

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARI İLE İSTEMLİ ADA
ÇALIŞMA**

MELİH CANSEVER

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

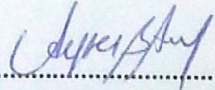
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

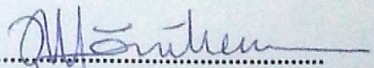
DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARI İLE İSTEMLİ
ADA ÇALIŞMA

MELİH CANSEVER

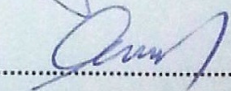
Doç.Dr. Ayşen BASA ARSOY
Danışman, Kocaeli Üniv.


.....

Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.


.....

Yrd.Doç.Dr. Fatih M. NUROĞLU
Jüri Üyesi, Karadeniz Teknik Üniv.


.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.02.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyada enerji alanında hem üretim teknolojileri hem de uygulamadaki yaklaşımlar bakımından önemli değişiklikler gerçekleşmektedir. Türkiye dâhil birçok ülke ithal enerji kaynaklarına olan bağımlılığını azaltmak ve karbon salımını düşürmek için çalışmalar yürütmektedir. Bu alanda özellikle yenilebilir enerji öne çıksa da yerli fosil kaynaklar da hala ilgi çekmektedir.

Elektrik iletim ve dağıtım sistemindeki değişimlerin sonucu ortaya çıkan dağıtılmış üretim kavramı bilimsel birçok çalışmanın konusu olmaktadır. Ülkemizde de bu konuda birçok çalışma olsa da mikro şebeke ve istemli ada çalışma üzerine araştırma sayısı kıyaslı olarak az kalmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışması bahsi geçen açığın kapatılmasına yardımcı olabilmek ve ülkemizde bilimin ilerleyişine katkıda bulunabilmek için hazırlanmıştır.

Öncelikle bu tez çalışmasının tüm aşamalarında bana kılavuzluk eden danışmanım Doç. Dr. Ayşen BASA ARSOY'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca bana her alanda destek olan ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Şubat-2015

Melih CANSEVER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. DAĞITILMIŞ ÜRETİM	4
1.1. Dağıtılmış Üretimin Temelleri	4
1.2. Dağıtılmış Üretim Kaynak Çeşitleri.....	5
1.2.1. Rüzgâr türbinleri	5
1.2.2. Fotovoltaik paneller	6
1.2.3. Su türbinleri.....	6
1.2.4. Gaz türbin ve içten yanmalı motorlar.....	6
1.3. Şebeke Entegrasyonları	7
1.3.1. Şebeke bağlantı ara yüzleri	7
1.3.2. Dü kaynaklarının dağıtım sistemlerine etkileri	9
1.3.3. Dü kaynaklarının iletim sistemlerine etkisi.....	10
1.3.4. DÜ güç kalitesi sorunları ve planlama	11
1.4. İlgili Yönetmelik ve Standartlar	12
1.4.1. IEEE 1547 standart grubu	12
1.4.2. Alman standartları	14
1.4.3. Türkiye’deki ilgili yönetmelikler	15
2. ADA ÇALIŞMA	17
2.1. Temel Bilgiler	17
2.1.1. İstemsiz ada çalışma.....	17
2.1.2. İstemli ada çalışma.....	19
2.2. IEEE 1547.4 İstemli Ada Çalışma Standardı	20
2.2.1. İstemli ada sistemi çalışma evreleri	22
2.2.1.1. Şebekeye paralel çalışma.....	22
2.2.1.2. Ada çalışmaya geçiş	22
2.2.1.3. Ada çalışma	23
2.2.1.4. Tekrar bağlantı.....	23
2.2.2. Yük gereklilikleri ve planlanması	24
2.2.3. Şebeke gereklilikleri ve planlanması	24
2.2.4. Dağıtılmış üretim gereklilikleri ve planlanması.....	25
2.2.5. İstemli ada sistemine geçiş için sebepler	26
2.3. Pratik Uygulamalar	26
3. ÖRNEK BENZETİM ÇALIŞMASI	28
3.1. Simulink ile Modelleme	28
3.1.1. Şebeke modeli	28
3.1.2. Dağıtılmış üretim modelleri	29

3.1.2.1. Senkron generatör	29
3.1.2.2. Çift beslemeli asenkron generatör	30
3.1.3. Kontrol modelleri	31
3.1.3.1. Yük atma mekanizması.....	31
3.1.3.2. Senkronizasyon mekanizması.....	32
3.2. Analiz Çalışması	33
3.3. Analiz Çıktıları	34
3.3.1. Senaryo 1: 2 SG	34
3.3.2. Senaryo 2: 2 DFIG	36
3.3.3. Senaryo 3: SG + DFIG.....	39
3.3.4. Senaryo 4: yük atma.....	41
3.3.5. Senaryo 5: Senkronizasyon.....	43
3.4. Yorumlar	44
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
EKLER.....	51
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	56
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. IEEE 1547.4 Standardında gösterilen çeşitli ada çalışma şekilleri.....	22
Şekil 3.1. Fethiye TM fideri modeli.....	29
Şekil 3.2. Simulink senkron generatör modeli.....	30
Şekil 3.3. Simulink rüzgâr türbini fazör modeli.....	30
Şekil 3.4. Basit yük atma mekanizması modeli.....	31
Şekil 3.5. Senkronizasyon mekanizması modeli.....	32
Şekil 3.6. 1. senaryoda B7 noktasındaki gerilimin değişimi.....	35
Şekil 3.7. 1. senaryoda DÜ-1 için aktif ve reaktif gücün zamana değişimi.....	35
Şekil 3.8. 1. senaryoda DÜ-2 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi.....	36
Şekil 3.9. 1. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi.....	36
Şekil 3.10. 2. senaryoda B7 noktasındaki gerilimin değişimi.....	37
Şekil 3.11. 2. senaryoda DÜ-1 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi.....	38
Şekil 3.12. 2. senaryoda DÜ-2 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi.....	38
Şekil 3.13. Türbin kanat açısının derece cinsinden değişimi.....	39
Şekil 3.14. 3. senaryoda B7 noktasındaki gerilimin değişimi.....	40
Şekil 3.15. 3. senaryoda DÜ-1 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi.....	40
Şekil 3.16. 3. senaryoda DÜ-2 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi.....	41
Şekil 3.17. 3. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi.....	41
Şekil 3.18. 4. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi.....	42
Şekil 3.19. 4. senaryoda B3 bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi.....	42
Şekil 3.20. 5. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi.....	43
Şekil 3.21. 5. senaryoda DÜ-1 rotor hızının zamana göre değişimi.....	43

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. DÜ tipleri ve bazı karakteristikleri	5
Tablo 1.2. IEEE 1547 2014 düzeltmesine göre gerilime bağlı açma süreleri.....	14
Tablo 1.3. IEEE 1547 2014 düzeltmesine göre frekansa bağlı açma süreleri.....	14
Tablo 1.4. BDEW 2008'e göre gerilime bağlı açma süreleri.....	15
Tablo 3.1. Çeşitli benzetim senaryolarda kullanılan kaynakların özellikleri.....	33
Tablo 3.2. 1. senaryoda bağlantı noktalarından ölçülen değerler	34
Tablo 3.3. 2. senaryoda bağlantı noktalarından ölçülen değerler	37
Tablo 3.4. 3. senaryoda bağlantı noktalarından ölçülen değerler	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- AC : Alternating Current (Alternatif Akım)
BDEW: Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft (Enerji ve Su Endüstrileri Birliği)
CHP : Combined Heat & Power (Birleşik Isı ve Güç)
DFIG : Doubly Fed Induction Generator (Çift Beslemeli Asenkron Generatör)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DÜ : Dağıtılmış Üretim
DÜK : Dağıtılmış Üretim Kaynakları
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
İAÇ : İstemli Ada Çalışma
PSS : Power System Stabilizer (Güç Sistemi Stabilizörü)
PU : Per Unit
SG : Senkron Generatör
SVC : Static VAR Compensator (Statik Kompanzatör)
TM : Trafo Merkezi
VDE : Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (Elektrik, Elektronik ve Bilgi Teknolojileri Birliği)

DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARI İLE İSTEMLİ ADA ÇALIŞMA

ÖZET

Dağıtılmış üretim kaynaklarının(DÜK) şebekedeki payının artması, sunduğu faydaların yanında bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. DÜK ile ilgili sorunların başında kontrolsüz ada çalışma riski gelmektedir. Ancak son yıllarda ortaya çıkan yeni bir bakış açısı bu olumsuzluğu fırsata çevirebilmektedir.

Bu tez çalışmasında DÜK barındıran güç sistemlerinin, istemli ada çalışma durumunda uygulanabilirliği konusuna odaklanılmıştır. Eğer bölgedeki altyapı uygun ise ulusal şebeke yerine geçici olarak DÜK kullanılarak istemli olarak ada çalışma mümkündür. Bu çalışma biçimi ile ilgili literatürde bulunan birçok çalışma incelenmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında, dağıtılmış üretim hakkında temel bilgiler verilmiş ve çeşitli üretim kaynakları karşılaştırılmıştır. Ada çalışma DÜK'nın şebekeye entegrasyonu ile ilgili bir durum olduğu için bu kaynakların şebekeye bağlantıları ve uyumlu çalışmaları hakkında ayrıntılar sunulmuştur. Sonrasında, ada çalışma türleri tanımlanmıştır. İstemli ada çalışma durumundaki yaklaşım ve önerilen yol haritası IEEE 1547.4 standardı üzerinden verilmiştir.

Bu çalışmada ada çalışma ve sonrasında şebekeye tekrar bağlanma durumlarının bilgisayarlı benzetimi yapılmıştır. Senkron ve asenkron generatörlü kaynaklar Matlab/Simulink programı üzerinde modellenmiş ve seçilmiş bir trafo merkezine bağlı halka şebeke üzerinde ada çalışma analiz edilmiştir. Çeşitli üretim kaynakları kombinasyonları kullanılarak istemli ada çalışmada meydana gelecek durumlar irdelenmiş ve kararlılık gözlemlenmiştir. Ayrıca, yük atma ve senkronizasyon mekanizmaları Simulink blokları ile oluşturulmuş ve test edilmiştir.

Yapılan benzetim çalışması sonucunda sistemin gerilim, frekans, aktif ve reaktif güç değerleri kaydedilmiştir. Bu değerler yorumlandığında istemli ada çalışmanın büyük ölçüde uygulanabilir olduğu sonucuna varılmaktadır. Mevcut şebeke yapısı içinde ada çalışma risklidir ve kaçınılması gerekir. Ancak gerekli ön çalışmalar yapıлып, üreticiler ve sistem yöneticileri arasında eşgüdüm sağlandığında bu durum değişecektir.

Anahtar Kelimeler: Ada çalışma, Dağıtılmış Üretim, IEEE 1547.4, İstemli Ada Çalışma.

INTENTIONAL ISLANDING OPERATION OF DISTRIBUTED GENERATION RESOURCES

ABSTRACT

The increased share of distributed generation (DG) in the power grid, in addition to large benefits, have brought some problems. The risk of uncontrolled islanding is among the top problems associated with DG. However a new approach that emerged recently may turn this phenomenon into an opportunity.

In this thesis study, the feasibility of intentional islanding (IA) operation of DG has been examined. If the infrastructure permits, the power system can be intentionally islanded with the local power generators instead of national grid interconnection. Numerous research papers have been reviewed regarding this operation mode.

In the scope of this study, basic information about the DG concept and various generation methods has been given. Since islanding is a phenomenon about integration of DG to the power system, details about their connection to the grid and better compatibility have been presented. Furthermore, islanding types have been defined. Recommended approaches and practices on IA have been explained according to the IEEE 1547.4 standard.

Additionally, intentional islanding and the subsequent grid reconnection have been simulated. DG with synchronous and induction generators have been modelled on Matlab/Simulink and have been analyzed in a ring grid connected to a substation. Different scenarios with different types of generation have been implemented and system stability have been observed. Moreover, simple load shedding and grid re-synchronization mechanisms have been implemented with Simulink blocks and tested.

Voltage, frequency, active and reactive power data have been saved as the result of the simulation. Judging by these values it can be concluded that intentional islanding is mostly feasible. Islanding is risky with the current state of the grid and should be avoided. However this situation will change when the necessary preliminary studies are conducted and coordination between generation and distribution system operators is ensured.

Keywords: Islanding, Distributed Generation, IEEE 1547.4, Intentional Islanding.

GİRİŞ

1882 yılında Thomas Edison New York'ta ilk buharlı DC generatörü çalıştırdığında gerilim yalnızca 110V civarında idi. Gerilim düşümü sebebi ile üretilen elektrik kalın iletkenler ile yalnızca 1-2 km uzağa taşınabiliyordu. Bu kısa taşıma mesafesi, daha ufak ölçekli ancak sayıca daha fazla konuma DC generatör kurulmasını gerektiriyordu. Bu bilgilere dayanarak ilk elektrik sisteminin dağıtılmış üretim yapısına göre yapıldığını söyleyebiliriz. Fakat 1890'lı yıllarda "Akım Savaşları" sona erdiğinde, alternatif akım kullanılarak uzun mesafelere iletilebilen merkezi üretim kaynakları yaklaşımı baskın hale gelmişti. Sonraki yaklaşık 100 yıl boyunca buhar türbinli merkezi elektrik santralleri üretimdeki ağırlığını korudu.

İklim değişikliği, sürdürülebilirlik gibi çevresel kaygılar fosil ve nükleer yakıtların kullanımının sorgulanmasına yol açtı. Böylece ortaya çıkan yenilenebilir üretim kaynakları ayrıca dağıtılmış üretim kavramının yeniden doğmasına da ön ayak oldu. Yine de coğrafi koşullar yenilenebilir üretim kaynakları ile tüketim merkezleri arasında uzun mesafeler girmesine sebep olabilmektedir. Bu duruma en uygun örnek olan Almanya'da; büyük rüzgâr üretim merkezleri kuzeyde, güneşe dayalı üretim kaynakları güneyde ve büyük tüketim merkezleri ise ağırlıklı olarak batıda yer almaktadır. Üretim ile tüketim arasındaki yüksek mesafeler gelecek için iletim sisteminin kapasitesini zorlamaktadır. Bu durum özellikle yeni HVDC iletim hattı projelerinin planlanmasını sağlamış ancak hatların geçeceği yerleşim birimlerindeki insanların itirazına sebep olmuştur. 2012 yılında Alman Enerji Ajansı(DENA) tarafından hazırlanan rapora göre yenilenebilir enerjideki devam eden büyüme 2030 yılına kadar 27,5-42,5 milyar € tutarında enerji hattı yatırımı gerektirmektedir [1].

Elektrik üretimi üzerinde yerlilik ve yenilenebilirlik baskısı, yeni üretim teknolojileri, iletim hatlarının kapasitesi ve yeni iletim sistemleri kurulmasındaki zorluklar gibi sebepler ile dağıtılmış üretim yaklaşımı yeniden önem kazandı. Özellikle tüketim noktalarına yakın konumlandırılabilmeleri bu tür kaynakların cazibesini arttırmaktadır.

Dağıtılmış üretim sistemlerinin şebekeye paralel çalışmasına ilişkin sorunlar sıralandığı zaman, ilk sıralarda her zaman ada çalışma bulunmaktadır [2]. Gerçekten de mevcut şebeke yapısı içinde ada çalışma can ve mal güvenliğini riske atabilmektedir. Bunun yanı sıra dağıtılmış üretim kaynakları(DÜK) genellikle gerilim ve frekans desteği vermek üzere tasarlanmadığından dolayı ortada ciddi güç kalitesi sorunları oluşabilir. Ancak son 10 yılda ada çalışma konusunda yeni bir yaklaşım ortaya çıkmıştır.

Standard ve yönetmeliklerde az rastlansa da literatürde istemli ada çalışma(İAÇ) ile ilgili çeşitli yayınlar bulmak mümkündür. İAÇ kavramı, ilk olarak 2004 yılında şebeke güvenilirliğini arttıracak bir öneri olarak sunulmuştur [3]. Bu yazıda arıza hallerinde sistemin tümünün enerjisiz kalması yerine DÜK barındıran bölümlere ayrılıp çalışması önerilmiştir. Bunun için gelişmiş otomasyon sistemi ve hızlı koruma cihazlarının gerekliliği vurgulanmıştır. DÜ kaynaklarının payının artması ile İAÇ'nin öneminin giderek artacağı sonucuna varılmıştır.

Diğer çalışmalarda İAÇ'nin zorluklarına değinilmiş ve bunların üstesinden gelecek yöntemler önerilmiştir [4]. Ayrıca bu zorlukların üstesinden gelinmesi halindeki olası büyük getirilere de dikkat çekilmiştir [5]. İAÇ ile ilgili fizibilite çalışması yapıldığı bir makalede ise koruma, kaynak koordinasyonu, haberleşme vb. engeller belirlenmiş, kapsamlı çözümler önerilmiş ve bir örnek uygulama üzerinde gösterilmiştir [6]. Diğer bir çalışmada, DÜ denetleyici ve yeni bir adaptif yük atma sisteminin dâhil olduğu bir İAÇ stratejisi önerilmiştir [7].

İAÇ ile ilgili bir makalede güç elektroniği ara yüzü olan DÜ kaynaklarının hem şebeke bağlantılı hem de İAÇ olarak çalışmasını sağlayan bir kontrol mekanizması tarif edilmiştir. Özel olarak ada çalışmada yük atma ve tekrar şebekeye bağlanmak için senkronizasyon algoritmaları önerilmiştir [8]. Başka bir makalede, Güney Kore'de eviricili DÜ kaynaklarının İAÇ durumunda güç yönetimi ve kontrolü üzerine yapılan çalışma paylaşılmıştır [9]. Brezilya'da megawatt ölçeğinde bir mikro şebekenin uzaktan ölçümler yardımı ile İAÇ çalışmadan otomatik olarak şebekeye tekrar bağlanmasını sağlayan bir yöntem önerilmiş ve makale olarak yayınlanmıştır [10]. Ayrıca, radyal dağıtım sistemine bağlı DÜ kaynaklarının İAÇ durumunda güç

sistemine etkileri Tayland şebekesi üzerinde gösterilmiştir [11]. Son olarak, DÜ kaynaklarını İAÇ'sının elektrik fiyatları üzerine etkisi bir makalede irdelenmiştir [12].

Bu tez çalışmasında, DÜK barındıran istemli ada sistemlerinin uygulanabilirliği irdelenmiştir. İkinci bölümde, dağıtılmış üretim hakkında temel bilgiler verilecek ve çeşitli üretim tipleri DÜ kapsamında değerlendirilecektir. Bu kaynakların şebekeye bağlantıları ve entegrasyonları hakkında ayrıntılar sunulacaktır. Bölüm sonunda ise DÜ hakkındaki bazı yönetmelik ve standartlar özetlenecektir.

Üçüncü bölümde ada çalışma türleri tanımlanacaktır. İstemli ada çalışma ile ilgili detaylar, henüz yeni sayılan IEEE 1547.4 standardı üzerinden verilecektir. Ayrıca pratikteki uygulamalardan örnekler sunulacaktır.

Dördüncü bölümde bir test şebekesi üzerinde senkron ve asenkron generatörlü kaynakların bilgisayarlı benzetimi yapılacaktır. Ayrıca ada çalışma için çeşitli kontrol düzenekleri önerilecektir. Çeşitli senaryolar halinde istemli ada çalışmada meydana gelecek durumlar irdelenecek ve özellikle gerilim/frekans kararlılığı gözlemlenecektir.

Son olarak, beşinci bölümde yapılan çalışma genel olarak değerlendirilecektir.

