

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITILMIŞ ÜRETİM'E SAHİP ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE,
ARIZA AKIMI SINIRLAYICILARININ ve YERLEŞİM YERLERİNİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan ÇAKAL

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

KASIM 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITILMIŞ ÜRETİM'E SAHİP ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE,
ARIZA AKIMI SINIRLAYICILARININ ve YERLEŞİM YERLERİNİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gökhan ÇAKAL
(504091051)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

KASIM 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504091051 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan ÇAKAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“DAĞITILMIŞ ÜRETİM'E SAHİP ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE, ARIZA AKIMI SINIRLAYICILARININ ve YERLEŞİM YERLERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç Dr.. Ömer GÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Kasım 2012**
Savunma Tarihi : **21 Kasım 2012**

*Sevgili aileme
ve değerli hocam Mustafa Bağrıyanık'a,*

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe artması bir çok problemle yüzleşmemize neden olmaktadır. Gerek mevcut sistemlerdeki sorunlar gerekse de yeni enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç günümüz elektrik sistemlerinin en büyük problemidir. İnsanların yeni enerji kaynaklarına yönelmesi, getirdiği faydalarla birlikte, bir takım sorunlara da yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artıyor olması ülkemiz için şüphesiz önemli bir gelişmedir. Tabi mevcut şebekeye dahil edilen yenilenebilir enerji kaynaklarının etkileri de göz önüne alınmalıdır.

Özellikle ülkemizde yapılan yatırımların değerlendirilirken en önemli kriter maliyet olduğu için, gelişen ve genişleyen sistemlerin bu gelişime ayak uydurması biraz geç ve zor olmaktadır. Bu çalışmada anlatılmaya çalışılan arıza akımı sınırlayıcılar bu süreçte kilit rol oynamaktadır. Tüketicie sunulan enerjinin kesintisiz ve kaliteli olma prensibini kabul ettiğimiz zaman onun gerekliliği daha kolay anlaşılacaktır. Bu çalışmanın yapılmasında ve her zaman bana maddi ve manevi destek olan aileme minnettarım. Bunun yanında, tezimin her aşamasında bana destek olan, gelecekte ülkemizde üzerinde daha çok çalışılacağını düşündüğüm bu konuda bana yol gösteren Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK hocama teşekkürü bir borç bilirim.

İngilizce konusunda benden desteğini esirgemeyen arkadaşım İdil Gülnihal Sağlam'a, gerek lisans ve yüksek lisans okul hayatımda, gerekse bu tezi hazırlarken hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Araştırma Görevlisi İbrahim Gürsu Tekdemir'e özellikle teşekkür ederim.

Kasım 2012

Gökhan ÇAKAL
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. ARIZA AKIMI SINIRLAYICILAR.....	7
2.1 Genel Bakış	7
2.2 İdeal Akım Sınırlayıcı Karakteristikleri	8
2.3 AAS Kullanmanın Faydaları	8
2.4 Diğer Akım Sınırlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	9
2.5 Arıza Akımı Sınırlayıcı Türleri	10
2.5.1 Pasif sınırlayıcılar	10
2.5.1.1 Rezistif süper iletken arıza akımı sınırlayıcılar.....	11
2.5.1.2 İndüktif süper iletken arıza akımı sınırlayıcılar	12
2.5.1.3 Manyetik arıza akımı sınırlayıcılar	13
2.5.2 Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcılar.....	14
2.5.2.1 Rezonansa dayalı hatı-hal arıza akımı sınırlayıcılar	14
2.5.2.2 Empedans anahtarlı by-pass arıza akımı sınırlayıcılar.....	16
2.5.2.3 Köprü tipi katı-hal arıza akımı sınırlayıcıları.....	17
2.5.3 Katı-Hal anahtar/mechanik anahtar hibrid akım sınırlayıcılar	18
3. ARIZA AKIMI SINIRLAYICILARIN MODELLENMESİ.....	21
3.1 PSCAD® Benzetim Yazılımı.....	21
3.2 Arıza Akımı Sınırlayıcı Türleri için göz önüne alınan Modeller	22
3.2.1 Pasif arıza akımı sınırlayıcı modeli : süper iletken AAS.....	22
3.2.2 Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcı modeli.....	22
3.3 Örnek Sistem	23
3.3.1 Durum 1. arıza akımı sınırlayıcı yokken sistem durumu	25
3.3.2 Durum 2. pasif arıza akımı sınırlayıcı sisteme dahil edildiğinde.....	26
3.4 Arıza Akımı Sınırlayıcıları Modelleri Benzetimi (Katı Hal)	28
4. DAĞITILMIŞ ÜRETİM VE ARIZA AKIMI SINIRLAYICILAR.....	31
4.1 Dağıtılmış Üretim Sistemine Genel Bir Bakış	31
4.2 DÜ'nün Dağıtım Sistemi Üzerindeki Etkileri ve AAS Uygulamaları	34
4.2.1 Arıza durumunda DÜ etkisi	36
4.2.2 AAS'nin DÜ'lü sisteme etkisi.....	38
5. AAS'nin EN UYGUN YERE YERLEŞTİRİLMESİ.....	41
5.1 Test Sistemi 1 : Fethiye 154 kV İndirici Merkez	46
5.1.1 Ağırlıklı toplam modelin test sistemine uygulanması.....	55
5.2 Test Sistemi 2 : 6 baralı test sistemi	61

5.2.1 Ağırlıklı toplam modelin test sistemine uygulanması.....	66
6. SONUÇ VE YORUMLAR	71
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ	91

KISALTMALAR

AAS	: Arıza Akımı Sınırlayıcı
ATM	: Ağırlıklı Toplam Modeli
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DAAS	: Dinamik Arıza Akımı Sınırlayıcı
DÜ	: Dağıtılmış Üretim
DÜS	: Dağıtılmış Üretim Santralleri
ESİAAS	: Endüktif Süper İletken Arıza Akımı Sınırlayıcı
KHAAS	: Katı Hal Arıza Akımı Sınırlayıcı
KVM	: Karar Verme Matrisi
RSİAAS	: Rezistif Süper İletken Arıza Akımı Sınırlayıcı
SİAAS	: Süper İletken Arıza Akımı Sınırlayıcı
YSSİ	: Yüksek Sıcaklık Süper İletken

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Diğer akım sınırlama yöntemlerinin karşılaştırılması	9
Çizelge 5.1 : Karar verme matrisi.....	44
Çizelge 5.2 : AAS olmadığı durumda bara arıza akım değerleri.....	47
Çizelge 5.3 : AAS'nin farklı hatlarda olduğu durumda bara arıza akım değerleri ..	47
Çizelge 5.4 : AAS'nin var olduğu durumlarda baralardaki arıza akımı azalmaları	48
Çizelge 5.5 : Farklı AAS yerlerinde baralardaki arıza akımı azalmaları toplamı ..	50
Çizelge 5.6 : Farklı AAS yerlerinde baralardaki arıza akımı azalmalarının yüzdeleri	51
Çizelge 5.7 : Farklı AAS yerlerinde hat kayıpları toplamı	52
Çizelge 5.8 : Farklı AAS yerlerinde hat kayıpları yüzdesel toplamı	53
Çizelge 5.9 : AAS'nin farklı yerlere yerleştirilmesi durumunda gerilim düşümleri	54
Çizelge 5.10 : AAS'nin farklı yerlere yerleştirilmesi durumunda yüzdesel ΔV	54
Çizelge 5.11 : 1.Bara için oluşturulan KVM	55
Çizelge 5.12 : 1.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	56
Çizelge 5.13 : 2.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	57
Çizelge 5.14 : 3.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	57
Çizelge 5.15 : 4.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	58
Çizelge 5.16 : 5.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	58
Çizelge 5.17 : 6.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	59
Çizelge 5.18 : 7.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	59
Çizelge 5.19 : 8.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	60
Çizelge 5.20 : 9.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	60
Çizelge 5.21 : 10.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	60
Çizelge 5.22 : Tüm baralara ait uygun AAS yerleri	61
Çizelge 5.23 : Farklı AAS yerlerinde arıza akımları	63
Çizelge 5.24 : Farklı AAS yerlerinde arıza akımlarındaki yüzdesel azalma	63
Çizelge 5.25 : Farklı AAS yerlerinde aktif ve reaktif kayıplar (1-5 Hatları İçin)	64
Çizelge 5.26 : Farklı AAS yerlerinde aktif ve reaktif kayıplar (6-11 Hatları İçin) ..	64
Çizelge 5.27 : Farklı AAS yerlerinde yüzdesel aktif ve reaktif kayıplar	65
Çizelge 5.28 : Farklı AAS yerlerinde en yüksek yüzdesel gerilim düşümü	65
Çizelge 5.29 : 1.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	66
Çizelge 5.30 : 2.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	67
Çizelge 5.31 : 3.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	67
Çizelge 5.32 : 4.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	68
Çizelge 5.33 : 5.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	68
Çizelge 5.34 : 6.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar	69
Çizelge D.1 : Test sisteminde kullanılan transformatörlere ait parametreler	86
Çizelge D.2 : Test sisteminde kullanılan hatlara ait parametreler	86
Çizelge D.3 : Test sisteminde kullanılan rüzgar generatörlerine ait parametreler ...	86
Çizelge E.1 : 6 Baralı test sistemi hat parametreleri	90
Çizelge E.2 : 6 Baralı test sistemi bara parametreleri	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Katı-hal arıza akımı sınırlayıcı modeli.....	4
Şekil 2.1	: Basit elektrik devresi a) AAS'siz b) AAS'li	7
Şekil 2.2	: Rezistif tip arıza akımı sınırlayıcı ve süper iletken üzerindeki gerilim..	11
Şekil 2.3	: İndüktif arıza akımı sınırlayıcı a) Manyetik bağlı b) Eşdeğer devre ..	11
Şekil 2.4	: Bir indüktif arıza akımı sınırlayıcının iç yapısı	11
Şekil 2.5	: İndüktif süper iletken arıza akımı sınırlayıcı.....	13
Şekil 2.6	: Manyetik arıza akımı sınırlayıcı.....	13
Şekil 2.7	: Katı-hal arıza akımı sınırlayıcı	14
Şekil 2.8	: Paralel rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı	15
Şekil 2.9	: Seri rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı.....	15
Şekil 2.10	: Seri-Paralel rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı.	16
Şekil 2.11	: Empedans anahtarlı by-pass arıza akımı sınırlayıcılar	17
Şekil 2.12	: Köprü tipi katı-hal arıza akımı sınırlayıcılar.	17
Şekil 2.13	: Hibrid arıza akımı sınırlayıcı.....	19
Şekil 3.1	: Süper iletken arıza akımı sınırlayıcı temel sistem şeması.....	22
Şekil 3.2	: Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcı modeli	23
Şekil 3.3	: Örnek test sistemi tek hat şeması	24
Şekil 3.4	: AAS'nin olmadığı durumda akım değişimi.	25
Şekil 3.5	: AAS'nin olmadığı durumda gerilimin değişimi.....	25
Şekil 3.6	: Pasif AAS'nin olduğu durumda akım değişimi	26
Şekil 3.7	: Pasif AAS'nin olduğu durumda akım değişimi	26
Şekil 3.8	: Pasif AAS'nin olduğu ve olmadığı durumda akım değişimi	27
Şekil 3.9	: Pasif AAS'nin olduğu ve olmadığı durumda gerilim değişimi.....	27
Şekil 3.10	: KHASS'nin olduğu ve olmadığı durumda akım değişimi.	28
Şekil 3.11	: KHASS'nin olduğu ve olmadığı durumda gerilim değişimi.....	29
Şekil 3.12	: Pasif ve katı kal AAS akım sınırlandırma yeteneği karşılaştırması.	29
Şekil 3.13	: Pasif ve katı hal AAS gerilim düşümü karşılaştırması.....	30
Şekil 3.14	: Değişen endüktans değerleriyle arıza akımının değişimi.....	30
Şekil 4.1	: 2011 Sonu İtibariyle Türkiye'nin kurulu gücü	33
Şekil 4.2	: 2011 Sonu İtibariyle Türkiye'nin dağıtılmış üretim kurulu gücü	33
Şekil 4.3	: Dağıtılmış üretim içeren açık halka test dağıtım sistemi	35
Şekil 4.4	: Arıza durumunda dağıtılmış üretimin akıma etkisi.....	36
Şekil 4.5	: DÜ'lü ve DÜ'süz sistemde gerilim toparlanması t:0,65-1 sn..	37
Şekil 4.6	: DÜ'lü ve DÜ'süz sistemde gerilim toparlanması t: 1,8-2,2sn..	38
Şekil 4.7	: Arıza akımı sınırlayıcı varken ve yokken arıza akımı değişimi.....	39
Şekil 4.8	: DÜ'lü sistemde arıza anında sınırlayıcı varken ve yokken gerilim toparlanması	39
Şekil 5.1	: En uygun AAS yerinin seçilmesine ait akış şeması..	45
Şekil 5.2	: 6 Baralı test sistemi PowerWorld modeli.....	62
Şekil A.1	: PSCAD pasif süper iletken endüktif AAS modeli..	82
Şekil A.2	: PSCAD'de bobine değişken değer atamak için kurulan sistem	82

Şekil B.1	: Katı hal arıza akımı sınırlayıcı PSCAD modeli	83
Şekil B.2	: Arıza algılama sistemi PSCAD modeli	84
Şekil B.3	: Tristör tetikleme devresi PSCAD modeli	84
Şekil C.1	: PSCAD test sistemi şebeke modeli	85
Şekil D.1	: Açık halka test sistemi PSCAD program modeli	87
Şekil D.2	: Rüzgar generatörü PSCAD program modeli	88
Şekil E.1	: Fethiye açık halka şebekesi PowerWorld test modeli	89
Şekil E.2	: 6 Baralı test sistemi.....	90

DAĞITILMIŞ ÜRETİM'E SAHİP ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE, ARIZA AKIMI SINIRLAYICILARININ ve YERLEŞİM YERLERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisi birçok alanda dolaylı ve dolaylı olmayan yollardan kullanılan en önemli enerji türüdür. Elektrik enerjisindeki tüketimin gün geçtikçe artması, yeni enerji kaynaklarının mevcut sisteme dahil edilmesi beraberinde bir çok problemi de getirmektedir. Artan arıza akımı seviyeleri ve gerilim kalitesindeki bozunumlar bunların en başlıcalarıdır. Bu gibi etkiler kesici, transformatör, röle vb şebeke elemanlarında kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Bu tip sistem elemanlarının maliyetleri yüksek olduğu ve enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde sağlanması için zarar görmeden önlem alınması gerekmektedir. Bu yüzden arıza akımının sınırlandırılması bu olumsuz etkilere karşı bir çözüm olacaktır. Araştırmacılar da bunun için bir arayış içine girmişlerdir. Bu arayış arıza akımı sınırlayıcıların incelenmesini sağlamıştır.

Bu çalışmada arıza akımı sınırlayıcıların elektrik şebekesi üzerindeki etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Arıza akımı sınırlayıcıların tanımları, özellikleri ve çeşitleri gibi temel kavramlar aktarılmaktadır.

Arıza akımı sınırlayıcının sisteme dahil edilmesinin etkileri incelenmiş ve bununla ilgili PSCAD ® bilgisayar programı ile örnek güç sistemleri üzerinde denenmiştir. Örnek test sistemi olarak Fethiye bölgesi'ne ait bir radyal şebeke modeli seçilerek geçici hal analizleri ile akım ve gerilimin değişimi üzerinde incelemeler de bulunulmuştur.

Simülasyonda simülasyona dahil edilecek 2 farklı tipte arıza akımı sınırlayıcısı PSCAD® modellenmiştir. Pasif arıza akımı sınırlayıcısı olarak endüktif tip süper iletken bir model kullanılmıştır. Normal çalışma koşullarında sıfıra yakın bir değerde empedansa sahip olan bobin, arıza meydana geldiğinde programda belirlenen süre ve şekilde yüksek değerli bir empedansa sahip olarak akımı sınırlandırmaktadır. Katıdurum arıza akımı sınırlayıcı modelinde ise güç elektroniği tabanlı bir arıza algılama sistemi oluşturularak arıza meydana geldiğinde sisteme dahil olan bir empedans modeli kullanılmıştır.

Tezde ulaşılmak istenen amaçlardan bir tanesi de dağıtılmış üretim sisteminin etkilerinin AAS ile azaltılmasıdır. Günümüzde elektrik enerjisi üretimi kaynaklarının azalması, maliyetlerin artması ve çevreye gösterilen duyarlılık nedeniyle alternatif kaynakların araştırılmasını sağlamıştır. Üretilen enerjinin uzun mesafelerce taşınması gerek altyapı maliyeti anlamında gerekse işletim maliyeti anlamında külfet getirmektedir. Bu nedenle ekolojik yapı da düşünüldüğünde dağıtılmış üretime olan ilgi artmaktadır. Tüm bunların yanında dağıtılmış üretimin mevcut elektrik şebekesine dahil edilmesi beraberinde bir çok problemi de getirmektedir. Arıza akımlarının seviyesinin yükselmesi, gerilim düzensizlikleri ve kararsızlıkları gibi

etkilerden dolayı dağıtılmış üretimin faydalı bir şekilde uygulanabilir hale gelmesi için bir takım önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu bilgiler ışığında AAS Fethiye bölgesine ait bir açık halka elektrik şebeke modeli PSCAD ® ile modellenerek geçici hal analizleri yapılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki , dağıtılmış üretim nedeniyle artan arıza akımı seviyesi AAS ile sınırlandırılarak normal değerin dahi altına indiği görülmektedir. Ayrıca, arıza sonrası gerilim seviyesindeki iyileşmelerin daha hızlı ve verimli olduğu alınan sonuçlardandır.

Tezin asıl amacını oluşturan konu ise, AAS'nin şebeke üzerinde nereye yerleştirileceğidir. Arıza akımı sınırlayıcıların elektrik şebekesine dahil edilirken en uygun yerinin belirlenmesi ekonomik ve etkili bir akım sınırlandırma işlemi için gereklidir. Yanlış bir yere yerleştirilen AAS, arıza akımını azaltmadığı gibi hat kayıplarına ve gerilim değişimlerine neden olmaktadır.

Fethiye bölgesine ait bir açık halka elektrik şebeke modeli ele alınarak, AAS için en uygun yerin seçilmesinde duyarlılık analizi ve karar verme metotlarından en çok kullanılanlardan biri olan ağırlık toplam modeli tercih edilmiştir. PowerWorld Simulator ile akım, gerilim ve güç değerleri bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. En uygun aday yerlerin belirlenmesinde kolaylık sağlayan duyarlılık matrisi oluşturularak daha kısa sürede çözüme ulaşılmıştır.

Ağırlıklı toplam modelinin kriterlerini oluşturan arıza akımındaki azalma, aktif ve reaktif güç kayıpları ile gerilim düşümleri belirlenen ağırlıkları ile en uygun yerin seçiminde karar verici mekanizmayı oluşturmaktadırlar. Aday yerler olarak belirlenen alternatifler içerisinde ağırlığı en yüksek olan aranan çözüm olmaktadır.

Açık halka şebeke tipiyle birlikte, birden fazla noktadan beslenen halka tipi şebeke ile daha karmaşık ve iç içe girmiş şebekelerde en uygun AAS yerinin belirlenmesinin incelenmesi için de 6 baralı test sistemi kullanılmıştır.

A STUDY OF THE EFFECTS OF FAULT CURRENT LIMITERS AND THEIR LOCATION ON POWER DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATION

SUMMARY

Electrical energy is the most important type of energy which is used both in direct and indirect ways. The increasing consumption of electrical energy caused new energy sources to be included in the current system which brought many problems together with solutions. The major reasons of the aberrations are increasing levels of fault current and the decreasing quality of voltage. These problems could cause permanent damage of the network equipments such as breaker, transformers, relay, etc. It is important to take precautions and to ensure conditions because these types of system elements are mostly expensive and cost a lot and the energy should be supplied without any cut. As high capacity network equipments that are capable with high level fault currents are not economic, new solutions for the these problems are searched. Limiting the current is a suitable option.

There are several techniques of dealing with the fault current such as using high capacity circuit breaker, transformers with high impedance, air-core reactors and fuses. But all these cause different problems such as high power losses ,voltage drop. Furthermore, these solutions are expensive and short term. Fault current limiter (FCL) does not have these disadvantages. In this study, advantages of integration of FCL to the existing and new power grid are mentioned.

FCL is a device that is used to limit over current and destructive current occurring in the power systems. FCL that normally shows low impedance values produces high impedance values when short-circuit current occurs. The need of FCL is increased mostly because of the increase in usage of clean energy resources like wind or sun. Today, fault current limiter has started to gain importance in order to limit fault current. The task of the FCL is to limit the level of the destructive current without affecting the distribution system. Therefore, to limit the fault current will reverse these effects. Because of this fact, researches have entered a quest for it. This search led to examination of fault current limiters. . This research mainly focused on the effects of fault current limiters on the power grid. The descriptions of fault current limiters and specifications and variations of these limiters are conveyed in a basic concept. The effects of fault current limiters are examined over case network and real local network which is belong to Turkish interconnected network.

Fault current limiter suppresses the damaging high level fault current. On the other hand, it minimizes the cost of infrastructure of network , capacity of electricity which is carried through transmission lines increases. It provides more reliable, secure and stable network conditions.

The effects of the integration of fault current limiters in to the system and the effects were tested on sample power systems with the assistance of PSCAD ®. As a sample system a radial network in Fethiye was selected. There have been studies on this

network. 154 kV high voltage level is decreases to 34,5 kV distribution voltage level by two 100 MVA step-down transformers in the substation. By the underground distribution lines electricity reaches to consumers.

The aim was to analyze transient analysis of the fault current and the voltage variation. The effectiveness of FCL is verified with the several case studies by time-domain simulation. Obtained information such as fault current , voltage variation are given by lots of graphics.

Two different types of fault current limiters that are included in the simulation were modeled by PSCAD®. An inductive superconductive model type is used as passive fault current limiters in the study. Superconducting materials and power electronics are in progress day after day and these play key role about modeling fault current limiters The coil, which under normal operating conditions works at a value close to zero, limits the current by having a high quality of impedance with time and manner that is specified by the program. In the model of solid-state fault current limiter, there is created a model based on power electronics based fault detection system. The aim of the system is to include impedance model when a fault occurs. In normal system operation, considered SSFCL has no effect on voltage and current, since they are based on power electronics devices.

The researches show that distributed generation systems especially renewable energy generaton are becoming increasingly important and they are included in the network. Today, wind power has become one of the fastest growing renewable energy solutions, and it is widely used to produce electricity in many countries such as Germany, Spain, United States, India, and Denmark. Turkey has important wind energy potential especially in the Marmara region, coasts of western and southern Anatolia.

In next few years, there will be more and more wind power plants connected to the electrical grid, and the utilities will have problems. The integration of wind turbine generators increases fault current level beyond the capacity of existing protection devices. The system stability and voltage quality may be corrupted. So the power system switchgear and power system protection should be carefully designed to obtain a secure operation of the system. Higher fault currents can create major problems because the overcurrent protection relays trip the circuit breakers and the flow of power between electric utilities and customers is interrupted. They can damage or degrade transmission and distribution equipment, requiring expensive and time-consuming repairs. Fault Current Limiters (FCLs) regulate the amount of current moving through the transmission and distribution systems under abnormal conditions. In this study the effect of fault current limiters on distribution systems with wind turbine generators is studied.

One of the objectives of this thesis is to reduce effects of distributed generation system with the help of FCL. Today, the reduction of production of electrical energy resources, increasing costs, and environmental awareness led to exploration of alternative sources in the country. The transportation of produced energy to long distances causes troubles both in terms of infrastructure and operating costs. Therefore, the interest in distributed production increases considering the ecological structure. In addition to all of these problems, the inclusion of distributed production into existing electrical network brings many problems with. The increase in the level of fault currents, voltage irregularities and instabilities causes many problems as it is

stated. In order to eliminate the effects of these problems and to apply distributed production without any harm some precautions should be taken.

In the light of this information, an open-ring network model that belongs to Fethiye was modeled and transient analyses were conducted. The results has shown that the level of fault current that is increased because of distributed generation is limited with the help of FCL and even it is seen that the value is decreasing under the normal value. Besides, it is one of the results that the improvements of post-fault voltage level are faster and more efficient.

The location of FCL is simple as it's suitable to locate between source and load. However, it gets more complicated in ring systems. The choice of where in a distribution system to place FCLs to obtain best operating conditions is an important issue, because the placement of these devices must be carefully considered in order to keep them cost effective and to prevent the limiters themselves from disrupting existing protective measures. Some studies show that the most effective way to decrease the fault current level is to locate FCL before each transformer in a ring distribution system. But this method is a very expensive solution. In literature, there are also several methods to determine the optimum locations for FCL in terms of installing smallest FCLs circuit parameters to restrain short-circuit currents under circuit breakers' interrupting ratings.

The major topic that constitutes the aim of the thesis is where to place FCL in the network. It is substantial to indicate the most appropriate location while including the fault current limiters into the electrical network in terms of economic reasons and to succeed in the process of efficient current limitation. FCL placed in the wrong place both does not decrease the fault current and causes the loss of line and changes of voltages.

In Fethiye region a model of open ring network has been taken and in order to choose the most suitable place for FCL the sensitivity analysis was chosen and one of the most used decision-making models, the weighted sum model is preferred.

The progress of solution starts with sensitivity analysis. Thanks to sensitivity analysis the best candidates location are obtained. With the PowerWorld Simulator, current, voltage, and power values were determined. The values were used for sensitivity analysis. Generating the sensitivity matrix has made determining the most suitable candidate places convenient and the results were obtained in a short time.

The optimum location of the candidates location which are obtained by the sensitivity analysis is found by the decision making progress. The decrease in the level of fault current that generates the weighted sum model, the loss of active and reactive power and voltage drops, together with their weight, constitute a decision-making mechanism in the process of selecting the most appropriate place. The highest weight within the alternative places determined as candidate.

In this study , only the decrease of level of fault current is not considered. Power losses and the voltage drop caused by fault current limiter were calculated. All these criterions are used to make decision of alternative locations. The most important case with the weighted sum model is the method is applicable only when all the data are expressed in exactly the same unit. Because of that, all the values of power losses , voltage drop and current reduction are normalized to per-cent.

Together with the type of open-ring network, six bus bars test system was used in order to determine the most appropriate FCL place in the ring-type networks and in the more complex and the intertwined networks.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan sistemlerdeki modernleşme ve teknoloji kullanımının artmasıyla enerji tüketimi de artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için, elektrik üretim iletim ve dağıtım sistemlerinin boyutu da genişlemektedir. Bu sistemlerde beklenmedik arızaların oluşması da paralelinde artmaktadır.

Yıldırımlar, şiddetli hava koşulları, ağaç dalları, hayvanlar ve diğer dış etkiler, iletim hattı arızalarının başlıca nedenleridir. Dağıtım sistemlerinde kısa devre olduğu zaman hata akımı yük akımının on katından daha fazla olabilmektedir. Bu arızaların meydana getirdiği maliyet ve zararlar önceden kestirilemediği için, en kısa zamanda bir kesici tarafından bu arıza akımının kesilmesi istenmektedir. Kesiciler ve sigortalar güç sistemlerinde koruma sisteminin bir elemanı olarak kullanılmaktadır. Aşırı akımları kesmek için kullanılan sigortaları, arızadan sonra tekrar devreye almak için müdahale gerekmektedir.

Sistemde yeni üretim merkezlerinin dahil olması ve yeni iletim hatlarının tesis edilmesi ile arıza akımı seviyeleri yükselmektedir. Bu arıza akımındaki artış, mevcut kesicilerin ve sigortaların kapasitelerinin üzerinde arıza akımlarına maruz kalmasına neden olur. Eğer hata akımı sınırlandırılabilirse sistem güvenilirliği, güvenliği ve ekonomikliği artmaktadır. Sistemde arıza akımını sınırlandırmak için Seri reaktörler kullanılabilir. Fakat seri reaktör kullanımı, yüksek reaktif güç kaybına ve gerilim düşümüne neden olmaktadır. Ayrıca sistemin arıza akım seviyesinin yükselmesi, sistemdeki diğer elemanlarında daha büyük boyutlu olanlar ile değiştirilmesi ihtiyacı doğurmakta, bu durum da mali açıdan daha pahalı elemanların kullanımına yol açmaktadır.

Arıza akımı sınırlayıcı güç sistemlerinde meydana gelen aşırı ve zarar verici arıza akımlarını sınırlandırmak ve kontrol edilebilir seviyede tutmak için kullanılan bir ayardır. Normal çalışmada düşük empedans değeri gösteren modern arıza akımı sınırlayıcı (AAS), kısa devre akımı olduğu an güç sisteminde yüksek empedans

üretir. AAS'lere duyulan ihtiyaç, enerji talebinin artması, daha çok dağıtılmış üretim ve rüzgar güneş gibi temiz enerji kaynaklarının kullanımı nedeniyle artmıştır.

Günümüzde arıza akımını sınırlamak için AAS önemli bir yer almaya başlamıştır. AAS sadece arıza akımını sınırlamakla kalmaz; güç kalitesini, sistem güvenilirliğini ve kararlılığını artırır. Ayrıca transformatörlerdeki ani akımlarını da sınırlar. Arıza akımı sınırlayıcının görevi, dağıtım sistemini etkilemeden arıza akımı seviyesini, kontrol edilebilir seviyede sınırlandırmaktır.

Güç sistemi korumasının bir amacı, arıza akımının şebeke ve dağıtım merkezleri üzerindeki olumsuz etkisini önlemek için arızalı kısmı devre kesicilerle sistemden en kısa sürede ayırmaktır. Bu nedenle yüksek seviyedeki arıza akımlarını önlemek için daha büyük ve pahalı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek arıza akımlarının koruma elemanlarına, trafo merkezlerine verdiği zararlar sistem güvenliğini, güvenilirliğini ve kalitesini azaltmaktadır. Tüm bu nedenler arıza akımı sınırlayıcıların araştırılmasında etkin rol oynamıştır.

Arıza akımını sınırlandırmak için birçok yöntem kullanılmıştır. Hava çekirdekli reaktörler, yüksek empedanslı transformatörler gibi sistemler denenmiştir. İlk başlarda uygun bir çözüm gibi görünse de gerek yüksek maliyet ve kısa ömür gerekse de normal çalışma koşullarındaki gerilim düşümü ve kayıplar nedeniyle birçok dezavantaja sahiptirler [1].

Arıza akımı sınırlayıcıların şebeke üzerindeki etkilerini incelemek için, arıza akımı sınırlayıcıların özellikleri, çeşitleri ve mevcut elektrik sisteme dâhil edilmesi gibi konular araştırmacılar tarafından incelenmiştir [2-4].

Pasif arıza akımı sınırlayıcılar, kalıcı olarak güç sistemine bağlanan ve herhangi bir dış sinyal tarafından kontrol edilmesine gerek duymayan sınırlayıcı tipidir. Pasif arıza akımı sınırlayıcıların tasarımı, karakteristikleri ve farklı çalışma prensipleri [5-8]'de incelenmiştir. Normal çalışma koşullarında doyumda olan nüve çok düşük empedans değerine sahiptir. Arıza meydana geldiğinde nüve doyumdan çıkarak yüksek değerli empedansa sahip olmaktadır.

Yüksek sıcaklık süper iletken arıza akımı sınırlayıcıların şebekedeki kullanımı, daha güvenilir ve kaliteli güç sistemi için ideal karakteristikleri [9]'da açıklanmaktadır. Yüksek sıcaklık süper iletken malzemeler de aynı çalışmada açıklanmaktadır. Keilin ve arkadaşları, yüksek sıcaklık süper iletken (YSSİ) üç fazlı doymuş nüveli arıza

akımı sınırlayıcı modeli geliştirmiştir [10]. Bu çalışmada, tek doğru akım YSSİ bobini, üç fazın demir boyunduruklarını doyurmak için kullanılmaktadır.

Arıza akımı sınırlayıcıların etkisini incelemek için benzetim incelemeleri çeşitli bilgisayar programları ile gerçekleştirilmiştir. [11]'de dağıtım ve iletim sistemine arıza akımı sınırlayıcının dahil edilmesinin etkileri incelenmektedir. Arıza akımı sınırlayıcının sistem üzerindeki etkisi ve şebeke bölme modeli PSCAD/EMTDC'de modellenmiştir. Çalışmanın sonucunda, yüksek arıza akımına karşı AAS'nin dağıtım ve iletim sistemindeki mevcut altyapıyı koruduğu gözlemlenmektedir.

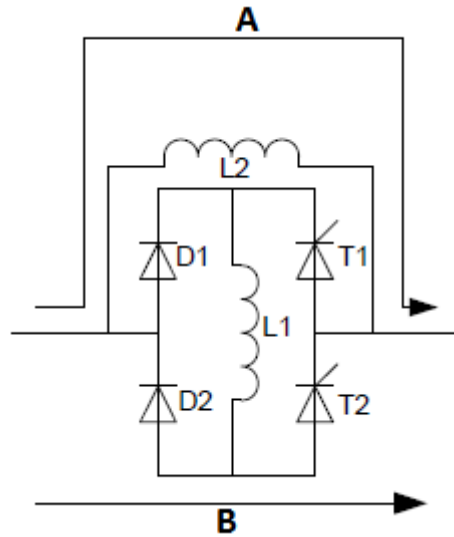
[12]'de basit bir radyal şebekeye uygulanan süper iletken arıza akımı sınırlayıcı (SİAAS) modeli EMTP (Electro Magnetic Transient Programming) programında analiz edilmiştir. SİAAS'nin şebeke üzerindeki etkisi, SİAAS bileşenlerinin ve yarıiletken anahtarlar üzerindeki geçici durum analizleri gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, SİAAS'nin sisteme entegre edilmesiyle arıza anında oluşan yüksek akım seviyesinin, mevcut sistemdeki koruma elemanlarının kapasitesinin altında olduğu belirlenmiştir.

