

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKROŞEBEKELERİN AŞIRI AKIM RÖLESİ İLE
ADAPTİF VE ENTEGRE KORUNMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ÖZVEREN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKROŞEBEKELERİN AŞIRI AKIM RÖLESİ İLE
ADAPTİF VE ENTEGRE KORUNMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fatih Özveren
(504121014)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer USTA

AĞUSTOS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Fatih ÖZVEREN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MİKROŞEBEKELERİN AŞIRI AKIM RÖLESİ İLE ADAPTİF VE ENTEGRE KORUNMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ömer USTA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. V. M. İstemihan GENÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet BAYRAK
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi : **28 Temmuz 2015**
Savunma Tarihi : **31 Temmuz 2015**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda beni yönlendiren ve bana yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Ömer Usta'ya teşekkür ederim.

Tezi hazırlama sürecinde benden manevi desteklerini esirgemeyen başta Bekir Fincan, Mustafa Selim Sezgin, Seraser Gizem Dilişen ve Önder Polat olmak üzere bütün araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu zorlu dönemde yanımda olan İTÜ IEEE Öğrenci Kulübüne, "Sen Hayırdır" ekibine, Oyundede ekibine Sena Yazıcı'ya ve annem Nurgül Özveren'e teşekkür ederim.

Temmuz 2015

Fatih Özveren
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Mikroşebeke Sistemleri.....	1
1.2 Güç Sistemlerinde Arızalar	2
1.3 Koruma Sistemleri ve Özellikleri.....	4
1.3.1 Adaptif ve entegre koruma yöntemleri	5
2. MİKROŞEBEKENİN MODELLENMESİ	7
2.1 Mikroşebekenin Elemanları	7
2.2 Mikroşebeke Elemanlarının Modellenmesi	10
2.2.1 Şehir şebekesi modeli.....	10
2.2.2 Güneş enerjisi santrali modeli.....	13
2.2.3 Biyogaz tesisi modeli	16
2.2.4 Diğer sistemlerin modelleri.....	17
2.3 Mikroşebekedeki Yük Akışı.....	18
3. KORUMA ELEMANLARININ MODELLENMESİ.....	21
3.1 Koruma Sistemlerinde Kullanılan Yöntemler	21
3.2 Aşırı Akım Röleleri	22
3.2.1 Aşırı akım rölesinin çalışma prensipleri	22
3.2.2 Aşırı akım rölesinin ve yön elemanının modellenmesi.....	25
3.2.3 Yönlü aşırı akım rölesinin simülasyonu.....	27
4. MİKROŞEBEKELERİN AŞIRI AKIM RÖLESİYLE KORUNMASI	31
4.1 Mikroşebekenin Yönlü Aşırı Akım Röleleriyle Korunması	31
4.2 Model Mikroşebekenin Yönlü Aşırı Akım Rölesi ile Korunması	33
5. MİKROŞEBEKELERİN ADAPTİF VE ENTEGRE KORUNMASI	37
5.1 Mikroşebekelerde Adaptif Koruma.....	37
5.2 Mikroşebekelerde Entegre Koruma	39
5.3 Model Mikroşebekelerin Adaptif ve Entegre Yöntemiyle Korunması	40
6. MİKROŞEBEKEDENİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	45
6.1 Durum 1: Normal Çalışma	45
6.2 Durum 2: Bir Kısım Yüklerin Devreden Çıkarılması	47
6.3 Durum 3: Yerel Kaynaklardan Birinin Devreden Çıkarılması.....	48
6.4 Durum 4: Güç Adası Modunda Çalışma	50
7. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....	55
7.1 Örnek Durumlardan Elde Edilen Sonuçlar.....	55
7.2 Öneriler ve Gelecek Çalışmalar	59

KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

DC/AC	: Direct Current / Alternative Current
DÜK	: Dağıtık Üretim Kaynağı
D&G	: Değişir ve Gözle
EAR	: Entegre Aşırı Akım Rölesi
EKYH	: Erimiş Karbonatlı Yakıt Hücresi
EŞK	: Entegre Şebeke Koruması
GKE	: Gerilim Kaynaklı Evirici
IEC	: International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineering
MGNT	: Maksimum Güç Noktası Takibi
OBN	: Ortak Bağlantı Noktası
OG	: Orta Gerilim
TMS	: Time Setting Multiplier
YAAR	: Yönlü Aşırı Akım Rölesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mikroşebekedeki yük akışı.....	19
Çizelge 3.1 : Çeşitli ters zamanlı akım koruması karakteristikleri.....	24
Çizelge 4.1 : Yönlü aşırı akım rölelerinin I_s değerleri.	34
Çizelge 4.2 : Yönlü aşırı akım rölelerinin görevleri.	34
Çizelge 4.3 : Yönlü aşırı akım rölelerinin TMS değerleri.	35
Çizelge 4.4 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 2).....	35
Çizelge 4.5 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 3).....	35
Çizelge 4.6 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 4).....	36
Çizelge 4.7 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 5).....	36
Çizelge 6.1 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 1).	45
Çizelge 6.2 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 1).	45
Çizelge 6.3 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 2).	46
Çizelge 6.4 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 2).	46
Çizelge 6.5 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 3).	47
Çizelge 6.6 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 3).	48
Çizelge 6.7 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 4).	50
Çizelge 6.8 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 4, Hat1).	50
Çizelge 6.9 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 4, Hat2).	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Örnek mikroşebeke sistemi.	8
Şekil 2.2 : Tasarlanan mikroşebeke sistemi.....	9
Şekil 2.3 : Mikroşebekenin MATLAB / Simulink modeli.	11
Şekil 2.4 : Şehir şebeke modeli.	12
Şekil 2.5 : Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi.....	13
Şekil 2.6 : MGNT ile çalışan güneş panelinin güç gerilim grafiği.....	14
Şekil 2.7 : Güneş enerjisi santralının modeli.	16
Şekil 2.8 : Biyogaz tesisi modeli.	16
Şekil 2.9 : Rüzgar türbini modelinin yapısı.	17
Şekil 2.10 : Güç hesaplama bloğunun modeli.	18
Şekil 2.11 : Mikroşebekedeki aktif güç akışı.	19
Şekil 3.1 : Aşırı akım rölesinin akış diyagramı [46].....	24
Şekil 3.2 : Akım verisinin filtrelenmesi ve örneklenmesi.	25
Şekil 3.3 : Rölenin koruma algoritması.	26
Şekil 3.4 : Yönlü aşırı akım röleleri için oluşturulan test sistemi.....	27
Şekil 3.5 : Ölçüm Merkezi 2'de ölçülen akımın zamana bağlı grafiği (TFT).....	28
Şekil 3.6 : Yön fonksiyonu tarafından algılanan akımın yön zaman grafiği (TFT). .	29
Şekil 3.7 : Ölçüm Merkezi 2'de ölçülen akımın zamana bağlı grafiği (3F).....	29
Şekil 4.1 : Örnek mikroşebekede konvansiyonel koruma şeması.	33
Şekil 5.1 : Adaptif koruma sisteminin akış diyagramı.	38
Şekil 5.2 : Entegre rölelerin mikroşebekede uygulanması.	40
Şekil 5.3 : Adaptif-entegre koruma sisteminin akış diyagramı.	41
Şekil 6.1 : Simülasyon çalışmalarında kullanılacak örnek mikroşebeke.....	44

MİKROŞEBEKELERİN AŞIRI AKIM RÖLESİ İLE ADAPTİF VE ENTEGRE KORUNMASI

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve daha erişilebilir hale gelmesiyle birlikte birçok birey veya kurum kendi elektrik enerjilerini üretmeye başlamıştır. Ayrıca, merkezden uzak küçük yerleşim birimlerine yüksek güçlü merkezi santrallerde üretilen elektrik enerjisini iletmek masraflı bir işlemdir. Bu temel sebepler mikroşebeke kavramının ortaya çıkmasını sağlamışlardır.

Mikroşebekelerin amacı aynı şehir şebeke sistemlerinde olduğu gibi elektrik üretmek ve üretilen elektriği civardaki yüklere iletmektir. Ancak, mikroşebekeler boyutları bakımından daha küçüktür, ayrıca bir çok dağıtık üretim kaynağı içermektedirler. Bu dağıtık üretim kaynakları güneş panelleri, rüzgar türbinleri, biyogaz tesisleri, çeşitli enerji depolama üniteleri gibi genellikle düşük güçlü kaynaklar olmaktadır.

Mikroşebekeler sadece mikro generatör olarak adlandırılan bu düşük güçlü dağıtık üretim kaynakları ve çeşitli yükler ile işletilebilirler veya bir ana şebekeye bağlı olarak çalışabilirler. Şebekeye bağlı çalışma durumunda mikroşebekede üretilen fazla enerjiyi ana şebekeye aktarırlar, eğer yerel kaynaklarda üretilen enerji bölgedeki yükler için yetersiz kalıyorsa ana şebekeden enerji alırlar. Herhangi bir arıza durumunda veya istemli olarak, mikroşebekenin ana şebekeyle olan bağlantısı kesilebilir, böylece mikroşebeke güç adası modunda çalışmaya başlar. Mikroşebekeler gerekli koruma ve kontrol sistemlerine sahiplerse ada durumunda çalışmaları bir sorun teşkil etmez aksi halde sistem düzgün şekilde çalışmayacak, frekans ve gerilimde büyük değişimler meydana gelecektir.

Mikroşebekeler genellikle birden fazla kaynak içerdikleri, yenilebilir enerji kaynakları gibi oldukça değişken güç üreten kaynaklar barındırdıkları, şebekeye bağlı ve güç adası modunda olmak üzere farklı çalışma durumlarına sahip oldukları için güç akışı da buna bağlı olarak büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu sebeple mikroşebekelerin kontrolü ve korunması radyal yapıya sahip geleneksel şebekelere nazaran daha zordur.

Günümüzde sıklıkla karşılaştığımız geleneksel yönlü aşırı akım koruması birçok büyük sistemi başarıyla korumak için yeterli olabilmektedir. Bu koruma sisteminde kullanılan röleler akımın genliğine bakarak arızayı tespit eder, akımın yön bilgisi de arızanın koruma bölgesinde olup olmadığını tespit etmesine yardımcı olur. Eğer örnek sistemde olduğu gibi ters zamanlı röleler kullanılırsa rölelerin zaman gecikmeleri de akımın genliğine bağlı olarak değişecek şekilde ayarlanabilir. Bu tip rölelerin koordinasyonu için ardışık röleler arasında zaman aralıkları kullanılır. Rölenin arızayı algılama alt sınırının belirlenmesi ve zaman aralıklarının uygulanması için rölenin ayar değerleri olan I_s ve TMS uygun şekilde ayarlanır.

Birbirleri arasında veya merkezi bir kontrol ünitesiyle haberleşme hattına sahip olmayan bu rölelerin ayarlarının bir kez ayarlandıktan sonra tekrar değişmesi sadece

manuel olarak mümkündür, bu işlem otomatik olarak gerçekleşemez. Bu sebeple bu koruma şeklinin, şebekedeki yük akışının sıklıkla değiştiği durumlarda kullanılması oldukça güçtür.

Yük akımının sıklıkla değiştiği durumlar için bu değişimlere uyum sağlayabilen bir koruma sisteminin kullanılması gerekmektedir. Bu koruma sistemi de adaptif koruma sistemi olarak adlandırılır. Adaptif koruma şebedeki akım bilgilerini ve kesicilerin durumlarını kontrol eder, değişiklik tespit edilmesi durumunda yük akışını tekrar hesaplar ve röle ayarlarını buna bağlı olarak değiştirir.

Adaptif koruma sisteminin uygulanması için rölelerin bir ana merkezle haberleşmesi zorunluluğu bulunmaktadır, aksi halde hesaplamalar değişimlerden sonra tekrar yapılarak rölelere aktarılamaz. Ayrıca arızanın her an gerçekleşebilme ihtimaline karşı haberleşmenin oldukça hızlı olması gerekmektedir. Böyle geniş ve hızlı bir haberleşme ağını kurduktan sonra entegre korumanın uygulanması klasik koruma metodlarına göre daha kolay ve hızlı olur.

Entegre koruma sistemi aynı baraya bağlı kesicilerin bir entegre röle tarafından kontrol edildiği ve bütün entegre rölelerin bir merkezle haberleşerek çalıştığı bir sistemdir. Bu sistemin daha hızlı olması istenirse entegre rölelerin birbirleriyle haberleşmesi de sağlanabilir. Bu durumda entegre röleler kendi baralarından aldıkları ölçümleri ve diğer entegre rölelerin ölçümlerini karşılaştırarak arızayı ve arızanın yerini kısa sürede tespit edebilirler. Bu sistemde röle koordinasyonu için fazladan bir ayara ihtiyaç duyulmaz.

Bütün bunlar dikkate alındığında, mikroşebekeler için adaptif-entegre bir koruma sisteminin yönlü aşırı akım röleleriyle oluşturulmuş geleneksel bir sisteme göre korumanın seçiciliği ve güvenilirliği açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak, merkezi bir kontrol ünitesine bağlı haberleşme özelliğine sahip bir koruma sistemi yönlü aşırı akım röleleriyle oluşturulmuş geleneksel bir sisteminden daha karmaşıktır. Bu sebeple, mikroşebekeleri korumak amacıyla adaptif-entegre bir koruma sisteminin tercih edilmesinin daha uygun olacağının gösterilmesi gerekmektedir.

Karşılaştımanın yapılabilmesi amacıyla örnek bir mikroşebeke modellenmiş ve bu şebekede her iki koruma sistemi de uygulanmıştır. Örnek mikroşebeke normal durumda şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır, ayrıca güç adası modunda da çalışabilmektedir. Aslına uygun bir örnek teşkil etmesi için güneş enerjisi santrali, rüzgar türbini ve biyogaz tesisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve çeşitli güçlerde yüklerden oluşturulmuştur.

Örnek sistemin normal çalışma durumu maksimum yükte çalışma olarak belirlenmiş ve koruma sistemlerinin ilk ayarları bu duruma göre yapılmıştır. Geleneksel koruma sisteminde bu ayarlar her durum için sabit kalırken adaptif-entegre koruma sistemi farklı durumlara göre rölelerin akım ayar değerlerini (I_s) belirli bir algoritma yardımıyla değiştirmektedir.

Koruma sistemlerinin karşılaştırılması için dört farklı durum belirlenmiştir. Bu durumlar normal çalışma, bir kısım yüklerin devreden çıkarılması, yerel kaynaklardan birinin devreden çıkarılması ve güç adası modunda çalışma durumlarıdır. Bütün bu durumlar için 1 numaralı hatta 3 faz, faz faz, faz faz toprak ve tek faz toprak arızaları gerçekleştirilmiştir.

Yönlü aşırı akım röleleri (YAAR) ile uygulanan geleneksel korumanın koordinasyonu, arızanın gerçekleştiği hattın iki ucundaki rölelerin yedek korumayı

sağlayan diğer hatlardaki rölelerden daha önce kesicilere açma sinyali göndermesi esasına dayanır. Bu durumda hatalı açma sinyallerini önlemek için sistemdeki ekipmanların özelliklerine bağlı olarak yedek koruma ile birincil koruma arasında belirli bir zaman aralığı bulunması gerekir. Örnek sistemde bu zaman aralığı 300 - 350 ms olarak belirlenmiştir.

Adaptif-entegre koruma sisteminde ise hatların korunması, akım yönlerinin karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu durumda arızayı tespit eden entegre aşırı akım rölesi (EAR) komşu EAR'lerle haberleşerek yön sorgulaması yapar. Her iki EAR tarafından da hattın ortasına doğru akan akım tespit edilirse arıza da tespit edilmiş olacaktır.

Normal çalışma ve bir kısım yüklerin devreden çıkarılması durumlarında her iki koruma sistemi de beklendiği üzere doğru bir biçimde çalışmıştır. Sistemde değişiklik olmasına rağmen ikinci durumda da YAAR ile geleneksel korumanın doğru biçimde çalışmasının sebebi, yüklerin devreden çıkarılmasının arıza durumunda akan akım üzerindeki sınırlı etkisidir.

Ancak, yerel kaynaklardan birinin devreden çıkarılması ve güç adası modunda çalışma durumlarında YAAR kullanılarak oluşturulan sistem seçicilik ve güvenilirlik konusunda başarısız olmuştur. Adaptif-entegre koruma sistemi ise her iki durumda da başarılı bir şekilde çalışmaya devam etmiştir.

Sonuç olarak, mikroşebekelerde adaptif-entegre koruma sisteminin YAAR ile oluşturulan geleneksel koruma sisteminden daha başarılı bir koruma sağladığı bu çalışmayla beraber gösterilmiştir.

ADAPTIVE AND INTEGRATED PROTECTION OF THE MICROGRIDS WITH OVERCURRENT RELAYS

SUMMARY

Many individuals or institutions produce their own electricity, after renewable energy sources become more efficient and more accessible. Moreover, transmitting electrical energy produced by central high-powered plants to rural areas that are far away from city centers is considerably costly operation. These basic reasons lead to microgrid concept.

The objective of microgrids is producing electricity and transmitting it to surrounding loads, similar to the large networks. However, microgrids are smaller than these networks, in addition to; they contain many distributed energy resources. These distributed energy resources are generally low-power sources, such as solar panels, wind turbines, biogas plants, and various energy storage units.

Microgrids can operate with only these kinds of low-power distributed energy resources called as microgenerators and various types of loads or they can operate while connected to a main network. Microgrids transfer the excess energy to the main network during grid-connected mode. If the energy produced by local sources is insufficient for local loads, microgrids take energy from the main network. The connection between microgrid and main network can be interrupted on purpose or under emergency. Thus, microgrid operates in island mode. If a microgrid is operated by proper control and protection systems, then operating in island mode cause no issues. Otherwise, the system will not operate in the correct way, major changes will occur in frequency and voltage values.

Power flow in microgrids can alternate greatly because microgrids generally contain more than one source, operate with renewable energy sources produces quite variable power and have two different operation modes that are grid-connected and island mode. Therefore, control and protection of the microgrids are more difficult than the traditional networks that have radial structure.

Traditional directional overcurrent protection is a widespread method for protection and it is generally sufficient for protecting large networks. Relays that are used in this protection method determine faults by analyzing the amplitude of current. Direction of the current aids the relay while it determines whether the fault occur in the protection zone or not. If inverse time overcurrent relays are used as the sample microgrid system, operation time of the relays can be set to change depending on the amplitude of the current. Coordination time intervals are used between the consecutive relays for the coordination of inverse time overcurrent relays. I_s and TMS values are set properly to determine the minimum limit value for sensing the fault and to apply coordination time intervals.

Set values of this type of relays that have no communication line between each other or a central control unit can only be changed manually, this operation can not occur

automatically. Therefore, this traditional protection method can not be applied on the networks that have frequently alternating load flow.

For frequently alternating load flow condition of the network, a protection system that can adapt itself to this condition should be applied. This protection system is called as adaptive protection system. Adaptive protection system tracks the current values and circuit breaker (CB) status of the network. If a major change is determined by the protection system, then the system calculates load flow again and changes the set values of the relays depending on the load flow.

To apply adaptive protection system on a network, relays should communicate with a central unit. Otherwise, new set values calculated after changes can not be transferred to the relays. Moreover, communication should be fast because the fault can occur at any moment. After establishing a fast and wide communication network, applying integrated protection will be faster and easier than conventional protection methods.

Integrated protection system is a relatively new type of protection system that all CBs connected to same bus are controlled by an integrated relay and all integrated relays in the protection system communicate with a central unit while operating. If integrated relays communicate each other, then the system will operate faster. In this way, integrated relays compares the measurements taken from their own buses and the measurements of the other integrated relays to detect the fault and location of the fault in a short time. Additional set value is not needed for the relay coordination for this system.

When all these characteristics are taken into consideration, an adaptive-integrated protection system will be more successful than a traditional protection system consisted by directional overcurrent relays in terms of selectivity and reliability. On the other hand, it is obvious that implementation of a protection system connected to central unit with a communication feature is more difficult than implementation of a traditional protection system consisted by directional overcurrent relays without communication. Therefore, it should be revealed that to prefer adaptive-integrated protection system is more proper way to protect microgrids.

To compare these two protection systems, a microgrid is modeled on the MATLAB environment using Simulink tools and both of the protection systems are applied on the microgrid. Sample microgrid network operates in grid-connected mode normally; it can also operate in island mode. To constitute a realistic example, the sample microgrid contains renewable energy resources such as solar power plant, wind turbine and biogas plant and loads that have various amount of power consumption.

Normal operation condition of the sample microgrid is determined as operating at maximum load, then set values of the protection systems are calculated according to this condition. Whereas the set values remain stable for all conditions for the traditional protection system, current pick up values (I_s) of the integrated relays by means of a predetermined algorithm for adaptive-integrated protection system.

Four different cases are determined for the comparison of the protection systems. These cases are normal operation, switching of certain loads, switching of one of the local sources, island mode operation. For all these conditions, 3 phase, phase to phase, phase to phase ground and single phase to ground faults are performed on the Line 1.

The coordination of the traditional protection with directional overcurrent relays are based on the primary protection and back-up protection concepts. Whenever a line fault is detected, CBs that located on the both end of the line are expected to trip. If primary protection can not clear the fault, then back-up protection will operate. There should be a certain time interval between primary and back-up protection that is determined depending on the properties of the network equipments to prevent CBs from faulty tripping. This time interval is determined 300 - 350 ms for the sample network.

Line protection is based on the comparison of the current directions for the adaptive-integrated protection system. In this case, the integrated overcurrent relay (IOR) that detects the fault communicates with neighbor IORs for direction comparison. If two IORs located on the both end of a line detect current flowing through opposite directions, then the location of the fault will be confirmed.

Both of the protection systems are operated correctly during first two cases, normal operation and switching of certain loads as expected. Main reason of the correct operation of traditional protection with directional overcurrent relays (DOR) despite the changes in the system is the limited effect of load switching on the fault current.

However, traditional protection that consists of DORs fails in terms of selectivity and reliability during last two cases whereas adaptive-integrated protection system manage to operate successfully in both cases.

As a result, this study presents that adaptive-integrated protection system is more successful than traditional protection system with directional overcurrent relays (DOR) for microgrids.

1. GİRİŞ

Yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte geleneksel güç sistemlerine daha küçük boyutlu sistemler eklenmektedir. Yüksek kapasiteli santrallerin ve iletim hatlarının merkezlerden uzak bölgelere erişmekte zorlanıyor olması, küçük boyutlu şebekelerin kurulmasını kaçınılmaz hale getirmiştir.

Yakın zamanda kurulan küçük boyutlu şebekeler bakımı ve işletmesi daha kolay olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bunun sonucunda üretimden başlayıp yüklere doğru uzanan eski tip güç sistemi şeması geçerliliğini bir ölçüde kaybetmiştir, artık üretim her noktadan olabilmektedir.

Üretimin her noktadan gerçekleşebilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan üretimin hava koşulları ve benzeri şartlara bağlı olması sistemdeki güç akışını oldukça değişken bir hale getirmiştir. Değişken güç akışına sahip sistemlerin kontrolü ve korunması geleneksel sistemlere göre daha zordur.

Değişken sistemlerin korumasını sağlamak için uygulanan koruma sistemi de değişimlere ayak uydurabilecek nitelikte olmalıdır. Bu tip güç sistemlerinde değişken şartlara adapte olabilen bir koruma uygulanması korumanın güvenilirliğini arttıracaktır.

1.1 Mikroşebeke Sistemleri

Günümüzde ekonomik, teknolojik ve çevresel faktörler elektrik üretiminin ve dağıtımının çehresini değiştirmiştir. Geleneksel ölçek ekonomisinin zayıflamasının da etkisiyle, merkezi üretim gitgide küçülürken onun yerini dağıtık üretim tesisleri almaktadır [1].

