

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL İKLİM ŞARTLARINDA  
METEOROLOJİK PARAMETRELERİN PV (FOTOVOLTAİK PİL)  
ELEKTRİK ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bihter YERLİ**

**Anabilim Dalı : Meteoroloji Mühendisliği**

**Programı : Atmosfer Bilimleri**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet D. ŞAHİN**

**HAZİRAN 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL İKLİM ŞARTLARINDA  
METEOROLOJİK PARAMETRELERİN PV (FOTOVOLTAİK PİL)  
ELEKTRİK ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Bihter YERLİ  
(511081007)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet D. ŞAHİN (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai ŞEN (İTÜ)**

**Prof. Dr. H. Sema TOPÇU (İTÜ)**

**HAZİRAN 2011**



## ÖNSÖZ

Dünyada bulunan bütün enerjilerin kaynağı güneştir. Yayıdığı enerji sonucunda yenilenebilir enerji ve fosil kaynakların temelini de güneş oluşturmaktadır. Fakat fosil yakıtların sınırlı olmaları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi gittikçe artmaktadır.

Gerek temiz enerji olması, gerekse enerji bağımlılığını azaltmada önemli bir rol almaları sebebiyle kurulan fotovoltaik (PV) sistemlerin düşük verimlerini arttırmak önemli kazanımlar (çevresel, teknolojik, ekonomik, vs.) sağlayacaktır.

Bu tezde fotovoltaik pillerin verimini etkileyen atmosferik şartlar araştırılmıştır. Tezde kullanılan veriler, TÜBİTAK 1001 proje başvuruları çerçevesinde kabul görmüş 107M331 no'lu proje dâhilinde İTÜ Ayazağa Kampüsü Meteoroloji Gözlem Parkına kurulan rüzgâr-güneş hibrit sisteminden ölçülmüştür. Bu vesile ile verdiği destekten dolayı TÜBİTAK' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam Doç. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı, benden yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ercan İZGİ' ye de teşekkür ederim.

Tezimin programlama ve yazım safhalarında yardımlarını esirgemeyen Meteoroloji Y. Mühendisi Mustafa K. KAYMAK' a ve çalışmama FLUENT konusunda yapmış olduğu önemli katkılarından dolayı Uzay Mühendisi Ahmet Selim DURNA' ya teşekkürlerimi sunarım. Tez yazımında büyük emek harcayan Matematik öğretmeni adayı canım kardeşim Miray YERLİ' ye ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme de şükranlarımı ifade etmek istiyorum.

Bu çalışmanın ülkemize ve tüm insanlığa faydalı olması ve bu konuda çalışma yapacak tüm araştırmacılara ışık tutması dileği ile...

Mayıs 2011

Bihter Yerli

Meteoroloji Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                                                               |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                                                    | iii   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                             | v     |
| KISALTMALAR .....                                                                                                             | vii   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                                                          | ix    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                                                            | xi    |
| SEMBOL LİSTESİ.....                                                                                                           | xvii  |
| ÖZET.....                                                                                                                     | xix   |
| SUMMARY .....                                                                                                                 | xxiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                                                | 1     |
| 1.1 Tezin Amacı .....                                                                                                         | 2     |
| 1.2 Literatür Özeti .....                                                                                                     | 3     |
| 2. GÜNEŞ PİLLERİ (PV) .....                                                                                                   | 9     |
| 2.1 Fotovoltaik (Photovoltaic-Pv) Tarihçesi .....                                                                             | 10    |
| 2.2 Güneş Panellerinin Üretim Süreci.....                                                                                     | 11    |
| 2.3 Güneş Pillerinden Elektrik Üretimi.....                                                                                   | 14    |
| 2.4 Elektrik Üretiminin Genel Dağılımı.....                                                                                   | 15    |
| 2.5 Güneş Hücresi Çeşitleri.....                                                                                              | 16    |
| 2.5.1 Birinci nesil: kristal silisyum güneş hücreleri (c-Si ve mc-Si) .....                                                   | 16    |
| 2.5.2 İkinci nesil: ince film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS).....                                                | 17    |
| 2.5.3 Üçüncü nesil.....                                                                                                       | 19    |
| 2.6 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Faydaları .....                                                             | 19    |
| 2.7 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Sakıncaları .....                                                           | 19    |
| 2.8 Yenilenebilir Enerji Kanunu, Güneş Enerjisinden Elde Edilen Elektriğin<br>Şebekeye Satılması ile İlgili Düzenlemeler..... | 19    |
| 2.9 PV Azaltma Faktörü.....                                                                                                   | 21    |
| 2.10 Kapasite Faktörü .....                                                                                                   | 22    |
| 3. KURULAN SİSTEM VE ÖZELLİKLERİ.....                                                                                         | 23    |
| 3.1 Çalışma Alanı.....                                                                                                        | 23    |
| 3.2 Rüzgar Türbini .....                                                                                                      | 24    |
| 3.3 Fotovoltaik Panel (PV).....                                                                                               | 25    |
| 3.4 Kurulan Yer Meteoroloji İstasyonu ve Veri Saklama Birimi .....                                                            | 28    |
| 4. YÖNTEM.....                                                                                                                | 33    |
| 4.1 Yöntem-1.....                                                                                                             | 33    |
| 4.1.1 Ağustos ayı sonuç ve değerlendirmeleri .....                                                                            | 34    |
| 4.1.1.1 $\mu+1.0\sigma$ PV elektrik üretimleri .....                                                                          | 43    |
| 4.1.1.2 $\mu+1.5\sigma$ PV elektrik üretimleri .....                                                                          | 48    |
| 4.1.1.3 $\mu-0.5\sigma$ PV elektrik üretimleri .....                                                                          | 53    |
| 4.1.1.4 Verimlilikler ve kapasite faktörü .....                                                                               | 57    |
| Kapasite faktörü .....                                                                                                        | 57    |
| Enerji verimliliği .....                                                                                                      | 62    |
| 4.1.2 Şubat değerlendirmeleri .....                                                                                           | 67    |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 4.1.2.1 $\mu+1.0\sigma$ PV elektrik üretimleri | 73         |
| 4.1.2.2 $\mu+1.5\sigma$ PV elektrik üretimleri | 76         |
| 4.1.2.3 $\mu-0.5\sigma$ PV elektrik üretimleri | 79         |
| 4.1.2.4 Şubat verimlilikleri                   | 82         |
| Kapasite faktörü                               | 83         |
| Enerji verimliliği                             | 84         |
| 4.2 Yöntem-2 .....                             | 88         |
| 4.2.1 Değişim katsayısı .....                  | 88         |
| 4.3 Yöntem-3 .....                             | 93         |
| 4.3.1 Güneş paneli CFD çözümü .....            | 93         |
| 4.3.1.1 Çözüm ağının oluşturulması             | 93         |
| 4.3.1.2 Çözüm modeli                           | 96         |
| Çözüm modelinin kurulması                      | 97         |
| 4.3.2 Sonuçlar.....                            | 98         |
| 4.3.3 Değerlendirme .....                      | 100        |
| 4.4 Yöntem Karşılaştırılması.....              | 102        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>               | <b>109</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                          | <b>113</b> |
| <b>EKLER.....</b>                              | <b>117</b> |
| EK A :Çizelgeler .....                         | 117        |
| EK B:Şekiller.....                             | 121        |

## **KISALTMALAR**

|                |                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------|
| <b>AC</b>      | : Alternatif Akım                                      |
| <b>CIGS</b>    | : Bakır indiyum galyum diselenyum                      |
| <b>DC</b>      | : Doğru Akım                                           |
| <b>DMİ</b>     | : Devlet Meteoroloji İşleri                            |
| <b>EİE</b>     | : Elektrik İşleri Etüt İdaresi                         |
| <b>EPBT</b>    | : Enerji Geri Ödeme Zamanı                             |
| <b>FF</b>      | : Dolum çarpanı (Fill Factor)                          |
| <b>GW</b>      | : Gigawatt                                             |
| <b>MPPT</b>    | : Maksimum Güç Noktası İzleyici                        |
| <b>PV</b>      | : Fotovoltaik Pil                                      |
| <b>UGET-TB</b> | : Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu-Türkiye Bölümü |
| <b>YEK</b>     | : Yenilenebilir Enerji Kanunu                          |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 2.1 :</b> Silisyum hücre tiplerinin özellikleri. ....                                                                      | 17  |
| <b>Çizelge 2.2 :</b> İnce film çeşitlerinin özellikleri. ....                                                                         | 18  |
| <b>Çizelge 2.3 :</b> YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu 29.12.2010) teşvik fiyatları. ....                                              | 20  |
| <b>Çizelge 2.4 :</b> YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu) Türkiye'de üretilen aksamlar için teşvik fiyatları (ilk 5 yıl). ....           | 21  |
| <b>Çizelge 3.1 :</b> İTÜ Meteoroloji Parkına kurulan rüzgar türbininin bazı özellikleri. ....                                         | 24  |
| <b>Çizelge 3.2 :</b> UE 15' in farklı rüzgar şiddetlerinde üretim değerleri. ....                                                     | 25  |
| <b>Çizelge 3.3 :</b> Kullanılan anemometreler ve özellikleri. ....                                                                    | 25  |
| <b>Çizelge 3.4 :</b> Rüzgar türbini ve PV sistemlerinde kullanılan aletler ve özellikleri. ...                                        | 31  |
| <b>Çizelge 4.1 :</b> Her bir meteorolojik değişkenin farklı aylardaki toplam değişimleri...                                           | 90  |
| <b>Çizelge 4.2 :</b> Her bir meteorolojik değişkenin farklı aylardaki etki katsayıları. ....                                          | 91  |
| <b>Çizelge 4.3 :</b> Ortalamadan 1 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etkisi. ....            | 92  |
| <b>Çizelge 4.4 :</b> Ortalamadan 1 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etki katsayıları. ....  | 92  |
| <b>Çizelge 4.5:</b> $\mu+1.0\sigma$ verileri için çoklu regresyon analizi sonuçları. ....                                             | 105 |
| <b>Çizelge 4.6 :</b> $\mu+1.5\sigma$ verileri için çoklu regresyon analizi sonuçları. ....                                            | 106 |
| <b>Çizelge A.1 :</b> Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin toplam etkisi. ....   | 118 |
| <b>Çizelge A.2:</b> Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etki katsayıları. .... | 118 |
| <b>Çizelge A.3:</b> Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin toplam etkisi. ....    | 118 |
| <b>Çizelge A.4:</b> Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etki katsayıları. .... | 119 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 2.1 : Becquerel'in fotovoltaiik etkiyi gözlemlediği deney düzeneği. ....                                                                   | 11  |
| Şekil 2.2 : Kuvars. ....                                                                                                                         | 11  |
| Şekil 2.3 : Silisyum elde etme akış diyagramı.....                                                                                               | 12  |
| Şekil 2.4 : Silikon blokları. ....                                                                                                               | 13  |
| Şekil 2.5 : Güneş pili evreleri. ....                                                                                                            | 14  |
| Şekil 2.6 : Güneş modülünün yapısı. ....                                                                                                         | 14  |
| Şekil 2.7 : PV çalışma şekli. ....                                                                                                               | 15  |
| Şekil 3.1 : İTÜ Meteoroloji parkına kurulan hibrit sistemi. ....                                                                                 | 23  |
| Şekil 3.2 : Rüzgar türbini genel görünümü.....                                                                                                   | 24  |
| Şekil 3.3 : İTÜ meteoroloji parkına kurulan 750 W' lık PV sistemi. ....                                                                          | 26  |
| Şekil 3.4 : Akım-Gerilim (I-V) eğrisi. ....                                                                                                      | 26  |
| Şekil 3.5 : PV sistemin karakteristik güç eğrisi. ....                                                                                           | 26  |
| Şekil 3.6 : PV panel ve global ışınım piranometresi. ....                                                                                        | 27  |
| Şekil 3.7 : PV' de hücre sıcaklığı ölçümü. ....                                                                                                  | 27  |
| Şekil 3.8 : Yayılı ışınım ölçer. ....                                                                                                            | 28  |
| Şekil 3.9 : Otomatik meteoroloji yer istasyonu. ....                                                                                             | 28  |
| Şekil 3.10 : Donanım dolabı. ....                                                                                                                | 29  |
| Şekil 3.11 : Donanım dolabının içi. ....                                                                                                         | 29  |
| Şekil 3.12 : Donanım dolabında yer alan şarj kontrol ünitesi.....                                                                                | 30  |
| Şekil 3.13 : Donanım dolabında yer alan inverter. ....                                                                                           | 30  |
| Şekil 3.14 : Donanım dolabında yer alan akü grubu. ....                                                                                          | 31  |
| Şekil B.1 : Mart ayında toplam yüzeye gelen güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                    | 122 |
| Şekil B.2 : Mart ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                   | 122 |
| Şekil B.3 : Mart ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                           | 123 |
| Şekil B.4 : Mart ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                 | 123 |
| Şekil B.5 : Mart ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                    | 124 |
| Şekil B.6 : Mart ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                      | 124 |
| Şekil B.7 : Mart ayında ortalama dan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değeri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi. .... | 125 |
| Şekil B.8 : Mart ayında ortalama dan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değeri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi. ....       | 125 |
| Şekil B.9 : Mart ayında ortalama dan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi. ....                                      | 126 |
| Şekil B.10 : Mart ayında ortalama dan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                            | 126 |
| Şekil B.11 : Mart ayında ortalama dan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.....                                | 127 |
| Şekil B.12 : Mart ayında ortalama dan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi. ....                                | 127 |

|                     |                                                                                                                                             |     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil B.13 :</b> | Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi. ....              | 128 |
| <b>Şekil B.14 :</b> | Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi. ....                    | 128 |
| <b>Şekil B.15 :</b> | Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi. ....                                            | 129 |
| <b>Şekil B.16 :</b> | Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                                   | 129 |
| <b>Şekil B.17 :</b> | Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                                      | 130 |
| <b>Şekil B.18 :</b> | Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi. ....                                       | 130 |
| <b>Şekil B.19 :</b> | Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi. ....              | 131 |
| <b>Şekil B.20 :</b> | Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi. ....                    | 131 |
| <b>Şekil B.21 :</b> | Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi. ....                                            | 132 |
| <b>Şekil B.22 :</b> | Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                                   | 132 |
| <b>Şekil B.23 :</b> | Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                                      | 133 |
| <b>Şekil B.24 :</b> | Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi. ....                                       | 133 |
| <b>Şekil B.25 :</b> | Nisan '09 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                              | 134 |
| <b>Şekil B.26 :</b> | Nisan '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                    | 134 |
| <b>Şekil B.27 :</b> | Nisan '09 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                            | 135 |
| <b>Şekil B.28 :</b> | Nisan '09 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ..                                                                     | 135 |
| <b>Şekil B.29 :</b> | Nisan '09 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                      | 136 |
| <b>Şekil B.30 :</b> | Nisan '09 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                       | 136 |
| <b>Şekil B.31 :</b> | Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi. .... | 137 |
| <b>Şekil B.32 :</b> | Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi. ....       | 137 |
| <b>Şekil B.33 :</b> | Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi. ....                                         | 138 |
| <b>Şekil B.34 :</b> | Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                                | 138 |
| <b>Şekil B.35 :</b> | Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                                   | 139 |
| <b>Şekil B.36 :</b> | Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi. ....                                    | 139 |
| <b>Şekil B.37 :</b> | Mayıs '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                    | 140 |
| <b>Şekil B.38 :</b> | Mayıs '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                    | 140 |
| <b>Şekil B.39 :</b> | Mayıs '09 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                            | 141 |

|                     |                                                                                                                                                 |     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil B.40 :</b> | Mayıs '09 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi...                                                                          | 141 |
| <b>Şekil B.41 :</b> | Mayıs '09 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                           | 142 |
| <b>Şekil B.42 :</b> | Mayıs '09 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                           | 142 |
| <b>Şekil B.43 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.<br>..... | 143 |
| <b>Şekil B.44 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.....            | 143 |
| <b>Şekil B.45 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                              | 144 |
| <b>Şekil B.46 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                                    | 144 |
| <b>Şekil B.47 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                                       | 145 |
| <b>Şekil B.48 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.....                                         | 145 |
| <b>Şekil B.49 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.....              | 146 |
| <b>Şekil B.50 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi. ....                   | 146 |
| <b>Şekil B.51 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                            | 147 |
| <b>Şekil B.52 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                                  | 147 |
| <b>Şekil B.53 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                                     | 148 |
| <b>Şekil B.54 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.....                                       | 148 |
| <b>Şekil B.55 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi. ....             | 149 |
| <b>Şekil B.56 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi. ....                   | 149 |
| <b>Şekil B.57 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                            | 150 |
| <b>Şekil B.58 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                                  | 150 |
| <b>Şekil B.59 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                                     | 151 |
| <b>Şekil B.60 :</b> | Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.....                                       | 151 |
| <b>Şekil B.61 :</b> | Temmuz '09 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                 | 152 |
| <b>Şekil B.62 :</b> | Temmuz '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                       | 152 |
| <b>Şekil B.63 :</b> | Temmuz '09 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                               | 153 |
| <b>Şekil B.64 :</b> | Temmuz '09 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.<br>.....                                                                  | 153 |
| <b>Şekil B.65 :</b> | Temmuz '09 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ..                                                                           | 154 |
| <b>Şekil B.66 :</b> | Temmuz '09 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi. ....                                                                          | 154 |

|                     |                                                                                                                                         |     |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil B.67 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi. | 155 |
| <b>Şekil B.68 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.       | 155 |
| <b>Şekil B.69 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.                                         | 156 |
| <b>Şekil B.70 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.                                | 156 |
| <b>Şekil B.71 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.                                   | 157 |
| <b>Şekil B.72 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.                                    | 157 |
| <b>Şekil B.73 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.         | 158 |
| <b>Şekil B.74 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.               | 158 |
| <b>Şekil B.75 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.                                       | 159 |
| <b>Şekil B.76 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.                              | 159 |
| <b>Şekil B.77 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.                                 | 160 |
| <b>Şekil B.78 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.                                  | 160 |
| <b>Şekil B.79 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.         | 161 |
| <b>Şekil B.80 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.               | 161 |
| <b>Şekil B.81 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.                                       | 162 |
| <b>Şekil B.82 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.                              | 162 |
| <b>Şekil B.83 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.                                 | 163 |
| <b>Şekil B.84 :</b> | Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.                                  | 163 |
| <b>Şekil B.85 :</b> | Nisan '10 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.                                               | 164 |
| <b>Şekil B.86 :</b> | Nisan '10 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi arasındaki saçılma diyagramı.                                 | 164 |
| <b>Şekil B.87 :</b> | Nisan '10 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.                                                                             | 165 |
| <b>Şekil B.88 :</b> | Nisan '10 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.                                                                    | 165 |
| <b>Şekil B.89 :</b> | Nisan '10 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.                                                                       | 166 |
| <b>Şekil B.90 :</b> | Nisan '10 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.                                                                        | 166 |
| <b>Şekil B.91 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.  | 167 |
| <b>Şekil B.92 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.        | 167 |

|                      |                                                                                                                                            |     |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil B.93 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                         | 168 |
| <b>Şekil B.94 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.....                                | 168 |
| <b>Şekil B.95 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.....                                   | 169 |
| <b>Şekil B.96 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.....                                    | 169 |
| <b>Şekil B.97 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.....         | 170 |
| <b>Şekil B.98 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.....               | 170 |
| <b>Şekil B.99 :</b>  | Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                       | 171 |
| <b>Şekil B.100 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.....                              | 171 |
| <b>Şekil B.101 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.....                                 | 172 |
| <b>Şekil B.102 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.....                                  | 172 |
| <b>Şekil B.103 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.....         | 173 |
| <b>Şekil B.104 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.....               | 173 |
| <b>Şekil B.105 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                       | 174 |
| <b>Şekil B.106 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.....                              | 174 |
| <b>Şekil B.107 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.....                                 | 175 |
| <b>Şekil B.108 :</b> | Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.....                                  | 175 |
| <b>Şekil B.109 :</b> | Mayıs '10 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                              | 176 |
| <b>Şekil B.110 :</b> | Mayıs '10 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                    | 176 |
| <b>Şekil B.111 :</b> | Mayıs '10 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                            | 177 |
| <b>Şekil B.112 :</b> | Mayıs '10 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                   | 177 |
| <b>Şekil B.113 :</b> | Mayıs '10 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                      | 178 |
| <b>Şekil B.114 :</b> | Mayıs '10 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.....                                                                       | 178 |
| <b>Şekil B.115 :</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi..... | 179 |
| <b>Şekil B.116 :</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.....       | 179 |
| <b>Şekil B.117 :</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.....                                         | 180 |

|                     |                                                                                                                                       |     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil B.118:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                          | 180 |
| <b>Şekil B.119:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                             | 181 |
| <b>Şekil B.120:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi. ....                              | 181 |
| <b>Şekil B.121:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımı ilişkisi. .... | 182 |
| <b>Şekil B.122:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınım ilişkisi. ....        | 182 |
| <b>Şekil B.123:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi. ....                                 | 183 |
| <b>Şekil B.124:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi. ....                        | 183 |
| <b>Şekil B.125:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi. ....                           | 184 |
| <b>Şekil B.126:</b> | Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi. ....                            | 184 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| <b>Ah, Ahr</b>         | : Amper saat                        |
| <b>a-Si</b>            | : Amorphous                         |
| <b>CdTe</b>            | : Cadmium Telluride                 |
| <b>c-Si, SIN</b>       | : Monokristal                       |
| <b>I</b>               | : Akım (amper)                      |
| <b>I<sub>mpp</sub></b> | : Maksimum güç noktasındaki akım    |
| <b>I<sub>sc</sub></b>  | : Kısa devre akımı                  |
| <b>kW</b>              | : kilowatt                          |
| <b>mc-Si</b>           | : Polikristal                       |
| <b>P<sub>m</sub></b>   | : Maksimum güç                      |
| <b>Si</b>              | : Silisyum                          |
| <b>SiO<sub>2</sub></b> | : Silisyum dioksit                  |
| <b>V</b>               | : Gerilim (volt)                    |
| <b>V<sub>mpp</sub></b> | : Maksimum güç noktasındaki gerilim |
| <b>V<sub>oc</sub></b>  | : Açık devre gerilimi               |
| <b>W</b>               | : Watt                              |
| <b>Wh, Whr</b>         | : Watt saat                         |
| <b>W<sub>p</sub></b>   | : Watt power                        |
| <b>μ</b>               | : ortalama                          |
| <b>σ</b>               | : standart sapma                    |



# İSTANBUL İKLİM ŞARTLARINDA METEOROLOJİK PARAMETRELERİN PV (FOTOVOLTAİK PİL) ELEKTRİK ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelme son yıllarda giderek artmaktadır. Bu yöneliş öncelikle potansiyel hesaplamalarıyla başlamış zamanla teknolojilerin uygulamasına geçilmiştir. Teknolojik anlamda güneş enerjisi uygulamaları genelde ısıtma ve elektrik üretme amaçlı olmaktadır. Elektrik üretmede fotovoltaik pil (PV) uygulamaları dünya çapında büyük ivme kazanmıştır. Fotovoltaik teknolojinin en önemli çıkması, malzeme özelliklerinden kaynaklanan verim düşüklüğüdür. Buna ilave olarak, uygun yer seçilmemesi bu teknolojiye verimi daha da düşürmektedir. Uygun malzeme özelliklerine sahip fotovoltaiklerin ve yüksek potansiyelli yer seçimlerinin bir araya getirilmesiyle kayıplar en aza indirgenebilir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle PV pillerin İstanbul iklim şartlarında elektriksel ve ısısal davranışları incelenmek istenmiştir. Bu doğrultuda İTÜ, Meteoroloji Parkına kurulan 750 Wp gücündeki bir sistemde ve çevresinde toplam güneş ışınımı, yayılı güneş ışınımı, atmosfer sıcaklığı, panel yüzey sıcaklığı (hücre sıcaklığı), bağıl nem ve rüzgar hızı değerleri birer dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Belirtilen bu meteorolojik değişkenler ile aynı zamanlı olmak üzere fotovoltaik sistemin ürettiği akım ve gerilim değerleri de depolanmıştır. İstanbul şartlarında PV uygulamalar birçok kişi ve kuruluş tarafından daha önceleri yapılmıştır. Fakat genellikle olaya, sadece elektrik üretimleri veya potansiyel güneş ışınımı uygulamaları şeklinde yaklaşmıştır. İstanbul iklim şartlarının fotovoltaik elektrik üretimini nasıl ve ne oranda etkilediği net olarak ele alınmamıştır. Aslında bu durum sadece İstanbul değil dünyada da çok az çalışılan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Fotovoltaik pil çalışmalarının genelde teknoloji üretimine yönelik olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle her bir aya ait olmak üzere PV elektrik üretimleri ortalamadan itibaren 0.5, 1.0 ve 1.5 standart sapma aşağı ve yukarı olacak şekilde parçalara ayrılmıştır. Ortalamanın 0.5 standart sapma altı ve daha küçük değerleri “düşük üretim bölgesi”, ortalamanın 1.0 standart sapma üstünden yüksek bölgesi “yüksek üretim bölgesi”, ortalamanın 1.5 standart sapma üstü bölgesi “ekstra yüksek üretim bölgesi” şeklinde bir sınıflandırma yapılmıştır. Ortalamadan 2.0 standart sapma verileri bulunmakla birlikte bunların sayıları çok az olduğundan değerlendirmeye ayrı bir grup olarak alınmamışlardır.

Bu tez çalışmasında, her bir meteorolojik değişkenin yukarıdaki paragrafta anlatılan PV elektrik üretim bölgelerindeki değerler ile ilişkilerine bakılmıştır. Buna göre meteorolojik değişkene bağlı olarak elektrik üretimi ne oranda artmakta veya azalmaktadır? Bu artma veya azaltma etkilerini incelemek ve aynı şeyleri karşılaştırmak amacıyla yeni bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. Bu yöntemde gruplara ayrılan PV elektrik üretim değerlerinin toplam güce bölünmesiyle kapasite

faktörleri belirlenmiştir. Bu kapasite faktörlerinin ardışık olarak meteorolojik değişkene bağlı artış ve azalış değişim hızı, “değişim katsayısı” olarak adlandırılan bir yeni yöntem ile ele alınmıştır. Bu artış ve azalışlar aynı zamanda her bir değişkenin üretime olan katkısını göstermektedir. Her bir değişkenin toplam değişim katsayısı, mutlak değişim katsayısına bölündüğünde ise değişkenin belirlenen gruptaki “etki katsayısı” elde edilmektedir.

Bu çalışmada, daha önce bahsedildiği üzere 750 Wp gücünde, güneş yörünge izlemeli kurulan sistemin elektrik üretim davranışları birer dakikalık arayla ele alınmıştır. Bunun sonucunda toplam güneş ışınımının üretilen elektrik ile olan ilişkisi, şüphesiz ki diğer değişkenlerin önünde gelmektedir. Güneş ışınım değerleri arttıkça elektrik üretimi de artmaktadır. Fakat burada dikkat çekilmesi gereken önemli bir nokta, güneş enerjisine bağlı enerji verimliliğinde güneş ışınımı arttıkça verimin artmamasıdır. Bunun temelinde de yüksek potansiyele karşılık üretimin düşük olması yatmaktadır. Toplam güneş ışınımı bu sistemin ve bütün dünyadaki yenilenebilir kaynakların temelini oluşturmaktadır. Bu temel yeterli seviyede olmadığı sürece diğer meteorolojik değişkenler pek önem taşımamaktadırlar. İstanbul şartlarında, özellikle yaz aylarında  $1200 \text{ W/m}^2$  ye varan toplam ışınım gözlemlenmektedir. Toplam güneş ışınımı ve elektrik üretimi arasında doğrusal bir ilişkiden sadece bütün veriler ele alınırken değil ortalamanın üstündeki değerlerde de söz edilebilir. Bu değişken Şubat ayında % 34 etkili olurken Ağustos ayında % 23 etkili olmaktadır.

İkinci meteorolojik değişken olarak yayılı (difüz) ışınım değerleri ele alınmıştır. Bu değişken, toplam ışınımına nazaran daha az etkili olmakta ve doğrusalılıkta bozunumlar yaşanmaktadır. Yayılı ışınımın elektrik üretimini genel anlamda sabah, öğlen-ikindi ve akşama doğru olmak üzere farklı gruplarda etkidiği görülmüştür. Ayrıca yayılı ışınımına ait değişim değerleri elde edilmiştir. Bunun sonucunda Şubat ayında % 34 etkili olurken Ağustos ayında ise % 16 etkili olmuştur.

Diğer bir değişken atmosfer sıcaklığıdır. Atmosfer sıcaklığı şüphesiz ki toplam güneş ışınımına bağlıdır. Bilindiği üzere PV uygulamalarında, normal test şartları olarak  $1000 \text{ W/m}^2$  toplam güneş ışınımı ve  $25^\circ\text{C}$  atmosfer sıcaklığı kabulleri vardır. En yüksek verimlilikler bu şartlar altında oluşmaktadır. Bu değerlendirmeler ışığında Ağustos ayı boyunca  $25-30^\circ\text{C}$  ye kadar üretimde artış varken daha sonra sıcaklığın etkisinin sabitlendiği ve yüksek sıcaklıklarda ters etki yaptığı görülmüştür. Şubat ayında ise sıcaklık arttıkça üretimin arttığı görülmektedir. İlave olarak diğer aylara ait ilişkilendirmeler de yapılmıştır. Bütün seviyeler için değişim değerleri ve etki katsayıları tablolar halinde verilmiştir.

Dördüncü değişken olarak hücre sıcaklığı ele alınmıştır. Bu değişken güneş ışınımı, atmosfer sıcaklığı ve malzemenin özellikleriyle ilişkilidir. Özellikle  $35-40^\circ\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklıklarda üretimin artışı ve daha yükseklerde ise etkinin tam tersi bir durumun gözlemlendiği görülmüştür. Bu aralıktaki etkiden dolayı yaz aylarında hücre sıcaklığının artışı olumsuz bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat kış aylarında ise hücre sıcaklığı yüksek değerlere çıkamadığından dolayı üretimi artırıcı bir değişken olmaktadır. Hücre sıcaklığının elektrik üretimini artırıcı ve azaltıcı değişim oranları bulunmuştur. Buna göre Ağustos ayında hücre sıcaklığı % 6 etkili olurken Şubat ayında ise % 24 etkili olmaktadır. Her bir ayın etki katsayıları ayrıca tablolar halinde verilmiştir.

Beşinci değişken olarak bağıl nem değerleri hesaba katılmıştır. Bilindiği üzere subuharı gelen güneş ışınımını yayılı ışınımına çevirerek etkisini azaltmaktadır. Bunun yanında, yüzeyden yansıyan uzun dalga boylu ışınım ise sera gazı olarak adlandırılan

subuharı tarafından absorbe edilmektedir. Bir anlamda yüzeye çok yakın bir bölgede yüksek subuharı değerleri ısınmayı arttırıcı etki göstermektedir. Yapılan çalışmada düşük bağıl nem durumlarında PV elektrik üretimi artmakta, yüksek değerlerde ise azalmalara sebebiyet vermektedir. Burada şunu ifade etmek gerekir ki, bağıl nem etkisi diğer değişkenler kadar net olamamaktadır. Bu doğrultuda verisi bulunan aylara ait değişim etkileri hesaplanmıştır. Bunun yanında Ağustos ayı için bağıl nem % 19 etkili olurken Şubat ayında % 0.4 etkili olmaktadır.

Son değişken ise rüzgar şiddetidir. Aynı zamanda en çok merak edilen değişkenlerden birisidir. Rüzgar şiddetinin hücre sıcaklığını azaltıcı ve böylece üretimi arttırıcı etki göstermesi beklenmekteydi. Aslında yaz aylarında beklendiği gibi oldu, hücre sıcaklığı 25 °C'nin üzerine çıktığında yüksek rüzgar şiddetleri soğutma yapmakta ve bunun sonucunda da üretim artmaktadır. Fakat asıl beklenmeyen kış aylarındaki davranıştır. Rüzgar şiddeti optimum sıcaklık olan 25 °C'den uzaklaştırmaya sebebiyet verdiği için yüksek şiddette üretimi azaltıcı etki gözlemlenmiştir. Bir anlamda atmosfer ve hücre sıcaklıklarının optimum seviyeye gelmesi rüzgar tarafından engellenmektedir. Rüzgarın arttırıcı veya azaltıcı etki değerleri verisi bulunan her bir ay için hesaplanmıştır. Bunun yanında rüzgarın Ağustos ayında % 15 ve Şubat ayında % 1 etkili olduğu görülmektedir.

Meteorolojik değişkenlerin üretime olan katkıları yanında verimle olan ilişkileri de incelenmiştir. Fotovoltaiklerde verim; kapasite faktörü ve enerji verimliliği olarak iki bölümde incelenmiştir. Kapasite faktöründe aylar bazında %20-50 oranında değerler gözlemlenmiştir. Enerji verimliliğinde ise beklenenin altında değerler elde edilmiştir. Özellikle yüksek potansiyel değerlerinde düşük ve düşük potansiyellerde yüksek enerji verimlilikleri yanıltıcı unsurlar olarak görülmüştür.

Bütün bunlara ilave olarak FLUENT programında PV yüzeyinin akışı incelenmiştir. Bu incelemede çeşitli yönlerden rüzgar şiddetlerindeki sıcaklık dağılımları ele alınmıştır. Ayrıca fotovoltaik panelin yakın yüzeyi boyunca düşey rüzgar profilleri ve ısı taşınımındaki etkileri ayrıntılı incelenmiştir.



# THE EFFECT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON PHOTOVOLTAICS (PV) UNDER CLIMATIC CONDITIONS OF ISTANBUL

## SUMMARY

To interest renewable energy sources has been increasing recent years. This interest had begun with the calculation of potential then has continued with the application of the technologies. Solar energy applications by means of technology are usually objected to in the field of heating and electricity generation. PV applications in the world have gained as great increase during last decade. The most important dilemma of the PV technology is low efficiency due to the characteristics of the materials. As well, selecting the unfeasible place cause to decrease the efficiency under expectations. Combining the feasible place with the high capacity convenient material, cause to reduce the losses of the system.

During this thesis, the first aim is to analyze the electrical and thermal behaviour of PVs under the climatic conditions of Istanbul. For this aim; global solar radiation, diffuse radiation, atmospheric temperature, PV cell temperature, relative humidity and wind speed are measured with one minute time interval from the 750 Wp PV test system constructed in Meteorology Park of ITU. At the same time, current and voltage of this system are also measured. PV applications in Istanbul has been done by many person and institutions before. But they generally thought as only electricity generation or potential of solar radiation applications. The effect of micro climatic conditions on PV electricity has not been researched not only in Istanbul; but also in the world. PVs searches have been generally focused on the technology production and applications.

In this study, first PV electricity generation values have been divided into different groups in each month. The first class in which values are less than mean minus 0.5 standart deviation ( $\mu - 0.5\sigma$ ) of total data is called “low generation area”. The “high generation area” consists of the values that are higher than mean plus standart deviation ( $\mu + 1.0\sigma$ ) of data. Finally values higher than mean plus 1.5 standart deviation ( $\mu + 1.5\sigma$ ) of mean could be called as “extra high generation area”. There are too few data higher than mean plus 2 standart deviation ( $\mu + 2\sigma$ ), so they are not divided as another group.

In this study, the relationship between PV electricity generation and meteorological parameters which are mentioned above have been considered. A new method is suggested to understand the effects of these parameters on PV electricity generation. In this method, grouped PV electricity generation values are divided to total capacity of PV panel, so different efficiencies are defined. The consecutive increasing and decreasing variations in capacity factors are formed “variation coefficient”. Each variation coefficient is divided by absolute variation coefficient to find “coefficient of influence”.

The first meteorologic parameter is considered as global solar radiation. As known, high solar radiation leads to high PV electricity generation. But in here, the important issue is that, energy efficiency does not increase with the radiation. This is because the potential of PV is high but the electricity generation is low. Especially during summer, maximum  $1200 \text{ W/m}^2$  solar radiation could be observed. However, as expected, this parameter could not generate electricity such as under these conditions efficiency by 34% in February and 23% in August.

The second considered meteorologic parameter is known as diffuse radiation. This parameter is less effective than total solar radiation. For electricity generation by PVs there are different groups for this parameter such as in the morning, noon-afternoon and before sunset. For this parameter, the effective rate is 34% in February and 16% in August.

The third considered variable is atmospheric temperature. Of course this parameter changes with the total solar radiation. As is known, in PV applications there are some assumptions like the normal test conditions of  $1000 \text{ W/m}^2$  solar radiation and atmospheric temperature of  $25^\circ\text{C}$ . The highest efficiencies are occurred under these conditions. With these assessments during August there is an increase in production up to  $25\text{-}30^\circ\text{C}$  and then reached to fixed value. In February, electricity generation increased with increasing temperature. Relations for other months are evaluated according to mentioned procedure. Acceleration values for all levels and influence coefficients are given in tables.

The fourth variable is considered as the cell temperature. This parameter is a function of solar radiation, atmospheric temperature and material properties. Especially around  $35\text{-}40^\circ\text{C}$  cell temperature electricity generation is increased and higher values caused to opposite situation. As known that cell temperature increases in summer and so negative effect of cell temperature is observed. However, during winter the cell temperature would not increase too much, this parameter becomes a positive variable. Acceleration rates that reduces and increases the electricity generation are found. Accordingly, cell temperature has 6% effect in August while in February this value increases to 24%. Influence coefficients are given as well as tables for each month.

As a fifth meteorological variable relative humidity values are taken into account. In this study, the PV electricity generation in cases of low relative humidity increases, giving rise to a decrease in the higher levels. It should be here to express that the effect of relative humidity is not as clear as the other parameters. Effects of the acceleration data was calculated. In addition, relative humidity has 19% effect for August, while this value decreased to 0.4% in February.

Last considered parameter in this research is wind speed. At the same time one of the most curious variable. With increasing wind speed, it would cause to reduce the cell temperature and thus increase the higher generation. Positive situations are observed when the cell temperature was higher than  $25^\circ\text{C}$ , the strong wind cool the solar panel and as a result generation increased. But the unexpected situation was occurred in winter. Wind speed cooled solar panel away from the optimum temperature of  $25^\circ\text{C}$ . In a sense, the optimum temperature of the atmosphere and the cell level is hindered by the wind to come. Increase or decrease values of the wind effect is calculated for each month of data. In addition, the wind in August is seen to be effective as 15% and 1% in February.

Besides, their contribution to electricity generation, efficiency with meteorological variables are investigated. Photovoltaics efficiency is considered with two sections, these are capacity factor and energy efficiency. Capacity factor values observed in the rate of 20-50% in terms of months. Energy efficiency values are obtained lower than expected. Particularly low efficiency levels of high potential and low potential of high energy efficiency is seen as misleading elements.

In addition to all this, the surface flow of the photovoltaic array is investigated in Fluent program. In this study, temperature distributions under different wind directions are discussed. In addition, heat transfer near the surface of photovoltaic panels and vertical wind profiles are examined in detail.



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelim artmıştır. Bunun temel sebepleri, insanların enerjiye olan ihtiyacı ve enerji üretiminin çevreyi ve özellikle de iklimi olumsuz etkilemesidir. Yenilenebilir enerjilerin temel kaynağı güneştir (jeotermal ve gel-git hariç) ve dünya var oldukça bu kaynaklardan faydalanılabilecektir.

Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren güneş, rüzgar, biyokütle ve hidrojen enerjilerine yönelme artmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi bunun temelinde sınırsız sayılabilecek potansiyele sahip güneş yatmaktadır. Bu kaynaklardaki temel sorun süreksizliktir. Süreksizliğin yanında teknolojilerindeki düşük verimlilikler bu yenilenebilir kaynakların detaylı incelenmesini gerektirmektedir. Bu incelemelerin temelinde ise fizibilite süreci denilen projelendirme ve kaynak planlaması gelmektedir.

Dünyada 2001 yılında 1,3GW kurulu fotovoltaik panel bulunurken, 2008 yılında 15,2GW değerine ulaşmıştır. Son yıllarda fotovoltaik sistemlerden enerji üretimi alanında önemli gelişmeler olmuştur. 2008'de fotovoltaik panellerin kurulu gücü % 110'luk bir artış ile 5.95 GW'a (gigawatt) ulaşmıştır. Sadece 2008 yılında İspanya % 285 büyüme ile 2,46 GW değerine ulaşarak Almanya'dan birinciliği almış durumdadır. Sıralamada 1,86 GW ile Almanya, 0,36 GW ile ABD, 0,28 GW ile Güney Kore, 0,24 GW ile İtalya ve 0,23 GW ile Japonya yer almaktadır.

Güneş enerjisi, soğuk mevsimlerde mekân ısıtması, yaşam alanlarında havalandırma, zirai ürünlerin kurutulması amacıyla bilhassa gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ülkemizde ilk kez 1960'lı yıllarda alternatif enerji kaynağı olarak anlaşılmış ve 1970'ten itibaren özellikle ısı uygulamalar konusunda üniversiteler, endüstri ve devlet tarafından önem kazanarak hızla gelişmiştir. İlk ulusal kongre 1975'te İzmir'de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ilk pasif güneş enerjisi uygulaması ODTÜ tarafından 1975'te tesis edilmiştir.

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü gün geçtikçe sayıları artan istasyonlarda iklimsel verilerin kaydı, değerlendirilmesi ve dağıtılması konusunda çalışmalar yapmaktadır. Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (International Solar Energy Society Turkey Branch UGET-TB) Türkiye’ de aktif olarak çalışmalarını sürdürmektedir ([www.gunessistemleri.com](http://www.gunessistemleri.com)).

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) de güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mekân ısıtması, yoğunşturan toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır.

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı, İstanbul’un atmosfer koşullarında fotovoltaik pillerin üretim karakteristiklerini ve meteorolojik parametreler ile etkileşimlerini araştırmaktır. Fotovoltaik pillerin farklı atmosfer şartlarında gösterdikleri davranışlara bağlı olarak üretimi arttırıcı-azaltıcı özellikleri incelenecektir. Ayrıca, bir diğer hedef de fotovoltaik güneş paneli için en uygun elektrik üretim koşullarını araştırmaktır. Bu hedefleri gerçekleştirmek için öncelikle fotovoltaik panelin bulunduğu bölgenin atmosferik koşullarının incelenmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle PV elektrik üretimine etki edebilecek meteorolojik parametreler belirlenmiştir. Bu kapsamda 107M331 no’lu TÜBİTAK projesi desteğiyle İTÜ Ayazağa Kampüsü meteoroloji gözlem parkına kurulan meteorolojik aletler (termometre, higrometre, barometre, piranometre, siperli piranometre ve anemometre) ile sıcaklık, nem, basınç, global ışınım, yayılı ışınım ve rüzgar hızı değerleri birer dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Eş zamanlı olarak meteoroloji gözlem parkında kurulan 750 Wp gücüne sahip fotovoltaik sistemdeki akım, gerilim ve hücre sıcaklığı verileri de kaydedilmiştir.

Bu deneysel çalışma sonucunda fotovoltaik panelden elektrik eldesinde hangi meteorolojik parametrenin, üretimi hangi şartlarda arttırıp azalttığı incelenmiştir. Bununla birlikte üretimi arttıran- azaltan parametrelerin hangi oranlarda etki ettiği hesaplanarak literatüre “değişim katsayısı” terimi kazandırılmıştır.

## 1.2 Literatür Özeti

Çevresel konuların öneminin artmasıyla birlikte, temiz enerji üretimi de önem kazanmıştır. Güneş enerjisi temiz bir enerji kaynağıdır; fakat aynı bölge için uzun süreçlerde süreklilik gösterememektedir. Çoğu kez fosil yakıtlardan elektrik üretimi fotovoltaiik sistemlerle tamamlanmaktadır. Fakat fotovoltaiik pil verimleri genellikle düşük olmakla birlikte birçok çalışma, bu parametrenin arttırılması konusuna yoğunlaşmıştır (Şen, 2004).

Yenilenebilir enerjiler gelecekte fosil yakıtların yerini alacaktır. Fotovoltaiik piller, güneş enerjisini direkt olarak kullanılabilir elektriğe çeviren yarı iletken maddelerdir. Enerji geri ödeme zamanı (EPBT) 10-15 yıl arasında değişebilir. Performans arttırılırsa geri ödeme süresi azaltılabilir. PV performansı hava sıcaklığı, güneş ışıınımı, PV pil sıcaklığı, ısı kaybı kat sayısı, Açık Devre Gerilimi (Voc), Kısa Devre Akımı (Isc), Maksimum Güç Gerilimi (Vmpp), Maksimum Güç Akımı (Impp), PV alanı gibi iklimsel, işletme ve dizayn parametrelerine bağlıdır. Bir PV sisteminin enerji dönüşüm faktörü, verim olarak tanımlanır. Fakat bu bazı zorluklara yol açar. Bir PV pilinin verimi üretilen elektriğin, toplam veya global güneş ışıınımına oranı olarak düşünülebilir. Bu tanımda sadece PV pili tarafından üretilen elektrik göze alınmaktadır. Yapılan bir çalışmada, bir PV pilinde hava sıcaklığı, pil sıcaklığı, kimyasal potansiyel bileşenleri ve PV pilinin ısı kapasitesi gibi bileşenler göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada ekserji analizi yapılarak, iklimsel, geometrik ve işletme parametrelerini içermesinden dolayı direkt olarak termal özellikler ve kimyasal potansiyel bileşenlerini ele almışlardır (Şahin ve diğ., 2007).

Topçu ve Öney (1994) yaptıkları çalışmada bulutlu atmosfer şartları için saatlik toplam ışıınım tahminini İstanbul için elde etmişlerdir.

Şahin ve diğ. (2001) harmonik analizi yaklaşımını kullanarak açıklık indeksi tahmininde bulunmuşlardır. Açıklık indeksi, güneş enerji potansiyeli değerinin yanında ortamın atmosferik karakteristiği ile ilgili daha fazla bilgi vermektedir. Bir başka çalışmasında ise, Angström denkleminin iki katsayısının sabit olmadığı kabulü ile 28 istasyonda ışıınım ve güneşlenme verilerinin istatistiksel analizini yaparak en uygun dağılım fonksiyonlarını elde etmiştir. Çalışmasında, sabit katsayılar yerine her bir istasyon için n-1 adet katsayı tahmininde bulunmuştur. Sonuçta, bu katsayıların

analizi ile, “en sık değer (mod)” değerinin, kullanılması gereken en uygun değer olduğunu bulmuştur (Şahin, 1996).

Fotokimyasal enerji dönüşüm sistemleri belirli dalga boyu aralıklarında radyasyonu toplayarak çalışır. Enerjisi, bant aralığından büyük olan fotonlar ısı olarak dağıtılır, bant aralığından daha büyük dalga boyuna sahip fotonlar ise PV sistemler tarafından kullanılmaz. Ross ve Hsiao (1997) fotokimyasal güneş enerji dönüşüm veriminin termodinamik limitleri konusunda teorik bir araştırma yapmıştır. Ayrıca Würfel (2002), güneş enerji dönüşümünün entropiye dayalı termodinamik ayrımını çalışmış ve maksimum güneş ışınlımında verimi 0,86 olarak hesaplamıştır.

Bücher (1997) modülün çalışma koşullarının fotovoltaiik panellerin verimini etkilediğini bulmuştur. Modül performans oranı, çeşitli meteorolojik parametrelerin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Al-Hasan (1998) kum tozu tabakasının fotovoltaiik modüle gelen ışınlıma etkisini araştırmıştır. Birim alandaki kum tozu parçacık sayısı, parçacık boyutu, ışınlın gelme açısı, ışınlın dalga boyuna bağlı olarak güneş ışınlımı için geçirgenlik katsayısı tanımlanmıştır. Sonuçta, eğimli ve toz tabakasıyla kaplı bir fotovoltaiik panele gelen direkt güneş ışınlımını hesaplamıştır.

Bergauer\_Culver ve Jäger (1998) PV sisteminin Avusturya Alplerinde yüksekliğe bağlı olarak elektrik üretimini araştırmışlardır. Yükseklikle anlamlı bir artış gözlemlenmişlerdir. Bununla birlikte özellikle sonbaharda pus ve sisin de PV elektrik üretiminde etkili olduğunu fark etmişlerdir. Alplerin yüksek bölge olması sebebiyle açık gökyüzü ve kar yansıtmasıyla, panellerde düşük sıcaklık ve rüzgârın soğutma özelliği sağlanması sonucunda yüksek verim elde edildiği gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, PV verimini hesaplamada rüzgârı hesaba katan bir ventilasyon faktörü kullanmışlardır.

Markvatt ve Landsberg (1998) PV hücre teorisinde Carnot faktörü üzerine çalışma yaparak bant aralığı ile Carnot veriminin çarpımına eşit olan açık- devre gerilimi ifadesini elde etmişlerdir. Ayrıca güneş enerji dönüşüm sistemleriyle, PV ile fotokimyasal ve fotosentez olayları arasındaki ilişkiyi ve termodinamiğini incelemişlerdir (2002).

Jones ve Underwood (2001) çevresel koşullara dayalı modül sıcaklığı modelini ileri sürmüşlerdir. Model, 6 K ölçülen sıcaklık değerinde zamanın % 95’ inde bulutlu hava

koşulları hâkim konumda iken sonuç vermesine rağmen, en iyi sonucu açık ve kapalı koşullarda azalan ışıyım salınımında vermiştir.

California Enerji Komisyonu (2001) sıcaklığın PV verimini % 89 oranında azalttığını belirlemiştir. Ayrıca, fotovoltaiik panel üzerindeki toz ve kirin % 93 oranında bir azaltma faktörü olduğunu saptamıştır.

Smestad (2004) iletken taşıyıcı ve hafif dönüştürücülerini incelemiş ve elektronların ısı ve ışık gibi çıkarıldıklarını göstermiştir. Bisquert ve diğ. (2004) fotovoltaiik dönüştürümün fiziksel ve kimyasal prensiplerini sunmuşlardır. Kimyasal potansiyel ve açık-devre gerilimi arasında, Carnot faktörü ve istatistiksel faktörlere dayalı bir ilişki bulmuşlardır.

Dinçer ve Rosen (2005) sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerjilerin termodinamik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca ekserji ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişkiyi açıklarlar. Bir fotovoltaiik sistemin enerji dönüştürüm faktörü genellikle verim olarak tanımlanır. Fakat bu kullanım bazen zorluklara yol açabilir. Bir fotovoltaiik sistem için verime, üretilen elektriğin global güneş ışıyımına oranı olarak bakılabilir. Bu tanımlamada, sadece fotovoltaiik panel tarafından üretilen elektrik hesaba katılır. Atmosfer sıcaklığı, fotovoltaiik pilin hücre sıcaklığı, güneş panelinin kimyasal bileşenleri gibi diğ. özellikler hesaba katılmamıştır.

Gong ve Kulkarni (2005) bir grid PV sisteminin optimizasyon prensibini bulmuşlardır. Cernivek ve diğ. (2006) bir Bakır Indium Galyum Selenit (CIGS) güneş hücresinin optik ve elektriksel performansını değerlendirmişlerdir. Farklı CIGS absorblayıcı kalınlıklarını ve çoklu ara yüzey hacimlerin ömürlerini incelemiş; optimize edilmiş parametrelerini deneysel başarıların ışığı altında tartışmışlardır. Ghoneim (2006) Kuveyt ikliminde su pompalama sisteminin termal performansını ölçmek için, fotovoltaiik güçle bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir. PV pil boyutu, yönlendirilmesi ve pompa-motor-hidrolik sistem karakteristikleri için optimum değerleri bulmuştur. Badescu (2006) enlem ve iklimin, PV modül şekli üzerindeki etkilerini incelemiş ve çeşitli iklim koşulları için PV hücre sayısını hesaplamıştır. Skoplaki ve diğ. (2008) PV pil sıcaklığı için basit bir yarı-ampirik korelasyon önermişlerdir. Güneş ışıyımı, hava sıcaklığı ve rüzgar şiddetinin pil sıcaklığı üzerindeki etkisini araştırmışlar; fakat PV pilinden çevreye doğru olan serbest

konveksiyon ve radyasyon kayıplarını ihmal etmişlerdir. Abdolzadeh ve Ameri (2009) bir fotovoltaiik su pompalama sisteminin performansını arttırmak için deneysel olarak sulama yapma olasılığını araştırmışlar ve ıslatıldığında pil veriminin arttığını görmüşlerdir. Joshi ve diğ. (2009) solar hava kolektörüyle entegre edilmiş PV modülü için termal bir model geliştirmiş ve bunu deneysel olarak kanıtlamışlardır. Güneş kolektörü içindeki akışkan hava kütlesi oranı azaltılarak PV veriminin artırılabilceğini ve PV modül sıcaklığının kontrol edilebileceğini bulmuşlardır.

Armstrong ve Hurley (2010) saatlik bulut gözlemleri ile aylık güneşlenme süresi datalarını birleştirerek bir metodoloji geliştirmişlerdir. Sonuçta, gökyüzünün açık, kısmen bulutlu ya da tamamen kapalı olduğuna karar verebilmişlerdir. Ayrıca, fotovoltaiik panelin sıcaklık yanıt zamanını tahmin eden farklı bir termal model sunmuşlardır. İleri sürdükleri modelde atmosferik şartları, PV panelin materyal bileşimini ve montaj tasarımını göz önünde bulundurmuşlardır. Termal modeli 3 kısımda anlatmışlardır: PV panelin sıcaklık yanıt zamanını bir RC devresi şeklinde ilk kısmını oluşturmuşlardır. Daha sonra konvektif ısı transferi kayıpları ve radyatif ısı kayıplarını analiz etmişlerdir. Son olarak, PV panel için gözlenen zaman sabiti tahmin edilen değerlerle değişken rüzgâr şartları altında karşılaştırılmıştır. Sonuçta, ileri sürdükleri modelin PV panelin değişken şartlarda yanıt zamanının hızına karar vermede kullanılabileceğini görmüşlerdir (Armstrong ve Hurley, 2010)

Yerli ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada, PV’lerde öncelikli değişken olarak olarak global ve difüz ışıınım değerleri ele alınmıştır. PV panellere yerleştirilen ve eksenel olarak güneşi takip eden bir özelliğe sahip global güneş ışıınının  $1000 \text{ W/m}^2$  yi geçtiği zamanlara sıklıkla rastlamışlardır. Bu durum aslında İstanbul için beklediklerindenden daha yüksektir (Şekil 1.8).

Yerli ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada PV elektrik üretiminde meteorolojik olarak azaltıcı faktörlerin olduğunu ve bunların etkisinin araştırılması gerektiğini saptamışlardır.

Kim ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada fotovoltaiik panelin arka yüzeyine yüzgeç takmışlardır. Bu yüzgeçler ısıyı iletmektedir. Bu sebeple yüzgeç çevre sıcaklığını ileterek panelin soğumasını sağlamaktadır. Kurdukları modelde, çevre sıcaklığının -25

$^{\circ}\text{C}$  den  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ye yükselmesiyle  $V_{oc}$  nin azaldığını  $I_{sc}$  nin arttığını gözlemlemişlerdir. Sonuçta ise artan çevre sıcaklığı ile modül performansının önemli derecede azaldığını gözlemlemişlerdir.



## 2. GÜNEŞ PİLLERİ (PV)

Güneş pilleri, fotovoltaiik ilke ile çalışan; güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Pil yüzeyine gelen güneş ışığı, uçlarda elektrik gerilimi oluşturur ve pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağıdır.

Üzerine düşen güneş enerjisinin yapısına bağlı olarak % 5-20 arasında değişen verimle elektrik enerjisine çevirebilen güneş pilleri, amorf silisyum, kristal silisyum ve galyum arsenik gibi farklı maddelerden yararlanılarak üretilmiştir. Güneş pillerinin birbirine seri ya da paralel bağlanarak bir yüzeye monte edilmesiyle oluşan yapıya fotovoltaiik modül ya da güneş pili modülü denir. Modüller birbirine paralel ya da seri bağlanarak çok küçük güçlerden Mega Watt'a kadar yapılar oluşturulabilir. Güneş pili sistemleri, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile kullanılır. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yerlerde, yakıt taşımanın pahalı olduğu durumlarda kullanılır.

Güneş pili sistemlerinin kullanım alanlarından bazıları şunlardır;

- ✧ Bina içi ya da dışı aydınlatma
- ✧ Yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde elektrikli cihazların çalıştırılması
- ✧ Zirai sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompası
- ✧ İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- ✧ Meteoroloji gözlem istasyonları
- ✧ Haberleşme istasyonları, radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- ✧ Petrol boru hatlarının ve metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan korunması
- ✧ Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçüler
- ✧ Orman gözetleme kuleleri
- ✧ Deniz fenerleri
- ✧ İlaç ve aşı soğutma

Yukarıda sayılan uygulamalar küçük tek başına uygulamalardır. Son zamanlarda daha çok şebekeye bağlı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde güneş pilleri ile üretilen elektriğin fazlası elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerjinin depolanmasına gerek yoktur, üretilen DC (Doğru Akım) elektriğin, AC (Alternatif Akım) elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Depolama maliyeti olmadığından bu sistemlerden üretilen enerji daha ucuzdur.

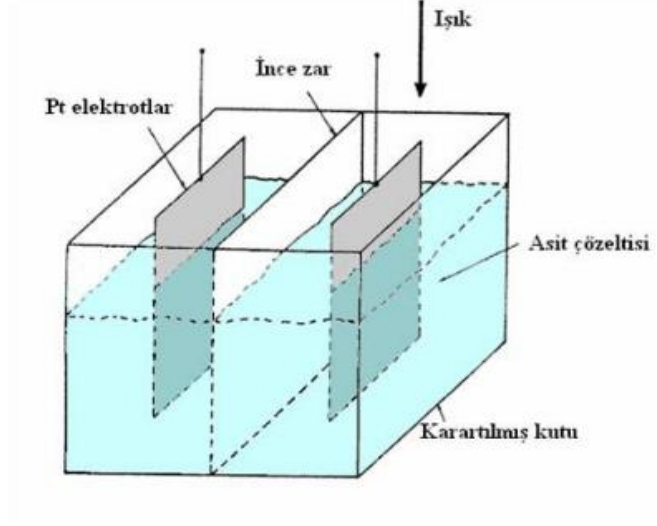
Güneş pilleri konusunda dünya Ar-Ge çalışmaları devam etmekle birlikte, henüz belirli bir kullanım düzeyine ulaşılmamıştır. Bu sistemler elektrik enerjisinin olmadığı yerlerde ekonomik olarak kullanılırken, son yıllarda gelişmiş ülkelerde evlerde şebekeye bağlı kullanım da giderek artmaktadır. Bu tür sistemler henüz ekonomik olmadığından ABD “1 Milyon Çatı”, Almanya “100 bin çatı”, Japonya “70 bin çatı” ve Yenilenebilir Enerji Yasası (Renewable Energy Law "Erneuerbare-Energien-Gesetz", [EEG] ) ile önemli teşvikler sunmuşlardır. Bu teşvikler ülkeden ülkeye değişmekle birlikte temelde üretilen enerjinin satın alınması garantisinin verilmesi ve sistem maliyetinin belli bir yüzdesinin kullanıcıya geri ödenmesi şeklindedir. Portekiz’de 2007 Ocak ayında 11 MW gücünde güneş pili santrali açılmıştır. Bu santral yaklaşık 84 milyon \$ mal olmuştur. Bu santralin yılda 30 bin ton sera gazının yayılmasını önleyeceği hesaplanmaktadır. Ülkemiz güneş bakımından bu tür santrallerin yapımına çok uygundur (Url-1, 2011).

## **2.1 Fotovoltaik (Photovoltaic-Pv) Tarihçesi**

Fotovoltaik (photovoltaic) ismi Yunanca’da ışık anlamına gelen "phos" ve elektriğin öncülerinden olan Alessandro Volta’nın "voltaic" kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur.

İlk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel, Şekil 2.1’deki deney düzeneğini kurarak fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir (Gül, 2008). 1876 yılında ise William G. Adams ve Richard E. Day silisyum kristallerini bulmuştur. Albert Einstein, fotovoltaik etkisini düzgün bir şekilde ifade etmiş ve bu sayede 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmıştır. 1950 yılında silikon hücrelerinin verimi % 4 olarak Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından ortaya konmuştur.

İlk teknik uygulama "Vanguard 1" uydusu ile beraber 1954 yılında uydu teknolojisinde yer almıştır. 1960-1970 yıllarında havacılık sektörü fotovoltaik hücrelerin gelişiminde öncü olmuştur.



**Şekil 2.1 :** Becquerel'in fotovoltaik etkiyi gözlemlediği deney düzeneği (Gül, 2008).

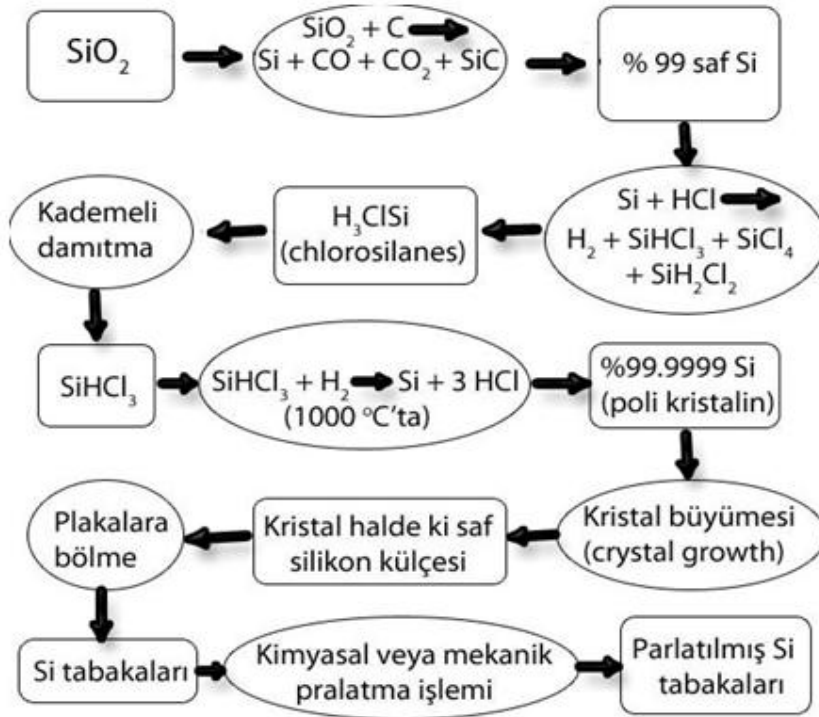
## 2.2 Güneş Panellerinin Üretim Süreci

Öncelikle saf halde (% 99,9999 saflıkta) Si eldesi gerekmektedir. Bunun için bol miktarda bulunan  $\text{SiO}_2$  (kum, kuvars) saf hale getirilmelidir (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2 :** Kuvars.

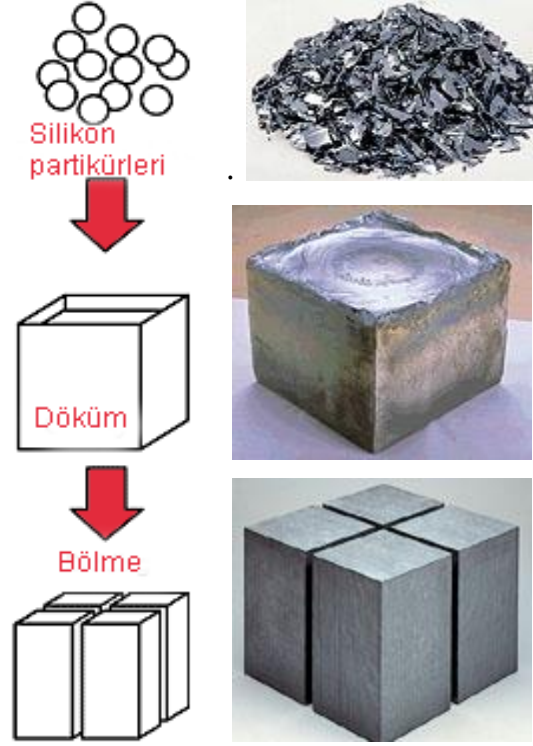
Şekil 2.2’de görünen kuvars, Şekil 2.3’te bulunan akış ile % 99,9999 saflıkta Si elde edildikten sonra plakalara ayrılmaktadır.



**Şekil 2.3 :** Silisyum elde etme akış diyagramı (Url-1, 2011).

Silisyumun saf hale getirilmesi şekilde de görüldüğü gibi oldukça işlem gerektirmekte, sonrasında tabakalara ayrılması, güneş pili için kullanılabilir hale getirilmesi sırasında da masraflar artarak 3,5 \$/watt civarında satılmaktadırlar.

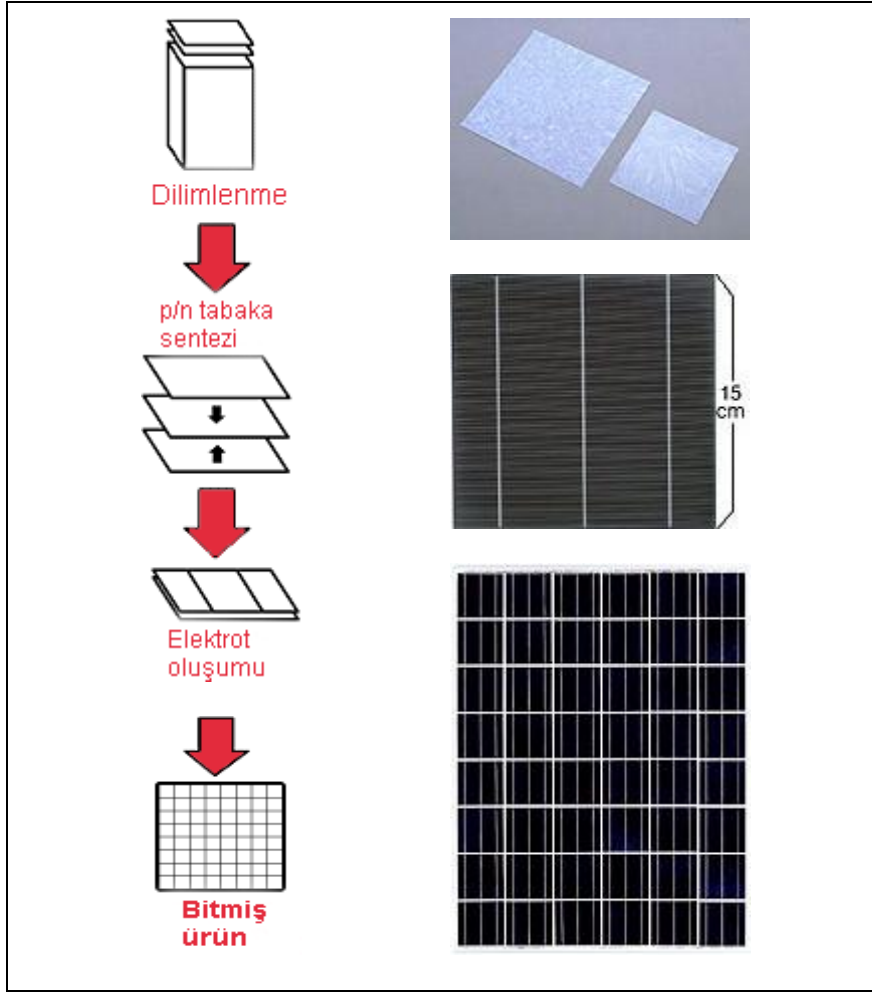
Öncelikle ham haldeki silikon saf hale getirmek için eritilir. Cüruf tabakası oluştuktan sonra temiz kısım ayrılır. Oluşan bu blok külçeler halinde kesilir (Şekil 2.4).



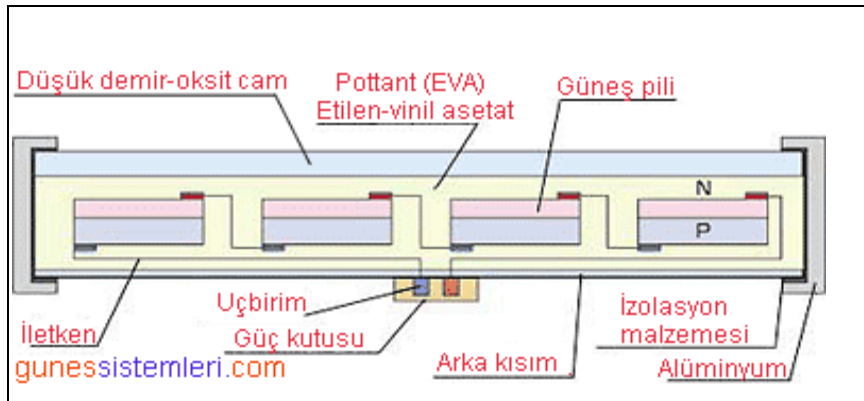
**Şekil 2.4 :** Silikon blokları (Url-1, 2011).

Külçe halindeki bloklar dilimlenir. Dilimlenmi  olan plakalardan, n-tipi ve p-tipi silikon yonga tabakası üretilir ( ekil 2.5). Böylece elektrik üretimi olabilir. Elektronlar da elektrik akımı oluşturması için yonga tabakasına eklenmiştir, buna da “güneş pili” denir.

Güneş pili elektrik üretimi için hazırdır fakat gerekli olan voltajı artırmak için plakalar seri ba lanmalıdır. Cam ve kapsül ile desteklenir ve “Güneş Modülü” üretilmiş olur ( ekil 2.6) (Url-1, 2011).



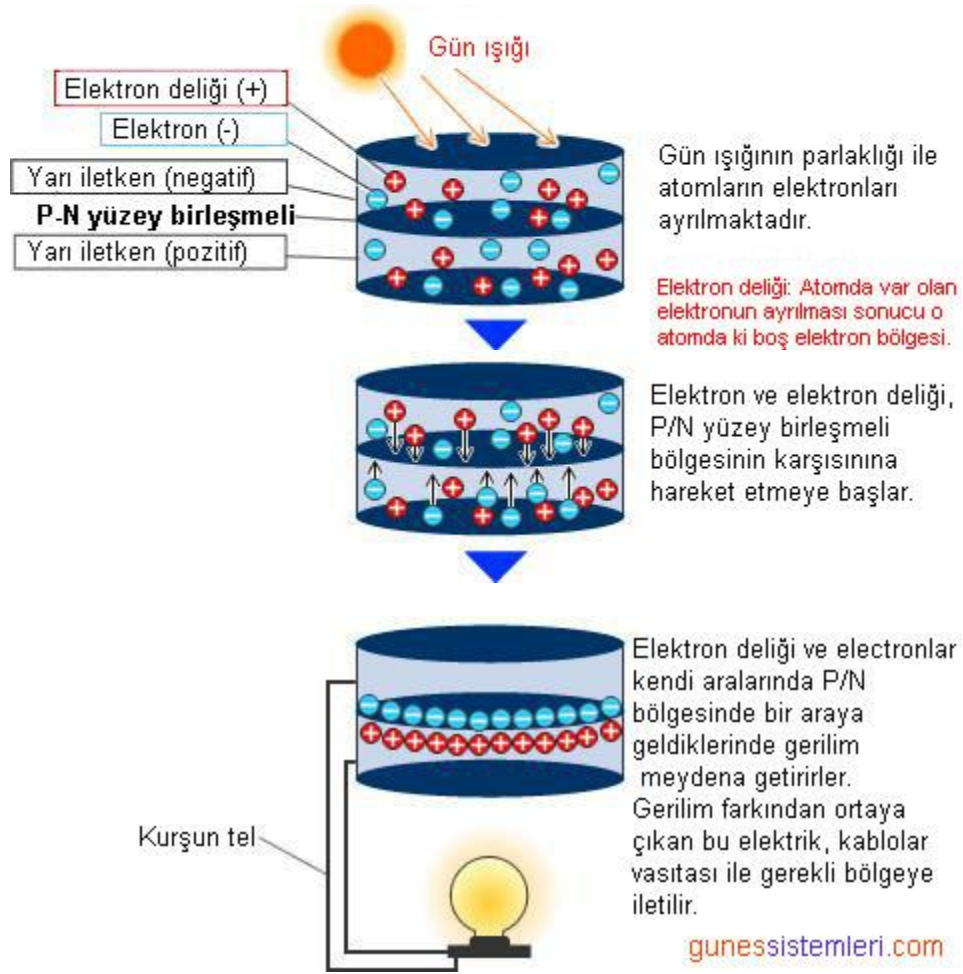
Şekil 2.5 : Güneş pili evreleri.



Şekil 2.6 : Güneş modülünün yapısı.

### 2.3 Güneş Pillerinden Elektrik Üretimi

Güneş hücreleri farklı yarı iletken malzemelerden oluşur. Dünyadaki güneş hücreleri, yarı iletken malzemesinin %95' i (Si) silisyumdan üretilmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : PV çalışma şekli.

## 2.4 Elektrik Üretiminin Genel Dağılımı

Enerji, çevremizde değişik formlarda bulunabilir, değişik isimler altında adlandırılır; petrol, akarsu, ışık ve elektrik gibi. Enerji çoğu zaman başka bir forma dönüşerek akış meydana gelir, fakat enerjinin yok olması gibi bir durum söz konusu değildir, örneğin bir otomobil hareket etmek için kimyasal enerji kullanır ve mekanik enerjiye dönüştürür. Enerjinin bazı türleri (örneğin kimyasal) saklamak için kolay iken, diğerleri (örneğin, elektrik ve ışık) ise bir yerden diğerine geçmesi kolaydır. Elektrik enerjisi bir şekilde bu son 100 yıl içinde güvenilir bir enerji kaynağı olmuştur. Tanım olarak, iletken malzeme içerisinde elektron hareketliliğine verilen isimdir. Bu, bir hortumdan dışarı akan suya benzetildiğinde; elektronlar su damlalarıdır. Bir araya gelen yeterli sayıdaki elektron arkalarında oldukça büyük bir enerji bırakır (Url-1, 2011).

Güç sistemlerinin tükettiği enerjiyi adlandırmak için Amper saat (Ah veya Ahr) ve Watt saat (Wh veya WHr) kullanılır. Bir amper 4 saatlik bir dilimde 4 Ah tüketir, 100 wattlık bir ampul ise 24 saatte 2400 Wh veya 2,4 kWh tüketir.

## **2.5 Güneş Hücresi Çeşitleri**

Güneş pillerinin %98'i silisyumdur (Si) ve silisyum dünyada bol miktarda bulunmaktadır. Fakat saf halde olmayan Si, genel olarak silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ , kuvars) halde bulunur ve saflaştırma işlemi daha önce anlatıldığı gibi oldukça maliyetlidir. Bu da güneş pillerinin maliyetini yükseltmektedir.

Güneş hücreleri üç kategoriye ayrılır:

### **2.5.1 Birinci nesil: kristal silisyum güneş hücreleri (c-Si ve mc-Si)**

Güneş ışınlarını yutma oranı düşük olmasına karşın verimlerinin % 12-16 arasında olması üreticiler için caziptir. Üretici firmaların tercih ettiği seçenektir, pazar payının % 93'nü oluştururlar, genel olarak 25 yıllık garanti ömrü sunulmaktadır, Wafer denen ince silikon dilimlerin kalınlıkları 0,17 mm'ye kadar düşürülmüştür. Çizelge 2.1'te görüldüğü gibi, Monokristal (c-Si veya SIN) ve Polikristal (mc-Si) olarak ikiye ayrılabilirler.

