



Mono-Kristal PV Panelin Matlab/Simulink'te Modellenmesi ve Deneysel Verilerle Doğrulanması

Modeling of Mono-Crystalline PV Panel in Matlab/Simulink and Varification with Experimental Data

Mahmut Kürşat Develi, Emrulla Çalimli, Ali Durusu, Ramazan Ayaz, Muğdeşem Tanrıöven

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi

kursat.develi@gmail.com, emrullahcalimli@hotmail.com, adurusu@yildiz.edu.tr, ayaz@yildiz.edu.tr, tanriov@yildiz.edu.tr

Özet

Güneş sonsuz bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji sistemleri arasında büyük önem sahip güneş enerji sistemleri sayesinde temiz ve sürdürülebilir enerji üretilebilmektedir. Güneş enerji sistemleri üzerine yapılan araştırmalar ve projeler büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışması ile güneş enerji sistemlerini oluşturan fotovoltaik panel teknolojileri incelenmiş ve uygulamalarda kullanılmak üzere mono kristal fotovoltaik panelin Matlab/Simulink'te modellenmesi yapılmıştır. Yapılan bu model gerçek ortam verileri kullanılarak doğrulanmıştır. Elde edilen çıkış verileri ölçülmüş değerler ile karşılaştırılmıştır ve modelin doğruluğu saptanmıştır. Modelin gerçeğe çok yakın değerler vermesi sebebiyle güneş enerji sistemi araştırmalarında ve proje fizibilite çalışmalarında kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür.

Abstract

The sun is an infinite source of energy. Thanks to solar energy systems that have a great importance in renewable energy systems, clean and sustainable energy can be produced. Research and projects on solar energy systems is of great importance. With this work, photovoltaic panels that make up the solar energy systems technologies are researched and mono-crystalline photovoltaic panels are modelled in Matlab/Simulink to using using in real life applications. This model was verified by using data from the real environment. The obtained measured values are compared with the output datas and the accuracy of the model is determined. We can say, the model is suitable for use in research and project feasibility studies due to the model outputs are very close to the measured values.

1. Giriş

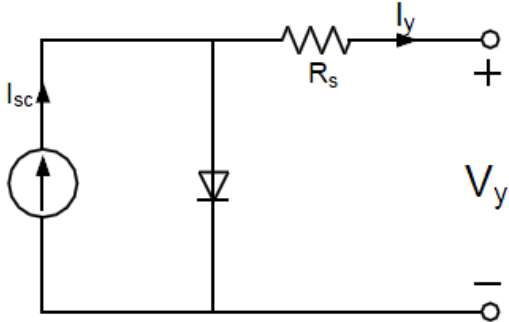
Bu çalışmada, günümüzde üzerinde en araştırma yapılan ve proje üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerji sistemlerinin oluşturulmasında kullanılan farklı fotovoltaik teknolojiler incelenmiş ve mono kristal silikon teknolojisi ile üretilmiş fotovoltaik panelin Matlab/Simulink ile modellenmesi yapılmıştır.

Fosil yakıtların giderek tükendiği, çevre üzerindeki etkilerinin artarak belirginleştiği ve enerjiye olan talebin hızlı şekilde arttığı bir dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın önemi yadsınamaz. Bu nedenle halen verimliliği yeteri kadar yüksek olmayan yenilenebilir enerji sistemlerinin veriminin artırılması için pek çok bilimsel çalışma yürütülmektedir. Son yıllarda üzerinde en çok durulan ve çalışma yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarında birisi güneş enerjisidir. Güneşin ısı ve ışınım enerjisinin kullanılarak enerji üretimi yapılan enerji sistemleri mevcuttur. Bizim üzerinde durduğumuz kısım; güneşin ışınım enerjisi ile enerji üreten sistemler yani fotovoltaik sistemlerdir. Birbirinden farklı pek çok fotovoltaik enerji sistemi teknolojisi bulunmaktadır. Fotovoltaik enerji sisteminin kurulacağı bölgenin şartlarına bağlı olarak yapılacak deneylerle bu teknolojilerden en uygun olanı seçilmelidir. Fotovoltaik sistemlerin enerji çıktısını etkilen en önemli iki değer ışınım ve sıcaklıktır. Bu değerlerin iyi ölçülmesi ve doğru değerlendirilmesi sistemin verimliliği açısından büyük önem arz etmektedir.

