





Distributed solar power application effects on short circuit protection in distributed generation - new techniques for short circuit protection in distributed generation

Ahmet Teke¹ , Ensari Yıldırım^{2*} 

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Çukurova University, Adana, 01330, Turkey

²EnerjiSA Electrical Distribution Company, Adana, Turkey

Highlights:

- The simplified topology
- The computing platform
- Improved protection

Keywords:

- Distributed Generation
- Protection
- Solar Power Plants
- Relay Coordination
- Superposition

Article Info:

Research Article

Received: 22.05.2018

Accepted: 21.12.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.425947

Acknowledgement:

Scientific Research Project
Unit of Cukurova University
FYL-2014-1938.

Correspondence:

Author: Ensari Yıldırım
e-mail:
ensariyildirim@gmail.com
phone: 0 322 455 6144

Graphical/Tabular Abstract

The summary of the contents is given in the following flow-diagram.

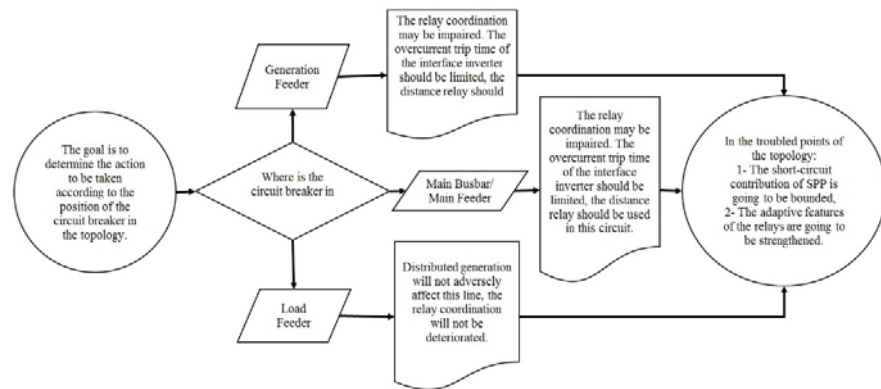


Figure A. Flow-diagram of the conclusion

Purpose: The wide application of distributed generation (especially solar energy power plants, SPP) is investigated and the possible effects on the existing relay coordination are predicted. New applications are proposed that will help to reduce the adverse effects that are predicted/identified during all these simulations and investigation studies.

Theory and Methods: The superposition analysis was applied for the first time in distributed generation short-circuit analysis. It serves practical and easy ways to examine the effects of distributed generation on the distribution network. IEEE 13-Node or IEEE 34-Node radial distribution test feeder topologies have been frequently used when the distribution network is examined. However, instead of using these topologies, an alternative topology which is sufficient and more useful for the required PSCAD simulation has been developed for the sake of simplicity. In order to obtain realistic results in PSCAD simulations, an Excel-based computing platform (Master Program) was developed that calculates the distribution network circuit parameters to be used in PSCAD.

Results: The generation feeder and the main busbar are adversely affected in terms of relay coordination. However the load feeder is not affected. In the troubled points of the topology:

- The short-circuit contribution of SPP should be bounded,
- The adaptive features of the relays should be strengthened.

Conclusion: Distributed generation will take place in the future of the electricity grid. Current relay coordination will not be enough to protect the network. The network protection philosophy needs to be changed.



Dağıtık üretimde güneş enerjisi uygulamalarının kısa devre koruması üzerindeki etkileri ve dağıtık üretimde kısa devre koruması için yeni teknikler

Ahmet Teke¹, Ensari Yıldırım^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Adana, Türkiye

²Enerjisa, Toroslar EDAŞ, Adana, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Basitleştirilmiş topoloji
- Bilgi işlem platformu
- Geliştirilmiş koruma

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 22.05.2018
Kabul: 21.12.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.425947

Anahtar Kelimeler:

Dağıtık üretim,
lisanssız üretim,
koruma,
güneş enerjisi santrali

ÖZET

Dağıtık üretim, elektrik üretimi ve dağıtımıyla ilgili yeni bir uygulama alanıdır. Uygulama yaygınlaştıkça yeni sorunlarla karşılaşılacaktır. Çıkabilecek sorunlara aday konulardan biri, mevcut röle koordinasyonunun bozulması ihtimalidir. Herhangi bir arıza olmasa dahi, devre kesiciler tetiklenebilir veya bir arıza durumunda tetiklenmesi gereken kesiciler devreyi kesmeyebilir. Şebeke koruma sistemleri etkisini kaybedebilir, dağıtım sisteminin kesinti süresi/kesinti sayısı/dağıtılamayan enerji endeksleri (SAIDI/SAIFI/EENS) artabilir. Bu çalışmada, mevcut röle koordinasyonunun gelecekte dağıtık üretimin yaygın olarak kullanılmasından, özellikle de güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaşmasından nasıl etkileneceği tahmin edilmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin bağlı olduğu şebeke topolojisinde, hangi noktaların daha çok etkileneceği ve hangi noktaların güvende kalacağı sistematik olarak incelenmektedir. Bu inceleme için, süperpozisyon analizi dağıtık üretim kısa devre analizinde ilk defa uygulanmıştır. Süperpozisyon analizi, dağıtım şebekesinde dağıtık üretim etkilerini incelemeyi pratikleştirmekte ve kolaylaştırmaktadır. Literatürde, dağıtım şebekesi incelenirken IEEE 13-Node veya IEEE 34-Node radyal dağıtım test fideri topolojilerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Mevcut lisanssız santral uygulaması trendi doğrultusunda, varılacak dağıtım sisteminin pratik ve etkili bir şekilde incelenebilmesi için bu topolojilere alternatif ve ihtiyaç duyulan simülasyon için yeterli bir topoloji geliştirilmiş ve PSCAD ortamında test edilmiştir. Tüm bu simülasyon ve inceleme çalışmaları esnasında öngörülen/belirlenen olumsuz etkilerin azaltılmasını sağlayacak yeni uygulamalar önerilmektedir.

Distributed solar power application effects on short circuit protection in distributed generation - new techniques for short circuit protection in distributed generation

H I G H L I G H T S

- The simplified topology
- The computing platform
- Improved protection

Article Info

Research Article
Received: 22.05.2018
Accepted: 21.12.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.425947

Keywords:

Distributed generation,
Protection,
solar power plant

ABSTRACT

Distributed generation is a new application field regarding electricity generation and distribution. As this application grows, the network will face new challenges. One of the candidates for problems that may arise is the possibility of malfunction of the current relay coordination. Circuit breakers may be triggered, although there are no faults. Circuit breakers that must be triggered in the event of a fault might not interrupt the circuit unexpectedly. The network protection systems may lose their function. SAIDI (System Average Interruption Duration Index), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) and EENS (Expected Energy Not Served) values of the network may increase. In this study; wide application of distributed generation (especially solar energy plants) in the future is investigated and the possible effects on the existing relay coordination are predicted. In the network topology where the solar power plants are connected, the branches are systematically investigated in terms of safety. In order to conduct this investigation, the superposition analysis was applied for the first time in distributed generation short-circuit analysis. The superposition analysis serve practical and easy ways to examine the effects of distributed generation on the distribution network. The literature survey shows that the IEEE 13-Node or IEEE 34-Node radial distribution test feeder topologies have been frequently used when the distribution network is examined. However, instead of using these topologies, an alternative topology which is sufficient and more useful for the required PSCAD simulation has been developed for the sake of simplicity, in this study. New applications are proposed that will help to reduce the adverse effects that are predicted / identified during all these simulations and investigation studies.

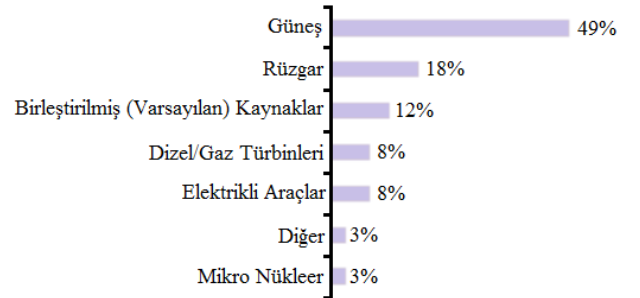
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dağıtık üretim için literatürde birden çok tanım bulunmaktadır. IEEE'nin dağıtık üretim için kullandığı tanım, "büyük ve merkezi üretilere kıyasla, dağıtım şebekesinin her noktasına bağlanacak kadar küçük güçlü üretimler" şeklindedir[1]. Geleneksel merkezi üretimlerden farklı olarak, dağıtık üretim elektriğin son kullanıcının yanı sıra başında küçük ölçeklerde üretilmesine tekabül etmektedir[2]. Dağıtık üretim, dünyada enerji üretimi paradigmasında bir değişim olarak görülmektedir[3].

Dağıtık üretim ile büyük oranda yenilenebilir enerji kaynakları desteklediğinden, iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımının azalmasına katkıda bulunmaktadır[4]. Küçük güçlerde ve yaygın üretim imkanı, konvansiyonel sistemlerin merkezi üretimlerine kıyasla daha güvenilir bir enerji arzı vaat etmektedir[5]. Dağıtık üretimin enerji kayıplarını azaltması, enerji tedarik sürekliliğini artırması ve anılan diğer teknik faydalarının yanı sıra dağıtık üretim geliştiricileri/sahipleri için önemli ekonomik getirisi olacaktır[6]. Ancak, tüm bu teknik/ekonomik avantajlarının yanında, dağıtık üretim santralleri bağlandıkları baraya bir kısa devre akımı katkısında bulunur. Bu durum, mevcut koruma sistemlerinin istenilen şekilde çalışmasına engel olabilir [7, 8]. Dağıtık üretimin dağıtım sisteminde ne kadar uygulanabileceği, hem şebekenin teknik kapasitesi, hem de güncel mevzuat tarafından belirlenir. Örneğin, Türkiye'deki güncel mevzuat, PV (fotovoltaik güneş enerjisi) santralleri de dahil olmak üzere dağıtık üretimi santral başına 1 MW ile sınırlar[9]. Ancak, aynı fider üzerinde çok sayıda bağımsız santral olabileceğinden, fiderdeki dağıtık üretim gücünün limitini şebeke belirler. Şebekenin kapasitesi zorlanmasa bile, dağıtık üretim röle koordinasyonunu bozabilir. Bir başka deyişle, şebeke limitleriyle sınırlanacak olan dağıtık üretim, güvenli bir koruma sistemi için yeterli olmayabilir, röle koordinasyonunun bozulmasına sebebiyet verebilir. Dağıtık üretimin yaygınlaşmasıyla, elektrik şebekelerindeki koruma sistemleri, ilave arıza akımı enjeksiyonundan olumsuz etkilenebilir[10]. Dağıtık üretim henüz yeterince yaygınlaşmadan, röle koordinasyonunun bozulma ihtimalinin simülasyonla test edilmesi, dağıtık üretimin geleceği için iyi bir öngörü sağlayacaktır. Bu çalışmanın şimdiden sağlayacağı öngörü, Türkiye elektrik üretiminde dağıtık üretimin öncü enerji kaynağı olan güneş enerjisi santrallerinin toplam üretimin henüz % 0,38'ine tekabül etmesinden dolayı önem arz etmektedir [11]. Çünkü dağıtık üretimin gelecekte güvenli ve sürekli büyüyebilmesi için, yükselecek arıza akımı seviyeleri ve çift yönlü güç akışı gibi zorlukların şimdiden değerlendirilmesi gerekmektedir[12, 13]. Şebekedeki röle koordinasyonunu test etmek için, gerçekçi modeller kullanılmalıdır. Radyal işletilen dağıtım sisteminin pek çok farklı biçimi olabilir. Ancak bunların genelini özetleyecek birkaç model belirlenebilir. Bu modellerde, kısa devre korumasının dağıtık üretimin çeşitli seviyelerindeki katkısı için nasıl davranacağı, PSCAD kullanılarak yapılan simülasyonlarla tespit edilmiştir.