**Çizelge 2.1 : Silisyum hücre tiplerinin özellikleri.**

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p style="text-align: center;"><b>Monokristal(c-Si, SiN)</b></p> <p>%15–18 arası yüksek verime sahip olduğu için uzun süreli yatırımlar için uygundur.</p> <p>Laboratuvar ortamında %20'lik bir verime ulaşılmıştır.</p> <p>Maliyetini geri ödeme süresi 4–6 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %7 verim kaybı meydana gelir.</p> <p>Saf kristal gereksinimi yüzünden pahalıdır, 4,5 \$/W.</p>                                             |
|  | <p style="text-align: center;"><b>Polikristal(poly-Si)</b></p> <p>Verimleri %12–15 arasındadır, ucuzluğunun sebebi kristal yapılarının tam homojen olmamasıdır.</p> <p>Laboratuvar ortamında %16,2'lik bir verime ulaşılmıştır.</p> <p>İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2–4,5 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir.</p> <p>Üretim süreci monokristale göre daha ucuz olduğundan fiyatları 3,5 \$/W</p> |

### 2.5.2 İkinci nesil: ince film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının sadece %7'ni oluştururlar. Oldukça ince yapıdaki (1-4  $\mu\text{m}$  arasında) bu paneller %7-14 arasında verimlilik sunmaktadırlar (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.2 : İnce film çeşitlerinin özellikleri.**

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p style="text-align: center;"><b>Amorphous (a-Si)</b></p> <p>Verimleri %8-10 arasındadır, teorik olarak a-Si'nin %27'lik bir verimi vardır.</p> <p>Maliyetini geri ödeme süresi 1,5-3,5 yıl arasındadır, Zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedir.</p> |
|   | <p style="text-align: center;"><b>Cadmium telluride (CdTe)</b></p> <p>1 cm<sup>2</sup>'de %17'lik, 8390 cm<sup>2</sup>'de %11'lik bir verime ulaşmıştır. Üretim maliyeti düşüktür.</p> <p>California'da elektroliz yardımı ile hidrojen üretimi için 25 kW'lık iki panel kurulmuştur.</p> <p>Sadece rijit cam ile kullanılabilir.</p>                                                                            |
|  | <p style="text-align: center;"><b>CIGS (Copper indium gallium (di)selenide, Bakır indiyum galyum diselenyum)</b></p> <p>Verimleri %11-14 arasındadır.</p> <p>Cam veya esnek yüzey ile kullanılabilir.</p> <p>Artmakta olan bir pazar payına sahiptir.</p> <p>Pahalı üretim süreci ile birlikte geniş alan gereksinimi bulunmaktadır.</p>                                                                         |

### **2.5.3 Üçüncü nesil**

Nano teknolojiye dayalı güneş hücreleridir (Tandem, Supertandem, Intermediate Band Solar Cells vs.). Araştırmaları devam eden bu teknolojide henüz sonuca tam olarak ulaşılmış değildir. Sunacakları yüksek verimden dolayı üretime başlanması halinde enerji konusunda büyük bir atılım yapacaklardır. Ön görülen maliyetleri 0,4 \$/W'tır.

### **2.6 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Faydaları**

- Asırlardır tükenmeyen enerji kaynağıdır.
- Çevreye zarar veren duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon üretmeyen temiz bir enerji kaynağıdır.
- Dış şartlara bağlı olmadığından ekonomik sorunlardan bağımsızdır. Enerjiye ihtiyaç duyulan birçok yerde kullanılabilir.
- Güneş her yerde olduğu için ulaşım problemi yoktur ve kurulan sistemlerin bakım maliyetleri yok veya çok azdır.

### **2.7 Güneş Enerjisinin Diğer Enerji Türlerine Göre Sakıncaları**

- Birim yüzeyle bağlantılı olarak enerji üretildiği için büyük yüzeylere ihtiyaç vardır.
- Sürekli olmadığı için, akü ya da hidrojen şeklinde depolanması gerekmektedir. Işınım, geceleri yoktur ve kışın da azdır.
- Güneş enerjisinin sürekli olabilmesi için çevrenin açık olması ve ışınların dik gelmesi gerekmektedir (Url-1, 2011).

### **2.8 Yenilenebilir Enerji Kanunu, Güneş Enerjisinden Elde Edilen Elektriğin Şebekeye Satılması ile İlgili Düzenlemeler**

Türkiye’de uzun yıllar tartışıldıktan sonra Yenilenebilir Enerji Kanunu yasalaşmış, belirsizlikler ortadan kalkmış ve teşvikler ile yenilenebilir enerji sektöründe yeni yatırımların önü açılmıştır.

Türkiye’nin güneş enerjisinden elektrik üretme potansiyeli 380 milyar kW olmasına

rağmen bu potansiyelin yüzde 1'inden dahi yararlanmamaktadır. Güneş enerjisinin su ısıtma amacıyla kullanılmasında dünyada ilk üç içinde yer alan Türkiye, elektrik üretme amaçlı kullanılan sistemlere yatırım ancak 2007'de başlamıştır.

29 Aralık 2010 tarihinde de yeni Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) yasalaşmıştır. 2005 yılındaki yasanın yeterli gelmemesinden kaynaklanan eksiklikler giderilerek yeni bir teşvik planı oluşturulmuştur.

Yenilenebilir Enerji Kanunu, güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu gücünü 600 MW ile sınırlandırmaktadır. Bu yüzden ilk başvurulardan sonra kapasitenin dolmasından dolayı bir durgunluk yaşanacaktır.

Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun yararı, yerli üretime teşvik sunmasıdır (Çizelge 1.3). Çizelge 1.3'ten de görüleceği üzere, yenilenebilir enerji sistemlerinin, Türkiye'de üretilen parçalarına göre sisteme ekstradan teşvikler sunulmaktadır. Yurt içinde gerçekleşen imalatlar ile yerli üreticinin kalkınmasına yardımcı olunacaktır. Bu sayede Türkiye'nin de yenilenebilir enerji sektöründe kendi firmaları ile temsil edilmesi sağlanacaktır. Fotovoltaik sistemlerde güneş hücreleri dışında tüm imalat Türkiye'de yapılabilmektedir. Bu nedenle fotovoltaikteki teşvik miktarı 16,5 \$ sent /kWh, hücre imalatı ile 20 \$ sent/kWh olacaktır (Çizelge 2.3-4) (Yenilenebilir Enerji Kanunu, 2010).

**Çizelge 2.3 : YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu 29.12.2010) teşvik fiyatları.**

| <b>YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu 29.12.2010) teşvik fiyatları</b> |                            |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Enerji kaynağına dayalı tesis tipi</b>                            | <b>ABD Doları sent/kWh</b> |
| Hidroelektrik üretim tesisi                                          | 7,3                        |
| Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi                               | 7,3                        |
| Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi                            | 10,5                       |
| Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)                   | 13,3                       |
| Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi                                | 13,3                       |

**Çizelge 2.4 : YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu) Türkiye'de üretilen aksamlar için teşvik fiyatları (ilk 5 yıl).**

| Tesis tipi                                             | Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat                                            | Yerli Katkı İlavesi<br>ABD Doları sent/kWh |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi      | 1) PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı                | 0,8                                        |
|                                                        | 2) PV modülleri                                                           | 1,3                                        |
|                                                        | 3) PV modülünü oluşturan hücreler                                         | 3,5                                        |
|                                                        | 4) İnvertör                                                               | 0,6                                        |
|                                                        | 5) PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme                      | 0,5                                        |
| Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 1) Radyasyon toplama tüpü                                                 | 2,4                                        |
|                                                        | 2) Yansıtıcı yüzey levhası                                                | 0,6                                        |
|                                                        | 3) Güneş takip sistemi                                                    | 0,6                                        |
|                                                        | 4) Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı                        | 1,3                                        |
|                                                        | 5) Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı | 2,4                                        |
|                                                        | 6) Stirling motoru                                                        | 1,3                                        |
|                                                        | 7) Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği                    | 0,6                                        |

## 2.9 PV Azaltma Faktörü

PV azaltma faktörü, kayıpları açıklamak için PV panel çıktısına uygulanan bir derecelendirme faktörüdür. Test koşullarında PV modüllerinin değerlendirilmiş çıktısına güneş radyasyonun  $1 \text{ kW/m}^2$  ne karşılık gelir. Daha yüksek ortam sıcaklıkları, farklı çalıştırma voltajları ve panellerin kirlenmesi PV panellerinin ölçeklendirilmiş çıktısından daha az elektrik üretilmesine sebep olabilir. Azaltma faktörü bu kayıpları açıklamak için ifade edilir (Yerli, 2009).

## 2.10 Kapasite Faktörü

Enerji sistemlerinde verimliliği temsil etmek üzere üretilen elektriğin sistemin toplam kapasitesine oranını veren kapasite faktörü ( $\eta$ ) kullanılır. Buna göre;

---

$$(2.1)$$

Kapasite faktörü ile sistemin toplam kapasitesine ne oranda yaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada toplam kapasite 750 Wp'dır.

Gerçek çalışma şartlarında, çoğu zaman ışınlım değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  değerinin altında kalır. Güneş ışınlımının sıfırdan farklı geliş açılarında modül katmanları arasında yansıma kayıpları meydana gelir. Bu kayıplar geliş açısının  $60^\circ$ 'nin üzerinde olması durumunda önemli miktarda artar. Ortalama olarak, enerji üretiminin % 7 'si yansıma kayıpları olarak hesaba katılmalıdır. Kristal PV hücrelerinin verimi Standart Test Koşullarının ( $25^\circ\text{C}$ ) üzerinde her  $1^\circ\text{C}$  için % 4 - 5 azalır. Yani sıcaklığın artması PV verimini azaltır. Standart test koşulları dışındaki sıcaklıklardaki çalışmada (coğrafi konum, çevre sıcaklığı ve montaj detaylarına bağlı olarak) % 1 - 5 arası bir kayba yol açar. Pek çok PV sistem gün içinde veya yılın herhangi bir anında gölgelenme altında kalabilir. Özellikle bazı lokal yerlerde kurulan PV sistemlerde gün içinde veya kış mevsiminde aşırı gölgelenme olabilmektedir. Bunlara sebep olarak, güneş pilinin yüksekliği, şekli, boyutu, pozisyonu veya yakınındaki bina vb. objelerdir. Bu kayıplar % 5 - 20 arasında olabilmektedir (Şenol, 2005). Omubo-Pepple (2009) maksimum verime PV panel için % 77 düşük bağıl nem şartları altında ulaşıldığını gözlemlemiştir.

Bergauer\_Culver ve Jäger (1998) PV veriminin yükseklikle arttığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte özellikle sonbaharda pus ve sisin de PV elektrik üretiminde etkili olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, PV verimini hesaplamada rüzgarın soğutma özelliğini kullanmak amacı ile bir ventilasyon faktörü kullanmışlardır.

### 3. KURULAN SİSTEM VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1 Çalışma Alanı

Bu tezde verisi kullanılan sistem İTÜ meteoroloji istasyonuna kurulmuştur. Bu çalışmada 750 Wp gücüne sahip fotovoltaik bir sistem kullanılmıştır. Sistem güneş yörünge izleyici özelliğine sahip olup akım, gerilim, atmosfer sıcaklığı, direkt ve difuz ışıınım değerleri, fotovoltaik panelin hücre sıcaklığı, bağıl nem ölçümlerine sahiptir. (Şekil 3.1).



**Şekil 3.1 :** İTÜ Meteoroloji parkına kurulan hibrit sistemi.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar 107M331 numaralı ve “Rüzgar-Güneş Hibrit Sistemlerinin Giriş-Çıktı Kayıplarının ve Verimliliklerinin İstanbul Şartlarında Alan-Zaman ve Ekserji Yöntemleriyle Genel Bir Modellemesi” başlıklı Tübitak projesi dahilinde Şekil 3.1 de görüldüğü üzere, İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsünde bulunan Meteoroloji Rasat Parkı’na kurulan sisteme dayanmaktadır. Proje süresince yapılan dakikalık ölçümler bu tez için kullanılan verileri teşkil etmektedir. Proje dahilinde kurulan sistem içerisinde, 1 adet rüzgar türbin sistemi, 1 adet fotovoltaik sistem ve 1 adet otomatik yer meteoroloji istasyonu yer almaktadır. Bu sistemde toplamda 17 farklı değişken ölçümü yapılmıştır. Sistem hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmektedir.

### 3.2 Rüzgar Türbini

Yerden 17 metre yükseklikte Unitron markasına ait UE15 modelinde rüzgar türbini kurulmuştur (Şekil 3.2). Rüzgar türbinine ait işletme özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Rüzgar türbini genel görünümü.

Çizelge 3.1 : İTÜ Meteoroloji Parkına kurulan rüzgar türbininin bazı özellikleri.

| Açıklama                            | Özellik                 |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Nominal Güç                         | 1500W                   |
| Nominal Güce Ulaşma Hızı m/s / mph  | 10,5 / 25               |
| Pik Üretim                          | 1750W                   |
| Devreye Girme Hızı m/s / mph        | 2,7/ 6                  |
| Kutuplar RPM - 50hz      RPM - 60hz | 10 / 600 / 720          |
| Rotor Çapı                          | 3,20m/ 11 ft            |
| Kanat Sayısı                        | 3                       |
| Kanat Malzemesi                     | Karbon Fiber Bileşim    |
| Taranan Alan                        | 9,2 / 95 Sq.m / sq.feet |
| Devreden Çıkış Hızı                 | 27mph                   |
| Devreden Çıkış                      | Elektro Dinamik Anahtar |
| Birim Ağırlık                       | 34 Kg                   |
| Jeneratör                           | PM 3 fazlı alternatör   |
| Ulaşılan Voltaj                     | 12 – 240 HV/LV          |
| Garanti                             | 2 yıl                   |
| Kullanım Süresi                     | 20 yıl                  |
| Maksimum Rüzgar                     | 55 m/s                  |

Bunun yanında rüzgar türbinleri için büyük öneme sahip olan rüzgar şiddeti-güç değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** UE 15' in farklı rüzgar şiddetlerinde üretim değerleri.

| Rüzgar Şiddeti<br>(m/s) | UE 15 Güç<br>Üretimi (W) |
|-------------------------|--------------------------|
| 2,2                     | 16                       |
| 2,7                     | 37                       |
| 3,1                     | 64                       |
| 3,6                     | 98                       |
| 4,0                     | 142                      |
| 4,5                     | 178                      |
| 4,9                     | 239                      |
| 5,4                     | 288                      |
| 5,8                     | 338                      |
| 6,3                     | 396                      |
| 6,7                     | 456                      |
| 7,1                     | 496                      |
| 7,6                     | 538                      |
| 8,0                     | 574                      |
| 8,5                     | 654                      |
| 9,0                     | 785                      |
| 9,4                     | 905                      |
| 9,8                     | 1040                     |
| 10,2                    | 1146                     |
| 10,7                    | 1198                     |
| 11,2                    | 1435                     |
| 11,6                    | 1566                     |
| 12,0                    | 1756                     |

Kurulan hibrit sistemde rüzgar türbininin önünde ve arkasında rüzgar ölçümü yapılmaktadır. Kullanılan anemometreler NRG markasına ait #40C modelidir. Çizelge 3.3'te anemometre çalışma özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.3 :** Kullanılan anemometreler ve özellikleri.

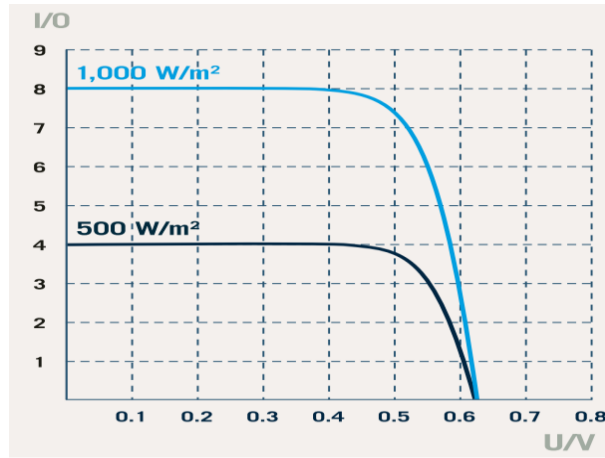
|                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| Sensör Tipi              | 3 kepçeli                   |
| Ölçüm Aralığı            | 1 m/s – 96 m/s              |
| Ölçüm Hassasiyeti        | 5-25 m/s aralığında 0,1 m/s |
| Çalışma Sıcaklık Aralığı | -5°C ile 60°C arası         |

### 3.3 Fotovoltaik Panel (PV)

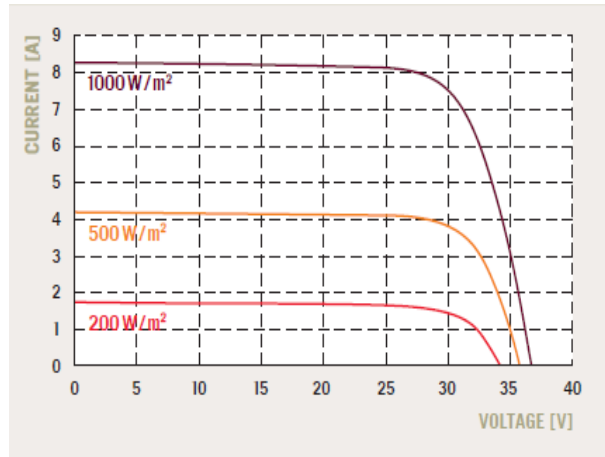
Önceki bölümde de anlatıldığı gibi fotovoltaik panel, güneş ışınımını elektrik enerjisine çeviren ve fotovoltaik sistemin ana elemanı olan ekipmandır. Kurulan fotovoltaik sistemde 6 adet 125 Wp'lık Qcell firmasına ait monokristal silikon yapılı Q6LM model panelzler kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Bu sisteme ait güç eğrileri şekil 3.4-5' te verilmiştir.



**Şekil 3.3 :** İTÜ meteoroloji parkına kurulan 750 W' lık PV sistemi.



**Şekil 3.4 :** Akım-Gerilim (I-V) eğrisi.



**Şekil 3.5 :** PV sistemin karakteristik güç eğrisi.

Fotovoltaik sisteme güneş yörüngeli izleme sistemi yerleştirilmiştir. Bu sayede PV panel Güneş'in yükseklik açısına göre konumunu da değiştirmektedir. Bununla

birlikte aynı yörüngeyi izlemesi için fotovoltaik panelin tepesine 1 adet pyranometre yerleştirilmiştir. Bu yerleştirme sayesinde panelin yörünge hareketi esnasında ne miktarda güneş ışınımına maruz kaldığı kolaylıkla ölçülebilmektedir (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6 :** PV panel ve global ışınım piranometresi.

Bunlara ilave olarak PV panellerinin hücre sıcaklıklarını ölçmek maksadıyla kızılötesi termometre sistemi yerleştirilmiş ve yörüngesel değişimlerde sürekli olarak hücre sıcaklık değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.7). Bu sistemde kullanılan aletlerin özellikleri Çizelge 3.4’ te verilmiştir.



**Şekil 3.7 :** PV’ de hücre sıcaklığı ölçümü.

Bilindiği üzere güneş ışınımında direkt ve yayılı (difüz) bileşen bulunmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde gelen yayılı ışınımını ölçmek üzere Çizelge 3.4’te özellikleri verilen yayılı ışınımı ölçen siperli piranometre yerleştirilmiştir (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8 : Yayılı ışınlm ölçer.**

### **3.4 Kurulan Yer Meteoroloji İstasyonu ve Veri Saklama Birimi**

Bunlara ilave olarak neredeyse bütün meteorolojik değışkenleri ölçen seyyar sayılabilecek küçük otomatik bir meteoroloji istasyonu da kurulmuştur. Bu istasyon özellikle eksik veri tamamlanmasında işe yaramaktadır (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9 : Otomatik meteoroloji yer istasyonu.**

İTÜ Meteoroloji Gözlem Parkında kurulan rüzgar-güneş hibrit sisteminin bütün parametre ve bileşenlerinin (meteorolojik ve elektriksel) okunabileceğı ve üretilen elektriğın depolanması gereken bir toplam sisteme ihtiyaç vardır. Bunun için donanım dolabına, rüzgar ve güneş sistemlerinin ürettikleri elektriğın akım ve gerilim değerlerinin okunduğı bir ekran yerleştirilmiştir. Bu ekranda aynı zamanda türbin ön ve arka rüzgar değerleri, güneş paneline gelen ışınlm, hücre sıcaklığı vd. parametreler okunabilmektedir (Şekil 3.10-11).



**Şekil 3.10 :** Donanım dolabı.



**Şekil 3.11 :** Donanım dolabının içi.

Şarj kontrol ünitesi (solar regülatör), fotovoltaiik panelden gelen akımı düzenleyerek aküye iletilmesini sağlar. Akünün tam olarak dolmasını ve aşırı kullanımlarda deşarj olmasını engeller. MPPT içerikli olup bir anlamda akü-pv arasındaki gerilim dengesini sağlar (Şekil 3.12).



**Şekil 3.12 :** Donanım dolabında yer alan şarj kontrol ünitesi.

Güneş panelleri doğru akım (DC) üretir. Kullanılan cihazlar ise alternatif akım (AC) ile çalışmaktadır. İnverter üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürür. 24 Volt olan doğru akımı 220 Volt elektriğe çevirir (Şekil 3.13).



**Şekil 3.13 :** Donanım dolabında yer alan inverter.

Akü, gelen elektrik enerjisini depolamak amacıyla kullanılır. Sistemde kullanılan 4 adet akü için her birinin kapasitesi 200 Ah-12 V dur. Her iki akü grubu seri olup; bu seri gruplar paralel bağlanmışlardır (Şekil 3.14). Kurulan sistemde akülerin toplam saklama kapasitesi 4.8 kW'tır. Çıkış (24 V-400Ah) olmaktadır. Sistemde kullanılan aletler ve özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.



**Şekil 3.14 :** Donanım dolabında yer alan akü grubu.

**Çizelge 3.4 :** Rüzgar türbini ve PV sistemlerinde kullanılan aletler ve özellikleri.

| Alet                         | Özellik                                                                                                                    |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Datalogger:                  | Comet System'in 16 kanallı MS5D modeli kullanılmıştır                                                                      |
| Basınç Farkı Ölçümü:         | DeltaOHM firmasının HD408T modeli kullanılmıştır.                                                                          |
| Direkt Güneş Işınımı Ölçümü: | Direk ışınımı ölçmek için DeltaOHM firmasının LP PYRA 02, diffüz ışınımı ölçmek için ise LP PYRA 12 modeli kullanılmıştır. |
| Diffüz Güneş Işınımı Ölçümü: |                                                                                                                            |
| Sıcaklık Ölçümü:             | Comet System'in T1110 modeli kullanılmıştır.                                                                               |
| Nem Ölçümü:                  |                                                                                                                            |
| Sıcaklık ve Nem Siperleri:   | Young firmasının 41003 modeli kullanılmıştır.                                                                              |
| Takip Sistemi:               | Lorentz firmasının Etatrack active 400 modeli kullanılmıştır.                                                              |
| Solar Regülatör:             | Morningstar firmasının prostar-30 modeli kullanılmıştır.                                                                   |
| İnverter:                    | Arttonic firmasının ART Power 3000 modeli kullanılmıştır.                                                                  |

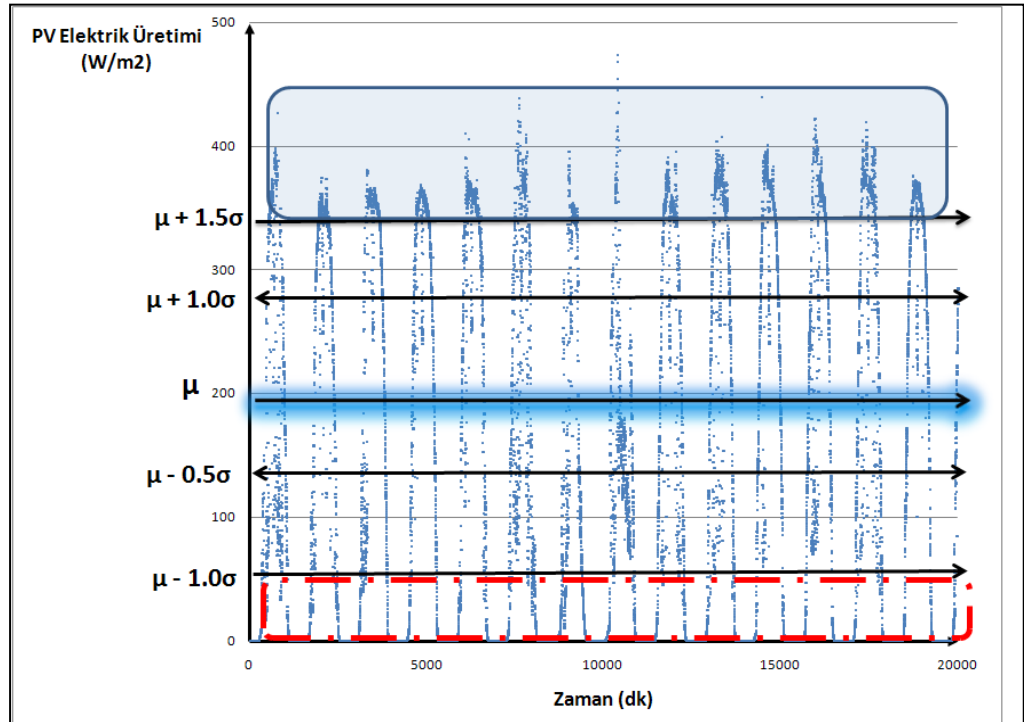


## 4. YÖNTEM

### 4.1 Yöntem-1

Bu tez çalışmasının birinci safhasında aşağıdaki yol izlenmiştir. Buna göre;

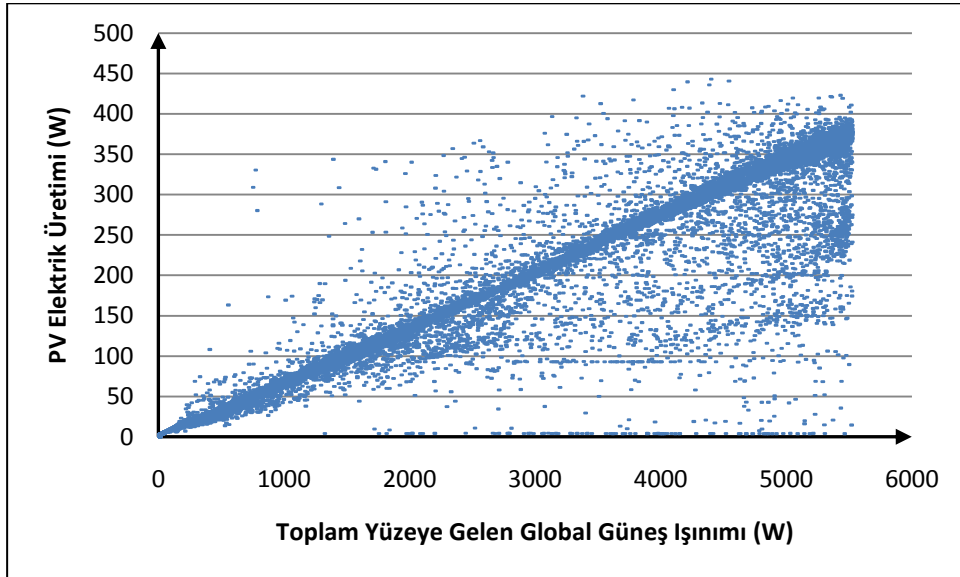
- ✧ PV elektrik güç üretimi baz alınarak diğer değişkenlerin etkileri incelenmiştir. Bu inceleme bütün PV güç üretimlerini kapsamaktadır. Buna göre ortalama elektrik üretimi,  $\mu$ ; ortalamadan 1 standart sapma yukarı elektrik üretimi,  $\mu+1.0\sigma$ ; ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı elektrik üretimi,  $\mu+1.5\sigma$  ve varsa ortalamadan 2 standart sapma yukarı elektrik üretimi,  $\mu+2\sigma$  olarak seçilmiştir. Bunlara ilave olarak düşük değerlerde ise ortalamadan 0.5 standart sapma düşük,  $\mu-0.5\sigma$  ve ortalamadan 1 standart sapma düşük,  $\mu-1.0\sigma$  grupları oluşturulmuştur (Şekil 4.1).



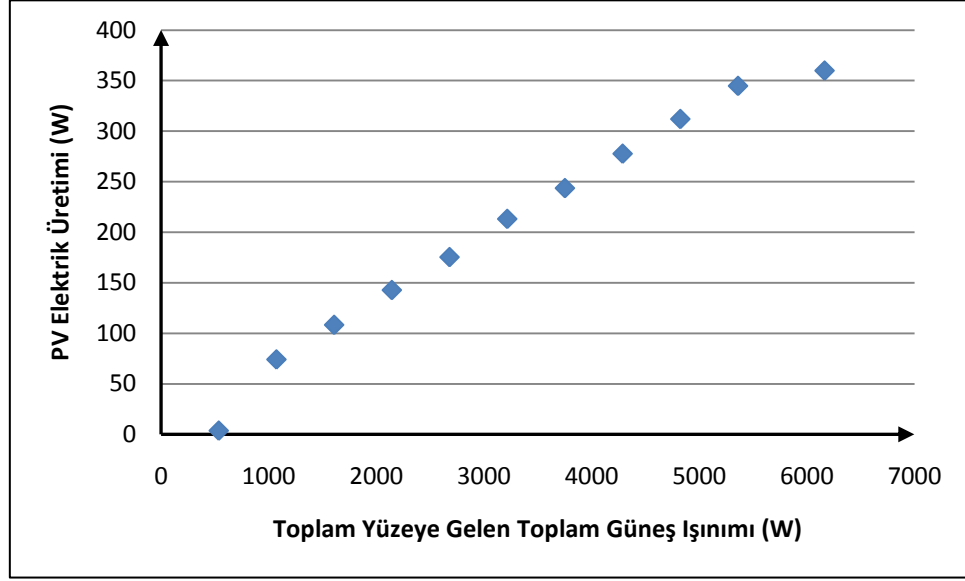
Şekil 4.1 : Ağustos ayı pv güç zaman serisi

#### 4.1.1 Ağustos ayı sonuç ve değerlendirmeleri

- ✧ Bu çalışmada öncelikle yaz aylarını temsil etmek üzere Ağustos, daha sonra da kış aylarını temsilen Şubat üzerinde durulacaktır. Ağustos ayı ile ilgili bütün yorumlar yapıldıktan sonra Şubat'a geçilecektir. Veri ölçüm aralıklarının birer dakika olmasından dolayı bütün verileri kullanmak sapmalara ve değişimlere neden olmaktadır (Şekil 4.2). Bir anlamda her bir meteorolojik değişkenin PV elektrik üretimine olan etkisi net anlaşılmamaktadır. Bu sorunu gidermek için her bir meteorolojik değişken ve PV elektrik üretimleri karşılıklı gruplara ayrılmışlardır. Toplamdan elde edilen bu ortalama grup değerlerinin saçılma diyagramı ilişkiyi net göstermektedir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.2 :** Ağustos 2009 süresince PV yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı ve PV elektrik üretimi arasındaki saçılma diyagramı.

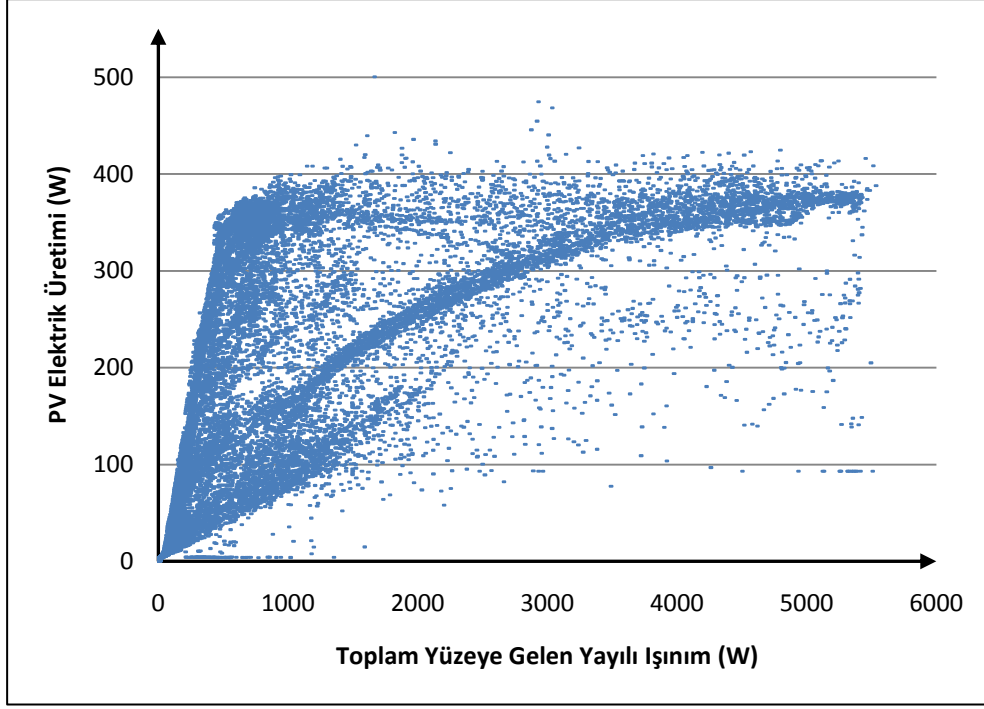


**Şekil 4.3 :** Ağustos 2009 süresince PV yüzeyine gelen gruplandırılmış toplam güneş ışınımı ve PV elektrik üretimi arasındaki saçılma diyagramı.

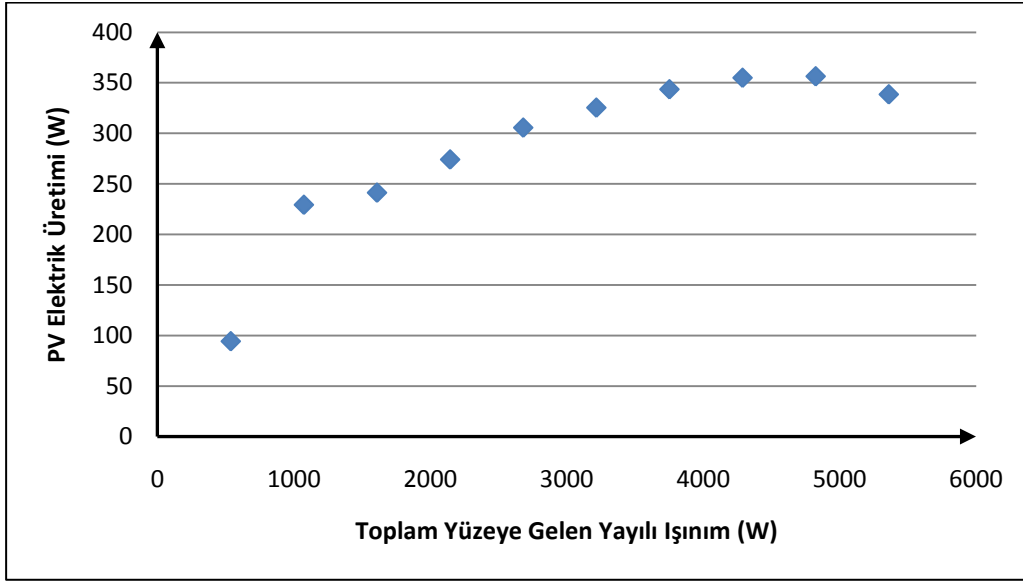
- ✧ Yukarıda bahsi geçen genel ve ortalama grafikleri her bir değişkenin PV elektrik üretiminin Şekil 4.1’ de gösterilen ortalama üstü ve altı standart sapma değerlerine karşılık gelen verileri ile yapılmıştır.

Yayıllı (difüz) ışınlam ile PV elektrik üretimi arasındaki genel ilişkiye bakıldığında üç farklı grubun (üst, orta, alt) oluştuğu kolaylıkla görülebilmektedir (Şekil 4.4). Aslında bu durum günün zaman dilimlerine karşılık gelmektedir. En alt ve küçük grup sabah saatlerindeki yayıllı ışınlamı ifade ederken orta grup öğlen ve sonrasını, en üst grup ise ikindi – akşam arasını genelde temsil etmektedir (Şekil 4.4). Bunlara ilave olarak gün boyu farklı nedenlerden dolayı oluşan yayıllı ışınlam değerleri de bu şekildeki her bir grupta yer almaktadır.

Bunun yanında belirli aralıklarla ortalama yayıllı ışınlam değerlerine karşılık gelen ortalama elektrik üretimleri bu parçalanmayı (gruplaşmayı) ortadan kaldırmakla beraber doğrusallıktan uzaklaşması, bir çeşit yayıllı ışınlam (doğrudan, doğrusal olmayan) etkisi şeklinde ifade edilebilir (Şekil 4.5).



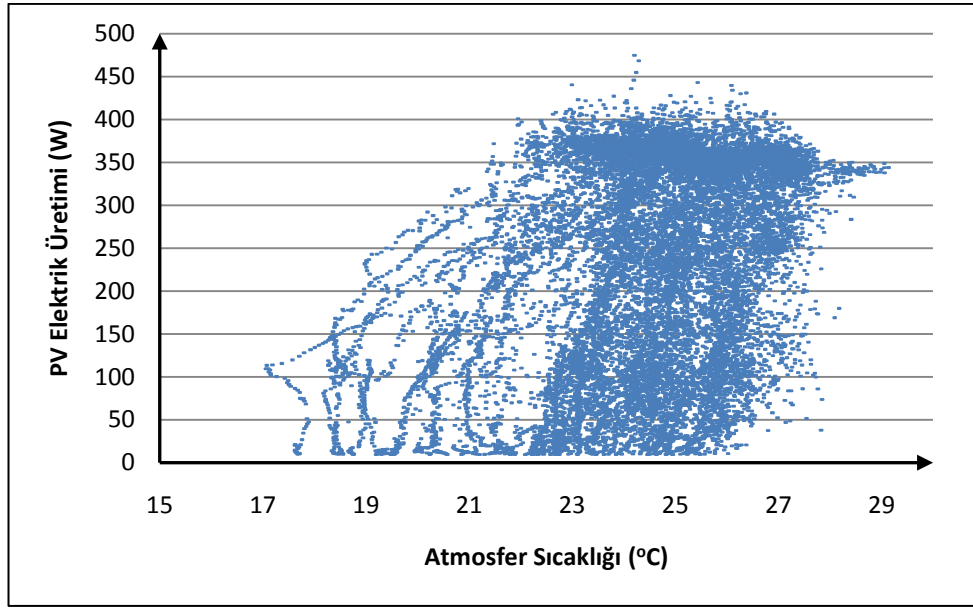
**Şekil 4.4 :** Ağustos 2009 süresince toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.



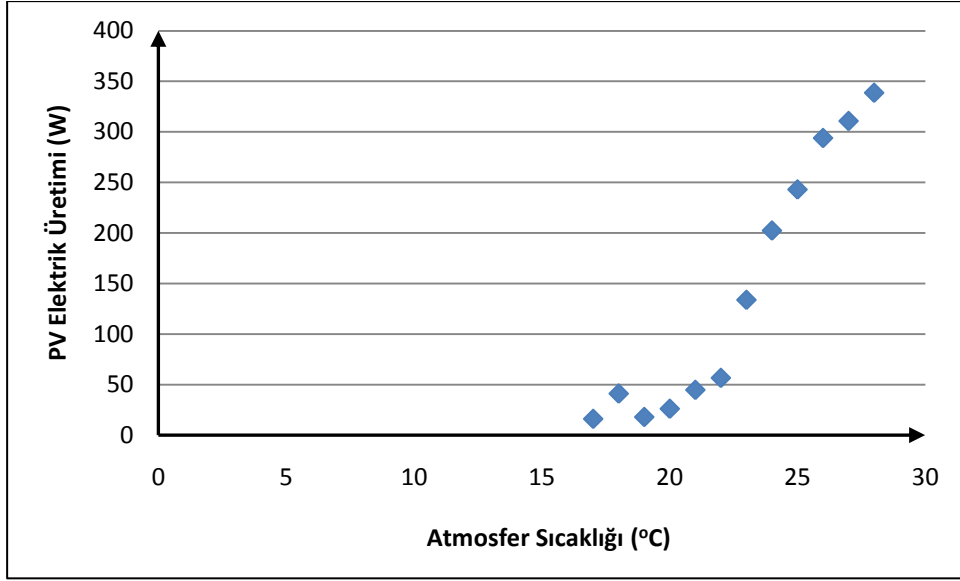
**Şekil 4.5 :** Ağustos 2009 süresince PV yüzeyine gelen gruplandırılmış toplam yayılı ışınım ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

Atmosfer sıcaklığının PV elektrik üretimini etkilediği daha önceki çalışmalarda da anlatılmıştır. Fakat bu çalışmada herhangi bir aya ait bütün veriler düşünüldüğünde gerçek anlamda bir ilişki görülmemektedir. Öncelikle doğrusal artan fakat daha sonra sabit bir üretim değeri görünümü vermektedir (Şekil 4.6).

Bütün bunların yanında atmosfer sıcaklığının 16-29 °C arasında değişmesi belirli bir noktada birikmeye sebebiyet vermektedir (Şekil 4.6). Bu durumda her bir sıcaklık için ortalama elektrik üretimleri ele alındığında PV elektrik üretimi-sıcaklık ilişkisi net olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ilişki yüksek temsilirliğe sahiptir. Atmosfer sıcaklığı arttıkça PV elektrik üretiminin artması güneş ışıınımı ile olan ilişkiyi de göstermektedir. Fakat güneş ışıınımından farkı, bütün veriler düşünüldüğünde doğrusallığın görülememesidir. Net ilişki, ortalamalardan sonra ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.7).

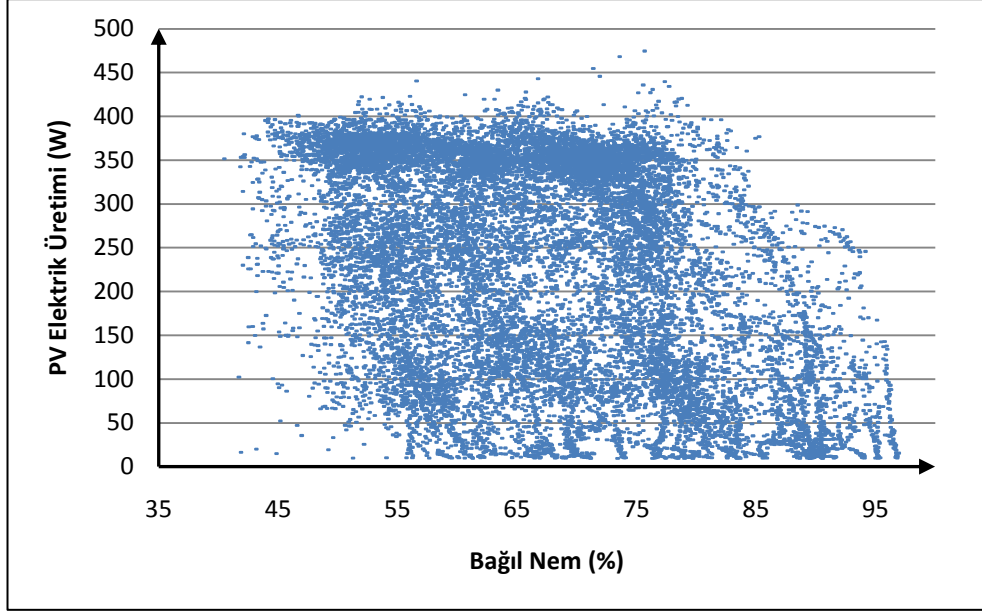


**Şekil 4.6 :** Ağustos 2009 süresince atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

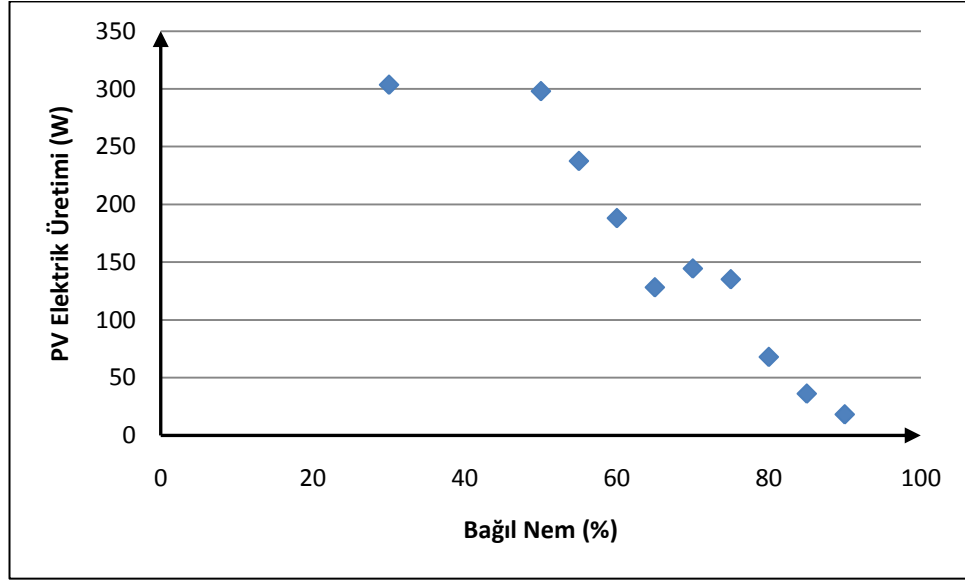


**Şekil 4.7 :** Ağustos 2009 süresince gruplandırılmış atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

Bilindiği üzere bağıl nemin önemli bir özelliği güneşten gelen ışıını engellemesi ve bunun yanında yerden yayılan uzun dalga boylu ışıınımlara karşı sera gazı davranışı göstermesidir. Bir anlamda bağıl nem arttıkça PV yüzeyine gelen toplam güneş ışıını miktarının azalıyor olması gerekir. Şekil 4.8’de genele yayılmış bir durum söz konusudur. Fakat belirli aralıklara karşı gelen ortalama PV elektrik üretimlerinin ele alınmasıyla birlikte bağıl nem-PV elektrik üretimi arasındaki ilişki Ağustos ayı için net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.9’dan görüleceği üzere bağıl nem oranı arttıkça üretilen elektrik miktarında azalmalar görülmektedir. Özellikle bağıl nem oranının çok yüksek olduğu aralıklarda üretilen elektriğin çok düşük olması dikkat çekmektedir (Şekil 4.9).



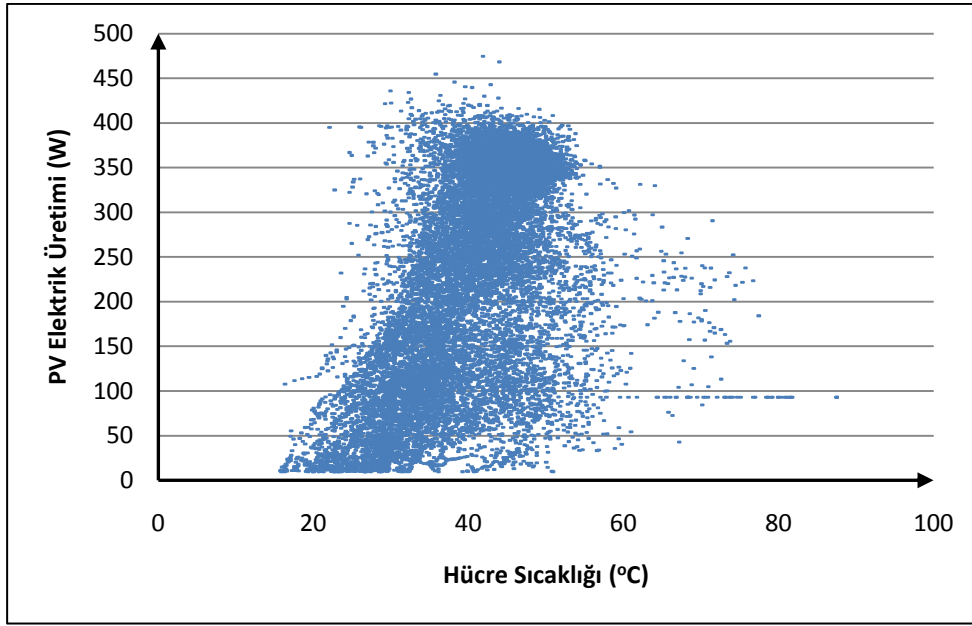
**Şekil 4.8 :** Ağustos 2009 süresince bağıl nem ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.



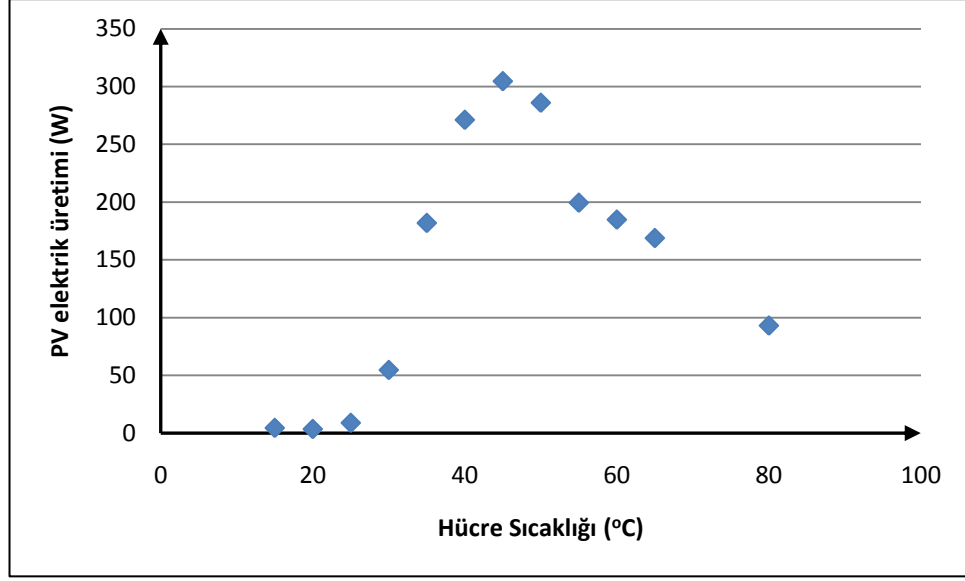
**Şekil 4.9 :** Ağustos 2009 süresince gruplandırılmış bağıl nem ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

Bütün bunların yanında PV’lerde en büyük kayıplar, ısıl olanlardır. Belirli bir sıcaklıktan sonra PV hücrelerin üretmeleri gereken elektrik, ısıl kayıp olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun temel nedeni artan ısının termal bir direnç oluşturması ve bu direncin de gerilimi düşüren bir faktör olarak karşımıza çıkmasıdır. Dirençte oluşan gerilim bir kayıp oluşturmakta ve sonuçta azaltıcı etkiye sahiptir. Ağustos ayı boyunca, bütün veriler ele alındığında hücre sıcaklığı ve PV elektrik

üretimi arasında bozulmuş doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Aslında bu şekil daha çok sola çarpık bir veri grubuna da benzemektedir. Belirli aralıklar için ortalama PV elektrik üretim değerleri ele alındığında normal dağılım şeklin ortaya çıktığı görülmektedir. Yani elektrik üretimi belirli bir hücre sıcaklığına kadar artmakta ve bu sıcaklıktan sonra ise azalmaktadır. Kısacası eğer PV sistemimizin Ağustos ayında maksimum üretim yapmasını istiyorsak hücre sıcaklığını 40-50 °C civarında tutmamız gerekmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ciddi kayıplar oluşmaktadır (Şekil 4.11).

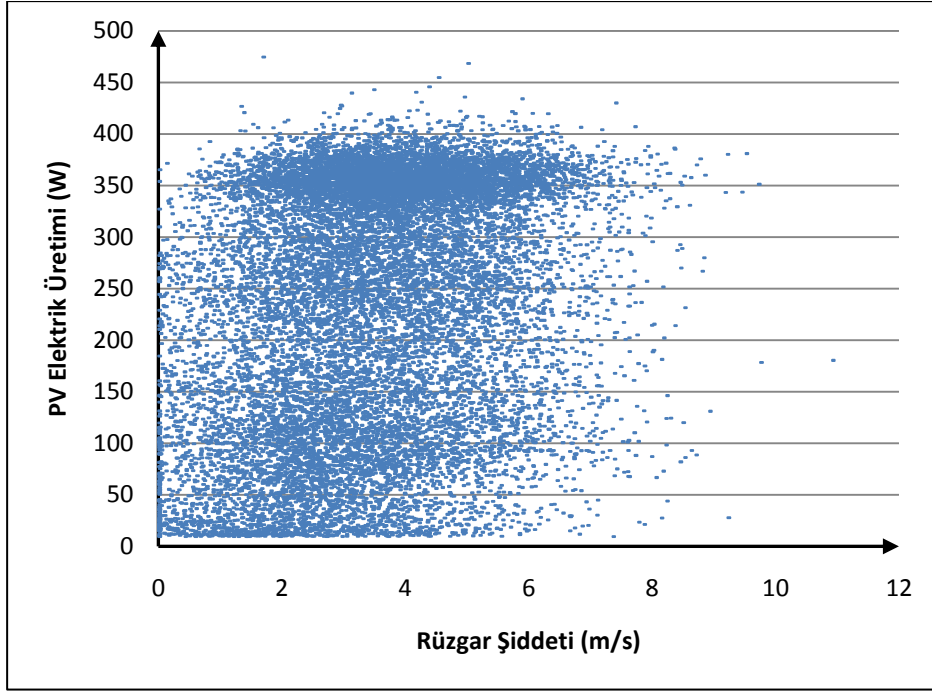


**Şekil 4.10 :** Ağustos 2009 süresince hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

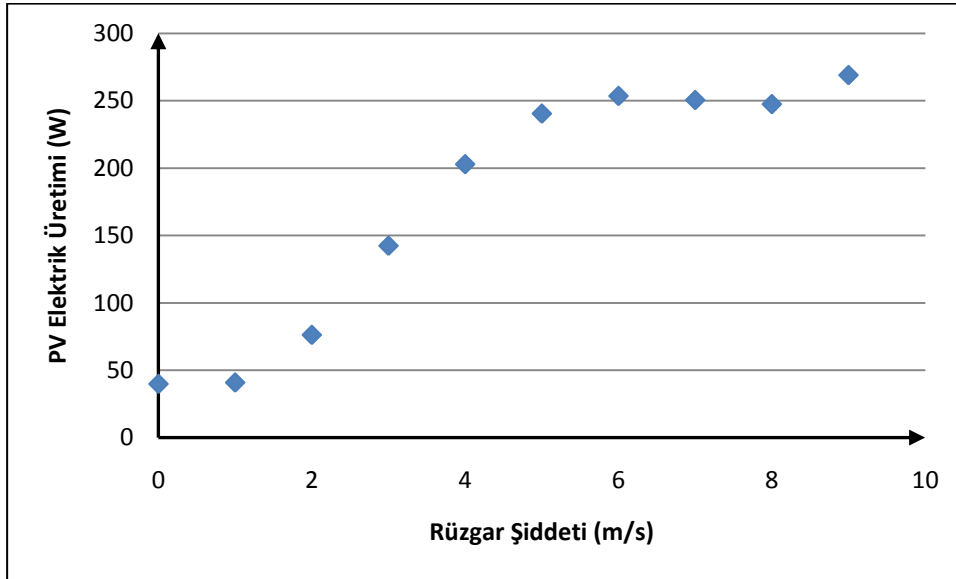


**Şekil 4.11 :** Ağustos 2009 süresince gruplandırılmış hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

Bu tez kapsamında merak edilen diğer bir meteorolojik değişken ise rüzgar olmuştur. Şekil 4.11’de belirtildiği üzere temel kayıpların başında ısıtılanlar gelmektedir. Bu durumda acaba PV panellerin rüzgar ile soğutulması mümkün olabilir mi? Eğer mümkün ise hangi aylarda ne oranda rüzgar gerekmektedir? Ağustos ayı boyunca bütün veriler düşünüldüğünde rüzgar şiddeti- PV elektrik üretimi arasında ciddi bir ilişki yakalanamamıştır (Şekil 4.12). Fakat belirli aralıklar için ortalamalar alındığında şaşırtacak şekilde rüzgar ile PV elektrik üretimi arasındaki ilişki net olarak ortaya çıkmaktadır. Rüzgar şiddeti arttıkça PV’lerde ısı kayıpları azalmaktadır ve sonuçta elektrik üretimleri artmaktadır (Şekil 4.13). Burada dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir nokta 5 m/s’ nin optimum rüzgar şiddeti olduğudur. Bu değerden sonra elektrik üretim artışı görülmemekte aksine sabitlenmektedir (Şekil 4.13).



**Şekil 4.12 :** Ağustos 2009 süresince rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.



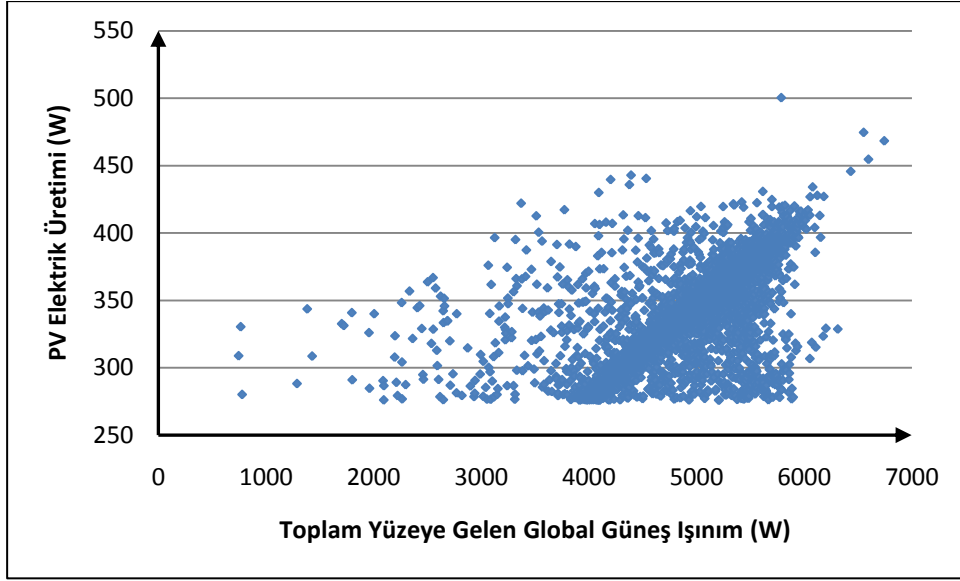
**Şekil 4.13 :** Ağustos 2009 süresince gruplandırılmış rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi saçılma diyagramı.

Bunlara ilave olarak, meteorolojik değişkenlerin PV elektrik üretimlerine etkisi ele alınırken ortalamaların altındaki ve üstündeki değerler hesaba katılarak nasıl bir sonuca varılabilir şeklinde düşünölmüştür. Bir anlamda maksimum ve minimum elektrik üretimlerine meteorolojik değişkenler etki etmekte midirler? Ediyorlarsa, bu ne oranda olmaktadır?

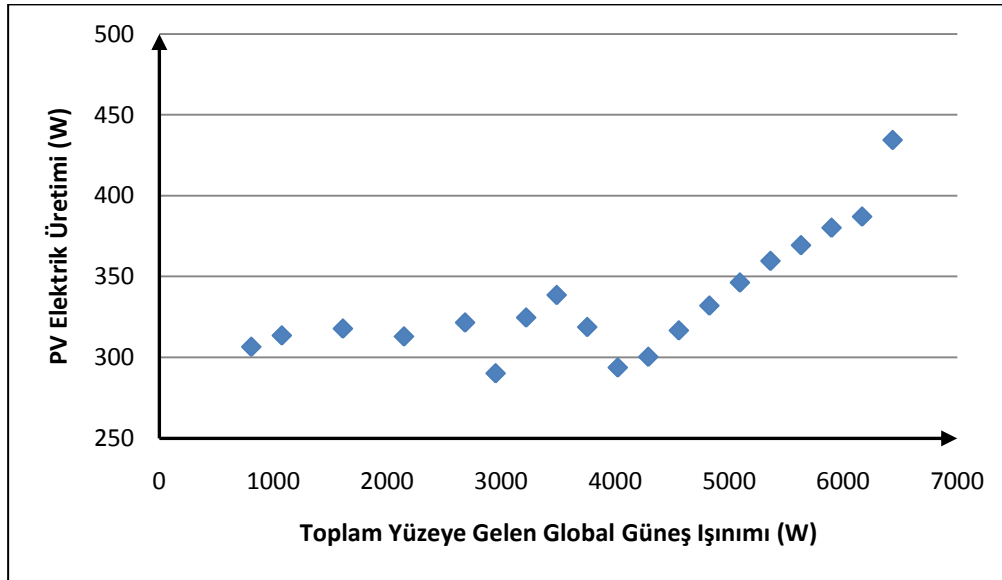
şekil 4.1' de belirtildiği üzere, ortalamadan 1, 1.5, 2 standart sapma yukarı ve 0.5 standart sapma aşağıda olan veriler düşünölererek yorum yapılmaya çalışılacaktır. Bunun anlamı, eğer meteorolojik değişkenler üretim arttırma veya azaltmada etkili iseler, ortalama üretimlerin dışındaki değerlerdeki davranışları incelenmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, belirli bir noktadan kesilerek alınmış verilerin normal dağılımdan uzaklaşmış olmalarıdır.

#### **4.1.1.1 $\mu+1.0\sigma$ PV elektrik üretimleri**

Öncelikle, PV elektrik üretiminin ortalamadan 1 standart sapma yukarısına karşılık gelen toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı değerleri ele alınmıştır. Ortalamadan 1 standart sapma yukarı bütün PV elektrik üretim değerleri için genel gidişatın doğrusal olduğu görölmektedir (şekil 4.14). Bu değerlerin ortalamalar ile karşılaştırılmasında PV'lerin toplam alanına 4000 W'a kadar üretimin yaklaşık sabit olduğu (280-340 W) fakat bu değerden sonra ışınım arttıķa üretimin de arttığı görölmektedir (şekil 4.15). Bu durumda toplam panel yüzeyine gelen 4000 W'lık güneş ışınımına kadar yayılı ışınımın daha çok etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



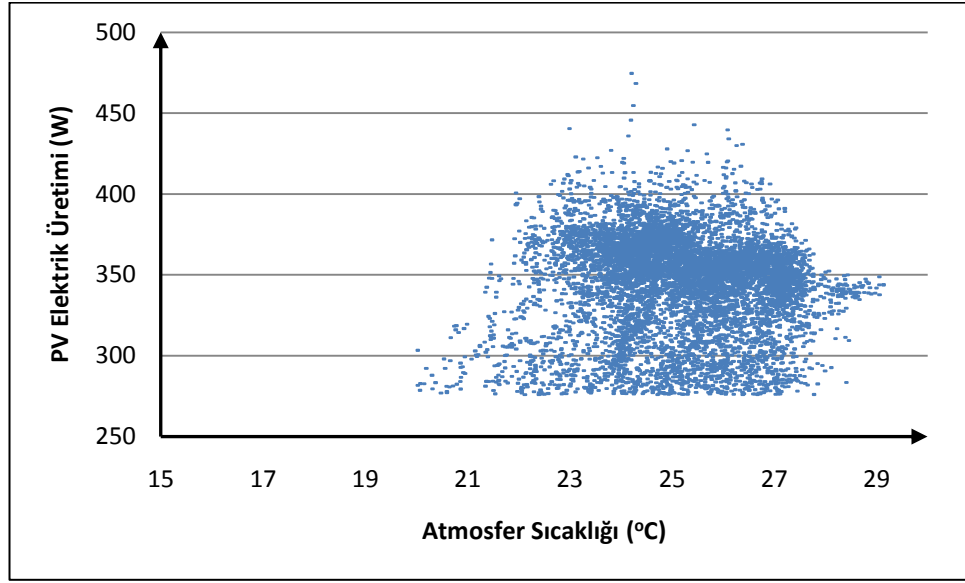
**Şekil 4.14 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.



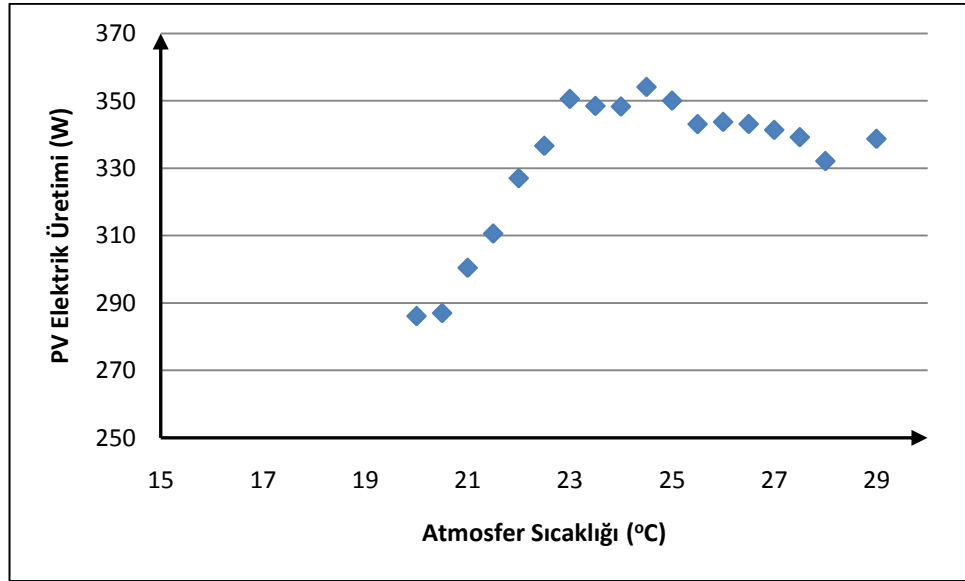
**Şekil 4.15 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.

Ortalamadan 1 standart sapma yukarı olan PV elektrik üretim değerleri ile bunlara karşılık gelen atmosfer sıcaklıkları arasında diğerlerinde olduğu gibi net bir ilişki görülmemektedir (Şekil 4.16) bunların ortalama değerleri ele alındığında 25 °C' ye kadar atmosfer sıcaklığı arttıkça PV elektrik üretimi de artmaktadır. Fakat bu eşik değerinden sonra üretimde azalmalar baş göstermektedir (Şekil 4.17). Sadece yüksek değerler ele alındığında 25 °C gibi bir eşik değerinden sonraki üretimler

azalmaktadır. Demek ki maksimum üretim birçok üretim kataloğunda belirtildiği üzere 25 °C atmosfer sıcaklığında gerçekleşmektedir.



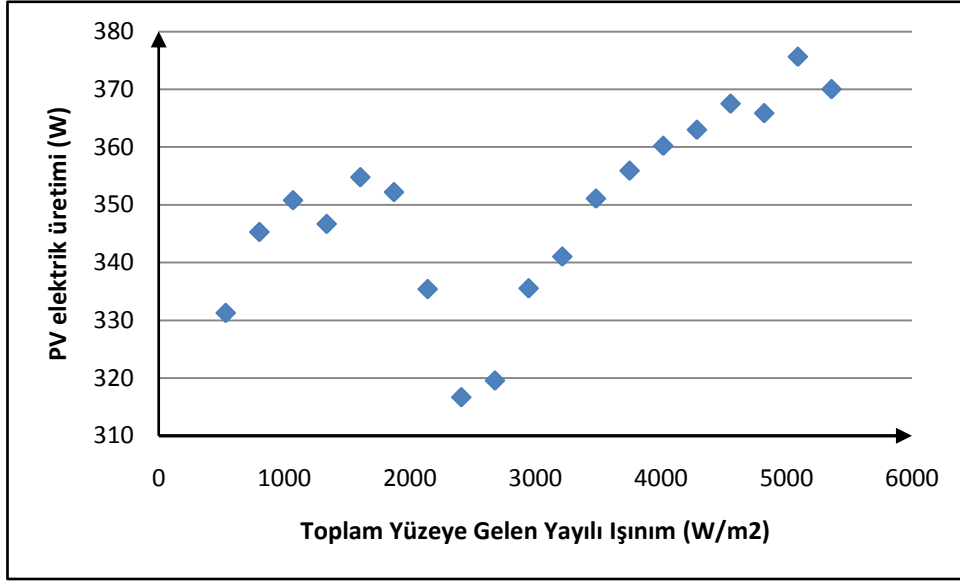
**Şekil 4.16 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı PV elektrik üretimi ile atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



**Şekil 4.17 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile atmosfer sıcaklığı ilişkisi.

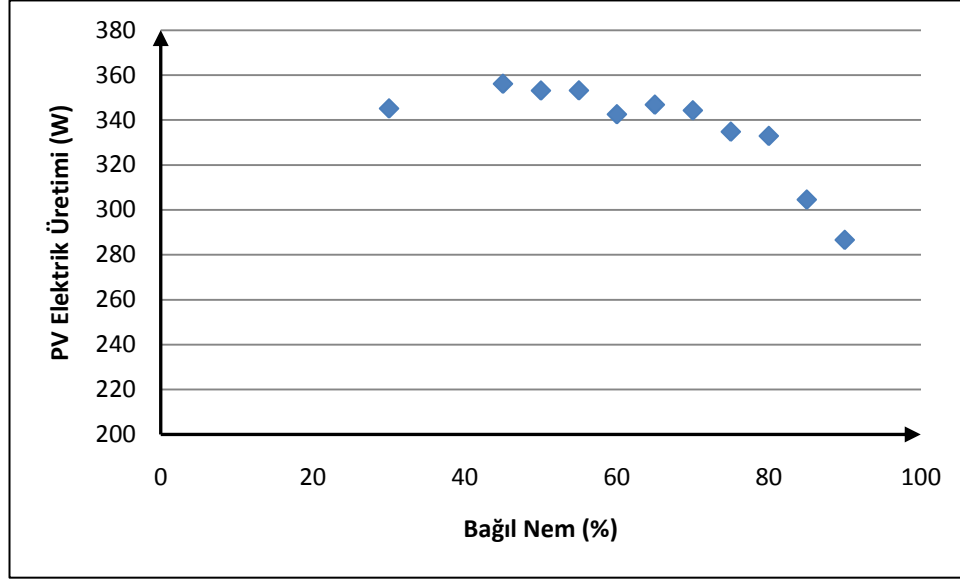
Bundan sonraki adımda diğer meteorolojik değişkenlerin gruplandırılmış ortalaması ile gruplandırılmış ortalama PV elektrik üretimlerine karşılık gelenler ele alınmıştır. Yayılı ışınımın elektrik üretiminde iki küme oluşturduğu görülmektedir. Bu durumda birinci grup, sabah-akşam saatlerindeki üretimi gösterirken ikinci grup ise öğle-ikindi

arasındaki yayılı ışıını temsil etmektedir. Özellikle toplam yüzeye gelen 2500 W'lık güneş ışıınından sonrasını ikinci grup oluşturmaktadır (Şekil 4.18).



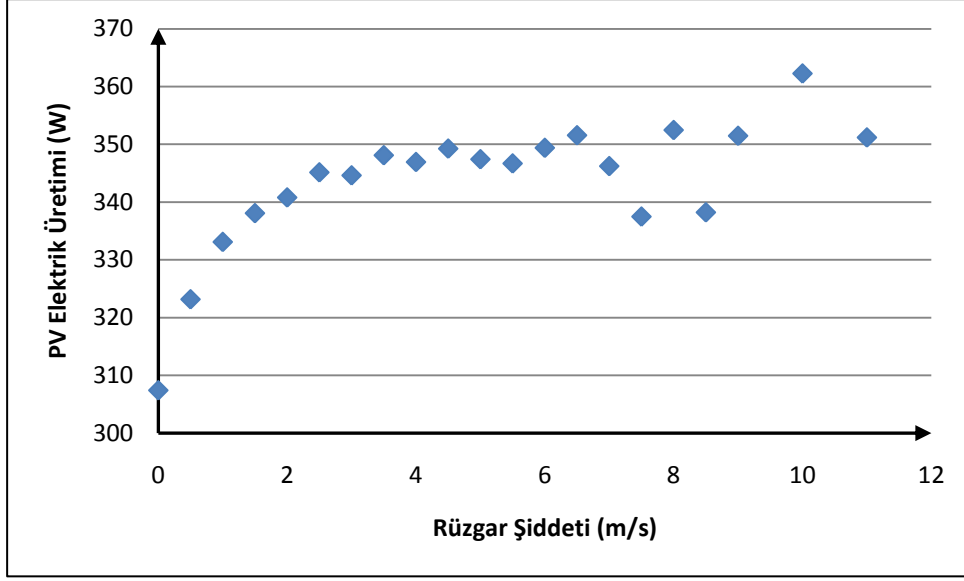
**Şekil 4.18 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.

Ortalamadan 1 standart sapma yukarı olan ve gruplandırılmış elektrik üretimleri ile bunlara karşılık gelen gruplandırılmış ortalama bağıl nem değerleri arasındaki değerlendirmelerinde bağıl nemin artması ile üretimin azaldığı görülmektedir. Özellikle % 70' e kadar olan bağıl nemlerde üretimde sabitlik söz konusu iken daha yüksek bağıl nem durumunda üretim azalmaktadır. Bu durumda bağıl nem için yüksek üretimlerde % 70 değeri eşik olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile bağıl nem ilişkisi.

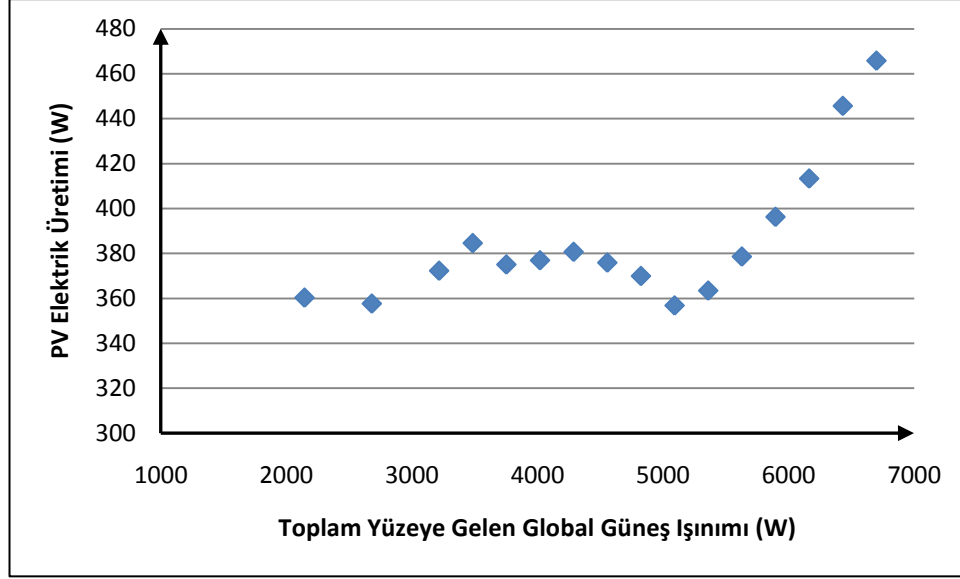
Ortalamadan 1 standart sapma yukarı olan, gruplandırılmış üretim değerleri ile gruplandırılmış rüzgar şiddeti arasındaki ilişkiye bakıldığında üretimin belirli bir hıza kadar arttığı daha sonra ise bu artışın durduğu görülmektedir (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20 :** Ortalamadan 1 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile rüzgar şiddeti ilişkisi.

