



## Fotovoltaik Üretim Sistemlerinin Şebekeye ve Maliyetlere Etkisinin İncelenmesi

### Investigation Effects of Photovoltaic Generation Systems on the Utility and Costs

Zeynel BAŞ<sup>1</sup>, Serhat ZIBA<sup>1</sup>, Ahmet Serdar YILMAZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ahmet Serdar YILMAZ, [asyilmaz@ksu.edu.tr](mailto:asyilmaz@ksu.edu.tr)

#### ÖZET

Artan enerji maliyetleri endüstriyel kullanıcılar için önem arz etmektedir. Endüstride enerji maliyetini düşürmek için kendi enerjisini üreten sistemlerin kurulması kullanıcıyı maddi açıdan rahatlatmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasıyla FV enerji üretim sistemleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu amaçla bu çalışmada, bir fabrikanın elektrik enerjisi ihtiyacını şebekeyi devre dışı bırakarak fotovoltaik (FV) sistem ve kojenerasyon ile sağlamak amacıyla bir maliyet analizi ve amortisman süresi hesabı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fabrikanın tek hat şeması çizilerek olası bir hata durumunda sistemin kararlılık analizi hakkında çıkarım yapılmıştır. Elde edilen grafikler ve maliyet analizi sonucuna göre yapılan bu yatırımın olumlu olup olmadığı tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** FV sistem, Kojenerasyon, Amortisman, Maliyet, Kararlılık

#### ABSTRACT

Increased energy cost is important for industrial users. To reduce energy cost in industry, the establishment of systems that produce their own energy financially relieves the users. Studies on PV generation systems have focused on the importance of renewable energy sources. In this study, cost analysis and shipment duration account is realized for demanding the factory energy need with PV system and cogeneration by disabling utility. Moreover, by drawing single-line diagram of the factory, in case of possible error the stability of system are analyzed. According to cost analysis results and the resulting graphs, it is debated whether this investment is positive or not.

**Keywords:** PV system, Cogeneration, Amortization, Cost, Stability

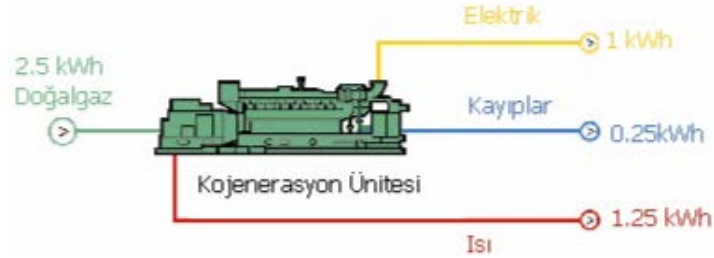
## 1. GİRİŞ

Endüstriyel kuruluşlarda tüketilen enerjinin maliyeti oldukça önemlidir. Şebekeden alınan enerjinin birim maliyetinin yüksek olması fabrikaların kendi enerjisini üreterek maliyeti düşürme arayışına gitmesine sebep olmaktadır. Kendi enerjisini üretme sistemlerinin başında kojenerasyon ve FV sistemleri gelmektedir. Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji formunun tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Bu yöntem sayesinde elektrik üretirken kaybedilen buhar yoğunlaşma ısı değerlendiren enerji verimliliği artırılmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde yakıt olarak biyogaz, metan gazı, doğal gaz, kömür, hidrojen ve sentetik gazlar kullanılmaktadır. Gaz türbinleri, generatörler tek başına enerjinin %40'ını elektrığe dönüştürürken kojenerasyon sistemlerinde atık ısının da elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle enerjinin %90'ı değerlendirilerek verimlilik artırılmaktadır [URL]. Bu sistemlerin karbondioksit salınımlarının düşük olması, gerek duyulan enerjinin istenildiği zaman ve miktarda üretilmesi, ciddi miktarda enerji tasarrufunun yapılması, enerji kesilmemesi, gerilim ve frekanstaki düzensizliğin ortadan kaldırılması ve daha ucuz enerji maliyetinin olması en önemli avantajlarıdır.