Dağıtık üretimde kullanılan generatör düzenekleri (genset), gaz türbinleri, mikro türbinler ve yakıt hücreleri yardımıyla elektrik üretimi sırasında açığa çıkan atık ısıнын müşteriler tarafından kullanılmasına olanak sağlaması da mikroşebekelerin önemini arttırmıştır [2]. Isı ve elektriğin eş zamanlı olarak kullanılmasını sağlayan bütün bu küçük ölçekli ekipmanlar birleşik ısı ve güç ekipmanları (combined heat

and power) olarak adlandırılır. Bunlarla birlikte fotovoltaik modüllerin, rüzgar türbinlerinin, biyogaz santrallerinin ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının, ısı ve elektrik depolama sistemlerinin ve kontrol edilebilir yüklerin geleceğin elektrik şebekelerinde büyük bir rol oynaması beklenmektedir [2].

Dağıtık üretim kaynaklarının (DÜK) artması geleneksel merkezi sistemlerin büyümesinin önüne geçerken, çok sayıdaki DÜK operatörleri şebekelerin verimli ve güvenli bir şekilde kontrol edilmesi problemiyle de karşı karşıya bırakıyor. Bu problemi aşmak için mikroşebeke sistemleri kullanılmaktadır [2].

"Mikroşebeke" sınırları elektriksel olarak belirlenmiş bir grup enterkonnekte yükün ve dağıtık üretim kaynağının, ada durumunda veya şebekeye bağlı bir halde çalışarak şebekeyle birlikte tek bir kontrol edilebilir teşekkül oluşturmasıdır [3].

Mikroşebekeler iki farklı çalışma durumunda bulunabilirler [4]. Bunlar:

Normal Enterkonnekte Modu: Mikroşebeke ana Orta Gerilim (OG) Şebekesine bağlanmıştır. Bu durumda mikroşebeke ana sisteme güç sağlamakta veya ana sistemden güç çekmektedir.

Güç Adası Modu: Mikroşebeke ana OG şebekesinden ayrılmış, bağımsız olarak çalışmaktadır.

Ada durumunda çalışma kasıtlı veya istemsiz olabilir. İlk seçenekte, ada durumunda çalışma planlanmıştır, sistemin kontrolü ve elemanları bu duruma göre tasarlanmış ve uygulanmıştır [5]. Bu durum kullandığı enerjiden daha fazlasını üretme potansiyeline sahip olan sanayi tesislerinde görülebilir. Örnek olarak, şeker ve kağıt fabrikaları genellikle elektrik ihtiyaçlarının tamamını kendileri sağlayabilirler [5].

İstemsiz olarak gerçekleşen ada durumunda mikroşebeke frekans ve gerilimi tam olarak kontrolde tutamayabilir, güç kalitesinin sürekliliği işletme tarafından garanti edilmez [5]. Sınırların dışına çıkan gerilim ve frekans şebeke ekipmanlarına zarar verebilir.

1.2 Güç Sistemlerinde Arızalar

Cihazların ve insanların zarar görmemesi için güç sisteminde meydana gelen arızalar mümkün olduğunca hızlı giderilmelidir. Elektrik sistemlerinin kurulduğu ilk yıllarda arıza giderme işlemi bakım onarım ekibi tarafından kesicilerin el ile kontrolü

sayesinde gerçekleştiriliyordu [6]. Zaman içinde elektrik güç sistemlerinin büyümesi ve arıza akımlarının artmasıyla birlikte arıza giderme işlemini otomatik olarak gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıktı [6]. Otomatik arıza giderme işleminde kullanılan en temel elemanlar ise sigorta, kesici ve rölelerdir.

Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) röleyi şu şekilde tanımlar:

"Girdi koşullarına kurallarla belirlenmiş bir şekilde cevap verecek şekilde tasarlanmış ve bu koşullar sağlandıktan sonra kontaklarının değişmesi veya kontrol devreleri yardımıyla ani bir değişiklik gösteren elektriksel cihazlardır [7]."

Ancak biz rölelerin güç sistemlerindeki koruma göreviyle ilgileniyoruz. IEEE koruma rölelerini "görevi, arızalı hatları, cihazları ve diğer anormal veya tehlikeli durumda olan güç sistemi koşullarını uygun devre kontrolü işlemini gerçekleştirmek için tespit etmek olan röleler" olarak tanımlar [8].

Bütün güç sistemlerinin temel amacı servisin devamlılığını mümkün olduğunca iyi bir şekilde sağlamak ve önüne geçilemeyen durumlar oluştuğunda kesintinin boyutunu ve süresini minimumda tutmaktır [9]. Fiziksel kazalar, ekipman arızası, doğal olaylar, aşırı yüklenme veya insan kaynaklı hatalar sonucunda sistemde güç kaybı, gerilim düşmesi, aşırı gerilim gibi anormal durumlar yaşanabilir [10]. Bunların hepsini önlemek mümkün ve uygulanabilir değildir.

Bu gibi arızaların ve anormal olayların sonucunda ekipmanlar ve sistemler zarar görebilir, yüklere gerekli güç sağlanmayabilir, insan hayatı tehlikeye girebilir, sistem stabilitesi kaybolabilir ve birbirini tetikleyen ardışık olaylar sonucunda büyük çaplı elektrik kesintileri (blackout) yaşanabilir [9].

Elektrik şebekelerinde meydana gelen arızaların çoğu havai hatların bir fazının yıldırıma maruz kalması veya ağaç devrilmesi sonucunda kopmasıyla meydana gelir. Rüzgar sebebiyle fazların birbirine veya ağaca değmesi de diğer önemli sebepler arasında yer alır. Bunların dışında buzlar ve dondurucu soğuk da arızalara sebep olabilir. Arıza çeşitleri, yüzdeleriyle birlikte yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir [9].

- Tek faz - toprak arızası: %70 - %80
- Faz - faz - toprak arızası: %10 - %17
- Faz - faz arızası: %8 - %10
- Üç faz arızası: %2 - %3

1.3 Koruma Sistemleri ve Özellikleri

Koruma cihazları arızaları gerçekleşmeden önce engelleyemez, ancak arıza meydana geldikten sonra harekete geçebilir. Rölelerin görevleri, arızalı elemanın beslemeyle ilişkisini keserek daha fazla zarar görmesini engellemek, geri kalan güç sisteminin işlevine devam etmesini sağlamak, elektrik kesintisinin önüne geçmek ve insanı, hayvanları ve çevreyi güç sistemi kaynaklı tehlikelerden korumak olarak özetlenebilir [11].

Rölelerin sahip olması beklenen özellikleri 4 ana başlıkta inceleyebiliriz [11]:

- Seçicilik: Yalnızca arızalı kısmın tespit edilmesi ve sistemden ayrılmasıdır. Rölenin arızalı bölgeyi doğru bir biçimde tespit etmesi gerekir.
- Güvenilirlik: Röleler gerçekleşen bütün arızaları tespit edebilmeli ve arıza olmadığı zaman açma sinyali göndermemelidir. Röle, bu özelliğini çalışma ömrü boyunca korumalıdır.
- Hassasiyet: Sistemdeki en ufak arıza belirtilerini dahi tespit edebilmelidir.
- Çalışma Hızı: Röle, önceden belirlenmiş gecikmeler hariç, arızayı en kısa sürede tespit edip gereken işlemi uygulamalıdır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektromekanik ve elektronik röleler yerlerini dijital rölelere bırakmışlardır. Dijital rölelerin diğer eski tip rölelere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunları özetleyecek olursak [11]:

- Maliyet: Bütün diğer şartların eşit olduğu düşünülse bile dijital röleler maliyet açısından daha uygun durumdadır. Her ne kadar piyasaya ilk çıkan röleler konvansiyonel rölelerin 10 - 20 katı fiyata sahip olsalar da zaman içinde dijital röle fiyatları düşmüş ve hesaplama güçleri artmıştır.
- Kendini denetleme: Dijital röleler kendi alt sistemlerini kontrol etmek için programlanabilirler, bu sayede meydana gelebilecek işlev arızalarını da tespit ederler. Uygun şekilde tasarlanmış bir röle arıza durumunda kendini devre dışı bırakıp merkez sisteme servis istemi için alarm gönderebilir.
- Sistem entegrasyonu: Dijital teknoloji zamanla bütün elektrik sistemlerinin temeline yerleşmektedir. Ölçüm, haberleşme, uzaktan ölçme, kontrol gibi işlemlerin çoğu bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerde

dijital transdüserler ve fiber optik kablolar kullanılmaktadır. Bu ortamların dijital hale dönüşmesi sonucunda dijital rölelerin kullanımı da kaçınılmaz olacaktır.

- İşlevsel esneklik: Gerekli sinyaller iletildiği sürece röleler birçok farklı işlemi yerine getirebilirler. Örnek olarak, ölçüm cihazlarından gelen verileri okuyabilir, bunları değerlendirip kesiciye sinyal gönderebilir, ardından merkez sistemi durumla ilgili bilgilendirebilirler.

Programlama ve iletişim kabiliyetine sahip dijital rölelerin eski tip elektromekanik rölelerin sahip olamayacağı önemli bir avantajı daha bulunmaktadır. Dijital rölelerin karakteristikleri sistemin durumuna göre otomatik olarak değişebilir, bu özellikteki koruma adaptif koruma olarak adlandırılır [11].

1.3.1 Adaptif ve entegre koruma yöntemleri

Adaptif koruma değişen sistem koşullarına ayak uydurmak amacıyla koruma fonksiyonlarında çeşitli ayarlamalar yapabilen bir koruma felsefesidir [12].

Bu koruma felsefesinin temelini güç sisteminde yük değişimi, anahtarlama olayları veya arızalar sonucunda oluşan değişimlere röle ayarlarını değiştirerek cevap vermesi oluşturmaktadır [11].

Adaptif koruma kullanıldığı zaman koruma ve kontrol fonksiyonlarının arasındaki ayrım da azalmaktadır. Bu durumda kontrol sisteminin görevi olabilecek uygulamalar koruma sistemi tarafından da gerçekleştirilmeye başlanır, kesicilerin tekrar kapanması buna bir örnektir. Adaptif koruma için aynı zamanda geri beslemeli bir kontrol sistemi de denebilir [11].

Adaptif koruma sisteminde röleler değişen sistem koşullarına göre ayarlandığından, röleler arasındaki değişen hiyerarşi de haberleşme hatları tarafından bildirilmelidir.

Adaptif koruma sistemlerinde büyük miktarda gerçek zamanlı verinin iletilmesi ve işlenmesi gerekmektedir. Bu durumda adaptif korumanın hızını destekleyebilecek tek haberleşme tipi fiber optik ile haberleşmedir. Fiber optik hatların güç sistemlerine uygulanması son zamanlarda gittikçe kabul görmeye başlamıştır. Bu hatların daha da yaygınlaşması, adaptif korumanın daha çok uygulanmasını sağlayacaktır [11].

1960'ların sonunda, merkezi bir bilgisayar sistemi tarafından korumanın gerçekleştirilmesi fikri Rockefeller tarafından önerilmişti. Bu sistem sadece santralin ekipmanlarını korumayacak, aynı zamanda hattın da belirli bir kısmının korunmasını sağlayacaktı, bu açıdan modern entegre korumalara oldukça benzemekteydi [13].

Ancak bu fikir uzun bir süre boyunca uygulamaya konamadı, bilgisayarların yazılım, donanım ve iletişim teknolojileri henüz bu fikri gerçekleştirmeye yetecek kadar gelişmemişti. Mikroişlemcilerin koruma sistemlerinde kendini göstermesiyle beraber 1980'lerin sonunda entegre koruma sistemleri yedek koruma olarak uygulanmaya başlandı [14].

Zaman içerisinde gelişen bilgisayar ve iletişim teknolojisiyle birlikte bu fikir daha uygulanabilir hale geldi. Önceden yedek koruma olarak tasarlanan entegre koruma şemaları daha sonraları bir çok sistemde birincil koruma olarak kullanılmıştır [14].

Bu koruma yöntemine göre herhangi bir baraya bağlı bütün ölçüm noktaları bir röle tarafından değerlendirilir. Bu röleler kendileri arasında ve bir merkezle iletişim halindedir, mümkün olan en çabuk yolu kullanarak arızayı tespit edip gidermeye çalışırlar. Sürekli olarak sistem takip edildiği için hatalı karar verme ihtimalleri oldukça düşüktür.

2. MİKROŞEBEKENİN MODELLENMESİ

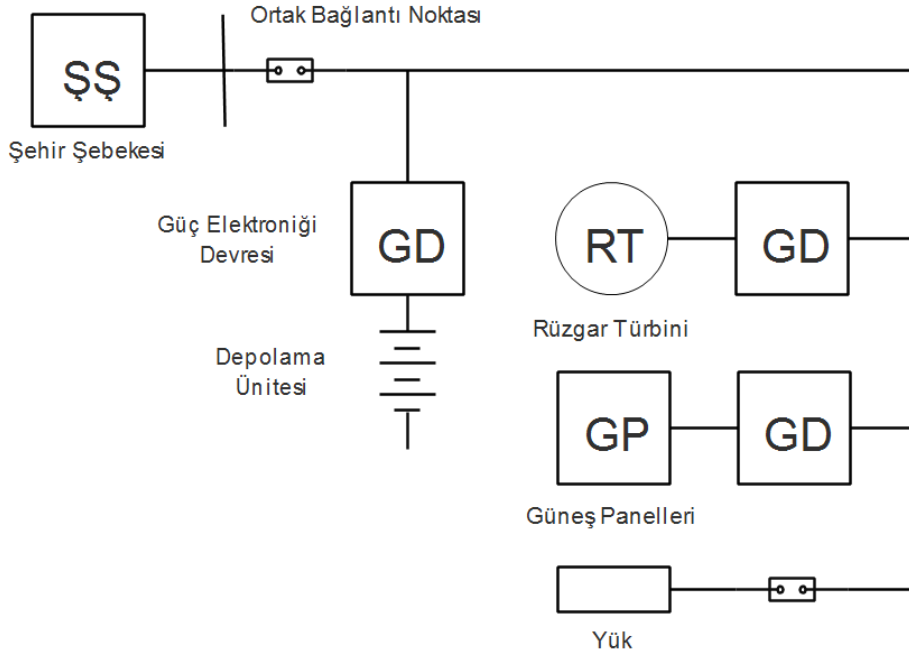
Mikroşebekeler, ana şebekelerdeki tıkanıklıkları, dar boğazları ve hat kayıplarını azaltarak giderleri düşürürler ve enerji verimliliğine katkıda bulunurlar [15]. Düşük kapasiteli hidroelektrik santralleri, okyanus enerjisi ve biyogaz tesisleri, rüzgar türbinleri, fotovoltaik sistemler, dizel generatörleri ve enerji depolama birimleri sayesinde mikroşebekeler şehir şebekesinin ulaşmasının zor olduğu kırsal kesimlerde elektrik üretimini sağlayabilirler [16]. Aynı zamanda ana şebekeye bağlı olarak da çalışıp şebekeye fazladan güç aktarabilirler. Ancak bu şebekelerin kurulumunun, işletmeye alınmasının, işletilmesinin ve bakımının iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir [15,17].

Mikroşebekelerin, ana şebekeye bağlanan birçok düşük güce sahip generatör sayesinde dağıtım ve iletim sistemine duyulan ihtiyacı azaltacağı öngörülebilir [18]. Ancak kontrolü ve koruması tam olarak sağlanmamış mikroşebekeler gerilim seviyesi ve güç kalitesi gibi konularda sorunlara sebep olarak ana şebekenin güvenli bir şekilde çalışmasına bir tehdit oluşturabilirler [19,20].

2.1 Mikroşebekenin Elemanları

Günümüzün geleneksel enerji üretim ve iletim sistemlerine iyi bir alternatif olarak görülen mikroşebekeler için örnek bir topoloji Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Elbette, mikroşebekeler bu topolojide bulunan elemanların tamamını kullanmak durumunda olmadıkları gibi yapılarına bağlı olarak daha farklı elemanlar da kullanabilirler. Ayrıca mikroşebekelerin, geleneksel şebekelere ek olarak güç akışını ve gerilim seviyesini kontrol etmek amacıyla fazladan donanım ve yazılım kullanmaları gerekebilir [21].

Şekil 2.1 incelendiği zaman ana şebekenin mikroşebekeye bağlandığı noktanın ortak bağlantı noktası (OBN) olarak nitelendirildiği görülür. Bu bağlantının sağlanması genellikle transformatör üzerinden gerçekleşir [15].



Şekil 2.1 : Örnek mikroşebeke sistemi.

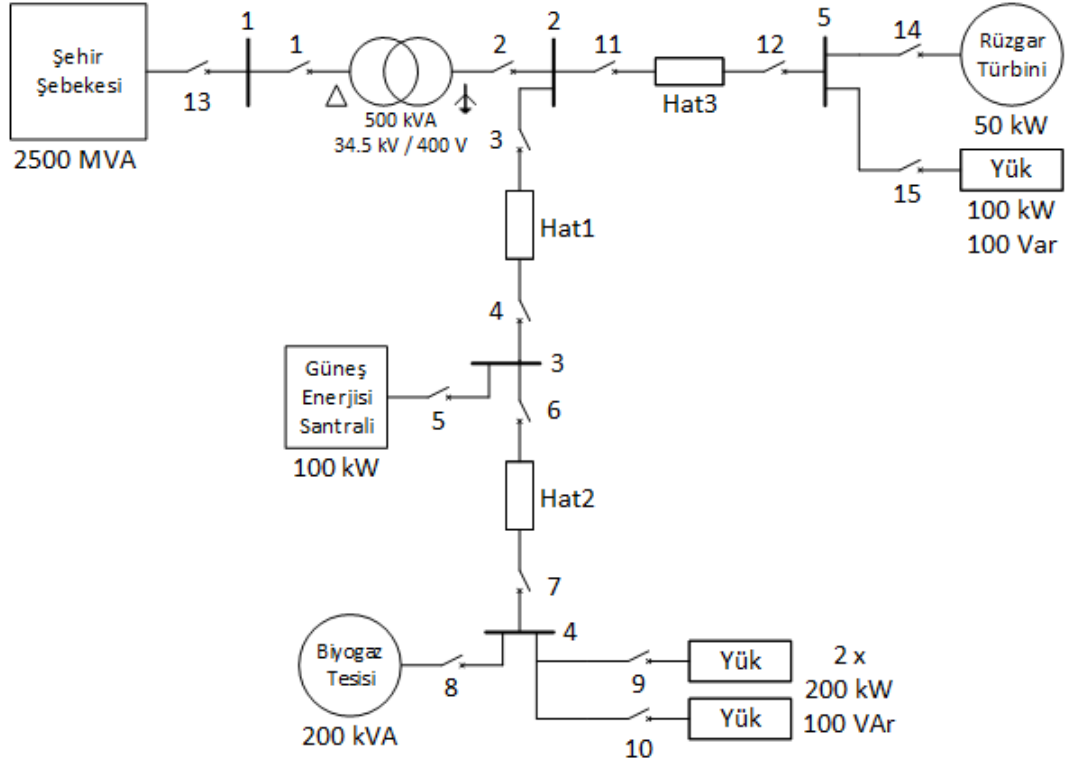
Mikroşebekelerde güç elektroniği devreleri de hayati bir rol oynar. Hem mikro generatörlerin ana şebekeye bağlanmasını hem de sistem ana şebekeden ayrıldığı zaman kritik yüklerin beslenmeye devam etmesini sağlarlar [22].

Kendi mikroşebekemizi oluşturmadan önce bize yardımcı olması amacıyla dünyanın çeşitli yerlerinden bir kaç mikroşebeke örneği seçtik.

Bunlardan bir tanesi Japonya'da Kyoto'nun kuzeyinde bulunan Kyotango şehrindeki Kyotango mikroşebekesidir. İşletmeye 2005 yılının Aralık ayında alınan bu proje 40 km alana yayılmış olup aynı zamanda Kyoto Eko Enerji Projesi olarak da bilinmektedir [2]. Mikroşebeke bünyesinde toplam kapasitesi 400 kW olan biyogaz tesisi, 250 kW kapasiteye sahip erimiş karbonatlı yakıt hücresi (EKYH), 100 kW kapasiteye sahip kurşun asitli batarya, 50 kW'lık güneş enerjisi santrali ve 50 kW kapasiteli rüzgar türbini barındırmaktadır [ref3,ref4]. Şebekenin kontrol ve koruması internet protokolü kullanılarak uzaktan izleme ve kontrol merkezi aracılığıyla gerçekleştirilmektedir [23].

Bir diğer örnek de Hollanda'da bulunan Continuon Tatil Parkı'ndaki mikroşebeke sistemi olarak gösterilebilir. 315 kW toplam güce sahip fotovoltaiik sistemin üretimi gün içinde parkın toplam yükünü aşmaktadır. Bu sebeple mikroşebeke sistemine enerji depolama üniteleri ve güç elektroniği devreleri bağlanması planlanmaktadır [24].

Adaptif koruma uygulamak için kullanacağımız mikroşebeke sistemini yukarıda bahsedilen mikroşebeke örneklerinden faydalananarak oluşturduk. Bu tasarım gerçek hayattan doğrudan alınmış bir sistem değildir. Ancak gerçek mikroşebekelerin genel özelliklerini yansıttığı için oldukça kullanışlıdır. Tasarlanan mikroşebeke Şekil 2.2'de görülebilir.



Şekil 2.2 : Tasarlanan mikroşebeke sistemi.

Şebeke tasarlanırken yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına özen gösterildi, bu sebeple mikroşebekedeki üretim için Kyotango mikroşebekesine benzer şekilde 50 kW'lık bir rüzgar türbini, 100 kW üretebilen bir güneş enerjisi santrali ve 200 kVA gücünde biyogaz tesisi kullanıldı.

Mikroşebekenin şehir şebekesine bağlandığı noktada (OBN) 1 MVA'lık transformatör bulunuyor. Transformatörün birincil sargısı güç sistemindeki dağıtım orta gerilim seviyesi olan 34,5 kV, ikincil sargısı da alçak gerilim seviyesi olan 400 V olarak belirlendi [25]. Transformatör üçgen-yıldız bağlanarak ikincil tarafta bir nötr ve toprak noktası olması sağlanmıştır.

Şebeke bu noktadan sonra iki ana kola ayrılmış durumdadır. Bunlardan bir tanesi rüzgar türbini ve 100 kW'lık bir yükün olduğu üst kol, diğeri ise güneş enerjisi santrali, biyogaz tesisi ve 2 adet 200 kW'lık yükün bulunduğu alt koldur. Ayrıca

aradaki mesafelerin görece uzun olduğu bölgeler için 3 adet 1 km uzunluğunda kısa hat modeli de şebeke içinde kullanılmıştır.

Bunların dışında sistemin koruma ve kontrolünün sağlanabilmesi için yüklerin ve santrallerin bağlantı noktalarına 15 adet kesici yerleştirildi. Böylece sistemin ana hatları oluşturulmuş oldu. Sistemin frekansı Türkiye standartlarına uygun olacak şekilde 50 Hz seçildi [25].

2.2 Mikroşebeke Elemanlarının Modellenmesi

Örnek olarak oluşturduğumuz mikroşebeke için koruma sistemi tasarlamak amacıyla sistemimizi MATLAB altyapısını kullanan Simulink programına aktardık. Simulink içindeki SimPowerSystem kütüphanesi detaylı bir güç sistemi kurabilmemiz için gerekli elemanları sağladı. Aktarılan sistemi Şekil 2.3'te görebilirsiniz.