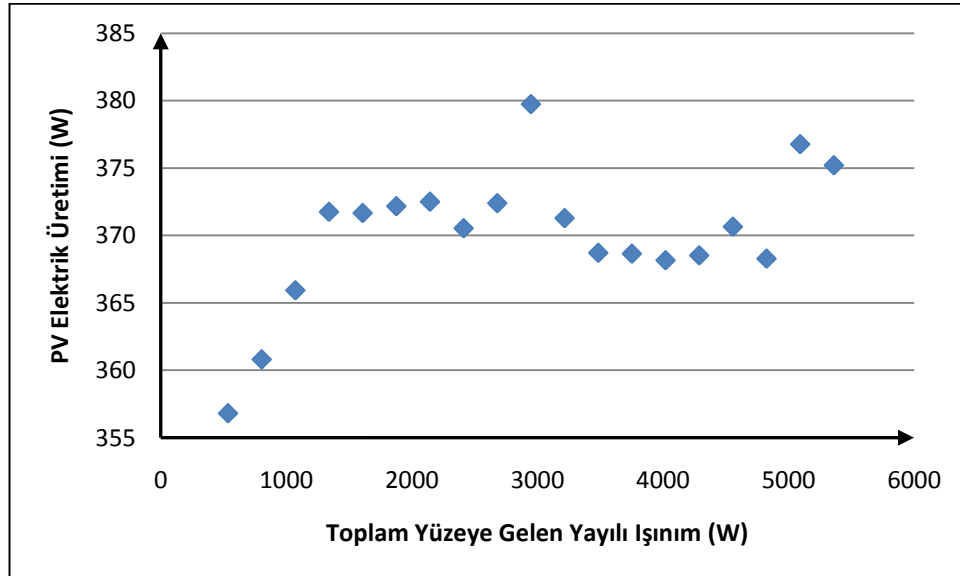
#### 4.1.1.2 $\mu+1.5\sigma$ PV elektrik üretimleri

Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı olan PV elektrik üretim değerleri için yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı ile ilişkiye bakıldığında üretim ile olan ilişki netleşmektedir. Özellikle 5000 W ve üzeri toplam alana gelen güneş ışıınımı değerlerinden sonra gittikçe artan üretimlerin olduğu görülmektedir (Şekil 4.21). Yani birim alana yaklaşık  $950 \text{ W/m}^2$  ve üzeri ışıınım düştüğünde üretim doğrusal artmaktadır.



**Şekil 4.21 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen global ışınım ilişkisi.

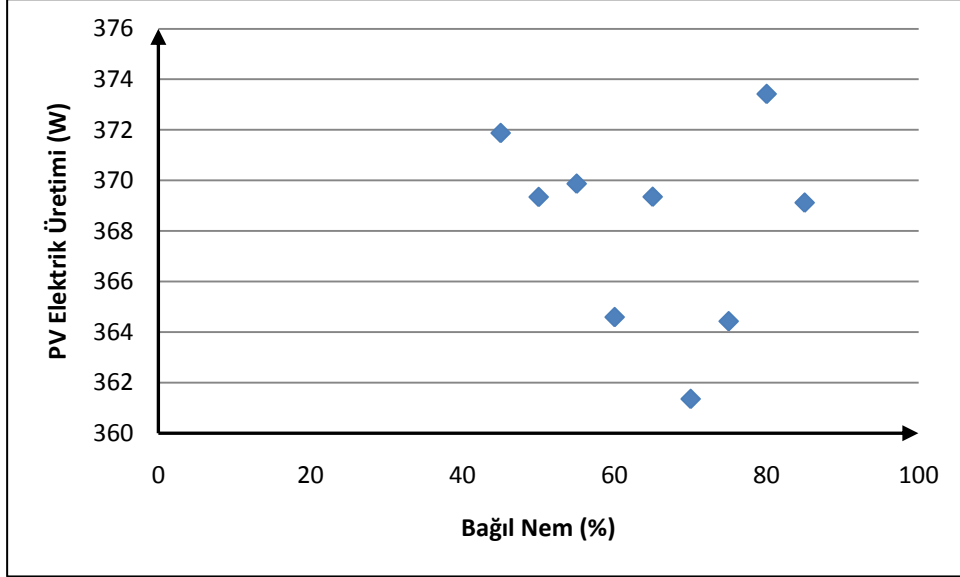
Şekil (4.18) den hatırlanacağı üzere ortalamadan 1 standart sapma yukarı olan PV elektrik üretimi ve yayılı ışınım arasındaki ilişkiye bakıldığında iki grup oluşmakta idi. Fakat ortalamadan 1.5 standart sapma yüksek PV değerlerinde bu iki grubun yok olduğu toplam yüzeye gelen ışınımın 1500 W yayılı ışınım değerinden sonra sabit yaklaşık üretimin gerçekleştiği görülmektedir. Bunun anlamı yayılı ışınımın özellikle  $400 \text{ W/m}^2$  ye kadar etkili olduğudur (Şekil 4.22).



**Şekil 4.22 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ilişkisi.

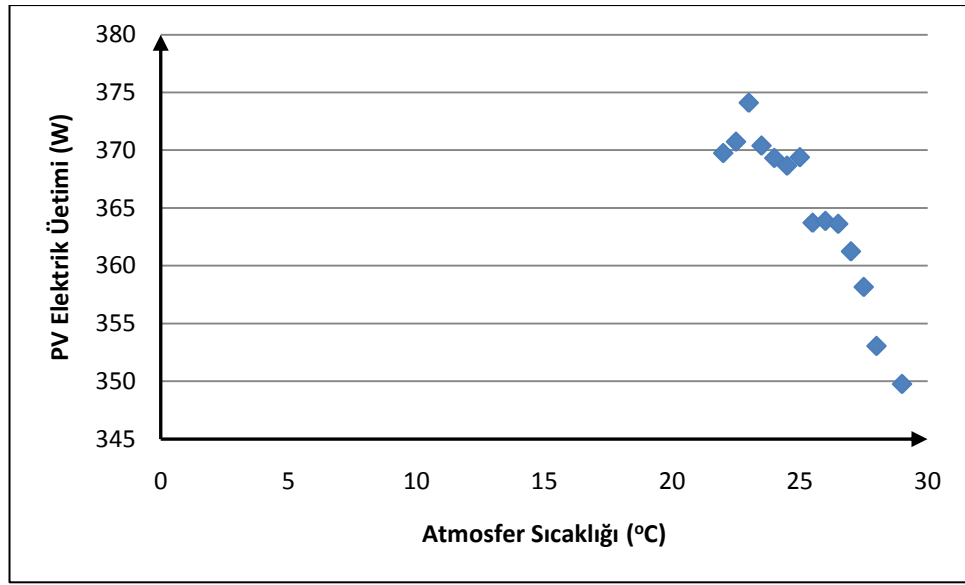
Diğer bir değişken olan bağıl nem ile 1.5 standart sapmadan yüksek olan PV elektrik üretimi arasındaki ilişkiye bakıldığında bu değişkenin etkisinin yok olduğu kolaylıkla anlaşılmaktadır (Şekil 4.23).

Kısacası PV'lerin yüksek elektrik üretimlerinde yayılı ışınım ve bağıl nem değerlerinin etkilerinin çok fazla olmadığı görülmektedir.



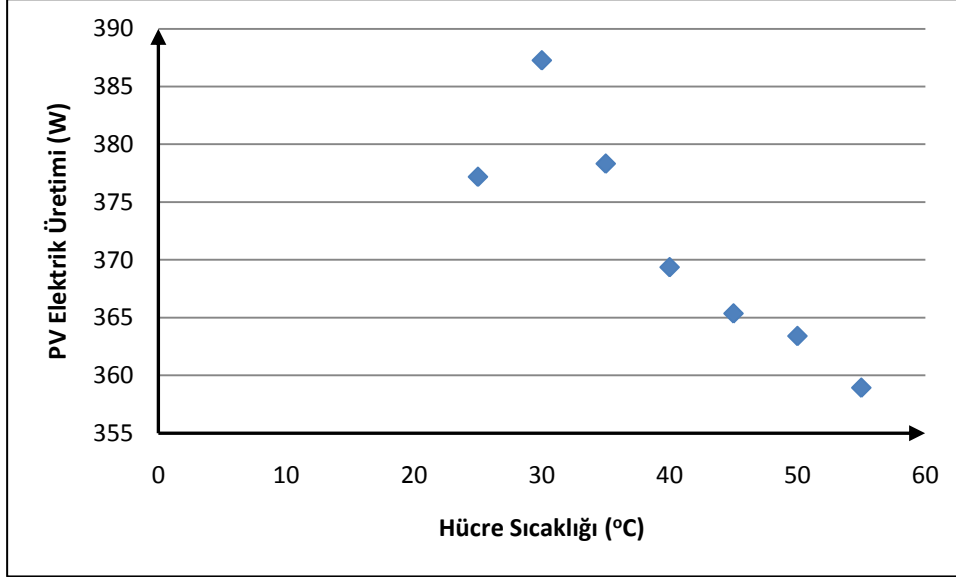
**Şekil 4.23 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile bağıl nem ilişkisi.

Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı PV elektrik üretim değerleri ile atmosfer sıcaklığı arasındaki ilişkiye bakıldığında ilginç bir durum ortaya çıkmaktadır. Ortalamadan 1 standart sapma yukarı Şekil 4.17’den hatırlanacağı üzere 25 °C’den sonra üretimin azalmasına doğru bir eğilim bulumakta idi. Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı değerlerde atmosfer sıcaklığının ters orantılı şekilde etkili olduğu görülmektedir. Özellikle 25 °C’den büyük atmosferik sıcaklıklar PV elektrik üretimini azaltmaktadır (Şekil 4.24). Yüksek sıcaklık ile yüksek PV elektrik üretimi arasında ters bir orantı olduğu net bir şekilde görülmektedir.



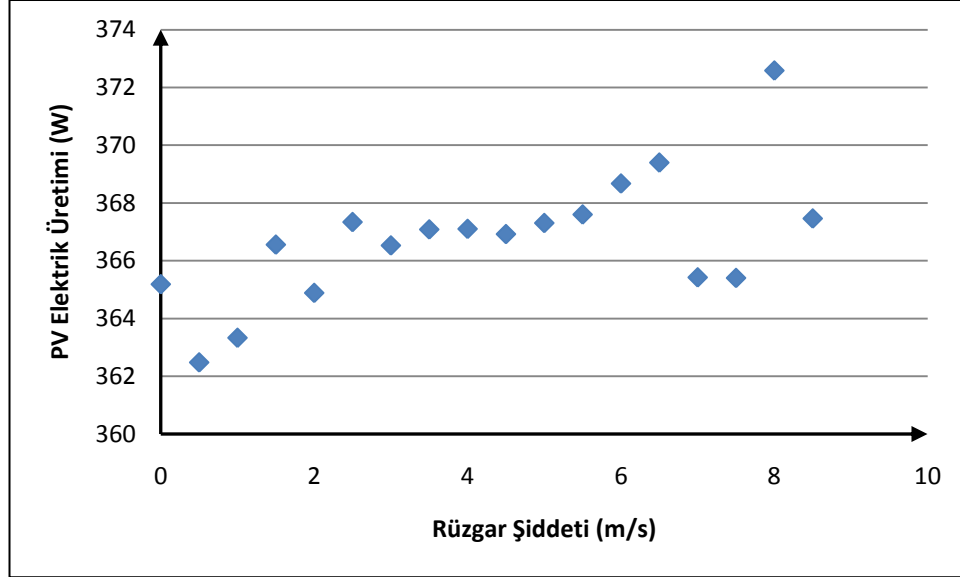
**Şekil 4.24 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile atmosfer sıcaklığı ilişkisi.

Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı PV elektrik üretim değerlerinde Ağustos ayında hücre sıcaklığının ters ortantılı etkisi net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Özellikle çok yüksek hücre sıcaklıklarında (40 °C'den büyük) ciddi azaltıcı etki görülmektedir. Başka bir ifade ile yüksek sıcaklıklarda ciddi ısı kayıplarının olduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.25).



**Şekil 4.25 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile hücre sıcaklığı ilişkisi.

Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı PV elektrik üretim değerleri ile rüzgar şiddetleri karşılaştırıldığında 3 m/s'den önce rüzgar şiddeti arttıkça üretim artmakta, 3-6 m/s arası rüzgar şiddetinin etkisi net görülmemekte, daha yüksek rüzgar şiddetlerinde ise üretimi arttırıcı eğilim gözlenmektedir (Şekil 4.26).

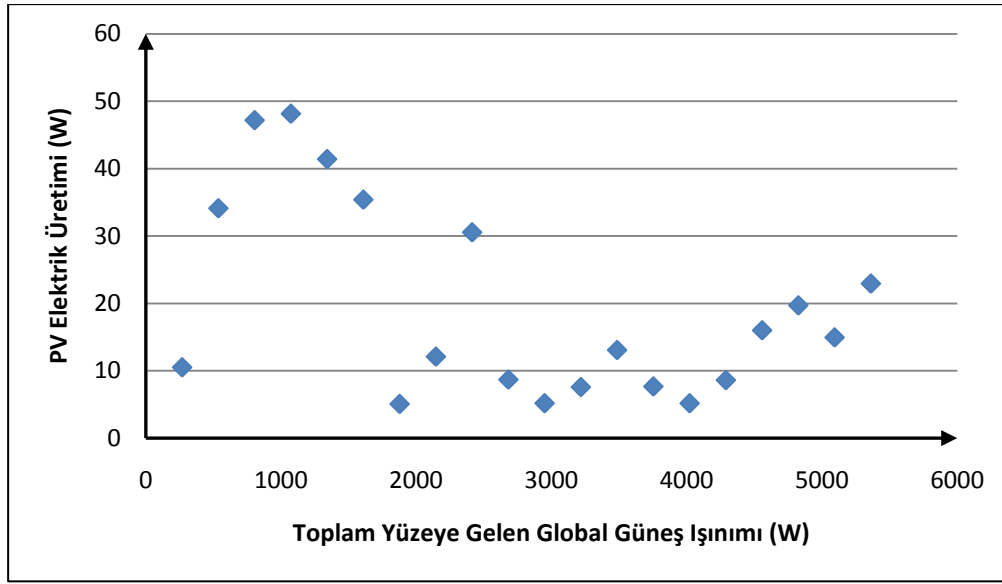


**Şekil 4.26 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile rüzgar şiddeti ilişkisi.

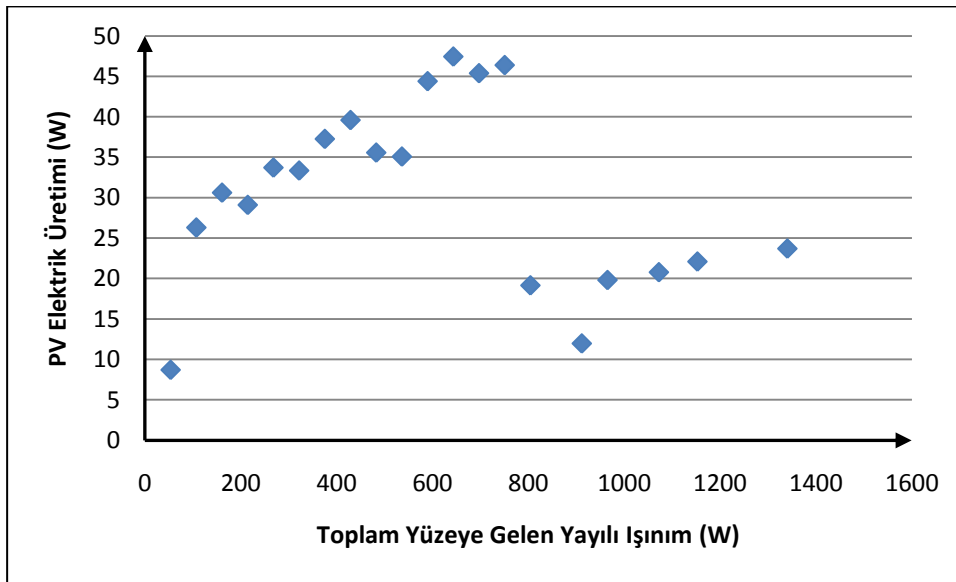
Sonuç olarak yüksek üretim değerlerinde ( $\mu+1.5\sigma$ ) atmosfer ve hücre sıcaklıklarının olumsuz etkileri Ağustos boyunca görülmüştür. Bunların yanında yüksek üretimlerde rüzgarın arttırıcı etkisi zayıflamaya başlamış ve bağıl nem etkisi ise ortadan kalkmıştır.

#### 4.1.1.3 $\mu-0.5\sigma$ PV elektrik üretimleri

PV elektrik üretimine atmosferik değişkenlerin arttırıcı etkilerinin yanında azaltıcı etkileri de araştırılmıştır. Bunun için ortalamadan 0.5 standart sapma düşük elektrik üretim verilerine karşılık gelen atmosferik değişkenler incelenmiştir. Her bir değişkene karşılık düşük üretimlerin davranışları ele alınmıştır. Öncelikle toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ile PV elektrik üretimleri ele alındığında 1500 W'a kadar artışın olduğu, ondan sonraki değerlerde ise sabit durumun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.27). Yayılı ışınımın düşük değerlerde etkisi net bir şekilde görülmektedir. Ortalama altı değerlerde yayılı ışınım arttıkça üretim artmaktadır (Şekil 4.28).

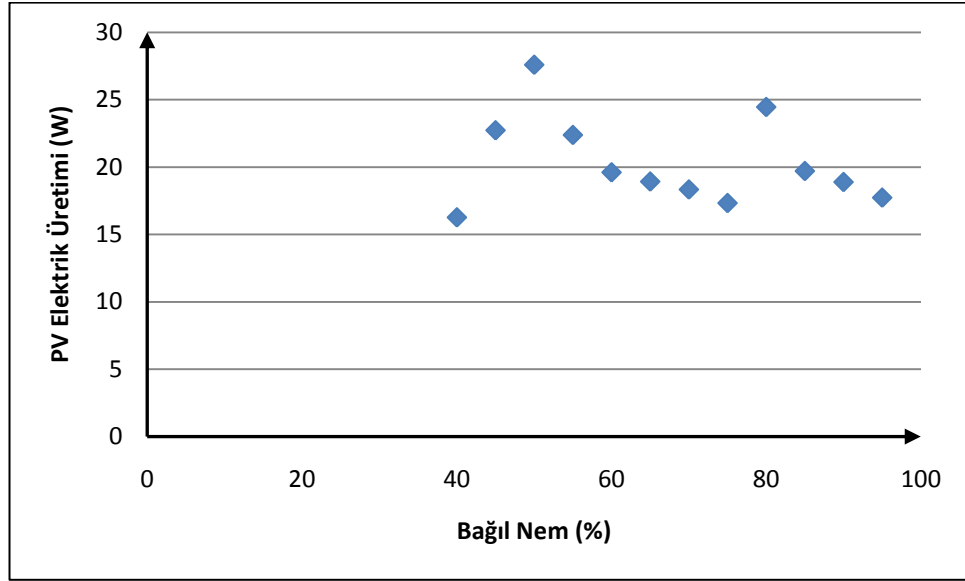


**Şekil 4.27 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen global ışıınım ilişkisi.



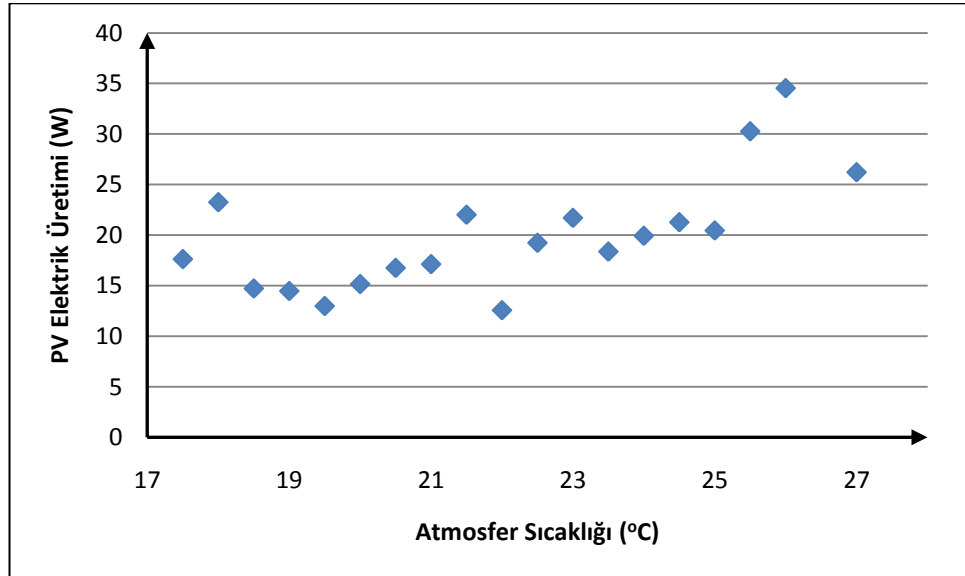
**Şekil 4.28 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınım ilişkisi.

Düşük üretim değerleri ile bağıl nem arasında net bir ilişki görülmesi de bağıl nemin oranları arttıkça üretimin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.29).



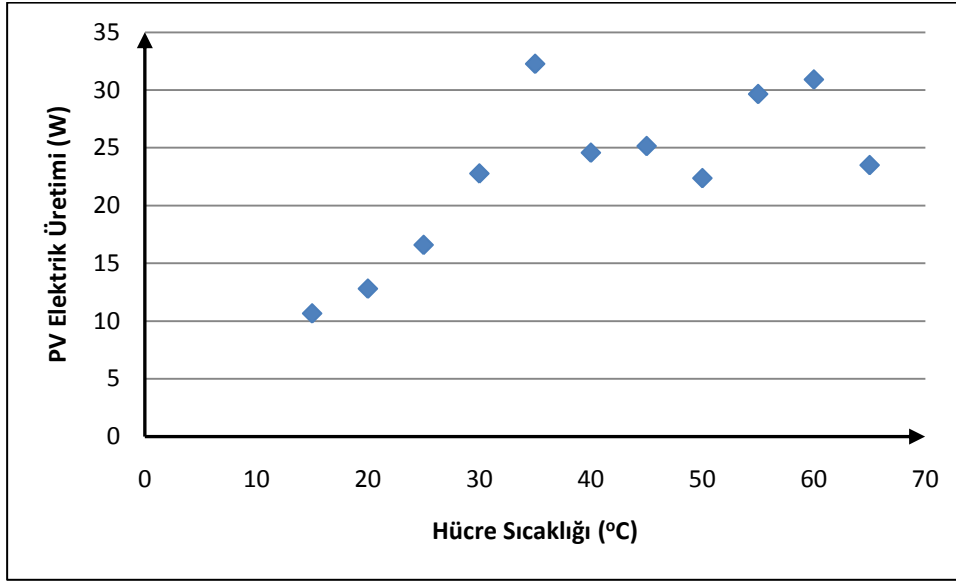
**Şekil 4.29 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile bağıl nem ilişkisi.

Ortalamadan 0.5 standart sapma düşük elektrik üretim değerleri ile atmosfer sıcaklığı arasında net bir ilişki Ağustos ayında gözlemlenmemiştir (Şekil 4.30).



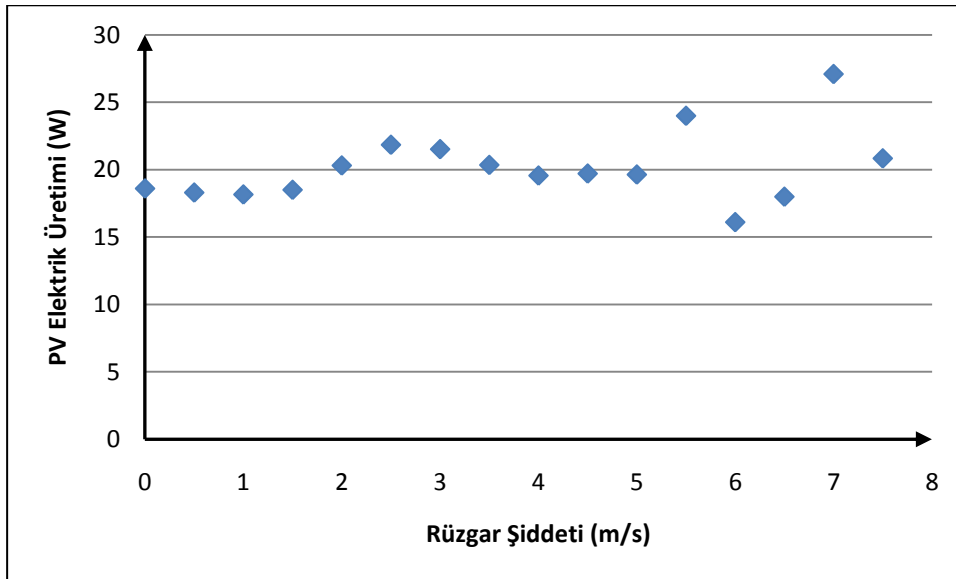
**Şekil 4.30 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile atmosfer sıcaklığı ilişkisi.

Bu gruptaki üretimler ile hücre sıcaklığı arasında 40 °C'ye kadar doğrusal bir artış görülmektedir. Bu değerden sonra doğrusal ilişki bozulma eğilimindedir (Şekil 4.31).



**Şekil 4.31 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile hücre sıcaklığı ilişkisi.

Rüzgar şiddeti ile düşük değerlerdeki PV elektrik üretimi arasında net bir ilişkiye rastlanmamıştır. Bütün aralıklar için sabitlik sözkonusu olmuştur (Şekil 4.32).



**Şekil 4.32 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve gruplara ayrılmış PV elektrik üretimi ile rüzgar şiddeti ilişkisi.

#### **4.1.1.4 Verimlilikler ve kapasite faktörü**

Fotovoltaik pillerde en çok merak edilen konulardan bir tanesi verimliliğidir. Bölgenin şartlarına bağlı olarak verimlilik değişimi büyük önem taşımaktadır.

Fotovoltaik pillerde verimlilik daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi üç farklı şekilde izah edilebilir. Bunlardan birincisi dolum faktörü (fill factor), ikincisi kapasite faktörü ve sonuncusu ise enerji verimliliğidir. Burada öncelikle kapasite faktörü üzerinde durulabilir. Bilindiği üzere kapasite faktörü PV panelden üretilen elektriğin PV'nin toplam gücüne oranı şeklinde ifade edilebilir. Burada farklı şartlar altında üretilen elektrik toplam kurulu güç olan 750 Wp' a bölünmüştür.

#### **Kapasite faktörü**

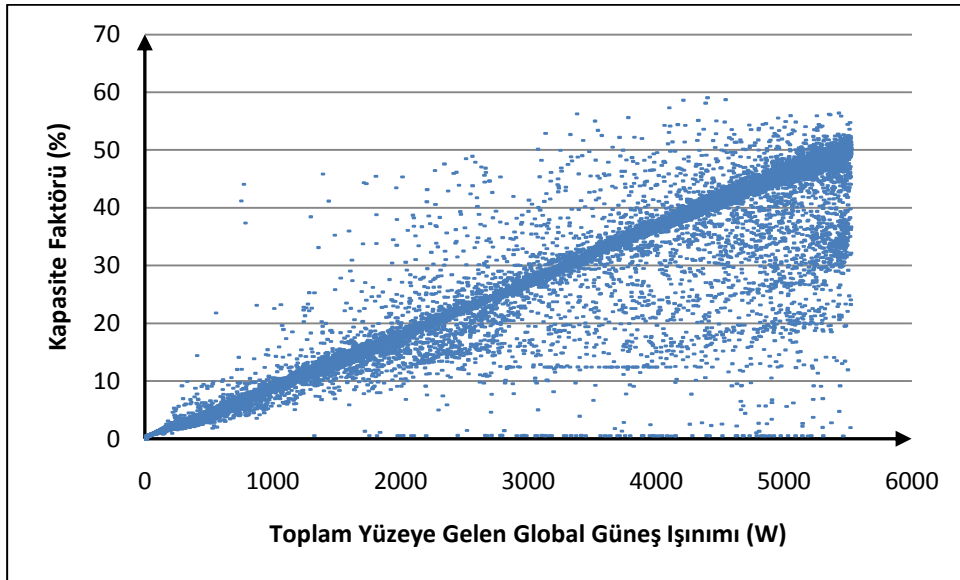
Öncelikle toplam ışınlamaya karşın PV kapasite faktörü Ağustos ayı için ele alınmıştır. Burada değinilmesi gereken diğer bir nokta ise sadece üretim olan saatlerin ele alınmış olmasıdır. Ağustos ayına ait bütün veriler düşünüldüğünde verim ve güneş ışınlamı arasında doğrusal bir bağlantı olduğu görülmekle birlikte fazla veri olmasından dolayı saçılım görülmektedir (Şekil 4.33). Bu durumda gruplara ayrılmış ortalamalar düşünüldüğünde bu saçılmanın doğrusallığa dönüştüğü açıkça görülmektedir. Yüzeye gelen toplam güneş ışınlamı arttıkça kapasite faktörü de artmaktadır. Bazı durumlarda kapasite faktörünün %50 olması beklentilerin üzerinde verimlilik gerçekleştirmiştir ( Şekil 4.33).

PV sistemlerde güneş ışınlamı miktarı yüksek olsa bile teknolojik sınırlamalardan dolayı elektrik üretimi belirli bir değerin altında kalmaktadır. Bilindiği gibi verimlilik hesaplamalarında üretilen elektrik miktarının düşünülen alana gelen toplam güneş ışınlamaya oranı önem taşımaktadır. Sabit üretilen elektrik miktarı yüksek güneş ışınlamı değerlerine oranlandığında verimliliklerin düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Fakat düşük güneş ışınlamı değerlerine oranlandığında verimlilik yüksek çıksa da üretilen elektrik miktarı daha az olmaktadır. Bir anlamda klasik verimlilik hesaplamaları ile fotovoltaiklerin üretimini tartışmak sorunlara neden olmaktadır.

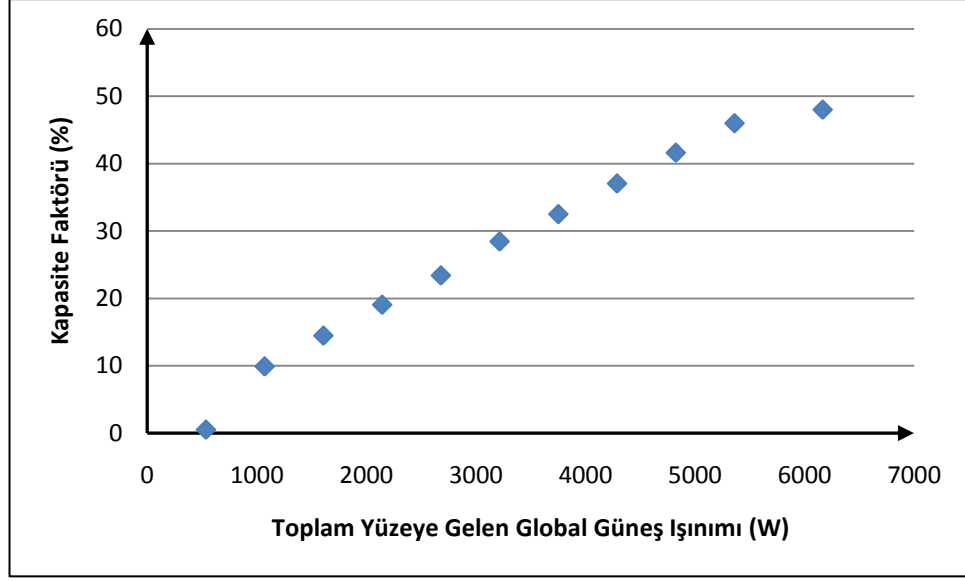
Genel olarak, güneş ışınlamı artarsa PV elektrik üretimi artar. Bu yaklaşım elektrik üretimi için doğru kabul edilebilir. Fakat söz konusu verim olduğunda, toplam alana gelen direkt güneş ışınlamının rolü önemli olur. Bir başka ifade ile, yüksek direkt veya

yayılı güneş ışıını bileşenlerinde, PV sistem aynı oranda verimi arttıramamakta veya aynı verim oranını koruyamamaktadır. Eğer bu üretim oranını başarabilseydi, şimdiki durumdan 2-3 kat daha fazla elektrik üretilebilirdi.

Toplam yüzeye gelen toplam güneş ışıınına bağılı olarak PV panelinin kapasite faktörünün Ağustos ayında % 60'lara yaklaştığı zamanlar olmakla birlikte üretimin %20'nin altında olduğu durumlarda sıklıkla gözlemlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta güneşin bulunması durumundaki kapasite faktörleridir. Bu değerleri güneşin bulunmadığı saatlere de yaydığımızda beklentilerin altında üretimlerin olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Hem toplam yüzeye gelen global güneş ışıını hem de kapasite faktörünün gruplara göre ortalamaları alındığında bozulmaların ortadan kaktığı, tam doğrusal ilişkinin olduğu net olarak görülmektedir (Şekil 4.34).

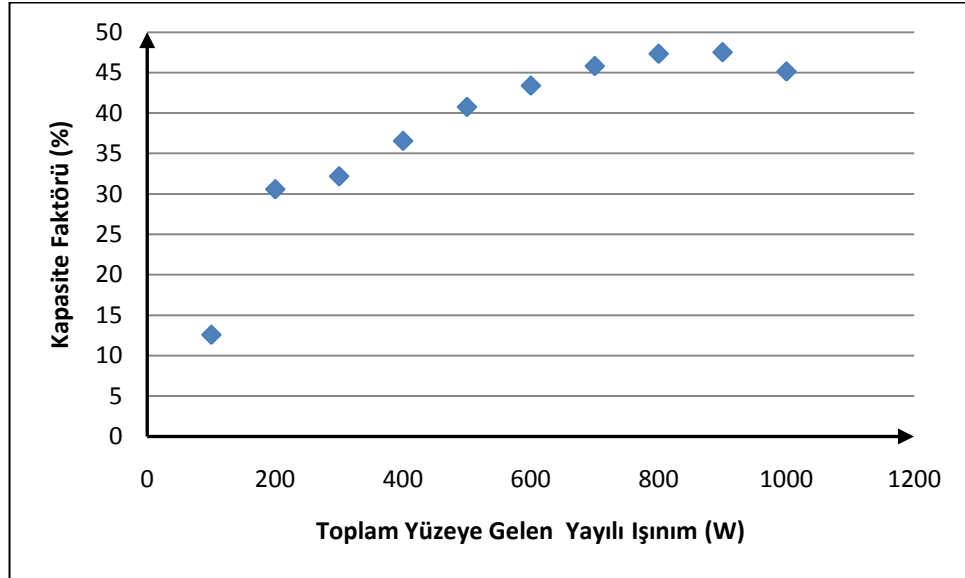


**Şekil 4.33 :** Toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.

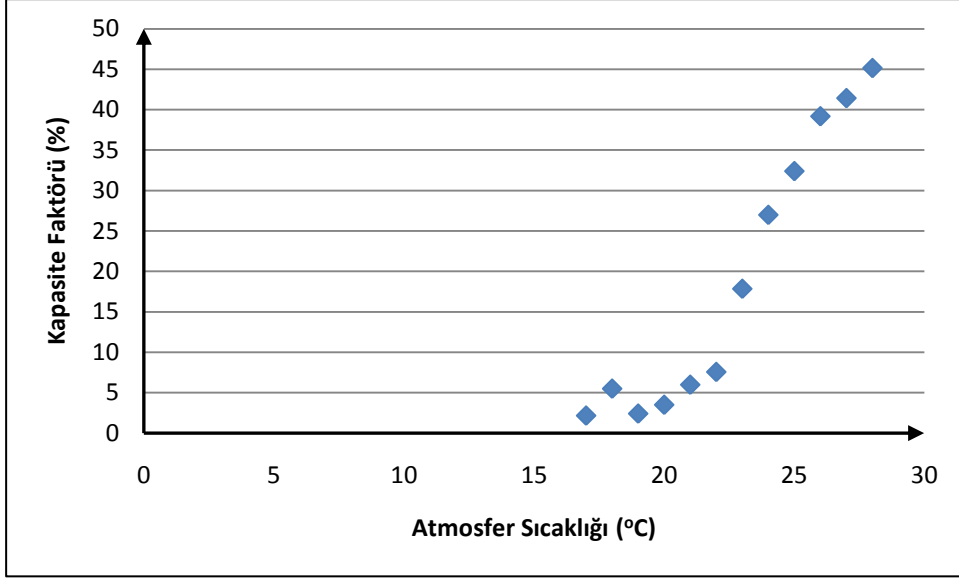


**Şekil 4.34 :** Ortalamalara göre gruplandırılmış toplam yüzeye gelen global güneş ışınlımı ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.

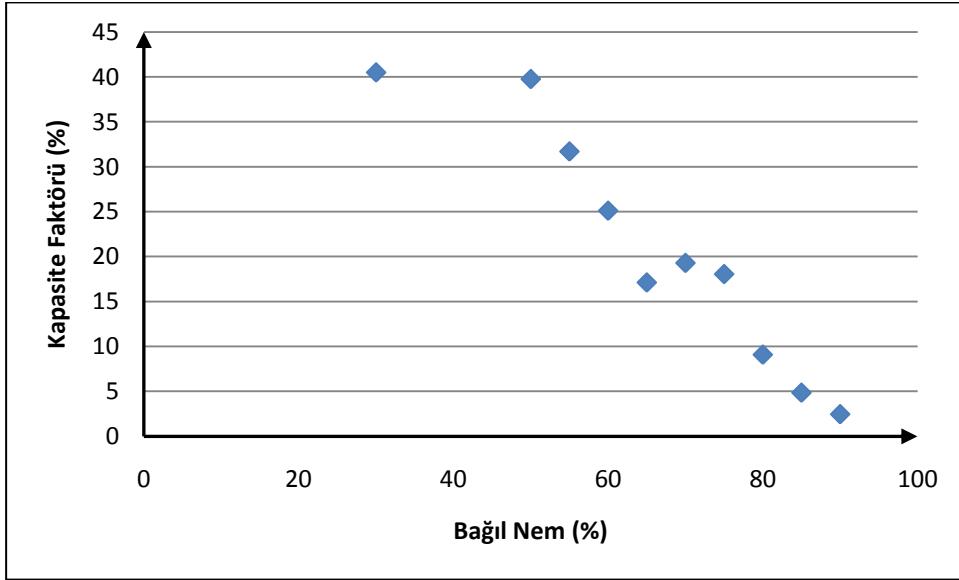
Ağustos ayı düşünüldüğünde, kapasite faktörü ile diğer değişkenler arasındaki ilişkiye bakıldığında genel enerji üretimleri ile ilgili olan şekiller ve yorumlar korunacaktır. Bunun temel sebebi üretilen elektriğin PV panelinin toplam kapasitesi olan 750 W'a yani sabit bir sayıya bölünmesidir (Şekil 4.35-39). Belirtilen şekillerden görüleceği üzere gidişat olarak değişim bulunmamaktadır.



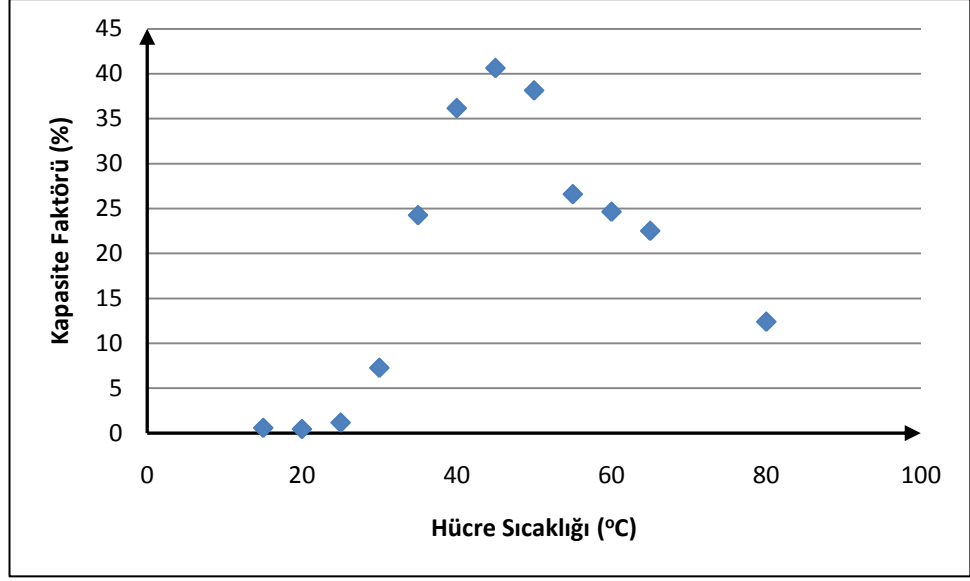
**Şekil 4.35 :** Ortalamalara göre gruplandırılmış toplam yüzeye gelen yayılı ışınlım ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.



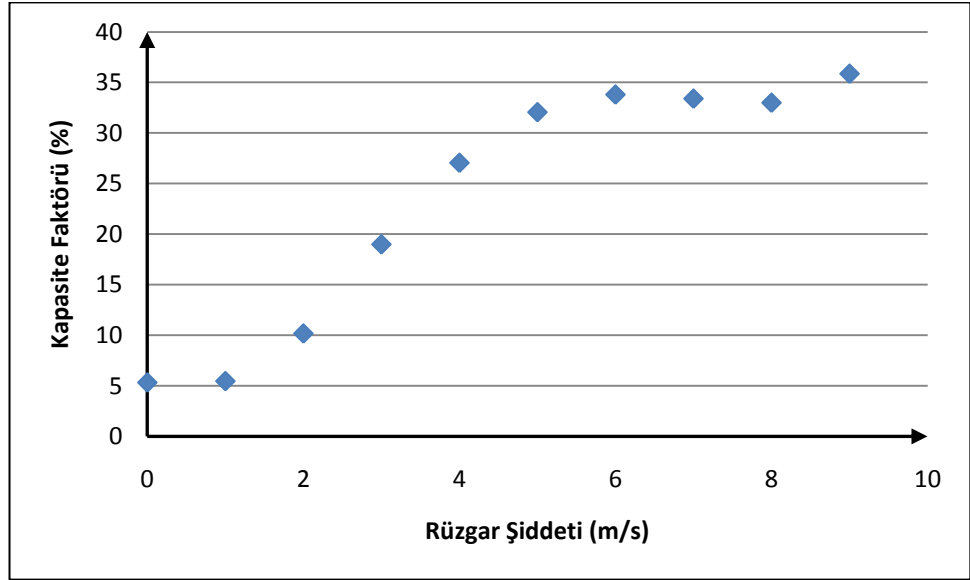
**Şekil 4.36 :** Ortalamalara göre gruplandırılmış atmosfer sıcaklığı ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.



**Şekil 4.37 :** Ortalamalara göre gruplandırılmış bağıl nem ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.



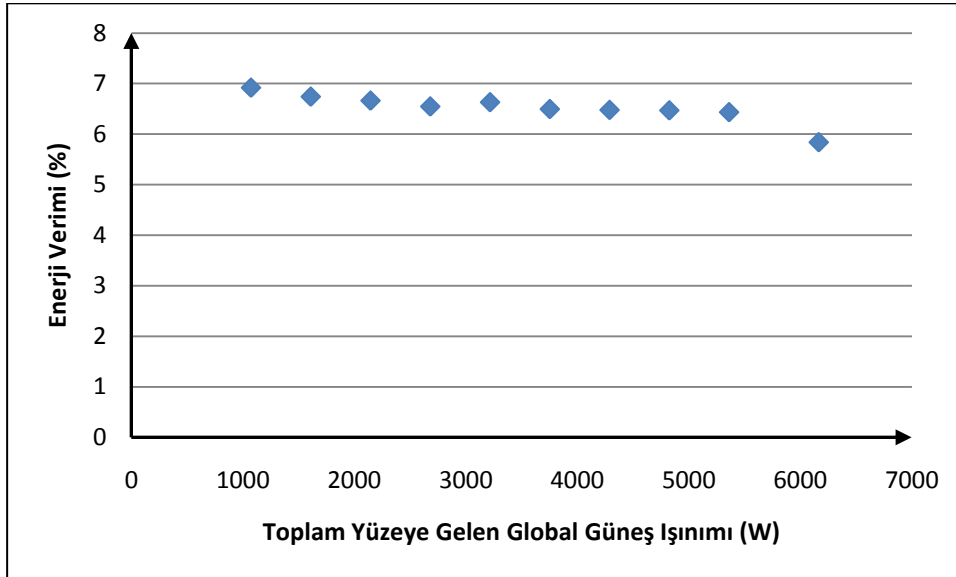
**Şekil 4.38 :** Ortalamalara göre gruplandırılmış hücre sıcaklığı ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.



**Şekil 4.39 :** Ortalamalara göre gruplandırılmış rüzgar şiddeti ve kapasite faktörü arasındaki saçılma diyagramı.

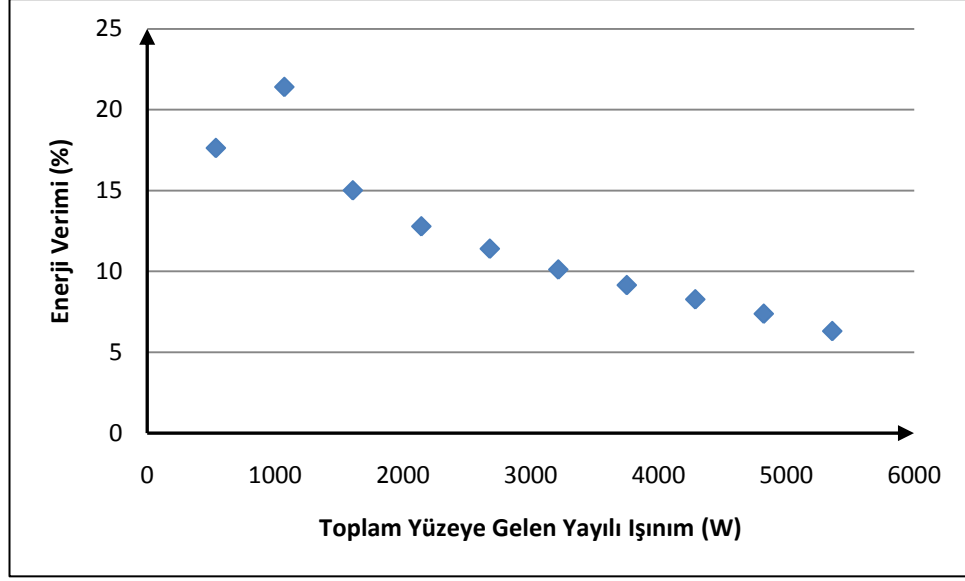
## Enerji verimliliği

Enerji verimliliği, kapasite veya dolum faktöründen farklı özelliğe sahiptir. Enerji verimliliğinde üretilen elektriğin toplam yüzeye gelen güneş ışınımına oranı şeklinde düşünülmelidir. Bu durumda özellikle yüksek ışınlam değerlerinde beklenenin altında üretim olmasından dolayı verimin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.40-41). Ağustos ayı için bütün veriler hesaba katıldığında toplam yüzeye gelen global güneş ışınlamı değerlerine karşılık enerji verimliliğinin % 6-7 arasında değiştiği görülmektedir. Özellikle düşük değerlerde enerji verimliliği daha yüksektir (Şekil 4.40). Yayılı ışınlam değerlerinde daha net bir azalma görülmektedir. Özellikle 1500 W'lık toplam yayılı ışınlamdan sonra ani azalmalar görülmektedir (Şekil 4.41).



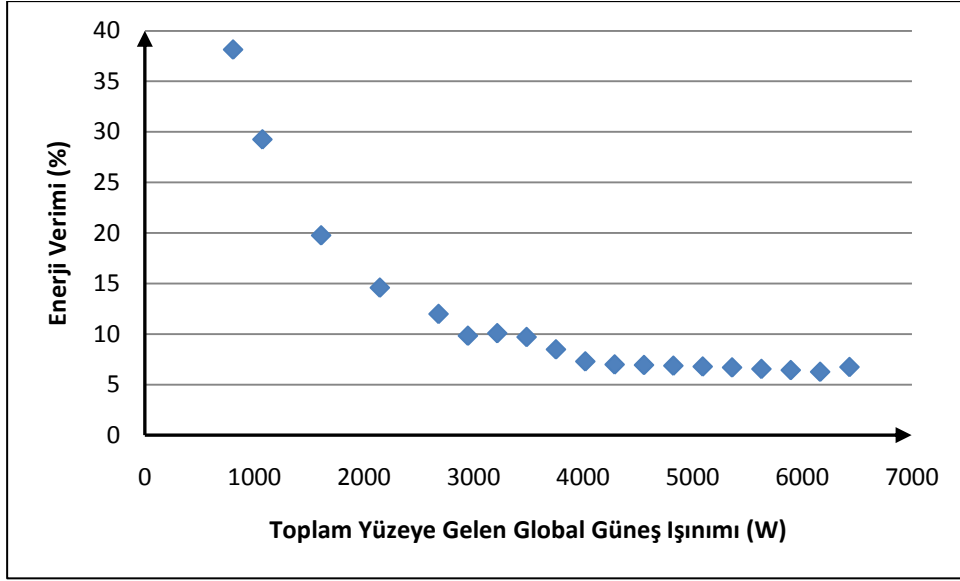
**Şekil 4.40 :** Toplam yüzeye gelen global güneş ışınlamı ve enerji verimliliği saçılma diyagramı.

Ağustos ayı boyunca yayılı ışınlamaya karşı gelen verim değerlerinde toplam ışınlamaya göre değişim daha fazla olmaktadır (Şekil 4.41).



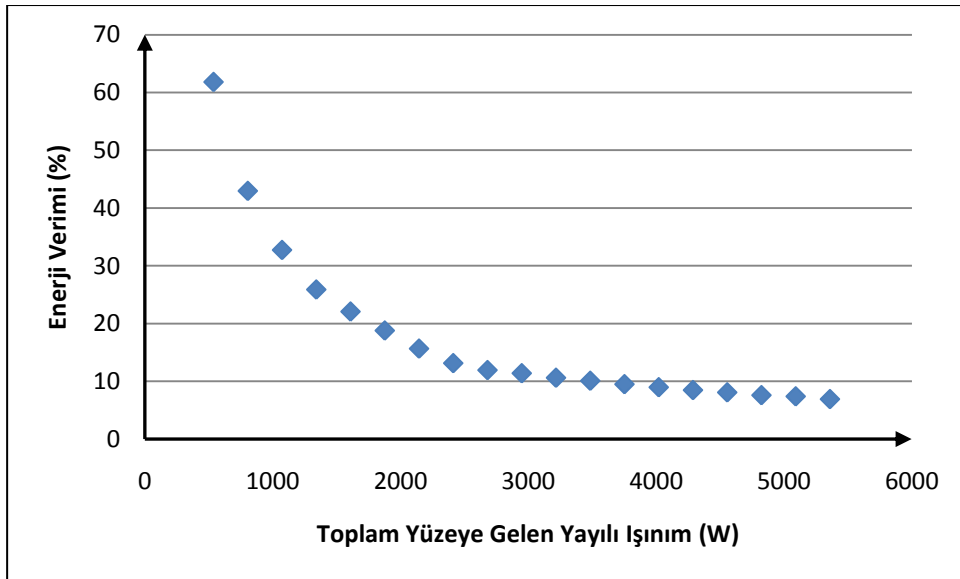
**Şekil 4.41 :** Toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ve enerji verimliliği saçılma diyagramı.

Ağustos ayı boyunca ortalamadan 1 standart sapma yukarı PV elektrik üretimlerine karşılık enerji verimliliklerine bakılmıştır. Öncelikle toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı değerlerinin yüksek olduğu durumlarda üretim kapasitesinin düşük olmasından dolayı enerji verimliliğinin % 40'lardan % 6'lara düştüğü ve daha sonra sabitlendiği gözlenmektedir. Bu durumda çalışılan sistemde birim yüzeye gelen güneş ışınımının 600-1200 W/m<sup>2</sup> arasında olması önem taşımamaktadır. Öncelikle gelen ışınımına bağlı olarak verimliliğin artırılması şarttır (Şekil 4.42).



**Şekil 4.42 :** Ortalamadan 1 standart sapma büyük verilere karşılık gelen enerji verimliliği ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.

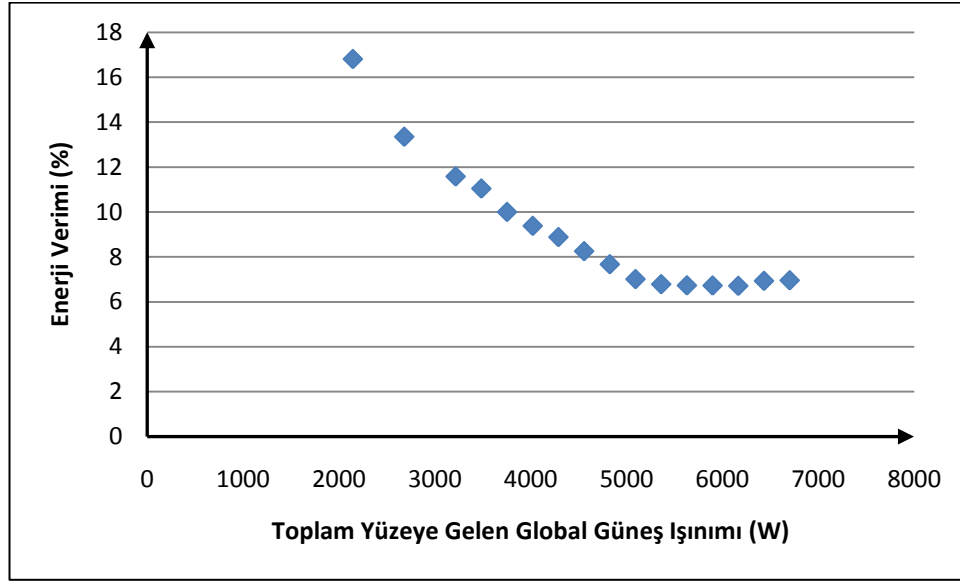
Toplam yüzeye gelen güneş ışıınımlı değeri düşünıldığında de benzer bir durum söz konusudur. PV sistemi, yüzeye gelen ışıınımlı arzu edilen şekilde elektrığe dönüştürememektedir (Şekil 4.43).



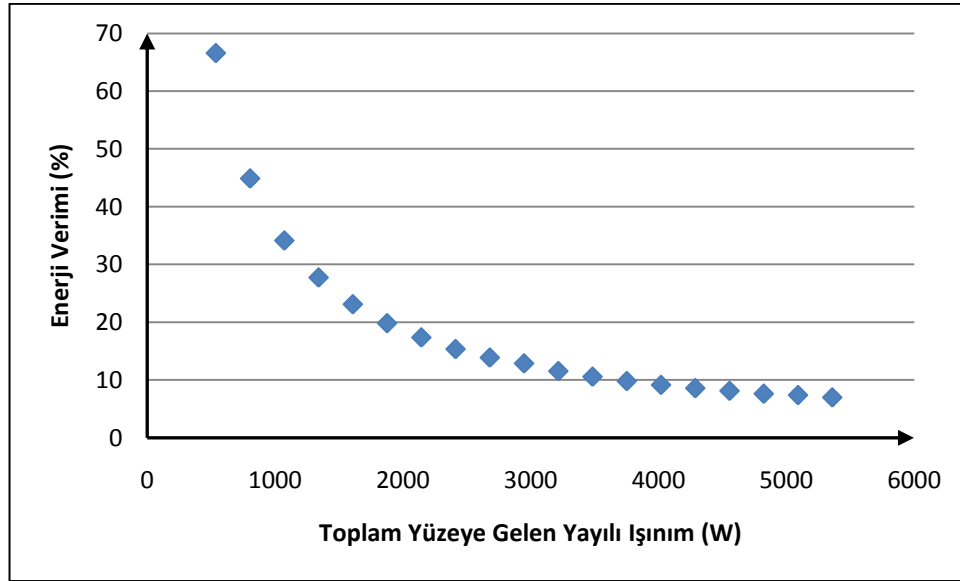
**Şekil 4.43 :** Ortalamadan 1 standart sapma büyük verilere karşılık gelen enerji verimliliği ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.

Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimlerinin enerji verimlilikleri ile global ve yayılı ışıınımlı değeri düşünıldığında benzer şekilde güneş ışıınımlı

arttıkça verimliliğin düştüğü yani PV sisteminin gelen ışıını arzu edilen şekilde değeriendiremediğı görülmektedir (Şekil 4.44-45).



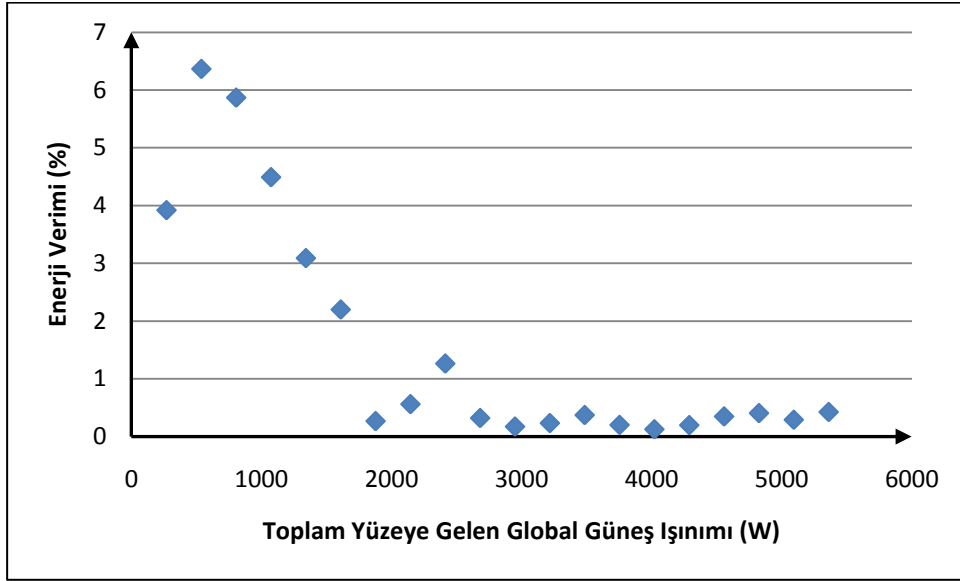
**Şekil 4.44 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük verilere karşılık gelen enerji verimliliğı ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ilişkisi.



**Şekil 4.45 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük verilere karşılık gelen enerji verimliliğı ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ilişkisi.

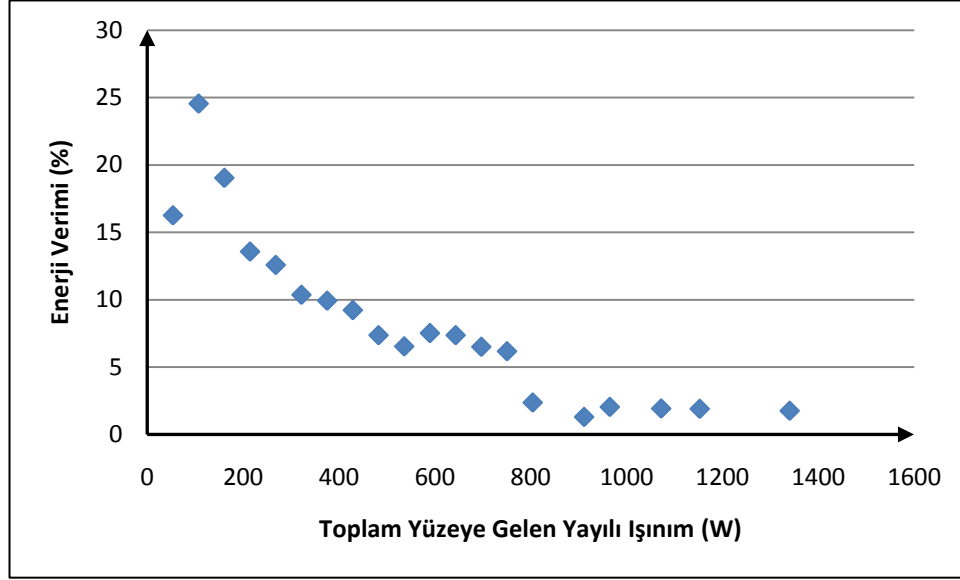
Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük PV elektrik üretimlerine bakıldığında enerji verimliliklerinin % 7'den başlayarak % 1'in altına indiğı görülmektedir. Bu durumda ortalamanın 0.5 standart sapma altındaki değerielerde güneş ışıını dışında başka

parametrelerin davranışlarını veya PV sisteminin özelliklerini irdelemek gerekir (Şekil 4.46).



**Şekil 4.46 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma düşük verilere karşılık gelen enerji verimliliği ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.

Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük PV elektrik üretimleri ile yayılı ışıınım arasındaki ilişkiye bakıldığında verimin yüksek olduğu görülmektedir. Bu aslında yanıltıcı bir durumdur. Özellikle sabah ve akşam saatlerinde (yayılı güneş ışıınının etkin olduğu saatlerde) gelen ışıınım değeri düşük olması ve bu değeri paydada yer alması verimliliği yüksek göstermektedir. Aslında üretime bakıldığında belki de çoğu 50 Watt' ın altı değeri'dir (Şekil 4.47).

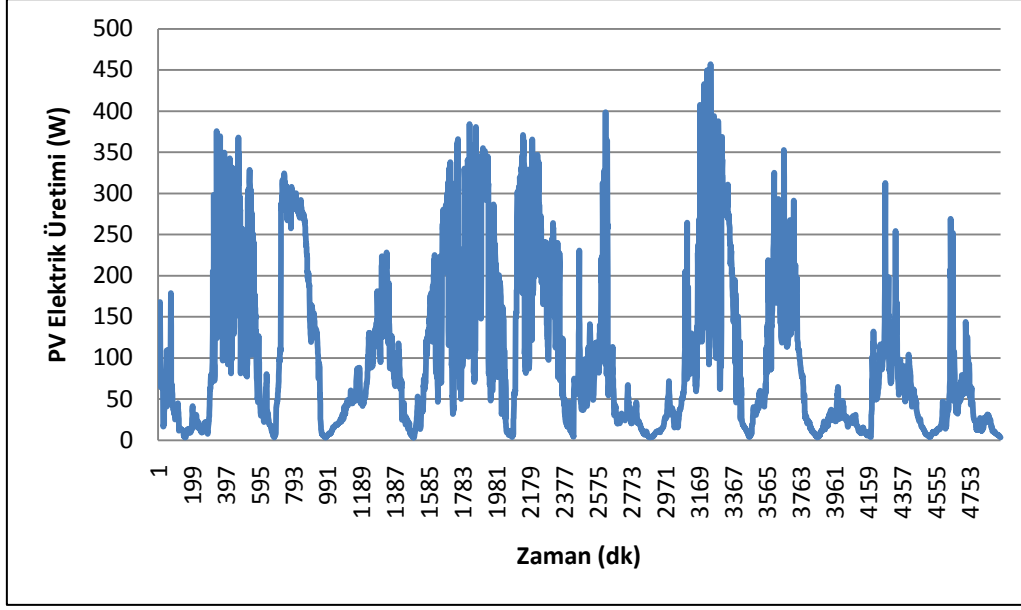


**Şekil 4.47 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma düşük verilere karşılık gelen enerji verimliliği ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınım ilişkisi.

#### 4.1.2 Şubat değeri'dirmeleri

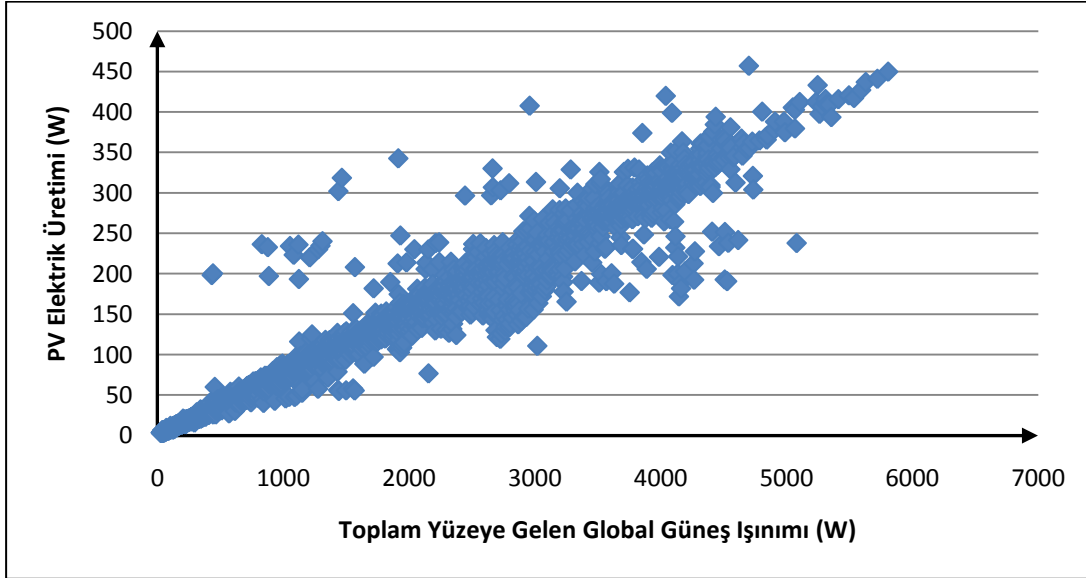
Şu ana kadar yapılan yorumlar Ağustos ayı şartları düşünülerek değeri'dir. Ağustos ayının yaz ayı olması, güneş ışıını ve sıcaklık değeri'derin yüksek olmasından dolayı tam tersi olan bir ayda yani gelen toplam güneş ışıını değeri'derin düşük ve sıcaklığın düşük olduğu bir ayda PV elektrik üretim davranışları yorumlanmıştır. Bu yorumlar için Şubat ayı tercih edilmiştir. Güneş ışıını ve atmosfer karakteristikleri düşünüldeğinde Kış-Yaz ayları dışında kalan aylarda bunların sapmaları gözlenecektir. Verisi bulunan, Ağustos ve Şubat dışındaki aylarla ilgili grafik ve değeri'der Ek A'da verilmiştir.

Şubat ayı İstanbul'da kış ayı olmasına rağmen bazı zamanlarda üretimin 450 Watt'a kadar çıktığı gözlenmiştir (Şekil 4.48).

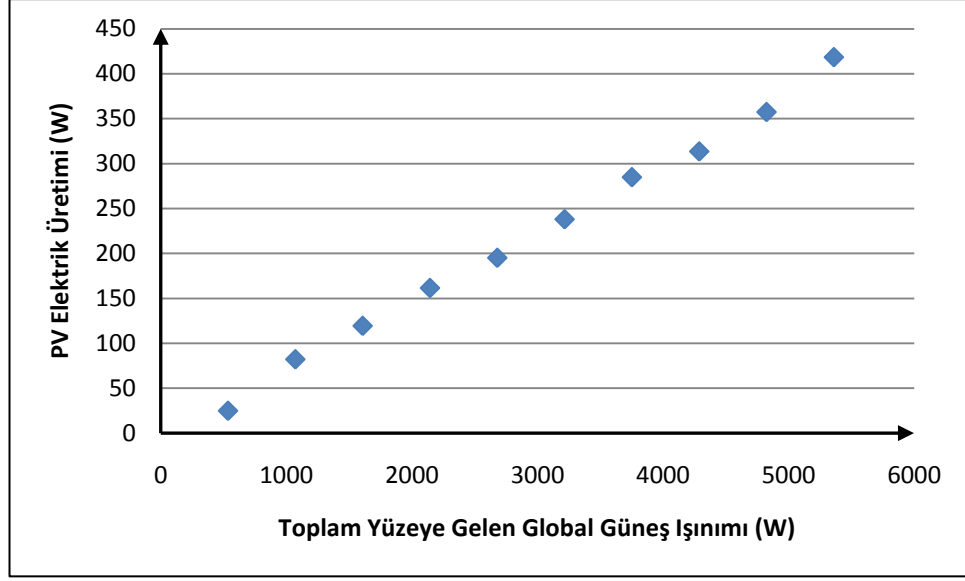


**Şekil 4.48 :** Şubat ayı PV elektrik üretimi - zaman grafiği.

Şubat ayında toplam yüzeye gelen global ışınım değerlerinin  $1200 \text{ W/m}^2$  olduğu durumlar olmakla birlikte genelde  $800 \text{ W/m}^2$  altında gözlemler gerçekleşmiştir. Şubat ayında Ağustos'a göre global ışınım ve elektrik üretimi arasında daha net ilişki görülmektedir (Şekil 4.49). Bu durum ortalamalar alındığında açık olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.50).

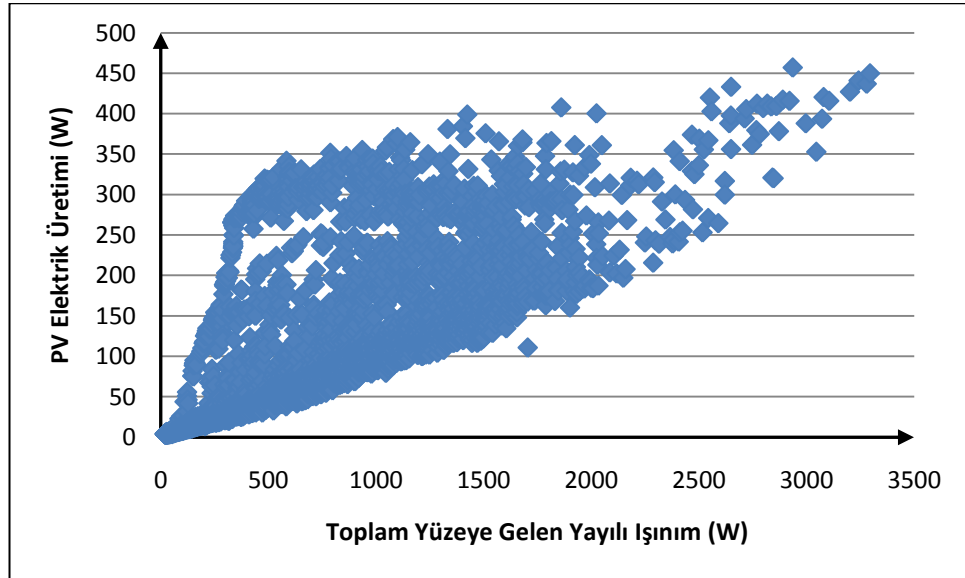


**Şekil 4.49 :** Şubat ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ve PV elektrik üretimi arasındaki saçılma diyagramı.



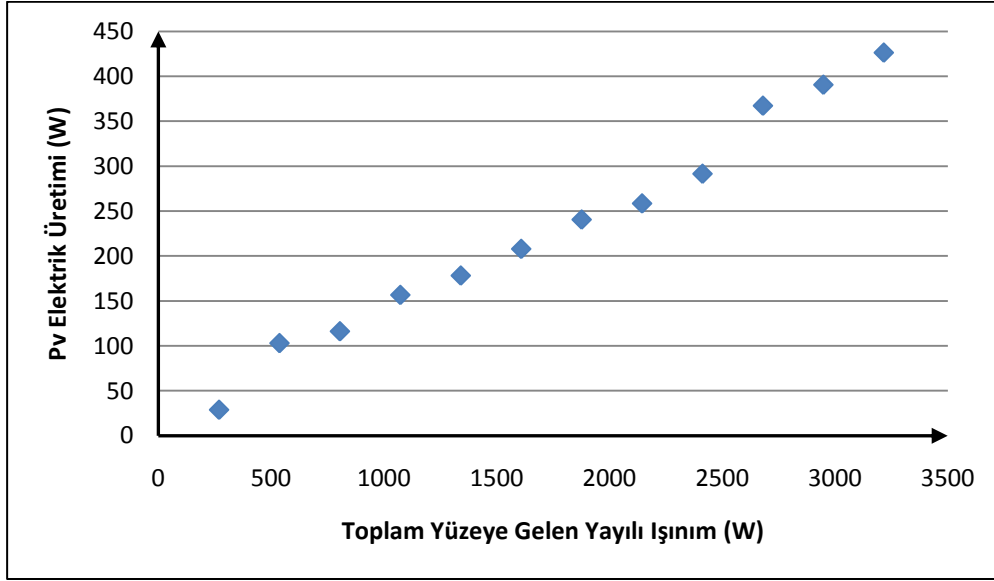
**Şekil 4.50 :** Şubat ayında toplam yüzeye gelen ortalama global güneş ışıını ve ortalama PV elektrik üretimi arasındaki ilişki.

Şubat boyunca toplam yüzeye gelen yayılı ışıını değerlerine bakıldığında yine Ağustos ayından daha net bir ilişki görölmektedir. Gerek global gerek yayılı düşünöldüğünde bu ayın daha kolay modellenenebilir olduğu görölmektedir. Aynı zamanda bulutluluğun daha düşük olduğu söylenebilir (Şekil 4.51).



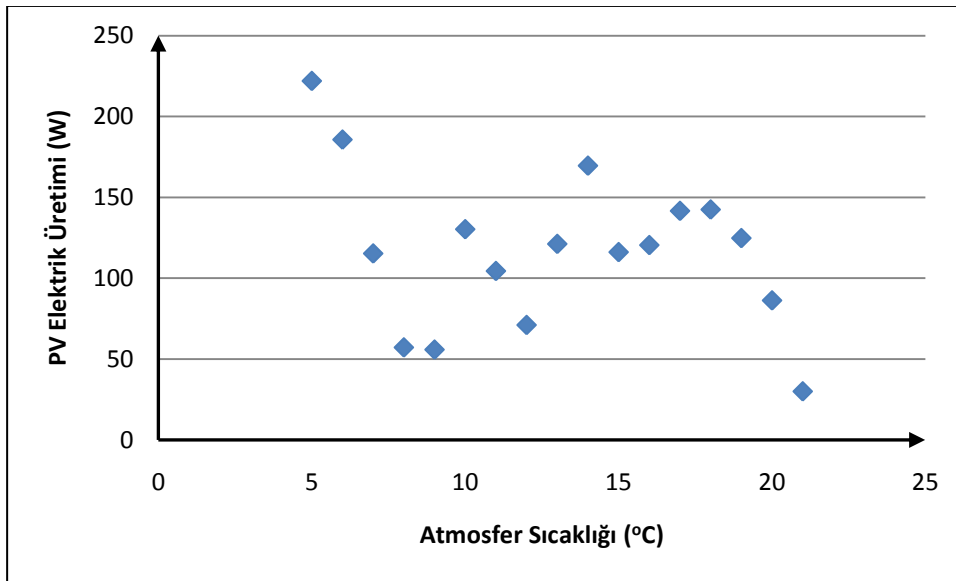
**Şekil 4.51 :** Şubat ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi arasındaki saçılma diyagramı.