Türkiye'de dağıtım fiderlerinde tek faz kısa devre akımı 1000 A civarı ile sınırlandırılırken, 3 faz kısa devre akımı ise 16 kA ile sınırlandırılmaktadır[14]. Dolayısıyla tek faz kısa devre akımı için oluşturulan röle koordinasyonu, dağıtık üretim santrallerinin kısa devre katkısından daha erken ve daha çok etkilenecektir. Bu sebeple, çalışma içerisinde tek faz kısa devre akımı modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır.

Mevcut mevzuat, bağlamı itibarıyla, AG seviyesindeki dağıtık üretimden daha çok, OG seviyesindeki dağıtık üretimi teşvik etmektedir [9, 15]. Bu yüzden, modelleme ve simülasyonlarda OG seviyesindeki dağıtık üretim modellenmiş veya AG seviyesindeki dağıtık üretim, eş güçte OG seviyesinde modellenmiştir. Yani, koruma konusu OG seviyesinde incelenmiştir. Dağıtık üretimin 3 öncü ülkesi olan Almanya, Danimarka ve İsveç'te IEEE'nin yaptığı öngörü anketine göre çeşitli enerji kaynaklarındaki beklenti aşağıdaki şekilde olmuştur[16].



Şekil 1. Almanya, Danimarka ve İsveç'te dağıtık üretim kaynaklarında öngörülen talep [17])
(Distributed generation sources with the expected demand in Germany, Denmark and Sweden[17])

Bununla birlikte, TEDAŞ'ın 2017 yılında yayımladığı faaliyet raporunda yer verilen, kaynak türlerine göre proje onay başvurusu ve onay durumu istatistiği aşağıdaki tabloda yer almaktadır[18]. İlaveten, TEİAŞ'ın 2018 yılında yayımladığı kaynak türlerine göre kurulu güç istatistikleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır [19]. EPDK'nın 2018 yılında yayımladığı piyasa gelişim raporunda da, aşağıdaki tabloyu destekleyecek şekilde, lisanssız güneş enerjisi santrallerinin diğer lisanssız kaynak türleri içerisindeki kurulu güç oranı %93,9 olarak belirtilmiştir[20]. Şekil 1, dağıtık üretimin öncü ülkelerinde, PV santrallerinin yüksek bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye'de ise Tablo 1'in, Tablo 2'nin ve TEDAŞ ile TEİAŞ'ın yayımladığı diğer faaliyet raporlarının [21, 22] da desteklediği üzere, gerek piyasa koşullarından, gerek mevzuattan ve gerekse teknolojik ilerleme seviyelerinden dolayı; dağıtık üretimde, PV santralleri şebekeye hakimdir. Dolayısıyla, dağıtık üretimin daha fazla yaygınlaşmasının da PV santralleri ile sağlanacağı öngörülmektedir. Anılan tüm bu sebeplerle, PV santrallerinin OG seviyesinde tek faz kısa devre katkısı; dağıtık üretim için en önemli spesifik konulardan birini teşkil etmektedir.

2. MODELLEME İÇİN BELİRLENEN TOPOLOJİ (THE DESIGNATED TOPOLOGY FOR MODELING)

Radyal işletilen dağıtım şebekesinde bir dağıtım merkezindeki (DM) ana bara, bir ana fider ile enerjilenir. Bu baraya ulaşan güç, diğer fiderler ile dağıtılır. Dağıtım fiderleri çok sayıda olabilir ve söz konusu dağıtım fiderlerinin kimisinde dağıtık üretim varken, kimisinde olmayabilir. Yani dağıtık üretimde kısa devre analizi açısından üç çeşit fider bulunmaktadır.

- Dağıtım barasını besleyen ana fider
- Dağıtım barasından beslenen ve GES bağlantısı olan tali fider
- Dağıtım barasından beslenen ve herhangi bir üretim bağlantısı olmayan tali fider

Dağıtık üretime sahip dağıtım fiderleri, eş değer bir fider ile modellenebilir. Benzer şekilde, üretimin olmadığı, sadece tüketimin olduğu dağıtım fiderleri de, eş değer bir fider ile modellenebilir. Bu durumda, dağıtım şebekesini kapsayan en

sade model olarak aşağıda görülen Şekil 2 kullanılabilir. Aşağıdaki şekillerde, “TEİAŞ İletim Ağı” diye adlandırılan kısım, TEİAŞ Trafo Merkezinin (TM) sekonder barasındaki Thevenin eşdeğer devresidir.

Eş değer dağıtım fiderlerinin üzerindeki yayılı yükü de modele dahil etmek gerekir. Fider boyunca mevcut olan branşman yükler, yine bir eş değer branşman yük olarak değerlendirilebilir. Dağıtık üretimin yanı başında yapılan tüketim ise ayrıca gösterilmelidir. Böyle bir topolojide 4 adet düğüm noktası (4 Node) ve 3 adet koruma bölgesi bulunduğundan, Şekil 3'te belirtilen 3 ayrı noktada kısa devre simülasyonu yapılmalıdır.

3. MODELLEME VE SİMÜLASYON (MODELING AND SIMULATION)

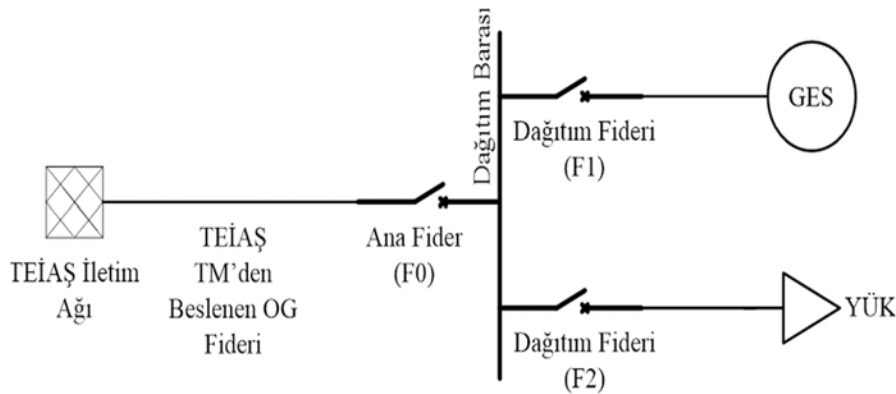
Dağıtım şebeke topolojilerini kapsayan temel topolojide, dağıtım şebekesinin gerçekçi bir modelini ortaya koyabilmek ve simülasyonlarda gerçeğe yakın sonuçlar alabilmek için, dağıtım şebekesinde yaygın olarak kullanılan

Tablo 1. Kaynak türüne göre başvuru yapılan projeler (Projects by source type)

Santral Türü	Başvuru Yapılan Proje Adeti	Başvuru Yapılan Toplam kW	Onaylanan Toplam Proje Adeti	Onaylanan Proje Kurulu Güç kW
Biyokütle	77	97.201	44	62.879
GES	8.713	7.133.784	7.956	6.655.183
HES	10	6.604	3	3.030
IMD	31		19	
RES	338	272.205	240	208.021
TRI/Kojenerasyon	91	244.716	69	189.877
TOPLAM	9.260	7.754.510	8.331	7.118.990

Tablo 2. Kurulu güçler (Installed powers)

Kaynak Türü	2017 Yılı Sonu İtibariyle			28 Şubat 2018 İtibariyle		
	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı Adet	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı Adet
Güneş (Lisanssız)	3,403	93,3%	3,613	3,919	93,2%	4,704
Termik (Lisanssız)	201	5,5%	67	231	5,5%	79
Rüzgar (Lisanssız)	34	0,9%	46	47	1,1%	62
Hidrolik (Lisanssız)	7	0,2%	10	7	0,2%	10
TOPLAM	3,645	100,0%	3,736	4,204	100,0%	4,855



Şekil 2. Temel Topolojide Ana Dağıtım Barası (Main distribution busbar in basic topology)

hat karakteristikleri ile Şekil 3 modellenmiştir. Dağıtım şebekesinin ana fiderlerinde ve dağıtım fiderlerinde yaygın olarak kullanılan hat karakteristikleri gözetilerek; ana fider için Hawk iletken (havai şebeke), dağıtım fiderleri için 1X150/25 kesitli, XLPE izoleli, alüminyum iletkenli kablo ile 1X95/16 kesitli, XLPE izoleli, bakır iletkenli kablo (yer altı şebekesi) modellenmiştir. Söz konusu karakteristiklerdeki dağıtım fiderleri orta gerilimde (34,5 kV) yaklaşık 17 MW'a kadar taşıyabilmektedir. Bu sebeple, dağıtım fiderleri toplam 12 MW ve 16 MW taşıyacak şekilde modellenmiştir. Benzer şekilde özellikle kırsal dağıtım şebekesinin dağıtım üretim bağlamaya uygun ana fider topolojileri dikkate alınarak ana fider uzunlukları 8 km alınmıştır. İlave olarak, şehir içindeki uzun dağıtım fiderleri örnek alınarak, modellenen topolojide dağıtım fiderleri 4 km uzunluğunda seçilmiştir. Dağıtım şebekesindeki mevcut uygulamaların göz önünde bulundurulmasının yanında, belirtilen hat karakteristikleri ve yüklenme durumları dikkate alınarak gerilim düşümü hesaplamaları yapılmış ve mevzuatın belirlediği elektrik kalitesi standartları içerisinde kalınacak şekilde hat uzunlukları seçilmiştir. Sözün özü, seçilen hat uzunlukları, fiderlerin hat karakteristikleri, fiderlerin üzerindeki yayılı yük güçleri ve üretim fiderini besleyen dağıtım üretim gücü gibi parametreler; fiderlerde ısınma-gerilim düşümü hesapları, dağıtım şebekesindeki uygulamalar, dağıtım şebekesinin nasıl dizayn edileceğini belirleyen mevzuat ve dağıtım şebekesi ile ilgili istatistikler dikkate alınarak belirlenmiştir [11, 14, 23]. Modellenen

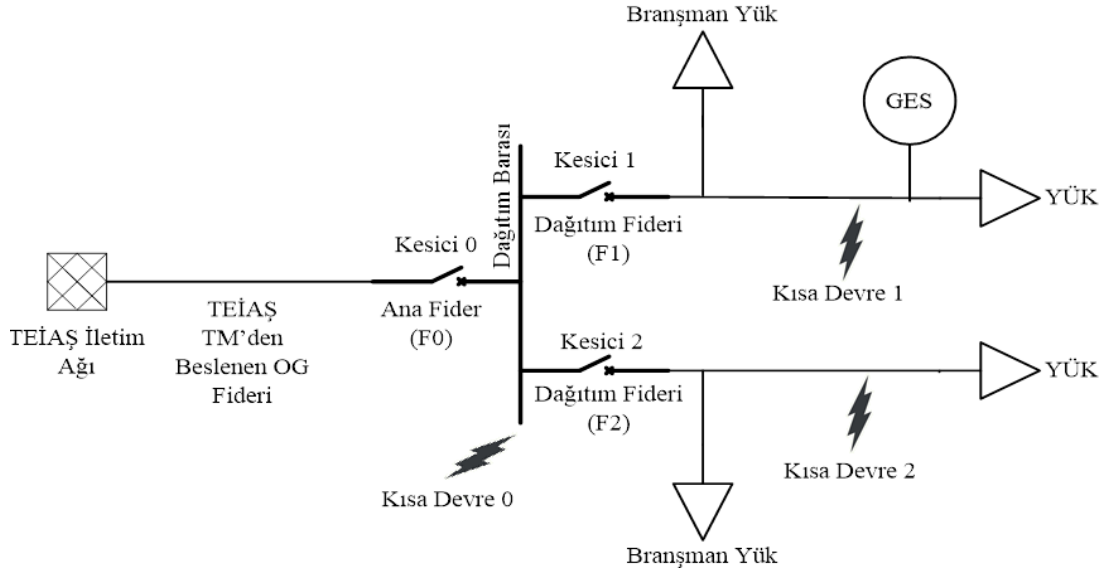
şebekedeki fider özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

İletim ve dağıtım şebekelerini birbirine bağlayan indirici bir trafo merkezi (TM) için gerçekçi bir model elde edebilmek adına, TEİAŞ'ın yayımladığı yük tevzi raporlarındaki değerlerin ortalamaları dikkate alınmıştır [24]. Modellenen şebekede kullanılan TM parametreleri aşağıdaki Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 3 ve Tablo 4'te belirtilen parametreler ve temel topoloji kullanılarak, PSCAD'de aşağıdaki şebeke modellenmiştir. Şekil 4'teki şebeke görünümünde belirtilen şebeke parametreleri, Tablo 3 ve Tablo 4'te yer alan parametreler kullanılarak hesaplanmıştır.