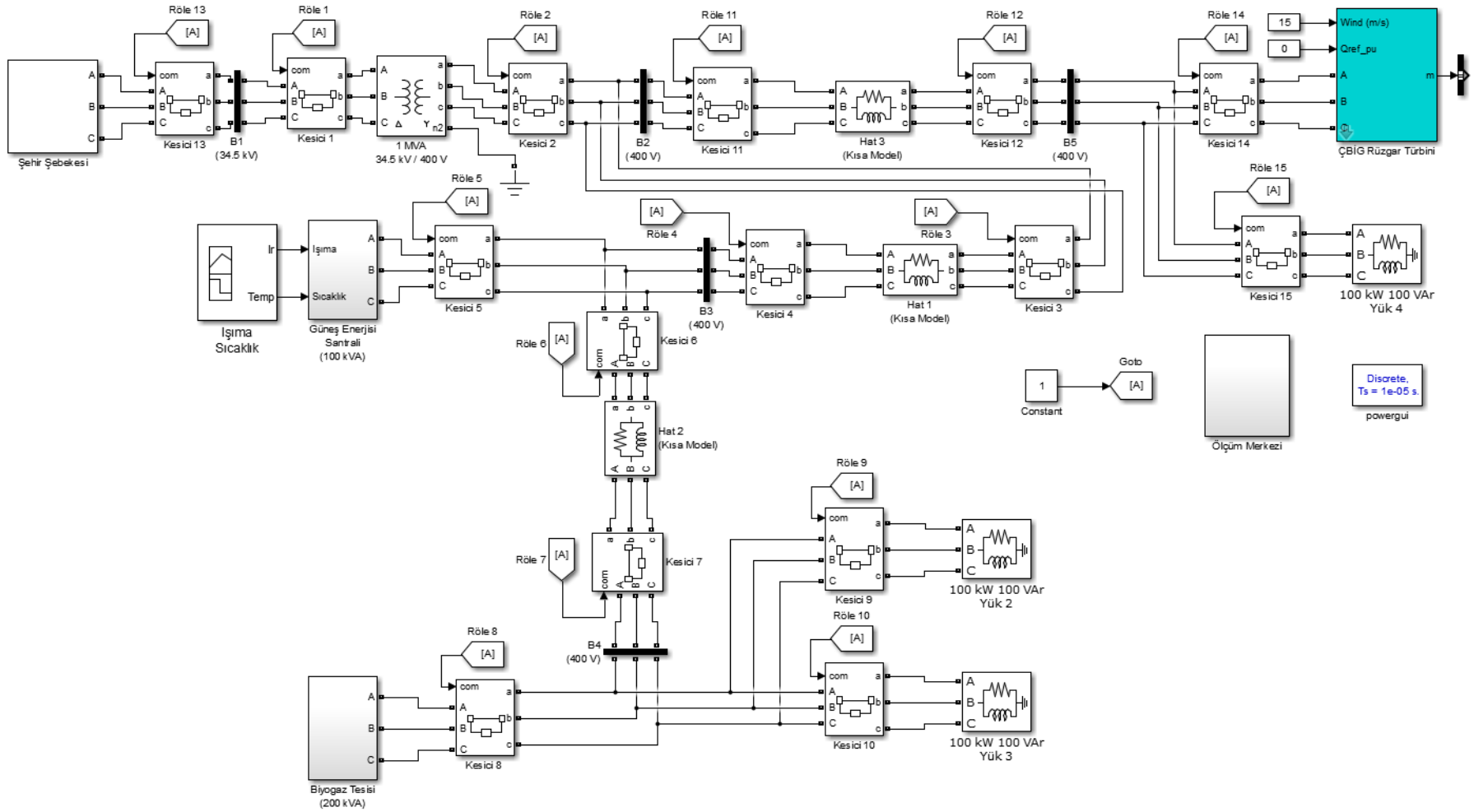
Sistem modelini oluştururken kullanılan elemanların gerçek bir sisteme mümkün olduğunca yakın davranabilmesi amacıyla her eleman modeli için birçok değişken ve blok kullanıldı. Elemanları daha detaylı bir biçimde anlayabilmek ve etkili bir biçimde kullanabilmek için her bir bloğun iç yapısını incelememiz gerekmektedir.

2.2.1 Şehir şebekesi modeli

Mikroşebekenin bağlı olduğu şehir şebekesini modellemek için 2500 MVA kısa devre gücüne sahip 154 kV'luk bir generatör kullanıldı. Bu generatörün gerilimini dağıtım şebekesinin orta gerilim seviyesi olan 34,5 kV'a indirmek amacıyla 50 MVA'lık bir güç transformatörü yerleştirildi. Transformatörün ikincil sargıları üçgen olarak bağlandığından koruma amaçlı bir topraklama transformatörü kullanıldı.

Aslında 3 fazlı sistemlerde topraklama amacıyla bir nötr noktası elde etmenin en iyi yolu yıldız bağlı bir trafo veya generatör bulundurmadır, böylece nötr noktası kendiliğinden hazır bulunur. Ancak üçgen bağlı şekilde kurulmuş sistemlerde nötr noktası kendiliğinden bulunmaz, eğer bu sistem topraklanmak istenirse topraklama transformatörü kullanılması gerekmektedir [26]. Topraklama transformatörleri zig-zag, yıldız-üçgen veya T şeklinde bağlanabilirler [27].

Topraklama transformatörleri hat toprak arızalarında koruma sağladığı gibi tekrarlanan toprak arızaları halinde transient aşırı gerilimleri sınırlar ve eğer gerekirse, tek fazlı yüklerin bağlanmasına olanak sağlar [28].

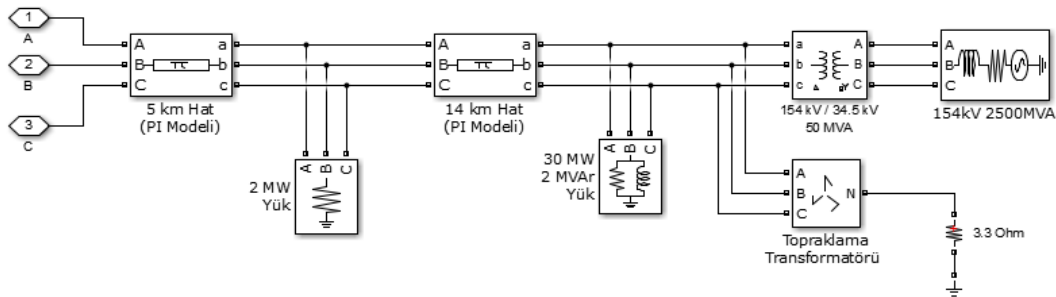


Şekil 2.3 : Mikroşebekenin MATLAB / Simulink modeli.

Topraklama transformatörünün nominal güç değeri hattın nominal gerilim ve akım değerlerine göre belirlenir, böylece hattın nominal gücü ile transformatörün nominal gücü aynı olur. Sistemimizde bu güç 50 MVA olarak belirlenmiştir. Topraklama transformatörleri plaka değerlerindeki akımları sadece 10 s veya 1 dk gibi kısa süreler için taşımaktadırlar. Bu sebeple topraklama transformatörünün boyutları aynı nominal güç değerine sahip güç transformatörlerinden çok daha küçüktür [26].

Orta gerilim seviyelerinde toprak arızası akımları çok yüksek olduğundan ekipmanlara zarar verme riski taşımaktadır. Bu sebeple topraklama yapılırken genellikle doğrudan topraklama yapılmaz [29]. Topraklanan nötr noktasına arıza akımını sınırlamak için düşük değerli bir direnç bağlanır. Dirençler arıza sebebiyle oluşan akımın cihazlara zarar vermesini engelleyecek, ancak aynı zamanda koruma ekipmanlarının arızayı algılamasına engel olmayacak bir değerde seçilmelidirler [29]. Oluşturduğumuz şehir şebekede bu değer 3,3 Ω olarak belirlenmiştir.

Şehir şebeke modelini daha gerçekçi bir şekilde modelleyebilmek için sisteme yükler ve hat modelleri ekledik. Dağıtım transformatörünün çıkışına 30 MW, 2 MVar gücünde bir yük bağlandı. Bu yükten sonra 14 km uzunluğunda bir iletim hattı modeli yerleştirildi. Bu uzunluktaki bir hatta doğru bir modelleme yapabilmek için hattın direnç ve endüktans değerlerinin yanı sıra şönt kapasite değerini de hesaba katmamız gerekmektedir [30]. Bu sebeple bu bloktaki hatlarda π modeli kullanılmıştır. Bu hattın sonuna 2 MW değerinde bir yük bağlandıktan sonra 5 km'lik bir hat daha sisteme eklenerek şehir şebeke sisteminin modellenmesi tamamlanmış oldu (Şekil 2.4).

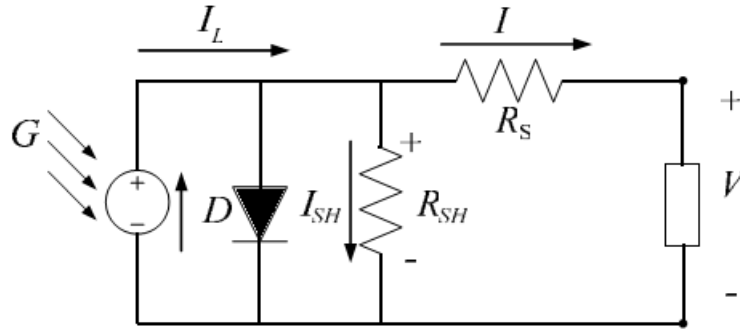


Şekil 2.4 : Şehir şebeke modeli.

2.2.2 Güneş enerjisi santrali modeli

Fotovoltaik paneller ile enerji üretimi, yakacak gideri olmaması, çevreyi kirletmemesi, çok az bakım gerektirmesi ve sessiz çalışması sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır [31].

Bu panellerdeki fotovoltaik hücreler ışığa maruz kaldığı zaman kapalı bir devre oluşturacak şekilde elektronlarını serbest bırakan silikon P-N jonksiyonlarından meydana gelirler [32]. Bu yaklaşıma göre fotovoltaik bir hücrenin eşdeğer devresi Şekil 2.5'te olduğu gibi modellenebilir.



Şekil 2.5 : Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi.

Fotovoltaik hücrede üretilen I_L ışıma ile orantılı olarak değişmektedir. I fotovoltaik hücrenin çıkışındaki akımdır. Hücrenin yapısındaki P-N jonksiyonu karakteristiği eşdeğer devrede diyotla gösterilmiştir [33]. Aşağıdaki formüllerde I_L , I , sıcaklık ve ışıma arasındaki bağıntıyı görebilirsiniz.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nKT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

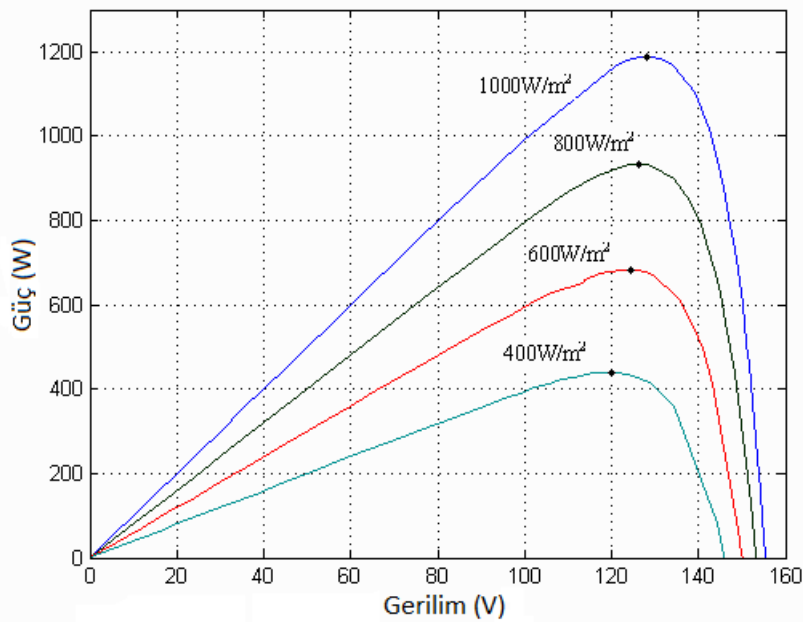
$$I_L = I_L(T_1) + K_0 (T - T_1) \quad (2.2)$$

$$I_L(T_1) = I_{sc}(T_{1,nom}) \frac{G}{G_{nom}} \quad (2.3)$$

Güneş santralimizde kullanılan paneller için SunPower firmasının SPR-305-WHT modeli seçilmiştir. Bu modüller 5 sıra seri ve 66 sıra paralel olacak şekilde birbirine bağlandığında 1000 W/m² ışıma, 25 C sıcaklıkta 273,5 V gerilimde 100,7 kW güç üretebilmektedir [34].

Güneş enerjisi santrali bünyesinde güneş panellerinin güç elektroniği devrelerini de içerir. Güneş panelinin çıkışına bağlanan DC/DC çevirici fotovoltaiik sistemden maksimum miktarda güç elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır, bu sayede masrafin üretilen birim güce oranı mümkün olduğunca düşük tutulmaktadır [35].

Maksimum güç noktası takibi (MGNT) sistemi kullanılarak fotovoltaiik enerji üretiminin verimliliği ve güvenilirliği önemli ölçüde artırılabilir. Bu sistemde güneş panellerinin çalışma noktası değişen ışıma ve sıcaklık göz önünde bulundurularak mümkün olan en yüksek seviyeye çekilir. Kullanılan bu sistemin farklı ışıma değerlerindeki davranışı için Şekil 2.6'da bir örnek verilmiştir [36].



Şekil 2.6 : MGNT ile çalışan güneş panelinin güç gerilim grafiği.

MGNT sistemi DC/DC çevirici ve MGNT algoritması olmak üzere iki birimden meydana gelmektedir. Diğer uygulamalarda DC/DC çeviriciler hattaki veya yükteki değişiklikler karşısında sabit güç vaat ederken, MGNT algoritmasıyla her durum için maksimum gücün alınması sağlanır [35].

Fotovoltaiik uygulamalarda, BUCK tipi çeviriciler genellikle bataryaları şarj etmek için kullanılırken BOOST tipi çeviriciler gerilim seviyesini yükseltmek için kullanılırlar [35]. Bizim amacımız sistemi alçak gerilim şebekesine bağlamak olduğu için güneş panellerinde üretilen 275 V civarındaki gerilimi yükseltmemiz gerekmektedir. Bu sebeple santralin yapısında ortalama modele sahip bir BOOST çevirici kullanılmaktadır. Ortalama modelin denklemlerini Denklem 2.4 ve 2.5'te

görebilirsiniz. V_p ve I_p güneş panelinden gelen akım ve gerilim bilgilerini ifade ederken V_{dc} ve I_{dc} çeviricinin çıkışındaki değerleri göstermektedir.

$$P = V_p * I_p = V_{dc} * I_{dc} \quad (2.4)$$

$$I_{dc} = V_p * I_p / V_{dc} \quad (2.5)$$

MGNT algoritmaları arasında kullanım kolaylığı sebebiyle en yaygın olanı Değiştir ve Gözle (D&G) algoritmasıdır. Bu algoritmaya göre BOOST çeviricinin doluluk oranı (D) şu şekilde değiştirilir: Eğer fotovoltaik panellerin çalışma gerilimi arttırıldıkça panellerden çekilen güç de artırıyorsa bu gerilim arttırılmaya devam edilir. Eğer tam tersi durum söz konusuysa, sistem maksimum güç noktasından uzaklaşıyor demektir, bu durumda gerilim azaltılır. Bu işleme maksimum güç noktası tespit edilinceye kadar devam edilir [36].

Fotovoltaik panellerde üretilen akım doğru akımdır, BOOST çeviricinin çıkışında da doğru akım bulunur. Ancak bizim şebekelerimizde kullandığımız akım alternatif akımdır. Bu sebeple DC/AC eviriciler şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde hayati bir rol oynar. Kullanılan eviricilerin anahtarlama bir kontrol birimi sayesinde denetlenir, bu birim şebekenin gerilim ve akım bilgileriyle BOOST çeviricinin çıkışındaki bilgileri karşılaştırır ve uygun bir kontrol sinyali gönderir. Eviricinin çıkışına bağlanan filtre yardımıyla yüksek dereceli harmonikler giderilir ve böylece şebekeye sinüzoidal bir akım gönderilmiş olur.

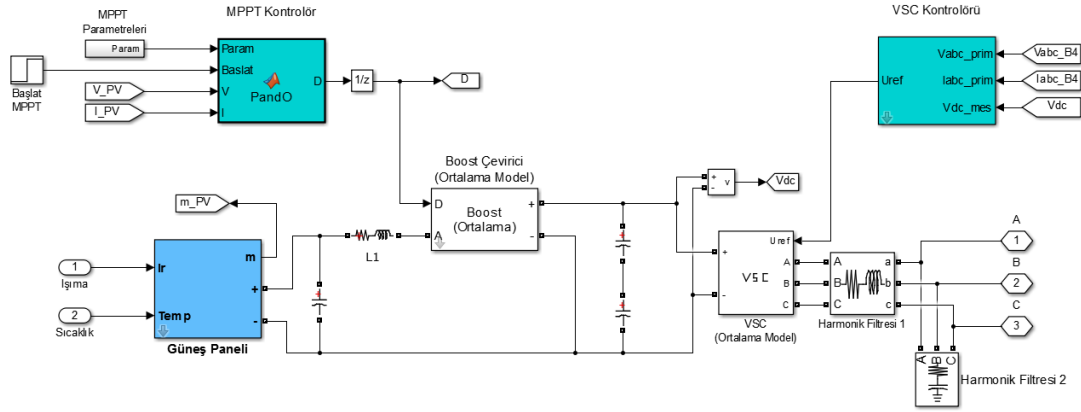
Bizim sistemimizde evirme işlemi için Gerilim Kaynaklı Evirici (GKE) kullanılmış ve çıkışına endüktans ve kapasiteden oluşan LC filtre bağlanmıştır. GKE'nin ortalama modeli için kullanılan denklemleri Denklem 2.6 ve 2.7'de görebilirsiniz. Denklemlerde V_{ab} ve V_{bc} faz arası gerilimleri I_a ve I_c faz akımlarını temsil etmektedir.

$$P = V_{ab} * I_a - V_{bc} * I_c = V_{dc} * I_{dc} \quad (2.6)$$

$$I_{dc} = (V_{ab} * I_a - V_{bc} * I_c) / V_{dc} \quad (2.7)$$

Güneş panellerinin, güç elektroniği devrelerinin, kontrolörlerin ve filtrelerin uygun şekilde bağlanması sonucunda güneş enerjisi santralının modeli oluşturulmuştur. Model, güneş panellerinin çalışması için gerekli olan ışıma ve sıcaklık bilgisini de dışarıdan bir girdi olarak almaktadır, bu sayede farklı ışıma ve sıcaklık durumları için

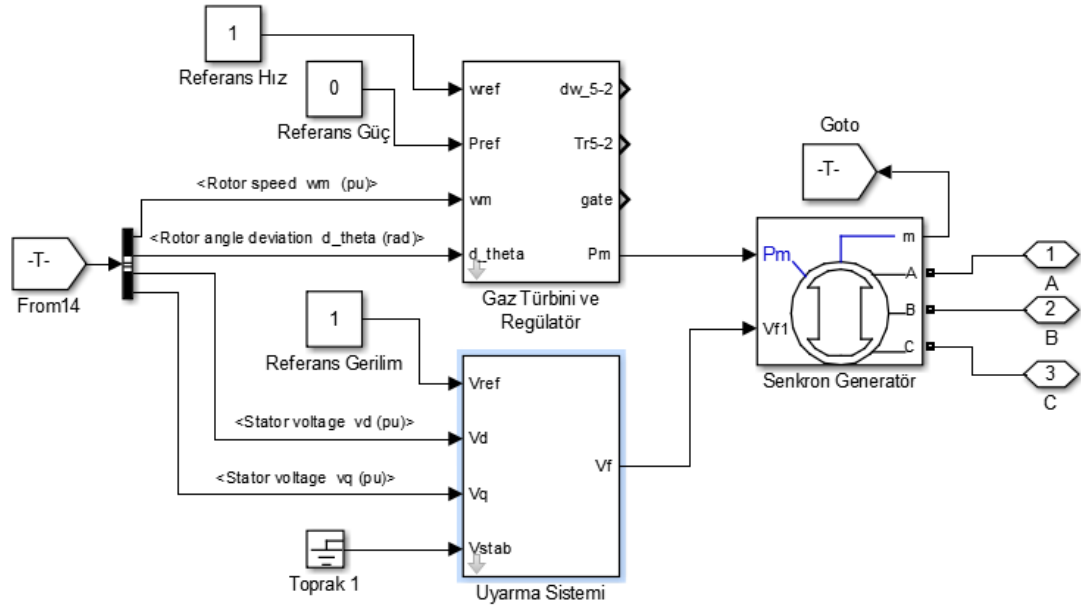
üretileen enerji gözlemlenebilmektedir. Oluşturulan modelin blok diyagramı için Şekil 2.7'ye bakabilirsiniz.



Şekil 2.7 : Güneş enerjisi santralının modeli.

2.2.3 Biyogaz tesisi modeli

Biyogaz tesisi modeli için diğer doğalgaz tesislerinde benzer bir tasarım yapıldı. Bu durumda tesisin modeli senkron generatör, generatörün uyarma sistemi ve gaz türbini ve hız regülatöründen oluşmaktadır. Sistemin tamamı Şekil 2.8'de görülebilir.



Şekil 2.8 : Biyogaz tesisi modeli.

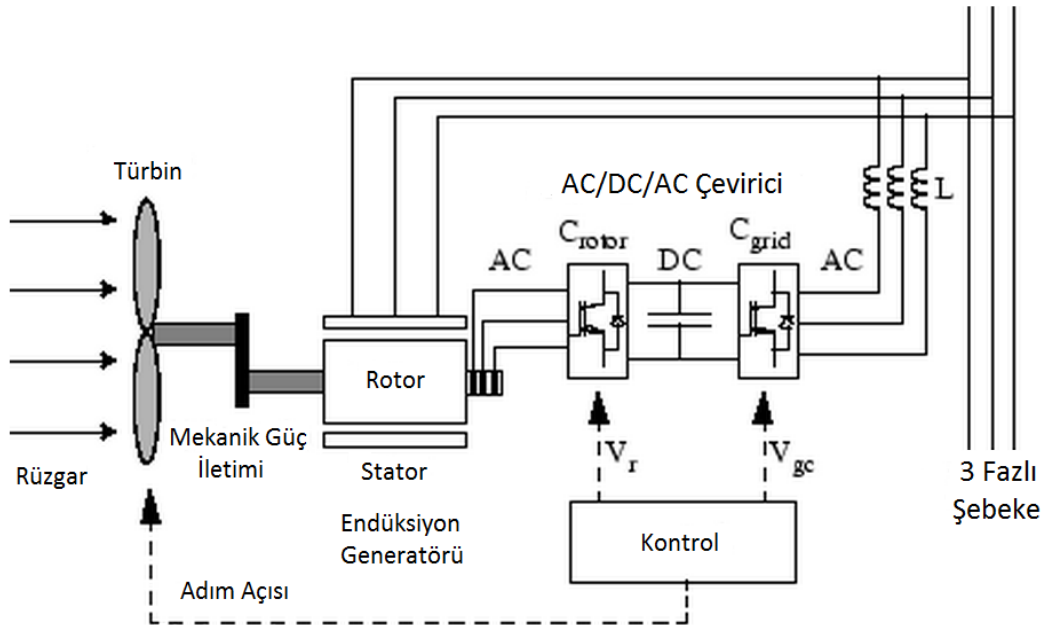
Senkron generatörün karakteristik değişkenleri Simulink kütüphanesinde bulunan standart 200 kW'lık modelden alınmıştır. Generatör çift kutupludur, şebekeye uygun olacak şekilde 400 V ve 50 Hz'lik bir gerilim üretmektedir.

Gaz türbini ve regülatör bloğu, generatörden aldığı rotor hızı ve rotor açısındaki sapma bilgileri ile birincil tahrik sistemi (prime mover) ve hız regülatörünü kullanarak generatöre istenen frekans ve güçte çalışması için gerekli olan mekanik gücü sağlamaktadır. Hız regülatörü sistemi bir oransal regülatör, hız rölesi ve gaz akışını sağlayan kapıları kontrol eden servo motor ile modellenmiştir [37]. Gaz türbini modelinde ise kazan, ara ısıtıcılar ve geçiş boruları birinci dereceden transfer fonksiyonlarıyla ifade edilmiştir.

Uyarma sistemi bloğu ise gerilim regülatörü ve DC uyarıcıdan meydana gelmektedir. Generatörün statorundan aldığı gerilim bilgisini kullanarak generatörün referans gerilimine uygun değerde bir gerilim üretmesini sağlamak için alan gerilimini (V_f) ayarlar. Bu blok IEEE 421 standardında bulunan olan AC1A uyarma sisteminin Simulink'e adapte edilmiş halidir [38].

