

DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNE ETKİLERİNİN DİGSILENT POWERFACTORY PROGRAMI İLE ANALİZİ

Yiğit SARIKAYA¹, Recep YUMURTACI²

^{1,2} Elektrik Mühendisliği, Elektrik Elektronik Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
11308019@std.yildiz.edu.tr, ryumur@yildiz.edu.tr

ÖZET

Elektrik enerjisi endüstrisindeki son gelişmeler dağıtılmış enerji sistemine büyük bir ilgi uyandırmıştır. Enerji üretimindeki ve kontrol teknolojilerindeki gelişmeler de dağıtılmış üretimi, belli bölgelerde ve birçok uygulamada geleneksel elektrik üretimine göre tercih edilir duruma getirmiştir. Dağıtılmış üretim kaynakları içeren elektrik dağıtım sistemleri, bu duruma göre tasarlanmamış bir sistemde beklenmeyen değişiklikler ya da problemlere yol açabilir. Bununla birlikte, elektrik üretim ve tüketiminin aynı bölge içinde kalmasını sağlayarak, hat kayıplarının azalması gibi birçok yararları da beraberinde getirecektir. Bu çalışma kapsamında, ayrıca dengesiz üç fazlı elektrik dağıtım sisteminde dağıtılmış üretimin sürekli durum, geçici durum etkileri ve harmonikler olan etkileri, örnek bir sistem üzerinde benzetim çalışması yapılarak gösterilmiştir. Son olarak, benzetim modeli gerçekleştirilen sistemde yük akışı analizleri yapılmıştır. Dağıtılmış üretim kaynağının gerilim profiline, kayıplara ve hat veya trafo yüklenmelerine etkileri gözlenmiştir. Kısa devre analizleri yapılarak arıza akımlarının değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, Harmonik analizi ile de dağıtık üretimin THD ve HD etkileri görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Dağıtık Üretim, Dağıtık Üretim Kaynakları, Enerji Sistemi, Yük Akış Analizi, Kısa Devre Analizi, Harmonik Analizi, Gerilim Seviyesi, Kayıplar, Yüklenmeler, DigSILENT PowerFactory Programı

Elektrik şebekesi, dağıtım veya iletim seviyesinde artık kullanıcıların ihtiyacını istenilen seviyede sağlayamamaktadır. Artan enerji tüketimi ile birlikte hatlardaki kayıplar ve yüklenmeler, yeni paralel hatların çekilmesine sebep olarak yeni maliyetlerin oluşmasına sebep olurlar. Bu maliyetlerin kullanıcılara olan yükü artması tüketicilerde maliyetler konusunda şikâyetlere sebep olmaktadır [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarında olan teknolojik gelişmeler ile bunların OG ve AG seviyesinde şebekeye küçük güçlerde bağlantı imkânı tanınması şirketlerin maliyetlerini düşürüp kullanıcı memnuniyetini arttıracakları görülmektedir [2].

Bu küçük güçlerde OG ve AG seviyesinde olan enerji üretimine dağıtık üretim kaynakları denmektedir. Bu dağıtık üretim kaynakları getirdiği faydaların yanı sıra mevcut şebekeye de etkileri olacağı görülmektedir [3].

Dağıtılmış üretim kaynaklarının şebekeye olabileceği etkilerinin mevcut şebekeye entegrasyonundan önce simülasyonlar ile oluşabilecek durumların tahmin edilip, sahip olduğumuz tecrübelerin yardımıyla sistemde yapılması gereken

1. GİRİŞ

düzenlemeler yapıp şebekeye uyumunun sağlanması gerekmektedir [4].

2. DAĞITILMIŞ ÜRETİM VE YAPISI

Dağıtılmış üretim yapısal olarak eski olsa da, elektrik piyasası için yeni bir olgudur. Dağıtık üretimin enerji üretiminde yükselen bir değer olmasında teknolojinin gelişmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması ile sağlanmıştır. Güneş, rüzgâr ve su gibi doğal enerji kaynaklarının kullanılması ile karbon gazı salınımı azaltılıp çevreye verilen zararlar en aza indirgenmiş olur [1].

Dağıtılmış üretim kaynaklarının çeşitliliği ve yapısındaki farklılığından dolayı literatürde standart uluslararası bir tanım mevcut değildir. Ama birçok ülkede dağıtık üretim kaynakları için yasal tanımlar yapılmıştır. Çoğu dağıtık üretim tesisleri ortak karakteristik özellikler içerir;

- Konvansiyonel üretim tesisleri ile karşılaştırıldığında küçük güçlerde üretim yapılır.
- Genellikle özel mülkiyete aittir.
- Merkezi bir üretim söz konusu değildir.
- OG ve AG dağıtım şebekesine bağlantı yapılmaktadır.
- Genellikle yerel şebeke tasarlanırken düşünülmemektedir.
- Genellikle tüketime yakın yerlerde kurulurlar.
- Enerji kaynaklarının çeşitlilik mevcuttur.

Artan enerji talebinin bir bölümünü dağıtık üretimden elde etme arzusu, çözülmesi gereken birçok mühendislik ve ekonomik problemi de beraberinde getirmiştir. Önümüzdeki dönemde devamlı artan miktar ve güçlerde DÜK

şebekeye bağlanacağından dağıtım şebekesi planlama, işletim ve koruma zorlukları da katlanarak artacaktır. Bu zorluklara rağmen doğru yatırım ve bağlantı kriterleriyle sistemin dağıtık üretimden en yüksek verimi alması sağlanabilir [5].

Enerji piyasası için olan faydası devletlerin artan ilgilerini açıklamaktadır. Lisanslı yerel küçük ölçekli üretimin özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı; enerji maliyetlerini, enerji kayıplarını ve iletim hatlarının revizyon maliyetlerini düşürebileceği öngörülmektedir. Ama mevcut sistem üzerinde bu yapılır ise ciddi can ve mal kayıplarına neden olacaktır [6].