FV sistemlerinin hızla önem kazanmasının nedenleri arasında temiz, düşük bakım maliyeti, gürültüsüz ve modüler yapısı ile birkaç Watt (W)'tan MegaWatt (MW) değerine kadar kolaylıkla tasarlanıp uygulanabilir olması gösterilmektedir. Düşük bakım maliyeti ve temiz enerji durumlarından dolayı avantajlı olan bu sistemlerin geniş yer gereksiniminin olması, enerji ihtiyacının yoğun olduğu aylarda ışıma miktarının az olması ve maliyetinin yüksek olması, düşük verimli olmaları gibi dezavantajlar içermektedir. Günümüzde bu yatırımdan en yüksek faydayı sağlama düşüncesi öne çıkmış ve şebeke ile paralel çalışan veya şebekeye doğrudan enerji aktarabilen sistemler önem kazanmıştır. Fotovoltaik sistemler ister şebekeye doğrudan bağlı olsun ister şebekeden bağımsız olsun maliyetleri göz önüne alındığında maksimum verimde kullanılması gereken sistemlerdir. (Z. Erdem, 2009)

Literatürde, bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistem kurulumu için maliyet analizi yapılmıştır (S. Alkan ve ark., 2014). Ankara ili için fotovoltaik-ev sistem tasarımı ve maliyet analizi yapılan bir çalışmada uzun vadede ekonomik olabileceği üzerine vurgu yapılmıştır (A.N. Çelik, O. Görmez). Yapılan bu çalışmada ise iplik üretimi yapan bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılayabileceği mevcut olan kojenerasyon ünitesinin yanında FV enerji üretim sisteminin maliyet analizi yapılarak amortisman süresi hesaplanmış ve sistemde meydana gelebilecek bir faz toprak hatasında sistemin kararlılığı da incelenmiştir.

Analizi gerçekleştirilen fabrikanın mevcut kojenerasyon sisteminde yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Kojenerasyon sistemi saatte 2 MW elektrik enerjisi üretebilme kapasitesine sahiptir. Şekil 1’de genel olarak kojenerasyon ünitesinde üretilen elektrik ve ısı enerjisi ile kayıplar gösterilmiştir.



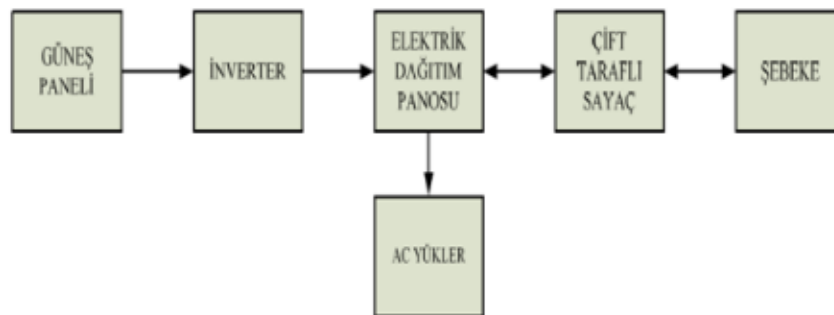
Şekil 1. Kojenerasyon ünitesi üretim ve kayıpları

Şekil 1’den görüldüğü gibi doğalgazın %40’ı elektrik enerjisine çevrilmektedir. Ortaya çıkan %50’lik atık ısının da elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle enerjinin yaklaşık %90’lık kısmı değerlendirilmiş olmaktadır. Endüstriyel tüketicinin anlık ortalama yükü 2.6 MW’tır. Bu yükün 2 MW’lık kısmı kojenerasyon sisteminden sağlanmaktadır. Geri kalan 0.6 MW’lık kısmının güneş enerji sistemi ile karşılandığında ortaya çıkan maliyet ve amortisman süresi analizi yapılmıştır.