1. DAĞITILMIŞ ÜRETİM

1.1. Dağıtılmış Üretimin Temelleri

Dağıtılmış üretim(DÜ) terimi genellikle dağıtım sisteminden bağı 10 MVA altındaki üretim kaynakları için kullanılmaktadır. Geleneksel olarak elektrik enerjisi iletim seviyesinden bağı, oldukça büyük üretim kapasitesine sahip, tüketim merkezlerinde uzakta bulunan ve genellikle fosil kaynaklar ile üretim yapan enerji santrallerinden üretilmekte idi. Ancak günümüzde mevcut yaklaşım, tüketim merkezlerine yakın ve daha küçük kapasiteli üretim kaynaklarına kaymaktadır. Bu yaklaşımın belirli avantajları vardır. İlk olarak iletim sistemi üzerindeki yük azalmış olur ve böylece iletim kayıpları azalır. Diğer bir artı ise yatırım maliyetleri ile ilgilidir. DÜK'ler 0,5 KW'tan 10 MW'a kadar çok değışik ölçeklerde yapılabildiğinden dolayı, enerji piyasası oyuncularına finansal güçlerine göre yatırım yapma imkânı sunar. Yani ticari amaçlı elektrik üreticilerinin yanında her büyüklükte tüketici için de kendi elektriğini üretme imkânı sunar. Birim güç başına inşa masrafları genellikle daha yüksek olmasına rağmen DÜ kaynaklarının toplamda daha az yatırım gerektirmesi bunları daha cazibeli kılmaktadır.

DÜ kaynakları denince akla öncelikle yenilenebilir enerji türleri gelse de, fosil kaynaklar da kullanılmaktadır. Birincil enerji kaynağı olarak rüzgâr, güneş, hidroelektrik, biyoyakıt, doğalgaz, motorin vb. sıralanabilir. Kinetik enerji ile çalışan DÜK'ler için ana hareket kaynağı rüzgâr türbini, su türbini, gaz türbin, içten yanmalı motor vb. yapılarıdır. Hareketli parça barındırmayan katı hal(Solid state) enerji kaynakları ise fotovoltaik paneller(PV), yakıt hücreleri, şebeke batarya sistemleri örnek verilebilir.

Fosil yakıt, hidroelektrik, biyoyakıt gibi kaynakları kullanan DÜ kaynaklarının güç çıktısı talebe göre azaltılıp arttırılabilen(Dispatchable) türdendir. Rüzgâr, güneş gibi meteorolojik etkenlere bağımlı yenilenebilir üretim kaynaklarının aktif güç kontrolü neredeyse olanaksızdır. Üretimi kısma imkânı bulunsa da arttırma imkânı yoktur. Bu tür kaynaklar genellikle üretebileceğı en fazla miktarda gücü üreterek şebekeye verirler. Yakıt masrafları olmadığından işletme giderleri oldukça düşüktürler.

Özellikle yenilenebilir enerji teşvikleri sayesinde kendilerini daha kısa zamanda amorti edebilirler.

1.2. Dağıtılmış Üretim Kaynak Çeşitleri

DÜ kaynaklarını sınıflandırmak için yakıt türü, güç kapasitesi, elektrik üretim metodu gibi birçok ölçüt vardır. Ancak bu bölümde sınıflandırma yapılırken kaynakların şebeke tarafındaki yapısına değil üretim tarafındaki yapısına odaklanılmıştır. Bunun sebebi, yapılacak çalışmada güç çıktısının ayarlanabilir olmasının önemli bir etken olarak belirlenmesidir. Bu seçimin sebebi ileride açıklık kazanacaktır. Ana DÜ çeşitlerinin karakteristikleri özet olarak Tablo 1.1’de görülebilir [13].

Tablo 1.1. DÜ tipleri ve bazı karakteristikleri

	Yedekte Çalışma	Tepe yük Azaltma	Güvenilirlik	Şebeke Desteği (Yan Hizmetler)	Yeşil Enerji
İçten Yanmalı Motor	Evet	Evet	Evet, ayarlanabilir ise	Evet, ayarlanabilir ise	Biyoyakıt ise
Gaz Türbini	Evet	Evet	Evet, ayarlanabilir ise	Evet, ayarlanabilir ise	Biyoyakıt ise
Fotovoltaik	Hayır	Hayır	Hayır	Zor	Evet
Rüzgâr	Hayır	Hayır	Hayır	Zor	Evet
Diğer Yenilenebilirler	Hayır	Hayır	Hayır, hidro. hariç	Zor	Evet

1.2.1. Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri, havanın akışından kaynaklanan kinetik enerjiyi kullanarak elektrik enerjisine dönüştürmeye sağlayan yapılardır. En sık kullanılan türü yatay eksenli, 2 veya 3 kanatlı türbindir. Türbinler kanat yarıçapına uygun yükseklikteki kulelere monte edilirler. Türbin hızını generatöre uygun hale getirmek için dişli kutusu kullanılması sık görülür. Türbinin hızını kontrol etmek için kanat açısı ayarlama sistemleri ve aşırı hızlanmaya karşı frenleme sistemleri kullanılır.

Rüzgâr türbinlerinin işletmesi açısından bölgedeki rüzgârın karakteristiği hayati önem taşır. Rüzgâr türbinleri ideal olarak hava akışının engellenmediği ve yıl boyu istikrarlı olarak rüzgâr esen yerlere monte edilirler. Ancak rüzgâr hızı anlık olarak sürekli değişebildiği için güç çıktıları da süreklilik göstermez ve tam kapasitede üretim yapmaları oldukça zordur. Genellikle yıllık etkinlik faktörleri %35-40 civarındadır.

Büyük güç çıktıkları için aynı alanda birden çok türbinin birlikte çalıştığı rüzgâr çiftlikleri şeklinde işletilirler.

1.2.2. Fotovoltaik paneller

Güneşten ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken tabanlı cihazlardır. Diğer üretim çeşitlerinin aksine hareketli parça içermezler ve sessizdirler. Ancak elektriği doğru akım olarak üretmeleri sebebi ile alternatif akıma dönüştürülmeleri gerekir. Şüphesiz ki bu durum kayıpları arttırır. Ortalama panel verimi %15-20 civarındadır. Rüzgâr türbinleri gibi fotovoltaik panellerin aktif güç çıktısı ayarlanabilir değildir. Doğru akım üretmeleri enerjinin batarya sistemlerine depolanmasını kolaylaştırır. Güneş ışınım şiddeti anlık olarak fazla değişmez ve tahmin edilmesi daha kolaydır.

Fotovoltaik paneller, birbirine seri ve paralel bağlanmış yarı iletken hücrelerden oluşur. Birden fazla panelin bir arada kullanılması ile MW seviyesinde güç üretimi yapılabilir. Güneş açısının gün içinde sürekli değişmesinden dolayı güneşi takip edecek mekanizmalar verimliliği arttırır. Ayrıca hem mevsimsel hem de günlük olarak güneş ışığı şiddetinin değişmesi güç çıktısında sürekli değişimlere sebep olur. Panel yüzeyinin sıcaklığı da toplam verimliliği etkiler.

1.2.3. Su türbinleri

Suyun akışından kaynaklanan hareket enerjisini kullanarak generatörleri çalıştıran mekanizmalardır. Su kaynaklı iletim seviyesinde elektrik üretimi dünyada oldukça yaygındır. Ancak baraj yapmanın zorluğu ve olası çevresel etkiler sebebi ile DÜ için pratik değildir. Bunun yerine akarsu üzerine kurulu hidroelektrik üretim kaynakları kullanılmaktadır. Bu metodun dezavantajı, barajlardaki gibi büyük miktarda enerji depolanmasına uygun olmamasıdır. Yalnızca akarsuyun mevcut debisi el verdiği kadar üretim yapılır ve dolayısıyla aktif güç kontrolü sınırlanır. Rüzgârın aksine su akış debisi mevsimsel olarak değişmesi nedeni ile tahmini daha kolaydır.

1.2.4. Gaz türbin ve içten yanmalı motorlar

Bu çeşit motorlar generatörleri çalıştırmak için gerekli olan mekanik gücü üretirler. Başlangıç maliyetleri KW başına diğerlerine göre daha düşük olsa da yakıt, bakım gibi

işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Yeterli yakıt olduğu sürece aktif güç çıktıları istenildiği gibi ayarlanır. Bu tür motorlar, verimliliklerini arttırmak için elektriğin yanında ısının da üretilmesi sağlayan kojenerasyon veya birleşik ısı ve elektrik(CHP) denilen sistemlerde kullanılırlar. Sıcak su birçok endüstriyel proseste kullanıldığı için özellikle doğalgaz yakıtlı gaz türbin CHP sistemleri ülkemizde oldukça yaygınlaşmaktadır. Son zamanlarda ısıtma ve elektrik üretiminin yanı sıra soğutma sistemini içinde barındıran trijenerasyon sistemleri de kullanılmaktadır. Ayrıca Avrupa’da mesken tüketiciler için mikro CHP sistemleri de teşvik edilmektedir.

Gaz türbin motorlar birincil olarak gaz yakıt, içten yanmalı motorlar ise sıvı yakıt tüketirler. Ancak her ikisi de hem gaz hem de sıvı yakıt ile çalıştırılabilir. Doğalgaz, motorin, fueloil gibi fosil yakıtların yanında biyogaz, biyodizel gibi yenilenebilir yakıtların da kullanılması mümkündür.

1.3. Şebeke Entegrasyonları

1.3.1. Şebeke bağlantı ara yüzleri

DÜ kaynaklarının şebeke ile bağlantısı 3 çeşit ara yüz biçiminde gerçekleşebilir [14]:

- Şebeke ile Doğrudan Makine Bağlantısı
- Tam Güç Elektroniği Ara yüzü ile Şebeke Bağlantısı
- Kısmi Güç Elektroniği Ara yüzü ile Şebeke Bağlantısı

Rüzgâr, hidroelektrik, kojenerasyon gibi mekanik güç kullanan DÜ kaynakları doğrudan şebekeye bağlanabilir. Şebeke ile generatör arasında herhangi bir ara eleman yoktur. Maliyeti düşüktür ve dönüştürücü kayıpları oluşmaz. Kojenerasyon ve küçük hidroelektrik gibi mekanik gücün rotor hızı ile kontrol edildiği kaynakları elektrik enerjisine dönüştürmek için senkron makineler kullanılır. Senkron makineler hem aktif hem de reaktif güç kaynağı olarak çalışabilir. Şebekeye paralel çalışabilmeleri için senkronize edici donanım gereklidir. Değişik hızlı enerji kaynakları için ise asenkron makineler kullanılır. Kondansatör bankası gibi harici reaktif güç kaynakları gerektirir. Şebeke ile bağlantılı çalışırken reaktif güç talep etmesi önemli bir sınırlayıcı etkendir. Ancak senkronizasyon gerektirmez ve maliyetleri daha düşüktür. Rüzgâr ve akarsu hidroelektrik enerji kaynaklarının türbinleri oldukça yavaştır. Bu sebeple enerji

dönüşümü için dişli kutusu veya çok kutuplu generatörler (Ör: Sürekli mıknatıslı SG) gereklidir.

Tam güç elektroniği ara yüzünün ana amacı dağıtılmış üretim kaynağının sağladığı enerjiyi şebeke gerekliliklerine uygun şekillendirmek ve enerji kaynağının performansını arttırmaktır. Doğru akım üretim kaynakları için güç elektroniği ara yüzü DA/AA çevirici (evirici)'den oluşur. Fotovoltaik kaynaklarda maksimum enerji çıktısını sağlamak için DA/DA çevirici gibi bir ara bağlantı gerekebilir. Benzer durum DA ara bağlantısı olan AA kaynakları için de geçerlidir. Kaynaktaki AA, DA'ya dönüştürüldükten sonra şebekeye uygun biçimde tekrar AA'ya dönüştürülür. Genelde frekansın ayarlandığı bu topolojiye frekans dönüştürücü adı verilir. DA ara bağlantıya enerji depolama sistemleri de entegre edilebilir. Frekans dönüştürücüleri, değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kullanılır. Rüzgâr enerjisi, genellikle türbin kanat açısı sürekli ayarlanarak en fazla güç üretimi sağlanır. Üretilen elektrik enerjisi frekans dönüştürücüler ile şebekeye uygun hale getirilir.

Kısmi güç elektroniği ara yüzü, güç elektroniği dönüştürücü gücünün generatör gücünün bir kısmı kadar olduğu durumdur. Çift beslemeli asenkron generatörlerde dönüştürücü rotoru beslerken stator doğrudan şebekeye bağlıdır. Rotor frekansı değiştirilerek değişken hızlı çalışma mümkün olur. Dönüştürücü gücünün daha düşük olması çalışabilir hızı aralığını sınırladırsa da normal çalışma için yeterlidir. Dönüştürücünün daha düşük güçlü olması aynı zamanda kayıpların da azalacağı anlamına gelir. Rüzgâr çiftliklerinin ortak bağlantı noktasına da STATCOM, SVC gibi güç elektroniği tabanlı cihazların bağlanması genelde gereklidir. Şebeke yönetmeliklerine uygun olarak hem reaktif güç desteği hem de şebeke kaynaklı gerilim düşümlerinde (Low Voltage Ride Through) çalışmayı sağlar.

Güç elektroniği tabanlı ara yüzlerin düzgün çalışması için şebeke gerilimi faz açısının tespiti ile şebekeye basılan harmoniklerin en aza indirgenmesi oldukça önemlidir. Doğru faz açısı denetleyicinin doğru anahtarlama işaretleri üretmesini sağlayarak düzgün güç akışı sağlar. Harmoniklerin azaltılması ise güç kalitesi açısından önemlidir. Bu amaçla, çok seviyeli dönüştürücüler gibi sinüs eğrişine yakın gerilim üreten çeviriciler veya harmonik filtrelerin kullanımı gerekebilir.

Özetlemek gerekirse şebeke bağlantı çeşitlerinin güç sistemine etkisi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Üretilen enerjinin kalitesini belirler.
- Enerji kaynağının şebeke kaynaklı güç kalitesi olaylarına tepkisini belirler.
- Enerji kaynağının net verimliliğine etki eder.
- DÜK uygulamasının karmaşıklığını belirler.
- Enerji kaynağının ne ölçüde kontrol edilebileceğini belirler. (Aktif/reaktif güç kontrolü)

1.3.2. Dü kaynaklarının dağıtım sistemlerine etkileri

Daha küçük dağıtılmış üretim kaynaklarının yaygınlaşması enerji üretim tesislerinin yeri ve üretim miktarlarını denetlemeyi daha da karmaşık hale getirmiştir. Büyük üretim kaynaklarının aksine bu kaynakların miktar olarak ne kadar üretim yapacağı üzerine şebeke işletmecilerinin doğrudan kontrolü yoktur. Bu sebeple dağıtılmış üretim kaynakları için bazen “eksi yük” tanımı uygun görülmüştür. Yenilebilir kaynaklar için anlık üretim sürekli değişebilmesi ve tahmin edilmesinin zor olması güç sisteminin işletmesini zorlaştırmaktadır. Dağıtım sistemleri güç akışının tek yönde, yalnızca tüketicilere doğru olacak şekilde tasarlanmıştır. Şebeke işletmecileri bazen dağıtılmış üretim için oldukça katı bağlantı kuralları bulunmaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji yatırımları önünde bariyer olarak durmaktadır.

DÜ kaynaklarının dağıtım sistemi üzerine olası yan etkileri:

- Düşük tüketim anlarındaki yüksek üretim sebebi ile fiderler ve trafolar aşırı yüklenebilir.
- Dağıtım fiderinin uzak kısımlarındaki üretim kaynakları sebebi ile aşırı gerilim riski bulunmaktadır.
- DÜK’ler diğer tüketiciler için güç kalitesi sorunlarını arttırabilir.
- Büyük miktarda DÜK, koruma elemanlarının hatalı çalışmasına sebep olabilir.
- Kontrolsüz ada çalışmasına geçişin algılanmaması da ciddi bir sorundur.

Dağıtım sisteminde bir zorlanma oluştuğunda genellikle işletmeciler DÜK’ün şebekeden ayrılmasını gerektirir. Bunun iki sebebi vardır. İlk olarak, arıza anında dağıtım fiderindeki korumaların olumsuz etkilenmesi önlenir. İkinci neden ise dağıtım

sisteminin belli kısımlarının kontrolsüz ada çalışmasının önüne geçilir. Birçok DÜK gerilim genliği veya frekansındaki sıra dışı değişimleri algılayıp ada çalışmayı önleyen sistemlere sahiptir.

1.3.3. DÜ kaynaklarının iletim sistemlerine etkisi

Dalgalanan ve tahmini zor olan enerji kaynakları, iletim şebekesi bakımından istikrarsızlığı artırır. Örneğin rüzgâr kaynaklarının fazla olduğu sistemlerde hava durumundaki değişimler, birkaç saat içinde binlerce MW'lık güç kaybı anlamına gelebilir. Eğer sistem bu tür kayıpların yerine yenisini getiremezse ciddi sorunlar oluşacaktır.

İletim sistemi kaynaklı bozulmalar geniş bir coğrafik alana yayılarak büyük miktarda üretimin kaybına neden olabilir. İletim sistemi işletmecileri bu durumla ciddi olarak ilgilenmeye başlamıştır. Gerilim ve frekans değişimlerine karşı üretimin direnci üzerine ciddi gereklilikler getirildi. Arıza durumlarında devrede kalma şartları sıkılaştırıldı.

Avrupa Ortak İletim Sistemi'nde 4 Kasım 2006'da meydana gelen olay arıza durumlarında DÜ kaynaklarının iletim sistemine etkisini ön plana çıkardı. Almanya'daki birden fazla iletim hattının aşırı yüklenmesi sonucu, tüm Avrupa ortak enterkonnekte şebekesi 3 parçaya bölündü. Ana tüketim merkezlerinin bulunduğu batı kısmında üretim açığı oluşurken, özellikle rüzgâr kaynaklı üretimin (off-shore ve on-shore) yoğun olduğu kuzeydoğu tarafında ise üretim fazlası meydana gelmiştir. Güneydoğu kısmı ise dengede kalmıştır. Bölünmeden sonra batı tarafındaki 9500 MW üretim açığı frekansta sert düşüğe sebep olmuş, bu düşüşten sonra ayrıca 10800 MW üretimin daha devre dışı kalmasını doğurmuştur. Devre dışı kalan üretimin 4200 MW'ı rüzgâr kaynaklarıdır ki, bu miktar bölgedeki toplam rüzgârın %60'ına denk gelmektedir. Ayrıca bölgedeki kojenerasyon sistemlerinin %30'u da düşük frekansa bağlı devreden çıkmıştır. Bu bozulma sonrasında şebekeden 17000 MW yük atılmıştır. Bu sırada, üretim fazlası olan kuzeydoğuda frekans yükselmiş ve yine büyük miktarda DÜK devreden çıkmıştır [15].

1.3.4. DÜ güç kalitesi sorunları ve planlama

Güç kalitesi değişimleri, güç sisteminin normal işletmesi sırasında gerilim ve akımdaki ufak bozulmalardır (Ör: Harmonikler, faz dengesizlikleri). İşletmede meydana gelebilecek normal değişimler genellikle güç sistemindeki anahtarlama hareketleridir. Motorlara yol verilmesi, trafoların enerjilendirilmesi, kondansatör anahtarlama gibi geçici hal durumları sonucu oluşan gerilim çökmeleri buna örnek olabilir. Üretimin devre dışı kalmaması açısından bunlara dayanıklı olmalıdırlar. Eğer DÜK şebekeden ayrılırsa enerji aktarımı duracaktır. Üretim kimyasal veya mekanik bir yapıya sahipse durması biraz zaman alabilir. Dolayısı ile oluşabilecek güç arzı fazlası, kendisini aşırı gerilimler veya aşırı hızlanma olarak gösterecektir. Bu durum fiziksel zararlar yaratabileceğinden dolayı güvenlik riski oluşturmaktadır.

Anormal değişimler ise şebekedeki kısa devre arızalarıdır ve DÜ üzerindeki ani etkisi gerilim düşümedir. Bu gerilim düşümü sırasında asenkron generatörlerde hız artışı görülür. Arıza sonrasında gerilim toparlanırken ise asenkron generatörler büyük miktarda reaktif güç talep eder. Hem eviriciler, hem de doğrultucular dengesiz gerilim çökmeleri ve sonrasındaki toparlanma sırasında aşırı akımlar çekerler.

