

Farklı yönlere bakan cephelerdeki bina entegre fotovoltaik (BIPV) sistem performanslarının değerlendirilmesi

BETÜL BEKTAŞ EKİCİ^{1*}

ÖZET

Fotovoltaik sistemler (PV) bütün yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ulaşılması en kolay, bol ve temiz olan güneşten elektrik enerjisi üretmenin en etkili yollarından biridir. Bu çalışmada Elazığ ilinde farklı yönlere bakan bina cephelerinde bina entegre fotovoltaik sistem (BIPV) kullanımı ile elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı PVsyst 6.2.6 programı ile tahmin edilmiştir. Hesaplamalarda aynı yüzey alanına sahip (300 m²) doğu, batı kuzey ve güney yönlerine bakan cephelerin olduğu ve kurulan sistemin şebeke bağlantılı olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan toplam ve yayılı güneş ışıınımı değerleri literatürde sıklıkla kullanılan sayısal bir yöntemle hesaplanmıştır. Dış ortam sıcaklığı, günlük güneşlenme süresi verileri ise Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Farklı PV teknolojilerine (si-mono, si-poly) ait enerji çıkışları hesaplanarak sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: bina entegre fotovoltaik sistemler (BIPV), elektrik üretimi, yönlenme

¹ Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 23119, ELAZIĞ; Tel: (0424)2370000-5575; bbektas@fiat.edu.tr

1. GİRİŞ

Bina entegre fotovoltaik sistemler (BIPV) yapı kabuğunda geleneksel yapı elemanları (cephe, çatı, pencere gibi) yerine kullanılan ve yapı kabuğunun enerji üreten bir sistem olarak iş görmesini sağlayan bileşenlerdir. Bu sistemlerde PV modüller yapı kabuğunun tamamlayıcı bir kısmını oluşturmaktadır. Elektrik üretiminin son kullanıcıya yakınlığı, altyapı yatırımlarının ve elektriksel gücün taşınması ve dağıtılmasından kaynaklanan kayıpların azaltılmasını sağlar [1,2]. BIPV sistemlerin kullanımı ile enerji tüketiminde üst sıralarda yer alan binaların enerji tüketicisi olmaktan ziyade enerji üreticisine dönüştürmek mümkün olmaktadır.

BIPV sistemlerde bina-kabuğu üzerinde ek bir kaplama malzemesi veya askı sistemine gerek olmadan PV paneller doğrudan kabuk eleman vazifesini de üstlenmektedir. Sistemin enerji üretmesinin yanı sıra mekanik sağlamlık ve yapısal bütünlük sağlaması; yağmur, kar, rüzgar ve dolu gibi hava etkilerine karşı koruma özellikleri vardır. Bunların yanı sıra gölgeleme, doğal aydınlatma ve ısı yalıtımı gibi binalarda enerji tüketimine sebep olan durumlar için ekonomi sağlama, yangın ve gürültü koruması gibi avantajlar da sağlamaktadır [2-4]. Avantajlarına ek olarak kullanıcıyı görsel anlamda memnun etmesi, yapı kabuğuna doğal olarak entegre olması, renk ve malzemenin kompozisyonunun doğru olarak gerçekleştirilmesi, ölçülerin cephe kompozisyonu ve uyumunu bozmayacak şekilde gridal yapı ile uyuşması, mühendislik açısından iyi düşünülmüş ve yenilikçi bir teknolojiye sahip olması beklenmektedir [5].

