

# Mevcut Dağıtık Üretim Kaynaklarının Dağıtım Şebekesinde Meydana Gelen Gerilim Regülasyonu Sorunlarının Çözümünde Değerlendirilmesi – Türkiye’de Bir Durum Çalışması

## *Assessment of Existing Distributed Generations on Voltage Regulation Issue in Distribution System - A Case Study in Turkey*

Hasan YILMAZ<sup>1</sup>, Mert KESİCİ<sup>2</sup>, Bora ALBOYACI<sup>3</sup>, Doruk GÜNEŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş., Elazığ, Türkiye  
[hasany@aksa.com.tr](mailto:hasany@aksa.com.tr)

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü  
[kescim16@itu.edu.tr](mailto:kescim16@itu.edu.tr)

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü  
[alboyaci@kocaeli.edu.tr](mailto:alboyaci@kocaeli.edu.tr)

<sup>4</sup>GENETEK Güç, Enerji Elektrik Sistemleri Ltd.Şti, KOU Teknopark  
[doruk.gunes@genetek.com.tr](mailto:doruk.gunes@genetek.com.tr)

### Özet

Dağıtım şebekelerinin gelişen yapısı, artan enerji ihtiyaçları ve dağıtık üretim birimlerinin sayıca yaygınlaşması şebekede önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu problemlerin başında çift yönlü akışlar sebebiyle dağıtım şebekesinin bara gerilimlerinin yükselmesi ve güç faktörünün düşmesi gelmektedir. Bu problemler; şebekeye bağlı cihazların arızalanmasına, sistem elemanlarının yıpranarak kullanım ömürlerinin azalmasına ve arz edilen enerjinin kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada dağıtık üretimlerden kaynaklı güç faktörünün düşmesine yönelik üretim birimlerinin tasarım sınırlarına gözetilerek analiz çalışması gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dağıtık üretim, gerilim desteği, reaktif güç, güç faktörünün düzeltilmesi, reaktif yeterlilik

### Abstract

The evolving nature of distribution networks, increasing energy needs and the widespread use of distributed generation units pose significant problems in the network. The most important problems are the increase of the busbar voltages and the decrease of the power factor, which occur in the distribution network due to bidirectional flows. These problems lead to failure of network devices, degradation of service life of system components and decrease of the quality of supplied energy. In this study, an analysis study was carried out by considering the design limits of the distributed generation units in order to reduce the power factor. Within the scope of the study, it has been seen that many

problems have been solved by changing the existing power plant setting values without exceeding the limits within the distribution system.

**Keywords:** Distributed generation, voltage support, reactive power, power factor correction, reactive capability

### 1. Giriş

Dağıtık üretim kaynaklarının sayıca yaygınlaşması ve şebeke içerisinde varlıklarının artması ile dağıtım şebekeleri gelişmelerin ve değişimlerin çok daha hızlı şekilde yaşandığı ticari bir çağa adım atmıştır. Geleneksel elektrik sistemleri merkezi ve büyük elektrik üretim birimlerinden son tüketicilere elektrik enerjisinin ulaşmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Alışlagelmiş düşünce ile tasarlanan elektrik dağıtım şebekeleri, dağıtım şebekesi içerisinde farklı gerilim seviyelerinde bulunan üretim birimlerinin entegrasyonuna olanak verecek şekilde dizayn edilmemiştir [1], [2].