Elektrik sisteminde DÜ barındırma kapasitesi hakkında için 3 yaklaşım bulunur [14]:

- Sınırlı DÜ izini ver: Güç sistemi üzerinde istenmeyen etki yaratmayacak kadar miktarda DÜ için izin verilir. Bu kapsamda alınacak önlemler için bağlantı ücreti talep edilebilir. Şebeke işletmecileri yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması ile mevcut tüketicilerin güç kalitesi arasında tercih yapmaları gerekmektedir.
- Sınırsız DÜ izni ver ancak katı bağlantı koşulları koy: DÜ generatörleri için koruma ve kontrol sistemlerinin yanı sıra talebe göre üretimi ayarlama koşulu getirilebilir. Bu yaklaşım masrafları tamamen DÜ yatırımcısı üzerine yıkar. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları için yatırımcıları uzaklaştırabilir.
- Sınırsız ve rahatça DÜ izin ver: Temel koruma önlemleri dışında herhangi bir önkoşul sürmeden kolay bağlantı izinleri verilebilir. Bu durumda, DÜ-şebeke uyumunu sağlamak şebeke işletmecisine düşer. Bu yaklaşım büyük yatırımlar yapılmasını gerektirecektir. DÜ miktarının fazla olduğu güç sistemleri için ciddi yatırımlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu ek masraflar şebekede genel fiyat artışlarını

veya devlet katkısını gerektirebilir. Yenilenebilir enerjiye verilen önem burada ortaya çıkmaktadır.

1.4. İlgili Yönetmelik ve Standartlar

Dağıtılmış üretim kavramı elektriğin tarihine kıyasla yeni bir kavram olduğundan dolayı bu alandaki standartlar da oldukça yenidir. IEEE, IEC gibi uluslararası kurumların bu alandaki standartlarının geçmişi yaklaşık 10 yıldır. Ülkeler kendi şebekelerine DÜ kaynaklarının sağlıklı entegrasyonu için henüz yeni standartlar ve yönetmelikler belirlemektedir. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu(IEC), 10 MW'a kadar DÜ kaynaklarının 35 KV'a kadar bağlantısını düzenleyen standart için bir çalışma grubu oluşturmuştur. Ayrıca hâlihazırda 10 KVA'ya kadar olan fotovoltaik panellerin bağlantısını düzenleyen IEC 61727-2004 standardı yürürlüktedir.

1.4.1. IEEE 1547 standart grubu

Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü(IEEE) Standartlar Ortaklığı tarafından ABD Enerji Bakanlığı desteği ile geliştirilmiş dağıtılmış üretim kaynaklarının enterkonnekte çalışması düzenleyen standartlar grubudur. 2003 yılında ilk başlığın yayınlanmasından sonra ABD'nin bu konuda ulusal standardı kabul edilmiştir. İçeriği Kuzey Amerika elektrik şebekesi esas alınarak hazırlanmış olsa da, kurumun uluslararası alandaki saygınlığı ve IEC gibi bir uluslararası standart organizasyonundan konu standart çıkmaması sebebi ile mevcut durumda en iyi yönergeler olduğu kabul edilir. İlgili standart çalışma grubu düzenli olarak toplanarak yeni başlıkları veya mevcut başlıklara düzeltmeleri tartışır. Aksi belirtilmedikçe toplam 10 MVA güce kadar olan kaynaklar için geçerlidir.

2014 sonu itibarı ile IEEE 1547 standart grubundaki başlıklar aşağıdaki gibidir:

- IEEE 1547–2003, Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Elektrik Şebekesine Enterkonnekte Edilmesi Standardı (2014-Düzeltilme 1)
- IEEE 1547.1–2005, Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Elektrik Şebekesine Enterkonnekte Cihazları için Uygunluk Testi Prosedürleri
- IEEE 1547.2–2008, IEEE 1547-2003 Standardı için Uygulama Rehberi

- IEEE 1547.3–2007, Elektrik Şebekesine Enterkonnekte Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının İzlenmesi, Bilgi Alışverişi ve Kontrolü için Rehber
- IEEE 1547.4–2011, Dağıtılmış Üretim İstemli Ada Sistemlerinin Tasarımı, İşletmesi ve Entegrasyonu için Rehber
- IEEE 1547.5, 10MVA’dan Büyük Elektrik Kaynaklarının İletim Seviyesine Bağlanması için Teknik Yönergeler (Taslak) – Aralık 2011’de Geri Çekildi.
- IEEE 1547.6–2011, Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının İkincil Dağıtım Seviyesinden Şebekeye Bağlanması için Tavsiye Edilen Uygulamalar
- IEEE P1547.7-2013 Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Dağıtım Sistemine Etki Değerlendirme Çalışmaları Yürütülmesi için Rehber (Taslak)
- IEEE P1547.8 1547 Standardının Daha Genişletilmiş Uygulanmasına yönelik Metot ve Prosedürlerin oluşturulması için Tavsiyeler (Taslak)

IEEE 1547-2003 dağıtılmış üretim kaynaklarının şebekeye paralel çalışabilmesi için gerekli teknik şartname ve koşulların yanı sıra enterkonnekte çalışma test şartlarını da içerir [16]. Bu standardın gereklilikleri hem senkron veya asenkron generatör gibi dönen makineler için hem de eviriciler gibi katı hal cihazlar için geçerlidir. Bu başlıkta 2014 yılında önemli düzeltmelere gidilmiştir [17]. DÜ kaynaklarının gerilim/frekans desteklerine ilişkin madde ile güç sistemindeki gerilim/frekansa değişimine bağlı devre dışı kalma ölçütleri değiştirilmiştir.

IEEE 1547-2003 standardındaki önemli hususlar aşağıdaki gibidir:

- 2014 yılındaki düzeltme ile birlikte DÜ kaynakları, izin alınması halinde şebeke ile koordinasyon halinde, aktif olarak frekans kontrolüne katılabilirler.
- Seçilen topraklama yöntemi, ana şebekeye bağlı donanımların çalışma sınırlarını aşan aşırı gerilimlere sebep olmamalı veya şebekedeki toprak arıza korumalarını etkilememelidir.
- DÜ kaynakları, şebeke ortak bağlantı noktasında $\pm\%5$ 'ten fazla gerilim değişimine sebep olmamalıdır.
- Ana şebeke enerjisizken yerel şebeke de enerjisiz olmalıdır.
- 250 KVA ve üstü olan dağıtılmış üretim kaynaklarının ortak bağlantı noktasında bağlantı durumu, gerilim, aktif ve reaktif güç çıktılarını izleyen mekanizmalar bulunmalıdır.

- Bir arıza durumunda ana şebeke ile bağlantı kesilir ise DÜ kaynakları kesicilerin yeniden kapanmasını önlemek için yerel şebekeyi beslemeyi durdurmalıdırlar.
- Ortak bağlantı noktasındaki gerilim veya frekans kabul edilebilir değerlerine altına düştüğünde, düşüş ile orantılı olacak sürede dağıtılmış üretim kaynakları devre dışı kalmalıdır. Yeni düzeltmelere göre tavsiye edilen değerler ve açma süreleri Tablo 1.2 ve 1.3'te verilmiştir.
- Ana şebeke için geçerli olan güç kalitesi ölçütlerine uymalıdır.
- Kesinti sonrasında yerel şebeke, ana şebekenin gerilim ve frekans değerleri kabul edilebilir aralığa döndükten en az 5 dakika sonra bağlanmalıdır.

Tablo 1.2. IEEE 1547 2014 düzeltmesine göre gerilime bağlı açma süreleri

Varsayılan Ayarlar		Ayarlanabilir Açma Süresi (en fazla, s)
Gerilim Aralığı (pu)	Sabit Açma Süresi (s)	
$V < 0,45$	0,16	0,16
$0,45 < V < 0,6$	1	11
$0,6 < V < 0,88$	2	21
$1,1 < V < 1,2$	1	13
$V > 1,2$	0,16	0,16

Tablo 1.3. IEEE 1547 2014 düzeltmesine göre frekansa bağlı açma süreleri

Varsayılan Ayarlar		Ayarlanabilir Aralık	
Frekans (pu)	Açma Süresi (s)	Frekans (pu)	Ayarlanabilir Açma Süresi (en fazla, s)
0,95	0,16	0,9333 - 1	10
0,9917	2	0,9333 - 1	300
1,0083	2	1 - 1,0667	300
1,0333	0,16	1 - 1,0667	10

Diğer önemli başlık olan IEEE 1547.4 bu tezin ana konusunu içerdiğinden dolayı Bölüm 3'te detaylı olarak verilmiştir.

1.4.2. Alman standartları

Güneş ve rüzgâr başta olmak üzere şebekeye bağlı DÜ kaynakları bakımından Dünya'nın sayılı ülkelerinden biri Almanya'dır. Bu sebepten dolayı Almanya'nın ulusal DÜ bağlantı standartlarının incelenmesi önemlidir. Bu standartlardan ilki Elektrik, Elektronik ve Bilgi Teknolojileri Birliği(VDE) tarafından yazılan VDE-AR-N 4105:2011, diğeri ise Alman Enerji ve Su Endüstrileri Birliği(BDEW) tarafından

sunulan BDEW 2008 standardıdır. VDE-AR-N 4105 alçak gerilimden(≤ 1 KV), BDEW 2008 ise orta gerilimden(1-66 KV) bağlantıyı kapsamaktadır [18].

BDEW 2008 standardı güç sınırı olmadan tüm DÜ çeşitleri için bağlantı koşullarını detaylandırmaktadır [19]. Gerilime bağlı devre dışı kalma ayarları bakımından üretim kaynağı, şebeke bağlantısı ve trafo barası olmak üzere üç farklı noktadaki değerlere bakılmasını önerir. Aşırı ve düşük gerilimler için anlık ve ortalama ölçümlere göre açma süreleri Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.4. BDEW 2008'e göre gerilime bağlı açma süreleri

Şebeke Bağlantı Noktasında		Trafo Merkezinde		Generatörde	
Anlık Gerilim (pu)	Açma Süresi (saniye)	Anlık Gerilim (pu)	Açma Süresi (saniye)	Anlık Gerilim (pu)	Açma Süresi (saniye)
1 – 1,3	$\leq 0,1$	1 – 1,3	$\leq 0,1$	1 – 1,3	$\leq 0,1$
0,1 – 1	$\leq 2,7$	0,1 – 1	$\leq 0,3$	0,1 – 1	$\leq 0,3$
1 – 1,3 (Ort.)	60	1 – 1,3 (Ort.)	1,5 – 2,4	0,1 – 1 (Ort.)	1

BDEW 2008 standardındaki diğer önemli noktalar şöyledir:

- DÜ bağlandığı şebekede %2'den fazla gerilim değişimine sebep olmamalı.
- Dinamik gerilim desteği verilmesi beklenir. Bunun DÜ kaynağı arıza durumunda devre dışı kalmamalı ve reaktif güç vermeye devam etmelidir.
- Frekans değeri 47,5 - 51,5 Hz dışına çıktığında DÜ kaynağı en fazla 0,2 s'de devre dışı kalmalıdır.

VDE-AR-N 4105 standardından başlıklar aşağıdaki gibidir [20]:

- Gerilim değeri 0,8 – 1,1 pu aralığının dışına çıktığında en fazla 0,2 s içinde devre dışı kalmalıdır.
- DÜ kaynakları şebekede %3'den fazla gerilim değişimine neden olmamalıdır.
- Gerilim desteği vermek şebeke yönetiminin tercihinine bağlıdır.
- 47,5 – 51,5 Hz dışına çıkıldığında en fazla 0,1 saniyede devre dışı kalmalıdır.

1.4.3. Türkiye'deki ilgili yönetmelikler

Ülkemizde elektrik güç sistemini düzenleyen yönetmelikler Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu(EPDK) tarafından yayınlanmaktadır. Şebeke ve Dağıtım

yönetmelikleri, dağıtım sisteminden bağlanan üretim kaynakları ile ilgili yönergeleri içermektedir.

Şebeke Yönetmeliği'ne göre 50 MW üzeri kaynakların iletim sistemine bağlanması zorunludur [21]. 10 MW üstü kaynakları için ise müstakil hat çekilmesi gereklidir. Böylece dolaylı olarak DÜ tanımı yapılmış olmaktadır. Bu tip kaynaklar, iletim sistemine bağlı üretim kaynaklarının gerekliliklerinden muaftır.

Dağıtım Yönetmeliği'nde dağıtım sistemine bağlı üretim kaynakları üretim kaynakları için performans koşulları belirtilmiştir [22]. Üretim birimlerinin 47,5 – 52,5 Hz frekans aralığının haricinde devre dışı kalmaları gerekli kılınmıştır.

DÜ hakkındaki en önemli gelişme “Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik”in yayınlanmasıdır. Bu yönetmelik, 1 MW'a kadar yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretim tesisleri için belirli kolaylıklar getirmiştir [23]. Lisanssız üretim kapsamındaki kojenerasyon tesisleri ise 100 KW ile sınırlandırılmıştır. Kendi elektriğini üretmek isteyen tüzel veya gerçek kişiler doğrudan dağıtım şirketleri ile anlaşma yapabilir ve fazla enerjiyi satabilmektedir. Bu kapsamda olumlu başvuruların güç olarak toplamı 1473 MW'tır ve bunun %82'si güneş kaynaklıdır. Bağlantı görüşleri verilirken TEDAŞ ile dağıtım şirketleri birlikte karar vermektedir. Dağıtım şirketlerinin verdiği koruma koşulları genelde IEEE 1547 standardına göredir.

2. ADA ÇALIŞMA

2.1. Temel Bilgiler

Mevcut halde ada çalışma, şebeke işletmecilerinin tamamı ile kaçınmaya çalıştıkları bir durumdur. Dağıtılmış üretim kaynakları(DÜK) genellikle gerilim ve frekans desteği vermemek üzere tasarlandığından dolayı ortada ciddi güç kalitesi sorunları oluşabilir. Ancak şebekedeki DÜK oranının gittikçe artması ve akıllı şebeke uygulamalarının yaygınlaşması bu konuya yeni bir bakış açısının da doğmasına neden olmuştur. Ada çalışma için en önemli ölçüt istemsiz veya istemli(İng.:intentional) olmasıdır.

2.1.1. İstemsiz ada çalışma

İstemsiz ada çalışma, DÜ barındıran bir şebekenin belirli bir kısmının kontrolsüz ve plansız biçimde enterkonnekte sistem ile bağlantısı olmadan çalışmasıdır. Bu durum ciddi bir risktir ve uygun olmayan koşullarda mutlaka kaçınılması gerekir. İstemsiz ada çalışmaya geçiş, genellikle hattın yük akışına göre yukarı tarafındaki kesicilerin açılması ile gerçekleşir. Bu açmanın sebebi bir arıza gibi plansız bir olay ya da bakım gibi planlı bir kesinti olabilir. İstemsiz ada çalışmanın olumsuz sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Gerilim ve frekans değerleri normal işletme sınırlarının oldukça fazla dışına çıkabilir. Can ve mal güvenliği tehlikeye girebilir.
- Mevcut durumda dağıtım sistemi koruma mekanizmaları ada çalışma için uygun tasarlanmamıştır.
- Radyal şebeke yapısında güç akışı tek yönlü olarak tasarlanır. DÜ varlığı, şebeke bağlantı noktasında anahtar açıldığında enerjinin kesilmesini garanti etmeyeceğinden dolayı bakım personeli için güvenlik riski oluşur.
- Enerjinin kesilmemesi, hat üzerinde otomatik yeniden kapanmalara neden olur ve şebekedeki cihazlara zarar verebilir.
- Ada çalışma sırasında eşdeğer empedansın değişmesi rezonans olaylarına sebep olabilir.

Bu sebeplerden dolayı güç sistemi denetleme mekanizmaları(kamu veya özel) mutlaka DÜ kaynaklarından ada çalışma koruması talep ederler. Güç sistemindeki DÜ payının giderek yükselmesi, DÜ'lerin devre dışı kalma koşullarının biraz esnemesine sebep olmaktadır. DÜ kaynaklarının kitlesel olarak devre dışı kalmasının sonuçları, Avrupa ortak iletim sisteminde yaşanan arızalar sonucunda görülmüştür.

Ada moduna geçişin algılanması için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler aktif ve pasif olarak iki kategoriye ayrılabilir. Pasif yöntemlerden basit olanları, gerilim ve frekansın belirli aralıkların dışına çıktığında DÜ kaynağının devre dışı kalmasını esas alır. Standartlar ve yönetmeliklerde gösterilen çalışma aralıkları ve açma süreleri bu amaçla kullanılır.

Daha gelişmiş pasif yöntemler ise frekans değişim oranı(ROCOF) ve gerilim faz açısı kayması algılanmasıdır. ROCOF koruması, aktif güç dengesindeki bozulmaya bağlı olarak frekanstaki ani değişimlerinin algılanmasını esas alan bir koruma biçimidir. Gerilim faz açısı kayması ise şebeke bağlantısı koptuğunda yükler ile DÜ arasındaki etkileşimden dolayı oluşacak faz kayması olayının algılanmasına dayanır. Bu yöntemler hızlı olmalarına rağmen bazı zayıflıkları hatalı çalışmalarına sebep olabilmektedir. Örneğin normal işletmede karşılan büyük motorlara yol verilmesi gibi olaylar da faz kaymasında ani değişikliklere sebep olabilmektedir. Ayrıca eğer aktif güç dengesizliği oluşmaz ise ada çalışmanın algılanması mümkün olmaz.

Aktif ada algılama yöntemleri genellikle şebekeye ufak işaretler basar ve sonrasında işaretin değişimi izlemek sureti ile ana şebeke bağlantısının kesildiğini anlamaya çalışırlar. Literatürdeki bazı aktif ada çalışma algılama yöntemleri:

- Şebekeye ufak bir arıza işareti basılır. Normal çalışmada bu işaretin etkisi olmaz. Ada çalışmada ise bu işaretin etkisi oldukça hissedilir ve sistemi kararsız hale getirebilir. Ada çalışma bu şekilde algılanır ve DÜ kaynağı devre dışı kalır.
- Güç iletim hattı üzerinden şebeke kaynaklı bir taşıyıcı işaret yollanır. Şebekeden ayrılma durumunda bu işaret kaybolur ve üretim devre dışı kalır.
- Bir endüktans veya kondansatörü sıfır geçişine yakınken anahtarlamak sınırlı bir gerilim bozulması yaratır. Ancak akımın genliği arıza seviyesi hakkında bilgi verir. Şebeke bağlantılı çalışma ile ada çalışma arasındaki arıza seviyesi farkı oldukça fazla olduğundan algılanması kolaydır.

- Diğer bir yöntem ise aktif frekans kaymasıdır. Şebeke anma frekansına yakın frekanstaki başka bir işaret (Ör:50 Hz sistemde 55 Hz) oluşturulur. Ada çalışma sırasında şebeke frekansı birden artacağı için aşırı frekans korumaları devreye girecek ve kaynak ayrılacaktır. Bu yöntemin dezavantajı harmonik bozulmasının artmasıdır.
- Reaktif güç akışının birden değişmesi ile ada çalışma algılanabilir.

Ancak bu yöntemler de kusursuz değildir. Örneğin ilk yöntemde arıza işareti zayıf sistemlerde sorun yaratır. İkinci yöntemde ise taşıyıcı işaretin geçici olarak kesilmesi hatalı çalışmaya sebep olur.

2.1.2. İstemli ada çalışma

İstemli ada çalışma(İAÇ), şebekeden bağımsız ve ayrı biçimde uygun güç kalitesi normlarında yüklerin mevcut DÜ kaynakları tarafından beslenmesidir. Bu çalışma biçimi önceden planlanarak hem DÜ işletmecilerinin hem de dağıtım sistemi yönetiminin eşgüdömlü hareket etmesini gerektirir. Bu şekilde arıza veya bakım gibi bir sebeple dağıtım şebekesinin enerjisiz kalması yerine yerel DÜ kaynakları, mümkün oldukça fazla yükü besleyebilir. Böylece şebeke güvenilirliği artırılmış olur.