## 2. FV SİSTEMLERİ ve MALİYET ANALİZİ

### 2.1. FV SİSTEMLERİ

Güneş pilleri yüzeyine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu pillerin seri ve paralel bağlanmasıyla yüksek güce sahip güneş panelleri elde edilmektedir. Çıkış gücünü arttırmak için çok sayıda panel birbirine seri ya da paralel bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Paneller, ortam koşullarının elverişli olması durumunda nominal güçlerini üretebilirler. Panel camının kirliliği, güneş ışınlarının geliş açısının dik olmaması, havanın çok sıcak veya çok soğuk olması panel verimini düşürebilmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kurulacak bir sistemde akü grubu, akü şarj regülatörü, evirici, yardımcı elektronik devreler ve uygulamaya göre değişkenlik gösterebilen farklı elemanlar bulunabilir. İstenilen enerji miktarına göre kullanılacak panel sayısı belirlenir. İstenirse sisteme bir de maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) eklenebilir. (M. Sunan, 2006) Şekil 2’de güneş ışımından elektrik enerjisi üretimi için basitleştirilmiş şema gösterilmiştir.



Şekil 2. Şebekeye bağlı bir sistemin genel yapısı (S. Alkan ve ark., 2014)

Şekil 2’den görüldüğü gibi güneş panelinin çıkışı invertere bağlanmıştır. İnverterler DC gerilimi AC gerilime dönüştüren aynı zamanda gerilim ve frekansı ayarlayabilen cihazlardır. İnverterin çıkışı dağıtım panosuna bağlanmıştır. Bu panodan fabrikanın ihtiyacı karşılanmaktadır. Aynı zamanda dağıtım panosunun çıkışına bağlanan çift taraflı sayaç ile hem üretilen elektriğin fazlası şebekeye satılmakta hem de güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda şebekeden elektrik olarak fabrikanın ihtiyacı karşılanmaktadır.

## 2.2. MALİYET ANALİZİ

Bir fabrikanın anlık enerji tüketimi farklılık gösterebilir. Sistem tasarımının aylık ortalama enerji ihtiyacı, otonom süresi, yükün günlük profili gibi bilgiler elde edildikten sonra gerçekleştirilmesi verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır. FV sistemlerde üretilen gücün tamamı yüke aktarılamamaktadır. Sistemde kullanılan cihazların verimliliklerine bağlı olarak enerji kaybı meydana gelmektedir. Bundan dolayı üretilecek enerji hesabında bu enerji kaybının dikkate alınması gerekmektedir. Sistemin maliyet hesabı yapılırken şebekeden bağımsız olup olmadığına ve hareketli sistem olup olmadığına karar verilir. Güneş panellerinin konumlandırılacağı fabrika çatısı şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Güneş panellerinin yerleştirileceği çatı

Fabrikanın ihtiyacı olan 0.6 MW enerjinin karşılanması için 0.8 MW'lık FV sistem tasarımı yapılacaktır. Güneş santrali maliyetinin neredeyse en büyük kısmını güneş panelleri oluşturmaktadır. Sistemin enerji ihtiyacını karşılayabilmek için 3200 adet 205 W'lık güneş paneli kullanılacaktır. Bunun yanında inverterler, çatı konstrüksiyon, tek-çift yönlü elektrik sayaçları, galvaniz kablo, solar kablo, yıldırım koruması (paratoner), enerji nakil hattı (ENH), trafo, kamera sistemi, kontrol odası, aydınlatma sistemi, proje-arazi giderleri ve diğer giderler adı altında maliyet hesapları yapılmıştır. FV sisteminde kullanılacak tüm giderler için Tablo 1'de detaylı bilgiler verilmiştir.

