablo A.13 Tokyo, Japan. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 35° 41' Kuzey, Boylam: 140° 14' Doğu

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 2.95                     | 3.14                | 3.34                 | 3.63                | 3.55                     | 3.87                | 3.90                               |
| Sbt  | 3.22                     | 3.64                | 3.47                 | 4.03                | 3.53                     | 4.14                | 4.15                               |
| Mrt  | 3.42                     | 4.52                | 3.47                 | 4.74                | 3.35                     | 4.64                | 4.76                               |
| Nsn  | 3.63                     | 5.21                | 3.50                 | 5.18                | 3.23                     | 4.80                | 5.25                               |
| Mys  | 3.81                     | 5.61                | 3.58                 | 5.34                | 3.21                     | 4.71                | 5.62                               |
| Hzz  | 3.32                     | 5.03                | 3.09                 | 4.69                | 2.76                     | 4.03                | 5.08                               |
| Tnz  | 3.68                     | 5.47                | 3.43                 | 5.15                | 3.07                     | 4.48                | 5.49                               |
| Ags  | 3.80                     | 5.49                | 3.62                 | 5.37                | 3.30                     | 4.88                | 5.50                               |
| Eyl  | 2.99                     | 4.28                | 2.96                 | 4.40                | 2.80                     | 4.23                | 4.41                               |
| Ekm  | 2.56                     | 2.98                | 2.67                 | 3.24                | 2.65                     | 3.27                | 3.29                               |
| Ksm  | 2.63                     | 2.79                | 2.92                 | 3.19                | 3.06                     | 3.37                | 3.39                               |
| Arl  | 2.68                     | 2.76                | 3.08                 | 3.24                | 3.31                     | 3.50                | 3.54                               |
| ORT. | 3.22                     | 4.24                | 3.26                 | 4.35                | 3.15                     | 4.16                | 4.53                               |

Tablo A.14 Nairobi, Kenya. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 1° 18' Güney, Boylam: 36° 45' Doğu

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 6.93                     | 8.57                | 6.46                 | 8.08                | 5.67                     | 7.02                | 8.62                               |
| Sbt  | 7.14                     | 8.95                | 6.89                 | 8.73                | 6.29                     | 7.92                | 8.96                               |
| Mrt  | 6.41                     | 8.17                | 6.49                 | 8.35                | 6.26                     | 7.98                | 8.37                               |
| Nsn  | 5.32                     | 6.78                | 5.65                 | 7.29                | 5.75                     | 7.36                | 7.40                               |
| Mys  | 4.40                     | 5.51                | 4.86                 | 6.21                | 5.13                     | 6.55                | 6.57                               |
| Hzz  | 4.13                     | 5.09                | 4.66                 | 5.88                | 5.02                     | 6.34                | 6.41                               |
| Tnz  | 3.46                     | 4.37                | 3.81                 | 4.98                | 4.02                     | 5.32                | 5.35                               |
| Ags  | 4.02                     | 5.19                | 4.30                 | 5.68                | 4.42                     | 5.83                | 5.84                               |
| Eyl  | 5.26                     | 6.80                | 5.42                 | 7.08                | 5.33                     | 6.91                | 7.09                               |
| Ekm  | 5.80                     | 7.44                | 5.69                 | 7.37                | 5.32                     | 6.81                | 7.48                               |
| Ksm  | 5.93                     | 7.49                | 5.60                 | 7.12                | 5.01                     | 6.26                | 7.52                               |
| Arl  | 6.52                     | 8.06                | 6.03                 | 7.52                | 5.24                     | 6.44                | 8.15                               |
| ORT. | 5.44                     | 6.87                | 5.49                 | 7.02                | 5.29                     | 6.73                | 7.31                               |



Tablo A.15 Mexico D. F., Mexico. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 19° 33' Kuzey, Boylam: 99° 18' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 4.32                     | 5.06                | 4.90                 | 5.85                | 5.23                     | 6.23                | 6.27                               |
| Sbt  | 6.24                     | 7.39                | 6.86                 | 8.17                | 7.11                     | 8.40                | 8.41                               |
| Mrt  | 7.71                     | 9.51                | 7.99                 | 9.96                | 7.86                     | 9.74                | 9.99                               |
| Nsn  | 6.22                     | 8.07                | 6.07                 | 8.02                | 5.64                     | 7.41                | 8.13                               |
| Mys  | 5.93                     | 7.84                | 5.57                 | 7.45                | 4.97                     | 6.56                | 7.86                               |
| Hrz  | 4.94                     | 6.66                | 4.58                 | 6.20                | 4.06                     | 5.32                | 6.72                               |
| Tmz  | 4.92                     | 6.64                | 4.60                 | 6.24                | 4.10                     | 5.42                | 6.67                               |
| Ags  | 5.43                     | 7.19                | 5.22                 | 7.02                | 4.78                     | 6.37                | 7.20                               |
| Eyl  | 5.00                     | 6.51                | 5.04                 | 6.69                | 4.84                     | 6.41                | 6.70                               |
| Ekm  | 4.45                     | 5.67                | 4.82                 | 6.15                | 4.87                     | 6.22                | 6.26                               |
| Ksm  | 4.50                     | 5.29                | 5.06                 | 6.04                | 5.36                     | 6.38                | 6.40                               |
| Arl  | 4.51                     | 5.54                | 5.23                 | 6.49                | 5.68                     | 6.99                | 7.07                               |
| ORT. | 5.36                     | 6.78                | 5.50                 | 7.04                | 5.38                     | 6.79                | 7.31                               |

Tablo A.16 Stockholm, Sweden. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 59° 21' Kuzey, Boylam: 17° 57' Doğu

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 1.43                     | 1.43                | 1.67                 | 1.67                | 1.81                     | 1.81                | 1.81                               |
| Sbt  | 2.46                     | 2.47                | 2.76                 | 2.76                | 2.91                     | 2.91                | 2.91                               |
| Mrt  | 3.85                     | 4.63                | 4.02                 | 4.85                | 3.99                     | 4.74                | 4.86                               |
| Nsn  | 4.12                     | 5.82                | 4.05                 | 5.77                | 3.82                     | 5.34                | 5.86                               |
| Mys  | 5.17                     | 8.16                | 4.91                 | 7.76                | 4.52                     | 6.83                | 8.18                               |
| Hrz  | 5.45                     | 8.94                | 5.12                 | 8.33                | 4.67                     | 7.14                | 9.03                               |
| Tmz  | 5.27                     | 8.51                | 4.98                 | 8.00                | 4.56                     | 6.95                | 8.56                               |
| Ags  | 4.57                     | 6.79                | 4.42                 | 6.62                | 4.13                     | 6.00                | 6.80                               |
| Eyl  | 3.46                     | 4.42                | 3.52                 | 4.53                | 3.42                     | 4.34                | 4.54                               |
| Ekm  | 2.09                     | 2.20                | 2.25                 | 2.38                | 2.30                     | 2.41                | 2.43                               |
| Ksm  | 1.09                     | 1.09                | 1.25                 | 1.25                | 1.34                     | 1.34                | 1.34                               |
| Arl  | 1.05                     | 1.05                | 1.24                 | 1.24                | 1.35                     | 1.35                | 1.35                               |
| ORT. | 3.33                     | 4.63                | 3.35                 | 4.60                | 3.24                     | 4.26                | 4.81                               |