Şubat ayında, yayılı ışıının PV elektrik üretimi ile ilişkisinin doğrusal olduğu görülmektedir (Şekil 4.52). Ağustos ayında bu ilişkinin doğrusal olmadığı hatırlatılmalıdır (Şekil 4.5).



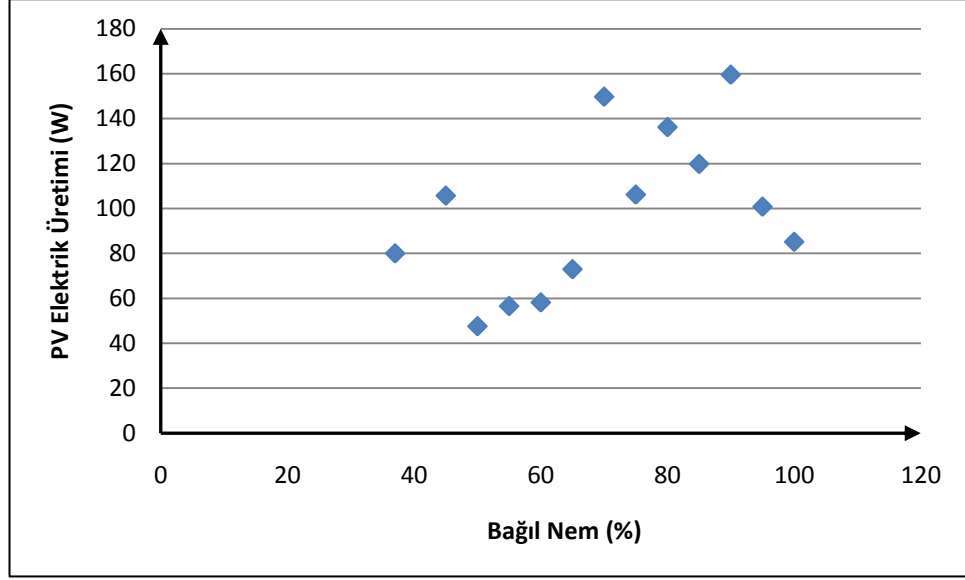
**Şekil 4.52 :** Şubat ayında toplam yüzeğe gelen ortalama yayılı ışıının ve PV elektrik üretimi arasındaki ilişki.

Bunun yanında Ağustos ayında, PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı arasında artışa doğru doğrusal bir ilişki gözlenirken Şubat ayında bu ilişki tam gözlenememektedir. Hatta atmosfer sıcaklığı arttıkça üretimin azaldığı söylenebilir (Şekil 4.53).



**Şekil 4.53 :** Şubat ayında ortalama atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.

Hatırlanacağı üzere Ağustos ayında bütün veriler hesaba katıldığında bağıl nem ile PV elektrik üretimi arasında doğrusal ters bir ilişki vardı (Şekil 4.9). Fakat Şubat'ta bunun tersine bağıl nem arttıkça elektrik üretiminin arttığı gözlenmiştir. Bu durumda, bu ayda bağıl nemin ısı tutma kapasitesi üretimi arttırmaya yöneltmektedir (Şekil 4.54).



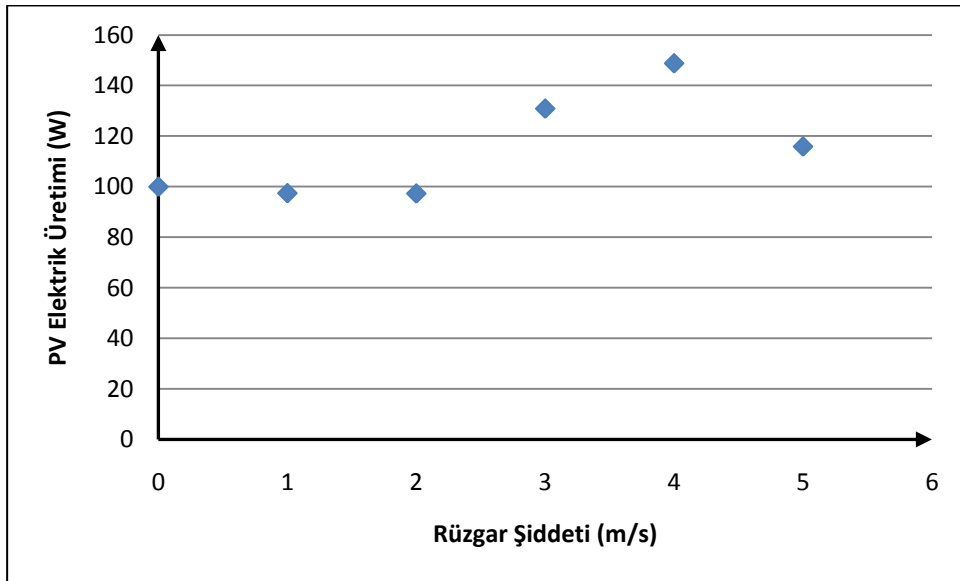
**Şekil 4.54 :** Şubat ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.

Bu ayda hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi arasındaki ilişkide doğru orantılı bir durumun söz konusu olduğu görülmüştür. Bu ayda hücre sıcaklıkları Ağustos için verilen eşik değeri ( $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )'nin altında kalmışlardır (Şekil 4.55).



**Şekil 4.55 :** Şubat ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.

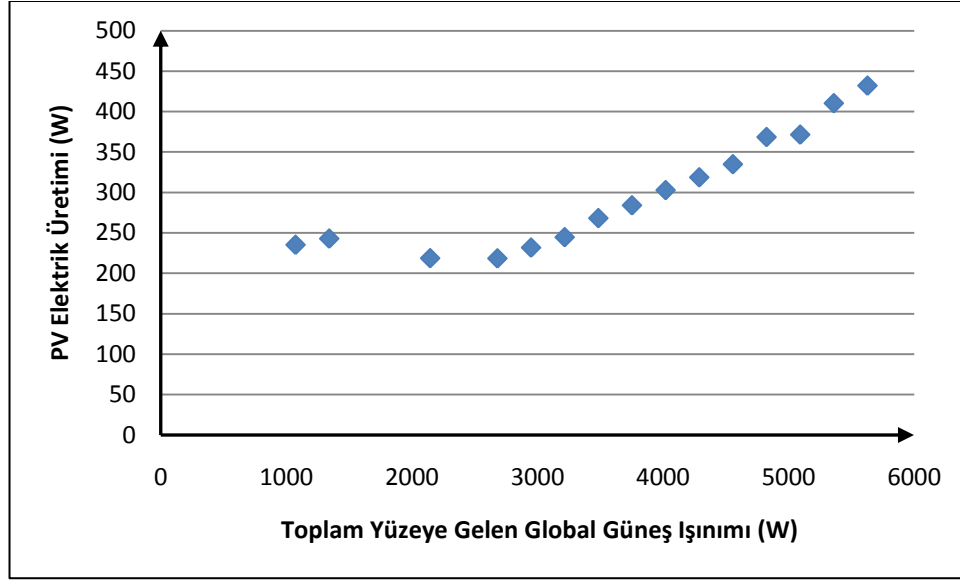
Rüzgar şiddetinin 2 m/s nin altında elektrik üretiminde etkili olmadığı daha sonra biraz artma yönünde etkilese de tekrar azaltma yönünde etkili olduğu görülmüştür. Şubat ayında rüzgar şiddeti üretimi arttırıcı değil azaltıcı etki olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.56).



**Şekil 4.56 :** Şubat ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.

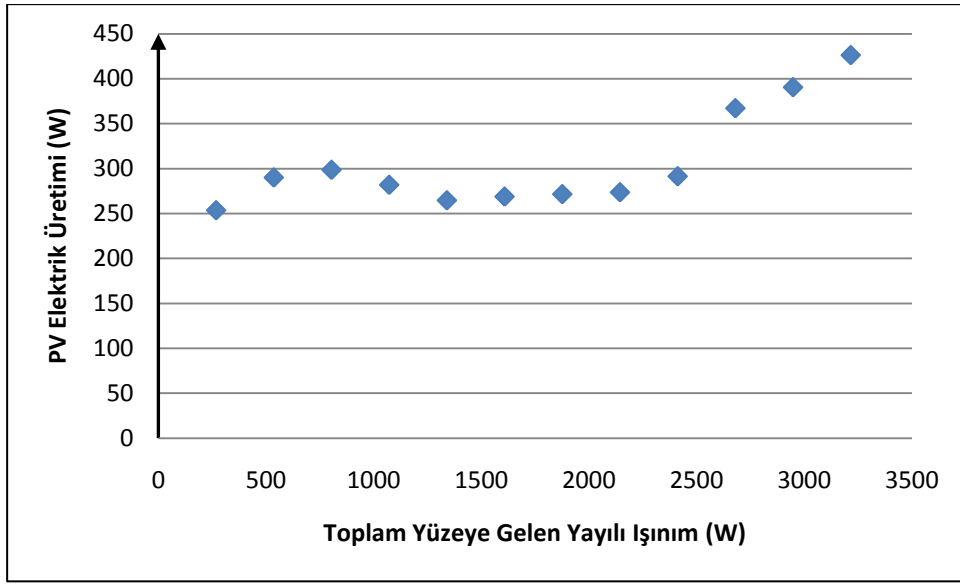
#### 4.1.2.1 $\mu+1.0\sigma$ PV elektrik üretimleri

Şubat ayında ortalamalardan 1 standart sapma yukarı elektrik üretimlerine bakıldığında belirli bir değerden sonra ( $500 \text{ W/m}^2$ ) üretim ve güneş ışınımı arasında doğrusal ilişki görülmektedir (Şekil 4.57).



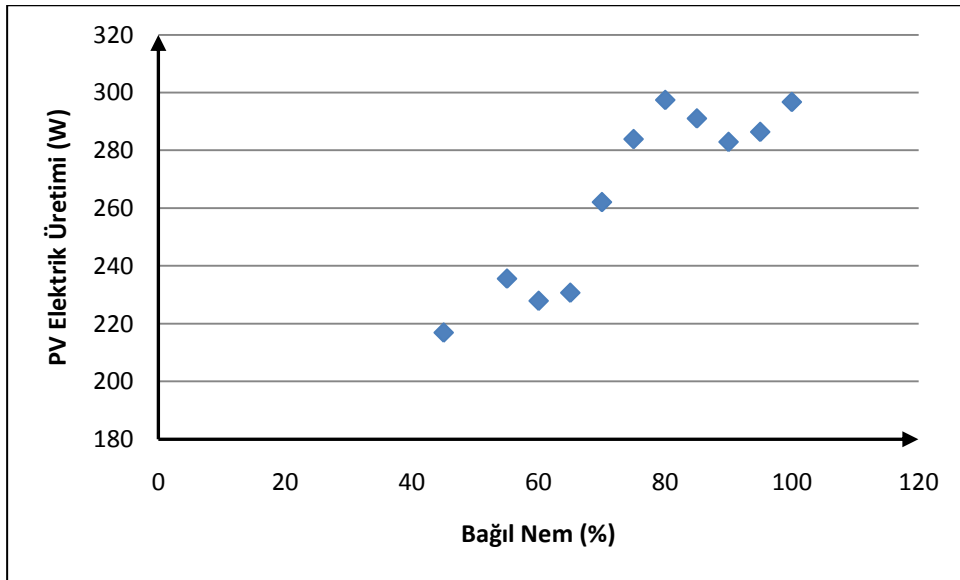
**Şekil 4.57 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeğe gelen global güneş ışınımı ilişkisi.

Yayıllı ışınım değerleri düşünüldüğünde  $500 \text{ W/m}^2$ 'ye kadar etkinin sabit olduğu, daha sonra ise elektrik üretiminin arttığı görülmektedir. Fakat bu etki global ışınımında olduğu kadar uzamamaktadır (Şekil 4.58).



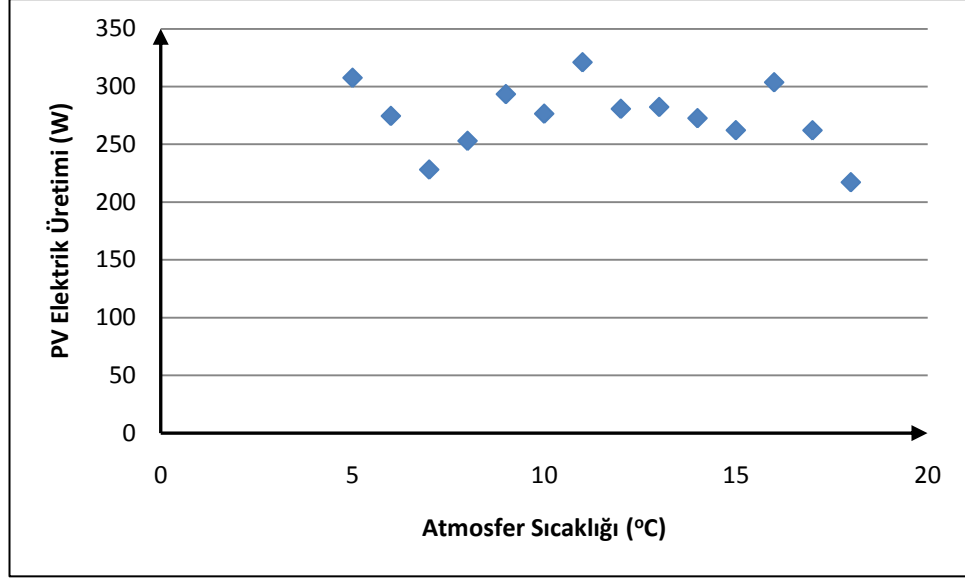
**Şekil 4.58 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ilişkisi.

Şubat ayında bağıl nemin üretimi arttırıcı etkisi ortalamadan 1 standart sapma yukarı verilerde daha net görülmektedir. Ağustos ayının tersine olarak bağıl nem arttıkça PV elektrik üretiminin arttığı görülmektedir. Bu durumda Şubat ayında yayılı ışınım şartlarında da elektrik üretimi yüksek olacaktır (Şekil 4.59).



**Şekil 4.59 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.

Şubat ayında yüksek üretim değerlerine atmosfer sıcaklığının etkisi net olarak anlaşılamamıştır (Şekil 4.60).



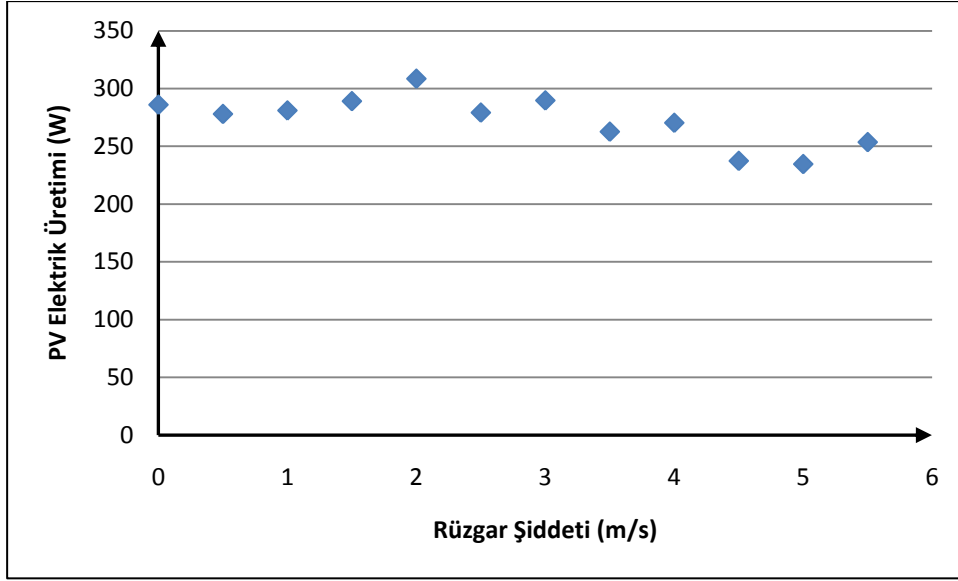
**Şekil 4.60 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.

Yine bu ayda hücre sıcaklığına bağlı üretim önceleri sabit iken daha sonra üretimin arttığı söylenebilir (Şekil 4.61).



**Şekil 4.61 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.

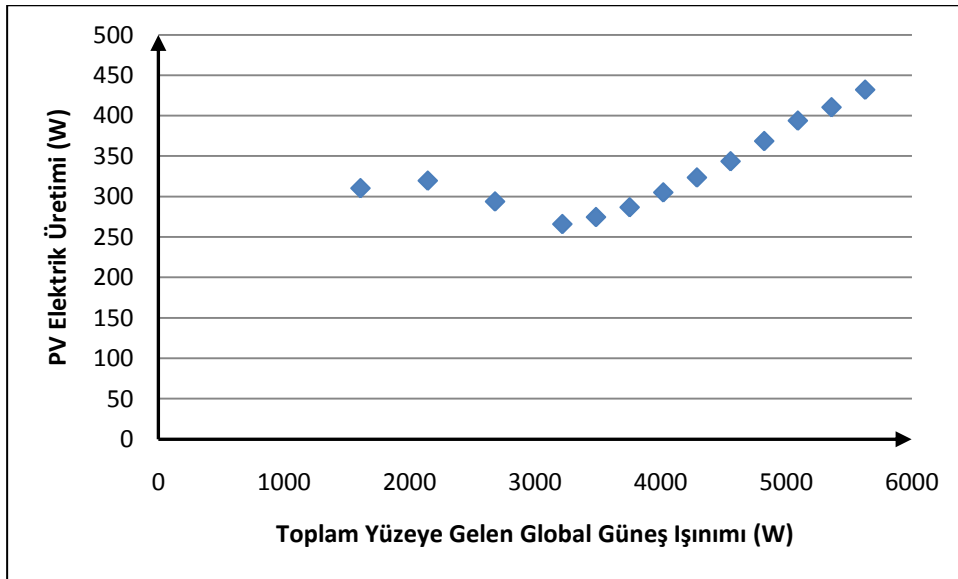
Bu ay süresince rüzgar şiddetinin arttırıcı veya azaltıcı yönde etkisi net anlaşılamamaktadır (Şekil 4.62). Bu durum ortalamadan 1.5 standart sapmadan daha yukarı değerler için önem taşımaktadır.



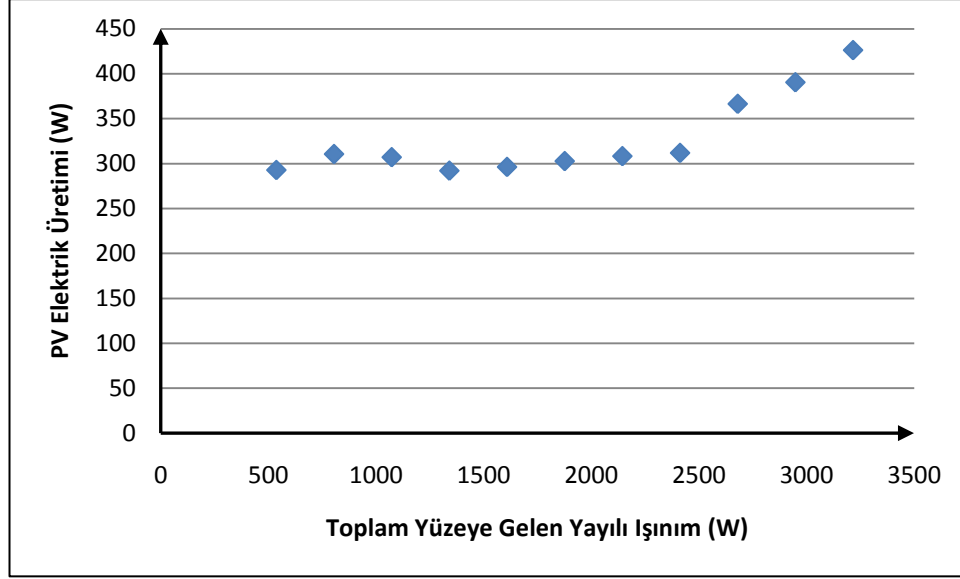
**Şekil 4.62 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.

#### 4.1.2.2 $\mu+1.5\sigma$ PV elektrik üretimleri

Diğer değişkenler de ortalamadan 1 standart sapmada gösterdikleri davranışı 1.5 standart sapmada da göstermektedirler (Şekil 4.63-68). Bu şartlar altında bağıl nemin etkisi netleşmekte ve bunun yanında rüzgar etkisi de net görülmektedir (Şekil 4.68).

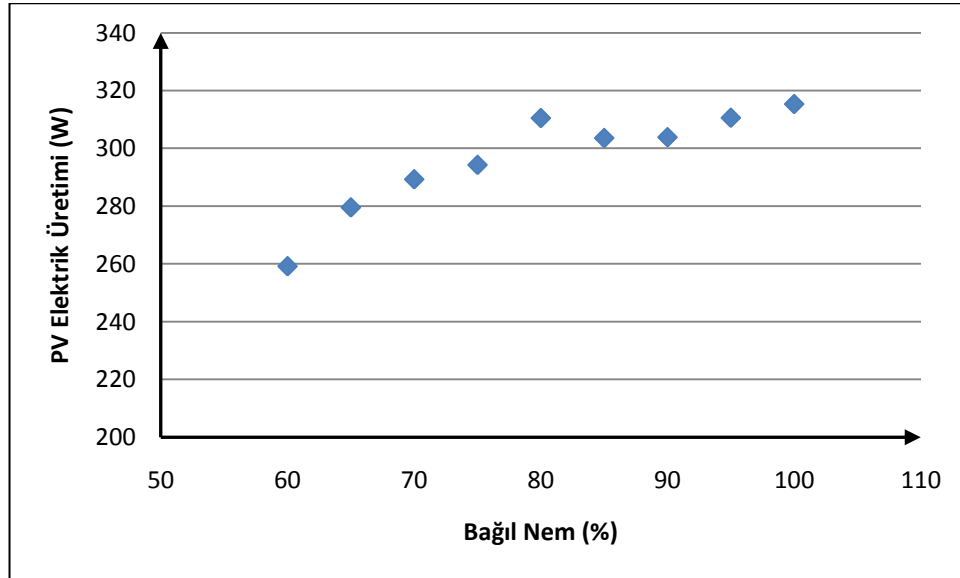


**Şekil 4.63 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımı ilişkisi.



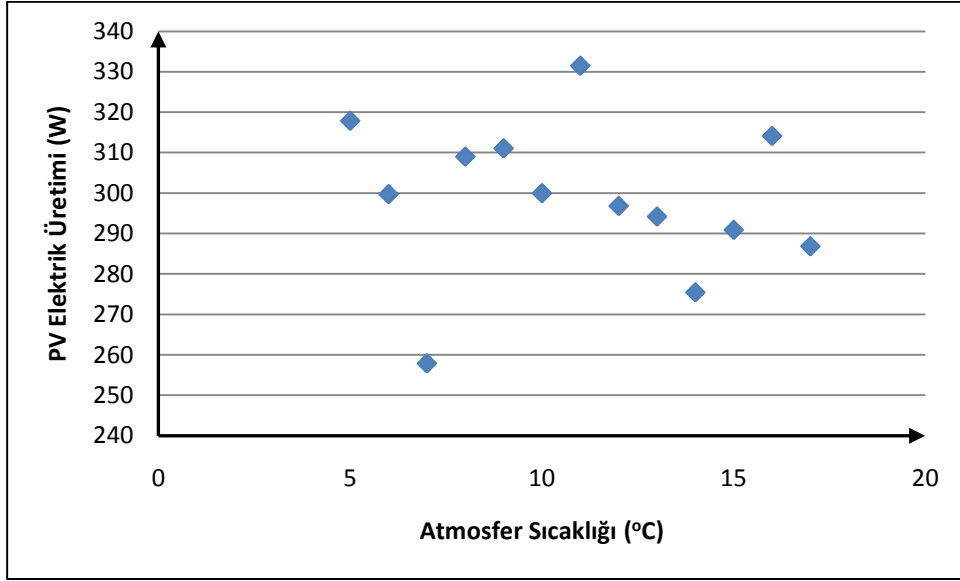
**Şekil 4.64 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayıllı ışınımı ilişkisi.

Şubat ayında en yüksek değerlerde bağıl nemin üretimi artırıcı etkisi tekrar gözlenmiştir. Bu ayda bağıl nem arttıkça PV elektrik üretimi de artmaktadır. Bu durumda su buharının güneş ışınımını tutma özelliği PV sisteminde olumlu etki olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.65).



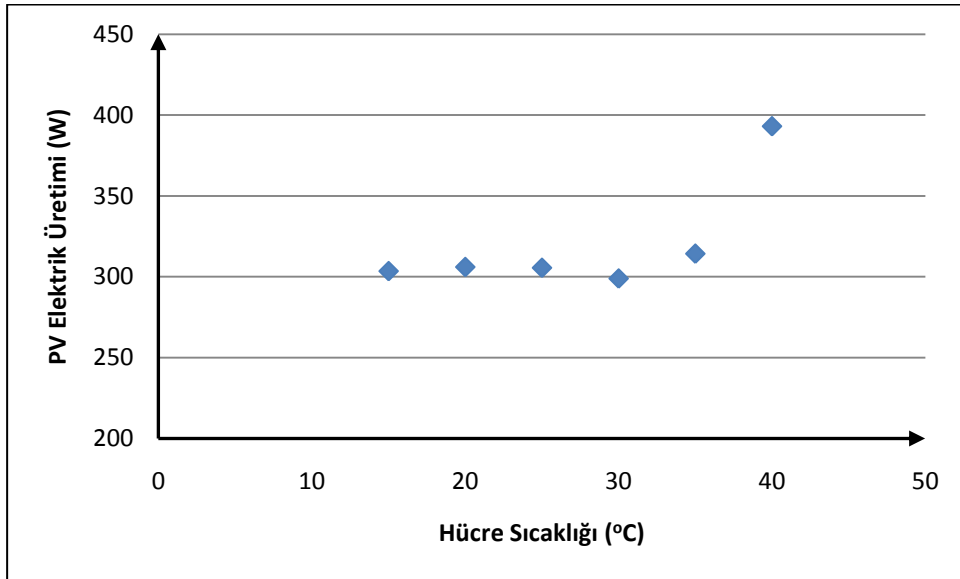
**Şekil 4.65 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.

Bu ayda en yüksek üretim şartlarında atmosfer sıcaklığının düşük olmasından dolayı etkisi pek fazla görülmemekle birlikte azaltmaya yönelttiği de görülmektedir (Şekil 4.66).



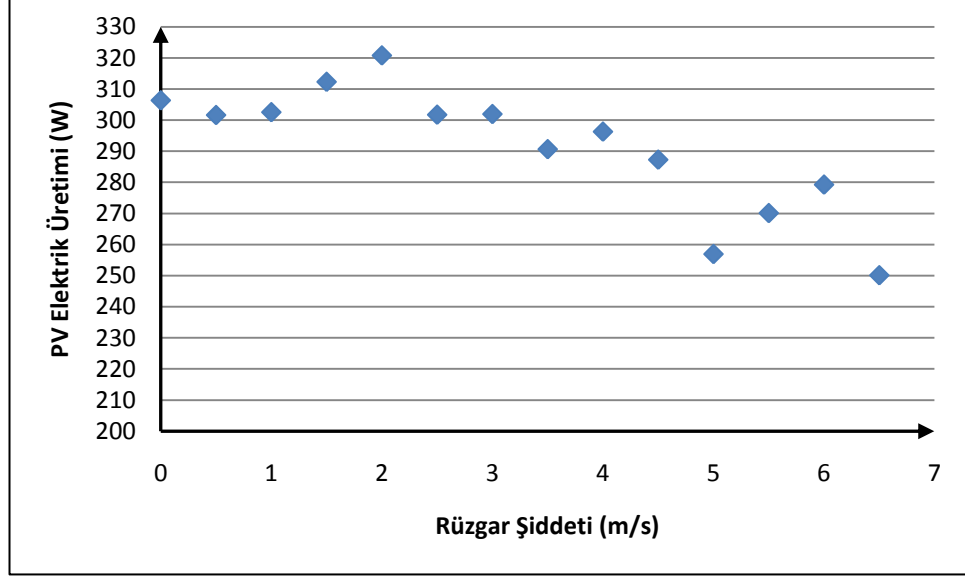
**Şekil 4.66 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.

Hücre sıcaklığının ise bu aydaki PV elektrik üretimini maksimumlar için 35 °C ye kadar etkilemediği daha sonra ise üretimi arttırdığı görülmektedir (Şekil 4.67).



**Şekil 4.67 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.

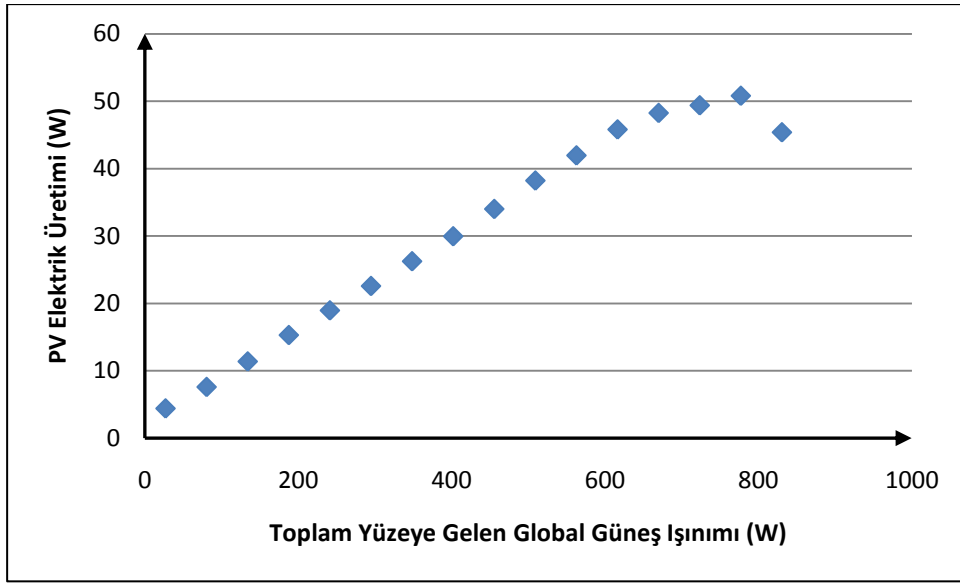
PV pillerin kataloglarında maksimum üretim olarak 25 °C sıcaklık ve 1000 W/m<sup>2</sup> güneş ışınım şartları gösterilmektedir. Bu şartlardan uzaklaşma üretimi azaltmaktadır. Ağustos ayında rüzgar şiddeti üretimde önemli artışlarda bulunurken Şubat ayında ise tersi durum söz konusudur (Şekil 4.68). Rüzgarın hücreleri daha fazla soğutması optimum şartlardan uzaklaşmaya sebebiyet vermektedir.



**Şekil 4.68 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.

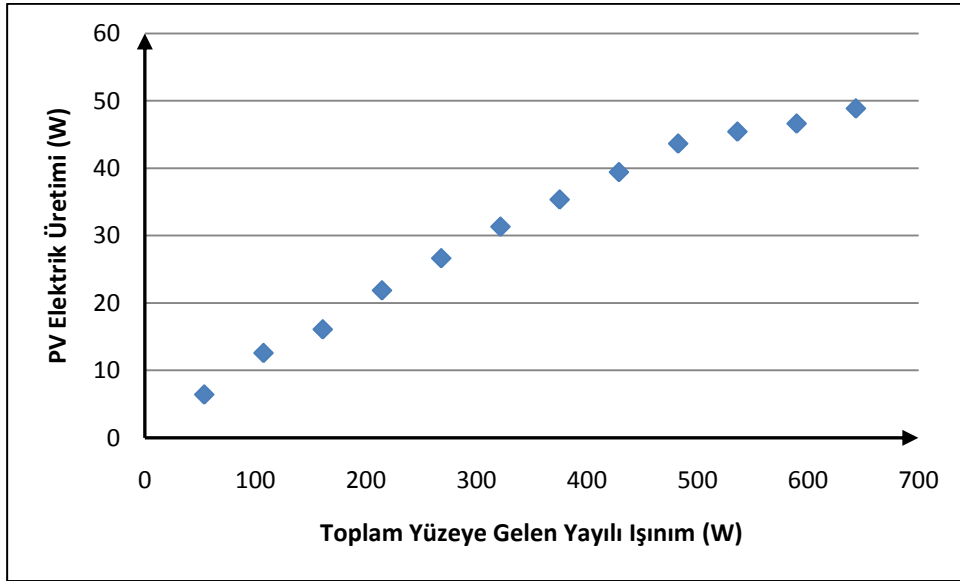
#### 4.1.2.3 $\mu-0.5\sigma$ PV elektrik üretimleri

Daha önceki sayfalarda Ağustos ayında uygulandığı gibi Şubat ayında da meteorolojik değişkenlerin düşük üretimlerdeki etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda Şubat ayında ortalama PV elektrik üretiminden 0.5 standart sapma daha düşük değerler göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre öncelikle toplam yüzeye gelen global ışınım ve PV elektrik üretimi arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Bu durumda global ışınım artarken üretim de artmaktadır (Şekil 4.69).



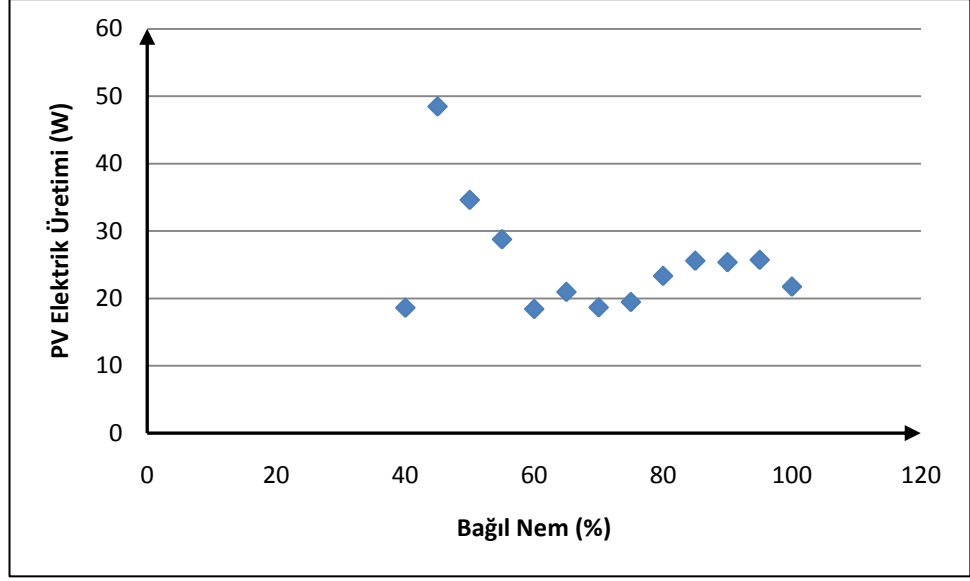
**Şekil 4.69 :** Şubat ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.

Yayıllı ışınım değerlerinde de ışınım değerleri artarken üretim artmaktadır. Fakat bu artış üretim değerleri biraz yükseldiğinde doğrusallıktan sapmaktadır (Şekil 4.70).



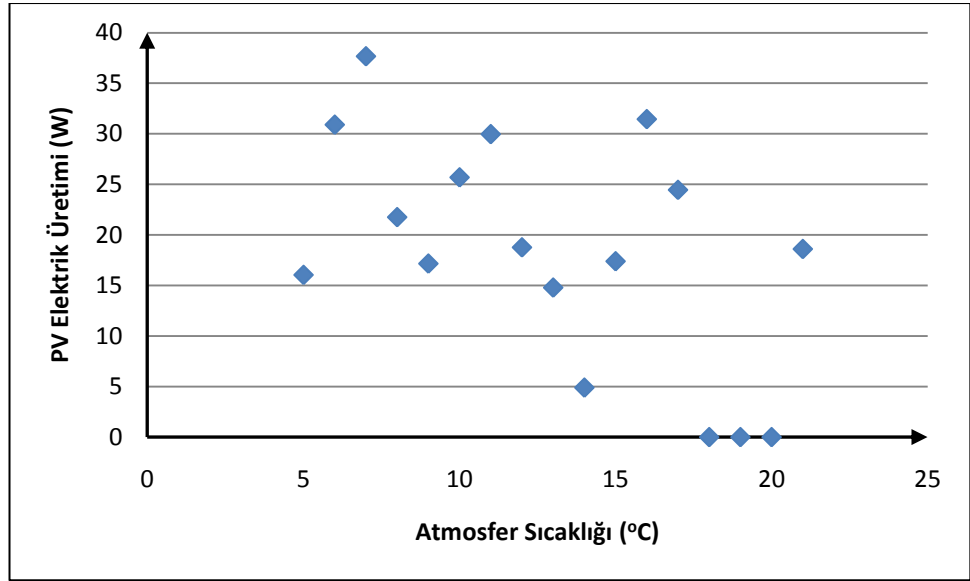
**Şekil 4.70 :** Şubat ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayıllı ışınım ilişkisi.

Düşük PV elektrik üretim değerlerinde bağıl nemin tam bir etkisinden söz etmek güç olmakla birlikte düşüğün yüksekindeki elektrik üretiminde bağıl nem değerleri düşük olmaktadır (Şekil 4.71).



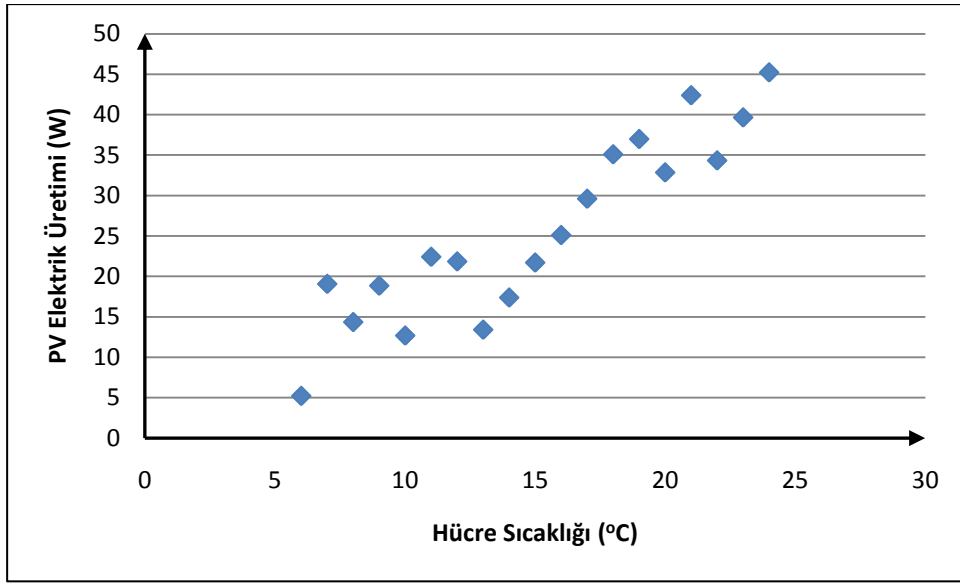
**Şekil 4.71 :** Şubat ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.

Ortalamadan 0.5 standart sapma daha düşük değerlerde atmosfer sıcaklığının etkisini tam görmek mümkün olmamakla birlikte azaltma yönünde eğilim görülmektedir (Şekil 4.72).



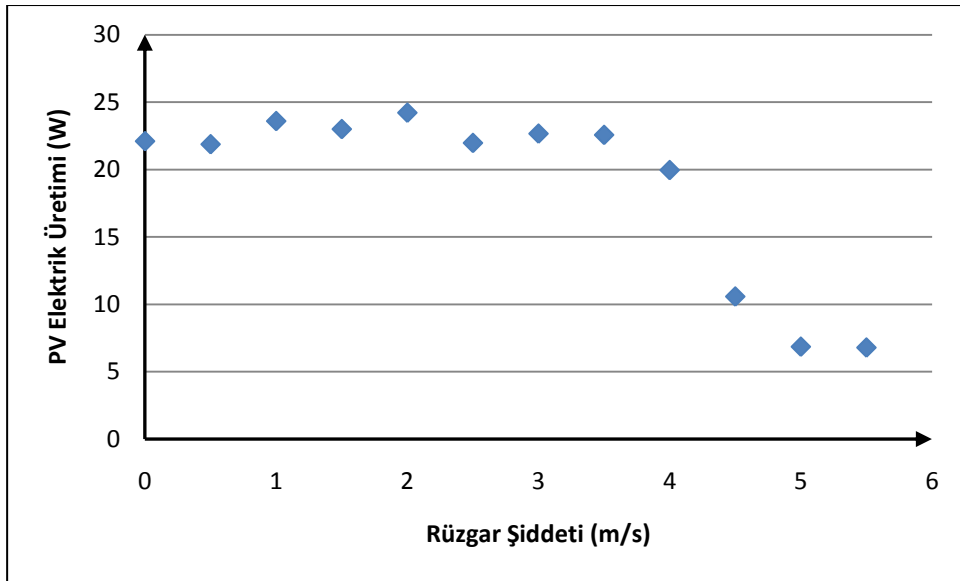
**Şekil 4.72 :** Şubat ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.

Şubat ayında düşük değerlerde hücre sıcaklığı arttıkça üretim net bir şekilde artmaktadır (Şekil 4.73).



**Şekil 4.73 :** Şubat ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.

Rüzgar şiddetinin üretimi azaltıcı etkisi bu değerlerde 3.5 m/s den sonra görülmektedir. Rüzgar bir anlamda optimum sıcaklık olan 25 °C'ye ulaşımı engellemektedir (Şekil 4.74).



**Şekil 4.74 :** Şubat ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.

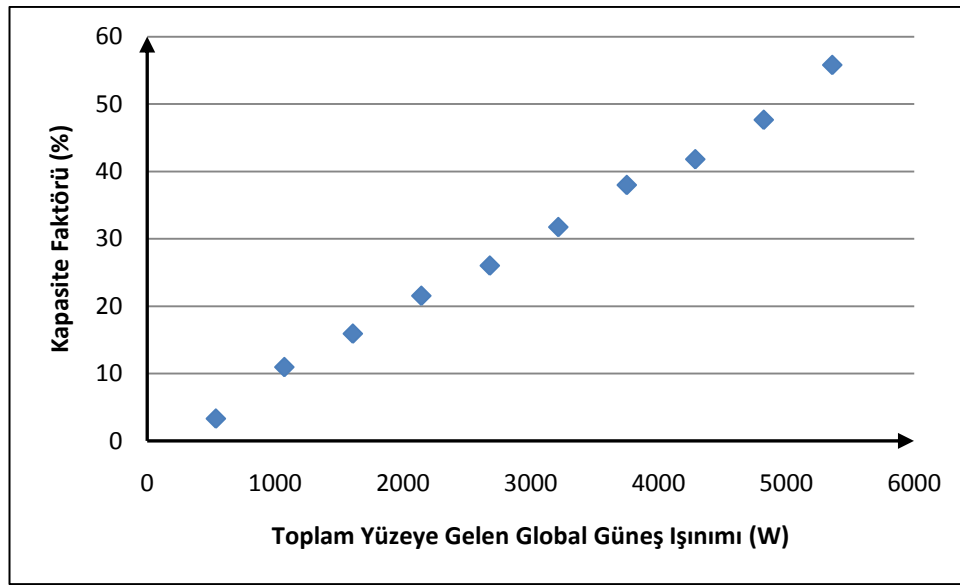
#### 4.1.2.4 Şubat verimlilikleri

Ağustos ayından hatırlanacağı üzere düşük güneş ışıınımı değerlerinde üretimin de düşük olmasından dolayı verimin gerçeği yansıtmayacak şekilde yüksek olduğu

görülmekte idi. Bunun tersi durumda ise yüksek ışınlım durumunda tam üretim hedefine ulaşılmadığından verim düşük görülmekte idi.

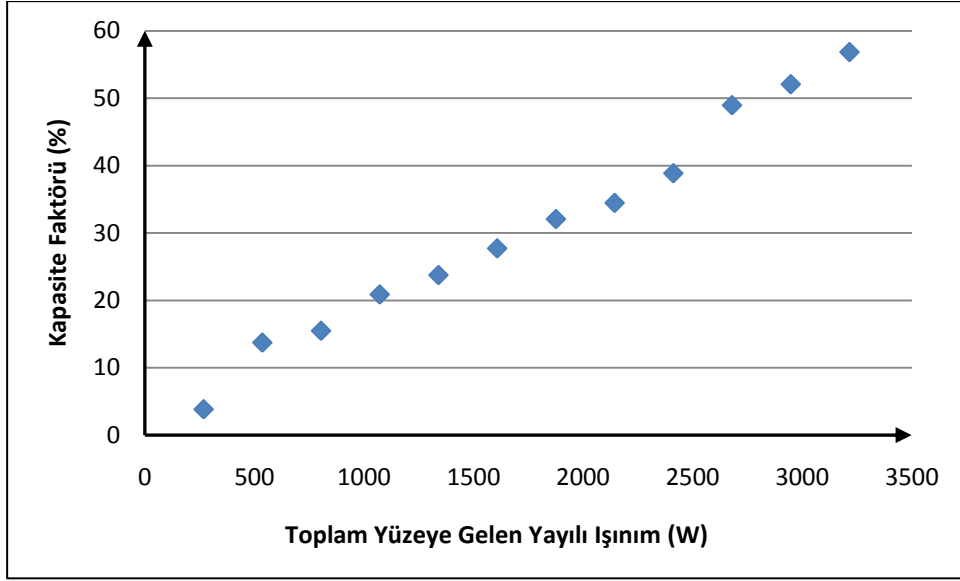
### Kapasite faktörü

Hatırlanacağı üzere kapasite faktörü PV sistemin ürettiği elektriğin toplam üretilebilecek olan 750 W'a oranı idi. Bu oranın Şubat ayında % 60'lara kadar çıktığı görülmektedir. Bu ayda, çok az da tekrarlasa Ağustos ayından daha yüksek üretim değerlerinin gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.75). Fakat dikkat çekilmesi gereken nokta ise bu ayda güneşlenme süresinin daha düşük olmasıdır.



**Şekil 4.75 :** Şubat ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışınlımı ve kapasite faktörü ilişkisi.

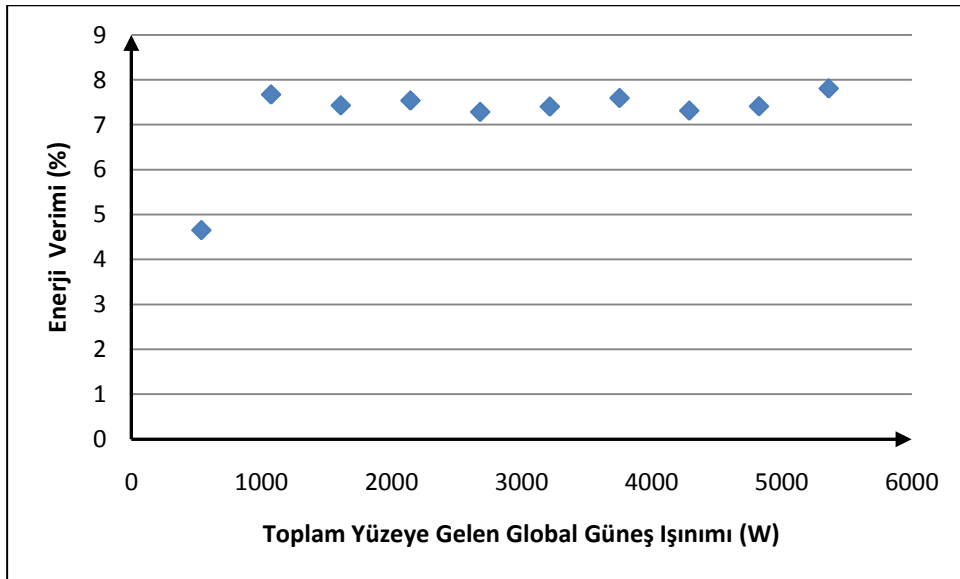
Toplam yüzeye gelen yayılı ışınlım değerlerinde de benzer durum söz konusudur. Ağustos ayında kapasite faktörü ile olan ilişki doğrusallıktan uzaklaşmasına rağmen, Şubat ayında doğrusallık ve daha yüksek üretim oranı söz konusu olmaktadır (Şekil 4.76).



**Şekil 4.76 :** Şubat ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ve kapasite faktörü ilişkisi.

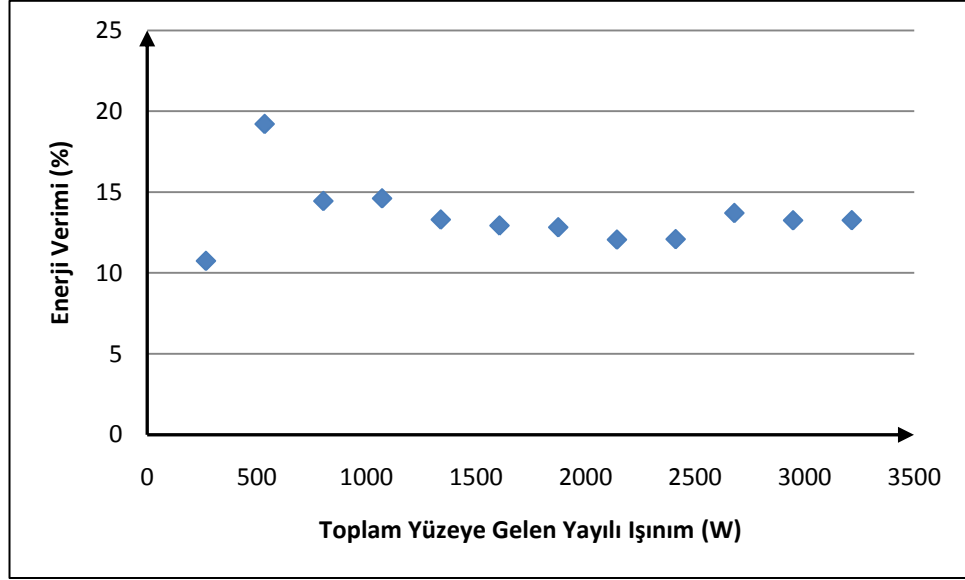
### Enerji verimliliği

Enerji verimliliği açısından düşünüldüğünde Şubat ayında yüzeye gelen güneş ışınımının daha düşük olmasından dolayı üretim ile oranlandığında enerji verimliliğinin daha yüksek çıktığı görülmektedir (Şekil 4.77).



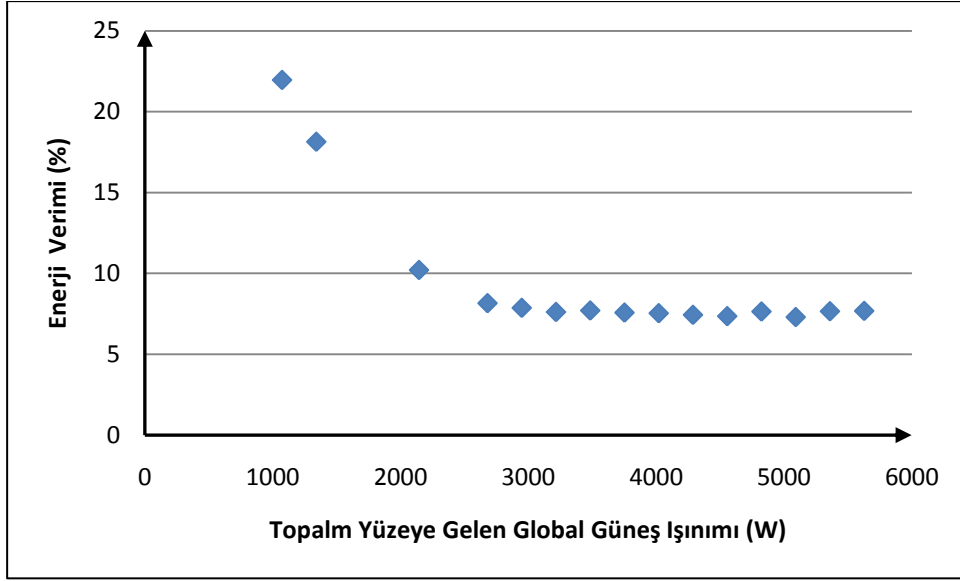
**Şekil 4.77 :** Şubat ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ve enerji verimliliği ilişkisi.

Şubat ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışı nım değ erleri düşün üldüğ ünde yine küçük değ erlerin küçük değ erlere bölünmesinden dolayı enerji verimlilikleri yüksek çı kmaktadır (Ş ekil 4.78).



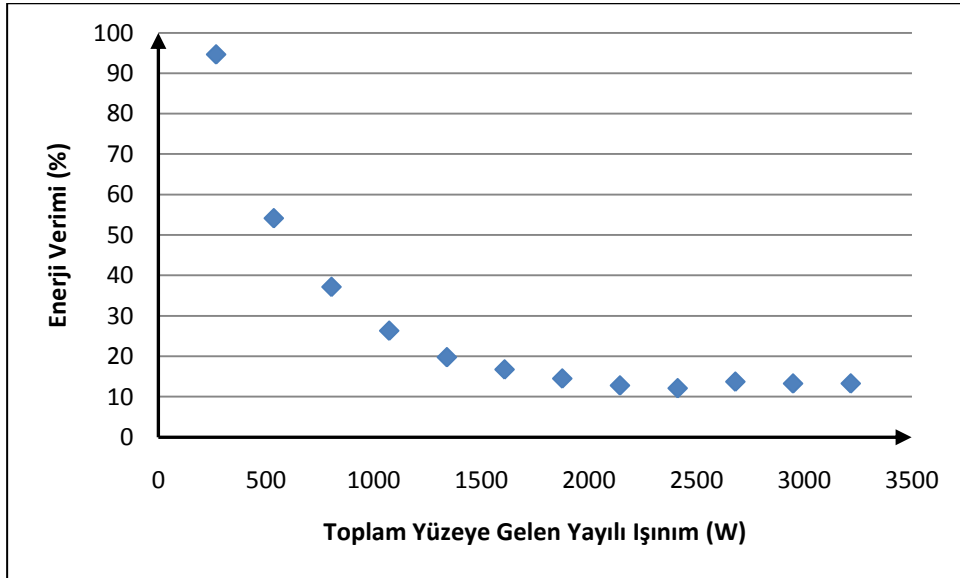
**Ş ekil 4.78 :** Ş ubat ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışı nım ve enerji verimliliğ i iliş kisi.

Enerji verimliliklerinin daha do ğ ru anlaşı lması için ortalamadan 1 standart sapma yukarı elektrik üretimleri düşün üldüğ ünde, Ş ubat ayı boyunca belirli bir değ erden sonra (3000 W'dan büyük) verimliliğ in % 6-7'ye dü ş tüğ ü görülmektedir. Bu durum, Ş ekil 4.77'de açıklanan gerekçeyi ispatlamaktadır. Ü retimin artması için gelen güneş ışı nım değ erlerinin yüksek olması gerekmektedir (Ş ekil 4.79).



**Şekil 4.79 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma yukarı PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.

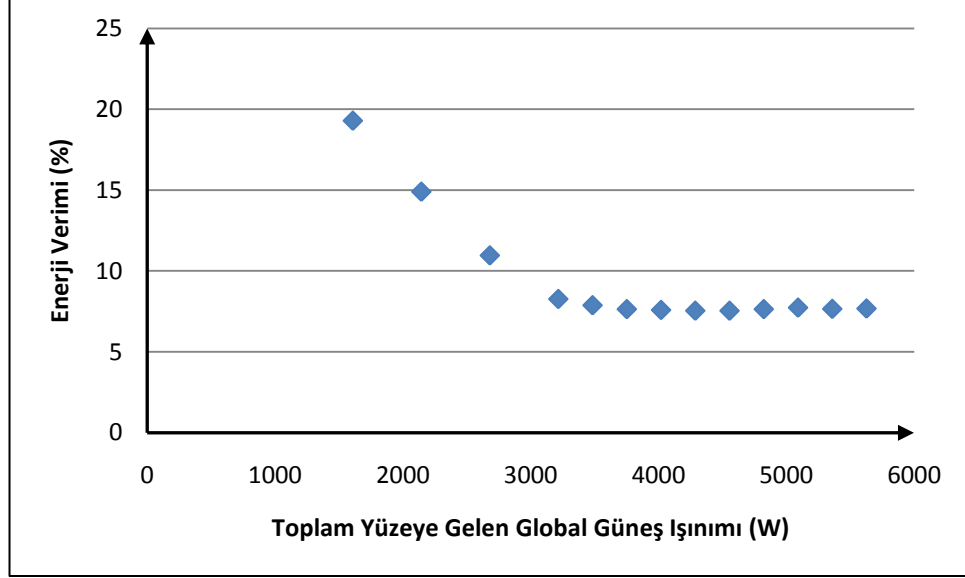
Ortalamadan 1 standart sapma yukarı veriler düşünöldüğünde bütün verilere göre olan enerji verimliliğı ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı değerleri arasındaki ilişkinin azalan yönde olduğı görölmektedir. Bütün verilerde yayılı ışıınımlı için enerji verimliliğı % 12'lere düşerken burada %10'lara ulaşmaktadır (Şekil 4.80).



**Şekil 4.80 :** Şubat ayında ortalamadan 1 standart sapma yukarı PV enerji verimlilikleri ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.

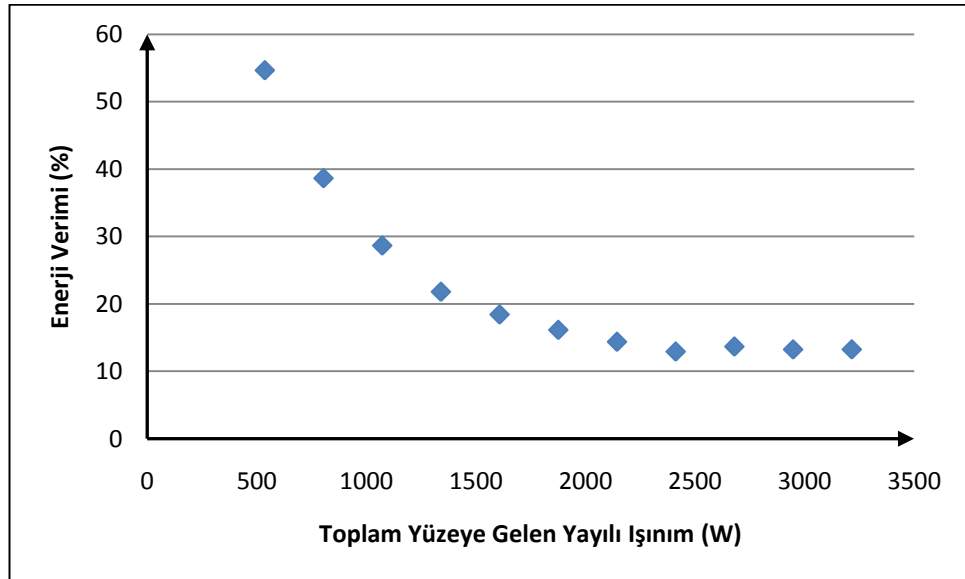
Ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı PV elektrik üretimleri düşünöldüğünde enerji verimliliklerinin toplam verilerde 1500 Watt'ta %8'lere indiğı görölürken 3000

Watt'tan sonra % 7-8'lere inmektedir (Şekil 4.81). Bu değerden önceki verimler aslında düşük üretim/ düşük güneş ışınımı oranının yüksek çıkmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 4.81 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı olan PV enerji verimlilikleri ve toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.

Toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ile elektrik üretiminin enerji verimlilikleri karşılaştırıldığında özellikle 1500 Watt'tan sonra verim değerlerinin % 10'lara düştüğü görülmektedir (Şekil 4.82).



**Şekil 4.82 :** Şubat ayında ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı PV enerji verimlilikleri ve toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ilişkisi.

## 4.2 Yöntem-2

### 4.2.1 Değişim katsayısı

Meteorolojik değişkenlerin,  $m_d$ , PV elektrik üretimini arttırıcı veya azaltıcı etkilerini bulmak için ortalamanın 1, 1.5, 2 standart sapma üstü ve ortalamanın 0.5, 1 standart sapma altı PV elektrik üretimlerinin ortalama parametre değerlerinden nasıl etkilendikleri, “değişim/etki katsayısı” olarak adlandırılan aşağıdaki yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre;

- ✧ Her bir değişkenin belirlenen değerlerine karşın ardışık güç,  $G$ , farklarının toplam güç değerine göre adım adım arttırıcı veya azaltıcı oranları tespit edilmiştir.

$$\text{---} \quad (4.1)$$

- ✧ Bu oranlardaki değişim aynı zamanda meteorolojik değişkenin değerine karşılık gelmesinden dolayı değişkenin etkisine göre üretimin azaltım veya arttırım oranları de vermektedir (Şekil 4.83).

$$(4.2)$$

- ✧ Tespit edilen bu oranların toplamaları pozitif ise değişkenin PV elektrik üretimini arttırıcı, negatif ise üretimi azaltıcı olduğu kararına varılmıştır.

$$(4.3)$$

- ✧ Her bir değişkenin mutlak değişimleri bulunmuştur. Bunun temel sebebi o değişkenin etkileme potansiyelini bulmaktır. Buna göre

$$(4.4)$$

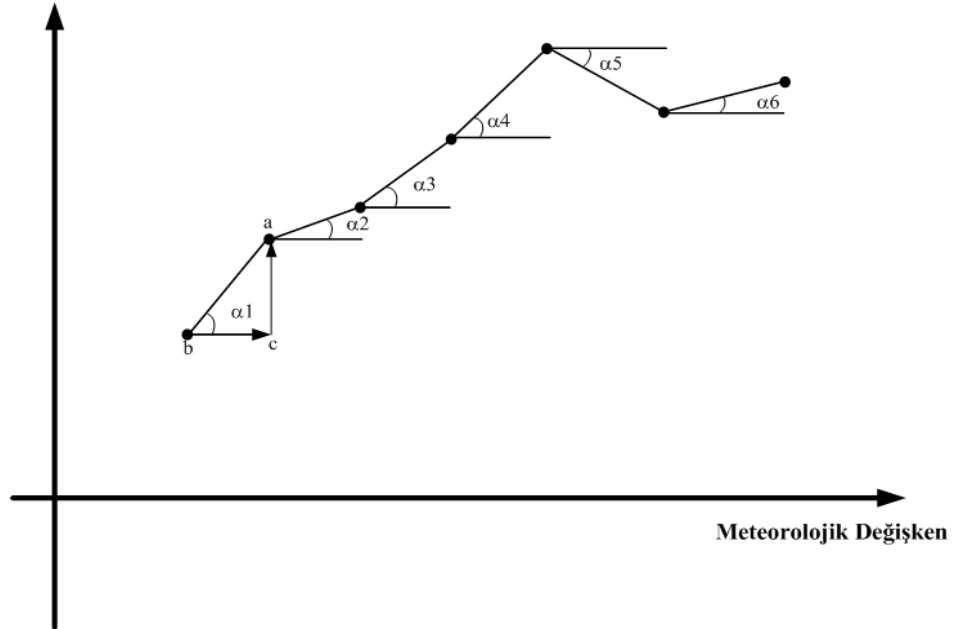
Burada meteorolojik değişkenin mutlak değişimlerini vermektedir.

- ✧ Her bir değişkenin arttırıcı/azaltıcı toplamı bütün değişkenlerin mutlak toplamına bölünerek oransal etkileri tespit edilmiştir (şekil 4.83). Buna göre;

(4.5)

- ✧ Burada , meteorolojik değişkenin oransal etkisini, bir anlamda etki katsayısını vermektedir.

PV Elektrik Üretim Değişimi /  
Toplam Kapasite



Şekil 4.83 : Değişim grafiği.

Her bir meteorolojik değişkenin etki katkısına karşılık gelen PV elektrik üretimlerinin toplam güce oranını veren arttırıcı veya azaltıcı oranları  $O_T(m_d)$  tespit edilmiştir.

Bu tezin temel amacı meteorolojik değişkenlerin PV elektrik verimine etkisini incelemektir. Bu araştırma sonrasında bu etkileri belirleyecek olan “değişim katsayısı” adı altında yeni bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre meteorolojik değişkenin bir durumundan diğerine geçerken elektrik üretiminin değişimi bir anlamda arttırıcı veya azaltıcı etkilerini göstermektedir. Bu etkiler

toplam kurulu güce bölündüğünde ise toplam arttırıcı veya azaltıcı etki oranları elde edilmektedir. Bu oranlar % değer şeklinde düşünülebileceği gibi her bir değişkenin etki katsayıları şeklinde de ifade edilebilirler.

Çizelge 4.1’ de her bir değişkenin ardışık değerlerinin elektrik üretimine olan etkileri verilmektedir. Örneğin 2009 yılı Nisan ayında global ışınlım “% 39.16” değerinde arttırıcı bir etkiye sahip olmakta, difüz ışınlım % 13.04 arttırıcı etkiye sahip iken bağıl nem % 40.3 gibi bir azaltıcı orana sahiptir. Bunların yanında atmosfer sıcaklığı % 38.14, hücre sıcaklığı % 37.12 ve rüzgar şiddeti % 36.80 gibi önemli arttırıcı etkilere sahip olmaktadır. Bu etkilerin toplamı % 124.03 iken, arttırıcı ve azaltıcı değerlerin mutlak toplam değişim değerleri % 204.5’e ulaşmaktadır. Toplam yüzeye gelen global ışınlım değerlerinin en yüksek arttırıcı etkiyi bahar aylarında gösterdiği (Mart-Nisan ve Mayıs 2010) görülmektedir. Yayılı ışınlım değerlerinin Mayıs 2009’da pek etkili olmadıkları ama diğer zamanlarda arttırıcı etkiler gösterdikleri görülmektedir (Çizelge 4.1). Bağıl nem değerleri ise bazı aylarda arttırıcı olarak katkıda bulunurken bazı aylarda ise azaltıcı etkileri görülmektedir. Atmosfer sıcaklığı özellikle 2010 Şubat- Mayıs arasında azaltıcı rol oynamıştır. Buna rağmen yaz aylarında arttırıcı rolü görülmektedir. PV hücre sıcaklığı genelde aylık toplamalarda arttırıcı etkide bulunmuştur. Rüzgar şiddetinin özellikle 2009 Mayıs-Temmuz ile 2010 Mart-Nisan’da azaltıcı yönde etkilediği görülmektedir. Toplamda arttırıcı etkiler görülmüştür. Mutlak toplamda ise en yüksek etkilerin 2009 Nisan ile 2009 Ağustos’ta olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1 :** Her bir meteorolojik değişkenin farklı aylardaki toplam değişimleri.

| Bütün veriler | Global Işınlım (%) | Difüz Işınlım (%) | Bağıl Nem (%) | Atmosfer Sıcaklığı (%) | PV Hücre Sıcaklığı (%) | Rüzgar Şiddeti (%) | Toplam Etki (%) | Mutlak toplam (%) |
|---------------|--------------------|-------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Nis.09        | 39,16              | 13,04             | -40,23        | 38,14                  | 37,12                  | 36,80              | 124,03          | 204,50            |
| May.09        | 22,90              | -2,91             | -24,77        | 9,26                   | 20,46                  | -7,74              | 17,20           | 88,05             |
| Tem.09        | 35,51              | 41,12             | -14,74        | 12,67                  | 11,65                  | -7,61              | 78,59           | 123,30            |
| Ağu.09        | 47,50              | 32,54             | -38,05        | 42,99                  | 11,81                  | 30,55              | 127,33          | 203,44            |
| Şub.10        | 52,48              | 53,00             | 0,69          | -10,71                 | 36,61                  | 2,12               | 134,19          | 155,61            |
| Mar.10        | 57,65              | 30,78             | -0,39         | -27,68                 | 38,87                  | -19,29             | 79,94           | 174,65            |
| Nis.10        | 56,83              | 45,58             | 11,57         | -18,04                 | 44,22                  | -8,63              | 131,52          | 184,87            |
| May.10        | 56,27              | 29,59             | 12,56         | -11,26                 | 47,16                  | 9,25               | 143,57          | 166,09            |

Hesaplanan her bir değişkenin değişim etkisi daha sonra mutlak toplam değere bölünmüştür. Bunun sonrasında her bir değişken için 0-1 arasında etki katsayıları belirlenmiştir. Tüm veriler düşünüldüğünde Nisan 2009'da güneş ışıınımı etki katsayısı 0.19, difüz ışıınım etki katsayısı 0.06, bağıl nem etki katsayısı -0.20, atmosfer sıcaklığı etki katsayısı 0.19, PV hücre sıcaklığı etki katsayısı 0.18 ve rüzgar şiddeti etki katsayısı 0.18 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bu katsayılar her bir değişkenin etki oranlarını belirlerken aynı zamanda verinin temsilirliğinde de kullanılabilirler. Buna göre eğer Nisan ayının PV elektrik üretimlerini meteorolojik değişkenlerden hesaplamak istiyorsak yapılması gereken, o aya ait her bir değişken değerini etki katsayısı ile çarpmaktır. Buna göre:

(4.6)

Nisan ayı elektrik üretimleri meteorolojik değişkenler ile temsil edilebilmektedir.

**Çizelge 4.2 :** Her bir meteorolojik değişkenin farklı aylardaki etki katsayıları.

| Bütün veriler | Global Işınım (%) | Difüz Işınım (%) | Bağıl Nem (%) | Atmosfer Sıcaklığı (%) | PV Hücre Sıcaklığı (%) | Rüzgar Şiddeti (%) |
|---------------|-------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| Nis.09        | 0,19              | 0,06             | -0,20         | 0,19                   | 0,18                   | 0,18               |
| May.09        | 0,26              | -0,03            | -0,28         | 0,11                   | 0,23                   | -0,09              |
| Tem.09        | 0,29              | 0,33             | -0,12         | 0,10                   | 0,09                   | -0,06              |
| Ağu.09        | 0,23              | 0,16             | -0,19         | 0,21                   | 0,06                   | 0,15               |
| Şub.10        | 0,34              | 0,34             | 0,004         | -0,07                  | 0,24                   | 0,01               |
| Mar.10        | 0,33              | 0,18             | -0,002        | -0,16                  | 0,22                   | -0,11              |
| Nis.10        | 0,31              | 0,25             | 0,06          | -0,10                  | 0,24                   | -0,05              |
| May.10        | 0,34              | 0,18             | 0,08          | -0,07                  | 0,28                   | 0,06               |

Toplam değişimler bütün veriler için düşünüldüğü gibi ortalamadan 1, 1.5 standart sapma yukarı ve ortalamadan 0.5 standart sapma düşük değerler için de hesaplanmıştır. Ortalamadan 1 büyük standart sapma yukarı olan değerlerde her bir değişkenin farklı aylarda toplam etkisi belirlenmiş (Çizelge 4.3) ayrıca % olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Nisan 2009 düşünüldüğünde bütün verilerde arttırıcı etkiye sahip olan difüz ışıınım değerleri ortalamadan 1 standart sapma yukarı değerlerde azaltıcı etki göstermiştir. Bunun yanında bağıl nemin mutlak etkisi de

negatif yönde olmuş ve azalmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta sadece ortalamadan 1 büyük standart sapma değerleri ele alındığından artık verinin homojenliği bozulmaktadır. Dolayısıyla Çizelge 4.4'ten alınacak etki katsayıları ile temsilirlik de azalmış olacaktır.

**Çizelge 4.3 :** Ortalamadan 1 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etkisi.

| $\mu+1.0\sigma$ | Global Işınım (%) | Difuz Işınım (%) | Bağıl Nem (%) | Atmosfer Sıcaklığı (%) | PV Hücre Sıcaklığı (%) | Rüzgar Şiddeti (%) | Mutlak Toplam (%) |
|-----------------|-------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| Nis.09          | 5,72              | -7,93            | -4,25         | 2,54                   | 8,11                   | 7,07               | 35,62             |
| May.09          | 5,75              | -2,98            | -5,55         | 2,90                   | -5,58                  | -2,10              | 24,86             |
| Haz.09          | 16,68             | 10,61            | -7,39         | 5,52                   | 1,70                   | 1,32               | 43,22             |
| Tem.09          | 22,04             | 17,90            | -2,07         | 0,74                   | -12,61                 | 4,32               | 59,67             |
| Ağu.09          | 17,05             | 5,17             | -7,80         | 7,01                   | -6,57                  | 5,83               | 49,42             |
| Şub.10          | 26,21             | 23,02            | 10,65         | -12,08                 | 21,44                  | -4,32              | 97,72             |
| Mar.10          | 11,80             | -1,79            | 6,54          | -11,40                 | -7,58                  | -6,82              | 45,93             |
| Nis.10          | 22,87             | 13,36            | 6,26          | -7,85                  | -7,83                  | -0,71              | 58,89             |
| May.10          | -40,55            | -4,22            | -0,72         | 0,49                   | -43,81                 | -0,14              | 89,92             |

**Çizelge 4.4 :** Ortalamadan 1 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etki katsayıları.

| $\mu+1.0\sigma$ | Global Işınım (%) | Difuz Işınım (%) | Bağıl Nem (%) | Atmosfer Sıcaklığı (%) | PV Hücre Sıcaklığı (%) | Rüzgar Şiddeti (%) |
|-----------------|-------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| Nis.09          | 0,16              | -0,22            | -0,12         | 0,07                   | 0,23                   | 0,20               |
| May.09          | 0,23              | -0,12            | -0,22         | 0,12                   | -0,22                  | -0,08              |
| Haz.09          | 0,39              | 0,25             | -0,17         | 0,13                   | 0,04                   | 0,03               |
| Tem.09          | 0,37              | 0,30             | -0,03         | 0,01                   | -0,21                  | 0,07               |
| Ağu.09          | 0,34              | 0,10             | -0,16         | 0,14                   | -0,13                  | 0,12               |
| Şub.10          | 0,27              | 0,24             | 0,11          | -0,12                  | 0,22                   | -0,04              |
| Mar.10          | 0,26              | -0,04            | 0,14          | -0,25                  | -0,17                  | -0,15              |
| Nis.10          | 0,39              | 0,23             | 0,11          | -0,13                  | -0,13                  | -0,01              |
| May.10          | -0,45             | -0,05            | -0,01         | 0,01                   | -0,49                  | -0,002             |

### **4.3 Yöntem-3**

#### **4.3.1 Güneş paneli CFD çözümü**

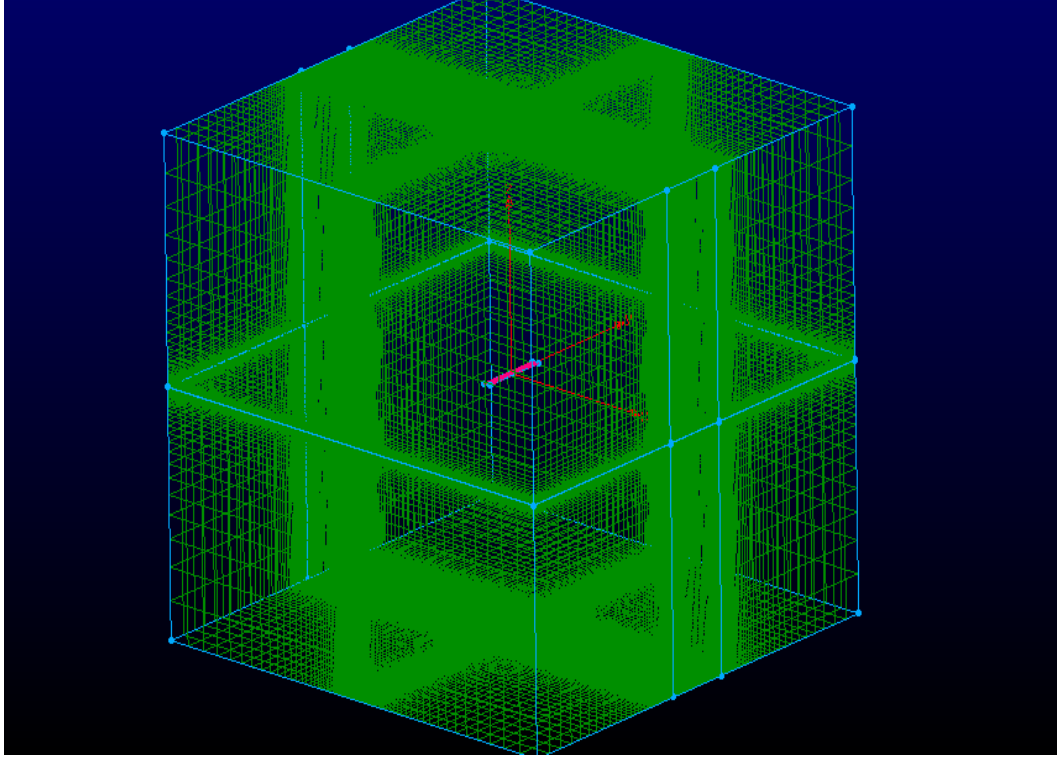
Bu bölümde 1 x 9 x 0.05 m boyutlara sahip bir güneş paneli, 6 m/s rüzgar şiddeti için 3 boyutlu bir Navier-Stokes çözücüsüyle incelenmiştir. Bu inceleme için öncelikle, bu tez çalışması kapsamındaki modelin çözüm ağı oluşturulmuştur. Çözüm ağı oluşturulmasında POINTWISE paket programından yararlanılmıştır. Navier-Stokes çözücüsü ile yapılacak işlemler için ise ANSYS-FLUENT paket programı kullanılmıştır.