2.1 Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Gerekliliği ve Yararları

Büyük güçlü üretim santrallerinin, uzun iletim hatlardan oluşan yüksek gerilim iletim şebekesi ve orta gerilim dağıtım şebekesi üzerinden tüketicileri beslemesi durumu merkezi üretimli güç sistemi olarak tanımlanabilir. Bu yapı zamanla bir takım değişim ve zorunluluklardan dolayı yerini dağıtılmış üretimli güç sistemlerine bırakmaktadır. Geleneksel elektrik güç sistemlerinin sağlamış olduğu avantajlara rağmen, aşağıda belirtilen teknik, ekonomik ve çevresel yararların göz önünde bulundurulması sonucu dağıtılmış üretim sistemlerine olan eğilim artmaktadır [7].

- Sürekli artan elektrik enerji ihtiyacını mevcut sistemin karşılayamaması
- İstenilen güvenilir seviyesinde cevap verememesi
- Yeniden yapılandırmanın ekonomik olmaması ve alternatif arayışlara neden olması

- Mevcut sistemde yaşanan kararlılık ve güvenilirlik problemlerinin olması
- Elektrik güç sistemlerinde akıllı şebeke yapılanmasına ihtiyaç olması
- Büyük güçlü santrallerin coğrafi yerleşimi her geçen gün zorlaşmakta
- Kyoto Protokolü ile birlikte iklim değişikliğini engelleme çabası
- Küçük güçlü üretim birimlerindeki teknolojik gelişmeler

Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü, küçük güçlü, farklı karakteristikli üretim kaynaklarının tüketim merkezlerine yakın yerleştirilmesi tercih edilmeye başlamıştır. İçerdiği yenilenebilir enerji kaynakları ile temiz enerji sağlanması, küçük boyutları, modüler olması ve kurulumunun kolaylığı bu tip üretimin diğer tercih nedenlerindendir [8].

Dağıtılmış üretim birimlerinin sisteme entegrasyonu birçok faydayı da beraberinde getirmektedir. Bu faydalar maliyet, elektrik enerji sisteminin çalışması ve çevresel açıdan olmak üzere üç farklı başlık altında incelenir. Aşağıda dağıtılmış üretim ile elde edilebilecek tüm faydalar sıralanmıştır [9];

- Planlama aşamasında olan bir elektrik enerji sisteminde iletilecek gücü azaltır.
- Yeni iletim hatlarına gereksinimi ortadan kaldırır.
- Kolaylıkla modüller halinde istenilen yere kurulabilirler.
- Kurulum süresi kısadır ve modüller birbirinden bağımsız çalışabilirler.
- Kapasite yeni modüller eklenerek istenildiği zaman arttırılabilir.

- Yerleşim yerinin uygun seçilmesi ile enerji fiyatları düşürülebilir.
- Tüketicinin yük talebini tam olarak karşılayabilecek şekilde boyutlandırılabilirler.
- Şebekeye güç sağlayarak enerji maliyetlerinin düşmesini sağlar.
- Tek bir enerji kaynağı veya yakıtı bağımlılık azalır.
- Yük kayıplarını azaltarak sistemde gerilim profilinin iyileşmesini sağlar.
- Azami yük durumlarında yük paylaşımı için kullanılabilir.
- Sistemin sürekliliği ve güvenilirliği konularında yardımcı olur.
- Acil durumlarda ve kesinti anında yük ihtiyacını karşılamak için kullanılır.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile doğaya verilen zararın önüne geçilir.

DÜK'lerin sistemdeki güç akısını değiştireceği, dağıtım kayıplarını ve yüklenmeleri değiştirmesi beklenen bir etkidir.

Günümüzdeki şebeke yapısında, yüksek gerilim şebekelerinde oluşan arızalarda hatların kesilmesi ve/veya büyük bir santralin devre dışına çıkması sonucunda yapılan zorunlu yük atımı nedeniyle uzun süreli elektrik kesintileri oluşmaktadır [10].

Sonuç olarak, elektrik enerji sistemlerindeki arızalar sebebi ile çok fazla sayıda elektrik enerji kesintisi yaşanmakta dolayısı ile büyük miktarda tüketici enerjisiz kalmaktadır. Günümüzde, tüketici taleplerindeki değişimler, toplumda teknolojiye bağımlılığın gittikçe artmasının sonucu olarak daha güvenilir ve arızalara dayanıklı bir elektrik dağıtım şebekesinin yapılandırılmasına olan gereksinim artmıştır. Çok sayıda dağıtılmış üretim kaynağını (DÜK)

içeren yeniden yapılandırılmış bir elektrik dağıtım şebekesi ile sistem güvenilirliği artırılıp, hizmet kalitesi yükseltilebilir [11].

2.2 Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Çalışma Şekilleri

Dağıtılmış üretim kaynakları bağlı bulundukları dağıtım sistemleri ile birlikte;

- Ada şeklinde çalışma,
- Şebeke ile senkron şekilde çalışma olarak iki tip çalışma sergilerler.

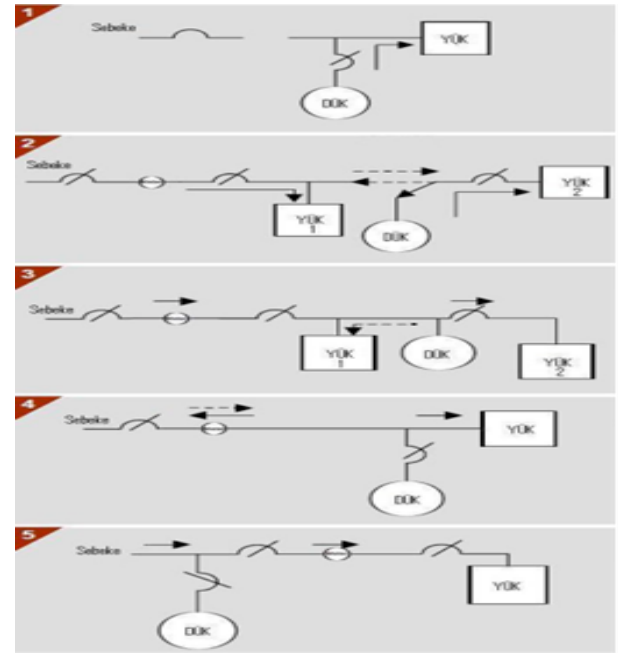
Her iki çalışma tipinde de DÜK şebekeye ve tüketicilere önemli faydalar sağlamaktadırlar. Şekil 1’de dağıtılmış üretim kaynağının şebekeye bağlantı konfigürasyonları gösterilmektedir [12].

