



B-GİZLİ

**BOĞAZIÇI**  
**ELEKTRİK**  
**DAĞITIM**

**BOĞAZIÇI ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş.**  
**Genel Müdürlük**

Sayı :  
Konu : Kapalı Ring Projesi Kapanışı Hakkında

**Çok İvedî**

**ENERJİ PİYASASI DÜZENLEME KURULUNA**  
Tarifeler Dairesi Başkanlığı'na  
İşçi Blokları Mah.Muhsin Yazıcıoğlu Cd. No:51/06530  
Yüzüncüyıl / Çankaya / ANKARA  
Tel: 0312 201 41 96 Faks: 031 201 41 50

Elektrik dağıtım şirketleri ile doğalgaz dağıtım şirketlerinin gelir gereksinimleri içerisinde yer alan Ar-Ge giderlerine ilişkin başvuru, onay ve izleme ile proje giderlerinin kapsamı hakkında alınan karar doğrultusunda, Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin 26/09/2014 tarih ve 58898295-110.05.99 (58135) numara ile onaylanan '**BEDAŞ OG Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi için Koruma Kontrol Sisteminin Bölge Uygulaması**' projesi tamamlanmış olup, ilgili proje sonuç raporu yazımız ekinde yer almaktadır.

Bilgilerinize arz ederiz.

*e-imza*  
İlker DURSUN  
Ar-Ge ve İnovasyon Direktörü

*e-imza*  
Murat YİĞİT  
Genel Müdür

EKLER :  
Ek 1: Proje Sonuç Raporu

25/01/2017 İdari Personel  
\_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Mühendis

A.ŞAHİN  
M.CAN SİNİM

**Evrakı Doğrulamak İçin : <https://ebys.bedas.com.tr/enVision-Dogrula/BelgeDogrulama.aspx?V=BENNBZ6EF> Pin : 62612**



T.C.  
ENERJİ PİYASASI DÜZENLEME KURUMU



**BOĞAZIÇI**  
**ELEKTRİK**  
**DAĞITIM**

**Proje Adı:**

*BEDAŞ OG Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi için Koruma Kontrol Sisteminin  
Bölge Uygulaması*

**Proje Dönemi:**

Temmuz 2014

**Ar-Ge Komisyon Karar No:**

26/09/ 2014 58898295-110.05.99- (58135)

**Proje Sahibi Şirket:**

Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.

OCAK 2017

İSTANBUL

## Proje Künyesi

|  |   |
|--|---|
| Proje Sahibi:                              | Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.  |
| Proje Sahibinin Adresi:                    | Abdülhakhamit Cad. No:21 34437 Taksim / İstanbul  |
| Proje Adı:                                 | BEDAŞ OG Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi için Koruma Kontrol Sisteminin Bölge Uygulaması |
| Proje Bölgesi (Uygulama yapılan lokasyon): | Şahintepe/Başakşehir/İstanbul   |
| Proje Süresi:                              | 30 Ay   |
| Ar-Ge Dönemi:                              | Temmuz 2014   |
| Ar-Ge Komisyon Kabul no ve Tarihi:         | 26.09.2014 58898295-110.05.99- (58135)  |

## Önsöz

Son yıllarda elektrik dağıtım şirketlerince tüketicilere verilen elektrik enerjisinin verimli, kaliteli ve kesintisiz olması giderek artan bir önem arz etmektedir. Elektrik dağıtım şirketlerinin tüketicilere belirtilen nitelikte enerji verebilmesi, enerji kesintilerinin minimuma indirilebilmesi ancak dağıtım tesislerinde mükemmel çalışan koruma, kontrol ve şalt sistemleri ile mümkün olabilmektedir. Arızaların kısa sürede tespit edilmesi, temizlenmesi, sisteme tekrar enerji verilebilmesi için dağıtım tesislerinde mevcut tek taraftan beslenen radyal sistemlerin veya açık ring olarak işletilen sistemlerin yerine kapalı ring sistemlerinin tesis edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada günün ihtiyaçları doğrultusunda kapalı ring sistemine geçiş incelenmiş, gerçekleştirilen teorik araştırma ve simülasyon çalışmaları ile kapalı ring sisteminin avantajları ortaya konulmuştur. BEDAŞ'a ait bir O.G. dağıtım sisteminde pilot olarak bir kapalı ring uygulaması Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü hocalarının ve Koztek Elektrik ve Enerji Teknolojileri'nin katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulama ile kapalı ring sistemin avantajları gözlenmiş, başarılı sonuçlar alınmıştır.

Proje sonucunda elde edilen bilgi, birikim ve tecrübe ile O.G. dağıtım sistemlerinde mevcut radyal sistemden veya açık ring sistemden kapalı ring sisteme geçişe yönelik yapılabilecek yatırım ve çalışmalar tüm dağıtım sistemleri için örnek teşkil eder niteliktedir.

## Proje Özeti

Dağıtım şebekelerinde orta gerilim seviyesindeki şebeke konfigürasyonları radyal ve ring olmak üzere başlıca iki kısma ayrılır. Ring şebeke ise yapısı itibari ile hem açık hem de kapalı ring işleme uygun olarak tasarlanır. Enerji dağıtım sistemlerinde ring şebeke yapısı, uygulama kolaylığı açısından genellikle kapalı ring yerine açık ring biçiminde işletilmektedir. Fakat herhangi bir arıza durumunda normalde açık olan kesiciler/ayırıcılar kapanarak yükleri diğer hat üzerinden beslemeye devam ederler. Kapalı ring şebeke sürekli işletme koşullarında normalde açık anahtarının kapalı olması ile sağlanabilir. Maliyetinin ve arıza akım seviyelerinin düşük olması, koruma ve kontrol yapılarının basit olması nedeniyle tek taraftan beslenen radyal sistem saha uygulamalarında çok daha yaygın biçimde yer almaktadır. Ring şebeke yapısı ise özellikle maliyetinin yüksek olması ve koruma yapısındaki karmaşıklık nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir.

Bununla birlikte özellikle akıllı şebeke (smart grid) kavramının gelişmesine ve yaygınlaşmasına bağlı olarak yakın gelecekte kapalı ring şebeke yapısı, dağıtım şebekelerinde daha çok uygulama imkanı bulacaktır. Ülkemizde yeni tesis edilen Organize Sanayi Bölgelerinin (OSB) O.G. dağıtım sistemleri kapalı ring sistemi olarak tesis edilmekte, bu tesislerde arıza tespit ve temizleme süresi açık ring sisteme veya radyal sisteme göre çok daha kısa olmaktadır. Günümüzde tüketicilerin kaliteli ve kesintisiz enerji talebini karşılama konusunda ring şebeke çok daha avantajlıdır. Üstelik giderek yaygınlaşan dağıtık üretim birimlerinin şebekeye entegrasyonunda en iyi çözümlerden birisi yine kapalı ring yapısıdır. Kapalı ring şebekelerin açık ring şebekelere göre birçok avantajı vardır. Şöyle ki, kapalı ring şebekeler de gerilim düşümleri azalır, yük uçlarındaki gerilim regülasyonu iyileşir ve enerji arz güvenilirliği ise daha yükselir. Ayrıca kapalı ring işletim durumunda sistem güç kayıpları azalacaktır.

Elektrik dağıtım şirketleri tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de her geçen gün artan enerji taleplerini karşılamak zorundadır. Bunun için bir taraftan yeni dağıtım hatları inşa etmeleri, diğer taraftan sahip oldukları dağıtım şebekesini daha verimli ve etkin biçimde kullanmaları gerekmektedir. Ancak teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı açık ring şebeke olarak işletilen dağıtım şebekesi mevcut haliyle hem yüksek şebeke kayıplarına yol açmakta hem de bazı hatlardaki yüksek enerji talebinden dolayı sık sık arızalara maruz kalmaktadır. Ayrıca herhangi bir arıza durumunda bir kısım tüketiciler gereksiz yere enerji kesintilerine

maruz kalmaktadır. Tüketiciler ve dağıtım şirketleri açısından olumsuz neticelere yol açan bu gibi durumların düzeltilebilmesi için gerçekleştirilecek çözüm önerilerinden birisi de dağıtım sistemlerindeki radyal veya açık şebeke yapısının kapalı şebekeye dönüştürülmesidir.

Bu proje ile, hizmet verdiği abone sayısı ve enerji kapasitesi açısından Türkiye'nin en büyük elektrik dağıtım şirketi olan BEDAŞ'ın orta gerilim (OG) dağıtım şebekesinde arızaların daha kısa sürede tespit edilebilmesi ve temizlenmesi, abonelere arıza sonrası daha kısa sürede enerji verilebilmesi, arıza sebebiyle enerji kesintilerinin minimuma indirilebilmesi ve abonelerine daha kaliteli ve daha yüksek güvenilirlikte enerji sunabilmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu amaçların gerçekleştirilebilmesi için mevcut dağıtım sisteminin bir bölümünde kapalı ring biçiminde işletilebilecek bir prototipin oluşturulması ve uygun şekilde çalıştırılması hedeflenmektedir.

Kapalı ring pilot uygulaması kapsamında öncelikle bu alanda literatürde yapılan teorik ve uygulamalı çalışmalar incelenmiştir. Literatürde verilen farklı uygulamalarda ana koruma olarak diferansiyel korumanın veya mesafe korumasının seçildiği, yedek (back-up) koruma olarak yönlü aşırı akım korumasının seçildiği görülmektedir. Bazı çalışmalarda ana ve yedek korumanın yönlü aşırı akım röleleri ile yapıldığı da görülmektedir. O.G. dağıtım hatlarının uzunluklarının iletim hatlarına oranla kısa olması sebebiyle empedans değerlerinin çok küçük olması O.G. kapalı ring uygulamalarında ana koruma olarak mesafe korumasının kullanımında bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ana korumanın yönlü aşırı akım röleleri ile yapılması halinde özellikle trafo merkezi sayısının dolayısıyla bara sayısının çok olduğu tesislerde aşırı akım rölelerinin selektif röle koordinasyonunda rölelerin zaman gecikmeleri artmakta, ana bara da TEİAŞ'ın dağıtım şirketlerine uyguladığı maksimum bir saniyede kesicinin açması şartı sağlanamamaktadır. Bu nedenle ana korumanın klasik yönlü aşırı akım röleleri (ANSI kodu: 67) ile yapılması uygun değildir. Literatürde verilen ve sadece yönlü aşırı akım rölelerinin ileri ve geri yön bilgileri kullanılarak ana ve yedek korumanın yönlü aşırı akım röleleri ile sağlandığı bir koruma felsefesi proje kapsamında daha da geliştirilerek; kapalı ring sistemde hat ve bara korumasına uygun hale getirilmiştir.

Proje kapsamında yapılacak pilot uygulama için proje ekibimizce yapılan araştırmalarda sahada trafo merkezleri arasında fiber optik haberleşme kablolarının olduğu yerlerde, diferansiyel korumada selektivite probleminin olmaması, arıza tespit ve kesici açma süresinin çok kısa olması göz önüne alınarak ana koruma olarak hat/kablo diferansiyel korumanın (ANSI kodu: 87L) tercih edilmesinin uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yedek

koruma olarak yönlü aşırı akım koruması tercih edilmiştir. Bara koruması için ideal olan bara diferansiyel koruma olmakla birlikte maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle tercih edilmemiş bunun yerine bara korumada yönlü aşırı akım rölelerinden yararlanılmıştır. Teorik çalışmalar proje kapsamında gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları ile desteklenmiş, yukarıda belirtilen korumaların kapalı ring sistemi için uygunluğu simülasyonlar ile gösterilmiştir.

Projede teorik çalışmaların ardından kapalı ring pilot uygulamasına geçilmiştir. 34.5 kV O.G. kapalı ring pilot uygulaması İstanbul Başakşehir ilçesi Şahintepe lokasyonunda gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulama Koztek Elektrik ve Enerji Teknolojileri firmasınınca BEDAŞ'ın kontrolünde gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulamada gerçekleştirilen O.G. kapalı ring sistemi, iki dağıtım merkezi ve beş trafo merkezinde toplam on dokuz kesicili, röleli modüler hücreden oluşan sistemdir. Hücrelerin ikisinden yedekli olarak ringe enerji alınmış, üç radyal çıkış ve beş dağıtım trafosuyla tüketiciye enerji verilmiştir. İstasyonlar arası fiber optik ağ mevcut olup koruma haberleşmesi ve uzaktan izleme/kontrolü bu yolla sağlanmıştır.

Kapalı ring pilot uygulama kapsamında öncelikle güncel dağıtım şebekesi arıza tipleri, sıklıkları ve etkileri analiz edilmiştir. Bu etkileri en aza indirmek ve kaliteli enerji sağlamak amacıyla koruma seçiciliği başlığında yapılan araştırmalar değerlendirilmiş ve hat diferansiyel fark akımları - artçı yönlü koruma prensibiyle çalışmaya karar verilmiştir. Pilot bölge etüt edilmiş, köşk yerleşimlerine ve dağıtım trafosu güçlerine göre proje tek hattı oluşturulmuştur.

Gerilim ölçü hücresinin de dahil olduğu, koruma röleli, kesicili ring giriş-çıkış hücrelerini, trafo ve/veya radyal çıkış hücrelerini içeren yedi adet dağıtım köşkü üretilmiş, pilot bölgeye yerleştirilmiştir. Köşkların arasına yeraltı XLPE enerji kablosu hattı ve koruma haberleşmesi/SCADA için kullanılacak fiber optik ağı kurulmuştur.

Tipik arızalar canlandırılarak enjeksiyon yapılmış, rölelerin koruma fonksiyonları test edilmiştir. Ring üzerindeki bir arıza simülasyonunda, hat başındaki her iki kesicinin açarak arızayı temizlediği, ringin kalanının enerjili kaldığı görülmüştür. Aynı şekilde radyal çıkış üzerindeki arızada ringin enerjili kalmaya devam ederek sadece radyal çıkış hücresinin açtığı görülmüştür.

Ring üzerinde yeraltı hattının faz sırası kontrol edildikten sonra ring enerjilendirilmiştir. Ardından ringin iki ucu birleştirilerek, ring kapatılmıştır. Enerjinin, ringe

girdiği noktadan itibaren ikiye bölünerek ringe dağıldığı gözlenmiştir. Denemek üzere ringin herhangi bir kesicisi açılmış, buna rağmen tüketicinin enerji almaya devam ettiği görülmüştür.

Kapalı çalışmaya devam eden ringe bağlı havai hatta sahip bir radyal çıkışta, izolatör kırılması sonucu bir arıza meydana gelmiştir. Bu arızada radyal çıkış kesici açarak arızayı temizlemiş, ring enerjili kalmaya devam etmiştir.

Gerçek bir arıza sonucunda, arızalı bölgenin hızlı şekilde izole edildiği, arıza bölgesinde olmayan tüketicilerin etkilenmediği ortaya çıkmıştır. Ekipmanların kısa devre etkisi en aza indirilmiştir. Kapalı ringin dağıtım sistemleri uygulamasından başarılı sonuçlar alınmıştır.

Projede yapılan çalışmalar sonucunda, yeni tesis edilen O.G. dağıtım sisteminde sistemin kapalı ring olarak projelendirilip uygulanmasının, proje bütçesinin uygun olması halinde herhangi bir sorunla karşılaşılmadığı görülmüştür. Eski mevcut açık ring olarak işletilen sistemde trafo merkezlerinde sadece akım trafolarının bulunması, gerilim trafolarının bulunmaması, kapalı ringe dönüşüm yapılması halinde, trafo merkezlerinde yönlü aşırı akım koruması için gerilim trafosunun gerekli olmasının bir sorun oluşturduğu, gerilim trafosu için hücrede yer bulunmaması, mevcut açık ring de sadece bir kesici bulunması, hem girişte ve hem çıkışta kesici bulunmamasının hem maliyet ve hem de yer bakımından sorun oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca ana koruma olarak tercih edilen diferansiyel koruma için mutlaka trafo merkezleri arasında fiber optik kablunun gerekli olması sebebiyle, trafo merkezleri arasında fiber optik kablo olmayan yerlerde kapalı ringin uygulanması için fiber optik kablo tesis edilmesinin gerekmesi önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, gerek teorik çalışmalarda, yapılan simülasyonlarda ve gerekse gerçekleştirilen O.G. kapalı ring pilot uygulamasında başarılı sonuçlar alınmış, açık ring sistemine oranla kapalı ring sisteminde kısa sürede arızaların temizlendiği, kısa sürede tüketicilere enerji verildiği görülmüştür. Proje sonrasında da kapalı ring pilot uygulamasından arıza verisi alınmasına, kapalı ring uygulamasının işletmede uzun vadede sağladığı avantajların incelenmesine BEDAŞ tarafından devam edilecektir.



## İÇİNDEKİLER

|  |    |
|--|----|
| Proje Künyesi .....  | 1  |
| Önsöz.....   | 2  |
| Proje Özeti.....   | 3  |
| İÇİNDEKİLER.....   | 7  |
| Şekiller .....   | 9  |
| Listesi .....  | 9  |
| Tablo Listesi.....   | 9  |
| 1. Giriş ve Teorik Çerçeve .....   | 10 |
| 2. Projenin Amacı Kapsamı ve Önemi .....   | 10 |
| 2.1. Teorik Çalışmaların Amaçları .....  | 11 |
| 2.2. Uygulama Çalışmalarının Amaçları .....  | 12 |
| 3. Projeye İlişkin Sorular Ve/Veya Hipotezler.....   | 13 |
| 4. Literatür Taraması .....  | 13 |
| 5. Projeye İlişkin Tasarım – Metotlar Ve Prosedürler.....  | 16 |
| 6. Detaylı Proje Süreci.....   | 17 |
| 6.1. İş Paketi 1: “Literatür Taraması ve Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi” Süreci.....   | 18 |
| 6.1.1. Literatür Özeti .....   | 23 |
| 6.1.2. Literatür Özeti Sonucunda Karar Verilen Yol Haritası .....  | 24 |
| 6.2. İş Paketi 2: - “Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları Süreci”.....  | 25 |
| 6.2.1. BEDAŞ 6- Baralı Kapalı Ring Sisteminde Yönlü Aşırı Akım Röleleri ve Diferansiyel Röle ile Koruma İçin Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları Sonuçları ..... | 26 |
| 6.3. İş Paketi-3: “Kapalı Ring Şebeke Koruma Sisteminin Tasarımı ve Simule Edilmesi”.....  | 32 |
| 6.4. İş Paketi-4: “Tasarlanan Ring Şebekenin Laboratuvar Ortamında Emüle Edilmesi” Süreci ....   | 35 |
| 6.5. İş Paketi-5: “Geliştirilen Ring Sisteminin Sahada Pilot Olarak Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi” Süreci .....                                    | 39 |
| 6.5.1. Pilot Uygulama Kapsamı.....   | 40 |
| 6.5.2. Kapalı Ring Şebekesinde Koruma Uygulaması Ana Prensipleri .....   | 40 |
| 6.5.2.1. Koruma Röle Düzeni.....   | 42 |
| 6.5.2.2. Ring Hattında Kablo/Hat Arızaları.....  | 42 |
| 6.5.2.3. Ring Hattında Bara/Hücre İç Arızaları.....  | 44 |
| 6.5.2.4. Ring Trafo Merkezlerinde Müşteri/Trafo Çıkış Fideri Arızaları.....  | 45 |
| 6.5.2.5. Kesici Arıza Koruması .....   | 46 |
| 6.5.3. Koruma Röle Düzeni Doğrulama Testleri.....  | 47 |
| 6.5.4. Ring Hatları İçin Fider Koruma Röleleri (Röle Tip 1).....   | 48 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 6.5.4.1. | Ring Giriş/Çıkış Fiderleri Röleleri İçin Giriş/Çıkış Listesi.....    | 49 |
| 6.5.4.2. | Ring Giriş/Çıkış Fiderleri Röleleri için Koruma Özellikleri .....    | 50 |
| 6.5.4.3. | Ölçüm Fonksiyonları.....   | 54 |
| 6.5.4.4. | Yapısal Ve Diğer Özellikler .....                                    | 54 |
| 6.5.5.   | Trafo/Müşteri Çıkışları İçin Fider Koruma Röleleri (Röle Tip 2)..... | 55 |
| 6.5.5.1. | Trafo/Müşteri Çıkışları İçin Giriş/Çıkış Listesi.....                | 56 |
| 6.5.5.2. | Trafo/Müşteri Çıkış Fiderleri Röleleri için Koruma Özellikleri.....  | 57 |
| 6.5.5.3. | Ölçüm Fonksiyonları.....   | 59 |
| 6.5.5.4. | Yapısal Ve Diğer Özellikler .....                                    | 60 |
| 6.5.6.   | Pilot Uygulamada Elde Edilen Sonuçlar .....                          | 61 |
| 7.       | Bütçe – Mali Kısım .....   | 64 |
| 8.       | Sonuçlar ve Yorumlar .....   | 65 |
| 9.       | Referanslar/Kaynaklar/Atıflar .....                                  | 68 |
| 10.      | Ekler .....  | 72 |

## Şekiller Listesi

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1: BEDAŞ 6-Baralı OG Kapalı Ring Sistemi için MATLAB SiMULINK Modeli.....   | 27 |
| Şekil 2: DIFF1 Rölesinin Hat 1’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açması.....  | 28 |
| Şekil 3: R0 rölesinin Hat 1’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi.....  | 28 |
| Şekil 4: RA1 rölesinin Hat 1’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve (diferansiyel röle açma sinyali verdiği için) açma sinyali üretmemesi..... | 29 |
| Şekil 5: RA2 rölesinin Bara 2’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi.....  | 30 |
| Şekil 6: RC1 rölesinin Bara 2’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi.....  | 31 |
| Şekil 7: BEDAŞ 6 Baralı Ring Yapısının Gerçek Zamanlı Simülasyonunun Yapılacağı HIL Sistemi ve Prensip Şeması.....                                | 32 |
| Şekil 8: Gerçek zamanlı simülasyon sisteminin ana bileşenleri.....  | 34 |
| Şekil 9: Kapalı ring dağıtım sistemi topolojisi.....  | 36 |
| Şekil 10: Hat arızası durumunda röle sinyalleri.....  | 37 |
| Şekil 11: Bara arızası durumunda röle sinyalleri.....   | 38 |
| Şekil 12: Pilot Uygulama Kapsamı.....   | 40 |
| Şekil 13: Kapalı Ring.....  | 42 |
| Şekil 14: 87L Hat Diferansiyel Koruma.....  | 44 |
| Şekil 15: Bara/Hücre İç Arıza Koruma.....   | 45 |
| Şekil 16: 50/51 Aşırı Akım Koruma.....  | 46 |
| Şekil 17: İstasyon İçi Blokaj ve Kesici Arıza.....  | 48 |
| Şekil 18: Ring Hattı İçin Fider Koruma Rölesi.....  | 49 |
| Şekil 19: İstasyon İçi Sinyal Konfigürasyonu.....   | 50 |
| Şekil 20: Trafo/Radyal Çıkış Koruma Rölesi.....   | 56 |
| Şekil 21: Kapalı Ring Dağıtım Şebekesi Arızası.....   | 62 |

## Tablo Listesi

|  |    |
|--|----|
| Tablo 1: Hatlarda oluşan arızalar.....               | 27 |
| Tablo 2: Bara Arızaları.....                         | 30 |
| Tablo 3: Baralarda ve hatlarda ardışık arızalar..... | 31 |
| Tablo 4: XOR mantık yapısı.....                      | 36 |

## **1. Giriş ve Teorik Çerçeve**

Elektrik dağıtım şirketleri tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de her geçen gün artan enerji taleplerini karşılamak zorundadır. Bunun için bir taraftan yeni dağıtım hatları inşa etmeleri, diğer taraftan sahip oldukları dağıtım şebekesini daha verimli ve etkin biçimde kullanmaları gerekmektedir. Ancak teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı açık ring şebeke olarak işletilen dağıtım şebekesi mevcut haliyle hem yüksek şebeke kayıplarına yol açmakta hem de bazı hatlardaki yüksek enerji talebinden dolayı sık sık arızalara maruz kalmaktadır. Ayrıca herhangi bir arıza durumunda bir kısım tüketiciler gereksiz yere enerji kesintilerine maruz kalmaktadır. Tüketiciler ve dağıtım şirketleri açısından olumsuz neticelere yol açan bu gibi durumların düzeltilmesi için gerçekleştirilecek çözüm önerilerinden birisi de dağıtım sistemlerindeki radyal veya açık şebeke yapısının kapalı şebekeye dönüştürülmesidir.

Bu proje ile, hizmet verdiği abone sayısı ve enerji kapasitesi açısından Türkiye'nin en büyük elektrik dağıtım şirketi olan BEDAŞ'ın orta gerilim (OG) dağıtım şebekesinde arızaların daha kısa sürede tespit edilebilmesi ve temizlenmesi, abonelere arıza sonrası daha kısa sürede enerji verilebilmesi, arıza sebebiyle enerji kesintilerinin minimuma indirilebilmesi ve abonelerine daha kaliteli ve daha yüksek güvenilirlikte enerji sunabilmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu amaçların gerçekleştirilebilmesi için mevcut dağıtım sisteminin bir bölümünde kapalı ring biçiminde işletilebilecek bir prototip oluşturulmuştur. Projede gerek teorik çalışmalarda, yapılan simülasyonlarda ve gerekse gerçekleştirilen O.G. kapalı ring pilot uygulamasında başarılı sonuçlar alınmış, açık ring sistemine oranla kapalı ring sisteminde kısa sürede arızaların temizlendiği, kısa sürede tüketicilere enerji verildiği görülmüştür.

Proje kapsamında hazırlanan işbu sonuç raporunun EPDK aracılığı ile diğer dağıtım şirketleri ile paylaşılması halinde projenin oluşturduğu katma değer ülke geneline yaygınlaşacaktır.

Gerçekleştirilen çalışma ve sonuçlarının ilgili konferans, dergi ve sektör toplantılarında paylaşılması ile ülkemiz açısından oluşacak katkının sektör, bilim dünyası ve halkımız için daha da yaygınlaşmasının sağlanmasına çalışılacaktır.

## **2. Projenin Amacı Kapsamı ve Önemi**

Projenin temel amacı, enerji dağıtım sisteminde güvenilirliğin, gerilim kalitesinin ve enerji verimliliğinin artmasına neden olacak kapalı ring işletimini ülkemizde ilk defa bir orta gerilim dağıtım şebekesinde gerçekleştirmektir. Kapalı ring işletiminin pilot bölge uygulamaları İngiltere, Almanya ve ABD gibi ülkelerde başarı ile uygulanmıştır. Akıllı şebeke altyapısına

da uygun olan bu yapının uygulamaları dünyada her geçen gün artmaktadır/artacaktır. Bu proje sayesinde dünyadaki uygulamalara paralel olarak ülkemizde de benzer uygulamalar hayata geçirilecektir.

Bu Ar-Ge projesi teorik ve uygulama çalışmalarından oluşmaktadır. Teorik çalışmalar Yıldız Teknik Üniversitesi akademik personelince, yapılan teorik çalışmaların pratiğe dönüştürüldüğü uygulama çalışmaları ise BEDAŞ teknik personelinin kontrolünde KOZTEK Elektrik ve Enerji Teknolojileri Ltd. Şti. teknik personelince gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle projenin amaçları, teorik çalışmaların amaçları ve uygulama çalışmasının amaçları olmak üzere iki başlık altında aşağıda verilmiştir:

### **2.1. Teorik Çalışmaların Amaçları**

#### **Kapalı Ring O.G. Dağıtım Sisteminde Ana Koruma ve Yedek (Backup) Koruma için Uygun Koruma Fonksiyonlarının Belirlenmesi**

Literatür taramasında yapılan teorik ve simülasyon çalışmalarında kapalı ring sistemlerde ana koruma rölesi olarak diferansiyel rölelerin veya mesafe rölelerinin, yedek (backup) koruma rölesi olarak yönlü aşırı akım rölelerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Diğer ülkelerin dağıtım şirketlerinin kapalı ring O.G. dağıtım uygulamaları incelendiğinde ana korumanın diferansiyel röleler ile yedek korumanın yönlü aşırı akım röleleri ile gerçekleştirildiği görülmektedir. O.G. dağıtım sisteminde ardışık koruma rölelerinin tesis edildiği baralar arasındaki mesafelerin çok kısa olması mesafe rölelerinin kullanımını zorlaştırmaktadır. Araştırmalar sonucunda ana koruma için diferansiyel rölenin yedek koruma için yönlü aşırı akım rölesinin kullanımına karar verilmiştir.

#### **O.G. Açık Ring Dağıtım Sistemlerinin Kapalı Ring Dağıtım Sistemine Dönüştürülmesi Halinde Ortaya Çıkacak Avantaj ve Dezavantajların İncelenmesi**

Mevcut BEDAŞ O.G. açık ring sistemleri incelendiğinde iki tip açık ring sisteminin bulunduğu görülmektedir. Aynı TEİAŞ O.G. barasına kapanan açık ring sistem ve farklı iki TEİAŞ 154/34.5 kV indirici transformatörlerinin O.G. sekonder baraları arasına bağlı olan açık ring sistem. ETAP programı ile yapılan simülasyon ve analizlerde, aynı TEİAŞ O.G. barasına kapanan açık ring sisteminin kapalı ringe dönüştürülmesinin uygulanabilir olduğu, bu durumda kapalı ring sistemin teknik kayıplarının azaldığı, O.G./A.G. dağıtım transformatörlerinin O.G. giriş kesicilerinin maruz kaldığı kısa devre akımlarının açık ring sistemindekine oranla arttığı fakat 16 kA'ı aşmadığı tespit edilmiştir. Ancak TEİAŞ indirici

transformatörünün gücünün 100 MVA olması halinde tüm teçhizat 16 kA'e göre seçildiği için bu hususta risk yoktur.

Farklı iki TEİAŞ 154/34.5 kV indirici transformatörlerinin O.G. sekonder baraları arasında bağlı olan açık ring sistemin kapalı ring sistemine dönüştürülmesinin uygulanabilir olmadığı tespit edildi. İndirici transformatörlerinin O.G. baralarının gerilimleri arasında çok küçük bir genlik veya faz açısı farkı olması halinde ring sistem üzerinde yüksek sirkülasyon akımları akmakta, kablolar aşırı yüklenmekte ve kayıplar artmaktadır. Dolayısıyla bu tip bir kapalı ringin uygulanabilir olmadığı tespit edilmiştir. (Ayrıntılar Ek-1'de ve Ek-2'de verilmiştir.)

Sonuç olarak ETAP programı ile yapılan simülasyon sonucunda aynı TEİAŞ O.G. barasına kapanan açık ring sistemin kapalı ringe dönüştürülmesinin uygulanabilir ve avantajlı olduğu tespit edilmiştir. (Ayrıntılar Ek-1 ve Ek-3'de verilmiştir.)

## **BEDAŞ O.G. Kapalı Ring Dağıtım Sisteminin HIL (Hardware In the Loop) Sisteminde Gerçek Zamanlı Simülasyonunun Gerçekleştirilmesi**

Proje kapsamında OPAL-RT firmasından gerçek zamanlı simülasyon için HIL sistemi temin edilmiş, koruma rölelerinin sisteme bağlanması gereken amplifikatörlerin bütçe yetersizliği nedeniyle temin edilememesi sebebiyle gerçek zamanlı simülasyon çalışmaları kısmen yapılabilmektedir.

### **2.2. Uygulama Çalışmalarının Amaçları**

Kapalı ringin uygulama çalışmalarının amaçlarını ve hedeflerini altı ana başlıkta toplayabiliriz.

- **Arıza Süresinin Düşürülmesi**

Dağıtım şebekesinde meydana gelen arızaların kısa sürede temizlenmesi, fiziki tahribatın meydana gelmemesi açısından önemlidir.

- **Tüketiciye Kesintisiz Enerji Sunulması**

Normal işletmede, arıza sonrasında meydana gelen kesintiler, manevra veya onarım süresince devam etmektedir. Kapalı ringde arızalı bölgenin izole edilip, tüketicinin enerji almaya devam etmesi hedeflenmektedir.

- **Daha İyi Koruma Seçiciliği**

Normal işletmede arızada TEİAŞ fiderinden itibaren dağıtım şebekesinin tamamının izole olduğu durumlar olmaktadır. Kapalı ring koruma seçiciliğinde arızanın, en dar bölgede izole edilmesi hedeflenmektedir.

- **Güç Kalitesinin Daha İyi Hale Getirilmesi**

Arıza anında gerilim tepeleri ve çukurları oluşmaktadır. Bu bozulmalar en aza indirilerek çok iyi seviyede şebeke güç kalitesi hedeflenmiştir.

- **Daha İyi Arıza Yönetimi**

Arıza ekiplerinin, şebekeye acil müdahalesine gerek kalmadan güvenli şekilde çalışmalarını hedeflenmektedir.

- **Daha Ekonomik İşletme**

Kullanılan elektrik ekipmanlarının daha az sürede kısa devreye maruz kalmasıyla kullanım ömürlerinin uzaması, bakım, değişim maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

Proje kapsamında O.G. kapalı ring dağıtım sistemi başarıyla tesis edilmiş ve uygulama sonuçları alınmaya başlanmıştır. Sistemin devreye alınması ile birlikte yukarıda belirtilen amaçların gerçekleştiği görülmektedir. Uzun vadede arızalar oluştuğunda kapalı ring sistemde açık ring sistemdeki arızalardaki kesinti sürelerine oranla kesinti sürelerinin azaldığı, kapalı ring sistemden dolayı işletme kalitesinin, müşteri memnuniyetinin artacağı, hat kayıplarının azalacağı daha net olarak gözlemlenebilecektir.

### **3. Projeye İlişkin Sorular Ve/Veya Hipotezler**

- Kapalı Ring'in şebekeye uygulaması aşamasında karşılaşılan sorunlar nelerdir?
- HIL (Hardware in the Loop) sisteminin şebeke modellemesinde gerçek zamanlı olarak kullanımı ve cihazların test edilmesi mümkün müdür?
- Kapalı ring dağıtım şebekesinde yaygınlaştırılmalı mıdır?

### **4. Literatür Taraması**

Türkiye'deki dağıtım şebekeleri genel olarak düşük işletim ve bakım maliyetleri (O&M), genişletilmesindeki basitlik, koruma cihazlarının kolay ayarlanabilmesi ve koordinasyonu gibi avantajlarından dolayı radyal olarak çalışmaktadır. Ancak, artan elektrik talebi, güç kalitesi ve güvenilirlik ihtiyaçları dağıtım şebeke topolojilerinin değişmesini gerektirmektedir. Son yıllarda, sistem güvenilirliği ve sürekliliğini sağlamak için dağıtım şebekesinin ring çalıştırılması popüler hale gelmiştir. Böyle bir dönüşüm için yapılan pilot bir proje referans

[1]'de verilmiştir. Bu çalışmada, İtalya'da bulunan orta gerilim dağıtım sisteminin bir kısmı üç yıllık bir proje kapsamında kapalı ring çalışmanın değerlendirilmesi için pilot bölge olarak seçilmiştir. Bu amaçla seçilen pilot bölge yeni koruma cihazlarının kullanılması, yük ayırıcıların kesicilerle değiştirilmesi, hava hatlarının ve kabloların iyileştirilmesi ve fiber optik tabanlı iletişim sisteminin kurulması ile yeniden yapılandırılmıştır [1].

Dağıtım şebekesi ring şebeke haline getirildiğinde, koruma ile ilgili konular en önemli zorlukları oluşturmaktadır [2]. Çalışmada, yeni bir arıza belirleme sistemi geliştirilmiştir. Üç arıza belirleme seviyesine dayalı yeni koruma sisteminde yönlü müdahale yaklaşımı kullanılmaktadır. Her bir alt istasyon iki adet arıza tespit cihazı ile donatılmıştır. Arıza durumunda arıza tespit cihazları bir sinyal gönderebilmektedir. İki alt istasyon arasında bir bölgede arıza meydana geldiğinde, her bir alt istasyondaki arıza tespit cihazı arıza akımının yönüne göre bir sinyal göndermektedir. Eğer sinyal gönderen arıza tespit cihazı aynı zamanda başka bir arıza tespit cihazından sinyal alırsa bu iki arıza tespit cihazları açma yaparlar. Ana koruma seviyesine ek olarak, ana koruma sisteminde veya iletişim sisteminde arıza durumlarına karşı iki adet yedek koruma sistemi vardır. Önerilen koruma sistemi faz arızaları içindir. Bara arızaları için bir bilgi verilmemiştir [2]. Sıfır sequence yönlü prensibine dayalı toprak arızası koruması için benzetim çalışmaları referans [1]'de verilen pilot bölge için yapılmıştır. Referans [2]'de verilen yenilikçi koruma sistemi kapalı çevrim içindeki ve dışındaki toprak arızaları için doğrulanmıştır. Transiyent durumlar için ek analizler yapılmış ve ilerisi için saha testleri planlanmıştır [3]. Kapalı ring dağıtım şebekelerinde koruma rölelerinin koordinasyonu için yeni bir yaklaşım referans [4]'te önerilmiştir. Önerilen yaklaşım ile koruma cihazlarının akım-zaman eğrisine göre set edilmesindeki zorlukların çözüldüğü belirtilmiştir. Önerilen yaklaşımın temel eksikliği şebekenin gerçek zamanlı analizini gerektirmesidir. Ek olarak, bazı koruma cihazları yüksek önceliğe sahip olduklarından seçicilik konusunda sıkıntı oluşabilir [4].

Taiwan'da bulunan aynı transformatör üzerinden beslenen normalde kapalı çevrim çalışan dağıtım şebekesinin çalışma durumları referans [10]'da incelenmiştir. Seçilen şebeke konfigürasyonunda kısa devre ve güç akış analizleri yapılmış, seçilen şebeke konfigürasyonu normal ve anormal şartlar altında çalıştırılmıştır. Şebekedeki bileşenlerin boyutlandırılmalarını kontrol etmek amacı ile transformatör yüklenmeleri ve gerilim düşümleri analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları dağıtım mühendislerine işletim kararlarında yardımcı olacaktır [10]. Çin'de bir dağıtım şebekesinin sürekli işletimi için geliştirilen



yazılım paketi ve matematiksel modeller referans [11]'de verilmiştir. Üç durum analizi yapılmış ve elektrik enerjisinin kesim süresi ve sistem güvenilirliğinin kapalı ring çalışma ile iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Şebeke kayıplarını azaltmak amacı ile orta gerilim dağıtım sisteminin kapalı ring çalıştırılması referans [12]'de analiz edilmiştir. Analizlerde Hollanda'daki gerçek şebeke topolojileri ele alınmıştır. Farklı yük profillerinin olduğu üç durum incelenmiş ve şebeke kayıplarında elde edilebilecek kazancın sisteme bağlı olan yüklerle direkt ilişkili olduğu gösterilmiştir. Daha fazla dinamik değişime sahip yük profilleri kapalı ring çalışmada şebeke kayıplarının azaltılmasında daha etkili olmaktadır [12].

Referans [13]'te güç kalitesi ve güç sisteminin sürekliliğinin iyileştirilmesi için farklı enerji kaynaklarını ve kapalı ring şebekeleri bir araya getiren bir yöntem önerilmiştir. Kapalı çevrim çalışmada sistem empedansı önemli ölçüde azaldığından dağıtım şebekelerinin radyal çalışmadan ring çalışmaya dönüştürülmesi standartlarda belirtilen kısa devre akım seviyesinden daha yüksek kısa devre akımlarına yol açar. Ring çalışmada kısa devre akımını azaltmak için kaynak ile yük arasında minimum sayıda çevrim kullanılması ve sistemin transfer empedansının artırılması çözüm olarak önerilmiştir [13]. Referans [17]'de maksimum esneklik ve daha güvenilir bir elektrik sistemi için bir havaalanına ait dağıtım sisteminin kapalı ring çalışması ele alınmıştır. Yönlü röleler kullanılmış ve kesiciler uzaktan izlenip kontrol edilmiştir [17].

Güç sisteminde kapalı çevrim çalışmada koruma sistemleri daha karmaşık hale gelmektedir. Referans [18]'de hem radyal hem de ring şebekede simetrik arızaları izole etmek ve yedek güç kaynağının çalışmasını engellemek amacı ile yönlü aşırı akım rölesi ve yönlü düşük gerilim modülünün birlikte kullanıldığı adaptif bir koruma tekniği incelenmiştir [18]. Referans [19]'da bir sistemi tamamen enerjisiz bırakmadan bir DC mikroşebeke için arıza koruma ve yedek koruma sistemi önerilmiştir. Bu koruma sistemi belirli bir bara kısmındaki arızayı belirleyebilen ve arızalı kısmı devreden ayırarak tüm sistemin çökmesini engelleyebilen bölgesel akıllı elektronik cihazlara sahiptir. Referans [20]'de akıllı şebekeler açısından adaptif mikro şebeke koruma sistemleri özetlenmiş ve teknik zorluklar sunulmuştur. Teknik zorlukların bazıları iki yönlü güç akışı, mikro şebeke konfigürasyonunda oluşan sık değişiklikler, aşırı akım rölesinin seçiciliği ve hassaslığı ve adaptif koruma için gerekli olan hızlı ve güvenilir bir haberleşme sistemi olarak verilebilir [20].

Orta gerilim kapalı ring dağıtım şebekesinde kullanılan koruma yöntemlerinden birisi yönlü aşırı akım koruma rölelerinin kullanılmasıdır. Referans gerilim fazörü geleneksel yönlü aşırı

akım rölelerinde arıza akımının yönünü belirlemek için kullanılır. Bu yüzden, geleneksel yönlü aşırı akım röleleri için gerilim transformatörü kullanımı zorunludur. Yönlü aşırı akım korumasında hem akımın hem de gerilimin ölçümü için sensör gerektiğinden toplam maliyet yüksektir. Günümüzde bazı çalışmalar sadece akım bilgisine dayalı yönlü aşırı akım rölesi geliştirme üzerine yoğunlaşmıştır [21]-[22]. Bu çalışmalara göre arıza akımının yönünü belirlemek için gerilim sinyaline gerek yoktur. Arıza sonrası akımın faz açısı arıza öncesi akımın faz açısına göre değişmektedir. Bu faz açısı değişikliği arıza akımının yönüne bağlıdır ve arıza akımının yönünü gösterir [21]. Pozitif faz açısı değişimi arıza akımının geri yönde olduğunu ve negatif faz açısı değişimi arıza akımının ileri yönde olduğunu gösterir [21]. Normal çalışma koşullarında akımın faz açısı bir periyottan diğer periyoda çok fazla değişmez. Ancak arıza durumunda akımın faz açısında büyük değişimler olur. Arıza akımının yönü ileri yönde veya geri yönde olabilir ve bu durum faz açısının işaretini değiştirir. Arıza süresince elde edilen sinyallerin analizi sadece akıma bağlı aşırı akım koruma tekniğinin uygulanabilir olduğunu göstermektedir [22]. Çin’de bulunan LV dağıtım sisteminde PLC tabanlı yeni bir LV otomatik bara transfer cihazı geliştirilmiştir. Geleneksel LV bara transfer cihazlarından farklı olarak bu cihaz ring-açma ve ring-kapama akımlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve ölçülmesi fonksiyonlarını içerir ve ring akım koruma fonksiyonu sağlar. Böylece LV yükleri kesinti olmadan diğer bir LV transformatöre otomatik olarak transfer edilebilecektir. Bu cihaz ile dağıtım sisteminde kesim zamanlarını kısaltabilir [24]. Referans [25]’te koruma, otomasyon, ve kontrol cihazlarının ayarlarının yapılması için hibrit bir gerçek zamanlı güç sistem simülatörü geliştirilmiştir. Geliştirilen simülatör bahsedilen cihazların testlerini kapalı çevrim sistemleri için de yapabilmektedir. Referans [26]’da değişken arıza olasılıkları altında beş farklı ring şebekenin güvenilirlik seviyelerinin değerlendirmesi ele alınmıştır. Bütün düğümlerin birbirleri ile haberleşebileceği kabul edilmiştir.

