

# ESNEK ALTERNATİF AKIM İLETİM SİSTEMLERİ (FACTS) VE DAĞITILMIŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ İLE DONATILMIŞ ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN ANALİZİ

Cevdet Ersavaş<sup>1</sup>, Faruk Ugranlı<sup>1</sup>, Hasan Umut Umar<sup>2</sup>, Engin Karatepe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi

<sup>2</sup>Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi

E-mail: [cevdetersavas@gmail.com](mailto:cevdetersavas@gmail.com), [farukugranli@gmail.com](mailto:farukugranli@gmail.com), [umutumar@gmail.com](mailto:umutumar@gmail.com), [engin.karatepe@ege.edu.tr](mailto:engin.karatepe@ege.edu.tr)

**Özet-** Dağıtılmış enerji üretim (DEÜ) sistemleri son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte dünyada ve ülkemizde elektrik şebekeleri açısından oldukça önem kazanmıştır. DEÜ'lerin şebeke kayıplarının azaltılmasına, şebeke geriliminin düzenlenmesine ve hatlardaki yüklenmelerin azaltılmasına katkı sağlaması en önemli avantajları olarak gözükmektedir. Ancak, mevcut güç sistemlerine DEÜ'lerin rastgele entegrasyonu ve bu sistemlerin çıkış güçlerindeki belirsizlikler bu avantajları dezavantaja dönüştürebilecek olmasından dolayı DEÜ'lerin sisteme hangi noktadan ve hangi güçte entegre edileceği hususu araştırmalara konu olmuştur. Bu gelişmeler, iletim ve dağıtım sisteminin, farklılaşan yük bölgelerine ve eklenen üretim birimlerine göre esnek yapıda ve uyumlu olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada DEÜ entegre edilmiş güç sistemlerinin hat kapasitelerine olan etkileri, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemlerinden (FACTS) faz kaydırıcı transformatörler ile donatılmış IEEE-30 test sisteminde incelenmiştir. Bu amaçla faz kaydırıcı transformatörler sınır şartlarında çalıştırılarak iletim hatlarındaki olası aktif güç akışı kontrol bölgeleri elde edilmiştir ve farklı DEÜ senaryoları durumunda, FACTS araçlarından faz kaydırıcı ile şebeke hat kapasitelerinin ve yüklenmelerinin kontrol esnekliği incelenmiştir.

## I. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan yaşam standartlarının sebep olduğu enerji talebindeki artış, güç sistemlerinin güvenilirliğini ve kalitesini iyileştirmek için mühendisleri yeni arayışlara sevk etmiştir. Özellikle trafo, iletim ve dağıtım hatlarının kapasitelerinin yenilenmesi büyük bir yatırım gerektirmesinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının ve küçük boyutlu konvansiyonel enerji üretim birimlerinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu sistemler dağıtım şebekelerine ve yüklere yakın yerlere bağlanmalarından ötürü dağıtılmış enerji üretimi (DEÜ) ismini almaktadırlar. DEÜ'lerin boyutları yapılan tanımlamalara göre değişiklik göstermek ile birlikte genel olarak 50 MW'a kadar olan enerji üretim birimleri DEÜ kapsamına girmektedir [1]. DEÜ'lerin konvansiyonel sistemlere göre avantajlarını teknik, mali, ve çevresel olmak üzere üç grupta toplayabiliriz. Hatlardaki yüklenmeleri azaltarak şebeke kayıplarının azaltılması ve artan gerilim profili ile

güç kalitesinin artması DEÜ'lerin en önemli iki teknik avantajı olarak gözükmektedir. Mali olarak ise fosil tabanlı yakıtların kullanımının azaltılması, şebekede oluşan maksimum enerji talebi zamanlarında devreye girerek elektriğin birim maliyetinin azaltılması ve dağıtım ve iletim hatlarının yenilenmesinin ertelenmesi dolayısıyla yatırımın geciktirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına imkân sağlamasından dolayı karbondioksit ve sera gazlarının salınımını azaltmaktadır.