[13]'de dağıtım sistemi üzerinde SİAAS'ın etkisi incelenmektedir. SİAAS'ye ait matematik modeli geliştirilerek EMTP tabanlı bilgisayar programı ile analiz yapılmıştır. Sonuçlara göre, SİAAS, arıza akımının tepe değerini oldukça aşağıya çekmektedir. Bunun yanında arıza anında geçici olarak değişen gerilim şeklinin daha kaliteli ve güvenilir seviyede olmasını da sağlamaktadır.

Güç elektroniğinin gelişmesiyle birlikte, arıza akımı sınırlayıcıları, güç elektroniği elemanları ile birlikte entegre olarak kullanılmaya başlanmıştır. Mikroişlemci tabanlı kontrolöre sahip arıza akımı sınırlayıcılar, ilk olarak M.M.A Salama tarafından incelenmiştir [14,15]. Kaynak frekansında ve kapasiteye paralel bağlı tristör kontrollü reaktör, minimum empedans olacak şekilde bir LC devresini oluşturmaktadır. Arıza akımının artışıyla tetiklenen tristör ile birlikte akım sınırlandırılmaktadır. Böylece devre kesicileri ve diğer koruma elemanları arıza akımını kesebilmektedir. Sensörler ve kontrol devresi arıza akımını algılamaktadır. [16]'de Rubenbauer ve Herold tarafından üç fazlı tam dalga doğrultucu kullanılarak dinamik arıza akımı sınırlayıcı (DAAS) modeli oluşturulmuştur. DAAS 6 adet tristör içeren bir doğrultucudan oluşmaktadır. Doğrultucu şebekeye doğrudan bağlanmaktadır.

Normal çalışma koşullarında mevcut sisteme gerilim düşümü, kayıp gibi herhangi bir etkisi olmadığı için, katı-hal arıza akımı sınırlayıcıları, önemli derecede tercih edilmeye başlanmıştır [17]. Bu çalışmada geliştirilen modelde, tristörlü güç elektroniği devresi kullanılarak, akım sınırlayıcı arıza meydana geldiğinde sisteme dahil edilmektedir. Normal çalışma koşullarında, sınırlayıcı devrede değildir. Normal çalışma koşullarında, IGBT T1 ve T2 ve diyotlar D1 ve D2 iletimde kalmaktadır. Tüm akım diyot ve IGBT köprüsü üzerinden (B yolu) akmaktadır. Pozitif ve negatif çevrimlerde birer diyot ve IGBT çiftlerinden geçmektedir. L1 den akan akım sabit ve gerilim düşümü sıfırdır.

Arıza olduğu anda T1 ve T2 kapıları OFF olmaktadır. Milisaniyeler sonra, tüm akım sınırlayıcı reaktör olan L2 üzerinden (A yolu) akmaktadır Burada L1 DA reaktörü, güç elektroniği elemanları kullanımdan doğan gerilim düşümünü azaltmak için kullanılmaktadır. Şekil 1.1’de katı-hal AAS modeli bulunmaktadır.



Şekil 1.1 : Katı-hal arıza akımı sınırlayıcı modeli [17].

[18]’de demir nüveli ve ayarlanabilir hava boşluklu elektromanyetik devre tabanlı arıza akımı sınırlayıcı incelenmiştir. Temel olarak, normal çalışma koşullarında empedans çok küçük değerde iken, arıza meydana geldiğinde arıza akımı tarafından piston (planşer) üzerinde üretilen güç endüktansın artmasını sağlamak ve artan endüktans da yükselen arıza akımını sınırlandırmaktadır.

Artan enerji tüketimi ile birlikte çeşitli sorunlar ortaya çıkmakta, enerji kaynaklarının yetersiz kalması insanları alternatif enerji türlerine yönlendirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları da bu alternatiflerden en önemlisidir. Yenilenebilir enerji

kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin artmasıyla, mevcut şebekeye entegre yenilenebilir enerji kaynakları sayısı artmaktadır. Çok sayıda ve büyük rüzgar ve güneş çiftliklerinden oluşan dağıtılmış üretim sistemleri ile birlikte şebeke, daha karmaşık ve geniş bir yapıya sahip olmaktadır. Bu durum avantajları ile birlikte bir çok dezavantajı da beraberinde getirmektedir. Artan arıza akımı seviyeleri ve gerilim düzensizlikleri bu olumsuz etkilerden en önemlileridir. Artan arıza akımı seviyeden dolayı mevcut koruma elemanlarının kapasiteleri yetersiz kalmakta ve çalışma düzenleri zarar görmektedir. Tüm bu olumsuz etkilerin azaltılması için arıza akımı sınırlayıcıların dağıtılmış üretim sistemleri üzerindeki etkileri incelenmelidir.

[19]'de dirençli (rezistif) tipte arıza akımı sınırlayıcı geliştirilerek rüzgar çiftliğinin şebeke üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmaya çalışılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda AAS'nin arıza akımını azaltmasıyla birlikte, rüzgar çiftliklerinin şebekeye enterkonnekte edildiğinde inrush (ani: demeraj akımı) akımlarını da kontrol aldığı gözlemlenmektedir. Böylece daha verimli, kaliteli ve güvenilir enerji kaynağı talebi karşılanmaktadır.

[20]'de, dağıtılmış üretimin dağıtım şebekesi koruma sistemleri üzerindeki etkilerini azaltmak için, katı-hal arıza akımı sınırlayıcı kullanılmıştır. Radyal şebekeli test sistemi kullanılarak PSCAD /EMTDC ile analizler yapılmıştır. Dağıtılmış üretim sisteminin olduğu ve olmadığı durumdaki arıza akım seviyeleri, AAS'nin sisteme dahil edildiği durumda bu akım davranışlarına etkileri, grafiklerle gösterilmektedir.

Arıza akımı sınırlayıcıların elektrik şebekesine dahil edilirken en uygun yerin belirlenmesi, ekonomik ve etkili bir akım sınırlandırma işlemi için gereklidir. AAS'nin uygun yerinin belirlenmesi, olası arıza yerlerinin önceden tahmin edilebilmesi durumunda kolay olmaktadır. Ancak; gün geçtikçe karmaşık bir hal alan ve genişleyen elektrik güç sistemlerinde bu problem, çözülmesi zor hale gelmektedir. Bu yüzden, günümüz elektrik şebekelerinde arıza akımının sınırlandırılması ve bunun için gerekli AAS yerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. farklı eniyileme (optimizasyon) yöntemleri uygulanmaktadır. [21-25]

AAS'nin güç sistemine dahil edilmesi, aşırı yüksek arıza akımlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Gelişen ve genişleyen sistemlerde, bu etkinin en verimli şekilde olması için AAS'in yerinin belirlenmesi önem teşkil etmektedir.

[26]'da güç sistemine dahil edilecek olan arıza akımı sınırlayıcıların en uygun yerinin belirlenmesi için geliştirilen bir yöntem mevcuttur. Duyarlılık analizi ile aday arıza akımı sınırlayıcı yerleri belirlenerek bir sonraki adımda bilgisayar programının daha hızlı ve etkili bir çözüm bulması istenmektedir. Genetik algoritma tabanlı çözüm yöntemi ile en ideal yerler belirlenmektedir.

AAS uygulamalarında en önemli kriterlerden bir tanesi de maliyettir. Bu nedenle AAS'lerin en az sayıda en uygun yerlere yerleştirilmesi gerekmektedir. [27]'da ilk olarak, geliştirilen metotla sınırlayıcının arıza meydana geldiğinde geçici (transient) ve alt-geçici(subtransient) etkileri göz önüne alınarak daha düşük kapasiteli AAS elde edilmektedir. Daha sonra, mikro genetik algoritma ile hiyerarşik genetik algoritmanın birleştirilmesiyle elde edilen yöntem ile en uygun yerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Sayısal örneklerle de bu pekiştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında AAS genel anlamda incelenmektedir. 1. Bölümde çalışma ile ilgili detaylar verilirken, 2. bölümde AAS'lerin yapısı ve karakteristikleri, kullanımlarının avantajları ve AAS çeşitleri gibi temel kavramlar verilmektedir.

3. bölümde AAS sisteme dahil edildiğinde şebeke üzerindeki geçici hal etkileri, elektromanyetik geçici hal programı olan PSCAD® ile yapılmıştır. Fethiye bölgesine ait radyal şebeke tipindeki örnek test sistemine AAS dahil edildiğinde arıza akımı ve gerilim seviyesindeki değişiklikler grafiklerle açıklanmaktadır.

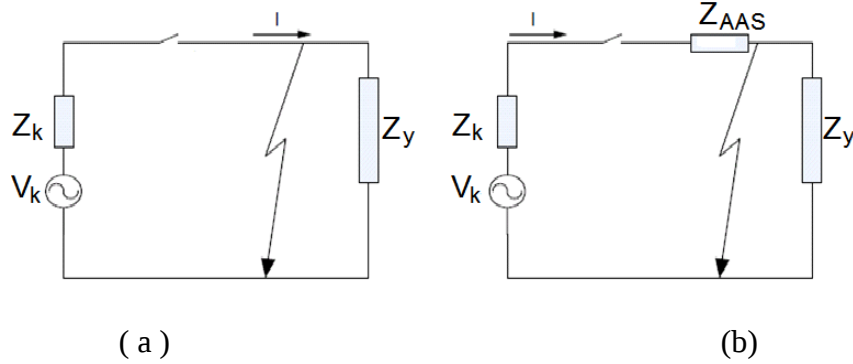
4. bölümde ise dağıtılmış üretimin elektrik şebekesine olan etkilerine değinilmiştir. Yeni enerji üretimine olan talebin artmasıyla mevcut şebekeye eklenen dağıtılmış üretim sayısı artmakta ve beraberinde bir çok olumsuzluk getirmektedir. Fethiye şehir şebekesinden 154 kV indirici merkez ve dağıtım kısmından bir bölgeye ait açık halka tipi şebeke modeli PSCAD® kullanılarak benzetim incelemesi gerçekleştirilmiştir. Dağıtılmış üretimin şebeke üzerindeki etkileri ve arıza akımı sınırlayıcının bu etkiler üzerindeki davranışı grafikler aracılığıyla irdelenmektedir.

Son bölümde ise, arıza akımı sınırlayıcılar mevcut şebekeye dahil edilirken en uygun yerin seçimi üzerine incelemeler yapılmıştır. Duyarlılık analizi ve karar verme yöntemlerinde bir olan ağırlıklı toplam modeli, çözüm aşamasında kullanılmıştır. Arıza akımındaki azalmalar, aktif ve reaktif güç kayıpları ve gerilim düşümleri PowerWorld Simulator programı ile modellenerek hesaplanmıştır.

2. ARIZA AKIMI SINIRLAYICILAR

2.1 Genel Bakış

Basit bir güç sistemi modelini incelersek; kaynak gerilimi; V_k , iç empedansı; Z_k , yük empedansı Z_y ve arıza empedansı Z_a olarak tanımlayabiliriz. Şekil 2.1’de bu bilgilerin olduğu basit bir elektrik devresi verilmiştir.



Şekil 2.1 : Basit elektrik devresi a) AAS’siz b) AAS’li [28].

Kararlı durumda, arıza yokken AAS’siz modelde akım değeri,

$$I = \frac{V_k}{Z_y + Z_k} \quad (2.1)$$

Arıza meydana geldiğinde akım;

$$I = \frac{V_k}{Z_a + Z_k} \quad (2.2)$$

olmaktadır.

Arıza empedansı çok küçük değerde olduğu için hat akımı çok yüksek olur. Devreye seri bir AAS yerleştirdiğimizde yeni akım değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır. Eşitlikten de görüldüğü üzere arıza akımı değeri düşecektir. Temel bir AAS yapısı bu şekilde açıklanabilir.

$$I = \frac{V_k}{Z_a + Z_{AAS} + Z_k} \quad (2.3)$$

2.2 İdeal Akım Sınırlayıcı Karakteristikleri

Arıza akımı sınırlayıcılarını incelemeden önce bazı önemli karakteristikleri bilinmesi gerekmektedir. Bunları sıralarsak;

1. Kararlı durumda sisteme hemen hemen hiç etkisi olmamalıdır. Sıfır empedans ve buna bağlı olarak sıfır gerilim düşümü olmalıdır.
2. Kısa sürede meydana gelen, tekrarlayan arıza durumlarına cevap verebilmelidir.
3. İnsan müdahalesi olmadan arızasız duruma otomatik geçebilmelidir.
4. Gerilim ve güç faktörü değerlerini etkilememelidir.
5. Dağıtım sistemi gerilim seviyesinde çalışabilmelidir.
6. Röle ve güç kesicilerinin normal çalışmalarını etkilememelidir.
7. Küçük ve ergonomik boyutta, taşınabilir ve bakımı kolay olmalıdır.

2.3 AAS Kullanmanın Faydaları

Elektrik dağıtım sistemlerinin bakım, onarım ve yeni tesis maliyetleri oldukça fazladır. Arıza akımı sınırlayıcıların kullanılmasıyla birçok açıdan tasarruf sağlanabilmektedir. Arıza akımının seviyesinin yükselmesi mevcut dağıtım sisteminde bir çok olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin hem maliyet açısından hem de sistemin kaliteli işleyişi açısından dikkate alınması gerekir. Bu etkileri azaltmak için kullanılan sınırlayıcılar sistemin iyileştirilmesi sürecinde önemli rol oynamaktadırlar. Mevcut sisteme arıza akımı sınırlayıcının dahil edilmesi;

1. Trafo merkezlerindeki maliyetleri azaltır.
2. Kısa devre problemlerini en aza indirir.
3. Santraller ve trafo merkezlerinin bağlantısında en uygun çözümler sağlar.
4. Kısa devre akımının tepe değerine ulaşılmasını engeller.
5. Elektrik ekipmanlarındaki mekanik ve termik zorlanmaları azaltır.
6. Uzun mesafelerde enerji iletim kapasitesini artırır.
7. Hatalardan kaynaklanan gerilim dalgalanmalarını önler.
8. Sistem kararlılığını ve güvenilirliğini artırır.
9. Normal çalışmada harmonik üretmez.
10. Tekrar kurma süresi sıfırdır.

2.4 Diğer Akım Sınırlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Arıza akımının önlenmesi için bir çok yöntem kullanılmaktadır. Daha önceleri arıza akımının etkilerini azaltmak için, arıza akımının sınırlandırılmasından çok, sistemi arızalı kısımdan ayırarak, o kısım enerjisiz bırakılırdı. Günümüzde ise enerjinin sürekliliğinin önemi nedeniyle farklı alternatifler tercih edilmektedir. Çizelge 2.1’de de bu yöntemler karşılaştırılmaktadır. Farklı yöntemlere ait avantajlar ve dezavantajlar verilmiştir.

Çizelge 2.1: Diğer akım sınırlama yöntemlerinin karşılaştırılması [1].

Donanım	Avantaj	Dezavantaj
Devre kesici	* Denenmiş * Güvenilir	* Kesme işlemi için sıfır akımına ihtiyaç duyar. * Yüksek maliyet ve kısa ömür * Sınırlandırma işlemi yapmaz, arıza akımını keserek sistemi enerjisiz bırakır.
Yüksek empedanslı transformatör	* Geniş kullanım alanı	* Yüksek kayıptan dolayı sistemin verimliliğini düşürür.
Sigorta	* Kolay uygulama imkanı	* Sık sık atma ihtimali vardır. * Tekrar kapama işlemi elle yapılmak zorundadır.
Hava çekirdekli reaktör	* Kanıtlanmış ve geleneksel kullanım	* Yüksek gerilim düşümüne yol açar. * Normal çalışma koşullarında güç kayıplarına neden olur.

2.5 Arıza Akımı Sınırlayıcı Türleri

Arıza akımı sınırlayıcılarını üç ana başlıkta toplamak mümkündür;

- 1) Pasif sınırlayıcılar (Passive Limiters)
- 2) Katı Hal Sınırlayıcılar (Solid state limiters)
- 3) Hibrid Sınırlayıcılar (Hybrid limiters)

2.5.1 Pasif sınırlayıcılar

Geleneksel olarak uygulanan AAS; kalıcı olarak güç sistemine bağlanan ve herhangi bir dış işaret ile kontrol edilmesine gerek duymayan sınırlayıcı tipidir. En basit uygulama olarak arıza akımı sınırlayıcı, bir endüktanstır. Arıza akımı bu endüktans tarafından sınırlandırılmaktadır.

Endüktans kullanarak akım sınırlamanın avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Bu yöntem, uzun süredir kullanıldığı için test edilmiş ve çok sayıda devreye alınmıştır.
- Düşük maliyet ve bakım giderleri bulunmaktadır.
- Bununla birlikte taşınması ve yerleştirilmesi ağır olmasından dolayı zordur.
- Kararlı hal durumunda gerilim düşümlerine ve güç faktörünün bozulmasına neden olur.
- Akım sınırlamada ise yeni nesil akım sınırlayıcılara göre daha zayıftırlar.

Pasif Sınırlayıcıların başka bir uygulaması da süper iletken hata akımı (superconducting fault current limiter) sınırlayıcısıdır. Süper iletken AAS ler kararlı hal çalışma durumunda dirence sahip olmadıklarından dolayı omik kayıplara yol açmazlar ve daha etkili sınırlama gerçekleştirirler.

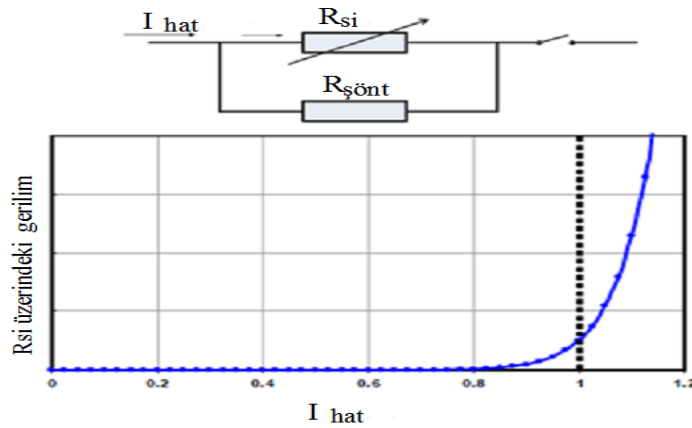
Endüktanslı pasif sınırlayıcıya göre süper iletkenli AAS kullanmanın faydaları ise;

- Kararlı halde neredeyse hiç gerilim düşümüne neden olmazlar
- Etkili akım sınırlama özelliğine sahiptirler ve arızaya tepki süresi çok kısadır.
- Soğutma sistemleri, arızaya neden olmaktadır.
- Süper iletken bobinler doyabilmekte ve harmoniklere neden olabilmektedir.

2.5.1.1 Rezistif süper iletken arıza akımı sınırlayıcılar

Süper iletken halinden rezistif hale geçerek hata akımını sınırlar. Bu geçiş kendiliğinden olur ve akan akım bobinde veya reaktörde sınırlandırılır. Süper iletken AAS'nin bu türünün çalışma prensibi, normal çalışma koşullarında sıfıra yakın direnç özelliği gösterirken, arıza durumunda yüksek direnç değerine ulaşmasıdır.

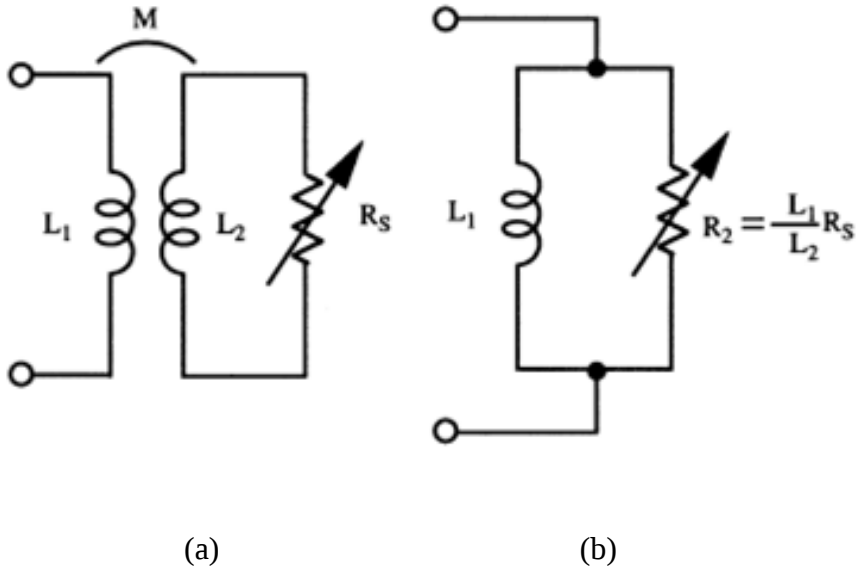
Rezistif Süper iletken Arıza Akımı sınırlayıcı, (RSİAAS) akım taşıma iletkeni olarak süper iletken malzeme kullanmaktadır. Çalışma prensibi Şekil 2.2'de tek hat şemasında verilmiştir. Arıza meydana geldiğinde akım artmakta ve süper iletkenin direncinin de yükselmesine neden olmaktadır. Direncin artmasıyla, süper iletken üzerinde gerilim oluşmakta ve akımın paralel koldan akmasını sağlamaktadır. Süper iletken burada milisaniyeler mertebesinde çalışan bir anahtar görevi görmektedir.



Şekil 2.2 : Rezistif tip arıza akımı sınırlayıcı ve süper iletken üzerindeki gerilim [29]

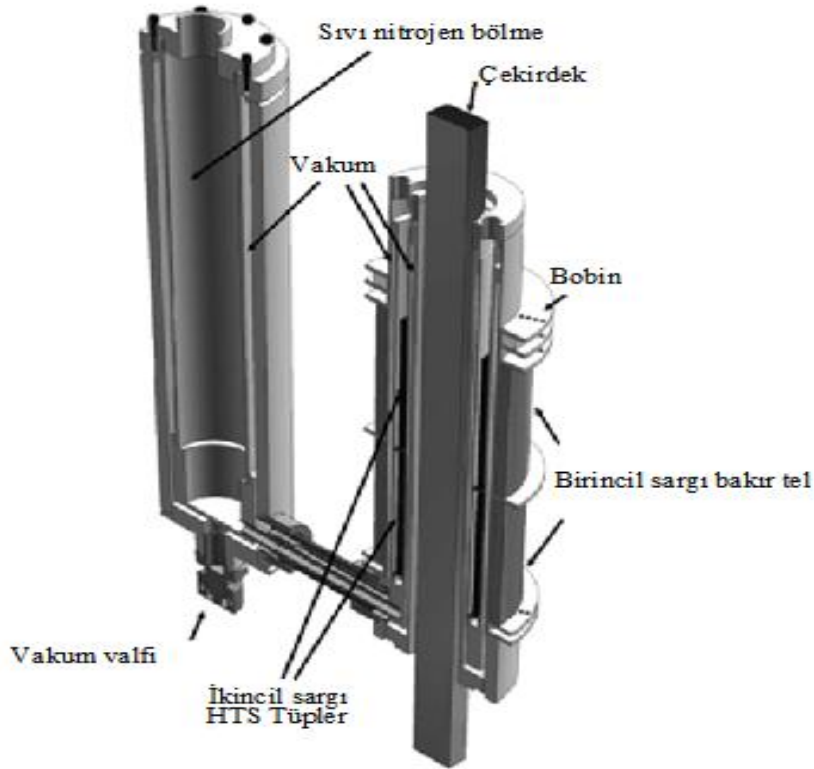
2.5.1.2 İndüktif süper iletken arıza akımı sınırlayıcılar

İndüktif SİAAS, bir reaktör ve süper iletken bir silindir tüpten oluşmaktadır. Bu iki eleman birbirine manyetik olarak bağlıdır. İndüktif SİAAS de, yüksek akım değeri nüveyi doymamış hale getirerek bobinin empedansını artırır ve akımı sınırlar. Şekil 2.3'de indüktif arıza akımı sınırlayıcıya ait manyetik ve eşdeğer devre verilmiştir. Bu devre, birincil sargı olarak bir reaktör, ikincil sargı olarak da, süper iletken silindir içermektedir. Reaktör ve süper iletken manyetik olarak bağlı olduğu için ESİAAS'da süper iletkene uygulanan gerilim reaktöre uygulanandan daha düşük olmaktadır. Eşdeğer devrede, reaktör, süper iletkeni modellemek için bir değişken dirençle paralel bağlanmıştır.



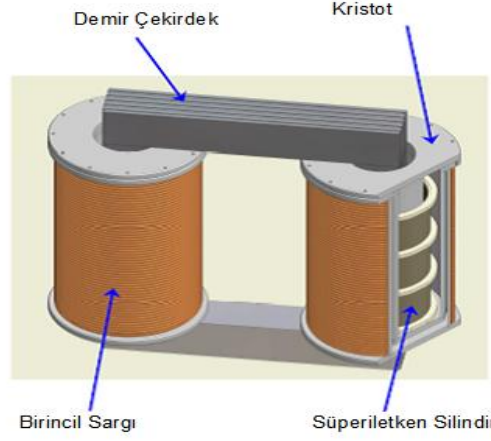
Şekil 2.3 : İndüktif arıza akımı sınırlayıcı a) Manyetik bağlı b) Eşdeğer devre [30].

Şekil 2.4’de indüktif arıza akımı sınırlayıcının iç yapısı görülmektedir. İndüktif arıza akımı sınırlayıcının iç yapısında bulunan bileşenler verilmiştir.



Şekil 2.4 : Bir indüktif arıza akımı sınırlayıcının iç yapısı [31].

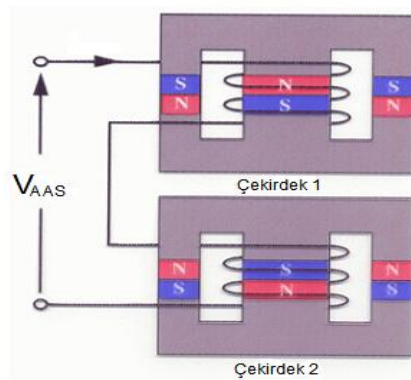
Pasif arıza akımı sınırlayıcılarda kullanılan yeni yöntemlerden biri olan süper iletken malzeme indüktif sınırlayıcılarda da kullanılmaktadır. Şekil 2.5’de buna ait bir uygulama görülmektedir.



Şekil 2.5 : İndüktif süper iletken arıza akımı sınırlayıcı [32].

2.5.1.3 Manyetik arıza akımı sınırlayıcılar

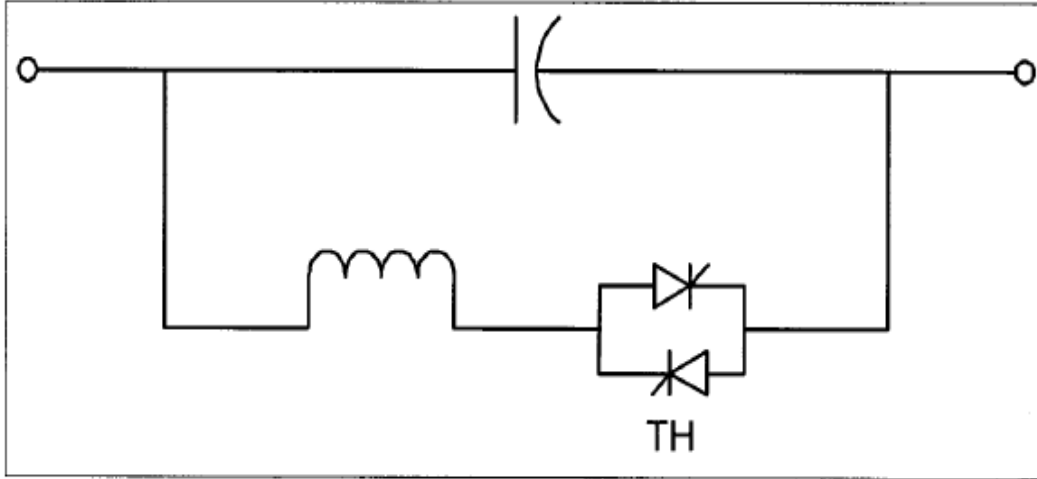
Kalıcı mıknatıs doyabilen nüvenin içinde yer almaktadır ve normal çalışma koşullarında çekirdeği doymuş hale getirmek için kullanılır. Manyetomotor kuvvetinin yönü ve alternatif akım nüve 1 ‘e eklenir ve nüve 2’den çıkartılır. Normal çalışma koşullarında 2 nüve de doymuş haldedir. Bu yüzden empedans değeri oldukça küçüktür. Arıza meydana geldiğinde yüksek akım değeri yarım periyotta nüvenin bir tarafını doymuş hale getirir diğer kısmı ise doymuş olarak kalır. Böylece akan akım sınırlandırılır. Şekil 2.6’da manyetik arıza akımı sınırlayıcıya ait bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.6 : Manyetik arıza akımı sınırlayıcı [33].

2.5.2 Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcılar

Gelişen güç elektroniği anahtarlama teknolojisiyle birlikte, katı-hal sınırlayıcıları elektrik sistemlerinde kullanılmaya başlamıştır. Katı-hal arıza akımı sınırlayıcıları (KHAAS), bobin, kondansatör ve tristör kombinasyonunu kullanmaktadır. KHAAS'ye ait bir örnek şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Katı-hal arıza akımı sınırlayıcı [34].

Bu modelde, kondansatör tristör ve bobin ile paralel bağlanmıştır. Normal çalışma koşullarında, tristör kapalıdır ve akım kondansatör üzerinden akmaktadır. Arıza durumunda ise tristörler ve bobin üzerinden akım akar.

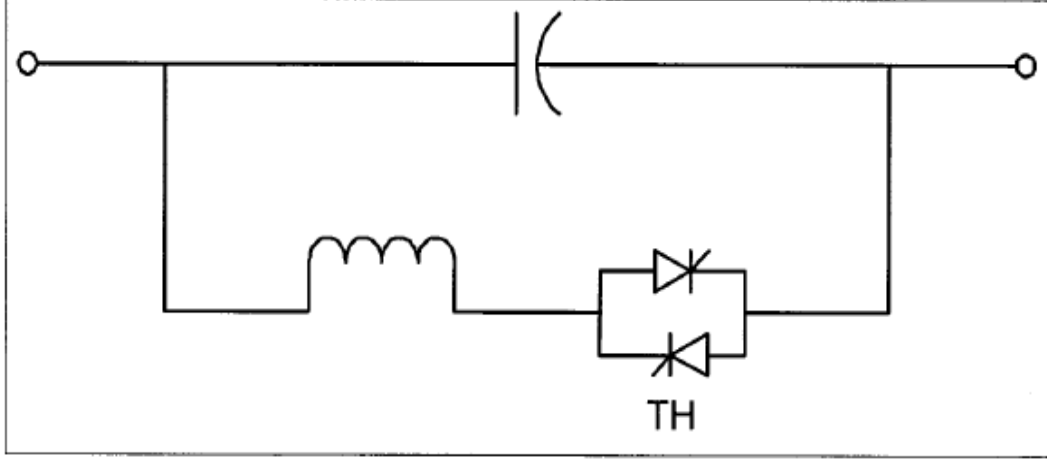
KHAAS kullanmanın bir takım avantajları vardır. Bunlar:

- Arıza anında yeterli empedans değeri sağlarlar.
- Sürekli halde düşük empedans ve gerilim düşümü sağlarlar.

2.5.2.1 Rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcılar

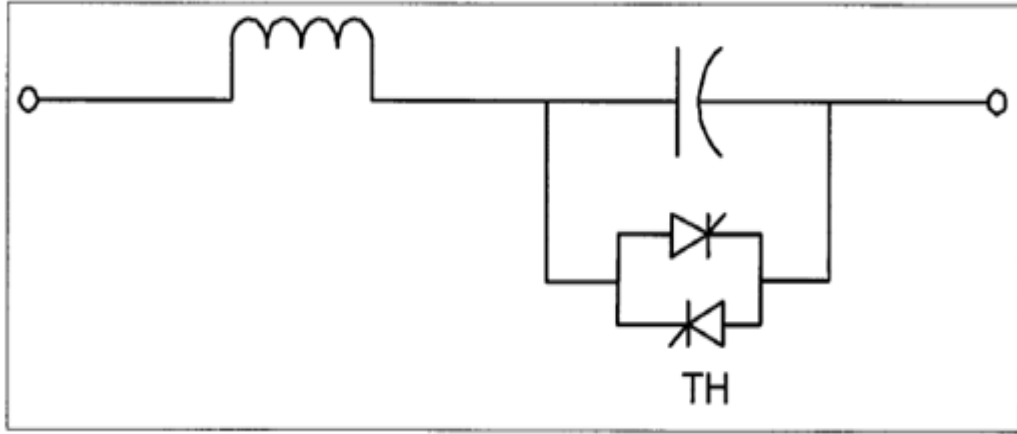
Rezonansa dayalı sınırlayıcının temel çalışma prensibi, sürekli halde cihazın empedansı sıfır olacak şekilde kondansatör ve bobinlerle ayarlama yapılmasıdır.

İlk çalışmalarda, kondansatöre paralel bobin ile bir tasarım yapılmıştır. Sürekli hal çalışmasında, tristörlerin kapalı konumda olması nedeniyle akım kondansatör üzerinden akmaktadır. Arıza meydana geldiğinde, tristör ilettime geçerek akımın bobin üzerinden de akmasını sağlayarak akımı sınırlandırmaktadır. Bu kombinasyona ait devre şeması şekil 2.8'de verilmiştir.