2.2.4 Diğer sistemlerin modelleri

Çift beslemeli indüksiyon generatörlü rüzgar türbini modeli Simulink örneklerinde bulunan modellerden alınmış olup türbin, indüksiyon generatörü, çevirici, transmisyon ve kontrol elemanlarıyla birlikte oldukça detaylı bir yapıdadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Rüzgar türbini modelinin yapısı.

Modelde 50 kW, 400 V, 50 Hz değerlerine sahip bir asenkron generatör kullanılmıştır. Çevirici modeli AC/DC/AC şeklindedir, şebeke tarafı ve rotor tarafı

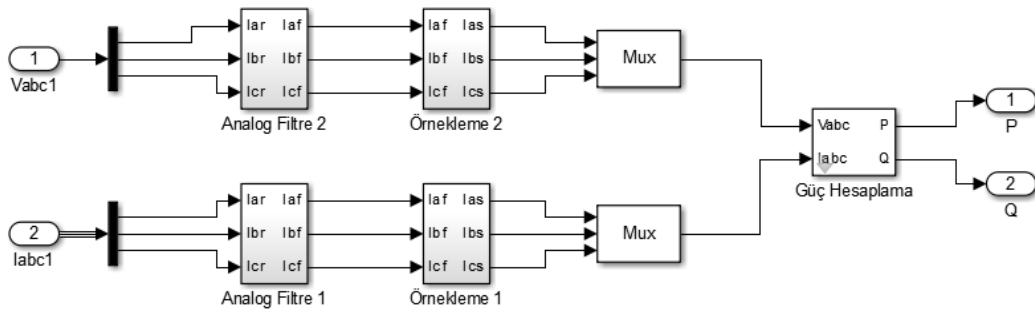
çeviricilerinin kontrolleri bir merkezden sağlanmaktadır. Rüzgar hızından kaynaklı frekans değişimlerine uyum sağlayabilmek için bu türden bir çevirici kullanılmıştır [39]. Kullanılan rüzgar türbini maksimum 55 kW mekanik güç çıkışı sağlayabilmektedir.

Mikroşebeke sisteminde kullanılan hatlar için 1 km'lik kablolar kullanılmıştır. Bu kabloların direnç değeri yaklaşık 0,01 ohm, endüktans değeri ise 0,1 ohm'dur. Hatların ve baraların iletimini kesmek için kullanılan kesicilerin kapalı durumdayken sahip olduğu direnç değeri 0,001 ohm'dur.

Modelde kullanılan 100 kW ve 200 kW yüklerin her birinde aynı zamanda 100 VAR değerinde reaktif yük de bulunmaktadır. Yüklerin hepsi 3 fazlı olup Y şeklinde bağlanmışlardır ve nötr noktaları topraklanmıştır.

2.3 Mikroşebekedeki Yük Akışı

Herhangi bir şebekeyi analiz edebilmek için öncelikle o şebedeki baralarda ve diğer kritik noktalarda güç dağılımının nasıl olduğunu bilmemiz gerekir. Örnek mikroşebekede de bu analizi yapabilmek için yük akışlarını kesicilerin etrafındaki ölçüm noktalarından belirleyeceğiz. Her kesicinin etrafındaki ölçüm noktasına o kesicinin numarası verilmiştir. Bu ölçüm noktaları, gerilim ve akımın değerini filtreleme ve örnekleme işlemi yapıldıktan sonra (filtreleme ve örnekleme kısmı sonraki bölümde detaylı olarak anlatılacaktır) doğru bir şekilde ölçmemize olanak sağlar, bu sayede aktif ve reaktif güç değerleri de hesaplanabilir (Şekil 2.10).



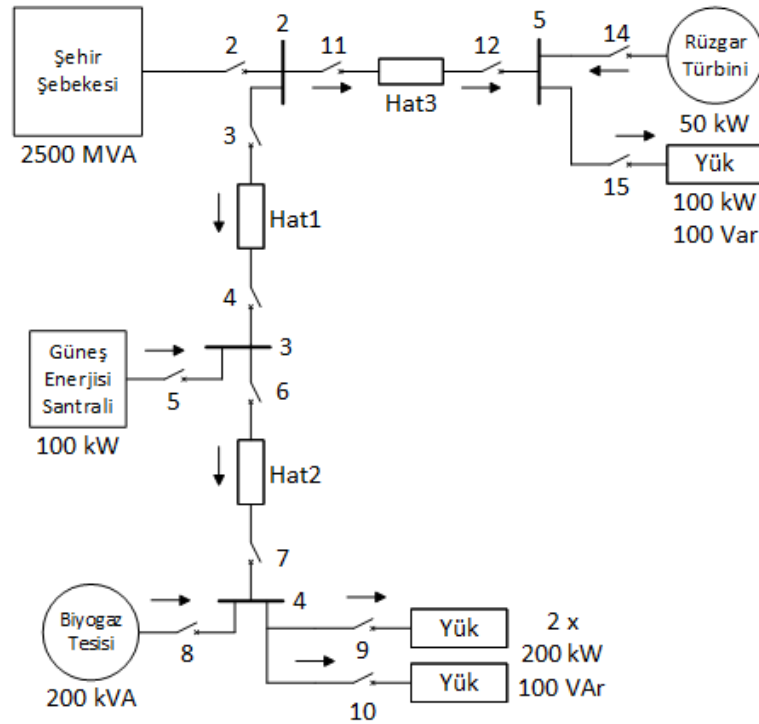
Şekil 2.10 : Güç hesaplama bloğunun modeli.

Bu blok sayesinde hesapladığımız güçlerle oluşturacağımız yük akışı diyagramı özellikle koruma sisteminin tasarlanması konusunda bize oldukça yardımcı olacaktır. Mikroşebekenin yük akışını Çizelge 2.1'de görebilirsiniz.

Çizelge 2.1 : Mikroşebekedeki yük akışı.

Ölçüm Noktası	Aktif Güç Değeri (kW)	Aktif Güç Yönü	Reaktif Güç Değeri (kVAr)	Reaktif GüçYönü
2	181,7	+	8,4	-
3	130,7	-	21,8	+
4	129,6	-	22	+
5	98,9	+	0,05	-
6	228,5	-	22	+
7	224,9	-	22,4	+
8	134,5	+	0,01	+
9	190	+	0,95	+
10	190	+	0,95	+
11	51	+	13,5	+
12	50,8	+	13,7	+
14	42,9	-	13,4	+
15	95	+	0,95	+

Bu şebekede güçlerin yönleri belirlenirken Şekil 2.3'te bulunan kesicilerin bağlantı yönleri esas alınmıştır. Buna göre kesicinin "ABC" girişinden "abc" çıkışına doğru olan akış yönü pozitif aksi yön ise negatif olarak belirlenmiştir. Bu noktadan sonra mikro şebedeki koruma ve kontrol işlemlerinde transformatör ve öncesindeki kısım mikroşebekeye dahil edilmemiştir. Bu durumda oluşan aktif güç akışını Şekil 2.12'de görebilirsiniz.



Şekil 2.11 : Mikroşebekedeki aktif güç akışı.

3. KORUMA ELEMANLARININ MODELLENMESİ

Adaptif bir koruma sisteminin bilgisayar simülasyonu, güç sisteminin modellenmesi, koruma rölesinin modellenmesi ve bu iki sistem arasındaki dinamik etkileşimi içerir. Bu tip simülasyonlar özellikle röle algoritmalarının, röle koordinasyonu ve röle performansı açısından test edilmesinde kullanılırlar [40]. Önceki başlıkta mikroşebekemizin modelini kurmuştuk, şimdi ise koruma elemanlarımızı modelleyeceğiz.

3.1 Koruma Sistemlerinde Kullanılan Yöntemler

Koruma elemanlarının arızaları algılayabilmesi için sistemdeki birtakım değişkenleri analiz etmesi gerekmektedir. Koruma elemanının çeşidine bağlı olarak bu değişkenler farklılık gösterir. Bu değişkenleri ve onları baz alan röle tiplerini şu şekilde özetleyebiliriz [10]:

- **Aşırı Akım:** Aşırı akım durumu şebeke elemanlarında izin verilen maksimum akımdan daha yüksek bir akım tespit edildiği zaman meydana gelir. Aşırı akım rölesi koruduğu cihazın veya hattın akım değerinin, ayarlarındaki akım seviyesini aştığını belirlediği zaman ilgili kesiciye açma sinyali gönderir. Çalışma sürelerine bağlı olarak farklı tiplerde aşırı akım röleleri bulunmaktadır.
- **Aşırı veya Düşük Gerilim:** Elektriksel cihazların hepsi belli bir gerilim aralığında sağlıklı bir şekilde çalışabilirler. Bu gerilimin altına düşüldüğünde cihazlar çalışmayı durdururlar, üstüne çıkıldığında ise izolasyon problemleri sebebiyle hasar görebilirler. Aşırı ve düşük gerilim röleleri cihazlardaki ve hatlardaki gerilim seviyesini inceleyerek, gerilimin istenen aralıkta olup olmadığını denetlerler.
- **Yüksek veya Düşük Frekans:** Şebekedeki frekansın sınır değerlerin dışına çıkacak şekilde değişmesi, sistemdeki güç dengesizliğine işaretler. Frekans röleleri sistem frekansını analiz ederler, eğer frekans belirlenen aralıkta değilse bu durumu arıza olarak algılayıp harekete geçerler.

- Diferansiyel: Bir noktaya giren ve çıkan akımlar daima eşittir. Korunan cihazın veya hattın terminallerindeki akımın miktarındaki veya açısındaki değişimler arızanın açık bir göstergesidir.
- Empedans: Bir hattın veya cihazdan alınan gerilim ve akım verisinin birbirine göre oranı bize empedans değerini verecektir. Empedanstaki aşırı değişimler kısa devre veya senkronizasyon sorunlarının tespitinde kullanılabilir.
- Gücün Yönü: Arızaların doğru olarak tespit edilmesi kadar rölelerin seçiciliği de koruma sistemi için önem taşır. Sadece akımın genliğinin bilinmesi arızanın yerinin tespiti için yeterli olmayabilir, bu durumda güç akışının yönünün de bilinmesi gerekmektedir.
- Diğer Kriterler: Simetrik olmayan arızaların tespit edilmesi için bazı durumlarda akımın negatif veya sıfır faz sırasının incelenmesi gerekebilir. Sıcaklık, yağ akış hızı, gaz miktarı gibi cihazların kendilerine ait özelliklerin incelenmesi, cihazlardaki arızaların tespiti için kullanılabilir. Endüktif olarak topraklanmış sistemlerde nötr hattındaki akım ve gerilimin içerdiği harmoniklerden arıza algılanabilir.

3.2 Aşırı Akım Röleleri

Aşırı akım röleleri iletim ve dağıtım sistemlerini, bu sistemlerde meydana gelebilecek kısa devre veya aşırı yükleme sonucunda oluşan büyük genlikli akımların etkilerinden korurlar. Bu röleler ayrıca generatörlerin, transformatörlerin ve elektrik motorlarının korumasında da kullanılırlar [41].

Arızaların sisteme verdiği hasarı minimuma indirebilmek için rölelerin hızlı, güvenilir ve seçici bir şekilde çalışması beklenir [42]. Bu beklentiyi karşılayabilmek için modern rölelerde yeni nesil mikroişlemcilerin yüksek iletişim, veri depolama ve işleme kapasitesi kullanılır [41].

3.2.1 Aşırı akım rölesinin çalışma prensipleri

Aşırı akım koruması en temel koruma rölesi prensiplerinin başında gelir ve dağıtım sistemleri için neredeyse bütün koruma stratejilerinin belkemiğini oluştururlar [43,44]. Aşırı akım röleleri, kendi koruma bölgelerinden rölenin ayar değerinden daha yüksek bir akım geçtiğini tespit ettiklerinde ani olarak veya belirli bir zaman

gecikmesiyle kesiciye açma sinyali gönderirler [45]. Bu gecikme, çalışma zamanı olarak da bilinir ve rölenin işlemcisindeki koruma algoritması tarafından hesaplanır [46].

Aşırı akım röleleri sahip oldukları akım zaman karakteristiklerine göre 3 farklı kategoride incelenebilirler [47]:

- Ani: Ani aşırı akım rölesi, kendi koruma bölgesinde ayar değerinden yüksek seviyede bir akım tespit ettiği zaman kesiciye hiç bir gecikme uygulamadan açma sinyalini gönderir. Bu karakteristik genellikle arıza akımlarının maksimum yük akımından çok daha yüksek olduğu yerlerde kullanılır.
- Sabit Zamanlı: Sabit zamanlı aşırı akım rölesinin zaman karakteristiği tespit edilen aşırı akımın değerinden bağımsızdır ve $t = C_{\text{sabit}}$ olarak ifade edilebilir. Bu denklemde t çalışma zamanını, C_{sabit} ise sabit bir saniye değerini gösterir. Bu süre içerisinde eğer akım ayar değerlerindeki sınırın altına düşerse kesiciye açma sinyali gönderilmez.
- Ters Zamanlı: Ters zamanlı aşırı akım rölesinde çalışma zamanı arıza akımının değerine bağlı olarak değişir, daha yüksek akımlarda çalışma süresi daha kısa olur. Ters zamanlı aşırı akım rölelerinin akım zaman karakteristiği Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün (IEEE) C37.112-1996 numaralı standardı ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun (IEC) 255-3 numaralı standardına göre Denklem 3.1'deki gibi belirlenmiştir.

$$t = \frac{A}{\left(\frac{I_L}{I_S}\right)^p - 1} * TMS \quad (3.1)$$

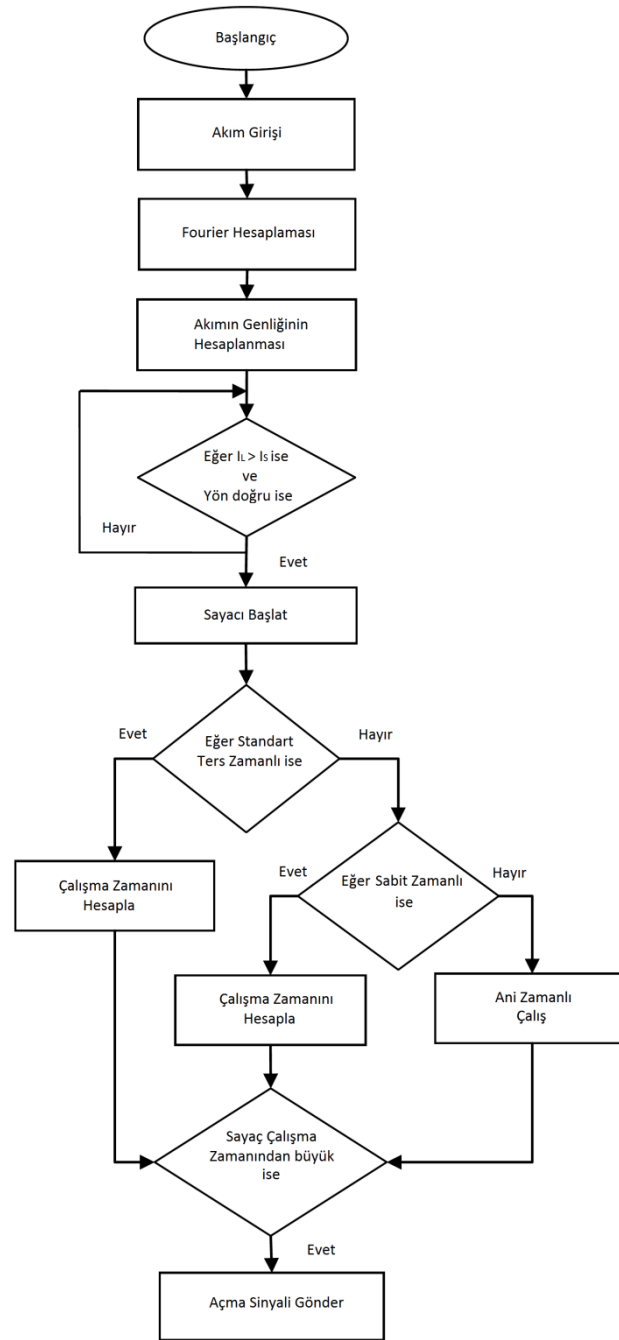
Bu denklemde A ve p zaman sabitlerini, I_L arıza meydana gelmesi halinde geçecek olan kısa devre akımının değerini, I_S rölenin ayarlarındaki izin verilen maksimum akım değerini, TMS zaman ayarı çarpanını göstermektedir.

A ve p zaman sabitlerine bağlı olarak IEC 60255 standardında farklı çeşitlerde akım-zaman karakteristikleri belirlenmiştir. Bu standart çeşitlerden bazılarını Çizelge 3.1'de görebilirsiniz.

Çizelge 3.1 : Çeşitli ters zamanlı akım koruması karakteristikleri.

Karakteristik	A Değeri	p Değeri
Standart	0,14	0,02
Çok	13,5	1
Aşırı	80	2

Bu bilgileri kullanarak bir aşırı akım rölesi tasarlamak için öncelikle çalışma prensiplerini tam olarak yansıtabilecek bir akış diyagramı hazırlamak gerekir. Hazırlanan akış diyagramı Şekil 3.1'de görülebilir.



Şekil 3.1 : Aşırı akım rölesinin akış diyagramı [46].

Aşırı akım rölesinin işlemcisinde bulunan programın başlatılmasının ardından rölenin akım girişinden akım verisi okunur. Bu veri üzerinde Fourier dönüşümü kullanılarak I_L hesaplanır. I_L hesaplandıktan sonra I_L/I_s hesaplanır ve sonraki aşamaya geçilir. Bu diyagramda I_s rölenin ayar değerini göstermektedir. Eğer I_L , I_s 'ten büyük ise arıza olduğu anlaşılır ve sayaç başlatılır, aksi halde akım bilgisi ile I_s karşılaştırılmaya devam edilecektir. I_s her zaman için maksimum yük akımı ile minimum arıza akımı arasında bir değerde seçilmelidir.

Sayaç başlatıldıktan sonra akımın genliğine göre röle karakteristiği belirlenir. Çok yüksek akım değerleri için röle sabit zamanlı olacak şekilde çalışacaktır, diğer akım değerleri için ise standart ters zamanlı karakteristiğe uygun açma zamanı hesaplanır.

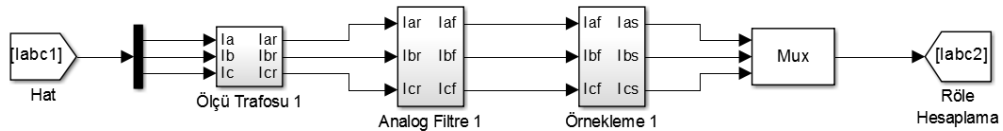
Açma zamanının sonunda akım hala sınır değer üstünde ise açma sinyali kesiciye gönderilir ve açma işlemi gerçekleştirilir.

Eğer aşırı akım rölesinde yön fonksiyonu mevcut ise akımın genliği ile ayar değeri karşılaştırılırken akımın yönü de kontrol edilecektir. Eğer akımın yönü rölenin operasyon bölgesinde ise röle açma sinyalini gönderecektir, eğer değil ise bu sinyal engellenir ve röle çalışmaz.

3.2.2 Aşırı akım rölesinin ve yön elemanının modellenmesi

Oluşturulan mikroşebekenin koruma sistemini oluşturabilmek için önceki bölümde anlatılan prensiplere uygun bir şekilde aşırı akım rölesi MATLAB/Simulink ortamına aktarılacaktır.

Öncelikle mikroşebekeden aldığımız aşırı akım verilerini rölenin doğru olarak değerlendirebilmesi için bir dizi işlemden geçirmemiz gerekiyor. Bu işlemler Şekil 3.2'de blok halinde gösterilmiştir.



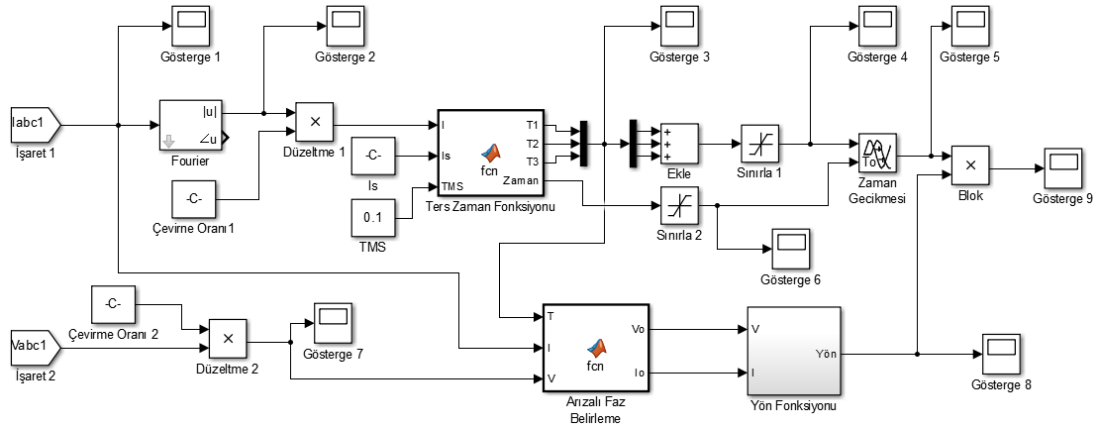
Şekil 3.2 : Akım verisinin filtrelenmesi ve örneklenmesi.

Hattan geçen akım ölçü trafoları yardımıyla rölenin kabul edebileceği bir seviyeye indirilir, bu seviye genellikle 1A ile 5A arasındadır. Buradan alınan 3 fazlı akım bilgisi öncelikle bir analog filtreden geçirilir. Bu sayede hattan akan akımda olması muhtemel harmonikler ve DC bileşen filtrelenmiş olur.

Sistemimizde kullanılan analog filtre temel bileşenden yüksek frekanslardaki harmonikleri ayrıştırmak için özel olarak ayarlanmış alçak geçiren bir filtredir. Filtre Butterworth modelindedir ve derecesi 3'tür.

Filtreden alınan veriler örnekleme bloğu kullanılarak sürekli zamanlı durumdan ayrık zamanlı duruma geçirilerek örneklenir. Bu sayede veriler analog halden dijital hale çevrilmek için uygun duruma gelmiş olurlar. Simulink ortamında bu çeviriye gereksinim olmadığı için analog dijital çevirici kullanmadık.

Örnekleme işlemi yapılan veriler çoklayıcı (mux) kullanılarak rölenin hesaplama merkezine iletilir. Bu sayede tek bir çıkış yardımıyla bütün veriler iletilir. Ayrıca, her bir fazın akım verisi belli aralıklarla denetlenerek iletilmiş olur. Rölenin hesaplama ve karar alma sistemini Şekil 3.3'te görebilirsiniz.



Şekil 3.3 : Rölenin koruma algoritması.

Öncelikle çoklayıcıdan gelen akım verisi örneklerinin tepe değeri Fourier bloğu ile hesaplanır, ölçü trafosunun çevirme oranı ile çarpılarak gerçek akım değeri ters zaman fonksiyonu bloğuna iletilir.

Ters zaman fonksiyonu bloğu gelen akım verisini rölenin ayarlarında belirlenmiş olan I_s değeri ile karşılaştırır. Eğer akım verisi ayarlanmış değerden büyükse gecikme süresi hesaplanmaya başlanır. Eğer bekleme süresince akım, arıza alt sınırının altına düşerse açma sinyali gönderilmez. Gecikme süresi, I_s ve TMS kullanılarak standart ters zamanlı aşırı akım rölesinin formülüne uygun biçimde hesaplanır. Burada hesaplanan süre zaman gecikmesi bloğuna gönderilir.

Aynı zamanda hangi fazın arızalı olduğu da bu blok sayesinde belirlenir. Burada belirlenen faz veya fazlar daha sonra güç akışının yönünün tespit edilmesinde de kullanılacaktır.