Tablo A.17 Luanda, Angola. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 8° 49' Güney, Boylam: 13° 13' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 5.92                     | 7.62                | 5.56                 | 7.20                | 4.94                     | 6.28                | 7.67                               |
| Sbt  | 6.07                     | 7.83                | 5.87                 | 7.66                | 5.40                     | 6.96                | 7.84                               |
| Mrt  | 5.43                     | 7.02                | 5.49                 | 7.19                | 5.30                     | 6.89                | 7.20                               |
| Nsn  | 4.89                     | 6.19                | 5.19                 | 6.68                | 5.27                     | 6.76                | 6.79                               |
| Mys  | 4.60                     | 5.61                | 5.11                 | 6.34                | 5.42                     | 6.70                | 6.73                               |
| Hrz  | 4.18                     | 5.01                | 4.75                 | 5.80                | 5.14                     | 6.27                | 6.34                               |
| Tmz  | 3.36                     | 4.17                | 3.71                 | 4.78                | 3.93                     | 5.11                | 5.14                               |
| Ags  | 3.70                     | 4.75                | 3.95                 | 5.21                | 4.04                     | 5.36                | 5.37                               |
| Eyl  | 4.57                     | 5.96                | 4.68                 | 6.21                | 4.60                     | 6.08                | 6.23                               |
| Ekm  | 5.06                     | 6.66                | 4.97                 | 6.60                | 4.66                     | 6.11                | 6.69                               |
| Ksm  | 5.60                     | 7.27                | 5.31                 | 6.93                | 4.77                     | 6.11                | 7.30                               |
| Arl  | 6.16                     | 7.87                | 5.72                 | 7.36                | 5.02                     | 6.33                | 7.95                               |
| ORT. | 4.96                     | 6.33                | 5.03                 | 6.50                | 4.87                     | 6.25                | 6.77                               |

Tablo A.18 Buenos Aires, Argentina. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 34° 58' Güney, Boylam: 58° 48' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 7.13                     | 9.80                | 6.58                 | 9.24                | 5.77                     | 8.05                | 9.85                               |
| Sbt  | 6.49                     | 8.72                | 6.19                 | 8.52                | 5.62                     | 7.74                | 8.74                               |
| Mrt  | 5.45                     | 7.02                | 5.47                 | 7.20                | 5.21                     | 6.89                | 7.22                               |
| Nsn  | 4.46                     | 5.50                | 4.75                 | 5.97                | 4.80                     | 6.03                | 6.07                               |
| Mys  | 3.57                     | 4.07                | 4.02                 | 4.64                | 4.25                     | 4.90                | 4.91                               |
| Hrz  | 2.93                     | 3.13                | 3.39                 | 3.67                | 3.65                     | 3.96                | 4.01                               |
| Tmz  | 3.24                     | 3.57                | 3.70                 | 4.14                | 3.95                     | 4.42                | 4.45                               |
| Ags  | 4.11                     | 4.98                | 4.48                 | 5.51                | 4.60                     | 5.66                | 5.67                               |
| Eyl  | 5.07                     | 6.38                | 5.19                 | 6.68                | 5.06                     | 6.52                | 6.70                               |
| Ekm  | 5.90                     | 7.86                | 5.71                 | 7.80                | 5.27                     | 7.21                | 7.91                               |
| Ksm  | 6.47                     | 8.90                | 6.02                 | 8.46                | 5.33                     | 7.44                | 8.92                               |
| Arl  | 7.12                     | 9.85                | 6.51                 | 9.18                | 5.65                     | 7.88                | 9.94                               |
| ORT. | 5.16                     | 6.65                | 5.17                 | 6.75                | 4.93                     | 6.39                | 7.03                               |

Tablo A.19 Melbourne, Australia. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 37° 49' Güney, Boylam: 144° 58' Batı

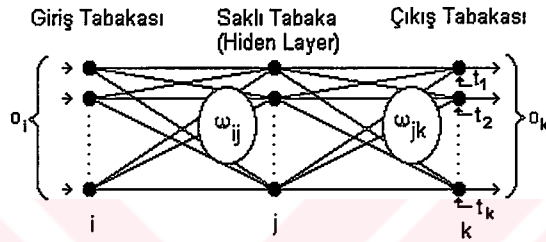
| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 7.15                     | 9.95                | 6.60                 | 9.39                | 5.78                     | 8.19                | 9.99                               |
| Sbt  | 6.37                     | 8.63                | 6.07                 | 8.44                | 5.51                     | 7.68                | 8.65                               |
| Mrt  | 3.96                     | 5.38                | 3.94                 | 5.53                | 3.74                     | 5.30                | 5.54                               |
| Nsn  | 4.14                     | 5.06                | 4.41                 | 5.49                | 4.45                     | 5.55                | 5.58                               |
| Mys  | 3.51                     | 3.93                | 3.96                 | 4.49                | 4.20                     | 4.74                | 4.76                               |
| Hzz  | 3.13                     | 3.32                | 3.65                 | 3.90                | 3.96                     | 4.22                | 4.27                               |
| Tnz  | 3.31                     | 3.61                | 11.80                | 4.19                | 4.08                     | 4.48                | 4.51                               |
| Ags  | 3.72                     | 4.37                | 4.05                 | 4.85                | 4.17                     | 4.99                | 4.99                               |
| Eyl  | 4.61                     | 5.89                | 4.72                 | 6.17                | 4.59                     | 6.04                | 6.19                               |
| Ekm  | 5.36                     | 7.27                | 5.18                 | 7.22                | 4.77                     | 6.68                | 7.32                               |
| Ksm  | 5.37                     | 7.62                | 5.01                 | 7.25                | 4.45                     | 6.39                | 7.63                               |
| Arl  | 5.93                     | 8.45                | 5.45                 | 7.88                | 4.77                     | 6.78                | 8.51                               |
| ORT. | 4.71                     | 6.21                | 4.74                 | 6.23                | 4.54                     | 5.92                | 6.50                               |

