



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 21.08.2020
Kabul Tarihi : 03.03.2021

Received Date : 21.08.2020
Accepted Date : 03.03.2021

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN ŞEBEKE GERİLİMİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ; KAHRAMANMARAŞ ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOLAR POWER PLANTS ON THE GRID VOLTAGE; CASE STUDY: KAHRAMANMARAŞ

Fatma AVLİ FIRIŞ¹ (ORCID: 0000-0003-4879-1932)
Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ^{1}* (ORCID: 0000-0002-1641-3243)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa ŞEKKELİ, msekkeli@ksu.edu.tr

ÖZET

Elektrik dağıtım şebekeleri, orta gerilimden alçak gerilime doğru olan tek yönlü enerji akışına göre tasarlandığından farklı gerilim seviyelerinden şebekeye bağlanan üretim santralleri ile birlikte çift yönlü enerji akışına açık hale gelmiş ve değişen enerji akışı yönü başta gerilim regülasyonunun bozulması olmak üzere birçok entegrasyon sorununu da beraberinde getirmiştir. “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin” yürürlüğe girmesiyle önü açılan ve diğer enerji kaynaklarına göre daha çok lokasyonda kurulabilme ve kolay ölçeklendirilebilme özelliklerinden dolayı yoğun bir ilgi gören güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin dağıtım şebekesine çok sayıda entegrasyonunun gerçekleşeceği öngörülmektedir. Bu makalede, Kahramanmaraş bölgesindeki güneş enerji santrallerinin buradaki elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu sonucunda ortaya çıkan gerilim regülasyonu sorunları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, üzerinde çok sayıda güneş enerji santralinin bağlı olduğu bir pilot fider belirlenmiş ve şebeke analiz programı olan Digsilent Power Factory yardımıyla bu fider üzerindeki yük akışı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gerilim regülasyonu, yük akışı, güneş enerji santrali, şebeke, fider.

ABSTRACT

Since the electricity distribution networks are designed for one-way energy flow from medium voltage to low voltage, they have become open to bidirectional energy flow with the production plants connected to the network from different voltage levels, and the changing energy flow direction has brought many integration problems, especially the disruption of the voltage regulation. It is envisaged that the integration of solar power generation facilities to the distribution network will be realized due to the fact that the “Regulation on Unlicensed Electricity Production in the Electricity Market” has entered into force and which has gained intense attention due to its ability to be installed and easily scaled in comparison to other energy sources. In this article, voltage regulation problems arising from the integration of solar power plants in the Kahramanmaraş region to the electricity distribution network here are examined. Within the scope of the study, a pilot feeder, on which a large number of solar power plants are connected, was determined and load flow analyzes on this feeder were carried out with the help of the network analysis program Digsilent Power Factory.

Keywords: Voltage regulation, load flow, solar power plant, grid, feeder.

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa ŞEKKELİ, msekkeli@ksu.edu.tr

ToCite: AVLİ FIRIŞ, F., & ŞEKKELİ, M., (2021). GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN ŞEBEKE GERİLİMİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ; KAHRAMANMARAŞ ÖRNEĞİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 53-65.

GİRİf

Teknolojideki gelişmeler ve devlet teşvikleri, elektrik dağıtım şebekesine entegre olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasını gün geçtikçe artırmaktadır. Fosil kökenli yakıtların fazla miktarda kullanımından kaynaklanan; küresel ısınmanın ve çevre kirliliğinin engellenmesi, kaynak ülkelere bağımlı olmanın beraberinde getirdiğı siyasi ve ekonomik sorunların giderilmesi gibi sonuçlar, yenilenebilir enerjinin tartışılmaz faydaları arasındadır (Keçecioglu vd., 2015).

Geleneksel elektrik sistemlerinin tasarlanmaları, büyük ve merkezi elektrik enerjisi üretim birimlerinden tüketiciler olan son kullanıcılara kadar elektrik enerjisinin ulaşmasını sağlayacak şekildedir. Alışıl gelmiş olan bu düşünce ile tasarlanmış elektrik dağıtım şebekeleri, elektrik dağıtım şebekesi içerisinde farklı gerilim seviyelerinde bulunan üretim birimlerinin entegrasyonlarına olanak sağlayacak şekilde dizayn edilmemiştir (Short, 2004; Çetinkaya vd., 2013). Dizaynı bu şekilde yapılan elektrik dağıtım şebekeleri, farklı gerilim seviyelerinden sisteme bağlanan üretim santralleriyle çift yönlü enerji akışına açık hale gelmiş ve klasik planlama, analiz ve işletme yöntemlerinin yetersiz kaldığı girift bir yapıya bürünmeye başlamıştır (Şimşek & Bizkevelci, 2013; Yıldız vd., 2015). Elektrik dağıtım sistemlerindeki entegre olan üretim santrallerinin artması, üretimin homojen bir şekilde dağılamaması ve üretim miktarının sabit olmaması, sistemin içerisindeki yük akışının değişmesine neden olmaktadır (Jiang vd., 2013).

Ülkemizdeki elektrik dağıtım şebekelerinin radyal olarak tasarlanmış olması, yük akışının kaynaktan yüke doğru olması sebebiyle gerilimin yük tarafında daha düşük olacağını varsaymaktadır. Bu kabule göre, transformatör çıkışından alınan fider gerilimi nominal 230 Volt kabul edilip transformatör çıkışından yüke olan mesafede en fazla %5 gerilim düşümüne göre en az 220 Volt olacak şekilde projelendirilmekte; bu sayede yük gerilimi, sistemden yükün çektiğı akıma göre 220 Volt ile 230 Volt arasında dalgalanmaktadır (İlisu, 2016). Ancak, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun hakkında yönetmelik yayınlamasını takiben kurulması öngörülen güneş enerji üretim tesislerinin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu, şu anda orta gerilim sisteminde gözlenmekte olan çift yönlü güç akışı bu kabulün her zaman doğru olmayacağını ortaya koyacaktır. Özellikle yaz aylarında ve günün öğle saatlerinde, güneş enerjisi üretiminin bölgede tüketilen enerjiden fazla olması durumunda aktif güç şebekeye doğru akacaktır. Bu durumun sistemin tasarımında hesaba katılmadığı ve gelecekte Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun izniyle yaygınlaşacak olan güneş enerjisine dayalı dağıtık enerji kaynaklarının artmasıyla birçok probleme neden olacağı öngörülmektedir (Duymaz & Göl, 2018).

Bu çalışmada, diğ er çalışmalardan farklı olarak; güneş enerjisine dayalı elektrik üretim santrallerinin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu sonrasında oluşacak yük akışı değişimleri ve gerilim regülasyonları sorunları, gerçek bir elektrik dağıtım şebekesi üzerinde incelenmiştir. Elektrik dağıtım şebekesi, Digsilent Power Factory programı ile modellenmiş ve yine bu program ile yük akışı analizleri gerçekleştirilerek gerilim regülasyonu durumları ele alınmıştır.

MATERYAL VE METOD

DIGSILENT "Digital Simulation of Electrical Networks" kelimesinin kısaltılmış hali olup iletim, dağıtım ve endüstriyel elektrik sistemlerinin analizi için kullanılan ve bu sistemlerin planlanıp işletilmesinde optimizasyon hedeflerine ulaşmak için geliştirilmiş bir programdır. Bu program vasıtasıyla elde edilen sonuçların geçerliliği ve doğruluğı dünya çapında güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesi ile ilgili kuruluşlar tarafından onaylanmıştır (Saygılı & Tezcan, 2019). Bu program, elektrik sistemleri üzerinde gerçekleştirilmesi zor ve karmaşık olan birçok analizin kontrolünü de kolaylaştırmaktadır. Bunlar; yük akışı analizi, kısa devre hesaplamaları, kararlılık analizi, harmonik hesaplamaları, mesafe ve aşırı akım zaman koruma, optimal yük akışı analizi, güvenilirlik analizi ve dağıtım sistemleri analizleridir (Sarıkaya & Yumurtacı, 2017).