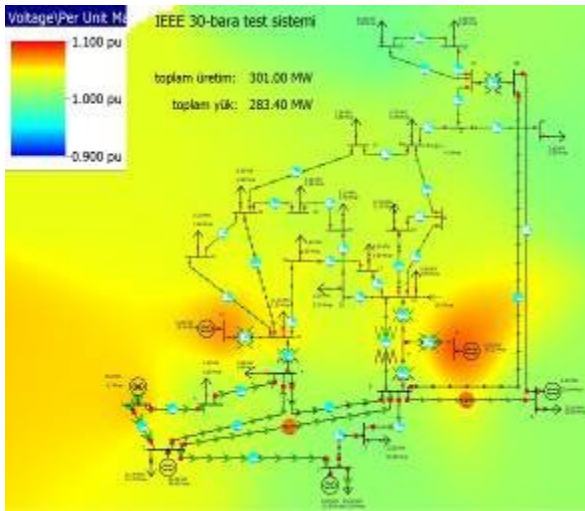
Güç sistemlerinin kontrolü açısından önem arz eden diğer hususlardan biri ise esnek AC iletim sistemlerinde (FACTS – flexible AC transmission systems) kullanılan araçlardır. Güç sistemlerinin akıllı şebekelere doğru geçişinde DEÜ'ler ile birlikte bu araçlar da önemli rol oynayacaklardır. Bu kapsamda elektrik şebekelerinde kullanılan FACTS araçlarından bazıları şunlardır: tap ayarlı yük transformatörleri, faz kaydırıcı transformatörler ve statik VAR kompanzasyonlar. Bu araçlar sayesinde güç sistemlerindeki bara gerilimleri, hatlardaki aktif ve reaktif yük akışları limitler dahilinde kontrol edilebilmektedir. Literatürde, elektrik güç sistemlerinde hatlardaki yoğunluğu azaltabilmek amacıyla seri FACTS araçlarının nerelere bağlanması gerektiği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [2,3]. Bu sayede güç sistemlerinin işletme koşulları daha ekonomik olarak sağlanabilmektedir. Güç sistemlerinin toplam üretim maliyetlerinin ve yüklenilmenin azaltılması FACTS elemanlarının kullanım amaçlarından ikisidir. [4]'de tristör kontrollü faz kaydırıcıların optimum yerleştirilmesi için yeni bir metot önerilmiştir ve bu metot sayesinde yukarıda bahsi geçen hedefler gerçekleştirilebilmektedir.

DEÜ'lerin entegrasyonu ile birlikte güç sistemlerinin davranışları belirgin bir şekilde değişmektedir. DEÜ'lerin sisteme uygun olmayan bir şekilde dahil edilmesi durumunda avantajları yerine dezavantajları ortaya çıkabilmektedir. DEÜ'lerin de akıllı şebekelerin bir parçası olduğu düşünülürse, FACTS'larla DEÜ'lerin aynı anda düşünülerek araştırılması gerektiği yadsınamaz bir gerçektir. Özellikle asenkron jeneratör kullanılmış rüzgar türbinlerinin reaktif güç çektiği düşünüldüğünde, büyük ölçekli rüzgar türbinleri dahil edilmiş güç sistemlerinde FACTS'lerin etkileri



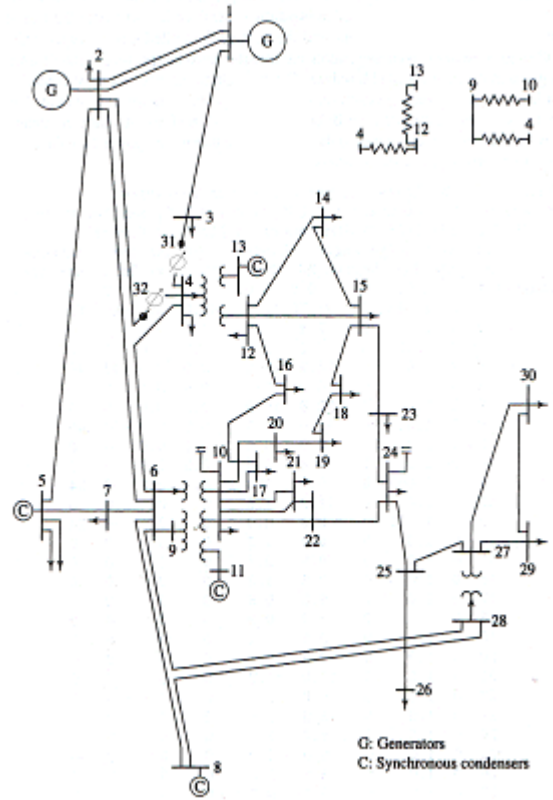
DEÜ'lerin etkilerini inceleyebilmek amacıyla farklı DEÜ bağlantı kombinasyonları oluşturulmuştur. Bunlar;