3.1. Arızasız Şebeke (Kararlı Hal) Analizi (Healthy network (steady state) analysis)

Bu analizde, GES'in anma akımının röle koordinasyonunu ne yönde etkileyeceği incelenmektedir. Lineer elektrik devrelerine uygulanabilen süperpozisyon teoremine göre, şebekenin TM'ye verdiği tepki ile GES'e verdiği tepki ayrı ayrı incelenebilir. İki ayrı tepkinin toplamı, hem TM hem de GES devredeyken şebekenin vereceği tepkiye eşit olacaktır [25]. Süperpozisyon analizinin vereceği sonuçlar, gerçeğe yakın olsa da biraz sapacaktır. Çünkü süperpozisyon analizinde akım veya gerilim kaynaklarının eşdeğer empedansı devreden çıkarılmamalı, gerilim kaynağı kısa



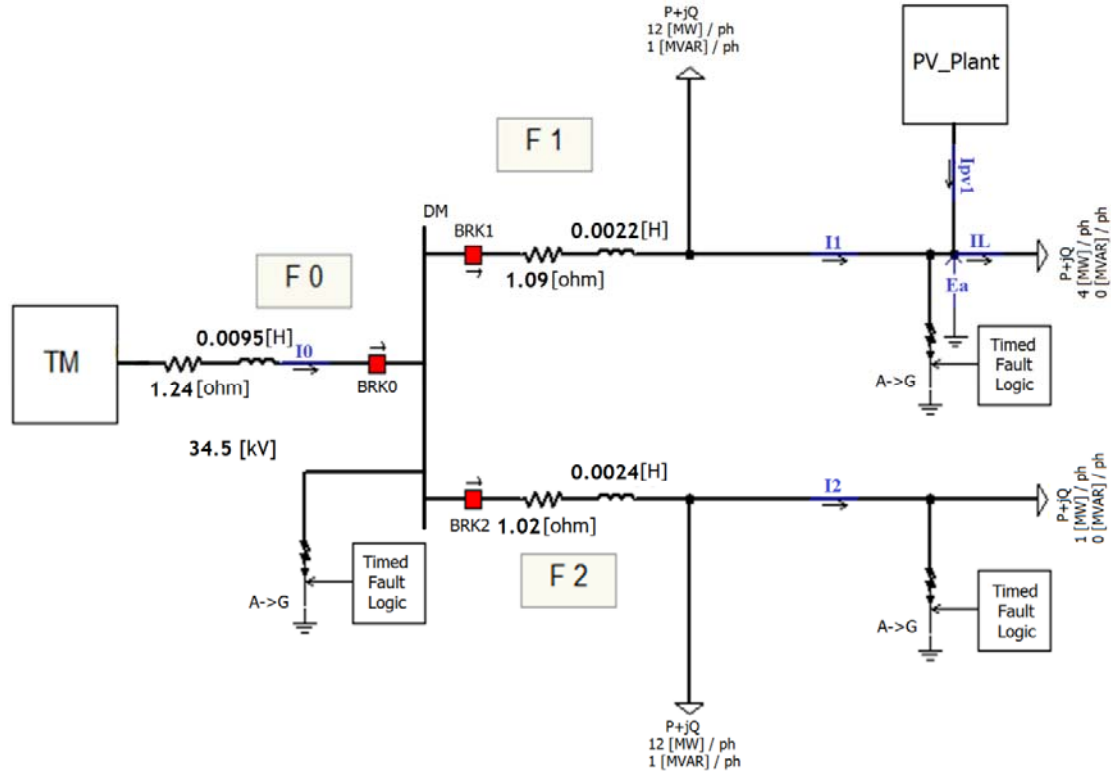
Şekil 3. Koruma analizinde kullanılan temel topoloji (The basic topology used in protection analysis)

Tablo 3. Modellenen Fider Parametreleri
(The modeled feeder parameters)

Fider	F0	F1	F2
Hat Karakteristiği	3xHawk	3x1x150/25 XLPE AL	3x1x95/16 XLPE CU
Uzunluk (km)	8	4	4
Yük \sum MW	0	16	13
Yük \sum MVAR	0	1	1
GES \sum MW	0	5	0

Tablo 4. TM parametreleri (TS parameters)

Parametre	TM Değerleri
Primerdeki Kısa Devre Akımı (kA)	5,85
Primerdeki Gerilim Seviyesi (kV)	154
Primerdeki Kısa Devre Gücü (MVA)	1.561
Primer Şebekenin Thevenin Eşdeğer Empedansı (Ω)	15,19
Primer Şebekenin Thevenin Eşdeğer Endüktansı (mH)	48,40
Sekonderdeki Gerilim Seviyesi (kV)	34,5
Sekonder Sargıların Nötr Direnci (Ω)	20,00
Trafonun Kısa Devre Empedans Gerilimi (%)	12,60
Trafonun Anma Gücü (MVA)	50
Trafonun Seri Empedansı (Ω)	2,91
Trafonun Seri Endüktansı (H)	0,0093

**Şekil 4.** Modellenen şebeke (The modeled network)

devre edilmeli, akım kaynağı ise açık devre edilmelidir [25]. Ancak, PSCAD'de yapılan analizde TM, eşdeğer empedansı ile beraber devreden çıkarılarak kısa devre edilmektedir. GES (PV) ise bir akım kaynağı gibi davrandığından, eşdeğer direnci ile beraber açık devre edilmektedir. Aşağıdaki tabloda, belirlenen topoloji için yapılan simülasyonda a) sadece TM devredeyken görülen akım değerleri, b) sadece 5 MW gücünde PV devredeyken görülen akım değerleri ve c) hem TM, hem 5 MW gücünde PV devredeyken görülen akım değerleri gösterilmektedir. Tablo 5'te görülen simülasyon sonuçlarına göre; hem TM, hem de PV devredeyken elde edilen akım değerleri, beklenen toplam şebeke tepkisi değerlerine yakın çıkmakla beraber, küçük miktarlarda sapmalar kaydedilmiştir. Simülasyonda görülen küçük sapmaları matematiksel olarak ifade edebilmek için τ (tau) ve E şeklinde iki operatör

tanımlayalım. Aritmetik + (artı) operatörüne benzer olarak, τ operatörü mevcut eşdeğer empedansa yeni bir empedansın katıldığını belirterek, yeni topolojiye göre yeni bir eşdeğer empedans oluşturur. Bu şekilde tanımlanan τ operatörünü, E operatörünü tanımlayabilmek için kullanalım. Aritmetik \sum (toplam, sigma) operatörüne benzer olarak; E operatörü, τ operatörünün empedans değerlerinden oluşan bir seriye uygulandığını belirtir. U_n , belirlenen topoloji üzerinde, n'inci sıradaki Thevenin gerilimini belirtsin. Z_n^S , belirlenen topoloji üzerinde, n'inci sıradaki üretim kaynağının seri empedansını gösterebilir. Z_n^{ES} , belirlenen topoloji üzerinde, yine n'inci sıradaki üretim kaynağının gördüğü şebekeye ait Thevenin eşdeğer empedansı gösterebilir. Bu durumda, her bir üretim

kaynağını ayrı ayrı devreye alarak, belirlenen topolojinin belli bir noktasında oluşan akım değerlerini ayrı ayrı topladığımızda elde edeceğimiz toplam akım değeri süperpozisyon teoremine göre;

$$I_T = \sum_{n=1}^k I_n = \sum_{n=1}^k \frac{U_n}{Z_n^{es} + Z_n} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Belirlenen topoloji üzerindeki tüm üretim kaynakları devredeyken, topolojinin belirli bir noktasında oluşan akım değeri ise Eş. 1'e benzer olarak;

$$I = \sum_{n=1}^k \frac{U_n}{Z_n^{es} + E_{n=1}^k Z_n} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eş. 1 ve Eş. 2'ye göre $I \approx I_T$ yaklaşık eşitliğinin elde edilmesi için Z_n^{es} empedansının paydadaki diğer empedansa göre çok büyük olması gerekecektir. Bu gereksinim, dağıtım şebekesinde kolaylıkla sağlanır. Bunun bir göstergesi olarak, dağıtım şebekesindeki gerçekçi değerlerle belirlemiş olduğumuz topoloji üzerinde, $I \approx I_T$ yaklaşık denkleğinin sağlanabilmiş olması gösterilebilir. Bu denklik, Tablo 5'te bulunan değerleri elde ettiğimiz simülasyonlarda açıkça görülebilmektedir. Sözün özü, beklenen toplam şebeke tepkisi ile Simülasyon 3'te elde edilen sonuçlar arasındaki küçük farklar; güç kaynaklarının eşdeğer dirençleriyle

beraber devre dışı bırakılmasından kaynaklanmıştır.

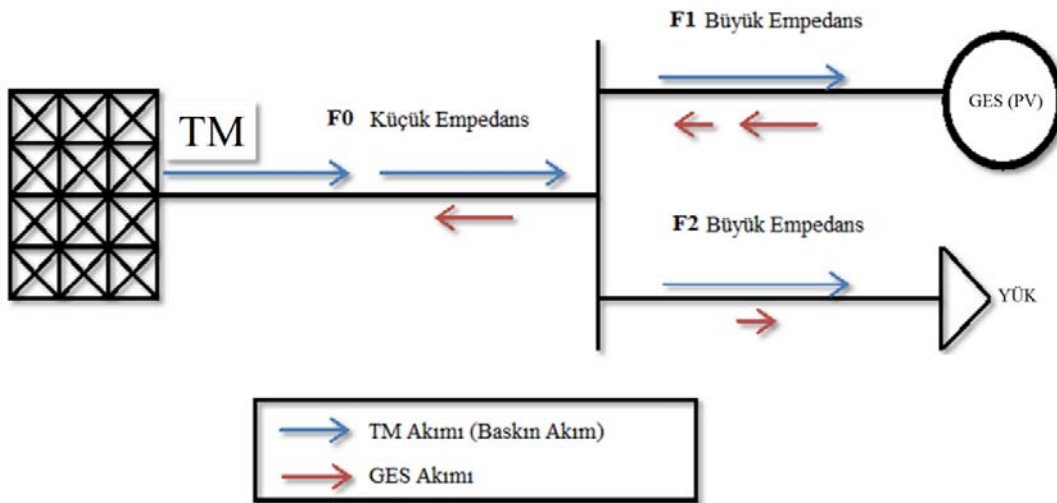
Şebekenin TM tepkisi, GES tepkisi ve TM+GES tepkisi aşağıdaki Şekil 5'te görselleştirilmiştir.

