

# DAĞITIK ENERJİ KAYNAKLARININ NEDEN OLDUĞU GERİLİM REGÜLASYONU PROBLEMLERİNİN ANALİZİ

Erol Kayacan<sup>a</sup>, Fırat Güler<sup>b</sup>, Neslihan Öter<sup>b</sup>, Alper Terciyanlı<sup>a</sup>, K. Çağatay Bayındır<sup>c</sup>

<sup>a</sup>, Endoks Enerji Dağıtım Sis. San. İth. ve İhr. Ltd. Şti., Ankara

<sup>b</sup> Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş., Antalya

<sup>c</sup>, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara

## ÖZET

*Bu makalede, kurulu gücü artarılan dağıtık üretim santrallerin, fider (dağıtım besleyicileri) gerilim profilleri üzerindeki etkileri incelenmektedir. İlk olarak genel bir fikir oluşturmak için, dağıtık üretim tesislerinin dağıtım şebekeleri üzerindeki etkileri hakkında kısa teorik bilgi verilmiştir. Daha sonra, DigSILENT Power Factory yazılımını kullanarak bir vaka çalışması yapıp analiz sonuçları sunuldu. Son olarak, dağıtık üretim tesislerinin şebeke ağ bağlantısında gerilim regülasyonu problemlerinden kaçınmak için farklı senaryolarla simülasyon sonuçları, alternatif çözüm yöntemleri ve dikkate alınması gereken hususlar belirtilmiştir.*

*Terimler—Dağıtık üretim, Dağıtım şebekesi, Güç sistemi dinamikleri, Gerilim regülasyonu, Gerilim değişimi.*

## 1. GİRİŞ

Elektrik dağıtım şebekesi, orta gerilim seviyesi (1kV-35kV) trafo merkezinden son kullanıcıya elektriğin taşınma işlevini görür [1]. Uluslararası standartlar tarafından tanımlanan sınır değerlerine göre, gerilim değeri dağıtım şebekesi boyunca  $\pm$  %10'da kalmalıdır [2]. Standartlar tarafından tanımlanan gerilim aralığı üç ana bölüme ayrılmıştır [3]. Bu bölümlerin maksimum ve minimum gerilim sınırları aşağıda verilmiştir:

- Elverişli bölge (0,95 ila 1,05 pu arasında)
- İzin verilen bölge (0,92 ila 1,06 pu arasında)
- Sınır bölge (0,9 ila 1,08 pu arası)

Özellikle, fider başına doğru tanımlanan gerilim sınır değerleri, klasik dağıtım düzeni ile işletilen (kaynaktan kullanıcıya

güç akışı) uzun ve alçak kesit hatları ile çalıştırılan elektrik dağıtım şebekelerini aşmaktadır. Son yıllarda, OG Şebeke güç akışı operasyonları klasik dağıtım düzeninde görülen tek yönlü güç akışları yerlerini dağıtık üretim tesislerinin artmasının etkisiyle çift yönlü güç akışına bırakmaya başlamıştır.

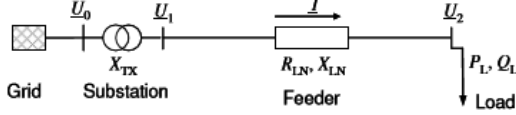
Bundan dolayı, çift yönlü güç akışlarına neden olan OG şebekeye bağlı dağıtık üretim tesisleri, şebeke gerilim seviyesini arttırmaya başlar [4]. Kırsal alanlarda, özellikle de enerji talebinin düşük olduğu yerlerde kurulu güçleri fazla olan dağıtık üretim tesisleri, gerilim seviyesini sınır değerlere kadar yükseltebilir [5]. Türkiye'de kırsal alanlardaki arazi fiyatları oldukça düşük olduğu için yatırım maliyetlerinde meydana gelen düşüş yatırımcıların bu bölgeler üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, kırsal dağıtım şebekelerinde

gözlenen gerilim yükselmeleri hızlı bir şekilde elektrik dağıtım sektörünün gündemine oturmuştur.

Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada dağıtık enerji üretim tesislerinin Akdeniz EDAŞ'a ait Burdur Trafo Merkezi'nin kurulu gücü büyük olan Kozluca Fideri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kozluca Fiderinin gerilim profilleri, DigSilent Power Factory adlı yazılımda modellenen dijital ağ modeli üzerinde yapılan güç akışı analizi ile elde edilmiştir. Elde edilen değerler, simülasyon sonuçları ve öneriler, makalenin sonundaki "Sonuç" başlığı altında sunulmaktadır.

