



Araştırma Makalesi-Research Article

İç Batı Anadolu Enterkonnekte Güç Sisteminde Arıza Analizi ve Uygulaması

Fault Analysis and Application in Inner West Anatolian Interconnected Power System

Muhammed Maşuk Doğanay^{1*}, Mehmet Kurban²

Geliş / Received: 28/07/2022

Revize / Revised: 07/07/2023

Kabul / Accepted: 07/07/2023

ÖZ

Enterkonnekte elektrik güç iletim sisteminin statik olmamasından ötürü, sistemde mevcut olan üretim, iletim ve dağıtım elemanlarının herhangi bir arızadan veya başka sebeplerden dolayı aktif veya pasif olması durumlarında sisteme ait parametre değerlerinin değişkenlik göstermesinden dolayı, güç sistemi güncel analizler ile planlanmaktadır. Güç sisteminde ise kullanılacak olan şalt donanımının seçilmesi, koruma ve koordinasyonu sağlayacak olan koruma rölelerinin çalışma karakteristiklerini belirleyerek sistemin güvenli ve kararlı bir şekilde işletilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise Türkiye enterkonnekte sistemine ait olan İç Batı Anadolu bölgesinin güç sistemi, paket program olan Power World bilgisayar destekli grafik tabanlı görsel simülatör programında modellenerek güç sistemine ait üç fazlı simetrik arıza hesaplamaları ile simetrik olmayan faz-toprak, faz-faz ve iki faz-toprak arıza hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her bir bara ve hatlara ait gerilim düşümü, akım, faz açısı, aktif güç, reaktif güç ve bara admitans değerleri hesaplamaları ve herhangi bir arızadan dolayı sistemin hasar görmesini önleyecek olan kesici yerleşim yerlerinin belirlenmesi ve kesici güçleri hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Simülatörde ise sistem içerisinde olası arıza senaryoları ile güç sisteminin güç akışının gerçekleştirilmesiyle arızanın sistem üzerindeki etkisi ve büyüklüğü bir bütün olarak ele alınmıştır. Hatlarda ise oluşabilecek aşırı yüklenme ihtimallerine karşı sistemin işletme sınır koşulları ve enerji sürekliliğinin sağlanması için önleyici ve çözüm odaklı yöntemler ele alınmıştır. Simetrik, simetrik olmayan arızalar, güç akışı ve arıza türlerini uygulayarak analizlerin yapılması ve güç sistemleri için önemini vurgulanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Güç Sistemi, Güç Akışı, Arıza Analizi, Power World

ABSTRACT

Due to the lack of static electrical power transmission system in the interconnect, the power system is planned with up-to-date analyses due to the fact that the parameter values of the system vary if the production, transmission and distribution elements present in the system are active or passive due to any malfunction or other reasons. On the other hand, the selection of the switchgear equipment to be used in the power system, the safe and stable operation of the system is ensured by determining the operating characteristics of the protection relays that will provide protection and coordination. Within the scope of this study, the power system of the Inner Western Anatolia region belonging to the Turkish interconnected system was modelled in the Power World computer-aided graphic-based visual simulator program, which is a package program, and three-phase

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: muhammedmasuk@windowslive.com (<https://orcid.org/0000-0001-7233-0170>)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilimdalı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik-Türkiye

²İletişim: mehmet.kurban@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2618-2861>)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilimdalı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik-Türkiye

symmetric fault calculations for the power system and non-symmetric phase-ground, phase-phase and two-phase fault calculations were performed. In addition, the voltage drops, current, phase angle, active power, reactive power, and bus admittance values of each busbar and lines were calculated, and the cutter settlements that will prevent damage to the system due to any malfunction were determined and cutter power calculations were performed. In the simulator, the possible failure scenarios within the system and the impact and magnitude of the failure on the system are considered as a whole by realizing the power flow of the power system. On the other hand, preventive and solution-oriented methods have been considered to ensure the operating limit conditions of the system and energy continuity against the possibility of overloading that may occur on the lines. It is aimed to perform analyses by applying symmetric, non-symmetric failures, power flow and fault types and to emphasize their importance for power systems.

Keywords- Power System, Power Flow, Failure Analysis, Power World

I.GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan talebin artmasına paralel olarak elektrik üretim, iletim ve dağıtım ağı da daha geniş ve kompleks bir yapıya dönüşmüştür. Bu dönüşüm sebebiyle büyüyen güç ağının analizi de güç ve zor bir hal aldığından dolayı güç sistemini bütüncül olarak analiz edilmesi gerekir. Bu analizin yapılması ise enerji sürekliliğinin sağlanması adına büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda Yasin İçel ve arkadaşları tarafından Power World simülasyon programında yenilenebilir enerji sistemlerinin güç sistemine dahil edilmesi durumunda sistem üzerindeki etkilerini analiz etmişler [1].

Enterkonnekte yapıdaki veya herhangi bir güç ağında oluşabilecek arıza için enerji sürekliliğinin sağlanması adına farklı çözümler ve önleyici tedbirlerin alınmasıyla optimize edilen sistemin işletilmesi önem teşkil etmektedir. Güç sistemlerinin genel anlamda analiz edilmesi ve matematiksel hesaplamaların daha kolay bir biçimde yapılabilmesi için bilgisayar destekli grafik tabanlı simülasyon programı yardımıyla enterkonnekte sistemleri simülasyon programında modellenmesiyle, olası arıza senaryolarında arızanın sistem üzerindeki etkilerini ve büyüklüğünü sayısal olarak analiz edilebilir. İsmail Öylek ve Metin Varon tarafından baz alınan Kuzeybatı Anadolu bölgesinde ait güç sistemi için sistem dahil edilen ve sistemden izole edilen üretim santrallerinin Power World simülasyon programı ile güç akışı analizleri ile farklı arıza senaryolarının oluşturulmasıyla güç sisteminin arıza analizi ve yük akışı gerçekleştirilmiştir. [2].

Enterkonnekte yapıdaki bir güç sistemine ait tek hat şemasının ele alınmasıyla güç sistemi içerisinde mevcut olan elemanlarının güç ağının çıkarımı, modellenmesi ve elemanlara ait karakteristik değerlerinin belirlenmesiyle bilgisayar destekli simülasyon programında değer atamalarının yapılmasıyla olası arıza senaryolarında güç sistemine ait üç faz, iki-faz, faz-faz, faz-toprak ve hat kopması arıza hesaplarının yapılması ile sisteme dahil edilecek olan kesici değerlerinin hızlı ve pratik bir şekilde hesaplanabilmektedir.

Hasan Uzal ve arkadaşları tarafından baz alınan İzmir bölgesine ait güç iletim sisteminin Power World simülasyon programında modellenerek sistemin yük akışı ve arıza analizlerinin gerçekleştirilmesiyle oluşabilecek olası arızalar için senaryo durumları ile sistem içerisinde oluşabilecek arızalar için alternatif çözümler önerilmişler [3].

Enterkonnekte sistemine ait olan bir güç sisteminin analiz edilmesi ve analiz sonuçlarında elde edilen çıktılarının araştırmacı ve mühendisler için muhakeme yeteneğinin gelişimine katkıda bulunmak ve mevcut olarak işletilen bir güç sisteminin analiz edilmesi hususundaki uygulama basamaklarının sıralı olarak uygulanması ve bir güç sisteminin simetrik ve simetrik olmayan arızalar için güç akışı ve arıza analizleri gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

II.GÜÇ SİSTEMLERİ

Güç sistemlerinde kullanılacak olan şalt donanımının seçim kriterleri, koruma ve koordinasyonu sağlayan rölelerin ayarlanması, sistemin kararlı bir biçimde çalışması ve işletilebilmesi için güç sistemlerinin güç akışı ve arıza analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Güç sistemlerinin statik olmamasından dolayı sistem içerisinde bulunan senkron generatörler, iletim hatları ve yüklerin devreye alınıp çıkarılmasıyla sistemdeki parametreler değişmektedir. Ayrıca daha sonraki süreçlerde sisteme dahil edilen senkron generatörler, iletim hatları ve yüklerin değişmesinden dolayı sistemin modellenmesi ve planlaması da değişmektedir. Bu nedenle güç sistemler güncel olarak analiz edilmelidirler.

Güç sistemlerinde ise sistem üzerinde muhtemel arızalar meydana gelebilmektedir. Bu arızalar ise kısa devre, fiziksel hasarlar veya canlı kaynaklı hasarlardan [4] dolayı meydana gelebilmektedir. Bu arızalar ise üç faz simetrik kısa devre arızaları ile iki-faz, faz-faz ve faz-toprak simetrik olmayan kısa devre arıza türleridir. Bu

arızalara ek olarak hat kopma arızalarda ilave edilebilir. Aynı zaman sistem üzerinde eş zamanlı olarak birden fazla arızanın oluşma durumlarda söz konusudur.

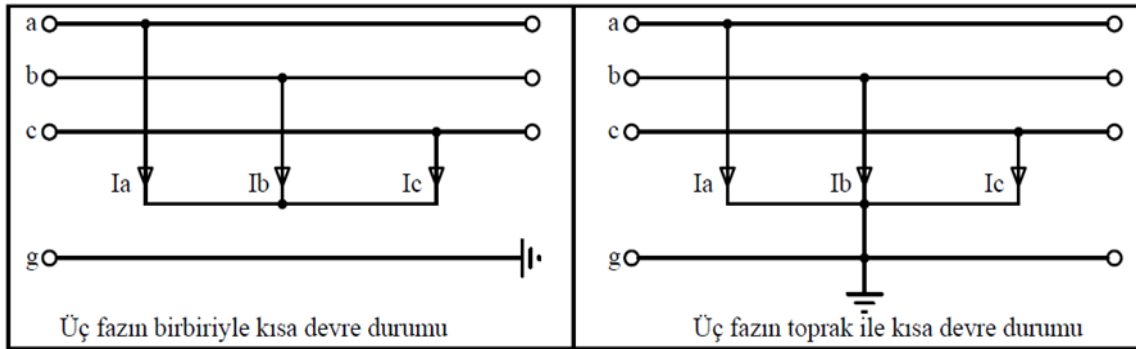
Güç sistemlerinde meydana gelen arızaların tek faz eşdeğer devresinin modellenmesiyle arıza analizleri gerçekleştirilmektedir. Arıza analizlerinin gerçekleştirilmesinde ise güç sistemine ait olan elemanlar ve iletim hatlarına ait bileşenleri ve karakteristik değerlerinin kullanılmasıyla matematiksel işlemlerinin daha sade ve kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir [5].

A. Güç Sistemlerinde Simetrik Arıza Analizi

Simetrik arızalarda güç sisteminde arıza meydana geldiğinde akan akım sistemdeki makinelerin iç EMK'larının empedansları ve arıza noktası ile makine arasındaki şebeke empedansları dikkate alınarak bulunur. Bir sistem kısa devreye maruz kalırsa çok yüksek akım geçer. Bu da ısınma yapar ve manyetik alan oluşturur. Akım arttıkça manyetik alan artar. Çok büyük bir manyetik alandan büyük bir akım geçerse sargıyı yerinden çıkaracak kadar büyük kuvvet oluşur. Bu nedenle arızalı kısımların mümkün oldukça en kısa sürede devre dışı bırakılması gerekir [6].

Arızaya en büyük katkıyı sağlayan senkron makinadır. Fakat az da olsa diğer elemanlarında arızaya katkısı vardır. Akımın dinamik etkisinin meydana getirdiği mekanik zararlarda oluşabilmektedir. Bu sebeple arızanın meydana geldiği noktalarda, en kısa sürede arızanın olduğu bölge devre dışı edilmelidir. Standart yüksek gerilim cihazları, arızaları 3 periyotta arızayı izole edecek şekilde tasarlanmaktadır. Daha düşük gerilim hatlarında ise bu süre 5 ile 20 periyot arasında değişmektedir.