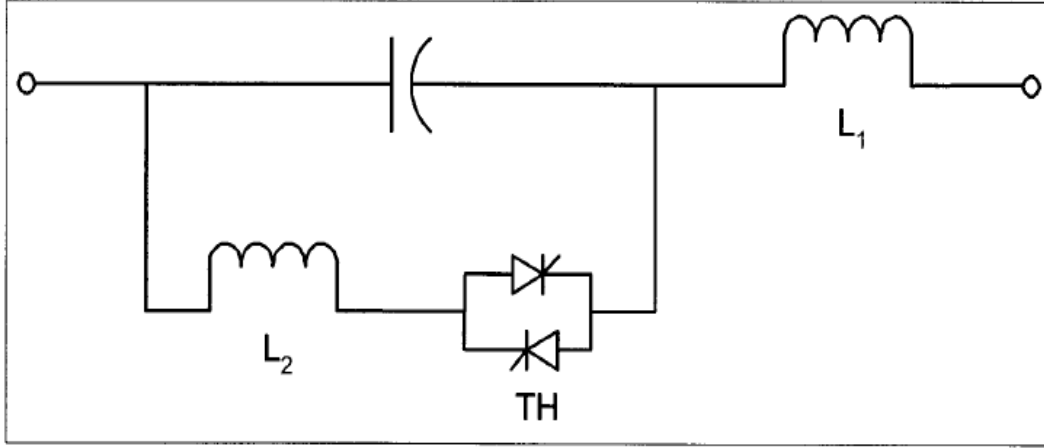
Şekil 2.8 : Paralel rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı [34].

Bir diğer yöntem ise bobin ve kondansatörün seri bir şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Sürekli halde, bobin ve kondansatör seri olarak çalışmaktadır. Arıza durumunda ise, tristör iletme geçer ve sistem reaktör özelliği göstererek akımı sınırlandırır. Şekil 2.9’da seri rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı tasarımı verilmiştir.



Şekil 2.9 : Seri rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı [34].

Seri ve paralel rezonans LC AAS ise bu iki türün birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Sistem iki bobin ve bir kondansatörden oluşmaktadır. Seri ve paralel LC AAS kombinasyonunda, kondansatöre seri bir bobin ve tristöre seri ikinci bir bobin bunlara paralel olarak bağlanmıştır. Arıza olmadığı durumda tristörler üzerinden akan akım, arıza meydana geldiğinde sınırlandırıcı bobin üzerinden akmaktadır. Şekil 2.10’da bu modele ait şema görülmektedir.



Şekil 2.10 : Seri-Paralel rezonansa dayalı katı-hal arıza akımı sınırlayıcı [34].

Rezonans AAS'lerin avantajları:

- Yüksek arıza empedansı
- Düşük sürekli hal empedansı
- Hızlı çalışma

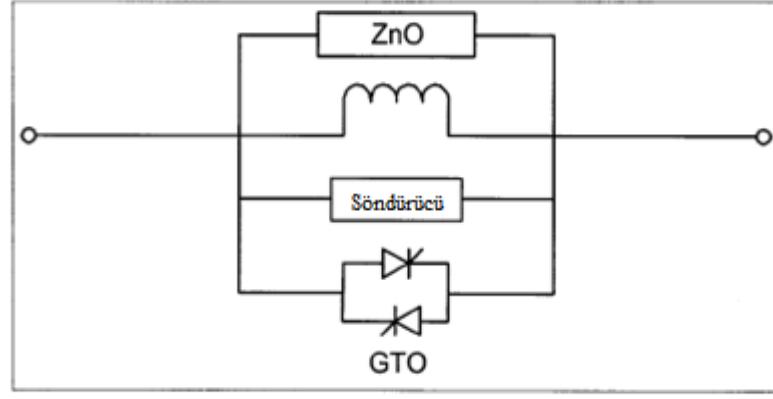
Bunlarla birlikte bazı kısıtlar da mevcuttur;

- Bazı uygulamalarda anahtarlama harmonikleri meydana gelmektedir.
- Arıza esnasında gerilim dalgalanmaları oluşabilmektedir.
- Kondansatörler için geniş altyapılar gerekmektedir.
- Doğru frekansta düşük empedans değeri ayarlanmalıdır.

2.5.2.2 Empedans anahtarlı by-pass arıza akımı sınırlayıcılar

Katı-hal sınırlayıcıların ikinci türü ise güç elektroniği anahtarlama ile yapılan, empedans anahtarlı by-pass akım sınırlayıcıdır. Bobin veya direnç formunda bir empedans hatta seri bağlanır. Tristör modülü ise bu empedansa paralel bağlanarak alternatif akım yolunu oluşturur.

Arıza durumunda, tristör iletimi keserek, akımın empedans üzerinden akmasını sağlar. Büyük empedans değeri ile AAS üzerinde gerilim oluşur ve akım sınırlandırılır. Şekil 2.11'de tristör modülü ve sınırlandırıcı bobin içeren bir arıza akımı sınırlandırıcı modeli gösterilmektedir. Bu modelde güç elektroniği düzeneği ile arıza meydana geldiğinde sınırlandırıcı devreye girmektedir.



Şekil 2.11 : Empedans anahtarlı by-pass arıza akımı sınırlayıcılar [34].

Avantajları :

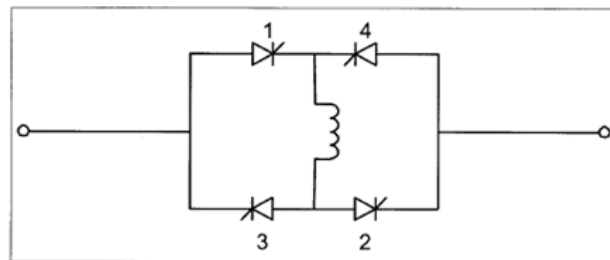
- Yüksek arıza empedansı
- Düşük sürekli hal empedansı
- Hızlı çalışma
- Ayarlama gerektirmemesi

Dezavantajları;

- Anahtarlama harmonikleri
- Anahtarlama kayıpları
- Sürekli anahtarlama nedeniyle kısa anahtarlama ömrü

2.5.2.3 Köprü tipi katı-hal arıza akımı sınırlayıcıları

Adından da anlaşılacağı üzere, tam dalga köprü anahtarlama konfigürasyonundan oluşmaktadır. Şekil 2.12’de görülen 4 adet tristörlü tam dalga köprüsü ve sınırlandırıcı bobinden oluşan tasarım arıza akımını sınırlandırmak için geliştirilmiştir.



Şekil 2.12 : Köprü tipi katı-hal arıza akımı sınırlayıcılar [51].

Normal çalışma koşullarında, tüm tristörler iletimdedir ve bobinde kutuplanma akımı oluşmaktadır. Bobinin karakteristiğinden dolayı, akım aniden değişmediği için, arıza olduğunda, akım kutuplanma akımını geçtiğinden akım sınırlandırılır.

Bu devrede zor olan, DA kutuplanma akımını sağlamaktır. Kutuplanma akımı köprüyü sürekli iletimde tutmak için gereklidir. Eğer DA ön akımın değeri hat akımına eşit veya ondan büyük olursa bobin DA akım üretir. Normal çalışma koşullarında, sınırlandırma özelliği göstermez. Arıza durumunda, akım değeri yükselir ve DA ön akımının değerini geçer.

2.5.3 Katı-Hal anahtar/mekanik anahtar hibrid akım sınırlayıcılar

Adından da anlaşılacağı üzere bu sınırlayıcılar diğer sınırlayıcı çeşitlerinin birleştirilerek uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Pasif arıza akımı sınırlayıcı ile katı-hal arıza akımı sınırlayıcı da kullanılan meteryallerin aynı sınırlandırıcı da kullanılmasıyla elde edilir.

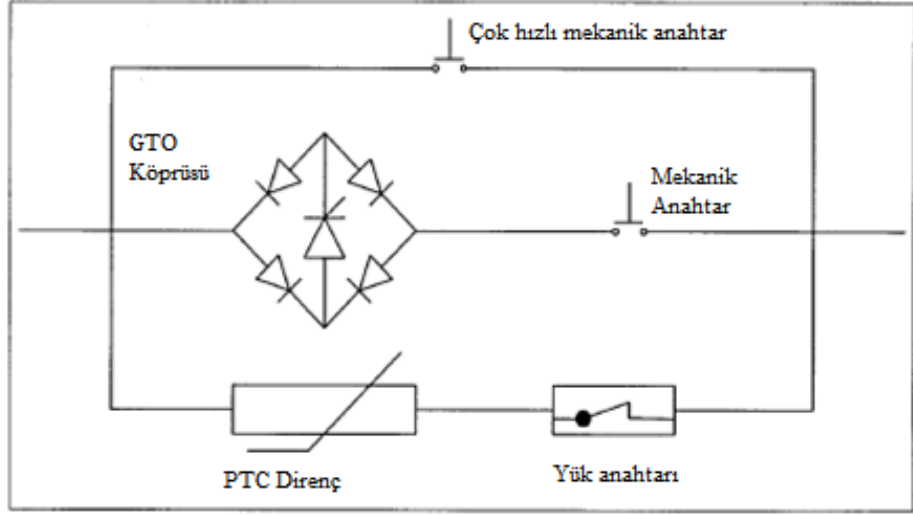
Özellikle dağıtılmış üretimli sistemlerde katı-hal arıza akımı sınırlayıcılar pasiflere göre birçok avantaj sunmasına rağmen, anahtarlama kayıpları ve harmonikler başlıca sorunlardır. Arıza akımı sınırlandırılırken sistem güvenliğini, kararlılığı da göz önüne almak gerekir.

Mekanik kesiciler ve anahtarlar neredeyse hiç devre kayıplarına sahip olmamalarına rağmen, çabuk işlem yapamazlar. Bu özelliklerden dolayı, mekanik anahtarların açma işlemlerinin güç elektroniği yardımıyla yapılması araştırma konusu olmuştur.

Güç elektroniği elemanlarıyla düşük empedanslı bir akım yolu sağlanarak, mekanik anahtarların ark problemleri ortadan kaldırılarak açma olayını gerçekleştirmesi sağlanabilmektedir.

Şekil 2.13'deki arıza akımı sınırlandırıcı sürekli hal çalışma durumunda, yük anahtarı da dahil tüm anahtarlar kapalıdır. GTO köprüsü de iletimdedir. Bir arıza meydana geldiğinde, çok hızlı mekanik anahtar birkaç yüz mikrosaniyede açılır. GTO köprüsü iletimden çıkar ve akım PTC üzerinden akar.

GTO köprüsüne seri olan anahtar ise, GTO iletimden çıktığında GTO üzerine aşırı gerim düşmesini önler. Yük anahtarı, sınırlandırılmış akımı keser. Böylece sistemin zarar görmesi de önlenmiş olur.



Şekil 2.13 : Hibrid arıza akımı sınırlayıcı [34]

3. ARIZA AKIMI SINIRLAYICILARIN MODELLENMESİ

Bu bölümde zaman domeninde geçici hal incelemeleri yapan PSCAD [38] güç sistemleri analiz programı ile AAS'nin sistem üzerindeki etkileri incelenecektir. Benzetimlerde kullanmak üzere pasif ve katı-hal arıza akımı sınırlayıcıları modellenecek ve dağıtım sistemi üzerindeki etkileri karşılaştırılarak incelenecektir. Örnek sistem üzerinde, akım sınırlama yetenekleri ve gerilim seviyesindeki değişikliklerin modellere göre nasıl farklılık gösterdiği, PSCAD® ile gerçekleştirilecektir.

3.1 PSCAD® Benzetim Yazılımı

PSCAD® tüm güç sistemlerinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi için kullanılan, hızlı, kesin sonuçlar veren ve kullanımı kolay benzetim yazılımıdır. PSCAD®, PSCAD®/EMTDC™ olarak da bilinir. Çünkü; EMTDC™, PSCAD® grafik ara yüzünün entegre benzetim motorudur. PSCAD®, zaman domeninde ani değer çözümü ve elektromanyetik geçici hal analizlerini, elektrik ve kontrol sistemlerinde gerçekleştirebilmektedir.

Bu çalışmada arıza akımı sınırlayıcıların güç sistemi üzerindeki etkilerini incelemek için bilgisayar ortamında gerçekleştirilen PSCAD® ile yapılmıştır.

PSCAD® devrelerin kurulması, benzetimin koşulları ve sonuçların alınmasında grafik kullanıcı ara yüzünü kullanmaktadır. PSCAD®, tüm elektrik sistemlerine ait bileşenlerin olduğu bir kütüphaneye sahiptir. Kütüphanesinde, pasif elemanlar, kontrol fonksiyonları, kompleks modeller, elektrik makineleri, iletim hatları ve kablo modelleri gibi hazır modeller mevcuttur.

PSCAD® yazılımı ile Alternatif akım makineleri ve güç sistemlerinde arıza analizleri, röle koordinasyonu transformatör doyma etkileri, harmonik analizleri vb. incelemeler gerçekleştirilebilir.

3.2 Arıza Akımı Sınırlayıcı Türleri için göz önüne alınan Modeller

3.2.1 Pasif arıza akımı sınırlayıcı modeli : süper iletken AAS

SİAAS daha önce de belirtildiği üzere en önemli ve yüksek potansiyele sahip olan sınırlayıcı türüdür. Zaman domeni incelemelerinde kullanılabilecek model YSSİ'yi kullanarak geliştirilebilir. Temel olarak, yüksek geçirgenlikli malzemeler sürekli hal çalışmada düşük empedans özelliği gösterirken, arıza durumunda yüksek empedansa sahip olurlar. AAS, bir süper iletkenin sisteme seri bağlanmasından meydana gelmektedir.

Benzetim incelemesinin gerçekleştirilmesinde, süper iletkeni modellemek için Şekil 3.1'deki gibi değişken değerli bir bobin kullanılmaktadır. Bu bobinin endüktans değeri arıza yokken sıfıra yakınken, arıza meydana geldiğinde, mili saniyeler mertebesinde yükselerek maksimum değerine ulaşmaktadır.



Şekil 3.1 :Süper iletken arıza akımı sınırlayıcı temel sistem şeması [38].

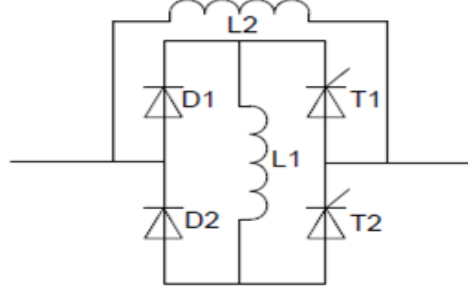
Süper iletken arıza akımı sınırlayıcı ile ilgili tüm PSCAD programı model detayları ve çalışma prensibi EK A'da verilmiştir.

3.2.2 Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcı modeli

Bu modelde tristörlü güç elektroniği kullanarak, akım sınırlayıcı, arıza meydana geldiğinde sisteme dahil edilmektedir. Normal çalışma koşullarında, sınırlayıcı devrede değildir.

Şekil 3.2'de devre şeması verilen model şu bileşenleri içermektedir,

1. DC Reaktör
2. 2 diyot
3. 2 IGBT
4. Akım sınırlayıcı reaktör (bobin)



Şekil 3.2 Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcı modeli [17].

Normal çalışma koşullarında, IGBT T1 ve T2 ve diyotlar D1 ve D2 iletimde kalmaktadır. Tüm akım diyot ve IGBT köprüsü üzerinden akmaktadır. Pozitif ve negatif çevrimlerde birer taraflarından geçmektedir. L1 den akan akım sabit ve gerilim düşümü sıfırdır.

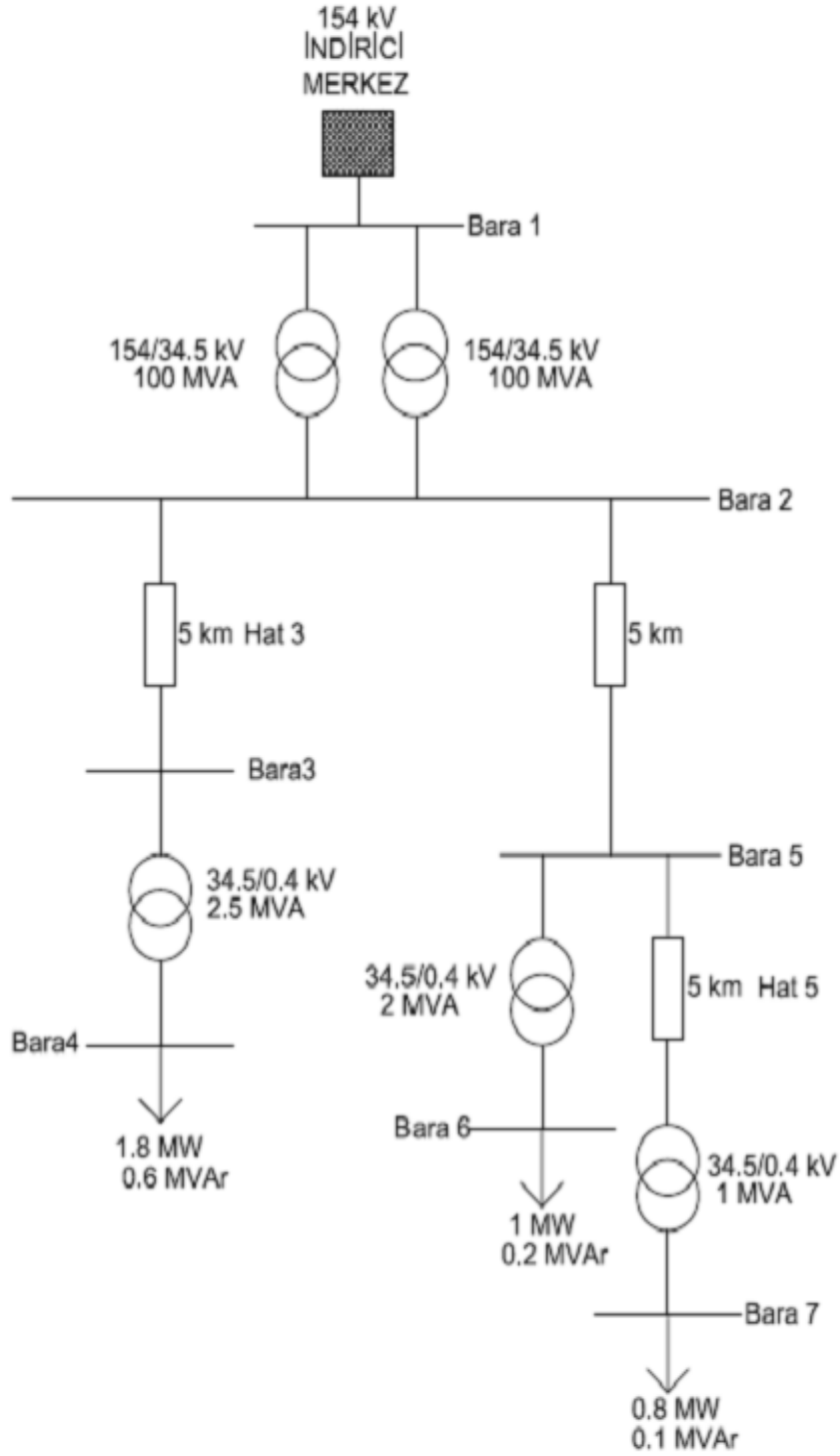
Arıza olduğu anda T1 ve T2 kapıları OFF olmaktadır. Milisaniyeler sonra, tüm akım sınırlayıcı reaktör olan L2 üzerinden akmaktadır. Burada L1 DA reaktörü, güç elektroniği elemanları kullanımdan doğan Gerilim düşümünü azaltmak için kullanılmaktadır.

Katı-hal arıza akımı sınırlayıcı ile ilgili tüm PSCAD programı model detayları EK B’de verilmiştir.

3.3 Örnek Sistem

Benzetim incelemelerinde, 154 kV’luk yüksek gerilim hattıyla başlayan ve transformatörler ile 34.5 ve 0.4 kV mertebelerine ulaşan bir güç sistemi kullanılmıştır. Bu sistem Muğla’nın Fethiye ilçesindeki 154 kV ‘luk indirici merkezindeki güncel bilgiler temel alınarak, örnek sistem, şebekenin radyal bir kolu olarak ele alınmıştır. Frekans 50 Hz’dir. Sistem yapısı ve temel parametreler Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Yüksek gerilimi 34.5 kV seviyesine indiren 100 MVA’lık 2 transformatör paralel olarak OG şebekesini beslemektedir. Dağıtım transformatörlerine giden hatlar yeraltı XLPE kablo ile donatılmıştır.

Teiaş’ın 07.11.2011 tarihinde yayınladığı tabloda Fethiye 154 kV’luk indirici merkezdeki yüksek gerilim baralarının kısa devre akımı 4.1kA olarak verilmektedir. Verilen bu akım değeri kullanılarak yapılan hesaplamada sisteme ait kısa devre gücü 1000 MVA olarak bulunmuştur.

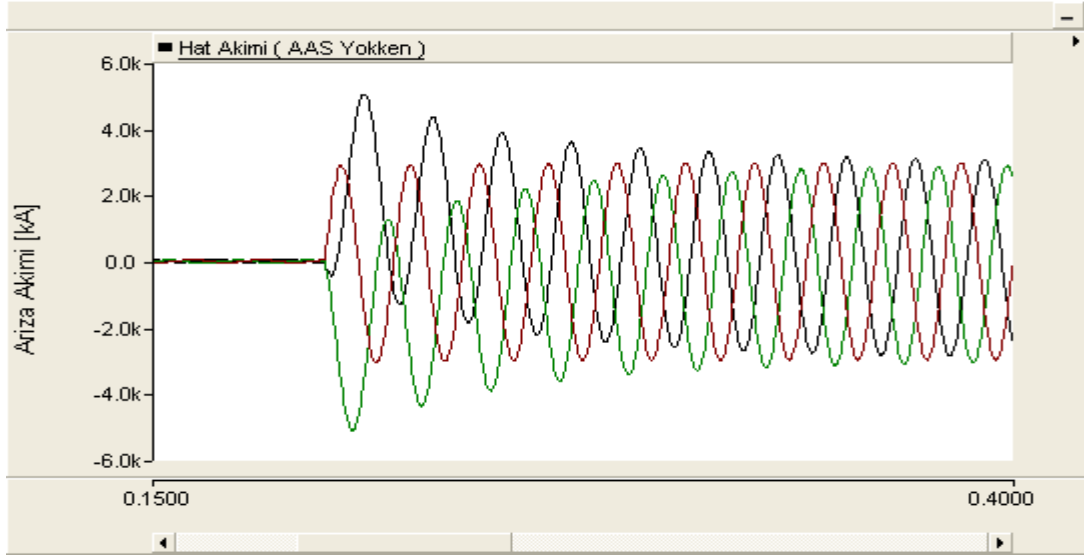


Şekil 3.3 : Örnek test sistemi tek hat şeması

Bu sistemde tek kaynak ile beslenen radyal şebeke sistemi kullanılmaktadır. İletim hatları ve transformatörler den oluşan sistemde, 3. barada üç faz dengeli arıza meydana gelmektedir. Şebekeye ait bilgisayar modeli detayları EK C’da verilmektedir.

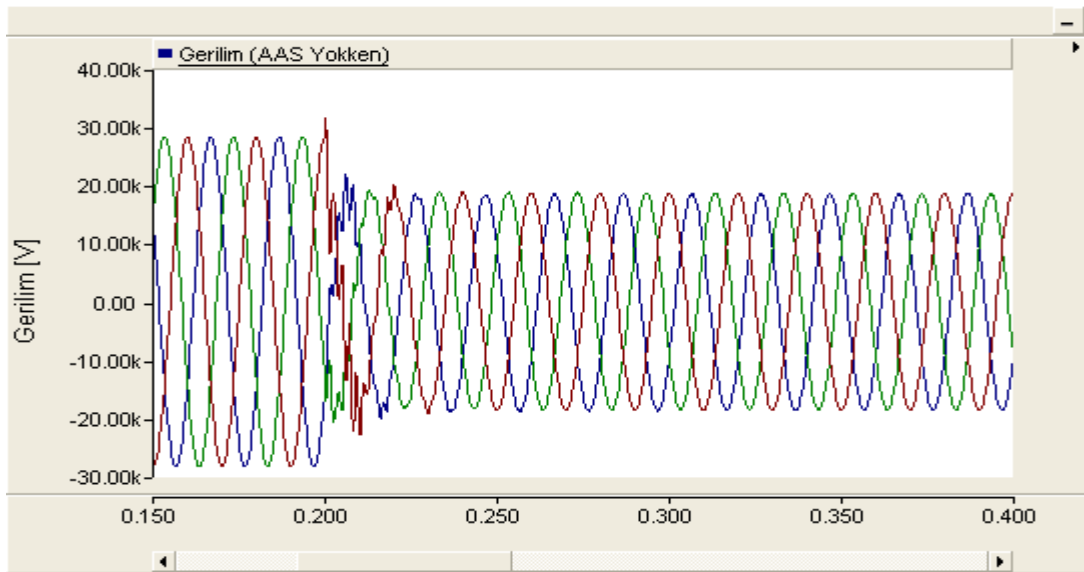
3.3.1 Durum 1. arıza akımı sınırlayıcı yokken sistem durumu

İlk durumda sisteme arıza akımı sınırlayıcı dahil edilmediği durumda, arıza meydana geldiğinde sistemin davranışı incelenecektir. Şekil 3.4’de $t=0.2$ sn anında 3 faz arızası meydana geldiğinde akımın değişimi görülmektedir. Arıza meydana gelmeden önce, akımın tepe değeri 36 A iken, arıza meydana geldiği ilk çevrimde 5 kA seviyesine yükselmektedir.



Şekil 3.4 : AAS'nin olmadığı durumda akım değişimi

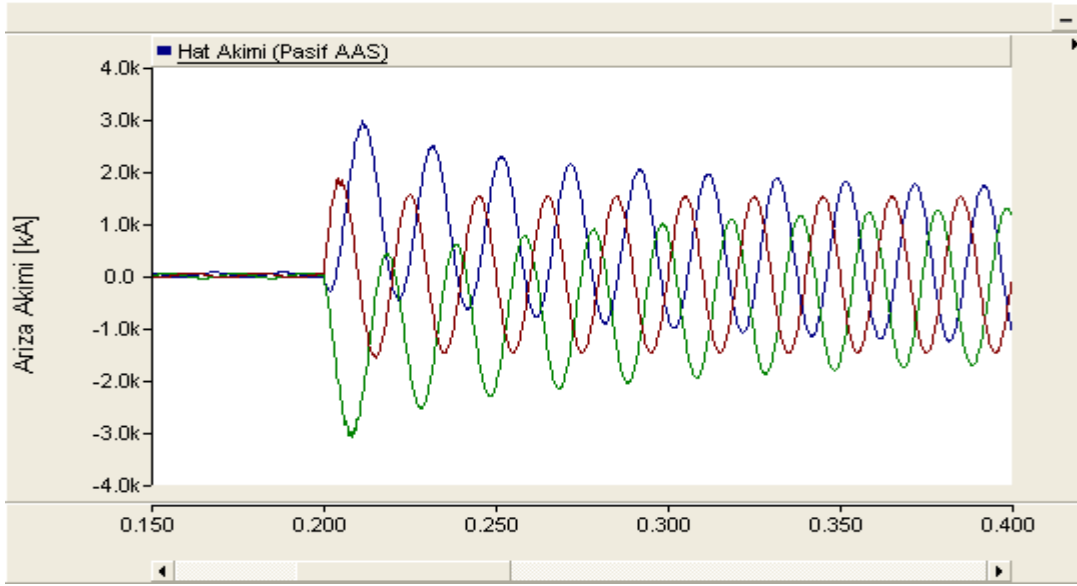
Dengeli 3 faz arızası meydana geldiğinde, 34.5kV 'luk gerilim seviyesinde olan hatta gerilim değeri 20 kV'a kadar düşmektedir. Şekil 3.5'te buna ait benzetim sonucu görülmektedir.



Şekil 3.5 : AAS'nin olmadığı durumda gerilimin değişimi

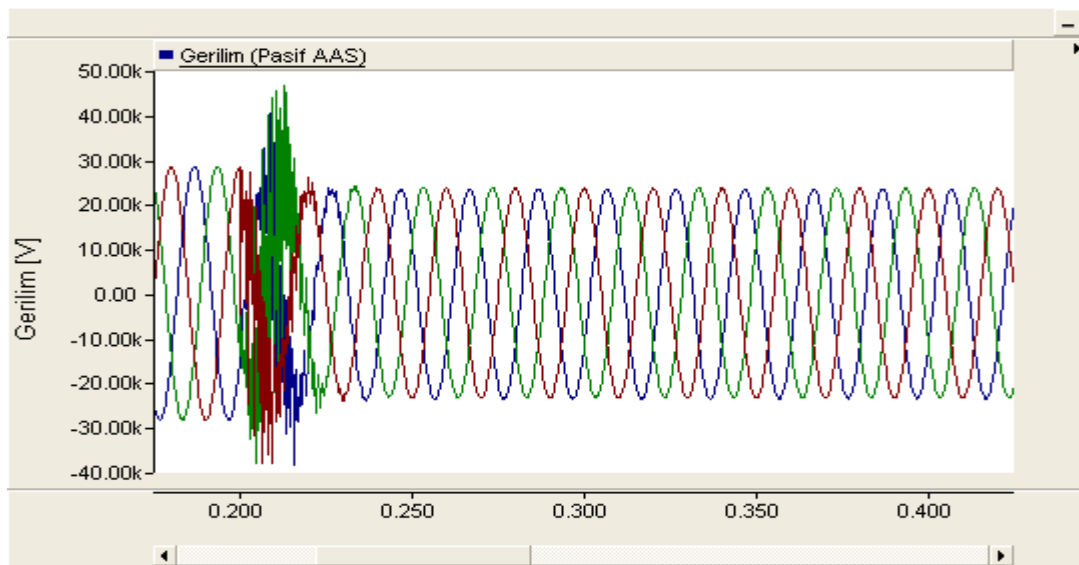
3.3.2 Durum 2. arıza akımı sınırlayıcı sisteme dahil edildiğinde

Bu durumda mevcut sisteme pasif süper iletken arıza akımı sınırlayıcı dahil edilmektedir. Normal çalışma koşullarında arıza akımı sınırlayıcı devrede olmadığı için, AAS'siz durumla aynı akım izlenmektedir. Üç faz dengeli arızası meydana geldiğinde ise, önceki durumda 3 kA mertebesine çıkan akım değeri Şekil 3.6'da da görüldüğü üzere 2 kA tepe değerinde sınırlandırılmaktadır.



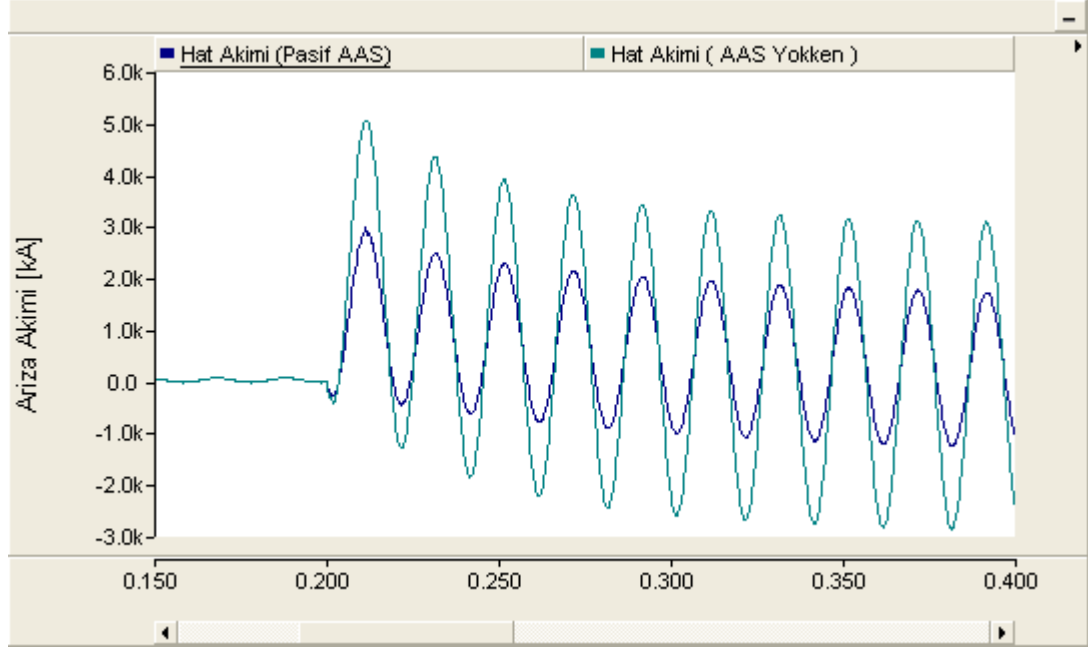
Şekil 3.6 : Pasif AAS'nin olduğu durumda akım değişimi

AAS yokken 20 kV'a kadar düşen fider gerilimi, sisteme AAS dahil edildiğinde 23.5 kV değerinde olmaktadır. Şekil 3.7'de buna ait benzetim sonucu görülmektedir.

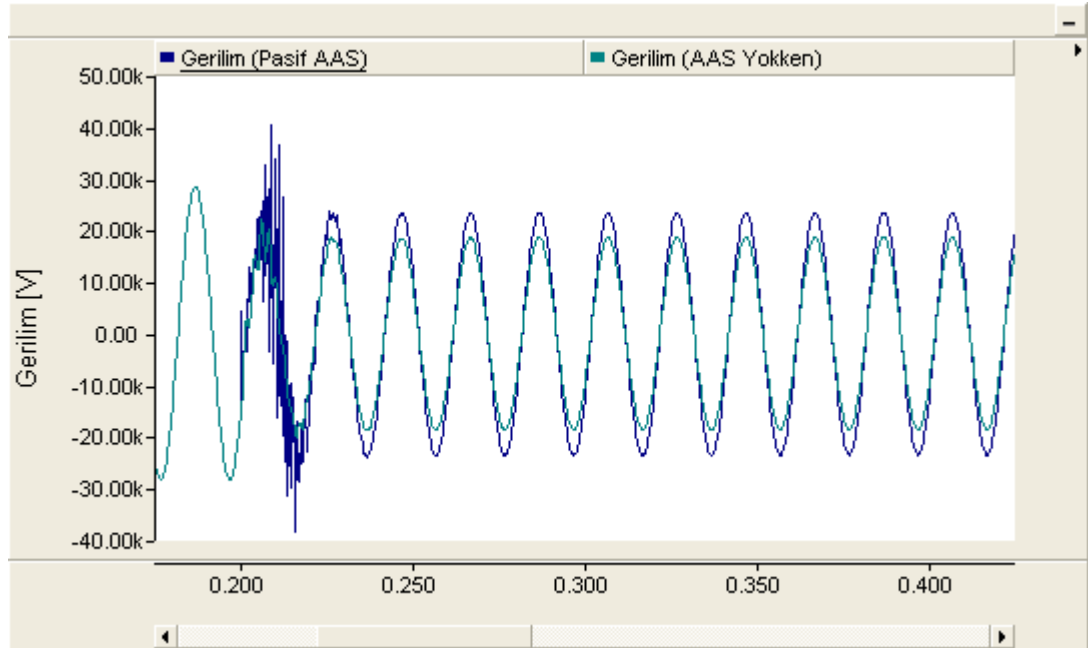


Şekil 3.7 : Pasif AAS'nin olduğu durumda akım değişimi

Eğer arıza akımı sınırlayıcı varken ve yokken akım değişimi incelendiğinde, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi arıza anından itibaren milisaniyeler mertebesinde akımın sınırlandığını görülmektedir. Normal çalışma koşullarında akım sınırlayıcı güç elektroniği elemanlarıyla veya sahip olduğu süper iletkenlik özelliği sayesinde sistemin çalışmasını etkilememektedir. Herhangi bir akım artışı veya gerilim düşümü söz konusu olmamaktadır. Şekil 2.9’da da gerilime ait değişim verilmiştir.