Bu projede kaynak sürekliliğini ve sistem güvenilirliğini artırmak amacı ile İstanbul’da bir dağıtım şebekesinin kapalı ring çalışma uygulaması incelenecektir. Kısa devre kapasitesi ve sistem koruma konuları analiz edilecektir. Benzetim çalışmalarında farklı koruma seçenekleri ele alınacak ve kapalı ring çalışma için en iyi koruma yöntemine karar verilecektir.

## **5. Projeye İlişkin Tasarım – Metotlar Ve Prosedürler**

Projede uygulanan yöntem aşağıda kısaca açıklanmıştır:

Güç sistemlerinin güvenli, güvenilir ve verimli olarak işletiminde dijital mikroişlemci tabanlı röleler kullanılmaktadır. Olası arıza durumlarında, istenmeyen etkilerden şebekeyi koruma amaçlı olarak aşırı akım koruma röleleri geniş ölçekte kullanılmaktadır. Aşırı akım rölelerinin açma/set parametreleri yanlış olarak ayarlandığında yanlış açmalara veya arıza durumlarında açma yapmayarak istenmeyen durumlara yol açılabilmektedir. Bir ring şebekede farklı işletme koşulları için bu set parametrelerinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada rölelerin güncellenmesi ve performanslarının analizi ile ilgili olarak şu adımlar gerçekleştirilebilir. Öncelikle ring şebekenin modellenmesi ve bu model üzerinde simülasyon çalışmalarının ve analizlerin gerçekleştirilmesidir. Bilindiği üzere büyük ölçekte bir sistem üzerinde analizler yapılması boyutlar ve maliyetler açısından uygun olmamaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için ise bilgisayar ortamında simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Fakat mevcut bir donanımın (örnek olarak bir rölenin) farklı işletim durumları için vereceği cevaplar gerçek zamanlı olarak elde edilememektedir. Bu bağlamda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bu tarz donanımların performanslarının gözlemlenebilmesi için gerçek zamanlı simülatör yapıları kullanılabilir. Bu çerçevede kısaca HIL (Hardware in the Loop) olarak adlandırılan yazılım içinde donanım sistemlerinin dağıtım şebekesinin gerçek zamanlı işletimini modellemek amacı ile kullanılması uygun görülmektedir. İstenilen cihaz analog veya dijital girişler kullanılarak bu simülatörlere bağlanabilir ve daha önceden bu sisteme yüklenmiş şebeke modelinin bir parçası olarak görev görebilmektedir. Bu projede önerilen prototip yapının HIL cihazları yardımı ile emüle edilmesi hedeflenmiştir.

## **6. Detaylı Proje Süreci**

"BEDAŞ Orta Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi İçin Koruma/Kontrol Sisteminin Tasarımı, OG Şebekenin Kapalı Ring İşletimi İçin Yeniden Yapılandırılması ve Pilot Bölge Uygulaması" Ar-Ge projesi, Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. (BEDAŞ) ve Yıldız Teknik Üniversitesi (Y.T.Ü.) Ar-Ge gruplarının ortak çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca projede Ar-Ge ekiplerince yapılan teorik çalışmalar doğrultusunda O.G. kapalı ring pilot uygulaması KOZTEK Elektrik ve Enerji Teknolojileri Ltd. Şti. tarafından BEDAŞ kontrolünde gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar, proje zaman planında yer alan iş paketlerine göre aşağıdaki bölümlerde çıktılarıyla birlikte belirtilmiştir.

Çalışmalar, BEDAŞ proje ekibinin ve YTÜ proje ekibinin ortaklaşa gerçekleştirdiği çalışmalar ile yürütülmüştür. Periyodik olarak yapılan proje değerlendirme toplantıları ile koordinasyon sağlanmış ve proje süreci düzenlenmiştir.

Proje önerisinde planlanan iş paketleri ve iş paketi isimleri aşağıda verilmiştir.

**İŞ PAKETİ-1** Literatür Taraması ve Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi

**İŞ PAKETİ-2** Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları

**İŞ PAKETİ-3** Kapalı Ring Şebeke Koruma Sisteminin Tasarımı ve Simule Edilmesi

**İŞ PAKETİ-4** Tasarlanan Ring Şebekenin Laboratuvar Ortamında Emüle Edilmesi

**İŞ PAKETİ -5** Geliştirilen Ring Sisteminin Sahada Küçük Bir Alanda Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

**İŞ PAKETİ -6** Geliştirilen Ring Sisteminin SCADA Sistemi Mevcut Büyük Ölçekli Bir Alanda Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Sahada yapılan kapalı ring pilot uygulamasının maliyetinin öngörülenden çok daha yüksek olması, HIL sisteminin maliyetinin yüksek olması sebebiyle proje bütçesinin yeterli olmaması yüzünden 5. ve 6. İş paketleri tek iş paketi olarak gerçekleştirilmiştir.

### **6.1. İş Paketi 1: “Literatür Taraması ve Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi”**

#### **Süreci**

#### **Bu iş paketinde gerçekleşen faaliyetler:**

- Elektrik tesislerinde koruma, elektrik dağıtımda koruma sisteminden beklenen özellikler, koruma bölgeleri, yedek koruma ve koruma çeşitleri konularında klasik ve modern uygulamaların gözden geçirilmesi,
- Ticari olarak mevcut rölelerin incelenmesi ve karşılaştırılması,
- Dağıtım sisteminde fider ve bara koruması için kullanılacak röleler ve çalışma prensiplerinin belirlenmesi,
- Yayın, tez, standart ve koruma ile ilgili teknik raporlarının incelemesi (Literatür Özeti)

- Kapalı ring işletim ile ilgili yurt içi (TEİAŞ ve organize sanayi bölgelerindeki uygulamalar) ve yurt dışı örneklerin incelenmesi .

### **Bu iş paketinden elde edilen çıktılar:**

Projemizin nihai hedefi BEDAŞ 34,5 kV OG şebekesinde ring işletim bakımından yapısal uygunluk arz eden şebeke fiderlerini modernize ederek kapalı ring işletime dönüşümlerini sağlamaktır. Bu amaçla BEDAŞ 34,5 kV OG şebekesi incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde proje hedeflerine uygun olan 87 adet aynı dağıtım merkezine kapanan açık ring yapısı olduğu görülmüştür. Belirlenen 87 adet açık ring şebeke kısmında 762 adet transformatör bulunmaktadır. Kapalı ringe çevrilebilme imkânı olan bu açık ring sayısının büyüklüğü, aynı zamanda projemizin sahada uygulanabilme potansiyelinin ne derece yüksek olduğunu da göstermektedir. Bu şebekelerin kapalı ringe dönüşebilmesi için mevcut altyapının da incelenmesi önem arz etmektedir. Gerek sahada gerekse tek hat diyagramları üzerinden yapılan incelemeye göre BEDAŞ şebekesinde ölçü transformatörü olarak sadece akım transformatörlerinin olduğu, gerilim transformatörlerinin ise mevcut olmadığı görülmüştür. Ancak hatta gerilimin olup olmadığını görebilmek amacı ile kapasitif bir gerilim bölücünün OG hücreler içerisine tesis edildiği görülmüştür. Aynı zamanda OG hücrelerindeki hacim yetersizliğinden dolayı mevcut OG hücreler içerisine gerilim trafosunun eklenmesinin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumda koruma röleleri gerekli giriş bilgileri için ve dolayısı ile belirlenecek koruma topolojileri için geriye sadece iki seçenek kalmaktadır. Birinci seçeneğe göre sadece akım bilgisine bakarak kapalı ring koruma topolojisi oluşturmak. İkinci seçeneğe göre ise röle için gerekli gerilim bilgisini mevcut kapasitif gerilim bölücülerinin alçak gerilim tarafı üzerinden geliştirilecek bir devre sayesinde almaktır. Böylece önerilecek koruma topolojisinde hem akım hem de gerilim bilgisini kullanmak mümkün hale gelecektir. Sadece akım bilgisini kullanan röleler, aşırı akım röleleri ile diferansiyel rölelerdir. Hem akım hem de gerilim bilgisini kullanan röleler ise yönlü aşırı akım röleleri ile mesafe röleleridir. Bununla birlikte [1,2] referanslarında yer alan ve İtalya dağıtım şebekesinde uygulanan çalışmada gerçekleştirilen koruma mantığı hem hat hem de bara korumasını içerecek şekilde geliştirilerek bu proje kapsamında da uygulanabilir görülmektedir. Önerilen koruma mantığı yönlü aşırı akım rölelerinin diferansiyel röle gibi çalıştırılması ilkesine dayanmaktadır. İtalya’da gerçekleştirilen bu koruma sistemi sadece hat koruması yapmaktadır. Bu proje kapsamında ise ilgili koruma lojiği geliştirilerek hem hat hem de bara korumayı içerecek şekilde geliştirilebilir bulunmuştur. Aynı zamanda

geliştirilecek olan kapalı ring koruma felsefesinde merkezi bir mastır üniteye ihtiyaç olmayacak bir yapı üzerinde çalışılacaktır. Bu çerçevede korunacak bara sayısından bağımsız olacak ve BEDAŞ'ın mevcut şebekesinin dönüşümüne uygun olacak en ekonomik iki çözüm üzerinde durulmaktadır. Bu çözüm önerileri;

- (1) Hem ana koruma hem de yedek koruma literatür özetinde yer alan ve Referans [1,2]'de yer alan koruma felsefesinin (yönlü aşırı akım rölelerinin diferansiyel röle gibi çalıştırılması ilkesi) geliştirilerek hem bara hem de hat korumasına uygulanması (A –Planı)
- (2) Ana koruma olarak diferansiyel röle, yedek koruma olarak ise yukarıda verilen A-Planı lojiğinin uygulanması (B-Planı)

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, ilk iş paketinden elde edilen çıktılar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- (a) BEDAŞ OG şebekelerinin kapalı ring işleme dönüşümü için gerekli topoloji ve sistem gereksinimleri belirlenmiştir.
- (b) Önerilen koruma sisteminin simülasyon testlerinin gerçekleştirileceği Yazılım İçinde Donanım Sisteminin (Hardware in the Loop: HIL) teknik özellikleri belirlenmiş ve uygun cihazların araştırılması yapılarak firmalardan teklifler alınmıştır.

BEDAŞ şebekesine ait örnek bir bölgenin açık ring ve kapalı ring durumları için gerekli ilk şebeke analizleri ve koruma simülasyonları CYME ve DIgSILENT programları vasıtası ile yapılmış olup, simülasyon raporları Ek-4'de verilmiştir.

Bu iş paketi kapsamında YTÜ ve BEDAŞ proje ekiplerince ortaklaşa yapılan araştırmalar sonucunda aşağıdaki tespit ve değerlendirmeler yapılmıştır:

- O.G. dağıtım şebekesinde açık ring sistemi ile kapalı ring sisteminin karşılaştırılmasında
  1. Can ve mal güvenliği
  2. Beslemenin sürekliliği
  3. İşletme esnekliği
  4. Enerji kesintisi maliyeti
  5. Arızanın temizlenme (arızalı fiderin sistemden izole edilme) süresi,

kriterleri gözönüne alındığında; kapalı ring sistemi açık ring sistemine göre daha avantajlıdır. Ancak açık ring sisteminden kapalı ring sistemine geçilmesi halinde kısa devre akımlarının artması, tesis maliyetinin artması, röle koordinasyonun zorlaşması gibi dezavantajlar da ortaya çıkmaktadır.

- O.G. dağıtım şebekesinde kapalı ring sisteminin korumasında;
  1. Yönlü aşırı akım röleleri ile koruma,
  2. Yön karşılaştırmalı blokaj tekniği ile koruma,
  3. Mesafe röleleri ile koruma,
  4. Diferansiyel röleler ile koruma,

olmak üzere başlıca dört farklı seçenek uygulanabilir.

- **Yönlü aşırı akım rölesi** ile korumanın yapılabilmesi için tesiste akım trafolarının ve gerilim trafolarının bulunması gerekir. BEDAŞ'ın dağıtım merkezlerinin (DM) veya transformatör merkezlerinin (TM) çoğunda sadece akım trafoları mevcut olup gerilim trafosu bulunmamaktadır. Gerilim trafolarının olmaması ve eski DM ve TM'lerde gerilim trafosu tesis etmek için yeterli alan bulunmaması yönlü aşırı korumasının yapılması için dezavantaj oluşturmaktadır.

Proje kapsamında yapılan araştırmalarda; Avrupa'da ve A.B.D.'de kapalı ring sisteme dönüşümde gerilim trafosu bulunmayan O.G. hücrelerde yer sorununu çözmek amacıyla gerilim trafosu yerine kapasitif veya rezistif gerilim bölücülerin kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Bu gerilim bölücüler; mevcut O.G. hücrelerindeki bir mesnet izolatörü kadar az yer kaplamaktadır. Bazı firmaların geliştirdikleri gerilim bölücü izolatöre aynı zamanda akım ölçme sensörü de ilave ettikleri böylece tek elemandan gerilim ve akım sinyallerini elde ettikleri görülmektedir. Akım sinyallerinin genliği 5A veya 1A olmayıp birkaç mA, gerilim sinyallerinin genliği 100V veya  $100/\sqrt{3}$  V olmayıp sadece 10 V civarındadır. Nümerik yönlü aşırı akım imalatçısı firma akım sensörlü gerilim bölücü ve buna uygun nümerik röleyi set halinde kullanıma sunmaktadır. Bu tip gerilim bölücülerin piyasada kullanımı arttıktan ve sektörde yeterli güvenilirliği kazandıktan sonra ileride yapılacak

kapalı ring uygulamalarında bu yenilik yönlü aşırı akım rölelerinin kullanımını kolaylaştıracaktır.

Bir arıza durumunda O.G. sisteminde BEDAŞ'ın arızayı temizlemesi için TEİAŞ BEDAŞ'a maksimum bir saniye süre vermektedir. BEDAŞ'ın koruma sisteminin bir saniyeden daha kısa sürede arızayı temizlemesi gerekmektedir. Selektif koruma yapmak için hat sonundan başlayarak kaynağa (TEİAŞ barasına) doğru rölelerin zaman gecikmesini arttırmak gerekir. BEDAŞ dağıtım sisteminde 20 baraya ulaşan açık ring sistemlerin bulunması sebebiyle bu sistemlerin kapalı ringe dönüştürülmesi halinde ardışık iki röle arasında koordinasyonu sağlamak için en az 0.25 saniye zaman gecikmesi oluşturmak gerektiği için hatbaşındaki rölenin kesiciyi açtırma süresi TEİAŞ'ın izin verdiği bir saniyeden çok daha uzun olmakta ve arıza halinde BEDAŞ kesicisinden önce TEİAŞ kesicisi açması ve tüm sistemin enerjisinin kesilmesi riski ortaya çıkmaktadır. Röle koordinasyonu ile ilgili bu sorun sebebiyle çok baralı kapalı ring sisteminin ana koruma olarak yönlü aşırı akım röleleri ile korunması zorlaşmaktadır.

- **Yön karşılaştırmalı blokaj tekniği** ile korumada röleler arıza akımı yönüne bakarak arızanın koruma bölgesi içinde olup olmadığı belirlemekte, bu teknikte röleler koruma bölgeleri içinde arızalarda 0.3s-0.5s gibi çok kısa sürelerde kesiciyi açtırabilmekte, arızayı koruma bölgesi içinde gören röle kendisinden önceki röleye blokaj sinyali göndererek o rölenin gereksiz açmaya sebep olmasını önlemektedir. Arıza akımının yönünün belirlenmesi için gerilim trafosuna ihtiyaç duyulması ve rölelerin haberleşmesi için fiber optik kablo altyapısının gerekli olması bu koruma tekniği için dezavantaj oluşturmaktadır.
- **Mesafe röleleri** ile korumanın yapılabilmesi için tesiste akım trafosu ile birlikte gerilim trafosunun da olması gerekmektedir. Mesafe röleleri arızayı birinci kademedeki gördüklerinde çok kısa sürede kesiciyi açtırmaktır. Ayrıca mesafe röleleri kendisinden sonraki ardışık iki hat için de zaman gecikmeli olarak yedek (back up) koruma imkanı sağlamaktadır. Mesafe rölelerinin koordinasyonunun ardışık üç hat için yapılabilmesi sebebiyle sistemde çok sayıda bara olması röle koordinasyonu bakımından sorun oluşturmamaktadır. Bu bir avantajdır. Ayrıca mesafe rölesi ile korumada haberleşme



için fiber optik kablo altyapısının bulunması zorunlu değildir. Mesafe röleleri iletim hatlarının korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak O.G dağıtım hatlarında hat uzunluğunun çok kısa olması röle ayarlarını zorlaştırmaktadır.

- **Kablo diferansiyel röleleri** ile korumanın yapılabilmesi için tesiste hattın her iki ucunda akım trafosu olması yeterli olup gerilim trafosuna ihtiyaç yoktur. Gerilim trafosuna ihtiyaç duyulmaması kapalı ring sisteminin korunmasında diferansiyel röleyi öne çıkarmaktadır. Ayrıca diferansiyel rölenin selektiviteye gereksinim duymaması, bir arıza halinde hat başı ve hat sonundaki diferansiyel rölelerin çok kısa sürede kesiciyi açtırması da önemli bir avantajdır. Diferansiyel rölenin çalışması için tesiste haberleşme sistemi, fiber optik kablo altyapısının olması gerekir ki fiber optik kablo altyapısı olmayan eski tesisler için bu husus da ayrı bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Yukarıdaki değerlendirmeler doğrultusunda bu aşamada O.G. kapalı ring sisteminin korunması için gerilim trafosuna ihtiyaç duymaması, hızlı çalışması, röle koordinasyonu için sistemdeki bara sayısına kısıtlama getirmemesi özellikleri sebebiyle fiber optik kablo altyapısı olan bölgeler için ana koruma elemanı olarak kablo diferansiyel rölesi ağırlık kazanmakta, yedek (back up) koruma rölesi olarak yönlü aşırı akım rölesi veya mesafe rölesi seçenekleri ortaya çıkmaktadır.

Yapılan literatür araştırma çalışmalarına ait literatür özeti aşağıda verilmiştir:

#### 6.1.1. Literatür Özeti

“BEDAŞ Orta Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi İçin Koruma/Kontrol Sisteminin Tasarımı, OG Şebekenin Kapalı Ring İşletimi İçin Yeniden Yapılandırılması ve Pilot Bölge Uygulaması ” isimli AR-GE Projesinde,

- Açık ring olarak işletilen O.G. dağıtım sistemlerinin kapalı ring sistemine dönüştürülmesinin avantaj ve dezavantajları,
- Dünyada kapalı ring olarak işletilen O.G. dağıtım sistemi örnekleri,
- Kapalı ring dağıtım sistemlerinde kullanılan koruma röleleri,

- Açık ring dağıtım sisteminin kapalı ring dağıtım sistemine dönüştürülmesi halinde ortaya çıkması muhtemel zorlukların (gerilim transformatörüne ihtiyaç duyulması, bara kısa devre akımlarının yükselmesi vb.) incelenmesi,
- Açık ring dağıtım sisteminin kapalı ring dağıtım sistemine dönüştürülmesi halinde hat kayıplarındaki azalma,
- Kapalı ring dağıtım sistemleri için geliştirilen ve gerilim transformatörüne ihtiyaç duymadan arıza akım yönünü belirleyebilen yeni tip yönlü aşırı akım rölelerinin çalışma prensipleri,

konularına yönelik literatür taraması yapılmış, 28 adet makale incelenmiş ve bu makalelere ait özet bilgiler Literatür taraması başlığı altında verilmiştir:

#### **6.1.2. Literatür Özeti Sonucunda Karar Verilen Yol Haritası**

Geleneksel olarak radyal veya açık ring olarak işletilen orta gerilim dağıtım şebekeleri son yıllarda özellikle haberleşme ve koruma teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak kapalı ring çalışmaya dönüştürülmektedir. Enerji sürekliliğinin artırılması, gerilim seviyelerinin regüle edilmesi, hat kayıplarının azaltılması gibi işletme koşullarının iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayan kapalı ring şebeke uygulamaları dünya genelinde farklı düzey ve biçimlerde gerçekleştirilmektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde uzun yıllardan beri sanayi ve ticaret bölgeleri gibi alanlarda kapalı ring dağıtım şebekeleri başarı ile işletilmektedir [28]. İtalya'da ise yerleşim bölgesini besleyen bir dağıtım şebekesi kapalı ring çalışmaya uygun hale dönüştürülerek pilot proje uygulaması gerçekleştirilmiştir [1].

Kapalı ring çalışma, çeşitli avantajlara sahip olsa da, özellikle koruma konusunda çok ciddi sorunları sahiptir. Bu sorunların çözümüne yönelik farklı yaklaşımlar ve metotlar önerilmiştir. Genellikle haberleşme teknolojilerinin kullanımına dayalı söz konusu metotlar içerisinde, iletim hatlarında kullanılan PO (permissive overreach) yöntemine benzer bir yaklaşım, basit olmasına karşın etkili bir koruma gerçekleştirme potansiyeli vardır [2]. Söz konusu koruma yaklaşımının daha da geliştirilerek projemizde uygulanması öngörülmektedir. Bu amaçla ilk olarak şebekede yer alan koruma rölelerinin birbirleri ile ve merkezi bir kontrol sistem ile haberleşmesine dayalı bir algoritma geliştirilecek. Sonrasında proje kapsamında kurulacak gerçek zamanlı test sisteminde, söz konusu algoritmanın olası arızalar karşısındaki performansı ölçülecektir.

## 6.2. İş Paketi 2: - “Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları Süreci”

Bu iş paketinde modellenen yapıların MATLAB, CYME ve DIGSILENT gibi paket programlar yardımı ile simule edilmesi, arızanın yeri ve çeşidine bağlı olarak arıza akımlarının karakteristik davranışları analiz edilmesi, koruma sistemi için gerekli verilerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Bu iş paketinin ana hedefi, proje için ön görülen koruma topolojilerinin ve bu topolojilerde kullanılacak koruma mantığının dağıtım sistemi ring yapısına uygulanması durumunda, sistemde ortaya çıkacak farklı arıza modlarında sistemin davranışlarını görebilmek, önerilen röle koordinasyonu için gerekecek açma zaman gecikmelerini belirlemek ve arıza simülasyonları esnasında ortaya çıkacak olan sonuçlara göre tasarımda iyileştirmelere gitmek ve projenin geri kalan dönemi için yol haritasını güncellemek şeklinde özetlenebilir.

Bu amaca dönük olarak projenin ikinci iş paketinde takip edilen adımlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- **“Literatür Taraması ve Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi”** isimli birinci iş paketinde ortaya konulan yol haritasından hareketle, hem hat korumasını hem de bara korumasını içerecek şekilde yeni, basit ve etkili bir koruma felsefesi ortaya konmuştur.
- İş Paketi-2 kapsamında ön tasarım ve simülasyon çalışmaları yapılan kapalı ring yapısında (hat ve bara koruma sistemi ile ilgili) işletme güvenilirliğini en yüksek seviyede tutabilmek amacı ile diferansiyel röle ve yönlü aşırı akım rölelerinin bir arada kullanılmasına karar verilmiştir ve sistem modellemeleri bu çerçevede yenilenmiştir.
- İkinci iş paketi kapsamında geliştirilen yeni koruma mantığını test etmek amacı ile MATLAB programı yardımı ile kapalı ring dağıtım şebekesi için bir simülasyon ortamı geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, yönlü aşırı akım koruma rölesi (DIROC) ile diferansiyel koruma rölesinin bir arada olduğu BEDAŞ 6-baralı ring şebeke çalışması ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir ve analiz sonuçları ile ilgili hazırlanan detaylı rapor Ek-3’de ayrıca sunulmuştur.

- Ayrıca BEDAŞ 6-Baralı Kapalı Ring Modelinin OPAL-RT HIL sistemi içerisindeki gerçek zamanlı simülasyonu yapılmış olup, konu ile ilgili detaylı rapor Ek-4'de verilmiştir. Simülasyon çalışması ile ilgili özet aşağıda verilmiştir:

### **6.2.1. BEDAŞ 6- Baralı Kapalı Ring Sisteminde Yönlü Aşırı Akım Röleleri ve Diferansiyel Röle ile Koruma İçin Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları Sonuçları**

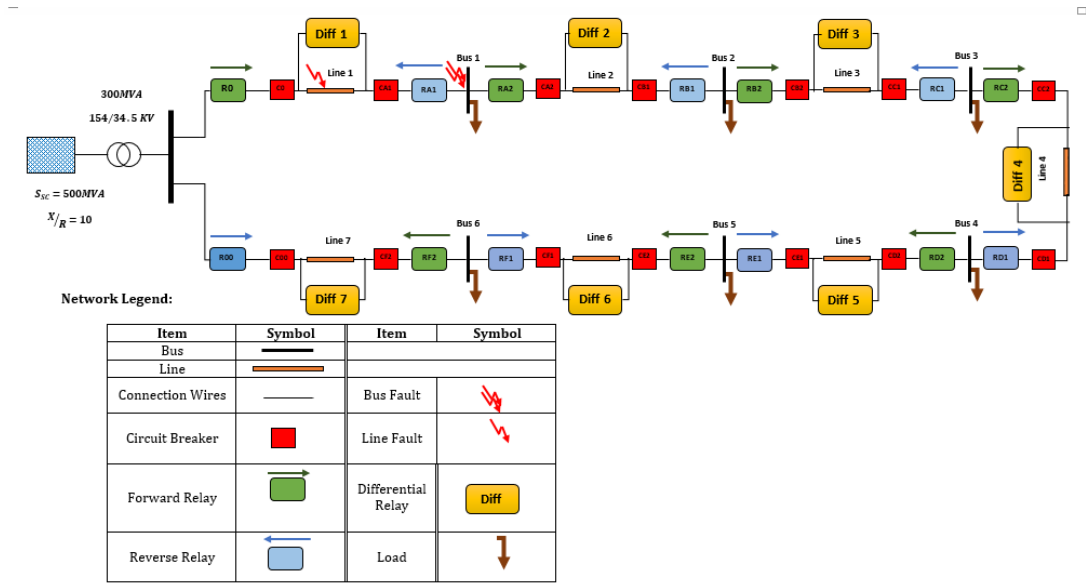
Bu çalışmada, yönlü aşırı akım koruma rölesi (DIROC) ile Diferansiyel koruma rölesinin (DIFF) BEDAŞ 6-baralı ring şebeke çalışmada kullanılmaları MATLAB/Simulink kullanılarak analiz edilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinde, yönlü aşırı akım röleleri yedek koruma rölesi olarak, diferansiyel röleleri ise ana koruma rölesi olarak kullanılmıştır. Yönlü aşırı akım röleleri (DIROC) hem hat hem de bara koruması için kullanılırken diferansiyel röleler (DIFF) sadece hat koruması için kullanılmıştır. Şekil 1'de 6-baralı sisteme ait simülasyon modeli gösterilmiştir. Simülasyonda koruma sisteminin seçiciliği dört farklı durum için incelenmiştir:

- 1) Farklı baralarda farklı arıza durumları
- 2) Farklı hatlarda arıza durumları
- 3) Farklı arıza durumlarının ardışık olarak ortaya çıkması
- 4) Eş zamanlı arızaların olması

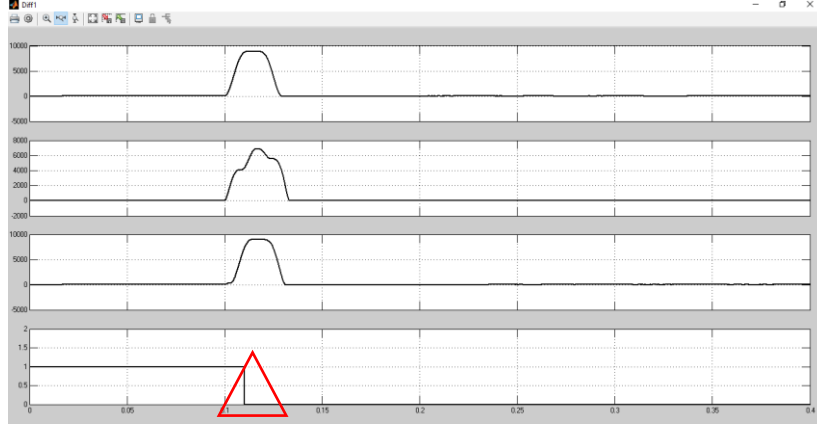
Yukarıdaki durumlara ek olarak, ana koruma rölesi olan diferansiyel rölelerin çalışmadığı durumda yedek koruma rölesi olan yönlü aşırı akım rölelerinin çalışmaları da incelenmiştir. (Aşağıdaki tablolarda LLLG üç faz-toprak kısa devre arızasını, LLL üç fazlı simetrik kısa devre arızasını ve LL faz-faz kısa devre arızasını, LLG iki faz-toprak kısa devre arızasını ve LG ise tel faz-toprak kısa devre arızasını göstermektedir.)

**Tablo 1:** Hatlarda oluşan arızalar

| Hat Numarası | Arıza Tipi | Ana Koruma Rölesi | Yedek (Backup) Koruma Rölesi | Açma Yapan Kesici (CB) |
|--------------|------------|-------------------|------------------------------|------------------------|
| 1            | LLLG       | DIFF1             | R0 & RA1                     | C0 & CA1               |
| 3            | LLL        | DIFF3             | RB2 & RC1                    | CA2 & CB1              |
| 6            | LL         | DIFF6             | RE2 & RF1                    | CE2 & CF1              |

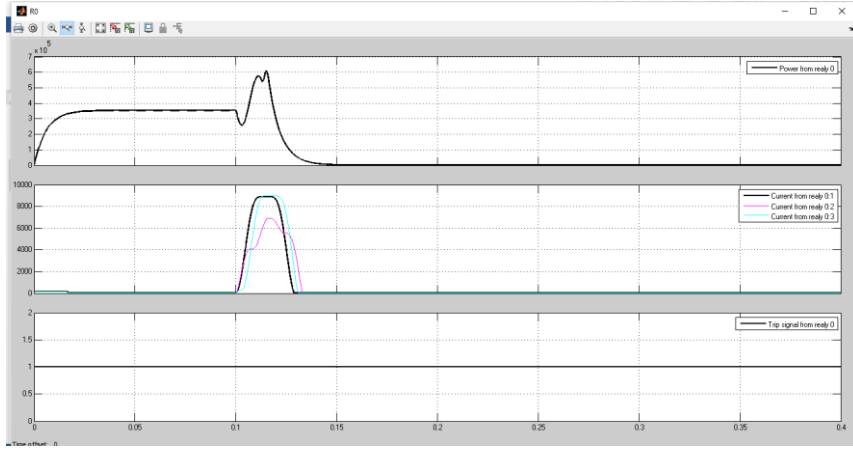


**Şekil 1:** BEDAŞ 6-Baralı OG Kapalı Ring Sistemi için MATLAB SIMULINK Modeli

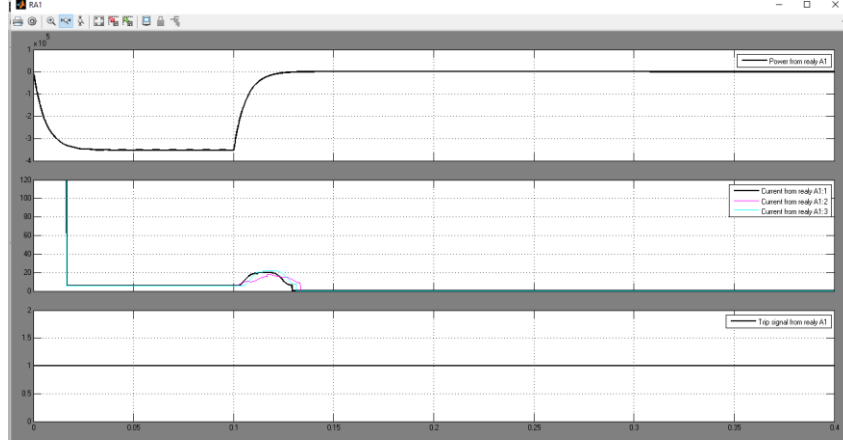


**Şekil 2: DIFF1 Rölesinin Hat 1’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açması.**

Geliştirilen simülasyon modelinin hem açık ring ve hem de ring şebekeler için kullanılabildiğine dikkat ediniz.



**Şekil 3: R0 rölesinin Hat 1’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi**

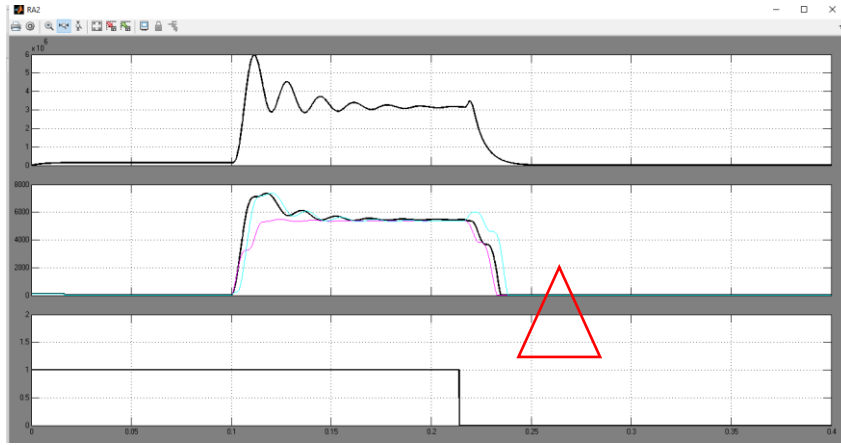


**Şekil 4:** RA1 rölesinin Hat 1’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve (diferansiyel röle açma sinyali verdiği için) açma sinyali üretmemesi

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’den tüm rölelerin LLLG arızasını tespit ettikleri görülmektedir; ancak sadece DIFF 1 rölesi arızayı en kısa zamanda izole etmektedir. Arıza 100ms’de başlamaktadır ve DIFF 1 rölesi 10 ms içerisinde arızayı tespit edip izole etmektedir.

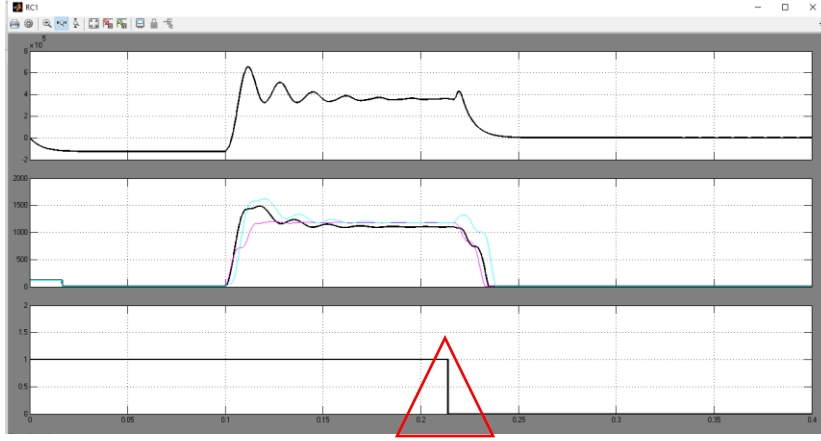
**Tablo 2:** Bara Arızaları

| Bara No | Arıza Tipi | Arızada çalışan röleler | Çalışan CB |
|---------|------------|-------------------------|------------|
| 2       | LLG        | RA2 & RC1               | CA2 & CC1  |
| 4       | LL         | RC2 & RE1               | CC2 & CE1  |
| 6       | LG         | RE2 & R00               | CE2 & C00  |



**Şekil 5:** RA2 rölesinin Bara 2’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi





**Şekil 6:** RC1 rölesinin Bara 2’de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

Şekil 5 ve Şekil 6’dan Bara 22de oluşan arızayı izole etmek için çalışması gereken iki rölenin RA2 ve RC1 röleleri olduğu görülmektedir. Bara 2’de LLLG arızası oluşturulmuş ve arıza temizle süreleri RA2 ce RC1 röleleri için sırasıyla 216.5 ms ve 216 ms olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki simülasyon sonuçlarından görüldüğü üzere, ana korumanın diferansiyel röle ile yedek korumanın yönlü aşırı akım rölesi ile yapılması halinde hat ve bara arızalarında selektif korumanın gerçekleştiği görülmektedir.

**Tablo 3:** Baralarda ve hatlarda ardışık arızalar

| Durum | Bara No | Hat No | Arıza Tipi | Röleler            | Çalışan CB           |
|-------|---------|--------|------------|--------------------|----------------------|
| 1     | 1       | 3      | LLLG       | R0 & RB1 & DIFF3   | C0 & CB1& CB2 &CC1   |
| 2     | 2       | 5      | LL         | RA2 & RC1* & DIFF5 | CA2 & CC1& CD2 & CE1 |

\*: Röleler açma sinyali üretmemiştir.

Simülasyon çalışması ile daha detaylı bilgi Ek 5’de verilmiştir.

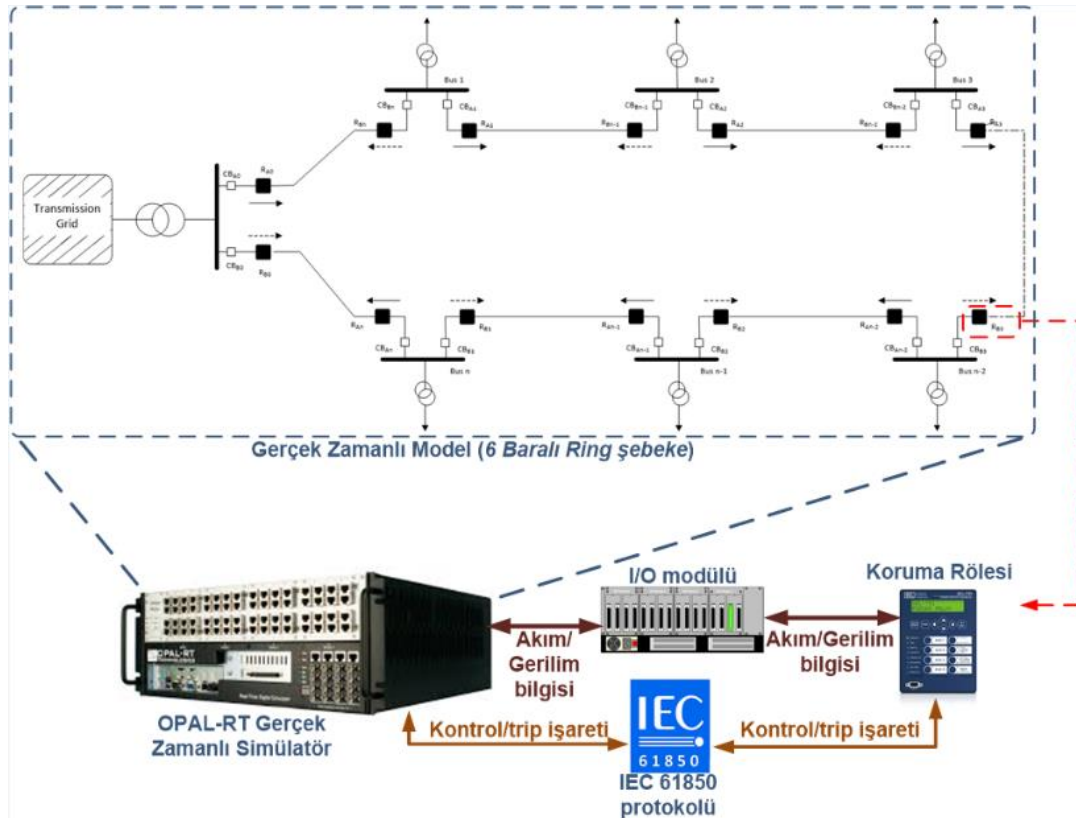
İş Paketi-2’de elde edilen çıktılar:

- BEDAŞ orta gerilim kapalı ring şebeke koruma sistemi için yeni, etkin ve basit bir koruma felsefesi geliştirilmiştir.
- Geliştirilen koruma algoritmasının yanı sıra, kapalı ring uygulamaları için yüksek güvenilirlikli en uygun röle topolojisi de (Diferansiyel Röle + Yönlü Aşırı Akım Röle) belirlenmiş ve tüm arıza senaryoları için simülasyon çalışmaları Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

### 6.3. İş Paketi-3: “Kapalı Ring Şebeke Koruma Sisteminin Tasarımı ve Simule Edilmesi”

Bu iş paketi kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Dağıtım sisteminde gerçek zamanlı kapalı ring uygulamalarının gerçekleştirileceği HIL sisteminin alımı yapılmış ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulumu gerçekleştirilen HIL sisteminin genel prensip şeması Şekil 7’de açıklanmıştır.



**Şekil 7:** BEDAŞ 6 Baralı Ring Yapısının Gerçek Zamanlı Simülasyonunun Yapılacağı HIL Sistemi ve Prensip Şeması

Şekil 7’de görüleceği üzere, Matlab/Simulink ortamında hazırlanan BEDAŞ 6-Baralı Ring Yapısı, OPAL-RT Gerçek zaman simülatörü içerisinde koşturulacak yapıya

getirilmiş ve HIL gerçek zaman simülatörü içerisine yüklenerek daha önce MATLAB ortamında yapılan simülasyonlar HIL sistemi içerisinde de gerçekleşmiştir (Ek-6). Ancak geliştirilen koruma algoritmasının gerçek zamanlı testlerinin yapılabilmesi için, Şekil 7’den de görüleceği üzere OPAL-RT HIL sistemine dışarıdan bir gerçek koruma rölesi bağlanması gerekmektedir. Bu çerçevede OPAL-RT HIL sistemi tarafından koruma rölelerinde kullanılan 1A veya 5A’lık giriş sinyalleri üretilememektedir. 1A veya 5A giriş sinyallerini üretebilmek amacı ile Amplifikatör kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak HIL sistemine sonradan dâhil edilmek istenen amplifikatörün oldukça pahalı olmasından ve proje bütçe aşımı yaşanmasından dolayı alımı yapılamamıştır. Bu noktada çözüm yolu olarak OPAL-RT ve röleler arasında IEC 61850 protokolünün kullanılması seçeneği üzerinde durulmuştur. (Ek-7) Bu protokol kapsamında;

1. IEC 61850-8 GOOSE
2. IEC 61850-9-2LE “sample value” haberleşmelerinin yapılarak gerçek zamanlı röle testlerinin gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

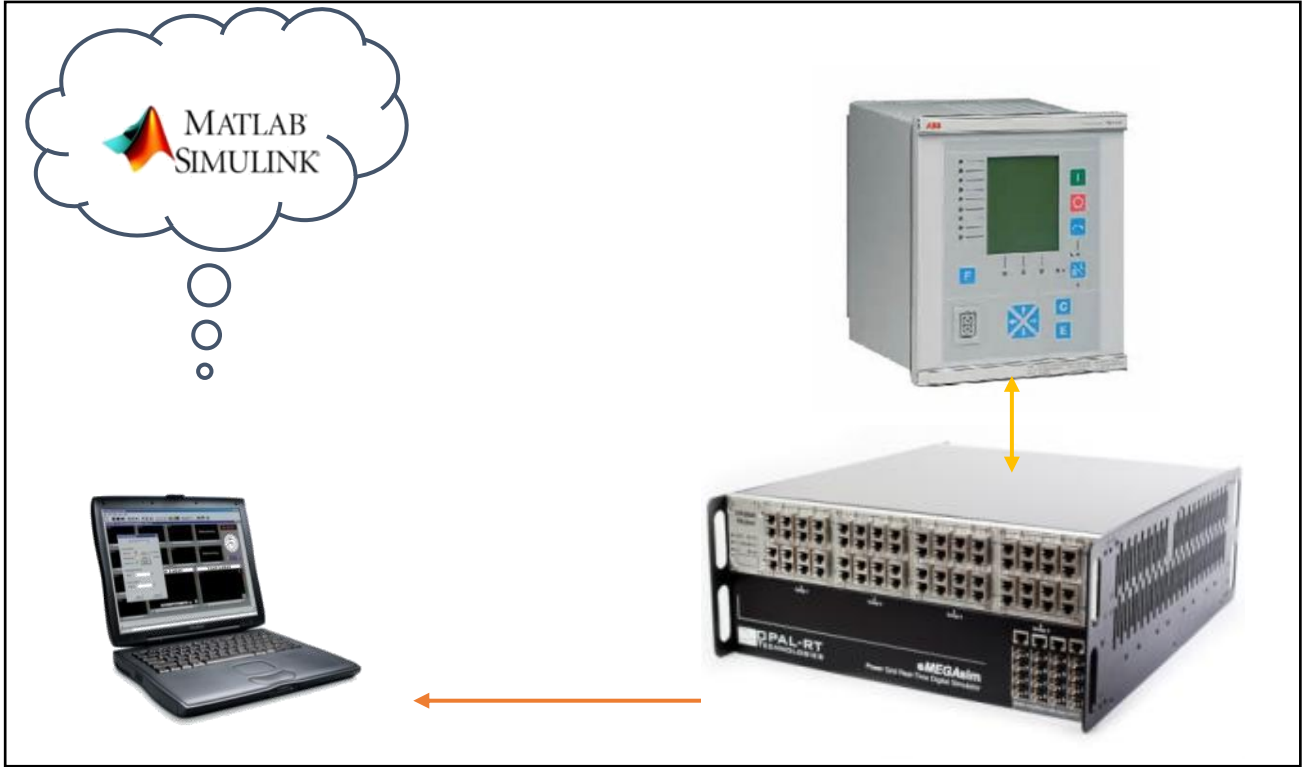
Bu kapsamda ilk laboratuvar testi SEL 751 fider koruma rölesi ile yapılmıştır. Ancak bu rölede sadece GOOSE uygulaması bulunduğu ve IEC 61850-9-2LE “sample value” özelliği bulunmamasından dolayı sadece bit sinyalleri seviyesinde (dijital) haberleşme sağlanabilmiştir.