Tablo A.20 Shanghai, China. Ortalama Günlük Gelen Enerji kWh/m<sup>2</sup>  
Enlem: 31° 17' Kuzey, Boylam: 121° 28' Batı

| Ay   | Panel Eğimi<br>Enlem-15° |                     | Panel Eğimi<br>Enlem |                     | Panel Eğimi<br>Enlem+15° |                     | İki<br>Eksende<br>İzleyen<br>Panel |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
|      | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel       | 1-Eksende<br>İzleme | Sabit<br>Panel           | 1-Eksende<br>İzleme |                                    |
| Ock  | 3.38                     | 3.74                | 3.82                 | 4.31                | 4.06                     | 4.59                | 4.62                               |
| Sbt  | 3.07                     | 3.55                | 3.28                 | 3.92                | 3.33                     | 4.02                | 4.03                               |
| Mrt  | 4.27                     | 5.54                | 4.35                 | 5.80                | 4.23                     | 5.67                | 5.82                               |
| Nsn  | 4.85                     | 6.58                | 4.70                 | 6.53                | 4.34                     | 6.04                | 6.62                               |
| Mys  | 5.34                     | 7.38                | 4.99                 | 7.02                | 4.45                     | 6.17                | 7.40                               |
| Hzz  | 4.69                     | 6.63                | 4.33                 | 6.17                | 3.83                     | 5.29                | 6.69                               |
| Tnz  | 5.82                     | 8.01                | 5.38                 | 7.53                | 4.74                     | 6.54                | 8.06                               |
| Ags  | 5.99                     | 8.04                | 5.72                 | 7.84                | 5.20                     | 7.11                | 8.05                               |
| Eyl  | 5.20                     | 6.72                | 5.22                 | 6.90                | 4.98                     | 6.61                | 6.91                               |
| Ekm  | 4.38                     | 5.37                | 4.66                 | 5.83                | 4.71                     | 5.89                | 5.93                               |
| Ksm  | 3.47                     | 3.90                | 3.88                 | 4.45                | 4.08                     | 4.70                | 4.72                               |
| Arl  | 3.11                     | 3.35                | 3.57                 | 3.92                | 3.84                     | 4.22                | 4.27                               |
| ORT. | 4.46                     | 5.73                | 4.49                 | 5.85                | 4.32                     | 5.57                | 6.09                               |

## EK B. İKİ TABAKALI GERİYE YAYILIM (BACK PROPAGATION) ALGORİTMASININ OLUŞTURULMASI VE AKIŞ DİYAGRAMI

Giriş, ara ve çıkış tabakalarından oluşmuş, bilginin ileri yönde yayıldığı üç tabakalı bir ağ göz önüne alınsın (Şekil B.1).



Şekil B.1 Üç tabakalı bir ağ yapısı

Burada, çıkış tabakasına ilişkin ağırlıklı toplamlar ve gerçek çıkışlar aşağıdaki gibi verilebilir:

$$net_{pk} = \sum_j \omega_{jk} \cdot o_{pj} \quad (B.1)$$

$$o_{pk} = f(net_{pk}) = f_{pk} \quad (B.2)$$

Benzer şekilde ara tabaka çıkışları için de

$$net_{pj} = \sum_i \omega_{ij} \cdot o_{pi} \quad (B.3)$$

$$o_{pj} = f(net_{pj}) = f_{pj} \quad (B.4)$$

yazılabilir. Burada, p örüntü (pattern) sayısı olup, f sigmoid fonksiyonu şeklindeki lineer olmayan bir fonksiyondur.

Şekil 1'deki ağın çıkış düğümleri için bir enerji fonksiyonu verilirse,

$$E = \frac{1}{2} \cdot \sum_p \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (B.5)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (B.6)$$

$$E_{pk} = \frac{1}{2} \cdot (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (B.7)$$

olur. Geriye Yayılım Algoritmasının amacı olarak  $E_{pk}$  nın ağırlık katsayılarına göre minimumu alınırsa,

$$\frac{\partial E_{pk}}{\partial \omega_{jk}} = \frac{\partial E_{pk}}{\partial net_{pk}} \cdot \frac{\partial net_{pk}}{\partial \omega_{jk}} \quad (B.8)$$

şeklinde türevinin hesaplanması gerekir. Bu son eşitliğin sağ yanındaki ikinci terim (B.1) denkleminde

$$\frac{\partial net_{pk}}{\partial \omega_{jk}} = o_{pj} \quad (B.9)$$

olup, (B.8) denklemini

$$\frac{\partial E_{pk}}{\partial \omega_{jk}} = \frac{\partial E_{pk}}{\partial net_{pk}} \cdot o_{pj} \quad (B.10)$$

şeklindedir. Yine eşitliğin sağ tarafındaki birinci terim göz önüne alınırsa

$$\frac{\partial E_{pk}}{\partial net_{pk}} = \frac{\partial E_{pk}}{\partial o_{pk}} \cdot \frac{\partial o_{pk}}{\partial net_{pk}} \quad (B.11)$$

olup (B.2) ve (B.7) denklemlerinden sırasıyla

$$\frac{\partial o_{pk}}{\partial net_{pk}} = f'(net_{pk}) = f' \quad (B.12)$$

ve

$$\frac{\partial E_{pk}}{\partial o_{pk}} = -(t_{pk} - o_{pk}) \quad (B.13)$$

ifadelerinin hesaplanmasıyla (B.11) denklemini (B.12) ve (B.13) in yardımıyla

$$\frac{\partial E_{pk}}{\partial net_{pk}} = -f'_{pk} \cdot (t_{pk} - o_{pk}) \quad (B.14)$$

bulunur. Burada, aşağıdaki tanımı kullanarak

$$-\frac{\partial E_{pk}}{\partial net_{pk}} \triangleq \delta_{pk} \quad (B.15)$$

$$\delta_{pk} = f'_{pk} \cdot (t_{pk} - o_{pk}) \quad (B.16)$$

ifadeleri elde edilir. (B.10) denkleminde (B.16)'nın kullanılması ile

$$\frac{\partial E_{pk}}{\partial \omega_{jk}} = -\delta_{pk} \cdot o_{pj} \quad (B.17)$$

bulunur. Negatifliği eşitliğin sol tarafına vererek

$$-\frac{\partial E_{pk}}{\partial \omega_{jk}} = \delta_{pk} \cdot o_{pj} \quad (B.18)$$

elde edilir. Bu son denklem çıkış düğümlerindeki enerji fonksiyonunun değerinin ağırlık katsayılarına göre azalmasını gösterir. Buradan, (B.16) denkleminde göre ara ve çıkış tabakaları arasındaki ağırlık katsayılarının değişiminin de  $\delta_{pk}$  ve  $o_{pj}$  ile orantılı olduğu görülür.

$$\Delta_p \cdot \omega_{jk} \propto \delta_{pk} \cdot o_{pj} \quad (B.19)$$

$\eta$  bir orantı katsayısı olmak üzere,

$$\Delta_p \cdot \omega_{jk} = \eta \cdot \delta_{pk} \cdot o_{pj} \quad (B.20)$$

yazılabilir. Bu son ifadedeki, sonlu fark  $n$  iterasyon sayısı olmak üzere daha açık bir şekilde yazılırsa

$$\omega_{jk}(n+1) - \omega_{jk}(n) = \eta \cdot \delta_{pk} \cdot o_{pj} \quad (B.21)$$

veya

$$\omega_{jk}(n+1) = \omega_{jk}(n) + \eta \cdot \delta_{pk} \cdot o_{pj} \quad (B.22)$$

olarak hesaplanır. Bu eşitlik, saklı ve çıkış tabakaları arasındaki ağırlık katsayılarının güncelleştirilmesinde kullanılır. Eğer giriş-ara tabaka arasındaki  $\omega_{ij}$  katsayılarının da güncelleştirilmesi istenirse, o zaman çıkış düğümlerindeki toplam hatayı geriye doğru yaymak gerekir. Çünkü, (B.22) denklemini  $\omega_{ij}$  ağırlıkları ve  $o_{pi}$  değerleri cinsinden yazarken  $\delta_{pj}$  nin bilinmesine gerek duyulacaktır.  $\delta_{pj}$  ise çıkıştaki  $\delta_{pk}$  cinsinden kolayca hesaplanacağından bu algoritmaya “Geriye Yayılım Ağı” denilmiştir.