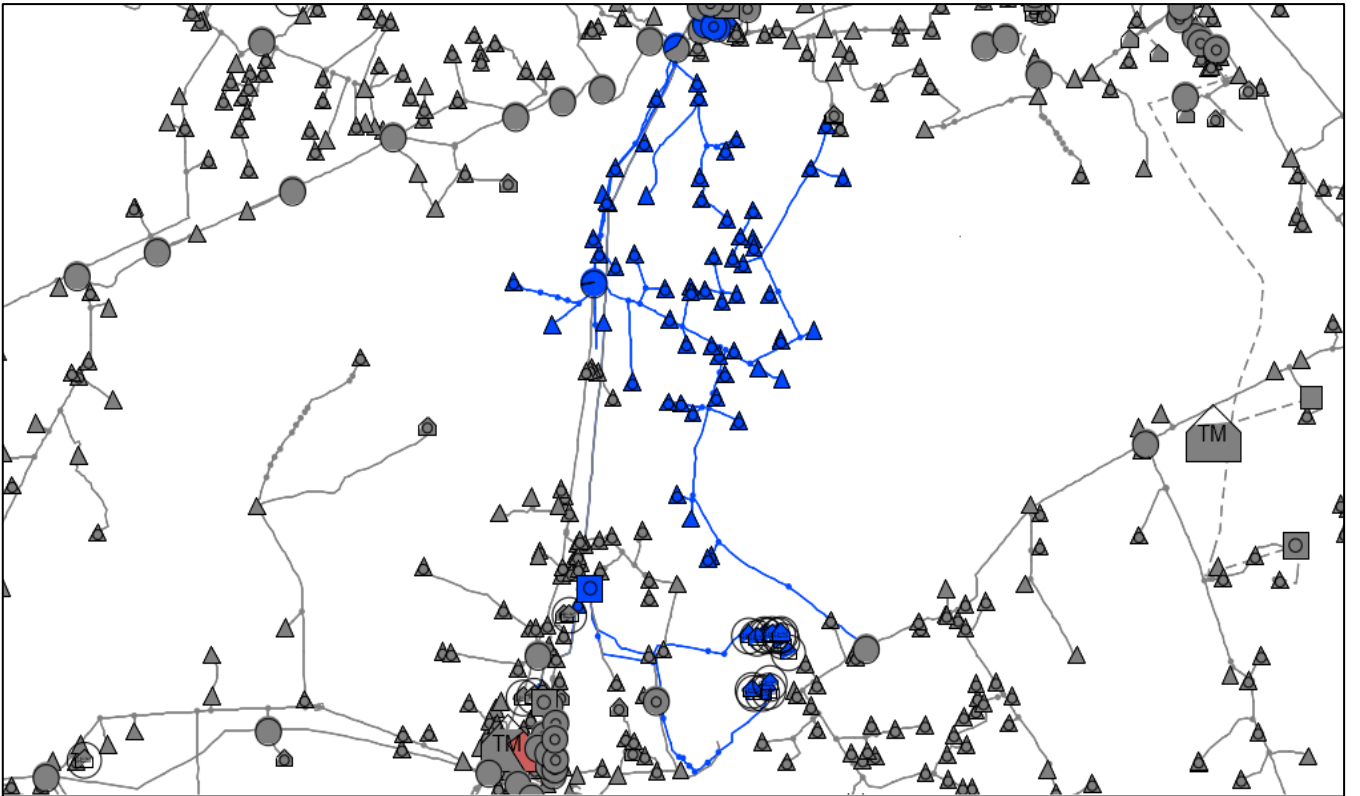
Elektrik güç sistemlerinde gerçekleştirilen yük akışı analizlerinde amaç, olası değişken yük durumlarında güç akışlarını, yüklenmeleri, bara gerilimlerini incelemektir. Bu analiz sonucunda, baralarda oluşabilecek gerilim yükselmeleri, kablo ve transformatörlerde oluşan yüklenmeler, yön değiştirebilecek güç akışları, üretim tesisinin reaktif güç kapasitesi gibi birçok konu izlenebilmektedir (IEEE, 2008).

Kahramanmaraş bölgesinde yer alan elektrik dağıtım şebekesine ait bir fider üzerinden şebekeye bağı olan güneş enerjisi üretim santrallerinin şebekedeki gerilim profilindeki değişimlerin ele alındığı bu çalışmada yük akışı analizleri, DigSilent Power Factory programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen pilot fiderin öncelikli olarak modellenmesi yapılmış, oluşturulan bu model üzerinden farklı üretim koşullarında görülebilecek farklı yük akışı durumları gözlenmiştir. Üretim koşullarının beraberinde, seçilmiş olan bu fider

üzerinden şebekeye bağlı güneş enerji üretim santrallerinin ve bu bölgedeki tüketimlerin tam kapasite ve yarı kapasite çalıştığı durumda, üretimlerin tam kapasite olup tüketimlerin yarı kapasite ya da tüketimlerin tam kapasite olup üretimlerin yarı kapasite çalıştığı durumda, üretimlerin olmayıp tüketimlerin tam kapasite çalıştığı ya da tüketimlerin olmayıp üretimlerin tam kapasite çalıştığı durumda gözlemlenecek değişimler, oluşturulan coğrafi model ve yük profili gösteriminin yer aldığı grafikler üzerinde incelenmiştir.

Tablo 1. Fider Üzerindeki Ekipmanların Elektriksel Parametreleri

| Malzeme | Tip | Miktar |
|---------------|----------------------|-----------|
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-25 kVA | 4 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-50 kVA | 30 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-100 kVA | 13 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-160 kVA | 9 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-250 kVA | 2 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-400 kVA | 2 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-630 kVA | 1 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-1250 kVA | 22 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-2000 kVA | 1 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-2500 kVA | 2 adet |
| Transformatör | 31,5/0,4 kV-4500 kVA | 1 adet |
| Transformatör | 31,5/6,3 kV-5600 kVA | 1 adet |
| İletken | Swallow | 38,821 km |
| İletken | Raven | 4,941 km |
| İletken | Pigeon | 12,139 km |
| İletken | Hawk | 12,718 km |
| İletken | Cu | 15,823 km |
| İletken | Al | 3,047 km |



Şekil 1. Pilot Fiderin Coğrafi Model Görünümü

Çalışmada şebeke, DigSilent Power Factory şebeke analiz yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Benzetim modelinde yük akış algoritması olarak Newton Raphson metodu kullanılmıştır ve yük akış analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Digsilent Power Factory programı ile yük akışı analizlerinin gerçekleştirildiği bu bölgede yer alan fider üzerindeki tüketimlerin toplam kurulu gücü 6.84 MW olup bu fider üzerinden şebekeye bağlı olan 17 adet güneş enerji santralının toplam kurulu gücü ise 21.25 MW' tır. Tablo 1'de, bu fider üzerindeki ekipmanların elektriksel parametresi, Şekil 1'de ise bu pilot fiderin Digsilent programında oluşturulmuş coğrafi modeli görülmektedir.

BULGULAR

Yük akışı analizleri; Kahramanmaraş bölgesinde yer alan elektrik dağıtım şebekesine bağlı olup üzerinde 6.84 MW kurulu gücünde yük ve her biri 1.25 MW kurulu gücünde olan toplam 21.25 MW kurulu güce sahip 17 adet güneş enerji santralının yer aldığı pilot bir fider üzerinde gerçekleştirilmiştir.

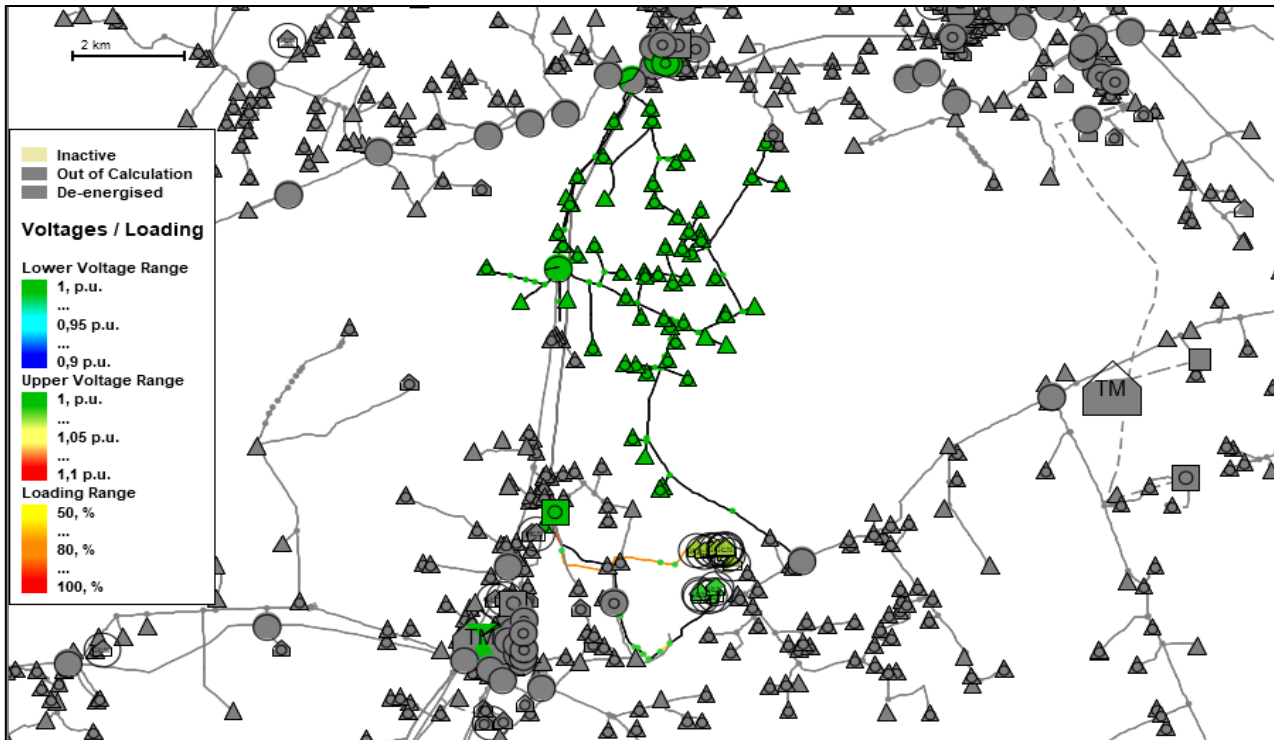
Güneş enerjisi santrallerinin günün her saatinde farklı seviyelerde üretim yapmasının yanı sıra aynı zamanda mevsimsel olarak da üretim seviyesinin farklılıklar göstermesinden dolayı Digsilent Power Factory programı ile gerçekleştirilen yük akışı analizleri 6 farklı senaryoda gerçekleştirilmiş olup bu senaryolar;