GES akımının tamamının F 1'den geçtiği, ana baradan sonra GES akımının büyük bölümünün F 0'a yöneldiği ve GES akımının çok küçük bir kısmının F 2'ye yöneldiği görülmektedir. Çünkü F 0'ın eşdeğer empedansı, F 2'ye göre oldukça düşük kalmaktadır. TM'nin F 0'a kattığı eşdeğer pozitif sekans empedansı 4Ω civarındayken, 12 MW yükün F 1'e kattığı pozitif sekans empedansı 100Ω civarındadır. Dolayısıyla, GES'in ana akımı I0'ı ve I1'i düşürmekte, I2'yi ise çok az yükseltmektedir.

GES'in akım katkısından dolayı şebeke akımlarının yukarıda bahsedildiği şekilde değişmesi, kısa devre durumu için simülasyonlardan önce bir ön tahmin yapabilmeyi sağlamaktadır. Kısa devre durumunda GES'in kısa devre akımı katkısından dolayı, I0 ve I1, kesicinin açma akımının doğru çalışma seviyelerinden uzaklaşarak trip seviyesi akımının altında kalabilir. I2 ise çok az yükselerek doğru çalışma seviyelerinde kalacak ve oluşacak bir arızada trip seviyesinin üzerinde kalarak kesicinin güvenli bir şekilde açmasını sağlayacaktır. Bir başka deyişle, F0 ve F1 fiderlerindeki kesicilerin doğru çalışmasında potansiyel riskler bulunmaktayken, herhangi bir güçteki GES'in ana akımının F2'deki mevcut röle koordinasyonuna olumsuz bir

Tablo 5. Süperpozisyon analizi (Superposition analysis)

Durum, (A)	I0	I1	I2
a) Simülasyon 1: TM Devrede, PV Devre Dışı (Açık Devre)	417	57	15
b) Simülasyon 2: TM Devre Dışı (Kısa Devre), PV Devrede	-74	-83	1
Beklenen Toplam Şebeke Tepkisi (a + b)	343	-26	16
c) Simülasyon 3: TM Devrede, PV Devrede	347	-26	15



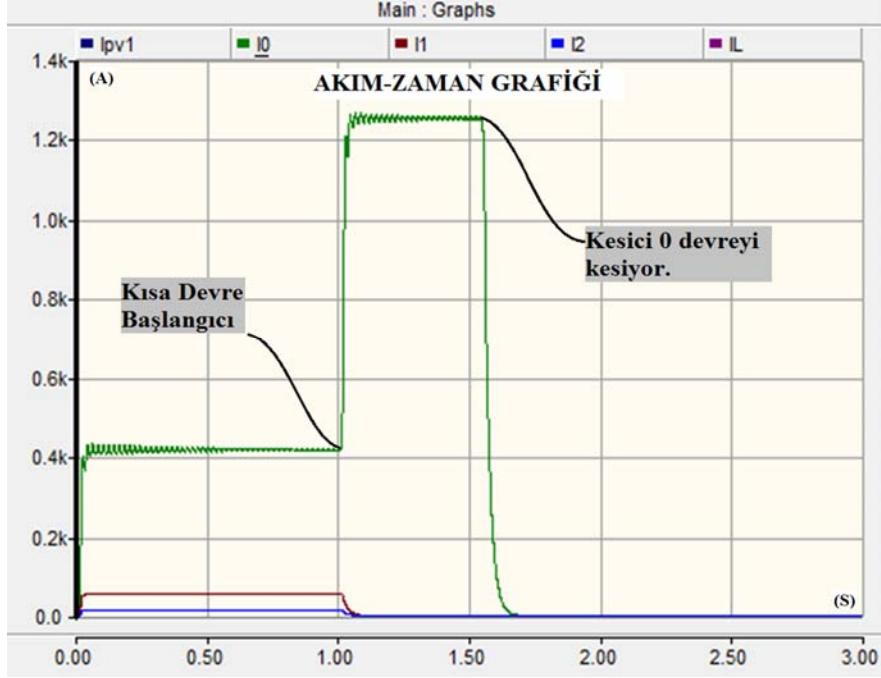
Şekil 5. Süperpozisyon analizi (Superposition analysis)

etkisi olmayacaktır.

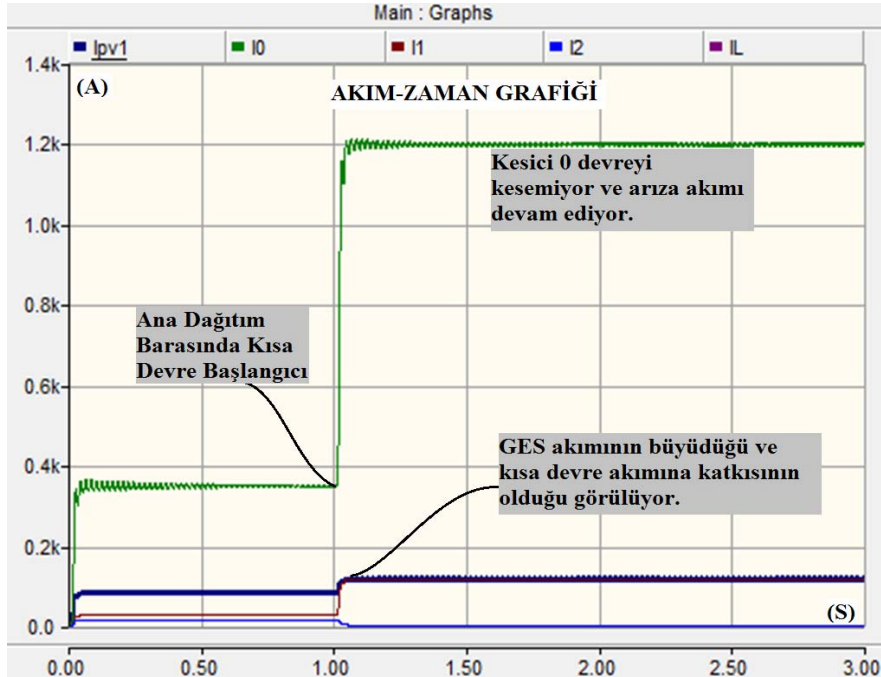
3.2. Kısa Devre 0 (KD 0) Analizi (Short-circuit 0 analysis)

KD 0, Şekil 3'te belirtilen noktada, ana barada uygulandı. İlk uygulamada, GES simülasyona dahil edilmedi. Bu sayede konvansiyonel dağıtım şebekesindeki röle koordinasyonunun çalışması test edildi. Simülasyonda elde edilen grafik formları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil 6'da görünen değerler, fider akımlarının etkin (RMS) değerleridir. $T=1$ s'de arızanın başladığı ve $T=1,5$ s'de Kesici 0'ın açarak arızayı temizlediği görülmektedir. Bu aşamada devreye çeşitli güçlerde GES bağlanarak kesicilerin tepkisi ölçüldü. 5 MW'a kadar, röle koordinasyonunu bozucu bir etki gözlemlenmedi. Ancak, şebekeye 5 MW gücünde GES bağlandıktan sonra Kesici 0'ın arızayı temizleyemediği Şekil 7'de bulunan grafikte görülmektedir. Yukarıdaki grafikte,



Şekil 6. Konvansiyonel şebekede KD 0 analizi (KD 0 analysis in the conventional network)



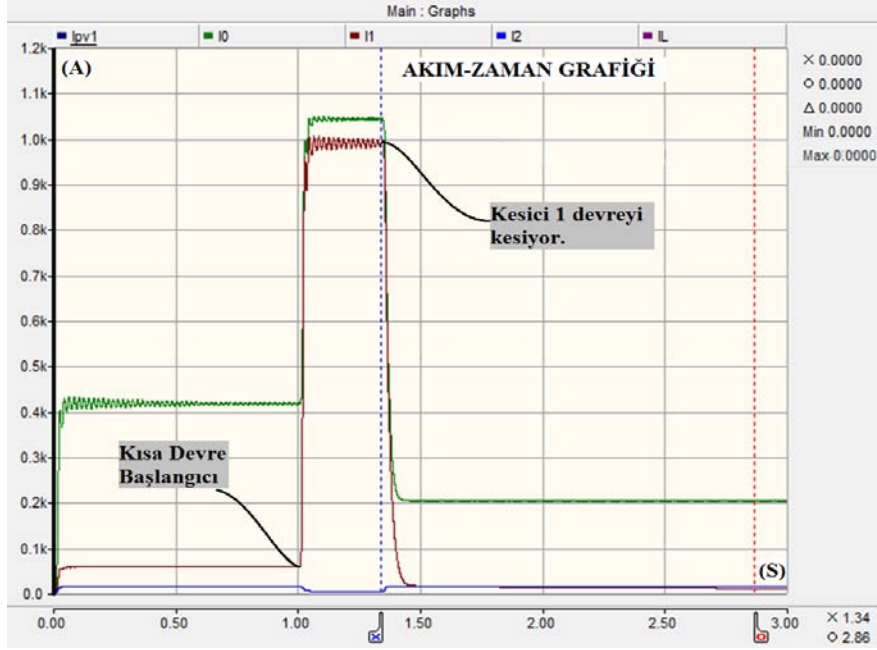
Şekil 7. 5 MW dağıtık üretim bağlı şebekede KD 0 analizi (KD 0 analysis in the network where 5 MW DG contributed)

T=1 s'de başlayan arızanın temizlenemediği, yani Kesici 0'ın açmadığı görülmektedir. Mavi renkli çizgiden, GES'in kısmen de olsa kısa devre katkısının olduğu, F 0'dan gelen kısa devre akımının (I0) (yeşil renkli çizgi) bir önceki duruma göre azaldığı ve Kesici 0'ın bu yüzden açmadığı görülmektedir.