İkinci seçenek olarak ABB’nin HBFJ ve HBFD rölelerinin kullanılması düşünülmüştür. Ancak bu röle içerisinde IEC 61850-9-2LE haberleşme için gerekli olan bloklardan sadece SMVSENDER bulunduğu, ancak SMVRCV ve TxTR bloklarının bulunmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle ilgili röle ile sadece tek yönlü sinyal gönderimi sağlanabilmiştir.

Bu nedenle gerçek zamanlı testlerin proje takvimine uygun olarak devam edebilmesi için tüm 61850-9-2LE blokların içerisinde mevcut olduğu bir rölenin temin edilmesi gerekmektedir. İlgili Röle temini ile ilgili çalışmalarımız devam etmektedir.

Yukarıdaki çalışmalara ilave olarak, Şekil 1’den de anlaşılacağı üzere, OPAL RT HIL sistemi içerisinde IEC 61850 protokolünün kullanımına ihtiyaç vardır. Bu amaç

kapsamında OPAL-RT sistemi içerisinde IEC 61850 protokolünün çalışma prensipleri değerlendirilerek konu ile ilgili detaylı rapor Ek-7’de verilmiştir.



**Şekil 8:** Gerçek zamanlı simülasyon sisteminin ana bileşenleri.

İş Paketi-3’de elde edilen çıktılar:

1. Dağıtım sisteminde gerçek zamanlı kapalı ring uygulamalarının gerçekleştirileceği OPAL-RT HIL sisteminin alımı yapılmış ve kurulumu gerçekleştirilmiştir.
2. Daha önce Matlab/Simulink ortamında hazırlanan BEDAŞ 6-Baralı Ring Yapısı, OPAL-RT Gerçek zaman simülatörü içerisinde çalışacak formata getirilmiş ve HIL sistemi içerisine gömülmüştür. Model ile HIL sistemi arasında gerekli haberleşme sağlanmıştır. OPAL-RT HIL sistemine dışarıdan bir gerçek koruma rölesi bağlanmış ve dijital haberleşme sağlanmıştır.

Yukarıdaki çıktılara ek olarak, geliştirilen koruma algoritmasının gerçek zamanlı testlerinin yapılabilmesi için, OPAL-RT HIL sisteminde üretilen sinyallerin ya amplifikatör kullanılarak röleye 1A veya 5A olarak uygulanması, veya “IEC 61850-8 GOOSE” ve “IEC 61850-9-2LE sample value” özellikleri olan röle kullanılması hedeflenmiş ancak proje bütçesinin yeterli olmaması sebebiyle OPAL-RT HIL

sisteminde üretilen sinyallerin 5A veya 1A yükseltilerek koruma rölelerinin girişlerine uygulanmasını sağlayacak olan amplifikatörler temin edilememiştir.

#### **6.4. İş Paketi-4: “Tasarlanan Ring Şebekenin Laboratuvar Ortamında Emüle Edilmesi” Süreci**

Proje kapsamında yapılan literatür araştırmasında kapalı ring O.G. dağıtım şebekeleri için literatürde verilen ve diferansiyel röle kullanmadan, sadece yönlü aşırı akım röleleri ile gerçekleştirilen koruma felsefesi, proje ekibince daha geliştirilerek bara koruması için de güvenli hale getirilmiştir. Laboratuardaki emüle etme çalışmaları için geliştirilen koruma mantığı aşağıda kısaca açıklanmıştır:

#### **BEDAŞ Kapalı Ring Dağıtım Şebekesine Yönelik Geliştirilen**

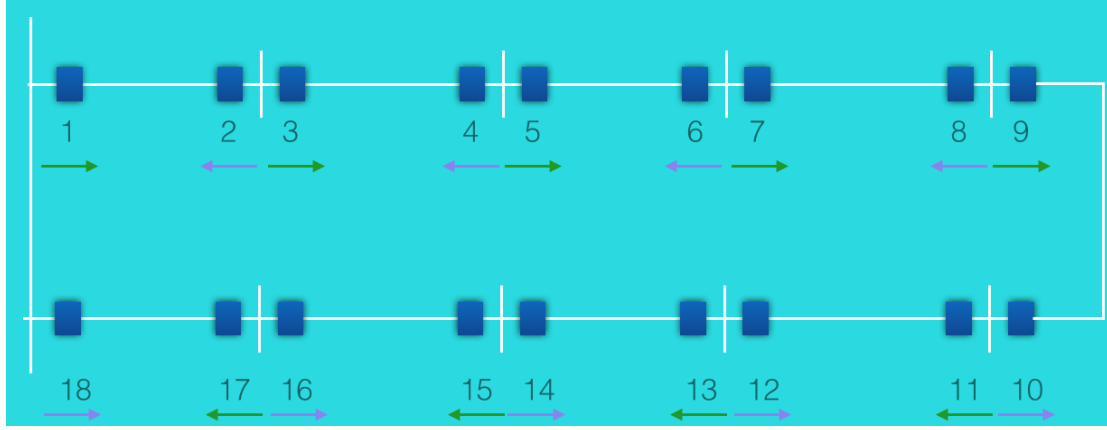
#### **Yönlü Aşırı Akım Hat ve Bara Koruma Sistemi**

#### ***Koruma Sisteminin Çalışma Prensipleri***

Kapalı ring topolojisine sahip dağıtım sistemlerinde güç akışının iki yönlü olması, yönsüz aşırı akım rölelerinin kullanılmasına engel olmaktadır. Haberleşme olmaksızın yönlü aşırı akım röleleri kullanılarak selektif koruma gerçekleştirmek mümkünse de röleler arasında koordinasyonu sağlamak oldukça zordur. Bir diğer alternatif olan diferansiyel röleler ise hat arızalarında gecikmesiz olarak koruma sağlamakla birlikte bara arızaları için ilave koruma gerektirmektedir.

Bu proje kapsamında geliştirilen koruma sistemi, kapalı ring yapısındaki iki ardışık yönlü aşırı akım rölesinin haberleşmesine dayanmaktadır. Aşağıda bu sisteme ait ayrıntılar yer almaktadır.

Şekil 9’da görülen kapalı ring üzerinde bulunan her trafo merkezinin (TM) giriş ve çıkışlarında yönlü aşırı akım röleleri bulunmaktadır. Aynı şekilde TM giriş ve çıkışlarında kesiciler bulunmaktadır. Buna ek olarak ringin beslendiği fider giriş ve çıkışlarında da birer adet röle vardır. Yönlü röleler ok yönünde aşırı akım geçtiğinde 1 sinyali üretecek biçimde set edilmişleridir. Örneğin tek numaralı röleler, üzerlerinden yeşil ok yönünde set edilen eşik değerini aşan akımlar geçtiğinde 1 üretmektedir. Benzer biçimde çift numaralı röleler mavi akım yönündeki arıza akımlarında 1 çıkışı vermektedir.



**Şekil 9:** Kapalı ring dağıtım sistemi topolojisi

Geliştirilen koruma sistemi yaklaşımında bir röle aynı yöndeki bir sonraki rölenin durumuna göre ilgili kesiciye açma sinyali gönderir. Bir röle kendisi 1 sinyali üretiyor ve sonraki röleden ise 0 sinyali alıyorsa kendisine bağlı kesiciye açma komutu gönderir. Diğer durumlarda ise açma komutu göndermez. Söz konusu yaklaşım XOR yapısına benzemektedir. Tablo 4 de XOR mantık yapısı görülmektedir. Burada  $Out_n$  n numaralı röle çıkışını,  $Out_{n+1}$  ise aynı yöndeki bir sonraki röle çıkışını, Trip ise n numaralı röleye bağlı kesiciye gönderilen açma sinyalini ifade etmektedir.

**Tablo 4:** XOR mantık yapısı

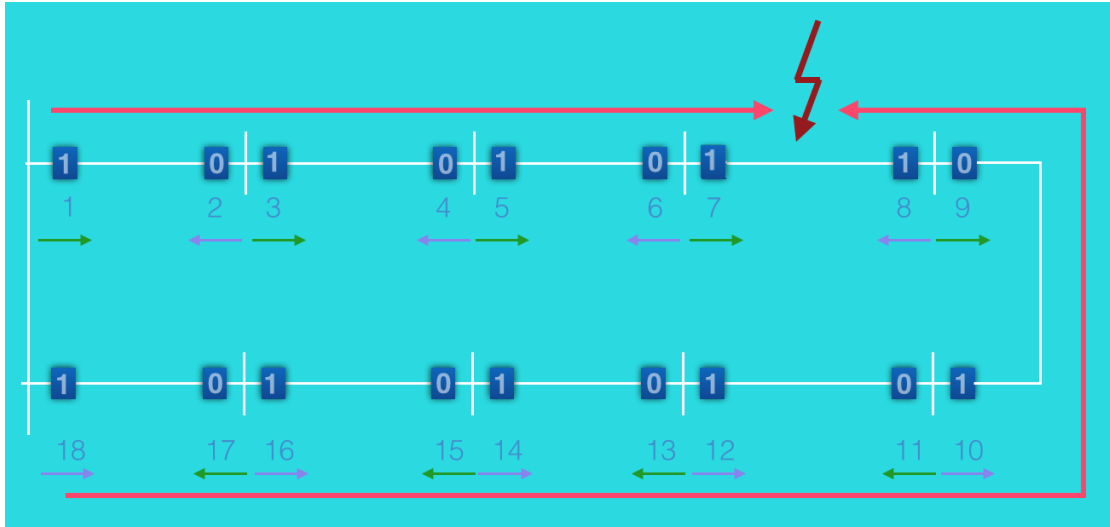
| $Out_n$ | $Out_{n+1}$ | Trip |
|---------|-------------|------|
| 0       | 0           | 0    |
| 0       | 1           | 1    |
| 1       | 0           | 1    |
| 1       | 1           | 0    |

### Örnek Durumlar

Bu kısımda geliştirilen koruma sisteminin farklı arıza durumları karşısındaki davranışları açıklanacaktır.

### Hat Arızası Durumu

Örneğin Şekil 10'da görüldüğü üzere 7 ve 8 nolu rölelerin bağlı olduğu TM ler arasındaki hatta bir arıza meydana geldiği varsayalım. Bu durumda her bir rölenin arıza akımının yönüne göre ürettiği sinyaller şekilde görülmektedir. Örneğin 1 nolu röle kendisi 1 sinyali üretmekte, aynı yöndeki kendisinden sonra gelen 3 nolu röle de 1 sinyali ürettiğinden 1 numaralı rölenin kesicisine açma sinyali gönderilmez. Benzer şekilde 3 ve 5 nolu rölelerde kendileri 1 sinyali üretmelerine rağmen kendilerinden sonra gelen röleler de 1 ürettiğinden ilgili kesiciler açma komutu göndermezler. Ancak 7 nolu röle 1 üretmesine karşın sonraki 9 nolu röle 0 üretmekte ve bu nedenle 7 nolu röleye bağlı kesici açmaktadır. Çift numaralı röleler için de aynı şekilde 8 rölesi 1 üretmesine karşın sonraki 6 nolu röle 0 ürettiğinden 8 rölesine bağlı kesici açmaktadır. Böylece hattaki arıza 7 ve 8 nolu rölelere bağlı kesicilerin açması sonucu izole edilmektedir. Fakat açık şebekeye dönüşen topolojide tüm TM ler dolayısıyla tüketiciler beslenmeye devam edecektir.

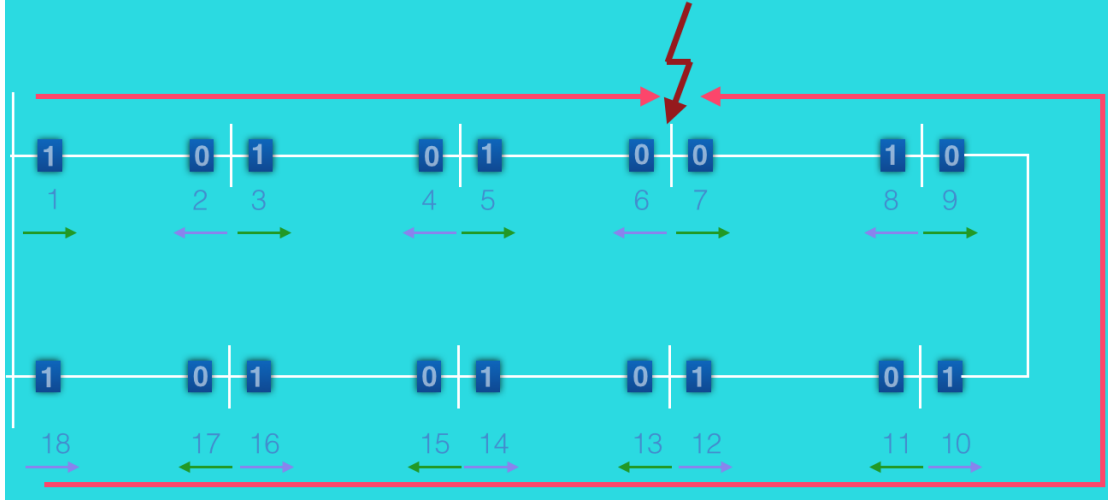


**Şekil 10:** Hat arızası durumunda röle sinyalleri

### Bara Arızası Durumu

Kapalı şebekedeki 6 ve 7 nolu rölelerin yer aldığı TM'de bara arızası meydana gelmesi durumunda rölelerin üreteceği sinyaller Şekil 11'de görülmektedir. Arıza akımı yönü dikkate alındığında ilgili baradaki rölelerde 0 sinyali üretilmektedir. Buna karşılık arızanın meydana geldiği TM nin her iki yanındaki rölelerde bulunan 5 ve 8 nolu röleler 1 sinyali vermektedir. Geliştirilen koruma mantığına göre 5 nolu röle 7'den ve 8 nolu röle de 6 dan 0 sinyali

aldığından bu rölelere bağlı kesiciler açacaktır. Dolayısıyla sadece bara arızasının meydana geldiği TM enerjisiz kalacak olup diğer TM ler beslenmeye devam edecektir.



Şekil 11: Bara arızası durumunda röle sinyalleri

### ***Koruma Sistemi Üstünlükleri***

Sistemin başlıca özellikleri ve üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Merkezi kontrol sistemine ihtiyaç yok, lokal haberleşme yeterli.
- Sistemdeki ilgili rölelerin herhangi bir nedenle çalışmaması durumunda diğer röleler gecikmesiz olarak arızayı gördüğünden ayrıca bir back-up koruma gerektirmiyor.
- Back-up korumadaki zaman gecikmesi ortadan kalkıyor.
- Hat ve bara arızaları için ayrı koruma stratejilere gerek yok.
- Açık ring şebekeler için de uygun. Bu nedenle kapalı ring arızası sonrasındaki açık ringe dönen yeni topolojide başka bir arıza meydana gelmesi durumunda koruma gerçekleşir.

Laboratuvarda yapılacak emülasyon çalışması için proje ekibi olarak toplam 6 adet nümerik yönlü aşırı akım rölesi temin edilmiş olup yukarıdaki kapalı ring yönlü koruma felsefesi laboratuvar ortamında 6 adet röle ile uygulanmış, bara ve hat korumasının başarıyla gerçekleştiği görülmüştür.



### **6.5. İş Paketi-5: “Geliştirilen Ring Sisteminin Sahada Pilot Olarak Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi” Süreci**

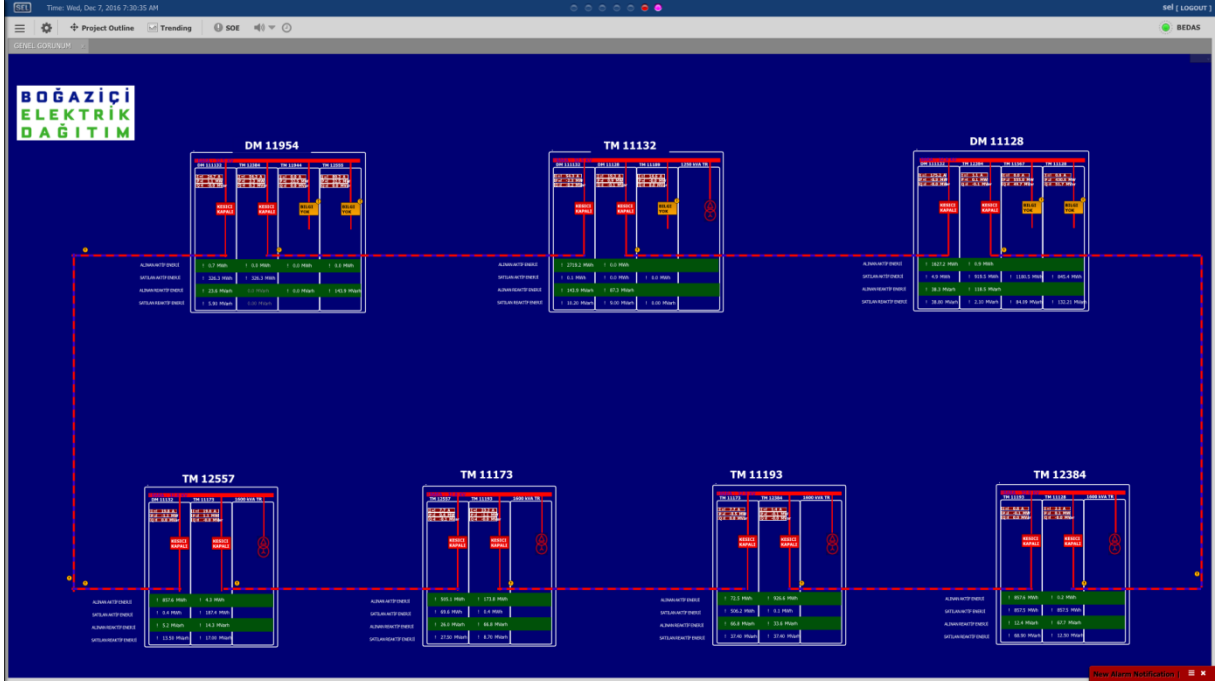
34.5 kV O.G. kapalı ring pilot uygulaması İstanbul Başakşehir ilçesi Şahintepe lokasyonunda gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulama Koztek Elektrik ve Enerji Teknolojileri firmasınınca BEDAŞ'ın kontrolünde gerçekleştirilmiştir.

**Proje sürecinin kronolojik sıralaması aşağıdaki gibidir.**

|  |              |
|--|--------------|
| Kapalı ring uygulama araştırmaları.....                            | Ocak,2016    |
| Koruma prensiplerinin seçilmesi.....                               | Şubat,2016   |
| Pilot uygulama bölgesinin etüdü.....                               | Mart,2016    |
| Koruma Rölelerinin Siparişi ve çevrimdışı programlanması.....      | Nisan,2016   |
| Hücre Üretimi ve FAT.....  | Haziran,2016 |
| Köşklerin sahaya yerleşimi.....                                    | Ağustos,2016 |
| Enerji kablosu ve fiber optik ağının oluşturulması.....            | Eylül,2016   |
| Enjeksiyon testleri ve kapalı ring fonksiyonlarının denenmesi..... | Ekim,2016    |
| Faz sırası kontrolü.....   | Ekim,2016    |
| Dağıtım sistemine enerji verilmesi .....                           | Kasım,2016   |
| Ringin kapatılması.....  | Kasım,2016   |
| Uzaktan İzleme/Kontrol.....  | Kasım,2016   |
| Ringte gerçekleşen ilk arıza ve başarılı sonuç alınması.....       | Aralık,2016  |

### 6.5.1. Pilot Uygulama Kapsamı

Pilot uygulamada gerçekleştirilen O.G. kapalı ring sistemi, iki dağıtım merkezi ve beş trafo merkezinde toplam on dokuz kesicili, röleli modüler hücreden oluşan sistemdir. Hücrelerin ikisinden yedekli olarak ringe enerji alınmış, üç radyal çıkış ve beş dağıtım trafosuyla tüketiciye enerji verilmiştir. İstasyonlar arası fiber optik ağ mevcut olup koruma haberleşmesi ve uzaktan izleme/kontrolü bu yolla sağlanmıştır.



Şekil 12: Pilot Uygulama Kapsamı

### 6.5.2. Kapalı Ring Şebekesinde Koruma Uygulaması Ana Prensipleri

Kapalı ring şebekeler, doğru uygulama yapılabildiği takdirde şebeke arızalarında birçok avantajı beraberinde sunabilmektedir:

- 1- Şebeke içi kablo/hat arızalarında müşterilerin en az veya hiç etkilenmediği, elektrik kesintisi yaratmayan, şebeke işletmesi olanağı sunar.
- 2- Üretim kaybını en aza indirir.
- 3- Kısa devrelerin çok hızlı ve kısa sürede temizlenmesinden dolayı fiziki tahribatları, kısa devrenin oluşturduğu zararları en aza indirir ve can güvenliği en iyi şekilde sağlanmış olur. Yangın riskini azaltır.

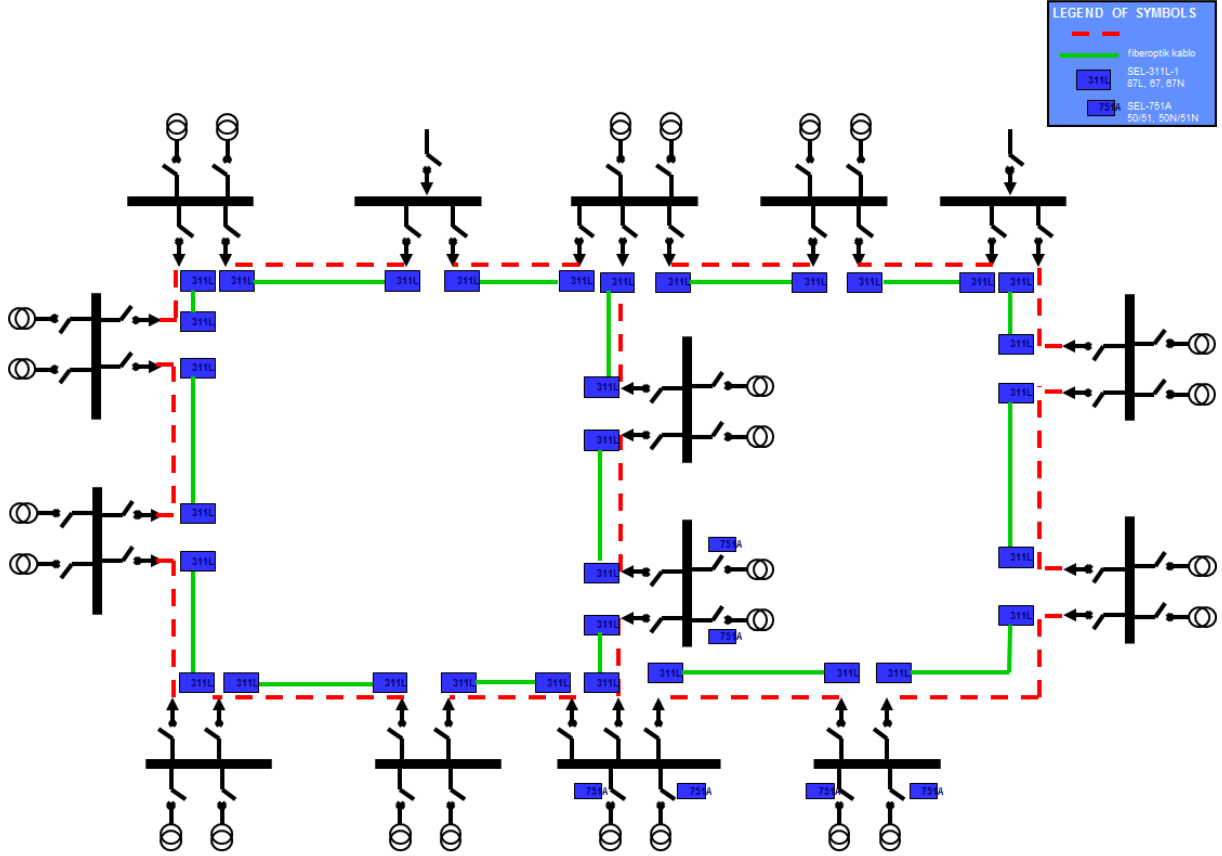
4- Arıza bulma ve onarma süresini en aza indirir, arızalı bölge çok hızlı ve otomatik olarak izole edildiğinden ve müşteriler bu durumdan etkilenmediğinden dolayı, işletme ekibinin arıza onarımı için geniş ve rahat bir zaman içerisinde dikkatli ve programlı çalışmasına imkan sunar.

5- Gerilim düşümü azalır ve kablo yüklenmeleri daha verimli şekilde kullanılabilir.

Kapalı Ring Şebekelerde Koruma Koordinasyonu çok özel cihazlar, özel koruma röleleri ve hızlı haberleşme sağlayabilen (20-30msn altında olması gerekir!) özel koruma haberleşmesi cihazları (teleprotection) gerektirir. Bütün bu cihazların yanında doğru ve özenli bir mühendislik çalışması esastır.

Bu koruma koordinasyonu şebekenin basit ring yapısında olduğunda nispeten daha basit iken, iç içe girmiş ring şebekelerinde, enterkonnekte yapısına bürünmüş karmaşık kapalı şebekelerde daha özel koruma koordinasyonu gerektirir.

Dağıtım Şebekesinde, kullanılan yönlü aşırı akım toprak korumalı hat diferansiyel röleleri ve koruma haberleşmesi sinyalleri sayesinde, ringlerin açık veya kapalı olması, koruma mantığında, röle ayarlarında ve seçicilik kriterlerinde herhangi bir ayrıma gitmeye gerek bırakmaksızın mükemmel uyumluluk sağlar. İşletme şartlarına her koşulda adaptasyon sağlayarak, işletme personeline herhangi bir ayar değişikliği ve manevra talimatı gerektirmeden büyük kolaylık getirir.



Şekil 13: Kapalı Ring

### 6.5.2.1. Koruma Röle Düzeni

Ring şebekesinde bulunan 3 tipik fider/kesici için 2 tip röle kullanılmıştır.

- Ring başındaki ana ring besleme hücrelerinde: (Röle Tip1)
- Ring trafo merkezlerindeki giriş çıkış hücrelerinde: (Röle Tip1)
- Ring trafo merkezlerindeki trafo/müşteri çıkış hücrelerinde: (Röle Tip2)

Ring ana hattında kullanılacak röleler öncelikle hat diferansiyel ve yönlü özellikli, koruma haberleşmesi prensibi ile çalışır. Ring trafo merkezlerindeki trafo/müşteri çıkış fiderlerinde ise aşırı akım/toprak koruma özellikli ve koruma haberleşme prensibi ile çalışır.

Koruma senaryoları aşağıdaki gibidir.

### 6.5.2.2. Ring Hattında Kablo/Hat Arızaları

Ring hattında iki merkez arasında oluşabilecek kısa devre arızaları öncelikle hat diferansiyel koruma rölelerinin hızlı ve seçici çalışması ile 100msn'den daha hızlı temizlenmektedir.

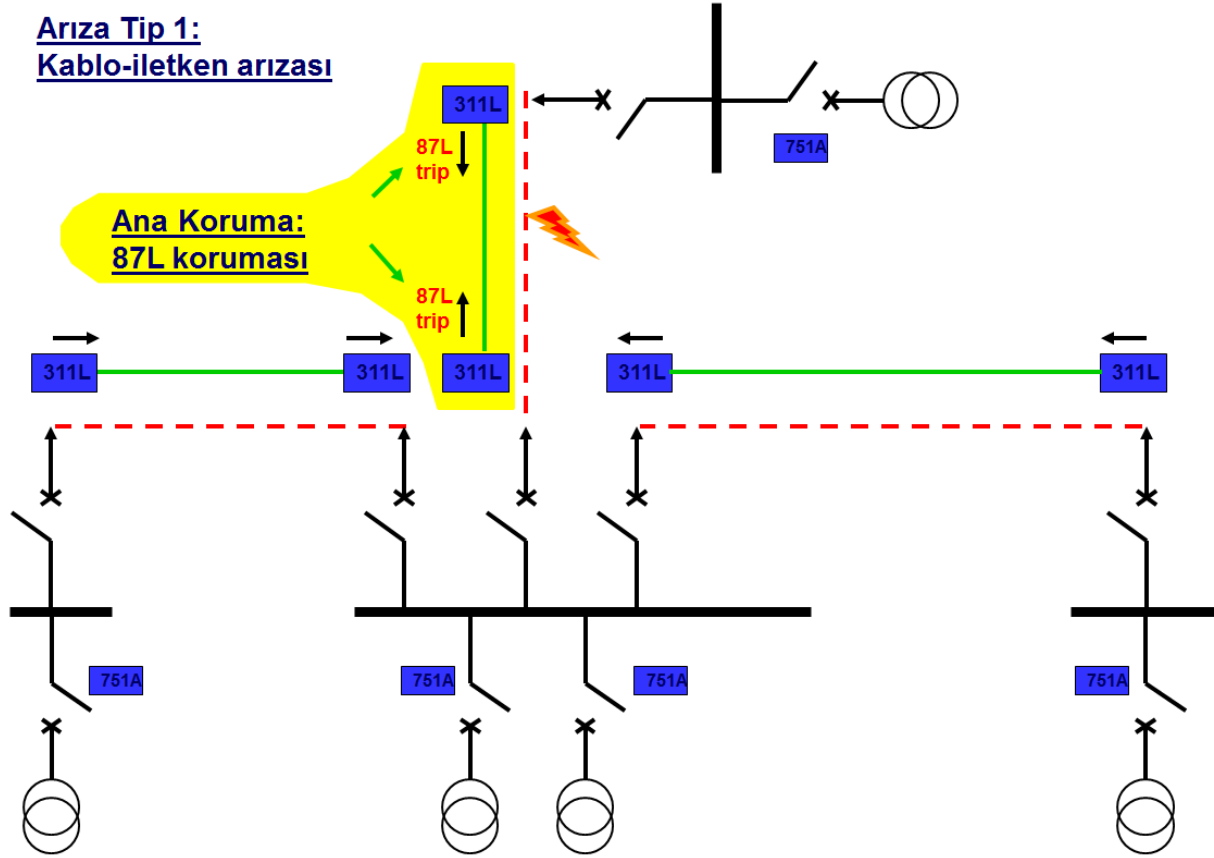
Burada hat diferansiyel koruması ile rölenin 30milisaniyeden hızlı çalışacağı ve kesici açma

süresinin de maksimum 70 milisaniye olması öngörülmektedir. Faz-faz kısa devreler ve faz-toprak kısa devreleri için hat diferansiyel koruması röle ayar değeri minimum 200 Amper olarak ayarlanmıştır.

Aynı röle içerisinde yedek koruma olarak haberleşmeli kilitleme/blokaj düzeninde yönlü aşırı akım ve yönlü toprak koruması yapılacaktır. Bu amaçla 4 kademeleri faz ve 4 kademeleri toprak koruması yapılmıştır.

1. Kademe: yönlü aşırı akım/toprak koruması ( ileri yönde 600 Amper / 0.1 saniye olarak ayarlanmıştır) karşı yöndeki röleden gelecek haberleşme sinyali ile kilitleme düzeninde çalışacaktır.
2. Kademe: yönlü aşırı akım/toprak koruması ( geri yönde 400 Amper / 0.1 saniye olarak ayarlanmıştır) kendi merkezindeki ring rölelerinden gelecek haberleşme/blokaj sinyali ile kilitleme düzeninde çalışacaktır.
3. Kademe: yönlü aşırı akım/toprak koruması ( ileri yönde 600 Amper / 0.5 saniye olarak ayarlanmıştır) kilitlemesiz çalışacaktır.
4. Kademe: yönsüz aşırı akım/toprak koruması ( yönde 600 Amper / 1 saniye olarak ayarlanmıştır)

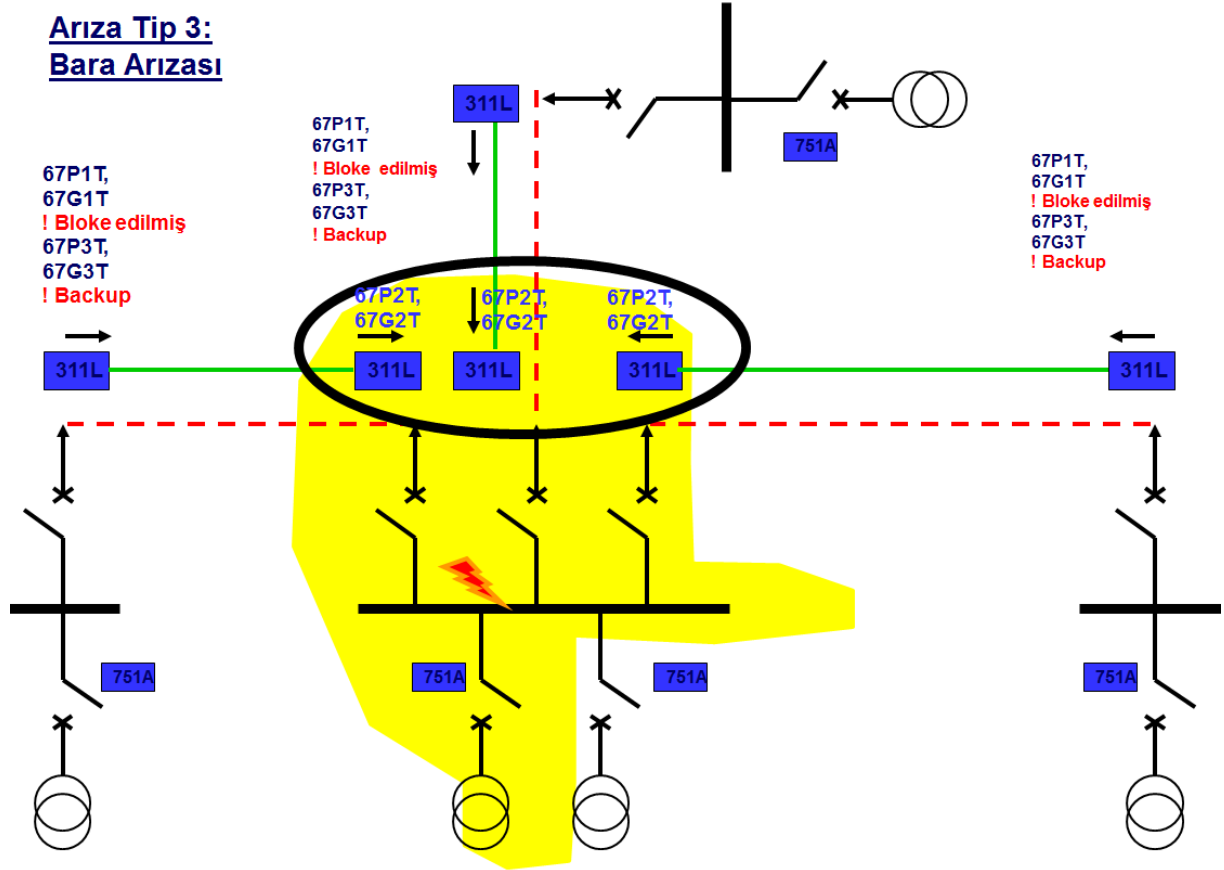
Hat diferansiyel koruma sadece kendi koruma bölgesinde çalışır ve diğer bölgelerde olan arızalarda çalışmaz. Fiber optik haberleşme arızası, fiber kablonun kopması durumunda ise kilitlemeli yönlü blokaj mantığı ile çalışan aşırı akım ve toprak koruması prensibi selektif ve hızlı çalışma sağlar. Bu koruma kablo/hattın karşılıklı rölelerinin haberleşmesi ile selektif çalışma sağlar.



**Şekil 14: 87L Hat Diferansiyel Koruma**

### 6.5.2.3. Ring Hattında Bara/Hücre İç Arızaları

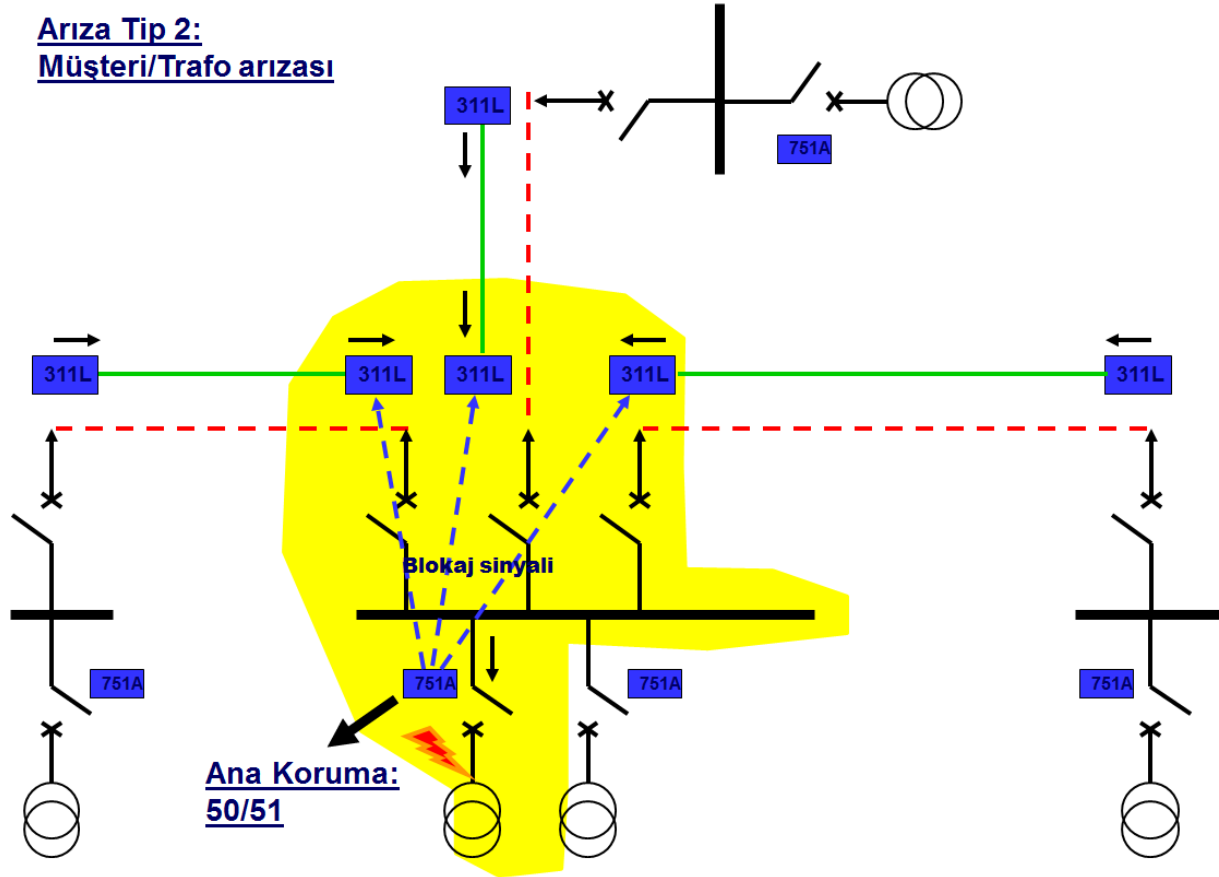
Ring hattında kablo/hat koruma bölgesi dışında kalan tüm arızalar bara arızası olarak tanımlanır. Bu arızalar ring trafo merkezinde akım trafolarının bara tarafında olabilecek tüm arıza ihtimallerini kapsar. Bu arızalar öncelikle ring giriş çıkış fiderlerinin 2. Kademe yönlü koruma elemanları ile hızlı temizlenecektir. Bu amaçla giriş/çıkış fiderlerinde yönlü rölelerin geri yönlü elemanları bara arızalarını görerek çalışırken, başka fiderlerde olacak arızalarda ise birbirlerine gönderecekleri blokaj/kilitleme sinyalleri ile yanlış açmaları engelleyeceklerdir.



**Şekil 15:** Bara/Hücre İç Arıza Koruma

#### 6.5.2.4. Ring Trafo Merkezlerinde Müşteri/Trafo Çıkış Fideri Arızaları

Ring trafo merkezlerinde Müşteri/trafo çıkış koruması aşırı akım ve toprak koruması prensibi kullanılarak yapılacaktır. Bu röleler trafo fiderleri için 0.1 saniyede, müşteri çıkışları için ise maksimum 0.3 saniyede arızayı temizleyecek şekilde ayarlanacaktır.



**Şekil 16: 50/51 Aşırı Akım Koruma**

#### 6.5.2.5. Kesici Arıza Koruması

Koruma haberleşmesi kilitleme düzeninde çalıştığı için, kesicilerin açma sinyaliyle açamadığı durumlara karşı, ilave olarak koruma haberleşmesi ile kesici arıza koruması yapılacaktır:

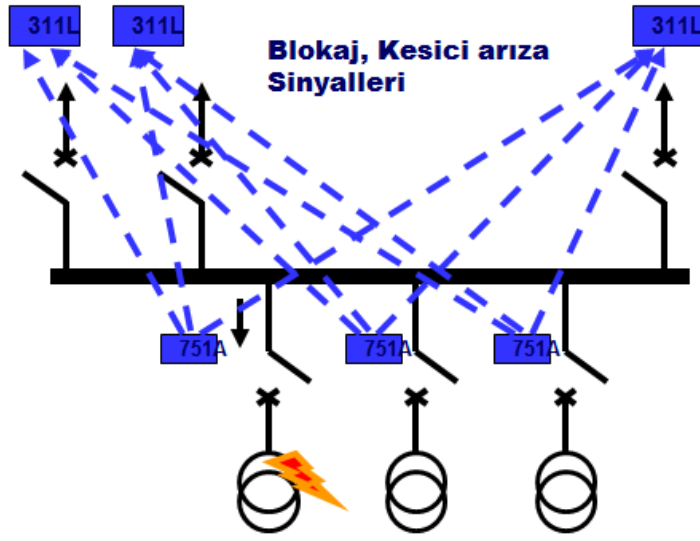
- Ring trafo merkezlerinde trafo/müşteri çıkış kesicilerinden herhangi biri açma sinyaline rağmen 200 milisaniye sonra açmamış ise, ring giriş çıkış hücrelerinin tamamına açma gönderecektir.
- Ring giriş çıkış kesicilerinden birisi açma sinyaline rağmen 200 milisaniye sonra açmamış ise, hem fiber haberleşme üzerinden karşı istasyondaki kesiciye, hem de bulunduğu istasyondaki tüm ring giriş/çıkış kesicilerine hızlı ve direkt açma verecektir. Kesici arıza koruması akım denetimli olacaktır ve çok hızlı resetlenebilen akım elemanları ile kullanılacaktır.