(B.15) denklemine benzer bir şekilde

$$-\frac{\partial E_p}{\partial \text{net}_{pj}} \triangleq \delta_{pj} \quad (B.23)$$

tanımlayarak

$$\frac{\partial E_p}{\partial \text{net}_{pj}} = \frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} \cdot \frac{\partial o_{pj}}{\partial \text{net}_{pj}} \quad (B.24)$$

şeklinde yazıp, çıkış düğümlerine ilişkin  $E_p$  toplam enerjisini de

$$E = \sum_p \sum_k E_{pk} \quad (B.25)$$

$$E_p = \sum_k E_{pk} \quad (B.26)$$

şeklinde göz önüne alarak, (B.24) denklemini

$$\frac{\partial E_p}{\partial \text{net}_{pj}} = \sum_k \frac{\partial E_{pk}}{\partial o_{pj}} \cdot \frac{\partial o_{pj}}{\partial \text{net}_{pj}} \quad (B.27)$$

yazılabilir. (B.27) denkleminde

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} = \sum_k \frac{\partial E_{pk}}{\partial \text{net}_{pk}} \cdot \frac{\partial \text{net}_{pk}}{\partial o_{pj}} \quad (B.28)$$

yazarak, (B.1) denklemini yardımı ile de,



$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} = \sum_k \frac{\partial E_{pk}}{\partial \text{net}_{pk}} \cdot \frac{\partial}{\partial o_{pj}} \left( \sum_i \omega_{jk} \cdot o_{pi} \right) \quad (\text{B.29})$$

veya

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} = \sum_k \frac{\partial E_{pk}}{\partial \text{net}_{pk}} \cdot \omega_{jk} \quad (\text{B.30})$$

olur.

Eğer (B.15) tanımını da, (B.30) denkleminde kullanılırsa,

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} = - \sum_k \delta_{pk} \cdot \omega_{jk} \quad (\text{B.31})$$

(B.22) eşitliğinde (B.31) in yazılması ve

$$\frac{\partial o_{pj}}{\partial \text{net}_{pj}} = \frac{\partial}{\partial \text{net}_{pj}} \cdot [f(\text{net}_{pj})] = f'(\text{net}_{pj}) = f'_{pj} \quad (\text{B.32})$$

türevinin de kullanılması ile (B.24) denklemi

$$\frac{\partial E_p}{\partial \text{net}_{pj}} = - f'_{pj} \cdot \sum_k \delta_{pk} \cdot \omega_{jk} \quad (\text{B.33})$$

olarak hesaplanır. Burada negatifliği eşitliğin diğer tarafına geçirerek

$$- \frac{\partial E_p}{\partial \text{net}_{pj}} = f'_{pj} \cdot \sum_k \delta_{pk} \cdot \omega_{jk} \quad (\text{B.34})$$

(B.23) tanımını (B.34) denkleminde kullanılarak

$$\delta_{pj} = f'_{pj} \cdot \sum_k \delta_{pk} \cdot \omega_{jk} \quad (\text{B.35})$$

elde edilir.

(B.20) denkleminin giriş ve ara tabaka arasındaki  $\omega_{ij}$  katsayılarının değişimi olan  $\Delta_p \omega_{ij}$  için yazılmasıyla,

$$\Delta_p \omega_{ij} = \eta \cdot \delta_{pj} \cdot o_{pi} \quad (B.36)$$

elde edilir. n iterasyon sayısı olmak üzere sonlu fark ifadesini açık formda yazarsak,

$$\omega_{ij}(n+1) - \omega_{ij}(n) = \eta \cdot \delta_{pj} \cdot o_{pi} \quad (B.37)$$

veya

$$\omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) + \eta \cdot \delta_{pj} \cdot o_{pi} \quad (B.38)$$

olur.

(B.12) ve (B.31) denklemlerindeki türev ifadeleri

$$f'_{pj} = \frac{\partial}{\partial \text{net}_{pj}} = f'_{pj} \cdot \left[ \frac{1}{1 + e^{-\beta \cdot \text{net}_{pj}}} \right] = \frac{\beta \cdot e^{-\beta \cdot \text{net}_{pj}}}{(1 + e^{-\beta \cdot \text{net}_{pj}})^2} = \beta \cdot o_{pj} (1 - o_{pj}) \quad (B.39)$$

$$f'_{pk} = \frac{\partial}{\partial \text{net}_{pk}} = f'_{pj} \cdot \left[ \frac{1}{1 + e^{-\beta \cdot \text{net}_{pk}}} \right] = \frac{\beta \cdot e^{-\beta \cdot \text{net}_{pk}}}{(1 + e^{-\beta \cdot \text{net}_{pk}})^2} = \beta \cdot o_{pk} (1 - o_{pk}) \quad (B.40)$$

şeklinde hesaplanır.

(B.39) ve (B.40)'ı kullanarak (B.16) ve (B.35) eşitlikleri,  $\delta_{pk}$  ve  $\delta_{pj}$  ifadeleri

$\beta = 1$  ( $0 < \beta \leq 1$ ) alınarak tekrar yazılırsa

$$\delta_{pk} = o_{pk} \cdot (1 - o_{pk}) \cdot (t_{pk} - o_{pk}) \quad (B.41)$$

ve

$$\delta_{pj} = o_{pj} \cdot (1 - o_{pj}) \cdot \sum_k (\delta_{pk} \cdot \omega_{jk}) \quad (B.42)$$

şeklini alır. Böylece güncellenen ağırlık katsayıları da sadece giriş ve çıkış büyüklükleri cinsinden

$$\omega_{jk}(n+1) = \omega_{jk}(n) + \eta \cdot o_{pk} \cdot (1 - o_{pk}) \cdot (t_{pk} - o_{pk}) \cdot o_{pj} \quad (B.43)$$