Güç sistemlerinde meydana gelen Şekil 1'de üç faz kısa devre durumu simetrik arıza türüdür. Arızanın toprak ile direkt temas etmesiyle veya direnç üzerinden akımın akmasında hata akımını etkilememektedir. Güç sisteminde ise hata akımının en yüksek olduğu durum olmasından dolayı sistemi korumak veya arıza esnasında sistem üzerinde kalıcı hasarların oluşumunu engellemek için koruyucu elemanlar ve kesici değerleri üç faz kısa devre durumuna göre seçilir [7].



Şekil 1. Simetrik üç faz kısa devre durumları

Üç faz kısa devre simetrik arıza durumunda her bir faza ait gerilim değeri $V_a = V_b = V_c = 0$ olacaktır. Her bir faza ait bileşen devrelerinin ait gerilim değerleri ise 3×3 dönüşüm matrisinin tersi alınarak her bir bileşen devresine ait gerilim değerleri Eşitlik (1) ile matrisel olarak yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Simetrik üç faz kısa devre arıza durumunda sıfır-bileşen ile negatif-bileşen devresinde akım sıfır olacağından dolayı pozitif-bileşen devresine ait kısa devre akımı ise eşitlik 2 ile ifade edilebilir.

$$I_1 = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2)$$

V_f : Anma gerilim

B. Güç Sistemlerinde Simetrik Olmayan Arıza Analizi

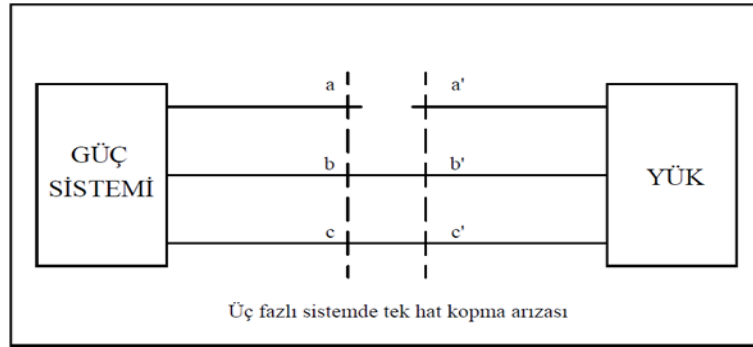
Üç fazlı bir sistemde kısa devreler büyüklüğüne göre tek faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak, hat kopması ve dengeli üç faz arıza olarak sıralanır. Arızalarda en kötü durum üç faz-toprak arızasıdır. Bu arızada ortaya çıkan güç en büyük güçtür. Arızaların görülme sıklığı sırasıyla; tek faz, faz-faz, iki faz, hat kopması ve son

olarak üç faz arızasıdır. Sistem dengesiz ise bileşen devreleri birbirine bağlıdır. Aksi belirtilmedikçe faz sırası pozitif faz sırasıdır [7].

Güç sisteminin teorik olarak arıza analizi yapılırken sisteme ait herhangi bir faz-toprak, herhangi iki-fazın birbiri ile kısa devre veya üç fazın birbiri ile veya toprak ile kısa devre edilmesiyle güç sistemine ait arızanın tipine göre analiz edilir. Bu analiz ise güç sisteminde oluşabilecek arıza tipi senaryoları önceden hesaplanmasıyla sistem tasarımının nasıl olması ve sistemde kullanılacak olan elemanların değerleri belirlenerek sistemin modellenmesi ve planlanması gerçekleştirilmektedir.

1) Güç Sisteminde Tek Hat Kopma Arıza Durumu:

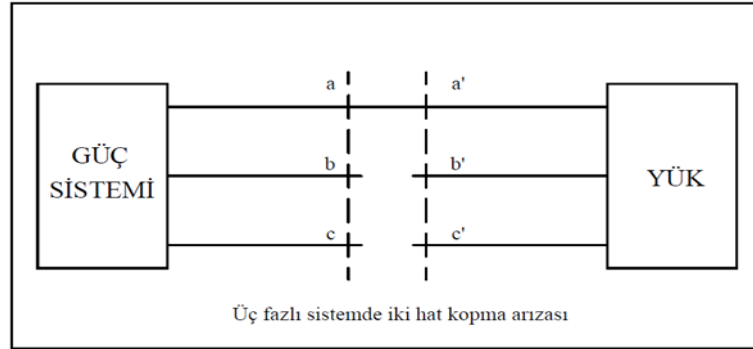
Güç sisteminin üç faz dengeli bir sistem olmasından dolayı herhangi bir hattın kopması söz konusu olabilir. Sisteme ait olan “a” fazının kopması durumunda gerilim ölçümü hat boyunca ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçüm ise hattın koptuğu nokta ile hat sonu (a-a’) noktaları boyunca ölçülür. Şekil 2’de ifade edilen “a” fazına ait sınır şartları ise $I_a = V_{a,b} = V_{a,c} = 0$ olur [8].



Şekil 2. Tek hat kopma arızası

2) Güç Sisteminde İki Hat Kopma Arıza Durumu:

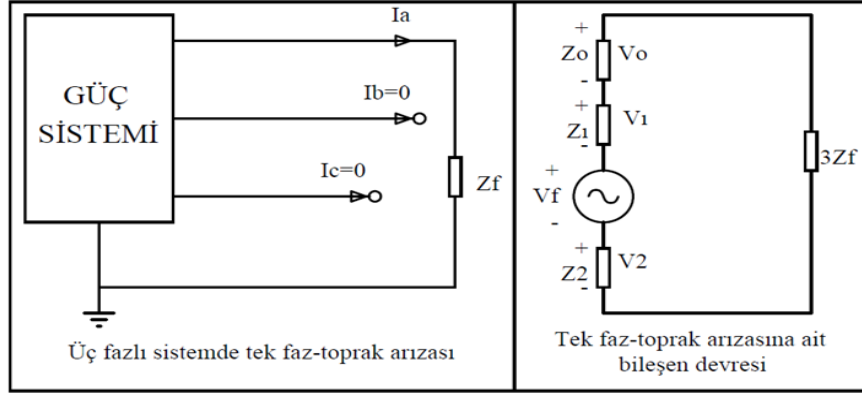
Tek hat kopmasında olduğu gibi güç sisteminin üç faz dengeli sistem olmasından dolayı sistemde herhangi iki hattın aynı anda kopması söz konusu olabilir. Bu sebeple Şekil 3’te ifade edilen “b” ve “c” hatların kopması durumunda enerjinin kesildiği tarafta hatlara ait sınır koşulları $V_{a,c'} = V_{a,b'} = 0$ ve $I_b = I_c = 0$ olacaktır. Aynı şekilde “b” ve “c” fazları ile nötr noktası ile gerilim değeri de sıfır eşit olacaktır [8].



Şekil 3. İki hat kopma arızası

3) Güç Sisteminde Tek Faz-Toprak Arıza Durumu:

Genel olarak üç fazlı bir sistemin dengeli veya dengesiz olması halinde tek faz-toprak arızasında her faza ait $Z_0 - Z_1 - Z_2$ empedans olan üç bileşen birbirine seri bağlanır. Şekil 4’te verilen üç fazlı baranın “a” fazına ait tek faz-toprak arızası olduğu varsayımı yapılmıştır.



Şekil 4. Tek faz-toprak kısa devre arızası

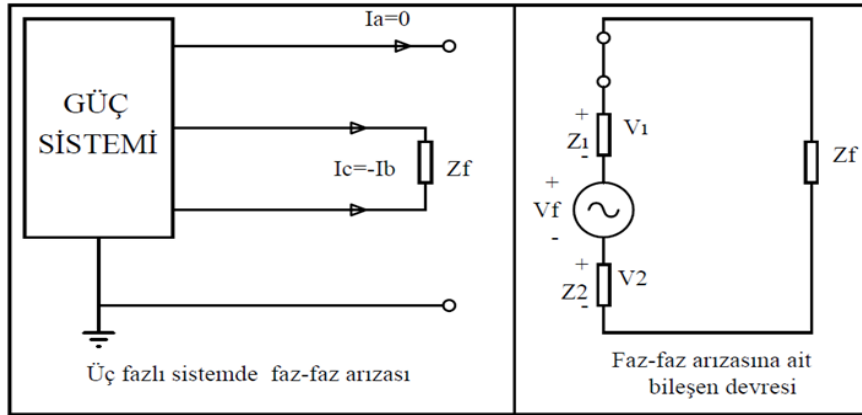
Doğrudan kısa devre durumunda ise $Z_f = 0$, ark üzerinde ise kısa devre durumunda Z_f ark empedansına eşit olur. İletim hattı izolatörü üzerinden yüzeysel atlamada Z_f empedansı, ark empedansı ise topraklama direnci ve iletim direnci empedansı ile hat toprağı arasındaki toplam empedansından oluşur. Ark empedansı o an için verilen gerilim ile geçen kısa devre akımı ile hesaplanır [9]. Güç sisteminde tek faz-toprak arızası meydana geldiğinde arıza koşulları; (Z_f : Nötr Noktası Empedansı)

$$V_{ag} = I_a Z_f \quad (3)$$

$$I_b = I_c = 0 \quad (4)$$

4) Güç Sisteminde Faz-Faz Arıza Durumu:

Üç fazlı bir sistemde herhangi iki fazın birbiri arasında veya ark empedansı ile direk olarak kısa devre olmasıyla meydana gelen arıza türüdür. Üç fazlı sisteme ait faz-faz arıza durumları Şekil 5'te a-b, a-c ve b-c fazlarının birbirleri arasında faz-faz kısa devre durumu olabilir. Üç fazlı sisteme ait b fazı ile c fazının birbiri ile kısa devre olması varsayımı yapılarak analiz işlemleri yapılabilir. Aynı şekilde bu analizler diğer fazlar arasında da yapılabilir.



Şekil 5. Faz-faz kısa devre arızası

Üç fazlı sistemde faz-faz arızası meydana geldiğinde arıza koşulları akım, gerilim ve empedans eşitlikleri arasındaki ilişkiler;

$$(I_a = 0), (I_0 = 0) \quad (5)$$

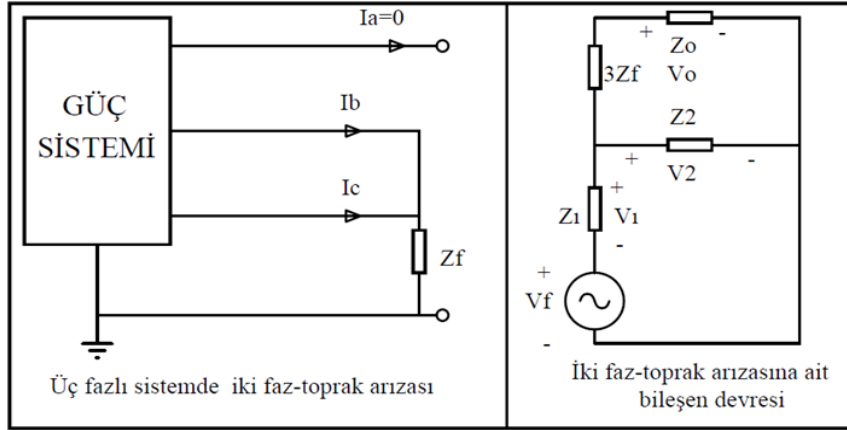
$$(I_c = -I_b), (I_2 = -I_1) \quad (6)$$

$$(V_{bg} - V_{cg} = Z_f I_b), (V_1 - V_2 = Z_f I_1) \quad (7)$$

5) Güç Sisteminde İki Faz-Toprak Arıza Durumu:

Üç fazlı bir sistemde sisteme ait olan herhangi iki fazın birbiriyle ve toprak ile kısa devre oluşması sonucu oluşan arıza durumudur. "a" fazında arıza durumunun oluşmadığı, iletim hattında "b" ve "c" hattın birbiriyle ve toprak ile oluşan kısa devre durumu Şekil 6'da gösterilmiştir. Üç fazlı sisteme ait b fazı ile c fazının

birbiri ile kısa devre olması varsayımı yapılarak analiz işlemleri yapılabilir. Aynı şekilde bu analizler diğer fazlar arasında da yapılabilir.