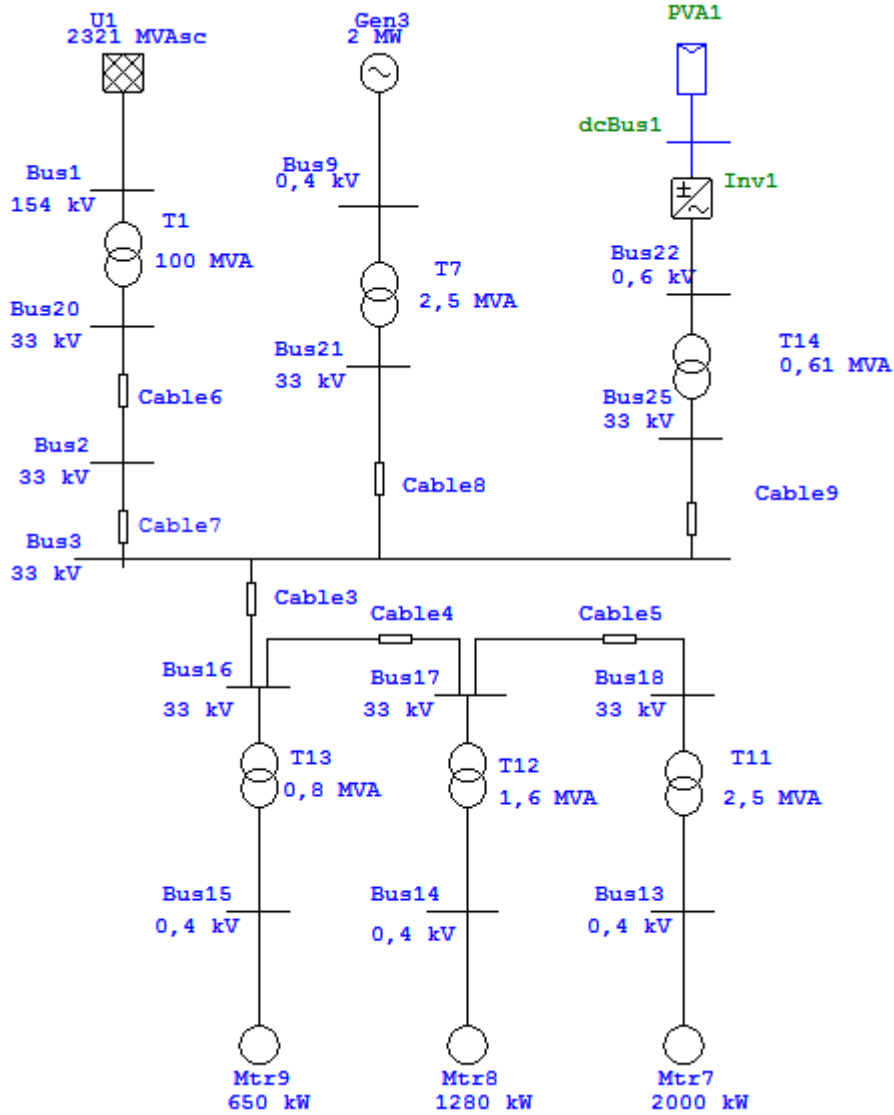
**Tablo 1:** FV sistem maliyet analizi

	Birim maliyet	Toplam Tutar
Güneş paneli (3200 adet)	150 \$	480000 \$
Solar inverter	0.14 €/Watt	112000 €
Çatı-konstrüksiyon	0.14 \$	112000 \$
Tek-çift yönlü sayaç	100-900 TL	1000 TL
Galveniz kablo (1920 m)	14 TL	26880 TL
Solar kablo (4200 m)	1.99 TL	13373 TL
Paratoner (2 adet)	7000 TL	14000 TL
ENH ve Trafo	208000 TL	208000 TL
Kamera sistemi	32000 TL	32000 TL
Çatı işleri	128000 TL	128000 TL
Aydınlatma	24000 TL	24000 TL
Diğer (Nakliye, Kontrol odası, işçilik,...)	228000 TL	228000 TL
Proje-arazi maliyeti	75000 TL	75000 TL