Bina yüzeyleri üzerinde bulunan PV üreteçlerin yıllık üretim performanslarının maksimum seviyede tutulması, PV dizisinin yönü ve eğim açısına bağlıdır. BIPV sistemlerin kendilerinden beklenen maksimum performansı sağlayacak şekilde doğru yerleştirilmesi, panel eğim açılarının tespit edilmesi ve BIPV'nin cephe üzerinde son konumunun belirlenmesi tasarımcının sorumluluğundaki en önemli görevlerin başında gelmektedir. PV sistemlerin enerji çıkışları, panel yüzeyleri üzerine düşen güneş ışınımı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle bina cephesi üzerinde uygun yer seçimi yapılırken çevredeki diğer bina, ağaç ve coğrafi bileşenlerin (dağ, tepe gibi) gölgeleme etkilerinin de farkında olunması da son derece önemlidir. Panel sıcaklığının artmasının elektrik enerjisi üretimini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle uygun yönlenme yapılırken panel sıcaklıklarını düşürebilmek amacıyla hâkim rüzgardan da yararlanılabilir.

Türkiye’de konu ile ilgili olarak Eke ve Sentürk [6], Türkiye’nin ilk ve en büyük BIPV sistemini kurdukları çalışmada Muğla ili iklim koşullarında 40kWp gücündeki amorf silikon teknolojisine sahip modüllerle oluşturdukları sistemin farklı mevsimlerdeki performanslarını değerlendirmişlerdir. Koyunbaba vd [7], benzetim yönteminin geçerliliğini sağlamak amacıyla İzmir’de BIPV trombe duvarlı bir modelin deney ve benzetim sonuçlarını karşılaştırmış ve sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Özdoğan ve Hıraoğlu [8], PV teknolojisinin Türkiye ve dünyadaki durumunu irdeledikleri çalışmalarında ülkemizde gerçekleştirilen uygulamalara ait detaylara yer vermişlerdir. Çelebi [9], düşey yapı kabuğunda PV panel kullanımına ilişkin temel tasarım ilkelerini ifade ettiği çalışmasında, panellerden etkin bir şekilde faydalanabilmek için yerel enleme uygun bir açı ile güneşe yönlendirilmeleri gerektiğini belirtmiştir.

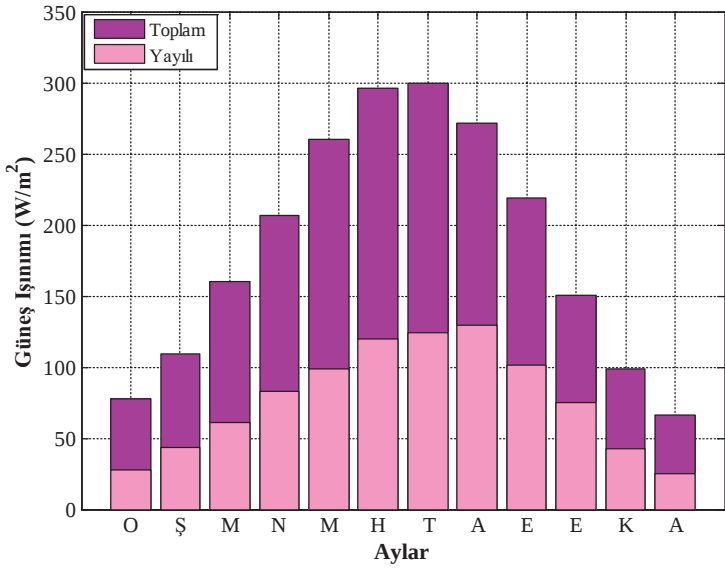
Bu çalışmanın amacı, Elazığ coğrafi ve iklimsel koşullarında gerçekleştirilebilecek bir BIPV uygulaması için uygun yönün tespit edilmesi ve farklı yön alternatiflerinin konumlandırılacak BIPV’nin yıllık elektrik enerjisi üretimine olan etkisinin incelenmesidir. Benzetimlerde kullanılan Elazığ iline ait yatay düzlem üzerine gelen tüm ve yayılı güneş ışınımı değerleri literatürde sıklıkla kullanılan sayısal bir hesaplama yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan 1990-2012 yılları arasındaki güneşlenme süresi verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Benzetimler, PVsyst 6.2.6 paket programı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar grafik ve tablolarla tartışılmıştır.