##### **4.3.1.1 Çözüm ağının oluşturulması**

Bu çalışma için yapılan modellemede, hem hesaplamalı akışkanlar dinamiği hem de diğer bilimsel uygulamalarda modellerin ve hesaplama alanlarının oluşturulması için kullanılmakta olan POINTWISE programı seçilmiştir.

Çözüm için farklı tipte çözüm ağı denenmiş ve değişik sıklıkta grid (düğüm) üretimi yapılmıştır. Sonuçta problem için en doğru olanın, sınır tabaka bölgelerinde oldukça sık olacak şekilde, uygun yerlerde ise Navier-Stokes çözücüsünün iterasyonunun aşırı uzun sürmemesi amacıyla seyrekleştirilen bir çözüm ağ yapısı olduğuna karar verilmiştir. Bu yapı ne çok seyrek ne de çok sık olmalıdır; çünkü çok seyrek olursa alınan sonuçlar gerçekten uzak olacak, çok sık olması durumunda ise çözüm gereksizce çok fazla vakit alacaktır. Bu durumları önlemek için en uygun bir çözüm ağı yapısı oluşturulmuştur.

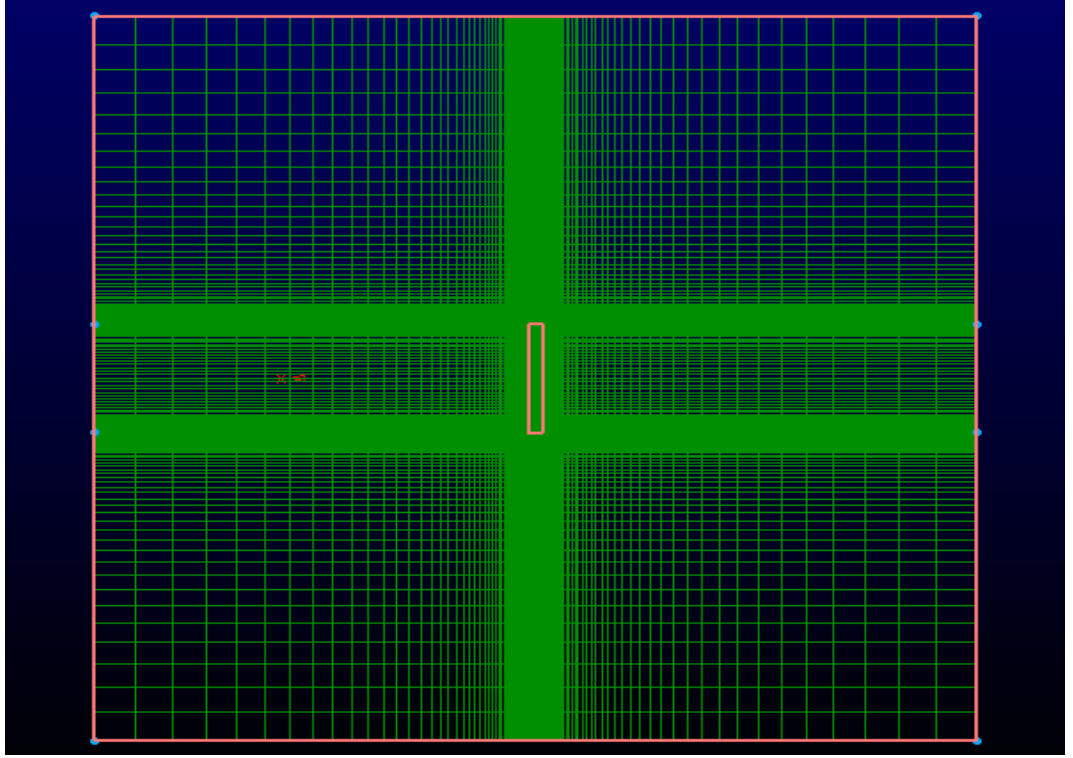
Bu çalışmada çözüm ağı olarak yapısal ağ kullanılmış olup Şekil 4.84' te oluşturulan çözüm ağının genel bir görünümü gösterilmiştir.



**Şekil 4.84 :** Güneş paneli etrafında oluşturulan çözüm ağının genel görünümü.

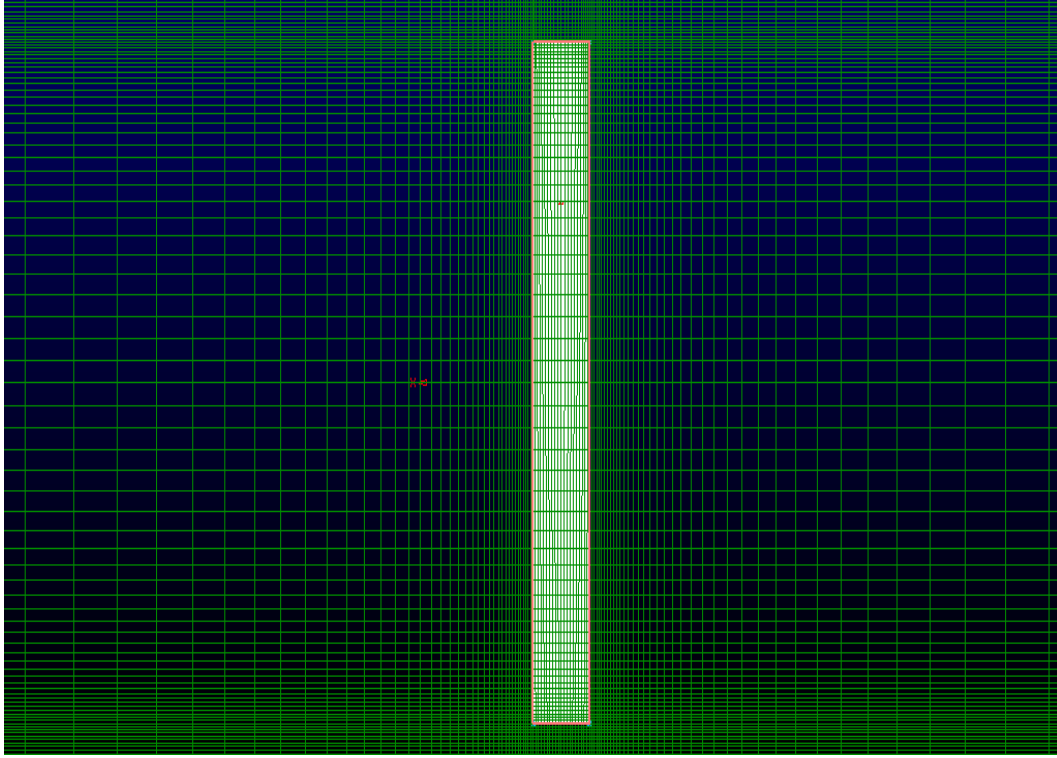
Akış hacmi güneş paneli tam ortasında yer alacak şekilde yani üç ekseninde de eş uzaklık olarak  $27 \times 27 \times 27 \text{ m}^3$  hacminde oluşturulmuştur. Akış hacminin belirlenmesinde güneş panelinin etrafındaki akımın kontrol hacmini etkilemeyecek kadar geniş olması dikkate alınmıştır.

Güneş panelinin üzerindeki sıcaklık değişimleri incelendiğinden dolayı panel üzeri ve panelden uzaklaşan bölge boyunca çok daha sık bir çözüm ağı oluşturuldu. Oluşturulan çözüm ağının sıklığı y ekseninden bakıldığında Şekil 4.85'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.85 :** Y ekseninden bakıldığında panel etrafındaki oluşturulan çözüm ağı.

Çözüm için panel üzerindeki çözüm ağı sıklığı önemli olduğundan yeterli sıklıkta çözüm ağı oluşturulmuştur. Şekil 4.86’da panel üzerindeki çözüm ağı gösterilmektedir.



**Şekil 4.86 :** Panel üzerindeki çözüm ağı sıklığı.

Bu anlatılanlara göre 3 boyutlu çözüm ağında 1970000 eşkenar dörtgen yapılı eleman (quadrilateral) kullanılmıştır.

#### **4.3.1.2 Çözüm modeli**

Belirli bir akış probleminin çözümü için kullanılabilecek pek çok paket program mevcuttur. FLUENT, STAR CD, CFD++, CFX, STAR-CCM+ bu programlara örnek olarak verilebilir. Bu programlar epey gelişmiş ve tasarım açısından güvenilir sayılan bu yazılımlarla iki veya üç boyutlu pek çok problem hızlıca çözülüp sonuçları görüntülenebilir (Durna, 2009). Bu çalışmada, çözücü program olarak FLUENT programı kullanılmıştır.

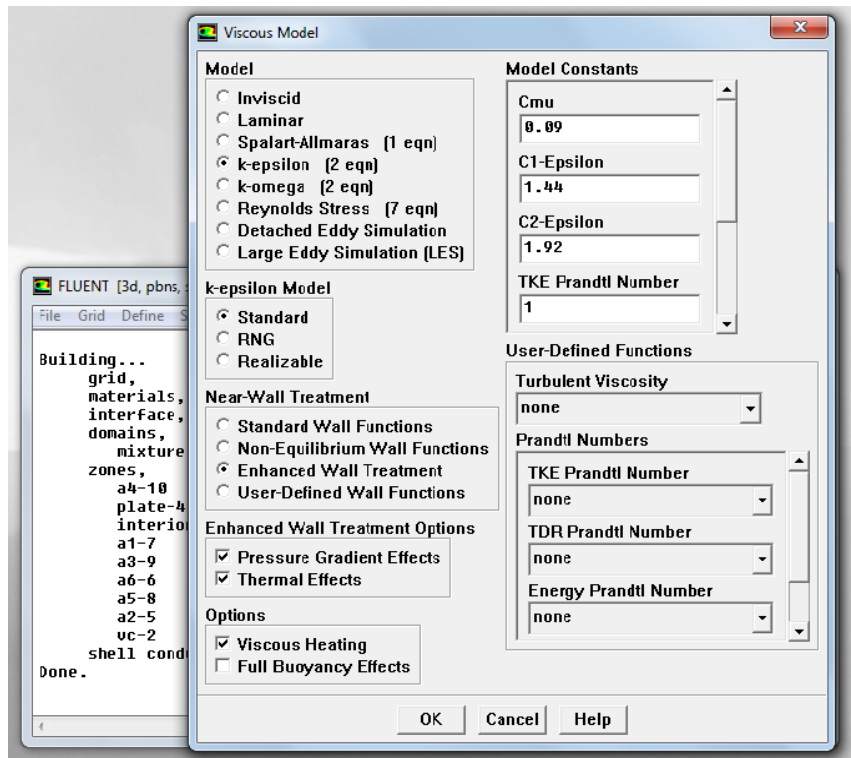
FLUENT programı 1983' ten bu yana dünya çapında birçok endüstri dalında tercih edilen ve günden güne gelişerek tüm dünyadaki CFD piyasasında en çok kullanılan yazılım durumuna gelmiştir ([www.anova.com.tr](http://www.anova.com.tr)).

## Çözüm modelinin kurulması

Güneş paneli üzerindeki rüzgar yönünün etkisi araştırıldığından dolayı rüzgar hızı olarak tek bir değer 6 m/s olarak alınmıştır. Rüzgar hızı ve güneş panellerin ölçüleri göz önünde bulundurularak Reynolds sayısı hesaplanmıştır.

(4.7)

Burada  $V$ ,  $l$  ve  $\mu$  sırasıyla rüzgâr şiddeti, güneş panelinin uzunluğu ve kinematik viskozitedir. Buna göre Reynolds sayısı 3443000 olarak bulunmuştur. Düz bir plaka için Reynolds sayısı  $5 \times 10^5$  ten sonra akış; laminar akıştan türbülanslı akışa geçmektedir. Bu çalışmadaki akış rejimi de türbülanslı bir akış modelini gerektirmektedir. Model kurulurken Fluent programında akış daimi (steady) olup viskoz model olarak k- $\epsilon$  türbülans standart modeli uygulanmış ve duvar sınırı yakınlığında iki farklı sınır tabaka modeli çalıştıran enhanced wall treatment fonksiyonu çalıştırılmıştır (Şekil 4.87) ([jullio.pe.kr/fluent6.1](http://jullio.pe.kr/fluent6.1)).



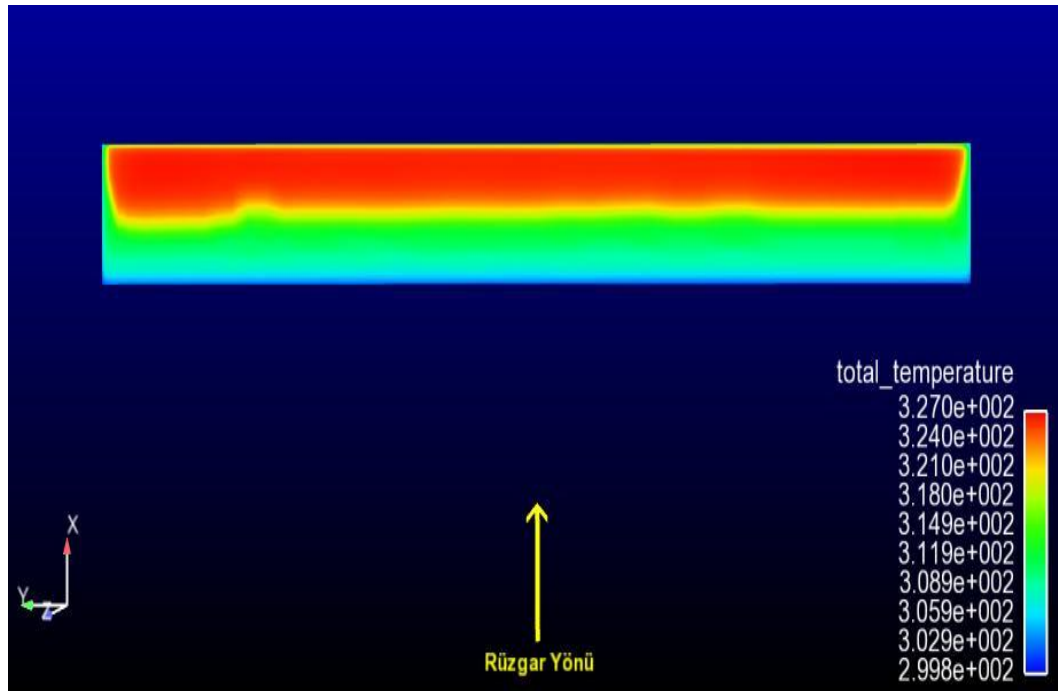
Şekil 4.87 : Fluent programına uygulanan viskoz modelin ayarları.

Ayrıca programda akış, türbülans ve enerji denklemlerinin çözümünde basınç-hız çifti için yarı-kapalı metot olan SIMPLE metodu kullanılmış olup ayrıklaştırma işleminde (discretization) ise 2. dereceden upwind kullanılmıştır.

Bu yapılan ayarlarla birlikte FLUENT programı yeterli yakınsama yapana kadar çözdürülmüştür. Buna göre aşağıda gösterilen sonuçlar alınmıştır.

#### 4.3.2 Sonuçlar

Güneş paneli üzerindeki sıcaklık değişimi 3 eksenenden rüzgar gönderilip incelenmiştir. İlk olarak, güneş paneli üzerine x ekseninden gönderilen rüzgarın etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.88’ de x ekseninden panelin üzerine gönderilen rüzgarın panel üzerinde oluşturduğu sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Panelin üzerine gelen rüzgarın sıcaklığı bütün durumlar için 298 K ve panelin güneş ışınlamıyla ısınması ise  $1000 \text{ W/m}^2$  olarak düşünülmüştür.

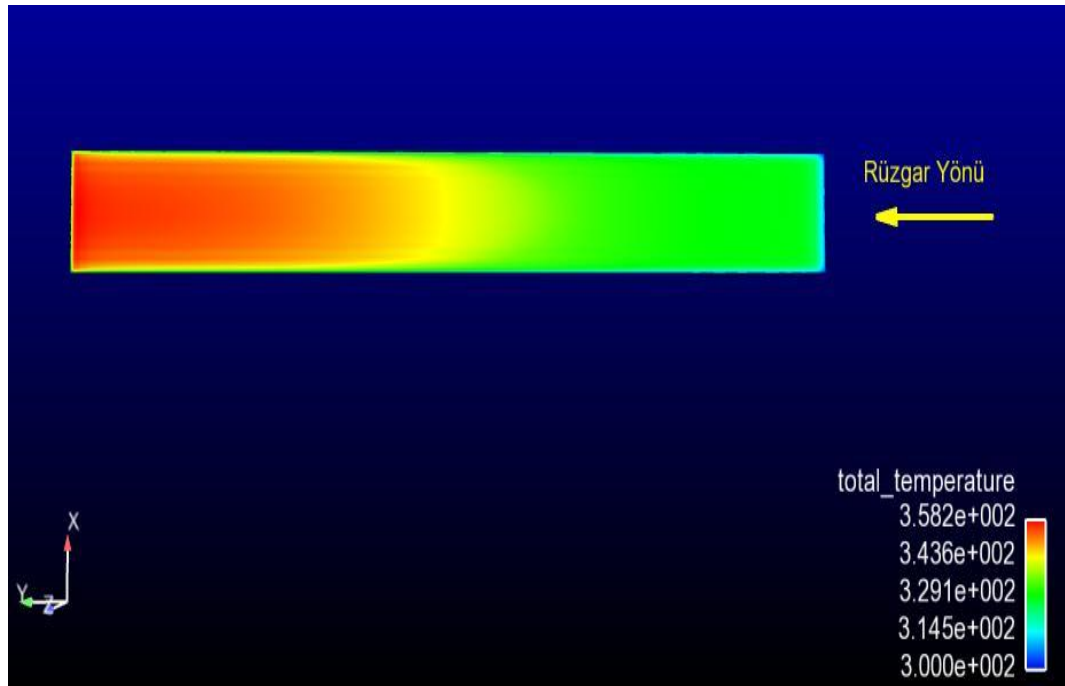


**Şekil 4.88 :** Plaka üzerinde x ekseninden esen rüzgarın etkisi.

Şekil 4.88’de görüldüğü üzere rüzgarın panelle temas ettiği ilk yüzeyler neredeyse ortam sıcaklığına kadar inmiş, rüzgar panel üzerinde ilerledikçe panelin sıcaklığı artmıştır. Rüzgarın panel üzerinde en son temas ettiği yüzeyler en yüksek sıcaklık değeri olan 327 K değerini görmüştür. Panel üzerinde ilerlendikçe sıcaklığın artmasının nedeni, 298 K sıcaklığıyla esen rüzgarın panelin sıcaklığıyla ısınması ve

panel üzerinde ilerledikçe soğutuculuk etkisini yitirmesindendir. Sonuç olarak x ekseninden esen rüzgar güneş panelinin 9 m'lik uzun kenarını görmekte ve ilk rüzgar sıcaklığı panelin büyük bir bölümünde soğutucu etki oluşturmuştur. Panelin ortalarında sıcaklık 314 K gibi yaklaşık 16 K'lık bir artış göstermiştir. Panelin en yüksek sıcaklığı ile en düşük sıcaklığı arasında da 28 K'lık bir fark oluşmaktadır.

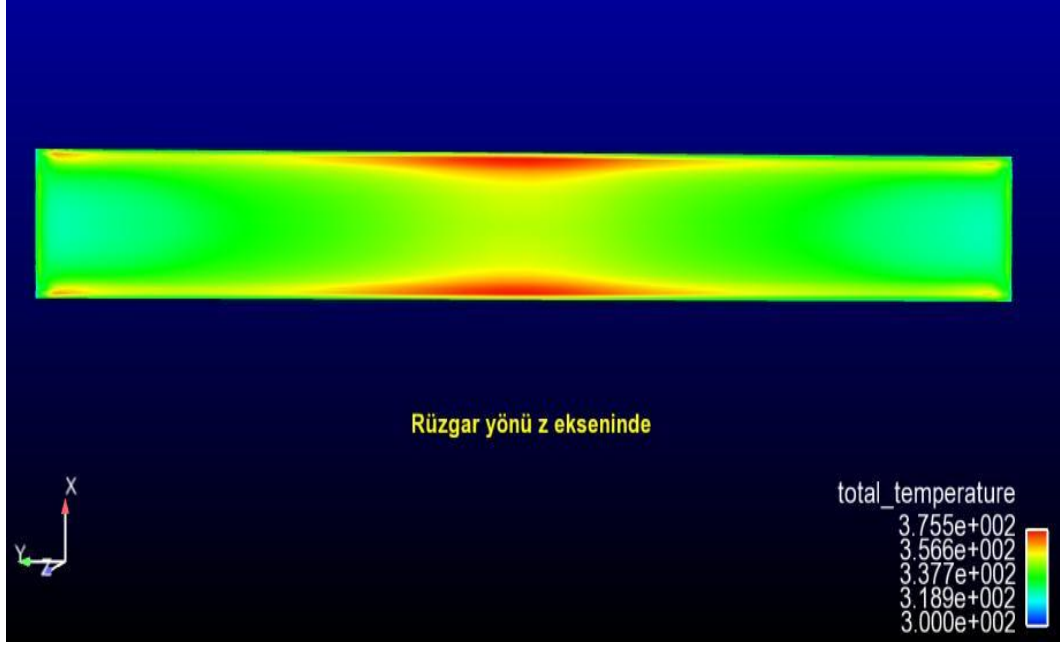
İkinci olarak, güneş paneli üzerine y ekseninden gönderilen rüzgarın etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.89' da y ekseninden panelin üzerine gönderilen rüzgarın panel üzerinde oluşturduğu sıcaklık dağılımı gösterilmiştir.



**Şekil 4.89 :** Plaka üzerinde y ekseninden esen rüzgarın etkisi.

Y ekseninden esen rüzgar güneş panelinin 1 m'lik genişliğini görmekte ve bu kısım ısı alışverişinde bulunmaktadır. Şekil 4.89'a göre güneş panelinin ortasında panel sıcaklığı 338 K'lere ulaşmakta ve rüzgara göre panelin sonunda sıcaklık 358.2 K değerini görmektedir. Birinci duruma göre kıyaslandığında en yüksek sıcaklık değerinden 31 K fazla oluşmakta ve panelinin büyük bir bölümünün sıcaklığı birinci durumdan daha yüksek sıcaklık değerine sahip olduğu görülmektedir.

Son olarak, güneş paneli üzerine z ekseninden yani panele dik yönde esen rüzgarın etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.90'da z ekseninden panelin üzerine gönderilen rüzgarın panel üzerinde oluşturduğu sıcaklık dağılımı gösterilmiştir.



**Şekil 4.90 :** Plaka üzerinde z ekseninden esen rüzgarın etkisi.

Panele dik esen rüzgar durumunda panelin tamamı esen rüzgarı ilk sıcaklığıyla görmektedir. Buna göre panelin büyük bir bölümü yakın sıcaklık değerlerinde kalmıştır. Yeşil renk ile görülen kısımlarda panelin sıcaklığı 330 -340 K arasındadır. Panelin büyük bir çoğunluğunun bu sıcaklık aralığında kaldığı görülmektedir. Panelin ortasındaki iki uç kenarda sıcaklık en yüksek değer olan 375.5 K değerine ulaşmıştır. Genel olarak panelin orta bölmesi en yüksek sıcaklığa sahip, kenarlara doğru gidildikçe sıcaklık düşmektedir. Bunun sebebi olarak panelin ilk ve son 2 m'lik bölümlerine çarpan rüzgar daha kolay bir şekilde panel uçlarından uzaklaşmakta ve panel ile daha az bir süre temas halindedir. Bu nedenle rüzgarın soğutuculuğunun daha etkin olduğu söylenebilir.

#### 4.3.3 Değerlendirme

Bu çalışmada 6 m/s hızıyla 3 farklı yönden esen rüzgarın güneş paneli üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 3 farklı yönde esen rüzgar analizinde panel üzerindeki en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla 327, 358.2 ve 375.5 K olarak hesaplanmıştır. En düşük değer olan 327 K değeri, panelin üzerinden esen ve panel yüzeyini en çok gören durumda oluşmuştur. 3. durumda da esen rüzgar bütün paneli görmekte fakat panele dik pozisyonda estiğinden paneli soğutucu etki oluşturmamaktadır. Bu nedenle istenen duruma en yakın sonuçları 1. Analiz göstermektedir. Bu 3 analize

bakarak, rüzgarın soğutucu etkisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için rüzgarın panelin olabildiğince çok alanını görmesi sağlanmalı ve güneş paneli rüzgarın süpürücü etkisinin oluşması için rüzgar ile paralel olacak şekilde yerleştirilmelidir.

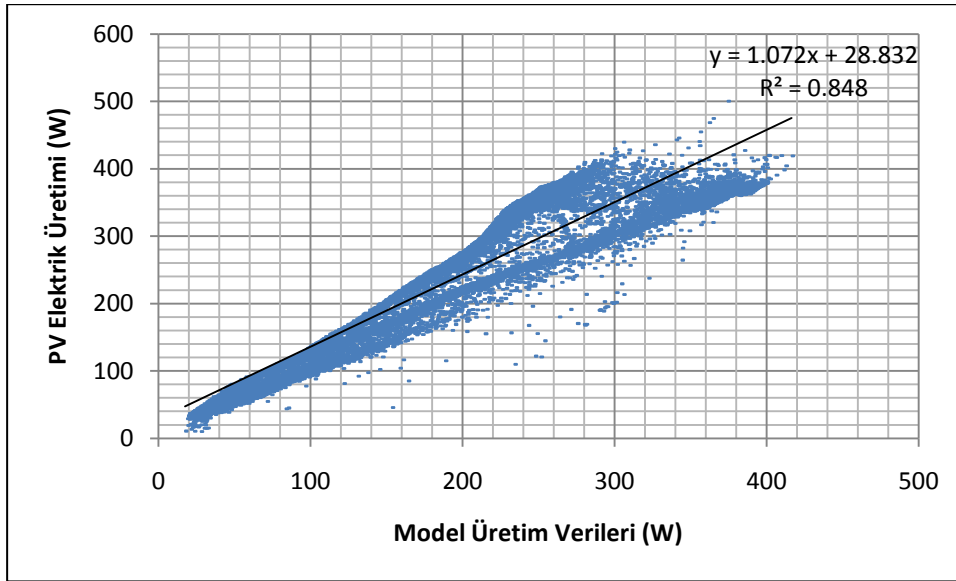
Sonuç olarak, rüzgar yönünün güneş paneli üzerindeki soğutucu etkisi üzerinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Daha uygun sonuçların elde edilmesi için güneş panelinin daha büyük yüzeyini görecektir şekilde esen rüzgar analizleri yapılabilir ve güneş paneli rüzgarın estiği yöne göre bu analizler ışığında konumlandırılabilir.

#### 4.4 Yöntem Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında daha önce de değinildiği gibi meteorolojik değişkenlerin PV'lerden elektrik üretimine ne oranda katkı sağladığını saptamak temel hedefi oluşturmaktadır. Bir anlamda anlık üretimlerin modellenmesi gerekmektedir. Bu modelleme için çeşitli yöntemlere başvurulabilir. Bunların çoğu istatistiksel yöntemler olup olayın fiziksel anlaşılmasını ikinci dereceden ele alırlar. Bu tez çalışmasında önerilen “değişim katsayısı” modeli aslında kabulleri olmayan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

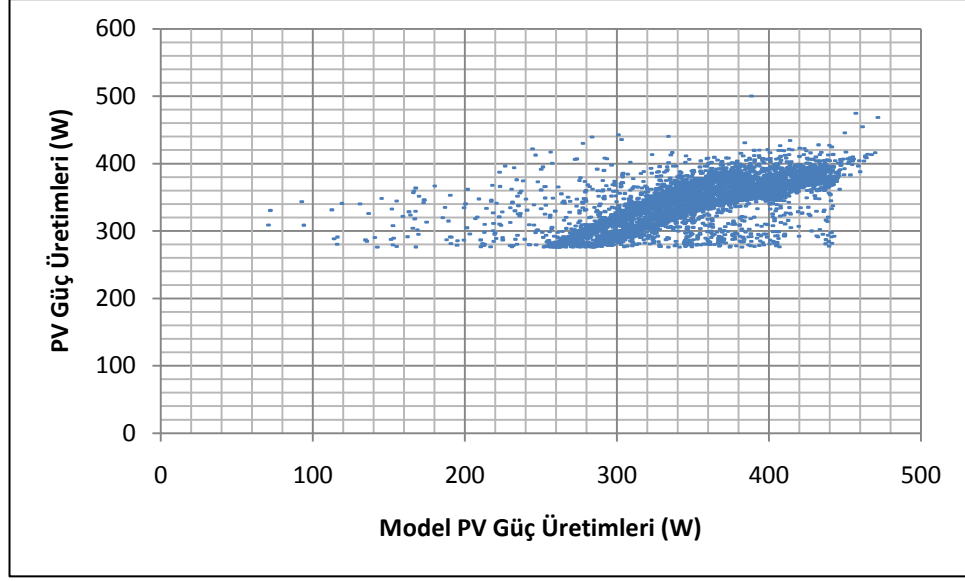
Bu tez çalışmasında bütün meteorolojik değişkenlerin, her ay için etki katsayıları kullanılarak gerçek ölçüm değerlerine “değişim katsayısı” yöntemiyle yaklaşım yapılmıştır. Özellikle bütün veriler göz önünde bulundurulduğunda temsilirliğin yüksek seviyelere çıktığı görülmüştür.

Örneğin, Ağustos ayına ait etki katsayılarının kullanılmasıyla, ölçüm ve model sonuçları Şekil 4.91’de karşılaştırılmışlardır.



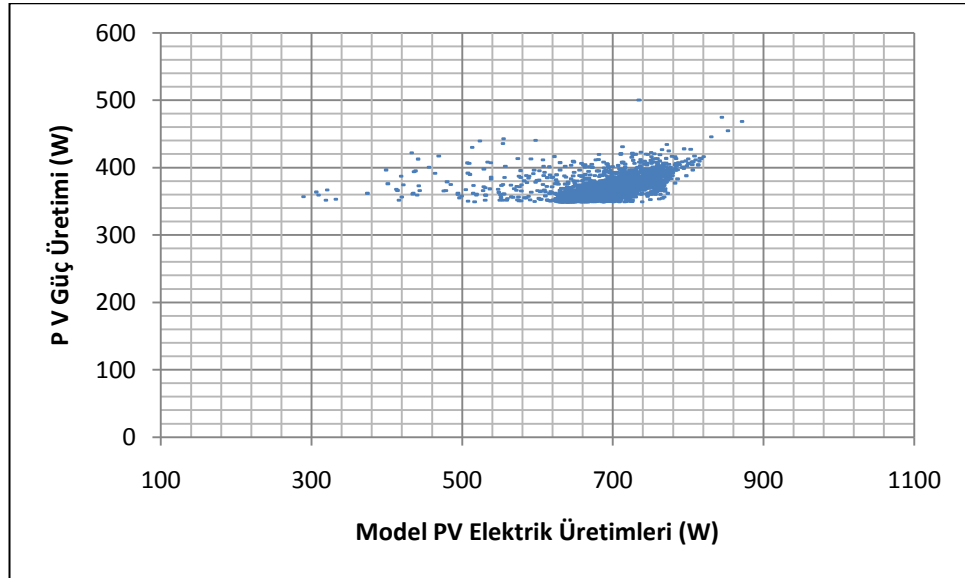
**Şekil 4.91 :** Ağustos ayı model ve ölçüm verileri karşılaştırması.

Ağustos ayında ortalamadan bir standart sapma yukarı verilerine bu tezde önerilen herbir parametrenin etki katsayıları uygulandığında normallikten uzaklaşıldığından dolayı temsilirliğin azaldığı görülmektedir. Bir anlamda bu veri grubu için doğrusallıktan uzaklaşma söz konusudur (Şekil 4.92).



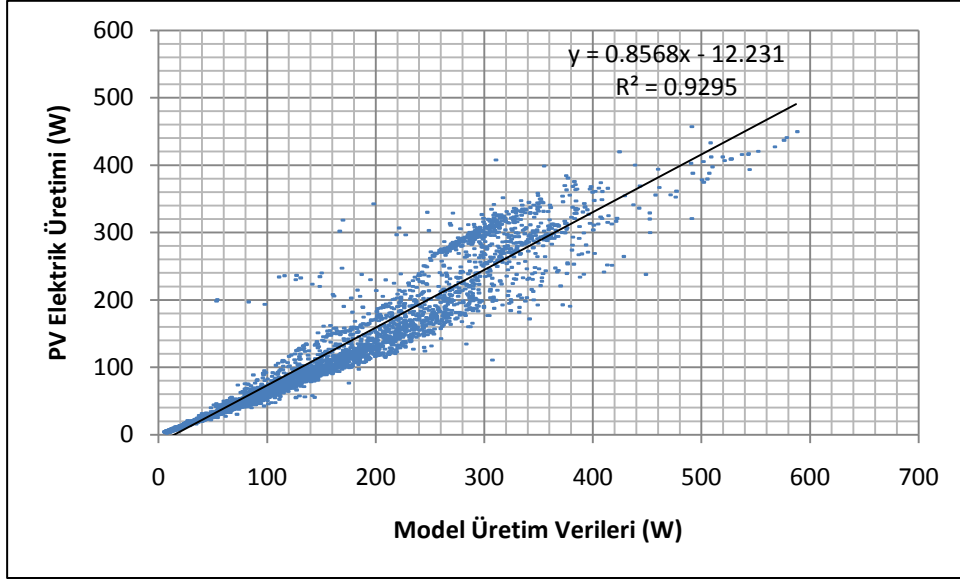
**Şekil 4.92 :** Ağustos ayı ortalamadan 1 standart sapma yukarı model ve ölçüm verileri karşılaştırması.

Ağustos ayında ortalamadan bir buçuk standart sapma yukarı verilerine önerilen her bir parametrenin etki katsayıları uygulandığında normalliğin tamamen bozulduğu görülmektedir. Bir anlamda bu veri grubu için doğrusallıktan bahsedilemeyecektir (Şekil 4.93).



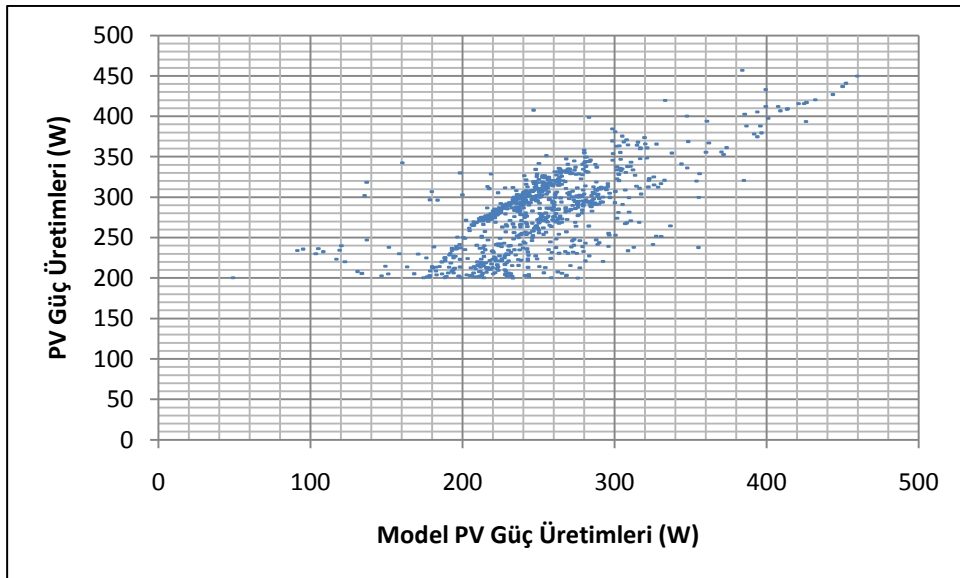
**Şekil 4.93 :** Ağustos ayı ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı model ve ölçüm verileri karşılaştırması.

Benzer şekilde Şubat ayı içinde etki katsayıları kullanılarak ölçüm ve model değerleri Şekil 4.94'te gösterildiği üzere saçılma diyagramına yerleştirildiklerinde modelin başarılı olduğu kolaylıkla görülebilmektedir.



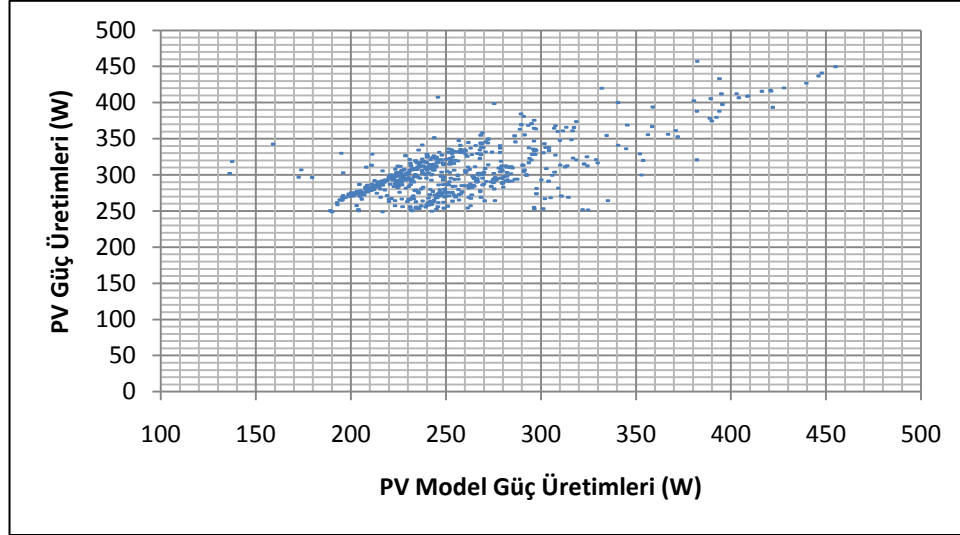
**Şekil 4.94 :** Şubat ayı model ve ölçüm verileri karşılaştırması.

Şubat ayında ortalamadan bir standart sapma yukarı verilere bu tezde önerilen etki katsayıları uygulandığında Ağustos ayına göre normallikten daha az uzaklaşıldığı görülmektedir (Şekil 4.95).



**Şekil 4.95 :** Şubat ayı ortalamadan 1 standart sapma yukarı model ve ölçüm verileri karşılaştırması.

Şubat ayında ortalamadan bir buçuk standart sapma yukarı verilere bu tezde önerilen etki katsayıları uygulandığında normallikten uzaklaşmanın azaldığı görülmektedir (Şekil 4.96).



**Şekil 4.96 :** Şubat ayı ortalamadan 1.5 standart sapma yukarı model ve ölçüm verileri karşılaştırması.

Önerilen yönteme ilave olarak Ağustos ayında  $\mu+1.0\sigma$  ve  $\mu+1.5\sigma$  verilerine doğrusal çoklu regresyon uygulanmıştır. Doğrusal çoklu regresyondan elde edilen katsayılar Çizelge 4.5-6’ da verilmiştir.

**Çizelge 4.5:**  $\mu+1.0\sigma$  verileri için çoklu regresyon analizi sonuçları.

**Model Özeti**

| Model | R                 | R <sup>2</sup> | Tahminin Standart Hatası |
|-------|-------------------|----------------|--------------------------|
| 1     | ,714 <sup>a</sup> | ,510           | 20,6699088               |

a. Bağımsız Değişken: (Sabit), rüzgar, hc sıc, difuz, bağıl nem, global, atm sıc

**Katsayılar<sup>a</sup>**

| Model          | Katsayılar |          | Standartlaştırılmış Katsayılar | T      |
|----------------|------------|----------|--------------------------------|--------|
|                | B          | St. Hata |                                |        |
| (Sabit)        | 150,626    | 4,619    |                                | 32,613 |
| Global Işınım  | ,188       | ,003     | ,621                           | 73,549 |
| Yayıllı Işınım | ,024       | ,001     | ,238                           | 27,320 |
| Bağıl Nem      | -,179      | ,029     | -,057                          | -6,204 |
| Atmosfer sıc   | ,452       | ,194     | ,023                           | 2,327  |
| Hc sıc         | ,124       | ,056     | ,018                           | 2,212  |
| Rüzgar         | ,802       | ,165     | ,040                           | 4,874  |

**Çizelge 4.6 :**  $\mu+1.5\sigma$  verileri için çoklu regresyon analizi sonuçları.

**Model Özeti**

| Model | R                 | R <sup>2</sup> | Tahminin Standart Hatası |
|-------|-------------------|----------------|--------------------------|
| 1     | ,531 <sup>a</sup> | ,281           | 12,0808856               |

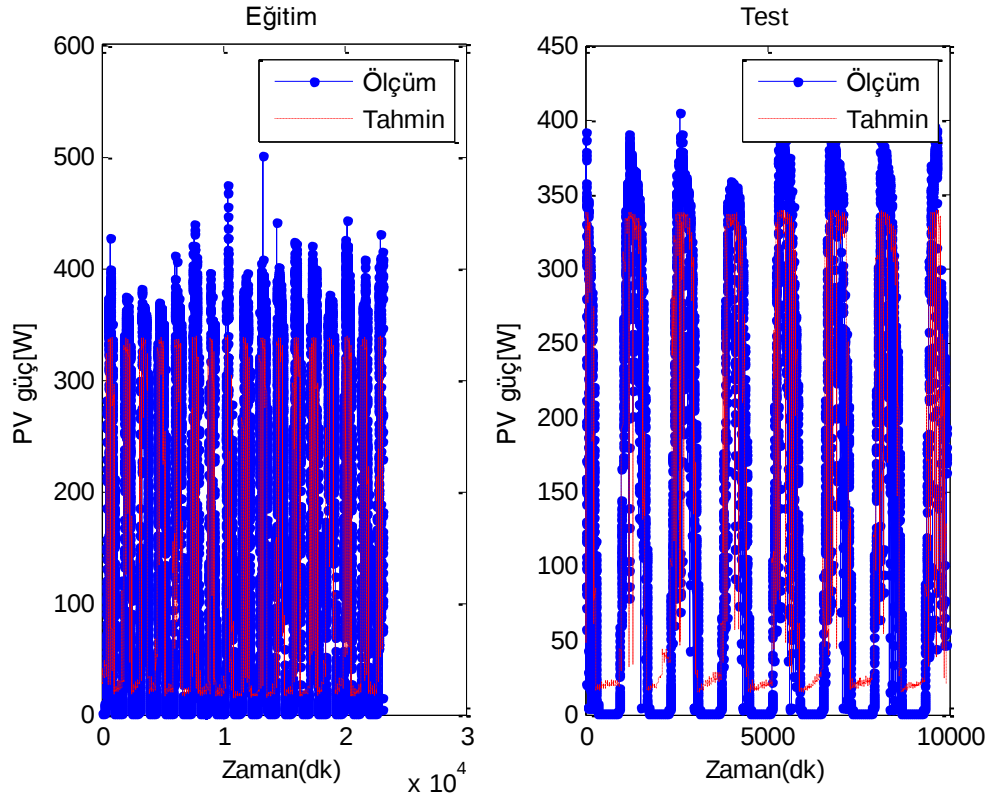
a. Bağımsız Değişken: (Sabit), rüzgar, atm sıc, Global, hc sıc, Difuz, bağıl nem

**Coefficients<sup>a</sup>**

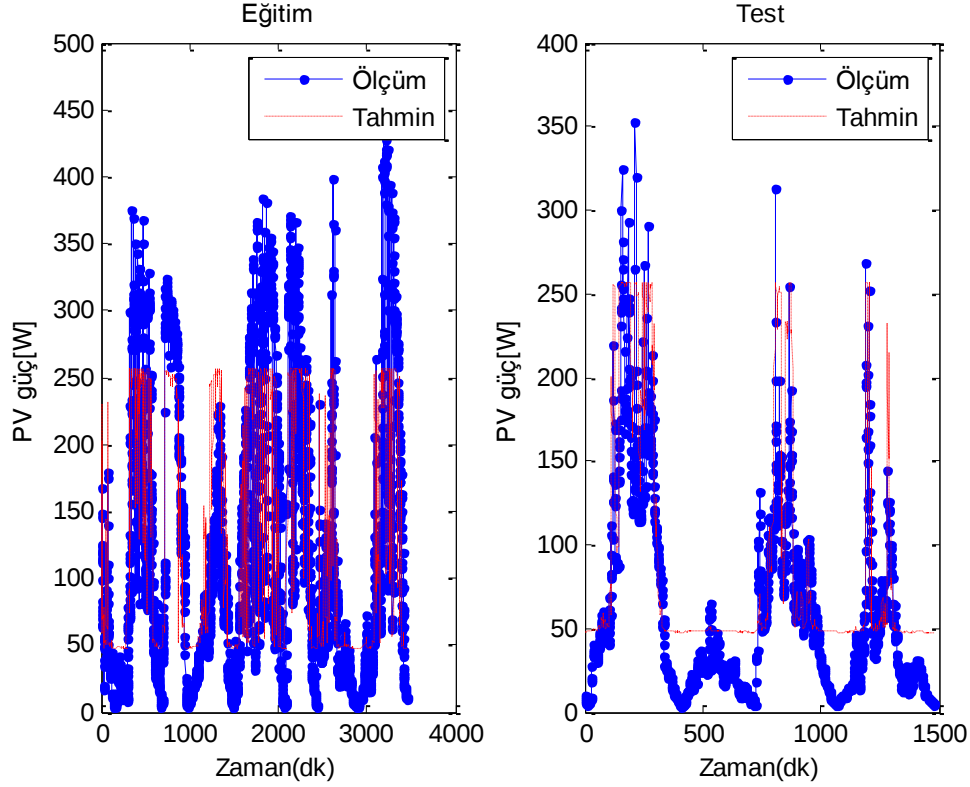
| Model         | Katsayılar |          | Standartlaştırılmış Katsayılar | Model   |
|---------------|------------|----------|--------------------------------|---------|
|               | B          | St. Hata |                                |         |
| (Sabit)       | 329,432    | 5,360    |                                | 61,463  |
| Global Işınım | ,093       | ,003     | ,365                           | 27,953  |
| Yayılı Işınım | ,009       | ,001     | ,214                           | 14,931  |
| Bağıl Nem     | ,020       | ,025     | ,013                           | ,770    |
| Atmosfer sıc  | -1,114     | ,202     | -,098                          | -5,527  |
| Hc sıc        | -,776      | ,048     | -,215                          | -16,089 |
| Rüzgar        | ,536       | ,133     | ,052                           | 4,025   |

a. Bağımlı Değişken: PV güç

Karşılaştırma amaçlı olması ve önerilen yöntemin doğruluğunun ispatı için diğer bir yöntem olarak da Yapay Sinir Ağları (YSA) belirtilen verilere uygulanmıştır. Burada girdi olarak meteorolojik değişkenler ve çıkış olarak PV elektrik üretim değerleri alınmıştır. Ağustos ve Şubat verilerine (YSA) uygulanmıştır. YSA'nın temsilirliği yüksek olsa da genelde düşük üretimler yaptığı görülmektedir (Şekil 4.97 a-b, Şekil 4.98 a-b).



**Şekil 4.97 :** a-b Ağustos ayı verilerinin YSA yöntemine göre eğitim ve test sonuçları (Eğitim:  $r = 0.97$ ; Test  $r = 0.92$ ).



**Şekil 4.98 :** a-b Şubat ayı verilerinin YSA yöntemine göre eğitim ve test sonuçları (Eğitim:  $r = 0.89$ ; Test  $r = 0.90$ ).

Bütün bu yöntemlerin karşılaştırılmaları sonucunda birbirlerine yakın veri ürettikleri görülmüştür. Bu durum aslında önerilen yöntemin başarısıdır. Diğer yöntemlerde kabuller bulunmakta, özellikle YSA’da fizik hiç bilinmemektedir. Fakat önerilen “değişim katsayısı” hem model sonucunun iyi olması hem de fiziksel yorum yapmaya izin vermesi açısından ayrıcalık taşımaktadır.

Önerilen model için bağıl hatalara bakıldığında; Ağustos ayı için en düşük değer bağıl hatanın mod değeri olup % 32, Şubat ayı için ise en düşük değer ortalama bağıl hata olup % 41 olarak hesaplanmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Bu çalışmada meteorolojik değişkenlerin PV elektrik üretimine etkileri detaylı ele alınmıştır. Bunun için 107M331 nolu Tübitak projesi kapsamında İTÜ Ayazağa kampüsü Meteoroloji gözlem parkına bir adet rüzgar-güneş hibrit sistemi kurulmuştur.
- Bu amaçla, İstanbul iklim şartlarında solar akım, solar gerilim, global güneş ışıınımı, difüz (yayıllı) ışıınım, atmosfer sıcaklığı, PV hücre sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar şiddeti değerleri farklı zaman aralıklarında ölçülmüştür.
- Ölçülen verilerin analizi için Matlab programı kullanılarak bir kod yazılmıştır.
- Analizlerden elde edilen grafiklerden, sonuçta fotovoltaiik panelin elektrik üretiminde hangi meteorolojik parametrenin üretimi hangi şartlarda arttırıp azalttığı açıkça görülmüştür. Özellikle 0.5 standart sapmadan daha düşük ve 1, 1.5 standart sapmadan yüksek olan değerler bize meteorolojik şartların PV elektrik üretimine etkisini anlama fırsatı vermiştir.
- Bununla birlikte PV elektrik üretim değerleri toplam güce bölünerek kapasite faktörleri hesaplanmıştır. Kapasite faktörlerinin % 50'yi bulduğu zamanlar gözlemlenmiştir.
- Yeni bir yöntem olarak, PV elektrik üretimini arttıran - azaltan parametrelerin üretime hangi oranlarda etki ettiğı hesaplanarak “değişim katsayısı” terimi önerilmiştir.
- Her bir meteorolojik değişkenin toplam değişim katsayısı mutlak değişim katsayısına bölünerek o değişkenin bulunduğu gruptaki “etki katsayısı” elde edilmiştir. Bir anlamda bu etki katsayıları çoklu regresyondaki parametrelerin katsayı görevini görmektedir.
- Global güneş ışıınımı ile PV’lerden üretilen elektrik miktarı arasında doğrusal bir ilişki olması beklenmektedir. Bu nedenle bu kaynak yetersiz olduğu müddetçe diğer meteorolojik değişkenlerin önemi kalmamaktadır. Kurulan sistemde de

benzer bir yapı olduğu gör÷lmektedir. Özellikle yaz aylarında yüksek güneş ışı nımı ( $1000 \text{ W/m}^2$ 'nin üstü) değ erleri göz lenmiştir. Güneş ışı nım değ erleri art tı kça elektrik üretiminin art tı ğı gör÷lmüştür. Fakat aynı şekilde yüksek güneş ışı nım değ erlerinde verimin daha düşük olması sıcaklıktan kaynaklanan verim problemlerini gündeme getirmektedir.

- Güneş panelleri ideal sayılan  $25^\circ\text{C}$  sıcaklık,  $1000 \text{ W/m}^2$  güneş ışı nımı ve 1,5 AM (Air Mass, hava kü tlesi) ortamda test edilir. Bu ortama göre panellerin verimleri ve gösterdikleri etkiler hesaplanır. Panelin güneş ışı nımını alması ile birlikte elektrik üretimi baş lar fakat verimlerin % 100 olmamasından dolayı güneş ten gelen enerjinin bir kısmı elektrik enerjisine dönü şürken bir kısmı da ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Bu olay panellerin ısınmasına neden olur, güneş hü crelerinin ısınması ile akım (I) artarken, gerilim (V, Volt) değ eri düş er. Gerilimdeki düş üş ün akımdaki artı ştan fazla olması nedeni ile çıkış gücünde de düş üş olur ve bu, verim kaybına neden olur. Bu nedenle panel seçimi yaparken, sıcaklı ğın panel üzerindeki etkisi de değ erlendirilmelidir.
- Yaz aylarında rüz garın soğ utucu etkisinden dolayı hü cre sıcaklıkları azalmı ş ve üretim rüz garlı zamanlarda artmı ştır. Fakat kış aylarında (ör ne ğin, Ş ubat 2010) rüz garın, aş ırı soğ utucu etkisinden dolayı ü retime arttırıcı değ il azaltıcı etki yapt ı ğı gör÷lmüştür.
- Kış aylarında  $25^\circ\text{C}$ 'den daha düşük değ erlere do ğ ru gidildikçe üretim azalmı ştır.
- Ba ğ ıl nem değ erleri özellikle yaz aylarında üretimi düş ü rücü etki gösterirken kış aylarında ise ısı tutma kapasitesinden dolayı arttırıcı etki göstermi ştir.
- Kış aylarında açık gün durumunda kapasite faktörünün % 50' lere ulaş ması dikkat ç eken di ğ er bir durumdur.
- Öl çüm alınan bütün aylar için parametrelerin değ iş im katsayısı hesaplanmış, etki katsayısı belirlenmiş ve tablolar halinde sunulmu ştur.
- Bu tezde bulunan etki katsayıları, çoklu regresyon ve yapay sinir a ğ ları elde edilen model sonuçları ile karşı laş tırılmış tır. Genelde çoklu regresyondan daha iyi sonuçlar elde edilmi ştir. Ayrıca olayın fizi ğ ini yansı tması di ğ er önemli bir avantaj olarak karşı mıza çı kmaktadır.

- Elde edilen katsayılar göz önünde bulundurularak bir PV sisteminin geliştirilmesi önerilmektedir.
- Bunlara ilave olarak PV panelinin yüzeyinden belirli bir mesafeden düşey rüzgar profili ve buna bağlı ısı taşınımı Fluent paket programı yardımıyla belirlenmiştir. Rüzgarın soğutucu etkisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için rüzgarın, panelin olabildiğince çok alanını görmesi sağlanmalı ve güneş paneli rüzgarın süpürücü etkisinin oluşması için rüzgar ile paralel olacak şekilde yerleştirilmelidir.
- İstanbul şartlarının PV kurulumuna uygun olduğu belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- Abdolzadeh M. and Ameri M.,** 2009 : Improving the Effectiveness of a Photovoltaic Water Pumping System by Spraying Water over the Front of Photovoltaic Cells, *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 91-96.
- Al-Hasan A. Y.,** 1998 : A New Correlation for Direct Beam Solar Radiation Received by Photovoltaic Panel with Sand Dust Accumulated on its Surface, *Solar Energy*, Vol. 63, no. 5, pp. 323-333.
- Armstrong S., Hurley W.G.,** 2010 : A New Methodology to Optimize Solar Energy Extraction under Cloudy Conditions, *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 780-787.
- Armstrong S., Hurley W.G.,** 2010 : A Thermal Model for Photovoltaic Panels under Varying Atmospheric Conditions, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, pp. 1488-1495.
- Badescu V.,** 2006 : Simple Optimization Procedure for Silicon-Based solar Cell interconnection in a Series-Parallel PV Module, *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, pp. 1146-1158.
- Bergauer-Culver B., Jäger C.,** 1998 : Estimation of The Energy Output of A Photovoltaic Power Plant in The Austrian Alps, *Solar Energy*, Vol. 62, no: 5, pp. 319-324.
- Bisquert J., Cahen D., Hodes G., Ruhle S. and Zaban A.,** 2004 : Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate, Mesoporous Dye-Sensitized Solar Cells, *The Journal of Physical Chemistry B.*, Vol. 108, pp. 8106-8118.
- Bücher K.,** 1997 : Site Dependence of the Energy Collection of PV Modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 47, pp. 85-94.
- California Energy Commission,** 2001 : A Guide to Photovoltaic System Design and Installation, CA, USA
- Cernivec G., Krc J., Smole F. and Topic M.,** 2006 : Band-gap Engineering in CIGS Solar Cells Using Nelder-Mead Simplex Optimization Algorithm, *Thin Solid Films*, Vol. 511-512, pp. 60-65.
- Çolak I, and Yildirim D.,** 2009 : Evolving a line following robot to use in shopping centers for entertainment, *35<sup>TH</sup> Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Conference IECON 09*, , Porto, Portugal, November 03-05.
- Dincer I. and Rosen M.A.,** 2005 : Thermodynamic Aspects of Renewables and Sustainable Development, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 9, pp. 169-189.
- Durna A. S.,** 2009 : Hareketli Bir Profilin Etrafındaki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi, *Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- Ghoneim A. A.**, 2006 : Design Optimization of Photovoltaic Powered Water Pumping Systems, *Energy Conversions and Management*, Vol. 47, pp. 1449-1463.
- Gong X. and Kulkarni M.**, 2005 : Design Optimization of a Large-scale Rooftop Photovoltaic System, *Solar Energy*, Vol. 78, pp. 362-374.
- Gül G.**, 2008 : Güneş Gözelerinin Üretilmesinde Son Gelişmelerin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Jones A. D., Underwood C. P.**, 2001 : A Thermal Model for Photovoltaic Systems, *Solar Energy*, vol. 70, pp. 349-359.
- Joshi A. S., Tiwari A., Tiwari G. N., Dincer I. and Reddy B. V.**, 2009 : Performance Evaluation of a Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) (glass-to-glass) System, *International Journal of thermal sciences*, Vol. 48, pp. 154-164.
- Kim J. P., Lim H., Song J. H., Chang Y. J., Jeon C. H.**, 2011 : Numerical Analysis on the Thermal Characteristics of Photovoltaic Module with Ambient Temperature Variation, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 95, pp. 404-407.
- Landsberg P. T. and Markvart T.**, 1998 : The Carnot Factor in Solar Cell Theory, *Solid-State Electronics*, Vol. 42, no. 4, pp. 657-659.
- Markvart T. and Landsberg P.T.**, 2002 : Thermodynamics And Reciprocity of Solar Energy Conversion, *Physica E.*, Vol. 14, pp. 71-77.
- Omubo-Pepple V. B., Israel-Cookey C., Alaminokuma G. I.**, 2009 : Effects of Temperature, Solar Flux and Relative Humidity on the Efficient Conversion of Solar Energy to Electricity, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 35, No. 2, pp. 173-180.
- Ross R. T. and Hsiao T. L.**, 1997 : Limits on the Yield of Photochemical Solar Energy Conversion, *Journal of Applied Physics*, Vol. 48, pp. 4783-4785.
- Skoplaki E., Boudouvis A. G. and Palyvos J. A.**, 2008 : A Simple Correlation for the Operating Temperature of Photovoltaic Modules of Arbitrary Mounting, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 92, pp. 1393-1402.
- Smestad G. P.**, 2004 : Conversion of Heat and Light Simultaneously Using a Vacuum Photodiode And The Thermionic and Photoelectric Effects, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 82, pp. 227-240.
- Soto W. De.**, 2004 : Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance, *M.S. thesis*, University of Wisconsin-Madison, WI.
- Şahin, A. D.**, 1996 : Aylık Ortalama Güneş Işınımı Hesaplamalarında Ardışık Yerine Koyma Yöntemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Şahin A. D., Dincer I., and Rosen M. A.**, 2007 : Thermodynamic Analysis of Solar Photovoltaic Cell Systems, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 91, pp. 153-159.
- Şahin, A.D., Kadioğlu, M. and Şen Z.**, 2001 : Monthly clearness index values of Turkey by harmonic analysis approach, *Energy Conversion and Manegement*, Vol. 42, pp. 933-940.

- Şenol R.**, 2005: Güneş İzlemeli Fotovoltaik Pillerin Mobil Ölçüm İstasyonlarına Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye
- Şen, Z.**, 2004: Solar energy in progress and future research trends, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol.30, pp. 367-416.
- Topcu S. and Öney S.**, 1994 : The Estimation of Hourly Total Irradiation for Cloudy Sky in Istanbul, *Renewable Energy*, Vol. 4, pp. 223-226.
- Würfel P.**, 2002 : Thermodynamic Limitations to Solar Energy Conversion, *Physica E.*, Vol. 14, pp. 18-26.
- Yenilenebilir Enerji Kanunu** (Kanun No: 6094 Kabul Tarihi : 29.12.2010), <<http://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k6094.html>>, alındığı tarih 08.04.2011.
- Yerli B.**, 2009 : Güneş Enerjisi Fizibilite Hesabı ve Derince/Kocaeli Uygulaması, *Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Öztopal A., Şahin A. D.**, 2010 : Effect of Derating Factors on Photovoltaics under Climatic Conditions of Istanbul, *ICESET 2010 : International Conference on Energy Systems Engineering and Technology*, July 28-30, Paris, France.
- Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Öztopal A., Şahin A. D.**, 2010 : Atmosferik Değişkenlerin İstanbul İklim Şartlarında Fotovoltaik Elektrik Üretimine Etkisi, *8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- Url-1**<<http://www.gunessistemleri.com/index.php>>, alındığı tarih 10.03.2011.
- Url-2**< <http://www.eie.gov.tr/> >, alındığı tarih 06.04.2011.
- Url-3**< <http://www.anova.com.tr/tr/urun/s/19/ANSYS%2BFLUENT/>>, alındığı tarih 14.04.2011.
- Url-4**<<http://jullio.pe.kr/fluvent6.1/help/html/ug/node452.htm>>, alındığı tarih 15.04.2011.



## **EKLER**

### **EK A : Çizelgeler**

**Çizelge A.1 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin toplam etkisi.

| $\mu+1.5\sigma$ | Global Işınım (%) | Difuz Işınım (%) | Bağıl Nem (%) | Atmosfer Sıcaklığı (%) | PV Hücre Sıcaklığı (%) | Rüzgar Şiddeti (%) | Mutlak Toplam (%) |
|-----------------|-------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| May.09          | 11,97             | 0,78             | 0,11          | -0,53                  | -0,80                  | 0,56               | 14,74             |
| Haz.09          | 14,46             | 6,43             | 1,54          | -3,46                  | -0,65                  | 1,74               | 28,29             |
| Tem.09          | 17,98             | 17,77            | 7,48          | -4,14                  | 11,94                  | -5,31              | 64,62             |
| Ağu.09          | 11,39             | 1,53             | -0,37         | -2,66                  | -2,43                  | 0,30               | 18,68             |
| Şub.10          | 11,39             | 1,53             | -0,37         | -2,66                  | -2,43                  | 0,30               | 18,68             |
| Mar.10          | 15,26             | -4,70            | -0,93         | -6,15                  | -5,26                  | -0,19              | 32,50             |
| Nis.10          | 8,07              | 12,09            | 1,55          | -4,73                  | -8,50                  | -1,74              | 36,68             |

**Çizelge A.2 :** Ortalamadan 1.5 standart sapma büyük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etki katsayıları.

| $\mu+1.5\sigma$ | Global Işınım(%) | Difuz Işınım(%) | Bağıl Nem(%) | Atmosfer Sıcaklığı(%) | PV Hücre Sıcaklığı(%) | Rüzgar Şiddeti(%) |
|-----------------|------------------|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| May.09          | 0,81             | 0,05            | 0,01         | -0,04                 | -0,05                 | 0,04              |
| Haz.09          | 0,51             | 0,23            | 0,05         | -0,12                 | -0,02                 | 0,06              |
| Tem.09          | 0,28             | 0,28            | 0,12         | -0,06                 | 0,18                  | -0,08             |
| Ağu.09          | 0,63             | 0,09            | -0,02        | -0,15                 | -0,14                 | 0,02              |
| Şub.10          | 0,63             | 0,09            | -0,020439    | -0,15                 | -0,14                 | 0,02              |
| Mar.10          | 0,47             | -0,14           | -0,03        | -0,19                 | -0,16                 | -0,01             |
| Nis.10          | 0,22             | 0,33            | 0,04         | -0,13                 | -0,23                 | -0,05             |

**Çizelge A.3 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin toplam etkisi.

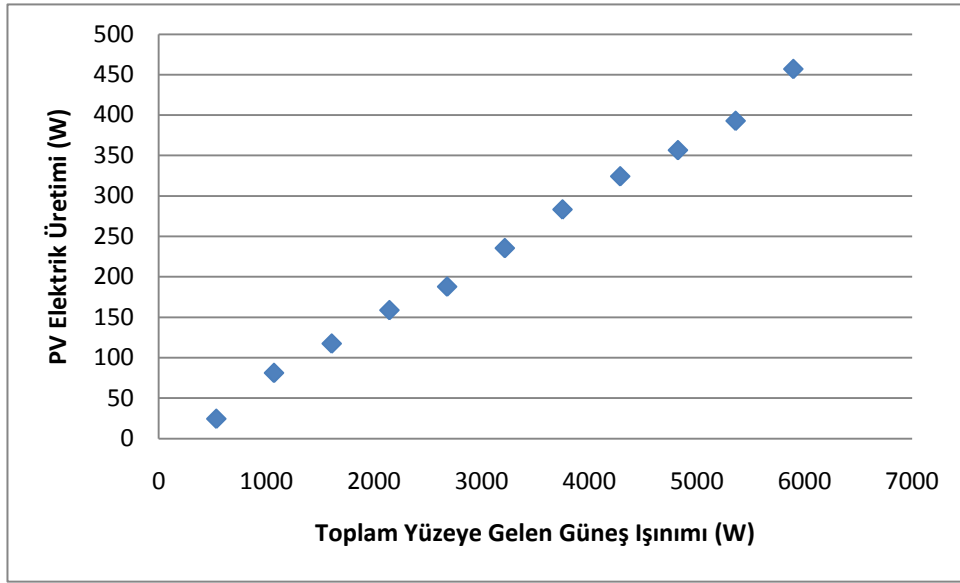
| $\mu-0.5\sigma$ | Global Işınım (%) | Difuz Işınım (%) | Bağıl Nem (%) | Atmosfer Sıcaklığı (%) | PV Hücre Sıcaklığı (%) | Rüzgar Şiddeti (%) | Mutlak Toplam (%) |
|-----------------|-------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| May.09          | -0,26             | -2,22            | -2,72         | 2,72                   | 2,37                   | -0,47              | 10,76             |
| Haz.09          | -1,93             | -2,72            | -1,40         | 0,52                   | -1,87                  | -2,16              | 10,59             |
| Tem.09          | 4,93              | 5,54             | 0,42          | -0,22                  | 5,07                   | -2,04              | 18,22             |
| Ağu.09          | 1,66              | 2,00             | 0,20          | 1,15                   | 1,71                   | 0,30               | 7,00              |
| Şub.10          | 1,66              | 2,00             | 0,20          | 1,15                   | 1,71                   | 0,30               | 7,00              |
| Mar.10          | 7,58              | 7,68             | 0,14          | -3,22                  | 4,62                   | -1,79              | 25,02             |
| Nis.10          | 9,84              | 13,40            | -0,10         | -5,50                  | 11,73                  | -3,53              | 44,10             |
| May.10          | -2,94             | -4,59            | 3,88          | -0,65                  | 14,17                  | -0,61              | 26,84             |

**Çizelge A.4 :** Ortalamadan 0.5 standart sapma küçük ve her bir ay için belirlenen meteorolojik değişkenin etki katsayıları.