- Üretimin ve tüketimin tam kapasitede gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda,
- Üretimin ve tüketimin yarı kapasitede gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda,
- Üretimin tam kapasitede, tüketimin yarı kapasitede gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda,
- Tüketimin tam kapasitede, üretimin yarı kapasitede gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda,
- Üretimin hiç olmayıp tüketimin tam kapasitede gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda,
- Tüketimin hiç olmayıp üretimin tam kapasitede gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda,

Olacak şekilde belirlenmiştir.

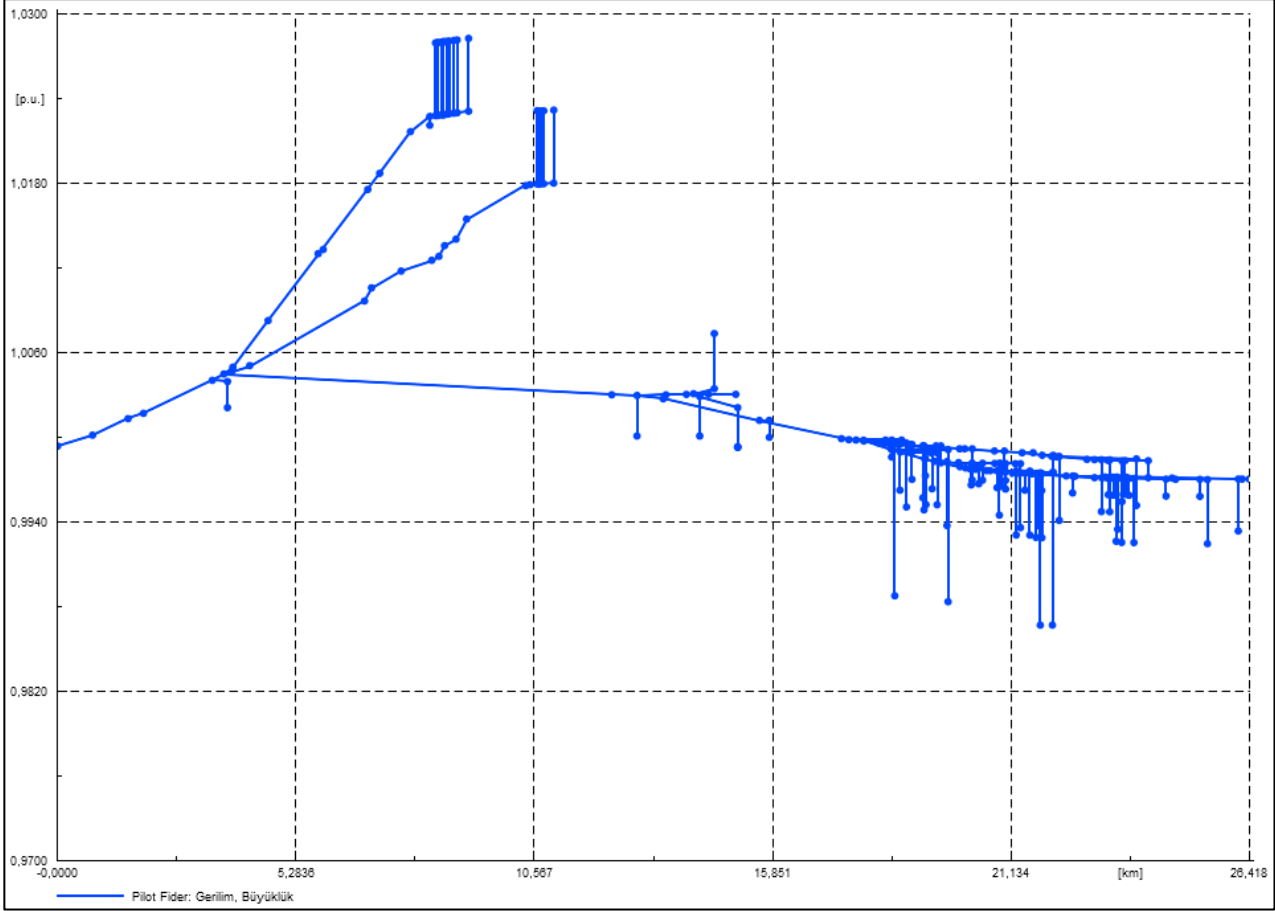
Senaryo-1: Üretimin ve Tüketimin Tam Kapasite Gerçekleştiği Durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarına ve gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek tam kapasite çalıştığı, tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin tümüyle gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 2'den de görüleceği üzere seçilen fider üzerinde yer alan ve trafo merkezinin sağ tarafında yer alan üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımda üretilen enerjinin tüketilen enerjiden fazla olması, santral çıkışlarındaki hatlarda yüklenmenin fazla olmasına sebep olmuştur.



Şekil 2. Senaryo-1 Coğrafi Model Görünümü

Bu durumda bölgede 21.25 MW kurulu güce sahip 17 adet güneş enerji santrali ve 6.84 MW kurulu güce sahip genel yük bulunmaktadır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 3'ten de görüleceği üzere seçilen fider üzerindeki üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımlar olan, hattın ortalama 4. ila 11. kilometreleri arasında gerilim, 1.027 p.u. değerine kadar yükseliş göstermiş ve yaklaşık %2.8 oranında bir gerilim yükselmesi gözlenmiştir. Aynı fider üzerindeki, üretim santrallerinden uzaklaşılın kısımlar olan hattın ortalama 4. ila 27. kilometreleri arasında ise gerilim, en fazla 0.986 p.u. değerine kadar inmiş ve yaklaşık %1.2 oranında bir gerilim düşümü gözlenmiştir.