Şekil 6. İki faz-toprak kısa devre arızası

Üç fazlı sistemde faz-faz arızası meydana geldiğinde arıza koşulları akım, gerilim ve empedans eşitlikleri arasındaki ilişkiler;

$$V_{bg} = V_{cg} = Z_f(I_b + I_c) \quad (8)$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0 \quad (9)$$

b ve c toprak ile olan kısa devre durumunda toprağa karşı oluşacak olan faz gerilimlerinde b ve c fazının gerilimleri eşit olacaktır. Oluşan bu arıza tipinden iki faz- toprak kısa devre bileşen devresinde pozitif, negatif ve sıfır bileşen akımlarını sonuçları elde edilebilir.

$$I_1 = \frac{V_f}{Z_1 + \left[\frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \right]} \quad (10)$$

$$I_2 = (-I_1) \frac{Z_0 + 3Z_f}{Z_0 + 3Z_f + Z_2} \quad (11)$$

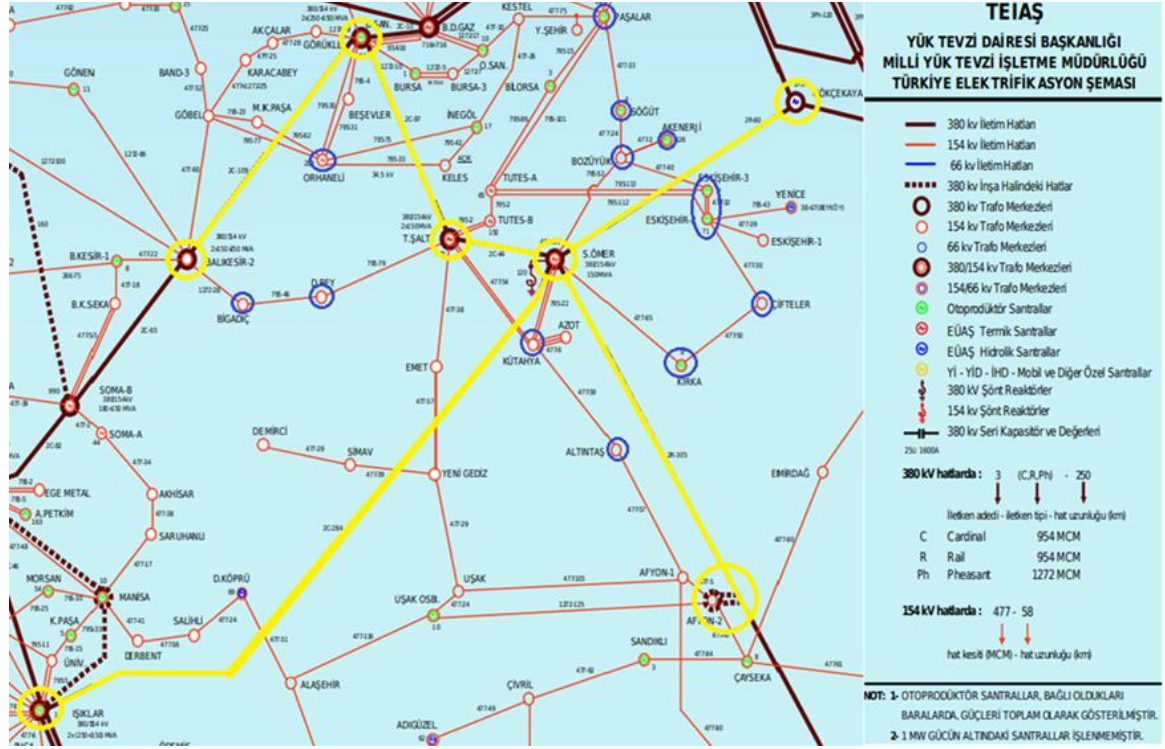
$$I_0 = (-I_1) \frac{Z_2}{Z_0 + 3Z_f + Z_2} \quad (12)$$

III.İÇ BATI ANADOLU BÖLGESİ UYGULAMASI

İç Batı Anadolu bölümü olarak adlandırılan kısım, Ege bölgesi içerisinde doğu yarı bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölüm ise Ege bölgesi ile İç Anadolu bölgesinin sınır kısımlarını teşkil etmektedir. Afyon, Uşak ve Kütahya illerine ait merkezler bu bölüm içerisinde yer almaktadır. Bu bölgeye sınırı olan diğer iller ise Balıkesir, Bursa, Bilecik ve Eskişehir illeri yer almaktadır.

Türkiye elektrik iletim sistemi ise enterkonnekte bir bağlantıya sahip olarak işletilmektedir. Bu bağlantı tipi sayesinde elektrik enerjisinin üretimi, iletim ve dağıtımı diğer bölgeler ile diğer ülkeler arasında elektrik iletim ve dağıtım alışveriş işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca enterkonnekte bağlantı sayesinde, elektrik iletiminde ve dağıtımında enerjinin sürekliliğinin sağlanması, sistemin yüksek verimliliğe sahip olması ve ekonomik olması yönünde avantaj sağlamaktadır. Fakat sistem içerisinde mevcut olan yüklerin yüksek gerilim ve akım barındırmasından dolayı sistemi kararlı bir biçimde işletilmesi gibi bazı olumsuz durumlar söz konusudur. [10].

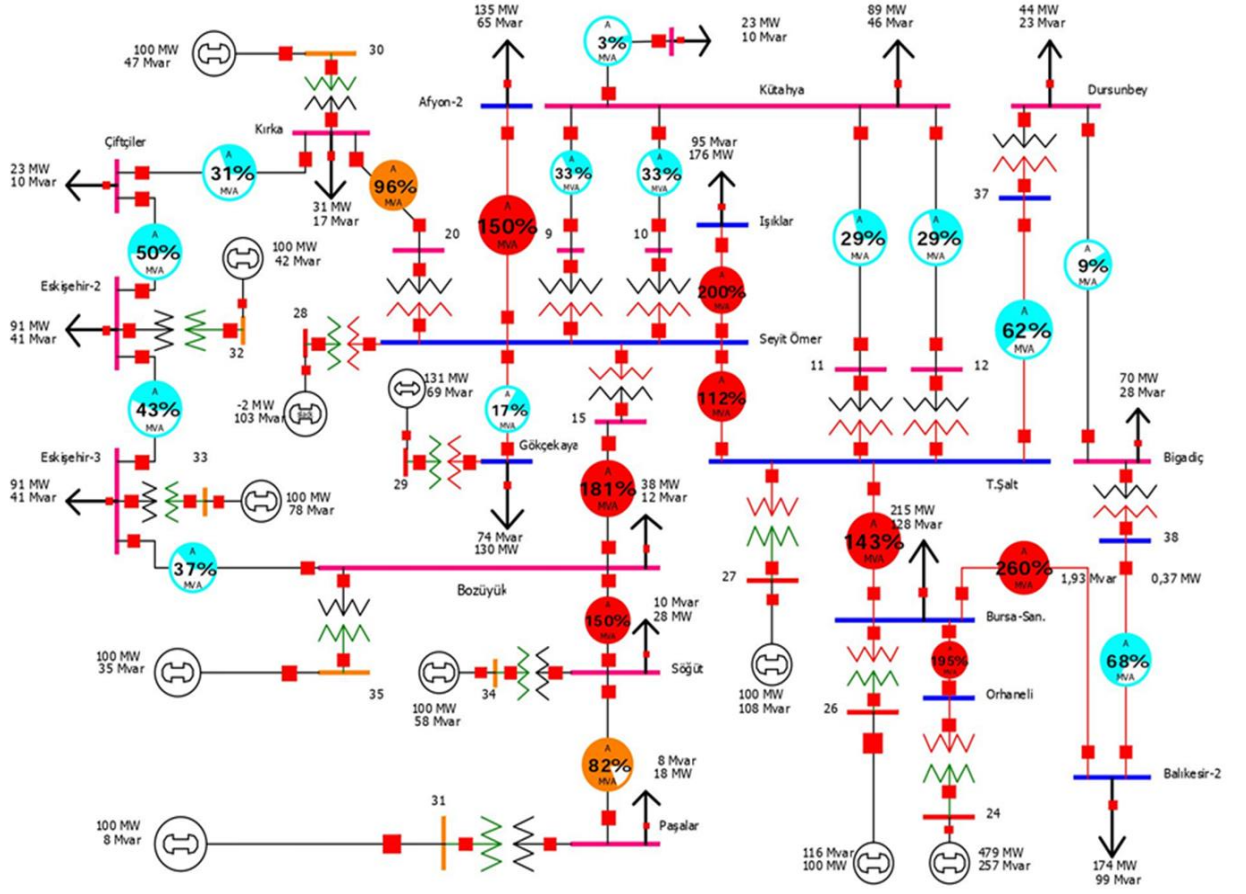
Bu çalışma kapsamında Şekil 7'de Türkiye (Enterkonnekte) Elektrik İletim Sistemi Haritası (güncel olmayan) üzerinde kesiti alınmıştır. Bölgeye ait güç sisteminde sarı ve mavi renkler ile gösterilen Afyon, Uşak, Kütahya, Balıkesir, Eskişehir, Bilecik, Bursa ve Manisa illerine ait üretim tesisleri, trafo merkezleri ve iletim hatlarını içeren bazı kısımları alınarak yeni bir güç sistemi çıkarımı yapılmıştır [11].



Şekil 7. Türkiye elektrik (Enterkonekte) iletim sisteminden alınan kesit parça

Şekil 7’de verilen Elektrik İletim Sistemi haritasının kısmında Seyit Ömer üretim santralinin referans bara olarak alınmasıyla sarı renk ile belirtilmiş olan 380 kV hatlar ile mavi renk ile belirtilmiş olan 154 kV’ luk üretim santralleri, trafo merkezleri ve iletim hatlarına ait kısımlar uygulama çalışması kapsamında dahil edilmesiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 7’de Elektrik İletim Sisteminin daha sade ve anlaşılır olması bakımından üretim tesisleri, trafo merkezleri ve iletim hatları arasındaki bağlantı tek hat şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca iki merkez arasında enerji sürekliliği ve güvenliği için birden fazla bağlantının mevcut olduğu görülmüştür. Hatların gerilim seviyeleri ve her bir üretim sisteminin santral tipini ifade etmek üzere Şekil 7’de elektrifikasyon şeması dahil edilmiştir.