İstemli ada çalışmaya geçiş planlı veya plansız olarak iki şekilde gerçekleşebilir. Genellikle planlı geçiş bakım gibi öngörölmüş olaylar, plansız geçiş ise arıza gibi beklenmeyen olaylar sonucunda olur. Kasırga gibi öngörülebilir doğal felaketler öncesi de İAÇ düşünölebilir. Planlı geçiş, daha fazla hazırlık süresi tanıdığından dolayı uygulaması daha kolaydır. DÜ kaynakları ile yüklerin durumu incelenir ve sonrasında kararlı bir ada sistemi oluşturulabileceği kararı verilebilir. Arıza sonrası geçiş ise çok daha zor olacaktır. Önce arıza giderilene kadar, sonrasında ise sistemdeki geçici durum sönömlenene kadar DÜ'nün devrede kalması gerekecektir. DÜ kaynaklarının aktif güç talebine esnekliği her iki geçiş türü açısından da oldukça önemlidir. Rüzgâr, güneş gibi esnek olmayan kaynaklar için önceden planlama gerekir. Doğalgaz, biyogaz gibi ayarlanabilir DÜ kaynakları yüke göre daha fazla esneklik gösterebilir.

İAÇ'nin olumlu etkilerinin yanında bazı zayıflıklara da sahiptir. Enerji kesintisi yerine İAÇ'ye geçebilmek şebeke güvenilirliğini artırabilir. Normal işletmede şebekenin tamamen veya kısmi olarak devre dışı kaldığı durumlarda DÜ kaynakları da devre dışı

kalacaktır. Hem dağıtım şirketi ile DÜ kaynakları enerji satışı yapamayacak hem de tüketiciler faaliyetlerini yürütemeyeceği için ekonomik zararlar oldukça fazla olacaktır. İAÇ bu zararların azaltılmasını sağlar. İAÇ normal işletmeden daha karmaşık olduğu için planlamayı ve işletmeyi zorlaştırır. Örneğin güç akış yönündeki değişiklikler koruma sistemlerinde istenmeyen sonuçlar yaratabilir. DÜ kaynaklarının uygun gerilim ve frekans denetimi yapabilecek şekilde ayarlanabilir olması gerekecektir. Ayrıca İAÇ'de zayıf şebeke yapısından dolayı güç kalitesi sorunları daha belirgin olacaktır. Bu sebeplerden ötürü güvenli İAÇ için mevcut altyapı üzerine yeni yatırımlar yapmak gerekebilir.

İAÇ sırasında, DÜ kaynakları ile asıl şebeke gerilimi arasında ufak faz kaymaları oluşacaktır. İAÇ gerektiren koşullar ortadan kalktıktan sonra tekrar şebeke ile senkronizasyon gerekecektir. Sert geçici hal hareketlerinin ve sonucunda oluşabilecek hasarların önüne geçmek için bu durum oldukça önemlidir. Örnek olarak, geniş alan korumasına benzer şekilde uydu GPS işaretleri kullanılarak iki taraftan fazör ölçümleri yapılır ve bu değerler karşılaştırılarak senkronizasyon denetlenir. Senkronizasyon komutları DÜ kontrol mekanizmasına iletilir ve böylece frekans denetleyici gerilim dalga şeklini şebekeye senkronize eder. Böyle bir yöntem için güvenilir haberleşme yöntemi gerekeceği aşikârdır.

İstemli ada çalışma hakkındaki en önemli kaynaklardan biri IEEE 1547.4 standardı olması sebebi ile İAÇ hakkındaki detaylar bu standartla birlikte Bölüm 2.2'te verilmiştir.

2.2. IEEE 1547.4 İstemli Ada Çalışma Standardı

IEEE 1547.4-2011, dağıtılmış üretim kaynağı barındıran istemli ada sistemlerini kapsamaktadır [24]. Ada sistemlerinin tasarımı, işletmesi ve entegrasyonu konularında da alternatif yaklaşımlar ve iyi uygulamalar sunmaktadır. Ayrıca İAÇ ile ilgili teknik sorunlara değinmektedir. Bu standarda göre İAÇ hakkındaki önemli hususlar şöyledir:

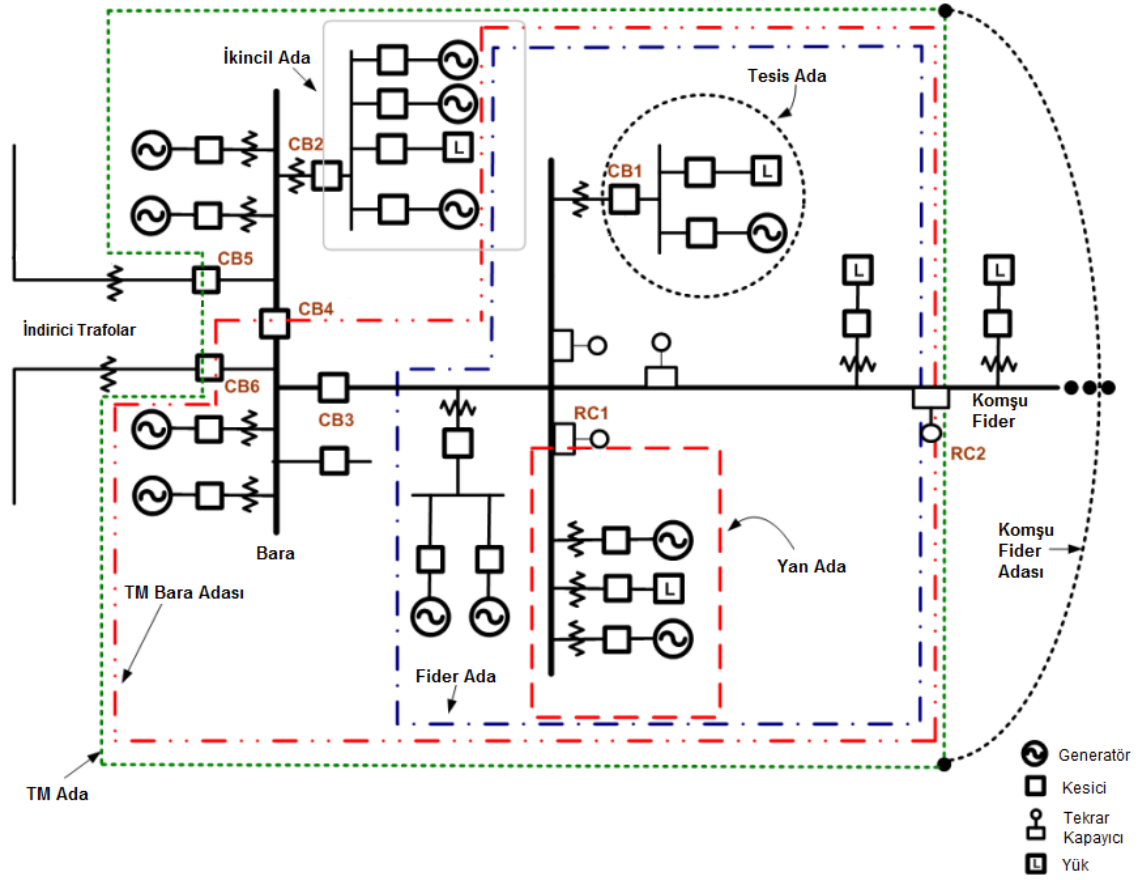
- Güç akışı yönü ve şiddetindeki değişim
- Gerilim, frekans ve güç kalitesinin doğru kontrolü
- Ortak bağlantı noktası sayısı
- Koruma sistemi yapısı

- İzleme, bilgi alışverişi ve kontrol (MIC) sistem
- Ada çalıştırılacak alandaki yüklerin gereksinimleri
- Dağıtılmış üretim kaynaklarının karakteristikleri
- Kararlı hal ve geçici hal koşulları
- Elektrik üretim kaynaklarının birbirleri ile etkileşimi
- Rezerv payı, yük atma ve talep tepkisi
- Sıfırdan yük alma

Ayrıca dikkate alınması gereken durumlar aşağıda sıralanmıştır:

- Tüm açık noktalarda faz uyumsuz tekrar bağlantı riski
- Gerilim ve frekanstaki olağanüstü sapmalardan dolayı donanımlarda oluşabilecek zararlar
- Yeterli ve güvenilir dağıtılmış üretim sistemleri
- Sistemin karmaşıklığından dolayı güvenilirlikte azalma
- Can güvenliği
- Normal çalışma ve ada çalışma arasındaki arıza akımındaki fark
- Koruma koordinasyonu
- Yük atma yöntemleri ile uyum
- Gerilim ve frekansın denetlenmesi
- Fazlar arası dengesizlik
- Elektrik arz ve talebinin dengesi
- Topraklama

Ayrıca tipik bir dağıtım şebekesi üzerinde çeşitli ada çalışma yapılandırması örnekleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Trafo merkezi(TM) adası, indirici trafoların alçak gerilim tarafındaki kesicilerin(CB5, CB6) açılması ile oluşur. TM bara adası ise baralardan yalnızca birinin ada olarak çalışmasıdır. İkincil ada, bir dağıtım trafosunun ikincil(AG) tarafındaki DÜK ve yüklerden oluşur. Dağıtım şebekesindeki bir ana fidere bağlı bir yan fiderden ada oluşturulmuşsa buna yan ada denilir. DÜK tesisi dâhilindeki yükler(Ör: Fabrika) şebeke yerine bu kaynak tarafından beslenmesi tesis ada çalışmasıdır. Son olarak, fider adasında tek fider üzerindeki yükler ve kaynaklar ile ada oluşturulur.



Şekil 2.1. IEEE 1547.4 Standardında gösterilen çeşitli ada çalışma şekilleri

2.2.1. İstemli ada sistemi çalışma evreleri

2.2.1.1. Şebekeye paralel çalışma

İAÇ için uygun koşullar olmadığı durumlardaki çalışma şeklidir. Daha yüksek kararlılık ve fazla enerjinin satılması gibi bariz avantajları bulunmaktadır. Bu durumu IEEE 1547-2003 standardı kapsamaktadır.

2.2.1.2. Ada çalışmaya geçiş

Planlı veya plansız olarak gerçekleşebilir. Planlı ada çalışma, zamanı ve süresi ilgili tüm taraflarca kabul edilen istemli olayların sonucu olarak tanımlanmıştır. İstemli ada çalışma, gerçekleşmesi beklenen bir kesinti öncesinde önleyici eylem olarak oluşabilir. Bu kesintilerin sebebi planlı bakım veya yaklaşmakta olan bir kasırga gibi doğal felaketler olabilir. Bunun avantajı, yerel şebekede kesinti olmasını beklemek yerine kontrollü olarak ada çalışmaya geçerek muhtemel zincirleme arızalar veya yerel şebekedeki enerji kalitesi sorunları önlenmiş olur. Ada çalışmaya geçerken, gerilim ve

frekans dalgalanmalarının kabul edilebilir değer aralıklarında olması ve koruma sistemlerinin etkilenmemesi önemlidir. Eğer kesintisiz geçiş mümkünse değilse, kesintili olarak sıfırdan başlatma yapılmalıdır.

2.2.1.3. Ada çalışma

Geçiş tamamlandıktan sonra geçerli enerji kalitesi seviyesini sağlayacak güç üretim ve depolama sistemlerinin olması oldukça öneme sahiptir. Dağıtılmış üretim kaynakları beslenen yükün karakteristiğine uygun biçimde yeterli aktif ve reaktif güç sağlayabilmelidir. (Ör: Motorlara doğrudan yol verilmesi) Ayrıca, ada sistemi gerilimi ve frekansı kabul edilebilir aralıklarda tutacak kontrol mekanizmasına da sahip olmalıdır. Yükün karakteristiğine uygun olarak yeterli rezervler bulunmalıdır. Üretim ve tüketimi dengelemek amacı ile yük takibi, yük atma vb. yöntemler kullanılabilir. Ada durumunu izleyecek sistemler bulunmalıdır. Birden fazla dağıtılmış üretim kaynağı olması durumunda koordine edilmelidir.

2.2.1.4. Tekrar bağlantı

Bölgesel şebekeye yeniden bağlanırken, ada sisteminin tekrar şebekeye senkronize olması gereklidir. Arıza gibi durumlarda şebekenin dengeye oturması için tekrar bağlantının ertelenmesi gerekebilir. IEEE 1547.4 standardına göre yeniden senkronizasyon için 3 yaklaşım bulunmaktadır:

- Aktif senkronizasyon: Ortak bağlantı noktasının iki tarafındaki gerilim genliği, frekansı ve faz açısı izlenir. Ada tarafındaki değerler şebekeye uydurulduğunda fiziksel bağlantı sağlanır. Bu sistemdeki haberleşme ile ölçme sistemlerinin hassaslığı ve güvenilirliği oldukça önemlidir. Mevcut en hızlı yöntemdir.
- Pasif Senkronizasyon: Ortak bağlantı noktasındaki parametreler izlenir ve ancak belirli aralıklarda olduğu zaman bağlantı sağlanır. Aktif senkronizasyona göre daha yavaştır.
- Açık geçiş: Yapı olarak diğer iki yöneme göre basittir. Ada tarafında yükler devre dışı bırakılır. Dağıtılmış kaynaklar şebekeye bağlandıktan sonra yükler tekrar devreye alınır. Geçici kesinti gerektirir.

2.2.2. Yük gereklilikleri ve planlanması

Ada sistemi şebekeye kıyasla daha zayıf olduğundan dolayı yükler normale göre daha fazla etkide bulunurlar. Ada sistemindeki faz dengesizliğine özellikle dikkat edilmelidir. Faz-nötr veya faz-faz gerilimleri dengede olsa bile yük akımlarında önemli derecede faz dengesizliği olabilir. Tek fazlı yükler zamana göre ciddi değişiklikler gösterebilirler. %3'ün üstündeki gerilim dengesizlikleri hem evirici tabanlı dağıtılmış üretim sistemlerinde hem de dönen makinelerde sorunlara neden olabilirler.

Ada çalışmaya geçmeden önce kesinti olmuş ise, motor yol alması ve termostatik yüklerin eşzamanlı devreye girmeleri gibi olaylardan dolayı yük talebinde aşırı yükselme meydana gelebilir. Bunu önlemek için yükü kısımlara ayırmak ve motorlara yumuşak yol vermek gibi talep yönetim teknikleri gerekebilir. İzolasyon ve kuru tip aydınlatma trafoları, yeniden enerjilenme durumunda anma akımının 20-25 katına kadar başlangıç akımı talep edebilir. Bu durum aşırı akım korumalarını devreye sokabilir. Ada sisteminin kısa devre gücü daha düşük olduğu için motor yol alması sırasında daha fazla gerilim düşümü olacaktır.

Ada sistemi daha zayıf olduğundan dolayı gerilim dalgalanması, harmonikler vb. güç kalitesi sorunları daha belirgin olacaktır. Faz dengesizlikleri kararlı halde %5-30 arası (faz-faz) ve geçici halde %100'e kadar gerçekleşebilir.

2.2.3. Şebeke gereklilikleri ve planlanması

Dağıtım şebekesinde gerilim kontrolü regülatörler, şönt kapasitörler, yükte kademe değiştiriciler, statik/dinamik var kompanzatörleri, D-STATCOM ve senkron kondenselerler gibi cihazlar ile yapılır. Planlama aşamasında bu cihazların tam bir dökümünün çıkarılması ve hesaba katılması gereklidir.

Ada çalışmada, bir dağıtılmış üretim kaynağı gerilimi düzenlemelidir. Bunun için varsa diğer dağıtılmış üretim kaynakları ve gerilim desteği veren cihazlar ile koordinasyon gerekmektedir. Gerilim regülatörleri, değişen güç akış yönüne uyum göstermelidir.

Evirici tabanlı kaynaklar için, akım kaynağı modu yerine gerilim kaynağı modu seçilmesi ada çalışma için daha uygundur. Bu mod senkron generatöre daha çok benzer ve aktif harmonik bastırılması ile gerilim kontrolü yeteneği sayesinde güç kalitesinin artırılmasına katkıda bulunur.

Ada çalışmada ana dağıtılmış üretim kaynağı salınım barası gibi (izokron kontrol) davranır ve yükten bağımsız olarak frekansı sabit tutar. Diğer dağıtılmış üretim kaynakları ise aktif gücü paylaşarak frekans desteği verirler. Ada sisteminin kararlı frekans aralığında çalışması yük takip kabiliyetine bağlıdır. Dağıtılmış üretim sistemleri frekans düşümüne bağlı yük atma düzenlerine entegre edilmelidir.

Dağıtım sistemleri genellikle dağıtım tarafındaki üretim kaynaklarına uyumlu olarak tasarlanmamıştır. Bu sebepten dolayı dağıtılmış üretim içeren ada sistemlerine uygun şekilde hassaslık, zaman koordinasyonu ve yön ayarlamaları yapılmalıdır. DÜK arıza akımı katkısından dolayı koruma cihazlarının hassaslığı olumsuz etkilenmektedir.

Ada çalışmada ise DÜK kısa devre gücünün şebekeye göre çok düşük olması koordinasyonu bozmaktadır. Bu sebeple ada çalışmada tamamen farklı bir koruma stratejisi gerekmektedir. DÜK kısa devre akımı katkısı tam olarak belirlenmelidir. Evirici tabanlı DÜKlerin arıza akımı, senkron generatörlere göre baz olarak daha azdır. Eğer bir DÜK arıza akımı, hattın anma akımının 1-1,2 katı arasında ise büyük olasılıkla korumada selektivite (koruma koordinasyonu) gerçekleşmeyecektir.

2.2.4. Dağıtılmış üretim gereklilikleri ve planlanması

Ada çalışma önleme içinde yer alan, düşük gerilim ve frekans ayarları, istemli ada çalışma ile ters düştüğünden dolayı değiştirilmesi gerekmektedir. Arıza kaynaklı gerilim çökmesi durumunda devreden çıkaracak olan düşük gerilim koruma ayarlarının değiştirilmesi veya iptal edilmesi uygun olabilir. Ayrıca ani yük değişimlerinden doğan gerilim bozulmalarında da devrede kalması gerekebilmektedir. Düşük gerilimde devrede kalabilme (LVRT) özellikle ana şebekedeki bir arızadan dolayı ayrılma geçiş sürecinde önemlidir.

Ada çalışmada gerilim regülasyonu, gerilim sarkması (droop) veya reaktif güç paylaşımı ile yapılabilir. Sarkma ada sistemine bağlı olacak, reaktif güç paylaşımı ise bir hızlı haberleşme sistemine ihtiyaç duyacaktır.

Gerilim sarkması metodu, reaktif yük arttıkça gerilim azalmasıdır. Gerilim sarkma karakteristiği, reaktif yükü eşit dağıtacak şekilde ayarlanmalıdır. Reaktif güç paylaşımı, her üretim kaynağının reaktif yük durumu bilgisinin diğerleri ile paylaşımını gerektirir. Böylece her kaynak kendi reaktif güç çıkışını ayarlayarak sistemi ortalama değerinde tutar. Bu yöntem hızlı haberleşme ve uygun kapalı çevrim kontrol algoritması gerektirir.

Benzer şekilde; gerilimde olduğu gibi frekans da, sarkma veya aktif güç paylaşımı ile kontrol edilir. Ek olarak izokron kontrol metodu ile bir generatör, salınım generatörü olarak görev yapar. Diğer kaynaklar bunu referans alarak sarkma yapacak şekilde aktif yük üretirler.

2.2.5. İstemli ada sistemine geçiş için sebepler

- Olay sonucu manuel geçiş: Enerji fiyatları işletmecinin öz kaynaklar ile üretimi gerektirmesi, hava muhalefeti/tehdidi sebepli önleyici ada çalışma, sistemde aşırı yüklenme/zorlanma kaynaklı önleyici ada çalışma neden olabilir.
- Olay sonucu otomatik geçiş: Enerji yönetim sistemindeki kontrol mekanizması, enerji fiyatlarından ötürü otomatik olarak öz üretime geçişe karar vermesi, DÜK enerji satışı, ana şebekedeki enerji kesintisi gibi sebeplerdir.
- Programlı Otomatik veya manuel geçiş: Enerji maliyeti tasarrufu, DÜK ile enerji satışı, pik yük döneminde tekrar eden planlı yük atılması sıralanabilir.