Dağıtım sistemindeki entegrasyonların artması üretim miktarının değişken olması ve homojen dağılamaması, sistem içerisinde yük akışı ve kısa devre durumlarının değişmesine neden olmaktadır [3]. Dağıtık üretim kaynakları ile birlikte sistem içerisindeki bara gerilimlerinin yükselmesi, kayıplarının artması ve güç faktörünün azalması gibi problemler, enerji verimliliği ve sürekliliğini olumsuz yönde etkilemektedir [4]. Güç sistemlerinde kayıpları azaltarak verimliliği artırmak ve

sistem içerisindeki gerilimin düzenlenmesi için reaktif gücün kontrol edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde dağıtım şebekelerinde gerilim kontrolü ve reaktif güç kontrolü için genellikle kademe değiştiricili transformatörler, gerilim regülatörleri ve anahtarlanabilir kompanzasyon grupları gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ancak pasif şebeke yönetimi yapısında sistem üzerinde geniş kapsamlı bir kontrol hedefinden ziyade lokal çözümler olarak uygulanan bu yöntemlerin, değişken ve çok yönlü yük akışına sahip karmaşık şebeke yapılarında etkin olarak uygulanabilmesi oldukça zordur [5].

Yükte kademe değiştiricili transformatörler ile gerilim profilinin düzeltilmesi kademe sayısı ve kademeler arasındaki adım büyüklüğü ile sınırlı kalmaktadır. Bu tip transformatörler çıkış gerilimi ile birlikte o bara ya bağlı tüm bara gerilimlerini değiştirmektedir. Farklı özelliklerde fiderlerin bulunduğu dağıtım şebekelerinde sadece kademe değiştirici transformatörlerin kullanımı gerilim profilini düzeltmek için sınırlı kalabilmektedir [6].

Dağıtım şebekelerinde gerilim profilinin iyileştirilmesi ve reaktif güç kontrolü için en sık kullanılan yöntemlerin arasında şönt kapasitör ve reaktör gruplarının en uygun boyut ve yerleşimi yer almaktadır. [7] no'lu çalışmada dağıtım şebekelerinde zamana bağlı olarak değişen yük koşulları dikkate alınarak genetik algoritma ile sabit ve anahtarlanabilir kapasitör gruplarının en uygun yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Şönt kapasitör ve reaktör gruplarının en uygun boyut ve yerleşimi yapılsa bile değişken şebeke koşullarında çok sayıda anahtarlama yapılması gerekmektedir.

Gerilim regülatörlerinin dağıtım şebekesine entegrasyonu ile kayıpların azaltılmasına ve bara gerilim profillerine iyileştirilmesine katkı sağlanmaktadır. [8] no'lu çalışmada gerilim sınır değerleri göz önünde bulundurularak dağıtım şebekesinde gerilim regülatörlerinin en uygun sayıda ve en uygun yerde konumlandırılması ile maliyet minimizasyonu amaçlanmıştır.

Gerilim regülatörleri, şönt reaktör ve kapasitörlerin sistem içerisinde devreye alınması ve işletilmesi ilave maliyet gerektirmektedir. Ayrıca pasif şebeke yönetimi yapısında sistem üzerinde geniş kapsamlı bir kontrol hedefinden ziyade lokal çözümler olarak uygulanan bu yöntemlerin, değişken ve çok yönlü yük akışına sahip karmaşık şebeke yapılarında etkin olarak uygulanabilmesi oldukça zordur.

Bu çalışmada, önceki çalışmalardan [9] farklı olarak Türkiye'nin başka bir bölgesinde farklı tip dağıtık üretim kaynağı kullanılarak gelişen şebeke yapısı için yenilikçi bir yöntem olan dağıtık üretim birimlerinin reaktif güç değerlerinin, üretim birimlerinin tasarım sınırlarına uygun olarak değiştirilmesi ve bu sayede reaktif güç kontrolüne katılımı sağlanmıştır. Analiz çalışmaları ile fiderin gerilim profili ve fiderin bağlı olduğu transformatör merkezinin güç faktörü iyileştirilmiştir.