- Senaryo-1: DEÜ olmadığı durum
- Senaryo-2: 30 nolu baraya 50 MW bağlandığı durum
- Senaryo-3: 30 nolu baraya 100 MW bağlandığı durum
- Senaryo-4: 21 nolu baraya 100 MW bağlandığı durum
- Senaryo-5: 21, 26, 29 ve 30 nolu baralara toplam yükün %20'si kadar DEÜ'nün eşit bağlandığı durum
- Senaryo-6: 21, 26, 29 ve 30 nolu baralara toplam yükün %40'ı kadar DEÜ'nün eşit bağlandığı durum
- Senaryo-7: 6, 7, 14 ve 16 nolu baralara toplam yükün %40'ı kadar DEÜ'nün eşit bağlandığı durum



Şekil 4. PWS'de modellenmiş 30 baralı sistem

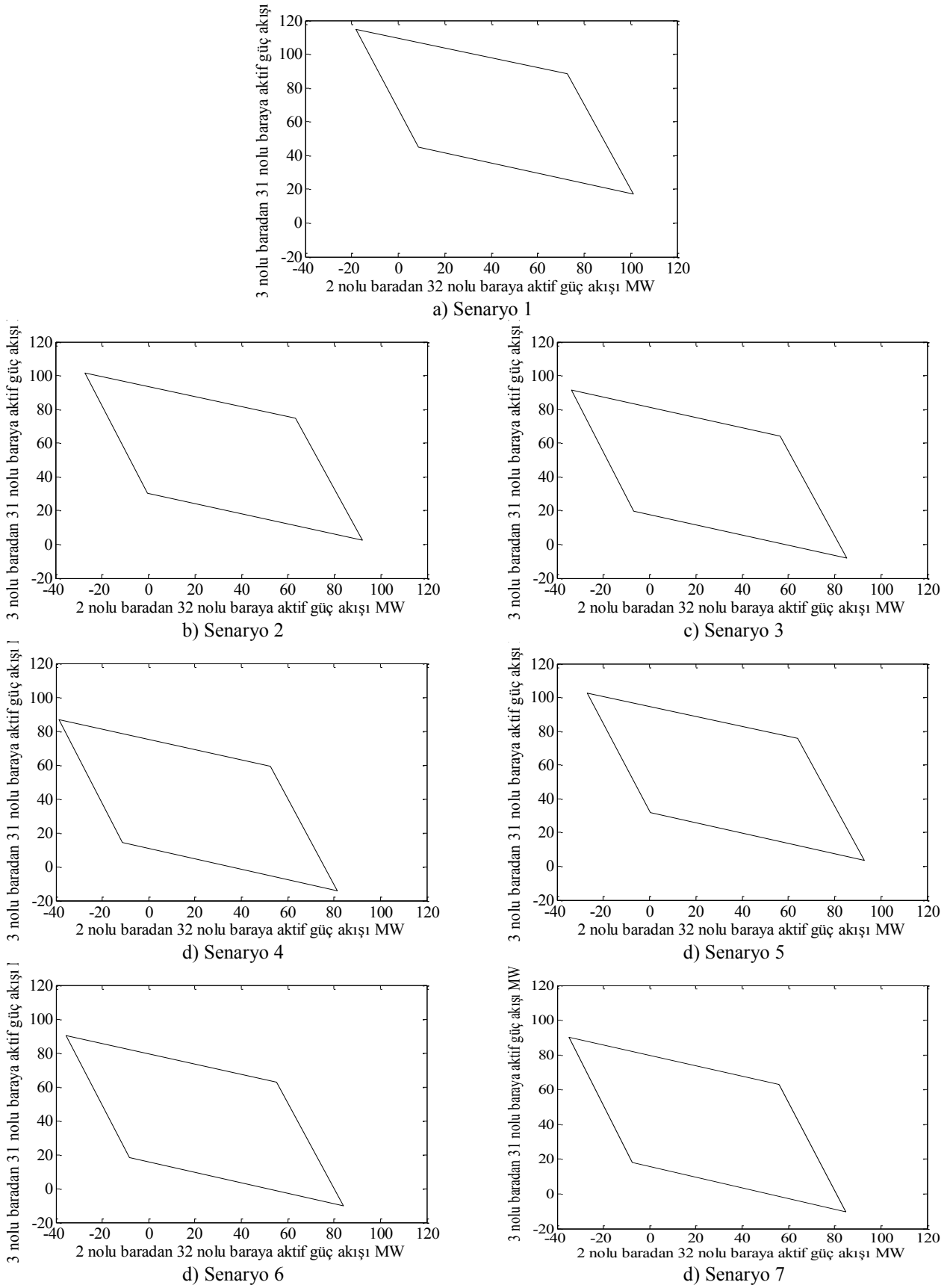
Transformatörlerin faz açısı limitleri -10 ile 10 olarak belirlenmiştir. Eğer transformatörler sınır değerlerde çalışmak için zorlanırsa Şekil 6.'daki gibi bu araçların etkin oldukları bölgeler elde edilebilmektedir. Yukarıda bahsi geçen farklı senaryolar için faz kaydırıcı transformatörlerin bağlandığı iki hattaki yük akışları gözükmemektedir. Sistem dinamiği gereği iki faz kaydırıcı trafo birbirleriyle etkileşimli olarak çalışmaktadırlar. Hiç bir DEÜ olmadığı durumda 3 ile 31 nolu baralar arasında maksimum yaklaşık 120 MW'lık bir akış olmakla birlikte 30. baraya 50 MW'lık bir DEÜ bağlandığında bu değer düşmektedir.