2.3. Pratik Uygulamalar

Hâlihazırda yedek güç sistemleri barındıran hastane, datacenter gibi kritik yükler istemli ada çalışmaya örnektir. Ülkemizde elektrik şebekesi güvenilirliğin gelişmiş ülkelere göre daha az olmasından dolayı çoğu ticari ve mesken tüketicilerde yedek güç kaynakları bulunmaktadır. Küçük güçler için dizel motorlu generatörler ve UPS, büyük güçler için ise genelde doğalgaz motorlu sistemleri kullanılmaktadır.

İstemli ada çalışmanın bir önemli uygulama ayağı da mikro şebeke sistemleridir. Bu sistemler sürekli şebekeden bağımsız çalışabilecek şekilde tasarlanır, ancak şebeke bağlantıları ile enerji alışverişi de yapabilirler. Mikro şebeke araştırmaları kapsamında Japonya, ABD, Almanya, Kanada ve Çin gibi birçok ülkede test sistemleri faaliyet

halindedir [25]. Bu sistemlerin çoğu kW ölçeğinde olsa da MW olanlar da bulunmaktadır. Örnek olarak Sendai Projesi(Japonya), Hachinohe Projesi(Japonya), Boston Bar - BC Hydro(Kanada), CERTS Test sistemi(ABD) ve Stutensee Mesken Mikro Şebekesi(Almanya) verilebilir. Bu sistemlerde PV panel, kojenerasyon, hidroelektrik vb. birçok değişik DÜ kaynağı çeşidi mevcuttur. Bugün Texas Üniversitesi Austin Kampüsü, bünyesindeki kojenerasyon tesisi(62 MW) ile mikro şebeke olarak çalışmaktadır. Bağımsız bir araştırma şirketinin yaptığı çalışmaya göre 2018 yılında mikro şebeke gücü 1800 MW'a ulaşacaktır.

Birçok ülkede şebeke güvenilirliğinin artırılması ve kesinti sürelerinin azaltılması için istemli ada sistemleri üzerine doğrudan şebeke işletmecileri tarafından da inceleme çalışmaları yapılmaktadır. 2012'de Hindistan iletim sisteminde meydana gelen büyük kesinti sonrasında kesinti sürelerini azaltmak için İAÇ çözüm olarak önerilmiştir [26]. Danimarka'nın Bornholm adası, 2005 yılında su altı kablosunun zarar görmesi sebebi ile 51 gün elektriksel ada olarak çalışmak zorunda kalmıştır. Rüzgâr türbinleri devreden çıkmış ve üretim sadece bir termik santralden yapılmıştır [27]. 2007 yılında veri toplama ve analiz amaçlı planlı ada çalışması testi yapılmıştır. Tayland Elektrik Otoritesi(PEA), istemli ada çalışma etki değerlendirme çalışmaları sonucunda elde ettiği tecrübeleri bilimsel yayın olarak paylaşmıştır [28]. ABD'nin West Virginia eyaletinde, güvenilirlik sorunları yaşayan 28 km uzunluğundaki 34,5 kV radyal fider için enerji depolama sistemi kurulmuştur [29]. 2 MW güç çıktısı olan sodyum sülfür bataryalar kullanıldı. Sistem hem arıza durumlarında ada moduna geçerek yükleri beslemek hem de şebekeye bağlı çalışırken tepe yük tıraşlama amacı ile tasarlanmıştır. 2009 yılında yapılan ada çalışma testinde, fider 30 dakika boyunca bataryadan beslenmiştir.

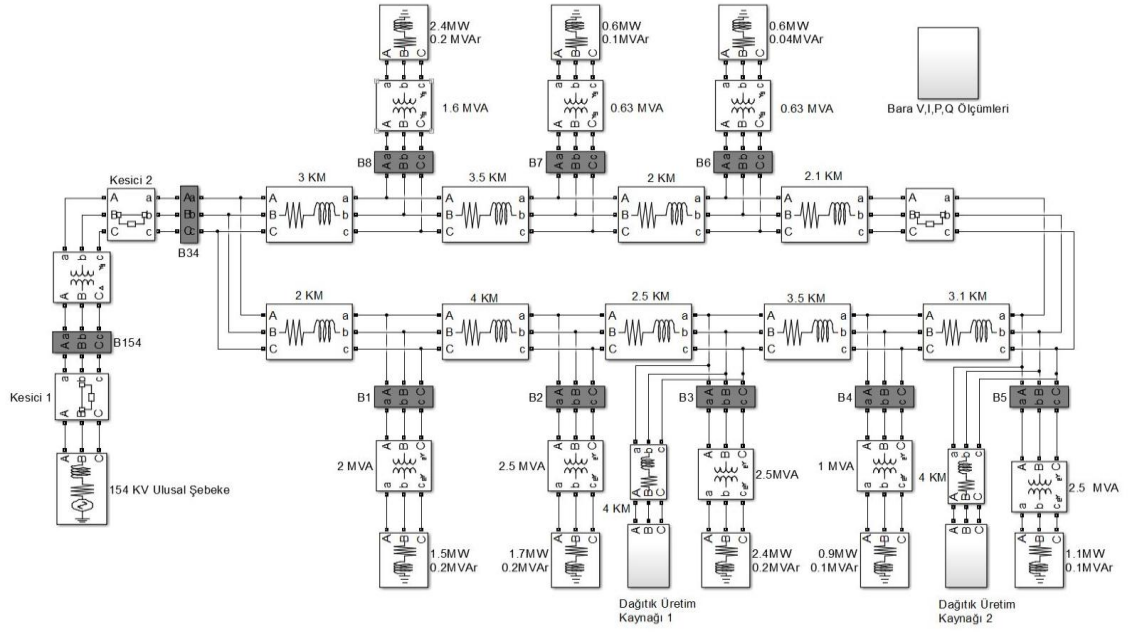
3. ÖRNEK BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde İAÇ, bir örnek benzetim çalışması üzerinde gösterilecektir. Matlab/Simulink programı bünyesindeki Simpowersystems araç kitindeki bloklar kullanılarak şebeke ve DÜ kaynakları modellenmiş ve çeşitli çalışma senaryolarında analizler yapılmıştır. Ayrıca ada çalışmayı iyileştirmek amacı ile kontrol mekanizması modelleri de bu bölümde modellenmiştir. Bu mekanizmalar mevcut modeller üzerinde denenmiştir. Bu benzetim çalışma sonucunda elde edilen gerilim ve frekans verileri son kısımda yorumlanmaktadır.

3.1. Simulink ile Modelleme

3.1.1. Şebeke modeli

Simulink üzerinde yapılan benzetim çalışmasında Şekil 3.1’de gösterilen Fethiye trafo merkezine (TM) bağlı olan dağıtım şebekesinin bir parçası esas alınmıştır [30]. Kısa devre gücü 1100 MVA olan 154 KV’luk şebekeye bağlı güç transformatörü gerilimi 34,5 KV orta gerilim dağıtım seviyesine düşürmektedir. Şebeke üzerindeki dağıtım transformatörleri ise gerilimi 400 V seviyesine indirerek yükleri beslemektedir. Şebekedeki toplam 26 km XLPE kablo seri RL modeli ile temsil edilmiştir. Kablonun kilometre başına direnci 0,098 ohm, endüktansı ise 0,369 mH’dir. Bağlı olan toplam yük güçleri 11,2 MW ile 1,2 MVAR’dır. Ayrı bağlantı noktaları üzerinden iki adet dağıtılmış üretim kaynağı bulunmaktadır. Kaynaklar yükseltici transformatörler ile 34,5 KV seviyesinden bağlanırlar. Ülkemizde genellikle güç akşının tek yönlü olması amacı ile dağıtım şebekeleri açık halka olarak işletilir. Ancak burada İAÇ sistemleri gösterilmek istendiğinden dolayı, bu çalışmaya uygun şekilde kapalı halka tercih edilmiştir. Son olarak, ölçüm blokları ile DÜ kaynaklarından ve hat üzerindeki bağlantı noktalarından gerilim, akım, aktif ve reaktif güç değerleri analiz amaçlı kaydedilir.

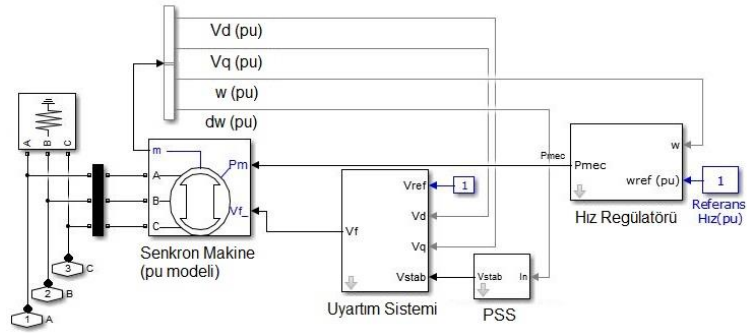


Şekil 3.1. Fethiye TM fideri modeli

3.1.2. Dağıtılmış üretim modelleri

3.1.2.1. Senkron generatör

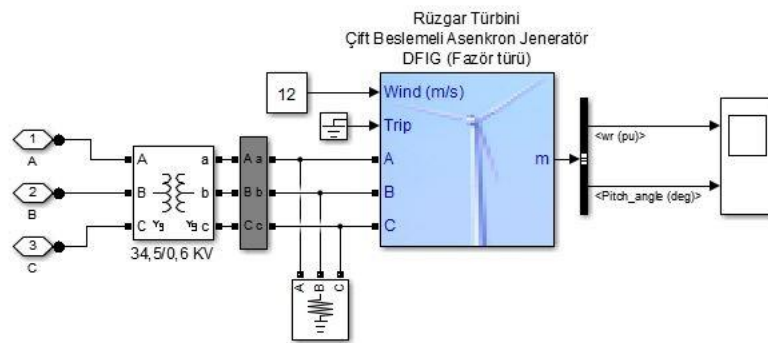
İlk olarak ısının harekete dönüştüğü, hız ve uyarım regülatörü olan geleneksel senkron generatör(SG) tipi kullanılmıştır. Bu tür DÜK'ler genelde sanayi tesislerinde kojenerasyon veya elektrik satışı amaçlı sıklıkla kullanılırlar. Bu DÜK modeli için Simpowersystems araç kiti üzerindeki pu senkron makine modeli ile birlikte gerilim kontrolü için uyarım denetleyicisi ve frekansı sabit tutmak için hız denetleyicisinden faydalanılmıştır. Ayrıca PSS bloğu sayesinde rotor hızı salınımları azaltılır. Pu modelleri ile bloklar istenilen güç ölçeğinde kolayca kullanılabilir [31]. SG gerilim çıkışı 6,3 KV olup yükseltici trafolar ile 34,5 KV sisteme bağlanırlar. SG modeli blokları Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Detaylı sistem parametreleri Ek A'da incelenebilir.



Şekil 3.2. Simulink senkron generatör modeli

3.1.2.2. Çift beslemeli asenkron generatör

İkinci olarak yenilenebilir enerji kaynaklı DÜK'leri temsilen çift beslemeli asenkron generatör(DFIG) rüzgâr türbini tarlası seçilmiştir. Rotorunun frekans dönüştürücü üzerinden değişken frekans ile beslenmesi sayesinde farklı rüzgâr hızlarında bile optimum güç ve gerilim çıktısı oluşur. Simpowersystems araç kiti ile en hızlı çözümü yapması ve daha gelişmiş kontrol seçenekleri olması sebebi ile DFIG fazör modeli seçilmiştir [32]. Kaynak şeması Şekil 3.3'te görülmektedir. Her kaynak 1 MW'lık türbinlerden oluşur ve 0,9 güç faktörüne kadar çalışabilmektedir. Anma gücünde çalışma için rüzgâr hızı 12 m/s olmalıdır. Kaynakları tam güç çıktısına yakın çalışmasına elverişli rüzgâr akışı olduğu kabul edilmiştir. Detaylı sistem parametreleri ve türbin güç karakteristiği Ek B'de incelenebilir.



Şekil 3.3. Simulink rüzgâr türbini fazör modeli

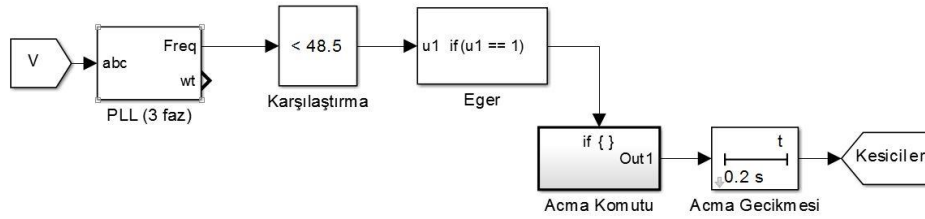
İki kaynak tipinin ortak kullanılacağı benzetim durumu için DFIG ortalama modeli kullanılmıştır [33]. Bunun sebebi SG modelinin ayrık işaret modeli olması ve fazör çözümü ile çalışmamasıdır. Fazör verileri ile çok daha hızlı işlem yapılabilmesine rağmen benzetim sisteminde ölçüm blokları dâhil olmak üzere tamamen fazör modeli

bloklarının kullanılması gerekir. DFIG ortalama ayrık sistem modeli Ek C’de verilmiştir. Her iki tipte de harmonik üretimi ihmal edilmiştir.

3.1.3. Kontrol modelleri

3.1.3.1. Yük atma mekanizması

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere İAÇ sisteminin sağlıklı çalışması için bazı ek kontrol düzeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan ilki yük atma mekanizmasıdır. İAÇ sırasında DÜ kaynaklarından birinin devre dışı kalması veya üretimin yetersiz kalması durumunda aktif güç dengesini yeniden oluşturmak amacı ile bazı yüklerin devre dışı bırakılması gerekecektir. Bu amaçla basit bir yük atma sistemi SIMULINK kontrol blokları ile oluşturulmuştur. Sistemin blok şeması Şekil 3.4’te verilmiştir.



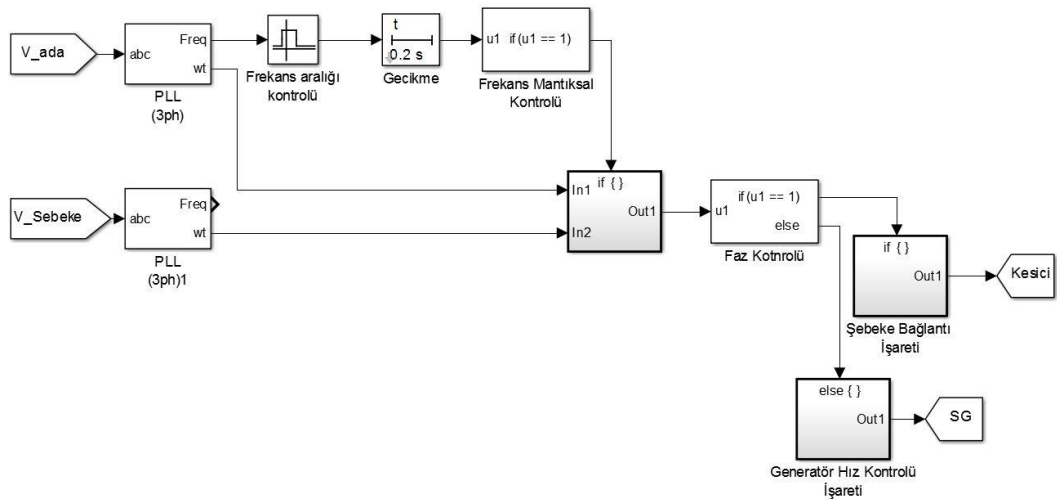
Şekil 3.4. Basit yük atma mekanizması modeli

Aktif güç dengesinin en önemli göstergesi sistem frekans olduğundan dolayı öncelikle frekansı ölçmek gerekecektir. Bu amaç ile faz kilitleli döngü(Phase Locked Loop-PLL) bloğu kullanılmıştır [34]. Kısaca bu blok Park dönüşümü metodu ile giriş işaretinin frekansını ve faz açısını hesaplar(PLL bloğu hakkında detaylı bilgi Ek D’de bulunabilir). Sonrasında, ölçülen frekansın belirli bir değerin altına indiğinde çıkışına mantıksal 1 işaretini veren karşılaştırıcı bloğu bulunmaktadır. Klasik röle yapısında da bulunan zaman gecikmesi bloğu, bu işaretin belirli bir süre içinde sürekli gelmesi sonucunda devam etmeye izin verir. Giriş koşulu anlık olarak sağlansa bile, belirlenen süre zarfında değişmesi durumunda çıkış olumlu(1) olmaz. Normalde çıktısı “1” olan bu sistem, frekans koşulları sağlandıktan sonra kesicilere kapanmayı belirtmek için sıfıra dönüşür. Simulink’teki kesicilerin harici anahtarlama işareti girişleri bunu gerektirir. Gerçek hayatta kesicilere bu işaretin iletilmesi için güvenilir bir haberleşme sistemi de gerekecektir. Ancak bu sistem tezin konusu dışında olması ve benzetimde gereksinim olmadığı için “from” ve “goto” blokları yeterli olmuştur. Bu haliyle tek kademe yük

atma mümkün olsa da, daha fazla frekans eşikleri eklenerek çok kademeli yük atma uygulanabilir. Bunun için mevcut basit düzeneğin istenildiği sayıda kopyalanması ve çıkışın ilgili kesicilere bağlanması yeterlidir.

3.1.3.2. Senkronizasyon mekanizması

İkinci kontrol düzeneği ise şebekeyi senkronizasyonunu sağlamak amacı ile oluşturuldu. Şebekeye tekrar bağlanmak için ada sisteminin frekansı ve faz açısının şebeke değerlerine çok yakın olması gerekir. Ada sistemindeki frekansı DÜ kaynakları belirlediğinden dolayı, uyumsuzluk durumunda DÜ frekans denetleyicilerine gerekli komutların gönderilmesi lazımdır. Oluşturulan senkronizasyon mekanizması, 154/34,5 kV trafo merkezinde her iki taraftan ölçümleri alır ve gerekli senkronlama komutlarını yapar. Ada sistemi frekansı için B34, şebeke frekansı için ise B154 noktasından ölçümler alınır. Kurulan mekanizmanın blok şeması Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Senkronizasyon mekanizması modeli

Yine burada da frekansı ve fazı ölçmek için PLL bloklarından faydalanılır. Öncelikle ada sistemi frekansının sürekli olarak güvenilir aralıkta olup olmadığı belirlenir. Sonrasında şebeke ve ada sistemi arasındaki faz farkı ölçülür. Eğer faz farkı belirlenen eşik üstünde ise, senkron generatör hız denetleyicisine çok kısa süreli ve geçici yavaşlama komutu yollanır. Böylece, ada sistemi gerilim faz açısının şebekeninkini yaklaşması sağlanır. Faz farkı birkaç derecenin altında ise şebeke bağlantı kesicisine

kapama işareti yollanır. Böylece şebeke bağlantısı sırasındaki geçici hal hareketleri kabul edilebilir aralıkta kalır ve kısa sürede sönümlenir.

3.2. Analiz Çalışması

Şebeke modelinde görüldüğü üzere bağlanmış halde iki adet DÜ kaynağı bulunmaktadır. DÜ kaynaklarının değişik karakteristiklerini karşılaştırmak amacı ile iki DÜ kaynağı türünden üç farklı ikili kombinasyon kullanılmıştır. İki kaynak tipi seçilirken aktif ve reaktif güç talebine göre esneklikleri esas alındı. Bu 3 kombinasyonun örnek test şebekesi üzerinde İAÇ'ye geçiş ve İAÇ sırasındaki davranışlarının yanı sıra, birbirleri ile olan etkileşimleri de gözlemlenecektir. Sonrasında senkronizasyon ve yük atma durumları gösterilmiştir. Böylece toplamda 5 farklı çalışma senaryosunun bilgisayar ortamında benzetimi yapılmıştır. Her senaryoda kullanılan DÜ tipleri ve güçleri Tablo 3.1'de görülebilir.