## 2. DAĞITIM ŞEBEKESİNDE GERİLİM DEĞİŞİMİ

Bir elektrik dağıtım şebeke modeli basitçe Şekil 1.'de ki gibidir.



Şekil 1. Dağıtım Fider Basit Gösterimi

Şekil 1'de görülen fider başı ve fider sonu arasında oluşan gerilim farkı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (1) [6]:

$$|U_1 - U_2| = I(R_{LN} + jX_{LN}) \quad (1)$$

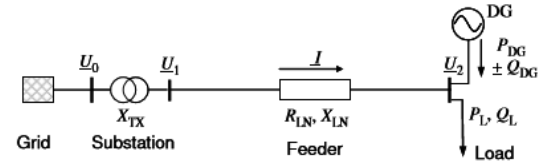
Fiderden geçen akım, görünen güç ve fider bitiş gerilimi şeklinde yazılırsa, denklem formül haline gelir (3).

$$I = \frac{S^*}{U^*} = (P_L - jQ_L) / U_2^* \quad (2)$$

$$I = \left| \frac{(R_{LN}P_L + X_{LN}Q_L) - j(X_{LN}P_L - R_{LN}Q_L)}{U_2} \right| \quad (3)$$

Dağıtık fider ünitesinin, dağıtık güç üretim tesisi ile bağlantısının

basitleştirilmiş bir çizimi Şekil 2'de ki gibidir.



Şekil 2. Çift Yönlü Yük Akışı Gerçekleşen Basitleştirilmiş Dağıtım Şebekesi

Dağıtık üretim tesislerinin bağlandığı durumda basitleştirilmiş olan şebekede fider başı ve fider sonu gerilim farkı için aşağıdaki formül kullanılır (4):

$$I \cong \frac{(R_{LN}(P_L - P_{DG}) + X_{LN}(Q_L - (\pm Q_{DG})))}{U_2} \quad (4)$$

Yukarıdaki formülün (4) sonucu olarak, reaktif ve aktif güç tüketen elektrik abonelikleri, fider boyunca gerilim düşüşüne neden olur. Bununla birlikte, dağıtık üretim tesisleri genellikle güç faktörlerine bağlı olarak fider boyunca gerilim seviyesini artırma eğilimindedir.

Bu çalışmada dağıtık enerji kaynakları (DER) genelde güç faktörü 1'e olan ve fider boyunca kullanılan iletkenin R / X oranına bakılmaksızın fider boyunca gerilim değerinin yükselmesine neden olanlar inceleyeceğiz.

## 3. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bu çalışmada, daha önce belirtildiği gibi, Burdur Trafo Merkezi'nden beslenen Kozluca Fideri'nin yük akışı simülasyonları incelenmiştir. Kozluca Fideri hakkında kısa bir bilgi vermek gerekirse, Trafo Merkezi'nden (TM) beslenen en uzak dağıtım trafosu, trafo merkezinden yaklaşık 60 km uzaklıktadır ve şebeke işletim gerilimi 31.5 kV'dir. Fider üzerinde mevcut durumda etkin olan 9 MW lisanssız bir güneş enerjisi

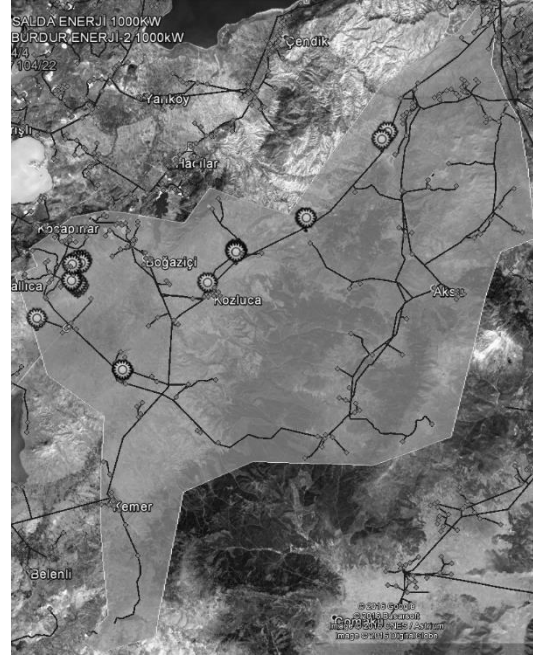
santrali (GES) vardır. Bu rakamın, bağlantı izni verilen diğer GES'lerle birlikte 19.5 MW'a yükseleceği tahmin edilmektedir. Kozluca Fideri'nin harita üzerinde gösterimi Şekil 3'te verilmektedir. Gösterilen güneş ikonları mevcut durumda bağlı veya bağlantı görüşü verilmiş olan GES'leri belirtmektedir.