Şekil 5. Faz kaydırıcı ile donatılmış IEEE 30 bara test sistemi

Yine diğer hattan akabilecek maksimum gücün de azaldığı açık bir şekilde gözlenmektedir. Eğer bağladığımız DEÜ'nün değerini 100 MW'a çıkarırsak, bu sınırların dahada düştüğü gözlemlenebilmektedir. Fakat, 2 ile 32 baraları arasında ters yönlü yük akışına izin verebilmektedir. DEÜ bağladığımız barayı 21 olarak değiştirdiğimizde, transformatörlerin çalışma sınırlarının belli ölçüde değiştiği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla tek bir DEÜ'nün bağlantı noktasının değişimi transformatörlerin çalışma aralıklarını etkilediği açık bir şekilde görülmektedir.

Birden fazla DEÜ bağlandığı durumlarda ise çok sayıda DEÜ eklemek hat akış profillerini etkilemektedir. Fakat, farklı bağlantı noktalarının seçimi yük akışlarının değişimi üzerinde önemli bir etkide bulunmaktadır. Senaryo 6 ve 7'de jeneratörlerden uzak baraların ve jeneratörlere yakın baraların seçilmesi gibi iki üç durum göz önüne alınmasına rağmen hat akışları profiline hiç bir etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 6. Farklı senaryolarda iki hattaki yük akışlarının değişimi

Faz kaymalı transformatörün güç akışına olan etkisi, limitleri dahilinde gerçekleşebilmektedir. Bu çalışmada daha önce bahsedildiği üzere faz limitleri  $\pm 10$  olarak belirlenmiştir. Hatlara seri olarak bağlanan faz kaydırmalı transformatörlerin istenilen farklı güç akış değerlerine göre faz değerleri ve sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Bu değerler senaryo 6 için elde edilmiştir. İlk durumda iletilmek istenen güç her iki hat içinde 70 MW istense de bu değerlere ulaşamayıp transformatörlerin limitlerinde sınırlı kalmıştır. Fakat, 3 ile 31 baralar arasındaki hattan 70 MW, 2 ile 32 baralar arasından -30 MW akışın sağlanması istendiğinde faz açıları limitler arasında kalarak istenilen değerlere ulaşılmıştır. Benzer şekilde belirlenen farklı güç akış kapasiteleri için de hesaplandığında faz kaydırmalı transformatörlerin hatlar üzerindeki güç akışları üzerinde ne derece etkili olduğu ve limit değerleri görülebilir. Bu değerler Şekil 6’dan yaklaşık olarak elde edebilmektedir.