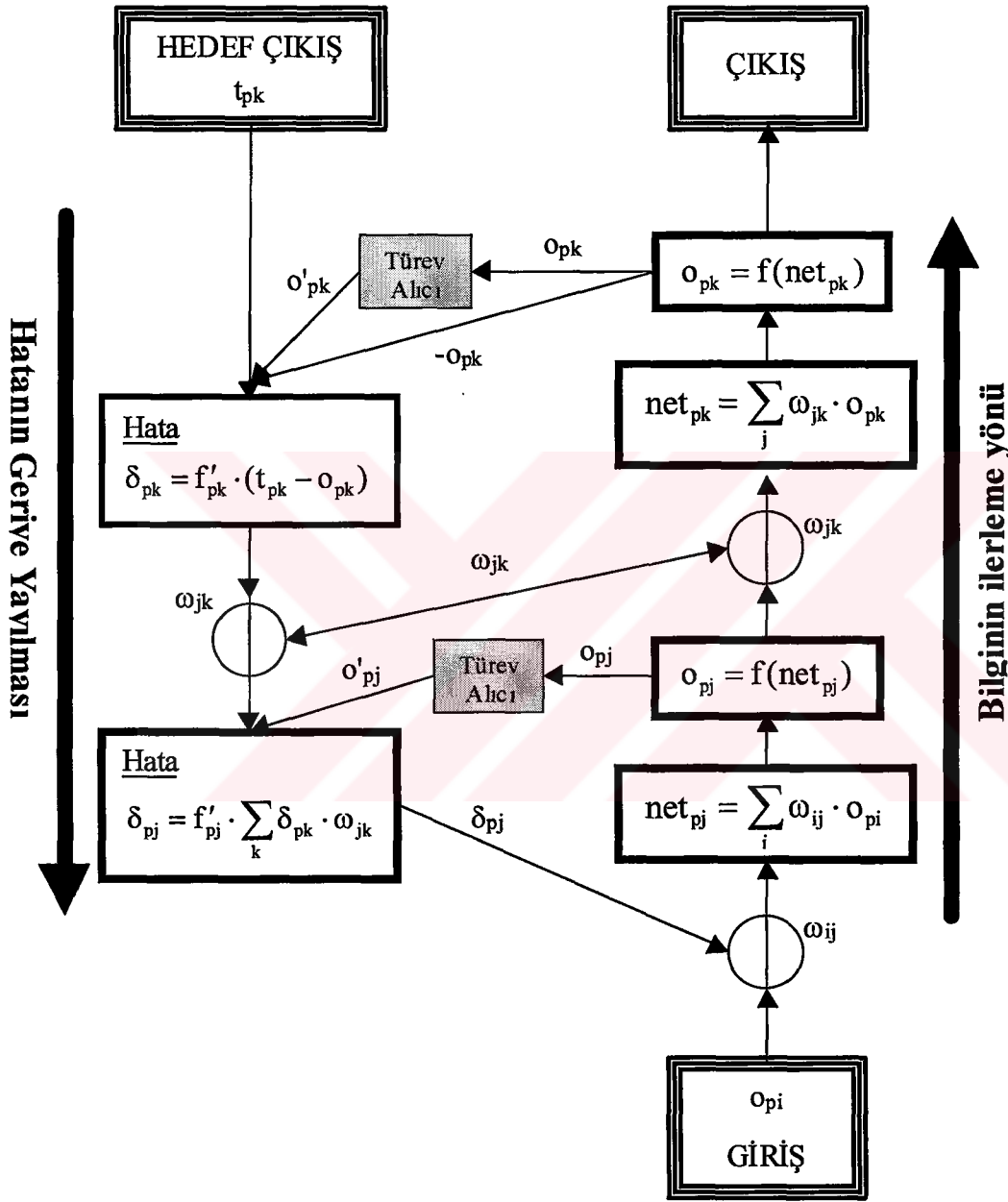
$$\omega_{ij}(n+1) = \omega_{ij}(n) + \eta \cdot o_{pj} \cdot \sum_k [o_{pk} \cdot (1 - o_{pk}) \cdot (t_{pk} - o_{pk}) \cdot \omega_{jk}] \cdot o_{pi} \quad (B.44)$$

şeklinde verilebilir.

Burada  $\eta$  : öğrenme oranı olup  $0 < \eta < 1$  şeklindedir. Genellikle  $\eta$  için, 0.7 ile 0.9 arasında bir değer alınır.

Geriye Yayılım Algoritmasının şematik gösterimi Şekil B.2'de verilmiştir





Şekil B.2 Geriye Yayılım Algoritmasının şematik gösterimi

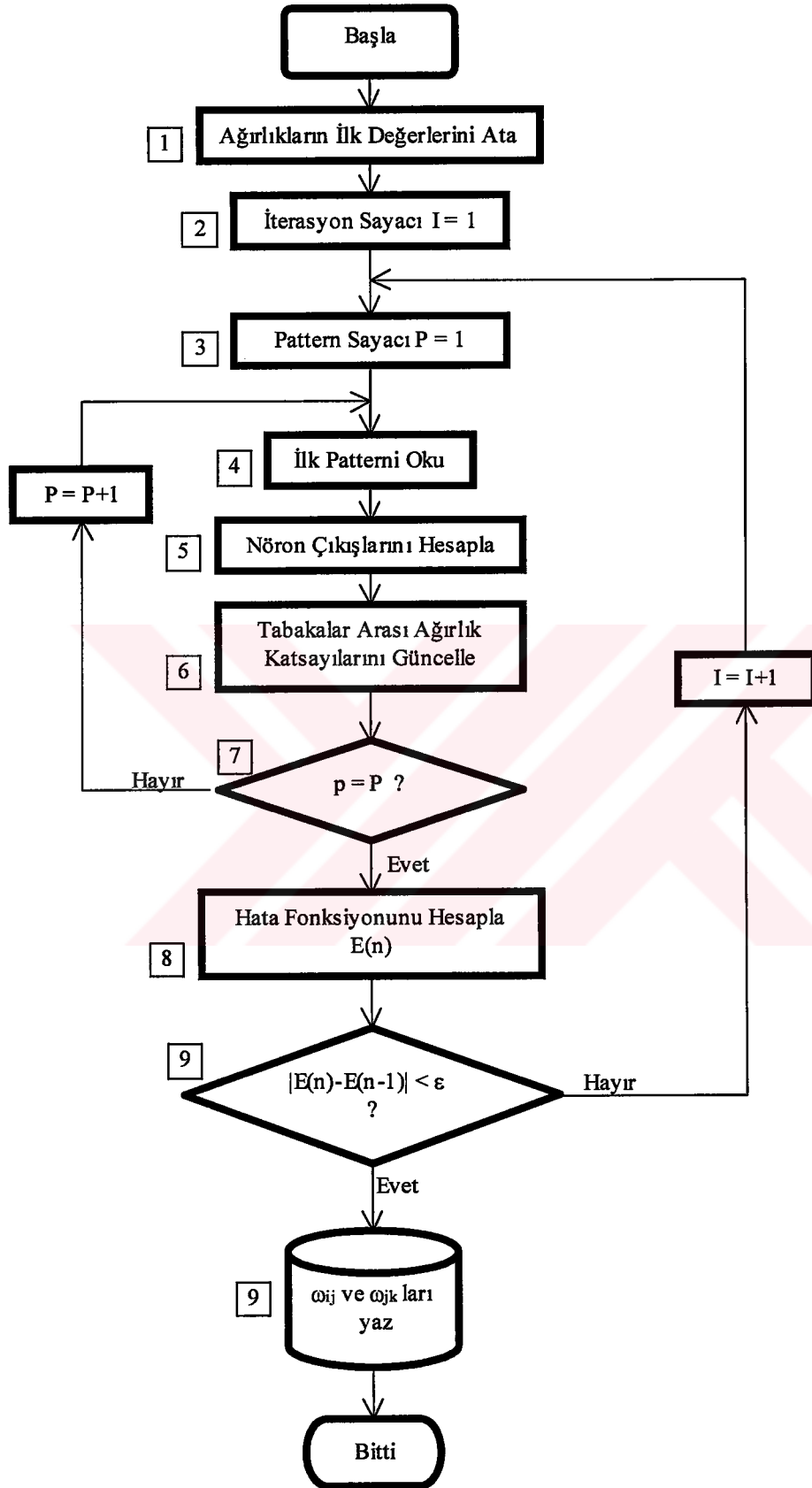
Öğrenme aşaması için, Geriye Yayılm Algoritmasının akış diyagramı maddeler halinde aşağıdaki gibi verilebilir.