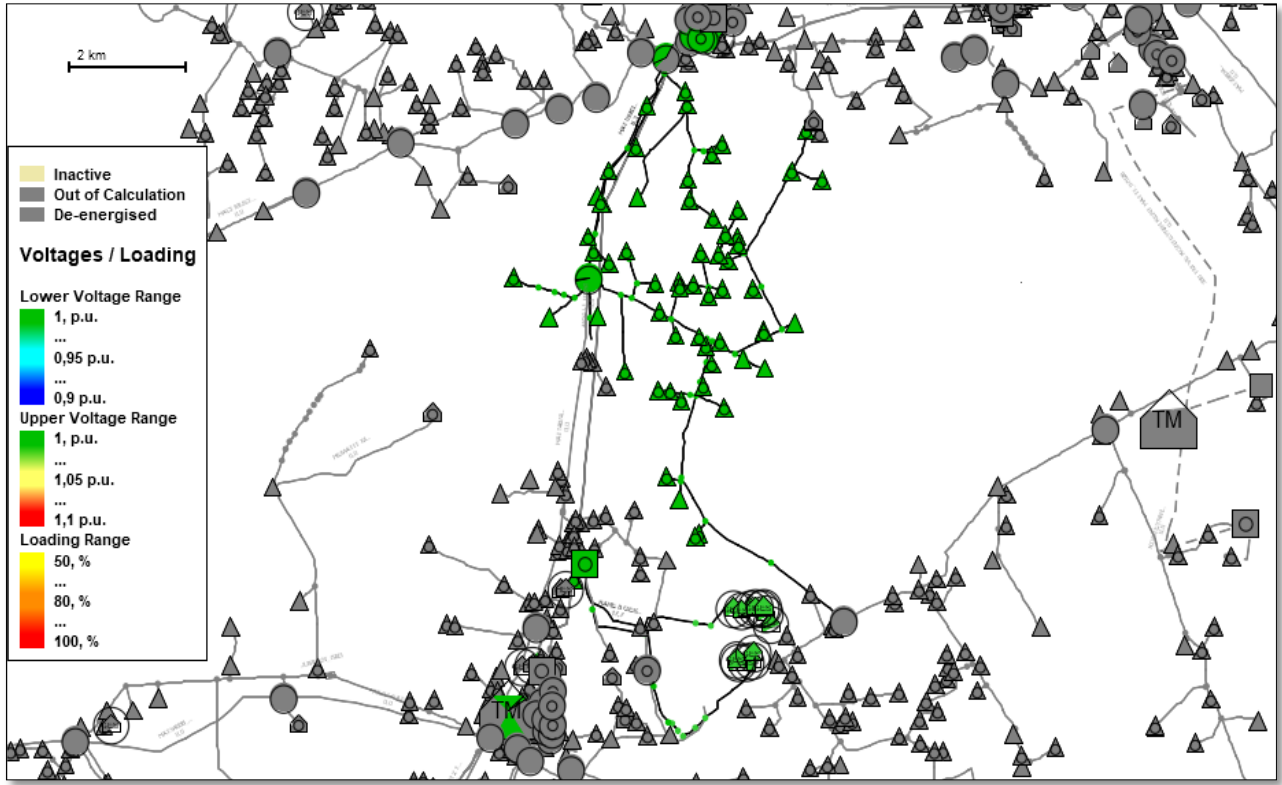


Şekil 3. Senaryo-1 Durumunda Yük Profili Grafiği Görünümü

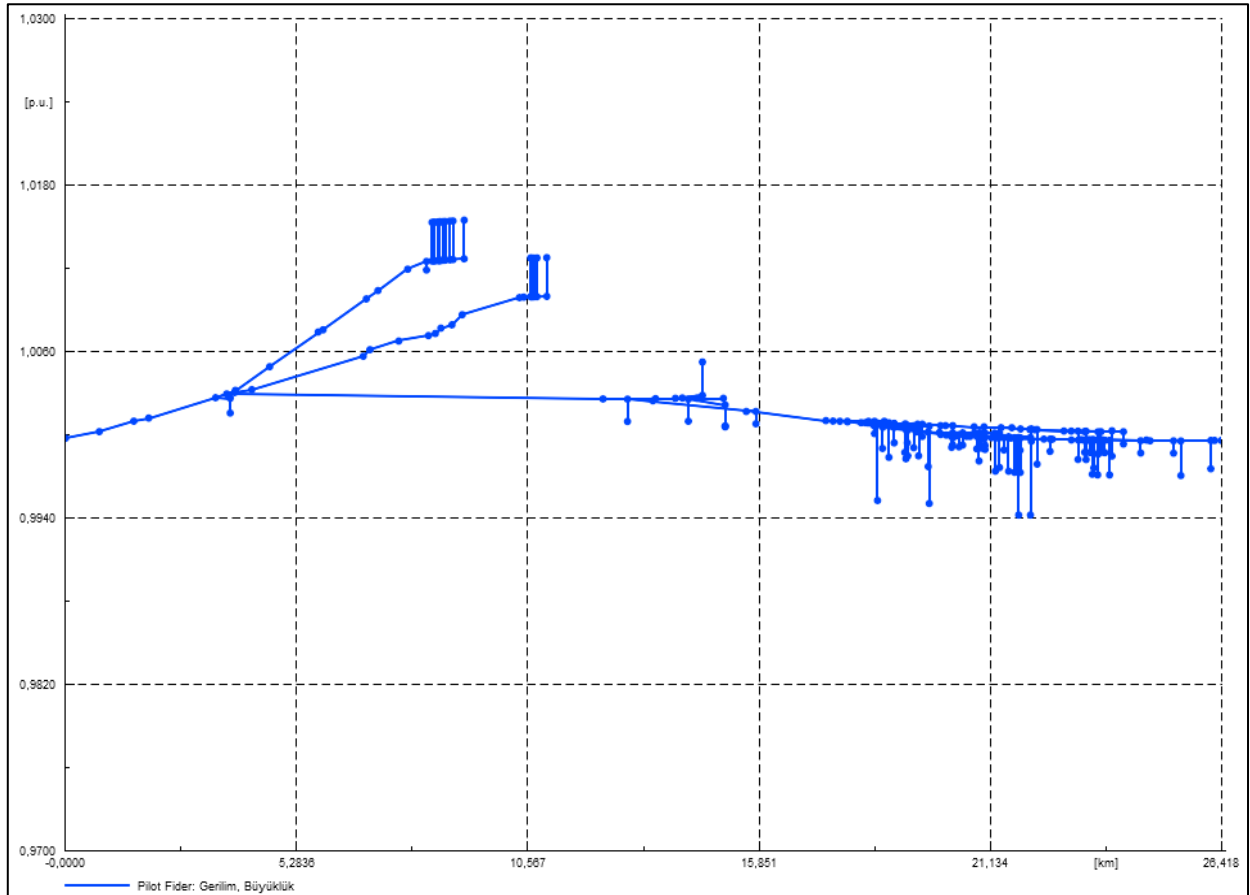
Senaryo-2: Üretimin ve Tüketimin Yarı Kapasite Gerçekleştiği Durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarında gün ortası dışında ya da yaz ayları dışındaki bir günde gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek yarı kapasite çalıştığı, tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin yarısıyla gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 4'ten de görüleceği üzere seçilen fider üzerinde yer alan üretim santrallerinin ürettiği enerjinin burada tüketilen enerjiden fazla olmasına rağmen üretim kapasitesinin yarıya düşmüş olması, santral çıkışlarındaki hatlarda yüklenmenin fazla olmamasını sağlamıştır.

Bu durumda bölgede 10.62 MW kurulu güce sahip 17 adet güneş enerji santrali ve 3.42 MW kurulu güce sahip genel yük bulunmaktadır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 5'ten de görüleceği üzere seçilen fider üzerindeki üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımlar olan, hattın ortalama 4. ila 11. kilometreleri arasında gerilim, 1.016 p.u. değerine kadar yükseliş göstermiş ve yaklaşık %1.6 oranında bir gerilim yükselmesi gözlenmiştir. Aynı fider üzerindeki, üretim santrallerinden uzaklaşılın kısımlar olan hattın ortalama 4. ila 27. kilometreleri arasında ise gerilim, en fazla 0.994 p.u. değerine kadar inmiş ve yaklaşık %0.6 oranında bir gerilim düşümü gözlenmiştir.



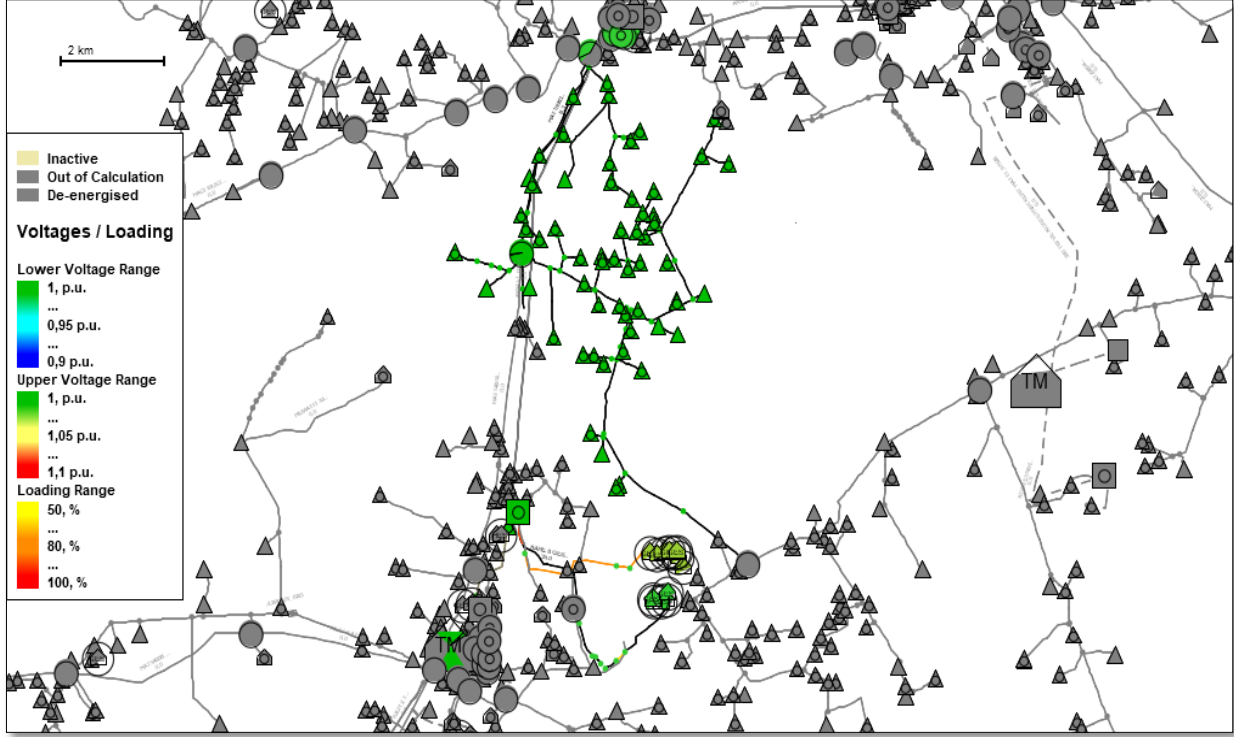
Şekil 4. Senaryo-2 Durumunda Pilot Fiderin Coğrafi Model Görünümü