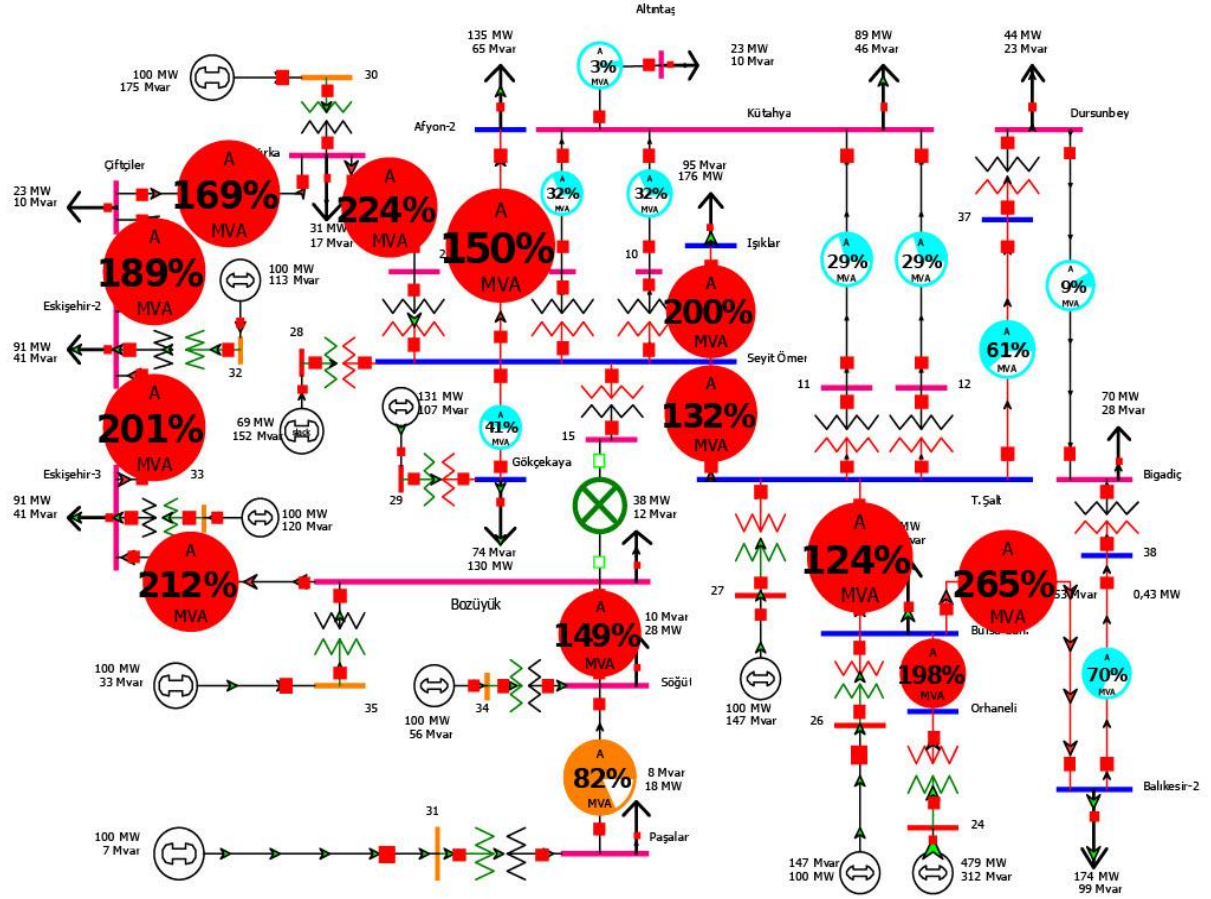
Şekil 8’de ise Şekil 7 ait güç sistemi çıkarımı PSSE [12] program ile çizilip, güç sisteminde farklı gerilim seviyelerini ifade etmek için şema, farklı renkler ile çizilmiştir. Bu renkler ile 380 kV gerilim seviyesini ifade etmek için mavi, 154 kV gerilim seviyesini ifade etmek için pembe, 14,4 kV üretim yapan senkron generatörler ait gerilim seviyesi için kırmızı ve 6,3kV üretim yapan senkron generatörler ait gerilim seviyesi ise turuncu renkler ile güç sisteminin çizimi ifade edilmiştir.



Şekil 9. Güç sisteminin Power World simülâtöründe modellenmesi

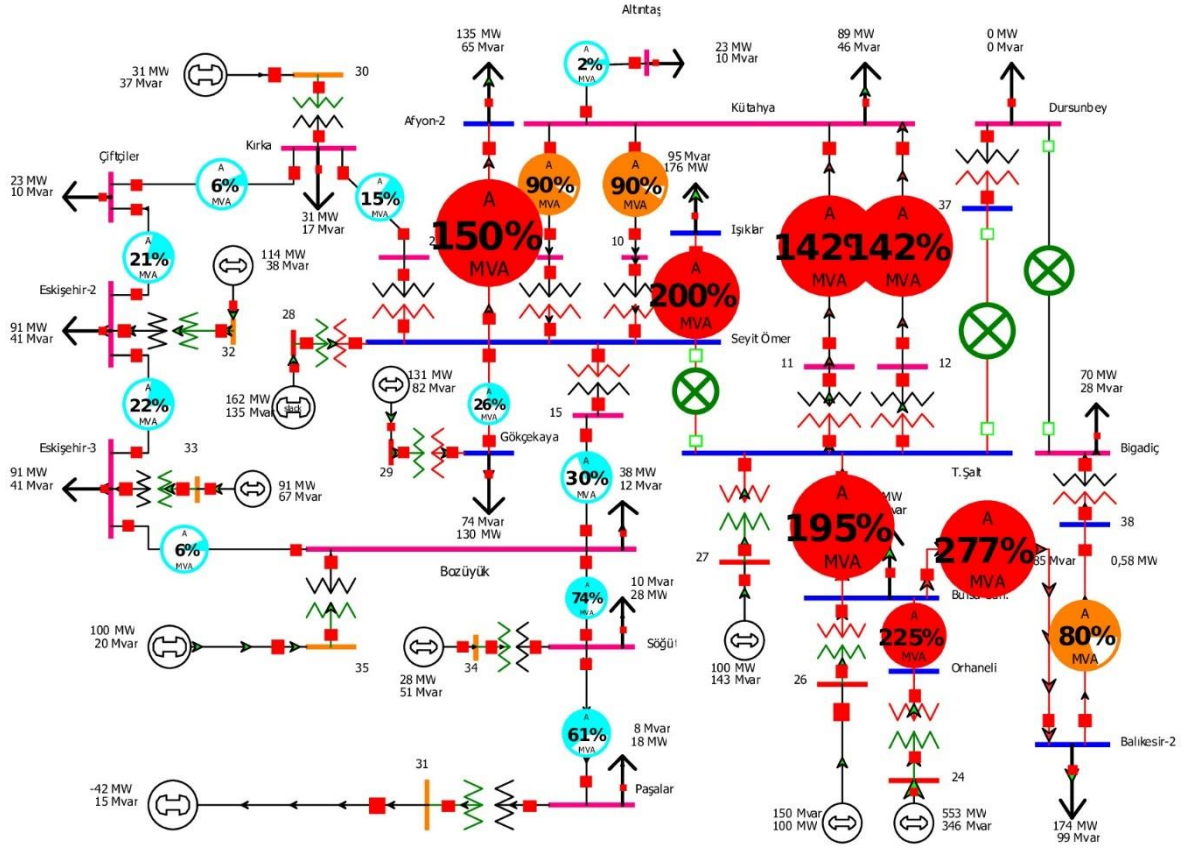
Şekil 9'da İç Batı Anadolu Bölgesine ait güç sistemin Power World simülâtör programı kapsamında modellenerek, sistem içerisinde dahil edilen sanal senkron generatörler ile sistem tam yük kapasitesi ile çalışması ve muhtemel olumsuz senaryoların (bir veya birden fazla tesisin ve hatların devreden çıkması) oluşması durumunda sistem içerisindeki üretim santralleri veya tesislerin, hatların ve yüklerin devreye alınıp çıkarılmasıyla oluşabilecek senaryolar sayesinde her bir baradaki ve hattaki akım, gerilim, faz açıları, aktif ve reaktif güç kayıpları hesaplanmıştır. Sistem içerisinde meydana gelebilecek olası durumların çok sayıda olmasından dolayı, tüm senaryolar çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu kapsamda sistem üzerinde oluşabilecek olumsuz senaryolarda sistemi büyük ölçüde etkileyebilecek senaryolar dahil edilmiştir [13]. Güç sisteminde güç akışı analizinde sistem içerisinde arıza ve hata sonucu açma ihtimali olan santral, hat veya yüklerin devre dışı kalması sonucunda sistemdeki muhtemel senaryolar çalışmaya dahil edilmiştir.

Senaryo 1: Güç sistemi içerisinde Seyit Ömer-Bozüyük arasındaki hattın açılması durumunda göz şebeke oluşturulmuş kısımda, diğer baraları besleyen kısım olmasından dolayı bu hattın sistem içerisinde açılacak olmasından dolayı Kırka, Çiftçiler, Eskişehir-2, Eskişehir-3 ve Bozüyük barasına bağlı olan diğer kısımların enerji beslemesi Seyit Ömer barasına bağlı hat üzerinden ve bu baralar üzerinden sağlanacağından dolayı bu baralara bağlı olan hatlarda aşırı yüklenmeye neden olduğu görülmüştür. Bu hatlardaki aşırı yüklenme olmasına rağmen sistem kararlı olarak çalışmaya devam etmiştir. Oluşturulan arıza senaryosuna ait güç sistemi görünümü Şekil 10'da verilmiştir.



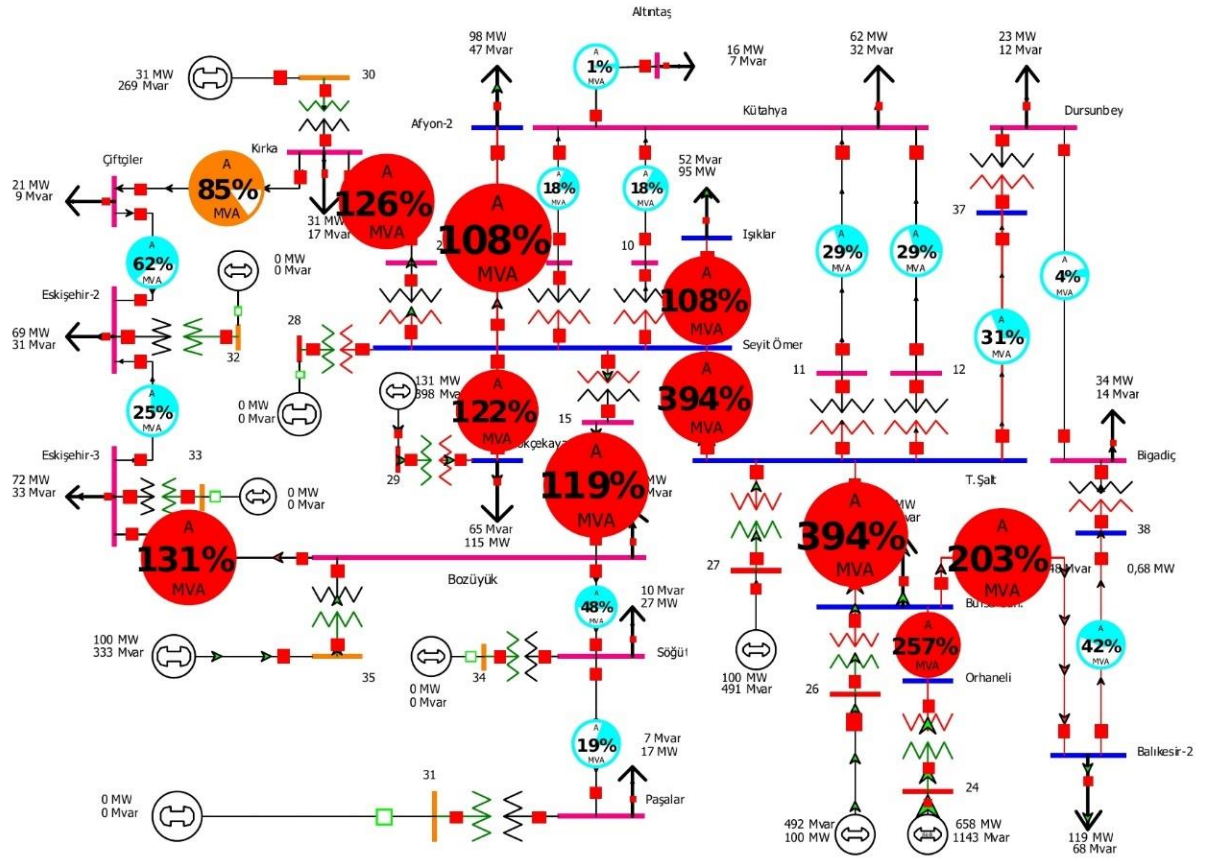
Şekil 10. Arıza senaryo durumu

Senaryo 2: Güç sistemi içerisinde Seyit Ömer-T.Şalt ve T.Şalt-Dursunbey ve Dursunbey-Bigadiç hatlarının eş zamanlı olarak açması durumunda paralel yönde bağlı olan Kütahya-T.Şalt hatlarının aşırı yüklendiği ve Kütahya-T.Şalt hatlarında çekilen güç, sınır işletme koşullarına vardığı, Orhaneli-Bursa.San ve T.Şalt-Bursa San. ve Bursa San.-Balıkesir2 hatlarından çekilen gücün aşırı arttığı görülmüştür. Bu hatlardaki aşırı yüklenmesine rağmen sistem kararlı olarak çalışmaya devam ettiği görülmüştür. Oluşturulan arıza senaryosuna ait güç sistemi görünümü Şekil 11’de verilmiştir.