Şekil 3.8 : Pasif AAS’nin olduğu ve olmadığı durumda akım değişimi

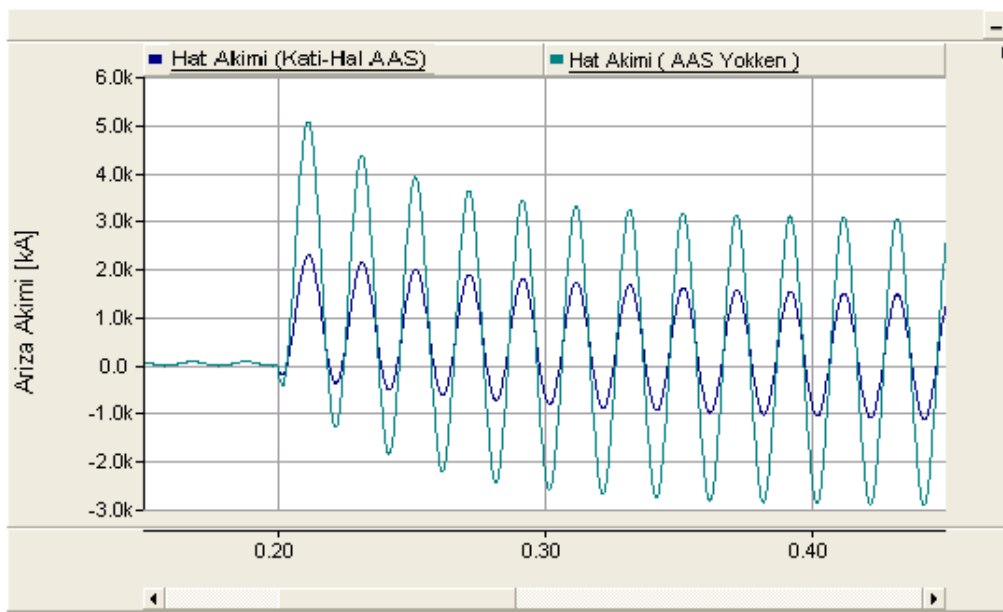


Şekil 3.9 : Pasif AAS’nin olduğu ve olmadığı durumda gerilim değişimi

3.4 Arıza Akımı Sınırlayıcıları Modelleri Benzetimi (Katı hal)

Bu bölümde 3.2.2 bölümünde modellenen arıza akımı sınırlayıcıların dağıtım sistemi üzerindeki etkilere incelenecektir. Amaç, AAS'nin akım sınırlama, fider gerilimi değerlerindeki etkilerini PSCAD® yazılımı ile göstermektir.

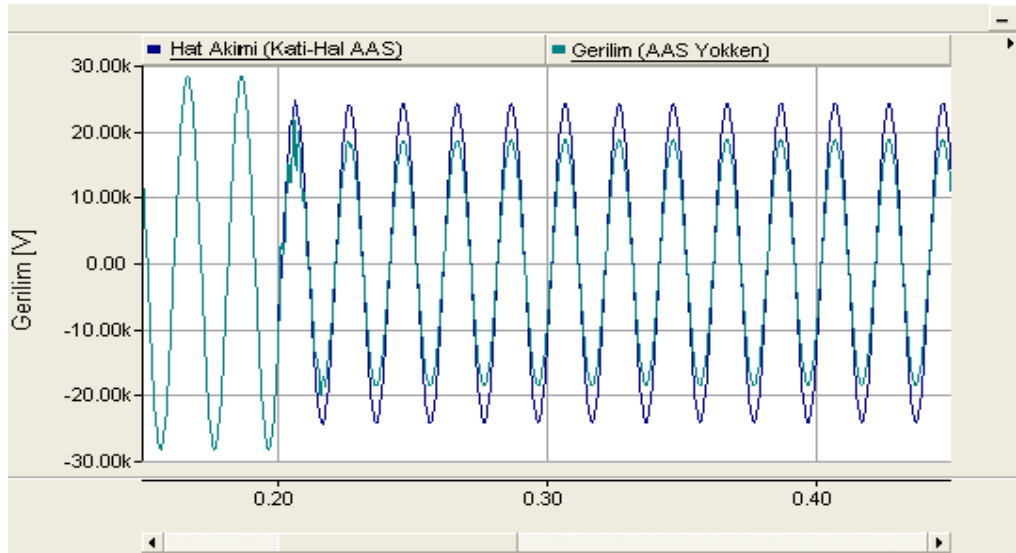
Mevcut test sisteminde akım sınırlayıcı olmadığı durumda arıza akımının değeri 5 kA seviyesine çıktığını daha önceki benzetim incelemelerinden görmekteyiz. Modellenen akım sınırlayıcı modeliyle akımın sınırlandırılarak 2 kA seviyesine düştüğü görülmektedir. Şekil 3.10'da buna ait akım değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 3.10 : KHASS'nin olduğu ve olmadığı durumda akım değişimi

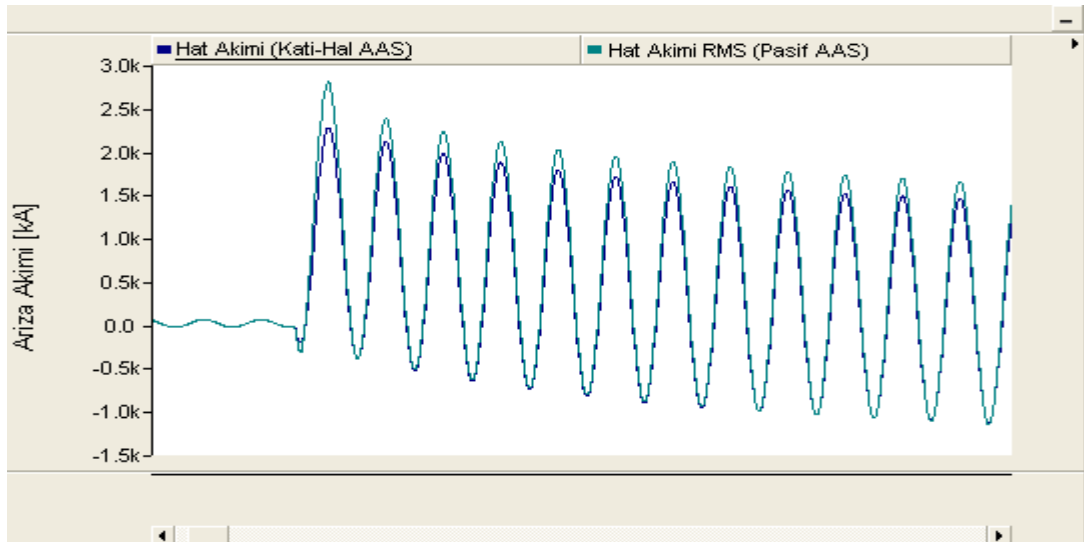
Arıza akımı sınırlayıcının bir diğer etkisi de fider gerilimine olacaktır. Arıza anında yaşanan gerilim düşümü, akım sınırlayıcının sisteme dahil edilmesiyle iyileşmesi beklenmektedir.

Şekil 3.11'de arızadan kaynaklanan 34.5 kV'luk fiderdeki A fazına ait gerilim düşümünün grafiği görülmektedir. Arıza meydana gelmeden önce 34,5 kV olan faz gerilimi arıza meydana geldiğinde 22,5 kV'a kadar düşmektedir. Arıza akımı sınırlayıcı olan sistemde ise gerilim 31,25 kV seviyesindedir. Sınırlayıcı ile birlikte gerilim düşümünde iyileşme olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11 : KHASS'nin olduğu ve olmadığı durumda gerilim değişimi

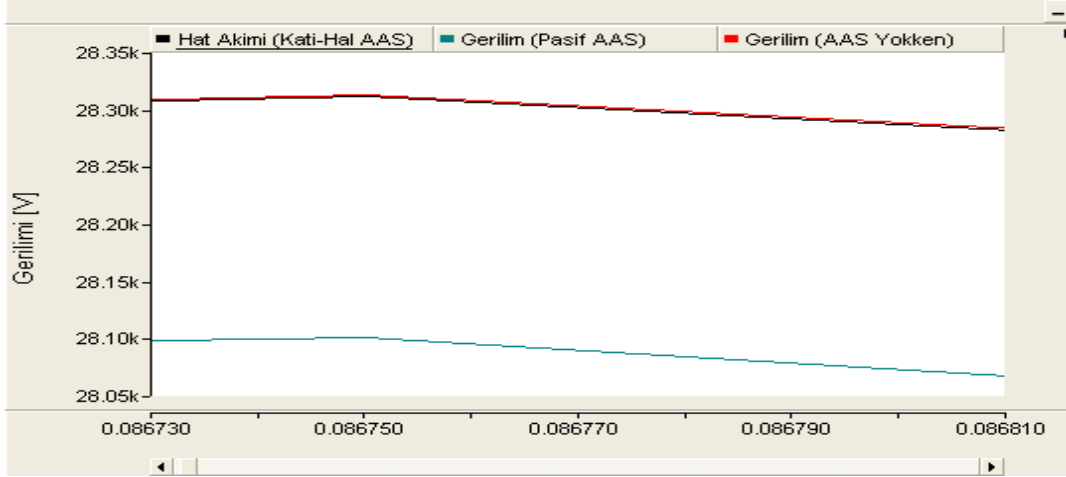
Bu bölümde pasif süper iletken arıza akımı sınırlayıcı ile katı hal arıza akımı sınırlayıcı modelin aynı endüktans değerinde akım sınırlandırma yeteneğini karşılaştırsak; elde edilen benzetim incelemeleri sonuçları KHAAS'nın daha hızlı ve etkili bir sınırlandırma yaptığı görülmektedir. Güç elektroniği elemanları ve arıza algılama sistemi arıza meydana geldiğinde çok hızlı bir şekilde sınırlandırıcıyı devreye soktuğu için bu gözle görülür fark meydana gelmektedir. Arıza akımının değişimi Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 : Pasif ve katı kal AAS akım sınırlandırma yeteneği karşılaştırması.

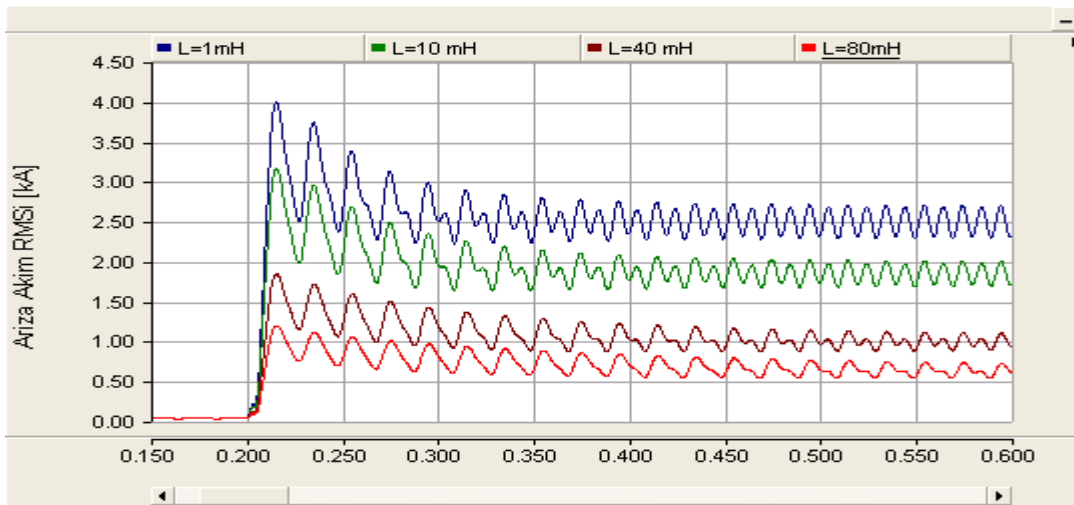
Pasif sınırlandırıcılar arıza yokken de devrede oldukları için, her ne kadar sıfır değerine yakın bir değerde endüktansa sahip olsalar da gerilim düşümüne neden

olmaktadırlar. Katı-hal arıza akımı sınırlayıcılar ise normal çalışma koşullarında devrede olmadıkları için bu olumsuz etkiye yol açmazlar. Şekil 3.13’de görülen gerilim eğrilerinde 3 durum için benzetimler elde edilmiştir. KHAAS olduğu durumda, AAS yokkenki durumla hemen hemen aynı gerilim değeri görülmektedir. Ancak, pasif AAS sisteme dahil edildiğinde gerilimde azalma meydana gelmektedir.



Şekil 3.13 : Pasif ve katı hal AAS gerilim düşümü karşılaştırması.

Arıza akımı sınırlayıcının en önemli bileşeni endüktanstır. Akım endüktans tarafından sınırlandırılmaktadır. Endüktans değerinin en uygun seviyede olması bu yüzden önem kazanmaktadır. Şekil 3.14’de de görüldüğü üzere endüktans değeri arttıkça arıza akımı azalmaktadır. Artan empedans değeriyle arıza akımındaki azalma da artmaktadır. Ancak, bu beraberinde maliyet problemini getirmektedir. Bu yüzden endüktans değerinin maliyet ve azaltma oranı dikkate alınarak boyutlandırılması gerekir.



Şekil 3.14 : Değişen endüktans değerleriyle arıza akımının değişimi.

4. DAĞITILMIŞ ÜRETİM VE ARIZA AKIMI SINIRLAYICILAR

4.1 Dağıtılmış Üretim Sistemine Genel Bir Bakış

Günümüzde enerji kaynaklarının azalması, elektrik enerjisiyle çalışan tüketicilerin artması ve geleneksel enerji üretiminin çevreye vermiş olduğu zararlar nedeniyle alternatif enerji üretim çeşitlerine yönelim vardır. Fosil yakıtların kullanımının yanı sıra, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biyogaz, jeotermal enerjinin birincil enerji kaynağı olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Geleneksel yöntemle büyük güçlü santrallerde üretilen elektrik enerjisi, uzun iletim hatları ile son tüketiciye ulaştırılmaktadır. Alternatif olarak son yıllarda dağıtılmış üretim sistemleri ile üretici ile tüketici birbirine yakın olmakta, daha küçük güçte yerel üretim sistemleri sisteme katılmaktadır. Yani, üretim-iletim-dağıtım zincirindeki iletim halkası çıkartılarak üretimden doğrudan dağıtıma enerji verilebilmektedir. Özellikle son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin artmasıyla birlikte dağıtılmış üretim santrallerinin sayısı hızla artmaktadır.

Tüm bu açıklamalar ile birlikte dağıtılmış üretimi, tüketiciye yakın elektrik üreten tesisler olarak tanımlayabiliriz. DÜ kullandığı birincil enerjiye göre iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıt kullanan kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgar, jeotermal, gelgit vb gibi doğal kaynaklardan elde edilen enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedir. Fosil yakıtlı sistemler ise geri dönüşümü olmayan kaynakları kullanarak enerji üretmektedir [44].

Dağıtılmış üretim (DÜ), dağıtım sistemine bağlanan elektrik güç kaynağı olarak da tanımlanabilir. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki dağıtılmış üretim gün geçtikçe önem kazanmakta ve şebekeye dahil edilmektedir.

Dağıtılmış üretim sisteminin hem tüketiciler için hem de üretim tesisleri için bir çok faydası vardır. Tüketiciye yakın tesis edildikleri için elektrik enerjisinin iletilmesinin çok maliyetli olduğu yerlerde uygun bir çözüm olmaktadır. Gerek iletim gerekse dağıtım altyapısına ihtiyaç duymamaları yatırım maliyetlerini düşürmektedir.

Özellikle elektrik enerjisi kesintisine tahammülün olmadığı banka, hastane, otel vb. yerlerde sürekli enerji için çözüm olmaktadır. Bununla birlikte gün geçtikçe pahalı hale gelen elektrik ücretlerine bir çözüm olmaktadır [50]. Elektrik enerjisinin üreticiye ulaştırılmasında önemli kısımlardan biri olan iletim bölümü, dağıtılmış üretimde olmadığı için bu kısımda oluşabilecek kayıp ve arızalar yaşanmamaktadır. Dağıtılmış üretimin bir diğer olumlu yanı ise, elektrik dağıtım şirketlerinin tekelinde bulunan elektrik enerjisine alternatif oldukları için rekabet ortamı oluşturmaktadır.

Günümüzde çevreye gösterilen duyarlılığın artmasıyla daha ekolojik ve çevreye zarar vermeyen elektrik enerjisi üretimi için bir çözüm olmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi kirliliğe, karbondioksit ve sera gazları salınımına neden olmadığı için tercih edilmektedir. Böylelikle hem doğal kaynakları tüketmeden hem de ekolojik dengeye zarar vermeden elektrik enerjisi temin edilebilmektedir. Bu yüzden ülkemizin de imzalamış olduğu Kyoto protokolü ile küresel ısınma ve iklim değişikliklerini önlemek için zararlı gaz salınımlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar dağıtılmış üretime olan ilgiyi arttırmaktadır.

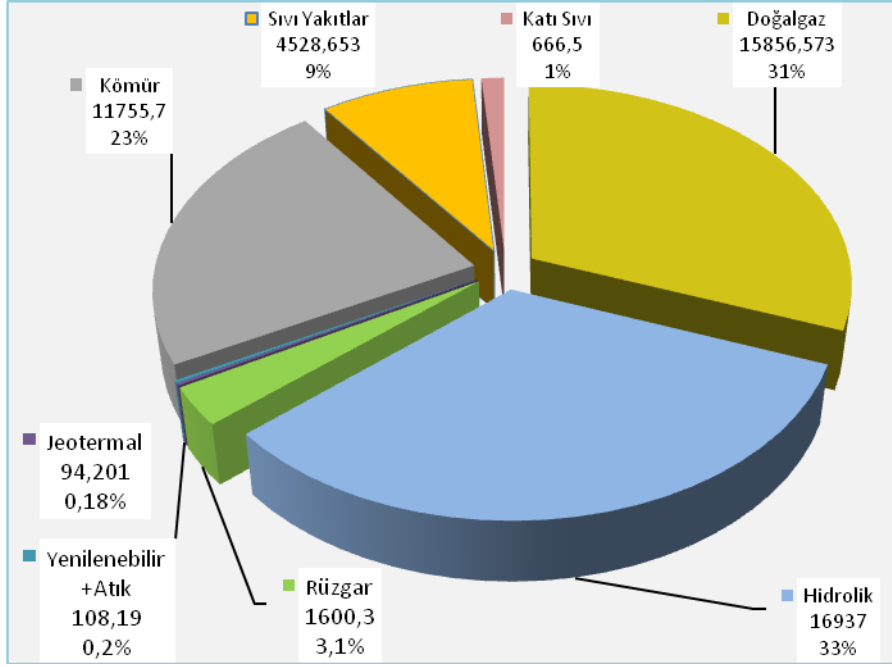
Tüm bu faydalarının yanında dağıtılmış üretimin neden olduğu olumsuzlar da vardır. Mevcut sistemde DÜ'lerden kaynaklanan problemler de ortaya çıkmaktadır. Radyal şebekelerde yük durumlarına göre, akım çift yönlü olarak akabilmektedir. Bu yüzden mevcut röle koordinasyonu bundan etkilenecek düzgün çalışmamaktadır. DÜ'lerin şebekeye bir başka etkisi de arıza akımı seviyelerini yükseltmeleridir. Bu durum da koruma sistemlerinde daha fazla mekanik zorlanma ve ısınmalara neden olmaktadır. Bu yüzden koruma sisteminin yapılandırılması bu etkilere göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Dağıtım sistemlerinde kabul edilen gerilim dalgalanması hem yüksek gerilim düzeyinde hem de alçak gerilim düzeyinde $\pm\%10$ mertebesinde-dir. DÜ mevcut şebekede bu limitlerin aşılmasına neden olabilmektedir. Dağıtılmış üretim mevcut şebekeye dahil edilirken, gerilimi bu limitlerin üstüne çıkarmamasına veya altına düşürmemesine dikkat edilmelidir. Sistem tasarlanırken bu limitler göz önünde bulundurulmalıdır.

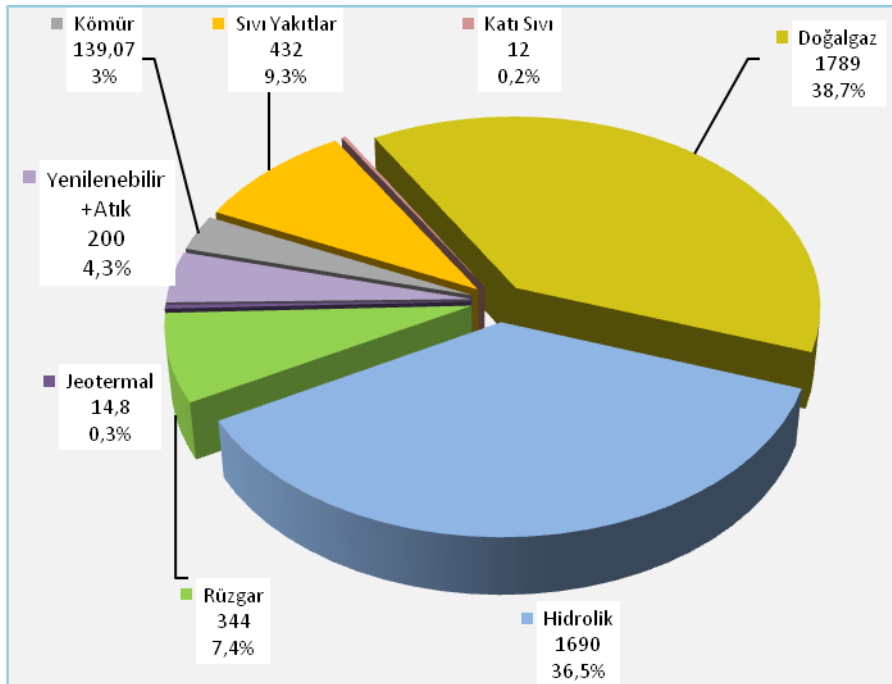
Dünyada gelişen yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi mevcut elektrik şebekesine dağıtılmış üretim santrallerinin (DÜS) eklenmesine neden olmaktadır. Ülkemizde de özellikle doğalgaz kullanımının yaygınlaşması ve yenilenebilir enerji

kaynaklarına olan ilginin artmasıyla ulusal enterkonnekte sistemimize yeni DÜS'ler eklenmektedir.

2011 sonu TEİAŞ bilgilerine göre ülkemizin toplam kurulu gücü 51547,1 MW iken dağıtılmış üretimin kurulu gücü 4620,91 MW değerindedir. Bu güçlerin kaynaklara göre dağıtım grafikleri Şekil 4.1 ve 4.2 'te verilmiştir.



Şekil 4.1 : 2011 Sonu itibariyle Türkiye'nin kurulu gücü [49].



Şekil 4.2 : 2011 Sonu İtibariyle Türkiye'nin dağıtılmış üretim kurulu gücü [49].

4.2 DÜ'nün Dağıtım Sistemi Üzerindeki Etkileri ve AAS Uygulamaları

Mevcut şebekeye yeni DÜS eklenmesiyle şebeke tasarımında kullanılacak planların bu doğrultuda düzenlenmesi gerekmektedir. Dağıtılmış üretim, baralardaki gerilim seviyelerini etkilemekte, arıza akımlarının seviyesini yükseltmekte ve enerji kalitesinin olumsuz yönde etkilemektedir. İşletim, koruma ve diğer fonksiyonların bu değişikliklerden etkilenmemesi için tedbirler alınması zorunludur. Alınabilecek doğru tedbirlerle dağıtılmış üretimden en üst düzeyde verim alınabilir. Dağıtılmış üretimin güç sistemlerindeki etkisini azaltmak için yapılan düzenlemeler maliyetleri arttırmakta ve DÜ'nin sisteme olan faydasını azaltmaktadır.

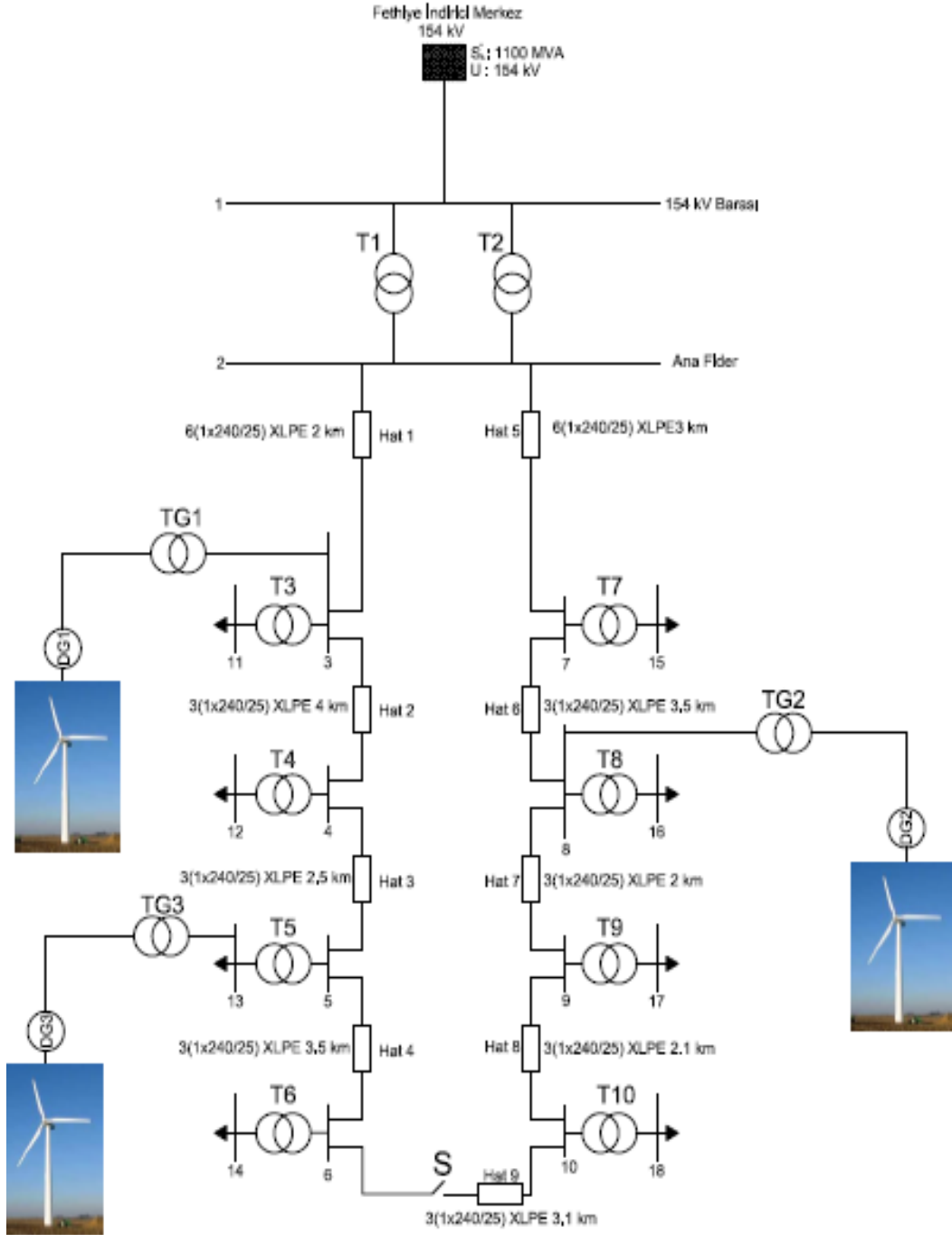
Sistemin yük yapısını değiştirmek çoğu zaman zor olduğu için, uygulanabilecek metotlardan birisi DÜ'nün neden olduğu aşırı arıza akımlarının seviyesini sınırlandırmaktır. Bu doğrultuda arıza meydana geldiğinde akımı sınırlandırmak için arıza akımı sınırlayıcısı kullanmak önerilen çözüm olacaktır. Bu yöntemin en önemli avantajı mevcut röle koordinasyonunu sağlayan koruma sistemini düzenleme ihtiyacı duyulmamasıdır.

Bununla birlikte akımın sınırlandırılırken, arıza anında meydana gelen gerilim düşümü de azaltılmaktadır. Arıza anında meydana gelen ani gerilim düşümü generatörün kararlı çalışmasını engellemektedir. Gerilim düşümü engellenerek bu dengesizlik azaltılabilmektedir.

Bu bölümde dağıtılmış üretimin dağıtım sistemindeki etkileri incelenecektir. DÜ'nün sistemde neden olduğu arıza akımı artışında ve gerilim dengesizliğinde arıza akımı sınırlayıcının etkisi PSCAD® yazılımı ile benzetim incelemesi gerçekleştirilerek gözlemlenecektir.

Şekil 4.3'te bu bölümde kullanılacak olan test sistemi görülmektedir. Kullanılan test sistemi Muğla İli'nin Fethiye İlçesi'ne ait açık halka şebeke tipidir. Dalaman ilçesinden gelen TEİAŞ'a ait 154 kV 'luk iletim hattı Fethiye'yi beslemek üzere Fethiye indirici merkezine gelmektedir. İndirici merkezde bulunan 2 adet 100 MVA gücündeki güç transformatörü gerilimi 34,5 kV' düşürerek Fethiye dağıtım sistemini beslemektedir. Yeraltı XLPE tipi yüksek gerilim kablosu ile birbirine bağlanan, açık halka şebekeyi oluşturan 8 adet çeşitli güçlerdeki dağıtım transformatörü bölgedeki tüketicilere cevap vermektedir.

Dağıtılmış üretimde varolacağı göz önüne alınarak, 3. ve 8. baralarda olmak üzere 2 adet yüksek gerilim 34,5 kV kısmında, 13. barada olmak üzere 1 adet alçak gerilim kısmında rüzgar generatörü şebekeye dahil edilmiştir. 3. baradaki generatör 2 MVA, 8. baradaki generatör 5 MVA, 13. baradaki generatör ise 500 kVA'dır. Test sistemine ait tüm parametre ve program detayları Ek-D'dedir.

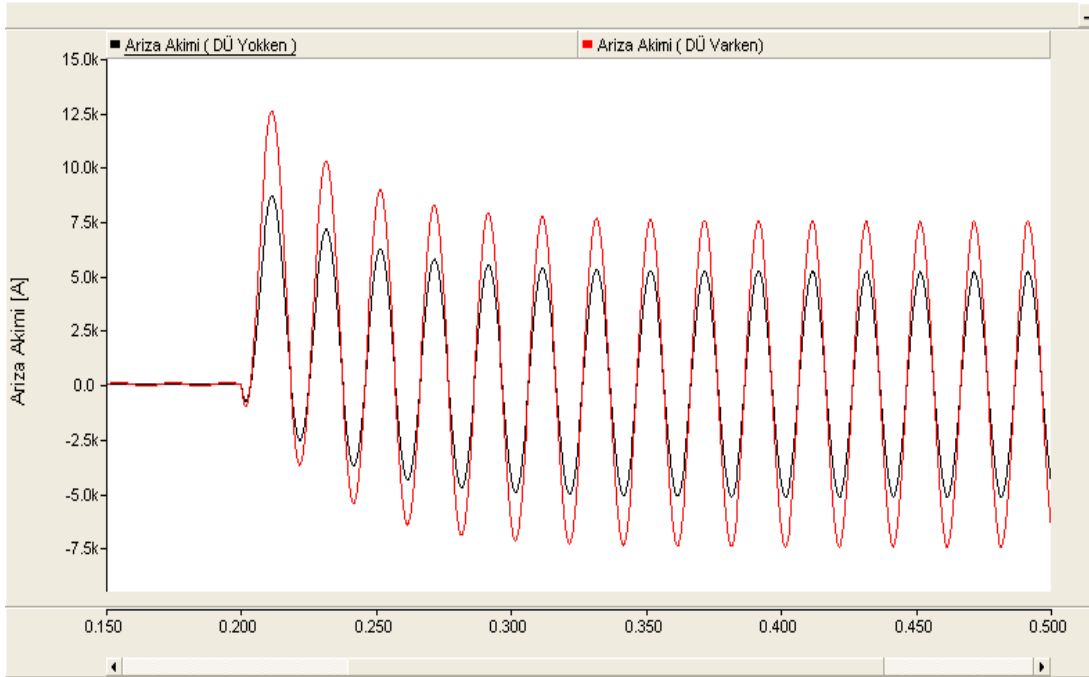


Şekil 4.3 : Dağıtılmış üretim içeren açık halka test dağıtım sistemi.