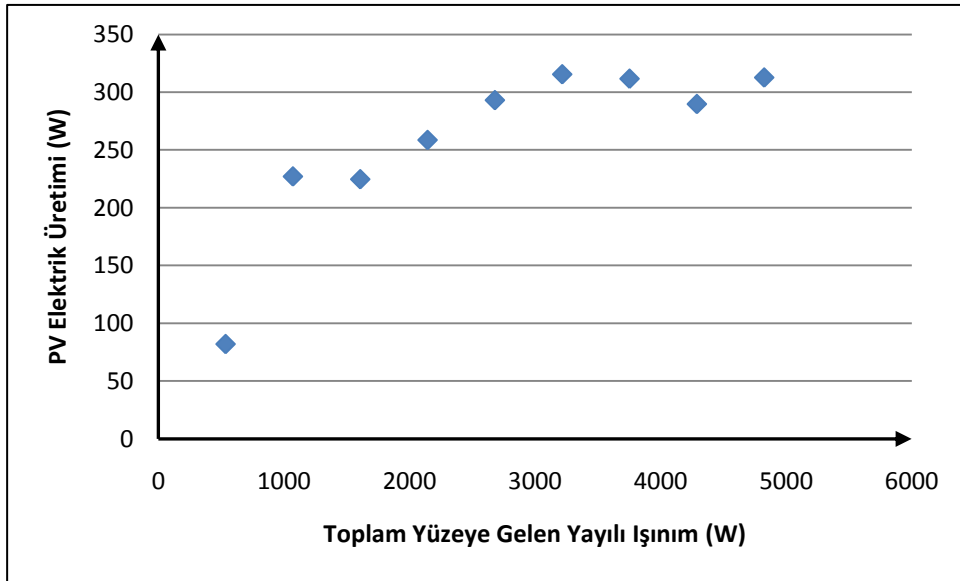
| $\mu-0.5\sigma$ | Global Işınım(%) | Difuz Işınım(%) | Bağıl Nem(%) | Atmosfer Sıcaklığı(%) | PV Hücre Sıcaklığı(%) | Rüzgar Şiddeti(%) |
|-----------------|------------------|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| May.09          | -0,02            | -0,21           | -0,25        | 0,25                  | 0,22                  | -0,04             |
| Haz.09          | -0,18            | -0,26           | -0,13        | 0,05                  | -0,18                 | -0,20             |
| Tem.09          | 0,27             | 0,30            | 0,02         | -0,01                 | 0,28                  | -0,11             |
| Ağu.09          | 0,24             | 0,29            | 0,03         | 0,16                  | 0,24                  | 0,04              |
| Şub.10          | 0,24             | 0,29            | 0,03         | 0,16                  | 0,24                  | 0,04              |
| Mar.10          | 0,30             | 0,31            | 0,01         | -0,13                 | 0,18                  | -0,07             |
| Nis.10          | 0,22             | 0,30            | -0,002       | -0,12                 | 0,27                  | -0,08             |
| May.10          | -0,11            | -0,17           | 0,14         | -0,02                 | 0,53                  | -0,02             |



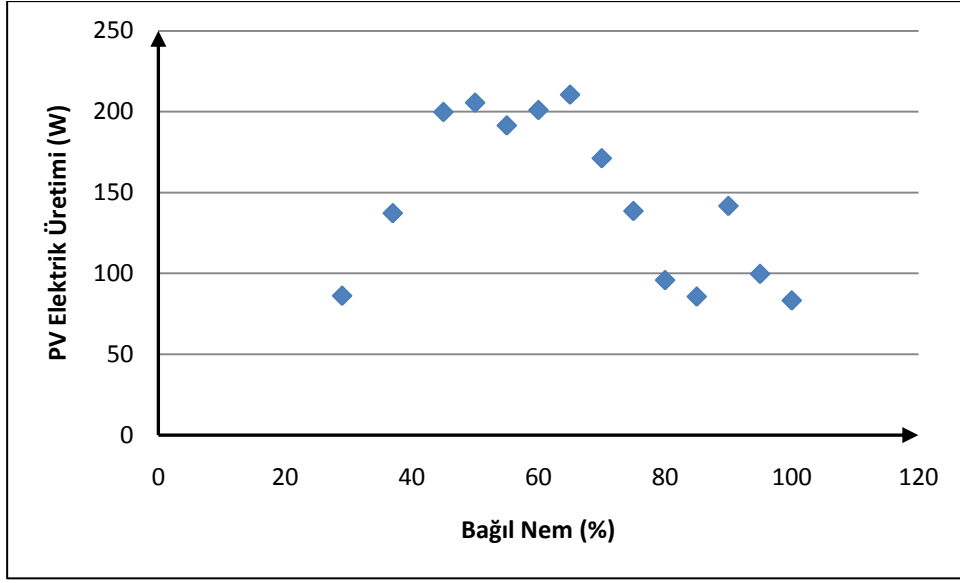
## **EK B: Şekiller**



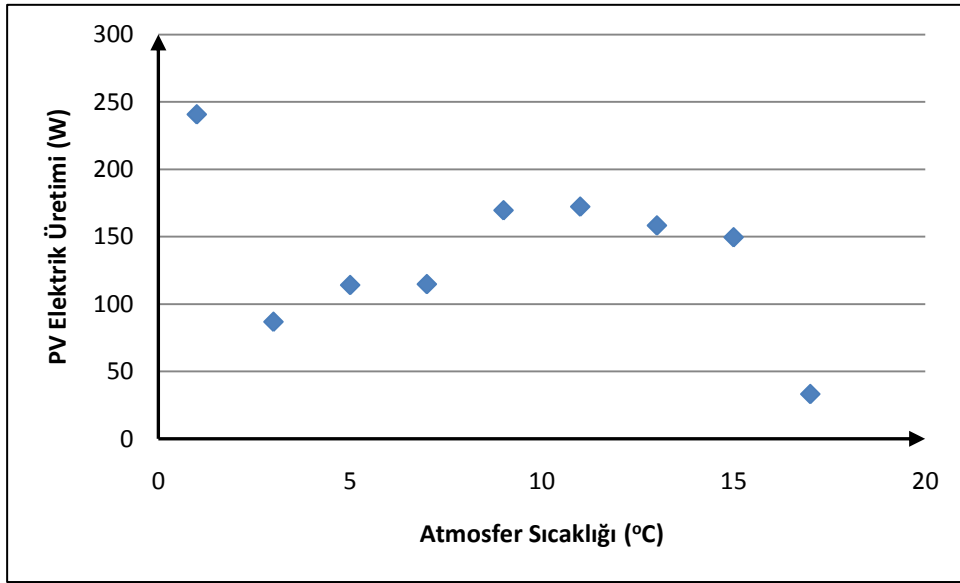
**Şekil B.1 :** Mart ayında toplam yüzeye gelen güneş ışınımı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



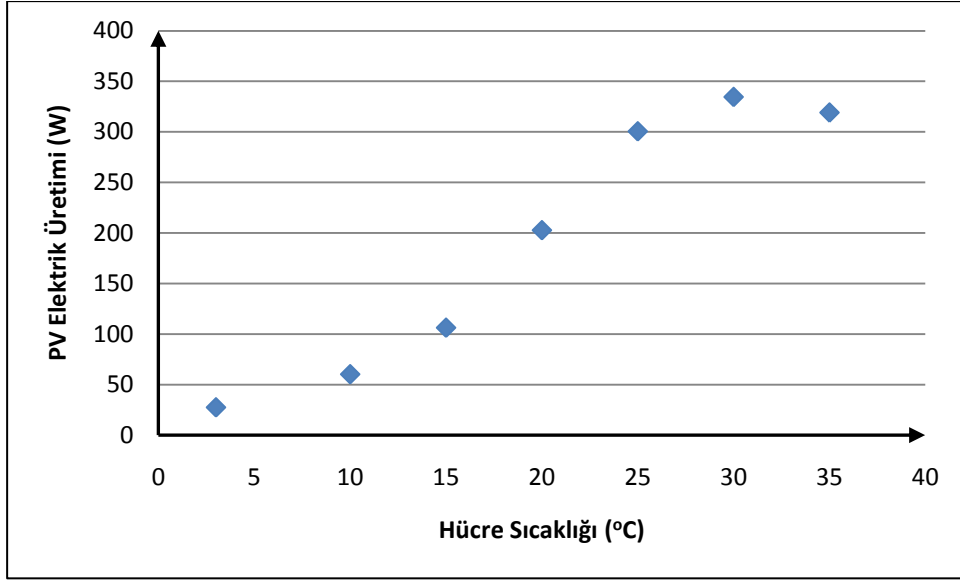
**Şekil B.2 :** Mart ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



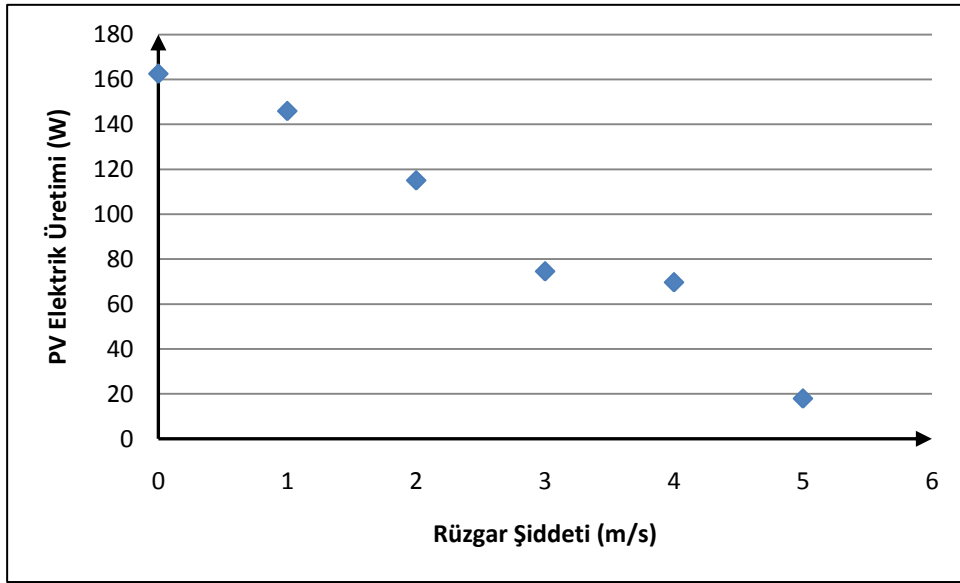
Şekil B.3 : Mart ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



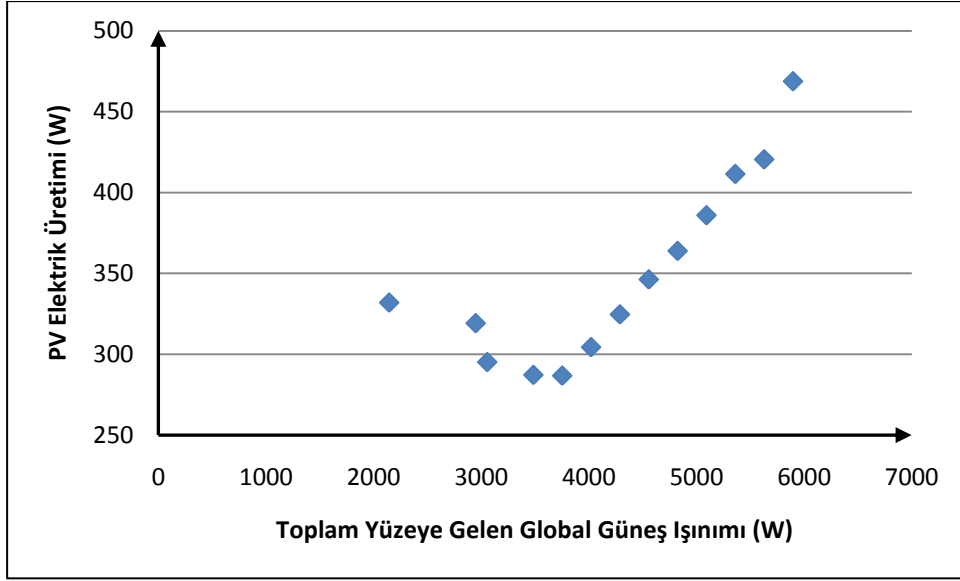
Şekil B.4 : Mart ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



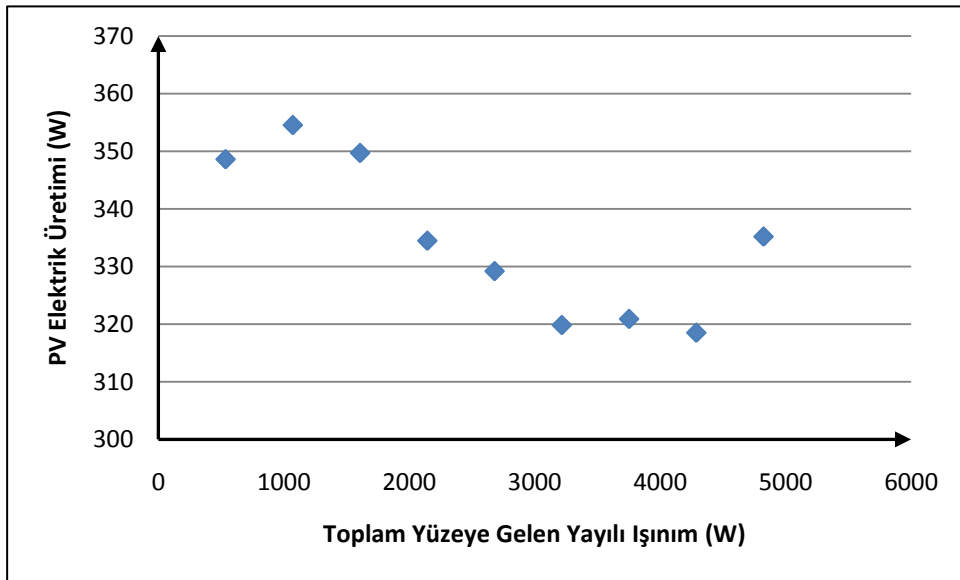
Şekil B.5 : Mart ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



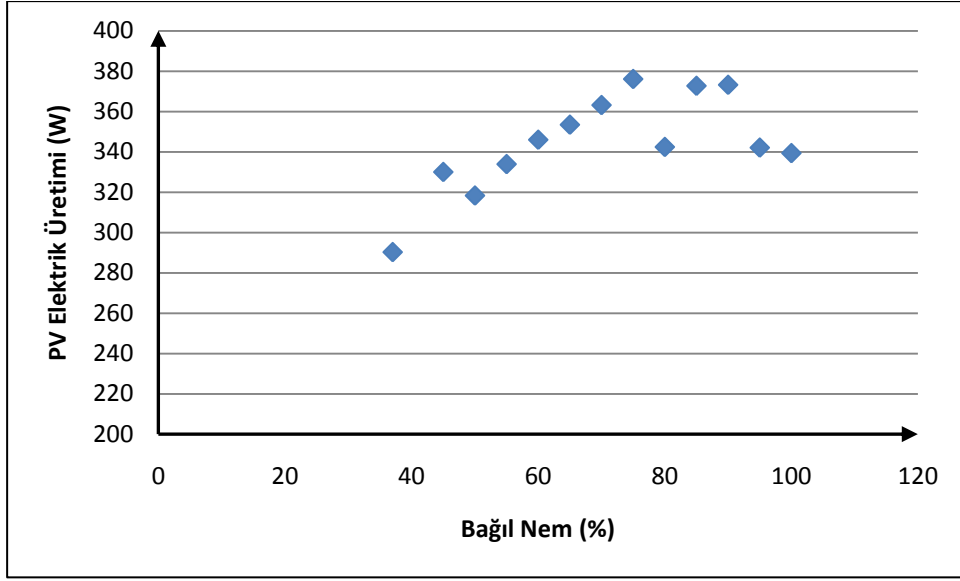
Şekil B.6 : Mart ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



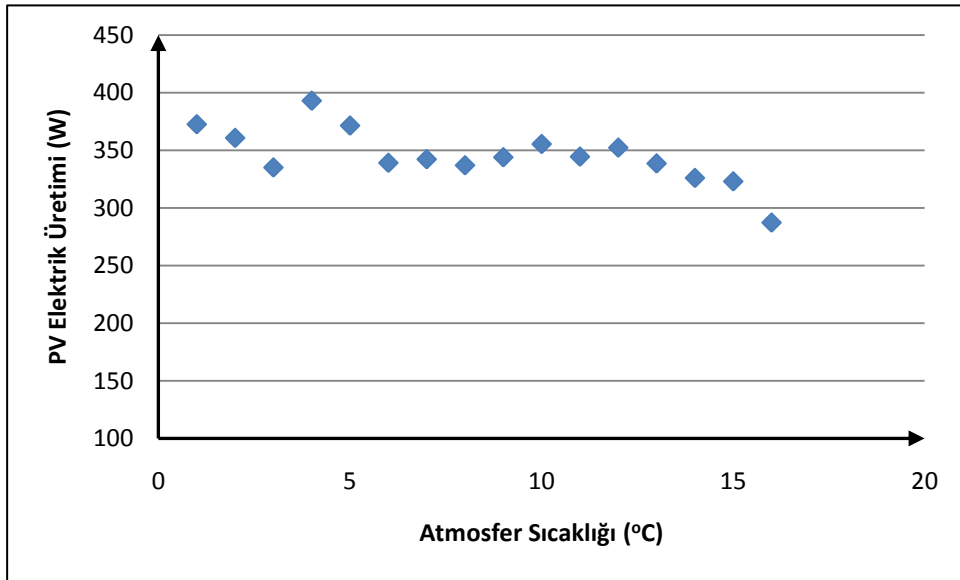
**Şekil B.7 :** Mart ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



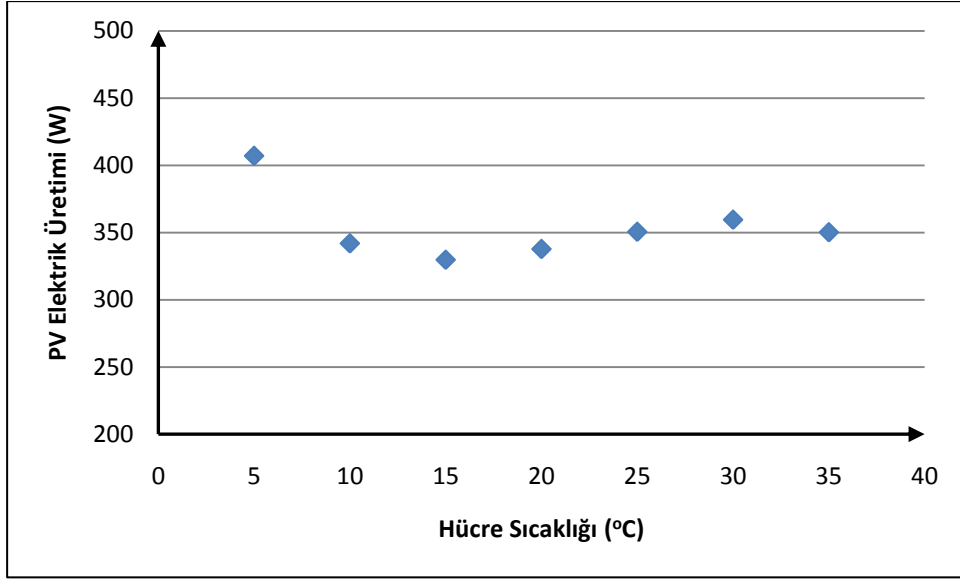
**Şekil B.8 :** Mart ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



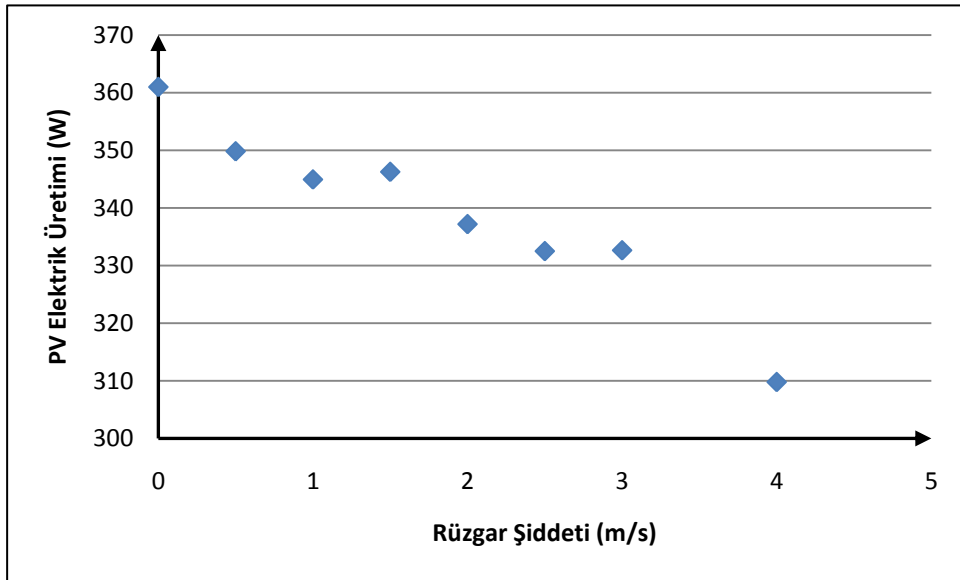
**Şekil B.9 :** Mart ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



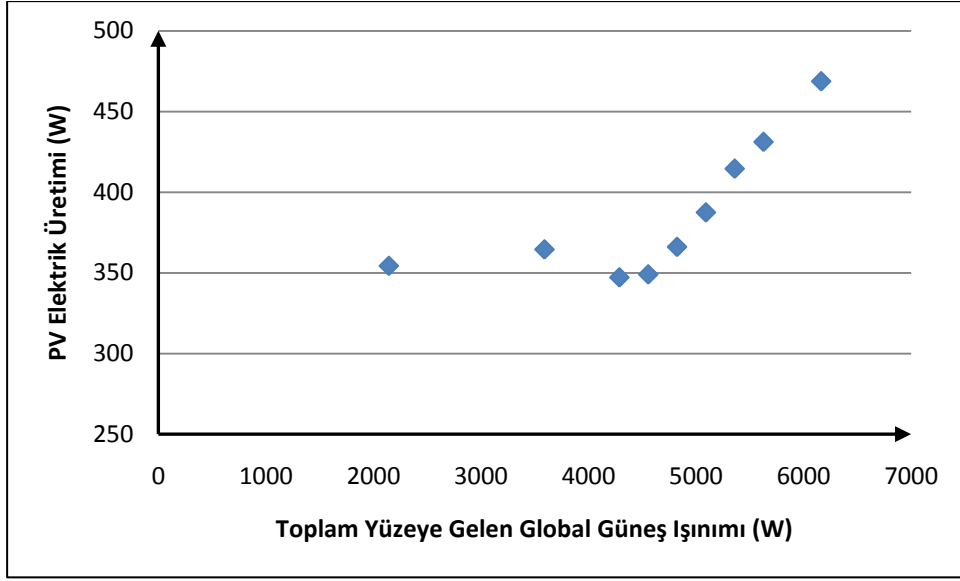
**Şekil B.10 :** Mart ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



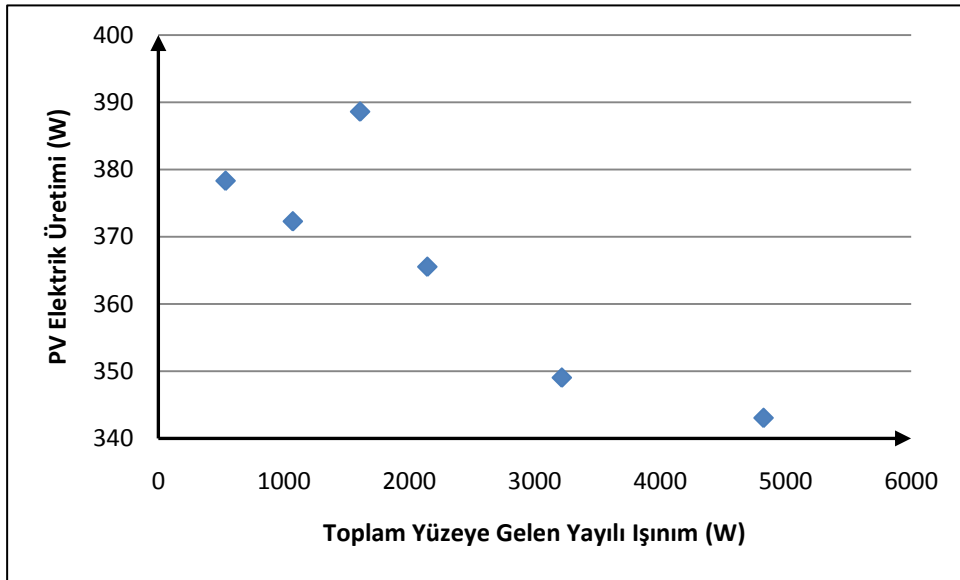
**Şekil B.11 :** Mart ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



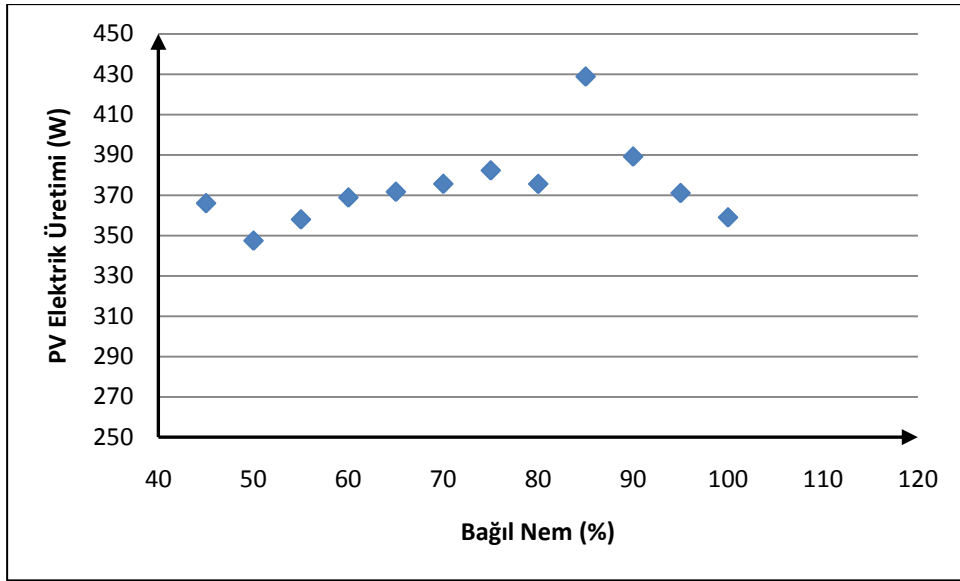
**Şekil B.12 :** Mart ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



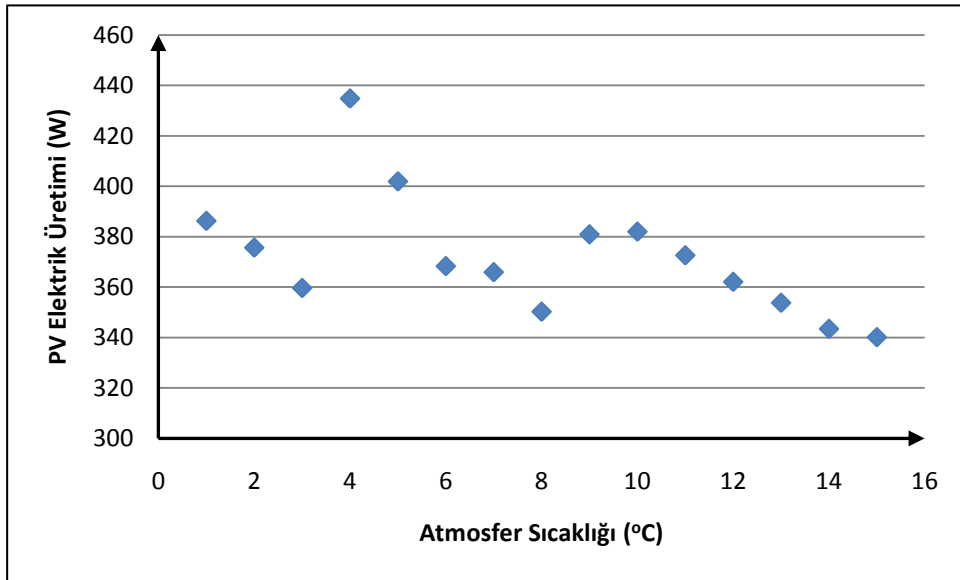
**Şekil B.13 :** Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



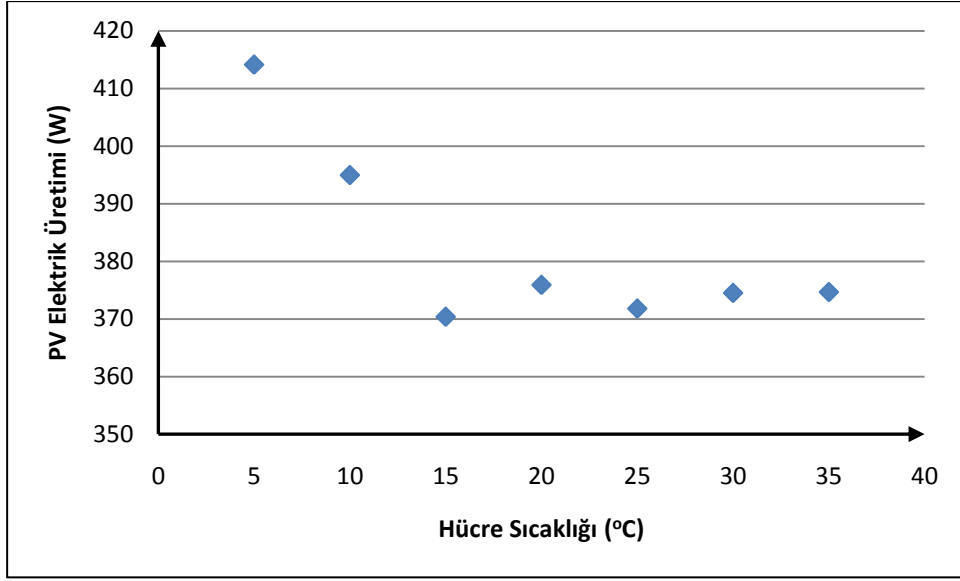
**Şekil B.14 :** Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



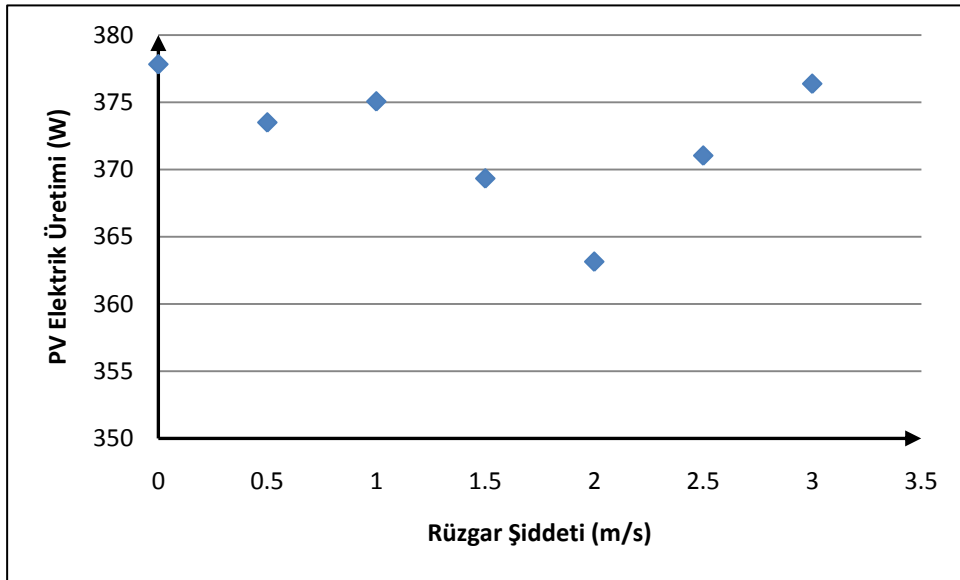
**Şekil B.15 :** Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



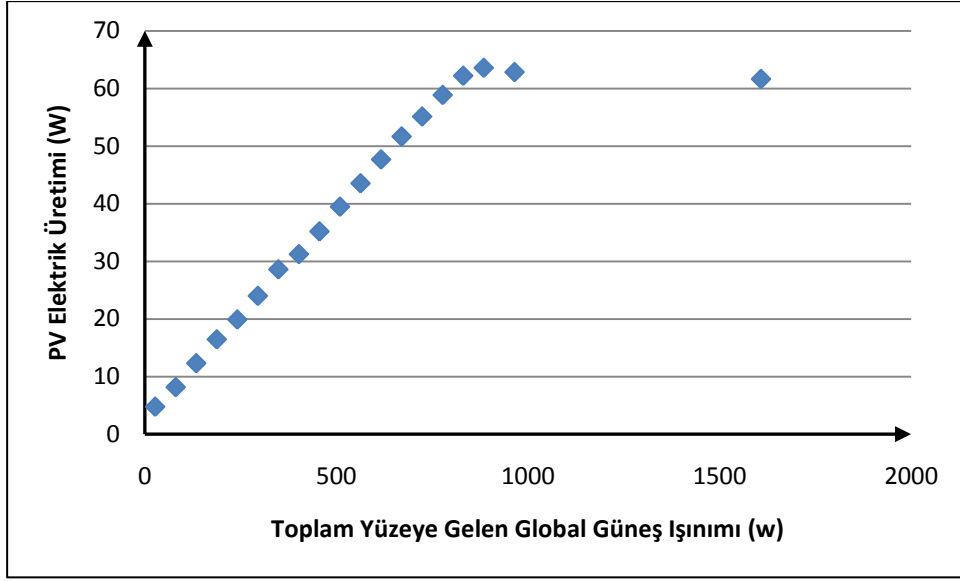
**Şekil B.16 :** Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



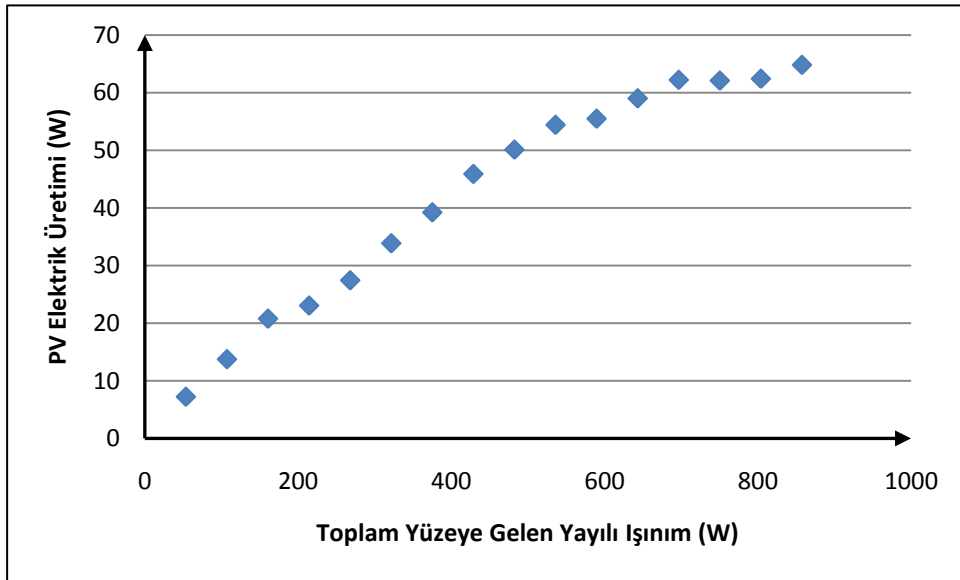
**Şekil B.17 :** Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



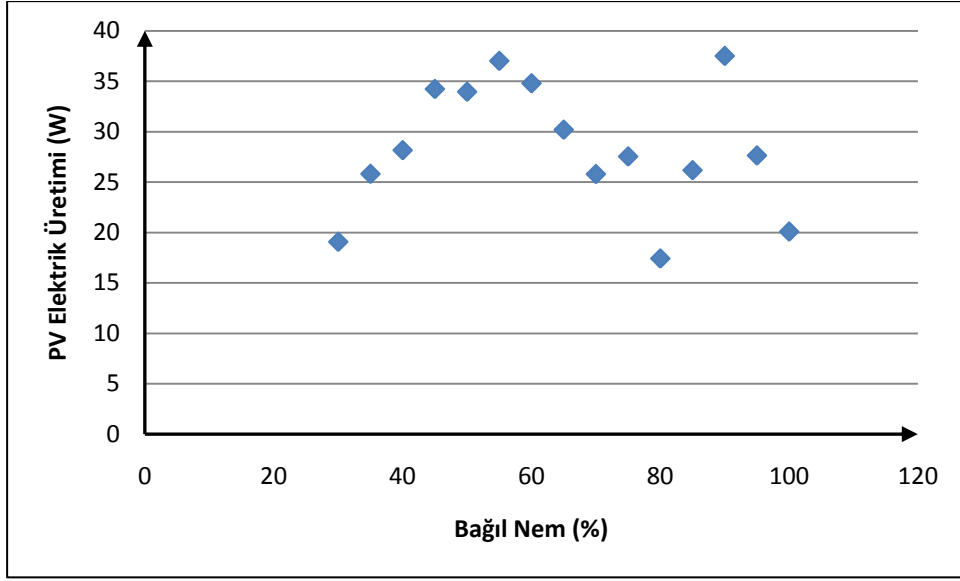
**Şekil B.18 :** Mart ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



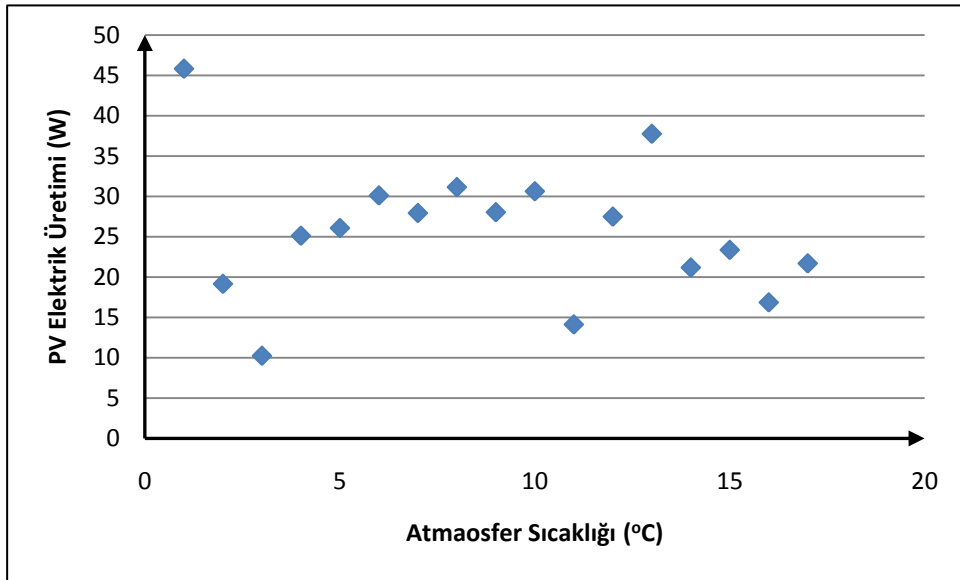
**Şekil B.19 :** Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.



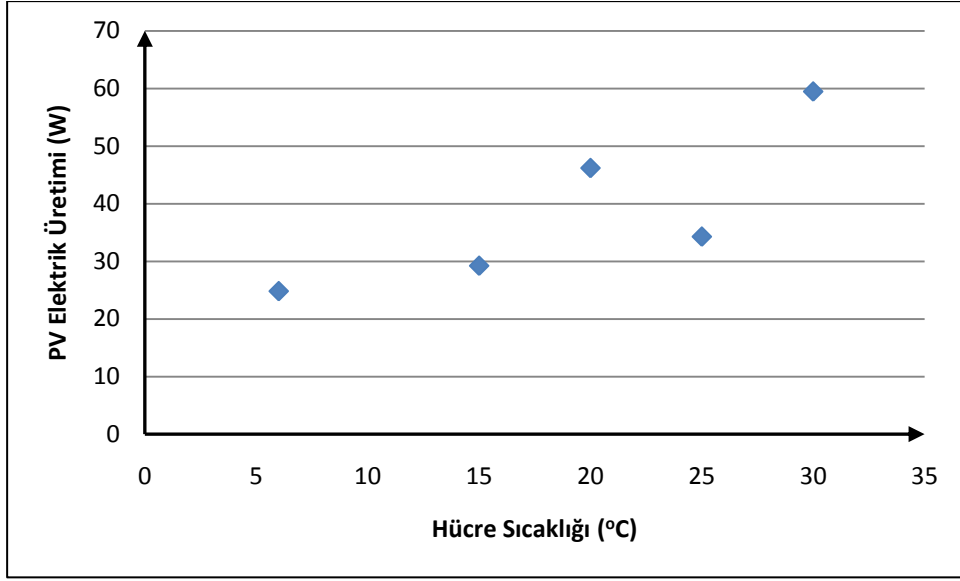
**Şekil B.20 :** Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ilişkisi.



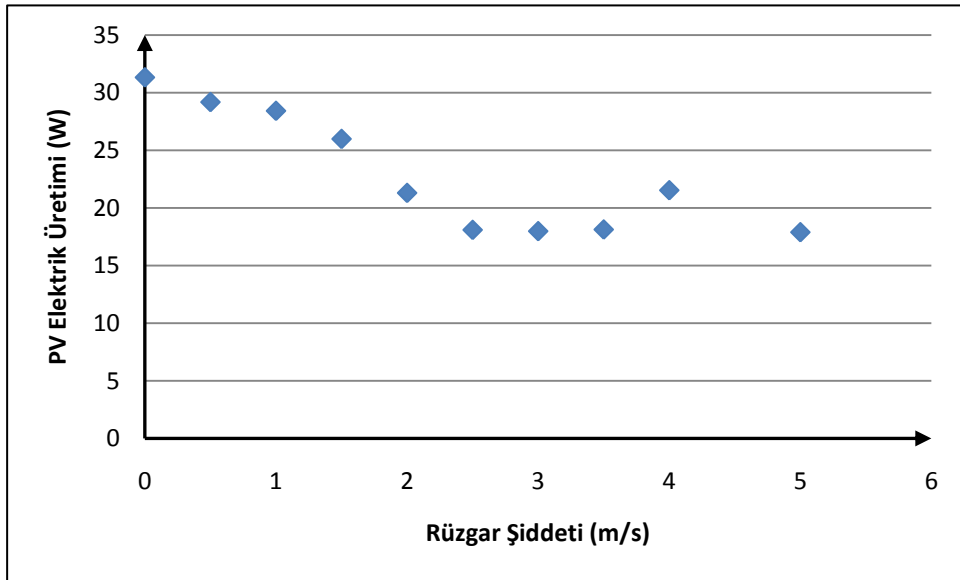
**Şekil B.21 :** Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



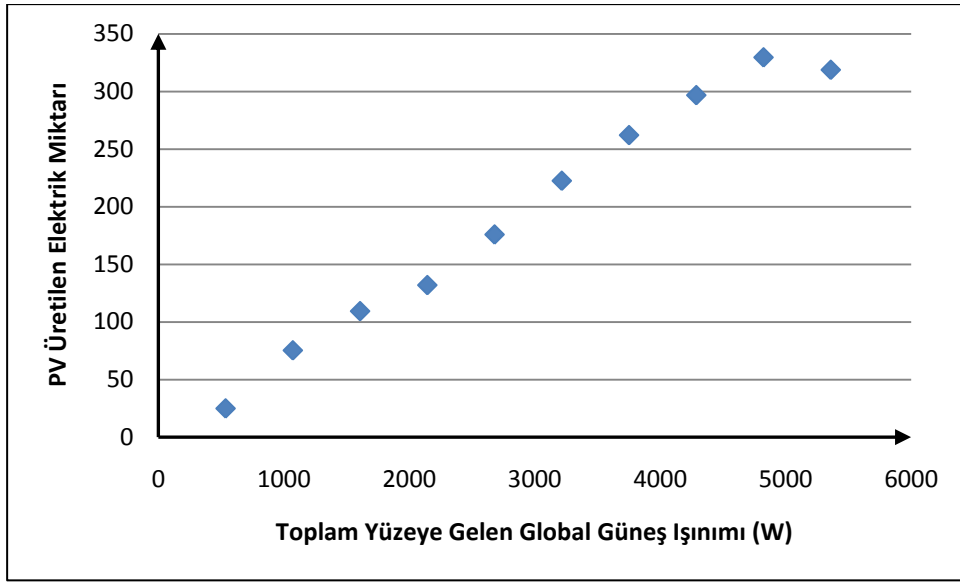
**Şekil B.22 :** Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



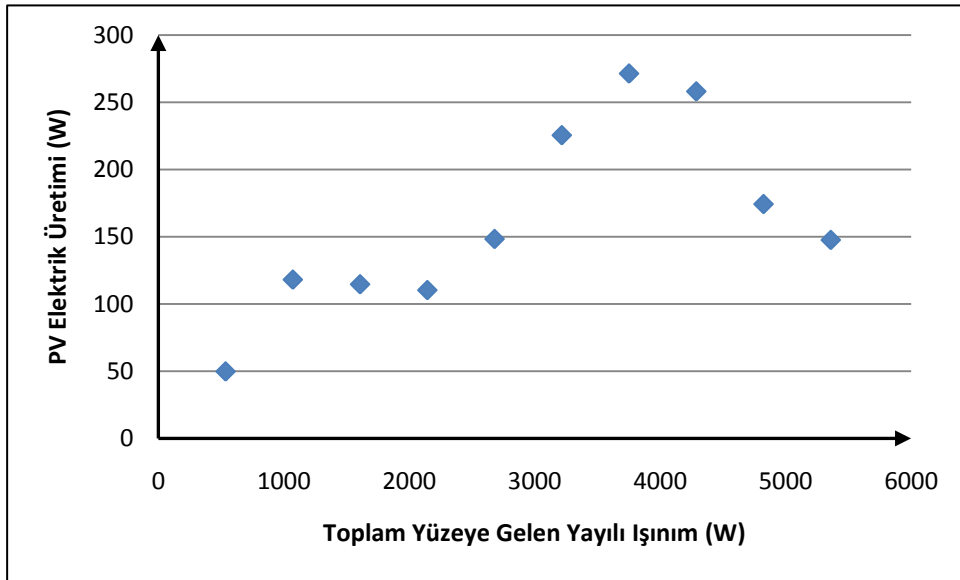
**Şekil B.23 :** Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



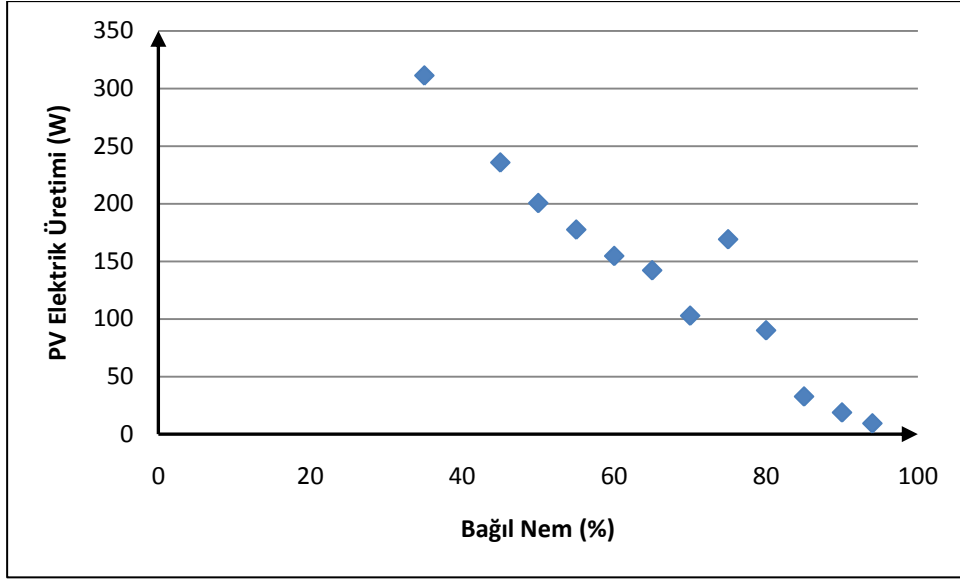
**Şekil B.24 :** Mart ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



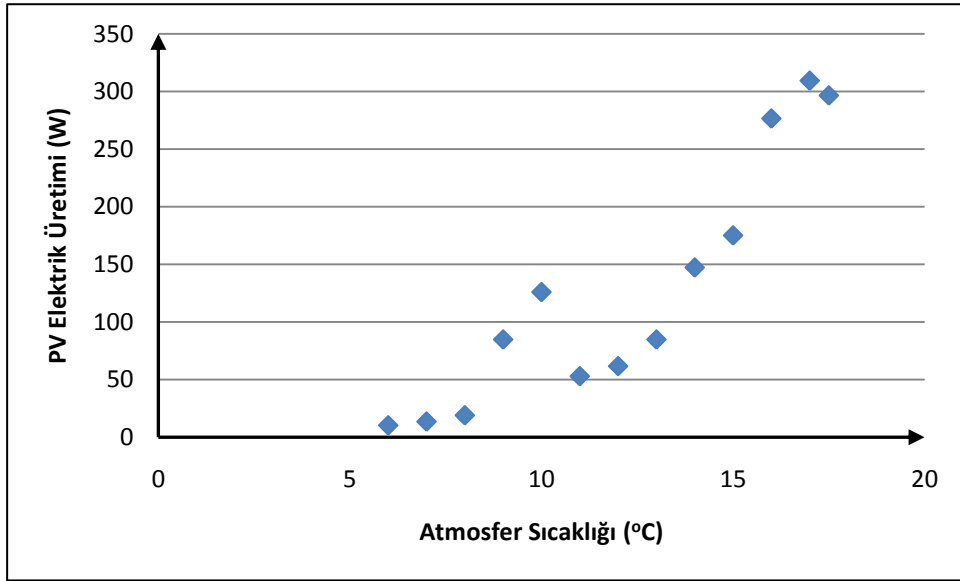
**Şekil B.25 :** Nisan '09 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



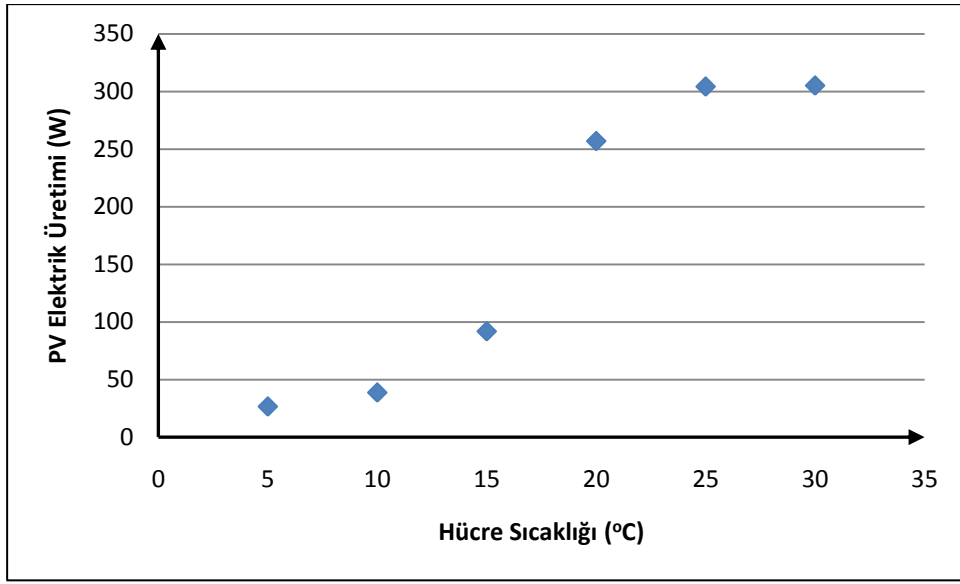
**Şekil B.26 :** Nisan '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



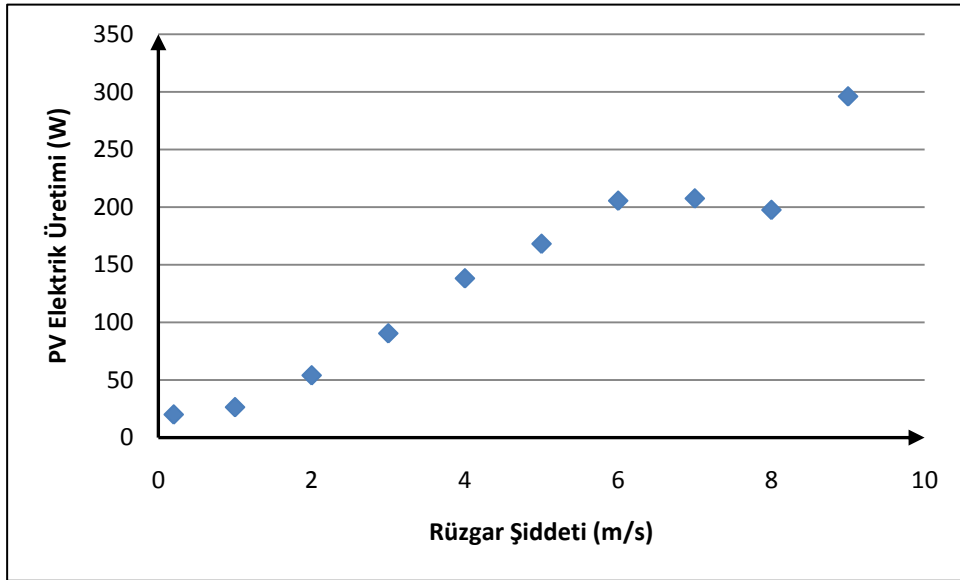
**Şekil B.27 :** Nisan '09 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



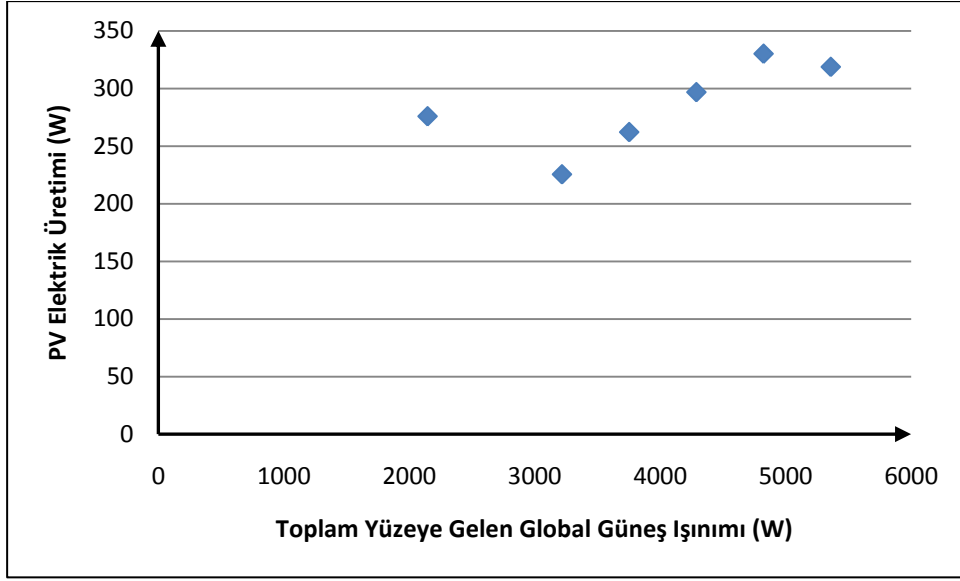
**Şekil B.28 :** Nisan '09 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



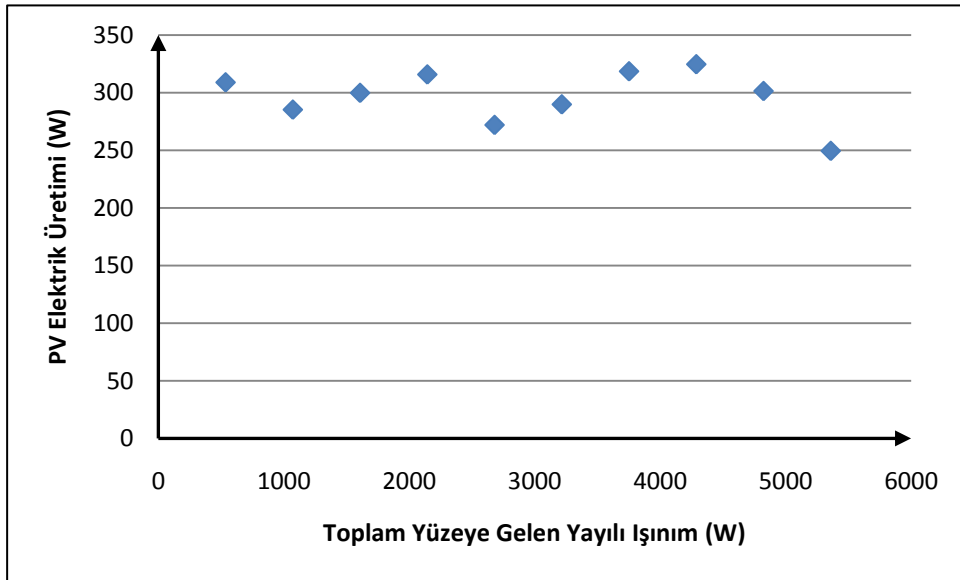
**Şekil B.29 :** Nisan '09 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



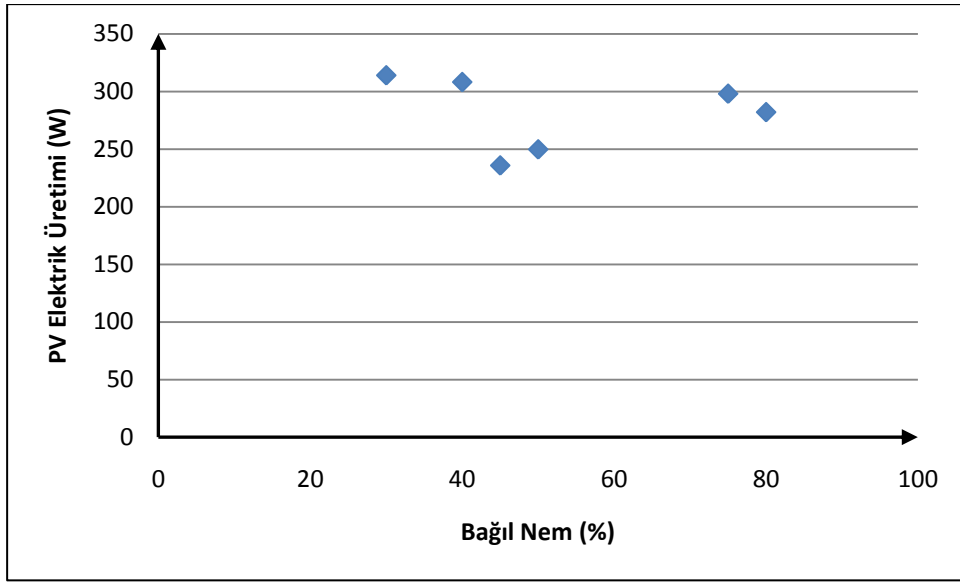
**Şekil B.30 :** Nisan '09 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



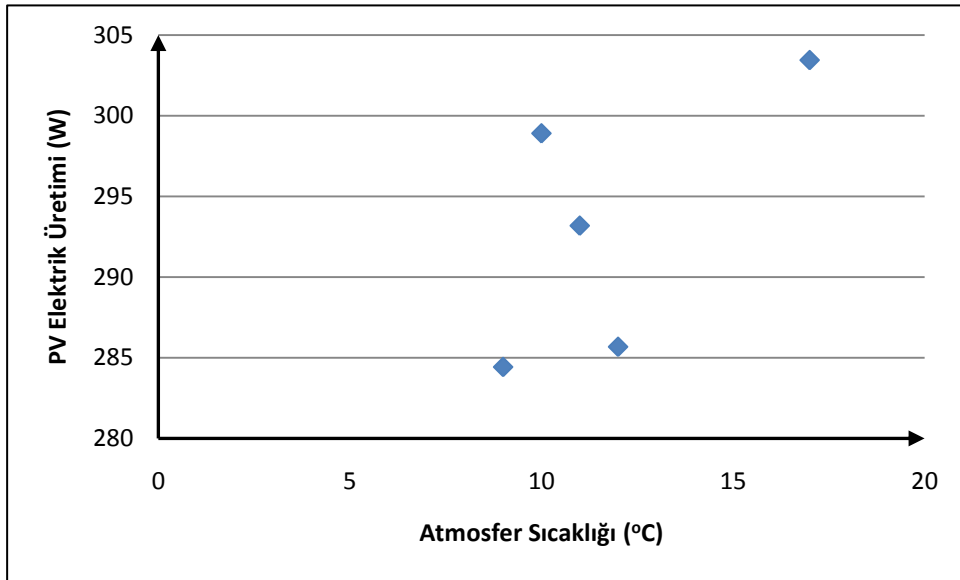
**Şekil B.31 :** Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



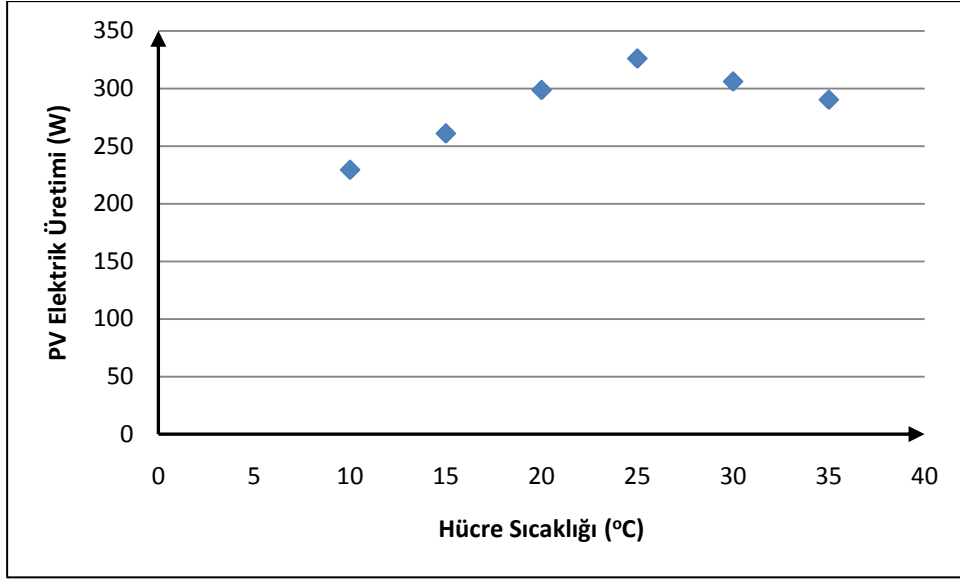
**Şekil B.32 :** Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



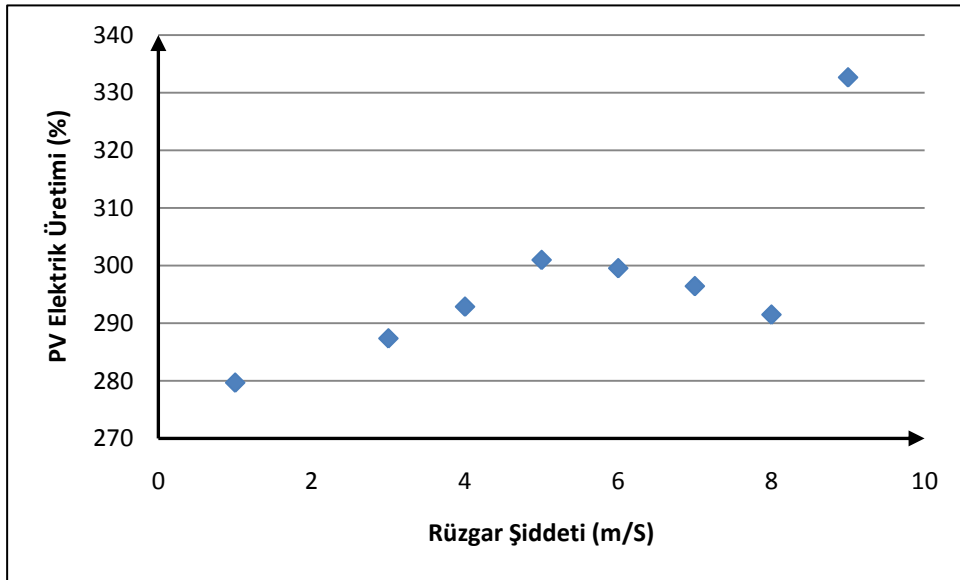
**Şekil B.33 :** Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



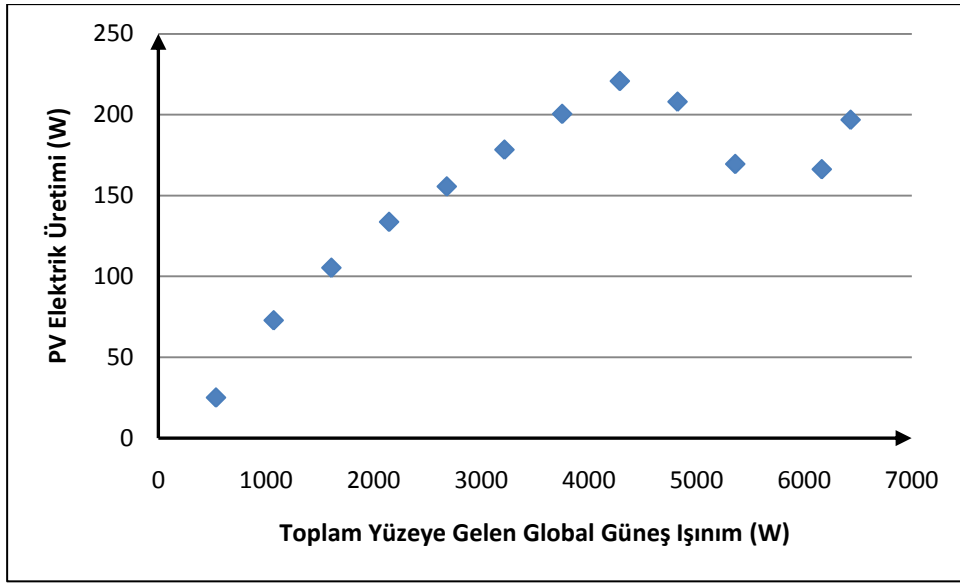
**Şekil B.34 :** Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



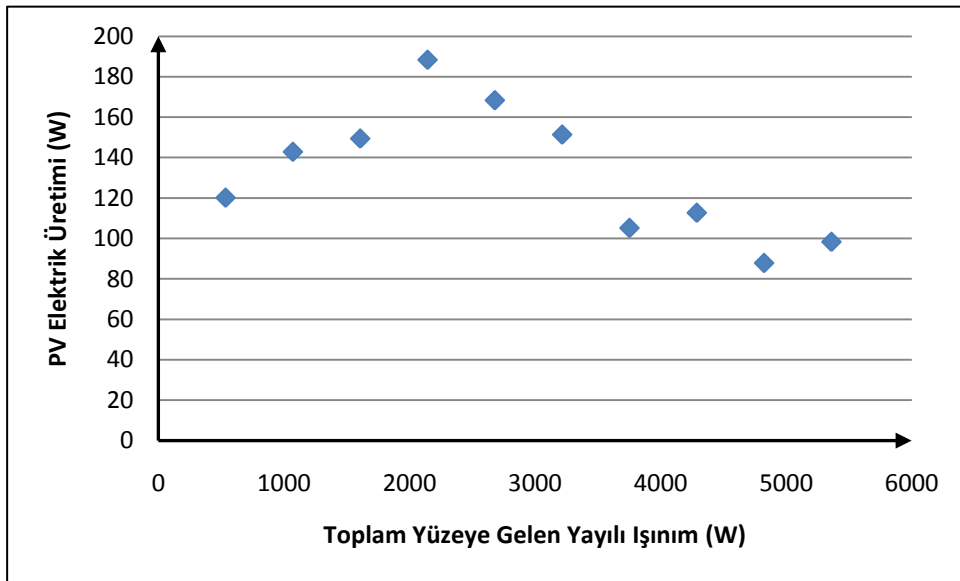
**Şekil B.35 :** Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



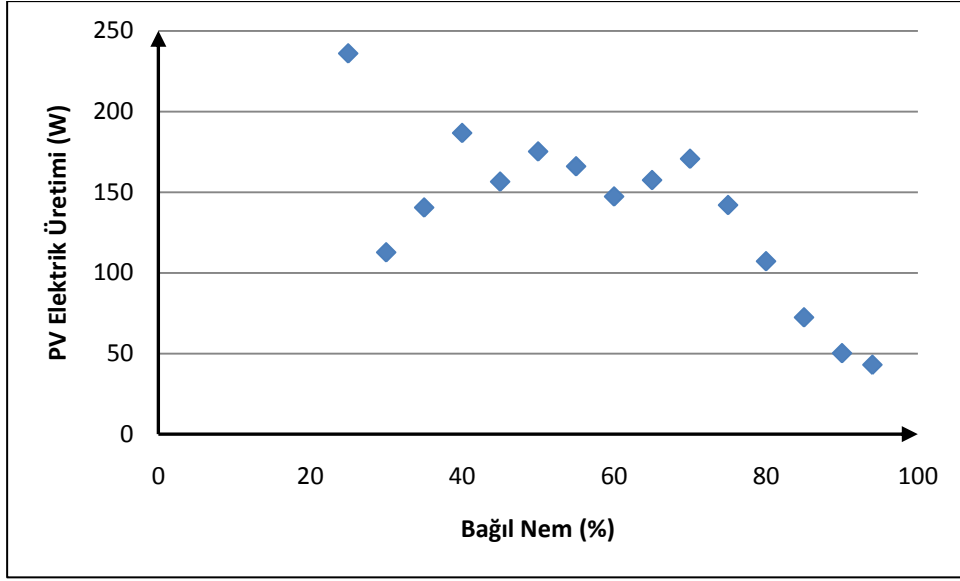
**Şekil B.36 :** Nisan '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



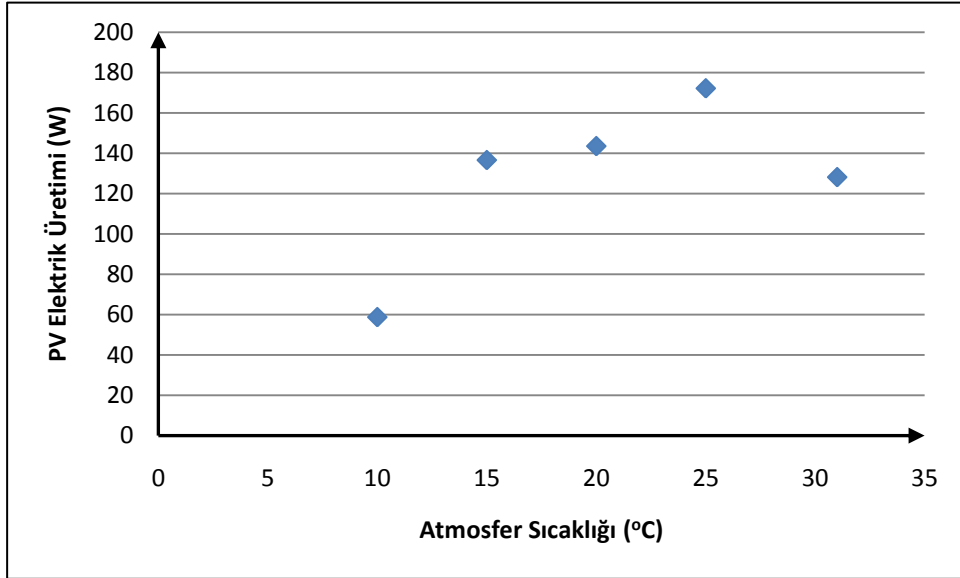
**Şekil B.37 :** Mayıs '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışınlm ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



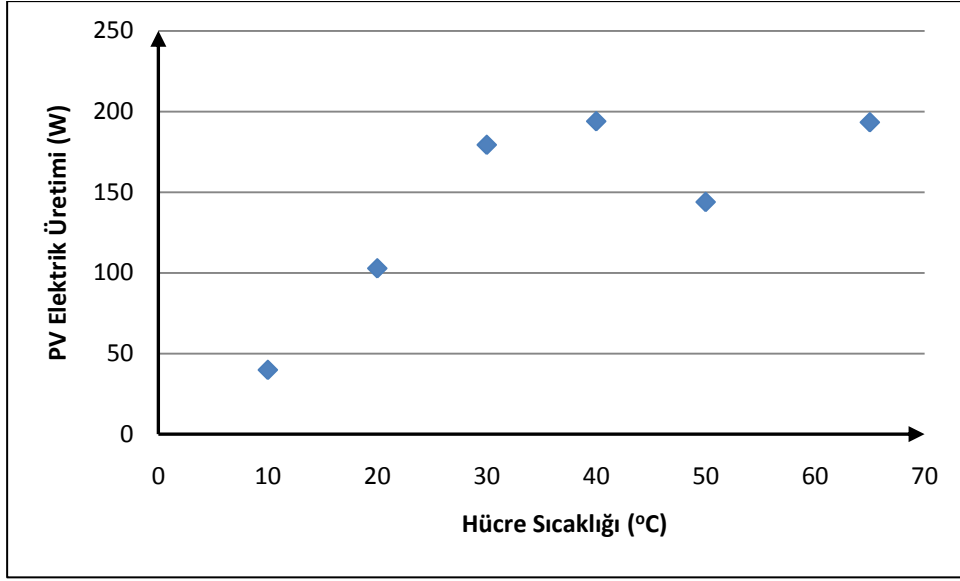
**Şekil B.38 :** Mayıs '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışınlm ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



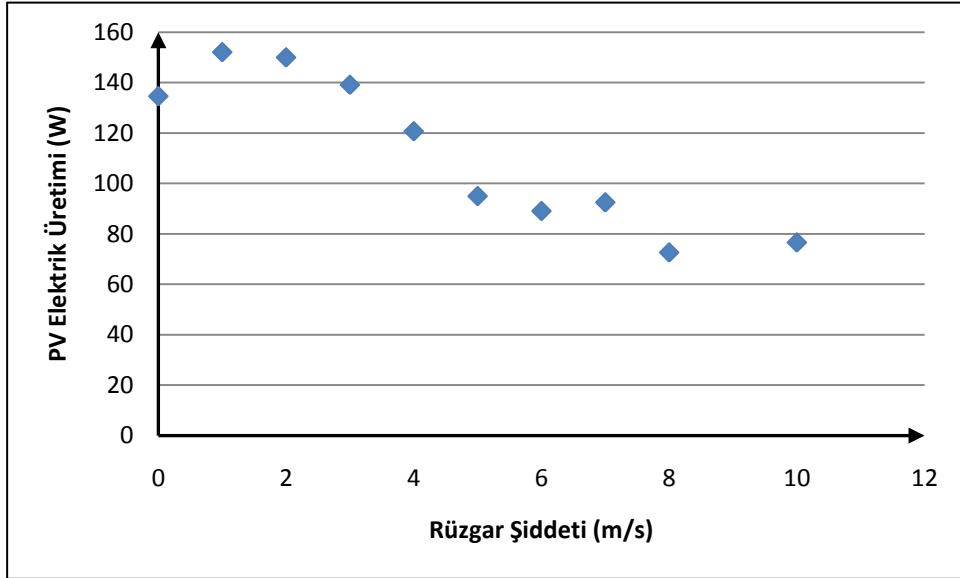
**Şekil B.39 :** Mayıs '09 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



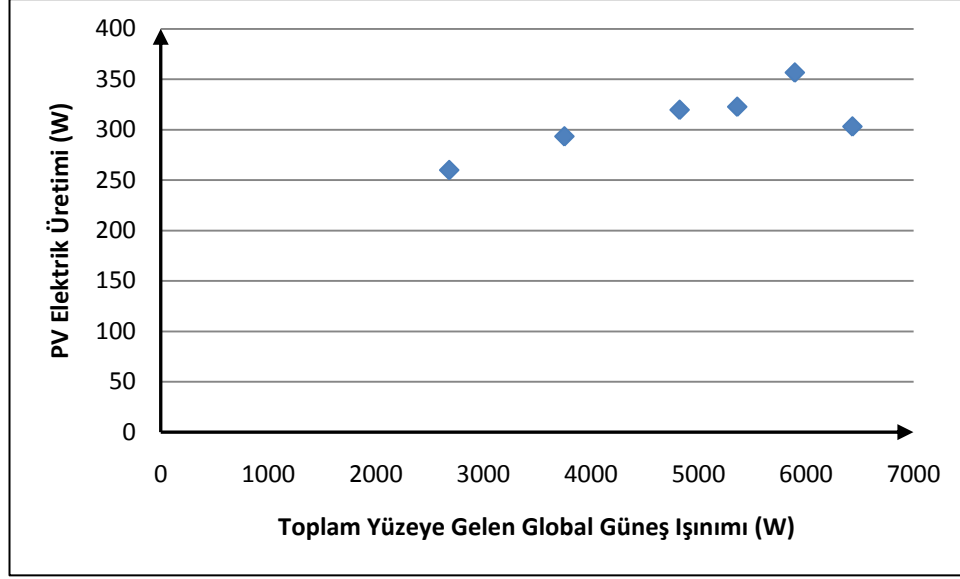
**Şekil B.40 :** Mayıs '09 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



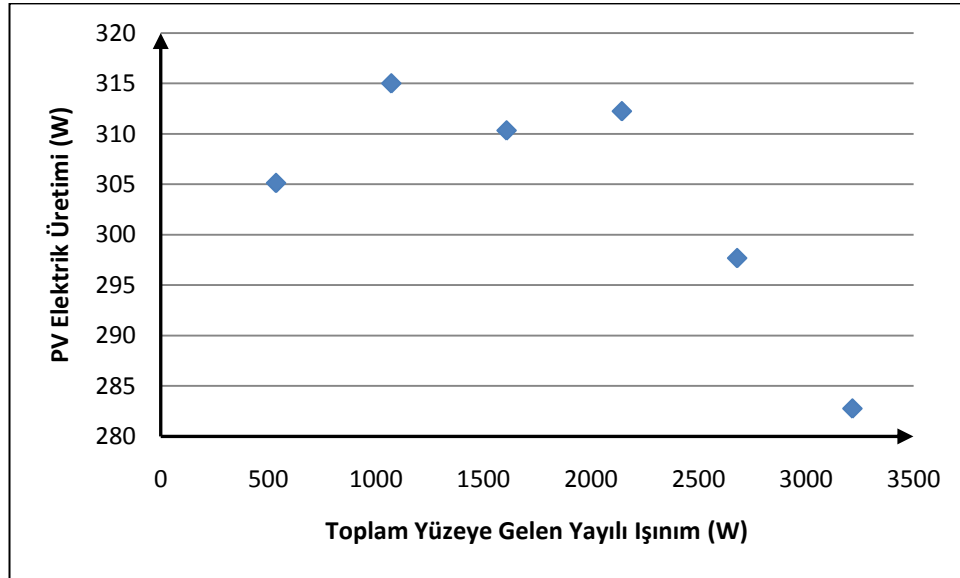
**Şekil B.41 :** Mayıs '09 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



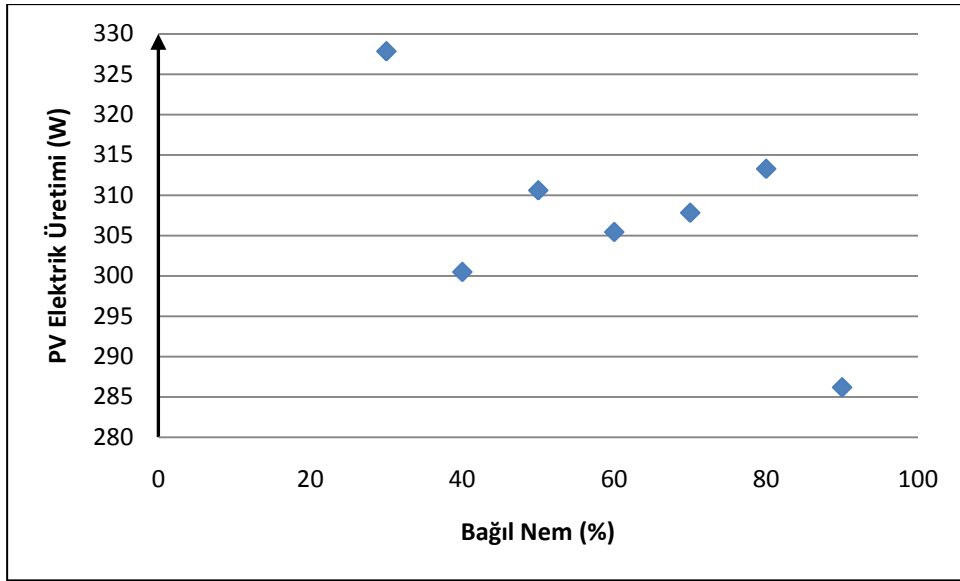
**Şekil B.42 :** Mayıs '09 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



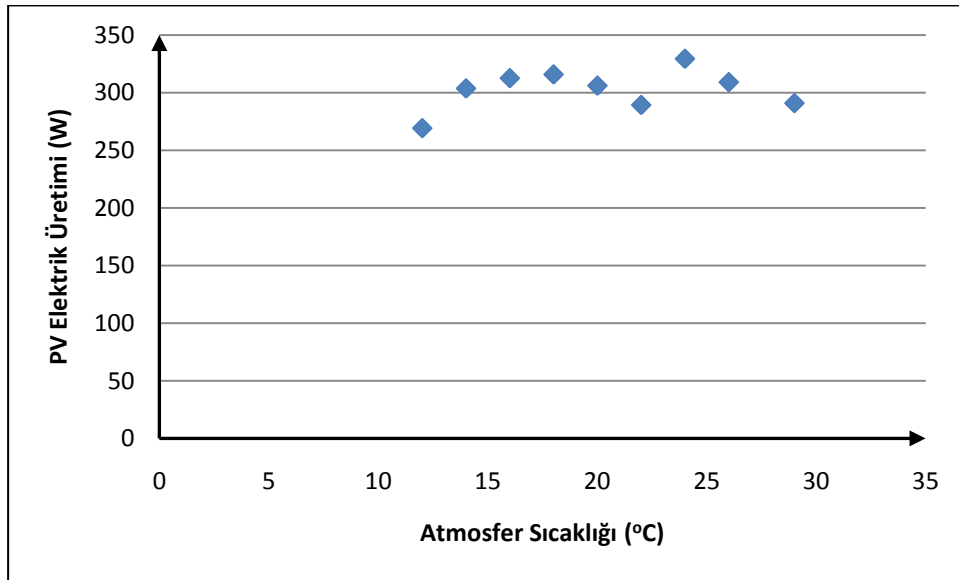
**Şekil B.43 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



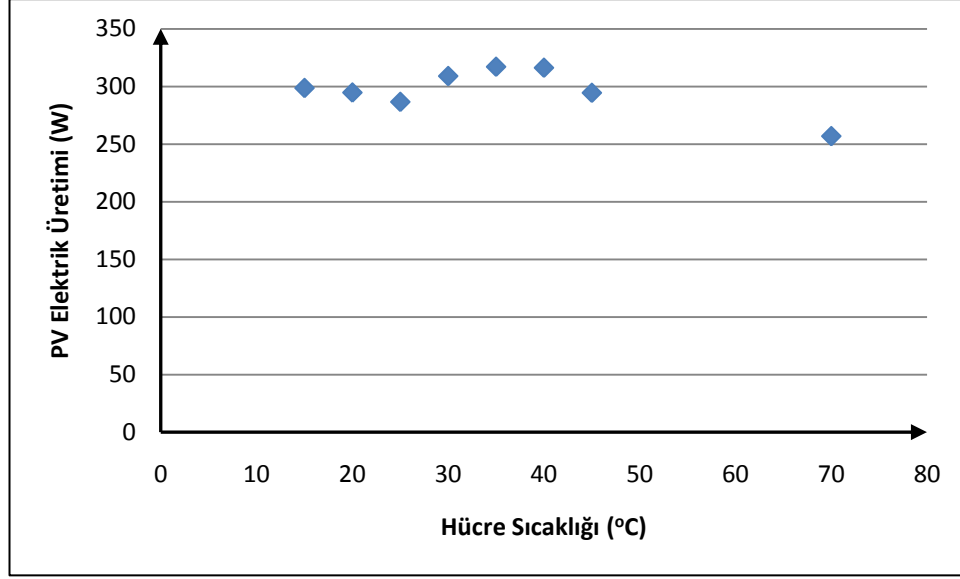
**Şekil B.44 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayıllı ışıınımlı ilişkisi.