Tablo 3.1. Çeşitli benzetim senaryolarında kullanılan kaynakların özellikleri

	DÜ-1 (B3)	Güç	DÜ-2 (B5)	Güç
Senaryo 1	SG	8 MVA	SG	6 MVA
Senaryo 2	DFIG (Fazör)	8 MW (GF=0,9)	DFIG (Fazör)	5 MW (GF=0,9)
Senaryo 3	SG	8 MVA	DFIG (Ayrık)	6 MW (GF=0,9)
Senaryo 4	SG	8 MVA	DFIG (Ayrık)	6 MW
Senaryo 5	SG	8 MVA	SG	6 MVA

Tüm benzetimlerde model sistemin başlangıçta kararlı hale ulaşması için bir süre çalıştırılmıştır. İlk 3 senaryoda, benzetim şebekeye bağlı olarak başlatılmıştır. Sonrasında 154 KV ulusal şebeke bağlantısını kesmek sureti ile İAÇ'ye geçirilmiştir. Böylece ada çalışmaya geçiş sırasındaki geçici hal durumları ve sistem kararlı hale oturuncaya kadar gerilim gibi önemli parametreler gözlemlenir. Senaryo 4 ve 5'te ise benzetimler doğrudan ada çalışmada başlatılmaktadır. 4. senaryoda, DFIG devre dışı bırakılarak yük atma mekanizması test edilmiştir. Rüzgâr hızı uygun çalışma aralığının dışına çıktığında rüzgâr türbinlerinin devre dışı kalması olası bir durumdur. Üretimin yaklaşık yarısı kaybolduğundan dolayı dengenin yeniden oluşması için yüklerin de yarısı devre dışı bırakılmıştır. Gerilim düşümü ve kayıplar göz önünde bulundurularak mesafe olarak uzak olan yükler öncelikli olarak atılmıştır. Son olarak 5. senaryoda senkronizasyon mekanizması test edildiğinden dolayı, şebekeye tekrar bağlanma söz konusudur. Analiz çalışmasının çıktıları Bölüm 4.3'te bulunmaktadır.

3.3. Analiz Çıktıları

Bu bölümde benzetimi yapılan çeşitli senaryoların veri çıktıları sunulmaktadır. Veri karmaşasını önlemek için sadece DÜ kaynakları ve B7 bağlantı noktasındaki ölçümler grafik ile gösterilmiştir. Gerilim grafikleri pu olarak verilmiş ve gerilim temel değeri 34,5 kV'tur. Diğer bağlantı noktalarında ölçümler tablo şeklinde verilecektir. Bu büyüklüklerin dalga şekli değişimi aynı olmakla beraber yalnızca değer olarak ufak farklar göstermektedir.

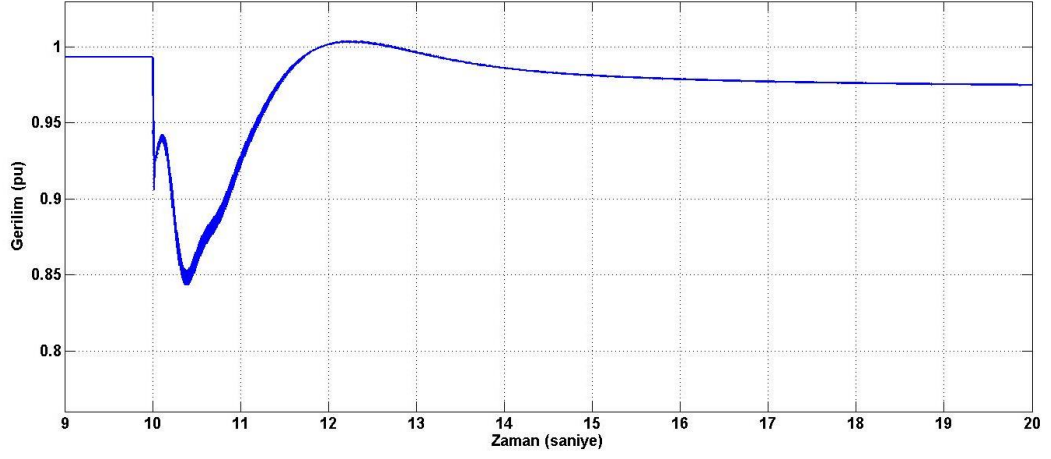
3.3.1. Senaryo 1: 2 SG

Bu senaryoda şebeke bağlantısı 10. Saniyede kesilmiştir ve sistem kararlı hale 20. saniyede ulaşılmıştır. Dağıtım hattı bağlantı noktalarından ölçülen gerilim(V), aktif(P) ve reaktif(Q) gücün İAÇ öncesi ve sonrası değerleri Tablo 3.2'de görülebilir.

Tablo 3.2. 1. senaryoda bağlantı noktalarından ölçülen değerler

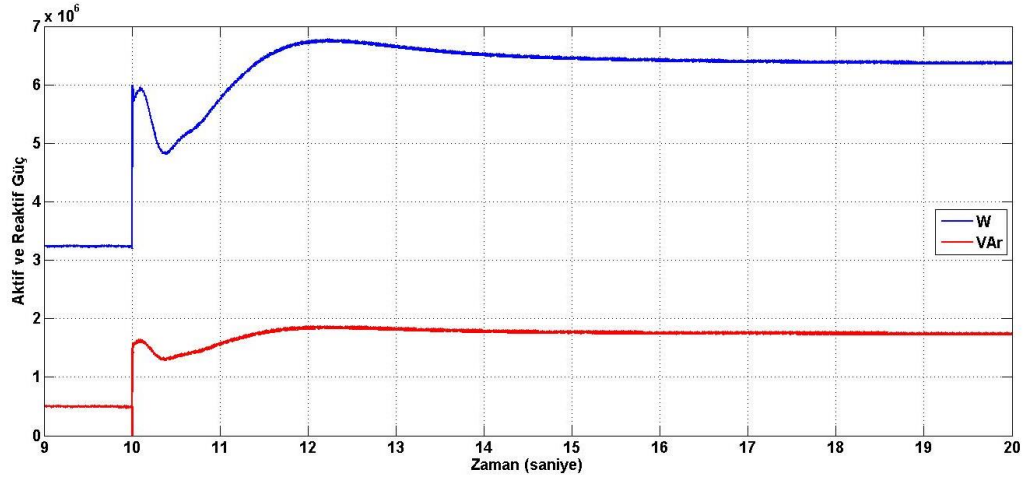
	Şebekeye Bağlı Durum			İAÇ Durumu		
	V (kV)	P (MW)	Q (MVA _r)	V (kV)	P (MW)	Q (MVA _r)
B1	34,29	1,403	0,302	33,58	1,347	0,288
B2	34,27	1,6	0,309	33,61	1,542	0,295
B3	34,27	2,222	0,415	33,64	2,145	0,398
B4	34,27	0,839	0,174	33,63	0,804	0,166
B5	34,27	1,057	0,152	33,63	1,022	0,144
B6	34,27	0,563	0,079	33,61	0,542	0,076
B7	34,27	0,555	0,132	33,6	0,534	0,127
B8	34,28	2,373	0,268	33,58	2,285	0,252

B7 bağlantı noktasındaki gerilim etkin değerinin zamana göre değişimi Şekil 3.6'da verilmiştir. Geçiş esnasında bu noktadan ölçülen gerilim yaklaşık yarım saniye boyunca %10 sınırının altına inmiştir.



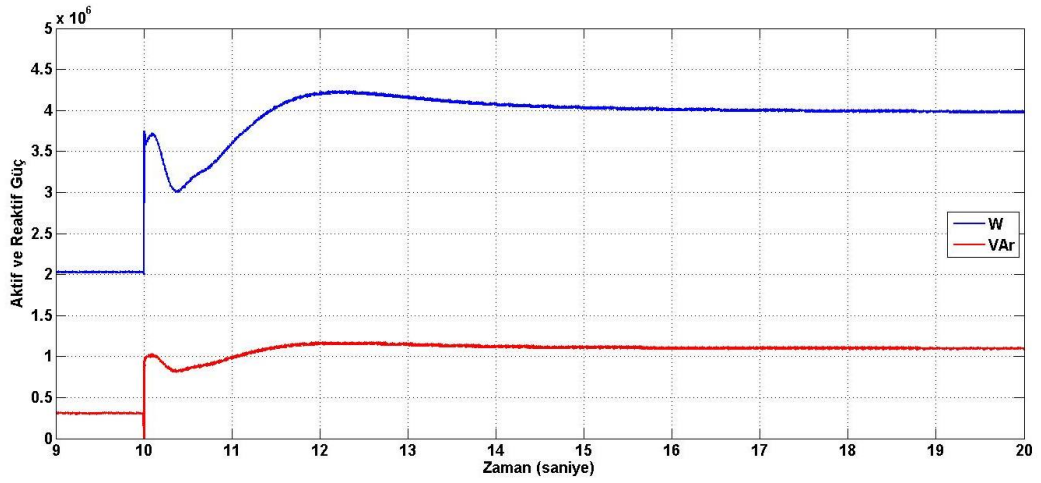
Şekil 3.6. 1. senaryoda B7 noktasındaki gerilimin değişimi

Birinci DÜ kaynağının aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 3.7’de bulunmaktadır.



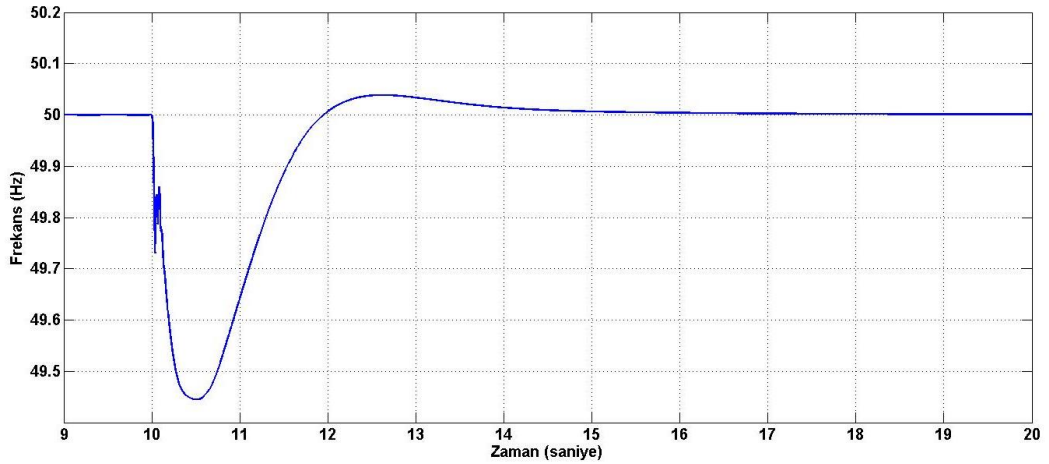
Şekil 3.7. 1. senaryoda DÜ-1 için aktif ve reaktif gücün zamana değişimi

İkinci DÜ kaynağının aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 3.8’de bulunmaktadır.



Şekil 3.8. 1. senaryoda DÜ-2 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi

Sistem frekans değişimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Geçiş durumundaki frekans düşümü kabul edilebilir değerlerin üstündedir. Bu düşüş miktarı kaynağın birim zamanda üretimi ne kadar artırabileceğine ve toplamda üzerine ne kadar yük alması gerektiğine bağlıdır.



Şekil 3.9. 1. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi

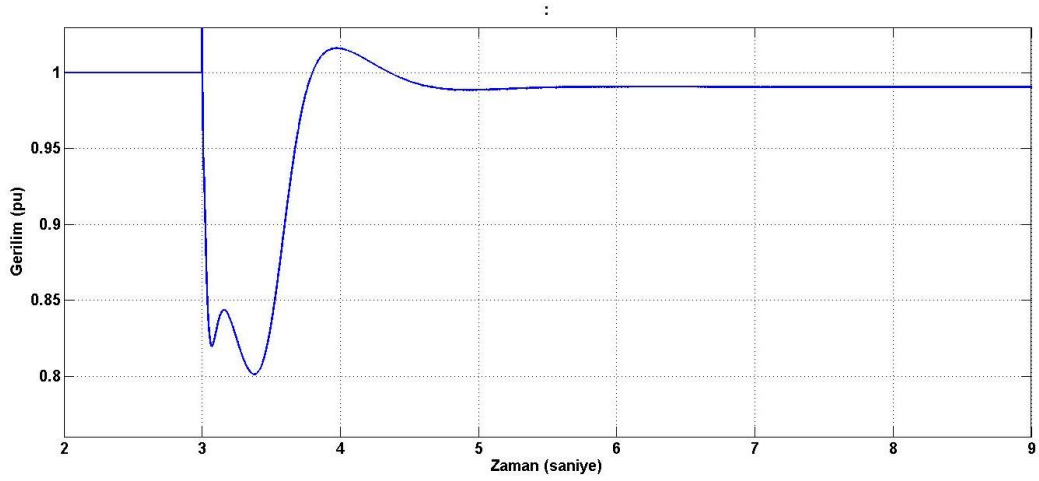
3.3.2. Senaryo 2: 2 DFIG

Ada çalışmaya geçiş 3. Saniyede olmuştur. Dağıtım hattı bağlantı noktalarından ölçülen gerilim, aktif ve reaktif gücün İAÇ öncesi ve sonrası değerleri Tablo 3.3'te görülebilir.

Tablo 3.3. 2. senaryoda bağlantı noktalarından ölçülen değerler

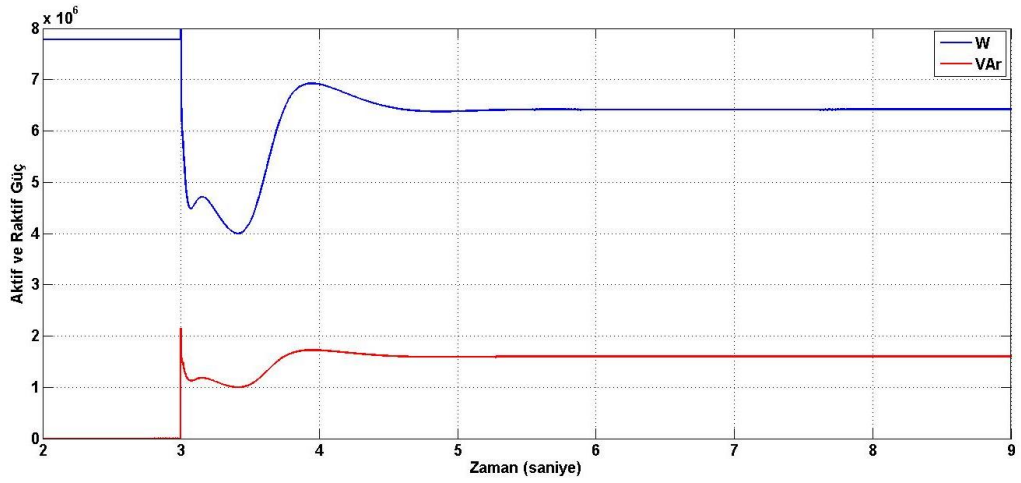
	Şebekeye Bağlı Durum			İAÇ Durumu		
	V (kV)	P (MW)	Q (MVar)	V (kV)	P (MW)	Q (MVar)
B1	34,49	1,42	0,305	33,69	1,355	0,291
B2	34,51	1,624	0,312	33,72	1,551	0,298
B3	34,53	2,259	0,421	33,75	2,157	0,402
B4	34,52	0,846	0,176	33,74	0,808	0,168
B5	34,53	1,076	0,153	33,74	1,027	0,146
B6	34,51	0,571	0,08	33,72	0,543	0,0763
B7	34,5	0,563	0,134	33,71	0,538	0,128
B8	34,49	2,157	0,516	33,69	2,059	0,493

B7 bağlantı noktasındaki gerilim etkin değerinin zamana göre değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Geçiş sırasında gerilimin düşümünün daha fazla olduğu görülebilir.



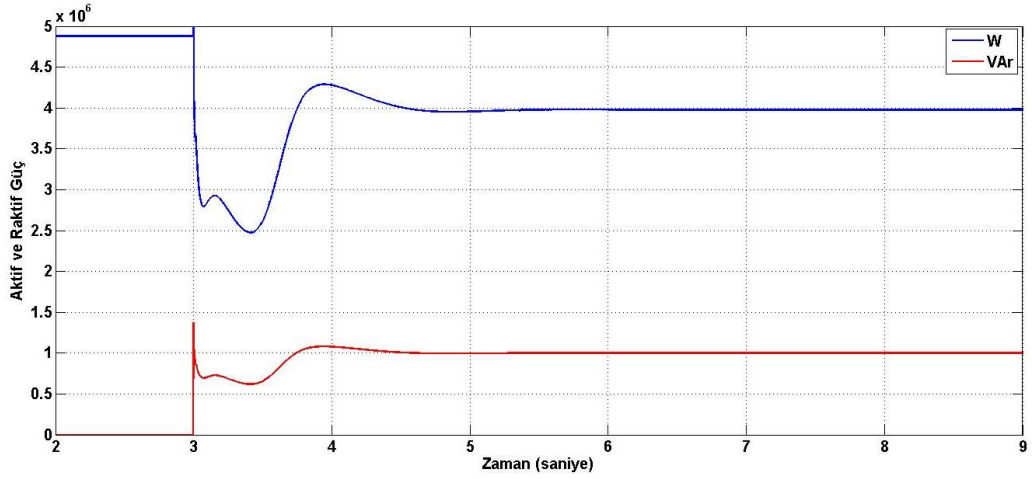
Şekil 3.10. 2. senaryoda B7 noktasındaki gerilimin değişimi

Birinci DÜ kaynağının aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 3.11'de bulunmaktadır.



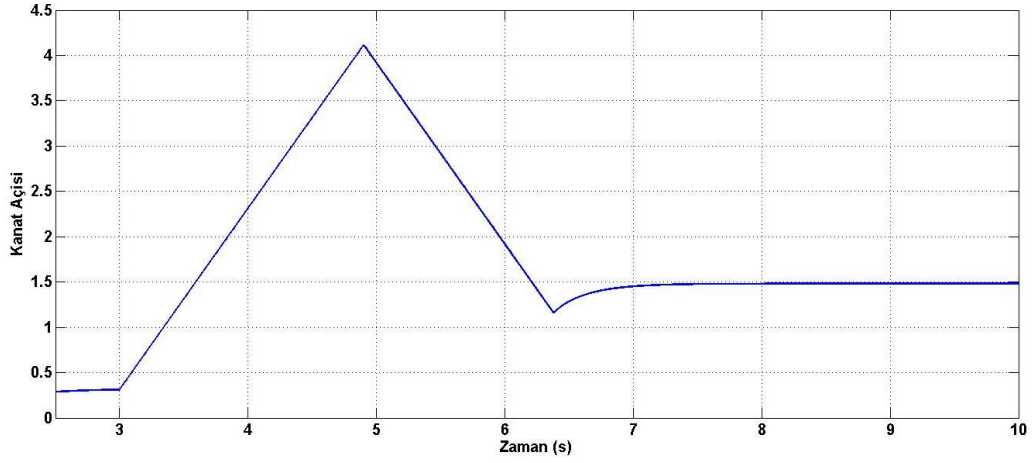
Şekil 3.11. 2. senaryoda DÜ-1 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi

İkinci DÜ kaynağının aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 3.12'de bulunmaktadır.



Şekil 3.12. 2. senaryoda DÜ-2 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi

Şebekeye bağlı iken DFIG'ler üretebildiği en fazla gücü üretmektedir. Ada moduna geçtikten sonra enerji fazlası ihraç edilemediği için kanat açısını ayarlanıp aktif güç üretimi düşürülmektedir. Türbinleri kanat açısının değişimi Şekil 3.13'te verilmiştir. Ayrıca ada moduna geçtikten sonra gerilim kontrolü gerektiği için iki kaynakta reaktif güç üretimini artırır.