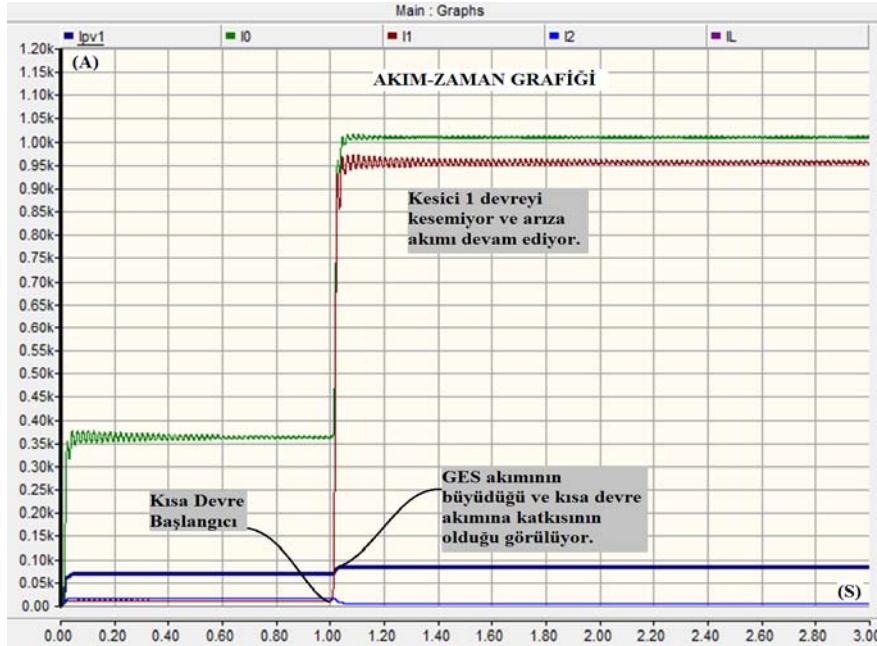
3.3. Kısa Devre 1 (KD 1) Analizi (Short-circuit 1 analysis)

KD 1, Şekil 3'te belirtilen noktada, F 1'de uygulandı. İlk uygulamada, GES simülasyona dâhil edilmedi. Bu sayede

konvansiyonel dağıtım şebekesindeki röle koordinasyonunun çalışması test edildi. Simülasyonda elde edilen grafik formları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Şekil 8'de görünen değerler, fider akımlarının etkin (RMS) değerleridir. T=1 s'de arızanın başladığı ve T=1,3 s'de Kesici 1'in açarak arızayı temizlediği görülmektedir. Bu aşamada devreye çeşitli güçlerde GES bağlanarak kesicilerin tepkisi ölçüldü. 4 MW'a kadar, röle koordinasyonunu bozucu bir etki gözlemlenmedi. Ancak, şebekeye 4 MW gücünde GES bağlandıktan sonra Kesici 1'in arızayı temizleyemediği Şekil 9'da bulunan grafikte görülmektedir. T=1 s'de başlayan



Şekil 8. Konvansiyonel Şebekede KD 1 Analizi (KD 1 analysis in the conventional network)



Şekil 9. 4 MW Dağıtım Üretim Bağlı Şebekede KD 1 Analizi (KD 1 analysis in the network where 4 MW DG contributed)

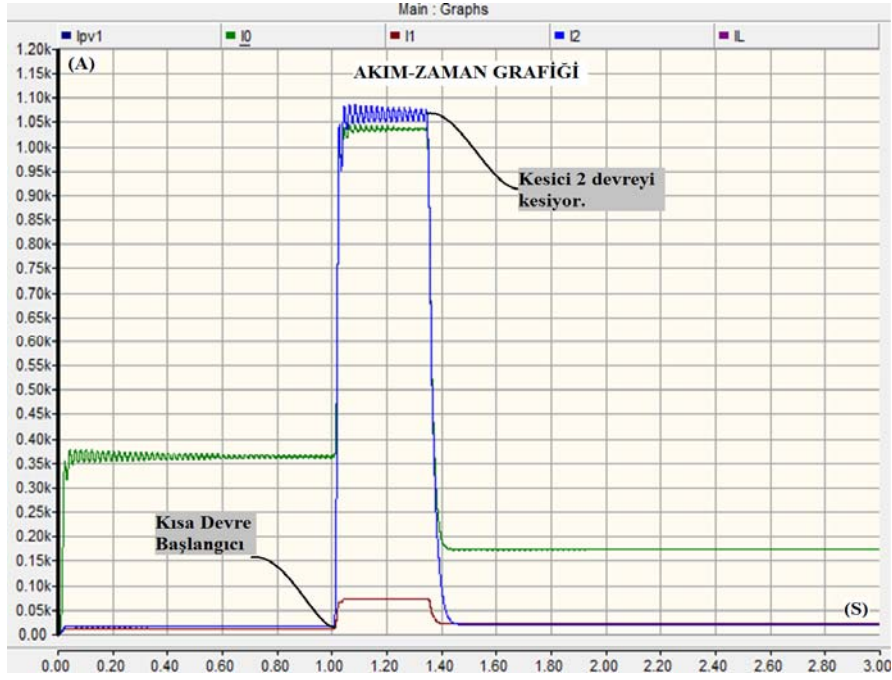
arızanın temizlenemediği, yani Kesici 1'in açmadığı görülmektedir. Mavi renkli çizgiden, GES'in kısmen de olsa kısa devre katkısının olduğu, F 1'deki kısa devre akımının (I1) (bordo renkli çizgi) bir önceki duruma göre azaldığı ve Kesici 1'in bu yüzden açmadığı görülmektedir.

3.4. Kısa Devre 2 (KD 2) Analizi (Short-circuit 2 analysis)

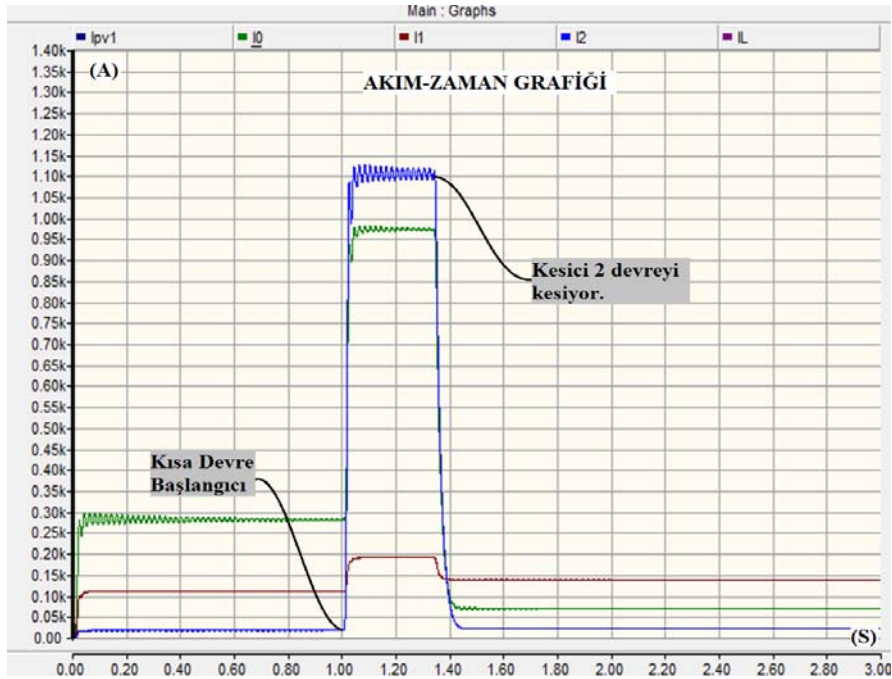
KD 2, Şekil 3'te belirtilen noktada, F 2'de uygulandı. İlk

uygulamada, GES simülasyona dahil edilmedi. Bu sayede konvansiyonel dağıtım şebekesindeki röle koordinasyonunun çalışması test edildi. Simülasyonda elde edilen grafik formları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil 10'da görünen değerler, fider akımlarının etkin (RMS) değerleridir. T=1 s'de arızanın başladığı ve T=1,3 s'de Kesici 2'nin açarak arızayı temizlediği görülmektedir. Bu şebekeye 10 MW gücünde GES bağlandıktan sonra kesicilerin nasıl



Şekil 10. Konvansiyonel Şebekede KD 2 Analizi (KD 2 analysis in the conventional network)



Şekil 11. 10 MW Dağıtık Üretim Bağlı Şebekede KD 2 Analizi (KD 2 analysis in the network where 10 MW DG contributed)

davrandığı Şekil 11'de bulunan grafikte görülmektedir. 10 MW'tan daha düşük güçlerde I2'de anlamlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir. T=1 s'de başlayan arızanın temizlendiği görülmektedir. Çünkü 10 MW gücündeki GES, I2 akımını çok az yükseltmiştir. I2, röle koordinasyonu açısından, güvenli yöne doğru çok az daha kaymıştır. Süperpozisyon analizinde de belirtildiği üzere, GES akımının I2 üzerindeki etkisi çok düşüktür. Üstelik GES akımının I2 üzerindeki sınırlı etkisi, I2'yi göreceli olarak az da olsa büyütmede ve arıza durumunda kesicinin açılmasını desteklemektedir. Bu yüzden, ne kararlı halde ne de kısa devrede, GES'in herhangi bir güçteki değerinin I2 üzerinde anlamlı bir etkisi olmamakta, Kesici 2'nin röle koordinasyonu olumsuz etkilenmemektedir.

3.5. İnvörtörde Aşırı Akım Açma Zamanı Sınırlaması (Limiting Overcurrent Time Value of the Inverter)

Ana topoloji üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarında, kararlı hal analizi ve 3 noktada kısa devre analizi olmak üzere, toplamda 4 adet analiz yapılmıştır. Bu simülasyonlarda, KD 0 ve KD 1 analizlerinde GES'in röle koordinasyonunu bozucu etkileri tespit edilmiştir. Bu etkiler, GES'in kısa devre katkısından kaynaklanmaktadır. Modellenen şebekede kesici rölelerinin açma zamanı minimum 0,3 s'dir. GES'i şebekeye bağlayan invörtörün açma zamanı, 0,3 s'den kısa olursa, GES'in kısa devre katkısının önüne nispeten geçilmiş olacaktır. Aşağıdaki analizlerde, invörtörün açma zamanı olarak 0,2 s belirlenmiştir. Şekil 12'de, 5 MW gücünde dağıtık üretim PV santrali bağlı KD 0 analizi yeniden denenmiştir.

T=1 s'de arızanın başladığı görülmektedir. GES'in kısa devre

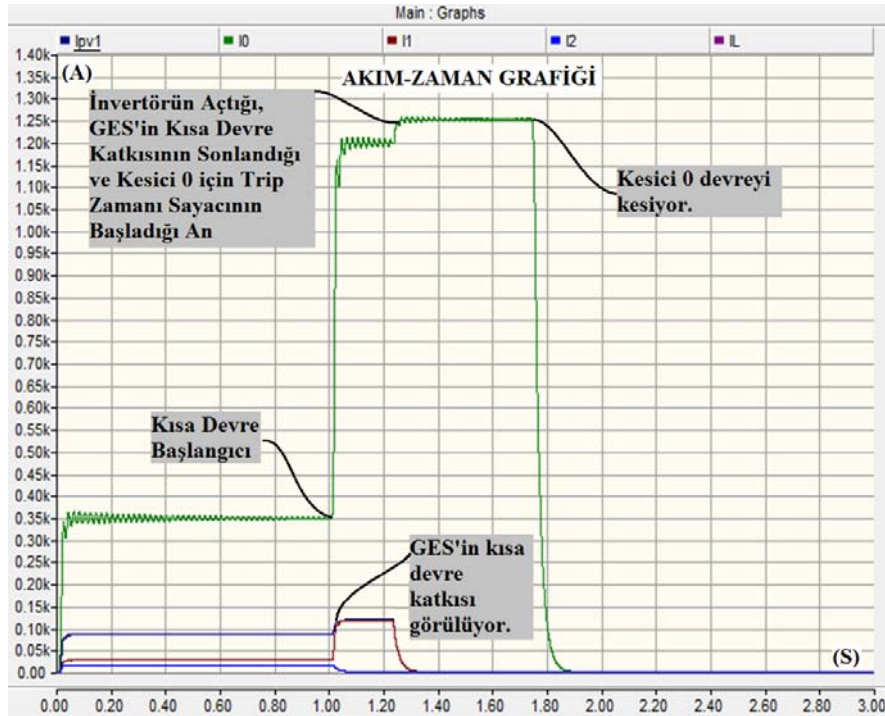
katkısından dolayı, arıza akımı Kesici 0'ın tetik akımından düşük kalmıştır. T=1,2 s'de invörtör açmıştır. İnvörtör açtıktan sonra, GES'in kısa devre katkısı bitmiş, arıza akımı tetik akımını aşmıştır. Bu sayede T=1,8 s'de Kesici 0 açabilmiş ve arıza temizlenebilmiştir. Bu durumda, arıza temizlenebilmiş olsa da, invörtörün açma zamanı kadar gecikmeli bir süreyle arıza temizlenebilmiştir. Şekil 13'te ise 4 MW gücünde dağıtık üretim PV santrali bağlı KD 1 analizi yeniden denenmiştir.