- 1) Tabakalar arası bağlantı katsayılarına ( $\omega$ ) ilk değerler olarak random sayılar ver.
- 2) “İterasyon sayacı”nın ilk değeri olarak  $n=1$  sayısını oku.
- 3) “Örüntü sayacı”nın ilk değeri olarak  $p=1$  sayısını oku.
- 4) İşlenecek ilk örüntüyü oku.
- 5) Ara tabakalardaki düğümlerden başlayarak işleme alınan örüntüye ilişkin olarak tüm nöron çıkışlarını hesapla (denklem B.1, B.2, B.3, B.4).
- 6) Tabakalar arası ağırlık katsayılarını güncelle ( denklem B.43, B.44).
- 7) 3. ve 6. adımlar arasındaki işlemleri eğirim örüntülerinin hepsi bitene kadar tekrarla.
- 8) Çalışan  $n$ . iterasyon için  $E(n)$  hata fonksiyonunu hesapla.

$$E(n) = \sum_p E_p = \sum_p \frac{1}{2} \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (B.45)$$

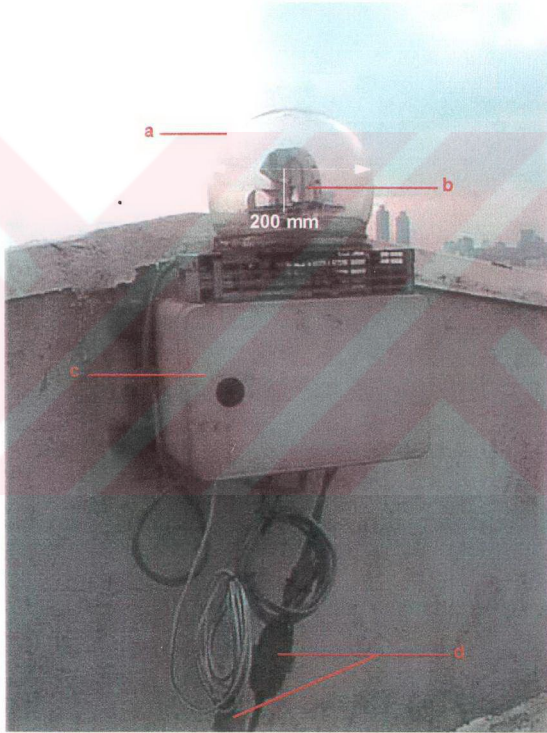
- 9) Eğer hata fonsiyonundaki fark yeterince küçükse yani,  $0 < \epsilon < 1$  olmak üzere,  $|E(n) - E(n-1)| < \epsilon$  ise o zaman tabakalar arasındaki tüm ağırlık katsayılarını kaydet ve işlemi durdur. Aksi durumda, iterasyon sayacını bir arttırıp 3. Adıma geri dön ve hata fonksiyonundaki fark  $\epsilon$  dan küçük oluncaya kadar 3. – 9. maddeler arasındaki işlemleri tekrarla.

Tüm bu maddeler Şekil B.3'deki akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil B.3 Öğrenme aşaması için, Geriye Yayılım Algoritmasının akış diyagramı

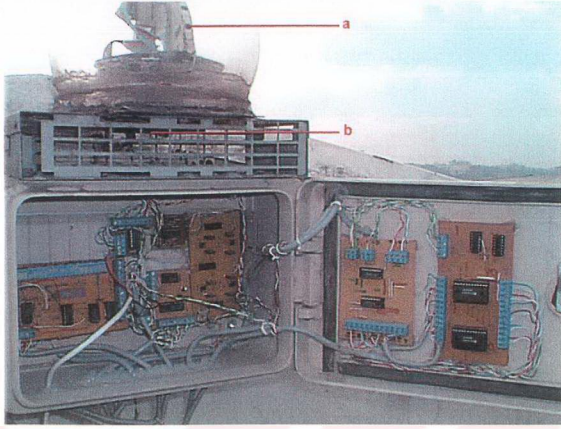
**EK C. ÖLÇÜ SİSTEMİNİN KURULDUĞU YERDEKİ AYRINTILI  
RESİMLERİ VE DATA BAĞLANTI ŞEMASI**



**Şekil C.1 Sensör ve kontrol kutusunun dıştan görünüşü**

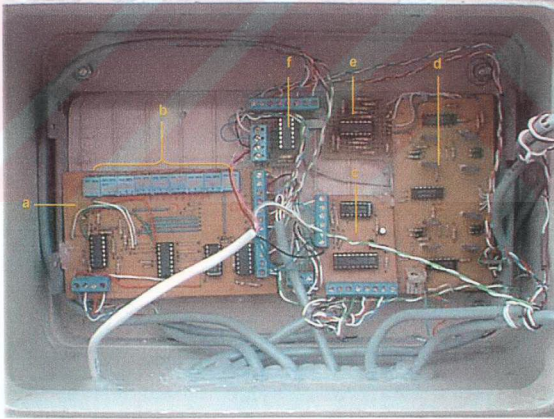
- a) Sensör ve step motoru dış etkenlerden koruyan polikarbon küre
- b) 18 derece açı ile dizilmiş 9 fotodiyot ve düzeneğini tutan disk
- c) Elektronik devreleri dış etkilerden koruyan plastik kutu
- d) Veri ve enerji kabloları ile bunların konnektörleri





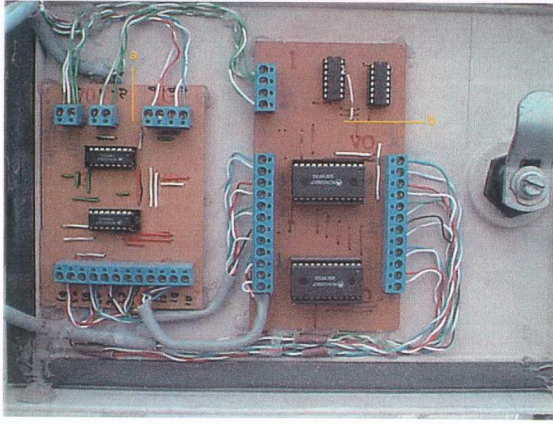
Şekil C.2 Senör motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun genel iç görüntüsü