Şekil 3.13. Türbin kanat açısının derece cinsinden değişimi

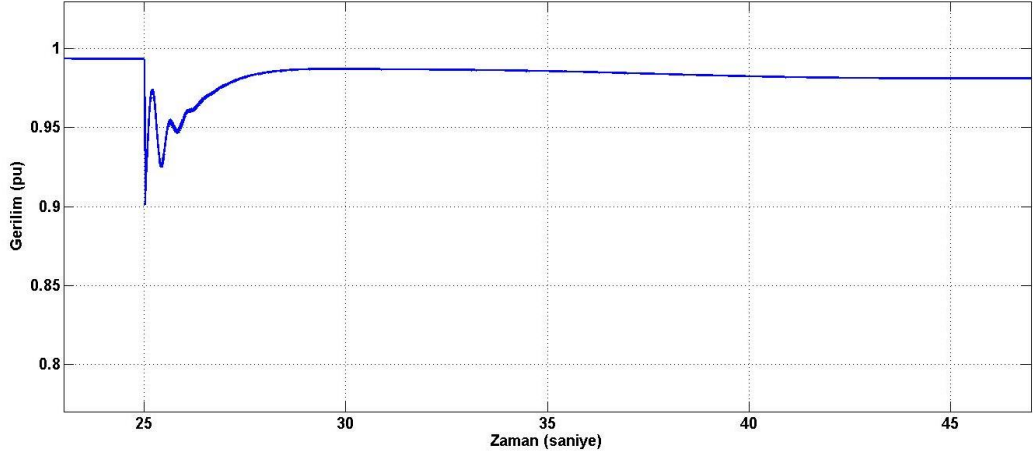
3.3.3. Senaryo 3: SG + DFIG

Dağıtım hattı bağlantı noktalarından ölçülen gerilim, aktif ve reaktif gücün İAÇ öncesi ve sonrası değerleri Tablo 3.4’te görülebilir.

Tablo 3.4. 3. senaryoda bağlantı noktalarından ölçülen değerler

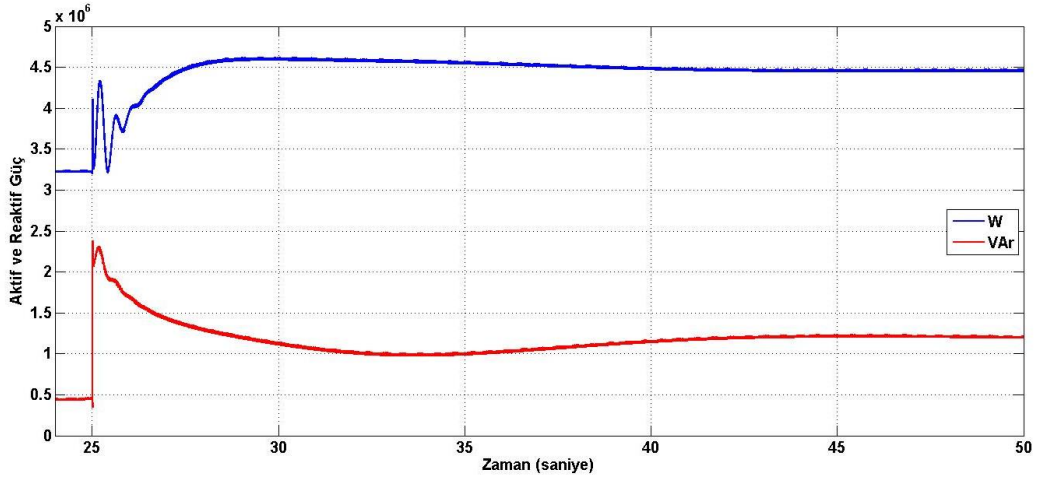
	Şebekeye Bağlı Durum			İAÇ Durumu		
	V (kV)	P (MW)	Q (MVar)	V (kV)	P (MW)	Q (MVar)
B1	34,26	1,402	0,301	33,84	1,367	0,294
B2	34,26	1,601	0,309	33,86	1,564	0,301
B3	34,27	2,225	0,416	33,88	2,175	0,406
B4	34,28	0,834	0,174	33,89	0,816	0,170
B5	34,3	1,061	0,152	33,91	1,038	0,148
B6	34,29	0,564	0,079	33,88	0,551	0,077
B7	34,28	0,556	0,132	33,87	0,542	0,129
B8	34,27	2,377	0,269	33,84	2,318	0,259

B7 bağlantı noktasındaki gerilim etkin değerinin zamana göre değişimi Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.14. 3. senaryoda B7 noktasındaki gerilimin değişimi

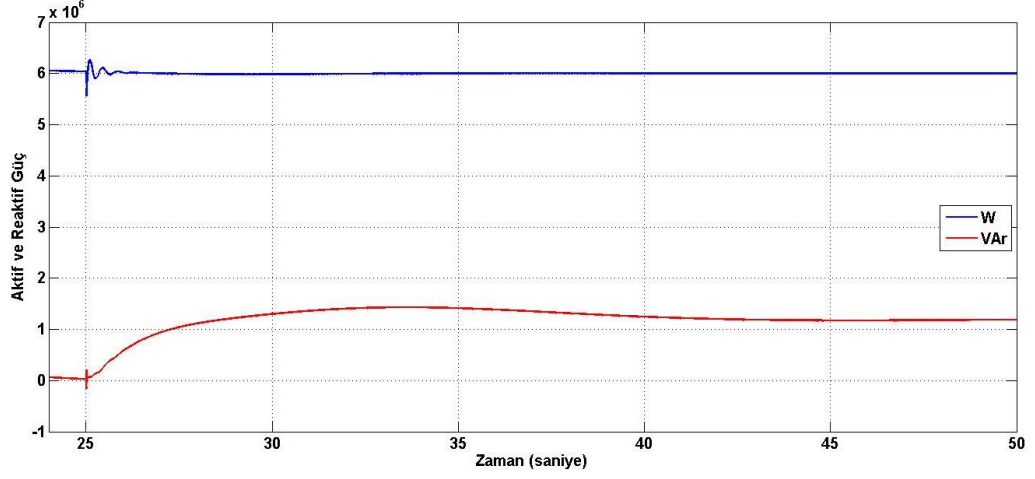
Birinci DÜ kaynağının aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 3.15’te bulunmaktadır.



Şekil 3.15. 3. senaryoda DÜ-1 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi

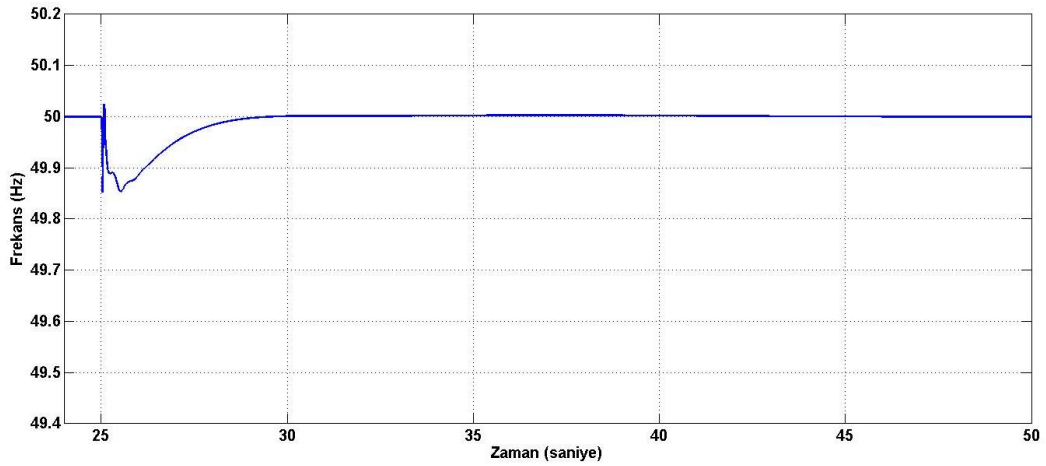
İkinci DÜ kaynağının aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 3.16’da bulunmaktadır. DFIG geçiş sonrasında da üretimini en üst seviyede tutarken, SG yalnızca aradaki farkı

kapatacak kadar üretimini arttırmıştır. Bu durum, yarı iletken ara yüzü ile döner makine yapısı arasındaki farktan kaynaklanır.



Şekil 3.16. 3. senaryoda DÜ-2 için aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi

Sistem frekans değişimi Şekil 3.17'de gösterilmiştir. İki kaynak tipi arasındaki olumlu etkileşim geçiş esnasındaki frekans düşümüne de yansımıştır ve düşüş 0,1 Hz ile sınırlı kalmıştır.

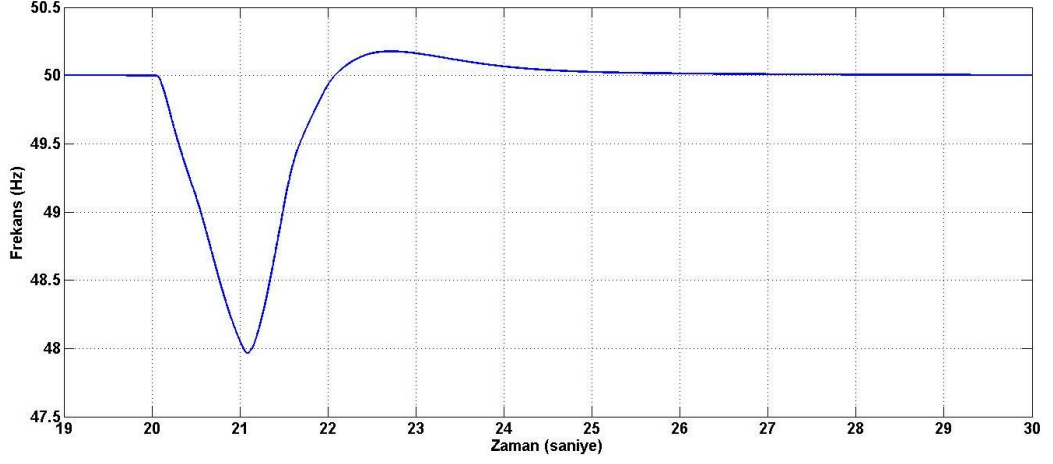


Şekil 3.17. 3. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi

3.3.4. Senaryo 4: yük atma

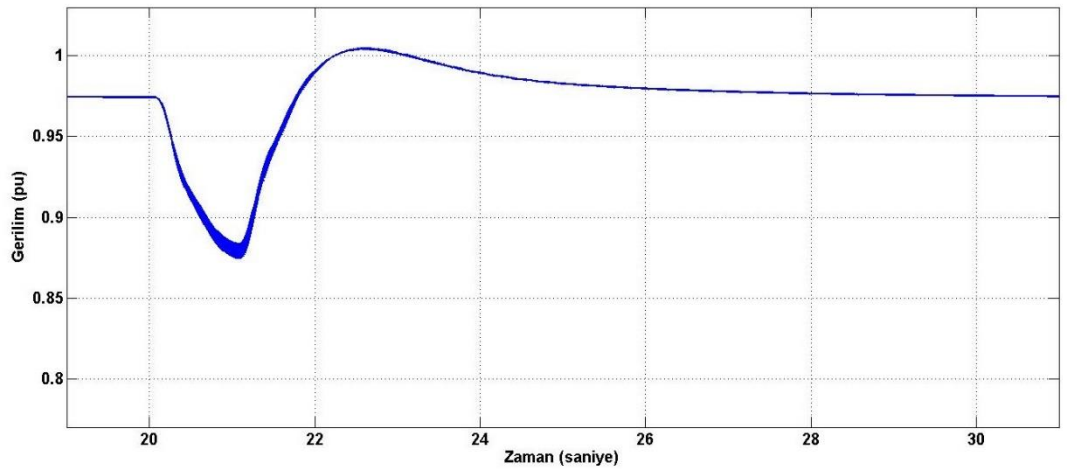
İkinci DÜ kaynağının 20. Saniyede devre dışı kalması sonrasında ada sistemi frekansındaki değişim Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Aktif güç talebinin arzdan fazla olması sebebi ile frekans düşüşe geçmektedir. Yük atma mekanizması tarafından B8,

B7, B6, B5 ve B4 bağlantı noktasındaki toplam 5,6 MW yük devre dışı bırakılmıştır. Böylece üretim ve tüketim dengesinin tekrar oluştuğu görülebilir.



Şekil 3.18. 4. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi

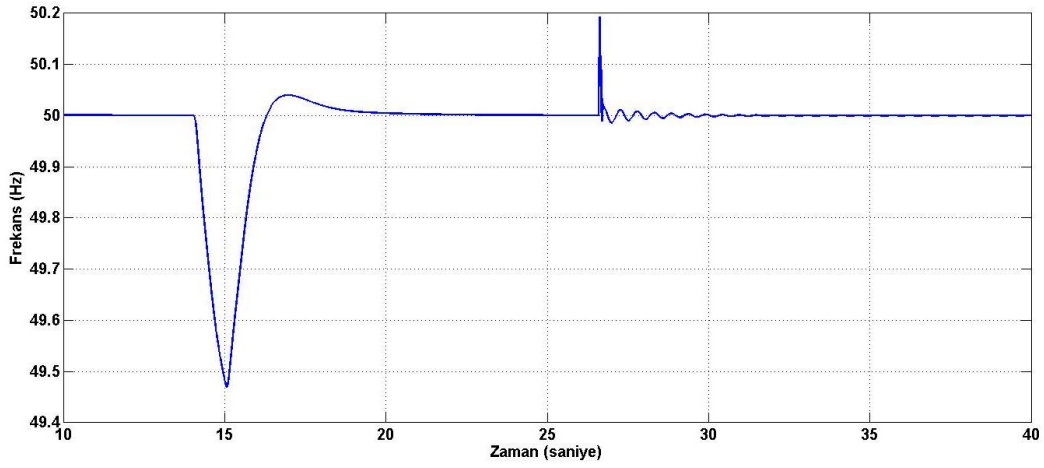
Birinci DÜ kaynağının bağlantı noktası olan B3'teki gerilim değişimi Şekil 3.19'da görülebilir. Frekans normal değerine dönene kadar gerilimde kabul edilebilir bir düşüş gözlemlenmiştir. Hıza bağlı olan bu gerilim düşüşü, SG uyarı sisteminden kaynaklanmaktadır. Klasik olarak uyarım için gerekli olan doğru akım, aynı rotora bağlı olan şönt DC makine tarafından sağlanır. DC makine gerilim çıkışı rotor hızına bağlı olduğundan dolayı, hızdaki düşüşler önce rotor sargıları geriliminde sonra da uyarı akımında düşüşe neden olur. Uyarı akımının zayıflaması ise doğrudan SG çıkış gerilimine yansır.



Şekil 3.19. 4. senaryoda B3 bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi

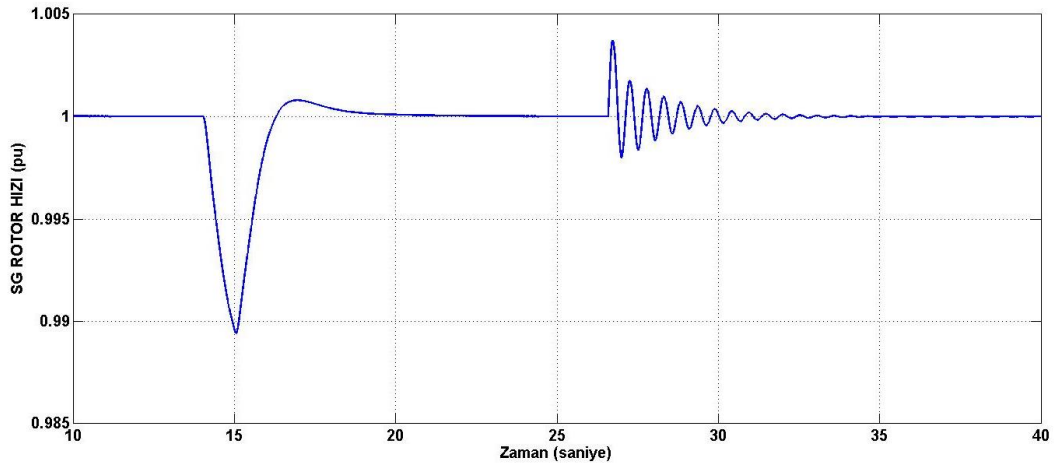
3.3.5. Senaryo 5: Senkronizasyon

Kurulan senkronizasyon mekanizmasını test etmek için kararlı bir ada sisteminde devreye alınmıştır. Frekansın değişimi Şekil 3.20’de görülmektedir. Şebeke ile frekanslar eşit olmasına rağmen yaklaşık 180 derece faz farkı bulunmaktadır. Bunu düzeltilmesi için 14. saniyede SG hız kontrolüne biraz yavaşlaması yönünde işaret yollanmıştır. Faz farkı ayarlanan 6 derece sınırına indikten sonra kesici kapatılarak 26. saniye civarında şebekeye bağlanıldı. Sınırlı geçici hal hareketleri oluşsa da kısa sürede sönümlenmiştir.



Şekil 3.20. 5. senaryoda sistem frekansının zamana göre değişimi

Şebekeye yeniden bağlanma sürecinde birinci kaynağın rotor hızı grafiği Şekil 3.21’de görülmektedir. Bağlanma anındaki rotor hızı salınımı en fazla $\pm 0,003$ pu civarındadır.



Şekil 3.21. 5. senaryoda DÜ-1 rotor hızının zamana göre değişimi

3.4. Yorumlar

Genel olarak bakıldığında, tüm senaryolarda geçişler büyük ölçüde kabul edilebilir sınırlar içerisinde olmuş ve sonrasında kararlı bir istemli ada sistemi oluşmuştur. DFIG'nin yarı iletken barındıran yapısı daha hızlı tepki vermesini sağlasa da toplam reaktif güç desteği SG'ye göre daha azdır. Temelde asenkron generatör olan DFIG, tıpkı asenkron motorda olduğu gibi işletme alanındaki ek harici reaktif güç kaynaklarına ihtiyaç duyar. Bu sebeple geçiş sırasındaki en fazla gerilim düşümü yalnızca DFIG olan ikinci senaryoda yaşanmıştır. Bu gerilim düşümü $\pm\%10$ sınırının altında kaldığı için gerçek bir sistemde düşük gerilim korumaları devreye girebilir. Yapılan analizlerde, unutulmaması gereken nokta DFIG rüzgâr çiftliği modeli içinde reaktif güç desteği vermek ve gerilimi düzenlemek için bir yapı bulunmasıdır. Karşılaştırma yapıldığında üç senaryo içinden iki kaynak tipinin karma olarak kullanıldığı 3. senaryo en olumlu olanı gözükmektedir. DFIG'nin hızlı tepkisi SG'ye katkıda bulunmuş ve aynı zamanda geçiş sürecindeki gerilim ile frekans düşümü çok daha azaltılmıştır.

Tüm bağlantı noktalarından yapılan ölçümlerde İAÇ durumundaki gerilimler şebekeye kıyasla daha düşük (0,99-0,97 pu) gözlemlenmiştir. Bu gerilim düşümüne bağlı olarak yüklerin güç talebinde de bir azalma söz konusudur. Gerilim seviyesindeki bu ufak fark kaynakların gerilim denetleme hassasiyeti ve yükseltici trafoların üzerindeki gerilim düşümüne bağlanabilir.

Yük atma olayının gerçekleştiği 4. Senaryoda frekans alt eşiği olarak ülkemiz şebeke yönetmeliklerine bakılarak 48,5 Hz seçilmiştir. Sistem yük atma kararını verene kadar frekansın 48 Hz'e indiği görülmektedir. %4'e denk gelen bu kısa süreli düşüş makul seviyededir. Ada sisteminin ataleti ve rezervleri göz önünde bulundurularak frekans eşiği ayarlamalar yapılabilir.

Şebekeye tekrar bağlanma senaryosunda ada ve şebeke arasındaki gerilim faz farkı azaltıldıktan sonra bile oluşan salınımlar, dönen makine yapılı ve doğrudan bağlantılı DÜ kaynakları için senkronizasyon hassasiyetinin önemini göstermektedir. Yarı iletken bağlantı ara yüzü olan kaynaklar da kısmi olarak esneklik söz konusudur. Fotovoltaik paneller gibi hiç hareketli parça içermeyen yarı iletken tabanlı kaynaklar

için ise senkronizasyon çok daha basittir. Bu tür kaynakların çıkışlarındaki dalga şeklini anahtarlama kontrolü ile anlık olarak değiştirebilir.