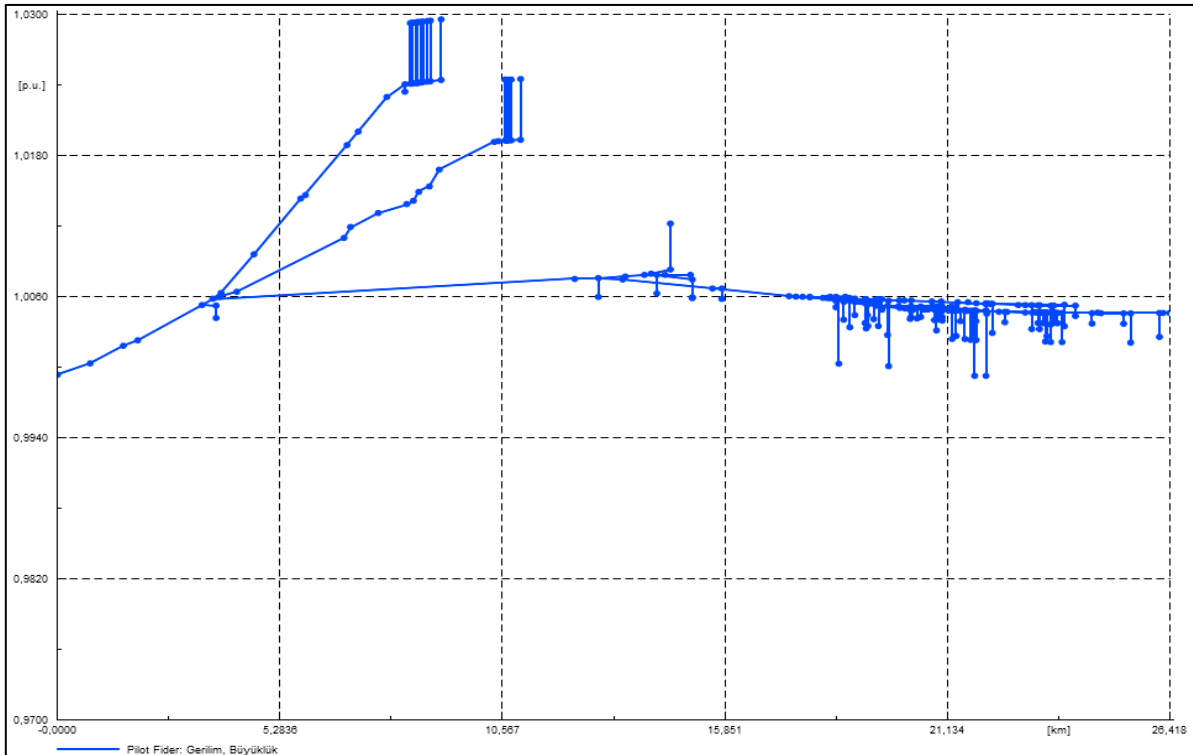
Şekil 5. Senaryo-2 Durumunda Pilot Fiderin Yük Profili Grafiği Görünümü

Senaryo-3: Üretimin Tam Kapasite, Tüketimin Yarı Kapasite Gerçekleştiği Durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarına ve gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek tam kapasite çalıştığı, tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin yarısıyla gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 6'dan da görüleceği üzere seçilen fider üzerinde yer alan üretim santralleri tarafından üretilen enerjinin burada tüketilen enerjiden fazla olmasının beraberinde tüketilen enerjinin yarıya düşmüş olması, santral çıkışlarındaki hatlarda yüklenmenin daha da fazla olmasına sebep olmuştur.



Şekil 6. Senaryo-3 Durumunda Pilot Fiderin Coğrafi Model Görünümü

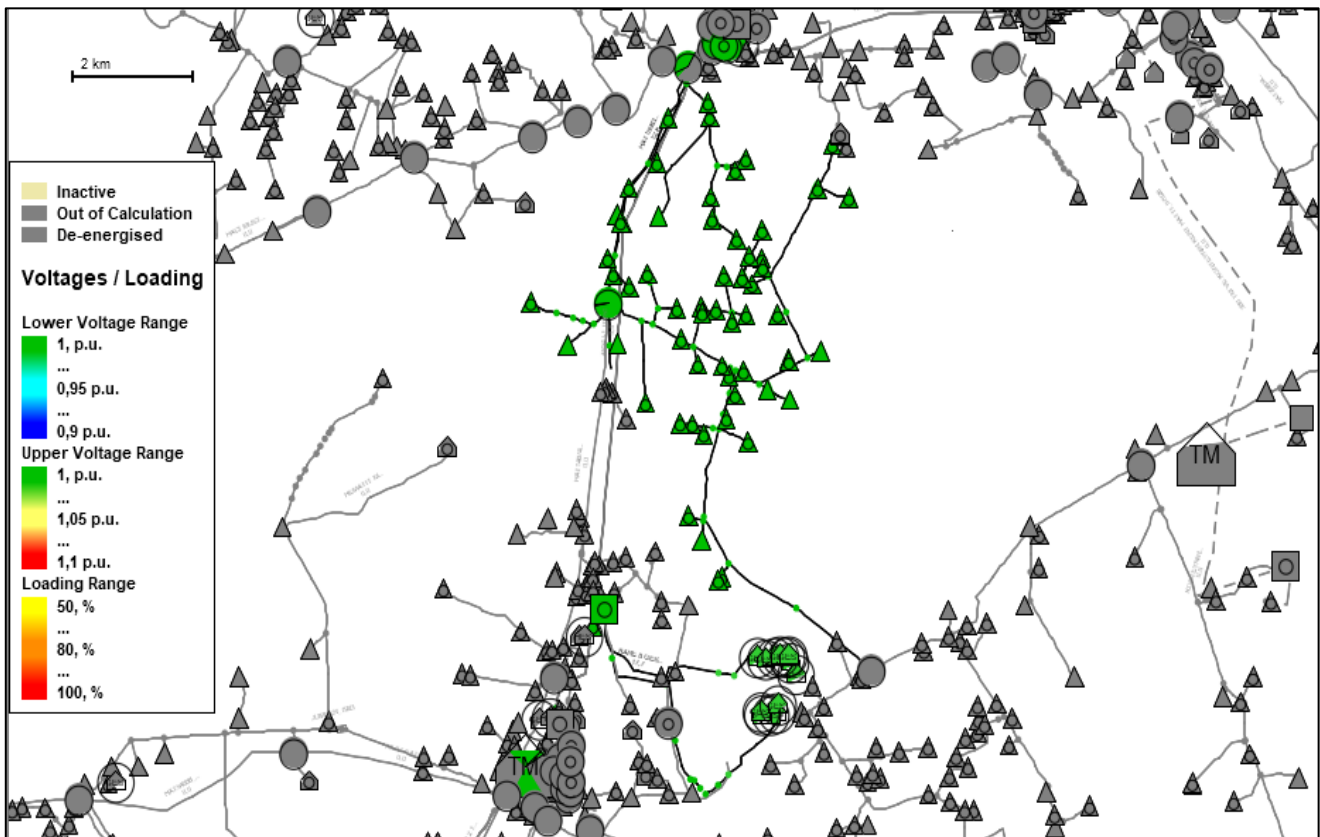


Şekil 7. Senaryo-3 Durumunda Pilot Fiderin Yük Profili Grafiği Görünümü

Bu durumda bölgede 21.25 MW kurulu güce sahip 17 adet güneş enerji santrali ve 3.42 MW kurulu güce sahip genel yük bulunmaktadır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 7'den de görüleceği üzere seçilen fider üzerindeki üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımlar olan, hattın ortalama 4. ila 11. kilometreleri arasında gerilim, 1.0299 p.u. değerine kadar yükseliş göstermiş ve yaklaşık %3 oranında bir gerilim yükselmesi gözlenmiştir. Aynı fider üzerindeki, üretim santrallerinden uzaklaşılın kısımlar olan hattın ortalama 4. ila 27. kilometreleri arasında ise gerilim, en fazla 0.999 p.u. değerine kadar inerek neredeyse hiç gerilim düşümü gözlenmemiştir.