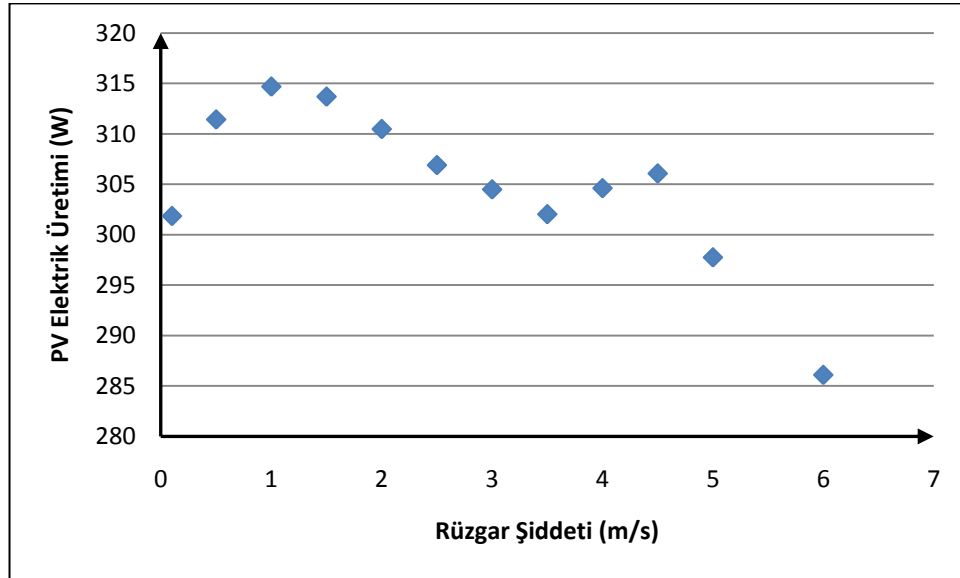
**Şekil B.45 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



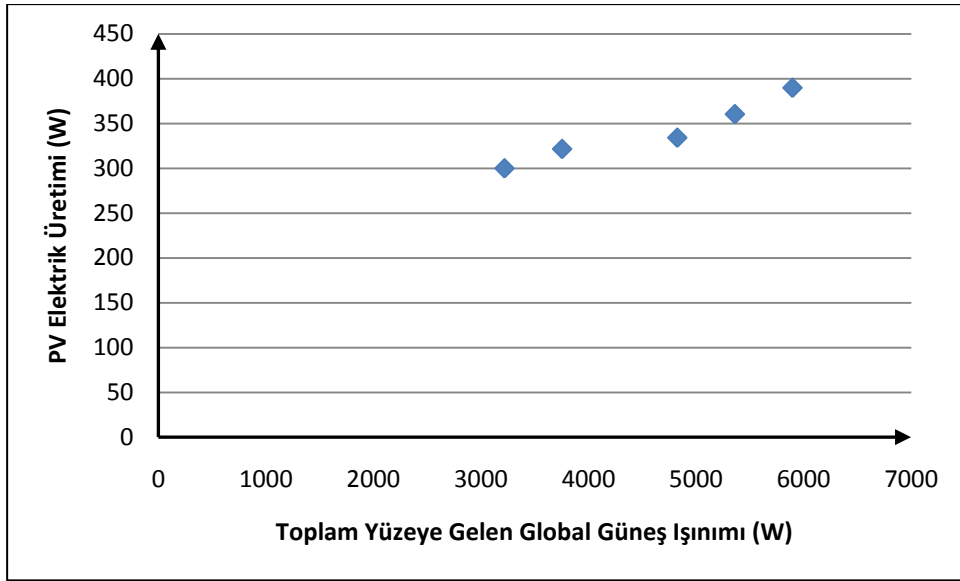
**Şekil B.46 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



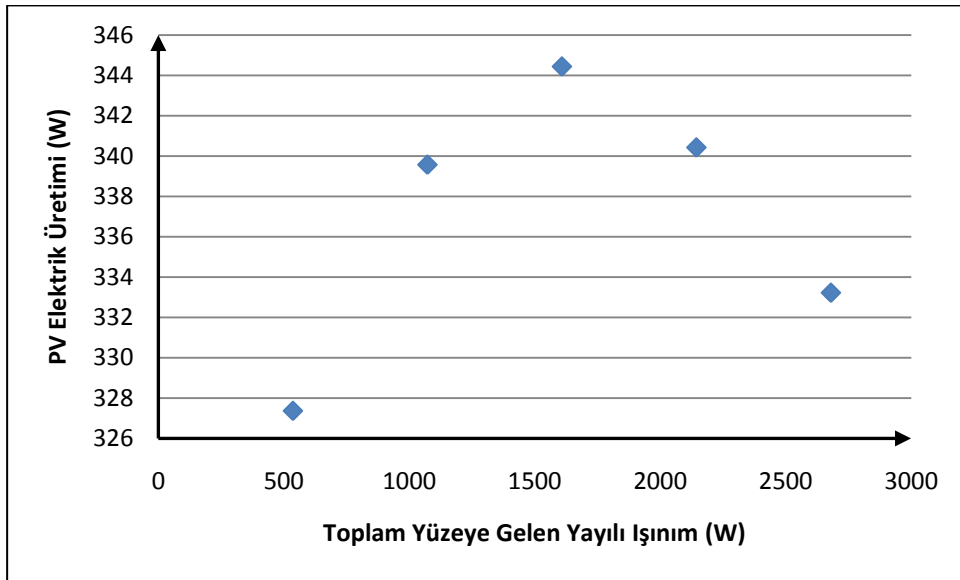
**Şekil B.47 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



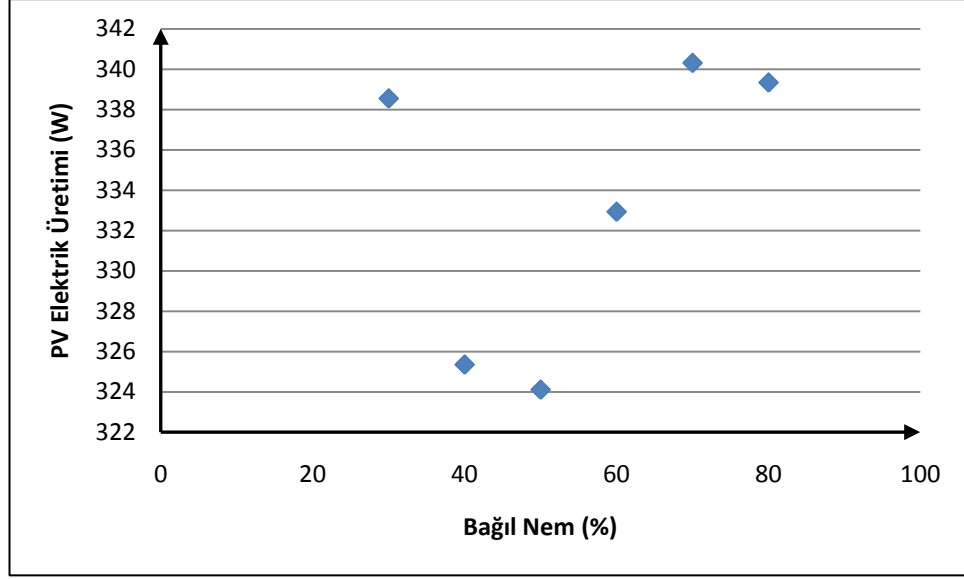
**Şekil B.48 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



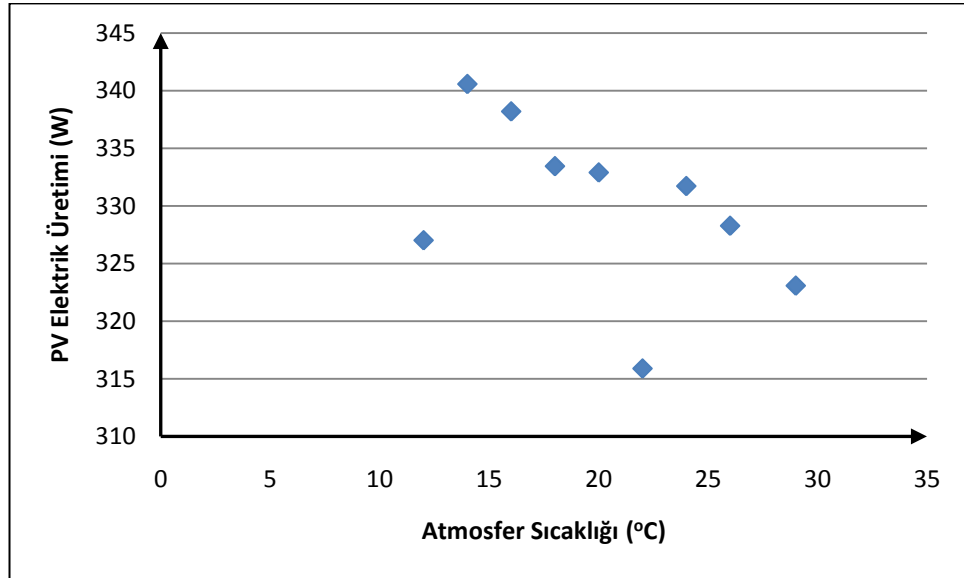
**Şekil B.49 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



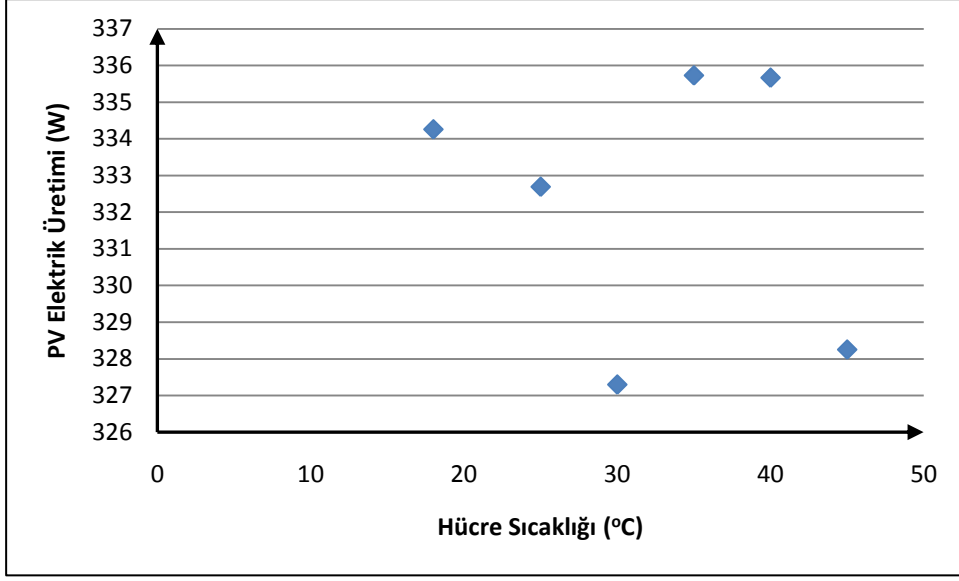
**Şekil B.50 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



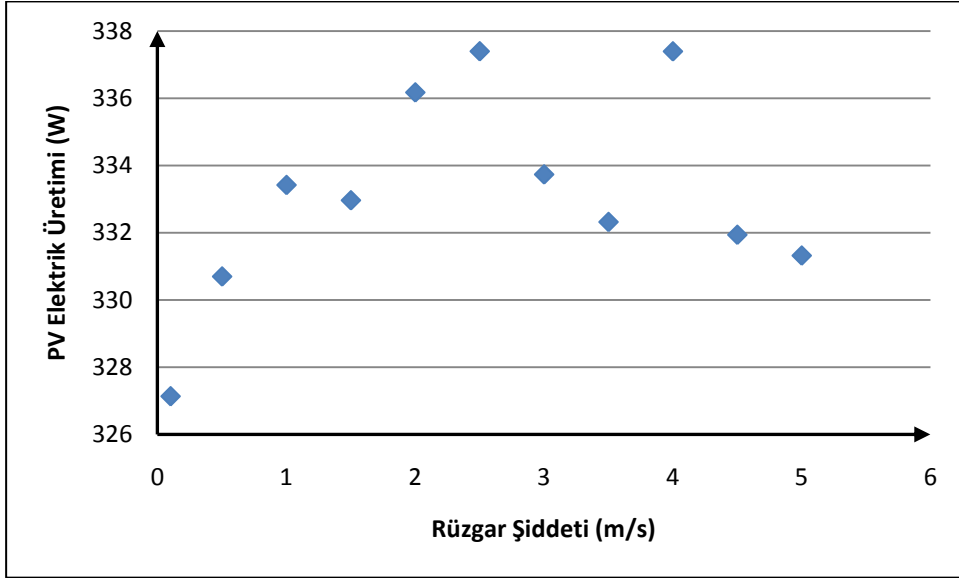
**Şekil B.51 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



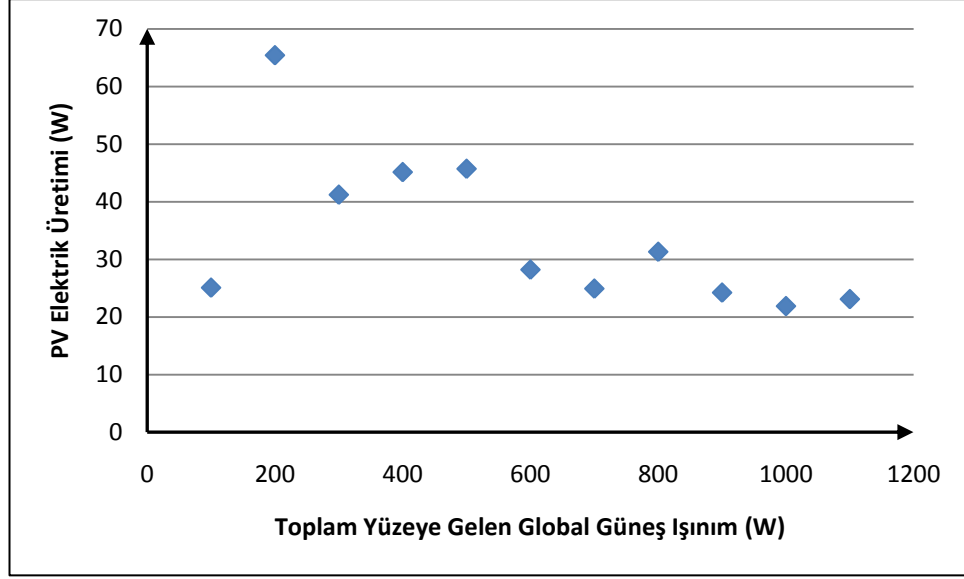
**Şekil B.52 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



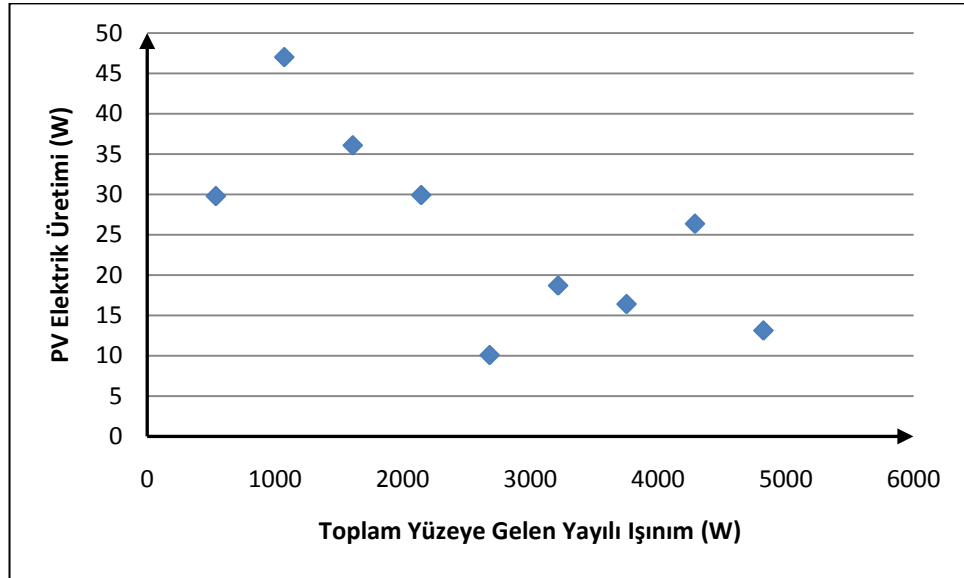
**Şekil B.53 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



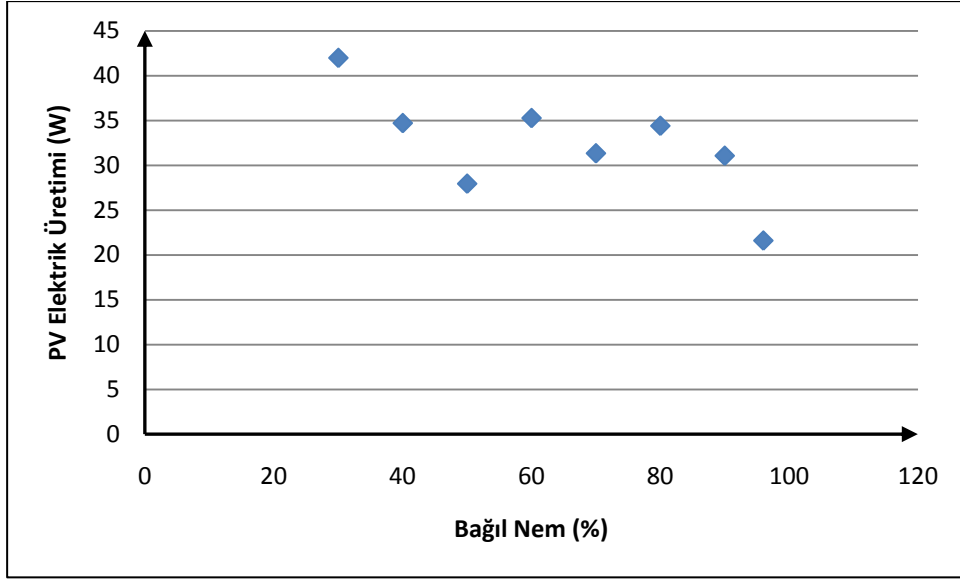
**Şekil B.54 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



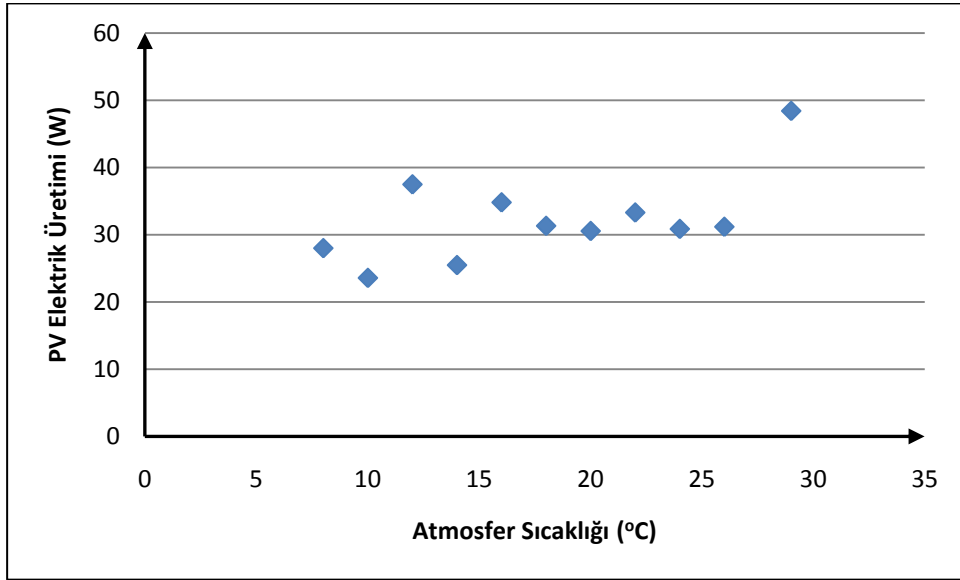
**Şekil B.55 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.



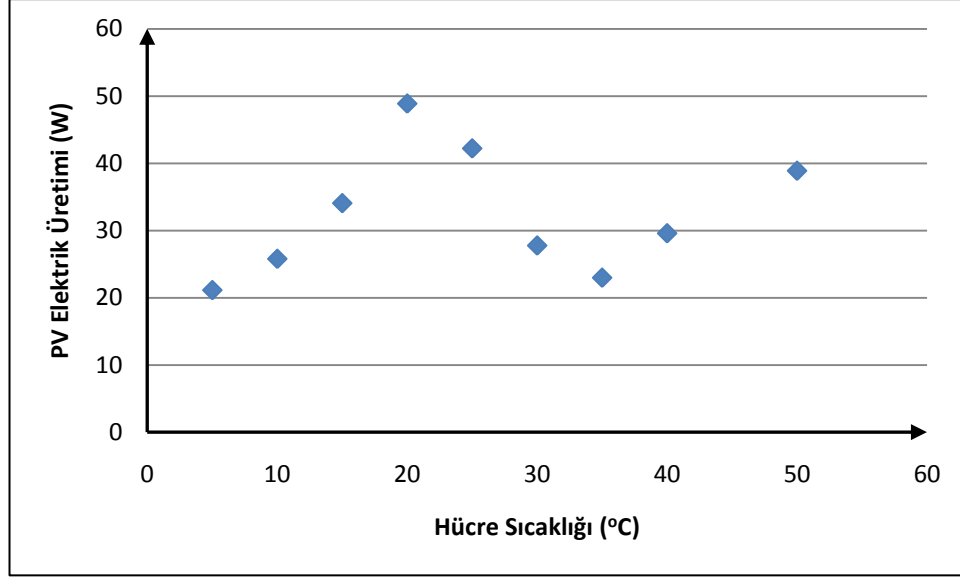
**Şekil B.56 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ilişkisi.



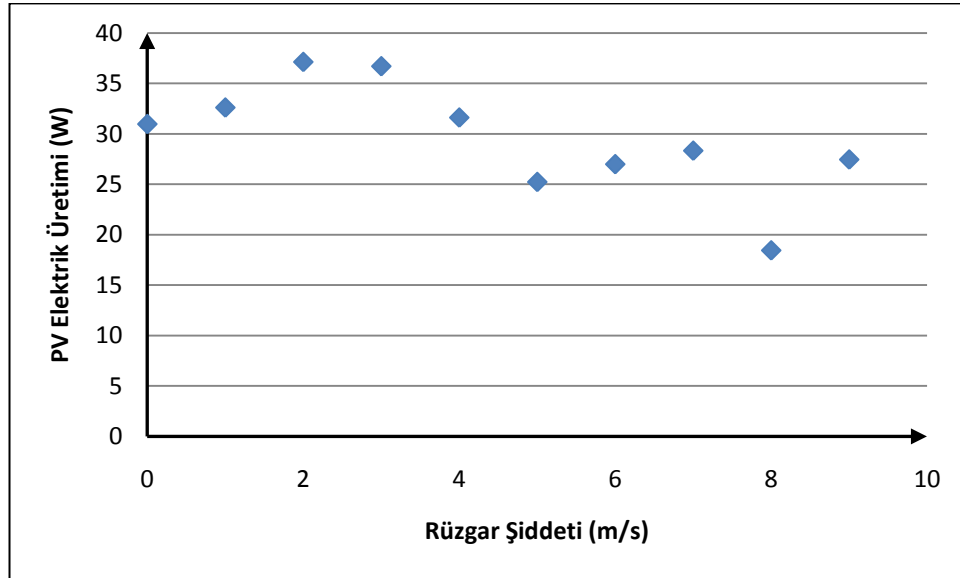
**Şekil B.57 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



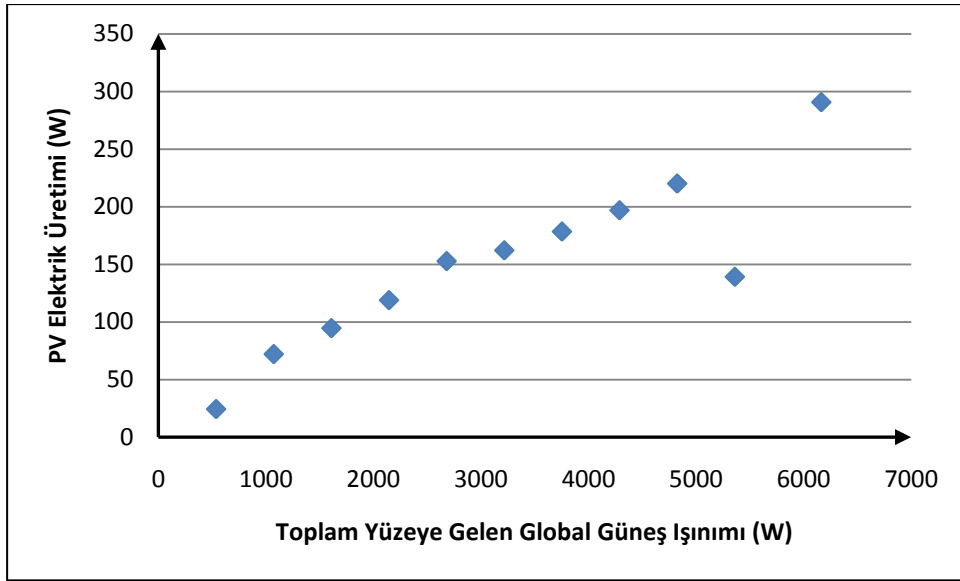
**Şekil B.58 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



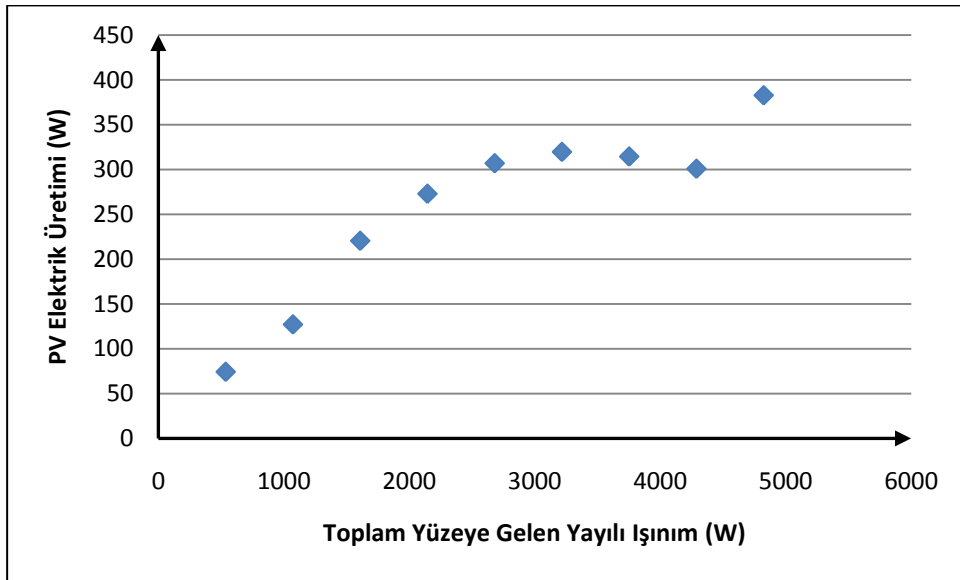
**Şekil B.59 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



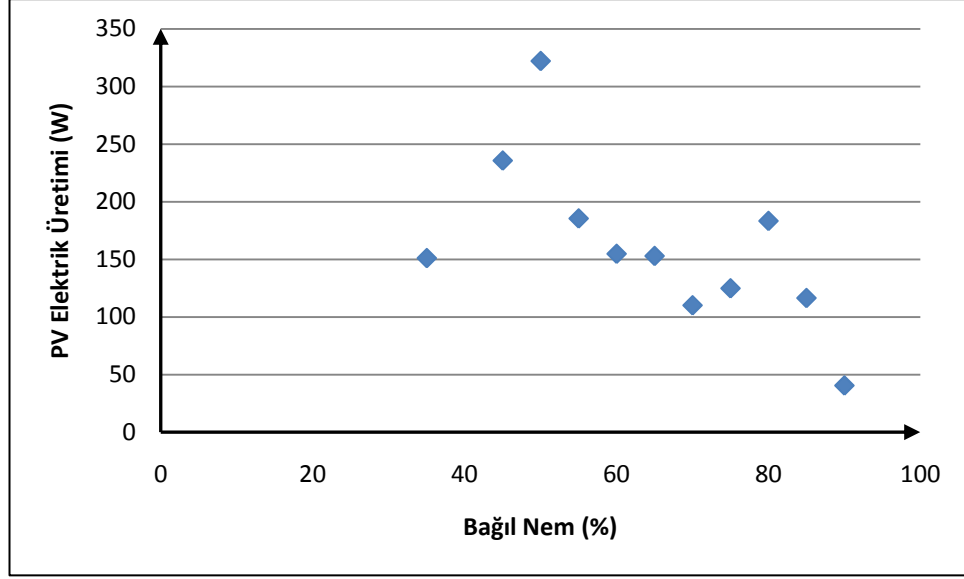
**Şekil B.60 :** Mayıs '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



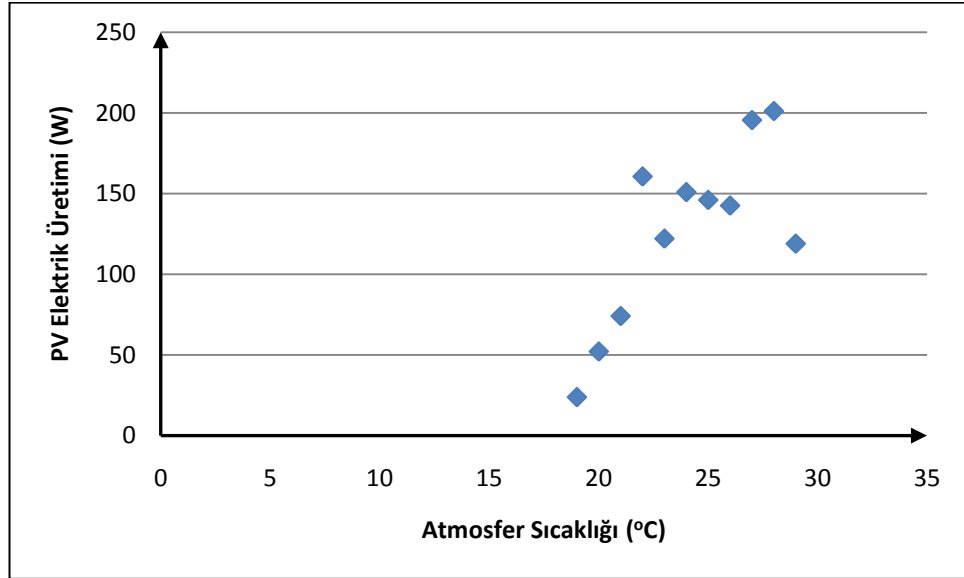
**Şekil B.61 :** Temmuz '09 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



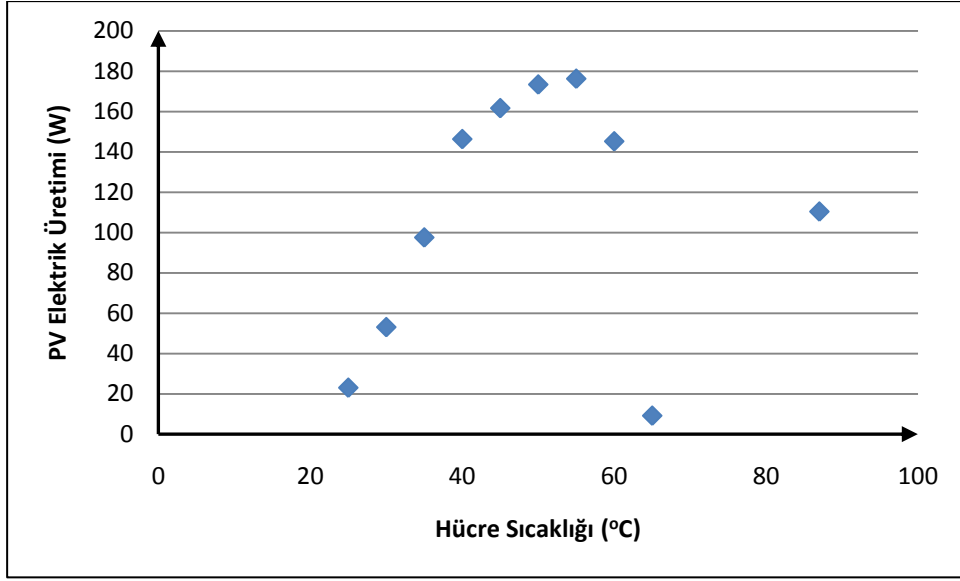
**Şekil B.62 :** Temmuz '09 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



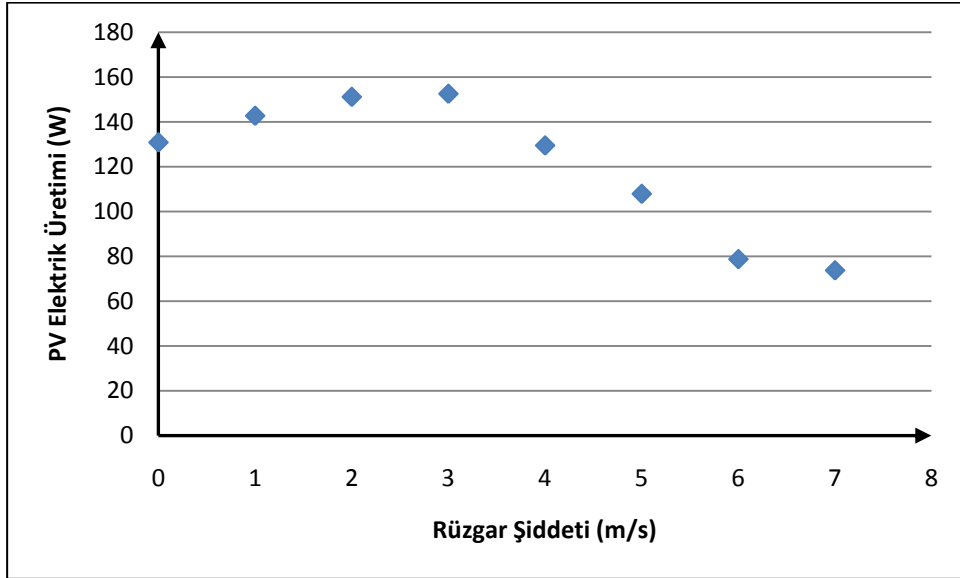
**Şekil B.63 :** Temmuz '09 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



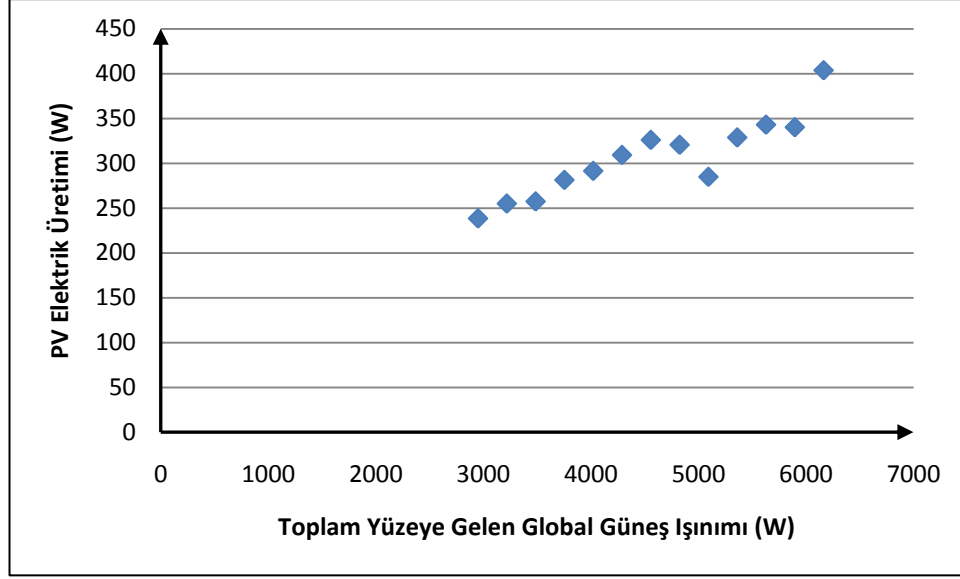
**Şekil B.64 :** Temmuz '09 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



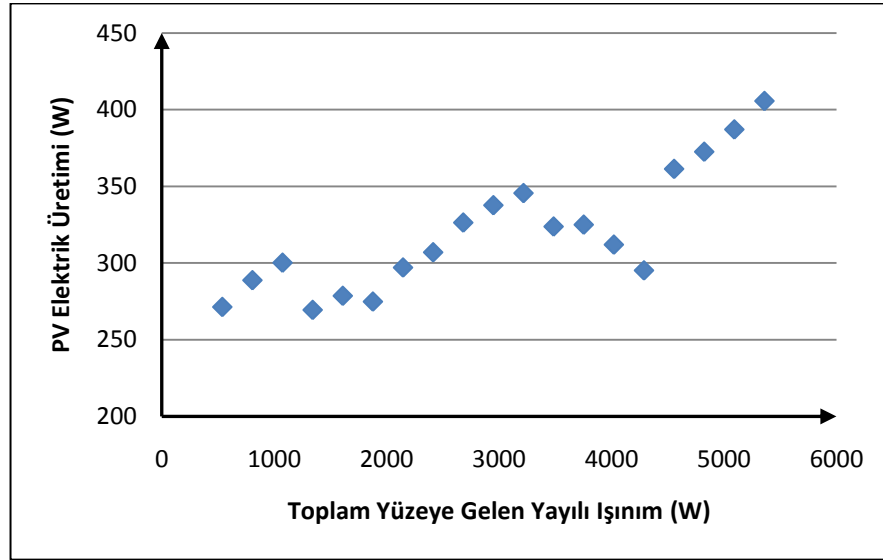
Şekil B.65 : Temmuz '09 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



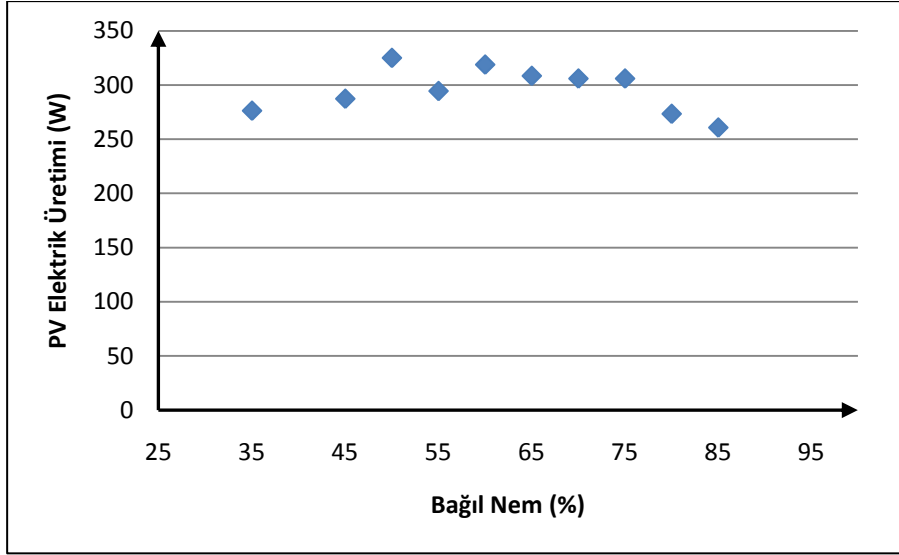
Şekil B.66 : Temmuz '09 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



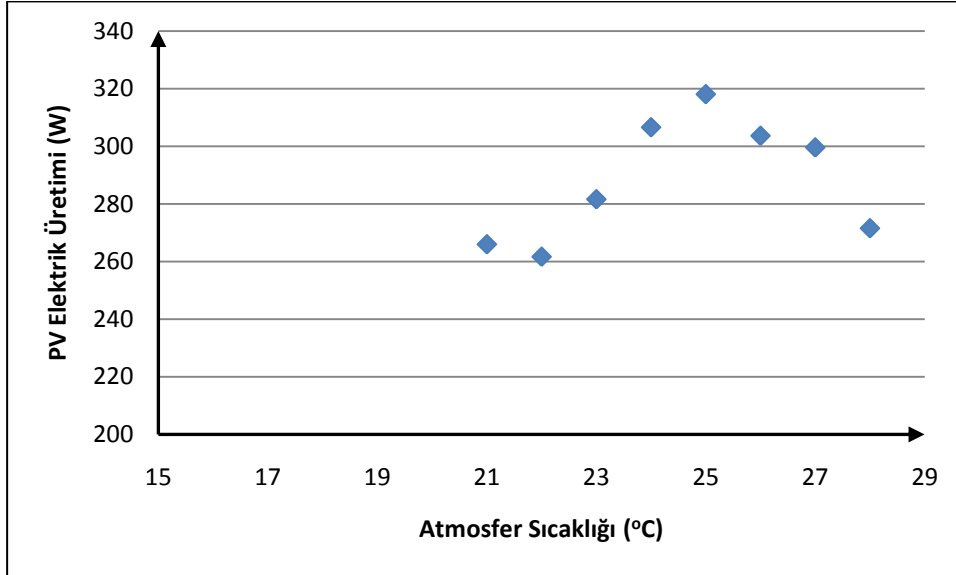
**Şekil B.67 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



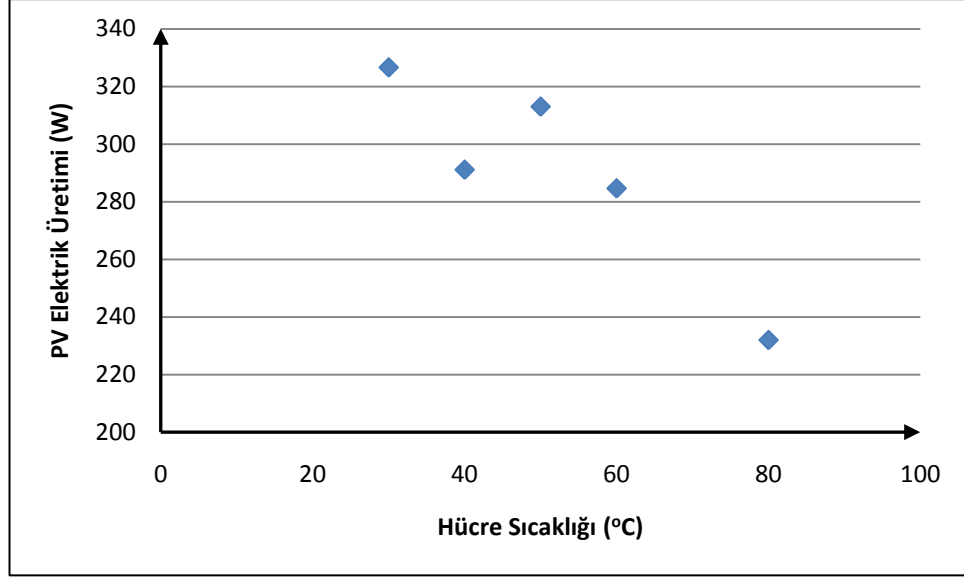
**Şekil B.68 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



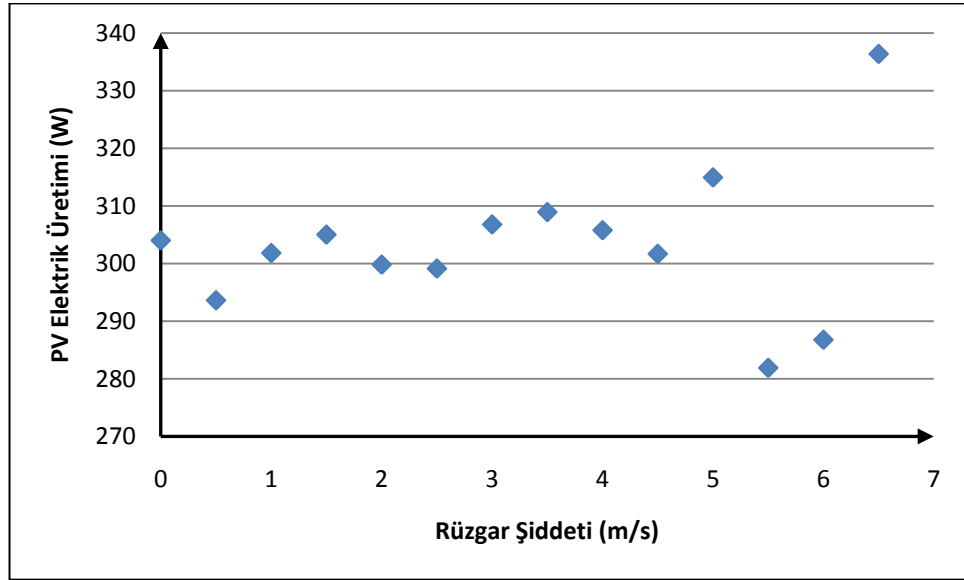
**Şekil B.69 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



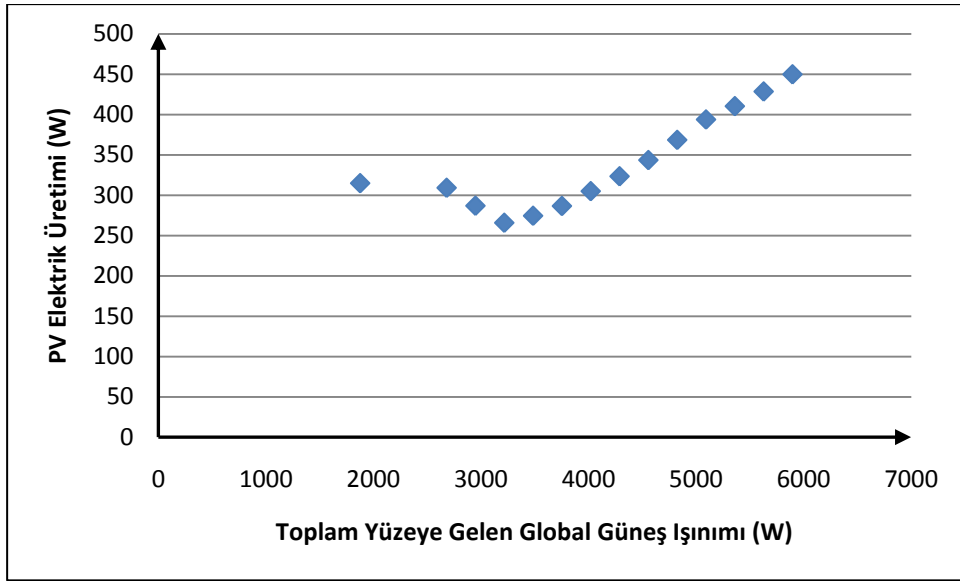
**Şekil B.70 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



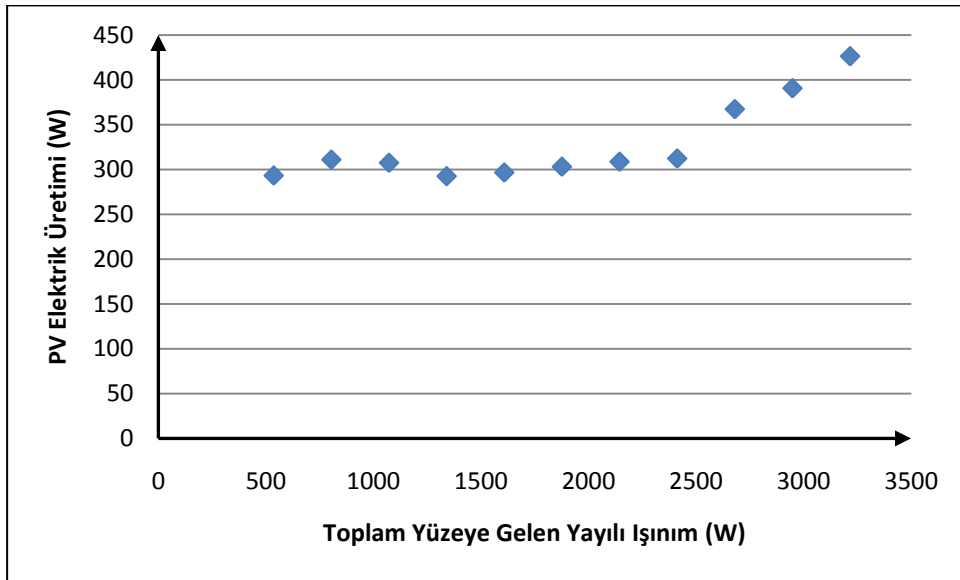
**Şekil B.71 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



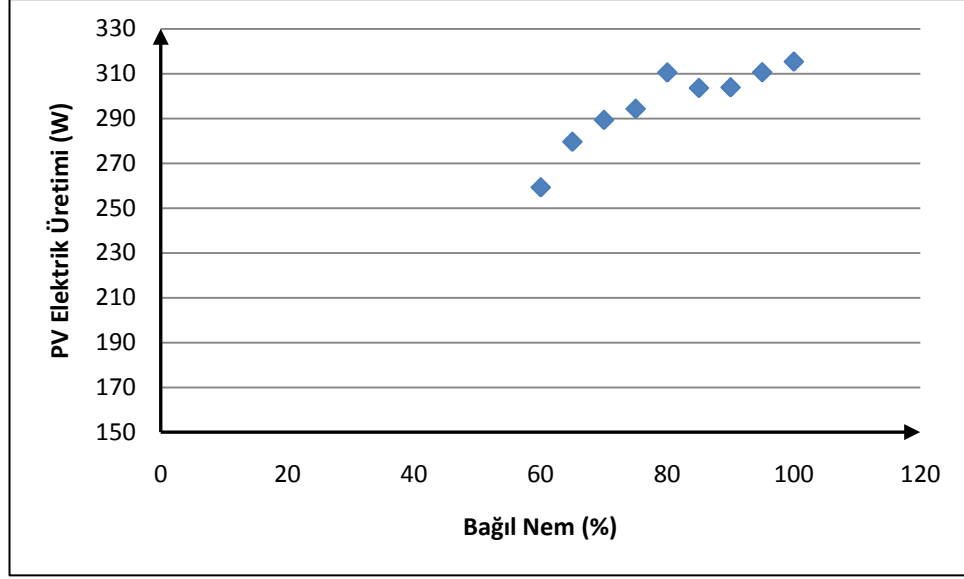
**Şekil B.72 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



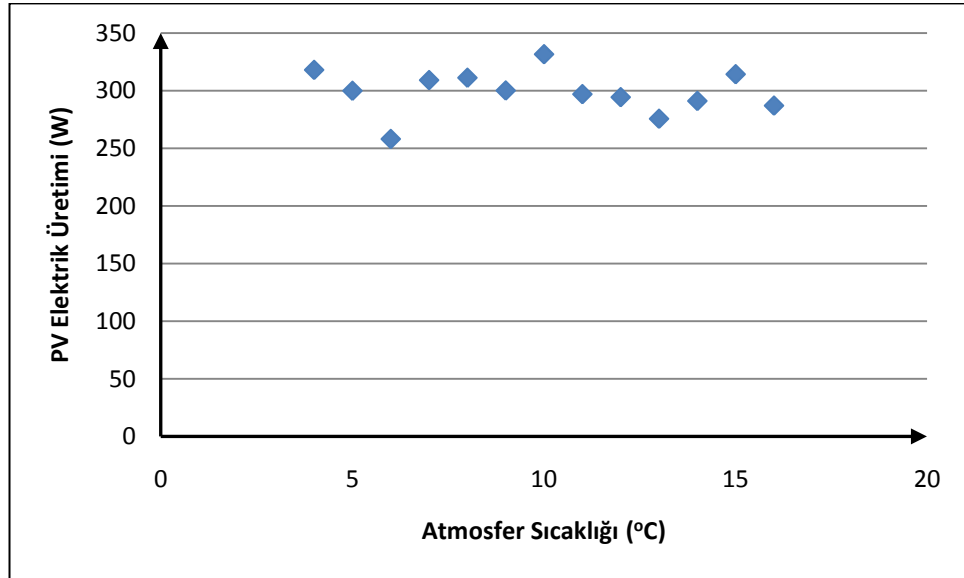
**Şekil B.73 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



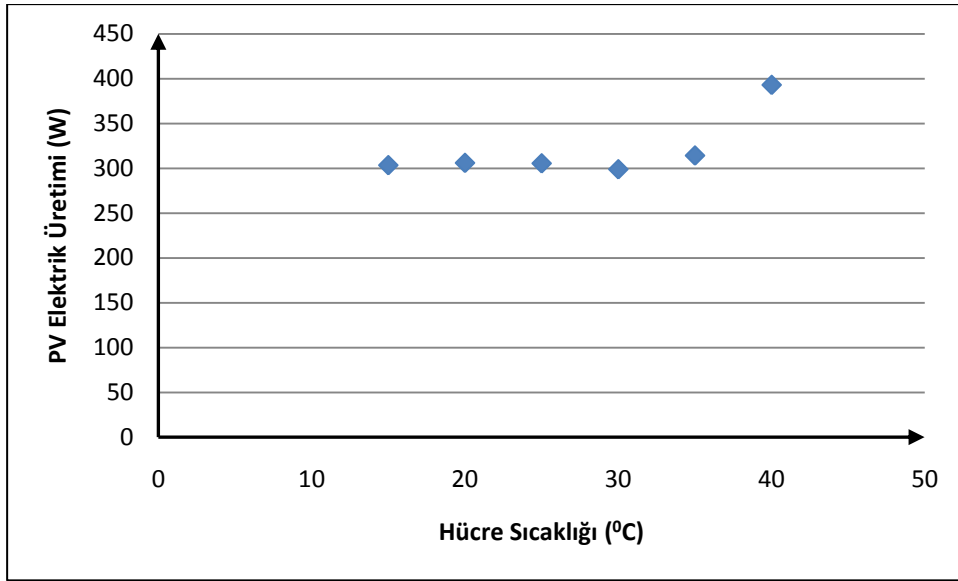
**Şekil B.74 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



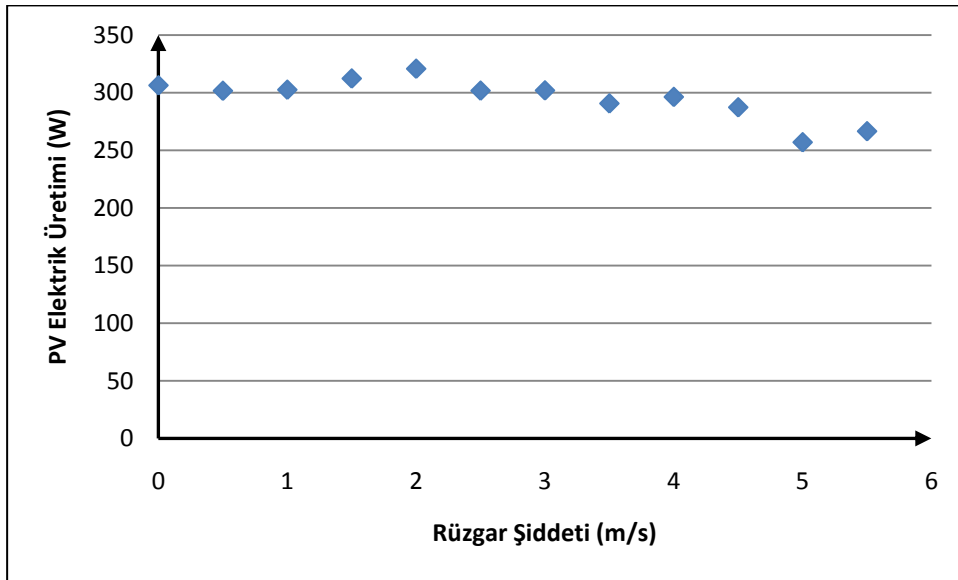
**Şekil B.75 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



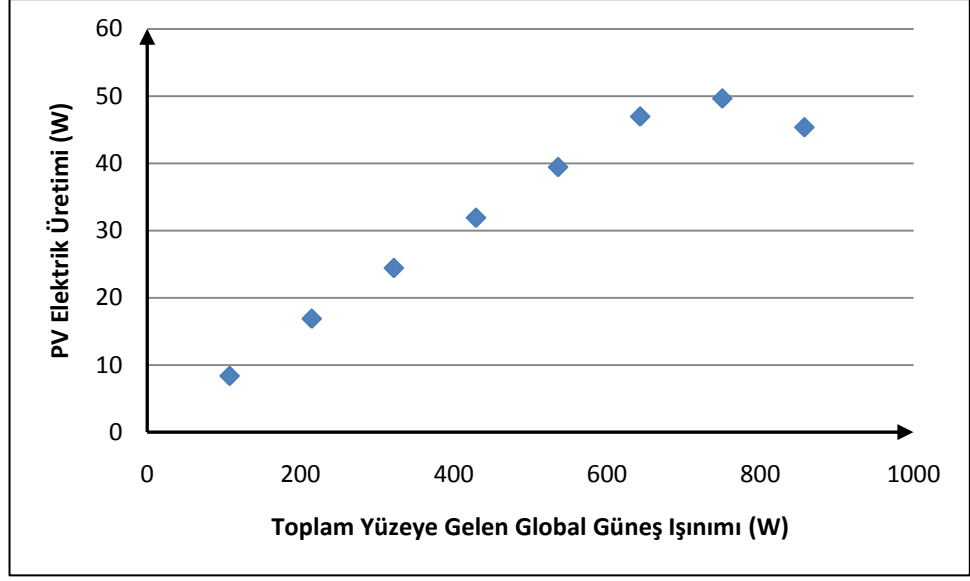
**Şekil B.76 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



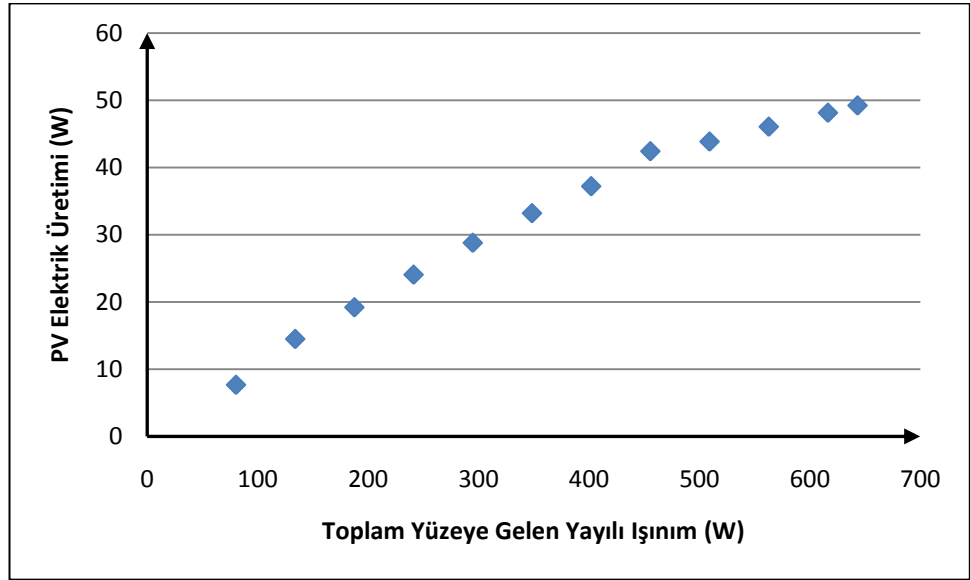
**Şekil B.77 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



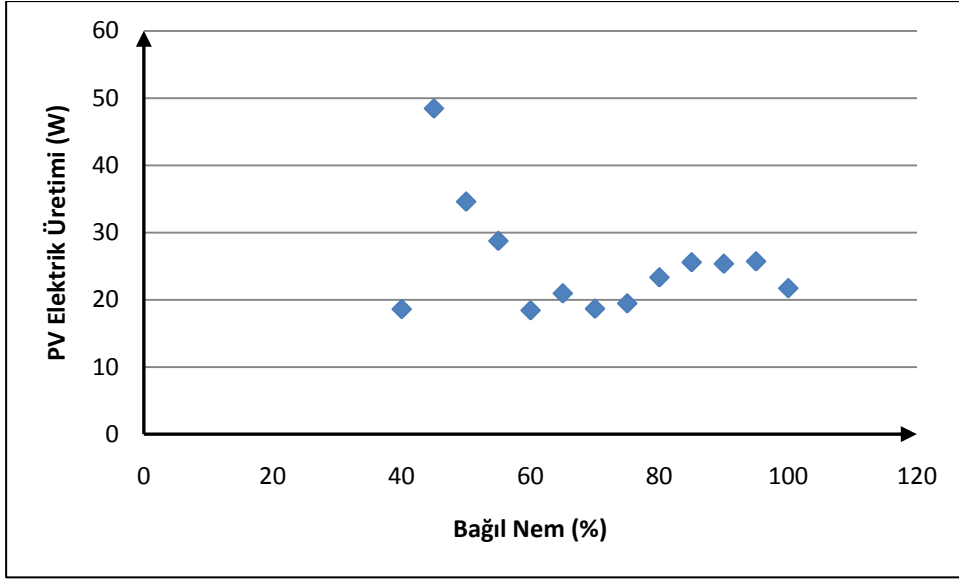
**Şekil B.78 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



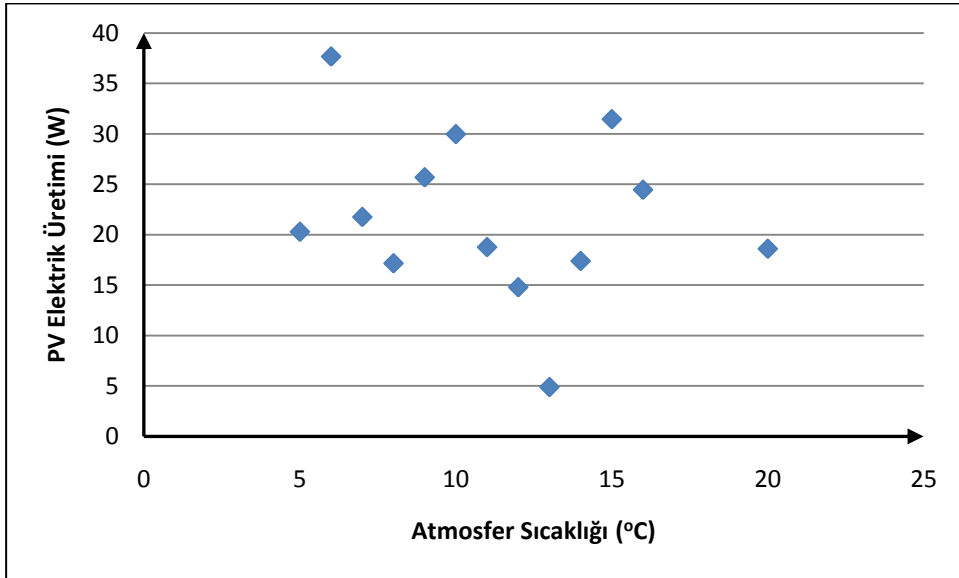
**Şekil B.79 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



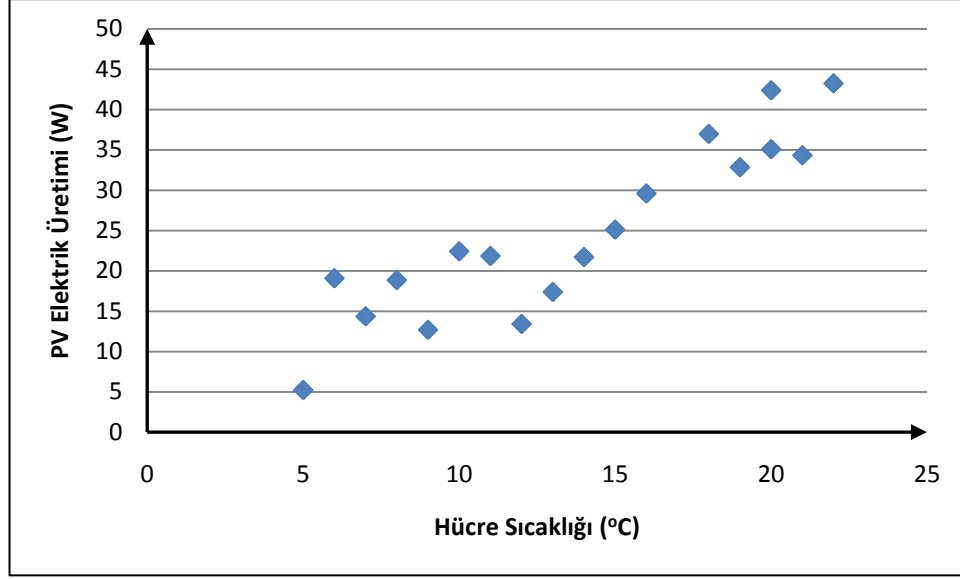
**Şekil B.80 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



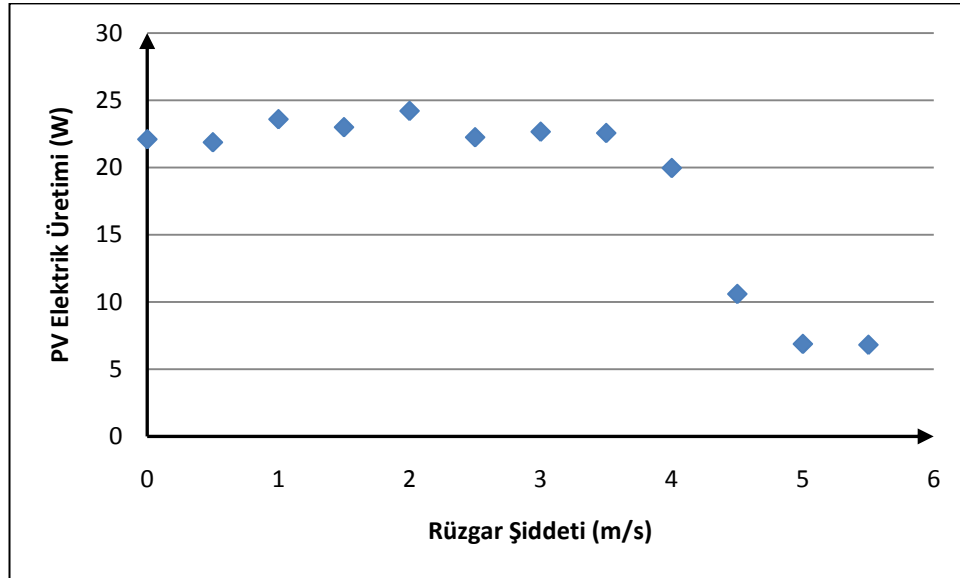
**Şekil B.81 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



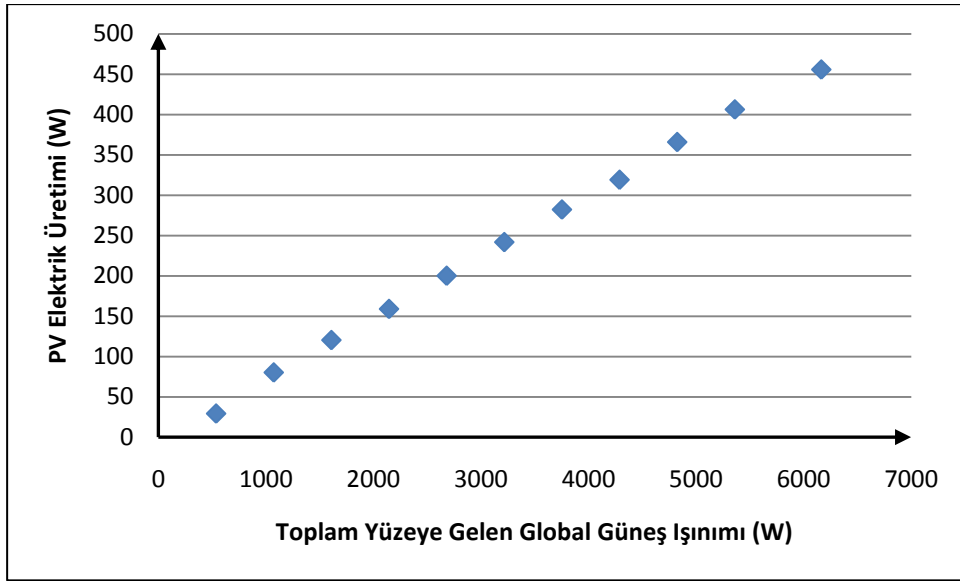
**Şekil B.82 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



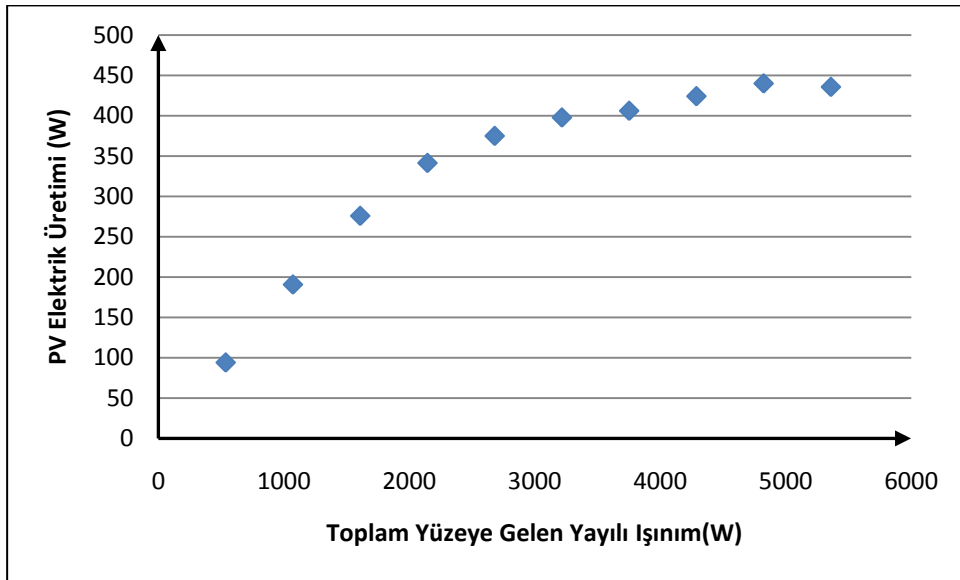
**Şekil B.83 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



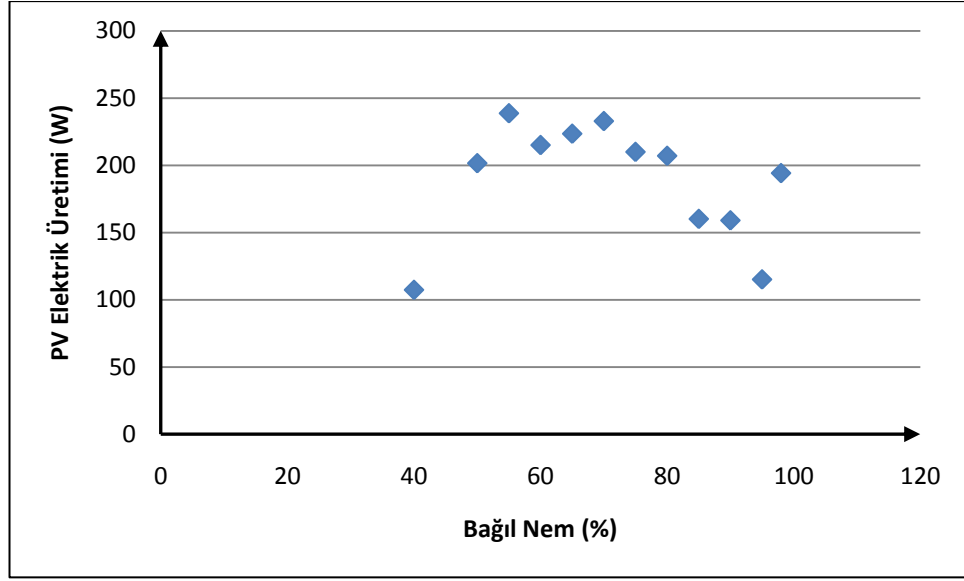
**Şekil B.84 :** Temmuz '09 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



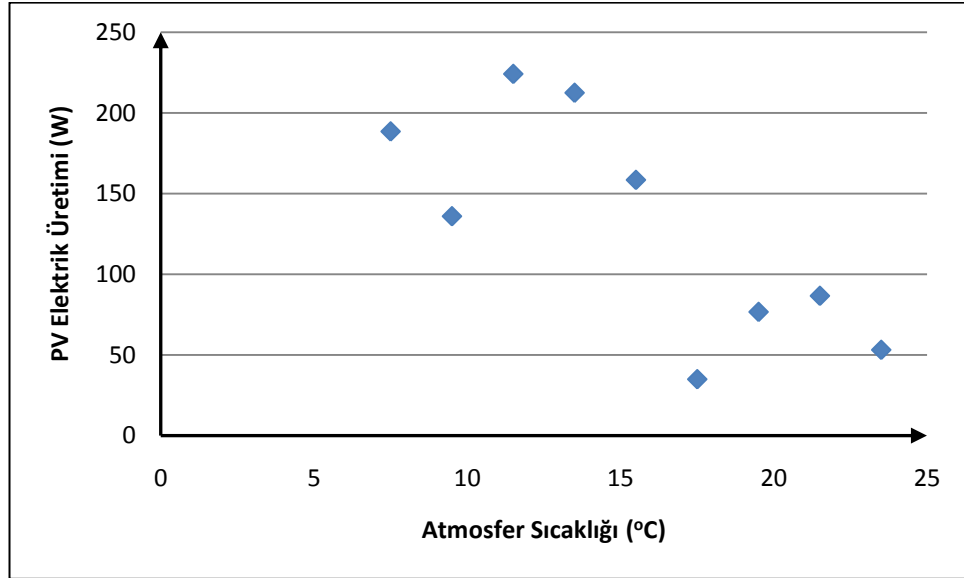
**Şekil B.85 :** Nisan '10 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışınlımı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



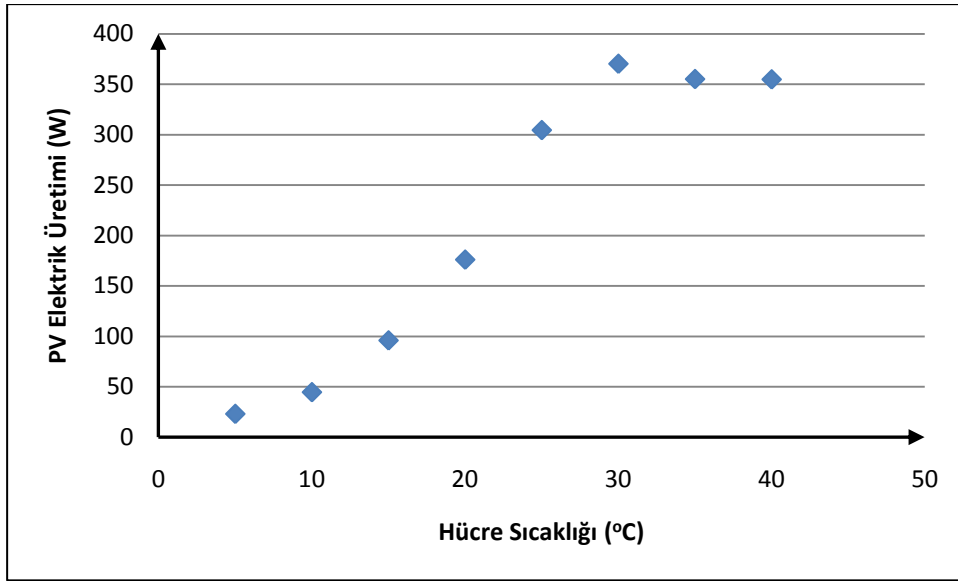
**Şekil B.86 :** Nisan '10 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışınlım ve PV elektrik üretimi arasındaki saçılma diyagramı.