2. Model

Bellini, A., Bifaretti, S., vd. yapmış oldukları çalışmada [1] giriş verileri ışınım ve sıcaklık olan bir model oluşturmuşlardır. Fakat rüzgar hızının fotovoltaik enerji sistemleri üzerindeki etkisi sistemin çıkış değerlerini önemli oranda etkilemektedir. Bu nedenle Tamizhmani, G., Ji, L., vd. yapmış oldukları çalışmadan [2] elde ettikleri verileri de kullanarak oluşturulan bir model daha doğru çalışacaktır.

Fotovoltaik modelin oluşturulmasında [1]'de verilen basitleştirilmiş eşdeğer tek-diyot devre modeli ve matematiksel fonksiyonlar kullanılmıştır. Oluşturulan fotovoltaik modelin giriş parametreleri ışınım, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızıdır. Bu parametrelerden ışınım miktarı ile kısa devre akımı arasında doğrusal bir ilişki olmasına rağmen ışınımına göre açık devre geriliminin değişimi oldukça küçüktür, sıcaklığın artması ile ise kısa devre akımı artarken açık devre gerilimi azalır.[3] Modelin çıkışında ise PV panelin akım, gerilim ve gücü elde edilmiştir.



Şekil 1: Basitleştirilmiş eşdeğer tek-diyot devre modeli

PV panelin akımı, Şekil 1'deki basitleştirilmiş eşdeğer tek-diyot devre modeli dikkate alınarak gerilimin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

$$I_y = I_{sc} \cdot \left\{ 1 - K_1 \cdot \left[e^{\left(\frac{V_y}{K_2 \cdot V_{oc}} \right)} - 1 \right] \right\} \quad (1)$$

K_1 ve K_2 katsayıları aşağıdaki panel parametrelerine bağlıdır;

I_{sc} kısa devre akımı

I_{MP} maksimum güç noktasındaki akım

V_{oc} açık devre gerilimi

V_{MP} maksimum güç noktasındaki gerilim

Bu parametrelere göre K_1 ve K_2 katsayıları;

$$K_1 = \left(1 - \frac{I_{MP}}{I_{sc}} \right) \cdot e^{\left(\frac{-V_{MP}}{K_2 \cdot V_{oc}} \right)} \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{\left(\frac{V_{MP}}{V_{oc}} - 1 \right)}{\ln \left(1 - \frac{I_{MP}}{I_{sc}} \right)} \quad (3)$$

Bu parametrelerin hesaplanmasında kullanılan I_{sc} , I_{MP} , V_{oc} ve V_{MP} parametreleri, üretici firma katalogunda verilen ve standart test koşullarında ölçülmüş I_{scs} , I_{mps} , V_{ocs} ve V_{mps} parametrelerine göre hesaplanan değerlerdir.

$$I_{sc}(G, T_c) = I_{scs} \cdot \frac{G}{G_s} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c - T_s)] \quad (4)$$

$$I_{MP}(G, T_c) = I_{mps} \cdot \frac{G}{G_s} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c - T_s)] \quad (5)$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{ocs} + \beta \cdot (T_c - T_s) \quad (6)$$

$$V_{MP}(T_c) = V_{mps} + \beta \cdot (T_c - T_s) \quad (7)$$

Bu hesaplamalarda kullanılan G ışınım, T_c hücre sıcaklığıdır. G_s ve T_s ise sırasıyla standart test koşullarındaki ışınım ve sıcaklıktır. Standart test koşullarında $G_s=1000W/m^2$ ve $T_s=25^\circ C$ 'dir. α ve β sırasıyla akım sıcaklık katsayısı ve gerilim sıcaklık katsayılarıdır. G_s , T_s , α ve β parametreleri üretici firma katalogunda verilen değerlerdir. Buradan görüldüğü üzere akım değeri ışınım ve sıcaklığa gerilim değeri ise sadece sıcaklığa bağlıdır.