Zaman gecikmesi bloğu, ters zaman fonksiyonu bloğundan gelen veriye göre hareket eder. Eğer arıza tespit edilmiş ve hesaplanan açma süresi tamamlanmış ise bu blok kesiciye açma sinyalini gönderecektir.

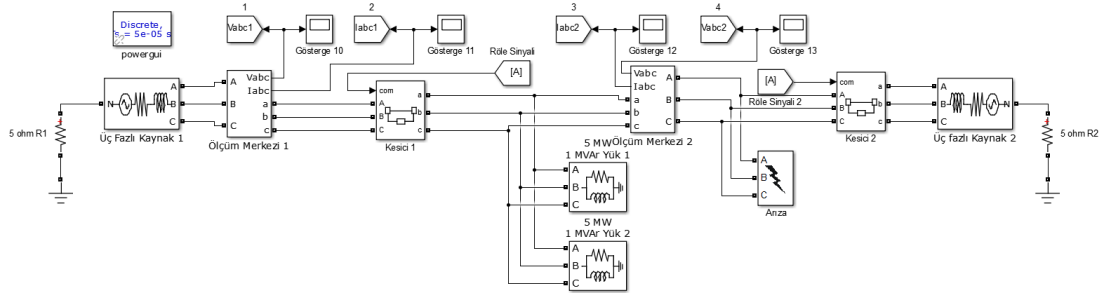
Yön tespiti için gerilim bilgisine de ihtiyaç vardır. Akım ile benzer şekilde, trafo yardımıyla ölçülen gerilim bilgisi önce filtrelendir ardından örneklenerek rölenin hesaplama ve karar alma sistemine gönderilir. Buraya gelen gerilim bilgisi de çevirme oranı ile çarpılarak gerilimin gerçek değeri belirlenir.

Ters zaman rölesinin "T" çıkışlarından gelen bilgiler kullanılarak hangi fazda veya fazlarda arıza olduğu tespit edilir. Arızalı faz belirleme bloğu hangi fazlarda arıza olduğuna bakarak uygun gerilim ve akım bilgisini yön fonksiyonu bloğuna gönderir. Yön fonksiyonu bloğu akımın ve gerilimin açı bilgisini kullanarak yönü tespit eder.

Eğer belirlenen yön, rölenin operasyon bölgesinde ise yön değeri "1" olarak belirlenir aksi halde ise bu değer "0"dır. Bu sayede zaman gecikmesi bloğundan gelen rölenin çalışma kararı engellenmiş veya bu karara izin verilmiş olur.

3.2.3 Yönlü aşırı akım rölesinin simülasyonu

Oluşturulan aşırı akım rölesi modelini mikroşebekeye uygulamadan önce çift taraflı beslemeye sahip daha basit bir sistem üzerinde test ederek doğru çalışıp çalışmadığını belirlememiz uygun olacaktır. Test sistemi Şekil 3.4'te görülebilir.



Şekil 3.4 : Yönlü aşırı akım röleleri için oluşturulan test sistemi.

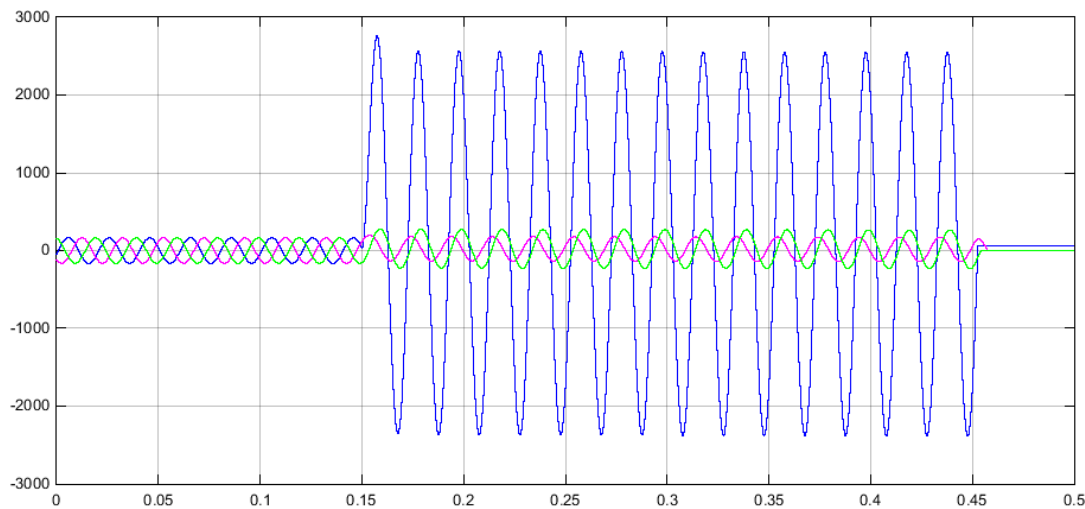
Test sisteminde kullanılan 3 fazlı iki özdeş kaynak 25 kV gerilim ile 50 Hz frekansta güç üretimi yapmaktadırlar, kısa devre güçleri 100 MVA'dır ve 5 Ω direnç üzerinden yıldız bağlantılarının nötr noktası topraklanmıştır. Sisteme bağlı iki yük toplamda 10 MW ve 2 MVar değerinde güç çekmektedir. İki tane ölçüm merkezinden alınan değerler rölelere aktarılmaktadır. Rölelerden gelen röle sinyalleri kesicilere gerekli durumda açma işareti vereceklerdir.

Test sisteminde, yön değişiminin daha iyi anlaşılması için arıza ikinci kaynakla 2 numaralı ölçüm merkezinin arasında gerçekleştirilmiştir. Bu durumda ikinci ölçüm merkezi normal çalışma durumunda akımın yönünü pozitif olarak algılayacak, arıza meydana geldikten sonra ise arıza bölgesi 1 numaralı kaynaktan besleneceği için akımın yönünü negatif olarak tespit edecek ve röle sinyalinin üzerindeki engellemeyi kaldıracaktır. Bu testteki röle operasyonu sadece ikinci ölçüm merkezindeki değerlere göre yapılacaktır.

Röle ayarlarını belirlemek için öncelikle maksimum yük akımını ve minimum arıza akımını belirlememiz gerekiyor. Normal çalışma esnasında maksimum yük akımının tepe değeri 2 numaralı ölçüm noktasında 163,5 A olarak ölçülmüştür. Aynı nokta için minimum arıza akımı tek faz toprak arızası esnasında ölçülmüştür ve tepe değeri 2380 A'dır. I_s ayarı için ikisi arasında bir değer seçmemiz gerektiğinden 200 A olarak belirlenmiştir. Rölenin ters zaman eğrisinin değişkenleri, standart normal ters zamanlı eğri olacak şekilde ayarlanmıştır. Rölenin TMS değeri 0,1 olarak seçilmiştir.

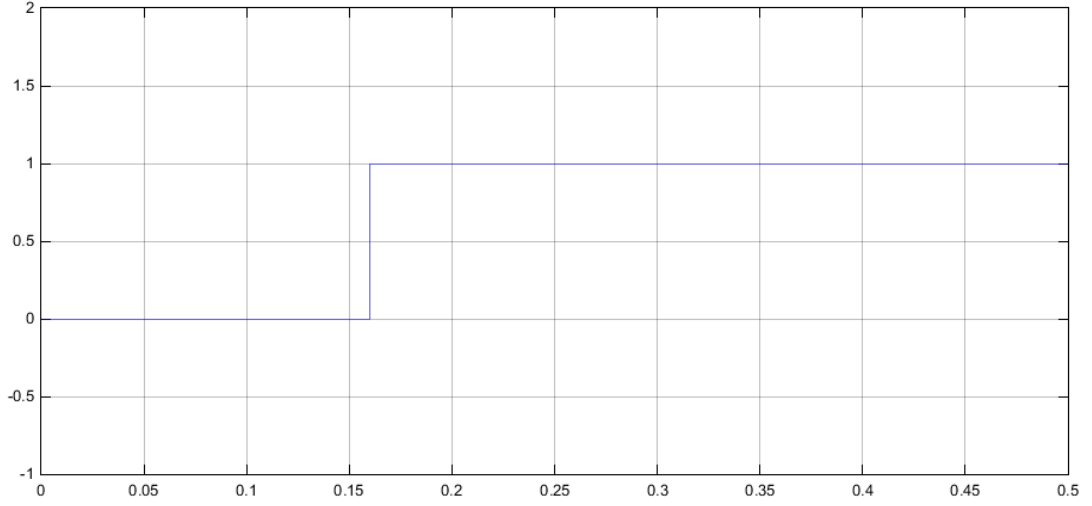
Modeli hazırlanan rölenin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığını görebilmek için sistemde örnek bir kaç arıza gerçekleştirilim.

İlk olarak gerçekleştirdiğimiz arıza tek faz toprak arızasıdır, A fazı ile toprak arasında meydana gelmiştir. Şekil 3.5'te arızanın 0,15. saniyede başladığını ve yaklaşık 0,45. saniyede röle tarafından kesiciye açma sinyali gönderildiğini görebilirsiniz. Bu noktadan sonra şekillerin altında yazan TFT arızanın türünün tek faz toprak arızası olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.5 : Ölçüm Merkezi 2'de ölçülen akımın zamana bağlı grafiği (TFT).

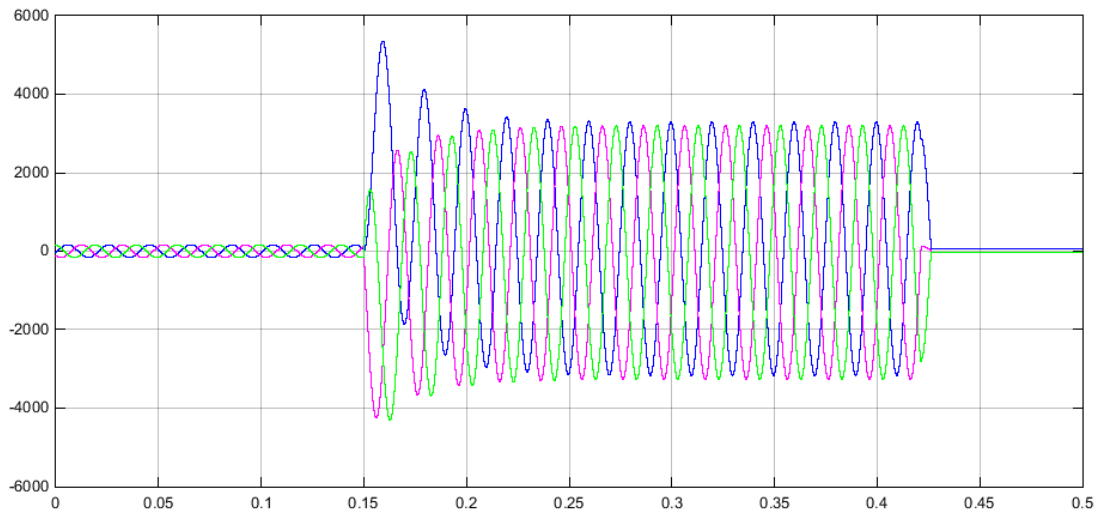
Görüldüğü gibi modellenen yönlü aşırı akım rölesi üstüne düşen görevi gerektiği gibi yerine getirmektedir. Bu görevi yerine getirirken izlediği yön hesaplamasını da Şekil 3.6'da inceleyelim.



Şekil 3.6 : Yön fonksiyonu tarafından algılanan akımın yön zaman grafiği (TFT).

Yön fonksiyonu Şekil 3.6'da görüldüğü üzere akımın yönünü 0,01 saniye gibi kısa bir zamanda belirlemiş ve bloklamayı kaldırarak "1" sinyalini göndermiştir. Bu arıza tipinde açma zamanı 0,298 saniye olarak belirlenmiştir.

Bu başarılı operasyonun sadece tek faz toprak arızasında olmadığını göstermek amacıyla sistemimizde bir de 3 faz arızası gerçekleştirelim. Bu arıza da 0,15. saniyede başlayacaktır. Bu noktadan sonra şekillerin altında yazan (3F) 3 faz toprak arızasını ifade eder.



Şekil 3.7 : Ölçüm Merkezi 2'de ölçülen akımın zamana bağlı grafiği (3F).

Modellenen yönlü aşırı akım rölesi Şekil 3.7'de görüldüğü üzere arıza başladıktan belli bir süre sonra arızayı tespit etmiş ve kesiciye açma sinyalinı göndermiştir. Açma süresi şekilde de görebileceğiniz üzere tek faz toprak arızasına göre daha kısa olmuştur.

Yön fonksiyonu akımın yönünü 0,012 saniye civarında belirlemiş ve bloklamayı kaldırarak "1" sinyalinı göndermiştir. 3 fazlı arızada açma zamanı 0,265 saniye olarak belirlenmiştir. Bu sinyalin şekli Şekil 3.6 ile benzerlik gösterdiği için eklenmesine gerek görülmemiştir.

Böylece modellenen yönlü aşırı akım rölesinin görevini uygun şekilde gerçekleştirdiği belirlenmiş. Sonraki bölümde bu rölenin mikroşebeke üzerindeki uygulamaları yer almaktadır.

4. MİKROŞEBEKELERİN AŞIRI AKIM RÖLESİYLE KORUNMASI

4.1 Mikroşebekenin Yönlü Aşırı Akım Röleleriyle Korunması

Yönlü aşırı akım röleleri, teknik ve ekonomik açıdan, dağıtım sistemlerinde birincil ve iletim sistemlerinde yedek koruma görevi için oldukça iyi bir seçimdir [48,49].

Aşırı akım rölelerinde daha önce bahsettiğimiz gibi farklı zaman ayarları ve bu zaman ayarları için farklı değişkenler kullanılabilir. Standart akım zaman eğrilerine sahip aşırı akım rölelerinde değiştirebileceğimiz iki adet ayar değeri bulunur, bunlar rölenin arıza olarak algıladığı minimum akım değeri olan I_s ve zaman çarpanı ayarı olan TMS değerleridir [50]. Aynı sistemdeki rölelerin koordinasyon problemi, TMS'nin lineer veya lineer olmayan programlama içeren optimizasyon teknikleriyle değiştirilmesi sonucu çözülebilir. I_s değeri ise sistemde normal çalışma ve arıza durumunda, yük akışının hesaplanmasının ardından tecrübelerle dayanılarak seçilebilir [51,52].

Aşırı akım rölesinin minimum çalışma akım değerini belirten I_s aynı zamanda rölenin akım ayarı olarak da bilinmektedir. Bu değer devrede ölçülen maksimum yük akımında rölenin çalışmayacağı kadar büyük, görülebilecek minimum arıza akımından küçük olmalıdır [53]. Aşırı akım rölesinin I_s değerinin maksimum yük akımına olabildiğince yakın seçilmesi halinde aşırı akım rölesi sistemi aşırı yüklenme durumundan da koruyacaktır [53].

Röle koordinasyonu koruma sisteminde önemli bir yer tutar. Röle koordinasyonu sayesinde arıza durumunda devrenin sadece arızalı kısmı çalışan sistemden ayrılır, böylece sağlam kısmının sistemden ayrılması önlenmiş olur [53]. Bu sebeple rölelerin çalışması için uygun zaman aralığının seçilmesi korumanın seçiciliği açısından hayati önem taşımaktadır [54].

Çalışma zaman aralığı iki koruma seviyesi arasındaki zaman farkını ifade etmektedir. Bu zaman aralığı hem çok yüksek akımların geçtiği arıza durumlarında gecikmeyi önleyecek hem de seçiciliği sağlamak için tatmin edici bir güvenlik aralığı bırakacak şekilde seçilmelidir [54]. Koruma amacıyla ters zamanlı röleler kullanıldığında sabit

zamanlı rölelere göre genellikle daha uzun bir zaman aralığı kullanılır, bunun sebebi çalışma zamanının belirlenmesi için akımın değerinin ölçülmesi sırasında meydana gelebilecek hatalardan emin olmaktır. Ters zamanlı röleler için arızanın temizlenme süresi " Δt " aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi hesaplanabilir [54].

$$\Delta t = t_h + t_r + t_k + t_g \quad (4.2)$$

Bu denklemde;

t_h : Rölenin zamanlama hatasının (E_r) iki katı ile ölçüm transformatörünün hatasının (E_{ct}) yüzde cinsinden toplamı alınır. Bu toplamı önceki koruma seviyesindeki rölenin açma zamanı ile çarparsak (t_1) t_h değerini elde etmiş oluruz.

t_r : Rölenin iç yapısından kaynaklanan sebeplerden dolayı oluşan gecikme miktarıdır.

t_k : Kesicinin açma zamanıdır, bu süre kesicinin tipine göre farklılık gösterir.

t_g : Uygulamada meydana gelebilen diğer hatalardan dolayı oluşabilecek gecikmeler için bırakılan güvenlik payıdır.

Günümüzdeki dijital röleler için genellikle Δt değerinin 300 - 400 ms aralığında seçilmesi çoğu durum için uygun olacaktır [54]. Elektromekanik röle kullanımı durumunda daha uzun zaman aralıkları seçilmelidir. Zaman aralığının seçilmesinde kesici de büyük önem taşımaktadır, eğer vakum tipindeki kesiciler kullanılırsa bu süre 300 ms'nin de altına çekilebilir [54].

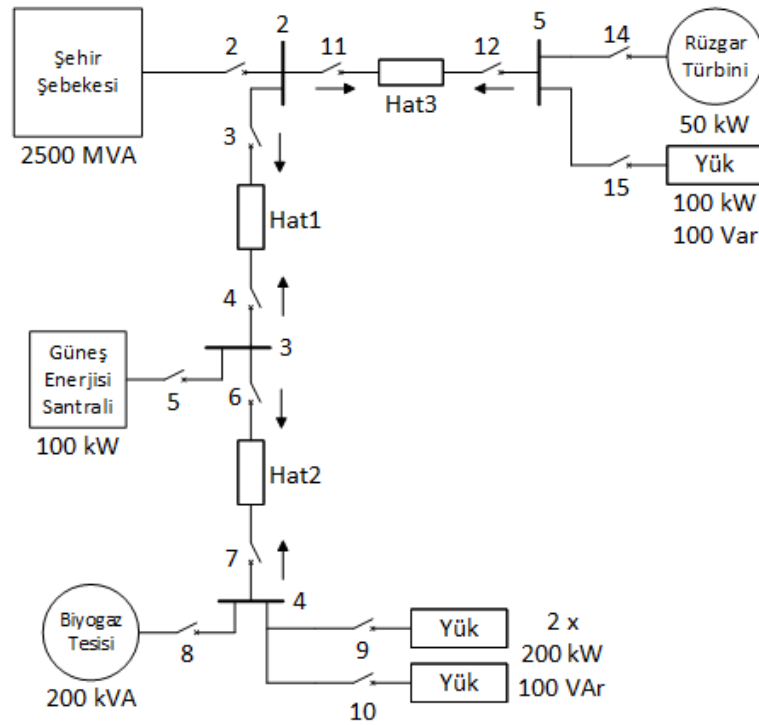
Beslemenin birden fazla noktada gerçekleştiği halka veya gözlü şebekelerde korumanın seçiciliği yönlü aşırı akım röleleri tarafından sağlanır [54]. Yönlü aşırı akım rölesinin çalışması için ölçülen akımın ayar değerini aşması ve akımın yönünün rölenin ayarlarında belirtilen yönle aynı olması gerekmektedir. Böylece koruma hem zamana hem de akım yönüne bağlı olarak gerçekleştirilmiş olur.

Yönlü röleler arızanın yerine göre farklı çalışma zamanları gerektiğinde kullanılırlar. Örneğin, eğer belirli bir baranın ve baraya bağlı bir hattın farklı çalışma zamanlarıyla korunması isteniyorsa bu durumda aşırı akım rölesinin yön ayarları kullanılmalıdır.

Halka gözlü şebekelerde genellikle yönün belirlenmesi saat yönüne göre gerçekleştirilir. Besleme temel alınarak öncelikle saat yönünde daha sonra da tersi yönde zaman aralıkları belirlenir ve rölelere bu değerler uygulanır [54].

4.2 Model Mikroşebekenin Yönlü Aşırı Akım Rölesi ile Korunması

Örnek mikroşebeke sisteminde (Şekil 4.1) korumayı sağlayabilmek için öncelikle rölelerin koruyacağı yönleri belirlememiz gerekmektedir. Şebekemiz halka şebekede olduğu gibi birden fazla yönden beslenmektedir, bu sebeple rölelerin yönlerinin birbirlerine bakacak şekilde seçilmesi uygun görüldü. Bu durumda mikroşebekede hatlar hattın uçlarındaki röleler tarafından korunmaktayken, baralar kendilerine uzak taraftaki röleler tarafından korunurlar. Ancak bu koruma sisteminin öncelikli amacı mikroşebekedeki hatların korunmasıdır. Bu sebeple transformatör ve öncesindeki elemanlar örnek sisteme dahil edilmedi. Ayrıca röleler isimlendirilirken iletişim halinde oldukları kesicilerin numaraları kullanılmıştır.



Şekil 4.1 : Model mikroşebekenin YAAR ile korunması.

Ters zamanlı aşırı akım röleleri için ayar değişkenleri I_s ve TMS'dir. Bu değerlerin tespiti için sistemdeki akım bilgilerini okunur ve bu bilgiler kullanılarak rölelerin akım ayar değeri aşağıdaki formüle uygun olarak hesaplanır [55].

$$1,1 \times I_{Lmax} \leq I_s \leq \frac{2}{3} I_{Fmin} \quad (4.1)$$

Bu formülde I_{Lmax} maksimum yük akımını, I_{Fmin} ise minimum arıza akımını göstermektedir. Sistem üzerinde yaptığımız deneyler sonucunda hesaplarımızda I_s

değerini belirlerken " $1,1 \times I_{Lmax}$ " formülünü kullanmanın uygun olduğunu gözlemlendi. Çizelge 4.1'de görülebilen, sistemdeki kesicilere bağlanmış olan 10 adet aşırı akım rölesinin I_s değerleri bu formüle göre, değerler yukarı yuvarlanarak hesaplanmıştır. Yüklerin korunması sisteme dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.1 : Yönlü aşırı akım rölelerinin I_s değerleri.

Röle Numarası	Akım Değeri	I_s Değeri
2	942,4928	1037
3	747,4274	823
4	478,771	527
5	205,1576	226
6	747,4274	823
7	273,6134	301
8	273,6134	301
11	195,0665	215
12	99,13576	110
14	99,13576	110

Mikroşebekeyi koruyan rölelerin I_s değerleri hesaplanırken olası tüm durumların hesaba katılması gereklidir. Buna göre 2, 3, 6 ve 11 numaralı rölelerin gördüğü akım değerleri bulunurken sadece şehir şebekesinin mikroşebekeye bağlı olduğu, diğer tüm kaynakların şebekeden ayrıldığı durum göz önünde bulundurulmuştur. Dağıtık üretim kaynaklarıyla aynı baraya bağlanan rölelerin I_s değerleri de aynı olacak şekilde seçilmiştir, 4 numaralı rölenin akım ayar değerinin hesaplanmasında ise alt koldaki kaynakların ürettiği toplam güç hesaba katılmıştır.

Bütün baralarda gerçekleştirilen 3 faz, faz faz, tek faz toprak ve faz faz toprak arızası aynı zamanda röle koordinasyonu için de kullanılmıştır. Kullanılan rölelerin dijital olduğu düşünüldüğünde birincil koruma ve yedek korumalar arasında 350 ms'lik bir çalışma zaman aralığı bırakılması uygun görülmüştür. Her bara için hangi rölenin birincil hangi rölenin yedek koruma yaptığını Çizelge 4.2'de görebilirsiniz. 5, 8, 14 numaralı röleler hatların ucunda olduğu için yedekleri bulunmamaktadır.

Çizelge 4.2 : Yönlü aşırı akım rölelerinin görevleri.

Bara Numarası	Birincil Koruma	Yedek Koruma
2	2, 4, 12	5, 7, 14
3	3, 5, 7	2, 8, 12
4	6, 8	3, 5
5	11, 14	2, 4

Rölelerin TMS değerleri bu görevlere göre deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 4.3'te görülmektedir. Yükler arızayı besleyecek nitelikte olmadığından bağlantı noktalarına röle yerleştirilmesi gerekli görülmemiştir.