Buna göre, birinci konfigürasyonda yük sadece DÜK tarafından beslenmektedir. Şebeke herhangi bir sebepten açma yapması durumunda eğer DÜK yükün enerji talebini karşılayacak şekilde seçilmiş ise bu durum oluşabilir. Bu durumda sistem güvenilirliği artmış olur.

Konfigürasyon 2’ de DÜK, yük 2 için yedek besleme veya talebin fazla olduğu anlarda yük paylaşımı amacıyla kullanılmaktadır. Şebeke ise yük 1 ve yük 2’ye enerji sağlamaktadır. Bu şekilde bir enerji akışının, hat yüklenmelerine ve hat kayıplarına olumlu etkisi olacaktır. Konfigürasyon 3’ te, DÜK şebeke ile senkron çalışmaktadır ancak şebekeye enerji vermemektedir. Bu çalışma durumunda DÜK şebeke ile birlikte ana güç kaynağı olarak yük 1 ve yük 2’i besler. Konfigürasyon 4’ te DÜK tüketici tarafına bağlanmıştır ve üretilen fazla enerji şebekeye geri verilebilmektedir. Bu da şebekeye bir katkı sağlamaktadır.

Konfigürasyon 5’te ise şebeke tarafına bağlanan DÜK, şebeke ile senkron çalışmaktadır [12].

Elektrik dağıtım sistemleri planlanırken, merkezi üretim biriminden orta ve alçak gerilim seviyesindeki yüklere doğru ve tek yönde yük akışının olacağı düşünülmüştür. Dağıtılmış üretim kaynaklarının varlığı ile aktif hale geçen dağıtım sisteminde artık yük akışında ve yönünde değişimler olduğu şekil 2. 2’de dağıtılmış üretim kaynağı bağlantı konfigürasyonları ile görülmektedir. Aktif elektrik dağıtım sistemlerinde gerilim profili, güç kayıpları, kısa devre akımları, güç kalitesi ve güvenilirlik konularında olumlu ya da olumsuz etkilerinin olacağı öngörülmektedir [13].



Şekil 1. Dağıtılmış Üretim Kaynağı Bağlantı Konfigürasyonları [12]

2.3 Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Şebeke Planlamasına Etkisi

Dağıtık üretim kaynaklarının şebeke planlanmasında önemi giderek artmaktadır. Önceki başlıklarda bahsedildiği gibi dağıtık üretim kaynaklarının enerji sistemine ciddi kazanımları vardır.

Kırsal ve kentsel bölgelerdeki dağıtım şebekelerinde merkezi veya dağıtık gerilim kontrolü tekniklerinin uygulanması DÜK'ün sisteme girebilme oranı üzerinde etkilidir. Tüketicilerin olduğu coğrafik şartlarda bazen DÜK'leri zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle farklı gereksinimleri olan kırsal ve kentsel şebekeler için farklı sistem kısıtları göz önünde bulundurulmalıdır [14].

DÜK içeren bir dağıtım şebekesinde kapasite artımı, yük yönetimi ve dağıtım otomasyonu tasarlanırken kayıplar, aşırı yüklenme senaryoları, güç kalitesi sapmaları ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulur [15].

Dağıtık üretim tesislerinin şebeke entegrasyonları iyi analiz edilmediğinde ve tesisler doğru bir şekilde kurulmadığında, dağıtım sistemi ve kullanıcılar için bazı problemler oluşturabileceği öngörülmektedir. Can ve sistem güvenliği açısından bu entegrasyonların iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu konuda uluslararası kabul görmüş yönergeler de bulunmaktadır. Bu uluslararası yönergeler oluşabilecek riskler için iyi bir rehber oluşturmaktadır. Dağıtık üretim tesislerinin şebeke entegrasyonlarında oluşabilecek problemler aşağıda sıralanmıştır [16].

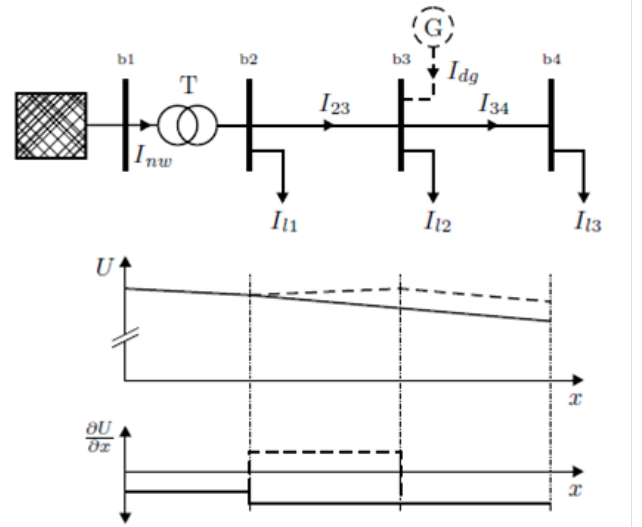
2.3.1 Gerilim Değişimi

IEEE 1547 standardına göre DÜK'lerin gerilim kontrolüne aktif olarak katılması

beklenmez. Katılması durumunda sistemde gerilim regülasyonu sağlayan diğer cihazlarla çalışması sorun yaratabilir [16].

Elektrik dağıtım sistemlerine entegre edilen dağıtılmış üretim kaynaklarının gerilim profili üzerinde olumlu bir etki yarattığı görülmektedir. Ancak büyük miktarda dağıtılmış üretim biriminin sisteme entegrasyonu gerilimde, çift yönlü güç akışından kaynaklanan kararsızlıkla sonuçlanmaktadır. Buna ek olarak, çift yönlü güç akışı koruma sisteminde de ayarlamaları zorlaştırmaktadır.