### 6.5.3. Koruma Röle Düzeni Doğrulama Testleri

Kapalı ring koruma sisteminin özellikle koruma haberleşmesine dayalı olması sebebi ile merkez içindeki haberleşme ve koruma sinyal düzeni ve merkezler arasındaki koruma haberleşmesi aşağıdaki adımlarla kontrol edilmiştir.

- Röle Tip 1 (Hat diferansiyel rölelerinin), kendi kablo/hat fiderinde olan bir arızada, karşı merkezdeki röle ile birlikte hızlı, seçici ve kararlı olarak hem hat diferansiyel koruması, hem de yönlü aşırı akım koruması ile açma yaptığının testi
- Röle Tip 2 (Trafo/müşteri Çıkış röleleri), kendi Trafo/müşteri fiderinde olan bir arızada, hızlı, seçici ve kararlı olarak, aşırı akım ve toprak koruması ile açma yaptığının testi
- Röle Tip 1 (Hat diferansiyel rölelerinin) 1. Koruma haberleşme kanalı üzerinden kilitleme/blokaj sinyalinin iletimi ve karşı merkezdeki rölenin yönlü korumalarının kilitlendiği/bloke edildiği
- Röle Tip 1 (Hat diferansiyel rölelerinin) 2. Koruma haberleşme kanalı üzerinden kesici arıza sinyalinin iletimi ve karşı merkezdeki rölenin açtırıldığı doğrulanması
- Röle Tip 1 (Hat diferansiyel rölelerinin), kendi kablo/hat tarafında arıza gördüğünde, kendi merkezindeki diğer ring giriş/çıkış rölelerinin geri yön elemanlarının kilitleme/blokaj edildiğini
- Röle Tip 1 (Hat diferansiyel rölelerinin), kendi kesici arızasını algıladığında, kendi merkezindeki diğer ring giriş/çıkış kesicilerini açtırdığı
- Röle Tip 2 (Trafo/müşteri Çıkış röleleri), kendi fiderinde arıza algıladığında kendi merkezindeki ring giriş/çıkış rölelerine kilitleme/blokaj sinyalinin iletimi ve aynı merkezdeki rölenin yönlü korumalarının kilitlendiği/bloke edildiği
- Röle Tip 2 (Trafo/müşteri Çıkış röleleri), kendi kesici arızasını algıladığında, kendi merkezindeki diğer ring giriş/çıkış kesicilerini açtırdığı



**Şekil 17:** İstasyon İçi Blokaj ve Kesici Arıza

#### 6.5.4. Ring Hatları İçin Fider Koruma Röleleri (Röle Tip 1)

OG Ring fiderlerinin koruma, kontrol, otomasyon ve haberleşme fonksiyonlarını içeren çok fonksiyonlu bir koruma ve kontrol cihazı olur. Fider ile ilgili tüm ölçümler, kontrol, kilitlemeler, alarmlar, olay ve arıza kayıtları bu kontrol cihazı bünyesinde gerçekleştirilir. Söz konusu cihazlar kendi fiderlerinde ana koruma fonksiyonlarına ilave farklı bir prensip ile çalışan yedek koruma fonksiyonlarını da içerir.

Kesici, ayırıcı ve toprak bıçağı gibi şalt cihazlarının pozisyon bilgileri ve kumanda sinyalleri bu cihazda toplanır. Fider içerisindeki ve fiderler arasındaki kilitlemeler de aynı cihazın içerisindeki lojik fonksiyonlar yardımı ile yapılır.

İlgili fiderin ölçümlerini akım ve gerilim girişleri sayesinde yüksek hassasiyet ile gerçekleştirdiği gibi, bu ölçümleri olay ve arıza kayıtlarında da kullanıcılara temin eder.

Cihazın 14 adet dijital girişi, 7 adet kontak çıkışı bulunur. Fider ile ilgili tüm sinyaller bu dijital girişlere taşınmalı, bunun dışında ayrıca bir telemetri cihazına gerek olmamalıdır.

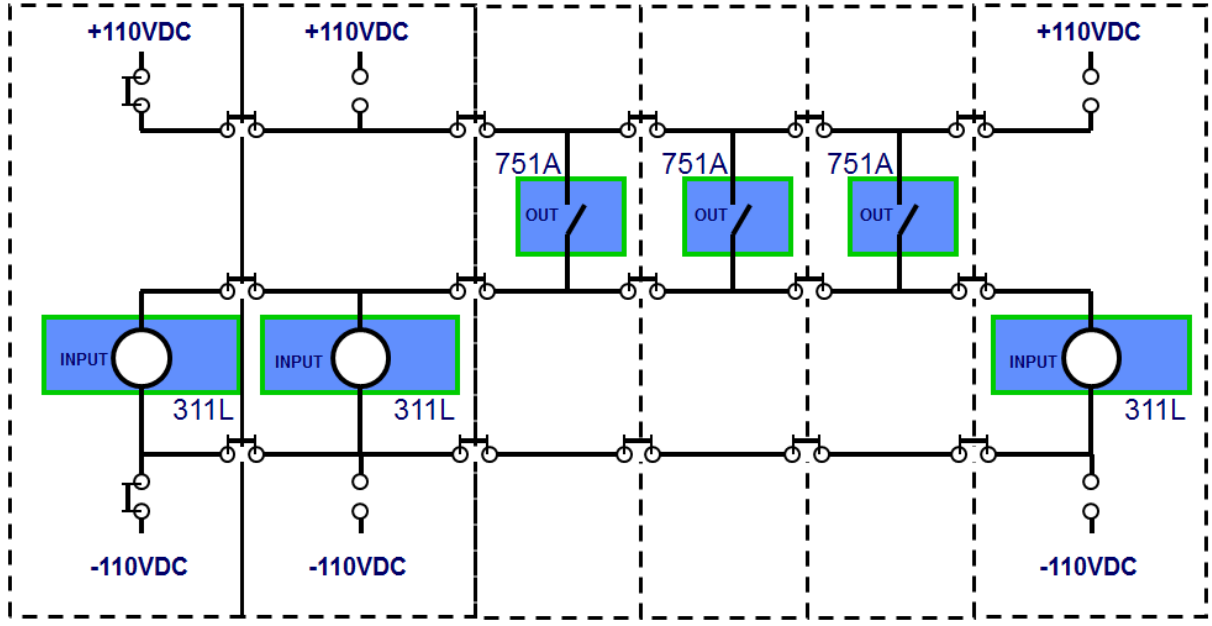


Şekil 18: Ring Hattı İçin Fider Koruma Rölesi

#### 6.5.4.1. Ring Giriş/Çıkış Fiderleri Röleleri İçin Giriş/Çıkış Listesi

| Dijital Giriş | Kullanım Şekli          |
|---------------|-------------------------|
| 1.            | Kesici Açık             |
| 2.            | Kesici Kapalı           |
| 3.            | Ayırıcı Açık            |
| 4.            | Ayırıcı Kapalı          |
| 5.            | T. Bıçağı Açık          |
| 6.            | T. Bıçağı Kapalı        |
| 7.            | Açma bobini denetim     |
| 8.            | Kapama bobini denetim   |
| 9.            | Kesici motor kuruldu    |
| 10.           | Sigorta arızası #1      |
| 11.           | Sigorta arızası #2      |
| 12.           | Röle test konumunda     |
| 13.           | Yedek #1 (blokaaj)      |
| 14.           | Yedek #2 (kesici arıza) |

| Dijital Çıkış | Kullanım Amacı          |
|---------------|-------------------------|
| 1.            | Kesici Açma             |
| 2.            | Kesici Kapama           |
| 3.            | Röle iç arıza           |
| 4.            | Kapama bobini çözme     |
| 5.            | Koruma Blokaaj          |
| 6.            | Kesici Arıza            |
| 7.            | Bina dışı arıza lambası |



Şekil 19: İstasyon İçi Sinyal Konfigürasyonu

#### 6.5.4.2. Ring Giriş/Çıkış Fiderleri Röleleri için Koruma Özellikleri

| Koruma Fonk.kodu | Fonksiyonun ismi | Fonksiyonun uygulama amacı ve temel özellikleri  |
|------------------|------------------|--|
| • 87L            | Hat diferansiyel | <p>İki akımın arasındaki faz açısı, ya da sayısal farka bakarak uygulanan koruma fonksiyonudur. Ring sistemi kapalı çalıştığı için, iki merkez arasındaki arıza diferansiyel koruma röleleri tarafından iki uçtaki kesiciler açılıp, sadece arızalı ring kablosu enerjisiz kalacaktır ve başka hiçbir yerde elektrik kesintisi yaşanmadan arıza belirlenecektir. 4 bağımsız haberleşme kanalı vardır:</p> <p>Kanal 1: Karşı merkeze yönlü koruma blokaj sinyali gönderme ve alma</p> <p>Kanal 2: Karşı merkeze Kesici Arıza Açma sinyali gönderme ve alma</p> <p>Kanal 3: Karşı merkeze Toprak bıçağı pozisyonu göndererek kesici ile kilitleme yapmak</p> |

|       |  |  |
|-------|--|--|
|       |  | Kanal 4: Karşı merkezin kesicisini diğer merkezden elle açtırmak ve kilitlemek   |
| • 21  | Koruma Haberleşme Mantığı ve Mesafe Koruma | Bu fonksiyon mesafe koruma rölelerinin koruma haberleşmesi prensiplerini içerecek, POTT, PUTT, DCB, DCUB şeklinde bilinen koruma haberleşmesi mantıklarını içerir. Devredeki admitans, empedans veya reaktans artar veya önceden belirlenmiş bir değerin ötesinde azalırsa bu koruma aktif edilir. Röle, arıza yerini hesaplamak için bir dahili empedans ölçümü prensibi ile çalışan bir fonksiyon içerir. Bu fonksiyon özel haberleşme kanalları, özel ölçü trafoları veya arıza öncesi bilgi olmadan çalışır. |
| • 67P | Yönlü Faz aşırı akım koruması              | 51P/50P elemanlarının yön bilgisi ile çalıştırılır ve daha iyi röle koordinasyonu yapılması amacı ile kullanılır. Arızanın şebeke veya işletme tarafında olması durumlarını ayırt ederek, her iki durumda farklı şekilde çalışır. 4 bağımsız elemanı vardır.   |
| • 67Q | Yönlü dengesizlik koruması                 | 51Q/50Q elemanlarının yön bilgisi ile çalıştırılır ve daha iyi röle koordinasyonu yapılması amacı ile kullanılır. Arızanın şebeke veya işletme tarafında olması durumlarını ayırt ederek, her iki durumda farklı şekilde çalışabilir. 4 bağımsız elemanı vardır.   |
| • 67G | Yönlü rezidüel aşırı akım koruması         | 51G/50G elemanlarının yön bilgisi ile çalıştırılabilmesi ve daha iyi röle koordinasyonu yapılması amacı ile kullanılacaktır. Arızanın şebeke veya işletme tarafında olması durumlarını ayırt ederek, her iki durumda farklı şekilde çalışabilmelidir. En az 4 bağımsız elemanı olmalıdır.  |
| • 67N | Yönlü hassas nötr aşırı akım koruması      | 51N/50N elemanlarının yön bilgisi ile çalıştırılır ve daha iyi röle koordinasyonu yapılması amacı ile kullanılır. Arızanın şebeke veya işletme tarafında olması durumlarını  |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
|           |   | ayrıt ederek, her iki durumda farklı şekilde çalışabilir. 4 bağımsız elemanı vardır.   |
| • 51P     | Ters zamanlı faz aşırı akım koruması                              | %5- %320xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin ters zamanlı aşırı akım korumasında kullanılır. 2 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 51Q /46 | Ters zamanlı faz dengesizlik akım koruması (Negatif bileşen)      | %5- %320xIn arasında ayarlanabilmeli ve fiderlerin ters zamanlı dengesizlik akım korumasında kullanılır. En az 1 bağımsız elemanı vardır. Yıldız üçgen dağıtım trafolarının alçak gerilim tarafındaki toprak arızaları için yedek koruma/olay tetikleme amacıyla kullanılır.                                 |
| • 51G     | Ters zamanlı residüel aşırı akım koruması                         | %5- %320xIn arasında ayarlanabilmeli ve fiderlerin ters zamanlı dengesizlik toprak akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin üç faz akım girişlerinden hesaplanan sıfır bileşen akımı ile çalışır. En az 2 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 51N     | Ters zamanlı hassas Nötr aşırı akım koruması                      | %1- %64xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin ters zamanlı dengesizlik toprak akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin bağımsız bir hassas akım girişlerinden ayrıca ölçülen sıfır bileşen akımı ile çalışır. 1 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 50P     | Sabit zamanlı/ani faz aşırı akım koruması                         | %10- %2000xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin sabit zamanlı veya ani kısa devre/aşırı akım korumasında kullanılır. En az 4 bağımsız elemanı vardır.   |
| • 50Q     | Sabit zamanlı/ani faz dengesizlik akım koruması (Negatif bileşen) | %10- %2000xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin sabit zamanlı veya ani kısa devre/aşırı akım dengesizlik akım korumasında kullanılır. En az 2 bağımsız elemanı vardır. Yıldız üçgen dağıtım trafolarının alçak gerilim tarafındaki toprak arızaları için yedek koruma/olay tetikleme amacıyla kullanılır. |

|         |   |  |
|---------|---|--|
| • 50G   | Sabit zamanlı/ani residüel aşırı akım koruması    | %5- %2000xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin sabit zamanlı veya ani dengesizlik toprak kısa devre akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin üç faz akım girişlerinden hesaplanan sıfır bileşen akımı ile çalışır. 4 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 50N   | Sabit zamanlı/ani hassas Nötr aşırı akım koruması | %1- %400xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin sabit zamanlı veya ani dengesizlik toprak kısa devre akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin bağımsız bir hassas akım girişlerinden ayrıca ölçülen sıfır bileşen akımı ile çalışır. 4 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 25    | Senkroçek   | Rölede 3 faz gerilim girişinden ayrı olarak 4. Bir gerilim girişi vardır. Senkron veya asenkron kaynakların birbirlerine bağlanması durumlarında denetleme ve güvenli manevra amacı ile kullanılır. Örneğin, ring kapatma, bara veya kuplaj bağlantılarında, trafoların paralellenmesi sırasında olumsuz koşullara izin vermemek amacı ile kullanılır. |
| • 79    | Otomatik tekrar kapama                            | Havai hat fiderlerinin kısa devre arızalarında, arızanın geçici arıza olması durumunda, otomatik tekrar kapama yapılmasını ve arızanın insan müdahalesi olmadan giderilmesi amacıyla kullanılır. En az 2 ardışık tekrar kapama yapabilecek özelliğindedir.   |
| • 81U/O | Aşırı/düşük frekans                               | Nominal frekansın %10 altı ve üstüne ayarlanabilir, en az 6 adet bağımsız kademesi vardır. Sistemde oluşan frekans bozulmalarının algılanarak gerektiğinde sistemi korumak, olay ve osilo kaydı oluşturmak amaçları için kullanılır.   |

### 6.5.4.3. Ölçüm Fonksiyonları

Rölelerde bulunan ölçüm fonksiyonları:

- Ölçülen akım ve gerilimlerin genlik ve açıları,
- Tek fazlı ve üç fazlı aktif ve reaktif güç ölçümleri (MW, MVAR) ve güç faktörü ölçümü (pF)
- Tek fazlı ve üç fazlı aktif ve reaktif yönlü enerji ölçümleri (MWh ve MVARh olarak)
- Sistem frekansı (Hz) ve yardımcı besleme akü gerilimi (Vdc)
- Demand ölçümleri: Faz, negatif bileşen, rezidüel ve nötr akımları, MW ve MVAR
- Maksimum ve Minimum değerlerin kayıtları: Ia, Ib, Ic, In, Ig, Va, Vb, Vc, Vn, 3 fazlı MW, MVAR
- Kesicisi yıpranma kayıtları: Kesme akımları ile kapamadan açmaya sürelerin biriktirme esası ile çalışır

### 6.5.4.4. Yapısal Ve Diğer Özellikler

Cihaz üzerinde bulunan ekran ve aşağıda belirtilen haberleşme portları vasıtası ile yukarıdaki tüm değerlere erişim sunar.

- Biri ön panelde olmak üzere 2 adet RS-232 portu vardır.
- İki adet arkada RJ45 Ethernet portu vardır. Bu portların switch özelliği vardır. Bu portlar IEC61850 protokolünü ve GOOSE ile koruma haberleşmesini destekler.
- Bir adet yüksek hassasiyetli zaman senkronizasyon girişi vardır.

Röle seri portları, seri haberleşme için ASCII-text ve modbus haberleşme protokollerini destekler. Seri portlar vasıtası ile röle ayarları Standard PC'lerde bulunan terminal emülasyon yazılımları ile yapılabilir. Ayrıca röle ayarları, parametre değişikliği, arıza kayıtları okuma ve değiştirme için Windows ortamında çalışan ve kullanıcı kolaylığı sağlayan röle yazılımı vardır.

Rölede ayrıca aşağıdaki özellikler vardır:

- Rölenin fiderin ölçü akım trafolarından üç fazlı olmak toplam 3 adet 5 Amperlik faz akım girişi, bunlardan ayrı olarak 1 adet 5A'lık nötr akım girişi olmak üzere toplam 4 adet akım girişi vardır.
- Rölenin fiderin ölçü gerilim trafolarından gelen toplam 3 adet 100Volt gerilim girişi vardır.



- Tüm çıkış kontakları açma amaçlı kullanıma uygun özelliklerde olur. (30A kapama ve taşıma (make), 6A sürekli, 50A-1sn., 0.2A kesme (220VDC-L/R=40ms)
- Çıkış kontakları rölenin koruma elemanlarının çıkışları ile ve basit mantık kapıları ile (ve, veya, değil gibi) çalışacak şekilde programlanabilir.

Röle silinmeyen (non-volatile) hafızaya sahiptir ve rölenin beslemesi kesilse dahi ayar değerleri ve arıza kayıtlarını hafızasında tutar:

- Tarihsel sıralı, zaman ve tarih damgalı son 512 olayı kaydeder.
- Akım, gerilim, sayısal giriş ve röle çıkışları, röle dahili sinyallerini de barındıran son 10 osilografik arıza kaydı özelliği vardır. Bu kayıtların süreleri en az 30 periyottur ve bir periyotta 16 örnekleme alır.

Rölede pil ile korumalı bir dahili saat bulunur, aynı zamanda yüksek hassasiyetli zaman senkronizasyon girişi vardır. Bu sayede röleler merkezi bir saat sistemine bağlandıklarında tüm röleler hassas ve eşzamanlı olay ve arıza kaydı olanağına sahip olur.

Rölede gelişmiş iç denetim fonksiyonları bulunur, buna paralel görev yapan bir alarm kontağı bulunur. Rölenin iç denetiminde bir arıza olması durumunda veya DC beslemenin kaybolması halinde röle bu kontağı ile başka bir noktaya alarm verir.

Röleler -40 ile +85 derece arasındaki sıcaklıklarda %95'e kadar nem ortamında sorunsuz çalışabilir. Röle, 100 ile 300 (veya 24-48) Volt DC besleme gerilimi aralığında sorunsuz çalışabilir. Röle akım girişleri 15A'e sürekli, 500A'e 1sn ve 1250A'e 1 periyot dayanıklıdır. Gerilim girişleri 150V'a (faz-faz) kadar sürekli ve 300 Volta (faz-faz) 10 sn. dayanabilir. Röle analog, besleme ve sayısal girişleri, sayısal çıkışları 2500Vac 1 dk. dayanımlıdır. Haberleşme portları ise 2000Vac 1 dk. İzolasyon seviyesindedir. Darbe gerilimleri için izolasyon seviyesi 5000V, 0.5J' dür.

Ürünün ve imalatçının ISO 9001, CE sertifikaları vardır.

### **6.5.5. Trafo/Müşteri Çıkışları İçin Fider Koruma Röleleri (Röle Tip 2)**

OG Ring trafo merkezlerindeki trafo/müşteri çıkış fiderlerinin koruma, kontrol, otomasyon ve haberleşme fonksiyonlarını içeren çok fonksiyonlu bir koruma ve kontrol cihazıdır. Fider ile ilgili tüm ölçümler, kontrol, kilitlemeler, alarmlar, olay ve arıza kayıtları bu kontrol cihazı

bünyesinde gerçekleştirilir. Söz konusu cihazlar kendi fiderlerinde ana koruma fonksiyonlarına ilave farklı bir prensip ile çalışan yedek koruma fonksiyonlarını da içerir.

Kesici, ayırıcı ve toprak bıçağı gibi şalt cihazlarının pozisyon bilgileri ve kumanda sinyalleri bu cihazda toplanır. Fider içerisindeki ve fiderler arasındaki kilitlemeler de aynı cihazın içerisindeki lojik fonksiyonlar yardımı ile yapılır.

İlgili fiderin ölçümlerini akım ve gerilim girişleri sayesinde yüksek hassasiyet ile gerçekleştirdiği gibi, bu ölçümleri olay ve arıza kayıtlarında da kullanıcılara temin eder.

Cihazın 14 adet dijital girişi, 7 adet kontak çıkışı bulunur. Fider ile ilgili tüm sinyaller bu dijital girişlere taşınır, bunun dışında ayrıca bir telemetri cihazına gerek yoktur.



Şekil 20: Trafo/Radyal Çıkış Koruma Rölesi

#### 6.5.5.1. Trafo/Müşteri Çıkışları İçin Giriş/Çıkış Listesi

| Dijital Giriş | Kullanım Şekli        |
|---------------|-----------------------|
| 1.            | Kesici Açık           |
| 2.            | Kesici Kapalı         |
| 3.            | Ayırıcı Açık          |
| 4.            | Ayırıcı Kapalı        |
| 5.            | T. Bıçağı Açık        |
| 6.            | T. Bıçağı Kapalı      |
| 7.            | Açma bobini denetim   |
| 8.            | Kapama bobini denetim |
| 9.            | Kesici motor kuruldu  |

| Dijital Çıkış | Kullanım Amacı          |
|---------------|-------------------------|
| 1.            | Kesici Açma             |
| 2.            | Kesici Kapama           |
| 3.            | Röle iç arıza           |
| 4.            | Kapama bobini çözme     |
| 5.            | Koruma Blokaj           |
| 6.            | Kesici Arıza            |
| 7.            | Bina dışı arıza lambası |

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| 10. | Sigorta arızası #1      |
| 11. | Sigorta arızası #2      |
| 12. | Röle test konumunda     |
| 13. | Yedek #1 (blokaj)       |
| 14. | Yedek #2 (kesici arıza) |

#### 6.5.5.2. Trafo/Müşteri Çıkış Fiderleri Röleleri için Koruma Özellikleri

| Koruma Fonk.kodu | Fonksiyonun ismi   | Fonksiyonun uygulama amacı ve temel özellikleri  |
|------------------|--|--|
| • 51P            | Ters zamanlı faz aşırı akım koruması                         | %5- %320xIn arasında ayarlanabilir ve Fiderlerin ters zamanlı aşırı akım korumasında kullanılır. En az 2 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 51Q /46        | Ters zamanlı faz dengesizlik akım koruması (Negatif bileşen) | %5- %320xIn arasında ayarlanabilir ve Fiderlerin ters zamanlı dengesizlik akım korumasında kullanılır. 1 bağımsız elemanı vardır. Yıldız üçgen dağıtım trafolarının alçak gerilim tarafındaki toprak arızaları için yedek koruma/olay tetikleme amacıyla kullanılır. |
| • 51G            | Ters zamanlı residüel aşırı akım koruması                    | %5- %320xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin ters zamanlı dengesizlik toprak akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin üç faz akım girişlerinden hesaplanan sıfır bileşen akımı ile çalışır. 2 bağımsız elemanı vardır.                                  |
| • 51N            | Ters zamanlı hassas Nötr aşırı akım koruması                 | %1- %64xIn arasında ayarlanabilmeli ve fiderlerin ters zamanlı dengesizlik toprak akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin bağımsız bir hassas akım girişlerinden ayrıca ölçülen sıfır bileşen akımı ile çalışır. 1 bağımsız elemanı vardır.                |
| • 50P            | Sabit zamanlı/ani faz  | %10- %2000xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin sabit   |

|       |   |  |
|-------|---|--|
|       | aşırı akım koruması   | zamanlı veya ani kısa devre/aşırı akım korumasında kullanılır. 4 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 50Q | Sabit zamanlı/ani faz dengesizlik akım koruması (Negatif bileşen) | %10- %2000xIn arasında ayarlanabilir ve fiderlerin sabit zamanlı veya ani kısa devre/aşırı akım dengesizlik akım korumasında kullanılır. 2 bağımsız elemanı vardır. Yıldız üçgen dağıtım trafolarının alçak gerilim tarafındaki toprak arızaları için yedek koruma/olay tetikleme amacıyla kullanılır. |
| • 50G | Sabit zamanlı/ani residüel aşırı akım koruması                    | %5- %2000xIn arasında ayarlanabilir ve Fiderlerin sabit zamanlı veya ani dengesizlik toprak kısa devre akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin üç faz akım girişlerinden hesaplanan sıfır bileşen akımı ile çalışır. 4 bağımsız elemanı vardır.  |
| • 50N | Sabit zamanlı/ani hassas Nötr aşırı akım koruması                 | %1- %400xIn arasında ayarlanabilir ve Fiderlerin sabit zamanlı veya ani dengesizlik toprak kısa devre akım korumasında/izlenmesinde kullanılır. Rölenin bağımsız bir hassas akım girişlerinden ayrıca ölçülen sıfır bileşen akımı ile çalışır. 4 bağımsız elemanı vardır.                              |
| • 59P | Faz aşırı gerilim koruması  | %0- %200xUn arasında ayarlanabilir. Fiderlerde aşırı gerilim durumlarının otomatik olarak algılanarak, gerektiğinde sistemi korumak, olay ve osilo kaydı oluşturmak amaçları için kullanılır.  |
| • 59Q | Dengesizlik aşırı gerilim koruması                                | %0- %200xUn arasında ayarlanabilmelidir. Fiderlerde dengesiz faz aşırı gerilim durumlarının otomatik olarak algılanarak, gerektiğinde sistemi korumak, olay ve osilo kaydı oluşturmak amaçları için kullanılır.  |
| • 59G | Dengesizlik rezidüel aşırı gerilim koruması                       | %0- %200xUn arasında ayarlanabilir. Fiderlerde dengesiz rezidüel aşırı gerilim durumlarının otomatik olarak  |

|         |                        |  |
|---------|------------------------|--|
|         |                        | algılanarak, gerektiğinde sistemi korumak, olay ve osilo kaydı oluşturmak amaçları için kullanılır. Topraklama sistemindeki hataları algılayabilmek için önemli bir fonksiyondur.  |
| • 79    | Otomatik tekrar kapama | Havai hat fiderlerinin kısa devre arızalarında, arızanın geçici arıza olması durumunda, otomatik tekrar kapama yapmak ve arızanın insan müdahalesi olmadan giderilmesi amacıyla kullanılır. 2 ardışık tekrar kapama yapabilecek özelliktedir.  |
| • 25    | Senkroçek              | Rölede 3 faz gerilim girişinden ayrı olarak 4. Bir gerilim girişi vardır. Senkron veya asenkron kaynakların birbirlerine bağlanması durumlarında denetleme ve güvenli manevra amacı ile kullanılır. Örneğin, ring kapatma, bara veya kuplaj bağlantılarında, trafoların paralellenmesi sırasında olumsuz koşullara izin vermemek amacı ile kullanılır. |
| • 27    | Düşük gerilim koruması | %0- %100xUn arasında ayarlanabilir. Fiderlerde düşük gerilim durumlarının otomatik olarak algılanarak, olay ve osilo kaydı oluşturmak üzere kullanılır.  |
| • 81U/O | Aşırı/düşük frekans    | Nominal frekansın %10 altı ve üstüne ayarlanabilmeli, en az 6 adet bağımsız kademesi bulunur. Sistemde oluşan frekans bozulmalarının algılanarak gerektiğinde sistemi korumak, olay ve osilo kaydı oluşturmak amaçları için kullanılır.  |

### 6.5.5.3. Ölçüm Fonksiyonları

Rölelerde bulunan ölçüm fonksiyonları:

- Ölçülen akım ve gerilimlerin genlik ve açıları,

- Tek fazlı ve üç fazlı aktif ve reaktif güç ölçümleri (MW, MVAR) ve güç faktörü ölçümü (pF)
- Tek fazlı ve üç fazlı aktif ve reaktif yönlü enerji ölçümleri (MWh ve MVARh olarak)
- Sistem frekansı (Hz) ve yardımcı besleme akü gerilimi (Vdc)
- Demand ölçümleri: Faz, negatif bileşen, rezidüel ve nötr akımları, MW ve MVAR
- Maksimum ve Minimum değerlerin kayıtları: Ia, Ib, Ic, In, Ig, Va, Vb, Vc, Vn, 3 fazlı MW, MVAR
- Kesici yıpranma kayıtları: Kesme akımları ile kapamadan açmaya sürelerin biriktirme esası ile çalışır.

#### 6.5.5.4. Yapısal Ve Diğer Özellikler

Cihaz üzerinde bulunan ekran ve aşağıda belirtilen haberleşme portları vasıtası ile yukarıdaki tüm değerlere erişim sunar.

- Biri ön panelde olmak üzere 2 adet RS-232 portu vardır.
- İki adet arkada RJ45 Ethernet portu vardır. Bu portların switch özelliği vardır. Bu portlar IEC61850 protokolünü ve GOOSE ile koruma haberleşmesini destekler.
- Bir adet yüksek hassasiyetli zaman senkronizasyon girişi bulunur.

Röle seri portları, seri haberleşme için ASCII-text ve modbus haberleşme protokollerini destekler. Seri portlar vasıtası ile röle ayarları Standard PC'lerde bulunan terminal emülasyon yazılımları ile yapılabilir. Ayrıca röle ayarları, parametre değişikliği, arıza kayıtları okuma ve değiştirme için Windows ortamında çalışan ve kullanıcı kolaylığı sağlayan röle yazılımı bulunur.

Rölede ayrıca aşağıdaki özellikler bulunur:

- Rölenin fiderin ölçü akım trafolarından üç fazlı olmak toplam 3 adet 5 Amperlik faz akım girişi, bunlardan ayrı olarak 1 adet 5A'lık nötr akım girişi olmak üzere toplam 4 adet akım girişi vardır.
- Rölenin fiderin ölçü gerilim trafolarından gelen toplam 3 adet 100Volt gerilim girişi vardır.
- Tüm çıkış kontakları açma amaçlı kullanıma uygun özelliklerde olur. (30A kapama ve taşıma (make), 6A sürekli, 50A-1sn., 0.2A kesme (220VDC-L/R=40ms)

- Çıkış kontakları rölenin koruma elemanlarının çıkışları ile ve basit mantık kapıları ile (ve, veya, değil gibi) çalışacak şekilde programlanabilir.

Röle silinmeyen (non-volatile) hafızaya sahiptir ve rölenin beslemesi kesilse dahi ayar değerleri ve arıza kayıtlarını hafızasında tutar:

- Tarihsel sıralı, zaman ve tarih damgalı son 512 olayı kaydeder.
- Akım, gerilim, sayısal giriş ve röle çıkışları, röle dahili sinyallerini de barındıran son 10 osilografik arıza kaydı özelliği vardır. Bu kayıtların süreleri en az 30 periyottur ve bir periyotta 16 örnekleme alınır.

Rölede pil ile korumalı bir dahili saat bulunur, aynı zamanda yüksek hassasiyetli zaman senkronizasyon girişi bulunur. Bu sadece röleler merkezi bir saat sistemine bağlandıklarında tüm röleler hassas ve eşzamanlı olay ve arıza kaydı olanağına sahip olabilirler.

Rölede gelişmiş iç denetim fonksiyonları bulunur, buna paralel görev yapan bir alarm kontağı bulunur. Rölenin iç denetiminde bir arıza olması durumunda veya DC beslemenin kaybolması halinde röle bu kontağı ile başka bir noktaya alarm verebilir.

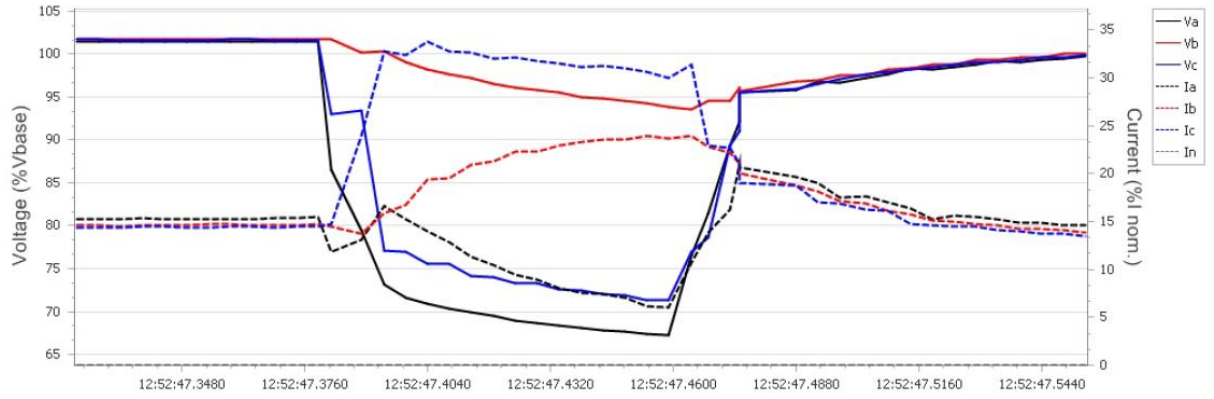
Röleler -40 ile +85 derece arasındaki sıcaklıklarda %95'e kadar nem ortamında sorunsuz çalışabilirler.

Röle 100 ile 300 (24-48)Volt DC besleme gerilimi aralığında sorunsuz çalışabilir. Röle akım girişleri 15A'e sürekli, 500A'e 1sn ve 1250A'e 1 periyot dayanıklıdır. Gerilim girişleri 150V'a (Faz-faz) kadar sürekli ve 300 Volta (faz-faz) 10 sn. dayanabilir. Röle analog, besleme ve sayısal girişleri, sayısal çıkışları 2500Vac 1 dk. dayanımlıdır. Haberleşme portları ise 2000Vac 1 dk. İzolasyon seviyesindedir. Darbe gerilimleri için izolasyon seviyesi 5000V, 0.5J'dür.

Ürünün ve imalatçının ISO 9001, CE sertifikaları bulunur.

#### **6.5.6. Pilot Uygulamada Elde Edilen Sonuçlar**

Kapalı ring projesinde aldığımız sonuçlar aşağıdaki gibidir. Bu sonuçlar incelendiğinde dağıtım şebekesinde kapalı ring uygulamasının başarılı olduğu görülebilir. Bu uygulamanın yayılmasını temenni eder, Türkiye'deki dağıtım sistemlerine yeni bir bakış getirdiğimizi umarız.



**Şekil 21:** Kapalı Ring Dağıtım Şebekesi Arızası

### **Arıza Süreleri Düşürülmüştür.**

Yukarıdaki grafiğe göre; kapalı ring arızasında gerilim %30 çökmüş, akım ise iki katına çıkmıştır. Arızanın yaklaşık 120 ms gibi kısa sürede temizlenmesiyle, şebeke normal değerlerine dönmüştür.

Tipik bir dağıtım şebekesi arızası en çok 200ms’de temizlenebilmektedir. Tüketicide yansıması genel olarak göz kırpması süresi kadar olmaktadır.

### **Tüketicide Kesintisiz Enerji Sağlanmıştır.**

Ring üzerindeki bir arızada tüketiciler enerji almaya devam etmektedir. Ring üzerindeki arızada ring arızayı temizlemek üzere kopar. Buna rağmen enerji yolunu değiştirerek tüketiciye ulaşmaya devam eder.

### **Daha İyi Koruma Seçiciliği Sağlanmıştır.**

Arıza en dar bölgede temizlenip diğer tüketicilerin etkilenmemesi sağlanmıştır. Koordineli bir koruma prensibi söz konusudur. Arıza mümkün olan en dar bölgede sıkıştırılarak temizlenir.

### **Güç Kalitesi Daha İyi Hale Getirilmiştir.**

Arızada meydana gelen gerilim bozulmaları en aza indirilmiştir. Arıza anında oluşan gerilim çukurlarının ve tepelerinin süresi çok kısalarak, aynı 34,5 kV barasından beslenen tüketiciye olan etkisi azaltılmıştır.

### **Arızalar Daha İyi Yönetilebilir Hale Getirilmiştir.**



Arıza ekiplerinin arızaya acil müdahalesine gerek kalmamıştır. Enerjisiz kalan bir tüketici olmayacağı için ekipler güvenli ve optimal olarak çalışmaktadır.

**Daha Ekonomik İşletme Sağlanmıştır.**

Arıza sürelerinin kısalmasıyla hatlarda yangın çıkması, kablo başlıklarının patlaması trafoların zarar görmesi gibi fiziki tahribatlar ortadan kalkmıştır Her bir ekipmanın kullanım ömrü uzamıştır.

## **7. Bütçe – Mali Kısım**

## 8. Sonuçlar ve Yorumlar

- Projede gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda, O.G. dağıtım sistemlerinde kapalı ring sistemlerinde dünyadaki benzer uygulamalarda hat koruması için ana korumanın diferansiyel röle veya mesafe rölesi ile yapıldığı, yedek (backup) korumanın ise yönlü aşırı akım röleleri ile yapıldığı görülmüştür.
- İletim sistemlerinde hat uzunluklarının yüksek olması sebebiyle mesafe rölesinin set değerleri için sorun oluşmaz iken O.G. dağıtım sistemlerinde genel olarak baralar arasındaki (trafo merkezleri (TM) arasındaki) hat uzunlukları çok kısadır. (İstanbul’da BEDAŞ 34.5 kV O.G. dağıtım sistemlerinde bazı bölgelerde iki TM arasındaki mesafe 250 metreye kadar düşmektedir.) Bu nedenle OG hat empedansları çok düşük değerler almakta bu durumda mesafe rölesinin çok küçük empedans değerlerine ayarlanmasındaki zorluk sebebiyle OG dağıtım sisteminde ana korumanın mesafe rölesi ile yapılması uygun değildir. Mesafe rölesi yerine ana koruma için diferansiyel röle daha uygundur.
- Eğer OG baraları arasında (hattın iki ucu arasında) fiber optik kablo haberleşme hattı mevcut ise ana koruma için diferansiyel röle uygundur. Diferansiyel rölenin gerilim transformatörü gerektirmemesi, koordinasyon problemi olmaması, kesiciye açma (trip) kumandası vermek için 100 ms civarında zaman gecikmesinin yeterli olması, aşırı akım rölelerinin koordinasyonunda olduğu gibi hat başına yaklaştığı seleviteyi sağlamak için rölelerin zaman gecikmelerinin arttırılmasının gerekmesi gibi bir probleme yol amamaları ana koruma rölesi olarak tercih sebebidir.
- Yönlü aşırı akım rölelerinin ana koruma rölesi olarak uygun olmadığı tespit edilmiştir. Yönlü aşırı akım rölesi ile korumanın yapılabilmesi için tesiste akım trafolarına ek olarak yn seçimi için gerilim trafolarının da bulunması gerekir. BEDAŞ’ın dağıtım merkezlerinin (DM) veya transformatör merkezlerinin (TM) oğunda sadece akım trafoları mevcut olup gerilim trafosu bulunmamaktadır. Gerilim trafolarının olmaması ve eski DM ve TM’lerde gerilim trafosu tesis etmek için yeterli alan bulunmaması ve gerilim trafoları sebebiyle maliyetin artması yönlü aşırı korumasının yapılması için dezavantaj oluşturmaktadır. Proje kapsamında yapılan araştırmalarda; Avrupa’da ve A.B.D.’de kapalı ring sisteme dönüşümde gerilim trafosu bulunmayan O.G. hücrelerde yer sorununu ozmek amacıyla gerilim trafosu yerine kapasitif veya rezistif gerilim bölücülerin kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Bu gerilim bölücüler; mevcut O.G. hücrelerindeki bir mesnet izolatörü kadar az yer kaplamaktadır. Bazı firmaların geliştirdikleri gerilim bölücü izolatöre aynı zamanda akım lme sensörü de ilave

ettikleri böylece tek elemandan gerilim ve akım sinyallerini elde ettikleri görülmektedir. Akım sinyallerinin genliği 5A veya 1A olmayıp birkaç mA, gerilim sinyallerinin genliği 100V veya  $100/\sqrt{3}$  V olmayıp sadece 10 V civarındadır. Nümerik yönlü aşırı akım imalatçısı firma akım sensörlü gerilim bölücü ve buna uygun nümerik röleyi set halinde kullanıma sunmaktadır. Bu tip gerilim bölücülerin piyasada kullanımını arttıktan ve sektörde yeterli güvenilirliği kazandıktan sonra ileride yapılacak kapalı ring uygulamalarında bu yenilik yönlü aşırı akım rölelerinin kullanımını kolaylaştıracaktır.

- Bir arıza durumunda O.G. sisteminde BEDAŞ'ın arızayı temizlemesi için TEİAŞ BEDAŞ'a maksimum bir saniye kadar süre vermektedir. BEDAŞ'ın koruma sisteminin bir saniyeden daha kısa sürede arızayı temizlemesi gerekmektedir. Selektif koruma yapmak için hat sonundan başlayarak kaynağa (TEİAŞ barasına) doğru rölelerin zaman gecikmesini arttırmak gerekir. BEDAŞ dağıtım sisteminde 20 baraya ulaşan açık ring sistemlerin bulunması sebebiyle bu sistemlerin kapalı ringe dönüştürülmesi halinde ardışık iki röle arasında koordinasyonu sağlamak için en az 0.25 saniye zaman gecikmesi oluşturmak gerektiği için hat başındaki rölenin kesiciyi açtırma süresi TEİAŞ'ın izin verdiği bir saniyeden çok daha uzun olmakta ve arıza halinde BEDAŞ kesicisinden önce TEİAŞ kesicisi açması ve tüm sistemin enerjisinin kesilmesi riski ortaya çıkmaktadır. Röle koordinasyonu ile ilgili bu sorun sebebiyle çok baralı kapalı ring sistemin yönlü aşırı akım röleleri ile ana korumanın yapılması uygun değildir.

- Yönlü aşırı akım röleleri yedek (backup) koruma için uygundur.

- Bara koruması için ideal olarak korumanın bara diferansiyel röle ile yapılması uygundur. Ancak bu korumanın maliyetinin yüksek olması sebebiyle bara koruması yönlü aşırı akım röleleri ile yapılabilir.

- Literatürdeki çalışmalarda son yıllarda geliştirilen diferansiyel röle veya mesafe rölesi kullanılmadan sadece yönlü aşırı akım röleleri kullanılarak oluşturulan, rölelerin ileri ve geri yön seçme özelliklerinden yararlanılan yeni bir kapalı ring koruma felsefesi geliştirilmiştir. Proje kapsamında yapılan çalışmalarda bu felsefe proje ekibimizce biraz daha geliştirilmiş, bara koruması daha güvenli hale getirilmiştir. Alternatif bir koruma yöntemi olarak bu yöntem de göz önüne alınabilir.

- Projede yapılan teorik Ar-Ge çalışmalarından sonra pilot uygulama olarak BEDAŞ şebekesi içerisinde 34.5 kV nominal gerilimli bir kapalı ring OG dağıtım sistemi tesis

edilmiştir. Pilot uygulamada hatlar için ana koruma hat/kablo diferansiyel röleleri (87L) ile yedek (backup) koruma yönlü aşırı akım röleleri (67, 67N) ile gerçekleştirilmiştir. Bara koruma yönlü aşırı akım röleleri ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen pilot OG kapalı ring dağıtım sistemi başarılı ve güvenli bir biçimde çalışmaktadır. Bu pilot uygulamada oluşturulan kapalı ring OG dağıtım sisteminin radyal veya açık ring OG dağıtım sistemine göre avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Arıza Süreleri Düşürülmüştür.

- Tüketicie Kesintisiz Enerji Sağlanmıştır.

- Daha İyi Koruma Seçiciliği Sağlanmıştır.

- Güç Kalitesi Daha İyi Hale Getirilmiştir.

- Arızalar Daha İyi Yönetilebilir Hale Getirilmiştir.