2. ÖRNEK FOTOVOLTAİK SİSTEM

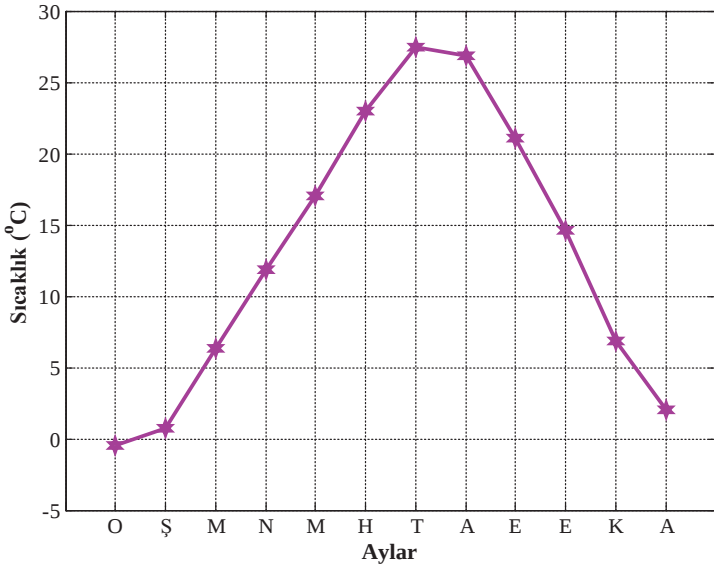
Bu çalışmada, Elazığ ilinde bulunduğu varsayılan bir binanın farklı cephelerinde gerçekleştirilebilecek BIPV uygulaması ile elde edilebilecek elektrik enerjisi çıkışları değerlendirilmiştir. Şebeke bağlantılı olduğu varsayılan sistem için örnek bina cephesindeki uygun alanın 300 m² olduğu varsayılmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan toplam ve yayılı güneş ışınımı değerleri literatürde sıklıkla kullanılan bir sayısal yöntemle gerçek güneşlenme süresi verisi kullanılarak hesaplanmıştır [10]. Elazığ iline ait yatay düzlem üzerine gelen tüm ve yayılı güneş ışınımı değerleri Şekil 1’de verilmiştir. Devlet

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden temin edilen aylık ortalama dış sıcaklık değerleri ise Şekil 2’de ifade edilmektedir.



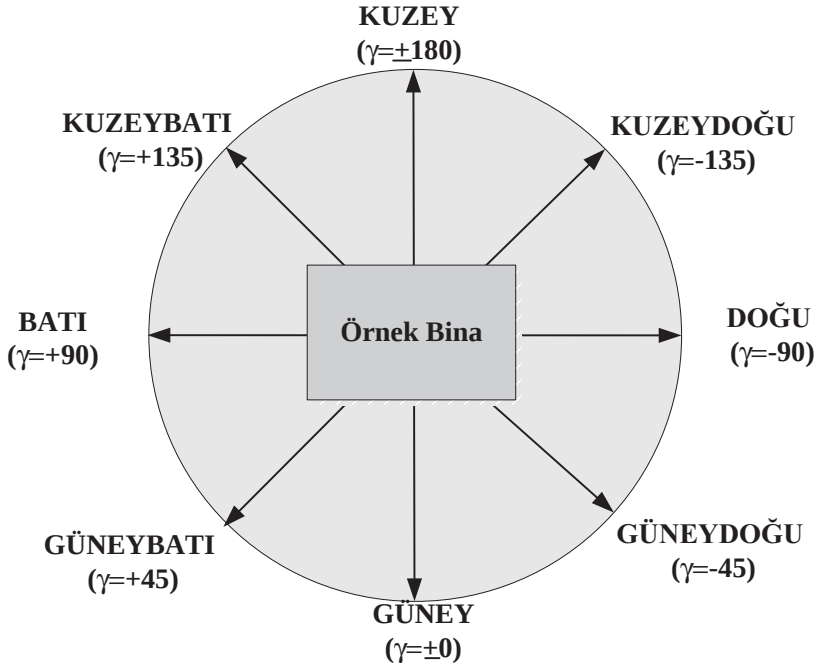
Şekil 1. Yatay düzlem üzerine gelen tüm ve yayılı güneş ışınlamı