Çizelge 4.3 : Yönlü aşırı akım rölelerinin TMS değerleri.

Rölenin Numarası	TMS Değeri
2	0,30
3	0,18
4	0,12
5	0,29
6	0,04
7	0,19
8	0,27
11	0,06
12	0,08
14	0,13

Rölelerin görevleri belirlendikten ve belirtilen ayarlar rölelere uygulandıktan sonra her barada tekrardan arızalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen açma zamanları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Rölelerin ani veya sabit zamanlı seçenekleri bu sistemde kullanılmamış sadece ters zaman ayarı kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 2).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,760	0,808	0,752	0,757
4	0,563	0,481	0,520	0,477
5	1,165	0,959	0,869	0,838
7	1,016	0,838	1,061	1,327
8	1,348	1,358	1,377	1,561
12	0,676	0,416	0,369	0,526
14	1,478	0,789	0,925	1,095

Çizelge 4.5 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 3).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,815	0,886	0,792	0,823
3	0,446	0,480	0,434	0,449
5	0,737	0,817	0,904	0,858
7	0,950	0,906	0,956	1,094
8	1,323	1,272	1,298	1,545
12	1,528	1,674	0,823	1,042
14	1,351	1,441	0,972	1,021

Çizelge 4.6 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 4).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,857	0,958	0,982	0,951
3	0,468	0,514	0,527	0,516
5	1,232	0,760	0,864	0,855
6	0,103	0,104	0,111	0,105
8	1,103	1,039	1,079	1,383
12	0	1,101	0	0
14	0,972	0,964	1,210	1,750

Çizelge 4.7 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Bara 5).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,812	0,878	0,826	0,847
4	1,076	0,450	0,548	0,531
5	2,056	0,781	0,843	0,856
7	1,636	1,301	1,120	1,466
8	2,066	1,764	1,795	2,286
11	0,098	0,099	0,096	0,097
14	1,285	0,732	0,853	0,966

Yukarıdaki çalışma, model şebekenin baralarında oluşabilecek arızalara önerilen koruma sisteminin verdiği cevabı içermektedir. Çizelgelerde görülebileceği gibi 350 ms çalışma zaman aralığı istisnalara rağmen genellikle korunmuş, hiç bir durumda 300 ms'nin altına inilmemiştir. Birincil koruma için rölelerin açma zamanlarının en fazla 1 saniye civarında olmasına özen gösterilmiştir, 1,5 saniyenin ise her zaman altında kalınmıştır. "0" olarak belirtilen durumlarda aşırı akım rölesi arızayı görmemiştir. Açma zamanı için minimum süre 100 ms olacak şekilde belirlenmiştir.

5. MİKROŞEBEKELERİN ADAPTİF VE ENTEGRE KORUNMASI

5.1 Mikroşebekelerde Adaptif Koruma

Dağıtık enerji kaynaklarının alçak ve orta gerilim dağıtım sistemlerinde gitgide artması sonucunda şebeke tasarım ve kontrolündeki teknik, ekonomik ve yasal sınırlar değişmektedir [56]. Bu sebeple, şebekenin kontrolü, koruması ve işletmesi daha kompleks bir hale gelmektedir. Dağıtık enerji kaynağı olarak kullanılan, ürettiği güç zamanla değişebilen yenilenebilir enerji tesislerinin şebekeye bağlanması sonucunda şebekelerde yapısal değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikler de şebekeyi koruma ve kontrol açısından yeni zorluklarla karşı karşıya bırakmaktadır. Geleneksel koruma sistemleri dağıtık enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanıldığı bölgelerde güvenilirlik ve seçicilik beklentilerini yeterince karşılamamaktadırlar [57,58].

Özetle, dağıtık üretimin yoğun olduğu mikroşebekelerde geleneksel koruma sistemlerinin doğru bir şekilde çalışmasına engel olacak bazı faktörler bulunmaktadır [59,60]. Bu faktörleri:

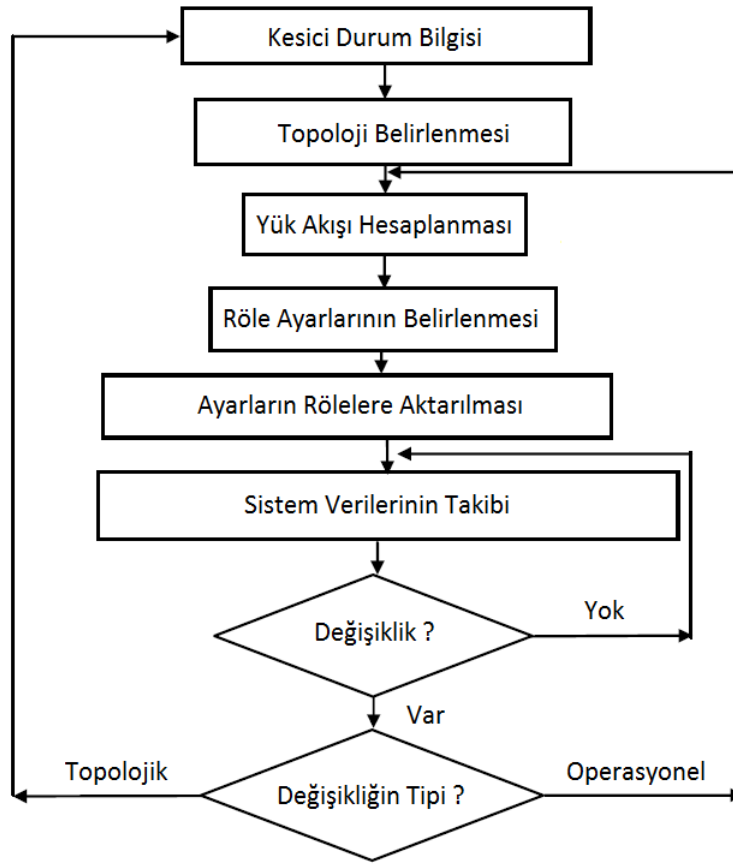
- Çift yönlü güç akışı,
- Ada durumunda da çalışabilmenin sonucunda geleneksel şebeke hiyerarşisinin bozulması, sadece iletim sisteminin değil dağıtım sisteminin de enerji dengesinin sağlanmasına katkıda bulunması,
- Şebekenin farklı noktalarına bağlanan generatörlerin şebekenin topolojisini değiştirmesi,
- Yenilenebilir kaynaklardan gelen değişken enerji üretimi

şeklinde sıralayabiliriz.

Şebekeye yeni bağlanan generatörlerin arıza akımını arttırıcı yönde bir etkisi olacaktır, bu sebeple yeni arıza akımları hesaplanmalı ve sistemin koruma koordinasyonu yeniden hazırlanmalıdır. Ancak sürekli değişen sistem koşulları altında rölelerin ayarlarının tekrar tekrar yapılması zaman kaybına yol açan yorucu

bir işlem olacaktır. Bu sebeple uzaktan haberleşme yeteneğine sahip farklı bir koruma taslağı kullanılmalıdır [61].

Adaptif koruma kullanılması durumunda şebekenin koruması ve sistem güvenliği önemli ölçüde sağlanmış olur. Adaptif koruma görece olarak yeni uygulanmaya başlanmış bir yöntemdir. Adaptif koruma, korumayı daha güvenilir hale getirmek için koruma sisteminin çalışma parametrelerini değişen sistem şartlarına göre kendiliğinden değiştirme özelliği olarak tanımlanabilir [52]. Adaptif korumanın güç sistemindeki değişimlere nasıl tepki verdiği Şekil 5.1'deki akış diyagramından incelenebilir.



Şekil 5.1 : Adaptif koruma sisteminin akış diyagramı.

Akış diyagramına göre, kesiciler ile iletişim halinde olan merkez koruma sistemi kesicilerden aldığı durum bilgisiyle o anki topolojiyi tespit edebilmektedir. Topolojisi ve akım, gerilim, güç gibi verileri anlık olarak takip edilen sistemin yük akışı da bu bilgilerle belirlenebilir. Yük akışı belirlendikten sonra rölelerin koordinasyon hesapları yapılır ve bu doğrultuda hesaplanan yeni ayarlar rölelere yüklenir. Sistemden okunan verilerde herhangi bir değişiklik olmadığı sürece

rölelerin ayarlarında da bir değişiklik olmayacaktır. Eğer bir değişiklik tespit edilirse öncelikle değişikliğin tipi belirlenir. Eğer sistemin topolojisini değiştirecek bir değişiklik gerçekleşmişse, örneğin bu arıza veya ada durumuna geçme olabilir, kesici bilgileri değerlendirilir ve yeni topoloji tespit edilir. Eğer değişiklik yalnızca operasyonel ise topolojiye tekrar bakılmaz sadece yük akışı yeni baştan hesaplanır.

5.2 Mikroşebekelerde Entegre Koruma

Sinyal işleme ve bilgisayarların işlem g   lerinde yaşanan büyük gelişmeler ve yeni geliştirilen haberleşme şemaları entegre koruma sistemleri için fırsat haline gelmiştir.

Yeni geliştirilen koruma şemalarında kullanılan entegre röleler, her baradaki gerilim transformatöründen ve o baraya bağlı bütün hatlardaki akım transformatörlerinden verileri almaktadırlar. Ayrıca bu röleler hem komşu entegre röleler ile hem de merkezi koruma ve kontrol sistemiyle iletişim halindedirler [14].

Entegre aşırı akım röleleri (EAR) hem geleneksel hem de yeni koruma fonksiyonlarıyla donatılmışlardır. Temel olarak bu fonksiyonlar üç aşamada uygulanırlar [14,62].

Birinci aşama yönlü aşırı akım rölesinin ani açma uygulamasıdır. Eğer akımın değeri röle ayarlarında belirlenen ani açma sınırının üstüne çıkarsa entegre röle ani açma işlemini uygulayacaktır.

 kinci aşama rölenin arızayı tespit ettiği ancak akım değerinin ani açma sınırının üstüne çıkmadığı durumlarda geçerlidir. Bu durumda arızayı tespit eden entegre röle komşu baralardaki r lelerdeki akımın yönünü inceler. Eğer komşu rölelerden birinin tespit ettiği akım yönü arızayı tespit eden entegre rölenin tespit ettiği akım yönü ile belli bir hat için zıt ise arızanın hangi hatta olduğu tespit edilmiş olur.

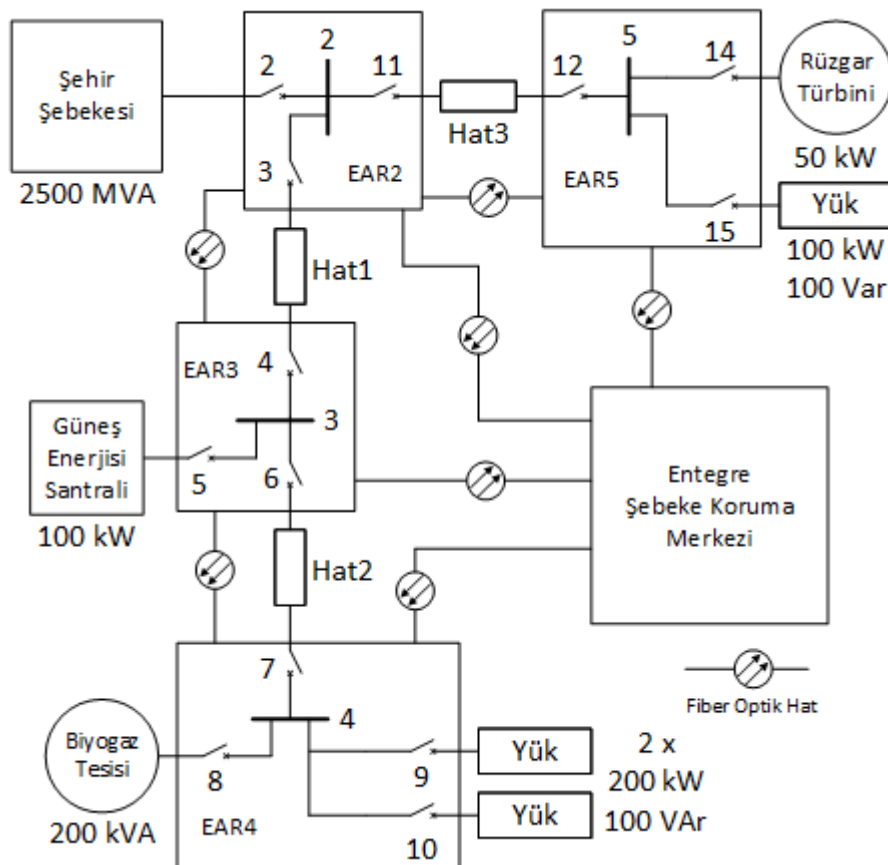
   nc  aşama diğer iki aşamanın hattaki arızayı giderememesi durumunda kullanılır. Bu durumda bütün röleler entegre şebeke koruma (EşK) merkezine arıza akımı ve yönüyle ilgili bilgileri gönderir. EşK birimi bu bilgileri kullanarak arızanın yerini tespit eder ve gerekli kesicilere açma sinyali gönderir.

Yapılan fizibilite çalışmalarında 100 Mbit/s fiber optik Ethernet bağlantısı ile böyle bir sistemde elemanların bir kaç milisaniye içerisinde haberleşebileceği ve çok kısa s relerde arızalara müdahale edilebileceği belirlenmiştir [14].

5.3 Model Mikroşebekelerin Adaptif ve Entegre Yöntemiyle Korunması

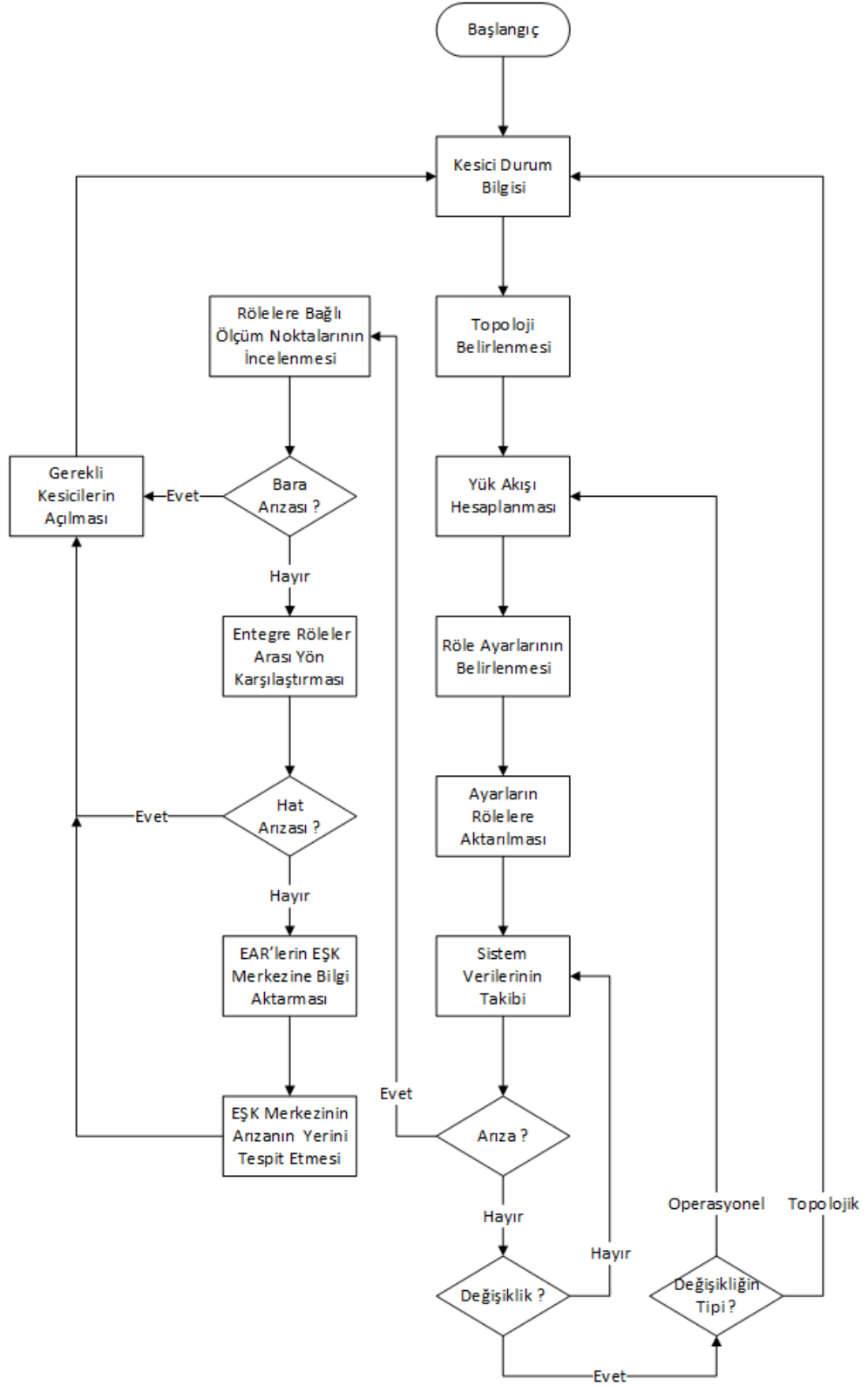
Güç sistemlerinde adaptif ve entegre koruma şemalarının nasıl işlediği analiz edilerek örnek mikroşebekeye kolaylıkla aktarılabilir. Haberleşmenin öneminin büyük olduğu bu tarz koruma şemalarında mesafelerin kısa olmasının da hem hız hem de maliyet bakımından bir avantaj olacağını söyleyebiliriz.

Öncelikle sistemdeki entegre aşırı akım rölelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Koruma sistemine dahil ettiğimiz 4 adet baraya bağlı 15 adet ölçüm noktası kullanılarak 4 adet EAR oluşturulur. Bu durumda EAR2 2, 3, 11 numaralı; EAR3 4, 5, 6 numaralı; EAR4 7, 8, 9, 10 numaralı; EAR5 12, 14, 15 numaralı ölçüm noktalarından akım bilgisini almaktadır. Her röle komşu röle veya röleleriyle iletişim halindedir, böylece EAR2 ile EAR3 ve EAR5, EAR3 ile EAR2 ve EAR4, EAR4 ile EAR3, EAR5 ile de EAR2 arasında haberleşme hattı bulunur. Ayrıca bütün entegre röleler entegre şebeke koruma sistemiyle de haberleşme halindedir.



Şekil 5.2 : Entegre rölelerin mikroşebekede uygulanması.

Adaptif koruma için oluşturulan akış diyagramına entegre korumanın özelliklerini de eklediğimizde koruma sisteminin genel akış diyagramını elde etmiş oluruz. Bu diyagramı Şekil 5.3'te görebilirsiniz.



Şekil 5.3 : Adaptif-entegre koruma sisteminin akış diyagramı.

Akış diyagramının ilk bölümü adaptif korumada oluşturduğumuz diyagramla aynı özellikleri taşır, kesici durum bilgisi ile başlayan bu süreç sistemde herhangi bir değişiklik olana kadar sistem verilerini takip etmektedir. Sistem verilerini takip ederken değişimler ve arızalar incelenmekte ve meydana gelen değişimlerin tipine bakılmaktadır. Topolojik değişimler ve arızalar kesici durum bilgisini değiştirdiğinden bu haller oluştuğunda kesici durum bilgisi adımına geri dönülür.

Operasyonel değişimlerde ise sadece yük akışı tekrar hesaplanır. Güç sistemlerinde çeşitli durumlar sebebiyle yük ve üretim zaman içinde ufak değişiklikler gösterebilir. Bu sebeple, herhangi bir değişikliğin operasyonel değişiklik sınıfına girebilmesi için ölçülen akım değerlerinde en az %5 değişiklik meydana gelmesi gereklidir. Bu değerler yüklerin ve kaynakların bulunduğu 2, 5, 8, 9, 10, 14, 15 numaralı ölçüm noktalarından takip edilir. Eğer şart sağlanıyorsa yük akışı tekrar hesaplanır ve yeni I_s ayarları rölelere aktarılır. I_s ayarının hesaplanması ve rölelere aktarılması sırasında meydana gelen arıza durumlarında korumayı konvansiyonel röleler üstlenir.

I_s ayarlarının belirlenmesinde geleneksel koruma metodlarında kullanılan yöntemler benimsenir. Buna göre 2, 3, 6 ve 11 numaralı rölelerin akım değerleri bulunurken sadece şehir şebekesinin mikroşebekeye bağlı olduğu, diğer tüm kaynakların şebekeden ayrıldığı durum göz önünde bulundurulur. Dağıtık üretim kaynaklarıyla aynı baraya bağlanan rölelerin I_s değerleri de aynı olacak şekilde seçilir, bu değer belirlenmesinde kaynakların ürettiği akım kullanılır. 4 numaralı rölenin akım ayar değerinin hesaplanmasında ise alt koldaki kaynakların ürettiği toplam güç hesaba katılır. Bu işlemin bir benzeri güç adası modunda 6 numaralı röle için de kullanılır.

Sistem verilerinin takibi sırasında röleler tarafından herhangi bir arıza tespit edilirse öncelikle arızayı tespit eden röleler kendilerine bağlı ölçüm noktalarından gelen verileri kullanarak akımların genliklerini ve yönlerini karşılaştırırlar. Bara koruması, örnek koruma sisteminde diferansiyel koruma metodu ile sağlanmaktadır.

Kirchhoff'un akım yasası gereği bir düğüm noktasına giren ve çıkan akımların tümünün vektörel toplamı "0" olmak zorundadır. Röle bu akımları karşılaştırır, eğer akımların arasındaki fark rölenin ayar değerlerinden büyük ise EAR diğer rölelere iletişime gerek kalmadan baraya bağlı tüm kesicilere açma talimatını verir [54]. Sistemde diferansiyel koruma için ayar değeri "S" %30 olarak seçilmiştir. Bu durumda rölenin çalışma şartı Denklem 6.1'de görüldüğü gibi olur.

$$|I_1 - I_2| > S \times \left| \frac{I_1 + I_2}{2} \right| \quad (6.1)$$

Arıza tespit edilmiş ve arızanın herhangi bir barada olmadığı anlaşılmış ise arızanın hatlarda olması gerekmektedir. Bu durumda her EAR yukarıda belirtilmiş olan komşu EAR'lerle iletişime geçer. Eğer 3 ile 4, 6 ile 7 veya 11 ile 12 numaralı ölçüm noktalarından herhangi bir çift, akımın yönünü birbirlerine zıt olacak şekilde tespit ederse hatlardan birinde arıza olduğu anlaşılır. Bu durumda, arızanın tespit edildiği ölçüm noktalarındaki kesicilere EAR'ler tarafından açma talimatı gönderilecektir.