- Daha Ekonomik İşletme Sağlanmıştır.

• Proje kapsamında O.G. kapalı ring dağıtım sistemi başarıyla tesis edilmiş ve uygulama sonuçları alınmaya başlanmıştır. Sistemin devreye alınması ile birlikte yukarıda belirtilen amaçların gerçekleştiği görülmektedir. Uzun vadede arızalar oluştuğunda kapalı ring sistemde açık ring sistemdeki arızalardaki kesinti sürelerine oranla kesinti sürelerinin azaldığı, kapalı ring sistemden dolayı işletme kalitesinin, müşteri memnuniyetinin artacağı, hat kayıplarının azalacağı daha net olarak gözlemlenebilecektir.

• Ülkemizin en büyük elektrik dağıtım şirketi durumundaki BEDAŞ gerçekleştirilen bu Ar-Ge projesi ile O.G. dağıtım sisteminde kapalı ring sistemini tesis eden ve kapalı ring sisteminde bilgi birikimi oluşturan ilk dağıtım şirketi olarak diğer şirketlere öncülük etmiştir. Proje kapsamında pilot uygulama olarak tesis edilen kapalı ring sistemi sürekli veri akışının elde edilebileceği, diğer dağıtım şirketlerinin kapalı ring uygulamaları için örnek oluşturacak sürekli açık bir laboratuvar olarak ülkemizin hizmetine sunulmuştur.

## 9. Referanslar/Kaynaklar/Atflar

- [1] Botton, S., Cavaletto, L., Marmeggi, F., “*Schema Project-Innovative Criteria for Management and Operation of a Closed Ring MV Network*”, 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013.
- [2] D’Orazio, L., Calone, R., “*Innovative Protection System on Distribution Network*”, 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013.
- [3] Capasso, A. ; Calone, R. ; Lama, R. ; Lauria, S. ; Santopaolo, A., “*Ground fault protection in ENEL Distribuzione's experimental MV loop line*”, 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014), Page(s): 1 – 6, 2014
- [4] Kangle Guan ; MyeonSong Choi ; SeungJea Lee ; SeongIl Lim, “*Coordination method for protective devices of closed-loop distribution system*”, 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Page(s): 47 – 52, 2012
- [5] Sapienza, G. ; Bianco, G. ; Di Lembo, G. ; Carpini, L.D. ; Scrosati, G. ; Paulon, P., “*The Enel Smart Grid test system: A real-time digital simulator-based infrastructure*”, 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Page(s): 1 – 5, 2013
- [6] Lira, R. ; Mycock, C. ; Wilson, D. ; Kang, H., “*PMU performance requirements and validation for closed loop applications*”, 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), Page(s): 1 – 7, 2011
- [7] Hung M.Dao ; Silio, C.B., Jr., “*Ring-network with a constrained number of consecutively-bypassed stations*”, IEEE Transactions on Reliability,
- [8] Parise, G. ; Hesla, E. ; Rifaat, R.M., “*Architecture Impact on Integrity of Electrical Installations: Cut&Tie Rule, Ring Configuration, Floating Node*”, IEEE Transactions on Industry Applications.
- [9] Xueli Guo ; Jiuju Du ; Changxiao Qi, “*Study and application of switching operation of 10kV lines ring network in urban power distribution network*”, International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2012 China

- [10] Wei-Tzer Huang ; Shyi-Wen Wang ; Ling-Yi Hong ; Deng-Chung Lin, “*Nature and operation schemes of normally closed-loop distribution systems*”, 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARCV 2008.
- [11] Hui Yang ; Fushuan Wen ; Yongqiang Liu ; Peng Xu ; Qiren Jiang, “*A computer-assisted decision-making system for distribution system closed-loop operation*”, Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008.
- [12] De Groot, R.J.W. ; Morren, J. ; Slootweg, J.G., “*Investigation of grid loss reduction under closed-ring operation of MV distribution grids*”, IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition, 2014
- [13] Xin Liu ; Hongkun Chen ; Yubo Tao ; Chencong Huqian, “*Short-circuit current limiting for ring distributed power system integrated with multiple sources*”, PES General Meeting | Conference & Exposition, Page(s): 1 – 5, 2014 IEEE
- [14] Badra, M. ; Zeadally, S., “*Design and Performance Analysis of a Virtual Ring Architecture for Smart Grid Privacy*”, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, Volume: 9 , Issue: 2
- [15] Xin Miao ; Xi Chen, “*Research on Optical Fiber Transport Network Topology Optimization Supporting Smart Grid Core Services*”, International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), Volume: 2, 2010
- [16] Kulkarni, A. ; Payne, J. ; Mistretta, P., “*Integrating Scada, Load Shedding, and High-Speed Controls on an Ethernet Network at a North American Refinery*”, IEEE Transactions on Industry Applications,
- [17] Pugh, Paul F., “*New Airport Distribution System with Closed-Loop Circuit - Remote Operation and Monitoring*”, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: IA-19 , Issue: 6
- [18] Yin Diqing ; Liu Kun ; Dong Xinzhou ; Shi Shenxing ; Xu Gang ; Wang Kai, “*Distribution line automation system based on non-communication protection in the case of symmetrical fault*”, International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2011

- [19] Jae-Do Park ; Candelaria, J. ; Liuyan Ma ; Dunn, K., “*DC Ring-Bus Microgrid Fault Protection and Identification of Fault Location*”, IEEE Transactions on Power Delivery
- [20] Gupta, P. ; Bhatia, R.S. ; Jain, D.K., “*Adaptive protection schemes for the microgrid in a Smart Grid scenario: Technical challenges*”, Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 2013 IEEE
- [21] Ukil, A. ; Deck, B. ; Shah, V.H., “*Smart distribution protection using current-only directional overcurrent relay*”, Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES
- [22] Ukil, A. ; Deck, B. ; Shah, V.H., “*Current-Only Directional Overcurrent Protection for Distribution Automation: Challenges and Solutions*”, IEEE Transactions on Smart Grid,
- [23] Xiao-Long Luo ; Xiang-jun Zeng ; Min Zeng ; Zhen Liao ; Dong-Hong Zhao, “*A novel protection method for icing lines of ring network*”, IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), Page(s): 1 – 4, 2012
- [24] Chen, Yanxia ; Gong, Xiangqian ; Li, Huachun, “*A new type of automatic bus transfer equipment with function of ring current protection — Research and application*”, International Conference on Smart Grid Technology, Economics and Policies (SG-TEP), 2012
- [25] Prokhorov, A. ; Borovikov, Yu. ; Andreev, M., “*Application of hybrid real-time power system simulator for setting up and close loop testing of protection and control equipment*”, 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST), 2012 , Page(s): 1 – 4
- [26] Mekkanen, M. ; Virrankoski, R. ; Elmusrati, M. ; Antila, E., “*Reliability evaluation and comparison for next-generation substation function based on IEC 61850 using Monte Carlo simulation*”, 1st International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), 2013
- [27] Lin, N. ; Silio, C.B., Jr., “*Ring network reliability-the probability that all operative nodes can communicate*”, Proceedings of the Eighth Symposium on Reliable Distributed Systems, 1989



[28] Pagel, B., “*Energizing International Drive*”, Transmission & Distribution World; Apr 2000;52,4,pp.18-29

## **10. Ekler**

**Ek-1:** Teknik Rapor - TEİAŞ O.G. Barasında Ring Oluşturulması

**Ek-2:** İki TEİAŞ İndirici Transformatörlerinin 33.6 kV O.G. Barasına Kapanan Kapalı Ring İşletme Durumu İçin ETAP İle Yapılan Kısa Devre Analizi Sonuçları

**Ek-3:** Tek Transformatörün (TM1) 33.6 kV O.G. Barasına Kapanan Kapalı Ring İşletme Durumu

için ETAP İle Yapılan Kısa Devre Analizi Sonuçları

**Ek-4:** Proje 1. Ara Rapor (Ocak 2015)

**Ek-5:** BEDAŞ 6 Baralı Kapalı Ring Dağıtım Şebekesinde Yönlü Aşırı Akım ve Diferansiyel Röle

Kullanımına Ait Simülasyon Raporu

**Ek-6:** BEDAŞ 6-Baralı Kapalı Ring Modelinin Opal-Rt HIL Sistemi İçerisinde Gerçek Zamanlı

Simülasyonunun Oluşturulması

**Ek-7:** OPAL RT HIL Donanımı İçerisinde IEC 61850 Protokolünün Kullanımı

## EK-1

### TEKNİK RAPOR

#### **İki TEİAŞ İndirici Transformatörünün O.G. Baraları Arasındaki BEDAŞ Dağıtım Sistemi Üzerinden Kapalı Ring Oluşturulmasına İlişkin İnceleme**

EPDK destekli “BEDAŞ Kapalı Ring Ar-Ge Projesi” kapsamında 154/34,5 kV bir indirici transformatörün 34,5 kV O.G. barasından beslenen ve aynı baraya kapanan bir O.G. Kapalı Ring Sistemi pilot uygulama olarak tesis edilecektir. BEDAŞ O.G. Dağıtım Sistemi içinde çok sayıda farklı iki indirici transformatörün sekonder O.G. baraları arasına bağlı olan ve açık ring sistemi olarak işletilen dağıtım sistemleri bulunmaktadır. Bu nedenle BEDAŞ Ar-Ge Proje Ekibince bu yapıdaki açık ring sistemlerinin kapalı ring sistemine dönüştürülmesinin uygun olup olmadığı hususunda YTÜ Proje Grubumuzdan görüş sorulması üzerine bu konudaki incelemeler aşağıda sunulmuştur.

İki indirici transformatörün O.G. seviyesindeki sekonderlerinin BEDAŞ dağıtım şebekesi üzerinden birbirlerine bağlanması suretiyle bir kapalı ring sistemi oluşturulması esasen iki indirici transformatörün paralel çalışmasıdır. Bu nedenle böyle bir ring sisteminin oluşturulabilmesi için öncelikle iki indirici transformatörün paralel bağlanabilme koşullarını sağlaması gerekir:

#### Transformatörlerin Paralel Bağlanma Koşulları

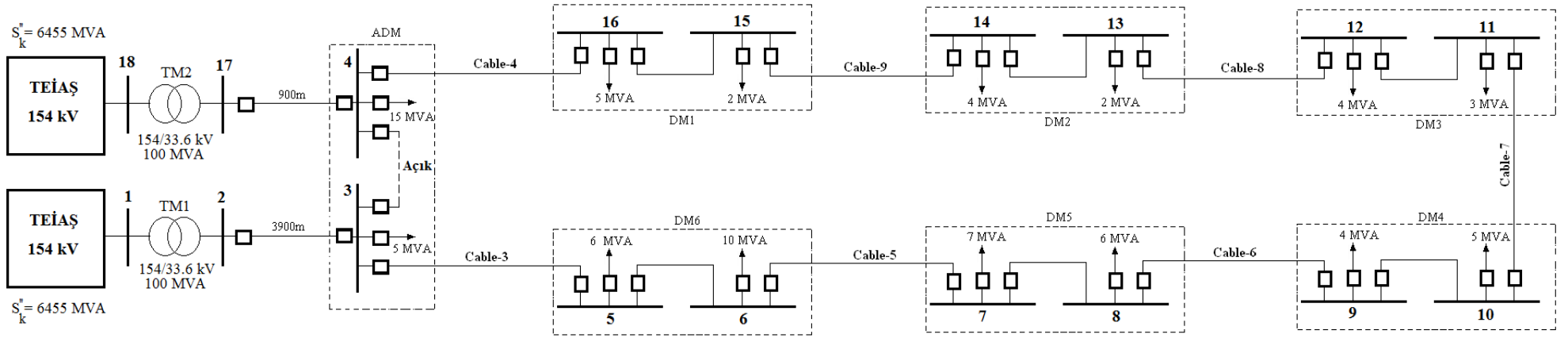
1. Transformatörlerin gerilimlerinin eşit olması,
2. Transformatörlerin güçlerinin eşit olması,
3. Transformatörlerin bağıl kısa devre gerilimlerinin (%  $u_k$ ) eşit olması,
4. Transformatörlerin bağlantı gruplarının eşit olması.
5. Transformatörlerin faz sıralarının aynı olması

Ayrıca yukarıdaki koşullara ek olarak indirici transformatörlerin 154 kV baralarının TEİAŞ iletim sisteminde aynı şebekede, aynı adada olması gerekir.

BEDAŞ tarafından iki indirici transformatörün sekonderleri arasındaki dağıtım şebekesi üzerinden kapalı ring sistemi oluşturulması halinde iki önemli teknik sorunun ortaya çıkacağı öngörülmektedir:

- Oluşturulacak ring üzerinden iki TEİAŞ transformatörünün sekonderlerinin birleştirilmesi sebebiyle ring sistemden beslenen BEDAŞ'a ait tüm dağıtım transformatörlerinin OG giriş kesicilerinin maruz kalacağı kısa devre akımları yükselecektir.

- Transformatörlerin sekonder gerilimlerinin eşitliğinin sağlanamaması, sekonder gerilimleri arasında fark olması halinde sekonderleri birbirine bağlayan BEDAŞ ring hattı üzerinde oluşan sirkülasyon akımları hattı gereksiz olarak yükleyecek ve ek kayıplara neden olacaktır.



Şekil 1. ETAP Yazılımı ile yük akışı ve kısa devre analizi yapılan örnek sistem

## ÖRNEK SİSTEM ÜZERİNDE ETAP 12.6.0 YAZILIMI İLE İNCELEME

Aşağıda Şekil 1’de gösterilen örnek sistemde iki adet 154/33.6 kV gerilimli TEİAŞ indirici transformatorünün sekonderleri O.G. dağıtım hattı üzerinden birleştirilerek kapalı ring sistemi oluşturulmuştur. Örnek sistem üzerinde ETAP 12.6.0 yazılımı kullanılarak, indirici transformatorlerinin sekonder gerilimlerinin ve % $u_k$  değerlerinin eşit olması ve olmaması durumları için yük akışı analizi ve kısa devre analizi yapılmıştır. Örnek sistemde tüm 33.6 kV O.G. kabloları 3x(1x240/25 mm<sup>2</sup>) XLPE kablodur. Analize ait detaylı sonuçlar bu raporun ekinde verilmiştir.

### ANALİZ SONUÇLARI:

#### **ETAP Yazılımı ile Gerçekleştirilen Kısa Devre Analizleri:**

Ek1’de tek transformatorün (TM1) 33.6 kV O.G. barasına kapanan kapalı ring işletme durumu için yapılan kısa devre analizi sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi en riskli noktalar durumundaki Transformator O.G. çıkış barları olan 2. Bara ve 17. Barada kısa devre akımları 13,443 kA’dır. BEDAŞ 34.5 kV O.G. dağıtım sisteminde tüm teçhizat 16 kA kısa devre akımına göre seçildiği için tek transformatörden beslenen ve aynı O.G. barasına kapanan kapalı ring işletmesinde kısa devre akımı bakımından bir sorun yoktur.

Ek2’de TM1 ve TM2 transformatorlerinin 33.6 kV O.G. baralarının BEDAŞ dağıtım hattı üzerinden bağlanması suretiyle elde edilen kapalı ring sistemi için yapılan kısa devre analizi sonuçları verilmiştir. Bu işletme durumunda TM1 ve TM2 transformatorlerinin BEDAŞ hattı üzerinden paralel bağlanmış olması sebebiyle kısa devre akımları beklendiği gibi yükselmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi en riskli noktalar durumundaki Transformator O.G. çıkış barları olan 2. Bara ve 17. Barada kısa devre akımları 19,576 kA’dır. Sistemdeki tüm baraların kısa devre akımları 17 kA’in üzerindedir. **BEDAŞ 34.5 kV O.G. dağıtım sisteminde tüm teçhizat 16 kA kısa devre akımına göre seçildiği için bu işletme durumunda kesiciler başta olmak üzere teçhizat kısa devre bakımından yetersiz kalacaktır. Teçhizatın 25 kA kısa devre akımına dayanacak şekilde seçilmesi gerekmektedir.**

### ETAP Yazılımı ile Yük Akışı Analizleri:

**Tablo 1a:** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devre dışı iken özdeş indirici transformatörlerin yüklenmesi (Gerilimler eşit,  $u_{k1} = u_{k1} = \% 12,5$ )

| ID  | Type       | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | % Voltage Drop | kW Losses | kvar Losses |
|-----|------------|---------|-----------|----------|-----------|----------------|-----------|-------------|
| TM1 | Transf. 2W | 0       | -0,478    | 8,207    | 0,5       | 0,06           | 0,006     | 0,285       |
| TM2 | Transf. 2W | 0       | -0,478    | 8,207    | 0,5       | 0,06           | 0,006     | 0,285       |

**Tablo 1b:** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devre dışı iken kabloların yüklenmesi (Gerilimler eşit,  $u_{k1} = u_{k1} = \% 12,5$ )

| ID                      | Type  | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | % Voltage Drop | kW Losses | kvar Losses |
|-------------------------|-------|---------|-----------|----------|-----------|----------------|-----------|-------------|
| 100 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable | 0       | -0,478    | 8,207    | 1,4       | 0,01           | 0,014     | -87,753     |
| 100 m, 3X(1X240/25) XLF | Cable | 0       | -0,478    | 8,207    | 1,4       | 0,01           | 0,027     | -380        |
| Cable3                  | Cable | 0       | -0,098    | 1,675    | 0,3       | 0              | 0         | -58,531     |
| Cable4                  | Cable | 0       | -0,39     | 6,7      | 1,1       | 0              | 0,006     | -58,511     |
| Cable5                  | Cable | 0       | 0,039     | 0,67     | 0,1       | 0              | 0         | -68,287     |
| Cable6                  | Cable | 0       | -0,107    | 1,842    | 0,3       | 0              | 0         | -78,041     |
| Cable7                  | Cable | 0       | -0,185    | 3,182    | 0,5       | 0              | 0,001     | -78,038     |
| Cable8                  | Cable | 0       | -0,273    | 4,69     | 0,8       | 0              | 0,004     | -87,785     |
| Cable9                  | Cable | 0       | -0,332    | 5,695    | 0,9       | 0              | 0,005     | -58,517     |

**Tablo 2a:** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devrede iken özdeş indirici transformatörlerin 154 kV gerilimli primer tarafta yüklenmesi (Gerilimler eşit,  $u_{k1} = u_{k1} = \% 12,5$ )

| ID  | Type       | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | kW Losses | kvar Losses |
|-----|------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------|
| TM1 | Transf. 2W | 27,988  | 0,349     | 104,9    | 28        | 22,194    | 979         |
| TM2 | Transf. 2W | 31,397  | 1,715     | 117,9    | 31,4      | 28,009    | 1236        |

**Tablo 2b:** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devrede iken kabloların yüklenmesi (Gerilimler eşit,  $u_{k1} = u_{k2} = \%12,5$ )

| ID                     | Type  | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | % Voltage Drop | kW Losses | kvar Losses |
|------------------------|-------|---------|-----------|----------|-----------|----------------|-----------|-------------|
| 00 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable | 31,369  | 0,48      | 540,3    | 89,6      | 0,24           | 73,676    | 31,175      |
| 00 m, 3X(1X240/25) XLF | Cable | 27,966  | -0,63     | 481      | 79,8      | 0,87           | 253       | 29,726      |
| Cable3                 | Cable | 22,805  | -0,66     | 395,7    | 65,6      | 0,11           | 26,344    | -15,02      |
| Cable4                 | Cable | 31,295  | 0,449     | 540,3    | 89,6      | 0,16           | 49,121    | 21,021      |
| Cable5                 | Cable | 7,11    | -0,645    | 124      | 20,6      | 0,04           | 3,014     | -61,912     |
| Cable6                 | Cable | 5,614   | 0,583     | 98,04    | 16,3      | 0,04           | 2,153     | -72,834     |
| Cable7                 | Cable | 14,445  | 0,456     | 250,7    | 41,6      | 0,1            | 14,099    | -53,776     |
| Cable8                 | Cable | 21,35   | 0,425     | 369,8    | 61,3      | 0,17           | 34,508    | -30,806     |
| Cable9                 | Cable | 27,296  | 0,428     | 472      | 78,3      | 0,14           | 37,49     | 2,531       |

**Tablo 3a.** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devre dışı iken kabloların yüklenmesi (Gerilimler arasında %2,6 fark var (TM1 33,600 kV, TM2 32,726 kV),  $u_{k1} = u_{k2} = \%12,5$ )

| ID                     | Type       | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | kW Losses | kvar Losses |
|------------------------|------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------|
| 00 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable      | 1,446   | 6,848     | 122,4    | 20,3      | 3,734     | -78,76      |
| 00 m, 3X(1X240/25) XLF | Cable      | 1,469   | 6,326     | 112,9    | 18,7      | 13,166    | -352        |
| Cable3                 | Cable      | 1,467   | 6,38      | 113,8    | 18,9      | 2,162     | -53,632     |
| Cable4                 | Cable      | 1,45    | 6,769     | 120,9    | 20,1      | 2,44      | -52,675     |
| Cable5                 | Cable      | 1,464   | 6,442     | 115      | 19,1      | 2,569     | -62,41      |
| Cable6                 | Cable      | 1,461   | 6,513     | 116,2    | 19,3      | 2,998     | -71,111     |
| Cable7                 | Cable      | 1,458   | 6,584     | 117,5    | 19,5      | 3,065     | -70,88      |
| Cable8                 | Cable      | 1,455   | 6,663     | 119      | 19,7      | 3,53      | -79,461     |
| Cable9                 | Cable      | 1,452   | 6,716     | 120      | 19,9      | 2,401     | -52,809     |
| TM1                    | Transf. 2W | 1,483   | 6,022     | 23,25    | 6,2       | 1,09      | 48,074      |
| TM2                    | Transf. 2W | 1,446   | 6,848     | 122,4    | 6,9       | 1,437     | 63,376      |

**Tablo 3b.** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devrede iken kabloların yüklenmesi Gerilimler farklı,  $\%u_k$  değerleri eşit (Gerilimler arasında %2,6 fark var (TM1 33,600 kV, TM2 32,726 kV),  $u_{k1} = \%12,5$   $u_{k2} = \%12,5$ )

| ID                     | Type       | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | kW Losses | kvar Losses |
|------------------------|------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------|
| 00 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable      | 37,81   | -5,367    | 670,6    | 111,2     | 113       | 98,296      |
| 00 m, 3X(1X240/25) XLF | Cable      | 36,997  | 5,669     | 649,2    | 107,7     | 462       | 373         |
| Cable3                 | Cable      | 22,254  | 5,296     | 402,8    | 66,8      | 27,319    | -11,712     |
| Cable4                 | Cable      | 32,93   | -5,465    | 587,5    | 97,5      | 58,049    | 37,512      |
| Cable5                 | Cable      | 7,038   | 5,364     | 156,2    | 25,9      | 4,77      | -56,992     |
| Cable6                 | Cable      | 5,28    | -5,432    | 133,8    | 22,2      | 3,986     | -67,397     |
| Cable7                 | Cable      | 13,816  | -5,481    | 262,4    | 43,5      | 15,416    | -49,063     |
| Cable8                 | Cable      | 20,483  | -5,507    | 374,1    | 62,1      | 35,283    | -26,512     |
| Cable9                 | Cable      | 26,216  | -5,503    | 472      | 78,3      | 37,47     | 4,608       |
| TM1                    | Transf. 2W | 37,038  | 7,453     | 141,6    | 37,4      | 40,435    | 1784        |
| TM2                    | Transf. 2W | 37,81   | -5,367    | 670,6    | 38        | 43,142    | 1904        |



**Tablo 4a.** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devre dışı iken kabloların yüklenmesi Gerilimler farklı, % $u_k$  değerleri farklı (Gerilimler arasında %2,6 fark (TM1 33,600 kV, TM2 32,726 kV) var,  $u_{k1}=\%12,5$   $u_{k2}=\%10$ )

| ID                      | Type       | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | % Voltage Drop | kW Losses | kvar Losses |
|-------------------------|------------|---------|-----------|----------|-----------|----------------|-----------|-------------|
| 100 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable      | 1,652   | 7,268     | 130,5    | 21,6      | 0,1            | 4,25      | -77,715     |
| 100 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable      | 1,678   | 6,753     | 121      | 20,1      | 0,4            | 15,202    | -348        |
| Cable3                  | Cable      | 1,676   | 6,806     | 122      | 20,2      | 0,06           | 2,484     | -53,014     |
| Cable4                  | Cable      | 1,656   | 7,19      | 129      | 21,4      | 0,07           | 2,781     | -51,99      |
| Cable5                  | Cable      | 1,673   | 6,868     | 123,1    | 20,4      | 0,07           | 2,948     | -61,677     |
| Cable6                  | Cable      | 1,669   | 6,938     | 124,4    | 20,6      | 0,09           | 3,436     | -70,258     |
| Cable7                  | Cable      | 1,666   | 7,008     | 125,7    | 20,9      | 0,09           | 3,507     | -70,011     |
| Cable8                  | Cable      | 1,662   | 7,086     | 127,1    | 21,1      | 0,1            | 4,032     | -78,464     |
| Cable9                  | Cable      | 1,659   | 7,138     | 128,1    | 21,2      | 0,07           | 2,74      | -52,132     |
| TM1                     | Transf. 2W | 1,695   | 6,461     | 25,04    | 6,6       | 0,81           | 1,264     | 55,752      |
| TM2                     | Transf. 2W | 1,652   | 7,268     | 130,5    | 7,4       | 0,75           | 1,634     | 57,671      |

**Tablo 4b.** Çift Transformatörlü Ring: Tüm yükler devrede iken kabloların yüklenmesi Gerilimler farklı, % $u_k$  değerleri farklı (Gerilimler arasında %2,6 fark var (TM1 33,600 kV, TM2 32,726 kV),  $u_{k1}=\%12,5$   $u_{k2}=\%10$ )

| ID                      | Type       | MW Flow | Mvar Flow | Amp Flow | % Loading | kW Losses | kvar Losses |
|-------------------------|------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------|
| 100 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable      | 40,256  | -6,281    | 715,5    | 118,7     | 129       | 124         |
| 100 m, 3X(1X240/25) XLP | Cable      | 34,468  | 6,568     | 609,1    | 101,1     | 407       | 286         |
| Cable3                  | Cable      | 19,798  | 6,282     | 366      | 60,7      | 22,558    | -19,286     |
| Cable4                  | Cable      | 35,363  | -6,405    | 632,6    | 105       | 67,318    | 52,419      |
| Cable5                  | Cable      | 4,605   | 6,36      | 138,7    | 23        | 3,752     | -58,554     |
| Cable6                  | Cable      | 7,702   | -6,423    | 177,2    | 29,4      | 7,01      | -62,471     |
| Cable7                  | Cable      | 16,236  | -6,462    | 308,6    | 51,2      | 21,333    | -39,502     |
| Cable8                  | Cable      | 22,907  | -6,474    | 420      | 69,7      | 44,473    | -11,699     |
| Cable9                  | Cable      | 28,643  | -6,457    | 517,5    | 85,9      | 45,047    | 16,804      |
| TM1                     | Transf. 2W | 34,504  | 8,139     | 132,9    | 35,1      | 35,602    | 1571        |
| TM2                     | Transf. 2W | 40,256  | -6,281    | 715,5    | 40,6      | 49,124    | 1734        |

ETAP yazılımı ile yapılan yük akışı analizi sonuçlarından görüldüğü üzere, Tablo 2a'da transformatörler ideal paralel bağlanma şartlarını sağladığında, tam yüklenme için TR1'in O.G. barasından çekilen akım 540 A, TR2'nin O.G. barasından çekilen akım 481 A ve kablolarda oluşan güç kaybı 495 kW'tır. Sistemdeki tüm OG dağıtım kabloları 3(1x240/25 mm<sup>2</sup>) XLPE kablodur. ETAP yazılımında 1x240/25 mm<sup>2</sup> XLPE kablonun akım taşıma kapasitesi 602 A'dir.O.G. Kabloların en yüklü olduğu noktalar olan transformatörlerin 33.6 kV O.G. çıkış fiderlerinden çekilen akımlar kabloların akım taşıma kapasitesini aşmamaktadır.

Tablo 3a'da görüldüğü gibi, yükler devre dışı iken transformatör gerilimleri arasında %2,6 fark varken transformatörler arasında 122,4 A sirkülasyon akımı geçmektedir. Bu durumda sistemde hiç yük olmamasına rağmen transformatörler arasındaki %2,6 gerilim farkından dolayı kablo %20,3 yüklenmekte 38,6 kW kayıp oluşmaktadır.

Tablo 3b'de görüldüğü gibi, ring sistemden beslenen tüm yükler devrede olduğu, transformatör gerilimleri arasında %2,6 fark olduğu, transformatörler arasındaki sirkülasyon akım sebebiyle gerilimlerin eşit olduğu durumda 540 A olan TR1'den çekilen akım 670,6 A'e yükselmekte ve kablo akım taşıma kapasitesinin üzerinde %111,2 oranında aşırı yüklenmektedir. Yine benzer şekilde gerilimler eşit iken 481 A olan TR2'den çekilen akım 649,2 A'e yükselmekte ve kablo akım taşıma kapasitesinin üzerinde %107,7 oranında aşırı yüklenmektedir. Gerilimler eşit olduğu zaman 495 kW olan kablolardaki kayıp güç sirkülasyon akımının etkisiyle 841 kW'a yükselmekte, kablolardaki kayıp güç %70 artmaktadır.

Tablo 4a'da görüldüğü gibi, yükler devre dışı iken transformatör gerilimleri arasında %2,6 fark varken ve transformatörlerin %uk değerleri farklı iken transformatörler arasında 130,5 sirkülasyon akımı geçmektedir. Bu durumda sistemde hiç yük olmamasına rağmen transformatörler arasındaki %2,6 gerilim farkından ve %uk değerlerinin farkından dolayı, kablo %21,7 yüklenmekte 44,3 kW kayıp oluşmaktadır.

Tablo 4b'de görüldüğü gibi, ring sistemden beslenen tüm yükler devrede iken transformatör gerilimleri arasında %2,6 fark varken ve ve transformatörlerin %uk değerleri farklı iken, ideal şartlarda 470 A olan TR1'den çekilen akım 715,5 A'e yükselmekte ve kablo akım taşıma kapasitesinin üzerinde %118,7 oranında aşırı yüklenmektedir. Yine benzer şekilde ideal şartlarda 481 A olan TR2'den çekilen akım 609,1 A'e yükselmekte ve kablo akım taşıma kapasitesinin üzerinde %101,1 oranında aşırı yüklenmektedir.

**Yük akışı analizi sonuçları, transformatörler arasında %2,6 gibi düşük bir gerilim farkı olması halinde bile geçen sirkülasyon akımı sebebiyle kabloların akım taşıma kapasitelerinin üzerinde yüklendiğini ve kablolardaki kayıp gücün arttığını göstermektedir.**

## SONUÇ:

İki indirici transformatörün O.G. seviyesindeki sekonderlerinin BEDAŞ dağıtım şebekesi üzerinden birbirlerine bağlanması suretiyle bir kapalı ring sistemi oluşturulması ile ilgili ETAP yazılımı ile gerçekleştirilen yük akışı ve kısa devre analizleri sonucunda aşağıdaki görüş ve kanaate varılmıştır:

1. Gerçekleştirilmesi istenilen uygulama iki indirici transformatörün BEDAŞ O.G. dağıtım sistemi üzerinden paralel bağlanmasıdır. Öncelikle transformatörlerin paralel bağlanma şartlarını sağlaması gerekir.
2. İki indirici transformatörün paralel çalışması sebebiyle tüm O.G. baralarının kısa devre akımları yükselmekte ve 16 kA'ın üzerine çıkmaktadır. Bu durumda teçhizatın 16 kA'den daha büyük bir değere 25 kA'e göre seçilmesi gerekmektedir. Özellikle oluşturulan ring O.G. dağıtım sisteminden beslenen dağıtım transformatörlerinin O.G. giriş kesicileri kısa devre akımı bakımından risk altındadır.
3. BEDAŞ O.G. dağıtım sistemi üzerinden sekonderleri birleştirilecek indirici transformatörlerin sekonder gerilimlerinin eşit olması gerekmektedir. Transformatör sekonder gerilimlerinin farklı olması halinde hat üzerinde sirkülasyon akımı oluşmakta, kablolar gereksiz olarak yüklenmekte, dağıtım transformatörlerinin yük akımları ile birlikte kablolar akım taşıma kapasitesinin üzerinde aşırı akıma maruz kalmaktadır. Örneğin indirici transformatörlerin sekonder gerilimleri arasında %2,6 gibi düşük bir fark olması halinde dahi incelenen örnek sistemde 120 A civarında bir sirkülasyon akımı geçmekte, sadece bu akım sebebiyle 240 mm<sup>2</sup> XLPE kablo akım taşıma kapasitesinin %20'si kadar yüklenmektedir. Ayrıca sirkülasyon akımı sebebiyle kablolar üzerinde ek güç kayıpları oluşmaktadır. Örnek sistemde, transformatörler arasındaki gerilim farkının %10 olması halinde (kablo empedansının sabit olduğu göz önüne alındığında) geçecek sirkülasyon akımı yaklaşık olarak  $120 \times (\%10 / \%2,6) = 460$  olup bu sirkülasyon akımı kablonun 600A civarında olan akım taşıma kapasitesinin %77'sini kullanacak olup yük akımı ile birlikte kablolar aşırı akıma maruz kalacaktır. Ayrıca bu durumda ek kayıplar da çok artacaktır.
4. Yukarıda belirtilen sirkülasyon akımı sorununun olmaması için indirici transformatörlerin sekonder gerilimleri eşit olmalıdır. TEİAŞ'a ait 154/33.6 kV veya 154/34.5 kV indirici transformatörlerin yük altında gerilim ayarı 154 kV primer sargıda otomatik kademe değiştiriciler ile yapılmaktadır. İndirici transformatörlerin sekonder gerilimlerinin eşit tutulabilmesi için farklı semtlerde tesis edilmiş olan TEİAŞ transformatörleri arasında fiber optik haberleşme sistemi olmalı, transformatörlerin yük altında kademe değiştiricileri birbiri ile haberleşerek bir kontrol ve otomasyon sistemi yardımıyla sürekli olarak sekonder gerilimlerini eşitlemelidir. Dağıtım sisteminin BEDAŞ'ın uhdesinde olması, kademe değiştiricili indirici transformatörlerin TEİAŞ'ın uhdesinde bulunması göz önüne alındığında bu işlemin sürdürülebilmesi mümkün görülmemektedir.

Yukarıdaki değerlendirmeler göz önüne alındığında, iki farklı TEİAŞ indirici transformatörünün sekonderleri arasındaki BEDAŞ O.G. dağıtım sistemi üzerinden birleştirilerek bir kapalı ring oluşturulmasında bazı zorluklar ve teknik sorunlar ortaya çıktığı görülmektedir. Sirkülasyon akımlarının oluşmaması, kabloların aşırı yüklenmemesi ve kablolarda yüksek miktarda ek güç kayıplarının oluşmaması için, transformatörlerin sekonder gerilimleri sürekli olarak eşit tutulmalıdır. Dağıtım sistemini besleyen indirici transformatörlerin gerilim ayarının BEDAŞ'ın dışında TEİAŞ tarafından yapıyor olması sebebiyle gerilimlerin eşit tutulabilmesinin sürekliliği mümkün görünmemektedir.

İndirici transformatörlerin paralel çalışması sebebiyle kısa devre akımları artacağı için kısa devre analizi yapılmalı, teçhizat 16 kA'den daha yüksek kısa devre akımına dayanacak şekilde seçilmelidir. BEDAŞ'ın mevcut 33 kV veya 34.5 kV O.G. dağıtım sisteminde tüm teçhizatın 16 kA kısa devre akımına dayanacak şekilde seçilmiş olmasından dolayı mevcut O.G. dağıtım hatları üzerinden iki TEİAŞ indirici transformatörlerinin sekonderlerinin birleştirilmesi kısa devre akımı dayanımı sorunu yüzünden mümkün olamayacaktır.

Sonuç olarak; ancak indirici transformatörlerin paralel bağlanma şartlarının sağlanması, özellikle sekonder gerilimlerinin eşit tutulabilmesi ve sistemde kısa devre analizi yapılarak tüm O.G. teçhizatın 16 kA'den daha yüksek bir değere, hesaplanacak kısa devre akımlarına dayanacak şekilde seçilmesi halinde iki indirici transformatörün sekonderlerinin O.G. dağıtım sistemi üzerinden birleştirilerek kapalı ring oluşturulması mümkün olabilecektir. Ancak özellikle gerilimlerin sürekli olarak eşitliğinin sağlanmasındaki zorluklar sebebiyle iki indirici transformatörün sekonderleri arasında kapalı ring dağıtım sisteminin oluşturulmasının riskli olduğu, uygun olmadığı kanaati oluşmaktadır.

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: GEOSB

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 1  
 Date: 11-09-2015  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Short-Circuit Summary Report**

1/2 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

| Bus   |        | 3-Phase Fault |         |        | Line-to-Ground Fault |         |        | Line-to-Line Fault |        |        | *Line-to-Line-to-Ground |         |        |
|-------|--------|---------------|---------|--------|----------------------|---------|--------|--------------------|--------|--------|-------------------------|---------|--------|
| ID    | kV     | Real          | Imag.   | Mag.   | Real                 | Imag.   | Mag.   | Real               | Imag.  | Mag.   | Real                    | Imag.   | Mag.   |
| Bus1  | 154.00 | 24.325        | -3.324  | 24.551 | 24.250               | -3.014  | 24.437 | 2.879              | 21.066 | 21.262 | -14.963                 | -19.712 | 24.748 |
| Bus2  | 33.60  | 4.173         | -19.127 | 19.576 | 3.288                | -18.298 | 18.591 | 16.564             | 3.614  | 16.954 | 15.293                  | 12.361  | 19.664 |
| Bus3  | 33.60  | 5.008         | -16.493 | 17.237 | 4.891                | -13.805 | 14.646 | 14.284             | 4.337  | 14.927 | -16.608                 | 1.580   | 16.683 |
| Bus4  | 33.60  | 4.537         | -18.149 | 18.707 | 4.142                | -16.544 | 17.055 | 15.717             | 3.929  | 16.201 | -17.622                 | 3.671   | 18.000 |
| Bus5  | 33.60  | 5.028         | -16.407 | 17.160 | 4.881                | -13.687 | 14.531 | 14.209             | 4.354  | 14.861 | -16.518                 | 1.499   | 16.586 |
| Bus6  | 33.60  | 5.028         | -16.407 | 17.160 | 4.881                | -13.687 | 14.531 | 14.209             | 4.354  | 14.861 | -16.518                 | 1.499   | 16.586 |
| Bus7  | 33.60  | 5.029         | -16.400 | 17.154 | 4.879                | -13.677 | 14.522 | 14.203             | 4.355  | 14.856 | -16.510                 | 1.493   | 16.577 |
| Bus8  | 33.60  | 5.029         | -16.400 | 17.154 | 4.879                | -13.677 | 14.522 | 14.203             | 4.355  | 14.856 | -16.510                 | 1.493   | 16.577 |
| Bus9  | 33.60  | 5.003         | -16.515 | 17.256 | 4.888                | -13.837 | 14.675 | 14.302             | 4.333  | 14.944 | -16.626                 | 1.603   | 16.703 |
| Bus10 | 33.60  | 5.003         | -16.515 | 17.256 | 4.888                | -13.837 | 14.675 | 14.302             | 4.333  | 14.944 | -16.626                 | 1.603   | 16.703 |
| Bus11 | 33.60  | 4.943         | -16.765 | 17.479 | 4.830                | -14.226 | 15.024 | 14.519             | 4.280  | 15.137 | -16.824                 | 1.882   | 16.929 |
| Bus12 | 33.60  | 4.943         | -16.765 | 17.479 | 4.830                | -14.226 | 15.024 | 14.519             | 4.280  | 15.137 | -16.824                 | 1.882   | 16.929 |
| Bus13 | 33.60  | 4.823         | -17.220 | 17.883 | 4.666                | -14.962 | 15.672 | 14.913             | 4.177  | 15.487 | -17.139                 | 2.428   | 17.310 |
| Bus14 | 33.60  | 4.823         | -17.220 | 17.883 | 4.666                | -14.962 | 15.672 | 14.913             | 4.177  | 15.487 | -17.139                 | 2.428   | 17.310 |
| Bus15 | 33.60  | 4.702         | -17.635 | 18.251 | 4.463                | -15.657 | 16.280 | 15.272             | 4.072  | 15.806 | -17.383                 | 2.963   | 17.634 |
| Bus16 | 33.60  | 4.702         | -17.635 | 18.251 | 4.463                | -15.657 | 16.280 | 15.272             | 4.072  | 15.806 | -17.383                 | 2.963   | 17.634 |
| Bus17 | 33.60  | 4.173         | -19.127 | 19.576 | 3.288                | -18.298 | 18.591 | 16.564             | 3.614  | 16.954 | 15.293                  | 12.361  | 19.664 |
| Bus18 | 154.00 | 24.325        | -3.324  | 24.551 | 24.250               | -3.014  | 24.437 | 2.879              | 21.066 | 21.262 | -14.963                 | -19.712 | 24.748 |

All fault currents are symmetrical momentary (1/2 Cycle network) values in rms kA

\* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents

Project:  
Location:  
Contract:  
Engineer:  
Filename: GEOSB

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 2  
Date: 11-09-2015  
SN:  
Revision: Base  
Config.: Normal

**Short-Circuit Summary Report**

| <b>Bus</b> |           | <b>Positive Sequence Imp. (ohm)</b> |                  |                  | <b>Negative Sequence Imp. (ohm)</b> |                  |                  | <b>Zero Sequence Imp. (ohm)</b> |                  |                  |
|------------|-----------|-------------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|------------------|------------------|
| <b>ID</b>  | <b>kV</b> | <b>Resistance</b>                   | <b>Reactance</b> | <b>Impedance</b> | <b>Resistance</b>                   | <b>Reactance</b> | <b>Impedance</b> | <b>Resistance</b>               | <b>Reactance</b> | <b>Impedance</b> |
| Bus1       | 154.000   | 3.58810                             | 0.49038          | 3.62145          | 3.58810                             | 0.49038          | 3.62145          | 3.65581                         | 0.36558          | 3.67405          |
| Bus2       | 33.600    | 0.21122                             | 0.96816          | 0.99094          | 0.21122                             | 0.96816          | 0.99094          | 0.13115                         | 1.14480          | 1.15229          |
| Bus3       | 33.600    | 0.32698                             | 1.07689          | 1.12544          | 0.32698                             | 1.07689          | 1.12544          | 0.67314                         | 1.59173          | 1.72822          |
| Bus4       | 33.600    | 0.25151                             | 1.00601          | 1.03698          | 0.25151                             | 1.00601          | 1.03698          | 0.32574                         | 1.29820          | 1.33844          |
| Bus5       | 33.600    | 0.33120                             | 1.08086          | 1.13047          | 0.33120                             | 1.08086          | 1.13047          | 0.68292                         | 1.61045          | 1.74926          |
| Bus6       | 33.600    | 0.33120                             | 1.08086          | 1.13047          | 0.33120                             | 1.08086          | 1.13047          | 0.68292                         | 1.61045          | 1.74926          |
| Bus7       | 33.600    | 0.33155                             | 1.08120          | 1.13089          | 0.33155                             | 1.08120          | 1.13089          | 0.68343                         | 1.61223          | 1.75110          |
| Bus8       | 33.600    | 0.33155                             | 1.08120          | 1.13089          | 0.33155                             | 1.08120          | 1.13089          | 0.68343                         | 1.61223          | 1.75110          |
| Bus9       | 33.600    | 0.32592                             | 1.07590          | 1.12418          | 0.32592                             | 1.07590          | 1.12418          | 0.66903                         | 1.58735          | 1.72258          |
| Bus10      | 33.600    | 0.32592                             | 1.07590          | 1.12418          | 0.32592                             | 1.07590          | 1.12418          | 0.66903                         | 1.58735          | 1.72258          |
| Bus11      | 33.600    | 0.31385                             | 1.06456          | 1.10986          | 0.31385                             | 1.06456          | 1.10986          | 0.61759                         | 1.53886          | 1.65816          |
| Bus12      | 33.600    | 0.31385                             | 1.06456          | 1.10986          | 0.31385                             | 1.06456          | 1.10986          | 0.61759                         | 1.53886          | 1.65816          |
| Bus13      | 33.600    | 0.29257                             | 1.04457          | 1.08477          | 0.29257                             | 1.04457          | 1.08477          | 0.52032                         | 1.45582          | 1.54601          |
| Bus14      | 33.600    | 0.29257                             | 1.04457          | 1.08477          | 0.29257                             | 1.04457          | 1.08477          | 0.52032                         | 1.45582          | 1.54601          |
| Bus15      | 33.600    | 0.27385                             | 1.02699          | 1.06288          | 0.27385                             | 1.02699          | 1.06288          | 0.43230                         | 1.38371          | 1.44967          |
| Bus16      | 33.600    | 0.27385                             | 1.02699          | 1.06288          | 0.27385                             | 1.02699          | 1.06288          | 0.43230                         | 1.38371          | 1.44967          |
| Bus17      | 33.600    | 0.21122                             | 0.96816          | 0.99094          | 0.21122                             | 0.96816          | 0.99094          | 0.13115                         | 1.14480          | 1.15229          |
| Bus18      | 154.000   | 3.58810                             | 0.49038          | 3.62145          | 3.58810                             | 0.49038          | 3.62145          | 3.65581                         | 0.36558          | 3.67405          |