Hücre sıcaklığı dış ortam sıcaklığından farklıdır ve ışınım, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı değerlerine bağlıdır. Bu bilgiler ışığında fotovoltaik hücre sıcaklığı;

$$T_c = 1,14 \cdot (T - T_s) + 0,0175 \cdot (G - 300) - k_r \cdot w + 30 \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

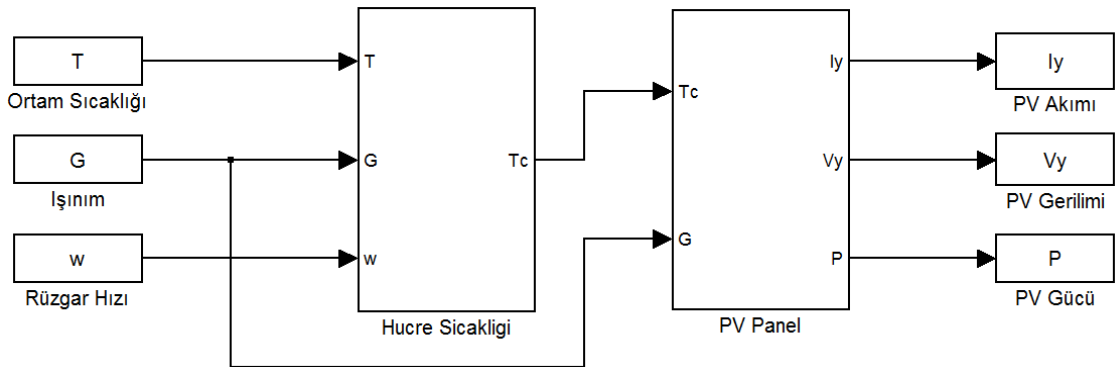
T : ortam sıcaklığı ($^\circ C$)

T_s : standart koşullardaki sıcaklık ($25^\circ C$)

w : rüzgar hızı (m/s)

Bu hesaplamada kullanılan k_r katsayısı her fotovoltaik teknoloji için farklılık göstermektedir. Yapmış olduğumuz simülasyonda mono kristal fotovoltaik panel kullanılmıştır ve mono kristal teknolojiyle üretilmiş paneller için bu değer $k_r=1,509$ olarak verilmiştir.[2]

Matlab/Simulink'de oluşturulan fotovoltaik modele ait ana blok şeması Şekil 2'de verilmiştir.