T=1 s'de arızanın başladığı görülmektedir. GES'in kısa devre katkısından dolayı, arıza akımı Kesici 1'in tetik akımından düşük kalmıştır. T=1,2 s'de invörtör açmıştır. İnvörtör açtıktan sonra, GES'in kısa devre katkısı bitmiş, arıza akımı tetik akımını aşmıştır. Bu sayede T=1,6 s'de Kesici 1 açabilmiş ve arıza temizlenebilmiştir. Bu durumda, arıza temizlenebilmiş olsa da, invörtörün açma zamanı kadar gecikmeli bir süreyle arıza temizlenebilmiştir.

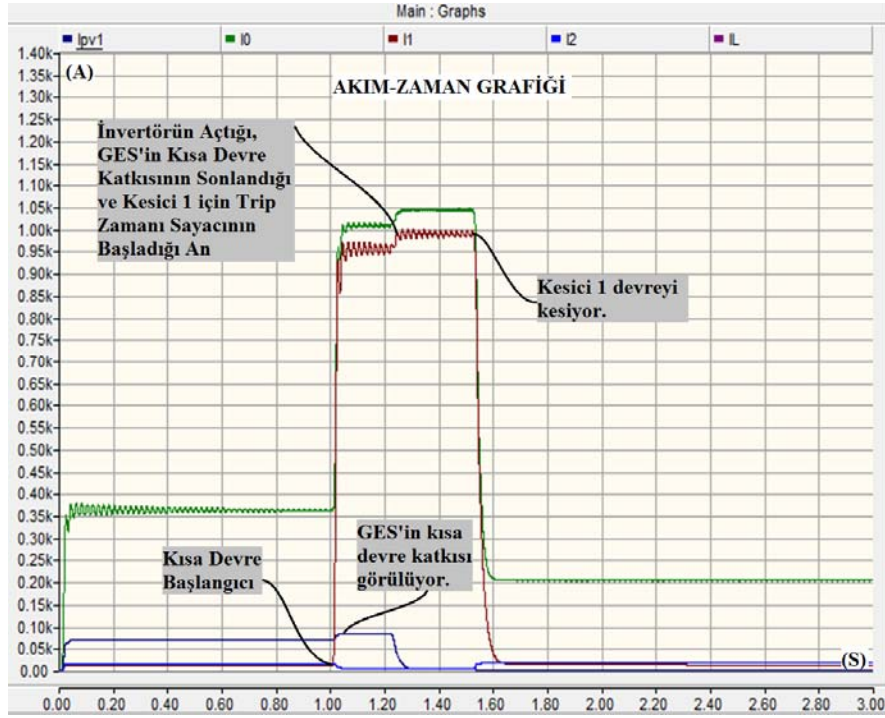
İnvörtörün aşırı akım açma zamanının, GES'in röle koordinasyonu üzerindeki olumsuz etkisini azalttığı açıkça görülmektedir. İnvörtörün açma zamanını küçük değerlerde tutmak, dağıtık üretimde röle koordinasyonunu iyileştirmektedir. Dağıtık üretim uygulamalarında (lisanssız üretim santralleri) kullanılacak invörtörler için mevzuatta aşırı akım açma zamanı sınırlaması getirilmesi, dağıtık üretim santrallerinin kısa devre katkı süresini azaltacaktır.

4. MESAFE RÖLESİ KULLANIMI (UTILIZING THE DISTANCE RELAY)

Röle koordinasyonunun bozulmasındaki temel sebeplerden biri, mevcut rölelerin yeni güç ve yük durumlarına tolerans



Şekil 12. KD 0 analizi ($t_{inv}=0,2$ s) (KD 0 analysis ($t_{inv}=0,2$ s))



Şekil 13. KD 1 Analizi ($t_{inv}=0,2$ s) (KD 1 analysis ($t_{inv}=0,2$ s))

gösterememesidir. Bu probleme çözüm olabilecek rölelerin, değişen şebeke durumlarına adapte olabilmesi gerekmektedir. Bu noktada, dağıtık üretimin yapıldığı dağıtım sistemlerinde mesafe rölelerinin kullanılabilmesi görülmektedir. Gerilim fazörünün akım fazörüne oranı ile empedansın bulunması ilkesine dayanan bu röleler, hesaplanan empedansın değerine göre arızayı ve arıza yerini tespit etmektedir[26]. Dağıtım sistemine eklenen yükler ve üretim kaynakları ile sistemdeki üretim güçlerinin gün/mevsim içerisindeki değişimleri, şebekedeki akım değerlerini oldukça değiştirebilmektedir. Şebekenin eşdeğer empedansı ise şebekedeki akım değerlerine kıyasla daha az etkilenmektedir. Bu durum, ölçülen empedans değerine göre trip sinyali üreten mesafe rölelerinin, ölçülen akım değerlerine göre trip sinyali üreten aşırı akım rölelerine kıyasla arızaları daha isabetli tespit etmesini sağlamaktadır.

Gençaydın'ın belirttiğine göre, mesafe koruması, aşırı akıma göre daha hızlı ve daha seçicidir. Üstelik görelî kaynak empedansları ve sistem koşullarındaki değişimlere daha hassastır. Açırma zamanı, birinci bölgede yaklaşık olarak 1 veya 2 periyottur, bu da 20 ila 40 ms'ye tekabül eder [27].

Hem radyal bir topolojinin, hem de mesafe rölesinin empedans karakteristiğinin gösterildiği aşağıdaki Şekil 14'te, D simgesiyle görünen mesafe rölesinin görecekî kararlı hal empedansı ile arıza empedanslarının tekabül ettiği bölgeler görülmektedir.

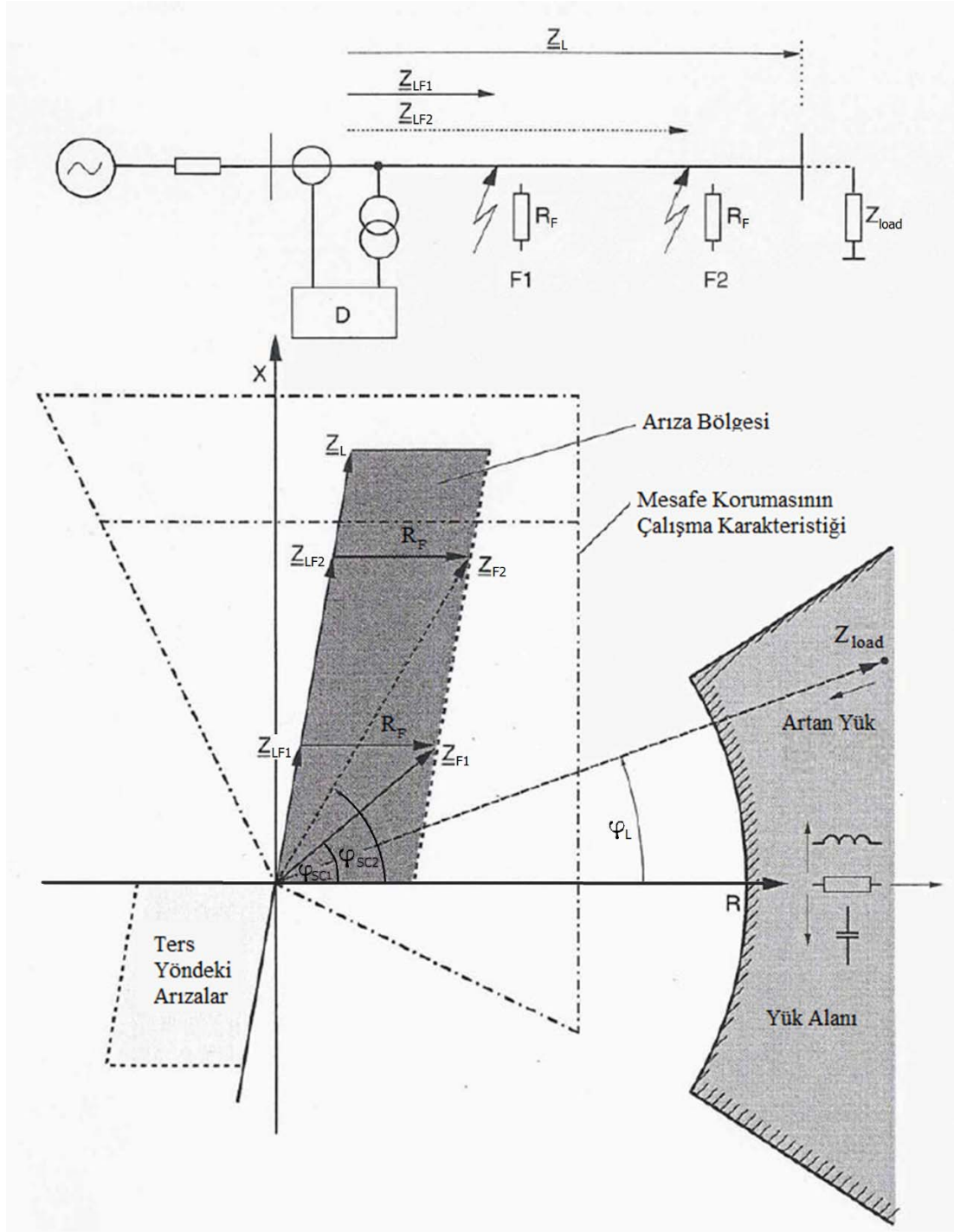
Empedans karakteristiğini bildiğimiz bu mesafe rölesinin Şekil 15'te görünen topolojilerdeki R noktasına bağlandığını varsayalım. Başlangıç topolojisinin O noktasına kadar olan şebekenin eşdeğer empedansını Z_{lim} olarak

tanımlayalım. O noktasından sonraya dağıtık üretim santralleri bağlanabilsin ve mesafe rölesinin trip empedansını Z_{lim} olarak belirleyelim. Bu durumda Z_{lim} 'in mesafe rölesinin empedans karakteristiği üzerindeki görünümü aşağıdaki Şekil 16'da görüldüğü gibi olacaktır.