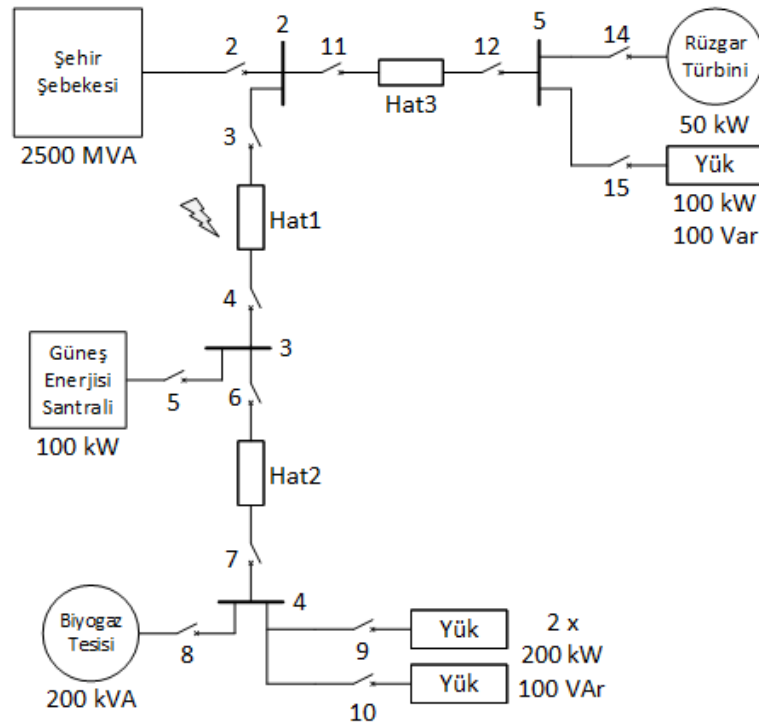
Arıza tespit edilmiş olmasına rağmen, arızanın yeri önceki adımlarda tespit edilememişse, ölçüm noktalarında ölçülen akımların genlik ve yön verileri EŞK birimine aktarılır. Bu birimde arızayı tespit eden rölelere ve akımın yönüne bakılarak hangi kesicilerin açması gerektiğine karar verilir. Bu durumda:

- Eğer arızayı sadece bir röle tespit etmişse, arızanın tespit edildiği yönde arızanın meydana geldiği kola bağlı kesicilere en uç noktadan başlayarak açma komutu verilecektir. Ancak EAR2'ye bağlı 2 numaralı kesici mikroşebekenin ana şebekeyle olan bağlantısını sağladığı için en son açılacaktır. Örneğin, yalnız EAR2 Hat3 yönünde bir arıza tespit ederse EAR5'e bağlı bütün kesiciler açacaktır. Arıza devam ederse EAR2'ye bağlı bulunan 11 numaralı kesici de açar.
- Eğer arızayı iki röle aynı yönde tespit ederse aynı şekilde arızanın meydana geldiği kola bağlı kesicilere açma komutu gönderilir. Örneğin, EAR2 ve EAR3 Hat2 yönünde bir arıza tespit etmiş ise EAR4'e bağlı kesicilerden başlayarak açma işlemi gerçekleştirilir.
- Eğer arızayı komşu olmayan iki EAR farklı yönlerde tespit etmiş ise o röleler arasında kalan EAR'ye bağlı bütün kesiciler ve o baraya bağlanmış bütün hatlardaki kesiciler açma işlemini gerçekleştirecektir. Örneğin, EAR2 ve EAR4, EAR3 yönünde bir arıza tespit ederse 3 numaralı baraya bağlı bütün kesiciler ile 3 ve 7 numaralı kesiciler açacaktır.

Bu işlemlerden herhangi biri uygulandığı zaman kesici durum bilgisi değiştiği için akış diyagramının ilk adımına geri dönmüş olur. EAR'lerin arızaya müdahale etmesi arıza tespiti, yön tespiti ve haberleşme gecikmelerini hesaba katarsak maksimum 2 çevrim içinde gerçekleşmektedir. EAR'ler EŞK ile birlikte çalışırsa bu süre EŞK'nın özelliklerine bağlı olarak bir miktar daha artacaktır.

6. MİKROŞEBEKEDE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Önceki çalışmalarda örnek mikroşebeke için konvansiyonel ve adaptif-entegre koruma sistemlerini oluşturuldu. Bu bölümde ise çeşitli koşullar için bu iki sistemin de performansını inceleyip karşılaştırılacaktır. Şekil 6.1'de simülasyonlarda kullanılacak olan mikroşebekeyi ve koruma sistemini tekrar görebilirsiniz.



Şekil 6.1 : Simülasyon çalışmalarında kullanılacak örnek mikroşebeke.

6.1 Durum 1: Normal Çalışma

Normal çalışma durumu, sistemin maksimum yükler ile yüklenmiş olduğu mevcut durumu göstermektedir. Yönlü aşırı akım rölesi (YAAR) ile uygulanan geleneksel koruma yönteminde, kullanılan aşırı akım rölelerin I_s ve TMS ayarları sistemin bu haline göre ayarlanmıştır. Normal çalışma durumunda, adaptif-entegre korumada kullanılan I_s değerleri de bu ayarlarla paralellik gösterir. Her iki sistemin de I_s ayarlarını Çizelge 6.1'de görebilirsiniz. Bu durumda sistemde değişiklik olmadığından, her iki koruma sisteminden de başarılı performans beklenmektedir.

Çizelge 6.1 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 1).

Röle Numarası	I_s Değeri (YAAR)	I_s Değeri (Adaptif-Entegre)
2	1037	1037
3	823	823
4	527	527
5	226	226
6	823	823
7	301	301
8	301	301
11	215	215
12	110	110
14	110	110

Bu durumda koruma sistemlerinin çalışma performansını incelemek için Şekil 6.1'de görülebilen örnek sistemde B2 ve B3 baraları arasında bulunan Hat1 dağıtım hattının tam ortasında çeşitli arızaları gerçekleştirildi.

Aşırı akım rölelerinin I_s ve TMS ayarları mevcut duruma göre seçildiği için beklendiği gibi röleler başarılı bir koruma performansı göstermiştir. Öncelikli olarak açması gereken 3 ve 4 numaralı kesiciler gerekli zaman aralığını da koruyarak açmıştır. 6 numaralı röle yön elemanı sebebiyle arızayı görmemiştir. Geleneksel metodla korunan sistemdeki rölelerin açma zamanları Çizelge 6.2'de görülebilir.

Çizelge 6.2 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 1).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,750	0,825	0,769	0,783
3	0,413	0,449	0,422	0,429
4	0,495	0,584	0,598	0,624
5	0,802	1,124	0,935	0,994
6	0	0	0	0
7	0,950	0,897	0,982	1,170
8	0,938	1,243	1,317	1,500

Adaptif-entegre koruma sisteminin bu arıza karşısında davranışını şöyle özetleyebiliriz. Arızayı bütün entegre röleler görmüştür ve öncelikle bara arızası olup olmadığı anlamak için kendi bünyelerindeki ölçüm noktalarından yön karşılaştırması yapmışlardır. Bunun sonucunda arızanın baralarda olmadığı anlaşılmıştır. Sonraki adımda EAR'ler birbirleri arasında haberleşmişlerdir, böylece EAR2 ve EAR3 arızanın Hat1'de meydana geldiğini tespit etmiş, 3 ve 4 nolu kesicilere açma sinyali yollamış ve kısa süre içinde arızayı gidermiştir.

6.2 Durum 2: Bir Kısım Yüklerin Devreden Çıkarılması

Yük miktarının değişmesi operasyonel bir değişiklik olarak nitelendirilmektedir. Yük miktarının değişmesi durumunda adaptif-entegre koruma sistemi, eğer bu değişiklik %5'ten fazla ise, yük akışını tekrar hesaplar. Kullanılan örnek durumda B4 barasına bağlı 200 kW'lık yüklerin ikisinin de değeri yarıya indirilmiştir. Bu durumda sistemdeki toplam yük miktarı 500 kW 300 VAR'dan 300 kW 300 VAR'a düşmüştür ve algoritma gereği yük akışı tekrar hesaplanmıştır. Sistemin son hali için yük akışı sonucunda elde edilen akım değerleri kullanılarak adaptif-entegre koruma sistemi tarafından hesaplanan I_s değerlerini Çizelge 6.3'te bulabilirsiniz. Elbette, geleneksel koruma sistemini oluşturan aşırı akım rölelerinin I_s ayar değerleri değişmeyecektir.

Çizelge 6.3 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 2).

Röle Numarası	I_s Değeri (YAAR)	I_s Değeri (Adaptif-Entegre)
2	1037	638
3	823	423
4	527	516
5	226	223
6	823	423
7	301	294
8	301	294
11	215	216
12	110	114
14	110	114

Değerler belirlendikten ve EAR'lere atandıktan sonra koruma sistemlerinin çalışma performansını değerlendirebilmek için tekrardan Hat1 dağıtım hattının tam ortasında çeşitli arızalar gerçekleştirildi. Geleneksel metodla korunan sistemdeki rölelerin açma zamanlarını Çizelge 6.4'te inceleyebilirsiniz.

Çizelge 6.4 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 2).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,790	0,868	0,785	0,792
3	0,428	0,472	0,430	0,433
4	0,471	0,480	0,445	0,455
5	0,893	0,840	0,837	0,762
6	0	0	0	0
7	0,953	0,977	0,990	1,231
8	1,329	1,314	1,358	1,626

Aşırı akım rölelerinin kullanıldığı geleneksel koruma sisteminin bu durumda da işlevini yerine getirmeye devam ettiği söylenebilir. Rölelerin akım ayar değerleri minimum arıza akımından düşük tutulduğu için bütün arızalar röleler tarafından hissedilmeye devam etmiştir. Röleler arasındaki zaman aralığı görüldüğü gibi her durumda 300 ms'den büyük olarak kalmıştır.

Adaptif-entegre koruma sistemi bu durumdaki arızalar karşısında da aynı işlemleri gerçekleştirir. Akım ayar değerlerinin tekrar belirlenmesiyle birlikte arızayı hızlı bir şekilde, meydana gelir gelmez bütün EAR'ler hissedebilmiştir. Sonraki adımda EAR'ler birbirleri arasında haberleşmişlerdir. Ardından EAR2 ve EAR3 arızanın Hat1'de meydana geldiğini tespit etmiş, 3 ve 4 nolu kesicilere açma sinyali yollamış, böylece kısa süre içinde arıza giderilmiştir.

6.3 Durum 3: Yerel Kaynaklardan Birinin Devreden Çıkarılması

Herhangi bir arıza durumunda veya yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan üretim merkezlerinin bu kaynağa erişememesi durumunda, örneğin rüzgarın kesilmesi veya gece olması, mikroşebekede üretim azalır. Bu durumda hatlarda veya baralarda meydana gelebilecek arızayı besleyen akımların da azalması beklenmektedir. Örnek durumda güneş enerjisi santrali 5 numaralı kesicinin açılmasıyla devreden çıkarılmaktadır.

Kesicinin açılmasıyla birlikte adaptif-entegre koruma algoritması akış diyagramında kesici durum bilgisi basamağına geri döner ve algoritmadaki kesicilerin durum bilgilerini yeniden belirler. Daha sonra bu duruma göre yeniden yük akışı hesaplanır ve I_s değerleri belirlenir. Bu değerleri Çizelge 6.5'te görebilirsiniz.

Çizelge 6.5 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 3).

Röle Numarası	I_s Değeri (YAAR)	I_s Değeri (Adaptif-Entegre)
2	1037	1037
3	823	823
4	527	322
5	226	-
6	823	823
7	301	305
8	301	305
11	215	215
12	110	112
14	110	112

Değerler belirlendikten ve EAR'lere atandıktan sonra koruma sistemlerinin çalışma performansını değerlendirebilmek için diğer örneklerde olduğu gibi Hat1 hattının tam ortasında çeşitli arızalar gerçekleştirildi. Bu durum için geleneksel metodla korunan sistemdeki rölelerin açma zamanlarını Çizelge 6.6'da inceleyebilirsiniz.

Çizelge 6.6 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 3).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
2	0,788	0,834	0,771	0,788
3	0,432	0,455	0,423	0,432
4	0,926	0,857	1,033	1,326
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0,898	0,856	0,960	1,105
8	1,297	1,227	1,292	1,438

Aşırı akım röleleri ile sağlanan klasik koruma sisteminde 5 numaralı röle güneş enerjisi santrali devreden çıktığı için, 6 numaralı röle ise koruma yönü arıza akımının yönüne ters olduğu için arızayı algılamadı. Diğer bütün röleler ise arızayı önceki örneklerde olduğu gibi algıladı ve çoğu için benzer açma zamanları hesaplandı.

3 numaralı röle bütün arıza durumlarında açma zamanlarını 450 ms civarında belirledi. Onun yedek korumasını sağlayan 2 numaralı röle de belirlenen zaman aralıklarına uygun bir şekilde bütün arıza durumlarında açma zamanlarını 800 ms civarında olacak şekilde hesapladı. Hattın bu kısmı için koruma işlevi uygun şekilde gerçekleşmeye devam etti. Ancak 4 numaralı röle ve bu durum için onun yedeği konumunda olan 7 numaralı röle arasındaki uyumun bozulduğu görülmektedir. 4 numaralı rölenin açma zamanı, zaman zaman 1 saniyeyi aşacak kadar artmış ve birçok durumda 7 numaralı rölenin daha önce açmasına sebep olmuştur.

Adaptif-entegre koruma sistemi bu durumda da işlevini devam ettirir. Akım ayar değerlerinin tekrar belirlenmesiyle birlikte arıza bütün EAR'ler tarafından hissedilmiştir. Sonraki adımda EAR'ler birbirleri arasında haberleşirler. Bunun sonucunda EAR2 ve EAR3 arızanın Hat1'de meydana geldiğini tespit etmiş, 3 ve 4 nolu kesicilere açma sinyali yollamış ve kısa süre içinde arızayı gidermiştir.

Görüldüğü gibi yerel üretim kaynaklarından birinin devreden çıkması durumunda adaptif koruma sistemi buna uyum sağlayarak koruma işlemine devam ederken geleneksel aşırı akım röleleri seçicilik konusunda başarısız olmuşlardır.

6.4 Durum 4: Güç Adası Modunda Çalışma

Mikroşebekeler, ana şebekeye bağlı olarak çalışabildiği gibi eğer gerekli kontrol koşulları yerine getirilmişse arıza, bakım veya benzeri bir durumda şebekeden bağımsız olarak da çalışabilirler. Bu durumda çalışma, daha önce de açıklandığı gibi ada halinde çalışma veya güç adası modunda çalışma olarak isimlendirilir.

Mikroşebeke sisteminde uygulayacağımız son örnek durum da ada halinde çalışma olacaktır. Simülasyonda güç adası oluşturmak için 2 numaralı kesici yardımıyla mikroşebeke ana şebekeden ayrılır. Örnek durumdaki koruma sistemlerinde ada modunda çalışmaya geçişi algılayacak herhangi bir algoritma modeli tezin konusuna dahil olmadığından kullanılmamıştır.

Bu durumda mikroşebeke ana şebekeden ayrıldığında eğer sistem maksimum yük ile yüklenmişse toplam yük toplam üretimden fazla olacak, frekans gitgide düşecek ve sistem gerektiği gibi çalışmayacaktır. Bunun önüne geçmek için yük atma gibi çeşitli kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir. Örnek mikroşebeke sisteminde ada durumu oluşması halinde 200 kW 100 VAR değerindeki yüklerden biri 9 numaralı kesicinin yardımıyla sistemden çıkarılacak ve sistem bu haliyle çalışmaya devam edecektir.

Güç adası moduna geçildiğinde mikroşebekedeki yük akışı oldukça değişecektir. Artık 2 numaralı kesiciyle bağlanmış olan şehir şebekesi bulunmadığı için Hat1'de gerçekleşen arıza yalnızca rüzgar türbini tarafından, Hat2'de gerçekleşen arıza ise hem rüzgar türbini hem de güneş enerjisi santrali tarafından beslenecektir. Üst koldaki 100 kW 100 VAR'lık yük ise alt koldaki güneş enerjisi santrali ve biyogaz tesisinin de katkılarıyla beslenir. Bütün bu sebeplerden dolayı ölçüm noktalarından okunan akım değerleri değişiklik göstermektedir.

Güç adası modunda çalışma durumu güç akışının tekrar yapılmasını ve rölelerin akım ayar değerlerinin tekrar hesaplanmasını zorunlu kılar. Yönlü aşırı akım röleleriyle oluşturulan geleneksel koruma sistemleri, yapısı gereği ayarlarını yeniden değiştirecek özelliklere sahip değildir. Haberleşmenin avantajlarını kullanan adaptif-entegre koruma sistemi ise sistemdeki bu değişikliği 2 numaralı kesicinin açılması sonucu topolojik değişiklik olarak tespit edecek ve akış diyagramına göre kesici durum bilgisi adımına geri dönerek gerekli işlemleri uygulayacaktır.

Çizelge 6.7'de yönlü aşırı akım rölelerinin ve adaptif-entegre koruma sistemindeki rölelerin I_s akım ayar değerlerini karşılaştırmalı olarak görebilirsiniz.

Çizelge 6.7 : Rölelerin I_s değerleri (Durum 4).

Röle Numarası	I_s Değeri (YAAR)	I_s Değeri (Adaptif-Entegre)
2	1037	-
3	823	112
4	527	530
5	226	223
6	823	334
7	301	307
8	301	307
11	215	530
12	110	112
14	110	112

Diğer örneklerimizde olduğu gibi I_s değerleri belirlendikten ve rölelere atandıktan sonra Hat1'in tam ortasında çeşitli arızalar gerçekleştirildi. Yönlü aşırı akım rölelerinin bu arızalar için hesapladıkları açma zamanı değerleri Çizelge 6.8'de görülebilmektedir.

Çizelge 6.8 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 4, Hat1).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
3	0	0	0	0
4	0,962	0,780	1,829	0,924
5	1,415	1,202	1,201	1,835
6	0	0	0	0
7	0,928	0,887	0,912	1,551
8	1,300	1,269	1,280	2,141
12	1,014	0,821	0,781	1,120

Tablodan da görülebileceği gibi bu durum için elde ettiğimiz değerler diğer durumlardan oldukça farklıdır. 3 numaralı röle kendi bölgesinde olmasına rağmen hiç bir arızayı algılamamıştır. Bu sebeple onun üst koldaki yedek korumasını sağlayan 12 numaralı röle devreye girmiştir. 12 numaralı röle 1 s civarındaki açma süreleriyle biraz gecikmeli de olsa rüzgar türbinini ve aynı baradaki yükü şebekeden ayırmıştır.

4 numaralı röle kendi bölgesindeki arızayı algılamış ancak açma süreleri röle tarafından oldukça gecikmeli olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu sebeple 4 numaralı röle 3 faz ve faz faz arızasında 7 numaralı röle ile arasındaki zaman aralığını koruyamamış, faz faz arızasında ise oldukça geç kalmıştır. Faz faz arızasında 4 numaralı rölenin yedek koruması olan 5, 7 ve 8 numaralı röleler arızayı daha önce

algılayarak bağlı bulundukları kesicilere açma sinyali göndermişlerdir. Faz toprak arızasında ise zaman aralığı korunmasına rağmen arıza ancak 1 s civarında giderilebilmiştir.

Genel itibarıyla arızalar giderilmiş olmasına rağmen mevcut röle ayarları koruma sisteminde istenmeyen gecikmeler yaşanmasına sebep olmuştur. Bir çok durumda arıza akımı 1 saniye civarında hattan akmaya devam etmiştir. Yedek korumanın arızayı birincil korumadan daha önce algılaması sebebiyle gereksiz elektrik kesintileri yaşanması ihtimali ortaya çıkmıştır.

Adaptif-entegre koruma sistemi ise Çizelge 6.7'de görülebileceği gibi sistemin yeni haline uyum sağlamış ve rölelerin ayar değerlerini değiştirmiştir. Bu değişiklik sayesinde koruma sistemi diğer durumlardaki davranışını aynı şekilde devam ettirmiş, 3 ve 4 numaralı kesicilere mümkün olduğunca kısa sürede açma sinyali göndermiştir.

Sistem güç adası modunda iken ederken bir başka arıza testi daha uygulandı. Bu sefer aynı arızalar Hat2'de gerçekleştirildi. Sistemin durumu değişmediği için Is değerleri her iki koruma sistemi için de aynı kalmıştır. Bu hattaki arızalar için yönlü aşırı akım rölelerinin açma sürelerini Çizelge 6.8'de görebilirsiniz.

Çizelge 6.9 : Aşırı akım rölelerinin açma süreleri (Durum 4, Hat2).

Röle Numarası	3 Faz Arızası	Faz Faz Arızası	Faz Faz Toprak Arızası	Faz Toprak Arızası
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	1,168	1,195	1,830
6	0	0,602	0,639	4
7	0,914	0,882	0,906	1,488
8	1,292	1,275	1,281	2,088
12	1,048	0,786	0,814	1,142

Bu hattaki arızalar arasında en ciddi hatalı operasyon 3 faz arızası sırasında 5 ve 6 nolu röle tarafından gerçekleşmiştir. Bu röleler arızayı görmemiş ve çalışmamıştır. Bu sebeple, arıza güneş enerjisi santrali tarafından beslenmeye devam etmiştir.

Diğer arızalarda ise arıza giderilmiş olmasına rağmen çeşitli gecikmeler ve çakışmalar göze çarpmaktadır. Faz faz arızasında 6 ve 12 numaralı rölelerin arasındaki çalışma zaman aralığı beklenenden daha azdır. Faz faz toprak arızası için de aynı durum geçerlidir. Faz toprak arızasında ise 6 numaralı rölenin hatalı şekilde

alıştığını görmekteyiz. 6 numaralı röle bu arızada arızayı algılamış ancak maksimum açma süresi olan 4 saniye doluncaya kadar beklemiştir. Bu durumda arızanın giderilmesi görevi 5, 7, 12 nolu rölelere kalmış ve bu işlem yaklaşık 2 saniye kadar gecikmiştir.

Adaptif-entegre koruma sistemi ise Hat1 için uyguladığı koruma adımlarının aynısını Hat2 için de uygulamış ve karşılıklı haberleşme ile 6 ve 7 numaralı kesicilerin açmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak bu örnek durumda da yönlü aşırı akım röleleri kullanılarak oluşturulan geleneksel koruma yöntemi, bir önceki örnek durumda olduğu gibi, genellikle arızayı algılamış ancak gerekli öncelikleri sağlayamamış, böylece yedek ve asıl korumanın zaman aralıklarını koruyamamasına sebep olmuştur. Oysa ki adaptif-entegre koruma sistemi işlevini sorunsuz şekilde devam ettirmektedir.

7. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

7.1 Örnek Durumlardan Elde Edilen Sonuçlar

Mikroşebekeler genellikle birden fazla kaynak içerdikleri, yenilebilir enerji kaynakları gibi oldukça değişken güç üreten kaynaklar barındırdıkları, şebekeye bağlı ve güç adası modunda olmak üzere farklı çalışma durumlarına sahip oldukları için güç akışı da buna bağlı olarak büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu sebeple mikroşebekelerin kontrolü ve koruması radyal yapıya sahip geleneksel şebekelere nazaran daha zordur.

Günümüzde sıklıkla karşılaştığımız geleneksel yönlü aşırı akım koruması bir çok büyük sistemi başarıyla korumak için yeterli olabilmektedir. Bu koruma sisteminde kullanılan röleler akımın genliğine bakarak arızayı tespit eder, akımın yön bilgisi de arızanın kendi bölgesinde olup olmadığını tespit etmesine yardımcı olur. Eğer örnek sistemde olduğu gibi ters zamanlı röleler kullanılırsa rölelerin zaman gecikmeleri de akımın genliğine bağlı olarak değişecek şekilde ayarlanabilir. Bu tip rölelerin koordinasyonu için ardışık röleler arasında zaman aralıkları kullanılır. Rölenin arızayı algılama alt sınırının belirlenmesi ve zaman aralıklarının uygulanması için rölenin ayar değerleri olan I_s ve TMS uygun şekilde ayarlanır.

Birbirleri arasında veya merkezi bir kontrol ünitesiyle haberleşme hattına sahip olmayan bu rölelerin ayarlarının bir kez ayarlandıktan sonra tekrar değişmesi sadece manuel olarak mümkündür, bu işlem otomatik olarak gerçekleşemez. Bu sebeple bu koruma metodunun, şebekedeki yük akışının sıklıkla değiştiği durumlarda kullanılması oldukça güçtür.

Yük akımının sıklıkla değiştiği durumlar için bu değişimlere uyum sağlayabilen bir koruma sisteminin kullanılması gerekmektedir. Bu koruma sistemi de adaptif koruma sistemi olarak adlandırılır. Adaptif koruma şebedeki akım bilgilerini ve kesicilerin durumlarını kontrol eder, değişiklik tespit edilmesi durumunda yük akışını tekrar hesaplar ve röle ayar değerlerini buna bağlı olarak değiştirir.

Adaptif koruma sisteminin uygulanması için rölelerin bir ana merkezle haberleşmesi zorunluluğu bulunmaktadır, aksi halde hesaplamalar değişimlerden sonra tekrar yapılarak rölelere aktarılamaz. Ayrıca arızanın her an gerçekleşebilme ihtimaline karşı haberleşmenin oldukça hızlı olması gerekmektedir. Böyle geniş ve hızlı bir haberleşme ağını kurduktan sonra entegre korumanın uygulanması klasik koruma metodlarına göre daha kolay ve hızlı olur.