Fider üzerindeki yük akışı analizi, Akdeniz EDAŞ tarafından lisanslanan DigSILENT Power Factory yazılımını kullanarak gerçekleştirildi. Mevcut elektrik şebekesi DigSilent PF modelleri Akdeniz EDAŞ tarafından sağlanmış ve bu modellerin elektrik şebekesi ile uyumluluğu Akdeniz EDAŞ tarafından onaylanmıştır. Fider analizlerin doğruluğunun sağlanması adına, fiderin bağlı olduğu tüm Burdur trafo fiderlerinin analizi aynı anda gerçekleştirildi.

Kozluca Fideri'nde en yüksek üretimin gerçekleştiği gün referans alınarak yük akışı simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonların gerçekleştirilmesi adına Haziran ve Temmuz aylarında fider başı yükleri Inavitas yazılımı ile alınmış ve bu yük verilerine göre referans gün tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre, 4,181 MW gücünün trafo merkezine geri basıldığı 6 Temmuz 2016 tarihi referans tarih olarak belirlenmiştir.

Transformatörlerin fider üzerine yüklenmesi Akdeniz EDAŞ'ın OSOS (Otomatik Sayaç Okuma Sistemi) sisteminden sağlanmıştır. Elde edilen yük bilgileri transformatörler ile eşleştirildikten sonra DigSILENT Power Factory yazılımına entegre edildi.

Akdeniz EDAŞ'tan alınan üretim kayıtlarından elde edilen GES üretim değerleri DigSILENT Power Factory modeline girildi.



Şekil 3. Kozluca Fideri Harita Görünümü

Henüz şebekeye bağlanmamış ancak bağlantı görüşleri sağlanmış olan her GES için genel bir üretim çizelgesi oluşturuldu. Transformatörlerin OSOS yükleri elde edilemediğinde, transformatör boyutlarına göre fider başı yükünün ölçeklendirilmesi yapılarak hesaplandı.

Buradaki önemli nokta, GES üretiminin ve eşleşen OSOS yüklerinin ölçekleme sürecine dahil olmamasıdır. Başka bir deyişle, trafo yükü ölçekleme formülasyonu, aşağıdaki formülde verilmektedir (5):

$$P_x = (P_{FEEDER} - P_{SEPP} - P_{AMR}) \left( \frac{W_x}{W_{ALL}} \right) \quad (5)$$

$P_x$  = transformatörünün aktif yükü X

$P_{FEEDER}$  = Fider başı aktif yükü

$P_{SEPP}$  = Fiderin GES üretim değeri

$P_{AMR}$  = Eşleştirilmiş transformatörlerin OSOS yüklenme değerleri

$W_x$  = X Trafosu kurulu gücü

$W_{ALL}$  = Eşleştirilmemiş transformatörlerin toplam kurulu gücü

Tüm transformatörlerin reaktif güç yüklemeleri, fider başı reaktif gücün kurulu güçlerine göre ölçeklendirilmesi ile hesaplandı.

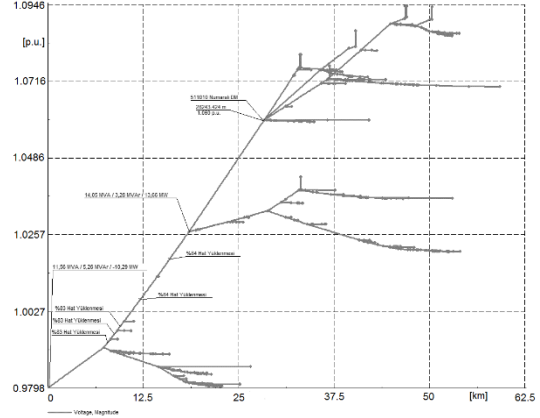
Analizde, Kozluca Fideri'nde mevcut anahtarlama durumu değiştirildi. Mevcut anahtarlama durumunun, geçerli yük akışları için en iyi anahtarlama hali olduğu ve bağlantı onaylı GES'lerin açılması durumunda, artık optimal olmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, tüm GES'ler çalışırken, Kozluca Fideri'nde en uygun anahtarlama şeması (gerilim profilinin düzeni ve hat yükleri) belirlenmiş ve bu düzen üzerinde analiz yapılmıştır.