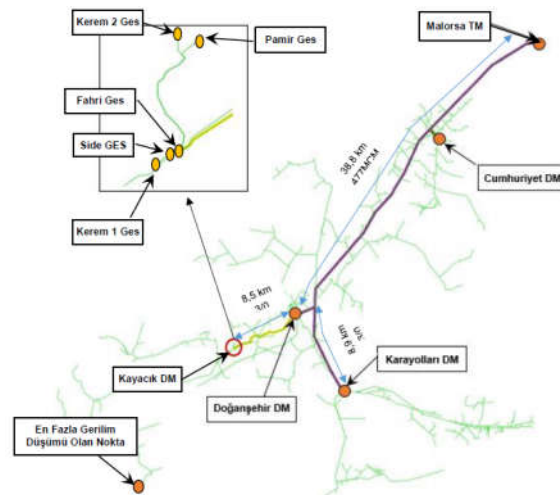
## 2. Dağıtım Sisteminin Modellenmesi

Çalışmanın sağlıklı yapılabilmesi için seçilen en uygun pilot bölgede gerekli analizlerin yapılabilmesi için coğrafi bilgi sisteminden alınan veriler kullanılarak sayısal analiz programında Malatya ilinde bulunan Malorsa transformatör merkezinden (TM) çıkan Doğanşehir fiderinin coğrafi olarak şebeke modeli oluşturulmuştur. Şekil 1'de sayısal analiz programında oluşturulmuş fidere ait coğrafi model görülmektedir.



Şekil 1. Malorsa TM doğanşehir fiderine ait coğrafi sayısal model

Şekil 2'de detaylı olarak görüleceği gibi; Malatya ilinde bulunan Malorsa TM'den çıkan 477 MCM Doğanşehir Fideri alınan sapslamayla Cumhuriyet dağıtım merkezini (DM) enerjilendirmektedir. Fider devamında Doğanşehir DM'yi ve Karayolları DM'yi beslemektedir. Fiderin besleme bölgesinde 5 adet güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. Bu santraller şebekeye Kayacık DM üzerinden bağlanmıştır. Santrallerin her birinin kurulu gücü 0,825 MW'tır.



Şekil 2. Doğanşehir fiderine ait sayısal model

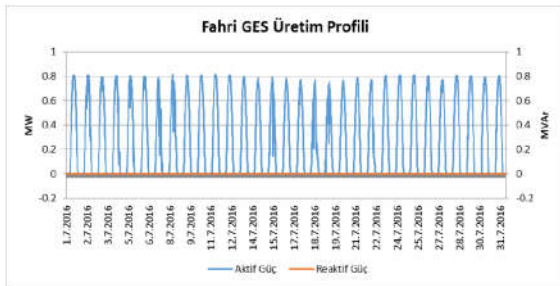
### 3. Dağıtık Üretim Kaynaklarının Reaktif Güçlerinin Kontrol Edilmesi ile İlgili Analiz Çalışmaları

Dağıtım sistemindeki kayıpları azaltmak ve sistemin güç kalitesini arttırmak için reaktif güç kontrolü yapılmakta ve şebekenin gerilim profili iyileştirilebilmektedir. Ülkemizde kabul edilen standartlara göre; OG seviyesi için; (kesintisiz bir hafta) ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az % 99'u beyan etkin gerilim değerinin +%10'unu aşmama, yine bu ortalamaların en az %99'u beyan etkin gerilim değerinin -%10'unun altına düşmemelidir. Çalışmanın bu bölümünde dağıtık üretim birimlerinin reaktif güç çıkışlarının yönetmeliklerde belirlenen sınırlar içerisinde kontrol edilmesi durumu için analizler gerçekleştirilmiş ve bu durumun şebekeye etkileri incelenmiştir.