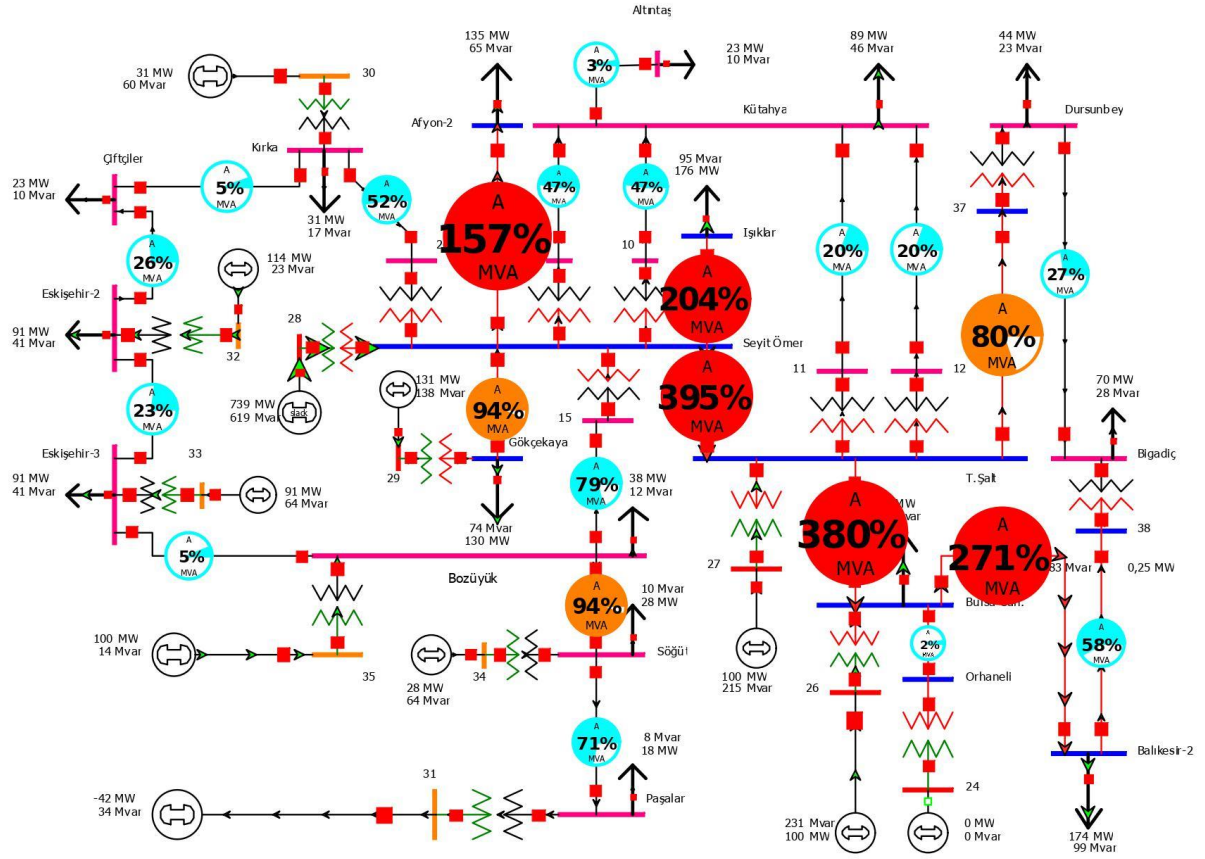
Şekil 11. Arıza senaryo durumu

Senaryo 3: Güç sistemi içerisinde bulunan sanal senkron generatörlerden, Eskişehir-2 ve Eskişehir-3 ve Seyit Ömer ve Söğüt ve Paşalar baralarına bağlı olan senkron generatörler eş zamanlı olarak devreden çıkması durumunda Kırka-Seyit Ömer, Bozüyük-Seyit Ömer, Bozüyük-Eskişehir3 ve Seyit Ömer-T.Şalt hatlarında çekilen gücün aşırı arttığı, Kırka-Çifçiler hattında da çekilen gücün arttığı görülmüştür. Bu hatlardaki aşırı yüklenmesine rağmen sistemin kararlı olarak çalışmaya devam ettiği görülmüştür. Oluşturulan arıza senaryosuna ait güç sistemi görünümü Şekil 12’de verilmiştir.



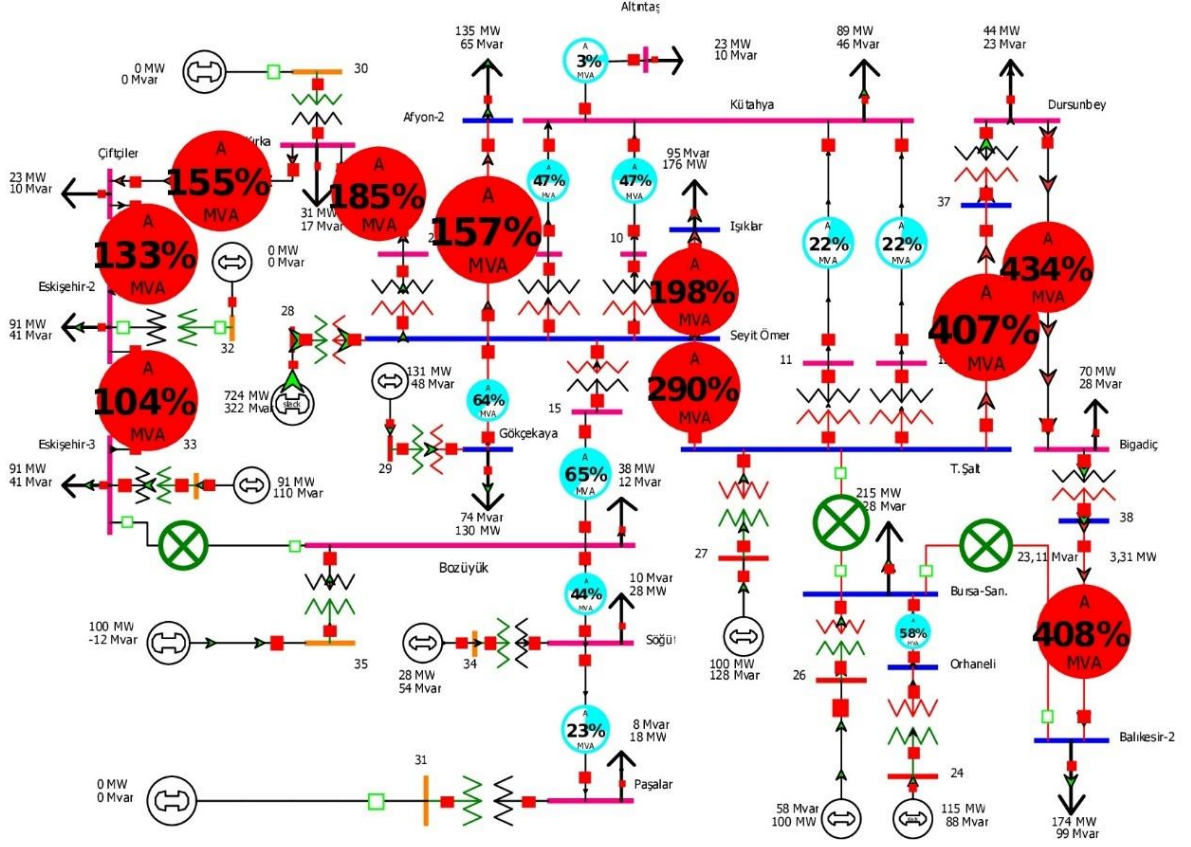
Şekil 12. Arıza senaryo durumu

Senaryo 4: Güç sistemi içerisinde bulunan sanal senkron generatörlerden, Orhanlı barasına bağlı olan generatörün devreden çıkması durumunda T.Şalt-Bursa San. Bursa San.-Balıkesir2 ve Seyit Ömer-T.Şalt hatlarından çekilen gücün aşırı artmasından dolayı sistemi kararsızlığa götürdüğü görülmüştür. Oluşturulan arıza senaryosuna ait güç sistemi görünümü Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Arıza senaryo durumu

Senaryo 5: Güç sistemi içerisinde bulunan sanal senkron generatörlerden, Paşalar, Eskişehir2 ve Kırka baralarına bağlı olan generatörler devreden çıkması ile Eskişehir-Bozüyük, T.Şalt-Bursa San. ve Bursa San.-Balıkesir2 hatları eş zamanlı olarak açması durumunda sistemden çekilen gücün aşırı artmasından dolayı sistemi kararsızlığa götürdüğü görülmüştür. Oluşturulan arıza senaryosuna ait güç sistemi görünümü Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Arıza senaryo durumu

Genel olarak güç sistemi içerisinde olası senaryo durumlarını daha da çoğaltmak mümkündür. Bu kapsamda oluşturulan senaryo durumlarında sistemi kararsızlığı götüren durumların olduğu görülmüştür. Bu durumlar ise güç sisteminden çekilen gücün artması veya üretilen gücün yetersiz olması durumundan dolayı gerilim çökmesinden sistemi kararsızlığa götürmektedir. Bu çöküş çeken gücün artmasından dolayı sistemin aktif olduğu etkin değerdeki yavaş varyasyon ile ayırt edilmesidir. Gerilim çöküşünün süratli ve anlık bir varyasyonla teşkil edene kadar gerilim genlikleri periyodik olarak azalır. Güç sisteminde üretilen güç ile tüketilen gücün dengeli olması gerekir. Aksi halde sistem içerisinde gerilim dengesizlikleri oluşacağından dolayı belli başlı noktalarda gerilim düşümü veya gerilim yükselmelerine bağlı olarak oluşan gerilim dalgalanmalarında kesinti veya arızaların oluşumuna neden olacaktır [14].

B.İç Batı Anadolu Bölgesinin Enerji İletim Şebekesinde Simetrik ve Simetrik Olmayan Kısa Devre Analizleri

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre akımları, işletmenin normal koşullar altında çekilen akımdan çok daha büyük akımlar çekmektedir. Kısa devre anında çekilen akım işletmenin sınır koşullarını aşmaktadır. Bu sebeple kısa devre oluşumunun devam ettirilmesi, sistem içerisinde bulunan elemanların ve teçhizatların ısınmaya bağlı hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda kısa devre esnasında iletkenler ve baralarda oluşan aşırı manyetik kuvvet etkisinden dolayı sistem içerisinde mekanik ve izolasyon hasarlarının [15] oluşmasına neden olabilmektedir.