Şekil 15'te görünen topolojide işaretçi ile gösterilen noktada bir kısa devre olduğunda dağıtık üretim santrallerinin bağlandığı topolojide röle empedansının nasıl değişeceğini inceleyelim. Nihai devre için süperpozisyon analizi yapıldığında (Kısa Devre İçin Thevenin/Norton Analizi) mesafe rölesinin görecekî empedans aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibi olacaktır.

$$Z_{eş} = Z_{11} + \frac{Z_{sc} \times \left(Z_{12} + \frac{Z_1 \times \left(Z_{13} + \frac{Z_2 \times Z_3}{Z_2 + Z_3} \right)}{Z_1 + \left(Z_{13} + \frac{Z_2 \times Z_3}{Z_2 + Z_3} \right)} \right)}{Z_{sc} + \left(Z_{12} + \frac{Z_1 \times \left(Z_{13} + \frac{Z_2 \times Z_3}{Z_2 + Z_3} \right)}{Z_1 + \left(Z_{13} + \frac{Z_2 \times Z_3}{Z_2 + Z_3} \right)} \right)} \quad (3)$$

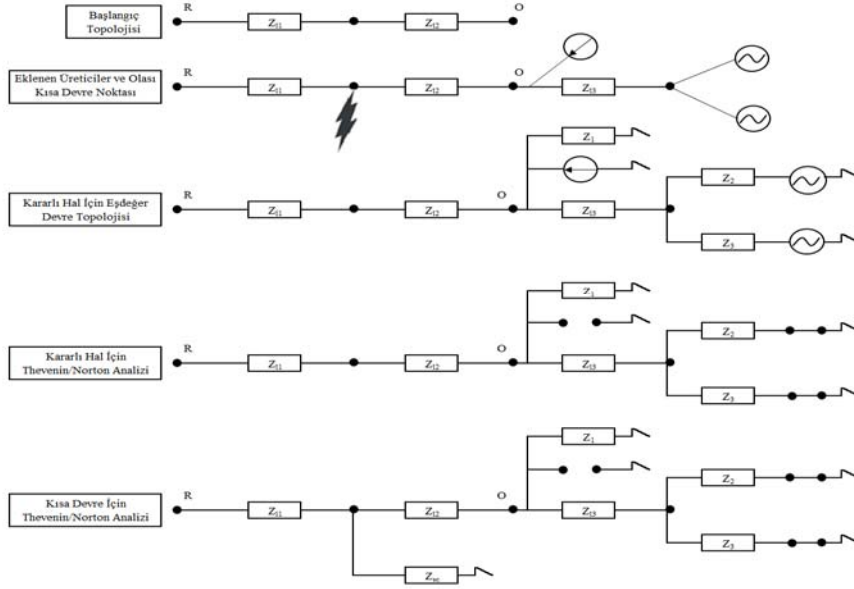
Eş. 3'e göre kısa devre durumunda röle empedansının (eşdeğer empedans, $Z_{eş}$) kısa devre empedansına göre nasıl değişeceği aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Bu grafiğe göre, şebekeye bağlanan dağıtık üretimden ve kısa devre



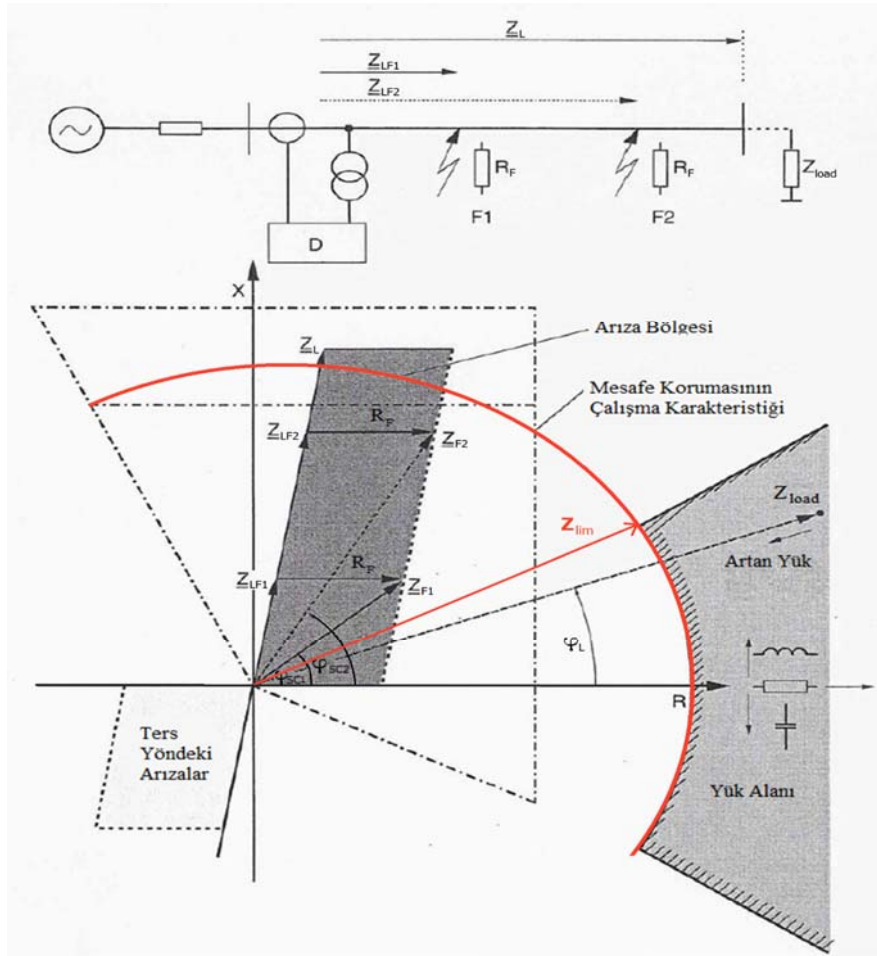
Şekil 14. Mesafe rölesinde yük ve kısa devre empedansları [27, 28]
(Load and short-circuit impedances of distance relay [27, 28])

empedansı değerinden neredeyse bağımsız olarak; röle empedansı, arıza anında trip empedansı değerinin altında kalarak trip sinyali üretmektedir. Mesafe rölelerinin şebekenin eşdeğer empedans değerini ölçerek hızlı bir koruma yaptığı görülmektedir. Mesafe röleleri ile yapılan koruma, yalnız başına şebeke akım değerine ve yalnız başına şebeke gerilim değerine bağlı olmayıp, bu iki değer in beraber etkilendiği şebekenin eşdeğer empedans değerine

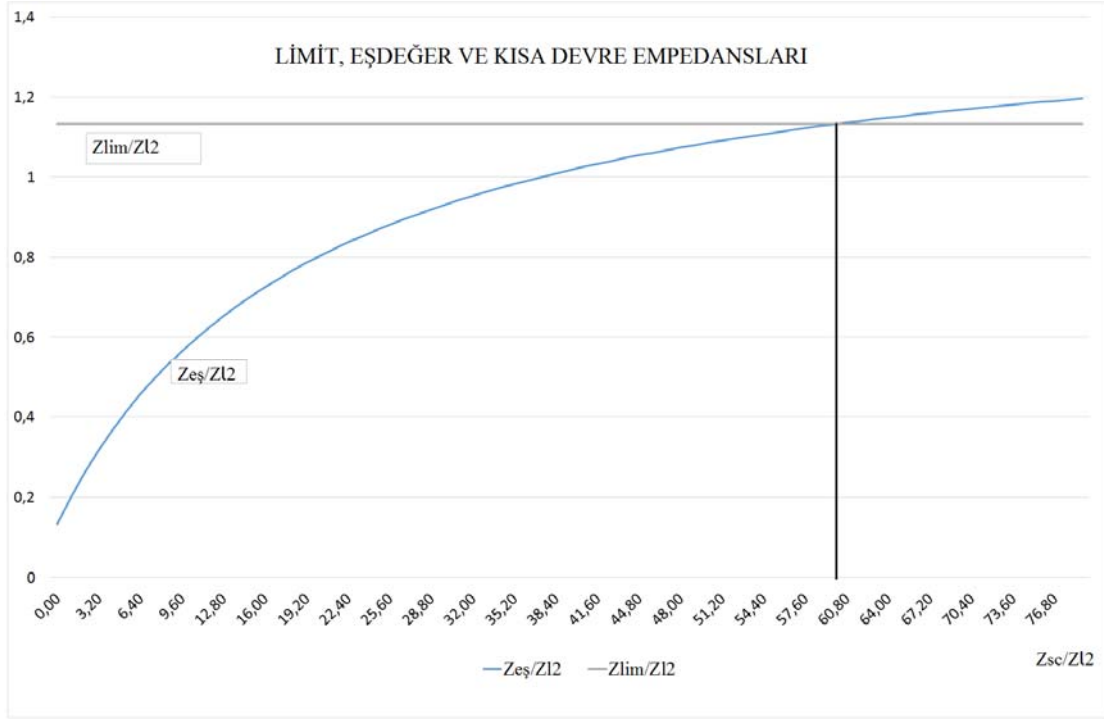
bağlıdır. Şebekenin eşdeğer empedansı ise branşman yüklerden ve branşman üretim kaynaklarından ziyade, hattın empedans değeri tarafından belirlenir [29]. Bu yüzden, mesafe röleleri ile yapılacak şebeke koruması, şebekeye yeni dağıtık üretim santrallerinin eklenmesinden, dağıtık üretimin gün, mevsim ve yıl içerisindeki değişiminden veya şebekedeki tüketim yükü miktarlarının değişiminden etkilenmeyecektir.



Şekil 15. Mesafe rölesinin bağlandığı temel topolojide eşdeğer empedanslar
(The equivalent impedances in the basic topology which include distance relay)



Şekil 16. Mesafe Rölesinde Limit Empedans (Limit impedance of the distance relay)

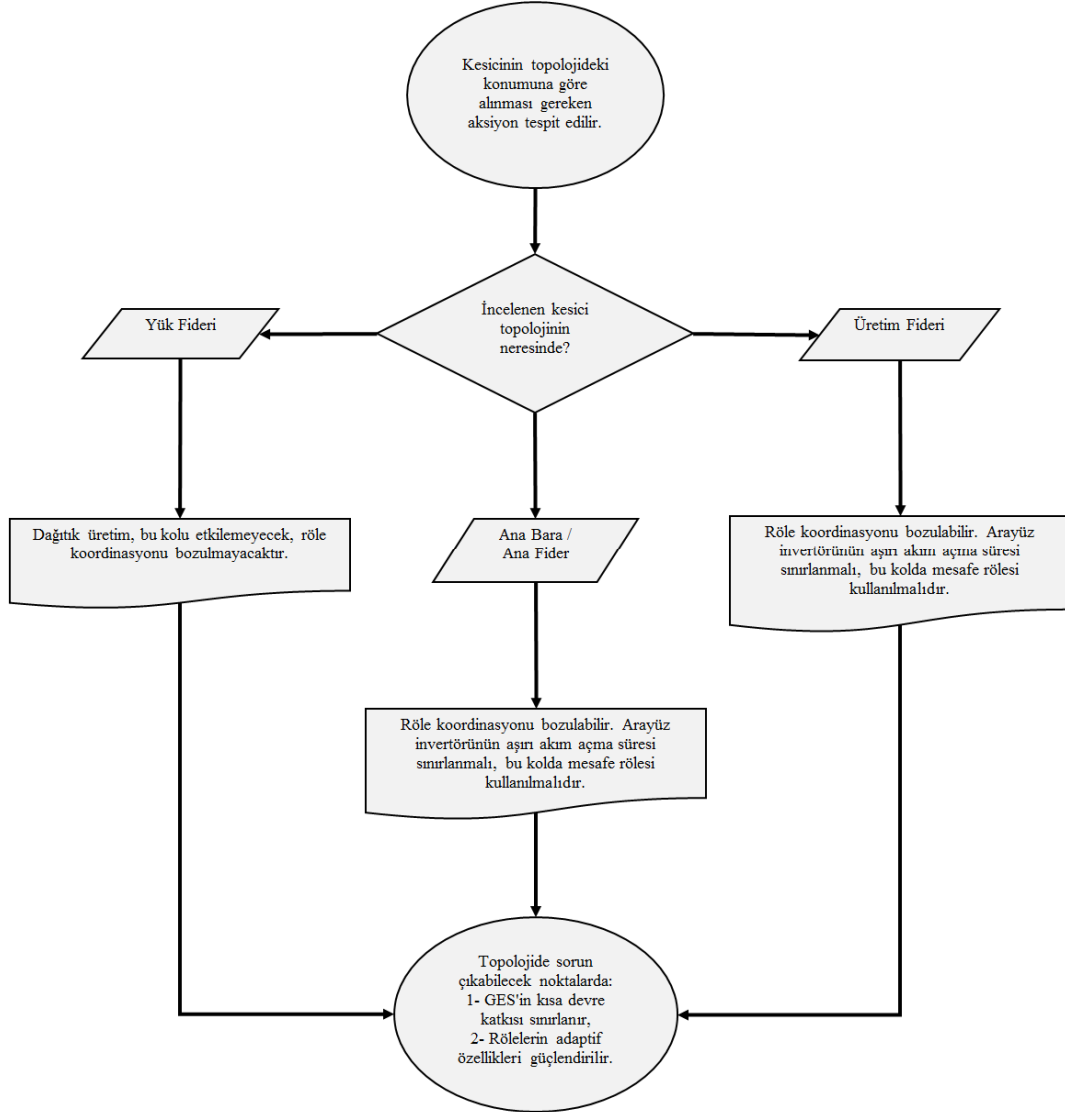


Şekil 17. Mesafe rölesinin gördüğü eşdeğer empedans değişimi grafiği
(The chart of change in the equivalent impedance which the distance relay is subjected to)