Sayısal model analiz çalışmaları Malorsa TM, Doğanşehir fiderinde gerçekleştirilmiştir. Malorsa TM'den çıkan Doğanşehir Fideri üzerinden şebekeye bağlı Fahri güneş enerji santrali (GES), Kerem 1 GES, Kerem 2 GES, Pamir GES ve Side GES'e ait 15'er dakikalık üretim profilleri ve fider üzerinde bulunan yüklere ait 15'er dakikalık yük profilleri girilerek 1 aylık analizler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak dağıtık üretim kaynaklarının güç faktörlerinin bir değerinde olduğu yani şebekeye reaktif güç vermedikleri/şebekeden reaktif güç çekmedikleri durumda şebekedeki aktif güç, reaktif güç ve gerilim profilleri sunulmuştur. Daha sonra ise Doğanşehir fideri üzerinde şebekenin ihtiyacına ve dağıtık üretim kaynaklarının reaktif güç kapasitelerine bağlı olarak 5 adet GES'in reaktif güç kontrolüne katılması sonucunda şebekedeki aktif güç, reaktif güç ve gerilim profilleri sunulmuştur. GES'lerin güç faktörü 0-1 arasında kontrol edilebilmektedir.

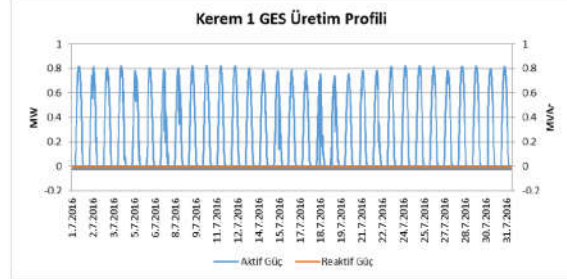
#### 3.1. GES'lerin Reaktif Güç Kontrolüne Katılmadığı Durumda Şebeke Analizleri

Bu bölümde Temmuz ayına ait 15'er dakikalık üretim ve yük profillerinin sayısal modele girilmesiyle yapılan analizlere ait sonuçlar incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında GES'lerin dağıtım şirketinden alınan ham ölçüm verilerine göre (GES'ler reaktif güç kontrolüne katılmamaktadır) analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te GES'lere ait aktif ve reaktif güç grafikleri bulunmaktadır.



Şekil 3. Fahri GES'e ait üretim profili

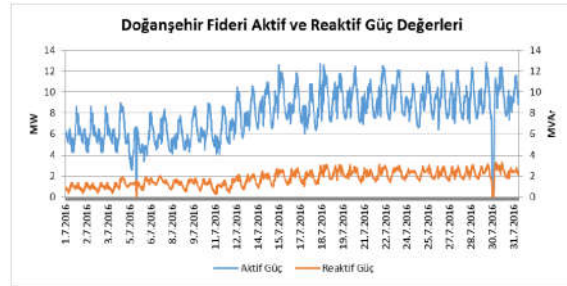
Fahri GES, Kerem 1 GES, Kerem 2 GES, Pamir GES ve Side GES'e ait üretimlerinin hepsi benzer profile sahip olduğu için sadece Fahri GES ve Kerem 1 GES'e ait bilgiler paylaşılmıştır. Diğer GES'lerde aynı lokasyonda kurulu oldukları için üretim profilleri çok benzerdir.



Şekil 4. Kerem 1 GES'e ait üretim profili

Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi her bir GES öglesi her bir GES öglesi için şebekeye 0.8 MW civarı aktif güç vermektedir. Öğle saatleri dışında gün ışığı olan zaman aralıklarında şebekeye verilen aktif güç azalmaktadır ve gün ışığı olmadığında GES'ler şebekeye aktif güç vermemektedir. Tüm GES'lerin reaktif güç değerleri sıfırdır.

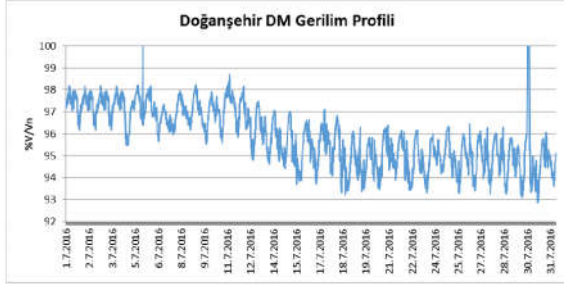
Şekil 5'te GES'lerin bu çalışma durumunda Doğanşehir fiderinin başındaki aktif ve reaktif güç değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5. Doğanşehir fiderindeki aktif ve reaktif güç değerleri

Doğanşehir fiderinde 3,3 MVAr'a kadar endüktif reaktif güç çekilmektedir.