Güç ağı içerisinde meydana gelebilecek üç faz kısa devre arıza durumunda sistemin korunması ve hasar görmesini önlemek için sisteme dahil edilecek olan koruyucu ve ölçme (röleler, kesiciler, ölçü trafoları vb.) elemanların seçimi bu tür arıza durumuna göre hesaplanıp seçilmelidir [15]. Bu kapsamda Şekil 9'daki güç sisteminin normal koşullar altında çalışması esnasında oluşabilecek olası arızalar sonucunda sistem içerisinde bulunan her bir hatta ve baraya ait faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve üç faz kısa devre arıza hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 1'de yer alan veriler güç sisteminde yer alan her bir hatta ait kısa devre hesaplamalarıdır. Hatlara ait kısa devre hesaplamaların simülasyonda hattın %50'lik kısmında kısa devre olması durumuna göre kısa devre hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 1. Şekil 9'daki güç sistemine ait hatların simetrik ve simetrik olmayan kısa devre arıza hesaplamaları

Hattın Adı	Faz Adı	Faz-Toprak Kısa Devre Arızası	Faz-Faz Kısa Devre Arızası	İki faz- Toprak Kısa Devre Arızası	Üç faz Kısa Devre Arızası	Hattaki Aktif Kayıp Güç (MW)	Hattaki Reaktif Kayıp Güç (Mvar)
Seyit Ömer-Tutes Şalt	A	1297,550 (8,540 p.u.) ∠82° A	0 A	0 A	3611,500 (23,770 p.u.) ∠-63,60° A	0,22	17,79
	B	0 A	3105,270 (20,438 p.u.) ∠-153,35° A	3254,700 (21,422 p.u.) ∠-149° A	3611,500 (23,770 p.u.) ∠176,40° A		
	C	0 A	3105,270 (20,438 p.u.) ∠26,65° A	2973,990 (19,574 p.u.) ∠-21,93° A	3611,500 (23,770 p.u.) ∠56,40° A		
Işıklar-Seyit Ömer	A	1423,490 (9,369 p.u.) ∠80,41° A	0 A	0 A	2033,690 (13,385 p.u.) ∠-70,66° A	2,87	90,51
	B	0 ∠90° A	1755,230 (11,553 p.u.) ∠-160,49° A	1911,840 (12,583 p.u.) ∠-152,72° A	2033,690 (13,385 p.u.) ∠169,34° A		
	C	0 A	1755,230 (11,553 p.u.) ∠19,51° A	1635,950 (10,767 p.u.) ∠10,48° A	2033,690 (13,385 p.u.) ∠49,34° A		
Seyit Ömer-Afyon2	A	1464,950 (9,642 p.u.) ∠76,81° A	0 A	0 A	2809 (18,488 p.u.) ∠-67,66° A	0,62	41,31
	B	0 ∠90° A	2420,050 (15,928 p.u.) ∠-157,44° A	2578,190 (16,669 p.u.) ∠-151,54° A	2809 (18,488 p.u.) ∠172,34° A		
	C	0 A	2420,050 (15,928 p.u.) ∠22,56° A	2289,770 (15,071 p.u.) ∠15,97° A	2809 (18,488 p.u.) ∠52,34° A		
Seyit Ömer-Gökçekaya	A	1519 (9,998 p.u.) ∠73,73° A	0 A	0 A	2989,9 (9,30 p.u.) ∠-67,67° A	0	47,7
	B	0 ∠90° A	2573,710 (16,940 p.u.) ∠-157,45° A	2751,190 (18,108 p.u.) ∠-151,80° A	2989,9 (9,30 p.u.) ∠172,33° A		
	C	0 ∠90° A	2573,710 (16,940 p.u.) ∠22,55° A	2423,350 (15,95 p.u.) ∠16,20° A	2989,9 (9,30 p.u.) ∠52,33° A		
Bursa San.-Tunçbilek Şalt	A	1423,490 (9,369 p.u.) ∠80,11° A	0 A	0 A	3334,94 (21,95 p.u.) ∠-62,79° A	0,42	34,26
	B	0 A	2868,47 (18,88 p.u.) ∠-152,155° A	3487 (19,98 p.u.) ∠-147,6° A	3334,94 (21,95 p.u.) ∠177,21° A		
	C	0 A	2868,47 (18,88 p.u.) ∠27,45° A	2723,73 (17,927 p.u.) ∠15,28° A	3334,94 (21,95 p.u.) ∠57,21° A		
Balıkesir2-Bursa San.	A	1816,44 (11,955 p.u.) ∠68,39° A	0 A	0 A	2589,4 (17,043 p.u.) ∠-64,19° A	2,32	24,32
	B	0 ∠180° A	2230,94 (14,684 p.u.) ∠-153,98° A	2460,01 (16,191 p.u.) ∠-147,13° A	2589,4 (17,043 p.u.) ∠175,81° A		
	C	0 A	2230,94 (14,684 p.u.) ∠26,02° A	2039,46 (13,423 p.u.) ∠17,82° A	2589,4 (17,043 p.u.) ∠55,81° A		
Kütahya-Seyit Ömer (Hat-1 ve Hat-2)	A	52,488 (0,140 p.u.) ∠87,29° A	0 A	0 A	3983,85 (10,626 p.u.) ∠-74,66° A	2*(0,1)	2*(0,78)
	B	0 A	3441,3 (9,179 p.u.) ∠-164,51° A	3445,4 (9,190 p.u.) ∠-164,31° A	3983,85 (10,626 p.u.) ∠165,34° A		
	C	0 A	3441,3 (9,179 p.u.) ∠15,49° A	3437 (9,168 p.u.) ∠15,28° A	3983,85 (10,626 p.u.) ∠45,34° A		
Tunçbilek Şalt-Kütahya (Hat-1 ve Hat-2)	A	52,875 (0,141 p.u.) ∠87,77° A	0 A	0 A	3406,69 (9,087 p.u.) ∠-74,16° A	2*(0,3)	2*(2,1)
	B	0 A	2943,67 (7,852 p.u.) ∠-164,04° A	2947,79 (7,863 p.u.) ∠-163,79° A	3406,69 (9,087 p.u.) ∠165,84° A		
	C	0 A	2943,67 (7,852 p.u.) ∠15,96° A	2939,58 (7,841 p.u.) ∠15,72° A	3406,69 (9,087 p.u.) ∠45,84° A		
Kütahya-Altıntaş TM	A	76,978 (0,205 p.u.) ∠86,58° A	0 A	0 A	2626,25 (7,005 p.u.) ∠-73,78° A	0	2,94
	B	0 ∠90° A	2270,5 (6,056 p.u.) ∠-163,68° A	2276,93 (6,073 p.u.) ∠-163,23° A	2626,25 (7,005 p.u.) ∠166,22° A		
	C	0 ∠90° A	2270,5 (6,056 p.u.) ∠16,32° A	2262,4 (6,039 p.u.) ∠15,87° A	2626,25 (7,005 p.u.) ∠46,22° A		
Tunçbilek Şalt-Dursunbey	A	2852,57 (18,775 p.u.) ∠-40,1° A	0 A	0 A	1428,3 (9,401 p.u.) ∠-72,66° A	1,33	2,44
	B	0 A	1234,02 (8,122 p.u.) ∠-162,53° A	1795,22 (11,816 p.u.) ∠-151,04° A	1428,3 (9,401 p.u.) ∠167,34° A		
	C	0 A	1234,02 (8,122 p.u.) ∠17,47° A	793,203 (5,221 p.u.) ∠-9,14° A	1428,3 (9,401 p.u.) ∠47,34° A		
Bigadiç-Dursunbey	A	19,224 (0,051 p.u.) ∠81,25° A	0 A	0 A	2255,75 (6,017 p.u.) ∠-78,77° A	0,02	1,95
	B	0 ∠90° A	1951,57 (5,206 p.u.) ∠-168,67° A	1953,22 (9,30 p.u.) ∠-168,54° A	2255,75 (6,017 p.u.) ∠161,23° A		
	C	0 ∠180° A	1951,57 (5,206 p.u.) ∠11,33° A	1949,92 (5,201 p.u.) ∠11,2° A	2255,75 (6,017 p.u.) ∠41,23° A		
Bursa San.-Orhaneli	A	1307,89 (8,608 p.u.) ∠23,04° A	0 A	0 A	1922,07 (12,651 p.u.) ∠-66,99° A	4,91	22,05
	B	0 ∠26,57° A	1658,19 (10,914 p.u.) ∠-156,82° A	1955,68 (12,872 p.u.) ∠-153,9° A	1922,07 (12,651 p.u.) ∠173,01° A		
	C	0 ∠63,43° A	1658,19 (10,914 p.u.) ∠23,18° A	1367,32 (8,999 p.u.) ∠19,06° A	1922,07 (12,651 p.u.) ∠53,01° A		
Seyit Ömer-Bozüyük	A	200,019 (0,534 p.u.) ∠108,86° A	0 A	0 A	4510,03 (12,03 p.u.) ∠-59,49° A	6,33	28,3
	B	0 A	3887,02 (10,368 p.u.) ∠-149,43° A	3897,02 (10,395 p.u.) ∠-148,72° A	4510,03 (12,03 p.u.) ∠179,49° A		
	C	0 ∠90° A	3887,02 (10,368 p.u.) ∠30,157° A	3877,36 (10,342 p.u.) ∠29,86° A	4510,03 (12,03 p.u.) ∠60,51° A		
Süğüt-Bozüyük	A	206,932 (0,552 p.u.) ∠115,78° A	0 A	0 A	5567,09 (14,849 p.u.) ∠-52,66° A	2,88	8,26
	B	0 ∠180° A	4780,44 (12,751 p.u.) ∠-142,59° A	4790,67 (12,778 p.u.) ∠-141,98° A	5567,09 (14,849 p.u.) ∠172,66° A		
	C	0 ∠90° A	4780,44 (12,751 p.u.) ∠37,41° A	4770,26 (12,724 p.u.) ∠36,81° A	5567,09 (14,849 p.u.) ∠67,34° A		
Süğüt-Paşalar	A	218,04 (0,587 p.u.) ∠118,34° A	0 A	0 A	4278,07 (11,411 p.u.) ∠-49,3° A	1,29	2,11
	B	0 A	3674,26 (9,801 p.u.) ∠-139,25° A	3685,68 (9,831 p.u.) ∠-138,43° A	4278,07 (11,411 p.u.) ∠169,31° A		
	C	0 ∠90° A	3674,26 (9,801 p.u.) ∠40,75° A	3663,09 (9,771 p.u.) ∠39,94° A	4278,07 (11,411 p.u.) ∠70,70° A		
Kırka-Seyit Ömer	A	204,77 (0,546 p.u.) ∠99,6° A	0 A	0 A	3187,73 (8,503 p.u.) ∠-66,27° A	3,67	7,73
	B	0 ∠180° A	2749,02 (7,333 p.u.) ∠-156,2° A	2761,25 (7,365 p.u.) ∠-155,19° A	3187,73 (8,503 p.u.) ∠173,73° A		
	C	0 ∠180° A	2749,02 (7,333 p.u.) ∠23,8° A	2737,42 (7,302 p.u.) ∠22,79° A	3187,73 (8,503 p.u.) ∠53,73° A		
Çifteler-Kırka	A	200,765 (0,536 p.u.) ∠104,84° A	0 A	0 A	3136,64 (8,367 p.u.) ∠-60,49° A	0,21	1,81
	B	0 A	2702,73 (7,209 p.u.) ∠-150,41° A	2715,16 (7,242 p.u.) ∠-149,41° A	3136,64 (8,367 p.u.) ∠179,51° A		
	C	0 A	2702,73 (7,209 p.u.) ∠29,59° A	2690,88 (7,178 p.u.) ∠28,58° A	3136,64 (8,367 p.u.) ∠59,51° A		
Çifteler-Eskişehir2	A	198,727 (0,53 p.u.) ∠108,2° A	0 A	0 A	3253,14 (8,677 p.u.) ∠-55,58° A	1,15	0,2
	B	0 ∠116,57° A	2803,79 (7,479 p.u.) ∠-145,51° A	2817,32 (7,515 p.u.) ∠-144,56° A	3253,14 (8,677 p.u.) ∠175,58° A		
	C	0 ∠153,43° A	2803,79 (7,479 p.u.) ∠34,49° A	2790,79 (7,444 p.u.) ∠33,53° A	3253,14 (8,677 p.u.) ∠64,43° A		
Eskişehir2-Eskişehir3	A	200,717 (0,535 p.u.) ∠111,46° A	0 A	0 A	4525,74 (12,072 p.u.) ∠-53,83° A	0,3	1,35
	B	0 ∠180° A	3892,78 (10,383 p.u.) ∠-143,74° A	3905,35 (10,417 p.u.) ∠-143,04° A	4525,74 (12,072 p.u.) ∠173,84° A		
	C	0 ∠180° A	3892,78 (10,383 p.u.) ∠36,26° A	3880,46 (10,351 p.u.) ∠35,53° A	4525,74 (12,072 p.u.) ∠66,17° A		
Eskişehir3-Bozüyük	A	202,31 (0,54 p.u.) ∠113,26° A	0 A	0 A	5200,51 (13,872 p.u.) ∠-52,85° A	0,32	1,36
	B	0 ∠90° A	4472,26 (11,929 p.u.) ∠-142,78° A	4484,22 (11,961 p.u.) ∠-142,16° A	5200,51 (13,872 p.u.) ∠172,85° A		
	C	0 ∠90° A	4472,26 (11,929 p.u.) ∠37,22° A	4460,44 (11,898 p.u.) ∠36,59° A	5200,51 (13,872 p.u.) ∠67,15° A		
Balıkesir2-Bigadiç	A	2808,96 (18,488 p.u.) ∠12,76° A	0 A	0 A	1615,62 (10,634 p.u.) ∠-71,21° A	0,37	1,93
	B	0 A	1395,59 (9,186 p.u.) ∠-161,06° A	1873,53 (12,331 p.u.) ∠-150,53° A	1615,62 (10,634 p.u.) ∠168,79° A		
	C	0 A	1395,59 (9,186 p.u.) ∠18,94° A	1008,5 (6,638 p.u.) ∠-0,74° A	1615,62 (10,634 p.u.) ∠48,79° A		