Güç akışı yönü, gerilim gradyanına bağlıdır. Şekil 2. 3'de gerilim profili ve gradyanının değişiminde dağıtılmış üretim kaynağının bir dağıtım fiderindeki etkisi gösterilmektedir. Sürekli çizgi $I_{dg} = 0$ ve kesikli çizgi ise $I_{dg} > I_{l2} + I_{l3}$ durumlarını ifade etmektedir. Buna göre, gerilim profilindeki iyileşmenin yanında b2 ve b3 baraları arasında değişen güç akışı yönü görülmektedir [17].



Şekil 2. Gerilim profili ve gradyanının değişimi [17]

Sistem koordinasyonunda ve kontrol ekipmanlarının çalışmalarında olumsuz etkilerin önüne geçebilmek için mevcut

uygulamada, dağıtım şebekelerine az sayıda DÜK'ün küçük ölçekli entegrasyonu yapılmaktadır. Bu nedenle DEK'ler gerilim ayarı konusunda sebekeye destek verememektedirler [18].

2.3.2 Kayıplara Etkisi

DÜK'ün dağıtım şebekesinde varlığı, sadece sistem gerilim profilini değiştirmez, aynı zamanda hem hat uzunluğuna hem de sistem içerisinde nereden ne kadar güç üretilip/tüketildiğine bağlı olarak kayıpları da etkiler. Üretim ne kadar tüketimle eş tutulur ve tüketime yakın bölgeye yerleştirilirse o kadar hat ve transformatör kayıpları azalacaktır. Bu kayıpların hesaplanması ve azaltılması için analitik yöntemler geliştirilmiş, kayıpları minimum yapacak şekilde optimal güç akışı stratejisi geliştirilmiştir [19].

DÜK'ün varlığı, üzerinde bulunduğu fider ya da bölge için güç kaybını arttırsa bile tüm sistem bazında güç kaybını azalttığı görülmüştür. Kayıp azaltılması için DÜK'lerin o bölge içinde optimum yerleşimi önemlidir. Bu yapılırken genel prensip, dağıtım sistemi içerisinde en uygun kapasitör yerleşimi prensibi ile aynıdır. Güç kaybının yüksek olduğu bir fidere güç talebinin %10-20'si arası güçte bulunan bir DÜK yerleştirilirse, büyük oranda güç kaybında azalma görülebilir [20].

Dağıtık üretim santrali tasarımının bir diğer parametresi ise sistem kayıplarının azaltılmasıdır. Ağ topolojisindeki dağıtım sistemleri için, dağıtık üretim tesislerinin dağıtımdaki güç kayıplarını mümkün olan en aza indirecek şekilde yerleştirilmesi olasıdır [19].

2.3.3 Güç Kalitesine Etkisi

Güç elektroniği alanındaki teknolojik gelişmeler, serbest elektrik piyasası, müşteri öncelikleri ve enerji talebi konularının ortak sonucu olarak elektrik enerji endüstrisinin tercihi mevcut yapıdan dağıtılmış üretime doğru kayma eğilimi göstermektedir. Bu noktada, dağıtılmış üretimin etkileri konusunda iki soru belirmektedir [21];

- Dağıtılmış üretimin güç kalitesine etkilerinin nasıl olacağı,
- Güç kalitesi sınırlarını aşmadan karşılanabilecek yük miktarı.

Standartlara göre, elektrik üreticisi sağladığı gerilimin kalitesinden sorumlu iken tüketici de sistem kapasitesine bağlı olarak neden olduğu harmonik seviyesinden sorumludur. Dolayısıyla, sisteme bağlantıda güç elektroniği tabanlı arayüzlere ihtiyaç duyan mikro türbinler, yakıt pilleri ve fotovoltailer gibi dağıtılmış üretim kaynakları da harmonik kaynakları olarak düşünüldüklerinden sınırlı kapasite ile kullanılmaları gerekmektedir. Ancak, küçük güçlü dağıtılmış üretim birimlerinin harmonik enjeksiyonunun ekonomik nedenlerden dolayı daha fazla olacağı unutulmamalıdır [22].

Güç kalitesi konusu güvenilirliği de kapsamaktadır. Düşük güç kalitesi; gerilim azalması, kesinti veya geçici olayların oluşmasına neden olan arızalar ve anahtarlamalardan, yüklerden kaynaklanan hızlı gerilim değişimlerinden, harmonikler ve faz dengesizliğinden dolayı oluşabilir. Bu problemler sistemin kısa devre kapasitesi ile ilgilidir ve güç kalitesindeki bozulmadan korunmak için sistemin belirlenmiş minimum kısa devre kapasitesi garanti altına alınmalıdır [23].

Bir elektrik şebekesinde verilen bir noktanın kısa devre gücü şebekenin o noktadaki performansının bir ölçüsünü gösterir. Kısa devre gücünün aynı zamanda gerilim kalitesi üzerinde de etkisi söz konusudur. Eğer zayıf şebekede (kısa devre gücü küçük) empedans büyük ise gerilim dalgalanmaları büyük olur. Güçlü bir şebekede (kısa devre gücü büyük) empedans küçük ise gerilim dalgalanmaları da küçük olur. Eklenen kaynaklar şebekenin kısa devre gücünü arttıracığından, güç kalitesini de iyileştirici yönde rol oynarlar. Bunun yanında zayıf bir şebekeye bağlanacak büyük güçlü bir kaynak güç kalitesi problemlerine yol açabilir [24].

2.3.4 Güvenilirliğe Etkisi

Bir elektrik enerji sisteminin sağlamlık göstergesi güvenilirliktir. Elektrik enerjisinin tüketiciye ulaştırılmasındaki başarı oranı güvenilirlik olarak tanımlanabilir. Bu basit tanımla genişleterek güvenilirliğin iki önemli özelliğinin olduğu söylenebilir:

- Yeterlilik: Yeterli bir memnuniyette enerji talebini karşılayabilme,
- Güvenlik: Ansızın gerçekleşen arıza karşı varlığını sürdürebilme.

Güvenilirlik problemlerine yol açan iki temel neden olarak, kapasite eksikliği ve aksaklık/kısa devrelerden kaynaklanan arızalar olarak gösterilebilir.

Kapasite eksikliği, talebi karşılayamayan enerji kaynağından oluşabileceği gibi, beklenmeyen bir olay karşısında yedek enerji kaynağının yetersiz kalmasından da oluşabilir. Her iki durumun ciddiyetine göre kesintiler meydana gelebilir.