Şekil 6 ve Şekil 7'de sırasıyla Doğanşehir DM'nin ve şebekenin en fazla gerilim düşümü olan noktasının (6227) gerilim profilleri verilmektedir.



**Şekil 6.** GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı durumda doğanşehir DM'nin gerilim profili

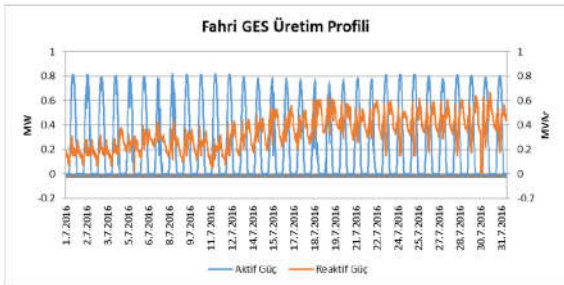


**Şekil 7.** GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı durumda 6227'nin (şebekede en fazla gerilim düşümü olan nokta) gerilim profili

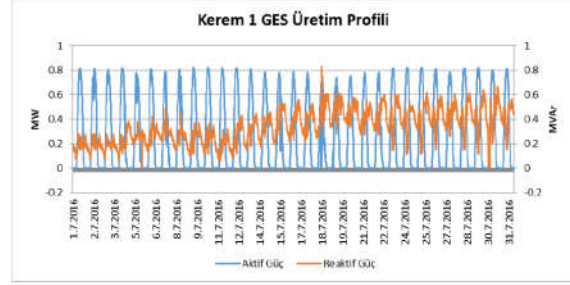
Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı durumda Doğanşehir DM'de %7'ye kadar, şebekenin en fazla gerilim düşümü olan noktasında ise %11'e kadar gerilim düşümü görülmektedir.

### 3.2. GES'lerin Reaktif Güç Kontrolüne Katıldığı Durumda Şebeke Analizleri

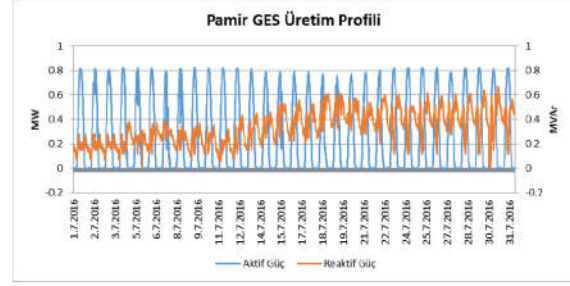
Bu bölümde dağıtık üretim kaynaklarının kapasiteleri ve şebekenin ihtiyaç duyduğu reaktif güce bağlı olarak GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılması durumunda yapılan analizlere ait sonuçlar incelenmiştir. Şekil 8-12'de GES'lere ait aktif ve reaktif güç grafikleri verilmiştir.



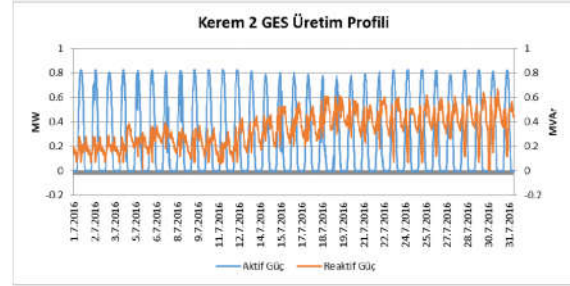
**Şekil 8.** Fahri GES'e ait üretim profili