- a) Işık giriş deliği
- b) Bağlantı klemensleri



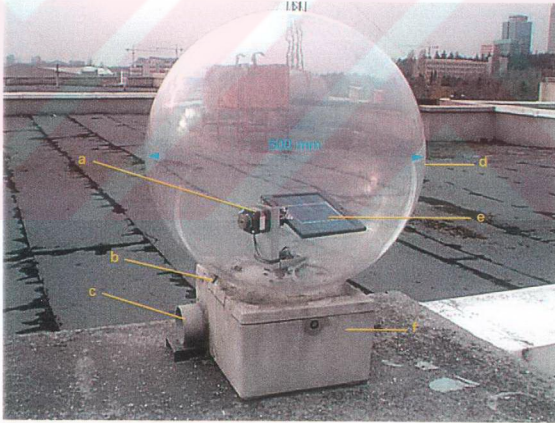
Şekil C.3 Senör motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun iç görüntüsü

- a) Sensör çoğullayıcı ve kalibrasyon devrelerinin bulunduğu kart
- b) Fotodirençlerin kalibrasyonunda kullanılan trimpotlar
- c) 8 bitlik analog-digital çevirici kartı
- d) Sensörü çeviren step motor kontrol kartı
- e) 5 V - 12 V sinyal dönüştürücü devre kartı
- f) Güneş modül gücü ile orantılı gerilimi 0-5 V arasında çeken devre kartı



Şekil C.4 Sensör motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun kapak görüntüsü

- a) Adres çözücü ve step motor seçici kart
- b) Sensör ve güneş modülünü hareket ettiren motorların bilgilerinin tutulduğu kart



Şekil C.5 Güneş modülü ve kontrol kutusunun dıştan görünüşü

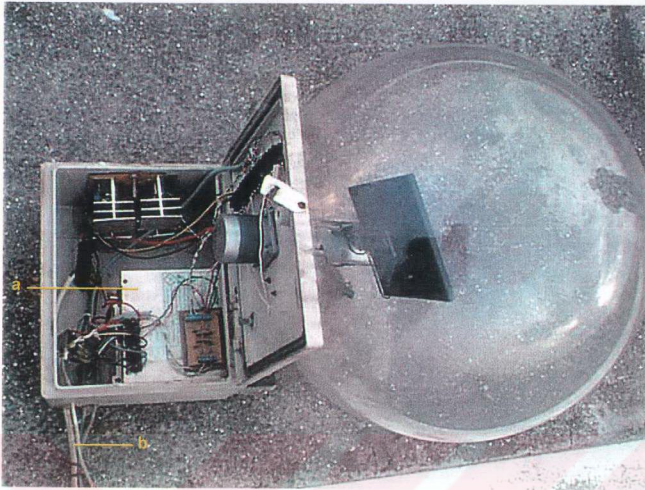
- a) Güneş modülünü düşey ekseninde hareket ettiren step motor
- b) Hava giriş açıklığı
- c) Hava çıkış bölümü ve koruyucusu
- d) Güneş modülü ve donanımını dış etkenlerden koruyan polikarbon küre
- e) Güneş modülü
- f) Elektronik devreleri dış etkilere koruyan plastik kutu



Şekil C.6 Modül motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun genel iç görüntüsü

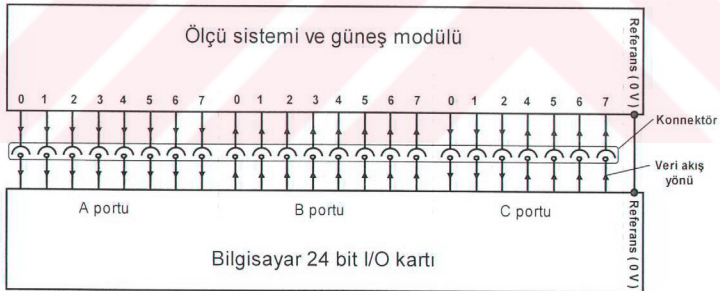
- a) Güneş modülü yük direnci
- b) Güneş modülünü yatay eksenle hareket ettiren step motor
- c) Güneş modülünü yatay eksenle hareket ettiren step motorun sürücü devre kartı
- d) Güneş modülünü düşey eksenle hareket ettiren step motorun sürücü devre kartı
- e) Polikarbon küreden Plastik kutuya hava geçiş açıklığı





Şekil C.7 Modül motor ve ölçü devrelerini koruyan kutunun üstten görünüşü

- a) Tüm sisteme +5, +12, 0 V veren anahtarlamalı güç kaynağı
- b) 220 V AC girişi, DC besleme çıkışı ve sensör kutusuna giden data kabloları



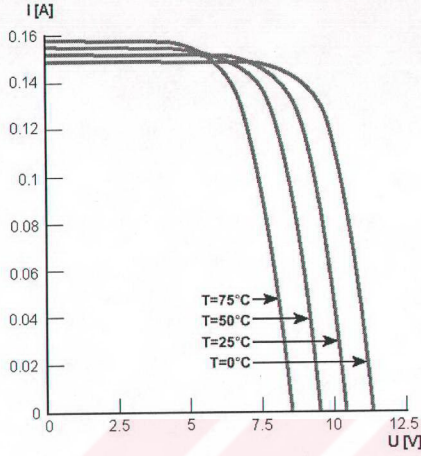
Şekil C.8 Bilgisayar ve ölçü düzeneği arasındaki bağlantılar

- A0-A7 : 8 bit Analog-Digital çevirici (ADC) bilgileri
- B0-B3 : Fotodiyot seçim adres bilgisi
- B4-B7 : Step motor hareket bilgileri
- C0 : Sensör hareket limit anahtarı bilgisi
- C1 : Güneş modülü yatay motor limit anahtarı bilgisi
- C2 : Güneş modülü düşey motor limit anahtarı bilgisi
- C4-C5 : B4-B7 bilgilerinin yönlendirildiği step motor adres bilgileri
- C6-C7 : Modül-Sensör datalarının ADC'ye yönlendirilmesini sağlayan adres bilgileri