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: GEOSB

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: SC

Page: 1  
 Date: 11-09-2015  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Short-Circuit Summary Report**

1/2 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

| Bus   |        | 3-Phase Fault |         |        | Line-to-Ground Fault |         |        | Line-to-Line Fault |        |        | *Line-to-Line-to-Ground |         |        |
|-------|--------|---------------|---------|--------|----------------------|---------|--------|--------------------|--------|--------|-------------------------|---------|--------|
| ID    | kV     | Real          | Imag.   | Mag.   | Real                 | Imag.   | Mag.   | Real               | Imag.  | Mag.   | Real                    | Imag.   | Mag.   |
| Bus1  | 154.00 | 24.080        | -2.408  | 24.200 | 24.080               | -2.408  | 24.200 | 2.085              | 20.854 | 20.958 | -14.125                 | -19.650 | 24.200 |
| Bus2  | 33.60  | 1.919         | -13.306 | 13.443 | 1.404                | -13.492 | 13.565 | 11.523             | 1.662  | 11.642 | 11.090                  | 8.481   | 13.961 |
| Bus3  | 33.60  | 2.528         | -8.919  | 9.271  | 2.565                | -7.597  | 8.019  | 7.724              | 2.189  | 8.029  | -8.977                  | 1.107   | 9.045  |
| Bus4  | 33.60  | 2.528         | -8.919  | 9.271  | 2.565                | -7.597  | 8.019  | 7.724              | 2.189  | 8.029  | -8.977                  | 1.107   | 9.045  |
| Bus5  | 33.60  | 2.525         | -8.523  | 8.889  | 2.486                | -7.181  | 7.599  | 7.381              | 2.187  | 7.698  | -8.570                  | 0.906   | 8.618  |
| Bus6  | 33.60  | 2.525         | -8.523  | 8.889  | 2.486                | -7.181  | 7.599  | 7.381              | 2.187  | 7.698  | -8.570                  | 0.906   | 8.618  |
| Bus7  | 33.60  | 2.517         | -8.221  | 8.597  | 2.478                | -6.835  | 7.271  | 7.119              | 2.179  | 7.446  | -8.300                  | 0.735   | 8.333  |
| Bus8  | 33.60  | 2.517         | -8.221  | 8.597  | 2.478                | -6.835  | 7.271  | 7.119              | 2.179  | 7.446  | -8.300                  | 0.735   | 8.333  |
| Bus9  | 33.60  | 2.509         | -8.052  | 8.434  | 2.450                | -6.653  | 7.090  | 6.973              | 2.173  | 7.304  | -8.132                  | 0.651   | 8.159  |
| Bus10 | 33.60  | 2.509         | -8.052  | 8.434  | 2.450                | -6.653  | 7.090  | 6.973              | 2.173  | 7.304  | -8.132                  | 0.651   | 8.159  |
| Bus11 | 33.60  | 2.509         | -8.052  | 8.434  | 2.475                | -6.638  | 7.084  | 6.973              | 2.173  | 7.304  | -8.150                  | 0.638   | 8.175  |
| Bus12 | 33.60  | 2.509         | -8.052  | 8.434  | 2.475                | -6.638  | 7.084  | 6.973              | 2.173  | 7.304  | -8.150                  | 0.638   | 8.175  |
| Bus13 | 33.60  | 2.518         | -8.255  | 8.630  | 2.514                | -6.849  | 7.296  | 7.149              | 2.180  | 7.474  | -8.355                  | 0.733   | 8.387  |
| Bus14 | 33.60  | 2.518         | -8.255  | 8.630  | 2.514                | -6.849  | 7.296  | 7.149              | 2.180  | 7.474  | -8.355                  | 0.733   | 8.387  |
| Bus15 | 33.60  | 2.525         | -8.523  | 8.889  | 2.542                | -7.145  | 7.584  | 7.381              | 2.187  | 7.698  | -8.611                  | 0.876   | 8.655  |
| Bus16 | 33.60  | 2.525         | -8.523  | 8.889  | 2.542                | -7.145  | 7.584  | 7.381              | 2.187  | 7.698  | -8.611                  | 0.876   | 8.655  |
| Bus17 | 33.60  | 1.919         | -13.306 | 13.443 | 1.404                | -13.492 | 13.565 | 11.523             | 1.662  | 11.642 | 11.090                  | 8.481   | 13.961 |
| Bus18 | 154.00 | 24.080        | -2.408  | 24.200 | 24.080               | -2.408  | 24.200 | 2.085              | 20.854 | 20.958 | -14.125                 | -19.650 | 24.200 |

All fault currents are symmetrical momentary (1/2 Cycle network) values in rms kA

\* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: GEOSB

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 2  
 Date: 11-09-2015  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Short-Circuit Summary Report**

| <b>Bus</b> |           | <b>Positive Sequence Imp. (ohm)</b> |                  |                  | <b>Negative Sequence Imp. (ohm)</b> |                  |                  | <b>Zero Sequence Imp. (ohm)</b> |                  |                  |
|------------|-----------|-------------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|------------------|------------------|
| <b>ID</b>  | <b>kV</b> | <b>Resistance</b>                   | <b>Reactance</b> | <b>Impedance</b> | <b>Resistance</b>                   | <b>Reactance</b> | <b>Impedance</b> | <b>Resistance</b>               | <b>Reactance</b> | <b>Impedance</b> |
| Bus1       | 154.000   | 3.65581                             | 0.36558          | 3.67405          | 3.65581                             | 0.36558          | 3.67405          | 3.65581                         | 0.36558          | 3.67405          |
| Bus2       | 33.600    | 0.20601                             | 1.42824          | 1.44302          | 0.20601                             | 1.42824          | 1.44302          | 0.03198                         | 1.41084          | 1.41120          |
| Bus3       | 33.600    | 0.57054                             | 2.01324          | 2.09252          | 0.57054                             | 2.01324          | 2.09252          | 1.18026                         | 2.84994          | 3.08466          |
| Bus4       | 33.600    | 0.57054                             | 2.01324          | 2.09252          | 0.57054                             | 2.01324          | 2.09252          | 1.18026                         | 2.84994          | 3.08466          |
| Bus5       | 33.600    | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 1.26554                         | 3.05209          | 3.30407          |
| Bus6       | 33.600    | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 1.26554                         | 3.05209          | 3.30407          |
| Bus7       | 33.600    | 0.66046                             | 2.15754          | 2.25637          | 0.66046                             | 2.15754          | 2.25637          | 1.40749                         | 3.20999          | 3.50500          |
| Bus8       | 33.600    | 0.66046                             | 2.15754          | 2.25637          | 0.66046                             | 2.15754          | 2.25637          | 1.40749                         | 3.20999          | 3.50500          |
| Bus9       | 33.600    | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 1.46757                         | 3.31072          | 3.62141          |
| Bus10      | 33.600    | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 1.46757                         | 3.31072          | 3.62141          |
| Bus11      | 33.600    | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 1.50149                         | 3.30532          | 3.63038          |
| Bus12      | 33.600    | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 0.68439                             | 2.19594          | 2.30012          | 1.50149                         | 3.30532          | 3.63038          |
| Bus13      | 33.600    | 0.65579                             | 2.15004          | 2.24783          | 0.65579                             | 2.15004          | 2.24783          | 1.43657                         | 3.18841          | 3.49709          |
| Bus14      | 33.600    | 0.65579                             | 2.15004          | 2.24783          | 0.65579                             | 2.15004          | 2.24783          | 1.43657                         | 3.18841          | 3.49709          |
| Bus15      | 33.600    | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 1.33267                         | 3.04526          | 3.32409          |
| Bus16      | 33.600    | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 0.61990                             | 2.09244          | 2.18233          | 1.33267                         | 3.04526          | 3.32409          |
| Bus17      | 33.600    | 0.20601                             | 1.42824          | 1.44302          | 0.20601                             | 1.42824          | 1.44302          | 0.03198                         | 1.41084          | 1.41120          |
| Bus18      | 154.000   | 3.65581                             | 0.36558          | 3.67405          | 3.65581                             | 0.36558          | 3.67405          | 3.65581                         | 0.36558          | 3.67405          |



EK-1



# EPDK AR-GE FONU

## PROJE ARA RAPOR FORMU

|                                     |   |  |
|-------------------------------------|---|--|
| <b>PROJE KODU</b>                   | : |  |
| <b>PROJE ADI</b>                    | : | BEDAŞ Orta Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi İçin Koruma/Kontrol Sisteminin Tasarımı, OG Şebekenin Kapalı Ring İşletimi İçin Yeniden Yapılandırılması ve Pilot Bölge Uygulaması |
| <b>KURULUŞ ADI</b>                  | : | BOĞAZİÇİ ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş.   |
| <b>PROJE ORTAKLARI</b>              | : | YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ / ELEKTRİK MÜH. BÖLÜMÜ  |
| <b>PROJE BAŞLANGIÇ TARİHİ</b>       | : | 1 Kasım 2014   |
| <b>PROJE BİTİŞ TARİHİ</b>           | : | 30 Mart 2017   |
| <b>PROJE SÜRESİ</b>                 | : | 29 AY  |
| <b>PROJE RAPOR DÖNEMİ</b>           | : | 2015-1 / (1 Kasım 2014 -31 Ocak 2015)  |
| <b>PROJE GENEL TAMAMLANMA ORANI</b> | : | % 10,34  |

## RAPOR DÖNEMİNDE GERÇEKLEŞEN FAALİYETLER

[Dönemi Kapsayan İş Paketleri ve Projedeki Genel İlerlemeler Raporlanacak]

**“BEDAŞ Orta Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi İçin Koruma/Kontrol Sisteminin Tasarımı, OG Şebekenin Kapalı Ring İşletimi İçin Yeniden Yapılandırılması ve Pilot Bölge Uygulaması”** isimli Ar-Ge projesin 2015/1 dönem raporu projenin ilk üç aylık (1 Kasım 2014 -31 Ocak 2015) kısmını kapsamaktadır. Önerilen proje planına göre ilgili dönemdeki çalışmalar sadece **“Literatür Taraması ve Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi”** isimli birinci iş paketini kapsamaktadır. Bu iş paketinin ana hedefi, projenin için teknik gereksinimlerin ve projenin geri kalan dönemi için yol haritasının belirlenmesi şeklinde özetlenebilir. Bu amaca dönük olarak projenin birinci iş paketinde takip edilen adımlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Elektrik tesislerinde koruma, elektrik dağıtımda koruma sisteminden beklenen özellikler, koruma bölgeleri, yedek koruma ve koruma çeşitleri konularında klasik ve modern uygulamaların gözden geçirilmesi.
- Yayın, tez, standart ve koruma konusunda önemli şirketlerin teknik raporlarının incelemesi.
- Kapalı ring işletim ile ilgili yurt içi (TEİAŞ ve organize sanayi bölgelerindeki uygulamalar) ve yurt dışı örneklerin incelenmesi
- Ticari olarak mevcut rölelerin incelenmesi ve karşılaştırılması
- Dağıtım sisteminde fider ve bara koruması için kullanılacak röleler ve çalışma prensiplerinin belirlenmesi

Yukarıda özetlenen çalışmaların neticesinde aşağıdaki konularda beklenen sonuçlar elde edilmiştir.

- Orta gerilim dağıtım şebekesi kapalı ring uygulamasında kullanılacak en uygun kısa devre rölelerinin belirlenmesi
- Orta gerilim dağıtım şebekesi kapalı ring uygulamaları için en uygun topolojilerin belirlenmesi
- İstanbul Avrupa yakasına ait dağıtım şebekesi yapısının incelenmesi ve kapalı ring işleme dönüşebilirliğinin değerlendirilmesi
- Literatür sonuçlarının özetlenmesi ve BEDAŞ orta gerilim şebekesi için güvenilir ve maliyet-etkin çözüm önerilerinin ortaya konması

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>İŞ PAKETİ-1</b>                                      | : | <i>Literatür Taraması ve Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi</i> |
| <b>İŞ PAKETİ BAŞLANGIÇ –BİTİŞ TARİHİ</b>                | : | <i>1 Kasım 2014 - 31 Ocak 2015</i>                                |
| <b>İŞ PAKETİ SÜRESİ</b>                                 | : | <i>3 Ay</i>   |
| <b>İŞ PAKETİNİN RAPOR DÖNEMİ İÇERİSİNDEKİ ORANI [%]</b> | : | <i>%100</i>   |
| <b>İŞ PAKETİNİN DÖNEMSEL TAMAMLANMA ORANI [%]</b>       | : | <i>%100</i>   |
| <b>İŞ PAKETİNİN KÜMİLATİF TAMAMLANMA ORANI [%]</b>      | : | <i>%100</i>   |

### **İŞ PAKETLERİNDE GERÇEKLEŞEN FAALİYETLER**

*[İş Paketi Bir Önceki Dönemden Devam Ediyorsa, Dönem Başındaki Durum Özetlenmeli]*

İş paketi faaliyetlerinden aşağıdaki konu başlıkları ile ilgili yapılan çalışmanın detayı EK-I'de verilmiştir.

- Elektrik tesislerinde koruma, elektrik dağıtımda koruma sisteminden beklenen özellikler, koruma bölgeleri, yedek koruma ve koruma çeşitleri konularında klasik ve modern uygulamaların gözden geçirilmesi (EK-I),
- Ticari olarak mevcut rölelerin incelenmesi ve karşılaştırılması (EK-I),
- Dağıtım sisteminde fider ve bara koruması için kullanılabilecek röleler ve çalışma prensiplerinin belirlenmesi (EK-I),

İş paketi faaliyetlerinden aşağıdaki konu başlıkları ile ilgili yapılan çalışmanın detayı EK-II'de verilmiştir.

- Yayın, tez, standart ve koruma ile ilgili teknik raporlarının incelemesi (EK-II: Literatür Özeti)

İş paketi faaliyetlerinden aşağıdaki konu başlıkları ile ilgili yapılan çalışmanın detayı EK-III'de verilmiştir.

- Kapalı ring işletim ile ilgili yurt içi (TEİAŞ ve organize sanayi bölgelerindeki uygulamalar) ve yurt dışı örneklerin incelenmesi (EK-III: UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ)

### **İŞ PAKETİ SONUCUNDA GERÇEKLEŞEN ÇIKTILAR**

Projemizin nihai hedefi BEDAŞ 34,5 kV OG şebekesinde ring işletim bakımından yapısal uygunluk arz eden şebeke fiderlerini modernize ederek kapalı ring işletime dönüşümlerini sağlamaktır. Bu amaçla BEDAŞ 34,5 kV OG şebekesi incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde proje hedeflerine uygun olan 87 adet aynı dağıtım merkezine kapanan açık ring yapısı olduğu görülmüştür. Belirlenen 87 adet açık ring şebeke kısmında 762 adet transformatör bulunmaktadır. Kapalı ringe çevrilebilme imkânı olan bu açık ring sayısının büyüklüğü, aynı zamanda projemizin sahada uygulanabilme potansiyelinin ne derece yüksek olduğunu da göstermektedir. Bu şebekelerin kapalı ringe dönüşebilmesi için mevcut altyapının da incelenmesi önem arz etmektedir. Gerek sahada gerekse tek hat diyagramları üzerinden yapılan incelemeye göre BEDAŞ şebekesinde ölçü transformatörü olarak sadece akım transformatörlerinin olduğu, gerilim transformatörlerinin ise mevcut olmadığı görülmüştür. Ancak hatta gerilimin olup olmadığını görebilmek amacı ile kapasitif bir gerilim bölücünün OG hücreler içerisine tesis edildiği görülmüştür. Aynı zamanda OG hücrelerindeki hacim yetersizliğinden dolayı mevcut OG hücreler içerisine gerilim trafosunun eklenmesinin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumda koruma röleleri gerekli giriş bilgileri için

ve dolayısı ile belirlenecek koruma topolojileri için geriye sadece iki seçenek kalmaktadır. Birinci seçeneğe göre sadece akım bilgisine bakarak kapalı ring koruma topolojisi oluşturmak. İkinci seçeneğe göre ise röle için gerekli gerilim bilgisini mevcut kapasitif gerilim bölücülerinin alçak gerilim tarafı üzerinden geliştirilecek bir devre sayesinde almaktır. Böylece önerilecek koruma topolojisinde hem akım hem de gerilim bilgisini kullanmak mümkün hale gelecektir. Sadece akım bilgisini kullanan röleler, aşırı akım röleleri ile diferansiyel rölelerdir. Hem akım hem de gerilim bilgisini kullanan röleler ise yönlü aşırı akım röleleri ile mesafe röleleridir. Bununla birlikte [1,2] referanslarında yer alan ve İtalya dağıtım şebekesinde uygulanan çalışmada gerçekleştirilen koruma mantığı hem hat hem de bara korumasını içerecek şekilde geliştirilerek bu proje kapsamında da uygulanabilir görülmektedir. Önerilen koruma mantığı yönlü aşırı akım rölelerinin diferansiyel röle gibi çalıştırılması ilkesine dayanmaktadır. İtalya'da gerçekleştirilen bu koruma sistemi sadece hat koruması yapmaktadır. Bu proje kapsamında ise ilgili koruma lojığı geliştirilerek hem hat hem de bara korumayı içerecek şekilde geliştirilebilir bulunmuştur. Aynı zamanda geliştirilecek olan kapalı ring koruma felsefesinde merkezi bir mastır üniteye ihtiyaç olmayacak bir yapı üzerinde çalışılacaktır. Bu çerçevede korunacak bara sayısından bağımsız olacak ve BEDAŞ'ın mevcut şebekesinin dönüşümüne uygun olacak en ekonomik iki çözüm üzerinde durulmaktadır. Bu çözüm önerileri;

- (1) Hem ana koruma hem de yedek koruma literatür özetinde yer alan ve Referans [1,2]'de yer alan koruma felsefesinin (yönlü aşırı akım rölelerinin diferansiyel röle gibi çalıştırılması ilkesi) geliştirilerek hem bara hem de hat korumasına uygulanması (A –Planı)
- (2) Ana koruma olarak diferansiyel röle, yedek koruma olarak ise yukarıda verilen A-Planı lojığının uygulanması (B-Planı)

**NOT:** Projede önerilen çözüm önerilerinin patent konusu olabileceği düşünüldüğünden çözüm önerileri detayları proje raporunda verilmemiştir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, ilk iş paketinden elde edilen çıktılar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- (a) BEDAŞ OG şebekelerinin kapalı ring işletime dönüşümü için gerekli topoloji ve sistem gereksinimleri belirlenmiştir.
- (b) Önerilen koruma sisteminin simülasyon testlerinin gerçekleştirileceği Yazılım İçinde Donanım Sisteminin (Hardware in the Loop: HIL) teknik özellikleri belirlenmiş ve uygun cihazların araştırılması yapılarak firmalardan teklifler alınmıştır.
- (c) BEDAŞ şebekesine ait örnek bir bölgenin açık ring ve kapalı ring durumları için gerekli ilk şebeke analizleri ve koruma simülasyonları CYME ve DIgSILENT programları vasıtası ile yapılmış olup, simülasyon raporları EK-IV'te verilmiştir.

## **ARA RAPOR SONUÇLARI VE BİR SONRAKİ DÖNEMDE YAPILACAK ÇALIŞMALAR**

*[Ara Raporun Proje Önerisine Uygunluğu, Varsa Gerçekleşen Sapmalar ve Nedenleri, Bir Sonraki Dönemde Yapılacak Çalışmalar Hk. Bilgi Verilmelidir]*

Projenin birinci ara dönemi, proje planına uygun olarak devam etmiştir. Proje takvimine göre projede herhangi bir sapma bulunmamaktadır. Projenin bundan sonraki döneminde seçilen örnek bölgeler üzerinde modelleme ve simülasyon çalışmaları detaylandırılarak farklı arıza davranışları analiz edilecektir. Arızanın yeri ve çeşidine bağlı olarak arıza akımlarının karakteristik davranışı analiz edilecek ve koruma sistemi için gerekli en kötü senaryoya ait veriler elde edilecektir. Ayrıca projede kullanılacak HIL sistemi alım işlemlerine başlanacaktır.

## EK-I

### ELEKTRİK TESİSLERİNDE KORUMA, RÖLELER VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

**Koruma Röleleri ve Çeşitleri:** Bir koruma rölesi basit anlamda bir elektrik devresindeki anormal koşulları veya arıza durumunu genellikle akım ve gerilim bilgisi yardımı ile algılayarak devrenin akım yolunu açıp kapatan ve böylece sistemin hedeflenen çalışmasını düzenleyen bir elektriksel cihazdır [1]. Koruma sistemlerinde kullanılan dört ana bileşen mevcut olup bunlar aşağıda verilmiştir:

- i) **Akım ve Gerilim Ölçü Transformatörleri:** Akım transformatörleri ölçülecek akımı 5A veya 1A değerine düşürürler. Gerilim transformatörleri ise gerilimi 110V veya 100V değerine düşürürler. Bu nedenle koruma rölelerinin girişleri yukarıda ifade edilen bu değerlere göre standardize edilmiştir.
- ii) **Koruma Rölesi:** Koruma röleleri ölçülen akım ve gerilim bilgisini ölçü transformatörlerinin sekonderlerinden alarak korunacak olan elemanın anormal şartlar altında olup olmadığına karar veren akıllı elektronik cihazlardır.
- iii) **Kesici:** Kesiciler koruma rölelerinin göndermiş olduğu sinyale göre devreyi arıza anında açan ve arıza temizlendikten sonra devreyi tekrar kapatan devre elemanlarıdır. Kesiciler istendiği zaman manuel olarak da devreyi açabilir ve böylece istenen elemanın bakımı yapılabilir.
- iv) **Haberleşme Kanalı:** Ölçüm sonuçlarını veya arıza bilgisini bir bölgedeki arızayı ilk hisseden röleden alarak diğer bölgedeki alıcı röleye aktaran bilgi yollarıdır.

Röleler, genel olarak çalışma mekanizmaları, çalışma prensipleri, çalışma karakteristikleri, tahrik parametreleri ve kullanıldıkları yerlere göre farklı başlıklar altında gruplandırılabilirler:

#### **Çalışma Mekanizmalarına Göre Röleler:**

1. Elektromanyetik Röleler
2. Statik Röleler
  - a. Analog Röleler
  - b. Dijital Röleler
  - c. Sayısal (Mikroişlemci Tabanlı) Röleler
3. Mekanik Röleler (Termik Röleler, Şamandıra Tipli Röleler-Buchholz Rölesi, Sıvı Seviyesi Kontrol Rölesi, Basınç Anahtarları vb.)

#### **Çalışma Prensiplerine Göre Röleler:**

1. Diferansiyel Koruma
2. Gerilim Dengesizliği Koruması
3. Aşırı Akım Koruma
4. Düşük ve Aşırı Gerilim Koruma
5. Kaçak Akım Koruma
6. Alan Kaybına Karşı Koruma
7. Yönlü Koruma
8. Mesafe Koruma
9. Kısa Devre Koruma (Toprak Kısa Devre, Faz Kısa Devre)
10. Ters Güç Koruma

#### **Çalışma Karakteristiklerine Göre Röleler:**

1. Sabit Zamanlı Röleler
2. Ters Zamanlı Röleler

3. Çok Ters Zamanlı Röleler
4. Ekstra Ters Zamanlı Röleler
5. Ani Açma Ayarlı Röleler
6. Adım Karakteristikli Röleler
7. Gerilim Sınırlı Aşırı Akım Röleleri

#### **Tahrik Parametrelerine Göre Röleler:**

1. Akım Röleleri
2. Gerilim Röleleri
3. Frekans Röleleri
4. Güç Röleleri

#### **Kullanıldıkları Yerlere Göre Röleler**

1. Generatör Koruma Röleleri,
2. Bara Korumu Röleleri,
3. Transformatör Koruma Röleleri,
4. Motor/Yük Koruma Röleleri,
5. Hat Koruma Röleleri

#### **Çalışma Önceliğine Göre Röleler**

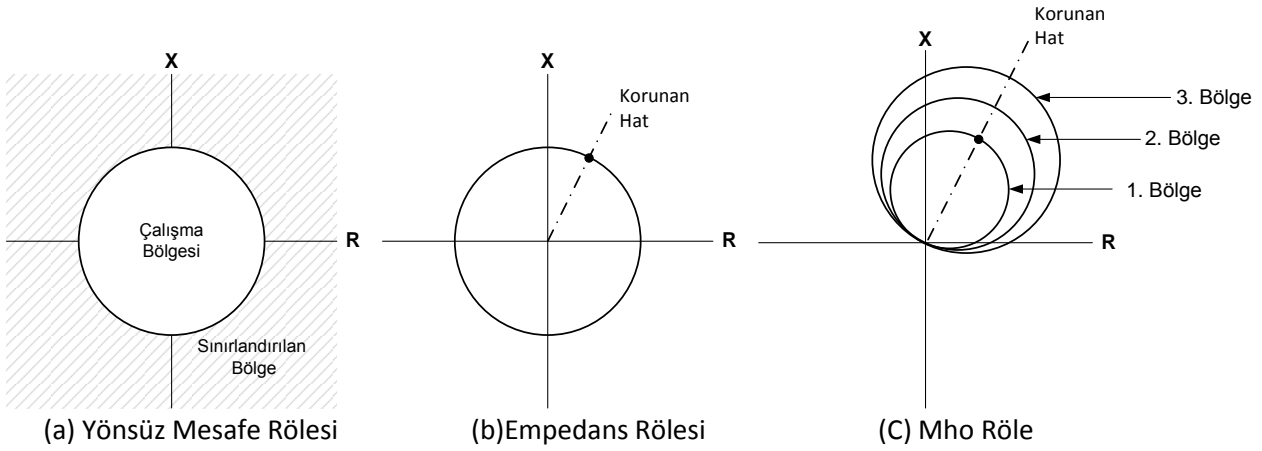
1. Primer (Birincil) Koruma
2. Yedek Koruma

EPDK tarafından desteklenen “**BEDAŞ Orta Gerilim Şebekesinin Kapalı Ring İşletimi İçin Koruma/Kontrol Sisteminin Tasarımı, OG Şebekenin Kapalı Ring İşletimi İçin Yeniden Yapılandırılması ve Pilot Bölge Uygulaması**” isimli Ar-Ge projesinden de anlaşılacağı üzere, OG şebekenin kapalı ring işletimi için gerekli koruma temel olarak hat ve bara korumasını içermektedir. Aşağıda Hat ve Bara korumaları özet bir şekilde anlatılmıştır.

**Hat Koruması:** İletim ve OG dağıtım hatlarının korumasında farklı koruma röleleri kullanılabilir. İletim hatlarının birincil koruması genellikle mesafe röleleri ile yapılmaktadır. Mesafe röleleri akım ve gerilimdeki değişim ile birlikte, ölçülen akım ve gerilim arasındaki faz açısına bakarak cevap üreten rölelerdir. Mesafe rölesinin çalışması, arıza esnasında rölenin ölçtüğü empedans ile rölenin ayarlanmış olduğu empedans değerinin karşılaştırılması prensibine dayanır. Kısa devre empedansı, normal işletme koşullarındaki empedanstan daha küçük olacaktır. Bu nedenle ölçülen empedans ayarlanan empedanstan küçük olunca rölenin başlatma süreci başlar ve en önce arızaya en yakın noktadaki mesafe rölesi açma yaptırır. Yön bilgisini de dikkate alan mesafe rölelerinde hatanın geldiği yönün de dikkate alınması sağlanır. Bu tarz mesafe röleleri özellikle ring işletilen şebekelerde veya çift yönden beslenen şebekelerde sadece arızanın olduğu tarafın enerjisiz kalmasını sağladıklarından tüm şebekenin enerjisiz kalmasının önüne geçilmiş olur.

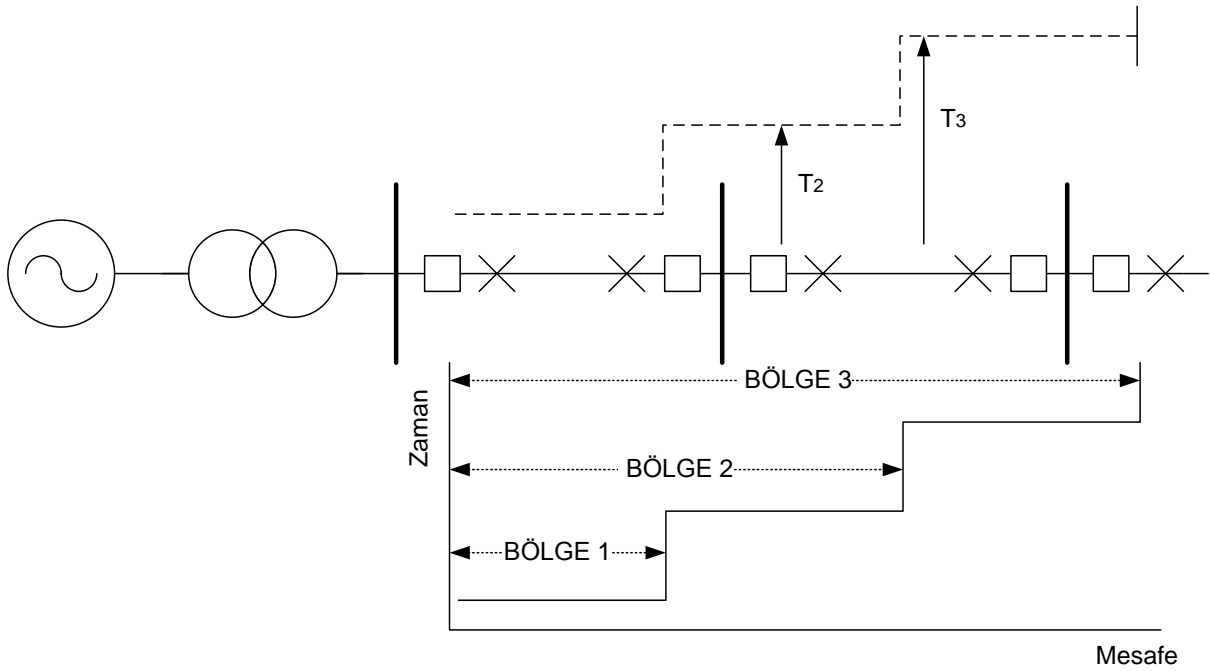
Mesafe rölelerinin karakteristikleri şekil 1’de verildiği üzere R-X düzleminde çizilir [2]. Mesafe rölelerinin karakteristikleri şekil 1’de verildiği üzere R-X düzleminde çizilir. Şekil 1(a)’da verilen rölede yön kavramı önemli değildir. Yani gerilim ve akım arasındaki açı farkının bir önemi yoktur. Röle çalışma bölgesi, ayarlanan değerden düşük olan tüm daire içerisindeki alandır. Şekil 1(b-c) ile ilişkilendirmek amacı ile bir arıza durumunu dikkate alalım. Bu durumda, sürekli hal çalışma koşullarına göre rölenin ölçtüğü gerilim azalacak ve aynı zamanda ölçtüğü akım artacaktır. Bu durumda rölenin görmüş olduğu empedans ilgili kademeye ait çemberin içerisinde kalacak şekilde herhangi bir değere düşeceğinden röle aktive olarak çalışacaktır. Bu durum aynı zamanda arızanın yaklaşık yeri hakkında da bize bilgi verecektir. Birinci kademe

yani birinci bölgedeki empedanslarda, röle çalışma zamanı minimumdur. Kademeler arttıkça rölelerde ayarlanan zaman gecikmeleri de artar. Mesafe koruma rölesi, birinci kademede ani (gecikmesiz) çalışacak şekilde ayarlanır. Hattın birinci kademededen sonra kalan kısımları zaman gecikmeli olarak korunur.



**Şekil 1.** Mesafe Rölesi Karakteristikleri

Şekil 2.'de mesafe koruma rölesi ile 3 kademeli koruma bölgeleri ve zaman gecikmeleri tek hat diyagramı üzerinde gösterilmiştir [3].

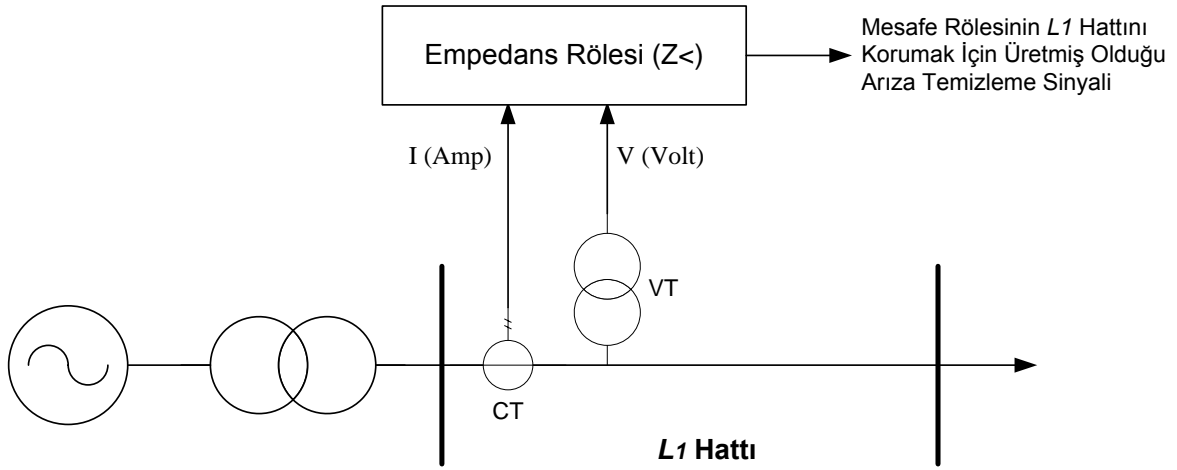


**Şekil 2.** Mesafe Rölesi İle 3 Kademeli Koruma Bölgeleri

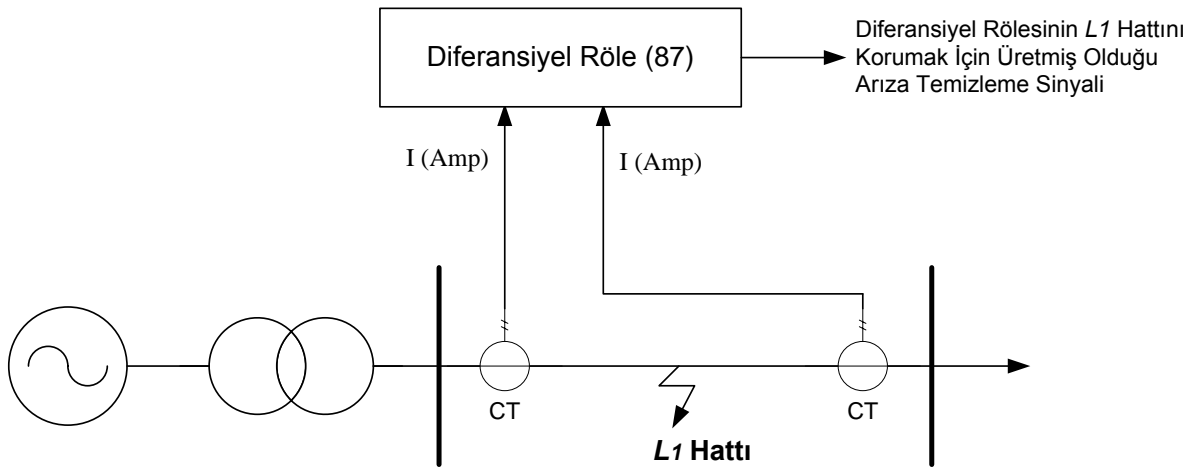
Günümüzdeki modern dijital röleler çok fonksiyonlu koruma özelliklerine sahip olabilmektedirler. Yani tek bir ünite içerisinde paket bir koruma sistemi bir bütün olarak eklenebilmektedir. Örneğin mesafe koruma rölelerinin içerisine akım koruma, yönlü aşırı akım koruma ve düşük/aşırı gerilim koruma gibi özellikler ilave edilebilir [4].



Şekil 3.'te Hat 1'in mesafe rölesi ile, Şekil 4.'te ise diferansiyel röle korunmasına ilişkin temel bağlantı diyagramları verilmiştir.



Şekil 3. İletim hattı L1'in mesafe rölesi ile korunması



Şekil 4. İletim hattı L1'in diferansiyel röle ile korunması

Tablo 1.'de hat korunması ile ilgili kullanılan yaygın topolojiler özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Elektrik Güç Sistemlerinde hat koruma düzenleri

| <b>RÖLELER</b><br><b>FONKSİYONLAR</b> | <b>Mesafe Koruma</b>   | <b>Aşırı Akım Koruma, Yönlü Aşırı Akım Koruma</b>  | <b>Diferansiyel Koruma</b>  |
|---------------------------------------|--|--|---|
| <b>Çalışma Prensibi</b>               | Arıza esnasında hattın empedansı azalacaktır. Arıza esnasındaki ölçülen empedans, rölenin ayarlandığı eşik empedans değerinden daha küçük olacaktır. Yani $Z_{Arıza} < Z_{Eşik}$ şartı sağlandığında arıza temizleme sinyali kesiciye gönderilecektir. | <b>Aşırı Akım:</b> Arıza esnasında hattan akan akım artacaktır. Arıza esnasındaki ölçülen akım, rölenin ayarlandığı eşik akım değerinden daha büyük olacaktır. Yani $I_{Arıza} > I_{Eşik}$ şartı sağlandığında arıza temizleme sinyali kesiciye gönderilecektir. Aşırı akım koruma, sistem yapısına bağlı olarak birincil koruma olarak kullanılabilir. Birlikte genelde diferansiyel koruma veya mesafe korumanın yedeği olarak da kullanılmaktadır.<br><b>Yönlü Aşırı Akım:</b> Koruma bölgesine giren ve çıkan akımların yönüne bakarak karar verir. Eğer giren ve çıkan akımlar aynı değilse arıza temizleme sinyali üretilir. | Hattı arızalara karşı korumak amacı ile korunan hattın giriş ve çıkışındaki akım bilgilerini giriş olarak alır. Normal şartlar altında bu akımların toplamı sıfırdır. Oluşan arıza nedeni ile akım toplamları sıfır olmayacak ve arıza temizleme sinyali üretilecektir. |
| <b>Giriş/Çıkış Parametreleri</b>      | <b>Giriş:</b> Akım, Gerilim (V,I)<br><b>Çıkış:</b> Empedans ( $Z=V/I$ )  | <b>Giriş:</b> Akım (I), Gerilim (V):Yönlüde<br><b>Çıkış:</b> Akım (I)  | <b>Giriş:</b> Akım ( $I_{HatBaşlı}$ , $I_{HatSonu}$ )<br><b>Çıkış:</b> Akım (I)   |
| <b>ANSI Kodu</b>                      | 21   | 50/51  | 87  |

Aşağıda hat korumasında kullanılan röleler ile ilgili farklı markaların (SIEMENS, GE, ABB, ALSTOM, SELL) incelenmesi ile ortaya çıkan genel röle özellikleri ve tercih kriterleri özetlenmiştir [5-9].

#### **Mesafe Rölesi:**

**Mevcut Ölçümler:** Bazı röleler akım, gerilim ve güç değerleri için RMS ve Fazör (genlik ve açı) ölçümleri yapabilmektedir. Bazı röleler ise bu ölçümlerin yanı sıra enerji, güç faktörü, frekans, talep akım, puvant (peak) akım, puvant güç ve sequence bileşenlerini ölçmektedir.

**Cevap Süresi:** Cevap süreleri 10 ila 30 ms aralığında değişmektedir.

**Tanısal Özellikler:** Röleler arıza, bakım, akım/gerilim bozulması ve salınımlar gibi olayları kayıt altına alabilmektedir. Genellikle 100 ila 1024 adet sayı aralığında olayı kayıt altına alma özelliğine sahiptirler. Aynı zamanda her olay zaman etiketli olarak kayıt altına alınmaktadır.

**Programlama ve Yazılım Özellikleri:** Her röle üreticisinin kendisine ait programlama ve yazılım araçları bulunmaktadır. Bu yazılım ara yüzleri sayesinde yeni koruma mantıkları yazılabilmekte, rölelerin ayar değerleri okunabilmekte, olay kaydediciden istenilen olaylar süzulebilmekte veya tamamı okunabilmektedir.

Sunulan Ek Özellikler: Talep edilmesi halinde röleye aşağıdaki özellikler eklenebilmektedir: Termik aşırı yüklenme, yön özelliği, güç salınımı bloklama, kesici arızası, akım buzulumu ve aşırı akım, düşük ve aşırı gerilim, kesici arızası, otomatik yeniden kapama, yüksek ve düşük frekans.

Haberleşme Metodu: Röleler aşağıdaki haberleşme protokollerini desteklemektedirler: RS232, RS485, IEC 61850, IEC 60870, ModBus TCP/IP, ModBus RTU/ASCII, DNP 3.0.

### **Diferansiyel Röle:**

Mevcut Ölçümler: Akım ve gerilim için RMS ve Fazör ölçümleri yapabilmektedir. Ayrıca akım harmonikleri, toplam harmonik distorsiyonu (THD), simetrik bileşenler, frekans, güç, güç faktörü, nötr akımı ve maksimum talep değerleri sunulan ilave ölçümlerdir.

Cevap Süresi: Cevap süreleri 5 ila 35 ms aralığında değişmektedir.

Tanısal Özellikler: Röleler arıza, bakım, akım/gerilim bozulması ve salınımlar gibi olayları kayıt altına alabilmektedir. Genellikle 100 ila 1024 adet sayı aralığında olayı kayıt altına alma özelliğine sahiptirler. Aynı zamanda her olay zaman etiketli olarak kayıt altına alınmaktadır.

Programlama ve Yazılım Özellikleri: Her röle üreticisinin kendisine ait programlama ve yazılım araçları bulunmaktadır. Bu yazılım araçları sayesinde yeni koruma mantıkları yazılabilmekte, rölelerin ayar değerleri okunabilmekte, olay kaydediciden istenilen olaylar süzulebilmekte veya tamamı okunabilmektedir.

Sunulan Ek Özellikler: Talep edilmesi halinde röleye aşağıdaki özellikler eklenebilmektedir: Frekans başına volt [volt/hertz] , aşırı akım ve düşük akım, aşırı gerilim, yüksek ve düşük frekans, termik aşırı zorlanma, senkronizasyon kontrol, akım ve gerilim trafosu kontrolü, düşük empedans, toprak arızası, aşırı yüklenme, (generatörler için) aşırı uyarım, akım dengesizliği, kesici arızası, soğuk yük alma.

Haberleşme Metodu: Röleler aşağıdaki haberleşme protokollerini desteklemektedirler: RS232, RS485, IEC 61850, IEC 60870, ModBus TCP/IP, ModBus RTU/ASCII, DNP 3.0.