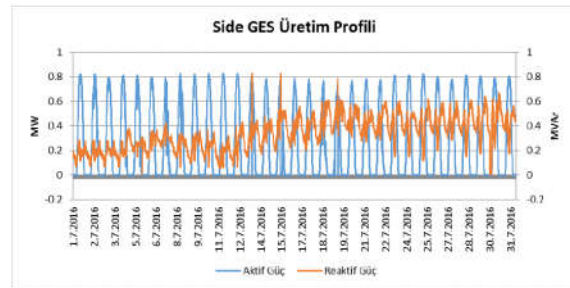
**Şekil 9.** Kerem 1 GES'e ait üretim profili



**Şekil 10.** Pamir GES'e ait üretim profili

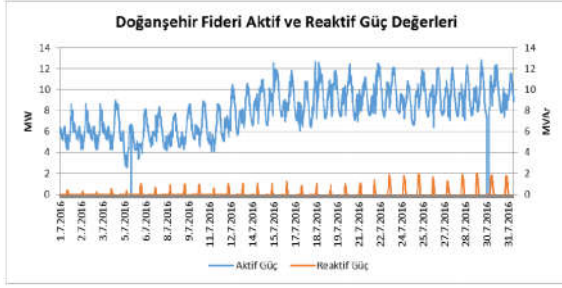


**Şekil 11.** Kerem 2 GES'e ait üretim profili



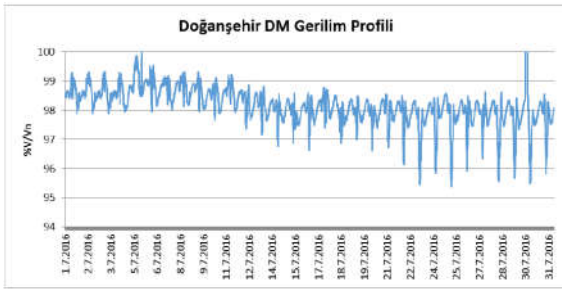
**Şekil 12.** Side GES'e ait üretim profili

Yukarıdaki şekillerde gösterildiği üzere her bir GES'in şebekeye verdiği aktif güç değerleri sabit kalmıştır. Ek olarak GES'ler kapasitelerine bağlı olarak şebekeye reaktif güç desteği sağlamaktadırlar. Öğle vakitlerinde 0,8 MW'lara kadar aktif güç üretmeleri sebebiyle GES'lerin reaktif kapasitesi azalmaktadır. Şekil 13'te GES'lerin bu çalışma durumunda Doğanşehir fiderinin başındaki aktif ve reaktif güç değerleri gösterilmektedir.

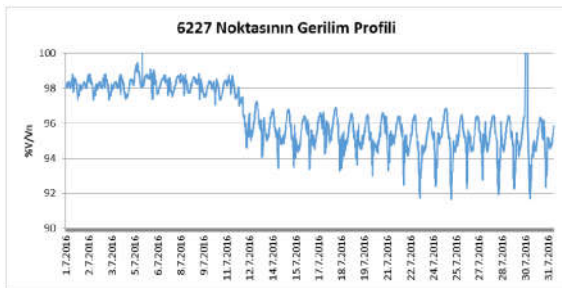


Şekil 13. Doğanşehir fiderindeki aktif ve reaktif güç değerleri

Doğanşehir Fiderindeki reaktif gücün öğle saatleri haricinde sıfıra çok yakın olduğu Şekil 13'te görülmektedir. Öğle vakitlerinde GES'ler maksimum seviyede aktif güç ürettikleri için reaktif güç kapasiteleri azalmıştır. Aşağıdaki grafiklerde sırasıyla GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmaları durumunda Doğanşehir DM'nin ve şebekenin en fazla gerilim düşümü olan noktasının (6227) gerilim profilleri bulunmaktadır.