4.2.1 Arıza durumunda DÜ etkisi

Dağıtılmış üretimin elektrik sistemine en önemli olumsuz etkisi arıza meydana geldiğinde olmaktadır. DÜ'lü sistemde arıza meydana geldiğinde akım seviyesi DÜ'süz sisteme göre daha fazla olmaktadır. Gerilim düşümlerinin fazla olması sistem kararlılığını bozmakta ve sistemin toparlanma süreleri uzamaktadır. Bu da mevcut koruma elamanlarının yeniden boyutlandırılmasına ve röle koordinasyonu gibi işlevsel özelliklerin görevini doğru yapamamasına neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için katı-hal arıza akımı sınırlayıcı sisteme dahil edilerek akım ve gerilimdeki değişimler incelenecektir.

Şekil 4.4 'da görüldüğü üzere dağıtılmış üretimin olmadığı durumda arıza akımının tepe değeri 8,6 kA ile başlayıp 5,2 kA'de kararlı hale gelmektedir. Ancak DÜ sisteme dahil edildiğinde arıza akımının tepe değeri arıza oluş anına bağlı olarak meydana gelen DA bileşeninden dolayı 12,5 kA seviyesinde olup, 7,7 kA değerinde devam etmektedir.



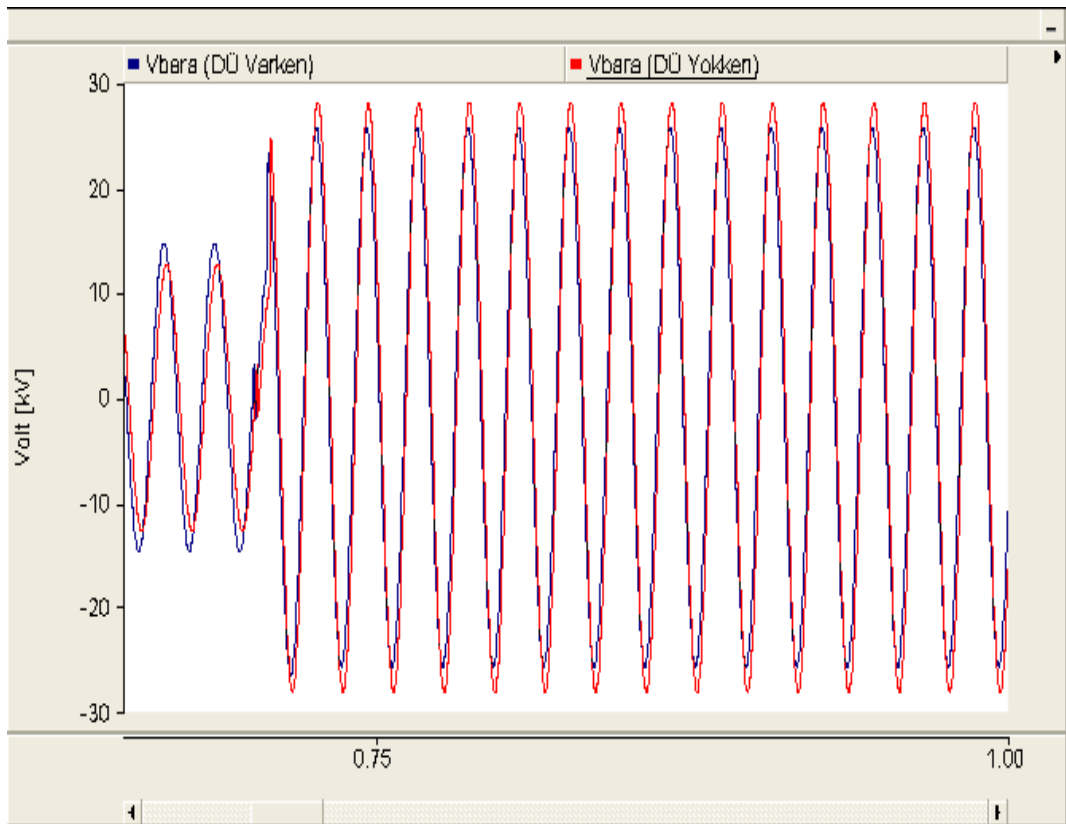
Şekil 4.4 : Arıza durumunda dağıtılmış üretimin akıma etkisi.

Kısa süreli geçici arızalarda sistemin enerjisiz kalmasını önlemek için re-closer (otomatik tekrar kapatici) kullanılmaktadır. Özellikle havai hatların olduğu şebekelerde kullanılan, enerji sürekliliğin sağlanması, kalitenin artırılması zamandan tasarruf etme ve operatör güvenliği gibi konularda avantaj sağlayan otomatik tekrar

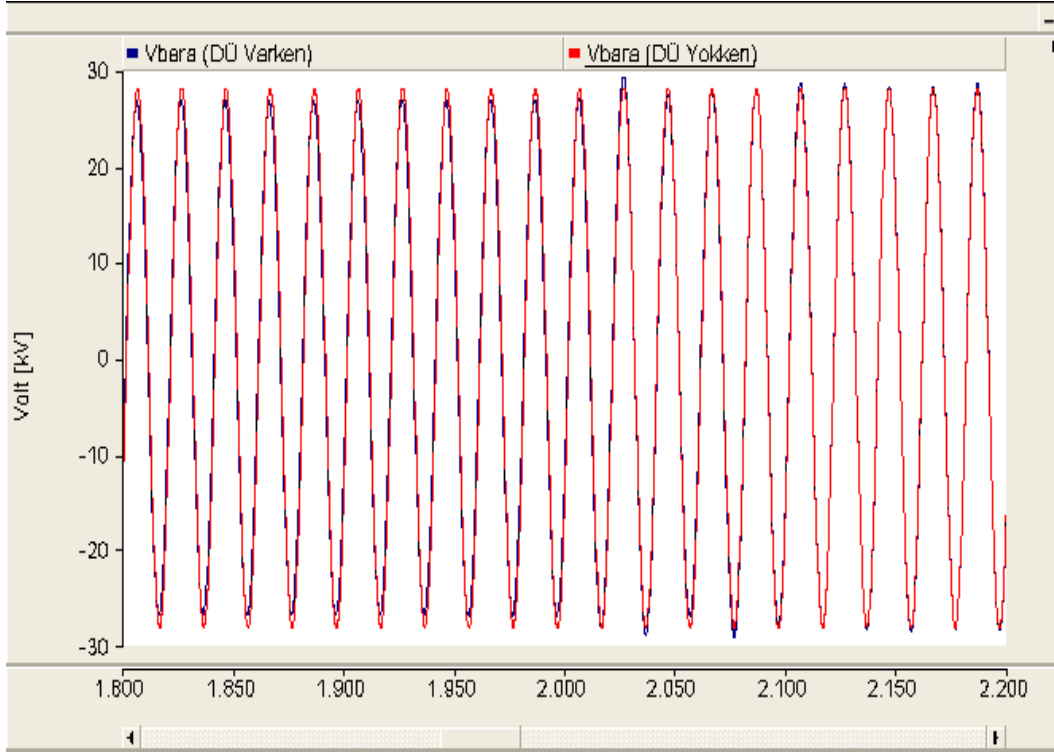
kapaticılar, arıza meydana geldikten sonra müdahale gerektirmeden bir süre sonra devreyi kapatmaktadır. Yağmur, rüzgar, kuş çarpması, fırtına gibi geçici arızalara karşı sistemi korumayı amaçlamaktadır. Arıza geçici bir arızaysa, sistem sürekliliği sağlanmış olur. Bu şekilde 2 ila 3 açma ve kapamadan sonra arıza hala devam ediyorsa sistemi bir daha kapanmamak üzere açmaktadır.

Bu durumlarda arıza geçtikten sonra, sistemin kararlı hale gelebilmesi için belli bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu sürenin olabildiğince kısa olması sistem güvenilirliği ve kalitesi bakımından önem taşımaktadır.

Dağıtılmış üretim sistemin gerilim üzerindeki olumsuz etkileri görmek için PSCAD ile benzetim incelemeleri yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Şekil 4.5 ve 4.6’da dağıtılmış sistemin olduğu ve olmadığı durumlarda gerilim değişimleri görülmektedir. 0,2 sn’de meydana gelen arıza 0,7 sn’de ortadan kalkmaktadır. Dağıtılmış üretim sistemli durumda gerilimin sürekli hale gelmesi 1,3 sn daha geç olmaktadır. Bu da mevcut koordinasyonu sağlayan röle vb. koruma ve düzenleme elemanlarının çalışmalarını olumsuz etkileyebilmektedir.



Şekil 4.5 : DÜ'lü ve DÜ'süz sistemde gerilim toparlanması t:0,65-1 sn.



Şekil 4.6 : DÜ’lü ve DÜ’süz sistemde gerilim toparlanması t: 1,8-2,2sn.

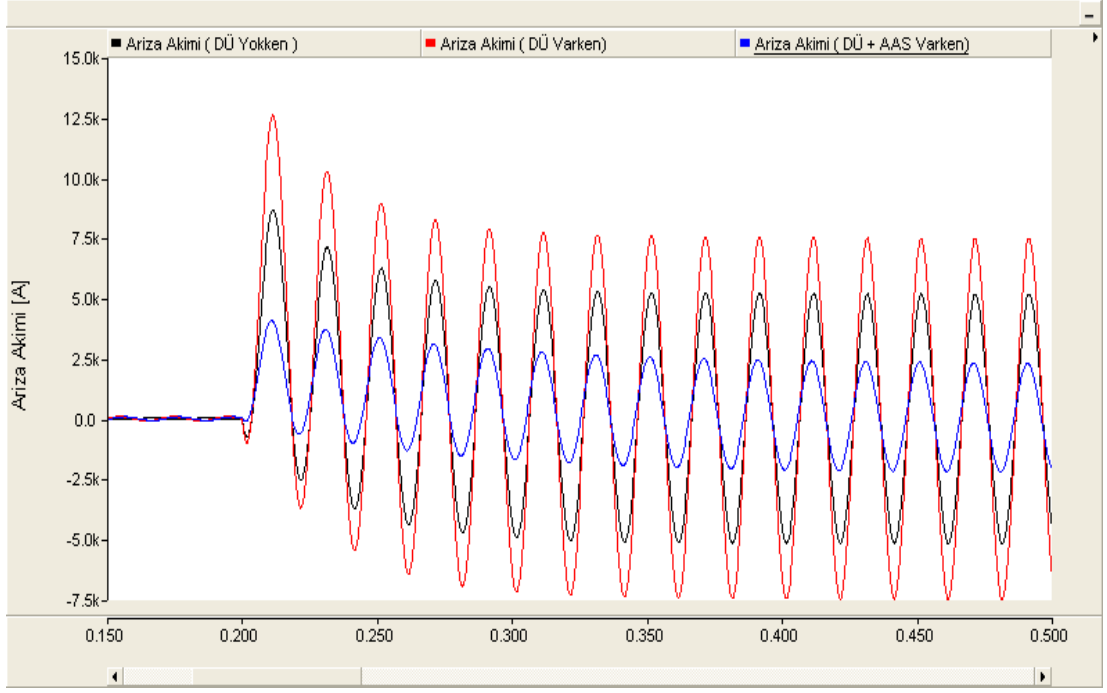
4.2.2 AAS’nin DÜ’lü sisteme etkisi

Dağıtılmış üretimi sisteminin arıza meydana geldiğinde akım seviyesini yükseltmesinden kaynaklanan sistem kararsızlıkları, koordinasyon bozuklukları ve gerilim düşümlerini önlemek için 3. bölümde modellenen katı-hal arıza akımı sınırlayıcı sisteme dahil edilmiştir.

AAS’nin sisteme dahil edilmesiyle arıza akımı ve gerilimin nasıl değiştiği grafikler yardımıyla açıklanmaktadır.

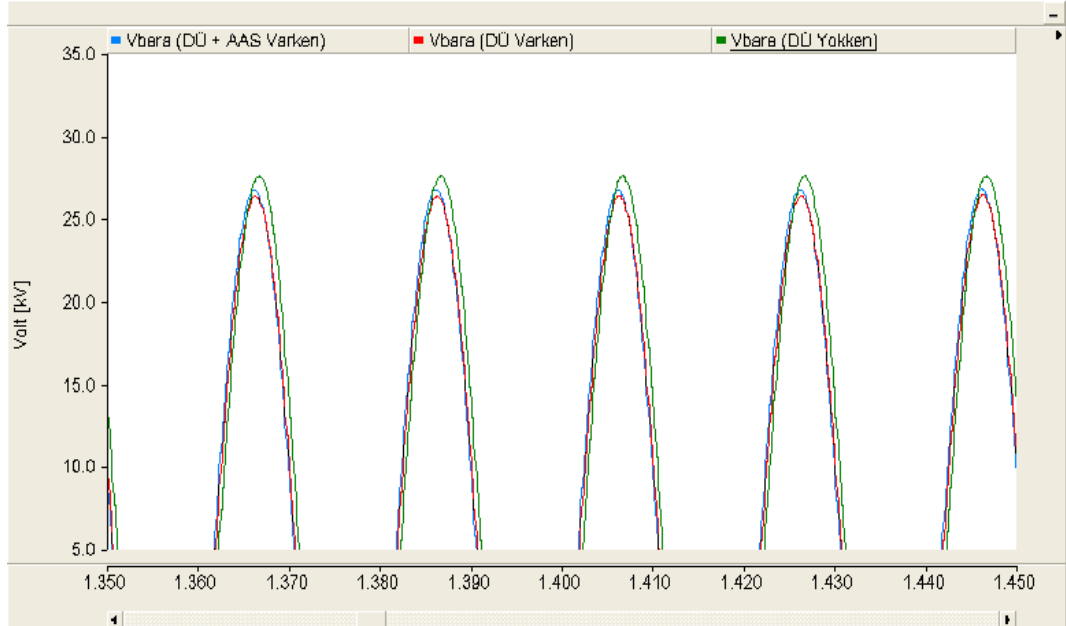
DÜ sistemde yokken arıza akımın tepe tepe değeri 8,6 kA ile başlayıp 5,2 kA’de sürekli hal durumuna gelmektedir. Ancak DÜ sisteme dahil edildiğinde arıza akımının tepe değeri 12,5 kA seviyesinde olup, 7,2 kA değerinde devam etmektedir. Şekil 4.7’de de görüldüğü üzere KHAAS sisteme dahil edildiğinde arıza akımının tepe değeri 4 kA, devam eden sürelerde ise 2.5 kA mertebesinde olmaktadır. Arıza akımında ciddi bir azalma meydana gelmiştir. DÜ’nün arıza akımını arttırıcı etkisi engellenmiştir.

Böylelikle arıza akımının, koruma ve düzenleme elemanlarının hem kapasitelerinin üzerine çıktığı durumlarda hem de mevcut koordinasyonu bozduğu durumlarda KHAAS uygun bir çözüm olmaktadır.



Şekil 4.7 : Arıza akımı sınırlayıcı varken ve yokken arıza akımı değişimi.

KHASS'nin DÜ içeren sisteme dahil edilmesiyle arıza bittikten sonra baranın geriliminin toparlanması iyileşmektedir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi sınırlayıcı dahil edildiğinde gerilim toparlanıncaya kadar nominal değere daha yakın olmaktadır. Böylece sistemin kararlı hale geçmesi kolaylaşmaktadır.



Şekil 4.8 : DÜ'lü sistemde arıza anında sınırlayıcı varken ve yokken gerilim toparlanması

5. AAS'nin EN UYGUN YERE YERLEŞTİRİLMESİ

Elektrik şebekesinde meydana gelen arızalarda, büyüyen enerji talebini karşılamak için artan elektrik üretimi akımın yüksek değere çıkmasına neden olmaktadır. Gelişen ve genişleyen güç sistemleri ile birlikte kısa devre akımlarının sınırlandırılması, sistem kararlılığı, güvenilirliği ve kalitesi açısından önem taşımaya ve gereklilik göstermeye başlamıştır. Arıza akımı sınırlayıcılar bu konuda önemli bir çözüm haline gelmektedir.

Çeşitli AAS türleri güç sistemleri dahil edilmektedir. Güç sistemlerinde AAS'nin faydasını incelemek için, yük akışı ve kısa devre akımı analizlerinde AAS'nin davranışı da göz önüne alınmalıdır. AAS 'nin doğru modellenmesi ve en uygun şekilde yerleştirilmesi için bu gerekmektedir.

Arıza akımı sınırlayıcılar, elektrik şebekesine dahil edilirken, en uygun yerleşim yerinin belirlenmesi ekonomik ve etkili bir akım sınırlandırma işlemi için gereklidir. AAS 'nin en uygun yerinin belirlenmesi, olası arıza yerlerinin önceden tahmin edilebilmesi durumunda kolay olmaktadır. Ancak; gün geçtikçe karmaşık bir hal alan ve genişleyen elektrik güç sistemlerinde bu problem çözülmesi daha zor hale gelmektedir. Bu yüzden, günümüz elektrik şebekelerinde arıza akımının sınırlandırılması ve bunun için gerekli AAS yerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Değişik en iyileme yöntemleri uygulanmaktadır. [21-25]

Bilindiği üzere bir güç sisteminde arıza akımı sınırlayıcıları, meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda akacak akım miktarını azaltmak ve kesicilerin maksimum akım kesme sınırını sağlamak gibi avantajları vardır. Eğer güç sisteminde arıza oluşacağı varsayılan bir konum (bara veya hat gibi) var ise, buna göre arıza akımının miktarını düşürmek için arıza akımı sınırlayıcının/sınırlayıcıların yerleştirileceği hat için en iyi adaylar belirlenebilir. Yani herhangi bir sistem noktasına arıza olacağı senaryosu üretiliyorsa, bu anda arıza akımının en düşük seviyede seyretmesi için arıza akımı sınırlayıcıların hangi hatta konmasının en iyi çözümü üreteceği söylenebilir. Bunun için arıza akımı sınırlayıcıların farklı hatlara

konması sonucu bara arıza akımı miktarının en fazla düştüğü hat veya hatlar bulunur. Gerçekte normal şartlar altında arızanın hangi barada gerçekleşeceğine dair kesin bir bilgi mevcut değildir ve bu yüzden sistem planlamacısı bütün olasılıkları göz önünde bulundurmak isteyebilir. Bu durumda arıza akımı sınırlayıcıların bulunması gereken en iyi konum (hat), arızanın gerçekleşebileceği tüm aday noktalarda en iyi durumu meydana getirmelidir. Bütün olası arıza noktaları adına en düşük arıza akımı senaryosunu sağlayan hat, arıza akımı sınırlayıcıların bulunması gereken en iyi nokta olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada arıza akım sınırlayıcı için en uygun yer belirlenirken duyarlılık analizi ile en iyi aday noktalar belirlenecektir. Bunun için PowerWorld Simulator adlı güç sistemlerinin çalışmalarının benzetimlerinin gerçekleştirilebildiği, güç sistemi benzetim yazılımı kullanılacaktır. PowerWorld Simulator, güç sistemindeki tüm bara, iletim hattı, transformatör ve generatörler hakkında gerilim, akım, aktif ve reaktif güç, kayıplar ve tüm parametreler hakkında bilgi vermektedir. Yük akışının sonuçlarını tablolar halinde sunmaktadır.

Duyarlılık analizi ile belirlenen aday noktalarından en uygununun bulunması için karar verme yöntemlerinden yararlanılacaktır. Karar verme yöntemi olarak ağırlıklı toplam modeli kullanılacaktır. Çoklu amaçları bir arada ele almamıza olanak sağlayan karar verme yöntemlerinden birisi olan bu model için belirlenen kriterler, arıza akımındaki azalma, gerilim düşümü ve aktif ve reaktif güç kayıplarıdır. Mevcut şebeke yapısında arıza akımının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılırken diğer kriterler de göz önünde bulundurulmalıdır. Kimi zaman arıza akımının azaltılması için yerleştirilen AAS, diğer kısımlarda hat kayıplarına ve gerilim değişimlerine neden olabilmektedir. Bu nedenle tasarımcının şebekeyi şekillendirirken bunları dikkate alması gerekir.

Duyarlılık analizleri, bir çok bilimsel araştırma çalışmalarında kullanılmaktadır. Arıza akımı sınırlayıcıları konusunda da duyarlılık analizi incelemelerde çözüm sürelerinin kısalmasını ve daha kolay seçim yapılmasını sağlamaktadır. [23,45,46].

Duyarlılık, kısaca uyarana gösterilen tepkinin oranı olarak tanımlanabilir. Duyarlılık analizi de bir veya birden çok değişkende meydana gelen değişimlerin neden olduğu fonksiyondaki varyasyonları minimize eder. [46] Buna rağmen, bir çok güç

sisteminde bir veya birkaç sistem parametresi ile değişimleri arasında bir ilişki kurmayı amaçlamaktadır.

Duyarlılık analizinin güç sistemlerinde kullanılmasının bir çok nedeni vardır; [47]

1. Sistemin parametre değişimlerine verdiği cevap hakkında bilgi vermektedir. Bu doğrultuda uygun parametreler seçilebilir.
2. Güç sistemlerinde oluşabilecek en kötü durumun bulunmasına yardımcı olur.
3. Başlangıç koşullarından elde edilen duyarlılık verileri doğrusal olmayan sistemlerin kararlı durum koşullarında kullanılabilir.
4. Duyarlılık analizi tolerans analizlerinde, sistem tasarımında ve en iyilemede son derece kullanışlıdır.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinde ön bilgiler için duyarlılık analizi, çözüm süresini kısaltmak ve gereksiz yere işlem yapmak zorunda kalınmamak için kullanılmaktadır.

Karar verme yöntemlerinde üç temel adım bulunmaktadır; [48]

1. İlgili kriter ve alternatiflerin belirlenmesi.
2. Kriterlere ve alternatiflerin bu kriterlere olan etkisine ait sayısal ölçüm deęerlerinin belirlenmesi.
3. Alternatiflerin en uygun sıralamasının belirlenmesi için sayısal sonuçların belirli bir yöntemle işlenmesi.

Karar verme problemlerinde M alternatif ve N kriter olsun. Alternatifler, A_i ($i = 1,2,3,...$) olarak kriterler C_j ($j = 1,2,3,...,N$) olarak tanımlanmaktadır. Her bir C_j kriterinin sistem için önemi veya ağırlığı belirlenmelidir. Tüm ağırlıkların toplamı (5.1)'deki gibi olacaktır.

$$\sum_{j=1}^N W_j = 1 \quad (5.1)$$

Bununla birlikte karar verme sürecinde a_{ij} ($i = 1,2,3,...,M$ ve $j = 1,2,3,...,N$); A_i alternatiflerinin ağırlıkları belirlenmelidir. Böylece karar verme matrisi oluşturulabilir. Çizelge 5.1'de karar verme matrisine ait kriterleri ve alternatifleri içeren bir örnek verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Karar verme matrisi (KVM) [48]

	Kriterler				
	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _N
Alternatifler	W ₁	W ₂	W ₃	...	W ₅
A ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	...	A _{1N}
A ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	...	A _{2N}
A ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	...	A _{3N}
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
A _M	A _{M1}	A _{M2}	A _{M3}	...	A _{MN}

Son olarak tercih aşamasında alternatif A_i'nin final seçimi P_i (i = 1,2,3,...,M) ile tanımlanmaktadır. Farklı karar verme metotları P_i 'nin hesaplanmasında farklı işlemler kullanmaktadırlar. Sonuç olarak denklem (5.2) elde edilir ve en iyi alternatifler sıralanmış olur.

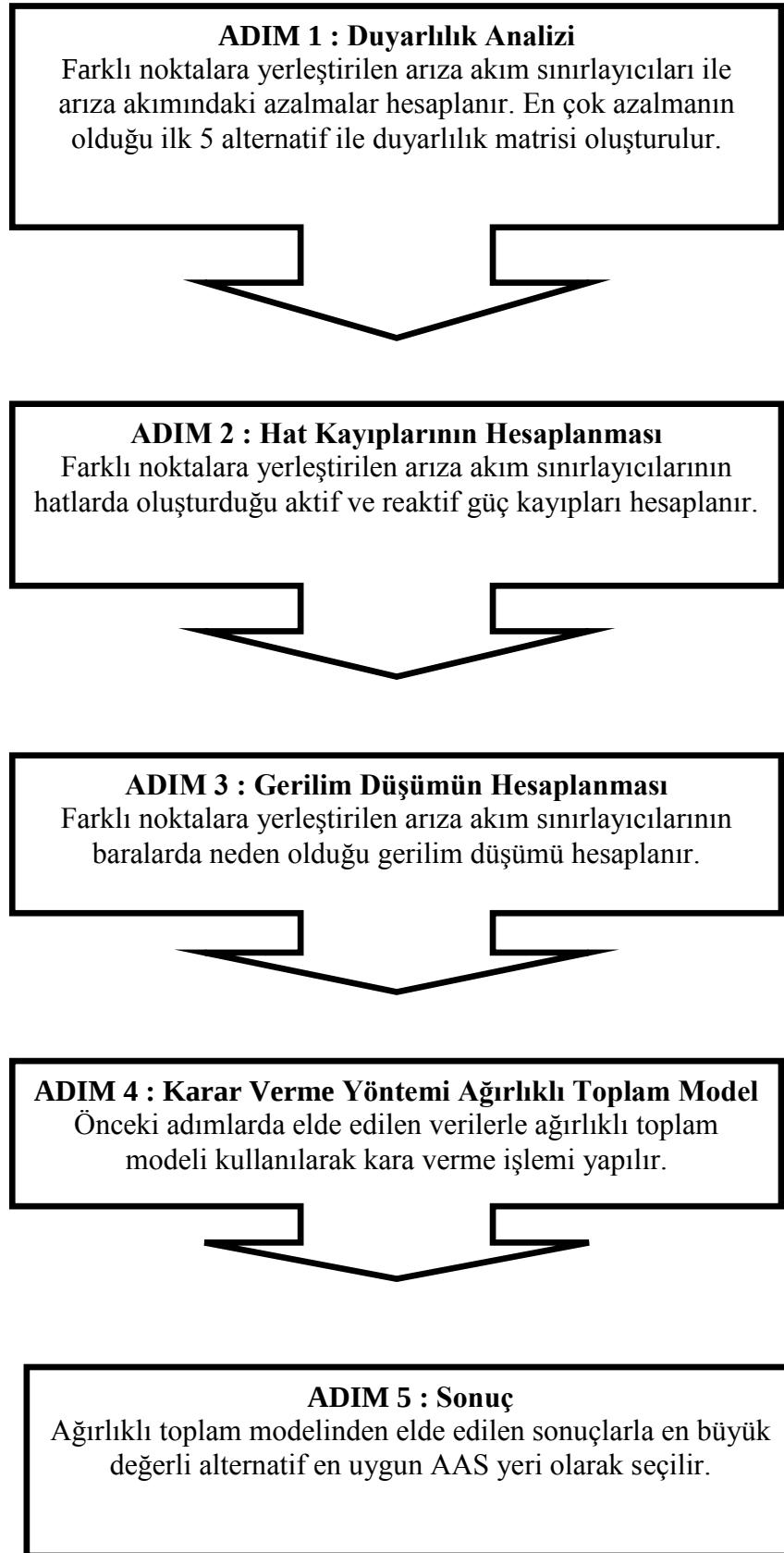
$$P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_M \quad (5.2)$$

Bu çalışmada karar verme yöntemlerinden en geniş kullanım alanına sahip olan ağırlıklı toplam modeli (ATM) kullanılacaktır. Ağırlıklı toplam modeli birden fazla fonksiyon sonucunu tek bir fonksiyon değerine dönüştürmektedir. En iyi alternatiflerin seçiminde kullanılan (5.3) ilk olarak Fishburn tarafından 1967 yılında hesaplanmıştır.

$$P_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} \cdot W_j \quad i = 0,1,2,3,\dots, M \quad (5.3)$$

Bu metoda göre en iyi alternatif en büyük değerli sonuca sahip olmalıdır. Bu yöntemde kullanılan alternatif ve kriterlerin birimi aynı olmalıdır.

Şekil 5.1’de en uygun yerin belirlenmesine ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 5.1 : En uygun AAS yerinin seçilmesine ait akış şeması

5.1 Test Sistemi 1 : Fethiye 154 kV İndirici Merkez

AAS'nin en uygun yerinin seçimi için 4. bölümde kullanılan test sistemi üzerinde incelemeler yapılacaktır.

Duyarlılık analizi ile AAS'nin en uygun yeri için iyi olan aday noktalar belirlenecektir. AAS'nin sisteme dahil edilmesi l hattına, j ve k baraları arasına Z_{AAS} empedansının yerleştirilmesi ile olacaktır. AAS'nin yerleştirilmesiyle arıza akımındaki azalma vektör olarak denklem (5.4)'deki gibi gösterilebilir.

$$\Delta I_F^l = [\Delta I_{F,1}^l \quad \Delta I_{F,1}^l \quad \dots \quad \Delta I_{F,N_B-1}^l \quad \Delta I_{F,N_B}^l] \quad (5.4)$$

Denklem (5.4)'de N_B güç sistemindeki bara sayısını vermektedir. Z_{AAS} 'nin değeri PowerWorld'de per unit sistemde çalışılacağı için 40 mH'a karşılık gelen 1 p.u. olacaktır. Test sisteminde baz güç (S_{BAZ}) 100 MVA, baz gerilim (V_{BAZ}) ise 34,5 kV'dur.

Eğer N_F^C adet baranın arıza akımının azaltılması isteniyorsa, baralarda en çok azalmaya göre S_F^l vektörü halinde yazılabilir

$$S_F^l = [(\Delta I_{F,1}^l, BN(1)) \quad (\Delta I_{F,2}^l, BN(2)) \quad \dots \quad (\Delta I_{F,N_F^C-1}^l, BN(N_F^C - 1)) \quad (\Delta I_{F,N_F^C}^l, BN(N_F^C))] \quad (5.5)$$

Denklem (5.5)'deki $BN(i)$ i. en büyük arıza akımı azalması olan baranın numarasıdır. $\Delta I_{F,i}^l$ ise AAS'nin l. hatta yerleştirilmesinden kaynaklanan arıza akımı azalması miktarıdır. Dolayısıyla, AAS yerleştirilmesi ve bara arıza akımı azalması arasındaki duyarlılık matrisi S_F (5.6)'deki gibi olmaktadır.

$$S_F = [S_F^1 \quad S_F^2 \quad \dots \quad S_F^{N_L-1} \quad S_F^{N_L}]^T \quad (5.6)$$

Denklem (5.6)'de N_L güç sistemindeki hatların sayısını vermektedir. En uygun AAS aday yerleri S_F matrisi ile belirlenebilmektedir.

Test sistemi için S_F matrisini elde etmek için öncelikle arıza akım sınırlayıcının olmadığı durumda baralardaki arıza akımları bulunacaktır. 3 faz dengeli arıza meydana geldiğinde oluşan arıza akımları Çizelge 5.2. de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : AAS olmadığı durumda bara arıza akım değerleri

BARALAR	AAS YOKKEN
	I [pu]
BARA 1	2,329557
BARA 2	2,391833
BARA 3	2,477764
BARA 4	1,956245
BARA 5	2,161531
BARA 6	1,624793
BARA 7	1,798291
BARA 8	2,121567
BARA 9	1,713021
BARA 10	1,621151

Bu çalışmada, 10 baralı örnek bir güç sisteminde söz konusu inceleme yapılmış; yerleştirilmesi planlanan bir arıza akımı sınırlayıcının konulabileceği olası 9 farklı noktaya (hatta) karşı gerçekleşen arıza akımı değişimleri Çizelge 5.3'deki elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 : AAS'nin farklı hatlarda olduğu durumda bara arıza akım değerleri

BARALAR	AAS 1.HATT A	AAS 2.HATT A	AAS 3.HATT A	AAS 4.HATT A	AAS 5.HATT A	AAS 6.HATT A	AAS 7.HATT A	AAS 8.HATT A	AAS 9.HATT A
	I [pu]	I [pu]	I [pu]	I [pu]	I [pu]	I [pu]	I [pu]	I [pu]	I [pu]
BARA 1	1,978888	2,284705	2,284707	2,326322	2,170913	2,171863	2,326286	2,326284	2,326294
BARA 2	1,983973	2,338664	2,338515	2,387855	2,204875	2,171863	2,387645	2,387672	2,387765
BARA 3	2,102534	2,246074	2,245362	2,465458	2,434528	2,434521	2,464088	2,464318	2,464974
BARA 4	1,856994	1,485824	1,487807	1,891782	1,954827	1,954668	1,890053	1,890354	1,891182
BARA 5	2,120862	1,870783	1,871415	1,999671	2,157317	2,157361	1,998012	1,998343	1,999129
BARA 6	1,623204	1,553514	1,554063	1,236273	1,587299	1,587121	1,302801	1,302904	1,302898
BARA 7	1,685104	1,795069	1,794979	1,76283	1,326212	1,443933	1,762617	1,762647	1,762735
BARA 8	2,094883	2,112697	2,112677	1,957223	1,902309	1,901154	1,956312	1,956464	1,95685
BARA 9	1,709125	1,682883	1,683193	1,469909	1,622316	1,621885	1,172746	1,468924	1,469461
BARA 10	1,619913	1,554734	1,555265	1,249228	1,580607	1,580414	1,285673	1,285764	1,24857

Çizelge 5.4’de yeşil renkli kutulardaki değerler, o hatta arıza akımı sınırlandırıcı yerleştirildiğinde arıza akımının en çok azaldığı ilk 5 barayı göstermektedir. Bu değerlerden yola çıkarak N_F^C değeri 5 olarak belirlenmektedir.