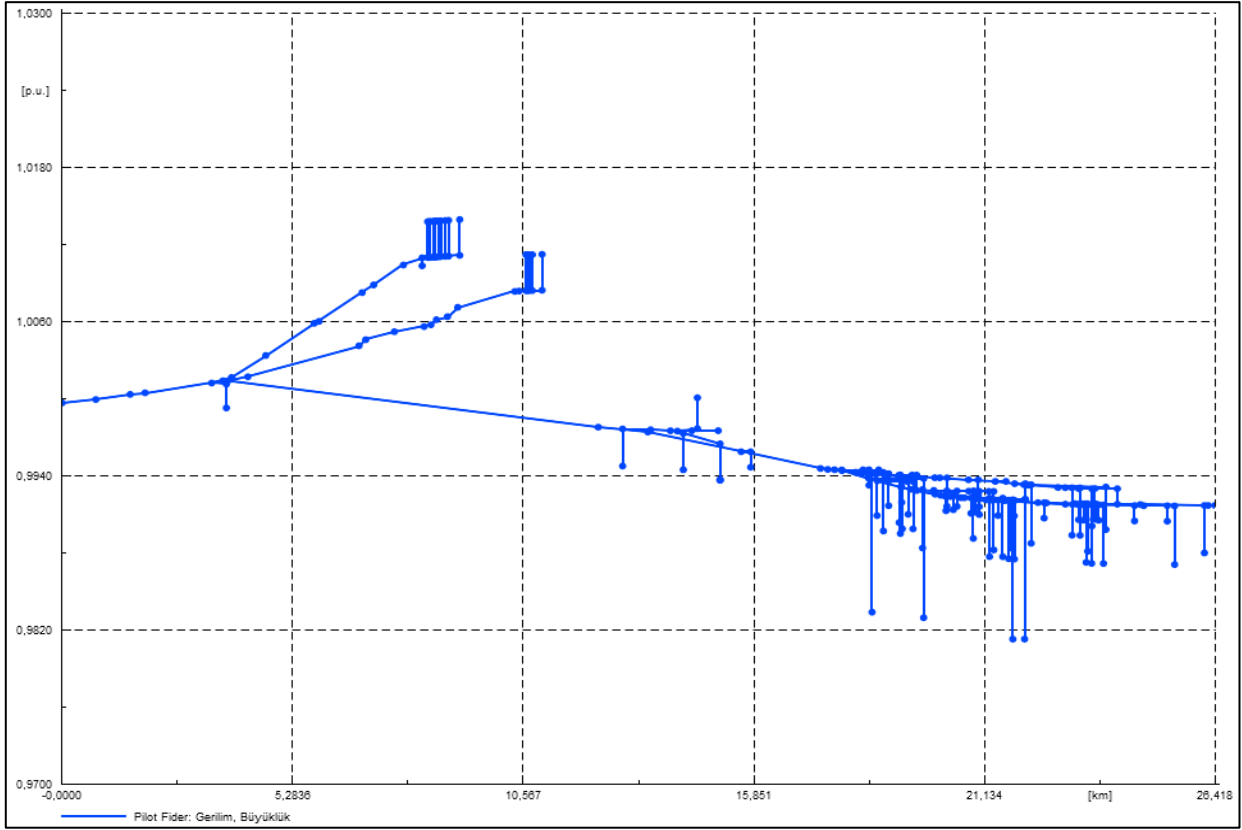
Senaryo-4: Tüketimin Tam Kapasite, Üretimin Yarı Kapasite Gerçekleştiği Durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarında gün ortası dışında ya da yaz ayları dışındaki bir günde gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek yarı kapasite çalıştığı, tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin tümüyle gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 8'den de görüleceği üzere seçilen fider üzerinde yer alan üretim santrali kapasitesinin mevcut durumda burada tüketilen enerjiden fazla olmasına rağmen kapasitenin yarıya düşmüş olması, santral çıkışlarındaki hatlarda yüklenmenin daha az olmasını sağlamıştır.



Şekil 8. Senaryo-4 Durumunda Pilot Fiderin Coğrafi Model Görünümü

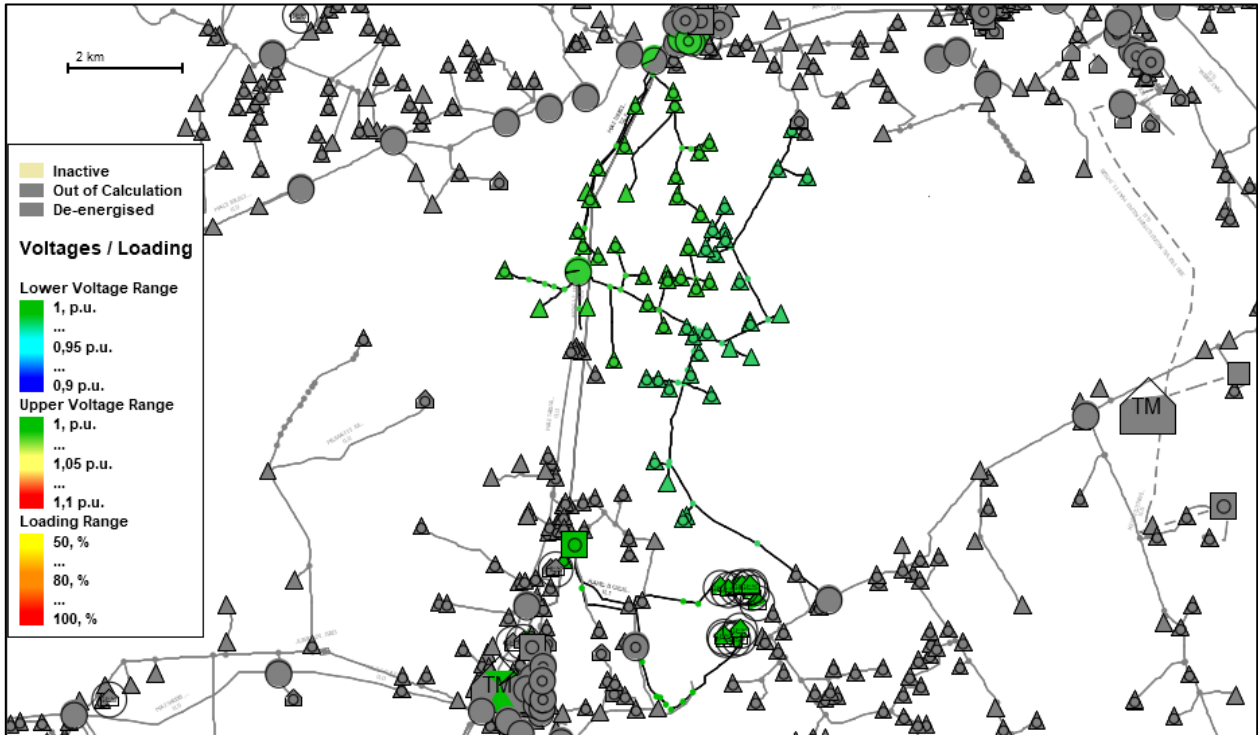
Bu durumda bölgede 10.62 MW kurulu güce sahip 17 adet güneş enerji santrali ve 6.84 MW kurulu güce sahip genel yük bulunmaktadır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 9'dan da görüleceği üzere seçilen fider üzerindeki üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımlar olan, hattın ortalama 4. ila 11. kilometreleri arasında gerilim, 1.014 p.u. değerine kadar yükseliş göstermiş ve yaklaşık %1.5 oranında bir gerilim yükselmesi gözlenmiştir. Aynı fider üzerindeki, üretim santrallerinden uzaklaşılın kısımlar olan hattın ortalama 4. ila 27. kilometreleri arasında ise gerilim, 0.982 p.u. değerine kadar inerek yaklaşık %2 oranında bir gerilim düşümü görülmüştür.