Dağıtılmış üretim, merkezi bir üretim yerine farklı noktalarda üretim

yapmakla enerji akışındaki sürekliliği temin ederek güvenilirliği artırmaktadır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, istenilen güvenilirlik seviyesini sağlamak için başvurulacak dağıtılmış üretimin güç akışı ve arıza durumlarına etkilerinin göz önünde bulundurularak gerekli koruma ayarlarının yapılmasıdır. Ayrıca, sistemdeki bir arıza anında otonom enerji adası şeklinde çalışma gerçekleştirildiğinde yerel güvenilirlik sağlanarak sistemin güvenilirliğine katkıda bulunulmuş olunmaktadır [18].

Şebekede oluşacak arıza durumunda DÜK şebeke ile olan bağlantısı kesilir, ada moduna geçer. Arıza sonrası DÜK tarafından beslenecek yüklerin oluşturduğu ada belirlenirken, bu adalarda en yüksek sayıda kullanıcının enerji tedarikinin devamlılığı gözetilmelidir.

2.3.5 Korumaya Etkisi

Güç sistemlerinin korunmasında hedeflenen güç sisteminin emniyetli bir şekilde çalışmasının sağlanmasıdır. Ayrıca, koruma koordinasyonu ile arıza durumlarının sisteme etkilerinin minimum seviyede tutulması sağlanmaktadır.

Tek yönlü enerji akışına göre dizayn edilen dağıtım sistemleri, enerji üretiminin entegrasyonu ile çift yönlü değişken güç akışı sistemlerine dönüşebilir. Enerji üretim tesislerinin entegrasyonu, bağlandığı bölgeye göre güç akışlarını değiştirebilecek nitelikte olabilmektedir. Güç akışı değiştiğinde de hem reaktif güç kontrol yapısı farklılaşır hem de dağıtım sistemine ait koruma koordinasyonu değişir [24].

2.3.5.1 Arıza Akımının Artması

Arıza akımı, genel olarak, arıza oluşan noktadan görülen thevenin empedansı

Dağıtılmış üretim bir kısa devre arızası durumunda arıza akımının genliği ve yönünü değiştirebilir. Bu yüzden koruma elemanlarının yeniden boyutlandırılması ve koordinasyonun yeniden yapılandırılması gerekir.

Bir fider üzerindeki DÜK sayısı arttıkça, bu kaynakların arızalara olan katkısı rölelerin yüksek empedanslı arızaları saptamasında zorluk oluşturur. Bu nedenle kesicilerin kesme süresi uzayabilir ve kaynağın devrede olmasından dolayı arızanın sürekli beslenmesi durumu ortaya çıkar. Bu durum sistem güvenilirliğini azaltır.

Kısa devre analizinin amacı, dağıtım sistemine bağlanılan noktada, üretim tesisi baralarında ve komşu baralarda oluşan kısa devre seviyelerini incelemek ve dizayn değeri ile karşılaştırmaktır. Ayrıca kabloların, hatların dayanım sınırları hesaplanabilir ve koruma koordinasyonu açısından önemli sonuçlara ulaşılabilir [16].

2.4.3 Harmonik Analizi

Özellikle konverter sistemini kullanan yapılarda ihtiyaç duyulmasına rağmen, klasik üretim birimlerinin de analiz edilmesi gerekebilir. Analiz sonucunda, ilgili üretim biriminin dağıtım sisteminde oluşturduğu harmonik bozunum ve fliker şiddeti hesaplanıp, ilgili standartlara göre kontrol edilebilir. Aynı analizin içeriğinde, sistemde oluşabilecek rezonans durumları da sorgulanabilir [16].

3 SİSTEMİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Bu bölümün ilk kısmında, simülasyonu yapılacak olan örnek bir dağıtım şebekesinin modellenmesi için kullanılan DIGSILENT (Digital Simulation and Electrical Network) PowerFactory programı hakkında bilgi verilmektedir. Sonrasında, dağıtım şebekesi tanıtarak sistemdeki bileşenlerin oluşturulması ve verilerinin elde edilmesi şekilleri yardımıyla gösterilmektedir.

3.1 DIGSILENT Power Factory Programı

Power Factory (PF), elektrik güç sistemlerinde analiz yapmak amacıyla DIGSILENT tarafından yazılmış bilgisayar destekli bir mühendislik aracıdır. Program, elektrik güç sistemlerinde planlama ve optimizasyon simülasyonlarını başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek için gelişmiş yazılım paketleri ile donatılmıştır.

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 akımla koruma, optimal yük akışı

analizi, güvenilirlik analizi ve dağıtım sistemleri analizleridir.

3.2 Sistemin Modellenmesi

Örnek bir dağıtım şebekesinin dizayn bilgileri aşağıda verilmektedir.

Şebeke Bilgisi; 63 kV, 10000 MVA (max), X/R:10

Transformatör1-2 Bilgisi; 55 MVA, 63/20 kV, Dyn1, Uk: % 10 X/R:20

Havai Hat Bilgisi; 20 kV, 2,9 kA,

R: 0,1 ohm/ km, X: 0,5 ohm/ km, 1 km

Yük 1 Bilgisi; 75 MW, Cosphi: 0,95, Dengeli Yük

Harmonik karakteristiği Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Yük 1’in Harmonik Karakteristiği ve Oranları

Harmonik Kademesi	Harmonik Oranları
5	% 20
7	% 14
11	% 9
13	% 7

4 Paralel Hat Bilgisi; ACSR Linnet, 20 kV, 0,53 kA,

R: 0,2 ohm/km, 1km, 200 m kuleler arası mesafe, 2m sehim

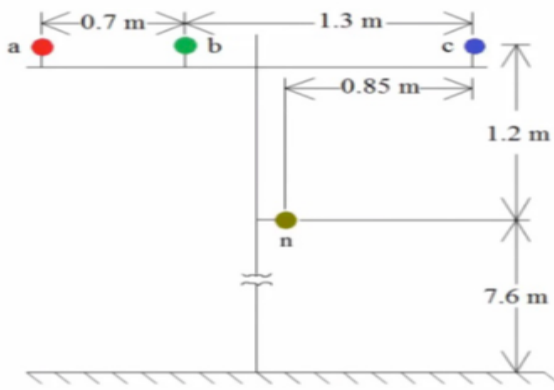
Hatların kuledeki düzeni Şekil 4’de verilmiştir.