Çizelge 5.4 :AAS’nin var olduğu durumlarda baralardaki arıza akımı azalmaları

BARALAR	AAS 1.HATT A	AAS 2.HATT A	AAS 3.HATT A	AAS 4.HATT A	AAS 5.HATT A	AAS 6.HATT A	AAS 7.HATT A	AAS 8.HATT A	AAS 9.HATT A
	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]
BARA 1	0,350669	0,044852	0,04485	0,003235	0,158644	0,157694	0,003271	0,003273	0,003263
BARA 2	0,40786	0,053169	0,053318	0,003978	0,186958	0,21997	0,004188	0,004161	0,004068
BARA 3	0,37523	0,23169	0,232402	0,012306	0,043236	0,043243	0,013676	0,013446	0,01279
BARA 4	0,099251	0,470421	0,468438	0,064463	0,001418	0,001577	0,066192	0,065891	0,065063
BARA 5	0,040669	0,290748	0,290116	0,16186	0,004214	0,00417	0,163519	0,163188	0,162402
BARA 6	0,001589	0,071279	0,07073	0,38852	0,037494	0,037672	0,321992	0,321889	0,321895
BARA 7	0,113187	0,003222	0,003312	0,035461	0,472079	0,354358	0,035674	0,035644	0,035556
BARA 8	0,026684	0,00887	0,00889	0,164344	0,219258	0,220413	0,165255	0,165103	0,164717
BARA 9	0,003896	0,030138	0,029828	0,243112	0,090705	0,091136	0,540275	0,244097	0,24356
BARA 10	0,001238	0,066417	0,065886	0,371923	0,040544	0,040737	0,335478	0,335387	0,372581

Dağıtılmış üretimin mevcut şebekeye dahil edilmesi ile birlikte, genişleyen ve gelişen elektrik şebekesi daha yüksek arıza akımlarına maruz kalmaktadır. Mevcut sistemde röle,kesici vb. koruma ve düzenleme elemanlarının maruz kaldığı bu akımlar sistemin düzgün ve doğru çalışmamasına neden olmaktadır. Kimi zaman kalıcı zararlar veren yüksek seviyede akımlar mekanik zorlamalara da neden olmaktadır. Tasarımcı, arıza akımı sınırlayıcının yerini belirlerken hangi baranın kritik seviyede olduğu veya izin verilen değerlerin üzerinde olduğunu göz önüne almalıdır.

Test sistemi için elde edilen S_F matrisi (5.7)’de verilmektedir. Bu matrisi kullanarak hatta konan arıza akımı sınırlayıcının hangi baralardaki arıza akımını daha fazla azalttığı gözlemlenebilmektedir. Bu matris oluştururken arıza akımı sınırlayıcının

yerleştirilmesiyle en çok akımı azalan ilk 5 bara seçilmiştir. Böylelikle 5x9 S_F matrisi elde edilmektedir.

$$S_F = \begin{matrix} & & & & & & & & l : \text{hat} \\ \begin{bmatrix} (0,40786,2) & (0,37523,3) & (0,350669,1) & (0,113187,7) & (0,099251,4) \\ (0,470421,4) & (0,290748,5) & (0,23169,3) & (0,071279,6) & (0,066417,10) \\ (0,468438,4) & (0,290116,5) & (0,232402,3) & (0,07073,6) & (0,065886,10) \\ (0,38852,6) & (0,371923,10) & (0,243112,9) & (0,164344,8) & (0,16186,5) \\ (0,472079,7) & (0,219259,8) & (0,186958,2) & (0,158644,1) & (0,090705,9) \\ (0,354358,7) & (0,220413,8) & (0,219970,2) & (0,157694,1) & (0,091136,9) \\ (0,540275,9) & (0,335478,10) & (0,321992,6) & (0,165255,8) & (0,163519,5) \\ (0,335387,10) & (0,321889,6) & (0,244097,9) & (0,165103,8) & (0,163188,5) \\ (0,372581,10) & (0,321889,6) & (0,244097,9) & (0,164717,8) & (0,162402,5) \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{matrix} \end{matrix} \quad (5.7)$$

Test sisteminde arıza meydana geldiğinde en fazla akım 2,4777 pu değeriyle 3. barada meydana gelmektedir. 3. baraya ait arıza akımını azaltılmak istenirse, AAS'nin 1. hatta yerleştirilmesi en uygun olacaktır. Çünkü, 3. baranın arıza akımını en çok azaltan durumda 0,37523 pu'luk azalmayla 1. hatta yerleştirilen AAS etkili olmuştur.

Çizelge 5.5’de AAS’nin yerleştirilmesinde düşünülen senaryolara ait sınırlandırılan akımların toplamı görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak AAS’nin en çok akım sınırlandırdığı 7. ,1. ve 2. hatlar en uygun yer olarak düşünülebilir.

Çizelge 5.5 : Farklı AAS yerlerinde baralardaki arıza akımı azalmaları toplamı

BARALAR	AAS 1.HAT	AAS 2.HAT	AAS 3.HAT	AAS 4.HAT	AAS 5.HAT	AAS 6.HAT	AAS 7.HAT	AAS 8.HAT	AAS 9.HAT
	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]	ΔI [pu]
BARA 1	0,350669	0,044852	0,04485	0,003235	0,158644	0,157694	0,003271	0,003273	0,003263
BARA 2	0,40786	0,053169	0,053318	0,003978	0,186958	0,21997	0,004188	0,004161	0,004068
BARA 3	0,37523	0,23169	0,232402	0,012306	0,043236	0,043243	0,013676	0,013446	0,01279
BARA 4	0,099251	0,470421	0,468438	0,064463	0,001418	0,001577	0,066192	0,065891	0,065063
BARA 5	0,040669	0,290748	0,290116	0,16186	0,004214	0,00417	0,163519	0,163188	0,162402
BARA 6	0,001589	0,071279	0,07073	0,38852	0,037494	0,037672	0,321992	0,321889	0,321895
BARA 7	0,113187	0,003222	0,003312	0,035461	0,472079	0,354358	0,035674	0,035644	0,035556
BARA 8	0,026684	0,00887	0,00889	0,164344	0,219258	0,220413	0,165255	0,165103	0,164717
BARA 9	0,003896	0,030138	0,029828	0,243112	0,090705	0,091136	0,540275	0,244097	0,24356
BARA 10	0,001238	0,066417	0,065886	0,371923	0,040544	0,040737	0,335478	0,335387	0,372581
TOPLAM	1,420273	1,270806	1,26777	1,449202	1,25455	1,17097	1,64952	1,352079	1,385895

Bu çalışmada en uygun AAS yerinin belirlenmesi için sadece arıza akımındaki azalma baz alınmamaktadır. AAS’nin sistemde oluşturduğu aktif ve reaktif kayıplarla birlikte gerilim düşümü de göz önüne alınmaktadır. Pasif arıza akımı sınırlayıcıları sürekli hal çalışmada da sistemdedirler. Her ne kadar küçük değerlerde empedansa sahip olsalar da gerilim düşümüne ve kayıplara neden olmaktadır. Bunlar doğrultusunda en uygun yer belirlenirken pasif arıza sınırlayıcının sürekli halde neden olduğu olumsuz etkiler de dikkate alınacaktır.

Bu kriterlerin ortak bir paydada toplanarak sonuca ulaşabilmek için karar verme yöntemlerinden ağırlıklı toplam modeli kullanılmaktadır. Ağırlıklı toplam modelinin açıklamasında bahsedilen alternatifler AAS’nin yerleştirilmesi planlanan hatlar, kriterler ise arıza akımı azalması (ΔI), aktif kayıplar ($P_{kayıp}$), reaktif kayıplar

($Q_{kayıp}$) ve gerilim düşümü (ΔV) olacaktır. Ağırlıklı toplam modelinde dikkat edilmesi gereken en önemli unsur tüm kriterlerin birimlerinin aynı olmasıdır. Bu yüzden tüm değerler yüzde (%) olarak normalize edilecektir. .

Çizelge 5.6.'da arıza akımı azalmasının yüzdesel olarak değerleri verilmektedir. Bu arıza akımlarındaki azalmalara ait yüzdelere kriterlerden biri olacaktır. Kriterlere ait ağırlıklar göz önüne alındığında $W_{\Delta I} = 0,65$ olarak kabul edilecektir. Arıza akımı sınırlayıcının asıl amacı arıza akımının seviyesini düşürmek olduğu için ΔI ' ya ait ağırlık faktörünün diğer kriterlerin ağırlık faktörlerinden yüksek olması şüphesiz kaçınılmazdır.

Çizelge 5.6 Farklı AAS yerlerinde baralardaki arıza akımı azalmalarının yüzdeleri

BARALAR	AAS 1.HA	AAS 2.HA	AAS 3.HAT	AAS 4.HAT	AAS 5.HAT	AAS 6.HAT	AAS 7.HAT	AAS 8.HAT	AAS 9.HAT
	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]
BARA 1	15,05	1,93	1,93	0,14	6,81	6,77	0,14	0,14	0,14
BARA 2	17,05	2,22	2,23	0,17	7,82	9,20	0,18	0,17	0,17
BARA 3	15,14	9,35	9,38	0,50	1,74	1,75	0,55	0,54	0,52
BARA 4	5,07	24,05	23,95	3,30	0,07	0,08	3,38	3,37	3,33
BARA 5	1,88	13,45	13,42	7,49	0,19	0,19	7,56	7,55	7,51
BARA 6	0,10	4,39	4,35	23,91	2,31	2,32	19,82	19,81	19,81
BARA 7	6,29	0,18	0,18	1,97	26,25	19,71	1,98	1,98	1,98
BARA 8	1,26	0,42	0,42	7,75	10,33	10,39	7,79	7,78	7,76
BARA 9	0,23	1,76	1,74	14,19	5,30	5,32	31,54	14,25	14,22
BARA 10	0,08	4,10	4,06	22,94	2,50	2,51	20,69	20,69	22,98

Kriterlerden bir diğeri olan hat kayıpları aktif ve reaktif güç kayıpları olarak tanımlanmaktadır. Test sisteminde kullanılan AAS indüktif tip sınırlayıcı olduğu için reaktif güç kayıpları haliyle daha fazla olacaktır. Bu yüzden reaktif güç kaybının ağırlık faktörü, aktif gücüne göre daha fazla olması yer seçimi yaparken kolaylık

sağlayacaktır. Reaktif güç kaybına ait ağırlık faktörü $W_{Q_{kayıp}} = 0,20$ olurken, aktif güç kaybına ait ağırlık faktörü $W_{P_{kayıp}} = 0,10$ olacaktır. Kayıplar sistem için olumsuz etki yarattığından dolayı bu faktörlerin işaretleri negatiftir.

AAS'nin hatlara yerleştirilmesiyle kayıplarda ne kadarlık artış olduğu bilgisi PowerWorld Simulator programıyla elde edilmiştir. AAS'nin sistemde olmadığı durum ve farklı 9 adet hatta yerleştirildiği durumda hatlarda meydana gelen güç kayıplarının toplamı karar verme sürecinde kullanılacaktır. Çizelge 5.7'de bu değerlere ait toplam güç kayıpları değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Farklı AAS yerlerinde hat kayıpları toplamı

AAS YERİ	$P_{kayıp}(kW)$	$Q_{kayıp}(kVAr)$
AAS YOKKEN	20,612	139,098
HAT 1	21,739	178,546
HAT 2	22,261	195,645
HAT 3	20,746	146,821
HAT 4	21,026	145,86
HAT 5	21,359	153,255
HAT 6	20,761	147,52
HAT 7	24,358	224,734
HAT 8	21,403	199,576
HAT 9	21,889	165,22

Çizelge 5.8'de farklı hatlara yerleştirilen AAS durumlarında hatlarda meydana gelen toplam kayıpların yüzdesel değerleri verilmektedir. Burada AAS'nin olmadığı durumdaki hat kayıpları baz alınmaktadır. Bu durumda hatlardaki toplam kayıplar %100 olarak kabul edilmektedir. AAS'nin hatlara yerleştirildiği durumlarda aktif ve

reaktif güç kaybında meydana gelen yüzdesel artışlar ağırlık toplam modelinde kriterlerden ikisini oluşturacaktır.

Çizelge 5.8 : Farklı AAS yerlerinde hat kayıpları yüzdesel toplamı

AAS YERİ	$P_{\text{kayıp}}(\%)$	$Q_{\text{kayıp}}(\%)$
HAT 1	5,47	28,36
HAT 2	8,00	40,65
HAT 3	0,65	5,55
HAT 4	2,01	4,86
HAT 5	3,62	10,18
HAT 6	0,72	6,05
HAT 7	18,17	61,57
HAT 8	3,84	43,48
HAT 9	6,20	18,78

Arıza akımının yerinin seçimindeki kriterlerden bir tanesi de sistemde oluşturduğu gerilim düşümüdür. Pasif arıza akımı sınırlayıcıları normal çalışma şartlarında da devrede olduklarında dolayı, her ne kadar normal sifıra yakın bir empedans değerine sahip olsalar da yüksek güçlerde sahip oldukları çok küçük değerdeki bu empedans gerilim düşümüne sebep olmaktadır. Katı-Hal arıza akımı sınırlayıcıları normal çalışma şartlarında sisteme dahil değildirler. Ancak pasif sınırlayıcılar kadar olmasa da, içerdikleri güç elektroniği elemanlarından dolayı gerilim düşümüne sebep olurlar. Bu gerilim düşümü AAS yeri seçilirken en az seviyede olması sistem güvenliği ve güvenilirliği açısından önemlidir.

Bu yüzden sistem tasarımcısı bu etkeni de göz önüne almalıdır. Çizelge 5.9’da da pasif arıza sınırlayıcı modelinin neden olduğu gerilim düşümüne ait veriler verilmiştir.

Çizelge 5.9 : AAS'nin farklı yerlere yerleştirilmesi durumunda gerilim düşümleri.

BA RA	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS
	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]	ΔV [V]
2	12,60	10,52	13,03	14,45	12,33	15,69	16,76	16,35	15,23
3	139,28	61,86	83,17	94,93	86,65	89,29	113,91	110,60	101,37
4	221,01	229,38	171,77	192,42	177,62	181,39	225,91	220,07	203,76
5	240,77	246,47	221,47	232,18	214,18	211,76	282,17	273,56	249,38
6	188,48	191,94	176,94	163,17	171,21	171,40	261,81	250,65	219,25
7	55,50	54,43	55,59	56,35	66,06	73,43	57,39	57,22	56,73
8	0,00	-0,02	-0,09	-0,08	-0,95	-0,57	-0,98	-0,77	-0,28
9	95,95	97,68	90,22	83,38	86,56	87,40	192,50	74,67	79,01
10	183,15	186,47	172,09	158,87	166,49	166,79	258,39	247,08	150,46

Sistem tasarımcısı hat kayıplarını kriter olarak alırken tüm sisteme ait hat kayıplarının toplamı şeklinde değerlendirmelidir. Ancak gerilim düşümünde gerilim düşümlerini toplamak doğru sonuca ulaştırmaz. Gerilim düşümünde dikkat edilmesi gereken nokta, baz alınan baradaki gerilim düşümünün hangi seviyede olduğudur. Bu nedenle gerilim düşümü karar verme sürecinde en fazla olduğu değerle yer alacaktır. Hatta koyulan AAS hangi barada daha fazla gerilim düşümüne sebep oluyorsa, bu değer ağırlıklı toplam modelinde yüzdesel değeriyle kullanılacaktır. Gerilim düşümü yer seçiminde diğer kriterlere göre daha az etkiye sahip bir kriterdir. Bu yüzden gerilim düşümüne ait ağırlık faktörü $W_{\Delta V} = 0,05$ seçilmiştir. Gerilim düşümü sistem için olumsuz etki yarattığından dolayı bu faktörün işareti de negatiftir. Çizelge 5.10'da gerilim düşümündeki yüzdesel değerler verilmiştir.

Çizelge 5.10 : AAS'nin farklı yerlere yerleştirilmesi durumunda yüzdesel ΔV .

BARA	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS
	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]	ΔV [%]
2	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
3	0,40	0,18	0,24	0,28	0,25	0,26	0,33	0,32	0,29
4	0,64	0,66	0,50	0,56	0,51	0,53	0,65	0,64	0,59
5	0,70	0,71	0,64	0,67	0,62	0,61	0,82	0,79	0,72
6	0,55	0,56	0,51	0,47	0,50	0,50	0,76	0,73	0,64
7	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,21	0,17	0,17	0,16
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,28	0,28	0,26	0,24	0,25	0,25	0,56	0,22	0,23
10	0,53	0,54	0,50	0,46	0,48	0,48	0,75	0,72	0,44

5.1.1 Ağırlıklı toplam modelin test sistemine uygulanması

Çizelgeler halinde sunulan veriler ışığında karar verme sürecini test sistemine uygulanacaktır. Bunun için öncelikle Çizelge 5.1’de verilen KVM’nin test sistemine uyarlanması gerekmektedir. Arıza akımı sınırlayıcıyı yerleştirmek için 9 farklı alternatif bulunmaktadır. Arıza akımındaki azalma, aktif güç kaybı, reaktif güç kaybı ve gerilim düşümü ise kriterleri oluşturmaktadır. 1. baranın arıza akımının düşürülmesi gereken senaryoda toplam ağırlık model için oluşturulan matris çizelge 5.11 ‘de verilmiştir. Burada toplam sütunundaki değerler (5.1) ile hesaplanmıştır. Tüm alternatifler için hesaplanan toplam ağırlık modelleri Çizelge 5.12’nin toplam sütununda verilmektedir.

Çizelge 5.11 : 1.Bara için oluşturulan KVM

BARA 1	Kriterler			
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05
Hat 1	15,05	28,36	5,47	0,70
Hat 2	1,93	40,65	8,00	0,71
Hat 3	1,93	5,55	0,65	0,64
Hat 4	0,14	4,86	2,01	0,67
Hat 5	6,81	10,18	3,62	0,62
Hat 6	6,77	6,05	0,72	0,61
Hat 7	0,14	61,57	18,17	0,82
Hat 8	0,14	43,48	3,84	0,79
Hat 9	0,14	18,78	6,20	0,72

1. alternatif için (5.1) kullanıldığında,

$$P_1 = \sum_{j=1}^4 a_{1j} \cdot W_j = (15,05 \times 0,65) + (28,36 \times (-0,20)) + (5,47 \times (-0,1)) + (0,70 \times (-0,05))$$

$$P_1 = 3,53$$

$$P_2 = \sum_{j=1}^4 a_{2j} \cdot W_j = (1,93 \times 0,65) + (40,65 \times (-0,20)) + (8,00 \times (-0,1)) + (0,71 \times (-0,05))$$

$$P_2 = -7,71$$

$$P_3 = \sum_{j=1}^4 a_{3j} \cdot W_j = (1,93 \times 0,65) + (5,55 \times (-0,20)) + (0,65 \times (-0,1)) + (0,64 \times (-0,05))$$

$$P_3 = 0,05$$

$$P_4 = \sum_{j=1}^4 a_{4j} \cdot W_j = (0,14 \times 0,65) + (4,86 \times (-0,20)) + (2,01 \times (-0,1)) + (0,67 \times (-0,05))$$

$$P_4 = -1,12$$

$$P_5 = \sum_{j=1}^4 a_{5j} \cdot W_j = (6,81 \times 0,65) + (10,18 \times (-0,20)) + (3,62 \times (-0,1)) + (0,62 \times (-0,05))$$

$$P_5 = 2,00$$

$$P_6 = \sum_{j=1}^4 a_{6j} \cdot W_j = (6,77 \times 0,65) + (6,05 \times (-0,20)) + (0,72 \times (-0,1)) + (0,61 \times (-0,05))$$

$$P_6 = 3,09$$

$$P_7 = \sum_{j=1}^4 a_{7j} \cdot W_j = (0,14 \times 0,65) + (61,57 \times (-0,20)) + (18,17 \times (-0,1)) + (0,82 \times (-0,05))$$

$$P_7 = -14,08$$

$$P_8 = \sum_{j=1}^4 a_{8j} \cdot W_j = (0,14 \times 0,65) + (43,48 \times (-0,20)) + (3,84 \times (-0,1)) + (0,79 \times (-0,05))$$

$$P_8 = -9,03$$

$$P_9 = \sum_{j=1}^4 a_{9j} \cdot W_j = (0,14 \times 0,65) + (18,78 \times (-0,20)) + (6,20 \times (-0,1)) + (0,72 \times (-0,05))$$

$$P_9 = -4,32$$

Çizelge 5.12 : 1.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 1	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	15,05	28,36	5,47	0,70	3,53
Hat 2	1,93	40,65	8,00	0,71	-7,71
Hat 3	1,93	5,55	0,65	0,64	0,05
Hat 4	0,14	4,86	2,01	0,67	-1,12
Hat 5	6,81	10,18	3,62	0,62	2,00
Hat 6	6,77	6,05	0,72	0,61	3,09
Hat 7	0,14	61,57	18,17	0,82	-14,08
Hat 8	0,14	43,48	3,84	0,79	-9,03
Hat 9	0,14	18,78	6,20	0,72	-4,32

Sonuçlarda görüleceği üzere, en büyük değer 3,53'tür. AAS'nin hat 1'e yerleştirilmesi tüm kriterler göz önüne alındığında en uygun çözüm olarak görünmektedir. 2. bara için sonuçlar değerlendirildiğinde Çizelge 5.13'deki toplam sütununa bakıldığında KVM'ye göre en uygun çözüm arıza akımı sınırlayıcının 1. hatta yerleştirilmesidir

Çizelge 5.13 : 2.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 2	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	17,05	28,36	5,47	0,70	4,83
Hat 2	2,22	40,65	8,00	0,71	-7,52
Hat 3	2,23	5,55	0,65	0,64	0,24
Hat 4	0,17	4,86	2,01	0,67	-1,10
Hat 5	7,82	10,18	3,62	0,62	2,65
Hat 6	9,2	6,05	0,72	0,61	4,67
Hat 7	0,18	61,57	18,17	0,82	-14,06
Hat 8	0,17	43,48	3,84	0,79	-9,01
Hat 9	0,17	18,78	6,20	0,72	-4,30

Çizelge 5.14'deki 3. bara için sonuçlar irdelendiğinde arıza akımında en çok azalmanın olduğu durum AAS'nin 1. hatta yerleştirildiği durumdur. 3. baraya ait KVM en uygun AAS yerinin 3. hat olduğunu göstermektedir. Bu yüzden sistemi tasarlarken arıza akımındaki azalmanın yanı sıra hat kayıpları ve gerilim düşümünün de göz önüne alınması ile yer seçimindeki tercihin değişebildiğini söyleyebiliriz.

Çizelge 5.14 : 3.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 3	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	15,14	28,36	5,47	0,70	3,59
Hat 2	9,35	40,65	8,00	0,71	-2,89
Hat 3	9,38	5,55	0,65	0,64	4,89
Hat 4	0,5	4,86	2,01	0,67	-0,88
Hat 5	1,74	10,18	3,62	0,62	-1,30
Hat 6	1,75	6,05	0,72	0,61	-0,18
Hat 7	0,55	61,57	18,17	0,82	-13,81
Hat 8	0,54	43,48	3,84	0,79	-8,77
Hat 9	0,52	18,78	6,20	0,72	-4,07

Çizelge 5.15’de 4. Bara için sonuçlar elde edilmiştir. 3. barada olduğu gibi, 4. baraya ait KVM’ye göre yine arıza akımındaki azalmanın en çok olduğu durum olan AAS’nin 2. hatta yerleştirildiği durum en uygun yer olmamaktadır. 14,36 değeri ile en yüksek sonuç olan AAS’nin 3. Hatta yerleştirilmesi sistem tasarımında tercih edilecektir.

Çizelge 5.15 : 4.Barı için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 4	Kriterler				TOPLAM
	ΔI	$Q_{kayıp}$	$P_{kayıp}$	ΔV	
	C_1	C_2	C_3	C_4	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	5,07	28,36	5,47	0,70	-2,96
Hat 2	24,05	40,65	8,00	0,71	6,67
Hat 3	23,95	5,55	0,65	0,64	14,36
Hat 4	3,3	4,86	2,01	0,67	0,94
Hat 5	0,07	10,18	3,62	0,62	-2,38
Hat 6	0,08	6,05	0,72	0,61	-1,26
Hat 7	3,38	61,57	18,17	0,82	-11,98
Hat 8	3,37	43,48	3,84	0,79	-6,93
Hat 9	3,33	18,78	6,20	0,72	-2,25

5. barada AAS’nin 2. Ve 3. baraya yerleştirilmesiyle arıza akımındaki azalma hemen hemen aynı olmaktadır. Ancak hat kayıpları ve gerilim düşümü kriterlerinin ağırlıkları ile dahil olmasıyla en uygun çözüm Çizelge 5.16’dan da görüldüğü üzere, 3. Hatta yerleştirilen AAS olmaktadır.

Çizelge 5.16 : 5.Barı için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 5	Kriterler				TOPLAM
	ΔI	$Q_{kayıp}$	$P_{kayıp}$	ΔV	
	C_1	C_2	C_3	C_4	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	1,88	28,36	5,47	0,70	-5,03
Hat 2	13,45	40,65	8,00	0,71	-0,22
Hat 3	13,42	5,55	0,65	0,64	7,52
Hat 4	7,49	4,86	2,01	0,67	3,66
Hat 5	0,19	10,18	3,62	0,62	-2,31
Hat 6	0,19	6,05	0,72	0,61	-1,19
Hat 7	7,56	61,57	18,17	0,82	-9,26
Hat 8	7,55	43,48	3,84	0,79	-4,21
Hat 9	7,51	18,78	6,20	0,72	0,47

Hat kayıplarına ve gerilim düşümüne dikkat etmeyen tasarımcı AAS'yi 2. Hatta yerleştirirse sistemin daha çok hat kaybına ve gerilim düşümüne maruz kalmasına sebebiyet verecektir.

6. barada en çok arıza akımı azalması 4. hatta yerleştirilen AAS ile olmaktadır. Çizelge 5.17'de elde edilen toplam sonuçlarına bakıldığında hat kayıplarının da az olmasıyla birlikte en uygun yer olmaktadır. Nitekim, KVM'deki 14,34 olan sonucun en yüksek değerde olması bunun bir sonucudur.

Çizelge 5.17 : 6.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 6	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	0,1	28,36	5,47	0,70	-6,19
Hat 2	4,39	40,65	8,00	0,71	-6,11
Hat 3	4,35	5,55	0,65	0,64	1,62
Hat 4	23,91	4,86	2,01	0,67	14,34
Hat 5	2,31	10,18	3,62	0,62	-0,93
Hat 6	2,32	6,05	0,72	0,61	0,20
Hat 7	19,82	61,57	18,17	0,82	-1,29
Hat 8	19,81	43,48	3,84	0,79	3,76
Hat 9	19,81	18,78	6,20	0,72	8,46

Çizelge 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21'de 7.,8.,9. ve 10. baralar için hazırlanmış KVM'ler verilmiştir. AAS için en uygun yer seçilirken yine en yüksek değere sahip alternatif en uygun çözüm olacaktır.

Çizelge 5.18 : 7.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 7	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	6,29	28,36	5,47	0,70	-2,17
Hat 2	0,18	40,65	8,00	0,71	-8,85
Hat 3	0,18	5,55	0,65	0,64	-1,09
Hat 4	1,97	4,86	2,01	0,67	0,07
Hat 5	26,25	10,18	3,62	0,62	14,63
Hat 6	19,71	6,05	0,72	0,61	11,50
Hat 7	1,98	61,57	18,17	0,82	-12,89
Hat 8	1,98	43,48	3,84	0,79	-7,83
Hat 9	1,98	18,78	6,20	0,72	-3,13

Çizelge 5.19 : 8.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 8	Kriterler				TOPLAM
	ΔI	$Q_{kayıp}$	$P_{kayıp}$	ΔV	
	C_1	C_2	C_3	C_4	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	1,26	28,36	5,47	0,70	-5,44
Hat 2	0,42	40,65	8,00	0,71	-8,69
Hat 3	0,42	5,55	0,65	0,64	-0,93
Hat 4	7,75	4,86	2,01	0,67	3,83
Hat 5	10,33	10,18	3,62	0,62	4,29
Hat 6	10,39	6,05	0,72	0,61	5,44
Hat 7	7,79	61,57	18,17	0,82	-9,11
Hat 8	7,78	43,48	3,84	0,79	-4,06
Hat 9	7,76	18,78	6,20	0,72	0,63

Çizelge 5.20 : 9.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 9	Kriterler				TOPLAM
	ΔI	$Q_{kayıp}$	$P_{kayıp}$	ΔV	
	C_1	C_2	C_3	C_4	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	0,23	28,36	5,47	0,70	-6,10
Hat 2	1,76	40,65	8,00	0,71	-7,82
Hat 3	1,74	5,55	0,65	0,64	-0,08
Hat 4	14,19	4,86	2,01	0,67	8,02
Hat 5	5,3	10,18	3,62	0,62	1,02
Hat 6	5,32	6,05	0,72	0,61	2,15
Hat 7	31,54	61,57	18,17	0,82	6,33
Hat 8	14,25	43,48	3,84	0,79	0,14
Hat 9	14,22	18,78	6,20	0,72	4,83

Çizelge 5.21 : 10.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 10	Kriterler				TOPLAM
	ΔI	$Q_{kayıp}$	$P_{kayıp}$	ΔV	
	C_1	C_2	C_3	C_4	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	0,08	28,36	5,47	0,70	-6,20
Hat 2	4,1	40,65	8,00	0,71	-6,30
Hat 3	4,06	5,55	0,65	0,64	1,43
Hat 4	22,94	4,86	2,01	0,67	13,70
Hat 5	2,5	10,18	3,62	0,62	-0,80
Hat 6	2,51	6,05	0,72	0,61	0,32
Hat 7	20,69	61,57	18,17	0,82	-0,72
Hat 8	20,69	43,48	3,84	0,79	4,33
Hat 9	22,98	18,78	6,20	0,72	10,53

Tüm sonuçlar değerlendirildiği zaman Çizelge 5.22’de verilen sonuçlar elde edilmektedir. Arıza akımının azaltılması istenenen bara için hangi hattın en uygun çözüm olacağı baraların karşılarında verilmektedir.

Çizelge 5.22 : Tüm baralara ait uygun AAS yerleri

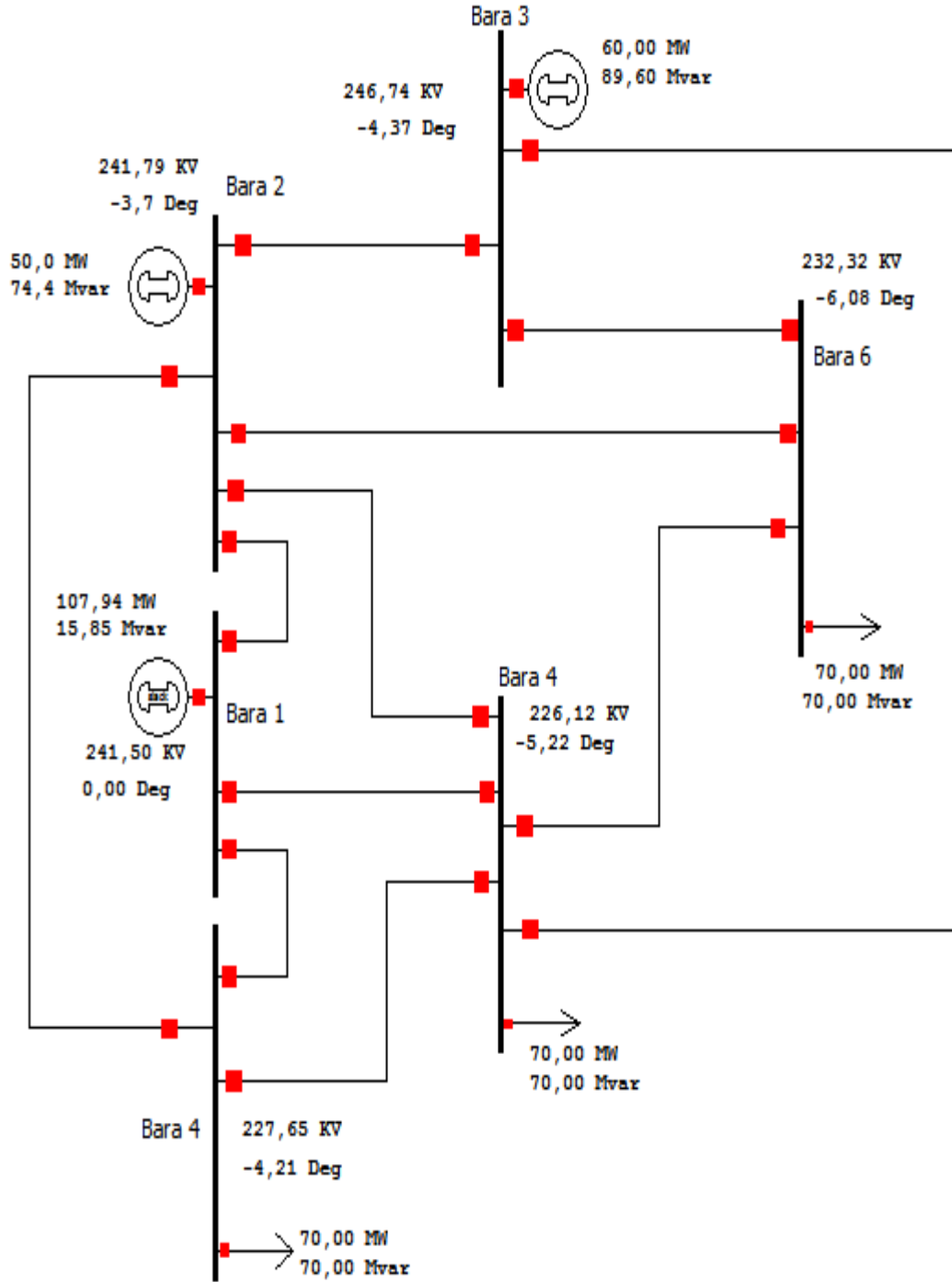
BARA	SEÇİLEN AAS YERİ
BARA 1	HAT 1
BARA 2	HAT 1
BARA 3	HAT 3
BARA 4	HAT 3
BARA 5	HAT 3
BARA 6	HAT 4
BARA 7	HAT 5
BARA 8	HAT 6
BARA 9	HAT 4
BARA 10	HAT 4

5.2 Test Sistemi 2 : 6 Baralı Test Sistemi

Bu bölümde AAS’nin en uygun yerinin belirlenmesi üzerine 6 baralı test sistemi kullanılmıştır [21]. Bu sistemde birden fazla besleme noktası olan ring tipi şebeke için güç sistemleri analizi yapan PowerWorldSimulator ile benzetimler gerçekleştirilmiştir. Teorik hesaplamalar ve programdan alınan veriler doğrultusunda arıza meydana geldiğinde oluşan arıza akımları, hat kayıpları ve gerilim düşümleri tablo haline getirilerek, incelenecektir. Test sistemine ait parametreler EK-E ‘de verilmiştir.