Tablo 2'de ise yer alan veriler güç sisteminde yer alan her bir baraya ait kısa devre hesaplamalarıdır. Ayrıca her bir baradaki gerilim düşümü hesaplamaları yapılmıştır. Gerilim düşümü değerleri yüksek gerilim tarafı olan 380 kV gerilim değeri ve alçak gerilim tarafı ise 154 kV gerilim değerlerinin baz alınması ile ölçümler alınmıştır. Baralardaki kısa devre ve gerilim düşümü, yüklerin sabit olması kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır. Gerçek güç sistemlerinde yükler statik olmadığından dolayı hatlardan çekilen güç veya akım değerlerine bağlı olarak, kısa devre akımları ile gerilim düşümü değerleri farklılık gösterebilmektedir.

Tablo 2. Şekil 9'daki güç sistemine ait baraların simetrik ve simetrik olmayan kısa devre arıza hesaplamaları

Baranın Adı	Faz Adı	Faz-Toprak Kısa Devre Arızası	Faz-Faz Kısa Devre Arızası	İki faz- Toprak Kısa Devre Arızası	Üç faz Kısa Devre Arızası	Bara gerilim düşümü
Seyit Ömer	A	1373,58 (9,041 p.u.) ∠81,88° A	0 A	0 A	3707,5 (24,402 p.u.) ∠-65,79° A	354,31 (0,9324 p.u.) ∠0,15° kV
	B	0 ∠180° A	3184,77 (20,961 p.u.) ∠-155,53° A	3333,74 (21,942 p.u.) ∠-150,93° A	3707,5 (24,402 p.u.) ∠174,51° A	
	C	0 A	3184,77 (20,961 p.u.) ∠24,17° A	3055,85 (20,113 p.u.) ∠19,55° A	3707,5 (24,402 p.u.) ∠54,51° A	
Afyon2	A	1922,54 (12,654 p.u.) ∠68,51° A	0 A	0 A	2329,06 (15,329 p.u.) ∠-71,48° A	348,41 (0,9169 p.u.) ∠-1,95° kV
	B	0 ∠180° A	2007,72 (13,214 p.u.) ∠-161,29° A	2203,66 (14,504 p.u.) ∠-153,05° A	2329,06 (15,329 p.u.) ∠168,51° A	
	C	0 ∠180° A	2007,72 (13,214 p.u.) ∠18,71° A	1860,13 (12,243 p.u.) ∠9,01° A	2329,06 (15,329 p.u.) ∠48,52° A	
Işıklar	A	2163,8 (14,242 p.u.) ∠49,16° A	0 A	0 A	1461,79 (9,621 p.u.) ∠-74,42° A	335,33 (0,8825 p.u.) ∠-7,35° kV
	B	0 ∠159,44° A	1262,84 (8,312 p.u.) ∠-164,27° A	1484,41 (9,77 p.u.) ∠-152,76° A	1461,79 (9,621 p.u.) ∠165,58° A	
	C	0 ∠180° A	1262,84 (8,312 p.u.) ∠15,73° A	1110,73 (7,311 p.u.) ∠0,33° A	1461,79 (9,621 p.u.) ∠45,58° A	
Tunçbük Şalt	A	1457,41 (9,592 p.u.) ∠81,19° A	0 A	0 A	3681,22 (24,229 p.u.) ∠-65,62° A	354,94 (0,934 p.u.) ∠0,86° kV
	B	0 ∠-90° A	3161,64 (20,809 p.u.) ∠-155,36° A	3321,07 (21,859 p.u.) ∠-150,56° A	3681,22 (24,229 p.u.) ∠174,38° A	
	C	0 ∠-90° A	3161,64 (20,809 p.u.) ∠24,64° A	3024,46 (19,906 p.u.) ∠19,44° A	3681,22 (24,229 p.u.) ∠54,38° A	
Bursa San.	A	1686,24 (11,099 p.u.) ∠77,71° A	0 A	0 A	3353,59 (22,073 p.u.) ∠-64,27° A	351,36 (0,9246 p.u.) ∠2,46° kV
	B	0 A	2880,55 (18,959 p.u.) ∠-154,02° A	3075,85 (19,98 p.u.) ∠-148,35° A	3353,59 (22,073 p.u.) ∠175,53° A	
	C	0 A	2880,55 (18,959 p.u.) ∠25,98° A	2714,83 (17,868 p.u.) ∠19,15° A	3353,59 (22,073 p.u.) ∠55,73° A	
Balıkesir2	A	2479,71 (16,321 p.u.) ∠51,55° A	0 A	0 A	2282,51 (15,023 p.u.) ∠-68,37° A	336,57 (0,8857 p.u.) ∠-1,28° kV
	B	0 ∠-90° A	1967,04 (12,947 p.u.) ∠-158,17° A	2289,49 (15,069 p.u.) ∠-149,29° A	2282,51 (15,023 p.u.) ∠171,63° A	
	C	0 A	1967,04 (12,947 p.u.) ∠21,83° A	1707,53 (11,209 p.u.) ∠9,99° A	2282,51 (15,023 p.u.) ∠51,63° A	
Gökçekaya	A	1973,36 (12,988 p.u.) ∠60,31° A	0 A	0 A	2613,37 (17,201 p.u.) ∠-71,19° A	353,54 (0,9304 p.u.) ∠0,17° Kv
	B	0 ∠90° A	2249,1 (14,823 p.u.) ∠-160,98° A	2496,09 (16,429 p.u.) ∠-153,75° A	2613,37 (17,201 p.u.) ∠168,81° A	
	C	0 A	2249,1 (14,823 p.u.) ∠19,02° A	2044,52 (13,457 p.u.) ∠10,26° A	2613,37 (17,201 p.u.) ∠48,81° A	
Kütahya	A	79,816 (0,213 p.u.) ∠86,91° A	0 A	0 A	4454,44 (11,882 p.u.) ∠-74,48° A	139,19 (0,9038 p.u.) ∠-2,83° Kv
	B	0 A	3844,72 (10,255 p.u.) ∠-164,31° A	3851,13 (10,272 p.u.) ∠-164,03° A	4454,44 (11,882 p.u.) ∠165,52° A	
	C	0 A	3844,72 (10,255 p.u.) ∠15,69° A	3838,35 (10,238 p.u.) ∠15,41° A	4454,44 (11,882 p.u.) ∠45,53° A	
Altıntaş TM	A	82,849 (0,221 p.u.) ∠86,18° A	0 A	0 A	1969,9 (5,254 p.u.) ∠-74,52° A	139,42 (0,9053 p.u.) ∠-2,86° kV
	B	0 A	1703,42 (4,544 p.u.) ∠-164,45° A	1710,15 (4,562 p.u.) ∠-163,80° A	1969,9 (5,254 p.u.) ∠165,48° A	
	C	0 A	1703,42 (4,544 p.u.) ∠15,55° A	1696,87 (4,526 p.u.) ∠14,91° A	1969,9 (5,254 p.u.) ∠45,48° A	
Dursunbey	A	20,645 (0,055 p.u.) ∠81,08° A	0 A	0 A	2122,58 (5,662 p.u.) ∠-79,37° A	127,71 (0,8293 p.u.) ∠-8,8° Kv
	B	0 A	1835,97 (4,897 p.u.) ∠-169,27° A	1837,7 (4,902 p.u.) ∠-169,12° A	2122,58 (5,662 p.u.) ∠160,63° A	
	C	0 A	1835,97 (4,897 p.u.) ∠10,73° A	1834,24 (4,893 p.u.) ∠10,58° A	2122,58 (5,662 p.u.) ∠40,63° A	
Bigadiç	A	20,625 (0,055 p.u.) ∠80,44° A	0 A	0 A	2248,2 (5,997 p.u.) ∠-79,27° A	126,93 (0,8246 p.u.) ∠-9,35° kV
	B	0 ∠-90° A	1944,51 (5,187 p.u.) ∠-169,17° A	1946,31 (5,192 p.u.) ∠-169,03° A	2248,2 (5,997 p.u.) ∠160,43° A	
	C	0 ∠-90° A	1944,51 (5,187 p.u.) ∠10,83° A	1942,73 (5,182 p.u.) ∠10,69° A	2248,2 (5,997 p.u.) ∠40,43° A	
Orhaneli	A	920,308 (6,07 p.u.) ∠7,5° A	0 A	0 A	1897,13 (12,487 p.u.) ∠-66,36° A	367,15 (0,9662 p.u.) ∠9,067° kV
	B	0 ∠26,57° A	1633,8 (10,753 p.u.) ∠-156,19° A	1874,93 (12,340 p.u.) ∠-156,47° A	1897,13 (12,487 p.u.) ∠173,64° A	
	C	0 ∠63,43° A	1633,8 (10,753 p.u.) ∠23,81° A	1393,61 (9,172 p.u.) ∠24,25° A	1897,13 (12,487 p.u.) ∠53,64° A	
Bozüyük	A	203,651 (0,543 p.u.) ∠112,87° A	0 A	0 A	6224,71 (16,604 p.u.) ∠-55,97° A	148,68 (0,9654 p.u.) ∠24,01° kV
	B	0 A	5343,89 (14,254 p.u.) ∠-145,89° A	5353,64 (14,28 p.u.) ∠-145,35° A	6224,71 (16,604 p.u.) ∠-175,97° A	
	C	0 ∠-90° A	5343,89 (14,254 p.u.) ∠34,11° A	5334,11 (14,288 p.u.) ∠33,58° A	6224,71 (16,604 p.u.) ∠64,03° A	
Kırka	A	206,513 (0,551 p.u.) ∠102,74° A	0 A	0 A	3613,32 (9,638 p.u.) ∠-64,23° A	146,48 (0,9512 p.u.) ∠14,46° kV
	B	0 ∠90° A	3108,41 (8,291 p.u.) ∠-154,13° A	3119,87 (8,322 p.u.) ∠-153,23° A	3613,32 (9,638 p.u.) ∠-175,77° A	
	C	0 ∠90° A	3108,41 (8,291 p.u.) ∠25,87° A	3097,37 (8,322 p.u.) ∠24,96° A	3613,32 (9,638 p.u.) ∠55,77° A	
Çifteler	A	199,696 (0,533 p.u.) ∠104,9° A	0 A	0 A	3034,78 (8,095 p.u.) ∠-59,21° A	145,25 (0,9432 p.u.) ∠16,16° kV
	B	0 ∠-90° A	2616,28 (6,979 p.u.) ∠-149,15° A	2629,59 (7,014 p.u.) ∠-148,12° A	3034,78 (8,095 p.u.) ∠-179,21° A	
	C	0 ∠-90° A	2616,28 (6,979 p.u.) ∠30,85° A	2603,58 (6,945 p.u.) ∠29,83° A	3034,78 (8,095 p.u.) ∠60,79° A	
Eskişehir2	A	199,922 (0,533 p.u.) ∠109,41° A	0 A	0 A	4423,73 (11,8 p.u.) ∠-55,63° A	147,32 (0,9566 p.u.) ∠20,43° kV
	B	0 ∠63,43° A	3802,74 (10,143 p.u.) ∠-145,52° A	3815,46 (10,177 p.u.) ∠-144,81° A	4423,73 (11,8 p.u.) ∠-175,63° A	
	C	0 ∠90° A	3802,74 (10,143 p.u.) ∠34,48° A	3790,23 (10,110 p.u.) ∠33,76° A	4423,73 (11,8 p.u.) ∠64,37° A	
Eskişehir3	A	203,237 (0,542 p.u.) ∠111,18° A	0 A	0 A	5243,18 (13,985 p.u.) ∠-54,25° A	149,09 (0,9631 p.u.) ∠22,25° kV
	B	0 ∠-63,43° A	4505 (12,016 p.u.) ∠-144,15° A	4517,63 (12,05 p.u.) ∠-143,53° A	5243,18 (13,985 p.u.) ∠-174,25° A	
	C	0 ∠-90° A	4505 (12,016 p.u.) ∠35,85° A	4492,48 (11,983 p.u.) ∠35,23° A	5243,18 (13,985 p.u.) ∠65,75° A	
Söğüt	A	213,4 (0,569 p.u.) ∠115,96° A	0 A	0 A	5316,9 (14,182 p.u.) ∠-52,92° A	152,48 (0,9901) ∠27,51° kV
	B	0° A	4562,19 (12,169 p.u.) ∠-142,85° A	4572,33 (12,196 p.u.) ∠-142,2° A	5316,9 (14,182 p.u.) ∠-172,92° A	
	C	0 ∠-90° A	4562,19 (12,169 p.u.) ∠37,15° A	4552,1 (12,142 p.u.) ∠36,50° A	5316,9 (14,182 p.u.) ∠67,08° A	
Paşalar	A	224,775 (0,6 p.u.) ∠118,05° A	0 A	0 A	3762,33 (10,035 p.u.) ∠-49,54° A	153,65 (0,9977 p.u.) ∠30,48° kV
	B	0 ∠180° A	3230,4 (8,617 p.u.) ∠-139,47° A	3242,21 (8,648 p.u.) ∠-138,52° A	3762,33 (10,035 p.u.) ∠-169,54° A	
	C	0 ∠156,37° A	3230,4 (8,617 p.u.) ∠40,53° A	3218,98 (8,586 p.u.) ∠39,57° A	3762,33 (10,035 p.u.) ∠70,46° A	