Şekil 2. Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri

Bir konut binası için kullanılacak olan düşük gerilimli bir BIPV sistemi, PV dizisi ve inverterden oluşur. Besleyici elektrik doğrudan elektrik şebekesine bağlıdır ve genel olarak bataryaya ihtiyaç duymaz ve kullanmazlar. Şebeke bağlantılı bu sistem ile üretilen enerji miktarı bölgesel iklim yön ve PV dizisinin eğimi ile inverterin performansına bağlıdır [11].

BIPV uygulamasının yapılacağı en uygun yönlenmenin tespit edilebilmesi amacıyla farklı alternatifler göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla bina örneğinin azimuta açısı $\gamma=0^\circ$ 'den $\gamma=\pm 180^\circ$ ve $\gamma=0^\circ$ 'den $\gamma=\pm 180^\circ$ 'ye farklı alternatiflerine 10° 'ar derecelik adımlara ait elektrik çıkışları mono-silikon ve poli-silikon teknolojileri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan ve ana yönler için alınan azimut açısı değerleri Şekil 3'te ifade edilmiştir. Cephe yüzeylerine ait eğim açısı $\beta=0^\circ$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Örnek bina için azimut açıları

Piyasada çok sayıda farklı teknoloji ile üretilmiş PV modülüne ulaşmak mümkündür. Ancak bu çalışmada yüksek verim ve nispeten daha düşük maliyetleri, dikkate alınarak mono-silikon ve poli-silikon teknolojisi ile

üretilmiş PV modüller tercih edilmiştir. Uygulamada kullanıldığı varsayılan PV modüllere ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

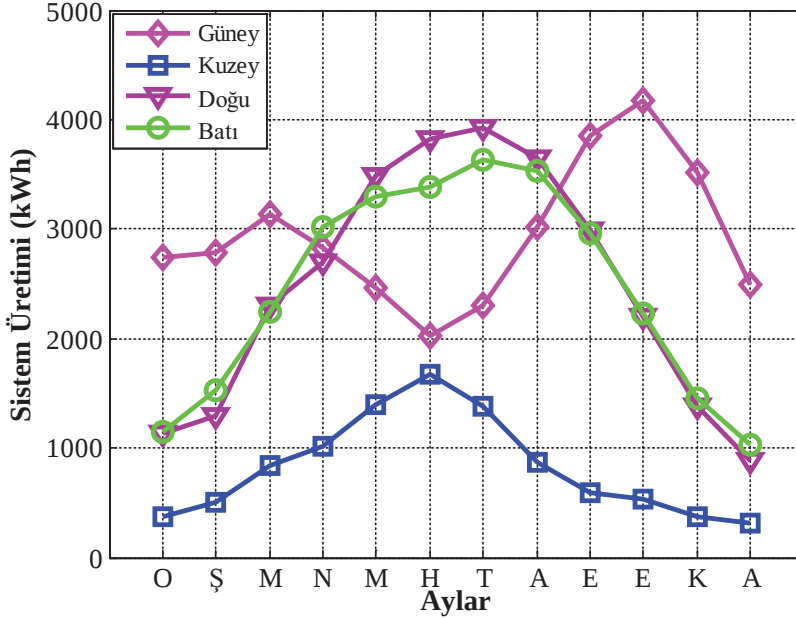
Tablo 1. Benzetimlerde kullanılan PV modül ve özellikleri [12]