Entegre koruma sistemi aynı baraya bağlı kesicilerin bir entegre röle tarafından kontrol edildiği ve bütün entegre rölelerin bir merkezle haberleşerek çalıştığı bir sistemdir. Bu sistemin daha hızlı olması istenirse entegre rölelerin birbirleriyle haberleşmesi de sağlanabilir. Bu durumda entegre röleler kendi baralarından aldıkları ölçümleri ve diğer entegre rölelerin ölçümlerini karşılaştırarak arızayı ve arızanın yerini kısa sürede tespit edebilirler. Bu durumda röle koordinasyonu için fazladan bir ayara ihtiyaç duyulmaz.

Bütün bunlar dikkate alındığında, mikroşebekeler için adaptif-entegre bir koruma sisteminin yönlü aşırı akım röleleriyle oluşturulmuş geleneksel bir sisteme göre korumanın seçiciliği ve güvenilirliği açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak, merkezi bir kontrol ünitesine bağlı haberleşme özelliğine sahip bir koruma sistemi yönlü aşırı akım röleleriyle oluşturulmuş geleneksel bir sisteminden karmaşıktır. Bu sebeple, mikroşebekeleri korumak amacıyla adaptif-entegre bir koruma sisteminin tercih edilmesinin daha uygun olacağının gösterilmesi gerekmektedir.

Adaptif-entegre bir koruma sisteminin daha güvenilir bir koruma sağladığını gösterebilmek için her iki koruma sisteminin de aynı mikroşebeke üzerinde çeşitli durumlar için test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmanın konusu gereği bu karşılaştırma sadece güvenilirlik ve seçicilik açısından yapılmıştır, ekonomik etmenler göz önünde bulundurulmamıştır.

Karşılaştımanın yapılabilmesi amacıyla örnek bir mikroşebeke modellenmiş ve bu şebekede her iki koruma sistemi de uygulanmıştır. Örnek mikroşebeke sistemi normal durumda şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır, ayrıca güç adası modunda da çalışabilmektedir. Aslına uygun bir örnek teşkil etmesi için güneş enerjisi santrali, rüzgar türbini ve biyogaz tesisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve çeşitli güçlerde yüklerden oluşturulmuştur.

Örnek sistemin normal çalışma durumu maksimum yükte çalışma olarak belirlenmiş ve koruma sistemlerinin ilk ayarları bu duruma göre yapılmıştır. Geleneksel koruma sisteminde bu ayarlar her durum için sabit kalırken adaptif-entegre koruma sistemi farklı durumlara göre rölelerin akım ayar değerlerini (I_s) belirli bir algoritma yardımıyla değiştirmektedir.

Koruma sistemlerinin karşılaştırılması için dört farklı durum belirlenmiştir. Bu durumlar normal çalışma, bir kısım yüklerin devreden çıkarılması, yerel kaynaklardan birinin devreden çıkarılması ve güç adası modunda çalışma durumlarıdır. Bütün bu durumlar için 1 numaralı hatta 3 faz, faz faz, faz faz toprak ve tek faz toprak arızaları gerçekleştirilmiştir. Bütün örnek durumlar için hattın başında ve sonunda bulunan 3 ve 4 numaralı kesicilerin açması beklenmektedir. Sadece güç adası modunda çalışma durumu için fazladan bir test daha yapılmış ve 2 numaralı hatta da aynı arızalar gerçekleştirilmiştir. Bu test durumu için ise 6 ve 7 numaralı rölelerin açması beklenir.

Yönlü aşırı akım röleleri (YAAR) ile uygulanan geleneksel korumanın koordinasyonu, arızanın gerçekleştiği hattın iki ucundaki rölelerin yedek korumayı sağlayan diğer hatlardaki rölelerden daha önce kesicilere açma sinyali göndermesi esasına dayanır. Bu durumda hatalı açma sinyallerini önlemek için sistemdeki ekipmanların özelliklerine bağlı olarak yedek koruma ile birincil koruma arasında belirli bir zaman aralığı bulunması gerekir. Örnek sistemde bu zaman aralığı 300 - 350 ms olarak belirlenmiştir.

Adaptif-entegre koruma sisteminde ise hatların korunması, yönlerin karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu durumda arızayı tespit eden entegre aşırı akım rölesi komşu EAR'lerle haberleşerek yön sorgulaması yapar. Her iki EAR tarafından da akımın zıt yönlerde aktığı tespit edilirse arıza da tespit edilmiş olacaktır.

Normal çalışma ve bir kısım yüklerin devreden çıkarılması durumlarında her iki koruma sistemi de beklendiği üzere doğru bir biçimde çalışmıştır. İkinci durumda da YAAR ile geleneksel korumanın doğru biçimde çalışmasının sebebi, yük akımının arıza durumunda akan akım üzerinde olan sınırlı etkisidir.

Ancak, yerel kaynaklardan birinin devreden çıkarılması ve güç adası modunda çalışma durumlarında YAAR kullanılarak oluşturulan sistem seçicilik konusunda tam bir başarı sağlayamamıştır.

Güneş enerjisi santralinin devreden çıkması Hat1'de gerçekleşen arızanın daha düşük miktarda bir akımla beslenmesine sebep olmuştur. Bu sebeple arıza gerçekleştiğinde 7 ve 8 numaralı kesicilerin açma zamanları değişmemişken 4 numaralı kesicinin açma zamanı artış göstermiştir. Böylece 4 ve 7 numaralı röleler arasında koordinasyon amacıyla bulunan zaman aralığı korunamamış, bazı durumlarda 2 numaralı sağlıklı hat devreden çıkmıştır.

Güç adası modunda çalışma, şehir şebekesinin devreden çıkması anlamına gelmektedir. Bu durumda Hat1'de gerçekleşen arızaları besleyen akımlar önemli bir miktarda düşüş gösterir. Bu düşüş sebebiyle 3 numaralı röle artık arızaları algılayamaz, onun yerine 12 numaralı röle rüzgar türbininin arızayı beslemesine engel olur. 4 numaralı röle de diğer röleler ile olan koordinasyonunu kaybeder ve bazı durumlarda 7 numaralı rölenin kesiciye daha önce açma sinyali göndermesine izin vermiş olur.

Görüldüğü gibi mikroşebekenin değişken yapısında geleneksel koruma sistemleri başarılı bir şekilde işlevlerini yerine getirememektedir. Arızalar bir şekilde giderilmiş olmasına rağmen birçok örnek durumda zaman gecikmeleri 1 saniyeyi aşmış, sağlıklı hatların bir kısmı devreden çıkarılmıştır. Bu durum güvenilirlik ve seçicilik açısından geleneksel korumanın geride kaldığını gösterir.

Elbette, arızaların geç ve hatalı da olsa tespit edilmiş olması ve arızalı bölgenin sonunda sistemden ayrılmış olması geleneksel koruma metodunun tamamen başarısız olmadığını gösterir. Ancak, bu koruma sisteminin mikroşebekelerde kullanılması durumunda ciddi bir risk alınacağı da belli olmuştur.

Adaptif-entegre koruma sistemi ise değişken sistemlere kolaylıkla uyum sağlamış, hiç bir problem çıkarmadan arızaları tespit etmiş ve hızlıca gerekli kesicileri açmıştır. Bu sistemin dezavantajları olarak maliyetli olması ve kurulumunun zor olması gösterilebilir.

Sonuç olarak, mikroşebekelerde adaptif-entegre koruma sisteminin YAAR ile oluşturulan geleneksel koruma sisteminden daha başarılı bir koruma sağladığı bu çalışmayla beraber gösterilmiştir.

7.2 Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada yönlü aşırı akım röleleriyle geleneksel koruma ve adaptif-entegre koruma aynı mikroşebekede uygulanmış ve karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmanın özellikle pratik uygulamalarda mühendisler için kolaylık sağlaması hedeflenmektedir.

Bunun yanında çalışmanın konusu oldukça geniş olduğundan bu çalışmaya eklenememiş birçok model, algoritma, metod ve durum bulunmaktadır. Bunların gelecek çalışmalarla birlikte mümkün olduğunca ana çalışmaya eklenmesi planlanmaktadır.

Mikroşebekelerde çok sayıda farklı üretim kaynağı ve yük bulunabilmektedir. Örnek mikroşebekede bunlardan sadece bir kısmını inceleyebildik. Bunlara ek olarak okyanus enerjisi gibi başka yenilenebilir enerji kaynakları veya enerji depolama üniteleri de mikroşebekelerde kullanılmaktadır. Özellikle, yakıt hücresi veya volanlı (flywheel) enerji depolama ünitelerinin eklenmesiyle birlikte daha kapsamlı bir model oluşturulabilir.

Örnek mikroşebekede sadece 3 fazlı yükler kullanılmasına rağmen hane yüklerinin birçoğunun tek fazlı olması sebebiyle bir çok mikroşebekede dengesiz çalışma görülmektedir. Ayrıca örnek sistemde motor gibi arızayı besleyebilecek tipte yükler kullanılmamıştır, gerçek bir sistemde bu tip yükler de bulunmaktadır. Sistem oluşturulurken ekipmanların topraklanması benzer örneklere dayanılarak, deneme yanılma ile modellenmiştir. Bütün ihtimaller göz önünde bulundurularak tekrar hesaplanması, gerçeğe daha uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Mikroşebeke sisteminde kullanılan yönlü aşırı akım rölelerinin koordinasyonu da deneme yanılma ile sağlanmıştır. Bu rölelerin koordinasyonunu daha başarılı bir şekilde sağlayabilecek bir çok optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Sonraki çalışmalarda bu algoritmalar kullanılacaktır. Ek olarak, aşırı akım röleleri sadece ters zamanlı çalışacak şekilde ayarlanmıştır, ancak uygulamada belli bir akım seviyesinden sonra bu rölelerin ani olarak çalıştığı da görülmektedir. Bu sebeple ani çalışma için de rölelerin koordinasyonunun sağlanması gerekmektedir.

Mikroşebeke sistemleri için güç adası durumunda çalışmaya geçişin algılanması da oldukça önemlidir. Bunu sağlamak amacıyla haberleşmeli veya haberleşmesiz birçok metod literatürde bulunmaktadır. Örnek durumda ise bu geçişin istemli şekilde

olduğu varsayılmıştır. Bu metodlar kullanılarak herhangi bir istemsiz geçiş de algılanabilir.

Mikroşebekede bulunan mikro generatörlerde çok sayıda mekanik, elektromekanik ve güç elektroniği sistemi birlikte kullanılmaktadır. Bu sistemlerden birinin herhangi bir sebeple arızalanması ihtimali de vardır. Ancak örnek koruma sistemlerinde bu arızalar için herhangi bir koruma önlemi bulunmamaktadır, çalışmanın konusu sadece hatlar ve baralarla sınırlı kalmıştır. Bu koruma sistemleri mikroşebekedeki bütün ekipmanlardaki arızaları algılayacak şekilde geliştirilebilir.

Örnek sistemde koruma yöntemi olarak yönlü aşırı akım röleleri ile haberleşmesiz, geleneksel bir yöntem ve adaptif-entegre yöntem uygulanmıştır. Bu iki yöntemden ilki koruma yöntemleri arasında en temel metodlardan biridir, adaptif-entegre yöntem ise bilgisayarlı simülasyon ve haberleşmenin birlikte kullanıldığı son derece gelişmiş bir metoddur. Bunların ikisinin arasında bulunan sadece adaptif aşırı akım koruması yöntemi de bulunmaktadır. Bu yöntem entegre röleleri içermez, sadece haberleşmeye sahip dijital röleler kullanılır. Gelecek çalışmalarda bu metodu da çalışmaya dahil edip üç farklı yöntemin kıyaslanması söz konusu olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Lasseter, R.** (2011). Smart distribution: Coupled microgrids, *Proc. IEEE*, cilt 99, sayı. 6, sf. 1074-1082.
- [2] **Hatziargyriou, N., Asano H., Iravani, R. ve Marnay C.** (2007). Microgrids: overview of ongoing research, development, and demonstration projects, *IEEE Power&Energy Magazine*, sf. 78-94, Haziran.
- [3] **Public Act No. 12-148** (2012). An act enhancing emergency preparedness and response, State of Connecticut, USA, Temmuz.
- [4] **Lopes, J. A. P., Moreira C. L. ve Madureira A. G.** (2006). Defining control strategies for microgrids islanded operation, *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 21, sayı. 2, sf. 916-924, Mayıs.
- [5] **Strath, N.** (2005). *Islanding detection in power systems*, (lisans tezi), Lund University, Lund, Sweden.
- [6] **Öhrström, M.** (2003). *Fast fault detection for power distribution systems*, (lisans tezi), Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [7] **IEEE C37.90** (2006). IEEE Standard for relays and relay systems associated with electric power apparatus, *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, New York, USA.
- [8] **IEEE 100** (1996). The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms, *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, New York, USA.
- [9] **Blackburn, J. L. ve Domin, T. J.** (2006). *Protective Relaying: Principles and Applications*, CRC Press, NW, USA.
- [10] **Rebizant, W., Szafran, J. ve Wiszniewski, A.** (2011). *Digital Signal Processing in Power System Protection and Control*, Springer-Verlag, New York, USA.
- [11] **Al-Harbawi, Y. Z.** (2013). *An Introduction to the Digital Protection of Power Systems*, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland.
- [12] **Phadke, A. G., Horowitz, S. H. ve McCabe, A. G.** (1990). Adaptive automatic reclosing, *CIGR'E 1990 Session*, Ağustos 26 - Eylül 1, 1990, Paris, France.

- [13] **Rockerfeller, G. D.** (1969). Fault protection with digital computer, *IEEE Transactions on PAS*, cilt 88, sayı. 4, sf. 438-461, Nisan.
- [14] **Bo, Z., Caunce, B., Klimek, A., He, J. ve Dong X.** (2007). An integrated protection scheme for distribution systems based on overcurrent relay principle, *CIREN 19th International Conference on Electricity Distribution*, Mayıs 21-24, 2007, Vienna, Austria.
- [15] **Singh, A. ve Surjan, B. S.** (2014). Microgrid: a review, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, cilt 3, sayı. 2, sf. 185-198, Şubat.
- [16] **Panigrahi, T. K., Saha, A. K., Chowdhury, S., Chowdhury, S. P., Chakraborty, N., Song, Y. H. ve Byabortta, S.** (2006). A simulink based micro grid modeling & operational analysis using distributed generators, *Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference*, cilt 1, sf. 222-226, Newcastle.
- [17] **Yuan, X. ve Zhang, Y.** (2006). Status and opportunities of photovoltaic inverters in grid-tied and micro-grid systems, *IEEE Power Electronics and Motion Control Conference*, cilt 1, sf. 1-4, Shanghai.
- [18] **Mashhour, E. ve Moghaddas-Tafreshi, S. M.** (2009). A review on operation of micro grids and virtual power plants in the power markets, *IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology*, sf. 273-277, Accra.
- [19] **Qiang, L., Lin, Z. ve Ke, G.** (2011). Review on the dynamic characteristics of micro-grid system, *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, sf. 2069-2074, Singapore.
- [20] **Wang, J., Wang, Z., Xu, L. ve Wang, Z.** (2011). A summary of applications of D-FACTS on microgrid, *IEEE Asia Pacific Power And Energy Engineering*, sf. 2069-2074, Singapore.
- [21] **Barnes, M., Kondoh, J., Asano, H., Oyarzabal, J., Ventakaramanan, G., Lassater, R., Hatziargyriou, N. ve Green, T.** (2007). Real-World MicroGrids - An Overview, *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, Nisan 16-18, San Antonio, TX.
- [22] **Venkateswarlu, K. ve Kishore, J. K.** (2012). Modeling and simulation of micro grid system based on renewable power generation units by using multilevel converter, *International Journal of Engineering Research & Technology*, cilt 1, sayı. 6, Ağustos.
- [23] **Hatziargyriou, N., Papathanassiou, S., Morozumi, S., Ise, T., Lasseter, R. ve Kroposki, B.** (2008). Making microgrids work, *IEEE Power&Energy Magazine*, sf. 40-53, Haziran.

- [24] **European Research Project** (2006). *More Microgrids*, Eylül, Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2015, <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>.
- [25] **Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)** (2001). *Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği*, Türkiye.
- [26] **Shen, M., Ingratta, L. ve Roberts, G.** (2008). Grounding transformer application, modeling, and simulation, *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, Pittsburgh, PA, USA, Haziran.
- [27] **IEEE 142** (1991). IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System, *IEEE Std 142-1991*, Haziran.
- [28] **Detjen, E. R. ve Shah, K. R.** (1992). Grounding transformer applications and associated protection schemes, *IEEE Transactions on Industry Applications*, cilt 28, sayı. 4, Temmuz/Ağustos.
- [29] **Paul, D. ve Venugopalan, S. I.** (1991). Low-resistance grounding method for medium-voltage power systems, *Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting*, sf. 1571 -1578.
- [30] **Kumar, N. ve Sahani, A. K.** (2007). Microprocessor based measurement of π -model transmission line parameters under fault conditions, *ICTES 2007*, sf. 389-392, Aralık 20-22.
- [31] **Agarwal, V. ve Vishwakarma, A.** (2007). A comparative study of PWM schemes for grid connected pv cell, *IEEE The 7 th International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, sf. 1769-1775.
- [32] **Sagor, R. H. ve Abido, M. A.** (2010). Study of solar energy for PV implementation in Saudi Arabia, *IEEE International Energy Conference*, sf. 830-834.
- [33] **Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. ve Vitelli, M.** (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method, *IEEE Transactions on Power Electronics*, cilt. 20, sayı. 4, Haziran.
- [34] **SunPower Corporation** (2007). The SunPower 305 solar panel spec. sheet.
- [35] **Gaikward, D. D., Chavan, M. S. ve Gaikward, M. S.** (2014). Hardware implementation of DC-DC converter for MPPT in PV applications, *IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking*, sf 16-20.
- [36] **Gomathy, S., Saravanan, S. ve Thangavel, S.** (2012). Design and implementation of maximum power point tracking (MPPT) algorithm for a standalone PV system, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, cilt 3, sayı. 3, Mart.

- [37] **IEEE Committee Report** (1973). Dynamic models for steam and hydro turbines in power system studies, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, cilt PAS-42, sayı. 6, sf. 1904-1915
- [38] **IEEE 421** (2005). IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies, *IEEE Standard*, cilt 421, sayı. 5, (Revision of IEEE 521.5-1992).
- [39] **Akhmatov, V.** (2002). Variable-speed wind turbines with doubly-fed induction generators, part 1: modelling in dynamic simulation tools, *Wind Engineering*, cilt 26, sayı. 2.
- [40] **Janicek, F. ve Mucha, M.** (2006). Distance digital relay model developed in atp “foreign model” and C++, *Journal of Electrical Engineering*, cilt 57, sayı. 5, sf 268-275.
- [41] **Karthik, P. ve Brearley, B. J.** (2014). Micro grid protection using digital relays, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, cilt 3, sayı. 2, sf 166-176, Nisan.
- [42] **Hewitson, L. G., Brown M. ve Balakrishnan R.** (2004). *Practical Power System Protection*, Elsevier, England.
- [43] **Keil, T. ve Jager, J.** (2008). Advanced coordination method for overcurrent protection relays using nonstandard tripping characteristics, *IEEE Transactions on Power Delivery*, cilt. 23, sayı. 1, sf 52-57.
- [44] **Vishwakarma, D. N. ve Moravej, Z.** (2001). ANN based directional overcurrent relay, *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, cilt. 1, sf. 29-64, Ekim 2 - Kasım 28.
- [45] **Tan, J. C., McLaren P. G., Jayasinghe R. P. ve Wilson, P. L.** (2002). Software model for inverse time overcurrent relays incorporating IEC and IEEE standard curves, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, cilt. 1, sf. 37-41, Mayıs 12-15.
- [46] **Goh, Y. L., Ramasamy, A. K., Nagi, F. H. ve Abidin, A. A.** (2010). Numerical relay for overcurrent protection using TMS320F2812, *9th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing (CSECS '10)*, sf. 45-50.
- [47] **Yang, H., Wen, F. ve Ledwich, G.** (2011). Optimal coordination of overcurrent relays in distribution systems with distributed generators based on differential evolution algorithm, *European Transactions On Electrical Power*.

- [48] **Birla, D., Maheshwari, R. P. ve Gupta, H. O.** (2007). An approach to tackle the threat of sympathy trips in directional overcurrent relay coordination, *IEEE Trans. Power Delivery*, cilt 22, sayı. 2, sf. 851-858.
- [49] **Urdaneta, A. J., Perez, L. G. ve Restrepo, H.** (1997). Optimal coordination of directional overcurrent relays considering dynamic changes in the network topology, *IEEE Trans. Power Delivery*, cilt 12, sayı. 4, sf. 1458-1464.
- [50] **Urdaneta, A. J., Nadira, R. ve Jimenez, P. L.** (1997). Optimal coordination of directional overcurrent relays in interconnected power systems, *IEEE Trans. Power Delivery*, cilt 3, sayı. 3, sf. 903-911.
- [51] **Chattopadhyay, B., Sachdev, M. S. ve Sidhu, T. S.** (1996). An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique, *IEEE Trans. Power Delivery*, cilt 11, sayı. 1, sf. 165-173.
- [52] **Abdelaziz, A. Y., Talaat, H. E. A., Nosseir, A. I. ve Hajjar, A. A.** (2002). An adaptive protection scheme for optimal coordination of overcurrent relays, *Electr. Power Syst. Res.*, cilt 61, sayı. 1, sf. 1-9.
- [53] **Alstom** (2011). Overcurrent protection for phase and earth faults, *Network Protection and Automation Guide*, Chapter 9, sf 122-151.
- [54] **ABB** (2011). Relay coordination and selective protection, *Distribution Automation Handbook*, Chapter 8.2, Finland.
- [55] **Bedekar, P. P., Bhide, S. R. ve Kale, V. S.** (2011). Determining optimum TMS and PS of overcurrent relays using linear programming technique, *The 8th Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Conference*.
- [56] **Schaefer, N., Degner, T., Shustov, A., Keil, T. ve Jaeger, J.** (2010). Adaptive protection system for distribution networks with distributed energy resources, *10th IET Int. Conf. Develop. Power Syst. Protect*.
- [57] **Degner, T., Shustov, A., Keil, T. ve Jaeger, J.** (2007). Changing network conditions due to distributed generation - systematic review and analysis of their impacts on protection, control and communication systems, *CIREN 19th International Conference on Electricity Distribution*, Vienna.
- [58] **Gatta, F. M., Iliceto, F., Lauria, S. ve Masato, P.** (2003). Behaviour of dispersed generation in distribution networks during system disturbances. Measures to prevent disconnection, *CIREN 17th International Conference on Electricity Distribution*, Vienna.

- [59] **Schaefer, N., Degner, T., Keil, T. ve Jaeger, J.** (2008). Schutztechnik in DER netzen - System protection in networks with DER, *Proc. 13th Kassel Symposium Energy Systems Technology*, sf.178-197.
- [60] **Hadjsaid, N., Canard, I. ve Dumas, F.** (1999). Dispersed generation impact on distribution networks, *IEEE Computer Applications in Power*, cilt 1, sf. 22-28.
- [61] **Babu, P. S., Kumar, S. V. J. ve Chaitanya, P. R. K.** (2011). Digital relay based adaptive protection for distributed systems with distributed generation, *International Journal of Energy Science*, cilt 1, sayı. 2, sf. 72-77.
- [62] **Bo, Z., Caunce, B., Klimek, A., Yuan, D. D. ve Dong X.** (2006). A new directional comparison scheme for distribution line protection, *UPEC2006, 41st University Power Engineering Conference*, Eylül 6-8, Newcastle.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Fatih Özveren
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul / 25 Eylül 1989
E-Posta : ozverenf@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
- **Yandal** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi
Makina Fakültesi
Mekatronik Yandal Programı