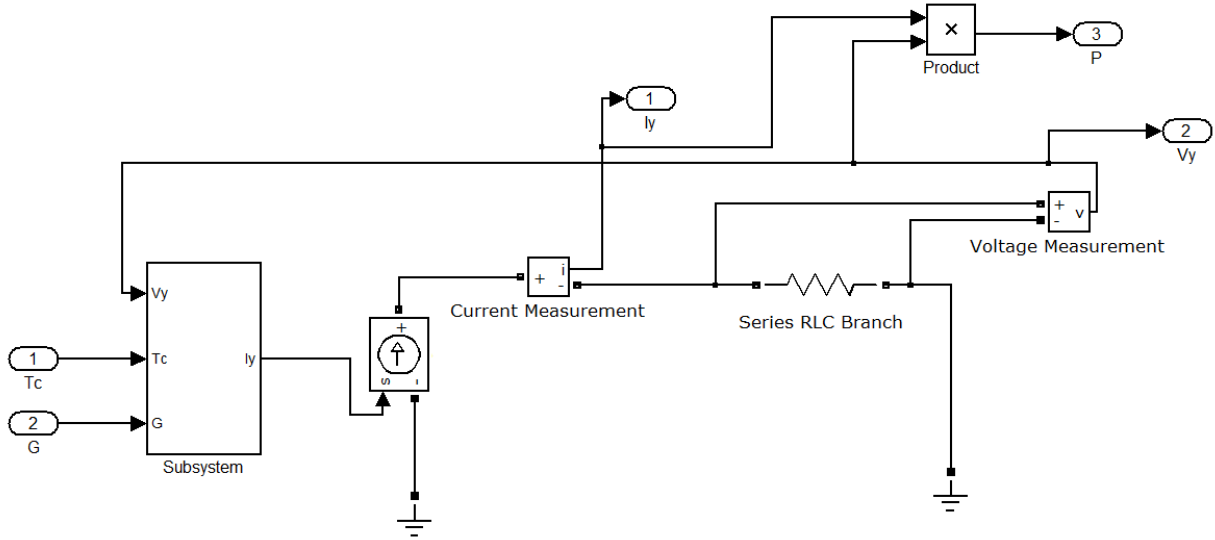


Şekil 2: PV modele ait Matlab/Simulink ana blok şeması

Model iki ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım yani 'Hücre Sıcaklığı' bloğu ortam sıcaklığı, ışınım ve rüzgar hız girdilerini alarak hücre sıcaklığı parametresini elde etmektedir. İkinci kısım yani 'PV Panel' bloğu ise hücre sıcaklığı, ışınım ve üretici firma katalogunda verilen diğer parametreler ile PV akımı, gerilimi ve gücünü elde etmektedir. Çalışmalar sırasında karşılaştığımız en büyük sorun ve üzerinde en çok durulması gereken konu; PV Panel bloğunu oluşturulmasında

kullanılan 4, 5, 6 ve 7 denklemlerindeki ' $(T_c - T_s)$ ' ifadesinde T_c değeri, sıcaklık değeri $25^\circ C$ olan T_c 'den küçük değerler aldığımda modelin gerçek değerlerden çok farklı değerler vermesiydi. Bu sorun PV Panel bloğu içerisinde ' $(T_c - T_s)$ ' ifadesinin mutlak değeri alınarak çözülmüştür.

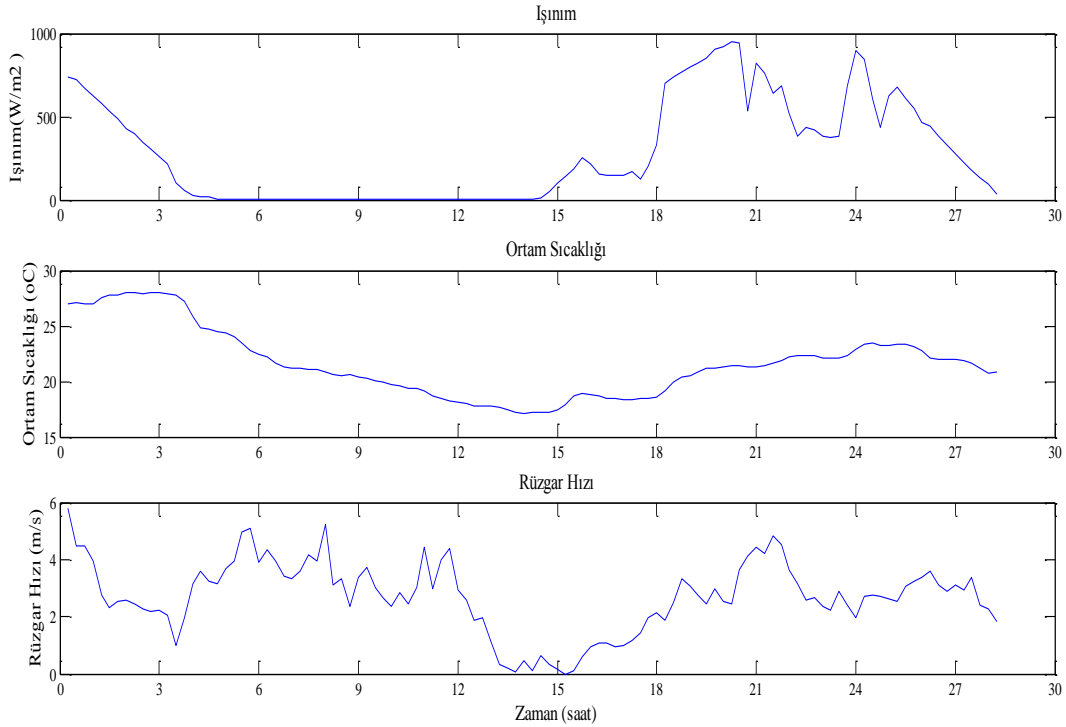
Yük olarak bir direnç bağlanmış ve bu direnç üzerinden modelin akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Direnç bağlantısına ait alt blok şeması Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Direnç bağlantısına ait alt blok şeması