PV modüller			
Üretici	Sunworld	Üretici	Photowatt
Model	QSM 125-120X	Model	PW 1400/120W
Güç	120Wp	Güç	120Wp
Verim	%12.15	Verim	%8.99
V_{oc}	32.70 V	V_{oc}	42.40 V
I_{sc}	4.89 A	I_{sc}	4.10 A
V_{mpp}	26.70 V	V_{mpp}	32.80 V
I_{mpp}	4.49 A	I_{mpp}	3.660 A
mu_{ISC}	4.4 mA/°C	mu_{ISC}	1.3mA/°C
R_{sh}	350 Ω	R_{sh}	350 Ω
R_s	0.536 Ω	R_s	1.2 Ω
Uzunluk	1218 mm	Uzunluk	1237
Genişlik	812 mm	Genişlik	1082

Gerçekleştirilen benzetimlerde Solar Max firmasına ait Solar Max 15MT3 inverterlerin kullanıldığı varsayımı yapılmıştır. 15 kW gücündeki bu inverterlerin verimi % 98’dir. 550 x 200 x 750 mm boyutlarına sahip olan cihaz 400 V’a kadar şebeke gerilimiyle kullanılmaktadır. PV kurulumu 15 sıra, 20 adet seri bağlı toplam 300 modülden oluşmaktadır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Elazığ iklim şartlarında farklı yönlerle bakan yüzeyler üzerinde kurulacak BIPV cepheler ile elde edilebilecek elektrik enerjisi üretimi miktarları bir yıllık süre için tespit edilmiştir. Farklı cephe alternatiflerinin elektrik enerjisi performansları $\gamma=\pm 0^\circ$ ’den $\gamma=\pm 180^\circ$ ’ye 10’ar derecelik adımlar için belirlenmiştir. Yıllık elektrik enerjisi ihtiyaçlarının dört ana yön için hesaplandığı durumlara ait aylık ortalama sistem üretimi mono-kristal ve poli-kristal BIPV sistemler için sırasıyla Şekil 4 ve 5’te verilmiştir.



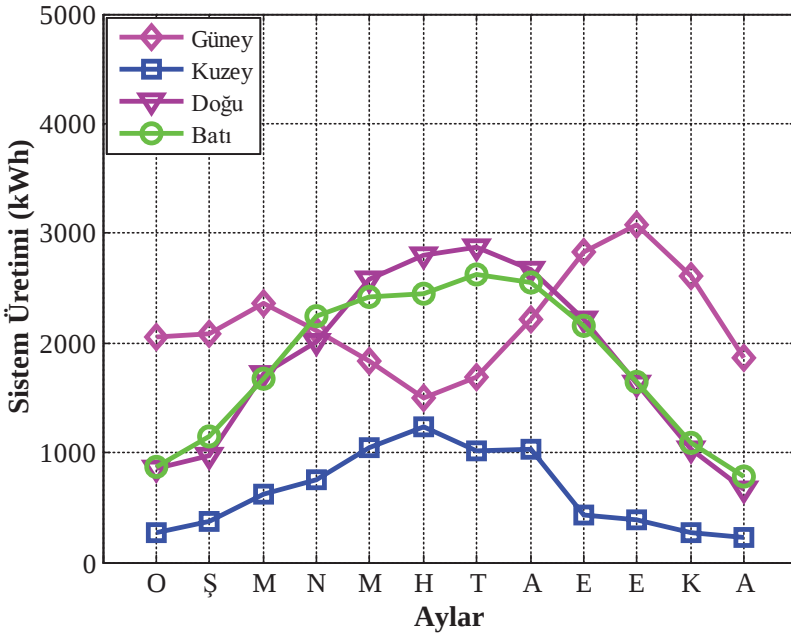
Şekil 4. Mono-silikon BIPV için dört ana yöne ait aylık enerji üretimi

Elde edilen elektrik enerjisi miktarları panel yüzeyi üzerine düşen güneş ışınımı ile doğru orantılı olduğundan en düşük üretim kuzey yönünde gerçekleşmiştir. Bu yönde mono-silikon teknoloji ile yıl boyunca toplamda üretilebilecek elektrik enerjisi 9864 kWh olmaktadır. Poli-silikon teknoloji ile ise bu miktar 7268 kWh'a kadar düşmektedir.