Son faz açısı değeri (°)		2nolu baradan 32nolu baraya Aktif güç akışı (MW)		3 nolu baradan 31 nolu baraya Aktif güç akışı (MW)	
$\Phi_{PS1}$	$\Phi_{PS2}$	Belirtilen	Sonuç	Belirtilen	Sonuç
-10	-10	70	51.9	70	55.1
-5.39	-10	30	30	70	61.3
-10	-3.17	70	61.7	30	30
-5.92	-4.42	40	40	40	40
-8.83	8.14	70	70	-10	-10
8.69	-7.15	-30	-30	70	70
-8.25	10	70	70	-70	-15.9
10	-6.63	-70	-34.4	70	70

Tablo 1. İstenilen güç akış değerlerine göre faz kaydırmalı transformatörlerin tepkileri

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı DEÜ bağlantılarının FACTS elemanlarından olan faz kaydırıcı transformatörlerin yük akışları üzerindeki kontrolüne olan etkileri incelenmiştir. Bunun için oluşturulan tek ve çok DEÜ senaryolarından anlaşıldığı üzere, tek bir DEÜ’nün bağlantı noktasının faz kaydırmalı transformatörün çalışmasında etkili olduğu gözlemlenirken, çok sayıda DEÜ’nün nerelere bağlandığının sistem çalışması üzerinde herhangi bir etkinliğinin olmadığı anlaşılmıştır. Bu noktada önemli olan husus, sisteme entegre edilen DEÜ’lerin toplam gücü olduğu gözlenmiştir. Eğer yüksek güçlerde DEÜ’ler şebekeye bağlanırsa hatlarda ters yönlü yük akışları oluşabilmektedir. Gelecekte akıllı şebekeler için trafolar ve röleler gibi tüm sistem elemanlarının sistem güvenilirliği ve güç kalitesi için akıllı olması gerekmektedir. DEÜ bağlanması ile güç akışının yönü değişebildiğinden, trafo kademe değiştiricilerinin çift yönlü kontrolünün gerekliliği kaçınılmazdır. Bu da, DEÜ ile donatılmış şebekelerin koruma sistemlerinin ve koordinasyonunun detaylı incelemelerine revize edilmesini ve gerekli mühendislik önlemlerinin önceden alınması gerektiğini göstermektedir.

#### REFERANSLAR

- [1] T.Ackermann, G. Anderson, and L. Soder, ‘Distributed generation: a definition,’ *Electr.Power Syst. Res.*, vol. 57 (3), pp 195-204,2001.
- [2] Naresh Acharya, N. Mihulanathan, ‘Locating series FACTS devices for congestion management in deregulated electricity markets,’ *Electr.Power Syst. Res.*, vol. 77 pp 352-360,2007
- [3] Sjad Rahimzadeh, Mohammad Tavakoli Bina, ‘Looking for optimal number and placement of FACTS devices to manage the transmission congestion,’ *Energy Conversion and Management* 52 (2011) pp 437-446 .
- [4] Flavio G. M. Lima, Jorge Munoz, Ivana Kockar, Fransisco D. Galiana, ‘Optimal location of phase shifters in a competitive market by mixed integer linear programing’, 14th PSCC,SEvilla,24-28 June 2002, Session 43 PP 2.
- [5] Wei Qiao, Ronald G. Harley, Ganesh K., ‘Effects of FACTS Devices on a Power System which Includes a Large Wind Farm’, *PSCE 2006*, PP 2070-2076.
- [6] Taro Kondo,Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama, ‘Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generation using FACTS devices’,*Elect. Eng. in Japan*, vol 165 no. 3, 2008,
- [7] Stephane Fahe, Jacques Lobry, B.A. Mpanda-Mabwe, ‘Power Quality Improvement for DG by Advanced Control Methods’, *Inaugural IEEE PES 2005 Conference and Exposition in Africa Durban, South Africa*, 11-15 July 2005
- [8] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, Singapore,2004