Model giriş verileri olan ışınım (G), ortam sıcaklığı (T) ve rüzgar hızı (w) değerlerinin ölçülmüş gerçek ortam verileri [4]'deki çalışmadan alınmıştır. Bu değerler 28.25 saat (1695

dakika) süreyle ölçülmüş olup bu değerlerin 15 dakikalık ortalama değerleri model giriş verileri olarak kullanılmıştır. Şekil 4'de bu verilerin grafiksel olarak değişimleri verilmiştir.



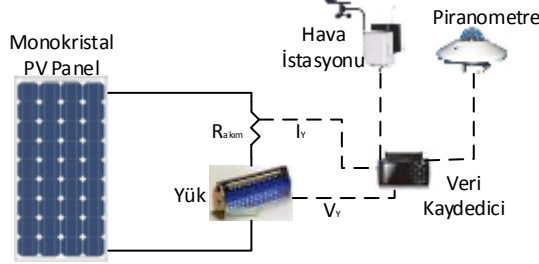
Şekil 4: Işınım, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızının grafiksel değişimleri

3. Deney Düzenegi

Deney düzenegi modellenen PV panelin gerçek ortam şartları altındaki ışınım, sıcaklık, rüzgâr hızı, PV panel akımı ve PV panel gerilimini ölçmek için tasarlanmıştır. Deney düzeneginde bir adet hava istasyonu, bir adet piranometre, bir adet veri kaydedici ve yük olarak bir direnç

bulunmaktadır. Yük gerilimi yük uçlarından direk olarak ölçülmüştür. Panel akımı ise 0.01 değerinde bir yüksek güçlü(25 W) direnç üzerinden gerilim verisi olarak kaydedilmiş daha sonra akıma çevrilmiştir. Hava istasyonu birçok dış ortam verisini kaydetmektedir. Bu çalışmada hava

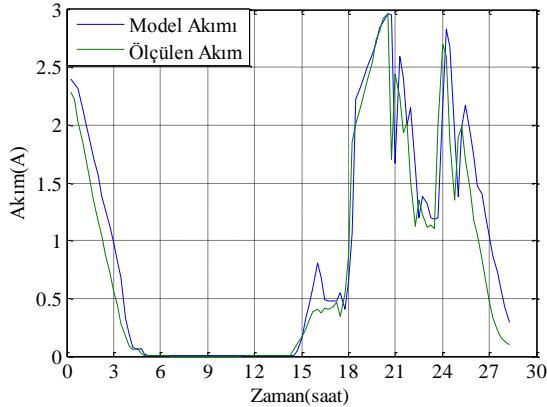
istasyonu verilerinden sadece rüzgar hızı, sıcaklık kullanılmıştır. Ayrıca ışınım verileri de piranometre ile alınmıştır. Şekil 5'te deney düzeneğinin şeması verilmiştir.