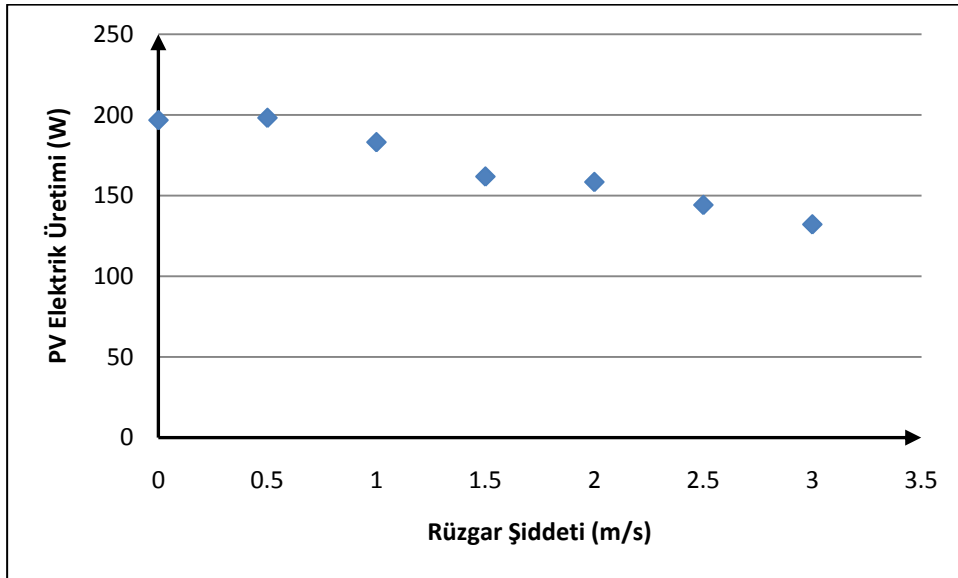
**Şekil B.87 :** Nisan ‘10 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



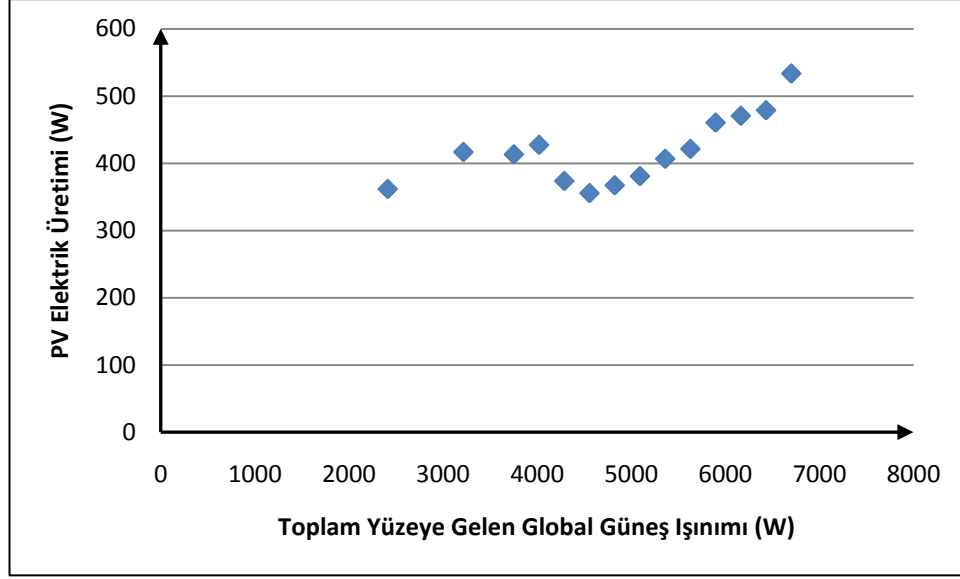
**Şekil B.88 :** Nisan ‘10 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



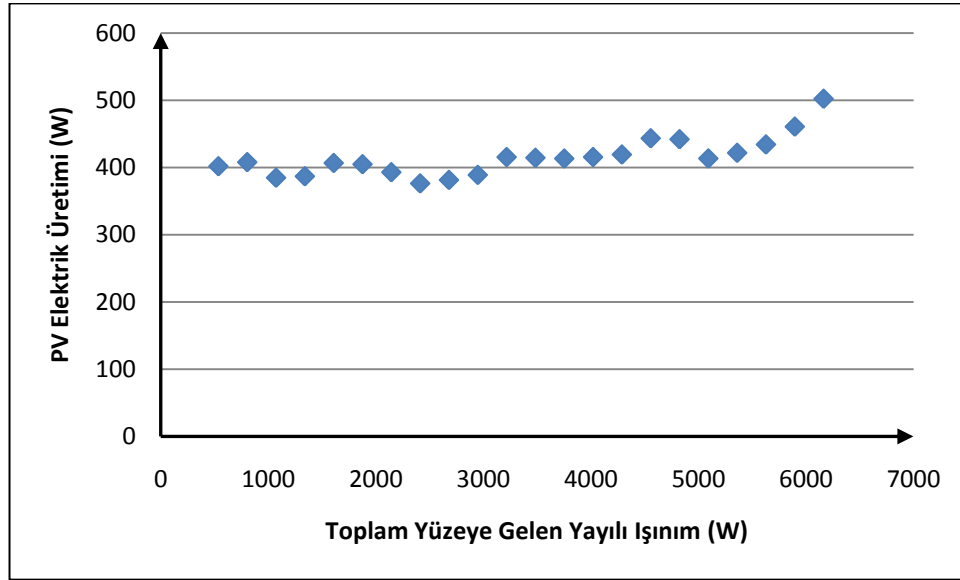
**Şekil B.89 :** Nisan '10 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



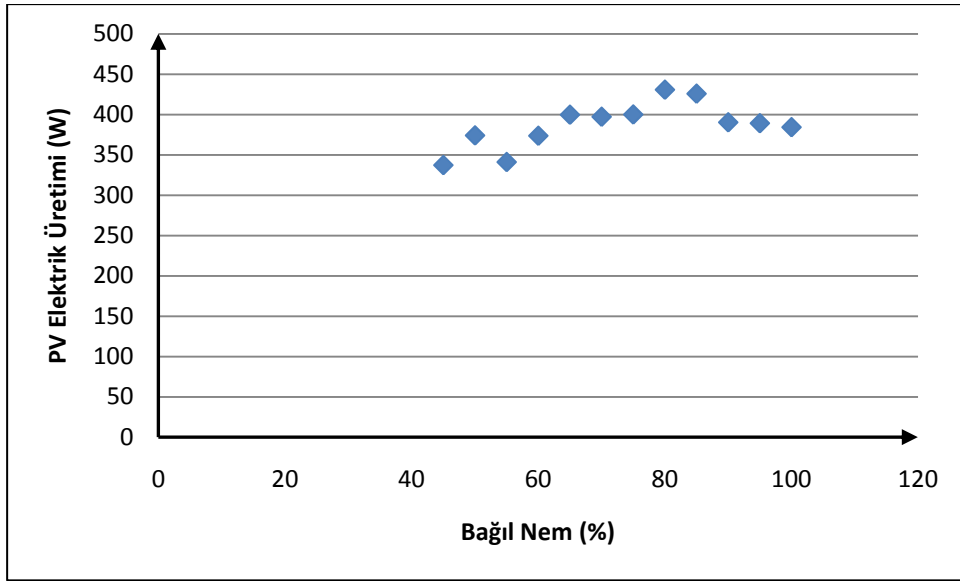
**Şekil B.90 :** Nisan '10 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



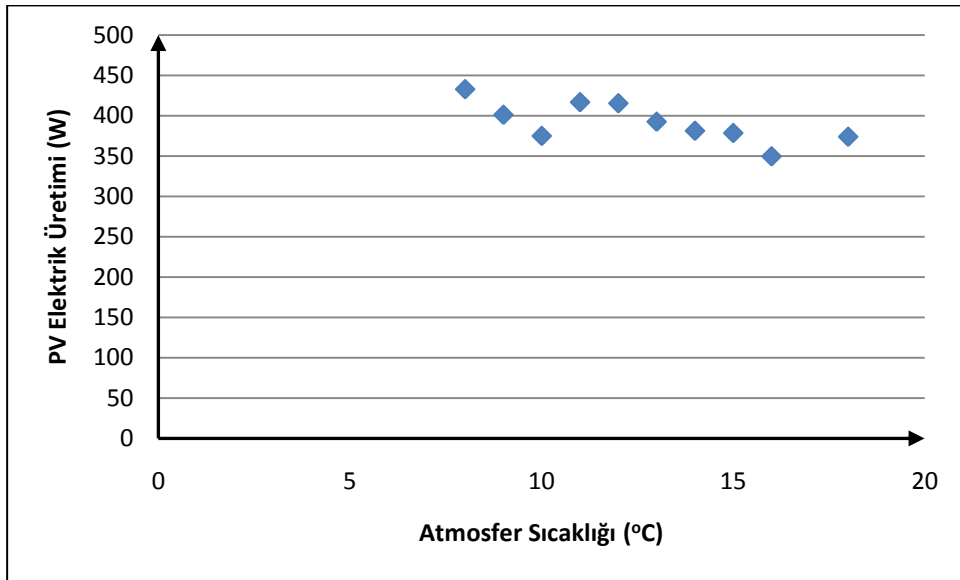
**Şekil B.91 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



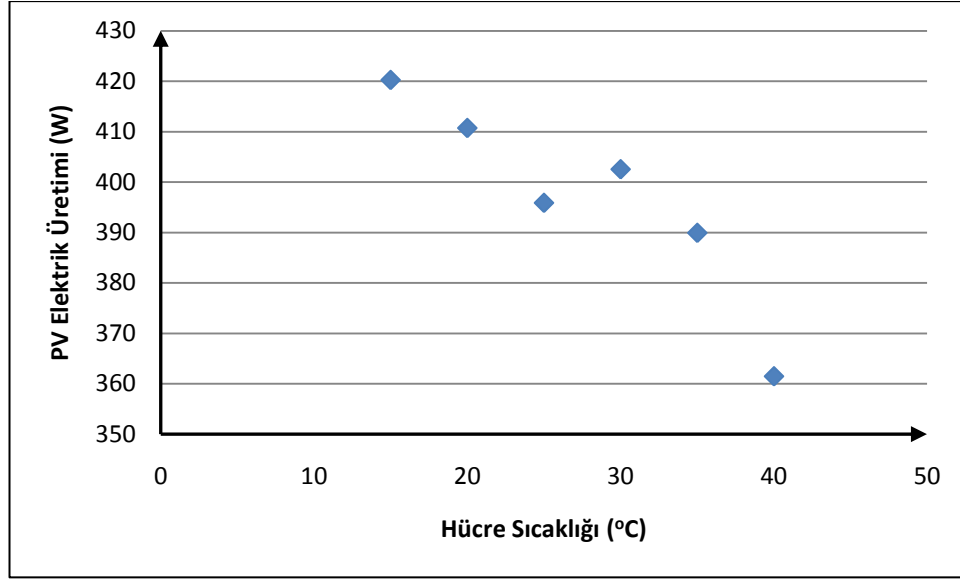
**Şekil B.92 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



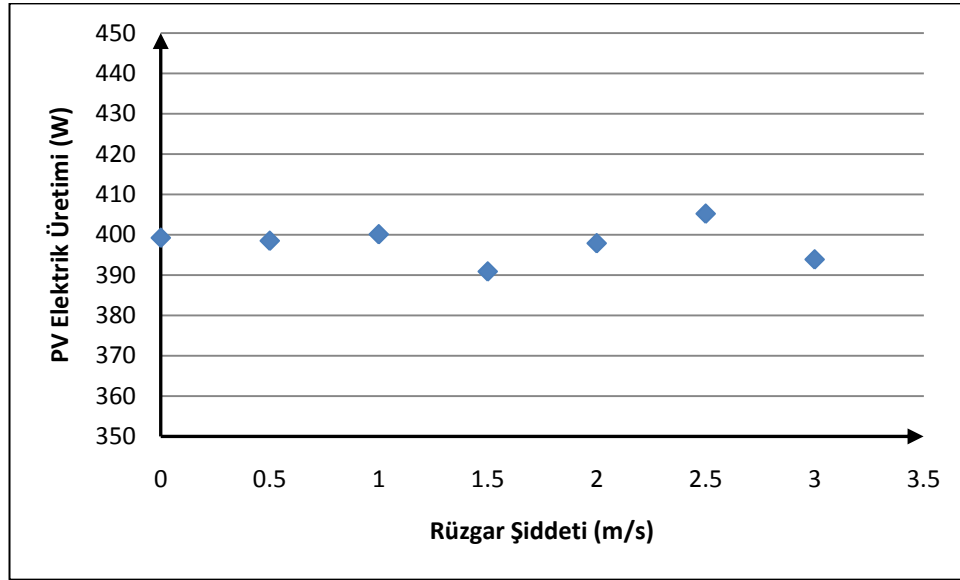
**Şekil B.93 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



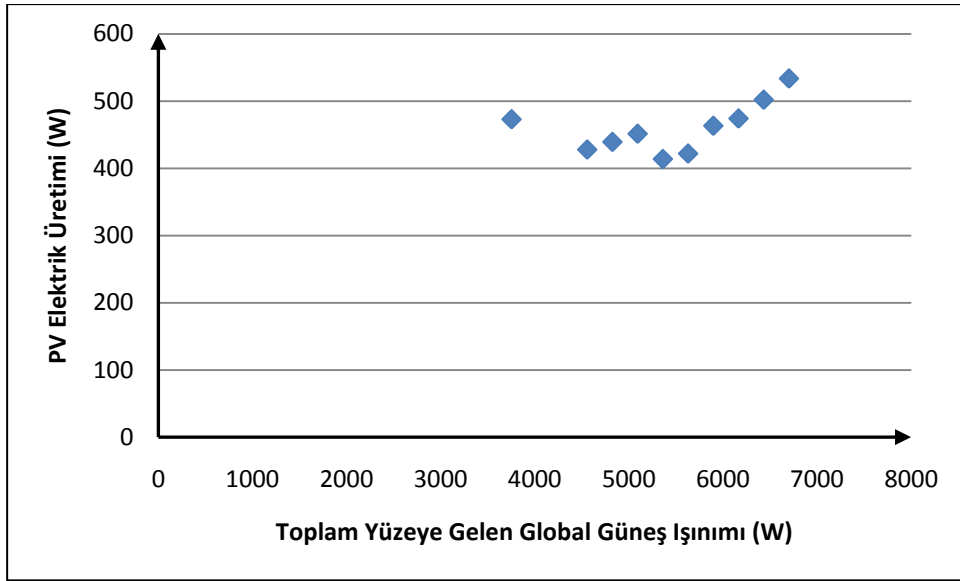
**Şekil B.94 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



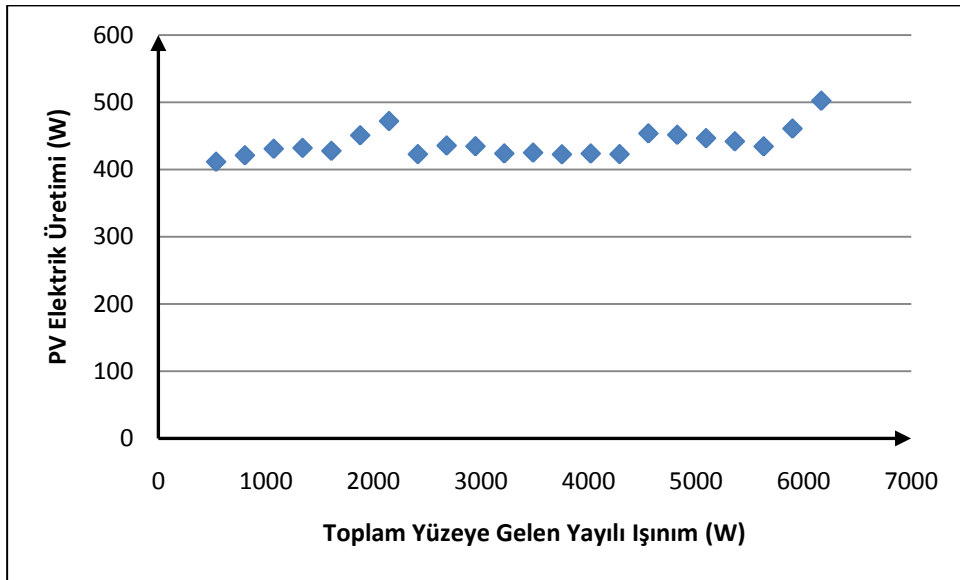
**Şekil B.95 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



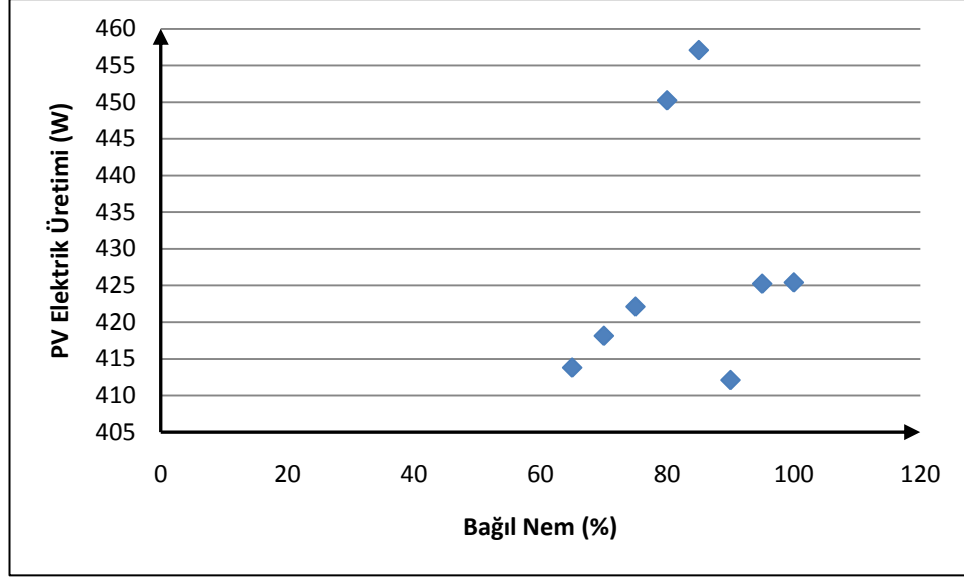
**Şekil B.96 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



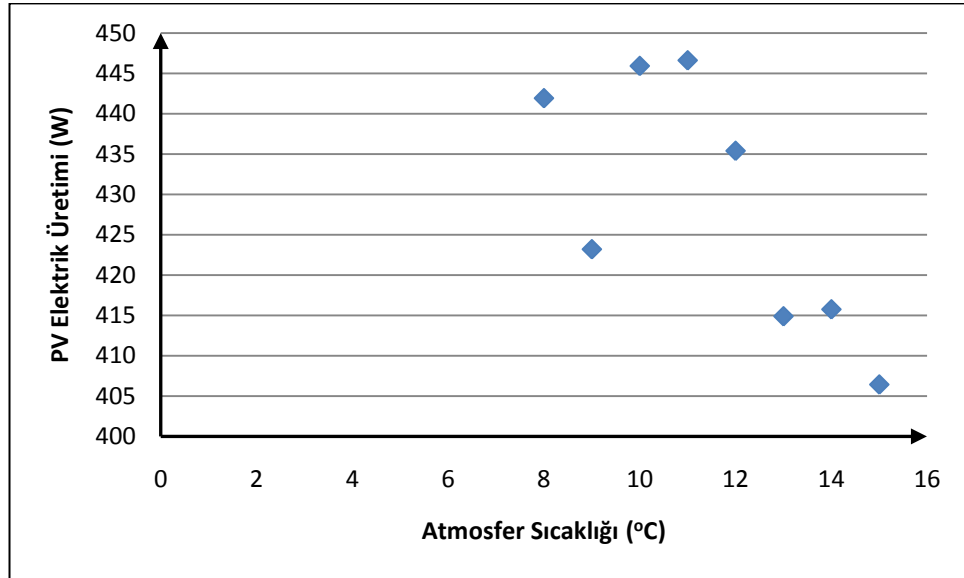
**Şekil B.97 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



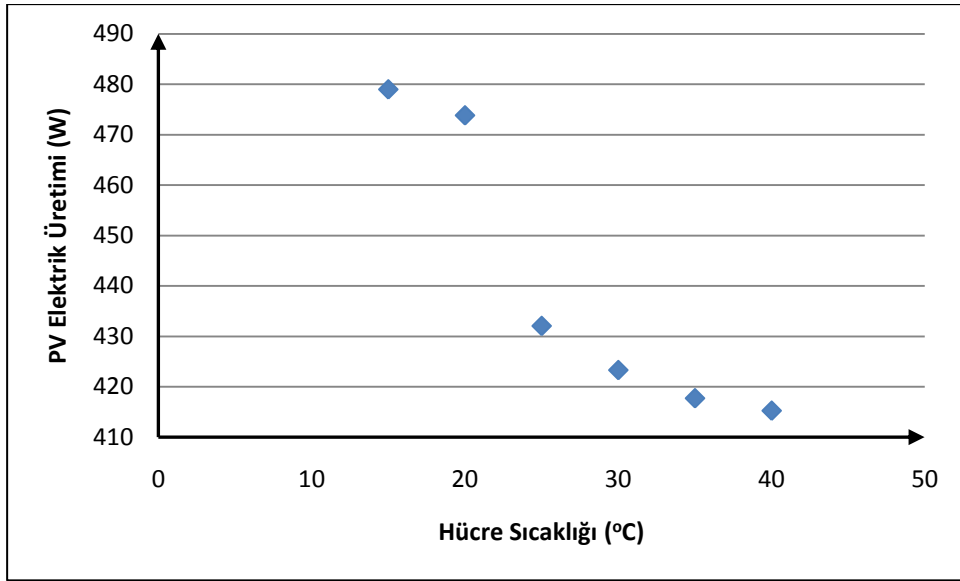
**Şekil B.98 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



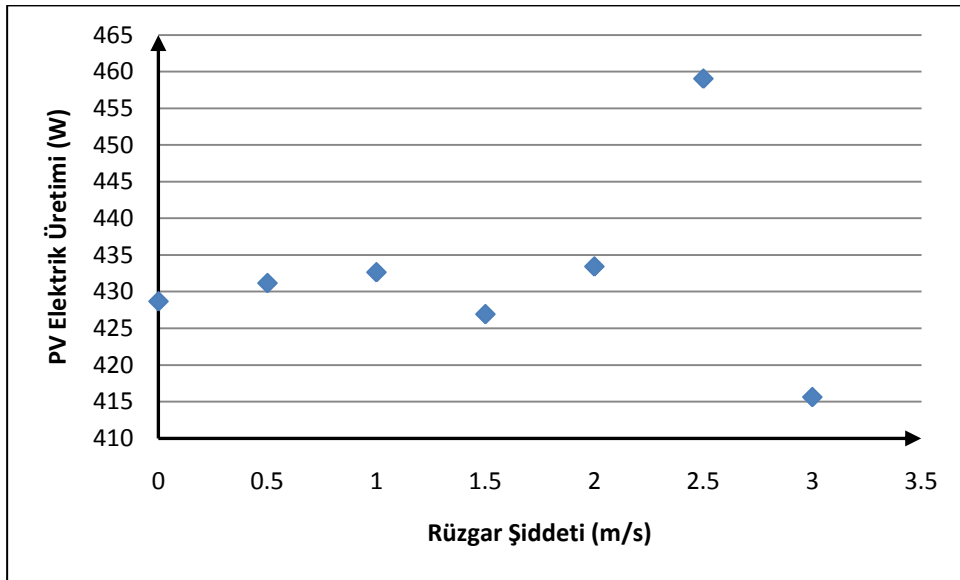
**Şekil B.99 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



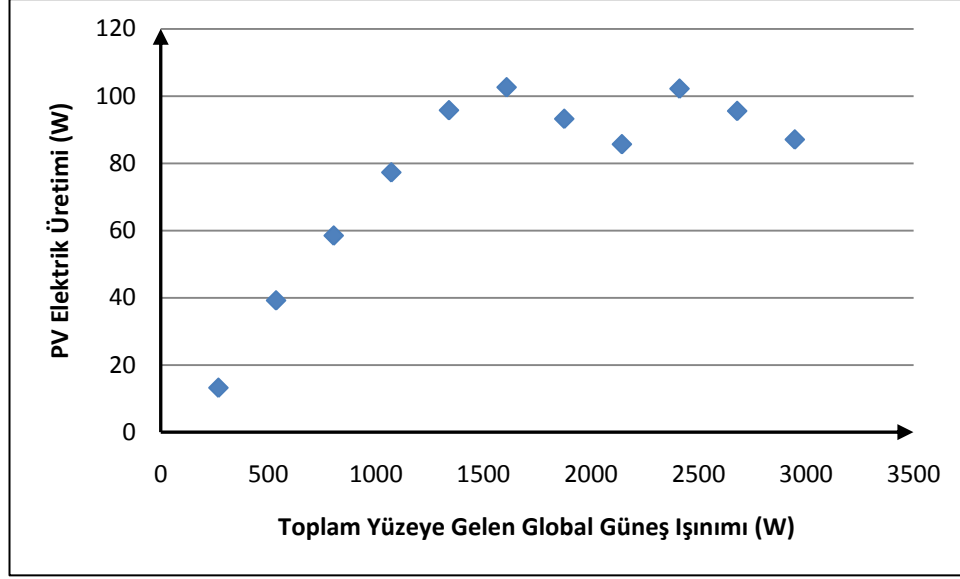
**Şekil B.100 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



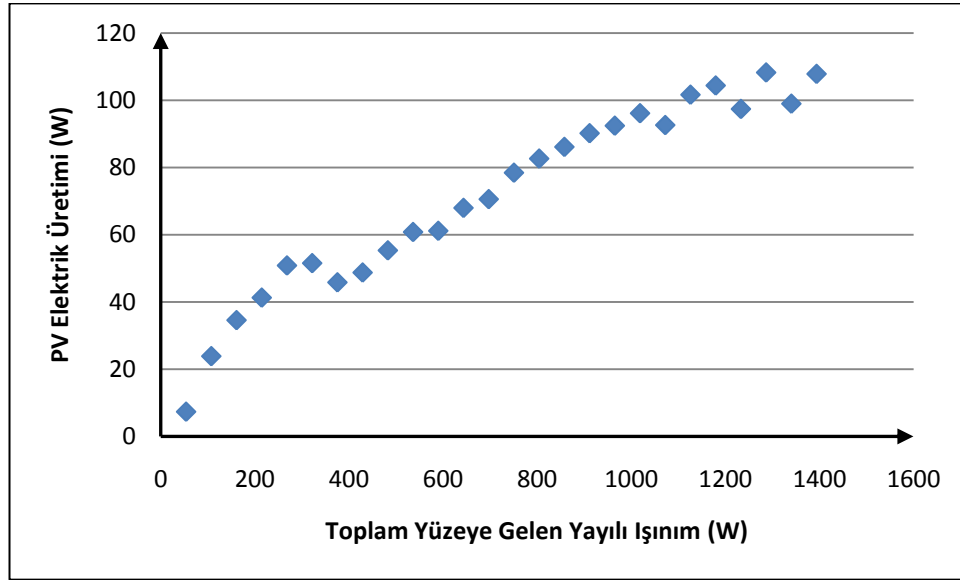
**Şekil B.101 :** Nisan ‘10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



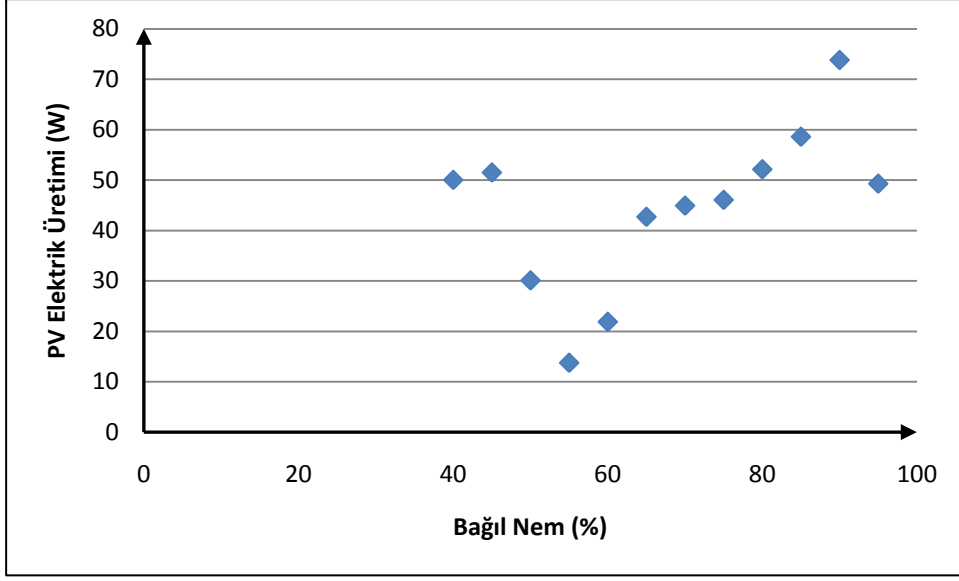
**Şekil B.102 :** Nisan ‘10 ayında ortalamadan 1.5 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



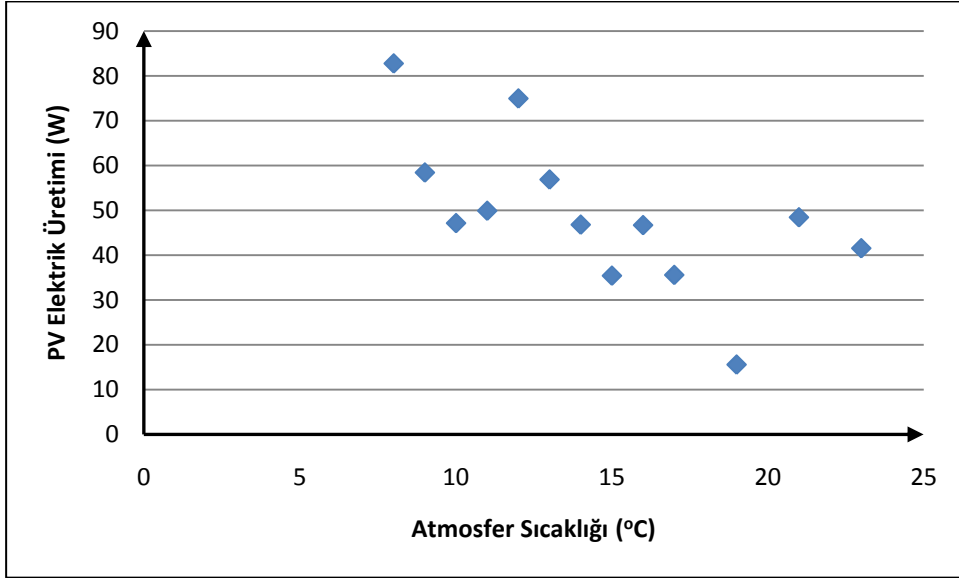
**Şekil B.103 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışınımı ilişkisi.



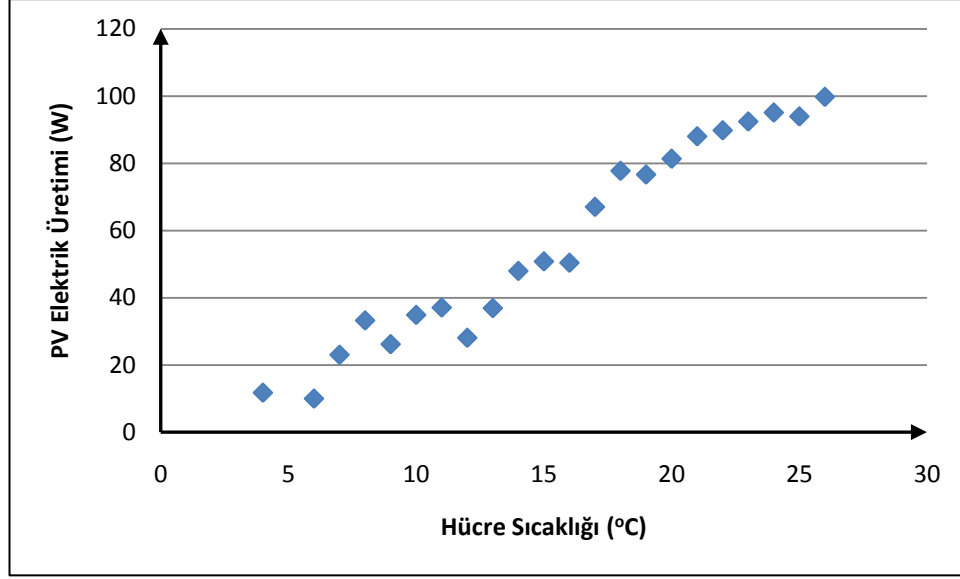
**Şekil B.104 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışınım ilişkisi.



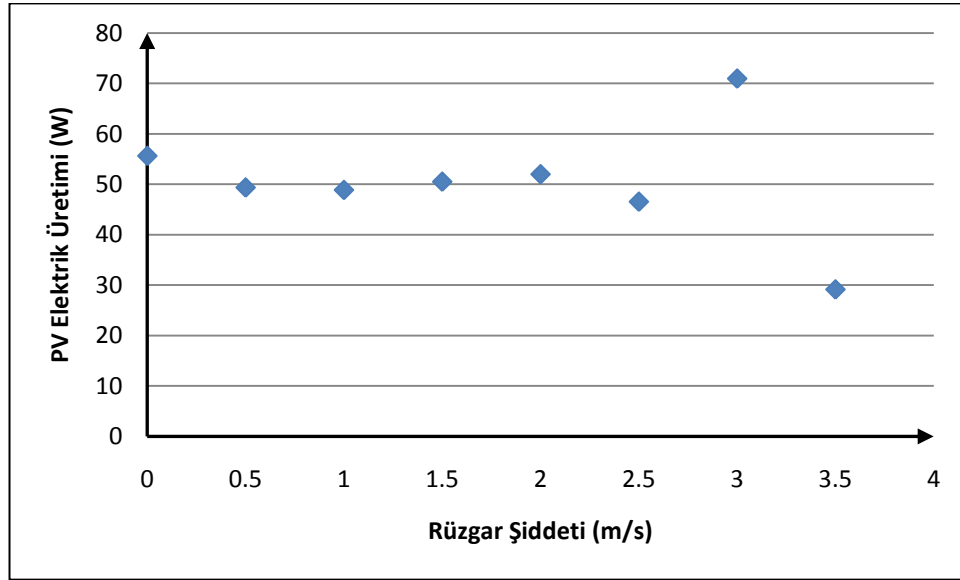
**Şekil B.105 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



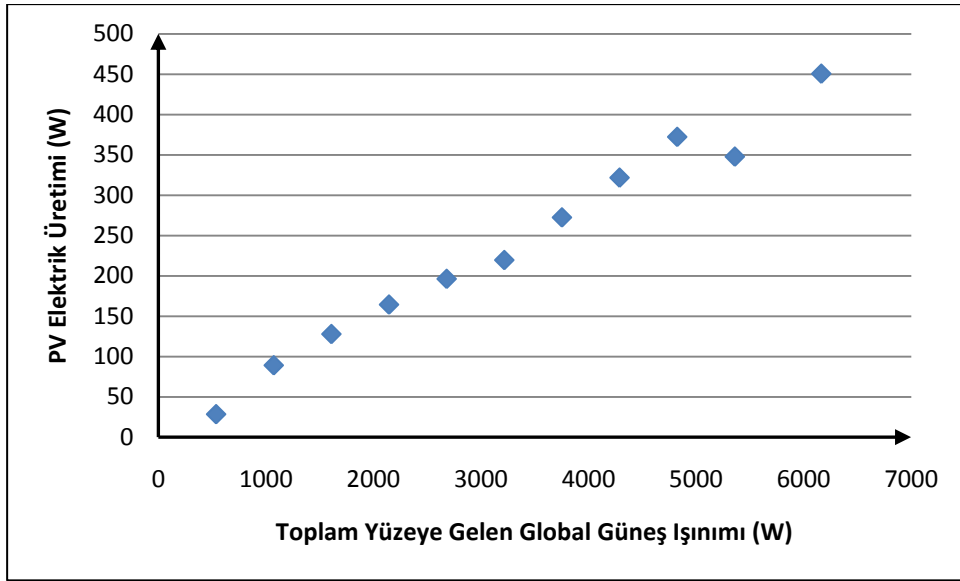
**Şekil B.106 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



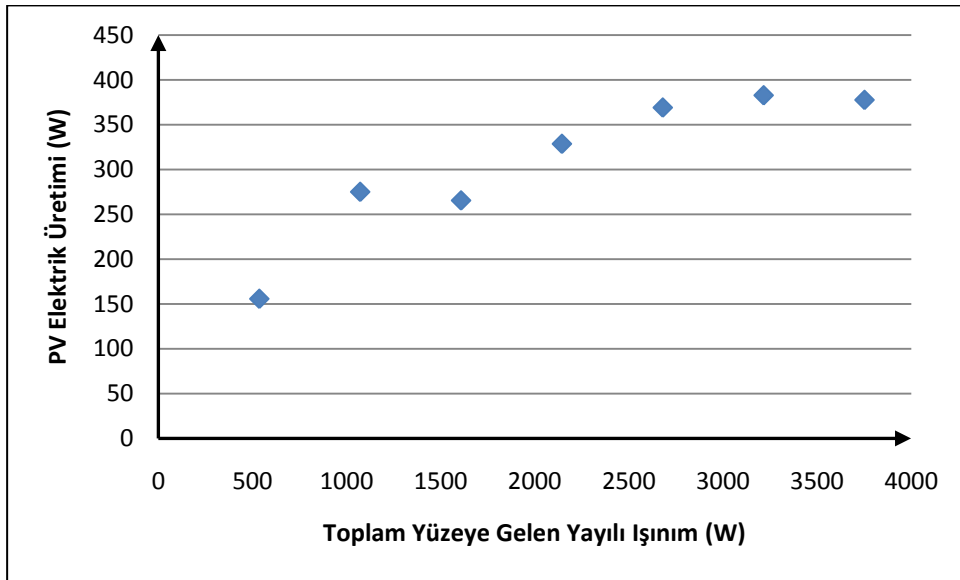
**Şekil B.107 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



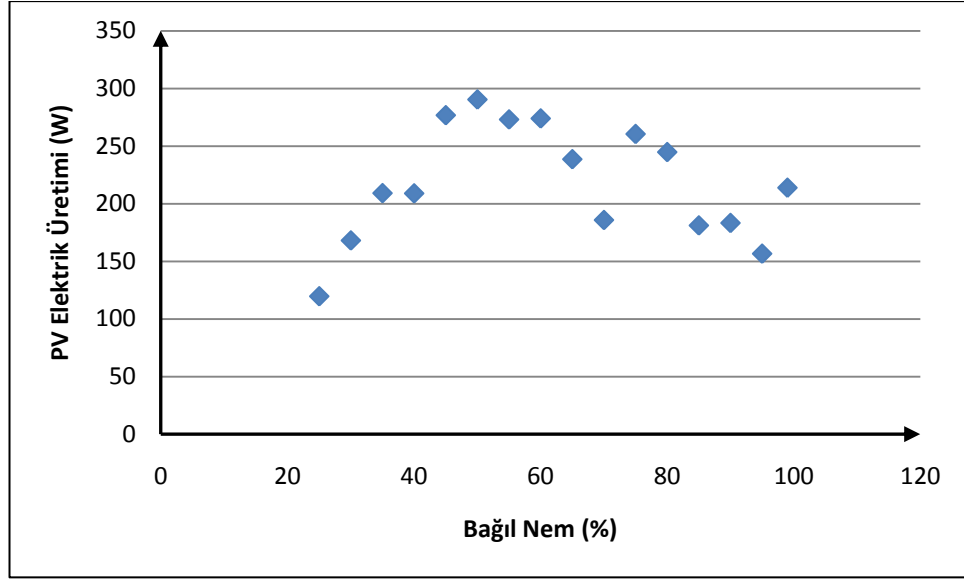
**Şekil B.108 :** Nisan '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



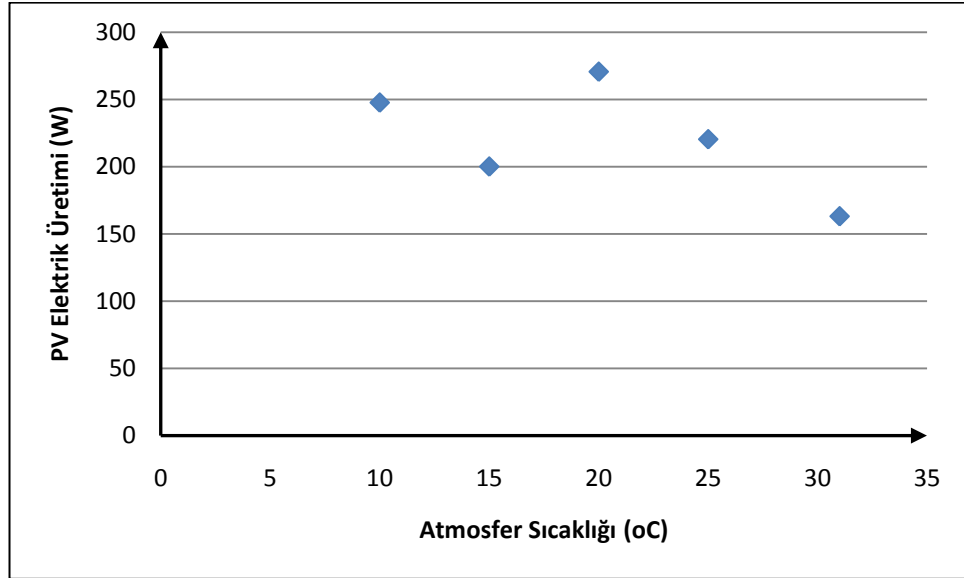
**Şekil B.109 :** Mayıs '10 ayında toplam yüzeye gelen global güneş ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



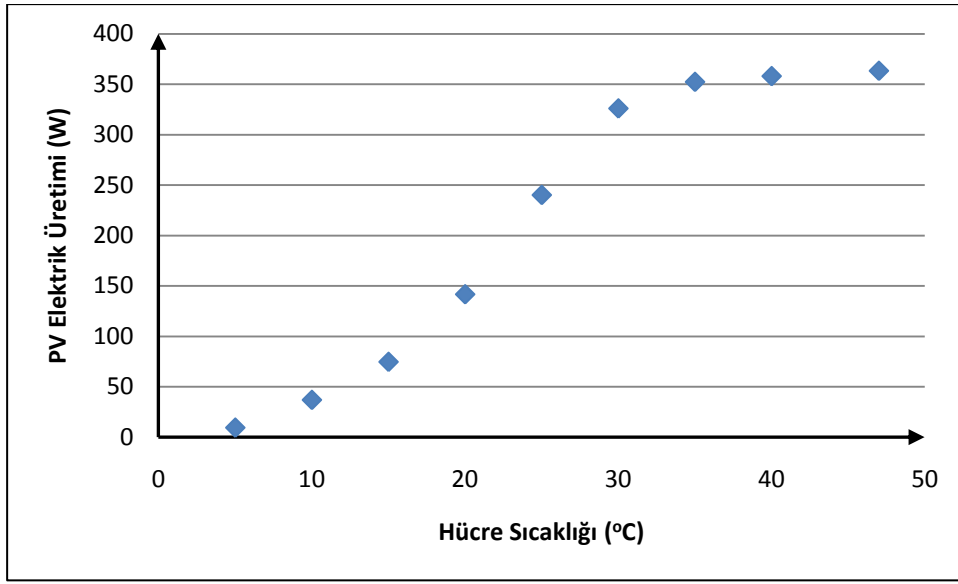
**Şekil B.110 :** Mayıs '10 ayında toplam yüzeye gelen yayılı ışıını ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



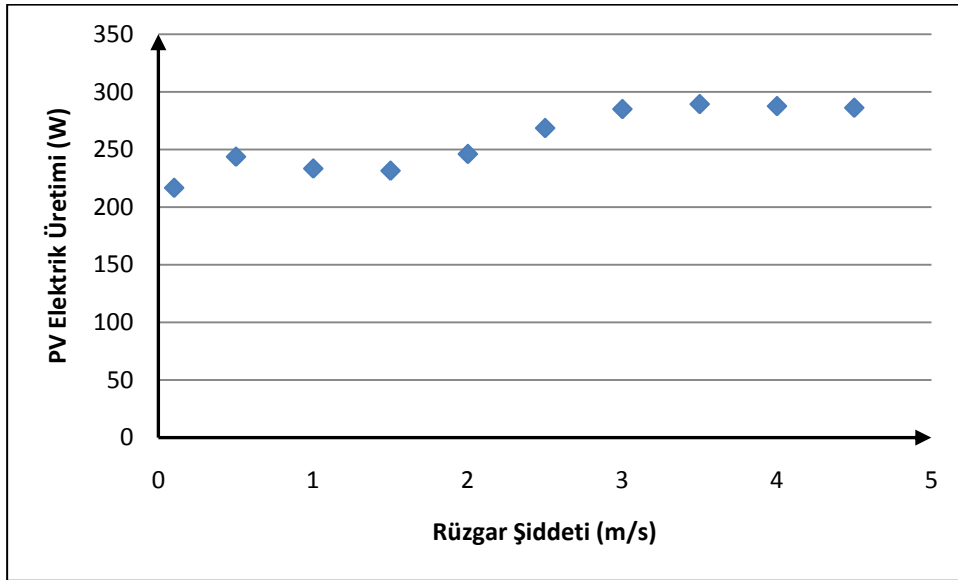
Şekil B.111 : Mayıs '10 ayında bağıl nem ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



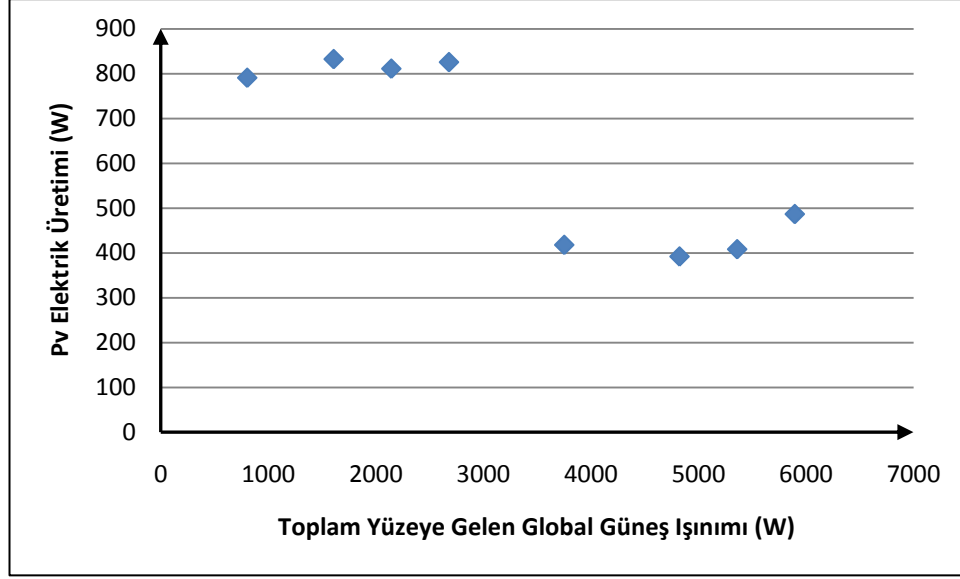
Şekil B.112 : Mayıs '10 ayında atmosfer sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



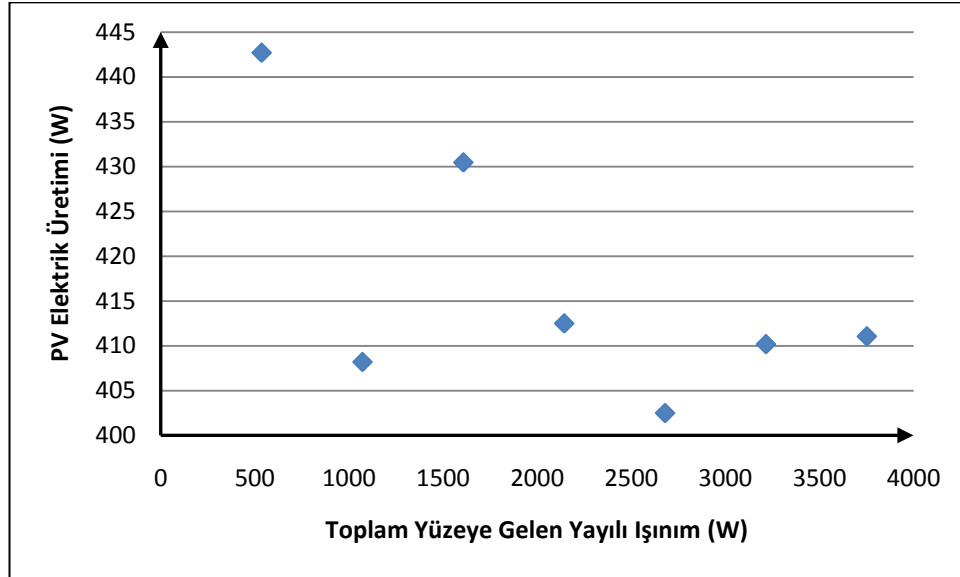
Şekil B.113 : Mayıs '10 ayında hücre sıcaklığı ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



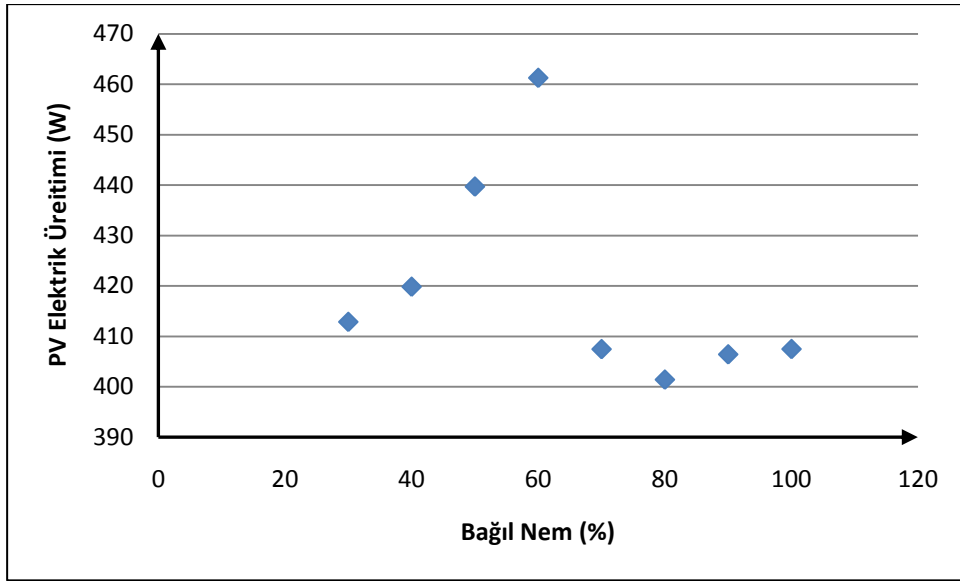
Şekil B.114 : Mayıs '10 ayında rüzgar şiddeti ve PV elektrik üretimi ilişkisi.



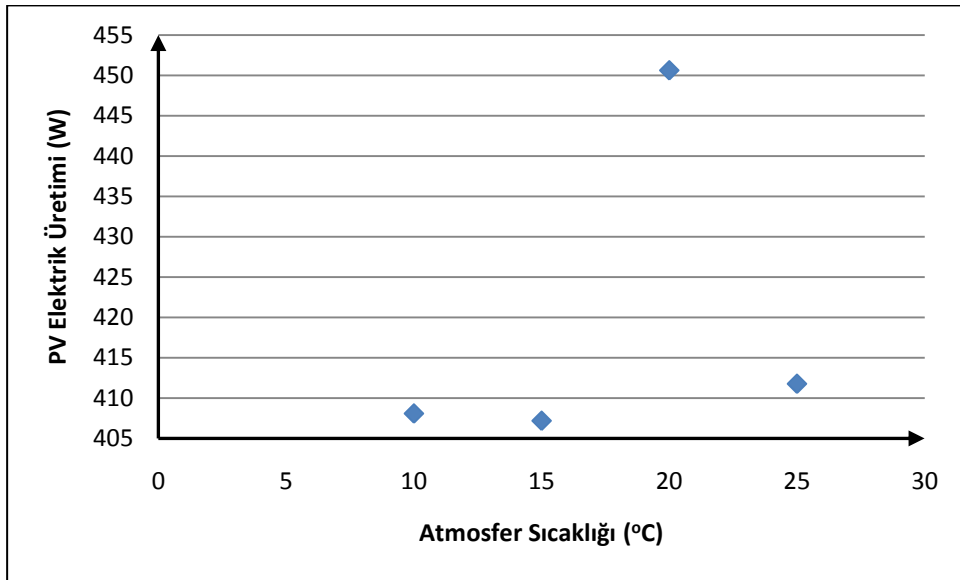
**Şekil B.115 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



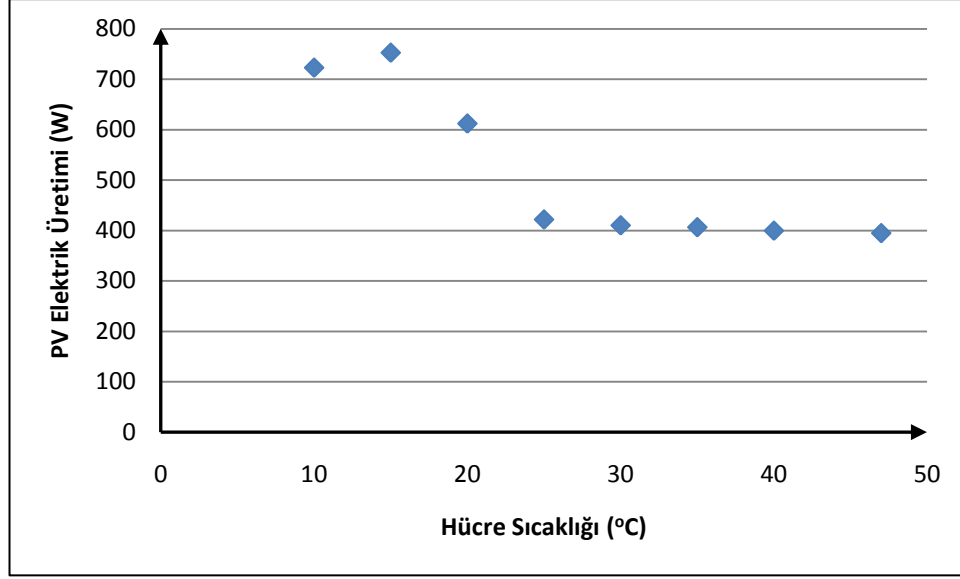
**Şekil B.116 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretim değerleri ile toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



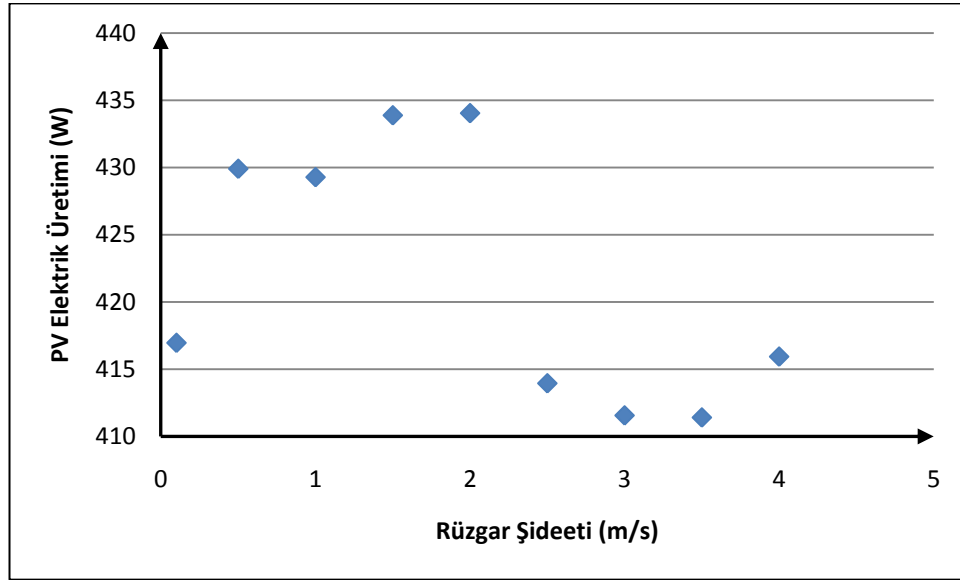
**Şekil B.117 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



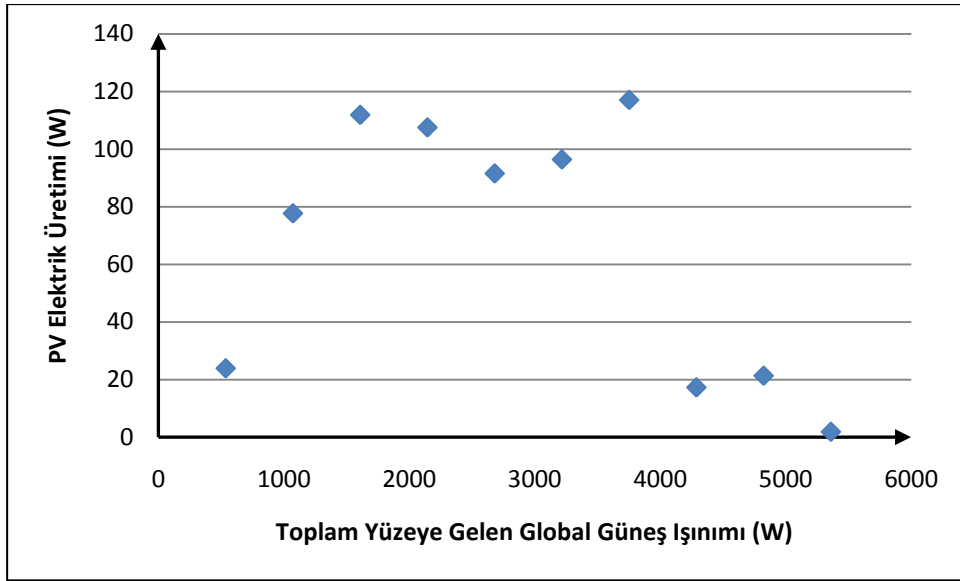
**Şekil B.118 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



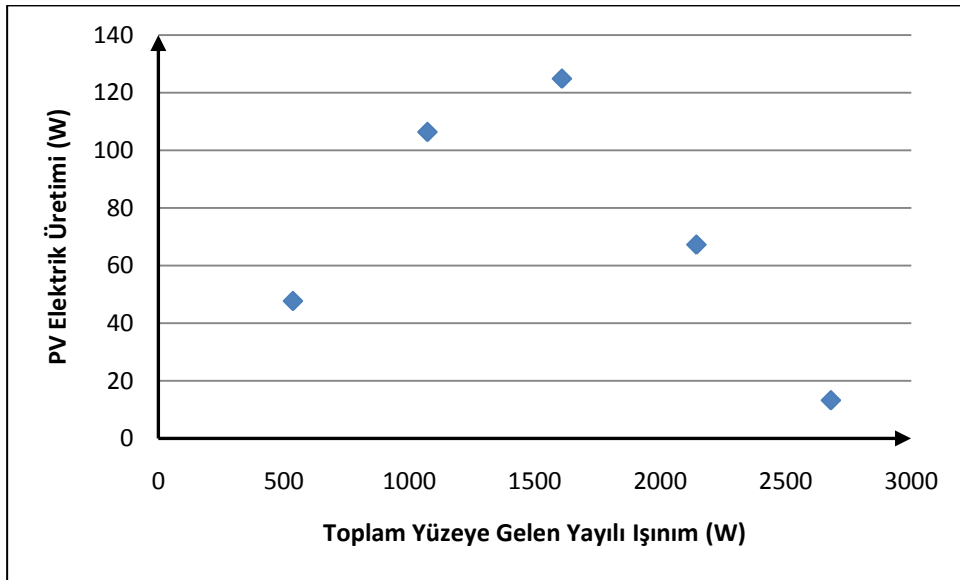
**Şekil B.119 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



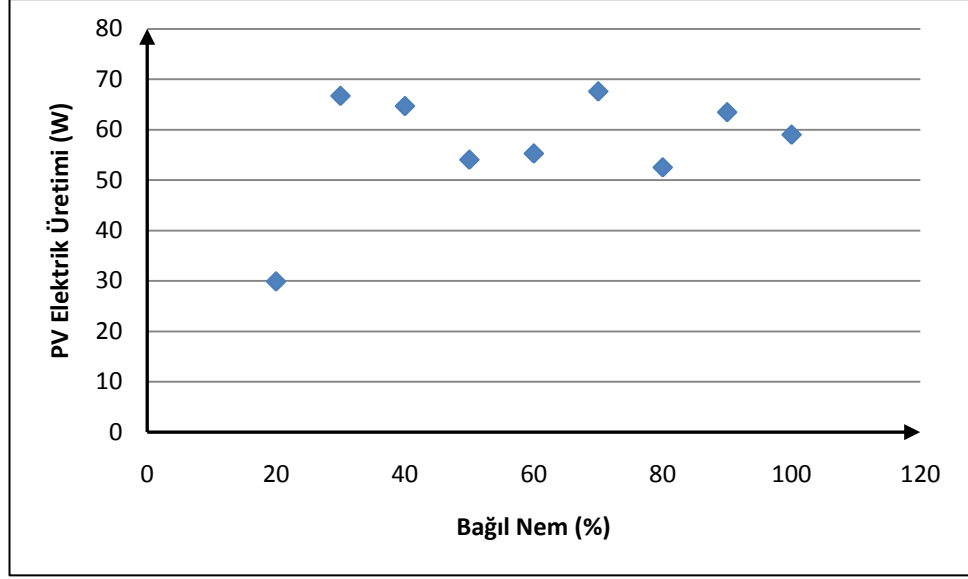
**Şekil B.120 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 1 standart sapma büyük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.



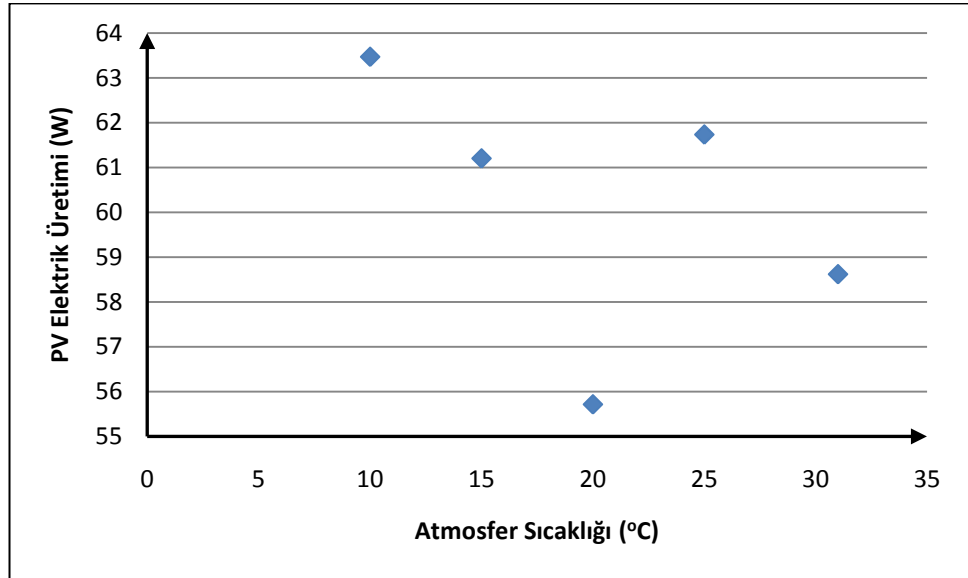
**Şekil B.121 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen global güneş ışıınımlı ilişkisi.



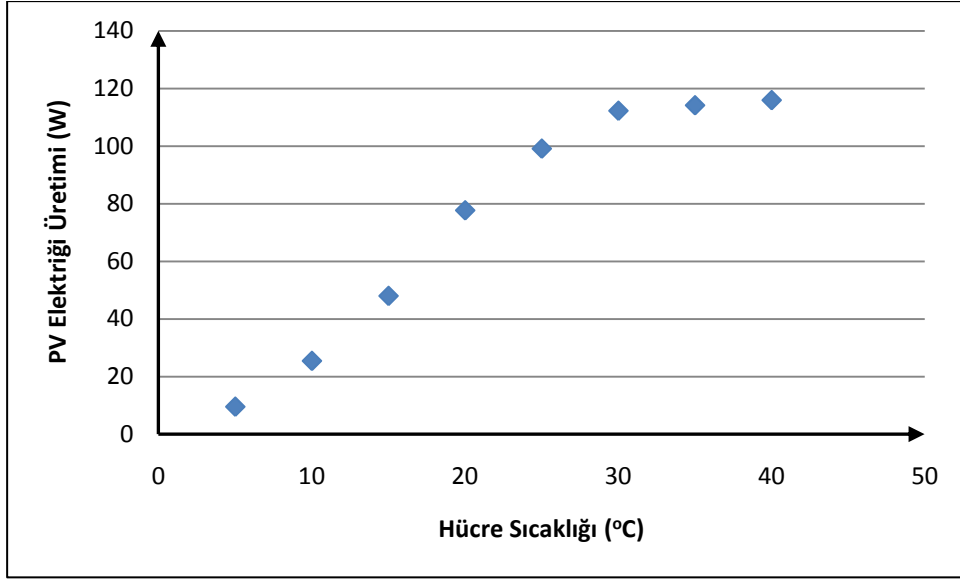
**Şekil B.122 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve toplam yüzeye gelen yayılı ışıınımlı ilişkisi.



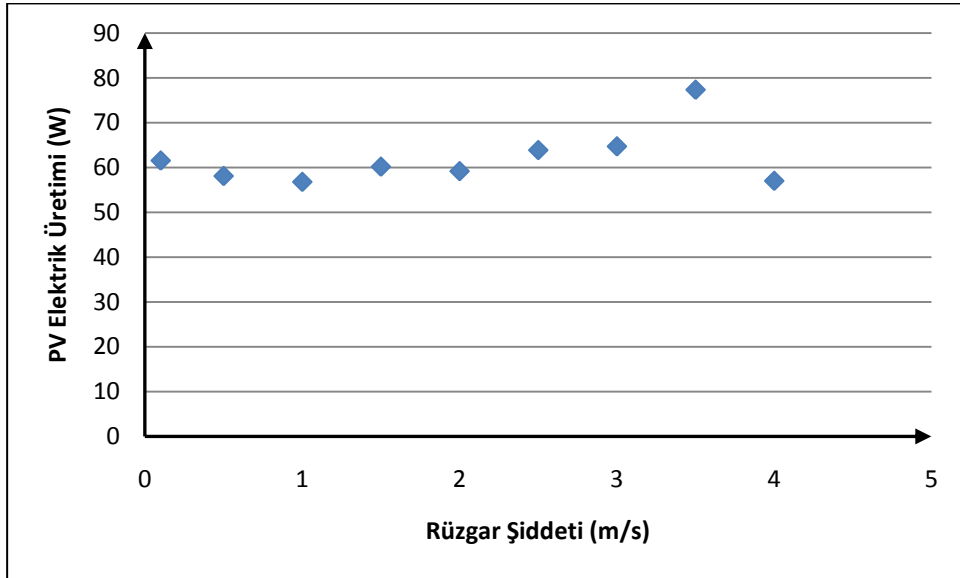
**Şekil B.123 :** Mayıs'10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve bağıl nem ilişkisi.



**Şekil B.124 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve atmosfer sıcaklığı ilişkisi.



**Şekil B.125 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve hücre sıcaklığı ilişkisi.



**Şekil B.126 :** Mayıs '10 ayında ortalamadan 0.5 standart sapma düşük PV elektrik üretimi ve rüzgar şiddeti ilişkisi.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Bihter Yerli

**Doğum Yeri ve Tarihi** : İZMİR / Ödemiş - 19.08.1986

**Lisans Üniversite** :İ.T.Ü. Meteoroloji Müh.

**Yayın Listesi** :

- Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Öztopal A., Şahin A. D.,** 2010 : Effect of Derating Factors on Photovoltaics under Climatic Conditions of Istanbul, *ICESET 2010 : International Conference on Energy Systems Engineering and Technology*, July 28-30, Paris, France.
- İzgi E., Öztopal A., Yerli B., Kaymak M. K., Şahin A. D.,** 2010 : Rüzgar Enerjisinde Kısa Süreli Rüzgar Hızı ve Güç Tahminin Karşılaştırılması, 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- Öztopal A., Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Şahin A. D.,** 2010 : Rüzgar Şiddetinin Bulanık Mantık – Yapay Sinir (Anfis) Yaklaşımıyla Kısa Süreli Tahmini, 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- Yerli B., Kaymak M. K., İzgi E., Öztopal A., Şahin A. D.,** 2010 : Atmosferik Değişkenlerin İstanbul İklim Şartlarında Fotovoltaik Elektrik Üretimine Etkisi, 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Aralık 1-5, Bursa, Türkiye.
- Kaymak M. K., Yerli B., İzgi E., Öztopal A., Şahin A. D.,** 2011 : 1,5 kW’lık Rüzgar Türbinin İstanbul İklim Şartlarında Enerji ve Ekserji Analizi, 5th Atmospheric Science Symposium, April 27-29, İstanbul, Turkey.