Şekil 9. Senaryo-4 Durumunda Pilot Fiderin Yük Profili Grafiği Görünümü

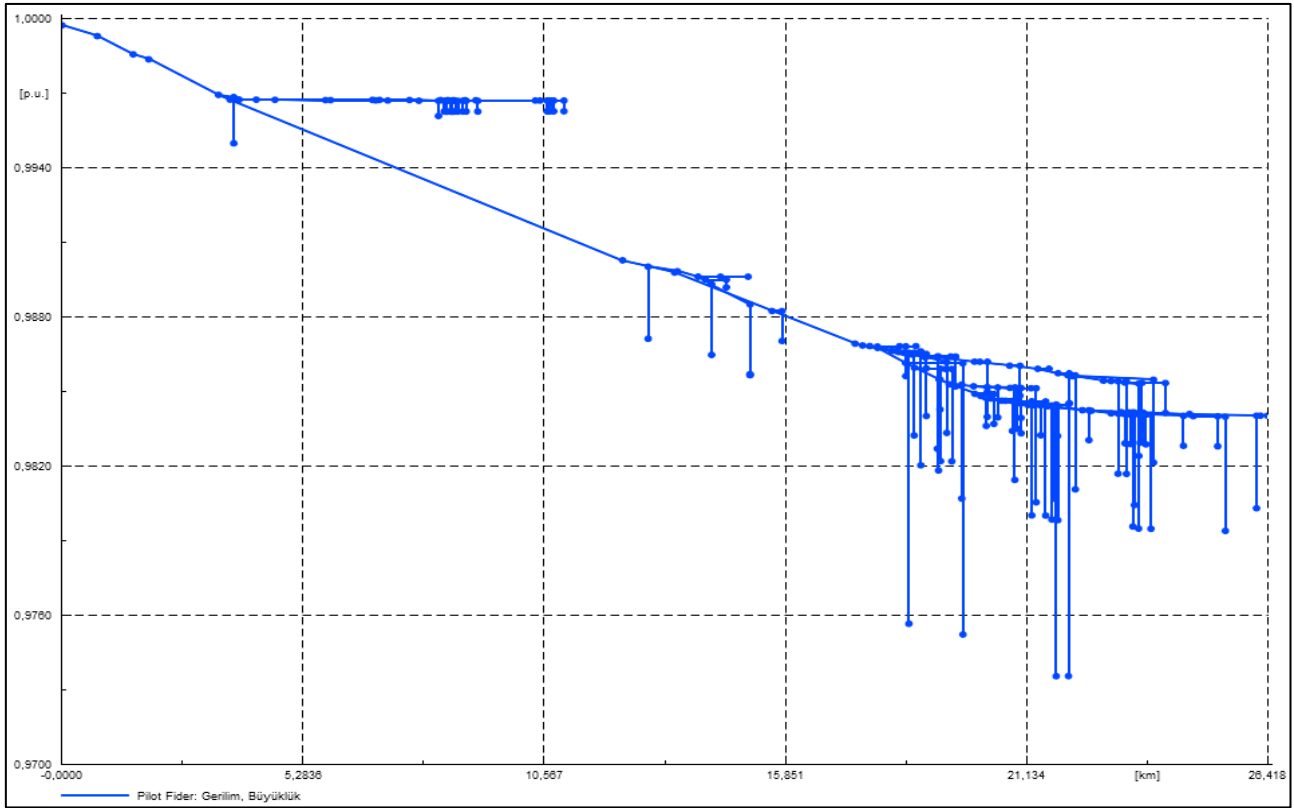
Senaryo-5: Üretimin Hiç Olmayıp Tüketimin Tam Kapasite Gerçekleştiği Durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin devrede olmayıp tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin tümüyle gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 10'dan da görüleceği üzere seçilen fider üzerinde hiç üretim santralinin bulunmamasının yanı sıra tüketimlerin tam kapasite olarak devam ediyor olması sebebiyle hat yüklenmeleri görülmemiş, aksine hattın ilerleyen kısımlarında gerilim düşümü gözlenmiştir.



Şekil 10. Senaryo-5 Durumunda Pilot Fiderin Coğrafi Model Görünümü

Bu durumda bölgede 6.84 MW kurulu güce sahip genel yük bulunmakta, üretim santrali bulunmamaktadır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 11'den de görüleceği üzere seçilen fider boyunca gerilim yükselmesi hiç görülmemiş, hattın ilerleyen kısımları olan ortalama 18. ila 22. kilometreleri arasında gerilim, 0.973 p.u. değerine kadar inerek yaklaşık %2.8 oranında bir gerilim düşümü görülmüştür.