Güç sistemi içerisinde oluşan faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve üç faz kısa devre arızalarının sistem üzerinde en büyük etki ve hasarı bırakan üç faz simetrik arıza durumudur. Sistem içerisinde oluşabilecek üç faz simetrik arızanın sistem üzerinde büyük ve kalıcı hasarların oluşmasını önlemek için koruma sağlamak ve akımı sınırlamak için, hızlı tepkin veren ve simetrik arızayı kesebilecek olan devre elemanı olan kesici kullanılmalıdır. Sisteme dahil edilmek için seçilen kesicinin gücü (S_a), simetrik kısa devre arıza gücünü açması gerekir. Uygulama kapsamında güç akışı analizi ve arıza analizi yapılan, bölgeye ait baraların üç faz simetrik kısa devre hesaplamaları Tablo 2'de verilmiştir. Bu kapsamda üç faz kısa devre arıza akımlarının elde edilmesiyle sisteme dahil edilecek olan kesici güçleri, simetrik kısa devre arıza gücüne göre tayin edilebilir. Kesici seçimi için basitleştirilmiş kısa devre akımı;

$$I_S = \frac{E}{X} \quad (A) \quad (13)$$

ile hesaplanabilir.

I_s : Kısa devre akımı

E: Faz başına gerilim değeri

X: Faz başına reaktans değeri

$$\text{KDG (Kısa devre gücü)} = I_s \times E \quad (14)$$

Sistemin kısa devre arızalarında aşırı akımlara karşı korumak için seçilecek olan kesici, en büyük kısa devre akımını güvenli bir biçimde kesecek değerde olması, hasar görmemiş düzgün çalışan, aşırı akımlara karşı koruma düzeneği ve arıza esnasında aşırı akıma maruz kalacak olan iletim hatlarının akımı kesecek biçimde sisteme dâhil edilmesi gerekir. Seçilecek olan kesici TS ve IEC standartlarına uygun olarak seçilmelidir [16].

IV.SONUÇLAR

Enterkonekte yapıdaki güç sistemlerinin ağ topolojisi içerisinde bulunan üretim tesisleri, transformatörler, hatlar ve yük sayısının birden fazla olmasından dolayı güç sistemini analiz etmek ve matematiksel hesaplamalar yapmak güç ve zor olmaktadır. Ayrıca enterkonekte sisteminde farklı gerilim seviyesindeki senkron generatörler, transformatörler, hatlar ve yüklerin birbirine bağlanmasında ötürü sistemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu sebeple karmaşık yapıdaki güç sistem ağ topolojisini bilgisayar destekli grafik tabanlı görsel simülasyon programları ile desteklenerek analiz edilmesi karmaşık ve farklı gerilim seviyelerine sahip olan güç ağını analiz etmek ve matematiksel hesapların yapılmasında mühendislik bakımından zaman ve ekonomik anlamında kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye enterkonekte sistemine ait olan ve kesit parçası alınmış olan tek hat şemalı güç sisteminin şematik gösteriminin Power World görsel tabanlı simülasyon programında çizilmesi ve güç sistemine ait karakteristik değerlerinin belirlenmesiyle, güç sistemi içerisindeki her bir bara ve hatta ait faz -toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve üç faz kısa devre analizleri gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca hatlara ait aktif-reaktif güç kayıpları ve her biri baraya ait gerilim düşümü hesaplanabilmiştir. Ayrıca güç sistemi içerisinde olası senkron generatörler, hatların veya yükün devreden çıkması sonucunda sistem üzerindeki etkilerin ölçülmesi ve oluşabilecek zararların önceden analiz edilmesinde projelendirme ve tasarım esnasında ön görülmeyen etkilerin analiz edilmesinde ve korumayı sağlamak için sisteme dahil edilecek olan kesicilerin güç değerleri ile yerleşim (hat başı veya hat sonu) yerlerinin belirlenmesinde katkı sağlamıştır. Bununla beraber sistemin güç akışı analizinin gerçekleştirilmesiyle hatlarda oluşabilecek aşırı yüklemelerin öngörülmesiyle sistem içerisindeki olası arıza durumlarının tekrar gözden geçirilmesinde ve sistemin güç akışı analiziyle beraber kısa devre analizlerinin ve matematiksel hesaplamalarının gerçekleştirilmesinde zaman ve ekonomik anlamda katkı ve kazanımlar sağlanmıştır. Bilgisayar destekli görsel simülasyon programında ele alınan güç sistemi içerisinde olası olumsuz senaryolar karşısında arızanın sistem üzerindeki etkisini ve büyüklüğünü bir bütün olarak analiz edilmesiyle, arızanın olduğu bölgedeki senkron generatörler, transformatörler, baralar ve hatlara ait gerilim düşümü, akım, faz açısı, aktif, reaktif, görünür güçler, hatlardaki kayıplar ve faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak, hat kopması ve üç faz kısa devre arızaları ve bara admitans matrislerine ait güncel değerlerinin daha hızlı ve kolay bir şekilde analiz edilmesi ve hesaplanmasında önemli ölçüde katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Yasin İçel, B. B. (2013). Yenilenebilir Kaynakları İçeren Güç Sistemlerinin PowerWorld Programı ile. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013. MALATYA <https://www.researchgate.net/profile/Burhan-Baran>, (02.18.2022).
- [2] İ. Öylek & M. Varan, "Kuzeybatı Anadolu Güç Sisteminde Arızalı Durum Güç Akışı İncelemelerinin Gerçekleştirilmesi", Academic Platform - Journal of Engineering and Science, c. 4, sayı. 3, ss. 0-0, Eki. 2016, doi:10.21541/apjes.27253
- [3] Uzal, H., Zonturlu, A., Kalaycı, B., Karatepe, E., Ugranlı, F., & Bülbül, K. İzmir İli ve Çevresi Elektrik Şebekesinin Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi.
- [4] Ertuğrul, Ö. F. (2010). *Sinir Ağları ve Dalgacık Dönüşümü İle Arıza Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Diyarbakır.*
- [5] Lucas, J. R. (2005). *Power System Analysis: Faults. EE423*, (14.04.2022).
- [6] Glover, J. S. (2008). *Power System Analysis & Design. U.S.A: Nobel.*
- [7] Affetmez, O. (2021). Enerji İletim Hatları Ders Notları, [https://www.academia.edu/17070304/ Enerji iletim hatları ders notu](https://www.academia.edu/17070304/Enerji_iletim_hatları_ders_notu), (13.03.2021).
- [8] Prof. Dr. İrfan GÜNEY, P. D. (2001). *Çözümlü Enerji İletim Hatları Problemleri 2. Baskı. İstanbul: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.*
- [9] Yasin İçel, B. B. (2013). Yenilenebilir Kaynakları İçeren Güç Sistemlerinin PowerWorld Programı ile. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013. MALATYA <https://www.researchgate.net/profile/Burhan-Baran>, (02.18.2022).

- [10] Doğanay, M. M., & Kurban, M. (2022). *Güç sistemlerinde yük akışı ve simetrik arıza analizi-Mardin bölgesi uygulaması. 2nd international symposium of scientific research and innovative studies 150-161.*
- [11] Labcenter Electronics Ltd. (1988). *Proteus*, <https://www.labcenter.com/about/>, (01.12.2021).
- [12] Erim, B. (2015). *154 kV Bir İletim Şebekesinin Kapalı (Ring) Sisteme Dönüşmesiyle Çift Taraflı Beslenen Trafo Merkezlerinde Bara Kısa Devre İncelenmesi. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.*
- [13] Siemens Power Technologies International. (1996). *Siemens* <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/pss-software/pss-e.html>, (17.03.2022).
- [14] Çifçi, A., Altundağ E. & Bulut, Ö. & Uysal, H. H. (2017). *Burdur İli Elektrik Dağıtım Şebekesinde Meydana Gelen Arızalar. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1-12.*
- [15] PowerWorld CORPORATION. (2001). *Powerworld* <https://www.powerworld.com/products/simulator>, (10.03.2022)
- [16] Hökelek, M. Y. (2004). *11. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürü* https://www.emo.org.tr/ekler/4546d484e137a6c_ek.pdf, (14.12.2021).