Örnek sistemde AAS’yi en uygun noktaya yerleştirebilmek için, arıza meydana geldiği durumda tüm baralardaki akım değeri bulunacaktır. AAS, 11 farklı hatta yerleştirilerek olasılıklar incelenecektir.

Şekil 5.2’de 6 baralı test sistemine ait tek hat şeması görülmektedir. Sistemde 3 adet besleme kaynağı bulunmaktadır.



Şekil 5.2 : 6 Baralı test sistemi PowerWorld modeli [26]

Bu çalışmada, 6 baralı örnek bir güç sisteminde söz konusu inceleme yapılmış; yerleştirilmesi planlanan bir arıza akımı sınırlayıcının konulabileceği olası 11 farklı noktaya (hatta) karşı gerçekleşen arıza akımı değişimleri Çizelge 5.23'deki elde edilmiştir. Yeşil renkli olanlar arıza akımı sınırlayıcının yerleştirilmesiyle arıza akımında düşüş olduğunu, kırmızı renkliler ise artış olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.23 : Farklı AAS yerlerinde arıza akımları.

BARA	AAS YOKKEN	AAS 1	AAS 2	AAS 3	AAS 4	AAS 5	AAS 6	AAS 7	AAS 8	AAS 9	AAS 10	AAS 11
	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu	Ipu
BARA 1	4,1322	3,7865	3,9509	3,9749	4,0925	4,169	4,1533	4,1326	4,1199	4,2582	4,1283	4,1163
BARA 2	4,6907	4,572	4,7368	4,7322	4,5452	4,6404	4,6544	4,5912	4,7142	4,8108	4,6871	4,6913
BARA 3	4,3669	4,3407	4,3958	4,3473	4,1221	4,4155	4,3765	4,2931	4,265	4,1572	4,3574	4,3459
BARA 4	4,0307	4,0317	3,7539	4,0564	3,9738	3,2925	4,0452	4,0086	4,0278	4,1218	3,9211	4,0229
BARA 5	4,0995	4,0966	4,147	3,9066	4,1005	4,172	3,9292	4,1112	3,8925	4,206	4,0028	3,9476
BARA 6	4,0918	4,0664	4,1187	4,0754	4,0619	4,1369	4,1023	3,7359	4,1091	3,523	4,0835	3,9406

Buna göre, arızanın gerçekleşebileceği 6 farklı aday noktadaki (baradaki) arıza akımının arıza akımı sınırlayıcı hatta konulmadan önceki ve konulduktan sonraki değerleri gösterilmiştir. Arıza akımı sınırlayıcı için en uygun konum arayışı sonucu bakılması gereken nicelik, tablonun her bir sütunundaki arıza akımı değişimi miktarları ve bunların dağılımıdır. Ağırlıklı toplam modeli uygulamadan önce tüm kriterlerin birimin aynı türden olması gerektiği için tüm değerler yüzdesel olarak ifade edilecektir. Çizelge 5.24’de bunlara ait değerler verilmiştir.

Çizelge 5.24 : Farklı AAS yerlerinde arıza akımlarındaki yüzdesel azalma.

BARA	FCL 1	FCL 2	FCL 3	FCL 4	FCL 5	FCL 6	FCL 7	FCL 8	FCL 9	FCL 10	FCL 11
	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]	ΔI [%]
BARA 1	8,366	4,38749	3,80669	0,96075	-0,89057	-0,51062	-0,00968	0,29766	-3,04922	0,09438	0,38478
BARA 2	2,53054	-0,9828	-0,88473	3,10188	1,07233	0,77387	2,12122	-0,50099	-2,56039	0,07675	-0,01279
BARA 3	0,59997	-0,6618	0,44883	5,60581	-1,11292	-0,21984	1,68999	2,33346	4,80203	0,21755	0,48089
BARA 4	-0,02481	6,86729	-0,63761	1,41167	18,3144	-0,35974	0,54829	0,07195	-2,26015	2,71913	0,19351
BARA 5	0,07074	-1,15868	4,70545	-0,02439	-1,76851	4,15417	-0,2854	5,0494	-2,59788	2,35882	3,70533
BARA 6	0,62075	-0,65741	0,4008	0,73073	-1,1022	-0,25661	8,69788	-0,4228	13,901	0,20284	3,6952

Bu bölümde sadece akımdaki azalmalar değil, yer seçimi yapılırken hat kayıpları ve gerilim düşümleri de göz önünde bulundurulacaktır. Bu yüzden hat kayıpları ve gerilim düşümlerine ait değerler PowerWorld Simulator ile hesaplanarak çizelgeler halinde verilecektir. Çizelge 5.25 ve 5.26’da arıza akımı sınırlayıcının farklı yerlere yerleştirilmesi sonucu hatlarda meydana gelen yüzdesel aktif güç [MW] ve reaktif güç [MVar] kayıpları verilmiştir.

Çizelge 5.25 : Farklı AAS yerlerinde aktif ve reaktif kayıplar (1-5 Hatları İçin) .

HATLAR	AAS YOKKEN		AAS 1.HATTA		AAS 2.HATTA		AAS 3.HATTA		AAS 4.HATTA		AAS 5.HATTA	
	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}
HAT 1	0,9090	2,5923	0,0813	3,4828	2,4600	0,6900	1,7441	0,8196	0,8835	2,6381	0,9487	2,6856
HAT 2	1,0887	0,1920	1,4808	1,7235	0,0446	5,9877	0,0489	6,1448	0,0037	6,6936	0,0274	7,0494
HAT 3	1,0747	2,1912	1,4504	0,8335	3,3792	4,9000	1,2928	0,5954	1,4701	0,8618	0,1134	0,4394
HAT 4	0,0404	6,5414	0,0277	6,7384	0,1167	1,0959	1,8244	3,2147	1,0892	0,1954	2,7628	7,1124
HAT 5	1,5065	0,9314	1,5868	1,0495	0,4411	2,4872	0,9489	1,0324	0,4637	2,7620	0,9797	1,4370
HAT 6	0,4978	2,6545	0,4768	2,7995	2,2072	2,2913	0,1444	3,6260	1,0720	2,2168	0,9112	2,8875
HAT 7	0,5832	3,6131	0,5300	3,8780	0,0665	6,8222	0,2558	6,7965	0,0414	7,7357	0,4746	6,5142
HAT 8	1,0935	2,9217	1,0844	3,0352	1,0636	2,5718	1,4886	1,6914	1,2070	2,7303	1,5086	2,2451
HAT 9	1,0029	2,8601	0,9783	2,6955	0,5866	3,1594	0,8754	2,4829	0,5607	3,6936	0,7979	3,3704
HAT 10	0,0363	7,7284	0,0413	7,8601	0,0435	5,3129	0,0797	5,2521	0,0612	5,8002	0,1281	5,8259
HAT 11	0,0498	5,7918	0,0794	5,8174	1,0944	3,4927	1,0642	3,3005	1,0635	3,1378	0,9332	2,3885

Çizelge 5.26 : Farklı AAS yerlerinde aktif ve reaktif kayıplar (6-11 Hatları İçin).

HATLAR	AAS 6.HATTA		AAS 7.HATTA		AAS 8.HATTA		AAS 9.HATTA		AAS 10.HATTA		AAS 11.HATTA	
	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}	P _{kayıp}	Q _{kayıp}
HAT 1	0,8462	2,7398	0,7883	2,8389	0,8493	2,7287	0,9543	2,4409	0,9071	2,5953	0,9303	2,5546
HAT 2	0,0307	6,6026	0,0723	6,2796	0,1035	6,3854	0,5079	4,4061	0,0428	6,5278	0,0469	6,5336
HAT 3	1,7401	1,3858	1,6401	1,1978	1,7039	1,3170	1,3348	0,6399	1,4900	0,8990	1,5415	0,9981
HAT 4	1,0648	0,0928	1,0756	0,1432	1,0702	0,1164	1,2680	0,9520	1,0563	0,0627	1,0870	0,1837
HAT 5	0,0503	3,4597	0,7475	1,8692	0,7992	1,7151	0,4827	2,5814	0,5099	2,6177	0,5351	2,5379
HAT 6	1,3531	1,0629	1,3147	1,2294	1,3025	1,2586	1,2075	1,6070	1,1133	2,0468	1,0813	2,1520
HAT 7	0,1060	7,4835	0,0942	7,5226	0,0894	7,5205	0,0299	7,5404	0,0054	7,7626	0,0344	7,7160
HAT 8	1,4208	2,1254	0,9040	3,1890	0,1151	4,1286	3,3087	1,7050	1,0995	2,9086	1,2105	2,6707
HAT 9	0,7743	3,0785	0,0515	4,2674	0,4367	4,1091	2,9011	3,5090	0,5951	3,5777	0,5456	3,7547
HAT 10	0,0951	5,5525	0,0890	5,4496	0,1890	5,3635	0,4602	3,9664	0,0459	5,8030	0,0056	5,8874
HAT 11	0,9986	2,8520	1,4429	5,1513	1,3446	4,5015	0,0771	2,1583	1,0040	2,8660	0,9416	2,5370

Çizelge 5.27 ve 5.28’de güç kayıplarına ve gerilim düşümüne ait yüzdesel değerler verilmektedir.

Çizelge 5.27 : Farklı AAS yerlerinde yüzdesel aktif ve reaktif kayıplar.

HATLAR	$P_{kayıp}$ [%]	$Q_{kayıp}$ [%]
HAT 1	-0,8300	4,9900
HAT 2	4,9900	45,9300
HAT 3	2,0900	23,9100
HAT 4	-8,0500	0,4200
HAT 5	0,4200	1,1800
HAT 6	7,5800	-4,1600
HAT 7	4,2700	2,9400
HAT 8	1,5200	2,9600
HAT 9	58,9800	-17,1270
HAT 10	-0,1700	-0,9200
HAT 11	0,9800	-1,2900

Çizelge 5.28 : Farklı AAS yerlerinde en yüksek yüzdesel gerilim düşümü.

AAS YERİ	EN YÜKSEK GERİLİM DÜŞÜMÜ	
	ΔV [%]	BARA NO
HAT 1	7,96	3
HAT 2	8,02	4
HAT 3	5,75	5
HAT 4	5	1
HAT 5	9,84	2
HAT 6	6,69	3
HAT 7	5,28	3
HAT 8	9,07	3
HAT 9	8,36	6
HAT 10	7,01	3
HAT 11	7,27	2

5.2.1 Ağırlıklı toplam modelin test sistemine uygulanması

Çizelgeler halinde sunulan veriler ışığında karar verme sürecini test sistemine uygulanacaktır. Bunun için öncelikle Çizelge 5.1’de verilen KVM’nin test sistemine uyarlanması gerekmektedir. Daha önceki bölümde modelin hesapları verildiği için KVM’ler hesaplanmış olarak verilecektir.

Çizelge 5.29’da 1. bara için oluşturulmuş KVM belirtilmektedir. 1. bara için 11 farklı AAS yeri alternatifinde tüm kriterler göz önüne alındığında en uygun olan 4,71 değeri olan hat 1’ AAS’nin yerleştirildiği durumdur. Arıza akımının da en fazla azaldığı durumda yine alternatif hat 1 olmaktadır. 2. Bir AAS yerleştirilmesi durumunda alternatif olarak hat 4 seçilmelidir. Arıza akımını en çok azaltan 2. alternatif hat 2 olmasına rağmen hat kayıpları ve gerilim değişimi 4. hattın daha uygun hale gelmesine neden olmuştur.

Çizelge 5.29 : 1.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 1	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	8,366	-0,83	4,99	7,96	4,71
Hat 2	4,38749	4,99	45,93	8,02	-3,14
Hat 3	3,80669	2,09	23,91	5,75	-0,62
Hat 4	0,96075	-8,05	0,42	5	1,94
Hat 5	-0,8906	0,42	1,18	9,84	-1,27
Hat 6	-0,5106	7,58	-4,16	6,69	-1,77
Hat 7	-0,0097	4,27	2,94	5,28	-1,42
Hat 8	0,29766	1,52	2,96	9,07	-0,86
Hat 9	-3,0492	58,98	-17,127	8,36	-12,48
Hat 10	0,09438	-0,17	-0,92	7,01	-0,16
Hat 11	0,38478	0,98	-1,29	7,27	-0,18

Çizelge 5.30’da 2. bara için oluşturulan KVM’ye baktığımızda en iyi alternatif 3,33 değeriyle 4. hatta yerleştirilen AAS’dır.

Arıza akımındaki azalmanın da en fazla olduğu alternatif budur. Aktif ve reaktif güç kayıpları ve gerilim düşümü bu alternatifte ağırlık oranları da göz önünde bulundurulduğunda en uygun sonuç olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 5.30 : 2.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 2	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	2,53	-0,83	4,99	7,96	0,91
Hat 2	-0,98	4,99	45,93	8,02	-6,63
Hat 3	-0,88	2,09	23,91	5,75	-3,67
Hat 4	3,10	-8,05	0,42	5,00	3,33
Hat 5	1,07	0,42	1,18	9,84	0,00
Hat 6	0,77	7,58	-4,16	6,69	-0,93
Hat 7	2,12	4,27	2,94	5,28	-0,03
Hat 8	-0,50	1,52	2,96	9,07	-1,38
Hat 9	-2,56	58,98	-17,127	8,36	-12,17
Hat 10	0,08	-0,17	-0,92	7,01	-0,17
Hat 11	-0,01	0,98	-1,29	7,27	-0,44

Çizelge 5.31 ve 5.32’de alternatiflere ait sonuçları verilen 3. ve 4. baralarda en uygun çözüm yine arıza akımını en fazla azaltan alternatifler olmaktadır. Tasarımcı kriterlerin ağırlıklarını belirlerken önceliklerini tayin etmelidir. Kimi mevcut şebeke tiplerinde arıza akımının seviyesinin yüksek olması bir çok sistem elemanının değiştirilmesine sebebiyet vermektedir. Kimi zaman ise yüksek hat kayıplarına ve gerilim düşümlerine tahammül edilemeyecek hassasiyette şebekeler mevcuttur.

Çizelge 5.31 : 3.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 3	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	0,60	-0,83	4,99	7,96	-0,34
Hat 2	-0,66	4,99	45,93	8,02	-6,42
Hat 3	0,45	2,09	23,91	5,75	-2,80
Hat 4	5,61	-8,05	0,42	5	4,96
Hat 5	-1,11	0,42	1,18	9,84	-1,42
Hat 6	-0,22	7,58	-4,16	6,69	-1,58
Hat 7	1,69	4,27	2,94	5,28	-0,31
Hat 8	2,33	1,52	2,96	9,07	0,46
Hat 9	4,80	58,98	-17,127	8,36	-7,38
Hat 10	0,22	-0,17	-0,92	7,01	-0,08
Hat 11	0,48	0,98	-1,29	7,27	-0,12

Çizelge 5.32 : 4.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 4	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	-0,02	-0,83	4,99	7,96	-0,75
Hat 2	6,87	4,99	45,93	8,02	-1,53
Hat 3	-0,64	2,09	23,91	5,75	-3,51
Hat 4	1,41	-8,05	0,42	5	2,24
Hat 5	18,31	0,42	1,18	9,84	11,21
Hat 6	-0,36	7,58	-4,16	6,69	-1,67
Hat 7	0,55	4,27	2,94	5,28	-1,06
Hat 8	0,07	1,52	2,96	9,07	-1,01
Hat 9	-2,26	58,98	-17,127	8,36	-11,97
Hat 10	2,72	-0,17	-0,92	7,01	1,54
Hat 11	0,19	0,98	-1,29	7,27	-0,30

Çizelge 5.33'den de anlaşılacağı üzere 5. bara için en iyi çözüm hat 8'e yerleştirilen AAS olurken, 6. bara için hazırlanan Çizelge 5.34'deki KVM hat 7'yi en iyi alternatif olarak göstermektedir.

6. barada en fazla akım azalması hat 9'a yerleştirilen AAS ile olmaktadır. Ancak, bu durumda hat kayıplarının ve gerilim düşümünün fazla olması nedeniyle toplam ağırlığı az olmaktadır.

Çizelge 5.33 : 5.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar.

BARA 5	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	0,07	-0,83	4,99	7,96	-0,69
Hat 2	-1,16	4,99	45,93	8,02	-6,75
Hat 3	4,71	2,09	23,91	5,75	-0,04
Hat 4	-0,02	-8,05	0,42	5	1,30
Hat 5	-1,77	0,42	1,18	9,84	-1,84
Hat 6	4,15	7,58	-4,16	6,69	1,27
Hat 7	-0,29	4,27	2,94	5,28	-1,60
Hat 8	5,05	1,52	2,96	9,07	2,23
Hat 9	-2,60	58,98	-17,127	8,36	-12,19
Hat 10	2,36	-0,17	-0,92	7,01	1,31
Hat 11	3,71	0,98	-1,29	7,27	1,98

Çizelge 5.34 : 6.Bara için oluşturulan KVM ve sonuçlar

BARA 6	Kriterler				TOPLAM
	ΔI C ₁	$Q_{kayıp}$ C ₂	$P_{kayıp}$ C ₃	ΔV C ₄	
Alternatifler	0,65	-0,20	-0,10	-0,05	
Hat 1	0,62	-0,83	4,99	7,96	-0,33
Hat 2	-0,66	4,99	45,93	8,02	-6,42
Hat 3	0,40	2,09	23,91	5,75	-2,84
Hat 4	0,73	-8,05	0,42	5,00	1,79
Hat 5	-1,10	0,42	1,18	9,84	-1,41
Hat 6	-0,26	7,58	-4,16	6,69	-1,60
Hat 7	8,70	4,27	2,94	5,28	4,24
Hat 8	-0,42	1,52	2,96	9,07	-1,33
Hat 9	13,90	58,98	-17,13	8,36	-1,47
Hat 10	0,20	-0,17	-0,92	7,01	-0,09
Hat 11	3,70	0,98	-1,29	7,27	1,97

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı arıza akımı sınırlayıcıların elektrik dağıtım sistemlerindeki uygulamalarını ve etkilerini incelemektir. Bu anlamda arıza akımı sınırlayıcıların değerlendirmesi, hem test hem de gerçek sistem değerleri kullanılarak oluşturulmuş örnek sistem üzerinde yapılmış ve bunun için yeni yaklaşımlar ve bunların etkinlikleri gösterilmiştir.

Arıza akımı sınırlayıcılarında kullanılan süper iletken ve güç elektroniği teknolojisi gün geçtikçe gelişmektedir ve AAS tasarlarken kullanılan süper iletken malzemeler ve güç elektroniği elemanları oluşturulacak modelin temel taşlarını oluşturmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, hem pasif arıza akımı sınırlayıcıları için endüktif tip süper iletken sınırlayıcı hem de katı-hal sınırlayıcı modeli PSCAD® yazılım ortamında oluşturularak kullanılmıştır. Oluşturulan bu modeller, Fethiye bölgesindeki radyal şebeke üzerinde denenerek AAS etkileri incelenmiştir. Böylece analiz ve yöntemlerin gerçek sistemler için uygulaması da gerçekleştirilmiş, buna ilişkin sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Bu sonuçlar; akım ve gerilim geçici hal analizleri biçiminde grafik ile de gösterilmiştir. Sonuçlar şunu göstermektedir ki sisteme AAS dahil edildiğinde arıza akımı seviyesinde ciddi bir azalma görülmektedir. Böylece sistem daha az mekanik ve elektriksel zorlanmayla karşı karşıya kalmakta ve mevcut bileşenler daha az zarar görmektedir. AAS kullanılarak ayrıca; arıza meydana geldiğinde gerilimdeki dalgalanmalar en aza indirilmiş; böylelikle sistem güvenilirliği, güvenliği ve kararlılığı da arttırılmıştır.

Dağıtılmış üretim konusuna duyulan ilgi son yıllarda oldukça yüksektir. Buna paralel olarak dağıtılmış üretimle ilgili yapılan çalışmaların sayısında da bir artış meydana gelmiştir. Dağıtılmış üretim ile ilgili yapılan çalışmaların ana konularından birisi de mevcut elektrik şebekesine eklenen dağıtılmış üretimin şebeke üzerindeki etkileridir. Dağıtılmış üretimin mevcut şebekeye dahil edilmesi akım, gerilim, güvenlik ve güvenilirlik dengelerini etkilemektedir. Koruma ve düzenleme elemanlarının hali hazırdaki koordinasyonuna zarar verebilmektedir. Dağıtılmış üretimin çeşitli etkilerini incelemek için Fethiye bölgesine ait açık halka şebeke tipindeki bir

dağıtım şebekesi PSCAD® ile modellenmiştir. Mevcut dağıtım şebekesine rüzgar generatörleri eklendiğinde arıza akımına neden olan $Z_{arıza}$ empedansı küçüldüğü için, arıza akımı seviyesi yükselmektedir. Bunun sonucunda, kimi zaman mevcut koruma elemanlarının kapasitelerinin yetersiz kaldığı ve bunların daha çok mekanik zorlanmaya maruz kaldıkları görülmektedir. Artan arıza akımı seviyesi röle koordinasyonuna da zarar vermektedir. Bu yüzden yanlış manevralar oluşmakta, gereksiz yere elektrik kesintileri meydana gelebilmektedir.

Yapılan simülasyonlar ile, dağıtılmış üretimin dağıtılmış üretimin gerilim üzerindeki etkisi de gözlenmiştir. Dağıtılmış üretim içeren test modelinde, içermeyen test modeline nazaran arıza süresince daha büyük miktarda gerilim düşümü yaşanmıştır.

Bu etkileri azaltmak için sisteme arıza akımı sınırlayıcı dahil edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları da göstermiştir ki, arıza akımı sınırlayıcı sisteme dahil edildiğinde mevcut sisteme ait kısa devre arıza akımı, dağıtılmış üretim olmasına rağmen daha düşük seviyede seyretmiştir. Böylece koruma elemanları ve altyapı değişikliği yapmaya gerek kalmadan, dağıtılmış üretimin mevcut şebekeye dahil edilebilmesi imkanının doğduğu ortaya çıkmaktadır. Bu, hem maliyet hem de zaman açısından tasarruf sağlanabileceği anlamına gelmektedir.

Çalışmanın bir diğer odak noktasını, arıza akımı sınırlayıcının şebeke üzerindeki en uygun yerinin seçilmesi oluşturmaktadır. Arıza akımı sınırlayıcıların kullanım fikri ortaya çıktıktan sonra yapılan çalışmalar göstermektedir ki, en az sayıda ve en uygun yerde kullanımın gerçekleştirilmesi önemli bir sorundur. Bu çalışmada, söz konusu sorun da ele alınmış ve arıza akımı sınırlayıcı için en uygun yerin seçilmesi amacıyla duyarlılık analizi yöntemi kullanılmıştır. Duyarlılık analizi yöntemi çeşitli sistemlere uygulanmış ve elde edilen sonuçların nasıl değerlendirilebileceği tartışılmıştır.

Yöntemin uygulanması amacıyla, öncelikle; Fethiye bölgesine ait açık halka şebeke tipindeki bir dağıtım şebekesi PowerWorld Simulator programı ile modellenerek akım, gerilim ve güç değerleri elde edilmiştir. Daha sonra ise, tüm bu değerler duyarlılık analizi yöntemi kullanılarak en uygun aday noktalara dönüştürülmüş; sonuçlar bir çok alternatife indirgenmiştir. Böylelikle hem çözüm süresi kısalmış, hem de problemin karmaşık yapısı basitleştirilerek çözüm daha kolay hale getirilmiştir.

Belirlenen aday noktalardan en uygun olanının seçimi yapılırken yalnızca arıza akımının azaltılması baz alınmamış, aynı zamanda AAS'nin hat kayıplarına ve gerilim düşümüne olan etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Karar verme sürecinde ağırlıklı toplam modeli kullanılmıştır, böylece tüm kriterleri içeren bir karar verme işlemi gerçekleştirilerek ağırlığı en büyük olan alternatif yerleştirme yeri, en uygun çözüm olarak elde edilmektedir..

KAYNAKLAR

- [1] **S. C. Mukhopadhyay**. A lecture on Current Limiter. *School of Engineering and Advanced Technology Massey University*.
- [2] **Schmitt. H.** (2006). Fault current limiters report on the activities of CIGRE WG A3.16., *Power Engineering Society General Meeting, 2006 IEEE, 18-22 June 2006*,
- [3] **Fault Current Limiters (1997). WTEC**
Adres: http://www.wtec.org/loyola/scpa/04_03.htm
- [4] **H. Schmitt, J. Amon, D. Braun, G. Damstra, K.-H. Hartung, J. Jäger, J. Kida, K. Kunde, Q. Le, L. Martini, M. Steurer, Ch. Umbricht, X. Waymel and C. Neumann,** (2005). Fault Current Limiters- Application, Principles and Experience of CIGRE' WG A3.16. *CIGRE SC A3&B Joint Colloquium in Tokyo*.
- [5] **S.C.Mukhopadhyay, M.Iwahara, S.Yamada and F.P.Dawson,**(1999). Analysis, Design and Experimental Results for A Passive Current Limiting Device. *IEEE Proceedings on Electric Power Applications, U.K., IEE, 146, May 1999, 3, sf. 309-316*.
- [6] **M.Iwahara, S.C.Mukhopadhyay, N.Fujiwara and S.Yamada,**(1999). Development of Passive Fault Current Limiter in Parallel Biasing Mode. *IEEE InterMag conference, Kyongju, Korea, May 18-21, 1999, AS-09*.
- [7] **N.Ishihara, S.C.Mukhopadhyay, M.Iwahara and S.Yamada,**(1998). Dependency of the Core Characterization on a Passive Fault Current Limiter using a Permanent Magnet. *Journal of the Magnetics Society of Japan, 22, April 1998, 4-2, sf. 725-728*.
- [8] **S.C.Mukhopadhyay, M.Iwahara, S.Yamada and F.P.Dawson,**(1998). Investigation of the Performances of a Permanent Magnet Biased Fault Current Limiter Using Steel Core. *IEEE Transactions on Magnetics U.S.A., 34, July 1998, 4, sf. 2150-2152*.
- [9] **Wroe, F.C.R.** (1995). High temperature superconductors for fault current limitation on local power distribution Networks. *IEEE Colloquium, 8 Jun 1995 sf:2/1 - 2/4*
- [10] **V.Keilin, I.Kovalev, S.Kruglov, V.Stepanov, I.Shugaev and V.Shcherbakov.**(2000). Model of HTS Three-Phase Saturated Core Fault Current Limiter. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2000, 10, (1), pp. 836 – 839*.

- [11] **S. Orpe, and Nirmal-Kumar C. Nair.** (2009) .State of Art of Fault Current Limiters and their Impact on Overcurrent Protection. *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE*
- [12] **S. Najafi, and V. K. Sood** (2011). Transient Behavior of Static Fault Current Limiter in Distribution System. *IEEE Electrical Power and Energy Conference.*
- [13] **Zhengjiang P., Junjia H.** (2009) Effects of Superconducting Fault Current Limiter on Power Distribution Systems. *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2009. Asia-Pacific .*
- [14] **M.M.A.Salama, R.Sarfi and A.Y.Chikhani.** (1996) Computer Controlled Fault Current Limiter (CCFCL). *Proceedings on Electric Machines and Power Systems, Vol. 24, 1996, pp 653-667.*
- [15] **E.F.King, A.Y.Chikhani, R.Hackman and M.M.A.Salama.** (1990). A Microprocessor Controlled Variable Impedance Adaptive Fault Current Limiter. *IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No.4, Nov. 1990, pp 1830 -1837.*
- [16] **Rubenbauer H., Herold G.**(2007). A Dynamic Fault Current Limiter. *IEEE PES PowerAfrica 2007 Conference and Exposition Johannesburg, South Africa, 16-20 July 2007.*
- [17] **F. Wanmin and Z. Yanli.** (2006). A novel IGBT-based Half-controlled Bridge Type Fault Current Limiter. *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC '06. CES/IEEE 5th International, 2006, pp. 1-5.*
- [18] **E.S.Ibrahim.** (1997). Electromagnetic Fault Current Limiter. *Electric Power System Research, Vol. 42, 1997, pp. 189-194.*
- [19] **Lin Y. and Liang Z. L.** (2010). Study of Superconducting Fault Current Limiters for System Integration of Wind Farms. *IEEE Transactions on applied superconductivity, vol.20, no.1, June 2010*
- [20] **S. A. A. Shahriari,, M. Abapour, A. Yazdian, M. R. Haghifam.** (2010). Minimizing the Impact of Distributed Generation on Distribution Protection System by Solid State Fault Current Limiter. *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES*
- [21] **M. Nagata,Kazuyuki and H.Taniguchi.** (2005). FCL Location Selection in Large Scale Power System. *IEEE Transactions on applied superconductivity, vol.11, no.1, March 2005*
- [22] **K. Hongesombut, Y. Mitani, and K. Tsuji.**(2003). Optimal Location Assignment and Design of Superconducting Fault Current Limiters Applied to Loop Power Systems. *IEEE Transactions on applied superconductivity, vol.13, no.2, June 2003*

- [23] **Byung Chul Sung, Dong Keun Park, Jung-Wook Park, and Tae Kuk Ko** (2009). Study on Optimal Location of a Resistive SFCL Applied to an Electric Power Grid. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol.19, no3, June 2009
- [24] **P. Chantachiratham, K. Hongesombut.** (2012). PSO Based Approach for Optimum Fault Current Limiter Placement in Power System. *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2012 9th
- [25] **Masaki N., Kazuyuki T. And Haruhito T.** (2001). FCL Location Selection in Large Scale Power System. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol.11, no.1, March 2001.
- [26] **Jen-Hao T., Chan-Nan L.** (2007). Optimum Fault Current Limiter Placement, *Intelligent Systems Applications to Power Systems, ISAP 2007. International Conference*
- [27] **K. Hongesombut, Y. Mitani and K. Tsuji.** (2003). Optimal Location Assignment and Design of Superconducting Fault Current Limiters Applied to Loop Power Systems. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol.13, no.2, June 2003
- [28] **A. T. Rowley.** Superconducting fault current limiters. *The Institution of Electrical engineers* 1995.
- [29] **S. Eckroad.** (2009) Superconducting Fault Current Limiters. *Electric Power Research Institute*, 1017793, 2009
- [30] **M. Ichikawa, H. Kado, M. Shibuya, and T. Matsumura.** (2003). Inductive Type Fault Current Limiter With Bi-2223 Thick Film on a MgO Cylinder. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol.13, no.2, Haziran 2003
- [31] **J. Kozak, T. Janowski, S. Kozak, H. Malinowski, G. Wojtasiewicz, and B. Kucewicz.** (2005). Design and Testing of 230 V Inductive Type of Superconducting Fault Current Limiter With an OpenCore. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol.15, no.2, Haziran 2005
- [32] **F. Mumford, A. Usoskin.** (2009). Inductive and Resistive HTS Fault Current Limiters: Prototyping, Testing, Comparing. *AREVA T&D Research & Technology Centre*, Mayıs 13, 2009
- [33] **S. C. Mukhopadhyay.** A lecture on Current Limiter. *School of Engineering and Advanced Technology Massey University*
- [34] **G. Tang and M. R. Irvani.** (2005). Application of a Fault Current Limiter To Minimize Distributed Generation Impact on Coordinated Relay Protection. *International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada.*

- [35] **T. Ackermann.**(2001). Distributed Generation: A definition' *Electric Power Systems Research*, no. 57, 2001, sy.195-204
- [36] **A. H. Wood and B. F. Wollenberg,** (1996). Power Generation Operation & Control. *John Wiley & Sons, New York, Second Edition.*
- [37] **A. T. Rowley.** (1995). Superconducting fault current limiters. *The Institution of Electrical engineers.*
- [38] **PSCAD®/EMTDC™** ,(2007). Manitoba Hydro International Limited.
- [39] **T. Ackermann and V.Knyazkin,** (2002). Interaction between distributed generation and the distribution network : Operation aspects. *In Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, volume 2, sy. 1357-1362, Asia/Pacific, October. IEEE Power Engineering Society.
- [40] **A. Alcidas, M. Paul, and E. Calixte,**(2006). ' Evaluation of Position of a Fault Current Limiter with Regard to the Circuit Breaker' *Power Symposium, 2006. NAPS 2006. 38th North American.*
- [41] **Joseph A. Carr, Juan C. Balda, Yongfeng F., H. Alan Mantooth.**(2008) Fault Current Limiter Placement Strategies and Evaluation in Two Example Systems. *IEEE, Energy 2030 Conference.*
- [42] **Sung-Yul Kim, In-Su Bae and Jin-O Kim.**(2010). An Optimal Location for Superconducting FaultCurrent Limiter Considering Distribution Reliability. *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE.*
- [43] **Y. Zhang, Roger A. Dougal, and Blanca A. Correa.** (2010). Impact of Placement of Inductive Fault Current Limiters on Synchronized Operations of Generators. *Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), 2010 IEEE*
- [44] **R.A.Ruban.** (2010). *Electric Power Distribution Expansion Planning Using Distributed Generation Sources and Storages.* Morgantown, West Virginia, (doktora tezi). West Virginia University
- [45] **Hector G. ,Sarmiento C., Tovar E .Molere.** (1995). A Feasibility Study For a Fault Current Limiter to Reduce Voltage Sags at Sensible Loads. *Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference.*
- [45] **Mohseni A., Mohajer Y, and Shayegani A.** (2011). Sensitivity Analysis and Stochastic Approach in Study of Transient Recovery Voltage with Presence of Superconducting FCL. *Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2011 IEEE*
- [46] **IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, 4th Edition, ANSIIEEE Std 100,** (1988).
- [47] **Martinez, J.A.** (2001) Computational aspects of sensitivity analysis. *Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE*

- [48] **Triantaphyllou E.** (1997) . A Sensitivity Analysis Approach For Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods. *Decision Sciences*, Vol.28, No.1, sf 151-194, Winter 1997
- [49] **Şimşek B.** (2011) . *Lisanssız Elektrik Üreticilerinin Elektrik Dağıtım Sistemine Bağlantı Usul ve Esasları ile ilgili Teknik Sorunlar Semineri Power Point Sunumum*
- [50] **Sezer D.** (2009). Propose Rule For The Interconnection of Disributed Generation and Its Economic Justification. Ankara.(yüksek lisans tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi
- [51] **Gleng T.** (2004). *Application of a Fault Current Limiter To Minimize Distributed Generation Impact on Coordinated Relay Protection in Radial System.* Toronto,Kanada, (yüksek lisans tezi), University of Toronto.
- [52] **Çakal, G., Bağrıyanık, M., Bağrıyanık, F.G.** (2012).The Effect of Fault Current Limiters on Distribution Systems With Wind Turbine Generators. EWRES - The European Workshop on Renewable Energy Systems, Antalya, TURKEY, 17-28 Sep. 2012

EKLER

EK A : Süper iletken arıza akımı sınırlayıcı PSCAD programı model detayları

EK B : Katı-hal arıza akımı sınırlayıcı PSCAD programı model detayları

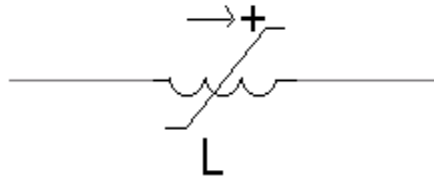
EK C : Test sistemi PSCAD modeli

EK D : Örnek test sistemi parametreleri ve PSCAD modeli

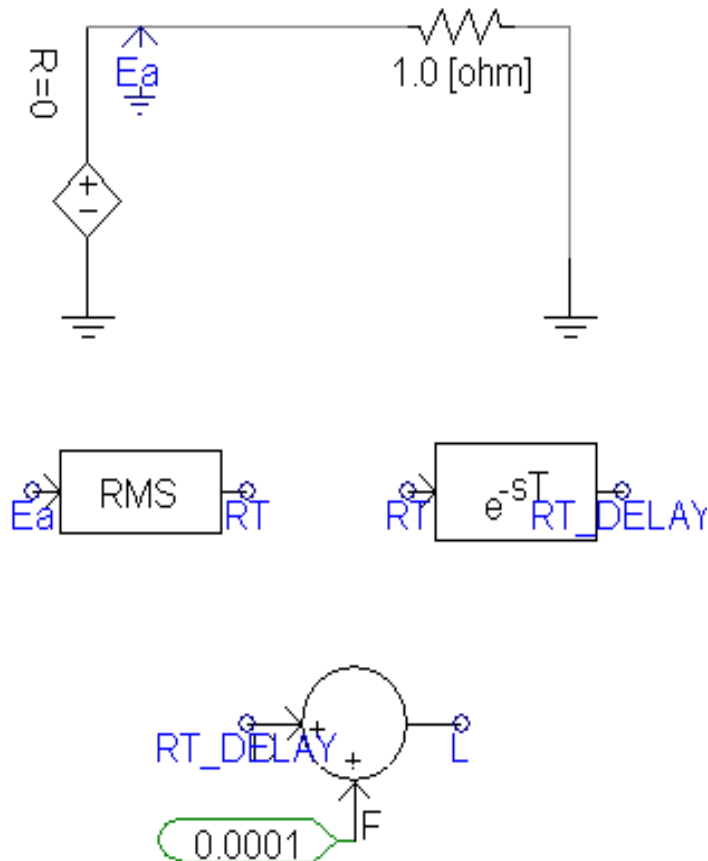
EK E : Örnek test sistemi parametreleri ve PowerWorld modeli

EK-A

Programda süper iletken arıza akımı sınırlayıcı bir değişken değerli endüktans olarak tanımlanmaktadır. Programda değişken değer vermek için, şekil x.x'de (Şekil x.x PSCAD bobine değişken değer atamak için kurulan sistem) görülen model tasarlanmıştır. Arızanın meydana geldiği 0.2. saniyede gerilim kaynağı belli bir sürede maksimum değere ulaşmaktadır. Bu süre süperiletkenin maksimum empedans değeri alıncaya kadar ki geçen süredir.