Tablo 6. Değişen durumlara ait simülasyonlar (Simulations for the different cases)

No	Simülasyon Tanımı	Arayüz İnvörtörünün Açma Süresi (s)	Arıza Anı (s)	Arızanın Sönümlendiği An (s)	TM'nin Sağladığı Ana Fider Akım Değerleri* (kA)	Arızanın Meydana Geldiği Fiderdeki Rölenin Gördüğü Akım Değerleri (Arıza Anı Akımı* (kA))	Arıza Akımında PV Katkısı
1	Kararlı Hal Analizi, PV Bağlı Değil	-	-	-	0,42	0,42	-
2	Kararlı Hal Analizi, 5 MW PV Bağlı	-	-	-	0,35	0,35	-
3	KD 0 (Ana Bara Arızası) Analizi, PV Bağlı Değil	-	1,0	1,6	0,42 / 1,25 / 0,00	0,42 / 1,25 / 0,00	0%
4	KD 0 (Ana Bara Arızası) Analizi, 5 MW PV Bağlı	-	1,0	-	0,35 / 1,20	0,35 / 1,20	8%
5	KD 0 (Ana Bara Arızası) Analizi, 5 MW PV Bağlı	0,2	1,0	1,8	0,35 / 1,20 / 1,25 / 0,00	0,35 / 1,20 / 1,25 / 0,00	8%
6	KD 1 (Üretim Fideri Arızası) Analizi, PV Bağlı Değil	-	1,0	1,4	0,42 / 1,05 / 0,20	0,05 / 0,99 / 0,00	0%
7	KD 1 (Üretim Fideri Arızası) Analizi, 4 MW PV Bağlı	-	1,0	-	0,35 / 1,01	0,01 / 0,95	9%
8	KD 1 (Üretim Fideri Arızası) Analizi, 4 MW PV Bağlı	0,2	1,0	1,6	0,35 / 1,01 / 1,05 / 0,21	0,01 / 0,95 / 1,00 / 0,00	9%
9	KD 2 (Yük Fideri Arızası) Analizi, PV Bağlı Değil	-	1,0	1,4	0,36 / 1,05 / 0,18	0,01 / 1,06 / 0,00	0%
10	KD 2 (Yük Fideri Arızası) Analizi, 10 MW PV Bağlı	-	1,0	1,4	0,29 / 0,98 / 0,08	0,01 / 1,11 / 0,00	1%
11	KD 2 (Yük Fideri Arızası) Analizi, 10 MW PV Bağlı	0,2	1,0	1,4	0,29 / 0,98 / 0,08	0,01 / 1,11 / 0,00	1%

*Simülasyon süresi boyunca tespit edilen akım değerleri zaman sırasına göre verilmiştir.



Şekil 18. Topoloji üzerindeki konuma göre alınması gereken aksiyonlar (Actions to take according to the location on the topology)

Enterkonnekte iletim şebekesinde kullanılan, ancak radyal işletilen dağıtım şebekesinde kullanılmayan mesafe rölelerinin dağıtık üretim bağlı dağıtım şebekelerinde kullanılmaya başlanması, KD 0 ve KD 1 durumunda görülen koruma problemlerini önemli ölçüde çözecektir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma esnasında belirlenen topoloji üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarında GES'in röle koordinasyonu üzerindeki olumsuz etkisinin bazı noktalarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçlarının bir arada verildiği tablo aşağıda yer almaktadır.

Bu tabloda ana dağıtım barası arızasında ve üretim fideri arızasında GES'in kısa devre katkısının %9 mertebesinde olduğu, bu seviyedeki bir kısa devre katkısının mevcut aşırı akım röle koordinasyonunu bozmaya yettiği, ancak yük

fideri arızasındaki %1 seviyesindeki kısa devre katkısının mevcut aşırı akım röle koordinasyonunu bozmadığı görülmektedir. Ana dağıtım barasında ve F 1'de kısa devre arızası oluştuğunda arızalar temizlenememiştir. Kararlı halde ve F 2'deki kısa devre durumunda ise olumsuz bir etki oluşmamıştır. Yani GES, bağlı olduğu fideri ve ana dağıtım barasını etkilemekte, GES'in bağlı olmadığı tali fiderler hiçbir şekilde olumsuz etkilenmemektedir. Mevcut röle koordinasyonu ile arızaların temizlenemediği fiderlerde, GES arayüz invertörü için kısa devre açma zamanı sınırlaması getirildiğinde, arızaların invertör açma zamanı kadar gecikmeli bir süreyle de olsa temizlenebildiği görülmektedir. Öte yandan, mesafe röleleri ile yapılacak bir röle koordinasyonunun adaptif özelliği aşırı akım rölelerine kıyasla daha gelişkin olup, dağıtım şebekesinde değişen yük ve üretim durumlarına karşı doğru çalışma toleransı daha yüksek olacaktır. Aşağıdaki akış diyagramında devre topolojisi üzerinde röle koordinasyonunun bozulabileceği

noktalar ve buna göre alınması gereken aksiyonlar belirtilmiştir. KD 0 ve KD 1'de oluşan olumsuz etkiyi sınırlamanın etkili bir yolunun GES'i şebekeye bağlayan invertörün açma zamanını küçük tutmak olduğu görülmektedir. Yine, röle koordinasyonunun değişen dağıtık üretim gücü seviyelerinden daha az etkilenmesi için mesafe röleleri üzerinden bir röle koordinasyonu tesis etmenin etkili olacağı görülmektedir. Olumsuz etkileri sınırlayacak bu ve diğer tüm yöntemlerin ortak özellikleri aşağıdakiler olacaktır.

- GES'in kısa devre katkı akımını bir şekilde sınırlamak
- Kesici rölelerinin yükteki ve üretimdeki değişimlere karşı toleransını arttırmak

Bu ortak özelliklere sahip olan veya potansiyel barındıran metotların bir kısmı aşağıda sıralanmıştır.

- İnvertör korumasında açma zamanının küçük tutulması
- Kesici rölelerinde ani açma akım ayarının, selektiviteyi bozmayacak en düşük seviyede tutulması
- Dağıtık üretim bağlanabilecek/bağlı dağıtım şebekelerinde, mesafe rölelerinin kullanılması,
- Şebekeye bağlanacak GES gücünün sınırlanması
- GES'in bir seri reaktans üzerinden şebekeye bağlanması, seri reaktansın kısa devre katkısını sınırlaması vb.

Bu metotların uygulanması ile beraber dağıtık üretimin kayıpları azaltan, şebeke kararlılığını arttıran, yenilenebilir enerji kullanımını arttıran faydalarının güvenli bir şekilde elde edilmesi sağlanacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. M. Esmailzadeh, H. Alizadeh-Sherayeh, E. Tohidifar, A. Mazaheri-kalahrodi, and others, Distributed Generation: Protection Problems, Optimal Placement, *Majlesi J. Energy Manag.*, 4, 2, 2015.
2. M. Pesaran H.A, P. D. Huy, and V. K. Ramchandaramurthy, A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 75, 293–312, Aug. 2017.
3. G. A. Quiroga, C. F. M. Almeida, H. Kagan, and N. Kagan, Protection System Considerations in Networks with Distributed Generation. Springer, Singapore, 2018.
4. S. Saeedi, Impacts of Distributed Generations On Distribution System Reliability, İstanbul Technical University, 2016.
5. M. T. Turan, Akıllı Şebekelerde Arıza Analizi ve Koruma. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
6. K. L. Anaya and M. G. Pollitt, Going smarter in the connection of distributed generation, *Energy Policy*, 105, 608–617, Jun. 2017.
7. H. B. Çetinkaya and F. Dumlu, Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyonunda Yaşanabilecek Olası Problemler ve Entegrasyon Analizleri, Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektr. Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 2013.
8. Özdemir E., Aktaş A., Erhan K., Özdemir Ş., Opportunities and challenges for energy storage applications in smart grid, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (2), 499-506, 2017.
9. EPDK, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 28783. 2013.
10. R. Mohammadi Chabanloo, M. Ghotbi Maleki, S. M. Mousavi Agah, and E. Mokhtarpour Habashi, Comprehensive coordination of radial distribution network protection in the presence of synchronous distributed generation using fault current limiter, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 99, 214–224, Jul. 2018.
11. TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım Ve Tüketim İstatistikleri. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Dec-2017.
12. H. L. R. van der Walt, R. C. Bansal, and R. Naidoo, PV based distributed generation power system protection: A review, *Renew. Energy Focus*, 24, 33–40, Mar. 2018.
13. Tör O.B. et al., Implementation of low voltage express feeder (LVEF) to reduce of no-load losses of distribution transformers which suffer high seasonal load deviation, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (3), 979-994, 2018.
14. EPDK, Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 29013. 2014.
15. Tör O.B., Cebeci M.E., Koç M., Güven A.N., Dynamic optimization of long term primary electric distribution network investments based on planning metrics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 227-237, 2018.
16. K. L. Anaya and M. G. Pollitt, Integrating Distributed Generation: Regulation and Trends in Three Leading Countries. University of Cambridge, Energy Policy Research Group, Dec-2014.
17. IEEE Comission, Power System Of The Future: The Case For Energy Storage, Distributed Generation and Microgrids. Sponsored by IEEE Smart Grid With Analysis By ZPRYME., 2012.
18. TEDAŞ, TEDAS Faaliyet Raporu. TEDAŞ, 2017.
19. TEİAŞ, TEİAŞ İstatistik. TEİAŞ, 2018.
20. EPDK, 2017 Yılı Piyasa Gelişim Raporu. EPDK, 2018.
21. TEİAŞ, TEİAŞ İstatistik, 30-Apr-2017. [Online]. Available: <http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls>.
22. B. Şimşek and E. Bizkevelci, Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinde Fotovoltaik Sistemlerin Güç Kalitesine Etkisi, http://www.emo.org.tr/ekler/766af222a13280c_ek.pdf.
23. ETKB, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, vol. 24246. 2000.
24. TEİAŞ, Yük Tevzi Raporları, <https://www.teias.gov.tr/tr/yuk-tevzi-raporlari>. 2017.
25. S. A. Riedel and J. W. Nilsson, *Electric Circuits*, 9. Prentice Hall, 2010.
26. M. Bayrak and Ö. Usta, Adaptif mesafe rölesi, *Elektr. -*

- Elektron. - Bilgi. Mühendisliği 10 Ulus. Kongresi.
- 27.** E. Gençaydın, Enerji iletim hatlarının nümerik mesafe röleleri ile korunması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- 28.** G. Ziegler, Numerical Distance Protection. Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen, 1999.
- 29.** J. Campos, Distance Protection Analysis Applied for Distribution System with Distributed Generation, Przegląd elektrotechniczny, 1 (3), 15–19, Mar. 2018.