Güney cephelerde kurulacak BIPV sistemler yıl boyunca yüksek elektrik gücü sağlarlar. Ancak bu üretim en yoğun şekilde bahar ve kış aylarında özellikle güneş ışınlarının yerküreye eğik geldiği zamanlarda olmaktadır. Yaz aylarında ise doğu ve batı yönlerinde elde edilen elektrik enerjisi, bu yüzeyler üzerine düşen güneş ışınımının da yıl boyunca ulaştığı en üst seviyelere ulaşmasından dolayı güney yönünden mono-silikon ve poli-silikon teknolojileri için sırasıyla ortalama % 55.5 ve % 42.78 daha fazla elektrik enerjisi üretimi potansiyeline sahiptirler.

Literatürde doğu ve batı yönlerine ait sayısal olarak elde edilen güneş ışınımı değerleri birbirlerine eşit olarak elde edilir. Bu çalışmada da doğu ve batı cepheler üzerine düşen güneş ışınımı miktarları eşit olsa da bu yönler ait elektrik üretimi özellikle yaz aylarında farklılıklar göstermektedir. Şekil 4 ve

Şekil 5 incelendiğinde doğu yönünde üretilen elektrik enerjisinin batı yönüne göre Mayıs-Eylül döneminde % 1.35 ve % 14.04 arasında değişen oranlarda daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Poli-silikon BIPV için dört ana yöne ait aylık enerji üretimi

Bunun başlıca sebebi yaz aylarında özellikle batı cepheler üzerine güneş ışınımının düştüğü saatlerde gün içerisinde oldukça ısınan havanın batı yönündeki panellerin sıcaklıklarının aşırı artmasına sebep olmasıdır. Bunun sonucu olarak batı yönünde konumlandırılan PV paneller, havanın nispeten daha serin olduğu sabah saatlerinde güneş ışınımı alan doğu cephedeki PV panellerden daha az elektrik enerjisi üretirler.

Dört ana yön haricinde diğer yönlere bakan şebeke bağlantılı PV sistemlere ait yıllık enerji üretimi miktarları Tablo 2’de verilmiştir. Burada farklı PV teknolojileri için verilen üretim miktarlarına bakıldığında bütün yönler için mono-kristal teknolojisinin poli-kristal teknolojisine göre ortalama % 35.38 oranında daha fazla elektrik ürettiği söylenebilir.

Tablo 2. Mono-silikon ve Poli-silikon teknolojileri ile farklı azimut açıları için elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarları (kWh)

Azimut Açısı	Si-mono	Si-poly	Azimut Açısı	Si-mono	Si-poly
0°	35340	26225	-0°	35340	26225
10°	35484	26308	-10°	35453	26323
20°	35768	26483	-20°	35709	26513
30°	35891	26531	-30°	35831	26592
40°	35711	26352	-40°	35738	26501
50°	35185	25920	-50°	35280	26136
60°	34316	25245	-60°	34473	25515
70°	33070	24305	-70°	33331	24655
80°	31426	23084	-80°	31795	23513
90°	29463	21642	-90°	29784	22028
100°	27048	19873	-100°	27652	20461
110°	24532	18036	-110°	25114	18595
120°	21785	16028	-120°	22376	16578
130°	18982	13975	-130°	19616	14542
140°	16286	11996	-140°	16907	12537
150°	13878	10226	-150°	14413	10684
160°	11755	8659	-160°	12179	9015
170°	10285	7571	-170°	10546	7789
180°	9864	7268	-180°	9864	7268