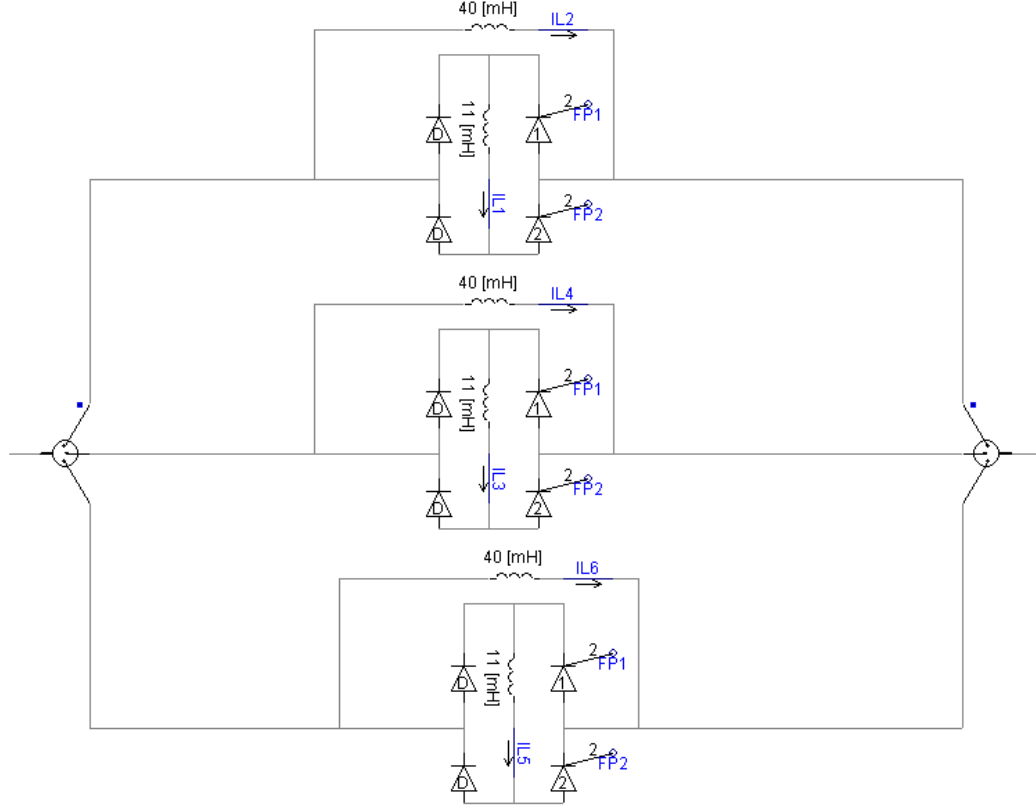
Şekil A.1 : PSCAD pasif süper iletken endüktif AAS modeli.



Şekil A.2 : PSCAD'de bobine değişken değer atamak için kurulan sistem.

EK B

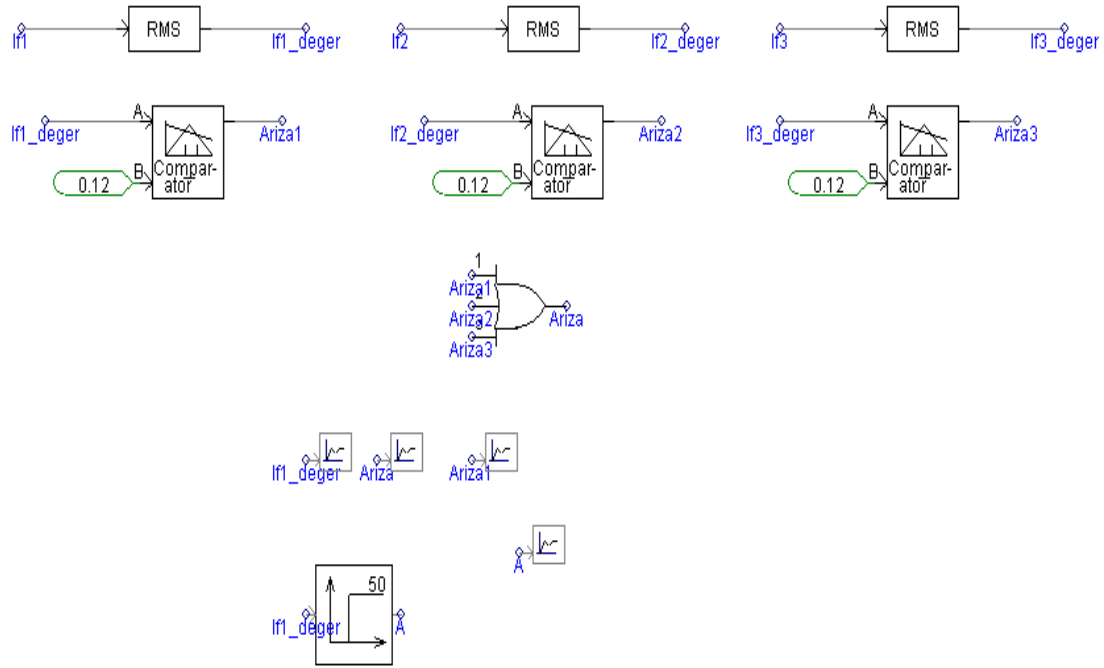
Bu modelde arıza meydana geldiğinde, arıza algılama sistemi sayesinde güç elektroniği elemanları tetiklenmektedir. Şekil B.1’de katı hal arıza akımı sınırlayıcıya ait PSCAD modeli yer almaktadır.



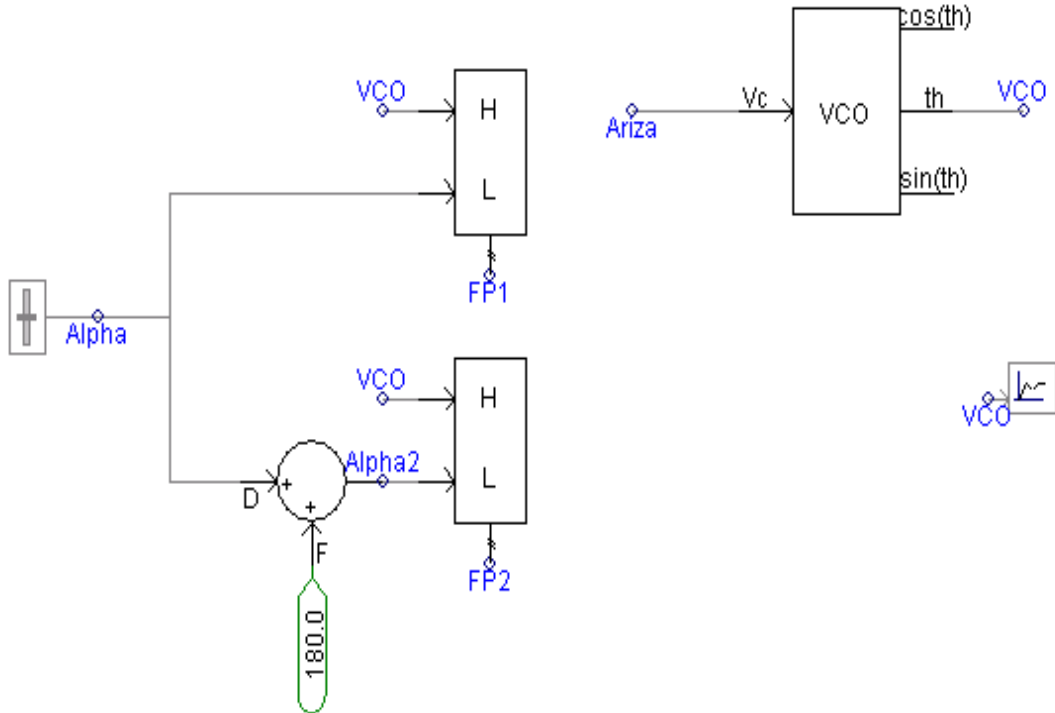
Şekil B.1: Katı hal arıza akımı sınırlayıcı PSCAD modeli

Normal çalışma koşullarında güç elektroniği elemanları üzerinden direkt olarak akım, arıza meydana geldiğinde, arıza algılama ve tristör tetikleme sistemleri sayesinde 40 mH ‘lık endüktanslar üzerinden akar. Böylece akım sınırlandırılmaktadır. Burada L1 DA reaktörü, güç elektroniği elemanları kullanımdan doğan gerilim düşümünü azaltmak için kullanılmaktadır.

Şekil x.x’de görülen arıza algıla sistemi her bir faza ait akım değerini ölçmektedir. Belirlenen en fazla akım değeri ile mevcut sistemin akım değeri karşılaştırılır. Eğer herhangi bir fazın akımı belirlenen değerin üzerinde ise sistem arızayı algılamaktadır. Bu da güç elektroniği elemanlarını tetikleyen tetikleme sistemini aktif etmektedir.

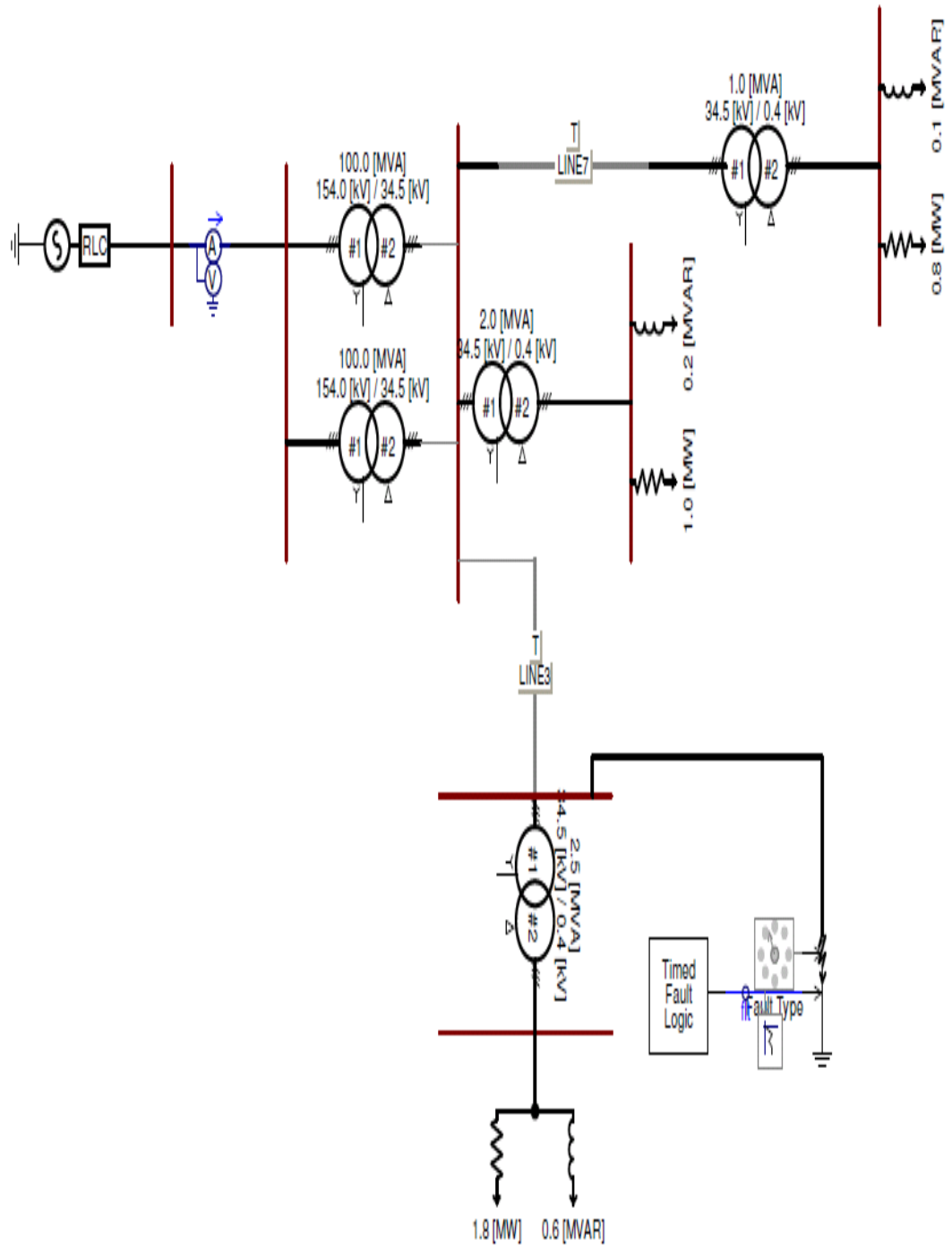


Şekil B.2 : Arıza algılama sistemi PSCAD modeli.



Şekil B.3 : Tristör tetikleme devresi PSCAD modeli .

EK C



Şekil C.1 : PSCAD test sistemi şebeke modeli.

EK D

Çizelge D.1 : Test Sisteminde kullanılan transformatörlere ait parametreler.

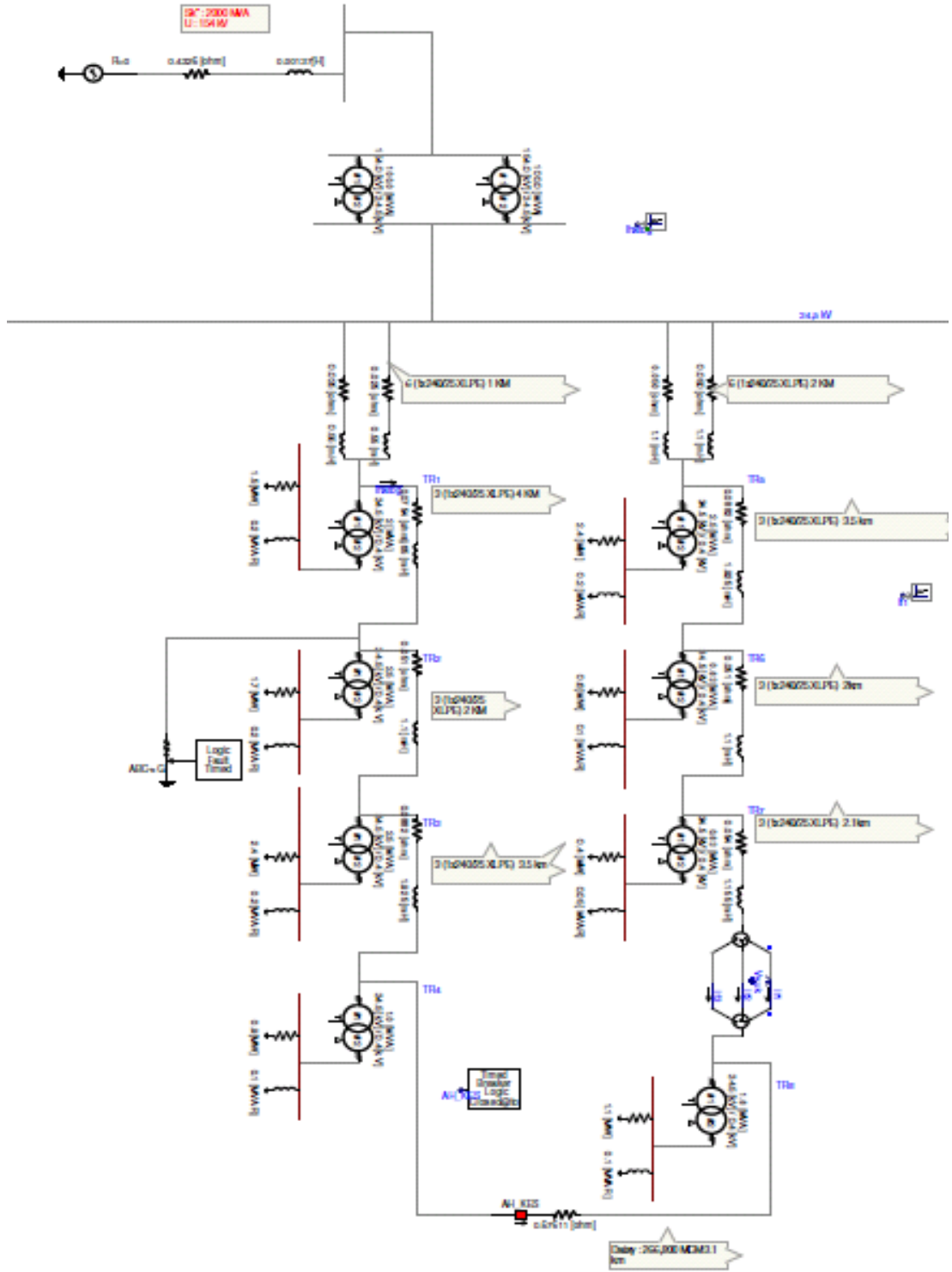
TR No	TR Yeri	Trafo Tipi	Gerilim (kV)	Gücü (MVA)	Bağlantı Grubu	%Uk
1	İndirici Merkez	HERMETİK	154 / 34,5	100	Dyn11	12,50
2	İndirici Merkez	HERMETİK	154 / 34,5	100	Dyn11	12,50
3	Saruhan Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	2	Dyn11	6
4	Saruhan Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	2,5	Dyn11	6
5	Foça Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	2,5	Dyn11	6
6	Babataşı Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	1	Dyn11	6
7	Babataşı Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	2,5	Dyn11	6
8	Babataşı Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	0,63	Dyn11	4,5
9	Kesikkapı Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	0,63	Dyn11	4,5
10	Kesikkapı Mahallesi	HERMETİK	34,5 / 0,4	1,6	Dyn11	6

Çizelge D.2 : Test Sisteminde kullanılan hatlara ait parametreler.

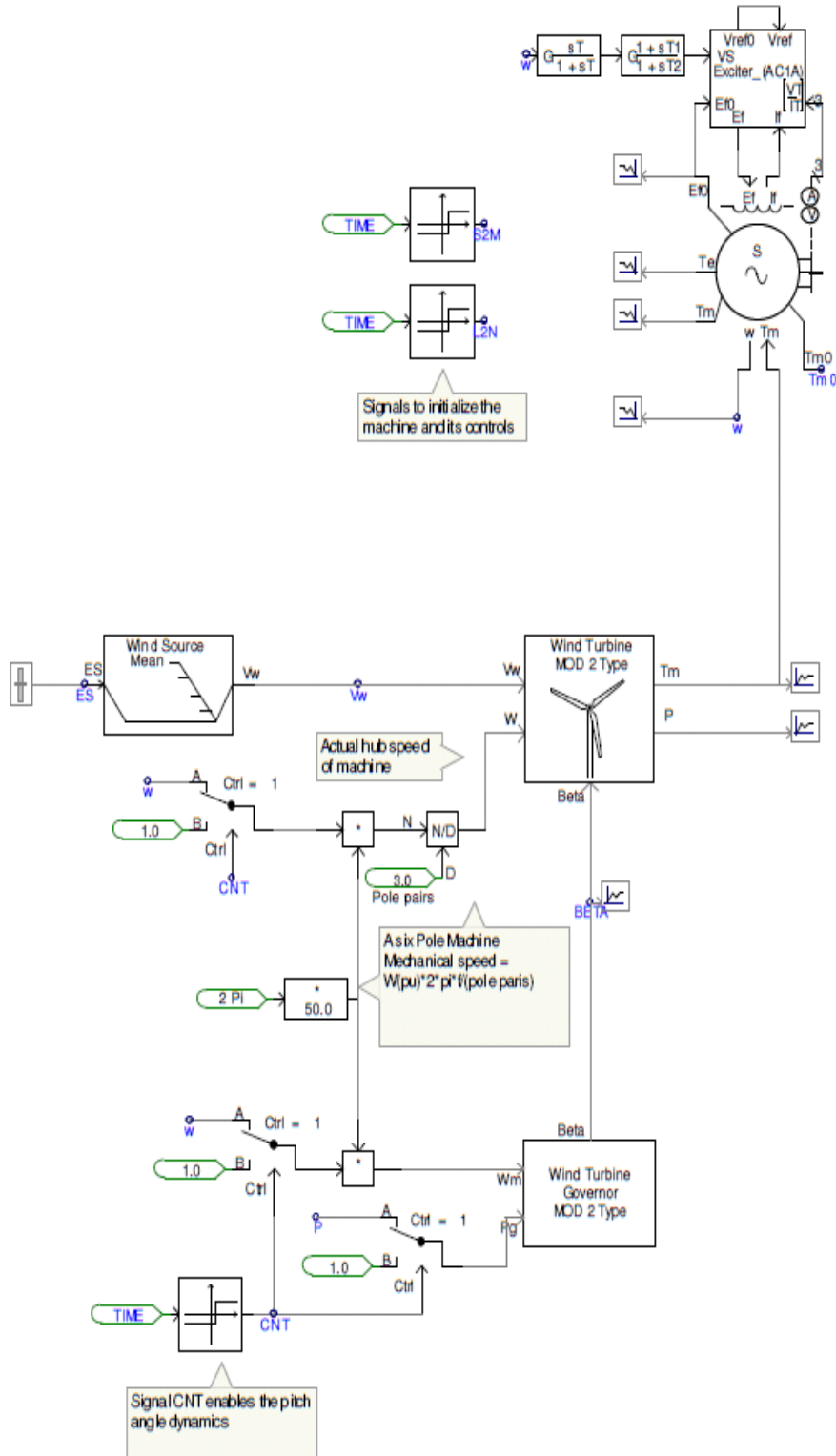
HAT İSMİ	İLETKEN CİNSİ	UZUNLUK (Km)
Hat 1	3(1x240/25) XLPE	1
Hat 2	3(1x240/25) XLPE	4
Hat 3	3(1x240/25) XLPE	2
Hat 4	3(1x240/25) XLPE	3,5
Hat 5	3(1x240/25) XLPE	2,2
Hat 6	3(1x240/25) XLPE	3,5
Hat 7	3(1x240/25) XLPE	2
Hat 8	3(1x240/25) XLPE	2,1
Hat 9	3(1x240/25) XLPE	3,1

Çizelge D.3 : Test Sisteminde kullanılan rüzgar generatörlerine ait parametreler.

Rated Voltage / kV	0,69
Armature Resistance [R_a] / pu	0.002
Unsaturated Reactance [X_d] / pu	0.920
Unsat. Transient Reactance [X_d'] /pu	0.300
Unsat. Sub-Transient Reactance [X_d''] /pu	0.220

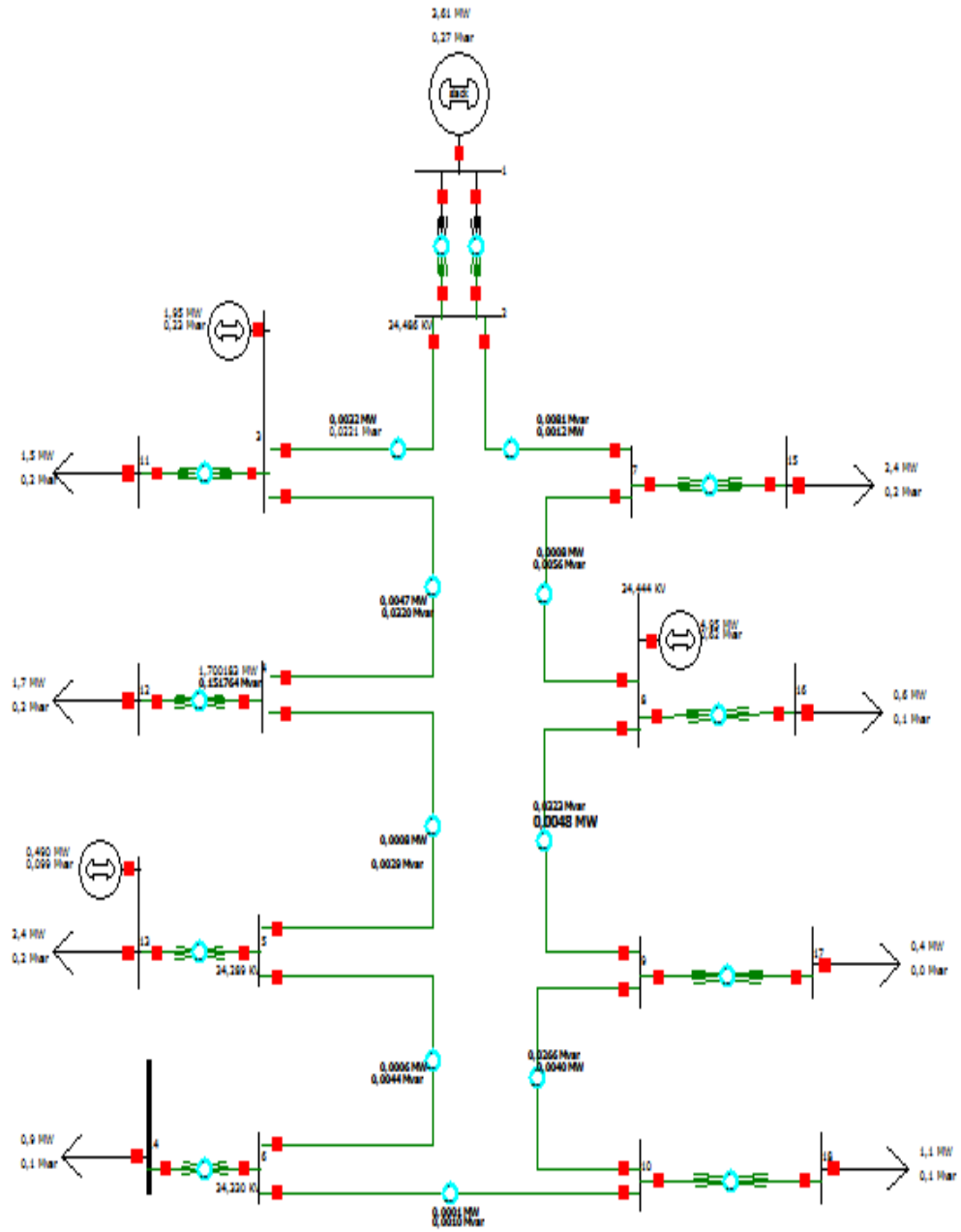


Şekil D.1 : Açık halka test sistemi PSCAD program modeli.

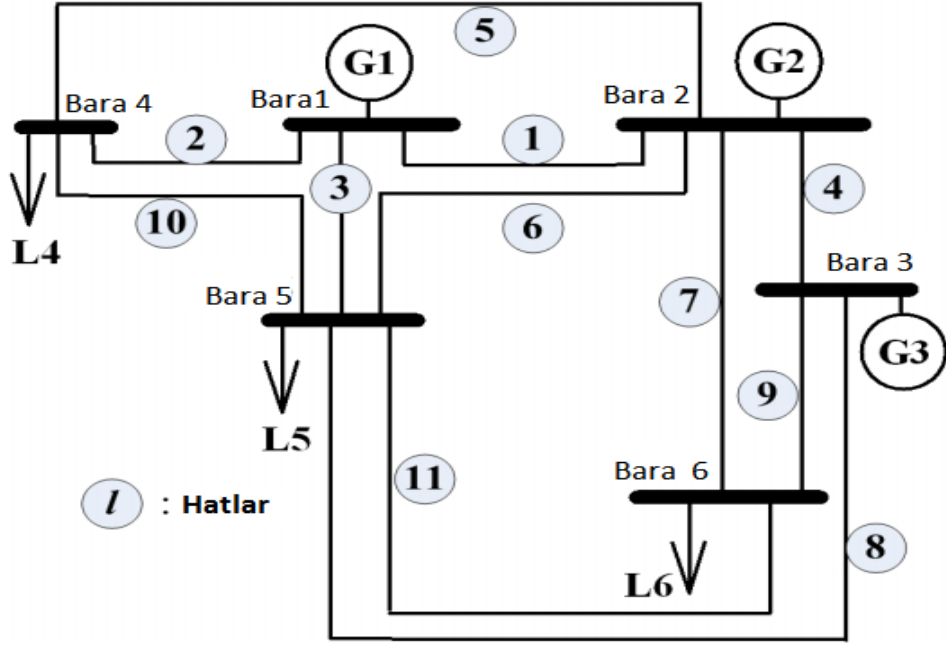


Şekil D.2 : Rüzgar generatörü PSCAD program modeli.

EK E



Şekil E.1 : Fethiye açık halka şebekesi PowerWorld test modeli.



Şekil E.2 : 6 Baralı test sistemi [26,36].

Çizelge E.1 : 6 Baralı test sistemi hat parametreleri.

Hat İsmi	R (pu)	X (pu)	B (pu)
1	0.10	0.20	0.02
2	0.05	0.20	0.02
3	0.08	0.30	0.03
4	0.05	0.25	0.03
5	0.05	0.10	0.01
6	0.10	0.30	0.02
7	0.07	0.20	0.025
8	0.12	0.26	0.025
9	0.02	0.10	0.01
10	0.20	0.40	0.04
11	0.10	0.30	0.03

Çizelge E.2: 6 Baralı test sistemi bara parametreleri.

Bara	Bara Türü	Gerilim (pu V)	P_{gen} (pu MW)	$P_{yük}$ (pu MW)	$Q_{yük}$ (pu MVAR)
1	Gevşek	1.05			
2	Generatör	1.05	0.50	0.0	0.0
3	Generatör	1.07	0.60	0.0	0.0
4	Yük		0.0	0.7	0.7
5	Yük		0.0	0.7	0.7
6	Yük		0.0	0.7	0.7

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gökhan ÇAKAL
Doğum Yeri ve Tarihi: Kassel, Almanya Federal Cumhuriyeti, 26.03.1987
E-Posta: gokhancakal@hotmail.com
Lisans: Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü (2005-2009)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Çakal, G., Bağrıyanık, M., Bağrıyanık, F.G. (2012).The Effect of Fault Current Limiters on Distribution Systems With Wind Turbine Generators. EWRES - The European Workshop on Renewable Energy Systems, Antalya, TURKEY, 17-28 Sep. 2012