Şekil 14. GES'lerin reaktif güç kontrolüne katıldığı durumda doğanşehir dm'nin gerilim profili

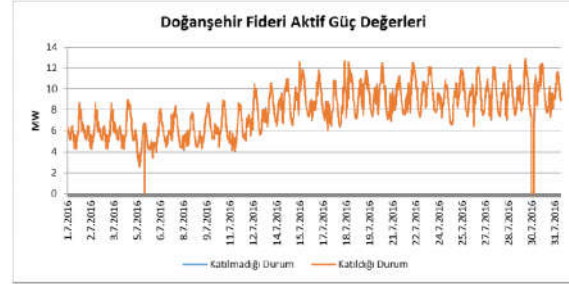


Şekil 15. GES'lerin reaktif güç kontrolüne katıldığı durumda 6227'nin (şebekede en fazla gerilim düşümü olan nokta) gerilim profili

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi GES'lerin reaktif güç kontrolüne katıldığı durumda Doğanşehir DM'de gerilim ortalama %98,2 olmaktadır. Şebekenin en fazla gerilim düşümü olan noktasında ise ortalama %96,3 olmaktadır.

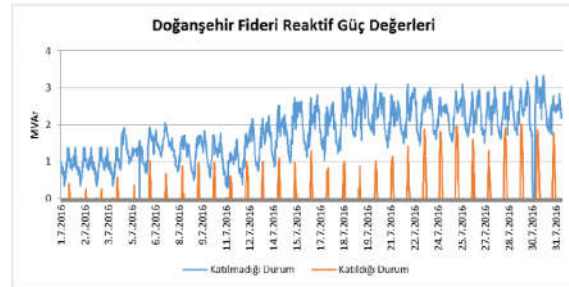
### 3.3. GES'lerin Reaktif Güç Kontrolüne Katılmadığı ve Katıldığı Durumlarda Şebeke Analizleri Sonuçlarının Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekilde GES'lerin reaktif güç kontrolüne katıldığı ve katılmadığı durumlarda Doğanşehir Fiderindeki aktif ve reaktif güç değerleri bulunmaktadır.



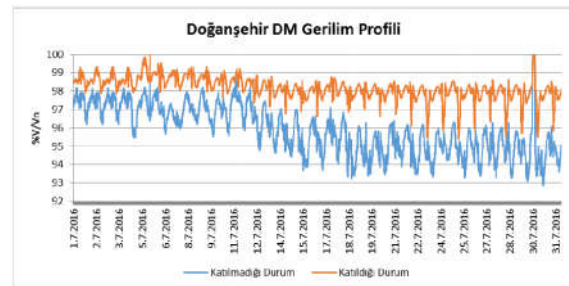
Şekil 16. GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı ve katıldığı durumlarda doğanşehir fiderindeki aktif güç değerleri

Şekil 16'da görüldüğü gibi her iki durumda da şebekedeki yük profili ve GES'lerin üretim profili değişmediği için aktif güç değişmemektedir. Fiderdeki reaktif güç GES'lerin şebekeye reaktif güç sağlaması sayesinde oldukça azalmıştır.

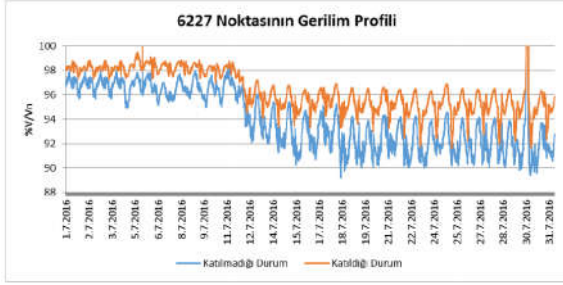


Şekil 17. GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı ve katıldığı durumlarda Doğanşehir fiderindeki reaktif güç değerleri

Şekil 18 ve Şekil 19'da GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı ve katıldığı durumlarda sırasıyla Doğanşehir DM'nin ve şebekenin en fazla gerilim düşümü olan noktasının (6227) gerilim profilleri verilmiştir.