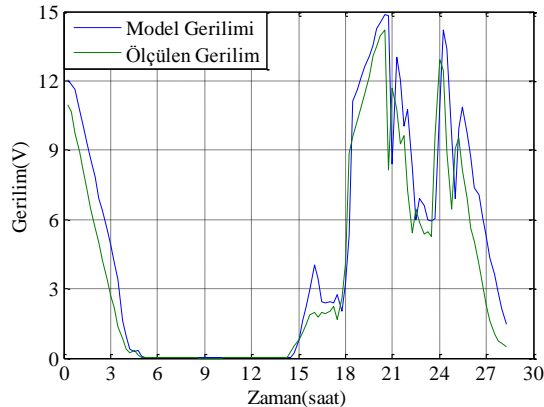
Şekil 5: Deneysel düzeneğin şeması

4. Model ve Gerçek Verilerin Karşılaştırılması

Oluşturulan model ölçülmüş dış ortam değerleri ve üretici katalog bilgileri kullanılarak gerçekleştirilerek, PV akımı, gerilimi ve güç çıkış verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu çıkış verilerinin doğrulanabilmesi için kullanmış olduğumuz PV panel ile oluşturulan fotovoltaik sisteme ait akım, gerilim ve güç çıkış verilerinin dış ortam koşullarına paralel olarak ölçülmüş değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma oluşturulmuş olan modelin çıkış verilerinin ölçülmüş gerçek ortam verilerine çok yakın değerler olduğu görülmüştür. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de ölçülmüş akım, gerilim ve güç verileri ile bu verilerin model çıkışında elde edilmiş değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir.

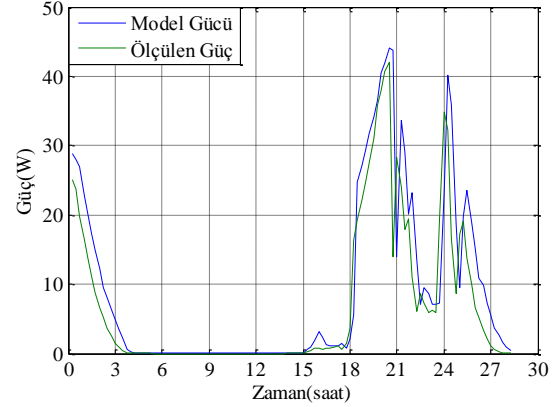


Şekil 6: Model akımı ve ölçülen akım



Şekil 7: Model gerilimi ve ölçülen gerilim

Grafiklerden de görüldüğü gibi model çıkış değerleri ile ölçülmüş ortam değerleri birbirine çok yakın değerlerdir. Fakat model çıkış değerleri ölçülmüş değerlere göre küçük bir miktar geridedir.



Şekil 8: Model gücü ve ölçülen güç

5. Sonuçlar

Model gerçek dış ortam verileri ve kullanılan mono kristal panele ait üretici firma katalog bilgileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model çıkış verileri (akım, gerilim ve güç) ölçülmüş veriler ile karşılaştırılarak oluşturulan modelin doğruluğu saptanmıştır. Modelin araştırmalarda ve proje fizibilite çalışmalarında kullanılabilir kadar küçük bir hata payına sahip olduğu saptanmıştır. Bu nedenle bu tip çalışmalarda kullanılması uygundur.

Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkelerde güneş enerji sistemlerine verilen önem giderek artmaktadır. Bunun başlıca sebepleri fosil yakıtları olumsuz yanları ve bu enerji kaynaklarının sonlu kaynaklar olmasıdır. Bu nedenle güneş enerji sistemleri projelerinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak fotovoltaik panellere ait modellerin oluşturulması oldukça önemlidir. Bu sayede oluşturulacak olan santralin enerji çıktısı öncede belirlenerek oluşturulacak tesisin verimliliğin yeterli düzeyde olup olmadığı saptanabilir.

6. Kaynaklar

- [1] Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V. ve Cornaro, C., "Simplified Model of A Photovoltaic Module", *Applied Electronics*, 2009, Rome.
- [2] TamizhMani, G., Ji, L., Tang, Y. ve Petacci L., "Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance: Long-Term Monitoring and Model Development for Energy Rating", *NCPV and Solar Program Review Meeting*, 2003, NREL.
- [3] Tanrıöven, M., Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ders Notları.
- [4] Ayaz, R., "Farklı PV Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, 2012, İstanbul.