Son olarak, hem yük atma hem de tekrar bağlanma mekanizmalarının doğru çalışması güvenilir haberleşme sisteminin varlığına bağlıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının amacı dağıtılmış üretim kaynakları barındıran elektrik dağıtım sistemlerinde istemli ada çalışma durumunu incelemektir. Öncelikle, DÜ kaynaklarının şebeke ile daha iyi bütünleşmesi için gerekli olan yaklaşımlar araştırılmıştır. Bu konuda dünyadaki önemli standartlar ve ülkemizdeki yönetmelikler özetlenmiştir. İstemli ada çalışma hakkındaki en önemli kaynaklardan olan IEEE 1547.4 standardı ise detaylı olarak sunulmuştur.

Simulink yazılımı üzerinde çeşitli modelleme ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Ada çalışma için doğalgaz kaynaklı SG ve rüzgâr kaynaklı DFIG olmak üzere iki kaynak tipi modellenmiştir. Ayrıca yük atma ve senkronizasyon modelleri oluşturulmuştur. Benzetim kısmında önce kaynakların test şebekesine bağlı çalışma şekliyle ada çalışmaya geçişi ve sonrasındaki geçici hal durumları 3 çalışma senaryosu üzerinde incelenmiştir. Sonrasında ada çalışma sırasında yük atma uygulaması yapılmıştır ve şebekeye tekrar bağlantı için DÜ kaynakları senkronize edilmiştir.

Bilgisayar ortamında yapılan analizler gerekli önlemler alındığında istemli ada çalışmanın büyük ölçüde uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Kaynak çeşitlerinin değerlendirildiği ilk 3 senaryo içinden SG ve DFIG birleşimi en olumlu geçiş performansını sunmuştur. Her iki kaynak tipi de birbirinin zayıf yönlerini tamamlamış ve böylece en uygun geçiş sağlanmıştır. Birçok gelişmiş ülkede artık rüzgâr kaynaklarının gerilim desteği vermesi ve arıza durumunda da bağlı kalmaları beklenmektedir. Ancak sistem gerilimi düştüğünde rüzgâr çiftliklerinde kullanılan statik kompanzatörlerin reaktif güç çıktısı da azalacağından dolayı, tek başına DFIG geçiş sırasında yeterli olmamıştır. SG sağladığı sürekli reaktif güç desteği ile gerilimi daha yüksek seviyede tutmuş ve bu olumsuz etkiyi hafifletmiştir. Fakat SG uyartım sistemine bağlı olarak biraz daha geç tepki verebilmektedir. İAÇ halinde iken kaynakların birbirileri ile daha iyi işbirliği yapabilmesi için merkezî gerilim/frekans izleme ve kontrol sistemi geliştirilebilir.

Ada çalışmada kaynakların devre dışı kalması ya da rüzgâr ve güneş gibi kaynakların güç çıktılarında değişkenlik gösterebilmesi olası durumlardır. Talebin üretimin üzerine çıktığı bu gibi durumlarda yük atma mekanizmasının varlığı sisteme daha fazla esneklik sağlayacaktır. Bu amaçla, bir yük atma mekanizması oluşturulmuş ve test şebekesi üzerinde denenmiştir. Rüzgâr çiftliğinin devre dışı kalması sonra frekanstaki düşüşe bağlı olarak yükler atılmış ve ada sisteminin bütünü ile çökmesi engellenmiştir. Bu sırada gerilim ve frekans parametreleri uygun aralıklarda kalmıştır.

İAÇ geçici bir çözümdür ve şebeke ile bağlantılı çalışmanın yerini almak için tasarlanmamıştır. Kaynakların şebekeye tekrar bağlanması için senkronize olmaları gereklidir. Oluşturulan senkronizasyon mekanizması frekans ve fazı kontrol eder, uyumsuzluk durumunda kaynakların hız denetleyicilerine işaretler göndererek farkı azaltmaya çalışır. Bilgisayar benzetiminde bu mekanizma, iki SG kaynağı ada çalışma durumunda iken şebekeye başarı ile senkronize etmiştir.

Bilgisayar benzetimlerinde ada çalışma halinde iken arıza durumlarına değinilmemiştir. Geleneksel koruma yöntemleri fazla esneklik sağlamadığından dolayı ada çalışma için uygun değildir. Mikroişlemcili röleler ve güvenilir haberleşme kullanan gelişmiş koruma sistemleri, ada çalışmanın gerektirdiği koruma ayarları esnekliğini sağlayabilir.

Ayrıca benzetim çalışmasında faz dengesizlikleri ve harmonikler modellenmemiştir. AG tarafındaki yüklerin dengeli olduğu varsayılmıştır. Sanayi tipi yükler genelde 3 fazlı ve dengeli olsa da tek fazlı mesken tipi yükler büyük dengesizliklere sebep olabilir. Ayrıca hem yarı iletkenli DÜ kaynakları hem de yükler sebebi ile oluşacak harmoniklerin analizi de yapılmalıdır.

İstemli ada çalışma, şebekelerin mevcut durumu ile uygulanmaya elverişli değildir. Ancak dağıtılmış üretim kaynaklarının hızla artması ve akıllı şebeke uygulamalarının giderek yaygınlaşması bu durumu yakın gelecekte değiştirecektir. Özellikle mikro şebelere olan ilgi, istemli ada çalışmanın gelecek vaat ettiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Fairley P., Germany's Grid: Renewables-Rich and Rock-Solid, <http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/germanys-superstable-solarsoaked-grid> (Ziyaret Tarihi: 28 Ağustos 2014).
- [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, 26-27 Nisan 2013.
- [3] Celli G., Ghiani E., Mocci S., Pilo F., Distributed Generation and Intentional Islanding: Effects on Reliability in Active Networks, *International Conference on Electricity Distribution*, Turin, 6-9 Haziran 2005.
- [4] Hirodantis S., Li H., An Adaptive Load Shedding Method for Intentional Islanding, *International Conference on Clean Electrical Power*, Capri, 9-11 Haziran 2009.
- [5] Krishnan G., Gaonkar D. N., Intentional Islanding Operations of Distributed Generation Systems with a Load Shedding Algorithm, *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*, Bengaluru, 16-19 Aralık 2012.
- [6] Caldon R., Stocco A., Turri R., Feasibility Of Adaptive Intentional Islanding Operation of Electric Utility Systems with Distributed Generation, *Electric Power Systems Research*, 2008, **78**, 2017-2023.
- [7] Mohamad H., Karimi M., Mokhlis H., Abu Bakar A. H., Feasibility Study Of An Intentional Islanding Operation With A New Adaptive Load Shedding, *International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems*, İstanbul, 2-4 Ekim 2013.
- [8] Balaguer I., Lei Q., Supatti U., F., Peng Z., Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2011, **58**(1), 147-157.
- [9] Lee S. H., Park J. W., Son G., Power Management and Control for Grid-Connected DGs with Intentional Islanding Operation of Inverter, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2012, **28**(2), 1235-1244.
- [10] Assis T. M. L., Taranto G. N., Automatic Reconnection From Intentional Islanding Based on Remote Sensing of Voltage and Frequency Signals, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, **3**(4), 1877-1884.

- [11] Fuangfoo P., Lee W. J., Kuo M. T., Impact Study on Intentional Islanding of Distributed Generation Connected to a Radial Subtransmission System in Thailand's Electric Power System, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2007, **43**(6), 1491-1498.
- [12] Zeineldin H. H., Bhattacharya K., El-Saadany E. F., Salama M. M. A., Impact of Intentional Islanding of Distributed Generation on Electricity Market Prices, *IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 2006, **153**(2), 147-154.
- [13] Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W., Distributed generation: definition, benefits and issues, *Energy Policy*, 2005, **33**, 787-798, 2005.
- [14] Bollen M., Hassan F., *Integration of Distributed Generation in the Power System*, John Wiley&Sons, New Jersey, 2011.
- [15] *Final Report - System Disturbance on 4 November 2006*, Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity(UCTE), 2007.
- [16] IEEE 1547, Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, *IEEE Standards Association*, 2003.
- [17] IEEE 1547a, Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems Amendment 1, *IEEE Standards Association*, 2014.
- [18] Schwartfeger L., Santos-Martin D., Review of Distributed Generation Interconnection Standards, *New Zeland Electricity Engineers Association Conference*, Auckland, 2014.
- [19] BDEW 2008, Technical Conditions for Connection to the medium-voltage network, *BDEW German Association of Energy and Water Industries*, 2008.
- [20] VDE-AR-N 4105, Power generation systems connected to the low-voltage distribution network, *VDE Association for Electrical, Electronic and Information Technologies*, 2011.
- [21] EPDK, *Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği*, 2009.
- [22] EPDK, *Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği*, 2014.
- [23] EPDK, *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik*, 2013.
- [24] IEEE 1547.4, Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems, *IEEE Standards Association*, 2011.

- [25] Lidula N., Rajapakse A., Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, **15**, 186-202.
- [26] Bullis K., How Power Outages in India May One Day Be Avoided - MIT Technology Review, <http://www.technologyreview.com/news/428666/how-power-outages-in-india-may-one-day-be-avoided/> (Ziyaret Tarihi: 30 Kasım 2014).
- [27] Chen Y., Xu Z., Ostergaard J., Control Mechanism and Security Region for Intentional Islanding Transition, *Power & Energy Society General Meeting*, Calgary, 26-30 Temmuz 2009.
- [28] Fuangfoo P., Meenual T., Lee W. J., Chompoo-inwai C., PEA Guidelines for Impact Study and Operation of DG for Islanding Operation, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2008, **44**(5), 1348-1353.
- [29] S&C Electric Company, America's First Battery-Based Energy Storage System for Islanding Applications, http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_070188.pdf. (Ziyaret Tarihi: 1 Kasım 2013).
- [30] Çakal G., Dağıtılmış Üretime Sahip Elektrik Dağıtım Sistemlerinde, Arıza Akımı Sınırlayıcılarının ve Yerleşim Yerlerinin Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2011.
- [31] Mathworks, Model the dynamics of three-phase round-rotor or salient-pole synchronous machine - Simulink, <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/synchronousmachine.html>. (Ziyaret Tarihi: 9 Nisan 2014).
- [32] Mathworks, Implement phasor model of variable speed doubly-fed induction generator driven by wind turbine - Simulink, Mathworks, <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/windturbinedoublyfedinductiongeneratorphasortype.html>. (Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2014).
- [33] Mathworks, Wind Farm - DFIG Average Model - MATLAB & Simulink Example, <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-farm-dfig-average-model.html>. (Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2014).
- [34] Mathworks, Determine frequency and fundamental component of three-phase signal phase angle - Simulink, <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/pll3ph.html>. (Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2014).

EKLER

EK-A Senkron Makine Simulink Model Parametreleri

Synchronous Machine (mask) (link)

Implements a 3-phase synchronous machine modelled in the dq rotor reference frame.

Stator windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, line-to-line voltage, frequency [Pn(VA) Vn(Vrms) fn(Hz)]:
[8E6 6300 50]

Reactances [Xd Xd' Xd'' Xq Xq'' Xl] (pu):
[1.305, 0.296, 0.252, 0.474, 0.243, 0.18]

d axis time constants: Open-circuit

q axis time constants: Short-circuit

Time constants [Tdo' Tdo'' Tq''] (s):
[4.49 0.0681 0.0513]

Stator resistance Rs (pu):
0.003

Inertia coefficient, friction factor, pole pairs [H(s) F(pu) p()]:
[3.7 0 20]

Initial conditions [dw(%) th(deg) ia,ib,ic(pu) pha,phb,phc(deg) Vf(pu)]:
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1]

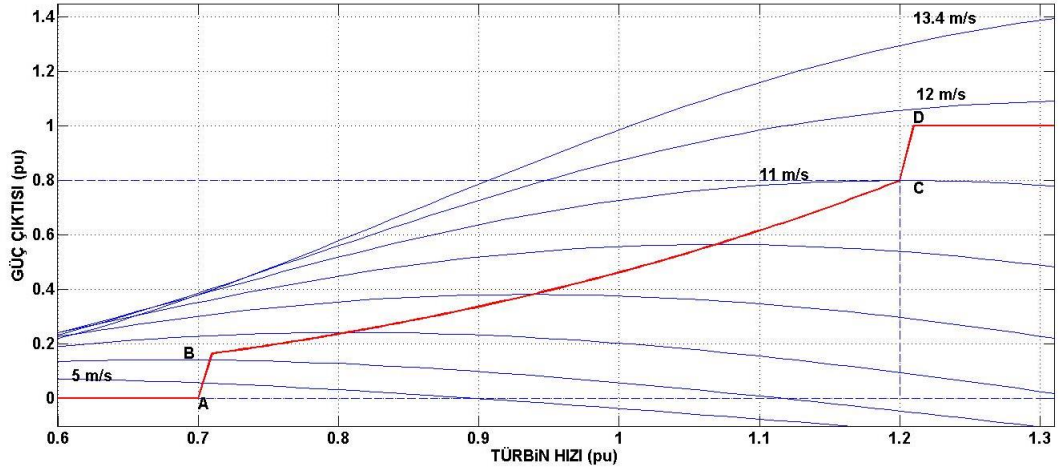
Simulate saturation

Şekil A.1. Simulink senkron makine(pu modeli) parametreleri

EK-B Simulink DFIG Fazör Modeli Parametreleri

Wind Turbine Doubly-Fed Induction Generator (Phasor Type) (mask) (link)	Wind Turbine Doubly-Fed Induction Generator (Phasor Type) (mask) (link)
This block implements a phasor model of a doubly-fed induction generator turbine.	This block implements a phasor model of a doubly-fed induction generator turbine.
Parameters	Parameters
Display: Generator data	Display: Turbine data
Nom. power, L-L volt. and freq. [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:	External mechanical torque:
[1e6/0.9*8 575 50]	<input type="checkbox"/>
Stator [Rs,Lls] (pu):	Display wind turbine power characteristics:
[0.00706 0.171]	<input type="checkbox"/>
Rotor [Rr',Llr'] (pu):	Nominal wind turbine mechanical output power (W):
[0.005 0.156]	1e6*8
Magnetizing inductance Lm (pu):	Tracking characteristic speeds: [speed_A(pu) ... speed_D(pu)]
2.9	[0.7 0.71 1.2 1.21]
Inertia constant, friction factor, and pairs of poles [H(s) F(pu) p]:	Power at point C (pu/mechanical power):
[5.04 0.01 3]	0.8
Initial conditions [s() th(deg) Is(pu) ph_Is(deg) Ir(pu) ph_Ir(deg)]:	Wind speed at point C (m/s):
[-0.2 0 0 0 0 0]	11
	Pitch angle controller gain [Kp]:
	500
	Maximum pitch angle (deg):
	45
	Maximum rate of change of pitch angle (deg/s):
	2

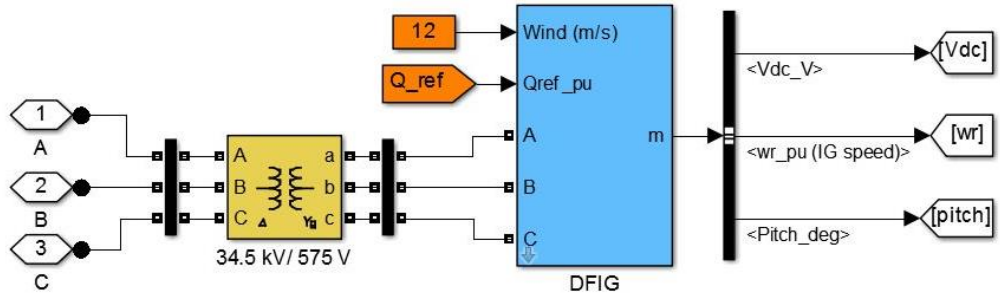
(a)



(b)

Şekil B.1. Simulink DFIG fazör modeli (a) model parametreleri (b) Türbin güç karakteristiği

EK-C Simulink DFIG Ortalama Ayırık Modeli (DFIG Discrete Average Model)



(a)

DFIG Wind Turbine (mask)

This block implements a model of a variable speed pitch controlled wind turbine using a doubly-fed induction generator (DFIG).

Parameters

Number of wind turbines:

6

Display: Generator data for 1 wind turbine

Nom. power, L-L volt. and freq. [Pn (VA), Vs_nom (Vrms), Vr_nom (Vrms), fn (Hz)]:

[1.5e6/9 575 1975 50]

Stator [Rs,Lls] (p.u.):

[0.023 0.18]

Rotor [Rr',Llr'] (p.u.):

[0.016 0.16]

Magnetizing inductance Lm (p.u.):

2.9

Inertia constant, friction factor, and pairs of poles [H(s) F(p.u.) p]:

[0.0685 0.01 3]

Initial conditions [s th ias ibs ics phaseas phasebs phasecs]:

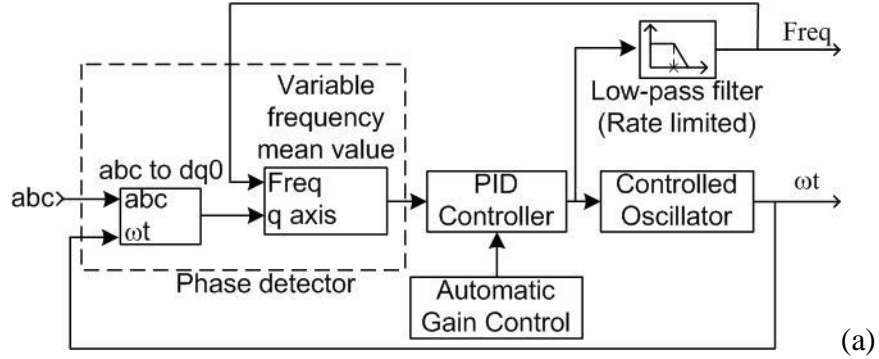
[-0.2 0 0,0,0 0,0,0]

(b)

Şekil C.1. (a) Simulink DFIG ayırık modeli ve (b) parametreleri

EK-D Simulink PLL Bloğu

3 fazlı giriş işareti Park dönüşümü metodu ile dq bileşenlerine çevrilir. İşaretin q eksenini bileşeni giriş işaretleri arasındaki faz farkı ile doğru orantılıdır. Bu bileşenin ortalama değeri alınır. Bu değer bir PID denetleyici üzerinden geçer. PID çıkışı filtrelenerek frekansa dönüştürülür. Ayrıca PID tarafından denetlenen osilatör ise faz değerini radyan cinsinden verir.



PLL (3ph) (mask) (link)

This Phase Locked Loop (PLL) system can be used to synchronize on a set of variable frequency, three-phase sinusoidal signals. If the Automatic Gain Control is enabled, the input (phase error) of the PLL regulator is scaled according to the input signals magnitude.

For optimal performance, set regulator gains [Kp Ki Kd] = [180 3200 1] and check the Enable Automatic Gain Control parameter.

Input : Vector containing the normalized three-phase signals [Va Vb Vc]
Output 1: Measured frequency (Hz) = $w/(2\pi)$
Output 2: Ramp w.t varying between 0 and $2*\pi$, synchronized on zero crossings of the fundamental (positive-sequence) of phase A.

Parameters

Minimum frequency (Hz):
45

Initial inputs [Phase (degrees), Frequency (Hz)]:
[0, 50]

Regulator gains [Kp, Ki, Kd]:
[180, 3200, 1]

Time constant for derivative action (s):
1e-4

Maximum rate of change of frequency (Hz/s):
12

Filter cut-off frequency for frequency measurement (Hz):
25

Sample time:
5e-5

Enable automatic gain control

Şekil D.1. (a) Simulink PLL bloğu şeması ve (b) parametreleri

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Cansever M.**, Arsoy A. B., Dağıtılmış Üretim ile İstemli Ada Çalışma, *Eleco Sempozyumu*, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Bursa, 27-29 Kasım 2014.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği lisans programını bitirdi. 2012-2015 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimi aldı.