Şekil 18. GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı ve katıldığı durumlarda doğanşehir DM'nin gerilim profili



**Şekil 19.** GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı ve katıldığı durumlarda 6227'nin (şebekede en fazla gerilim düşümü olan nokta) gerilim profili

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmadığı durumda Doğanşehir DM'de gerilim ortalama %95,8 iken GES'lerin reaktif güç kontrolüne katılmaları sonucunda %98,2 olmaktadır. Şebekenin en fazla gerilim düşümü olan noktasında ise ortalama %93,8 iken %96,3 olarak gözlenmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada dağıtık üretimlerin entegrasyonunun artması ile birlikte ortaya çıkan gerilim regülasyonu problemlerine karşı dağıtık üretimlerin reaktif güç kontrolüne katılmaları gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışmalarında dağıtık üretimlerin reaktif güç kontrolüne katılması ile birlikte fiderin gerilim profili iyileştirilmiştir. Gerçekleştirilen analiz çalışmalarında şebekenin değişken koşulları ve dağıtık üretim birimlerinin değişken üretim profilleri değerlendirilmiş olup ve dağıtık üretim birimlerinin aktif güçlerinde herhangi bir kısıtlamaya gidilmemiştir. Belirlenen senaryolara göre gerçekleştirilen analiz sonuçlarında dağıtık üretim birimlerinin reaktif güç çıkışlarının kontrol edilmesi sayesinde şebekeye yeni kapasitör vb. konvansiyonel yatırımların yapılmasına ihtiyaç kalmadığı, şebekedeki gerilim profilinin önemli seviyede iyileştiği görülmektedir.

#### 5. Bilgilendirme

Bu çalışma, Türkiye'deki elektrik dağıtım şirketleri için Ar-Ge destek programı kapsamında T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından desteklenmiştir.

#### 6. Kaynaklar

- [1] Short, T.A., "Electric Power Distribution Handbook", CRC Press LLC, 2004 Gönen, T. "Electric Power Distribution System", McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [2] Çetinkaya H.B. , Dumlu F. . "Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyonunda Yaşanabilecek Olası Problemler ve Entegrasyon Analizleri", *Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, Nisan 2013.
- [3] Jiang, F., Zhang, Z., Cao, T., Hu, B., Piao, Z. "Impact of distributed generation on voltage profile

and losses of distribution systems" *32nd Chinese Control Conference*, 2013.

- [4] Senjyu, T., Miyazato, Y., Yona, A., Urasaki, N., Funabashi, T. "Optimal Distribution Voltage Control and Coordination With Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume 23, Issue: 2, pp. 1236- 1242, 2008.
- [5] Leisse, I., Samuelsson, O., Svensson, J. "Electricity meters for coordinated voltage control in medium voltage networks with wind power", *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, 2010.
- [6] Haghifam, M. R. and Malik, O. P. "Genetic algorithm-based approach for fixed and switchable capacitors placement in distribution systems with uncertainty and time varying loads," *IET Gener., Transm., Distrib.*, vol. 1, no. 2, pp. 244–252, 2007.
- [7] Safiğianni, A. S., Salis G. J. "Optimum voltage regulator placement in a radial power distribution network", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 879-886, 2000.
- [8] De Joode J. , Van Der Welle A. , Jansen J. . "Distributed Generation and the Regulation of Distribution Networks" , 2010. D. N. Gaonkar (Ed.), ISBN: 978-953-307-046-9,
- [9] Kesici M., Yapıcı R., Güneş D., Alboyacı B., Kurtoğlu Ş. "Distributed generation control to solve voltage regulation problem in distribution networks: A real case study in Turkey", *6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair (ICSG)*, 2018
- [10] Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. ve GENETEK Güç Enerji Elektrik Sistemleri Özel Eğitim ve Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti., "Dağıtım Şebekelerinde Dağıtık Üretim Tesislerinin Reaktif Güçlerinin Kontrolü İle Şebekede Gerilim Kararlılığının Arttırılması"