Güneş panelleri arasındaki kablo bağlantıları için galvaniz kablo kanalları kullanılmaktadır. Bunun amacı hem güvenlik hem de verimliliğdir. E.N.H. ve trafo işleri için kullanılan malzemeler 1 MW'lık GES için 260.000 TL maliyeti bulunmaktadır. 800 kW'lık GES için bu maliyet ortalama 208.000 TL olarak alınmıştır. Arazi alanı yerine çatı alanı kullanılacağı için arazi maliyeti toplam maliyete eklenmemektedir. Bütün bu giderlerin toplamı 3.415.000 TL olmaktadır. Kahramanmaraş'ta yıllık ortalama güneşlenme süresi 7.98 saattir. Kurulan sistemin 1 yılda üreteceği toplam elektrik enerjisi 1.724 MW/h olarak hesaplanmaktadır. GES kurulmasının 1 yıllık periyodik giderleri (personel diğeri, bakım-onarım, sigorta ve diğeri giderler) üretim giderlerine bölüldüğünde kW başına maliyet 0.085 TL/kW olmaktadır. Şebekeden alınan elektriğin birim fiyatı 0.298 TL'dir. Bu sistemde 1 kW başına yapılan kar 0.213 TL olarak hesaplanmıştır. Yıllık kar miktarı 367.144 TL olacaktır. Elde edilen verilere göre yapılan bu yatırım için amortisman süresi 9.3 yıl olarak hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR

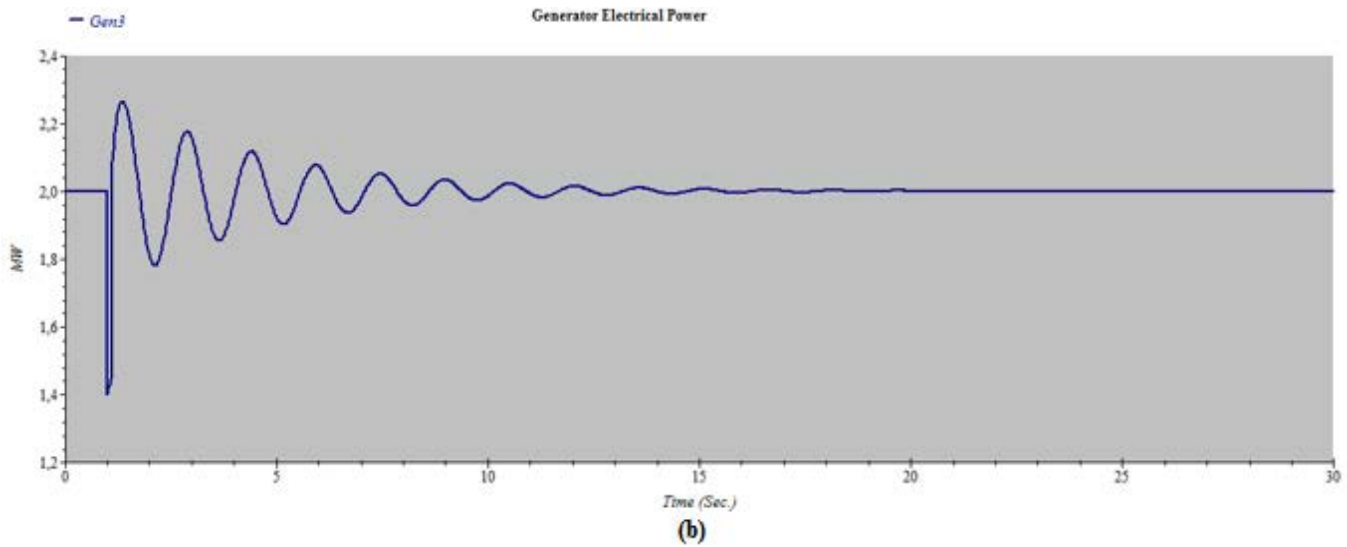
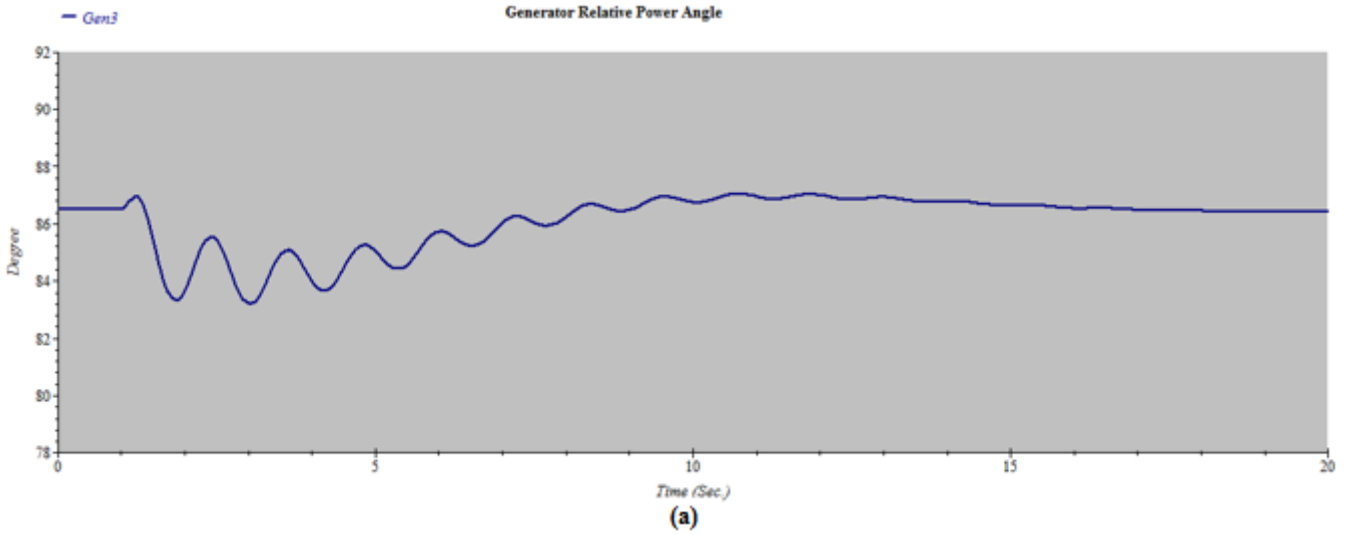
Analizi gerçekleştirilen endüstriyel tüketicinin anlık ortalama yükü 2,6 MW'tır. Bu yükün 2 MW'lık kısmı kojenerasyon sisteminden karşılanmaktadır. Kojenerasyon sistemiyle mevcut ulusal şebeke arasında fabrikanın anlık enerji ihtiyacına göre alım-satım yapılmaktadır. Bu çalışmada, şebekeden alınan 0,6 MW'lık yük için fabrika çatısına kurulması düşünülen FV üretim sistemi için maliyet analizi yapılmıştır. Şekil 3'te fabrikaya ait tek hat şeması gösterilmiştir.