### **(Yönlü) Aşırı Akım Rölesi:**

Mevcut Ölçümler: Faz ve toprak akımları, termal görünüm, hat ve faz akımları, faz gerilimleri, frekans, güç faktörü, güç, enerji ve THD değerleri aşırı akım rölelerine eklenebilen ölçümlerdir. Ayrıca bazı modeller toprak kaçak akımları ile akımın negatif sequence bileşenlerini de ölçebilmektedirler.

Cevap Süresi: Cevap süreleri 20 ila 30 ms aralığında değişmektedir.

Tanısal Özellikler: Röleler arıza, bakım, akım/gerilim bozulması ve salınımlar gibi olayları kayıt altına alabilmektedir. Genellikle 32 ila 512 adet sayı aralığında olayı kayıt altına alma özelliğine sahiptirler. Aynı zamanda her olay zaman etiketli olarak kayıt altına alınmaktadırlar.

Programlama ve Yazılım Özellikleri: Her röle üreticisinin kendisine ait programlama ve yazılım araçları bulunmaktadır. Bu yazılım ara yüzleri sayesinde yeni koruma mantıkları yazılabilmekte, rölelerin ayar değerleri okunabilmekte, olay kaydediciden istenilen olaylar süzulebilmekte veya tamamı okunabilmektedir.

Sunulan Ek Özellikler: Talep edilmesi halinde röleye aşağıdaki özellikler eklenebilmektedir: Termik aşırı yüklenme, kesici arızası, toprak arızası, otomatik yeniden kapama, düşük ve aşırı gerilim, akım transformatörü doyum ikazı, akım ve gerilim trafosu kontrolü, frekans koruma, soğuk yük alma (yeniden enerjilendirilen dağıtım şebekelerindeki kalkış akımlarını ve eşzamanlılığın kaybolmasından dolayı oluşan aşırı akımları ifade etmektedir).

Haberleşme Metodu: Röleler aşağıdaki haberleşme protokollerini desteklemektedirler: RS232, RS485, IEC 61850, IEC 60870, ModBus TCP/IP, ModBus RTU/ASCII, DNP 3.0.

Koruma sistemlerinde kullanılan en önemli ana bileşenlerden birisi de “Haberleşme” dir. Aşağıdaki başlık altında güç sistemleri korumasında kullanılan haberleşme sistemleri özetlenmiştir.

### **Güç Sistemleri Korumasında Haberleşme**

Bir haberleşme sistemi temel olarak bir verici, alıcı ve haberleşme kanalından oluşur. Haberleşmede kullanılan araçlar ve network yapısı koruma rölelerinde hız, veri güvenliği, güvenilirlik ve hassasiyet gibi birçok imkân sunmaktadır. Haberleşmede sıklıkla karşılaşılan haberleşme araçları/ortamları, mikro dalga, radyo frekansı ve fiber optik, uydu sistemleri, telefon hatları, enerji iletim hatlarıdır. Aşağıda bahsi geçen bu haberleşme araçlarının avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

#### **İletim Hatları Üzerinden Haberleşme:**

Avantajları: Ekonomiktir, iki istasyon arasında haberleşmeye uygundur, gerekli donanım dağıtım şirketinin mülkiyet alanı içerisine tesis edilmektedir.

Dezavantajları: Kapsama mesafesi kısıtlıdır, düşük bant genişliğine sahiptir, kanal sayısı azdır, yerel halkın olası müdahalesine açıktır.

#### **Mikrodalga İle Haberleşme:**

Avantajları: Ekonomik ve güvenlidir. Mevcut altyapıdaki ana iletişim altyapısına uyum sağlayabilir, yüksek kanal kapasitesine ve yüksek data hızına sahiptir.

Dezavantajları: Yüksek bakım maliyeti vardır. Özellikle test ekipmanlarına ve kalifiye teknisyenlere ihtiyaç vardır. Kapsama mesafesi kısıtlıdır, düşük bant genişliğine sahiptir, kanal sayısı azdır, yerel halkın olası müdahalesine açıktır. Sinyallerde sönmüleme ve çok yönlü yayılım olabilmektedir.

### **Radio Sistemleri İle Haberleşme:**

Avantajları: Mobil uygulamaları ve ulaşılmasında zorluk çekilen alan uygulamaları için uygundur.

Dezavantajları: Gürültü kapabilir ve yakında bulunan diğer haberleşme kanalları üzerinden girişime maruz kalabilir. Kanal haberleşme hızı değişkendir. Güvenliği düşüktür ve güç kısıtlaması vardır.

### **Uydu Sistemleri İle Haberleşme:**

Avantajları: Geniş bir kapsama alanına sahiptir. Ulaşılmasında zorluk çekilen yerler için uygundur. Maliyeti mesafeden bağımsızdır. Düşük hata oranı vardır.

Dezavantajları: Tamamen uzaktan erişime bağıllık vardır. Sürekli bir kira bedeli vardır. İstemeyen kişiler verilere ulaşabilir (dinlemelere açıktır). Gürültü kapabilir ve yakında bulunan diğer haberleşme kanalları üzerinden girişime maruz kalabilir. Kanal haberleşme hızı değişkendir. Güvenliği düşüktür ve güç kısıtlaması vardır.

### **Telefon Hattı Üzerinden Haberleşme:**

Avantajları: Telefon kablosu üzerinden fiziki bir temas sağlandığından etkin bir haberleşme söz konusudur.

Dezavantajları: Hat kira bedelinden dolayı uzun vadede pahalıdır. Çok kanallı uygulamalar için uygun değildir.

### **Fiber Optik Hattı Üzerinden Haberleşme:**

Avantajları: Yüksek bant genişliği ve yüksek veri hızına sahiptir. Maliyet-etkin bir çözümdür. Elektromanyetik girişimlere karşı dayanıklıdır. Telekomünikasyon, SCADA, video, ses ve veri transferi vb. sistemler için hali hazırdaki mevcut fiber altyapısını kullanabilir.

Dezavantajları: Pahalı test ekipmanlarına gereksinim duyulur. Hassas yapısından dolayı hat arızalarına ve kırılmalara uğrayabilir.

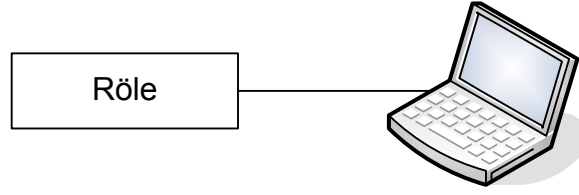
Referans [10]'da yukarıda verilen iletişim araçlarına ilişkin zaman gecikmeleri Tablo 2.'de verildiği şekli ile özetlenmiştir.

**Tablo 2.** Farklı iletişim araçlarına ilişkin muhtemel gecikme zamanları

| <b>İletişim Şekli</b> | <b>Bir yol üzerinde oluşan muhtemel gecikme zamanı [ms]</b> |
|-----------------------|---|
| Fiber Optik           | 100-150   |
| Mikrodalga            | 100-150   |
| İletim Hattı (PLC)    | 150-350   |
| Telefon Hattı         | 200-300   |
| Uydu Sistemi          | 500-700   |

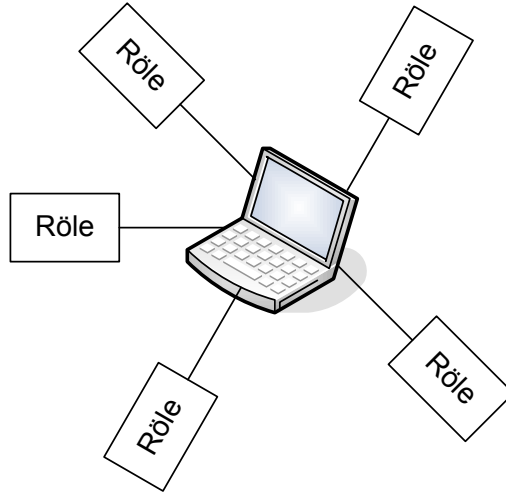
Yukarıda 6 başlık altında özetlenen haberleşme sistemleri farklı ağ (network) topolojileri üzerinden haberleşebilirler. En yaygın topolojiler aşağıda özetlenmiştir [11].

**İki nokta Arası Haberleşme (Point to Point):** En basit topoloji olup, haberleşme kanalı sadece iki nokta arasında yer almaktadır. İki nokta arasında yüksek data alış verişinin söz konusu olduğu yapılarda tercih nedenidir. En önemli dezavantajı, haberleşmenin kopması durumunda veri iletişiminin tamamen sonlanmasıdır.



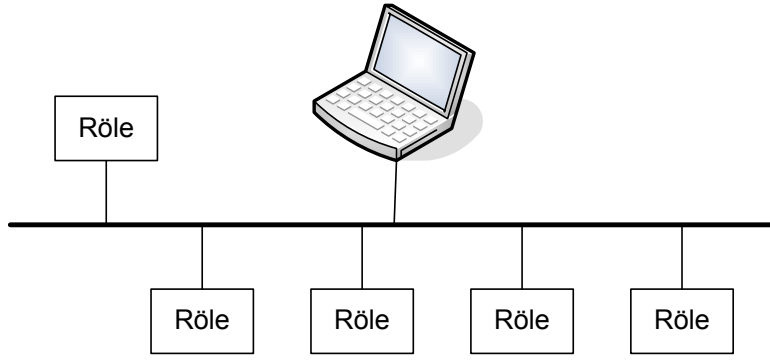
**Şekil 5.** İki nokta arasında haberleşme topolojisinin grafiksel modeli

**Yıldız (Star) Topoloji:** Ağdaki iletişimin gerçekleşmesi için bir merkezî birim bulunur ve bütün tekil istasyonlar bu merkezi birim üzerinden birbirine bağlanır. Bus topolojisine göre daha iyi performansa sahip olmasına rağmen daha pahalıdır. Bir noktadan diğerine gönderilen bilgi önce bu merkez birime gelir, buradan diğer noktaya yönlendirilir. Ağ trafiğini düzenleme yeteneğine sahip bu merkezî birim (hub) olarak adlandırılır. Bu topolojinin en önemli dezavantajı, merkezi ünitenin (hub) arızalanması durumunda tüm sistem haberleşmesinin sona ermesidir.



**Şekil 6.** Yıldız haberleşme topolojisinin grafiksel modeli

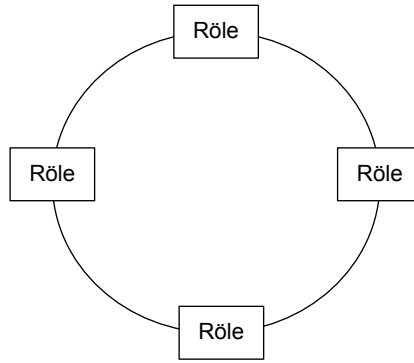
**Ortak Yol (Bus) Topoloji:** Ortak yol topolojisinde tüm istasyonlarının üzerinde olduğu ana bir hat (yol) vardır. Tüm iletişim noktaları hattaki bütün veri akışını inceler ve sadece kendine ait bilgileri alır. Hattaki bilgi akışı çift yönlüdür. Kaynak nokta bilgiyi hatta gönderir ve bu bilgi hattın her iki yönünde ilerler. Bu topolojide aynı anda iki kaynak noktanın bilgi göndermesi durumunda bilgi trafiği karışır. Bunu önlemek maksadı ile bilgi paylaşımını düzenleyen haberleşme protokolleri kullanılır. Bu ağ topolojisinin en önemli dezavantajı ağ performansının düşük olmasıdır.



Şekil 7. Yol haberleşme topolojisinin grafiksel modeli

### Halka (Ring) Topoloji:

Bu topolojide her röle bir halkanın elemanıdır. Halkada dolaşan bilgi bütün diğer rölelere ulaşır. Halkadaki her röle ring yapıda dolaşan bilgiyi ve hedef adresi alır. Eğer hedef adres kendi adresi ise o bilgiyi kabul eder.



Şekil 8. Halka haberleşme topolojisinin grafiksel modeli

### Kaynaklar

- [1] J. L. Blackburn, "Protective Relaying: Principles and Applications", Marcel Dekker, Inc., 1987.
- [2] P. Andersson, "Power System Protection", Wiley-IEEE Press, 1998.
- [3] A. van C. Warrington, "Protective Relays: Their Theory and Practice", Chapman and Hall, 1977.
- [4] General Electric, "D60 Line Distance Protection System", Online: <http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/d60/d60man-w1.pdf>
- [5] General Electric, "(T60), (MIF II), (D60)" User Manuals, Online: <http://www.gedigitalenergy.com/>
- [6] ABB, "(RET 545), (REF 545), (REL 512)" User Manuals, Online: <http://www.abb.com/abblibrary/downloadcenter/>
- [7] SEL, "(SEL-487E), (SEL-551C), (SEL-311A)", User Manuals, Online: <https://www.selinc.com/>
- [8] Micom Alstom, "(P-645), (P-145), (P-441)" User Manuals, Online: <http://www.alstom.com/>
- [9] SIEMENS, "(SIPROTEC4-7SA6), (SIPROTEC4-7SD61), (SIPROTEC4-7SJ62)", User Manuals, Online: <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>

- [10]** B. Naduvathuparambil, M. C. Valenti, and A. Feliachi, "Communication Delays in Wide Area Measurement Systems," in Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on System Theory, March 2002, pp. 118–122.
- [11]** IEEE Power System Relaying Working Group H9 , "Digital Communications for Relay Protection," Technical Report, 2002



## EK-II

### LİTERATÜR ÖZETİ - LITERATURE REVIEW

Distribution networks in Turkey work mainly in radial way which has many advantages like low cost of operation and maintenance (O&M), simplicity in expansion, easy setting and coordination of protection devices. However, the increasing demand of electricity, power quality and reliability requirements need for changing the philosophy of the distribution network topologies. Recently, the ring operation of distribution network has become popular to increase system reliability and to improve system availability. A pilot project for such transformation is explained in [1]. In this study, a portion of MV distribution network in Italy has been chosen a pilot site to evaluate performance of closed ring operation within the scope of three-year project. For this aim, selected MV network portion has been restructured by installing new protection devices, by replacing load-break switches with circuit breakers, by upgrading overhead lines and cables, and by building communication infrastructure based on fiber optic cable [1]. When the network is changed into the ring network, protection issues becomes one of the most challenges in closed ring operation [2]. In [2], a novel fault selection system is developed. This new protection system, based on three selection levels, utilizes directional intervention approach. Each secondary substation has to be equipped with two fault detectors, which are able to send signal during an electrical fault. When a fault is occurred somewhere between two substations, one of the fault detectors on each substation send a signal according to fault current direction. If a fault detector sending signal also receives signal from another detector, then those two detectors are tripped. Beside this first (main) level, there are two back up system when a failure is occurred in main protection system or in communication system. This protection system is applied for line faults. However it is not mentioned for the condition in which busbar fault is occurred [2]. Simulation studies for ground fault protection based on zero-sequence directional principle are reported by using MV pilot network mentioned in [1]. For the ground faults outside and inside the closed loop, the innovative protection system proposed in [2] is verified. More studies are carried out for transient cases and field test are planned in the future [3]. A new approach for coordination of protection devices in closed ring distribution networks is proposed in [4]. It is claimed that the difficulty in setting the protection devices based on time-current curve in a closed loop network is overcome by the proposed method. Main shortcoming of the approach is that it needs real-time analysis of network. Moreover, since some protection devices have high priority than other, selectivity between would be sacrificed [4].

Nature and operation schemes of normally closed loop fed by the same transformer in Taiwan distribution network are investigated in [10]. Short circuit and power flow analysis are completed for the selected network configuration and the selected network is operated under normal and abnormal conditions. Parameters such as transformer loadings and voltage drops are analyzed to check the sizing of the network components. Study outcomes are of value to the distribution engineers in their operation decisions [10]. A software package and mathematical models for continuous operation of distribution networks in China are given in [11]. Three case studies are completed and it is shown that the blackout duration and system reliability can be improved with closed ring operation [11]. Closed-ring operation strategy for a MV distribution system is analyzed for grid loss reduction [12]. Real-life grid topologies in Netherlands are used in analyses. Three case studies are completed with different load profiles and it is shown that the grid loss reductions that can be achieved are directly related to the properties of the connected loads. Load profiles with more dynamics offers more potential in grid loss reduction under closed ring operation [12].

A method that combine multiple source of energy (DGs) and closed loop (ring) networks for improved power quality and the continuity of power supply is introduced in [13]. Changing distribution networks topologies from radial (single) network to ring (multiple loops) network leads to the problem of short circuit current that exceeds the threshold of standards since the closed loop operation decreases the system impedance significantly. Two solutions are offered to limit the short circuit current in a closed loop distribution network: using minimum number of circuits (loops) between sources and loads and increasing circuit transfer impedance [13]. A closed ring network operation of a airport distribution systems for more reliable electrical system with maximum flexibility is discussed in [17]. Directional relaying is used and also circuit breakers are monitored and operated remotely [17].

In a closed loop operation of the power system, the protection becomes more complicated. An adaptive relaying technique using directional overcurrent and directional under voltage module to isolate symmetrical faults and block the operation of back-up power supply both on a ring and radial network is investigated in [18]. A method for a DC bus microgrid fault protection and backup protection that allows the fault to be detected and isolated without de-energizing the entire system is proposed in [19]. This protection scheme has zone IEDs (Intelligent Electronic Devices) which are capable of detecting fault current in the bus segment and isolating the segment to avoid the entire system collapse. In literature [20], an adaptive microgrid protection schemes are reviewed and technical challenges are presented in regard to their suitability for smart grid. Some of the technical challenges are, bidirectional power flow, frequent change in micro grid configuration, selectivity and sensitivity of overcurrent relay and the requirement of fast and reliable communication system for adaptive protection [20].

One of the protection method of closed ring medium voltage distribution system is to use directional overcurrent relays. The reference voltage phasor is used for estimating the direction of the fault current in traditional directional overcurrent relays. Therefore, voltage transformers are necessary for traditional directional overcurrent relays. The measurement of both current and voltage using respective sensors increases the cost of directional overcurrent protection system according to non-directional one. Nowadays some studies are focused on to develop the current-only directional overcurrent relays [21], [22]. According to these studies; voltage signals are not necessary to determine the fault current direction. The phase angle of the post-fault current changes to relative to the pre-fault current phase angle. This phase change depends on the fault current direction and indicates the fault direction [21]. A positive phase angle change indicates that the fault is in the reverse direction and a negative one indicates that the fault is in the forward direction [21]. The phase angle of the current from cycle to cycle would not differ much in the normal operational conditions. But under fault conditions, some significant changes occur in the phase angle of the current. The direction of the fault current may be forward or reverse and this situation influences the phase angle polarity. Analysis of signals acquired during faults substantiate the feasibility of the current-only directional overcurrent protection technique [22]. A novel LV automatic bus transfer equipment based on PLC is developed and applied to a LV distribution system in China [24]. Different from traditional LV automatic bus transfer equipments, this new equipment contains the functions of real time monitoring and detecting the ring-opening and ring-closing current, the function of ring current protection. Thus the LV loads can be automatically transferred to another transformer LV bus without outage. By using this transfer equipment with current protection for switching operations can shorten the interruption duration in the distribution grid [24]. In [25], a hybrid real time power system simulator has been developed for setting up protection, automation and control equipment. The simulator has also capable of testing the equipment comprehensively for closed loop. In the study, the simulator is applied to fast turbine valving control of the two regional power plants. In [26], five different ring network topologies are

considered to evaluate their reliability levels under varying failure probability. In the study, it is assumed that all nodes are capable of communication with each other.

In this study, the application of closed ring operation of a distribution network in Istanbul, Turkey will be investigated to improve supply availability and system reliability. Considerations on short circuit capacity and system protection issues will be analyzed. Different protection schemes will be implemented in simulations to decide for the best protection method for ring network operation.

**Literatür Özeti Sonucunda Karar Verilen Yol Haritası:** Geleneksel olarak radyal veya açık ring olarak işletilen orta gerilim dağıtım şebekeleri son yıllarda özellikle haberleşme ve koruma teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak kapalı ring çalışmaya dönüştürülmektedir. Enerji sürekliliğinin artırılması, gerilim seviyelerinin regüle edilmesi, hat kayıplarının azaltılması gibi işletme koşullarının iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayan kapalı ring şebeke uygulamaları dünya genelinde farklı düzey ve biçimlerde gerçekleştirilmektedir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde uzun yıllardan beri sanayi ve ticaret bölgeleri gibi alanlarda kapalı ring dağıtım şebekeleri başarı ile işletilmektedir [28]. İtalya'da ise yerleşim bölgesini besleyen bir dağıtım şebekesi kapalı ring çalışmaya uygun hale dönüştürülerek pilot proje uygulaması gerçekleştirilmiştir [1].

Kapalı ring çalışma çeşitli avantajlara sahip olsa da özellikle koruma konusunda çok ciddi sorunları bulunmaktadır. Bu sorunların çözümüne yönelik farklı yaklaşımlar ve metotlar önerilmiştir. Genellikle haberleşme teknolojilerinin kullanımına dayalı söz konusu metotlar içerisinde iletim hatlarında kullanılan PO (permissive overreach) yöntemine benzer bir yaklaşım basit olmasına karşın etkili bir koruma gerçekleştirme potansiyeli vardır [2]. Söz konusu koruma yaklaşımının daha da geliştirilerek projemizde uygulanması öngörülmektedir. Bu amaçla ilk olarak şebekede yer alan koruma rölelerinin birbirleri ile ve merkezi bir kontrol sistem ile haberleşmesine dayalı bir algoritma geliştirilecek. Sonrasında proje kapsamında kurulacak gerçek zamanlı test sisteminde, söz konusu algoritmanın olası arızalar karşısındaki performansı ölçülecektir.

### **Kaynaklar**

- [1] Botton, S., Cavaletto, L., Marmeggi, F., “*Schema Project-Innovative Criteria for Management and Operation of a Closed Ring MV Network*”, 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013.
- [2] D’Orazio, L., Calone, R., “*Innovative Protection System on Distribution Network*”, 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013.
- [3] Capasso, A. ; Calone, R. ; Lama, R. ; Lauria, S. ; Santopaolo, A., “*Ground fault protection in ENEL Distribuzione’s experimental MV loop line*”, 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014), Page(s): 1 – 6, 2014
- [4] Kangle Guan ; MyeonSong Choi ; SeungJea Lee ; SeongIl Lim, “*Coordination method for protective devices of closed-loop distribution system*”, 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Page(s): 47 – 52, 2012
- [5] Sapienza, G. ; Bianco, G. ; Di Lembo, G. ; Carpinì, L.D. ; Scrosati, G. ; Paulon, P., “*The Enel Smart Grid test system: A real-time digital simulator-based infrastructure*”, 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Page(s): 1 – 5, 2013

- [6] Lira, R. ; Mycock, C. ; Wilson, D. ; Kang, H., *"PMU performance requirements and validation for closed loop applications"*, 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), Page(s): 1 – 7, 2011
- [7] Hung M.Dao ; Silio, C.B., Jr., *"Ring-network with a constrained number of consecutively-bypassed stations"*, IEEE Transactions on Reliability,
- [8] Parise, G. ; Hesla, E. ; Rifaat, R.M., *"Architecture Impact on Integrity of Electrical Installations: Cut&Tie Rule, Ring Configuration, Floating Node"*, IEEE Transactions on Industry Applications.
- [9] Xueli Guo ; Jiuju Du ; Changxiao Qi, *"Study and application of switching operation of 10kV lines ring network in urban power distribution network"*, International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2012 China
- [10] Wei-Tzer Huang ; Shyi-Wen Wang ; Ling-Yi Hong ; Deng-Chung Lin, *"Nature and operation schemes of normally closed-loop distribution systems"*, 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARCV 2008.
- [11] Hui Yang ; Fushuan Wen ; Yongqiang Liu ; Peng Xu ; Qiren Jiang, *"A computer-assisted decision-making system for distribution system closed-loop operation"*, Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008.
- [12] De Groot, R.J.W. ; Morren, J. ; Slootweg, J.G., *"Investigation of grid loss reduction under closed-ring operation of MV distribution grids"*, IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition, 2014
- [13] Xin Liu ; Hongkun Chen ; Yubo Tao ; Chencong Huqian, *"Short-circuit current limiting for ring distributed power system integrated with multiple sources"*, PES General Meeting | Conference & Exposition, Page(s): 1 – 5, 2014 IEEE
- [14] Badra, M. ; Zeadally, S., *"Design and Performance Analysis of a Virtual Ring Architecture for Smart Grid Privacy"*, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, Volume: 9 , Issue: 2
- [15] Xin Miao ; Xi Chen, *"Research on Optical Fiber Transport Network Topology Optimization Supporting Smart Grid Core Services"*, International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), Volume: 2, 2010
- [16] Kulkarni, A. ; Payne, J. ; Mistretta, P., *"Integrating Scada, Load Shedding, and High-Speed Controls on an Ethernet Network at a North American Refinery"*, IEEE Transactions on Industry Applications,
- [17] Pugh, Paul F., *"New Airport Distribution System with Closed-Loop Circuit - Remote Operation and Monitoring"*, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: IA-19 , Issue: 6
- [18] Yin Diqing ; Liu Kun ; Dong Xinzhou ; Shi Shenxing ; Xu Gang ; Wang Kai, *"Distribution line automation system based on non-communication protection in the case of symmetrical fault"*, International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2011
- [19] Jae-Do Park ; Candelaria, J. ; Liuyan Ma ; Dunn, K., *"DC Ring-Bus Microgrid Fault Protection and Identification of Fault Location"*, IEEE Transactions on Power Delivery
- [20] Gupta, P. ; Bhatia, R.S. ; Jain, D.K., *"Adaptive protection schemes for the microgrid in a Smart Grid scenario: Technical challenges"*, Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 2013 IEEE
- [21] Ukil, A. ; Deck, B. ; Shah, V.H., *"Smart distribution protection using current-only directional overcurrent relay"*, Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES

- [22] Ukil, A. ; Deck, B. ; Shah, V.H., *“Current-Only Directional Overcurrent Protection for Distribution Automation: Challenges and Solutions”*, IEEE Transactions on Smart Grid,
- [23] Xiao-Long Luo ; Xiang-jun Zeng ; Min Zeng ; Zhen Liao ; Dong-Hong Zhao, *“A novel protection method for icing lines of ring network”*, IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), Page(s): 1 – 4, 2012
- [24] Chen, Yanxia ; Gong, Xiangqian ; Li, Huachun, *“A new type of automatic bus transfer equipment with function of ring current protection — Research and application”*, International Conference on Smart Grid Technology, Economics and Policies (SG-TEP), 2012
- [25] Prokhorov, A. ; Borovikov, Yu. ; Andreev, M., *“Application of hybrid real-time power system simulator for setting up and close loop testing of protection and control equipment”*, 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST), 2012 , Page(s): 1 – 4
- [26] Mekkanen, M. ; Virrankoski, R. ; Elmusrati, M. ; Antila, E., *“Reliability evaluation and comparison for next-generation substation function based on IEC 61850 using Monte Carlo simulation”*, 1st International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), 2013
- [27] Lin, N. ; Silio, C.B., Jr., *“Ring network reliability-the probability that all operative nodes can communicate”*, Proceedings of the Eighth Symposium on Reliable Distributed Systems, 1989
- [28] Pagel, B., *“Energizing International Drive”*, Transmission & Distribution World; Apr 2000; 52, 4, pp. 18-29

## EK-III

### UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek gerilim şebekesinin yapısı gereği ülkemizde kapalı ring uygulamalarına TEİAŞ bünyesindeki birçok şebeke parçasında rastlanmaktadır. Gerek gerilim seviyesindeki farklılıklar, gerekse BEDAŞ ile TEİAŞ arasındaki altyapı farklılıkları dikkate alındığında, TEİAŞ bünyesinde yer alan kapalı ring topolojisinin BEDAŞ şebekesine uygulanabilirliği ekonomik ve rantabl olmaktan uzaktır. Yapılan araştırmalar neticesinde 34,5 kV OG seviyesindeki kapalı ring uygulamalarının ülkemizde birkaç organize sanayi bölgesinde SIEMENS tarafından uygulandığı görülmüştür. Uygulamaları yerinde görmek ve yaşanan tecrübeler hakkında bilgi sahibi olmak maksadı ile TEİAŞ'ın yanı sıra, Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) ile SIEMENS Kartal şubesine teknik gezi düzenlenmiştir. Aşağıda DOSAB ve SIEMENS teknik gezilerine ilişkin oluşturulan raporlar sunulmuştur.

## **TEKNİK GEZİ RAPORU (DOSAB)**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Teknik Gezi Tarihi</b>      | : 8 Aralık 2014 Pazartesi  |
| <b>Teknik Gezi Yapılan Yer</b> | : Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB)   |
| <b>Teknik Gezinin Amacı</b>    | : DOSAB'a ait diferansiyel röle korumalı 34.5 kV O.G kablolu kapalı ring dağıtım sisteminin incelenmesi. |

Proje ekibimizce yapılan araştırmalar sonucunda, Türkiye'de 34.5 kV O.G. kapalı ring dağıtım sisteminde kablo diferansiyel rölelerle koruma uygulamasının ilk örneğinin SIEMENS firmasınınca Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nde (DOSAB) gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. 34.5 kV kapalı ring dağıtım sistemini ve diferansiyel röle ile kapalı ring sisteminde koruma uygulamasını yerinde incelemek amacıyla 08.12.2014 tarihinde DOSAB'a proje ekibimizce bir teknik gezi düzenlenmiştir.

Aşağıda DOSAB'ın 34.5 kV O.G. dağıtım sistemi ve kapalı ring sistemi kısaca tanıtılmıştır:

### **DOSAB ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ**

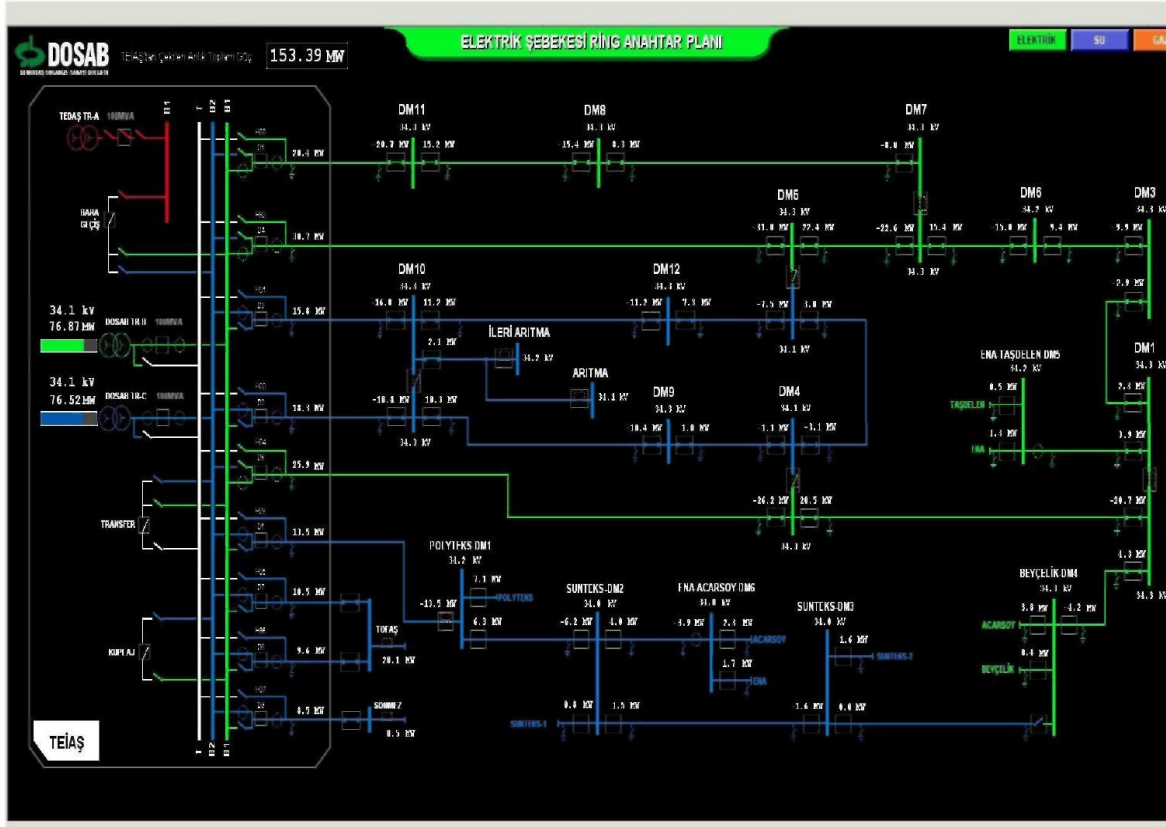
DOSAB O.G. dağıtım sistemi TEİAŞ'ın 2x100 MVA gücünde 154 kV/ 34.5 kV gerilimli indirici trafolarından beslenmektedir. DOSAB'a bağlı abonelerin toplam kurulu gücü 482 MVA'dır. DOSAB 34.5 kV O.G. dağıtım şebekesi 20 adet dağıtım merkezinden oluşmakta olup bu dağıtım merkezlerinde toplam 262 adet O.G. hücre bulunmaktadır. Dağıtım 555 km XLPE O.G. yer altı kablosu şebekesi ile yapılmaktadır. Dağıtım merkezleri arasındaki O.G. ring şebekenin toplam kablo uzunluğu 220 km'dir.

### **DOSAB KAPALI RİNG SİSTEMİ**

DOSAB Organize Sanayi Bölgesi 34,5 kV Enerji Dağıtım Şebekesi TEİAŞ Demirtaş İndirici Merkezi (DM)'den alınan 9 adet çıkış üzerinden beslenmektedir. Dağıtım Sistemi, yeraltı kablo şebekesi sayesinde arıza şartlarında enerji kesintisini en aza indirmek amacı ile kapalı ring olarak çalışmaktadır. Ring sistemini üzerinde bulunan ring giriş-çıkış hücreleri, olası kablo arızalarında arızanın temizlenme süresini en aza indirmek üzere, yönlü back-up (yedek) akım koruma fonksiyonlarını da haiz olan Siemens 7SD61 tipi kablo diferansiyel röleler ile donatılmıştır.

34,5kV Dağıtım Tesisi, her DM'de ring giriş ve çıkışlarında bulunan kablo diferansiyel röleleri ile korunmaktadır. Korunan güç kablosunun her iki başında bulunan 7SD61 tipi Siemens marka nümerik diferansiyel röle çiftleri, ölçtükleri akım değerlerini Fiberoptik kablo bağlantısı ile haberleşerek karşılaştırmakta ve bir hata tespitinde herhangi bir selektif zaman kademesine bağlı olmaksızın ait oldukları hücredeki kesicileri devre dışı etmektedirler. Ring hücrelerinde bulunan 7SD61 rölelerin yönsüz-yönlü faz ve toprak hatası koruma fonksiyonları da aktif olarak çalışmaktadır. Bu fonksiyonlar, diferansiyel koruma bölgesi için ikinci bir koruma olarak çalışmakta, ring kablolarında oluşan arızaların dışındaki arızalar (DM bara arızaları vb.) için ise, selektif koruma planına bağlı olarak reaksiyon göstermektedirler. DM'lerde bulunan müşteri çıkışları, 7SJ62 tipi Siemens marka nümerik röleler ile korunmaktadır. Bu röleler, çok fonksiyonlu koruma özelliğine sahiptirler. Direkt çıkışlara ait olan rölelerde, faz ve toprak hatası koruma fonksiyonları aktif durumdadır. Aşağıda Şekil 1'de DOSAB'a ait 34.5 kV O.G. kapalı ring sistemi gösterilmiştir.

*2015-1 DÖNEMİ ARA RAPORU*



Şekil 1. DOSAB'a ait 34.5 kV O.G. dağıtım sistemi

## SONUÇ:

DOSAB 34.5 kV O.G. dağıtım sistemi ve kapalı ring sisteminde ve koruma sistemi üzerinde yapılan incelemeler sonucunda,

1. Dağıtım merkezleri arasındaki kapalı ring kablo hatlarının diferansiyel röle ile başarılı bir şekilde korunduğu görülmüştür.
2. Aşırı akım röleleri ile korunan açık ring dağıtım sisteminin kapalı ring sistemine dönüştürülmesi durumunda trafo merkezlerinin bağlı olduğu bara sayısının fazla olması durumunda yönlü aşırı akım rölesi kullanılsa bile selektivite sağlaması gereken ardışık röle sayısının fazla olması sebebiyle TEİAŞ besleme noktasında (hat başında) bulunan koruma rölesinin kesiciye açma sinyali verme süresi çok uzun olmakta bir saniyeyi geçmekte ve TEİAŞ tarafında kesici açması olmaktadır. İncelenen uygulamada bir hattın hat başında ve hat sonuna tesis edilen ve aralarında fiberoptik kablo üzerinden haberleşen diferansiyel röleler ile koruma yapıldığında selektivite sebebiyle zaman gecikmesinin artması sorunun ortadan kalktığı görülmüştür. Bu uygulamada görüldüğü üzere, trafo merkezleri arasında fiber optik kablonun mevcut olması halinde açık ring sisteminin kapalı ringe dönüştürülmesi halinde ana korumanın diferansiyel röle ile korunması uygundur. Diferansiyel rölelerin sadece akım trafosuna ihtiyaç duyması, gerilim trafosuna gerek duyulmaması avantajdır. Trafo merkezleri arasında fiber optik kabloya ihtiyaç duyulması dezavantajdır.
3. DOSAB dağıtım sisteminde; bir kablo hattını koruyan diferansiyel koruma sisteminin çalışmaması halinde yedek koruma için yönlü aşırı akım röleleri kullanılmıştır. Yönlü aşırı rölelerinin çalışmaları



için gerilim trafosuna ihtiyaç duymaları, çoğu trafo merkezinde gerilim trafosu bulunmayan BEDAŞ için bir dezavantajdır. DOSB 34.5 kV O.G. dağıtım sisteminde 20 civarında dağıtım merkezinin bağlı olduğu bara bulunmasına rağmen bu baralar kendi aralarında 5-6 baradan oluşan ringler halinde tesis edilerek yönlü aşırı rölesi ile korumada hat başı açma süresinin TEİAŞ'ın açma sınırı olan bir saniyelik süreden uzun olması sorunun önüne geçildiği görülmüştür.

4. DOSAB 34.5 kV O.G. dağıtım sistemindeki kapalı ring ve koruma uygulaması BEDAŞ'ın yeni tesis edilecek kapalı ring sistemleri için uygun bir model olabilir. Yeni tesis edilen sistem fiber optik kablolu ve her trafo merkezinde (barada) gerilim trafoları olacak şekilde ve 4-5 barayı geçmeyecek biçimde çok sayıda küçük ringlerden oluşacak şekilde tesis edilebilir. Böylece ana koruma diferansiyel röle ile yedek koruma yönlü aşırı akım röleleri ile yapılabilir.

## TEKNİK GEZİ RAPORU (SIEMENS)

**Teknik Gezi Tarihi** : 4 Aralık 2014 Perşembe

**Teknik Gezi Yapılan Yer:** SIEMENS A.Ş. Orta Gerilim (O.G.) Primer Teçhizat ve Sekonder Koruma Departmanı-Kartal/İstanbul

**Teknik Gezinin Amacı** : Ülkemizde SIEMENS firması tarafından organize sanayi bölgelerinde (O.S.B.) kapalı ring O.G. dağıtım sistemlerinde gerçekleştirilen koruma sistemleri ile ilgili bilgi almak.

Kapalı ring O.G. dağıtım sistemlerinin koruma sistemleri konusunda proje ekibimizce yapılan araştırmalar sonucunda ülkemizde,

- 34.5 kV O.G. kapalı ring dağıtım sisteminde kablo diferansiyel rölelerle koruma uygulamasının ilk örneğinin SIEMENS firmasınınca Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nde (DOSAB) gerçekleştirildiği ve sistemin Eylül 2006'da devreye alındığı
- Ekim 2006'da Gaziantep OSB'de de 34.5 kV O.G. kapalı ring dağıtım sisteminde kablo diferansiyel rölelerle koruma uygulamasının SIEMENS firmasınınca gerçekleştirildiği,
- 34.5 kV O.G. kapalı ring dağıtım sisteminde mesafe röleleri ile koruma uygulamasının ilk örneğinin SIEMENS firmasınınca Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde (GOSB) gerçekleştirildiği sistemin 2006 yılında devreye alındığı,

tespit edilmiştir. Yukarıda belirtilen projeleri hazırlayan ve uygulayan SIEMENS görevlilerinden bilgi almak, görüş alışverişinde bulunmak üzere 4 Aralık 2014 Perşembe günü SIEMENS Kartal tesislerine proje ekibimizce teknik gezi düzenlenmiştir.

Gerçekleştirilen teknik gezide SIEMENS yetkililerinden alınan kısmi bilgiler, YTÜ ve BEDAŞ proje ekiplerince ortaklaşa yapılan araştırmalar sonucunda aşağıdaki tespit ve değerlendirmeler yapılmıştır:

- O.G. dağıtım şebekesinde açık ring sistemi ile kapalı ring sisteminin karşılaştırılmasında
  1. Can ve mal Güvenliği
  2. Beslemenin sürekliliği
  3. İşletme esnekliği
  4. Enerji kesintisi maliyeti
  5. Arızanın temizlenme (arızalı fiderin sistemden izole edilme) süresi,

kriterleri gözönüne alındığında; kapalı ring sistemi açık ring sistemine göre daha avantajlıdır. Ancak açık ring sisteminden kapalı ring sistemine geçilmesi halinde kısa devre akımlarının artması, tesis maliyetinin artması, röle koordinasyonun zorlaşması gibi dezavantajlar da ortaya çıkmaktadır.

- O.G. dağıtım şebekesinde kapalı ring sisteminin korumasında;
  1. Yönlü aşırı akım röleleri ile koruma,
  2. Yön karşılaştırmalı blokaj tekniği ile koruma,
  3. Mesafe röleleri ile koruma,

#### 4. Diferansiyel röleler ile koruma,

olmak üzere başlıca dört farklı seçenek uygulanabilir.