#### **4. SİMÜLASYON SONUÇLARI**

Yük akışı analizinde, fiderde bağlantı izni olan tüm GES'lerin aktif olması durumunda ortaya çıkacak durum incelenir. Bu koşullar (Senaryo 1) üzerinde yapılan analiz sonuçları fider boyunca gösterilen gerilim profilini Şekil 4'de göstermektedir.

Fider gerilim profili incelendiğinde;

- 10,29 MW'lık gücün Burdur TM'ye geri basıldığı ve Burdur TM'den 5,26 MVar'lık bir reaktif gücün çekildiği görülmektedir.
- Fider üzerinde görülen en yüksek hat yüklenmesi değeri %82 olmaktadır.
- En yüksek gerilimin görüldüğü noktada ise gerilim fider başı gerilimine oranla %11,5 artarak 1,095 p.u. (34,5 kV) seviyesine gelmiştir.



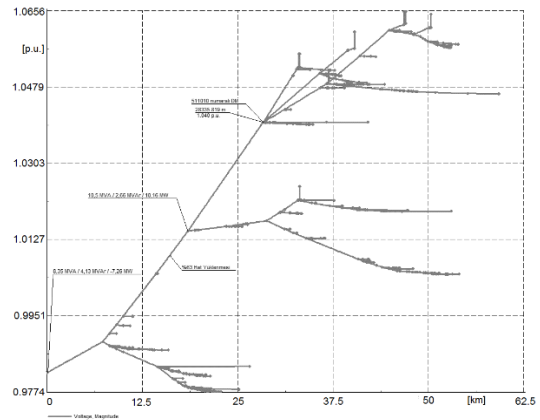
Şekil 4. Senaryo 1 sonucunda Kozluca Fideri Gerilim Profili

Bu noktada fider gerilim yükselişinin üstesinden gelmek için üç farklı senaryoda yük akış analizi yapılmıştır. Bu senaryolar aşağıda verilmiştir:

- GES üretiminin % 80'e kadar sınırlandırılması
- Fidere gerilim regülatörü takılması
- Fidere 2MVar reaktör takılması

#### **4.1. GES Üretiminin % 80'e Kadar Sınırlandırılması**

Bu senaryoda (Senaryo 2) GES'lerin üretimi maksimum % 80 oranına sınırlandırılarak simüle edildi. Analizin gerilim profili sonucu Şekil 5 gösterilmektedir.



Şekil 5. Senaryo 2 sonucunda Kozluca Fideri Gerilim Profili

Bu gerilim profili incelendiğinde;

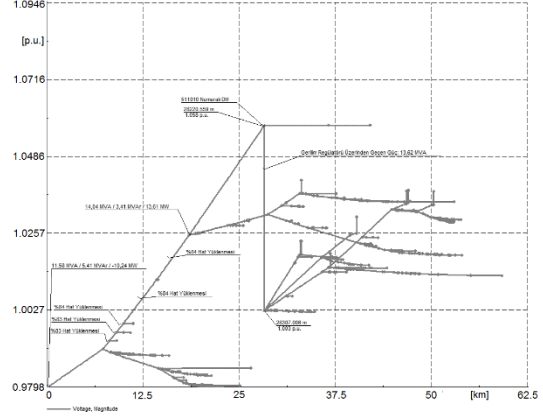
- 7.26 MW Burdur trafo merkezine, 4.1.3 MVAR reaktif güç Burdur trafo merkezinden çekilmektedir.
- Fider üzerinde görülen en yüksek hat yüklenmesi değeri %63'tür.
- En yüksek gerilimin görüldüğü noktada ise gerilim fider başı gerilimine oranla %8,4 artarak 1.066 p.u. (33,58 kV) seviyesine gelmiştir.

#### **4.2. Fidere Gerilim Regülatörü Tesis Edilmesi**

Bu senaryoda (Senaryo 3), gerilim regülatörü trafo merkezinden yaklaşık 28 Km olan dağıtım merkezine kurulduğunda, besleme gerilimi profili üzerindeki etkisi analiz edildi. Gerilim regülatörü kurulumundan sonra fider gerilim profili Şekil 6'te gösterilmektedir.