Yük 2 Bilgisi; A fazı: 7 MW, B fazı: 5 MW, C fazı: 5MW Dengesiz Yük

Transformatör 3 Bilgisi; 6 MVA, 20/0,4 kV, YNyn0, Uk:% 6, X/R: 60

Rüzgâr Türbini Bilgisi; 5,5 MVA, Cosphi:0,9

Rüzgâr Türbini Reaktif Güç Yüklenme Karakteristiği Tablo 2’de verilmiştir.

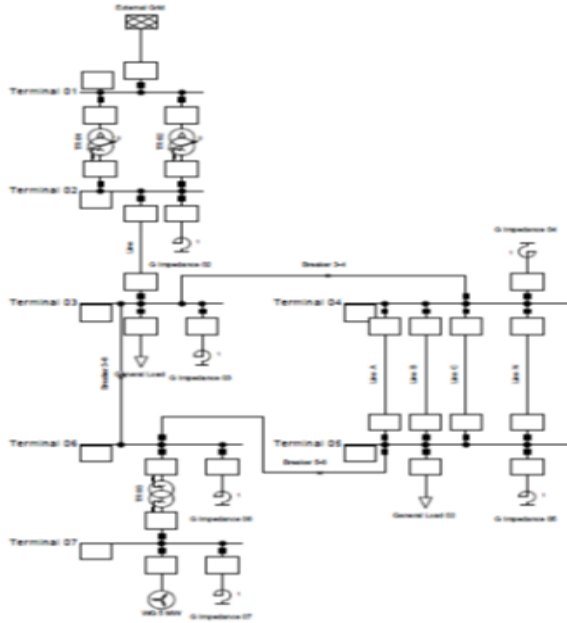


Şekil 4. Kule Hat Düzeni

Tablo 2: Rüzgâr Türbini Reaktif Güç Karakteristiği

Per Unit	0 MW	1 MW	4,3 MW	4,5 MW	4,8 MW	4,9 MW	5 MW
0,95	0	2,2	2,2	1,85	1,1	0	0
1	0	2,2	2,2	2,2	1,55	1	0
1,05	0	2,2	2,2	2,2	1,9	1,5	0

Sistem bilgisi verilen bir dağıtım şebekesinin görünümü Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. Örnek Dağıtım Şebekesinin Genel Görünümü

3.3 Simülasyonlar ve Analizler

Örnek dağıtım sistemi DIgSILENT PowerFactory programı ile modelledikten sonra dağıtık üretim kaynaklarının sisteme olan etkilerini analiz edebiliriz.

Sisteme uygulanacak simülasyonlar aşağıda verilmiştir.

- DÜK’ün sistemde olmasının yüklenmelere ve kayıplara olan etkisi
- DÜK’ün kısa devre gücüne olan etkisi
- DÜK’ün sistemin enerji kalitesine etkisi

Sistem analizinde yüklenmeler, kayıplar, kısa devre gücü ve THD’ye olan etkilerinin analiz edilebilmesi için dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye bağlı ve bağlı olmadığı durumlar karşılaştırılmıştır.

3.3.1 DÜK’ün Sistemde Olmasının Yüklenmelere Ve Kayıplara Olan Etkisi

Örnek sistemde DÜK’ün sisteme entegre olup, olmadığına yüklenmelere ve kayıplara olan etkilerini görmek için normal çalışma durumundaki iki durum içinde ayrı ayrı analiz yapılmaktadır.

DÜK’ün sistemde olmaması durumunda şebekeden 95 MW aktif güç ve 47,22 MVar reaktif güç çekilmektedir. DÜK’ün sisteme entegre olması sonrasında 90,75 MW aktif güç ve 42,07 MVar reaktif güç verilir. DÜK’ün sisteme olan katkısı 4 MW aktif güç ve 3 MVar reaktif güçtür. DÜK sistemde etkin değil iken sistemden çekilen görünür güç 106,16 MVA’dır. DÜK’ün toplam görünür gücü ise 5 MVA’dır. Sistemimize % 4,7 oranında bir DÜK eklenmesi sonucunda yeni durumda

şebekeden çekilen görünür güç 100,02 MVA olur. Görünür güçte 6,14 MVA'lık bir düşüş ortaya çıkar buda sistem genelinde % 6,13'lük bir düşüş sağlar. Sisteme % 4,7'lik bir oranda DÜK entegre edildiğinde sisteme % 6,13 oranında bir katkı sağlamaktadır. Buda göstermektedir ki sisteme daha büyük oranda DÜK eklenmesi çok daha büyük oranlarda katkılar sağlamaktadır. DÜK'ün sistemde olmaması durumunda TR01 ve TR02'nin yüklenmesi % 98,67 , aktif güç kaybı 0,52 MW ve reaktif güç kaybı 10,24 MVar olduğu görülmektedir. DÜK'ün sisteme entegresinden sonra ise trafo yüklenmeleri % 93,04 , aktif güç kaybı 0,46 MW olduğu görülmektedir. DÜK'ün sisteme entegresinin sisteme katkısı yüklenmede % 5,7 , aktif güç kaybında % 11,53 ve reaktif güç kaybı ise % 11,32 oranlarında ciddi bir katkısı olduğu görülmektedir. Sisteme % 4,7 oranında bir DÜK'ün eklenmesinin trafolarla bu oranda bir etki bırakması ilerde oluşacak yeni hat ve trafo maliyetlerinin önüne geçilebileceğini ve daha düşük maliyetlerde enerji nakline olanak vermektedir.

DÜK'ün sistemde olmaması durumunda havai hattın yüklenme oranı % 101,43 ile ciddi bir risk oluşturmaktadır. Hat kayıpları da 2,41 MW ve 12,05 MVar olarak görülmektedir. DÜK'ün sisteme entegresinden sonra ise hat yüklenmesi % 96,63, hat kayıpları ise 2,18 MW ve 10,89 MVar'dır. Hat yüklenmesinden % 4,73 , hat kayıplarında ise % 9,54 aktif güç ve %9,62 reaktif güçte düşüş olduğu görülmektedir.