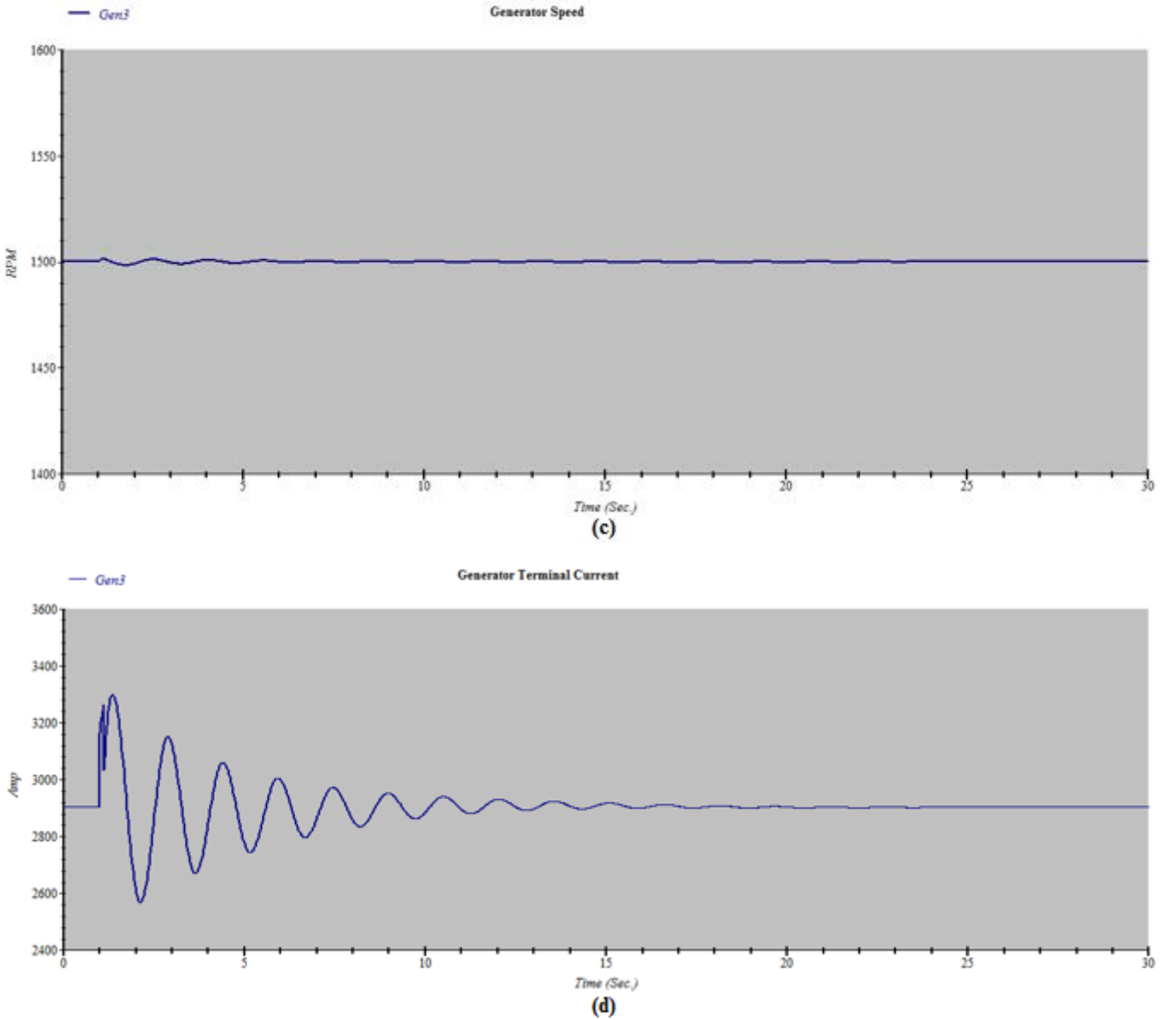


Şekil 3. Fabrikaya ait tek hat şeması

Güç sistemlerinde kararlılık konusu sistemdeki arızaların etkisini değerlendiren önemli konulardandır. Geçici hal kararlılığı, büyük arızaya maruz kalan sisteminin senkronizasyonda kalma yeteneği olarak tanımlanabilir. İletim sistemindeki arızalar, ani

yük değişiklikleri, üretim birimlerinin kaybı, önemli iletim hatlarının devre dışı kalması ve hat anahtarlamaları büyük arıza örnekleri arasında yer almaktadır. Bu tür arızalarda sistem cevabı, generatör rotor açıları, yük akışları, bara gerilimleri ve diğer sistem değişkenleri büyük sapmalara yol açmaktadır (S. Ekinci, 2015). Benzetim çalışması gerçekleştirilen sistemde bara 2’de meydana gelebilecek bir faz toprak (1 FT) arızasında sistemdeki generatörün güç açısı, hızı, gücü ve terminal akımlarındaki değişimler şekil 4’te gösterilmiştir.