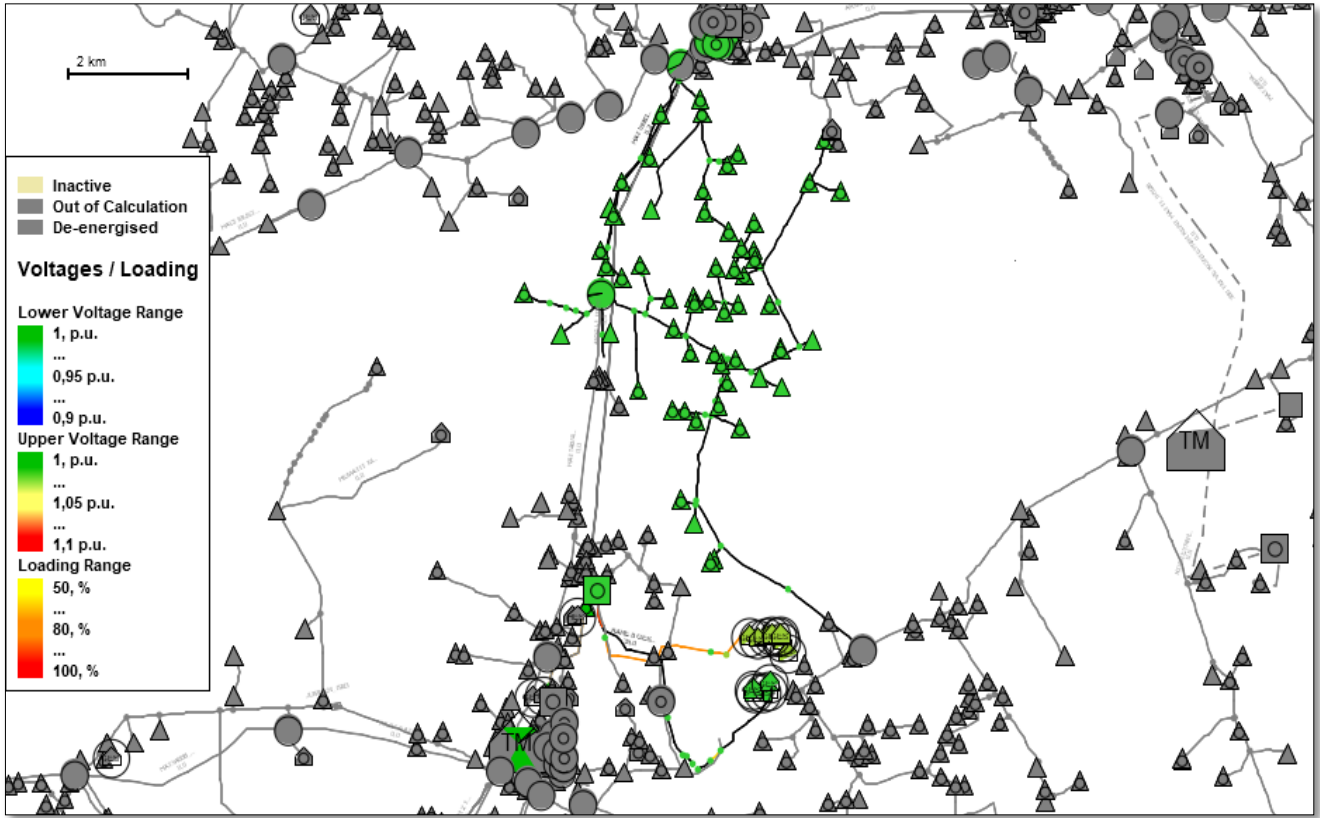


Şekil 11. Senaryo-5 Durumunda Pilot Fiderin Yük Profili Grafiği Görünümü

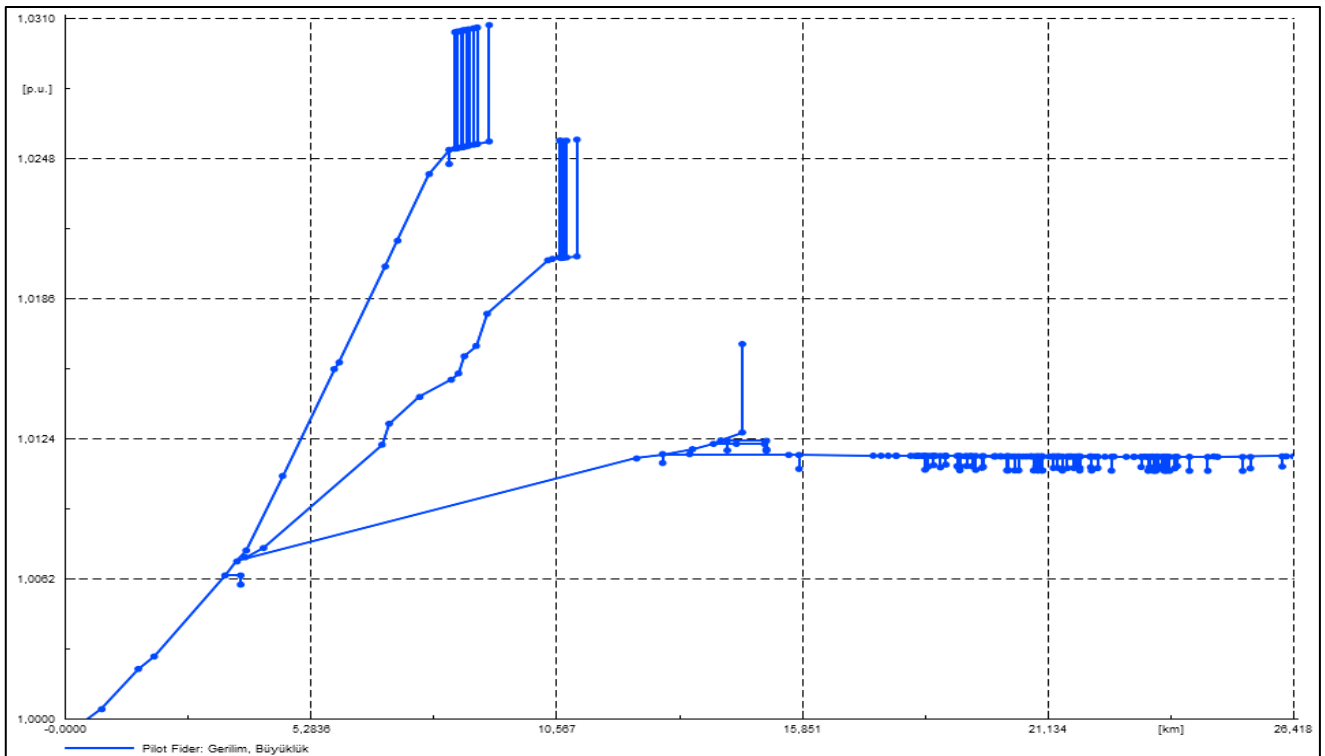
Senaryo-6: Tüketime Hiç Olmayıp Üretimin Tam Kapasite Gerçekleştiği Durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarına ve gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek tam kapasite çalıştığı, buna karşılık bölgede hiç tüketim yapılmadığı varsayılmıştır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 12'den de görüleceği üzere seçilen fider boyunca hatlarda yüklenme görülmüş olup özellikle üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımda santral çıkışlarındaki hatlarda yüklenmenin daha da fazla olduğu görülmüştür.

Bu durumda bölgede 21.25 MW kurulu güce sahip 17 adet güneş enerji santrali bulunmakta, tüketim yapılmamaktadır. Digsilent programı ile yük akışı çalıştırıldığında, Şekil 13'ten de görüleceği üzere seçilen fider boyunca gerilim yükselmesi görülmüş, özellikle üretim santrallerinin yoğun olduğu kısımlar olan, hattın ortalama 4. ila 11. kilometreleri arasında gerilim, 1.031 p.u. değerine kadar yükseliş göstermiş ve %3'ün üzerinde bir gerilim yükselmesi gözlenmiştir. Hattın diğer kısımlarında ise gerilim düşümü hiç görülmemiştir.



Şekil 12. Senaryo-6 Durumunda Pilot Fiderin Coğrafi Model Görünümü



Şekil 13. Senaryo-6 Durumunda Pilot Fiderin Yük Profili Grafiği Görünümü

SONUÇ

Güneş enerji santrallerinin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu sonrasında oluşacak gerilim regülasyonu sorunlarının ele alındığı bu çalışmada, seçilen bir pilot fider üzerinden şebekeye bağı çok sayıda güneş enerji santralının şebeke analiz programı olan Digsilent Power Factory programı yardımıyla yük akışı analizi yapılmıştır. Belirlenen senaryolara göre gerçekleştirilen analiz çalışmalarında üretim santrallerinin farklı koşullarda farklı seviyelerde üretim yaptığının varsayıldığı durumlarda değışen gerilim profilleri incelenmiştir.

Analiz sonuçları göstermiştir ki; üretim santrallerinin bölgede tüketilen enerjiden daha çok seviyede üretim yapması durumunda gerilim yükselmeleri yaşanmakta, üretim santrallerinin gerçekleştirdiğı üretim seviyesinin bölgede tüketilen enerji seviyesine yaklaşması durumunda ise gerilim yükselmelerinde azalmalar olmaktadır. Ayrıca, bölgede hiç üretim santralının kurulmamış olduğunun varsayıldığı durumda gerilim düşümlerinde artışın olması ya da tüketimin hiç olmadığı bölgeye üretim santrali kurulması durumunda ise yüksek oranlarda gerilim yükselmelerinin olması suretiyle gerilim regülasyonundaki bozunumların kaçınılmaz olduğu görülmüştür.

Güneş enerjisine dayalı elektrik üretim santrallerinin şebekeye entegrasyonlarında, üretim tesisi ve bölgedeki yük durumu, özellikle gerilim regülasyonunun sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında da ele alınan gerilim regülasyonu gibi entegrasyon problemlerinin en aza indirgenebilmesi adına kurulacak üretim santrallerinin o lokasyon içerisindeki en uygun yerleşimi kritik önemdedir. Bölgedeki tüketim seviyesinin düşük olduğu yerlere küçük güçlerde ve az sayıda üretim tesisi entegrasyonunun gerçekleştirilmesi, tüketim seviyesinin yüksek olduğu yerlerde ise bu tüketim seviyesine yakın kapasitelerde üretim tesisi entegrasyonunun gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Böylece çok sayıda üretim santralleri tarafından üretilen yüksek seviyelerdeki enerjinin şebekeye bir noktadan verilmesi yerine aynı gücün dağıtılarak uygulanması sağlanabilecek ve bu durumda şebekenin gerilim profilinde önemli ölçüde iyileşmeler görülebilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı destekleyen AKEDAŞ Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Çetinkaya, H. B. & Dumlu, F. (2013). Dağıtık üretim tesislerinin şebeke entegrasyonunda yaşanabilecek olası problemler ve entegrasyon analizleri. *Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceğı Sempozyumu*.

Duymaz, E. & Göl, M. (2018). Türkiye elektrik şebekesinin alçak gerilim sisteminin fotovoltaik sistemlerin varlığında değerlendirilmesi. *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 8, Sayı 1, Sayfa 27-31.

IEEE (2008). IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. *Application Guide For IEEE Std.. 1547™*.

İlisu, İ. (2016). Gerilim düşümü ve hesapları. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni*, 42-46.

Jiang, F., Zhang, Z., Cao, T., Hu, B. & Piao, Z. (2013). Impact of distributed generation on voltage profile and losses of distribution systems. *32nd Chinese Control Conference*.

Keçecioğlu, Ö.F., Tekin, M., Gani, A., Açıkgöz, H., Gemci, A. & fekkeli, M. (2015). Bir güneş enerji santralının elektrik şebekesindeki güç kalitesi parametrelerine etkisinin incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 17-0.

Karadöl, İ., Yıldız, C., Keçecioğlu, Ö.F. & fekkeli, M. (2018). Kararsız HES ve GES üretimlerinin düzenlenmesi için optimal enerji karışımı tespiti: Malatya ili örneğı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(2), 84-90.

Sarıkaya, Y. & Yumurtacı, R. (2017). Dağıtılmış üretim kaynaklarının elektrik dağıtım sistemlerine etkilerinin DIGSILENT powerfactory programı ile analizi. *V. Ulusal Elektrik Tesisat Kongre ve Sergisi*, 1-15.

Saygılı, M. & Tezcan, S. (2019). Protection modelling and analysis of energy transmission lines and implementation for Ankara region. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Part C, 7(2), 303-316.

Short, T.A. (2004). Electric Power Distribution Handbook, *CRC Press LLC*.

Şimşek, B. & Bizkevelci, E. (2013). Fotovoltaik güneş elektrik santrallerinin alçak gerilim şebekesine bağlantı esasları. *III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, 1-24.