DÜK'ün sistemde olmaması durumunda A, B ve C hatları sırasıyla % 118,96 , %85,79 , % 83, 9 oranında yüklenme olmaktadır. DÜK'ün sisteme entegresinden sonra ise sırasıyla hat yüklenmeleri % 97, 01 , % 64,82 , % 62,

91 olarak görülmektedir. DÜK'ün sisteme eklenmesinin hat yüklenmelerini düşürdüğü ve paralel hat çekiminin ertelenmesine ve yeni kuruluş maliyetlerinin ortaya çıkması önlenir ayrıca hatlardaki yüklenmelere göre % 30 ile %50 oranında enerji kaybının da önüne geçilerek enerji nakil maliyetlerini de düşürülebilir.

DÜK'ün devrede olmamasından dolayı TR03 aktif değilken herhangi bir yüklenme veya kayıp olmamaktadır. DÜK'ün devreye girmesiyle TR03'ün yüklenmesi % 83,74, trafo kaybı ise 0,25 MVar olarak görülmektedir. DÜK'ün % 90,91 oranında bir yüklenmesi sonucu sistemde TR03'ünde etkin olmasıyla birlikte yeni kayıplarında oluşmasına rağmen sistem kayıpları 3,09 MW ve 22,56 MVar iken 2,76 MW ve 20,53 MVar'a düştüğü görülmektedir. Sistem aktif güç kaybı % 10,67, reaktif güç kaybı ise %8,99 oranında azalır. Bu oranda bakar isek sisteme % 20 boyutlarında etkileyecek bir DÜK entegre edilmiş olsaydı sistemin aktif güç kaybı yaklaşık olarak % 40, reaktif güç kaybı ise % 35'ler gibi ciddi oranlarda düşüş olması sağlanabilirdi. Bu gibi olumlu katkılar sonucunda sisteme yük yakınına eklenen bir DÜK'ün hatlarda ve trafolarla yüklenmeleri ve kayıpları azalttığı bunun sonucunda yeni kurulum maliyetlerinin önüne geçilir. Buda sistemi daha uzun ömürlü olması katkı sağlar.

3.3.2 DÜK'ün Kısa Devre Gücüne Olan Etkisi

Örnek sistemde DÜK'ün kısa devre gücüne olan etkisi incelenirken bakıldığında DÜK'ü kısa devre analizine katmıyordu. Bu nedenden dolayı sistemin terminal 3 ve 6 arasına bir kesici koyarak iki ayrı durum için analiz edilmiştir ve iki durumda da

analiz yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Her iki durum karşılaştırıldığında sisteme 5 MVA gücünde bir DÜK eklenmesi sistemdeki bütün terminallerde 5,5 MVA değerinde kısa devre gücünde bir artışa sebep olur. Şebeke tasarlanırken kısa devre gücü hesaplandığından sistem kısa devre gücü açısından incelenmeli ve gerekli görülmesi durumunda kesicilerde revizyona gidilmelidir. Çünkü daha büyük kısa devre gücü daha büyük kısa devre akımı demektir. Sistemin kısa devre akımını incelediğimizde ise ihmal edilebilir boyutlarda bir değişiklik olduğu görülür sadece terminal 7'de DÜK'ün sisteme entegre olduğu yerde ciddi bir kısa devre akımı değişimi vardır. Buda DÜK'ün sisteme entegre olduğu terminalde kısa devre akımında bir artışa sebep olduğundan dikkatli olunması gerekmektedir.

3.3.3 DÜK'ün sistemin enerji kalitesine olan etkisi

Örnek sistemde DÜK'ün sisteme entegrasyonun etkileri incelenirken enerji kalitesine olan etkilerinin de araştırılması gerekmektedir.

Bu iki farklı durum için 5, 7, 11 ve 13 harmonik seviyesinde irdelenecektir. Zaten sistemimizde olan mevcut harmonik seviyeleri de onlardır.

DÜK'ün devrede olmaması durumunda akımın toplam harmonik distorsiyonu incelendiğinde sırasıyla; % 1,69, % 16,59, % 34,25, % 34,25, % 34,02, % 34,02, % 34,04 olarak ölçülmüştür. DÜK'ün devrede olması durumunda ise akımın toplam harmonik distorsiyonu sırasıyla; % 1,68, % 16,44, % 34,15, % 34,15, % 33,77, % 33,77, % 34,16 olarak ölçülmüştür. Sistemdeki DÜK'ün

etkinliğinin az olması dolayısı ile akımın toplam harmonik distorsiyonuna etkisi az olmuştur. Ama sistemdeki DÜK'ün bağlandığı terminal hariç düşüş olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; enerji kalitesinde THD ve HD seviyelerinde küçükte olsa sistem bazında iyileşmeler görülmüştür. Bu iyileşmenin sınırlı kalmasında sistemdeki harmonik düzeylerinin düşüklüğü ve DÜK'ün sistem genelindeki etkinliğinin sınırlı olmasının etkisi büyüktür. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise DÜK'ün sisteme entegre olduğu noktadaki harmonik seviyelerinde artma görülmüştür. Buda sistemde harmonik seviyeleri yüksek veya bağlanılacak DÜK'ün etkinliği yüksek ise DÜK'ün bağlandığı noktanın enerji kalitesine dikkat edilmesi büyük önem arz etmektedir.

4 SONUÇLAR

Dağıtık üretim kaynaklarının sisteme olan etkilerinin incelenmesi için yapılan analizlerde sistem genelinde sisteme iyileştirici etkiler yaptığı analizler sonucu görülmüştür. Bu analizlere baktığımızda;

İlk ve en önemli etki olarak hatlardaki ve trafolardaki yüklenmelerin ve kayıpları azalttığı görülmüştür. Buda şebekeye olan bağımlılığı azalttığı için sisteme etkinliğinden daha büyük bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca sistemde yüklenmelerin önüne geçilmesiyle yeni hat veya trafo maliyetlerinin önüne geçirilerek yeni kurulum maliyetlerinin ortaya çıkması engellenmiş olacaktır. Kuruluş maliyetlerindeki bu düşüş hem konut hemde sanayi tüketicilerinde olumlu etkiler yaratacak ve ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Bu şekilde her sene artan enerji ihtiyacı ve maliyeti düşürülmüş olacaktır.