En yüksek üretim $\gamma=\pm 30^\circ$ 'ye sahip güney üzerinden doğu ve batıya bakan yönlerde elde edilmiştir. Bu yönler güney cepheler gibi kış aylarında yüksek güneş ışınlamı alırken bahar mevsimi gibi geçiş dönemlerinde ve yazın doğu ve batı yönlerine de dönük olmaları sebebiyle güneş ışınlamına maruz kalmaktadırlar. Bu sayede elde edilen elektrik enerjisi çıkışı hem güney hem de doğu ve batı yönlerinden yüksek olmaktadır. Özellikle yaz aylarındaki aşırı ısınmalardan kaynaklanan üretim düşüşleri bu yönlerde görülmediğinden doğu ve batı yönlerine göre mono-kristal silikon teknolojisi için ortalama % 21.04, poli-kristal teknolojisi için ise ortalama % 21.65 daha yüksek oranda elektrik enerjisi elde etmek mümkün olabilmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada farklı yönler yönlendirilmiş olan şebeke bağlantılı BIPV sistemlerin Elazığ ili koşullarındaki performansları değerlendirilmiştir. Performans analizleri mono-silikon ve poli-silikon teknolojisine sahip PV kurulumları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Analizler PVsyst 6.2.6 programı ile gerçekleştirilmiştir. Gölge etkisinin mevcut olmadığı varsayımı ile yapılan analizlerde en yüksek elektrik enerjisi çıkışları mono-silikon teknolojisi ile üretilmiş panellerin kullanıldığı sistemlerde elde edildiği görülmüştür. Maksimum çıkışların ise $\pm 30^\circ$ azimut açılarına sahip yönlerde elde edildiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Urbanetz, J., Zomer, C. D., Rüther, R. (2011). Compromises between form and function in grid connected building integrated photovoltaics (BIPV) at low latitude sites. *Building and Environment*, 46, 2107-2113.
- [2] Oliver, M, Jackson, T. (2001). Energy and Economic Evaluation of Building Integrated Photovoltaics, *Energy*, 26, 431-439.
- [3] Saber, E. M., Lee, S. E., Manthapuri, S., Yi, W., Deb, C. (2014). PV (Photovoltaic) Performance Evaluation and Simulation Based Yield Prediction for Tropical Buildings. *Energy*, 71, 588-595.
- [4] Yang, R. J. (2015). Overcomming Technical Barriers and Risks in the Application of Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Hardware and Software Strategies. *Automation in Construction*, 51, 92-102.
- [5] Chemisana, D. (2011). Building integrated concentrating photovoltaics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 603-611.
- [6] Eke, R., Sentürk, A.(2013). Monitoring the Performance of Single and Triple Junction Amorphous Silicon Modules in Two Building Integrated Photovoltaic (BIPV) installations. *Applied Energy*, 109, 154-162.
- [7] Kundakci Koyunbaba, B., Yılmaz, Z., Ulgen, K. (2013). An Approach for Energy Modelling of a Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Trombe Wall system. *Energy and Buildings*, 67, 680-688.
- [8] Özdoğan, H. P., Hıraoğlu, E. E. (2011). Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Paneller ve Türkiye Uygulamalarından örnekler, Çevre-Tasarım Kongresi, Erişim Adresi: <http://hmtinsa.com.tr/wp-content/uploads/2015/02/FOTOVOLTAIK-PANEL-SEMINER.pdf> Erişim Tarihi: 10.04.2015.
- [9] Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33.

- [10] Aksoy, U.T., Bektaş Ekici, B. (2013). TS 825 İklimsel Verilerinin Farklı Derece Gün Bölgeleri için uygunluğunun Değerlendirilmesi. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 163-179.
- [11] Norton, B., Eames, P.C., Mallick T. K., Huang M. J., McCormack S. J., Mondol, J. D., Yohanis Y. G. (2011). Enhancing the Performance of Building Integrated Photovoltaics. *Solar Energy*, 85,1629-1664.
- [12] PVsyst: <http://www.pvsyst.com> adresinden 13.05.2015 tarihinde edinilmiştir.