**EK D. SOLAREX POLİKRİSTAL SİLİKON GÜNEŞ PANELİ  
MSX-01F 'NİN PARAMETRELERİ [59]**

Tablo D.1 Panelin elektriksel, ısıl ve fiziksel parametreleri

| Elektriksel Parametreler <sup>1</sup> |      |         |                       |
|---------------------------------------|------|---------|-----------------------|
| Maksimum nominal güç                  | Pmax | [Watt]  | 1.2                   |
| Gerilim @ Pmax                        | Vmp  | [Volt]  | 8.55                  |
| Akım @ Pmax                           | Imp  | [Amper] | 0.14                  |
| Garanti edilen minimum Pmax           |      | [Watt]  | 1.14                  |
| Kısa devre akımı                      | Isc  | [Amper] | 0.152                 |
| Açık devre gerilimi                   | Voc  | [Volt]  | 10.65                 |
| Isıl Parametreler                     |      |         |                       |
| NOCT <sup>2</sup>                     |      | [°C]    | 47 ± 2                |
| Isc'nin sıcaklık katsayısı            |      |         | +(0.065 ± 0.015)% /°C |
| Voc'nin sıcaklık katsayısı            |      |         | -(40 ± 5 ) mV/°C      |
| Gücün sıcaklık katsayısı              |      |         | -(0.5 ± 0.05)% /°C    |
| Fiziksel parametreler                 |      |         |                       |
| Uzunluk                               |      | [mm]    | 161                   |
| Genişlik                              |      | [mm]    | 139                   |
| Derinlik                              |      | [mm]    | 10                    |



Şekil D.1 Akım – Gerilim Karakteristiği<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Solarex MSX-01F modülleri 6 V'luk gerilim konfigrasyonu için tasarlanmıştır. Elektriksel parametreler standart test koşullarına (STC) göre belirlenmiştir : Işınım şiddeti = 1000w/m<sup>2</sup> hücre sıcaklığı = 25 °C; Her ASTM E892 için spektral güneş ışınım şiddeti (Hava kütlesi = 1.5).

<sup>2</sup> Nominal işletme hücre sıcaklığı (NOCT), normal işletme koşulları altında (NOC) belirlenmiştir: Işınım şiddeti = 800 w/m<sup>2</sup> ortam sıcaklığı = 20 °C; rüzgar hızı = 1 m/s.

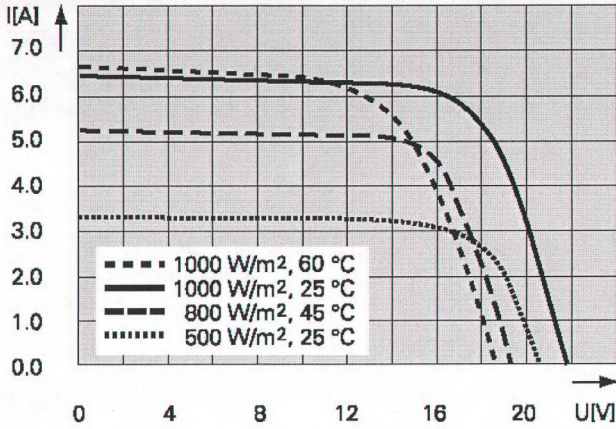
<sup>3</sup> 6 voltluk MSX-01F paneli için

**EK E. SİEMENS MONOKRİSTAL GÜNEŞ PANELİ SM110 'UN  
PARAMETRELERİ [60]**

Tablo E.1 Panelin elektriksel, ısı, test ve fiziksel parametreleri

| Elektriksel Parametreler <sup>1</sup>          |                           | 12V                                                      | 24V  |
|------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|------|
| Maksimum nominal güç                           | Pmax [Watt]               | 110                                                      |      |
| Minimum nominal güç                            | Pmin [Watt]               | 100                                                      |      |
| Nominal akım                                   | Imp [Amper]               | 6.3                                                      | 3.15 |
| Nominal Gerilim                                | Vmp [Volt]                | 17.5                                                     | 35.0 |
| Kısa devre akımı                               | Isc [Amper]               | 6.9                                                      | 3.45 |
| Açık devre gerilimi                            | Voc [Volt]                | 21.7                                                     | 43.5 |
| <b>Isıl Parametreler</b>                       |                           |                                                          |      |
| Nominal işletmede hücre sıcaklığı <sup>2</sup> | [°C]                      | 45 ± 2                                                   |      |
| Isc'nin sıcaklıkla değişimi                    |                           | +1.2mA/°C (+0.04%/°K)                                    |      |
| Voc'nin sıcaklıkla değişimi                    |                           | -0.0775 Volt/°C (-0.34%/°K)                              |      |
| <b>Test Parametreleri<sup>3</sup></b>          |                           |                                                          |      |
| Çalışma sıcaklığı aralığı                      | [°C]                      | -40 'dan +85 'e                                          |      |
| Nem, donma, nemli sıcaklık koşulu              | [% RH]                    | 85                                                       |      |
| Maksimum sistem gerilimi                       | [Volt]                    | Her bir ISPR (EC) için 1000,<br>Her bir UL 1703 için 600 |      |
| Rüzgar yükü veya yüzey basıncı                 | [N/m <sup>2</sup> ] (PSF) | 2400 (50)                                                |      |
| Maksimum bükülme <sup>4</sup>                  | [derece]                  | 1.2                                                      |      |
| Dolu yağışına dayanım (çap @ hız)              | [mm @ m/s]<br>(in @ MPH)  | 25 @ 23<br>(1.0 @ 52)                                    |      |
| <b>Fiziksel Parametreler</b>                   |                           |                                                          |      |
| Seri hücre adedi                               |                           | 72                                                       |      |
| Uzunluk                                        | [mm] (in)                 | 1316 (51.8)                                              |      |
| Genişlik                                       | [mm] (in)                 | 660 (25.98)                                              |      |
| Derinlik                                       | [mm] (in)                 | 40 (1.6)                                                 |      |
| Ağırlık                                        | [kg] (lbs)                | 11.5 (25.1)                                              |      |
| <b>Garanti<sup>5</sup></b>                     |                           |                                                          |      |
| Güç >= minimum gücün 90% 'ı                    | [Yıl]                     | 10                                                       |      |
| Güç >= minimum gücün 80% 'i                    | [Yıl]                     | 25                                                       |      |





Şekil E.1 Akım – Gerilim Karakteristiği<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Standart test koşullarına (STC) göre belirlenmiştir : Işınım şiddeti = 1000w/m² hücre sıcaklığı=25°C; Her ASTM E892 için spektral güneş ışınım şiddeti (Hava kütlesi = 1.5).

<sup>2</sup> Normal işletme koşullarına (NOC): göre belirlenmiştir: Işınım şiddeti = 800 w/m² ortam sıcaklığı=20°C; rüzgar hızı = 1m/s.

<sup>3</sup> Dış ortamlarda verimi ve dayanıklılığı sağlamak için CEC 503 Test Koşullarına göre gerçekleştirilen kalite kontrol testleri.

<sup>4</sup> Üç köşesi sabitken diğer köşeden diagonal olarak kaldırma.

<sup>5</sup> Müşteriler için: Garanti belgesine bakınız.

<sup>6</sup> 12 voltluk panel için

## ÖZGEÇMİŞ

M. Alp BATMAN, 1965 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Çavuşoğlu Koleji'nde , orta ve lise öğrenimini Ataköy Lisesi'nde tamamladı.1987 yılında İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünü mühendis ve 1991 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nı Yüksek Mühendis olarak bitirmiştir.

M. Alp BATMAN, 1991 yılından beri İ.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Mühendis olarak çalışmaktadır.