Dağıtık üretim kaynağının sisteme entegrasyonunda dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Sisteme eklenen dağıtık üretim kaynağı sistem kısa devre gücünde bir artışa sebep olmaktadır. Şebeke tasarlanırken kısa devre gücü hesaplandığından sisteme eklenen dağıtık üretim kaynağı sonrası sistem tekrar gözden geçirilmelidir. Gerekli görülen durumlarda kesicilerde manevraya gidilmelidir. Ayrıca dağıtık üretim kaynağının sisteme entegre olduğu noktada sistem kısa devre akımında bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Bu hususta dikkatli olunması gerekmektedir.

Dağıtık üretim kaynaklarının sisteme olan bir diğer önemli etkisi ise enerji kalitesinde yaşanmaktadır. Sisteme dağıtık üretim kaynağının entegre olması ile birlikte toplam harmonik distorsiyonunda dağıtık üretim kaynağının bağlandığı nokta hariç düşüş olduğu görülmektedir. Bu etkiler sistemdeki harmonik seviyeleri ve

sisteme bağlanacak olan dağıtık üretim kaynağının etkinliği ile ortaya çıkacağından bir önemli husus daha olmaktadır.

Sonuç olarak; sistemde olumlu etkiler görülmektedir. Enerji kayıpları, yüklenmeler, kayıplar, kurulum maliyetleri ve şebekeye olan bağımlılığında azaldığı görülebilir. Sistemin daha ergonomik bir şekilde işletilmesine olanak sağlar. En önemli dikkat edilmesi gereken hususlardan biri ise dağıtık üretim kaynağının bağlandığı noktada olan etkileridir. Buna da dikkat edilirse dağıtık üretim kaynaklarının kullanımı şebeke, dağıtıcı firma ve tüketici açısından çok faydalı bir konuma gelmektedir. Böylece ilerleyen yıllarda dağıtık üretim kaynaklarının sistemde daha etkin bir şekilde yer aldığı görülecektir.

KAYNAKLAR

- [1] CIGRE, “Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system”, CIGRE Study Committee no 37 Final Report, 1998.
- [2] CIRED, “Dispersed Generation”, Preliminary Report of CIRED Working Group WG04, 1999.
- [3] Ackermann T., Andersson G., Söder L., “Distributed generation: a definition”, Electric Power Systems Research, 57(3), 195-204, 2001.
- [4] El-Khattam W., Salama M. M. A., “Distributed generation technologies, definitions and benefits”, Electric Power Systems Research, 71(2), 119-128, 2004.
- [5] Angelopoulos, K., “Integration of distributed generation in low voltage networks: Power quality and economics”, Yüksek Lisans Tezi, University of Strathclyde in Glasgow Department of Mechanical Engineering, Glasgow, (2004).

- [6] Pepermans G., Driesenb J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W., "Distributed generation: definition, benefits and issues", *Energy Policy*, 33, 787–798, 2005.
- [7] Chiradeja, P., "Benefit of distributed generation: A line loss reduction analysis", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China.*, (2005).
- [8] Thomson M., Infield D.G., "Network Power Flow Analysis for a High Penetration of Distributed Generation", *IEEE Trans on Power Systems*, 22(3), 1157–1162, 2007.
- [9] N. Jenkins et al. *Embedded generation*. IEE, 2000. ISBN 0-85296-774-8
- [10] Soysal, S., "Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2008).
- [11] Chowdhury A.A., Agarwal S.K., Koval D.O., "Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis", *IEEE Trans on Ind Appl*, 39(5), 1493-1498, 2003.
- [12] Karaarslan, K., "Dağıtılmış üretim kaynaklarının elektrik dağıtım sistemlerine etkileri", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2010).
- [13] Londero, R.R., Affonso, C.M., Nunes, M.V.A., "Impact of distributed generation in steady state, voltage and transient stability – Real Case", *IEEE Bucharest Power Tech Conference.*, (2008).
- [14] P. N. Vovos, A.E. Kiprakis, A.R. Wallace and G.P. Harrison, "Centralized and distributed voltage control: impact on distributed generation penetration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, pp.476-483, Feb. 2007
- [15] Bhowmik A., Maitra A., Halpin S.M., Schatz J.E., "Determination of Allowable Penetration Levels of Distributed Generation Resources Based on Harmonic Limit Considerations", *IEEE Trans on Power Delivery*, 18(2), 619-624, 2003
- [16] IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std 1547.2™-2008.
- [17] Martin Geidl, "Protection of power systems with Distributed Generation: State of the Art ," Swiss Federal Institute of Technology, (2005).
- [18] Gözel, T., "Dağıtım sistemlerine yerel elektrik santrallerinin yerleştirilmesi", Doktora Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, (2009).
- [19] C. Wang and M.H. Nehrir, "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems," *IEEE Trans. on Power Systems*, 19, 4, 2068 - 2076, (2004).
- [20] Zhu D. and et. all., "Impact of DG Placement on Reliability and Efficiency With Time Varying Loads," *IEEE Trans. on Power Systems*, 21, 1, 419-427, (2006).
- [21] Prodanovic M., "Harmonic and Reactive Power Compensation as Ancillary Services in Inverter Based Distributed Generation", *IET Generation Transmission Distribution*, 1(3), 432–438, 2007.
- [22] Oliva A.R., Balda J.C., "A PV Dispersed Generator: A Power Quality Analysis within the IEEE

- 519", IEEE Trans on Power Delivery, 18(2), 525-530, 2003.
- [23] Macken K.J., Bollen M.H.J., Belmans R.J.M., "Mitigation of Voltage Dips Through Distributed Generation Systems", IEEE Trans on Ind Appl, 40(6), 1686- 1693, 2004.
- [24] Mao Y., Miu K.N., "Switch Placement to Improve System Reliability for Radial Distribution Systems with Distributed Generation", IEEE Trans on Power Systems, 18(4), 1346-1352, 2003.