Şekil 4. Bara 2'deki arıza durumunda generatörün güç açısı (a), gücü (b), hızı (c) ve terminal akımlarındaki (d) değişimler

Şekil 4'te fabrika dağıtım şebekesi için geçici hal kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tek hat şeması şekil 3'te gösterilen sistemde bara 2'de bir arıza benzetimi yapılmıştır. Bu arıza benzetimi 1 faz toprak (1 FT) kısa devresi olup 100 ms içinde temizlenmektedir. Şekil 4a'da generatör rotor açısı geçici hal kararlılık limitleri içerisinde kalmakla birlikte arıza temizlendikten saniyeler sonra tekrar arıza öncesi koşullara dönmektedir. Generatörde salınımlar yaşanmış ancak kararlılık sağlandığı şekil 4a ve 4b'den de görülmektedir. Şekil 4c'de generatör hızında değişimler frekanstaki değişimlerine bağlı olarak çok yüksek genlikte oluşmamaktadır. Büyük güçlü şebeke ile enterkonnekte çalışan yerel santralin kararlılığı sürdürdüğü görülmektedir. Bununla birlikte şekil 4d'den görüldüğü gibi arızanın ilk anında generatör akımında %10'a yaklaşan artmalar gözlenmiş ve bir süre sonra kararlılık tekrar yakalanmıştır. Bu endüstriyel dağıtım sisteminin kararlılık açısından bir sorun yaşamamasında en önemli etken olarak büyük güçlü şebeke bağlantısı gösterilebilir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada şebeke ve kojenerasyon sistemi senkronize olarak çalışan bir fabrikanın kendi elektriğini üretmesi amacıyla 2 MW'lık kojenerasyon sisteminin yanında 0.6 MW üretim yapabilen, kayıpsız kapasitesi 0.8 MW olan güneş enerji sistemi uygulamasının maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. FV modüller ile üretilen elektriğin, konvansiyonel üretim teknikleri ile üretilen ve ulusal şebekeden alınan elektriğe oranla daha pahalı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu da FV teknolojilerinin şehir şartlarında henüz konvansiyonel sistemler ile rekabet edebilecek durumda olmadığını göstermektedir. Çalışmada maliyet hesabı

gerçekleştirilen 0.8 MW'lık güneş enerjisi sisteminin amortisman süresi 9.3 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu amortisman süresinin yatırımcı fabrika için uzun süre olup, yatırım yapmaya uygunluk değerine ulaşılmadığı kanaatine varılmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., Avcı, E. (2014) Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulması, *Elektrik- Elektronik- Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (ELECO'14)*, 78-82.

Ekinci, S., (2015). Simulink Kullanarak Güç Sistem Geçici Hal Kararlılık Analizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 19. Cilt, 3.Sayı, 313-320.

Erdem, Z. (2009). Maksimum güç İzleyicisi Tasarımı – Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Sunan, M. (2006). Güneş Enerjisi ile Çalışan Aracın Elektrik ve Elektronik Sisteminin Mikrodenetleyiciler ile Tasarımı ve Uygulaması – Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

URL: <http://www.onurenerji.com.tr/taahhut-ve-uygulamalar/kojenarasyon/> (01.06.2017)

URL: Elektrik İşleri Etüt İdaresi “Türkiye’de Güneş Enerjisi”, <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html> (2007).

URL: <http://www.enerjibes.com/gunes-enerji-santrali-kurulumu-maliyeti/> (25.05.2017)

URL: [http://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b\\_ek](http://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek) (26.05.2017)