Bu gerilim profili incelendiğinde;

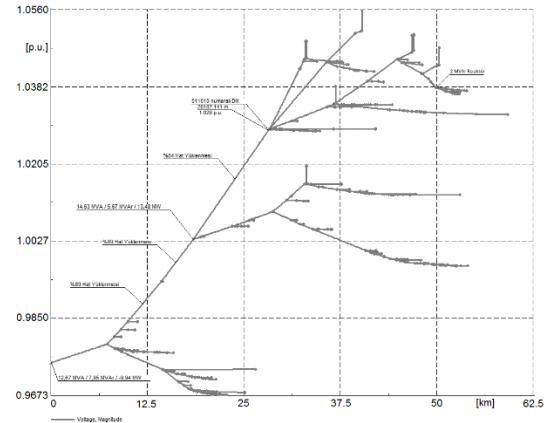
- 10,24 MW'lık gücün Burdur TM'ye geri basıldığı ve Burdur TM'den 5,41 MVAR'lık bir reaktif gücün çekildiği görülmektedir.
- Fider üzerinde görülen en yüksek hat yüklenmesi değeri %84 olmaktadır.
- En yüksek gerilimin görüldüğü noktada ise gerilim fider başı gerilimine oranla %7,8 artarak 1,058 p.u. (33,33 kV) seviyesine gelmiştir.



Şekil 6. Senaryo 3 sonucunda Kozluca Fideri Gerilim Profili

#### **4.3. Fidere 2MVAR Reaktör Tesis Edilmesi**

Bu senaryoda (Senaryo 4), fiderin 50. Km'sinde ve GES'in çoğunluğunun aynı yolunda bulunan 2MVAR reaktör tesisatının gerilim profiline etkisi incelenmiştir. Reaktör kurulumundan sonraki gerilim profili Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Senaryo 4 sonucunda Kozluca Fideri Gerilim Profili

Bu gerilim profili incelendiğinde;

- Burdur trafo merkezine 9.94 MW, ve Burdur trafo merkezinden 7.85 MVAR reaktif güç çekilmektedir.
- Fider üzerinde görülen en yüksek hat yüklenmesi değeri %89 olmaktadır

- En yüksek gerilimin görüldüğü noktada ise gerilim fider başı gerilimine oranla %8,1 artarak 1.056 p.u. (33,33 kV) seviyesine gelmiştir

## **5. SONUC**

Analiz sonucunda, kırsal Kozluca Fideri'nin, düşük tüketim talebi ile en yüksek gerilim değerinin %11.7 oranında arttığı görülmüştür. Bu değer, bir önceki başlıklardaki sınır bölgesi olarak tanımlanan değer üstündeki bir değere karşılık gelir. Bu gerilim artışının üstesinden gelmek için GES'lerin üretim değerlerinin % 80 azaltılması, gerilim regülatörünün ve 2 MVAR reaktör tesis edilmesi şeklinde farklı senaryolar gerçekleştirildi. Sonuç olarak, gerilim artışı sırasıyla %8.4, %7.8 ve %8.1'e düşürüldü. Fidere monte edilen reaktör, fider başı güç faktörünü kötüleştirdiği için olası bir çözüm değildir. Aynı şekilde, GES üretiminin azaltılması muhtemel bir çözüm olarak düşünülmemektedir çünkü çok fazla finansal maliyete neden olacaktır. Gerilim regülatörleri, bu gerilim yükselmeleri için ideal bir çözüm olarak düşünülebilir.

Trafo merkezleri yerine fider temelli GES bağlantı methodu, bu gibi gerilim yükselme olaylarını önlemek için uygulanması gereken bir yöntemdir. Özellikle öğle saatlerinde, en düşük fider yükleri bu bağlantıyı sağlamak için en önemli referans noktasıdır. Bu örnekte olduğu gibi, GES fider yükünün geride kalması gerilimin yükselmesinin ana nedenidir.

Gerilim regülatörü uygulaması sonrası fider üzerindeki gerilimlerin istenilen seviyelere geldiği gözlemlenmiştir.

Çalışma sonucu olarak dağıtım fiderlerine GES bağlantı izinleri verilirken fider gündüz en düşük tüketim değerlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

## **4. KAYNAKLAR**

- [1] IEC standart voltages, IEC 60038 std. Ed. 6.2, 2002. [2] S. S. Depuru, L. Wang, V. Devabhaktuni, and R. C. Green, "High performance computing for detection of electricity theft," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 47, pp. 21-30, Oct. 2012.(4)
- [2] Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks, EN 50160:2007 E, 2007.
- [3] T. Gönen, Electric Power Distribution System Engineering, New York: McGraw-Hill, 1986, p. 453
- [4] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Distribution Systems", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, Volume: 3, pp. 1645-1656
- [5] S. Kongtripop, S. Premrudeepreechacham, T. Kasirawat, C. Pongsriwat, "Effect of Distributed Generation on Very Long Distribution Line with Automatic Voltage Regulator", ECTI-CON 6th International Conference, 2009
- [6] F.A. Viawan, "Voltage Control and Voltage Stability of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation", Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Tech., 2008