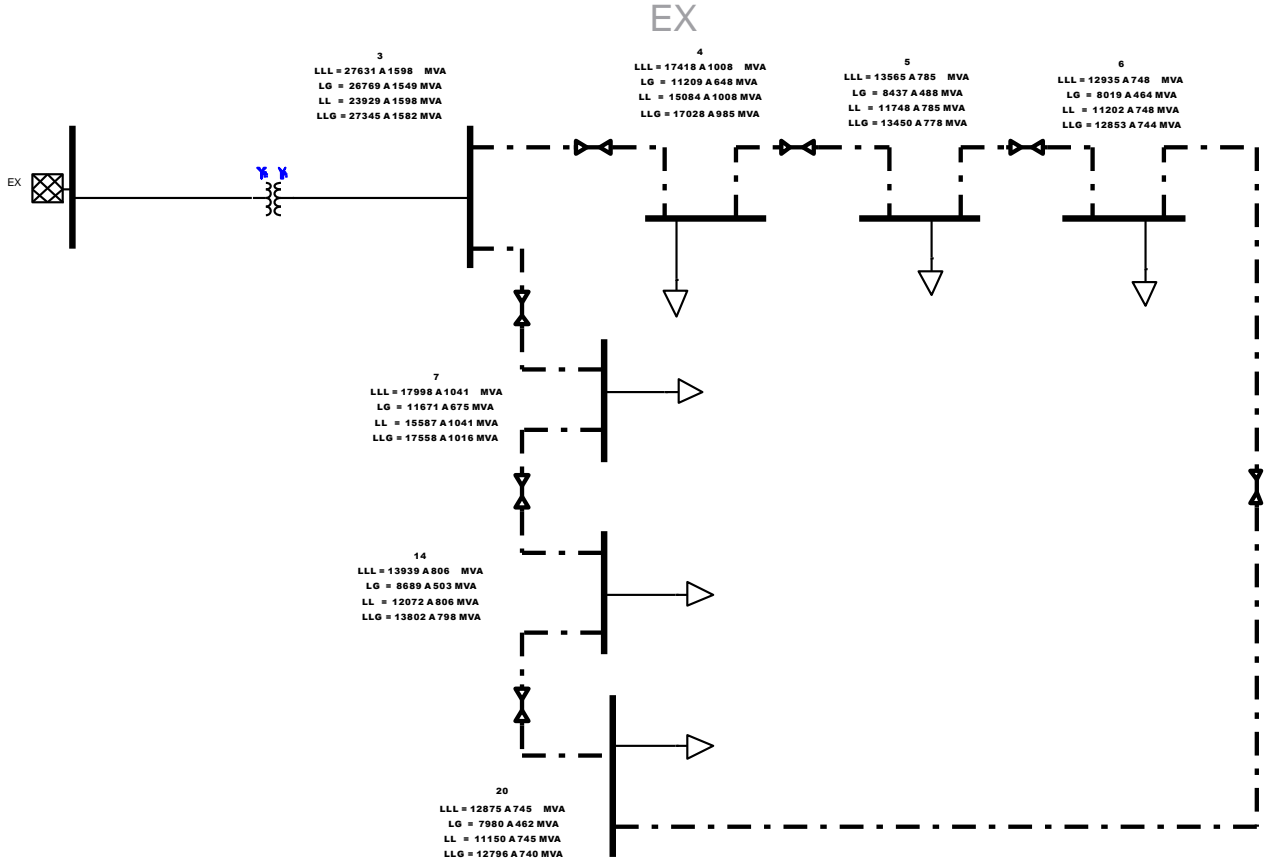
- **Yönlü aşırı akım rölesi** ile korumanın yapılabilmesi için tesiste akım trafolarının ve gerilim trafolarının bulunması gerekir. BEDAŞ'ın dağıtım merkezlerinin (DM) veya transformatör merkezlerinin (TM) çoğunda sadece akım trafoları mevcut olup gerilim trafosu bulunmamaktadır. Gerilim trafolarının olmaması ve eski DM ve TM'lerde gerilim trafosu tesis etmek için yeterli alan bulunmaması yönlü aşırı korumasının yapılması için dezavantaj oluşturmaktadır. Bir arıza durumunda O.G. sisteminde BEDAŞ'ın arızayı temizlemesi için TEİAŞ BEDAŞ'a maksimum bir saniye süre vermektedir. BEDAŞ'ın koruma sisteminin bir saniyeden daha kısa sürede arızayı temizlemesi gerekmektedir. Selektif koruma yapmak için hat sonundan başlayarak kaynağa (TEİAŞ barasına) doğru rölelerin zaman gecikmesini arttırmak gerekir. BEDAŞ dağıtım sisteminde 20 baraya ulaşan açık ring sistemlerin bulunması sebebiyle bu sistemlerin kapalı ringe dönüştürülmesi halinde ardışık iki röle arasında koordinasyonu sağlamak için en az 0.25 saniye zaman gecikmesi oluşturmak gerektiği için hatbaşındaki rölenin kesiciyi açtırma süresi TEİAŞ'ın izin verdiği bir saniyeden çok daha uzun olmakta ve arıza halinde BEDAŞ kesicisinden önce TEİAŞ kesicisi açması ve tüm sistemin enerjisinin kesilmesi riski ortaya çıkmaktadır. Röle koordinasyonu ile ilgili bu sorun sebebiyle çok baralı kapalı ring sistemin yönlü aşırı akım röleleri ile korunması zorlaşmaktadır.
- **Yön karşılaştırmalı blokaj tekniği** ile korumada röleler arıza akımı yönüne bakarak arızanın koruma bölgesi içinde olup olmadığı belirlemekte, bu teknikte röleler koruma bölgeleri içinde arızalarda 0.3s-0.5s gibi çok kısa sürelerde kesiciyi açtırabilmekte, arızayı koruma bölgesi içinde gören röle kendisinden önceki röleye blokaj sinyali göndererek o rölenin gereksiz açmaya sebep olmasını önlemektedir. Arıza akımının yönünün belirlenmesi için gerilim trafosuna ihtiyaç duyulması ve rölelerin haberleşmesi için fiber optik kablo altyapısının gerekli olması bu koruma tekniği için dezavantaj oluşturmaktadır.
- **Mesafe röleleri** ile korumanın yapılabilmesi için tesiste akım trafosu ile birlikte gerilim trafosunun da olması gerekmektedir. Mesafe röleleri arızayı birinci kademedeki gördüklerinde çok kısa sürede kesiciyi açtırmaktadır. Ayrıca mesafe röleleri kendisinden sonraki ardışık iki hat için de zaman gecikmeli olarak yedek (back up) koruma imkanı sağlamaktadır. Mesafe rölelerinin koordinasyonunun ardışık üç hat için yapılabilmesi sebebiyle sistemde çok sayıda bara olması röle koordinasyonu bakımından sorun oluşturmamaktadır. Bu bir avantajdır. Ayrıca mesafe rölesi ile korumada haberleşme için fiber optik kablo altyapısının bulunması zorunlu değildir. Mesafe röleleri iletim hatlarının korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak O.G dağıtım hatlarında hat uzunluğunun çok kısa olması röle ayarlarını zorlaştırmaktadır.
- **Kablo diferansiyel röleleri** ile korumanın yapılabilmesi için tesiste hattın her iki ucunda akım trafosu olması yeterli olup gerilim trafosuna ihtiyaç yoktur. Gerilim trafosuna ihtiyaç duyulmaması kapalı ring sisteminin korunmasında diferansiyel röleyi öne çıkarmaktadır. Ayrıca diferansiyel rölenin selektiviteye gereksinim duymaması, bir arıza halinde hat başı ve hat sonundaki diferansiyel rölelerin çok kısa sürede kesiciyi açtırması da önemli bir avantajdır. Diferansiyel rölenin çalışması için tesiste haberleşme sistemi, fiber optik kablo altyapısının olması gerekir ki fiber optik kablo altyapısı olmayan eski tesisler için bu husus da ayrı bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Yukarıdaki değerlendirmeler doğrultusunda bu aşamada O.G. kapalı ring sisteminin korunması için gerilim trafosuna ihtiyaç duymaması, hızlı çalışması, röle koordinasyonu için sistemdeki bara sayısına kısıtlama getirmemesi özellikleri sebebiyle fiber optik kablo altyapısı olan bölgeler için ana koruma elemanı olarak kablo diferansiyel rölesi ağırlık kazanmakta, yedek (back up) koruma rölesi olarak yönlü aşırı akım rölesi veya mesafe rölesi seçenekleri ortaya ıkmaktadır.

## EK-IV

### BEDAŞ ÖRNEK BÖLGE ANALİZ VE KORUMA SİMÜLASYONLARI

Sample Closed Loop Ring System given in the below figure is considered for the short circuit analysis using CYME software.



At present time, fault currents became very high and hazards especially when we talk about closed loop networks; so it's more important than ever to protect electrical equipment from extremely high current levels that can be destructive if not properly controlled. Protection devices such as a fuse or circuit breaker used in power systems to protect against two types of fault problems: an overload and a short circuit. The first problem solved by selecting the appropriate wire size correlating to the fuse and circuit breaker rating according to the National Electrical Code (NEC) or any other rating. However, short circuit problem can be solved by installing suitable relays that provide commands to the circuit breakers according to selectivity process.

After performing short circuit analysis for the 6- buses ring network using CYME software the results was as shown in Table 1. Obtained results can be used to select the suitable circuit breakers and to determine the sizing of cables.

| Bus No./Values | 154 KV | 34.5 KV | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|----------------|--------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $I_k$ KA       | 25.20  | 15.19   | 15.13 | 15.06  | 15.05  | 15.05  | 15.07  | 15.13  |
| $S_k$ MVA      | 6721.7 | 947.31  | 943.2 | 939.32 | 938.37 | 938.27 | 939.84 | 943.60 |
| $I_{th}$ KA    | 25.63  | 16.02   | 15.39 | 15.25  | 15.23  | 15.23  | 15.27  | 15.41  |
| $I_p$ KA       | 25.20  | 15.19   | 15.13 | 15.06  | 15.05  | 15.05  | 15.07  | 15.13  |
| $S_p$ MVA      | 6721.7 | 947.31  | 943.2 | 939.32 | 938.37 | 938.27 | 939.84 | 943.60 |

## Ek-5

### BEDAŞ 6 BARALI KAPALI RİNG DAĞITIM ŞEBEKESİNDE YÖNLÜ AŞIRI AKIM VE DİFERANSİYEL RÖLE KULLANIMINA AİT SİMÜLASYON RAPORU

## BEDAŞ 6-Baralı Ring Şebeke Çalışmasında Yönlü & Diferansiyel Rölelerin Kullanılması Durumu: Simülasyon ve Analiz Sonuçları

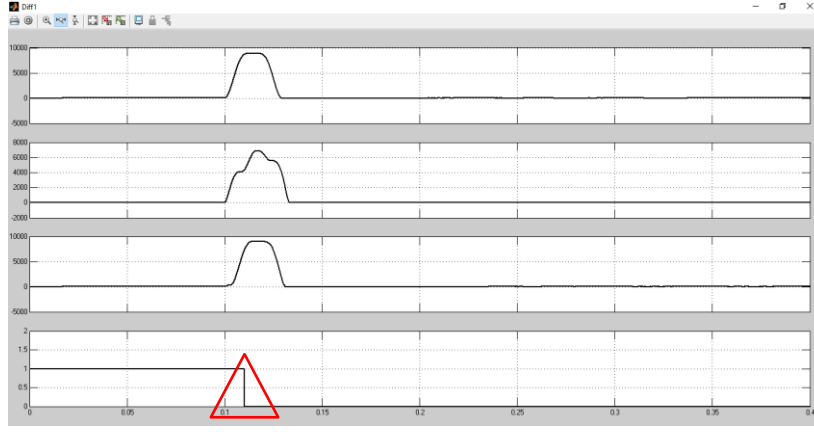
Bu çalışmada, yönlü aşırı akım koruma rölesi (DIROC) ile Diferansiyel koruma rölesinin BEDAŞ 6-baralı ring şebeke çalışmada kullanılmaları MATLAB/Simulink kullanılarak analiz edilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinde, DIROC rölesi primer koruma rölesi olarak düşünülmüştür. DIFF rölesi sekonder koruma rölesi olarak düşünülmüştür. DIROC koruma rölesi hem hat hem de bara koruması için kullanılırken DIFF koruma rölesi sadece hat koruması için kullanılmaktadır. Şekil 1'de 6-baralı sisteme ait simülasyon modeli gösterilmiştir. Bu raporda, koruma sisteminin seçiciliği dört farklı durum için incelenmiştir:

- 1) Farklı baralarda farklı arıza durumları
- 2) Farklı hatlarda arıza durumları
- 3) Farklı arıza durumlarının ardışık olarak ortaya çıkması
- 4) Eş zamanlı arızaların olması

Yukarıdaki durumlara ek olarak, primer korumanın -DIROC- çalışmadığı durumda sekonder korumanın-DIFF- çalışması da incelenmiştir. Hat korumasında primer koruma diferansiyel röledir.

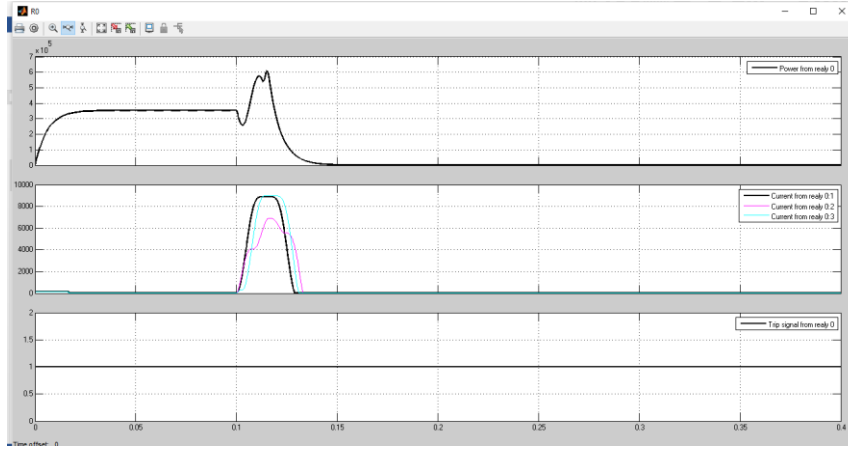
**Tablo 1:** Hatlarda oluşan arızalar

| Hat Numarası | Arıza Tipi | Primer Koruma Rölesi | Sekonder Koruma Rölesi | Çalışan CB |
|--------------|------------|----------------------|------------------------|------------|
| 1            | LLLG       | DIFF1                | R0 & RA1               | C0 & CA1   |
| 3            | LLL        | DIFF3                | RB2 & RC1              | CA2 & CB1  |
| 6            | LL         | DIFF6                | RE2 & RF1              | CE2 & CF1  |

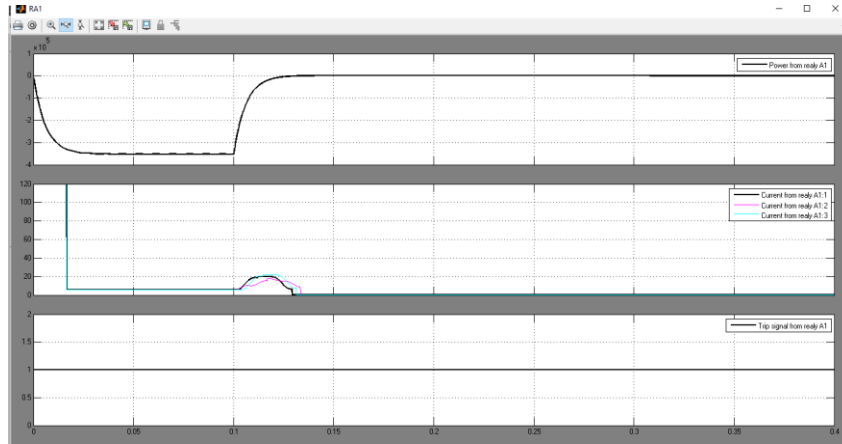


**Şekil 1:** DIFF1 Rölesinin Hat 1'de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açması.

NOT: Geliştirilen simülasyon modelinin hem açık hem de ring şebekeler için kullanılabilirdiğine dikkat ediniz.



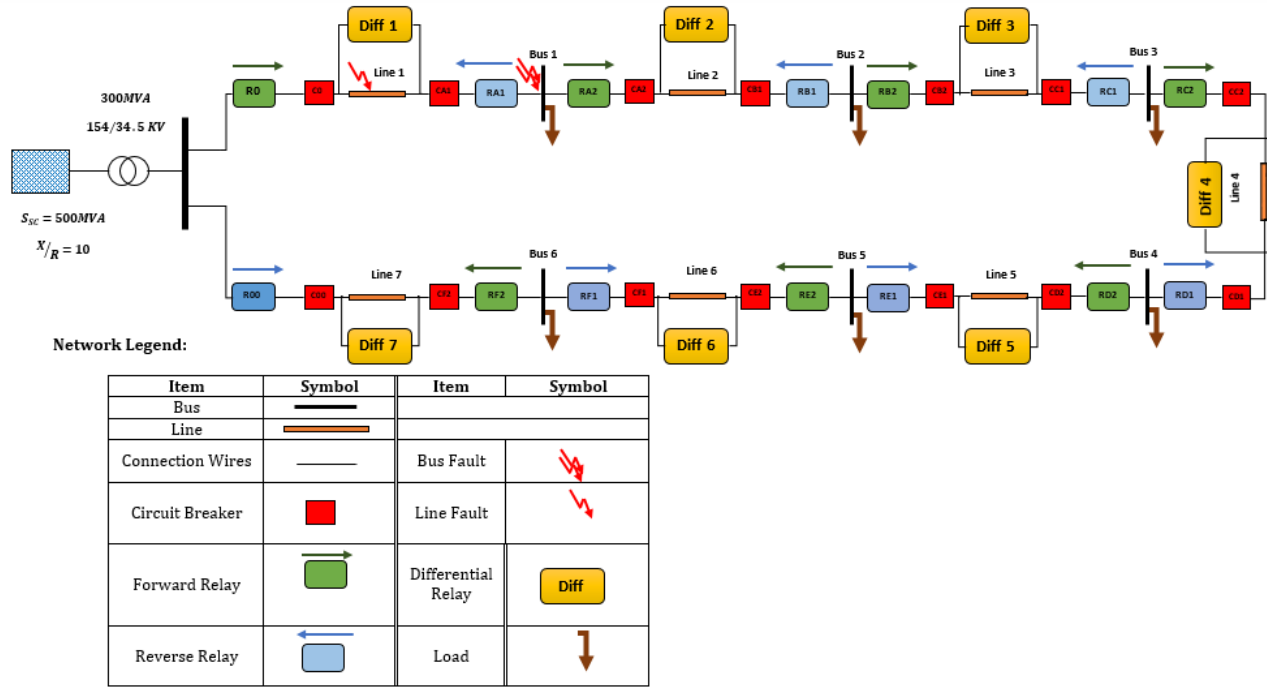
**Şekil 2:** R0 rölesinin Hat 1'de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi



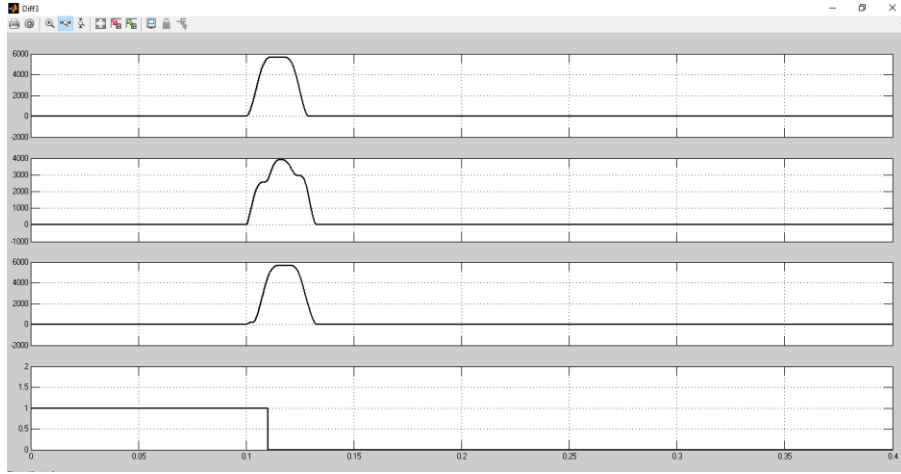
**Şekil 3:** RA1 rölesinin Hat 1'de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmemesi



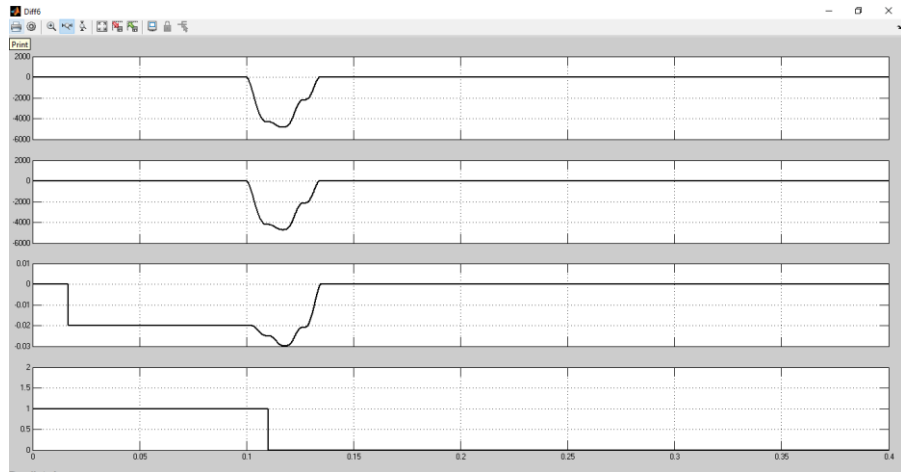
Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'ten tüm rölelerin LLLG arızasını tespit ettikleri görülmektedir; ancak sadece DIFF 1 rölesi arızayı en kısa zamanda izole etmektedir: Arıza 100ms'de başlamaktadır ve DIFF 1 rölesi 10 ms içerisinde arızayı tespit edip izole etmektedir.



**Şekil 1:** DIROC-DIFF rölelerinin BEDAŞ 6-baralı orta gerilim kapalı dağıtım şebekesinde kullanılması



**Şekil 4:** DIFF 3 Rölesi Hat 3'te LLL arızasını tespit etmesi ve arızayı açması

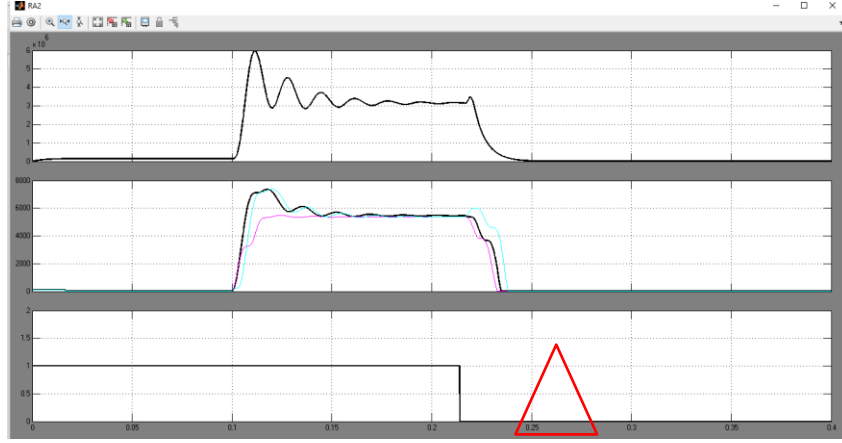


**Şekil 5:** DIFF 6 rölesinin Hat 6'da oluşan LL arızasını tespit etmesi ve arızayı izole etmesi

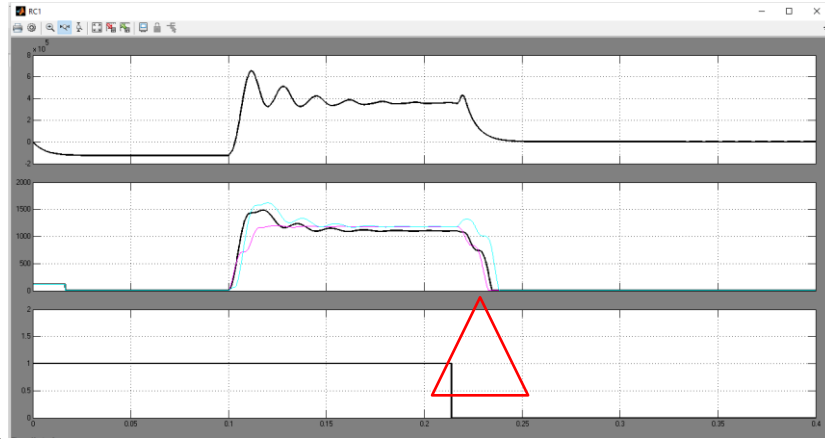
Benzer şekilde, Şekil 4 ve Şekil 5'ten Hat 3 ve Hat 6'da oluşan LL arızasını izole etmesi gereken iki DIFF röleyi göstermektedir ve arızanın izole edilmesi sırasıyla 110ms ve 111ms'de oluşmuştur.

**Tablo 2:** Bara Arızaları

| Bara No | Arıza Tipi | Röleler   | Çalışan CB |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2       | LLLG       | RA2 & RC1 | CA2 & CC1  |
| 4       | LL         | RC2 & RE1 | CC2 & CE1  |
| 6       | LG         | RE2 & R00 | CE2 & C00  |



**Şekil 6:** RA2 rölesinin Bara 2'de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali



üretmesi

**Şekil 7:** RC1 rölesinin Bara 2'de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

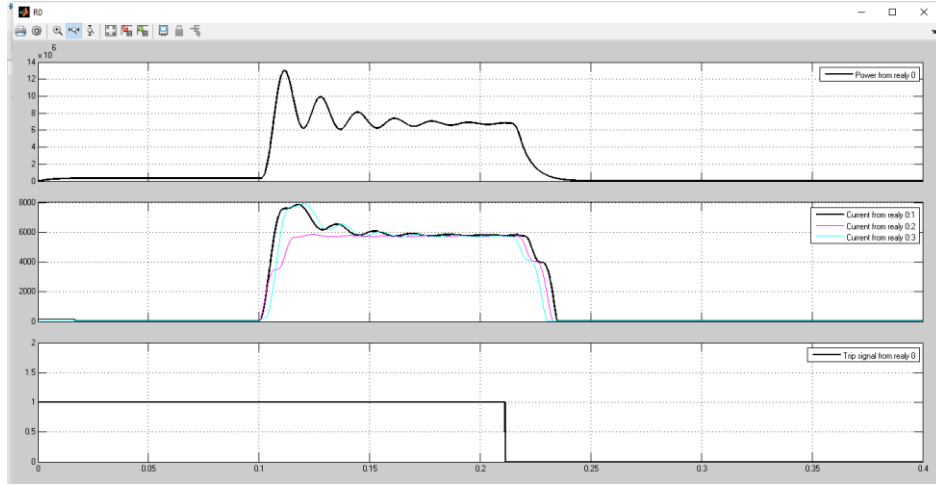
Şekil 6 ve Şekil 7'den Bara 22de oluşan arızayı izole etmek için çalışması gereken iki rölenin RA2 ve RC1 röleleri olduğu görülmektedir. Bara 2'de LLLG arızası oluşturulmuş ve arıza temizle süreleri RA2 ce RC1 röleleri için sırasıyla 216.5 ms ve 216 ms olarak bulunmuştur.

**Table 3:** Baralarda ve hatlarda ardışık arızalar

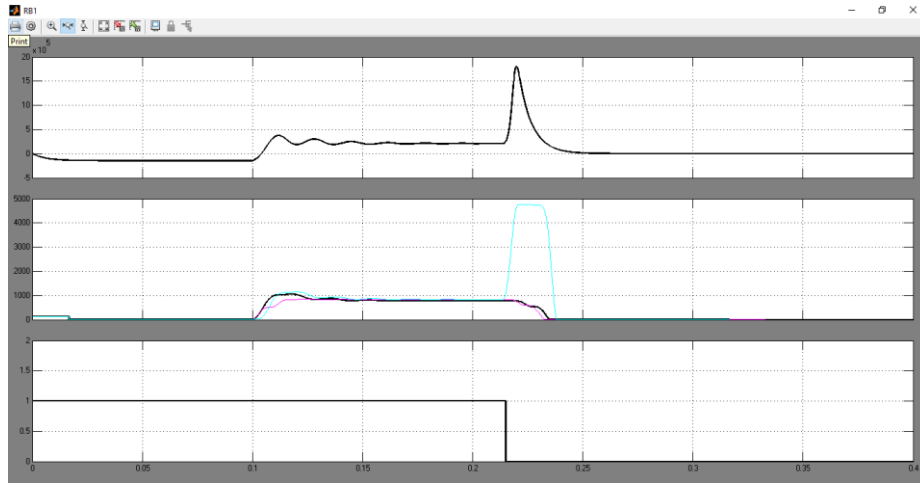
| Durum | Bara No | Hat No | Arıza Tipi | Röleler            | Çalışan CB           |
|-------|---------|--------|------------|--------------------|----------------------|
| 1     | 1       | 3      | LLLG       | R0 & RB1 & DIFF3   | C0 & CB1& CB2 &CC1   |
| 2     | 2       | 5      | LL         | RA2 & RC1* & DIFF5 | CA2 & CC1& CD2 & CE1 |

\*: Röleler açma sinyali üretmemiştir.

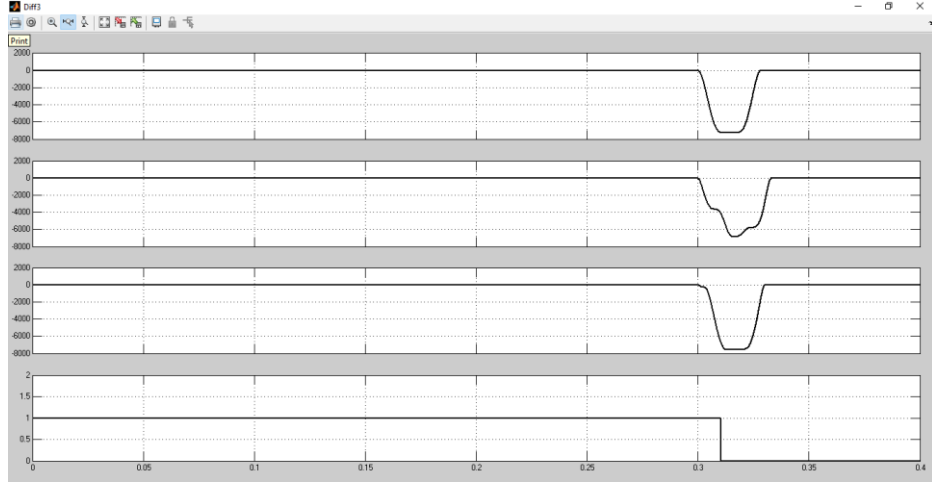
**Durum #1:** Arızalar Bara 1 ve Hat 3'te sırasıyla 0.1- 0.25 saniye aralığında ve 0.30 - 0.40 saniye aralığında oluşturulmuştur. Arızalar ardışık olduklarından R0 ve RB1 röleleri Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilene benzer şekilde 0.1 saniyede Bara 1'deki arızayı temizlemişlerdir. Sadece DIFF 3 Şekil 10'da gösterildiği gibi Hat 3'te oluşan arızada sadece DIFF 3 rölesi arızayı temizlemiştir.



**Şekil 8:** R0 rölesinin Bara 1'de LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

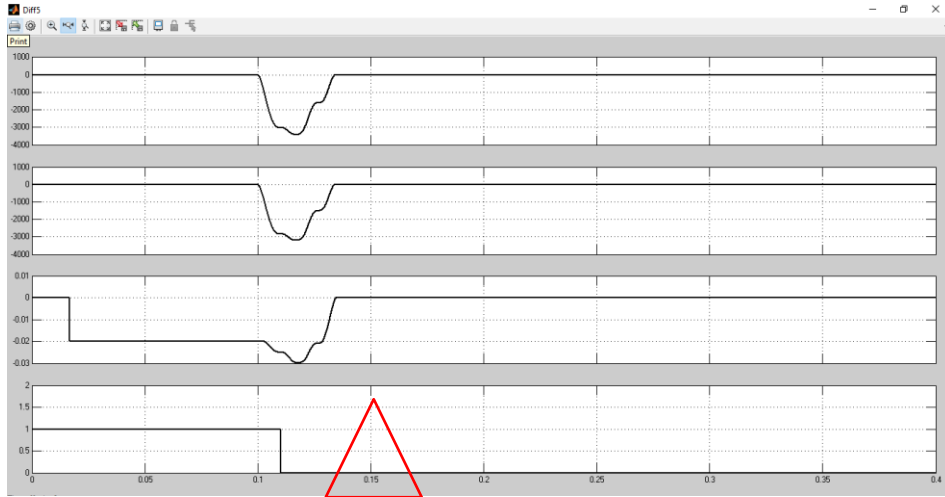


**Şekil 9:** RB1 rölesinin Bara 1'de oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

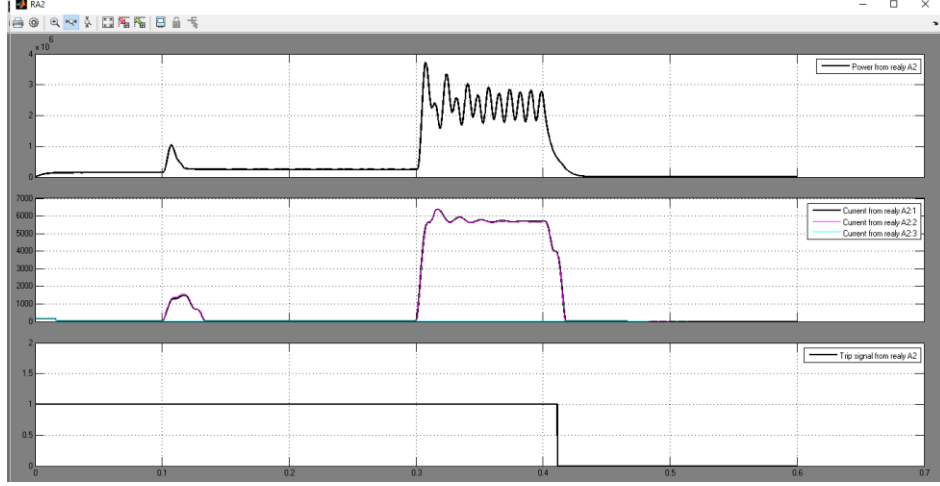


**Şekil 10:** DIFF 3 rölesinin Hat 3'te oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

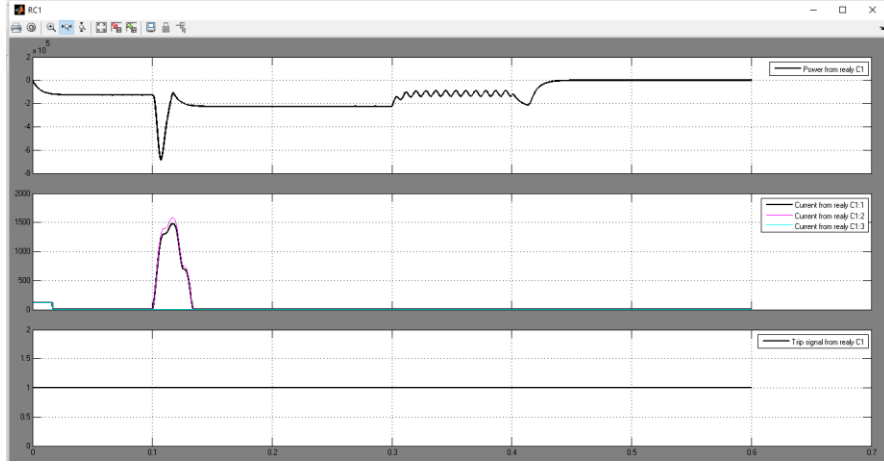
**Durum #2:** Arızalar Hat 5 ve Bara 2'de sırasıyla 0.1 – 0.25 saniye aralığında ve 0.35 – 0.40 saniye aralığında oluşturulmuştur. Arızalar ardışık olduğundan Şekil 11'de gösterildiği gibi DIFF 5 rölesi Hat 5'te oluşan arızayı 0.1 saniyede temizlemiştir. Bara 2'de oluşan arızada sadece RA2 rölesi arızayı temizlemiştir. RC1 rölesi açma sinyali üretmemiştir çünkü bir önceki hat 5 arızasında dolayı şebeke açık hale gelmiştir. Bu durum Şekil 12 ve Şekil 13'te açıklanmıştır.



**Şekil 11:** DIFF 5 rölesinin Hat 5'te oluşan LL arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi



**Şekil 12:** RA2 rölesinin Bara 2’de oluşan LL arızasını tespit etmesi ve açma sinyalini üretmesi

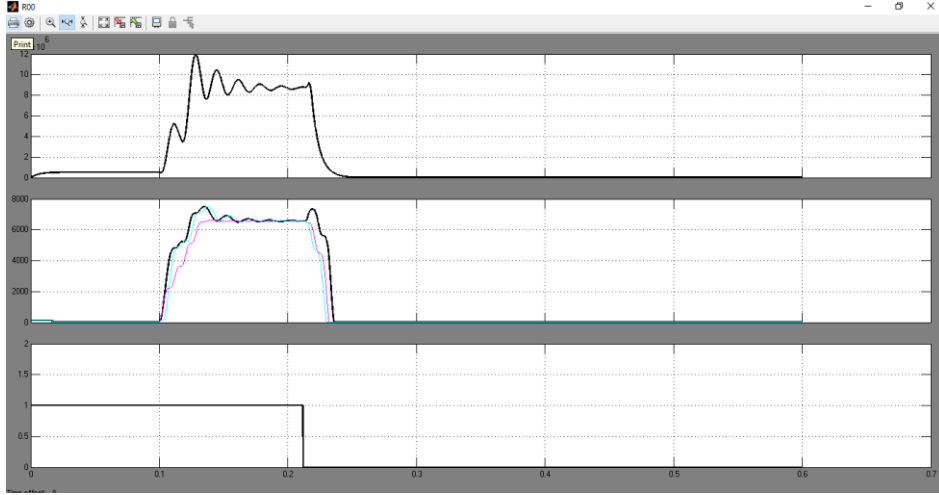


**Şekil 13:** RC1 rölesinin Bara 2’de oluşan LL arızasını tespit etmesi ancak açma sinyali üretmemesi

**Tablo 4:** Baralarda ve hatlarda eş zamanlı arızalar

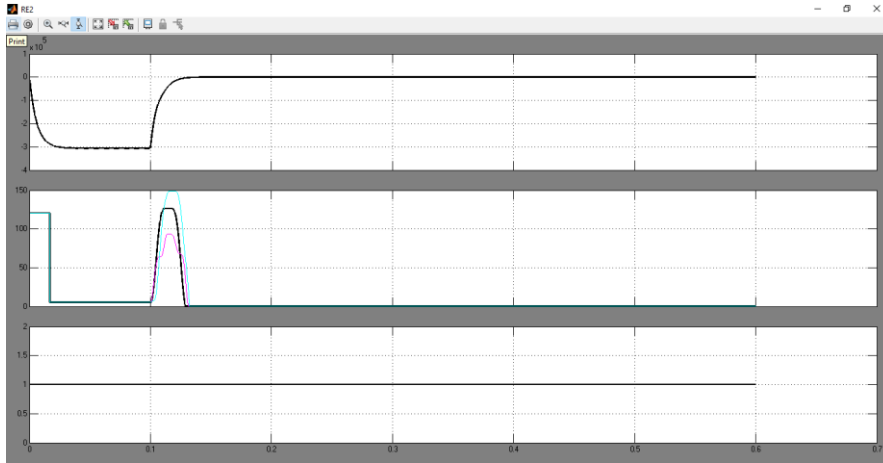
| Durum | Bara No | Hat No | Arıza Tipi | Röleler            | Çalışan CB      |
|-------|---------|--------|------------|--------------------|-----------------|
| 1     | 6       | 3      | LLLG       | R00 & RE2* & DIFF3 | C00 & CB2 & CC1 |
| 2     | 1       | 4      | LLL        | R0 & RB1* & DIFF4  | C0 & CC2 & CD1  |

\*: Röleler açma sinyali üretmemiştir.



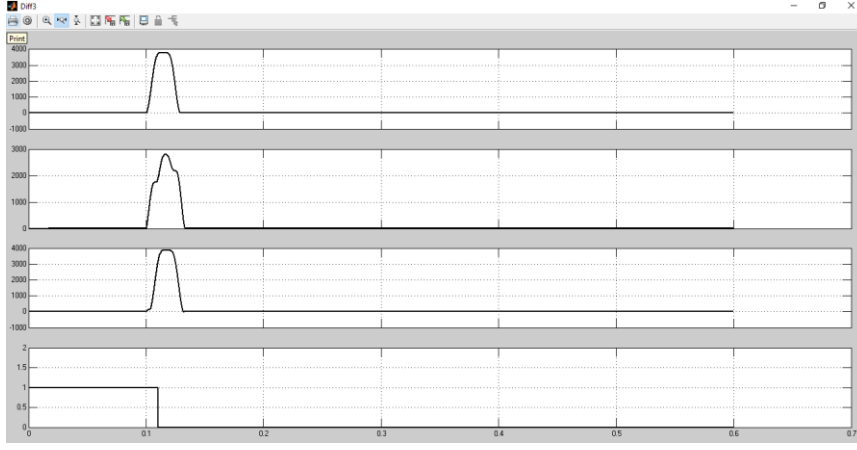
**Şekil 14:** R00 rölesinin Bara 6'da oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

**Durum #1:** Arızalar Bara 6 ve Hat 3'te 0.1 – 0.3 saniye aralığında oluşturulmuştur. Arızalar eş zamanlı olduklarından sadece R00 rölesi Bara 6'da 0.1 saniyede oluşan arızayı 211.5 ms içerisinde temizlemiştir (Şekil 14). DIFF 3 rölesi Hat 3'te 0.1 saniyede oluşan arızayı 110.3 ms içerisinde temizlemiştir (Şekil 16). RE2 rölesi açma sinyali üretmemiştir çünkü DIFF 3 rölesi DIROC rölesinden daha hızlı çalışmıştır. Böylece DIFF 3 rölesi RE2 tarafındaki hattı açtığından şebeke RE2 tarafında açık hale gelmiştir.



**Şekil 15:** RE2 rölesinin Bara 6'daki LLLG arızasını tespit etmesi ancak açma sinyali üretmemesi





**Şekil 16:** DIFF 3 rölesinin Hat 3'te oluşan LLLG arızasını tespit etmesi ve açma sinyali üretmesi

## Ek-6

# BEDAŞ 6-BARALI KAPALI RİNG MODELİNİN OPAL-RT HİL SİSTEMİ İÇERİSİNDE GERÇEK ZAMANLI SİMÜLASYONUNUN OLUŞTURULMASI

## BEDAS 6-Baralı Sistemin OPAL-RT ile Gerçek Zamanlı Simülasyonu

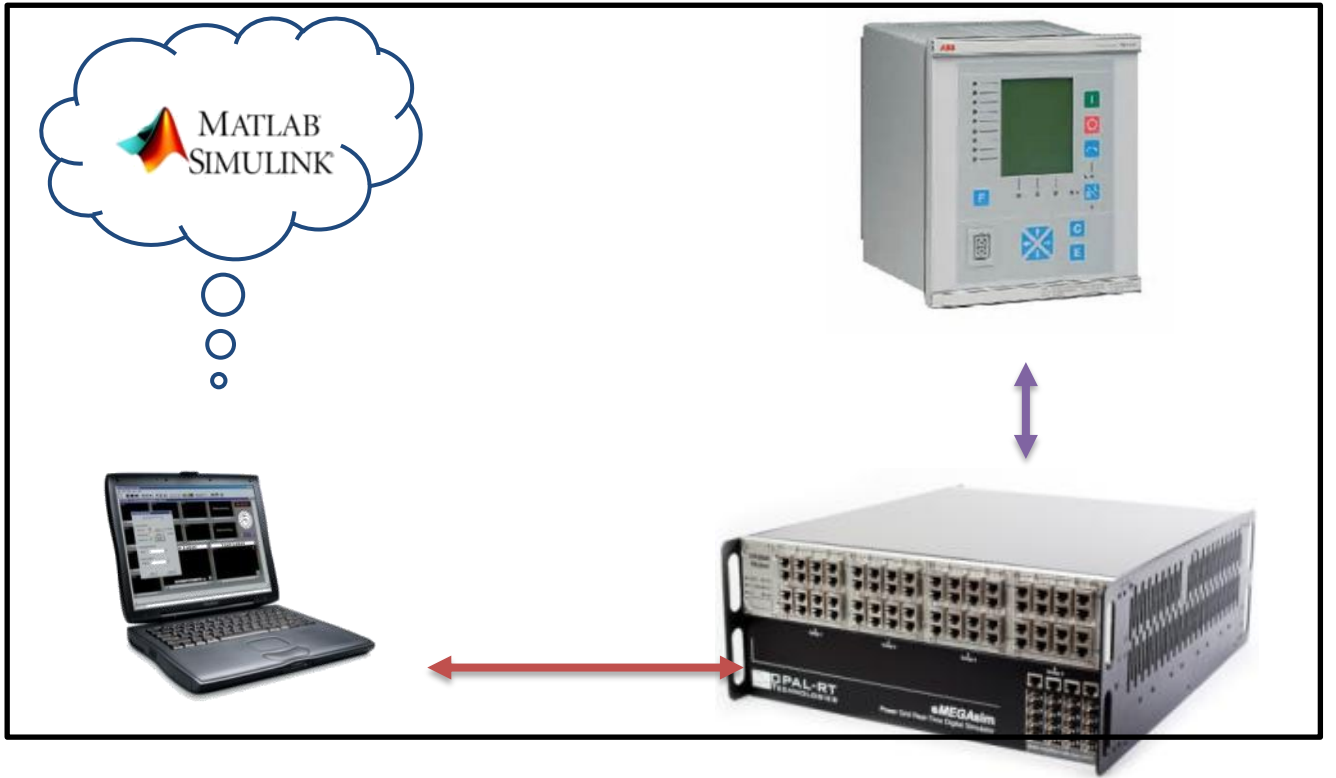
---

### İçindekiler

- **OPAL-RT sisteminin tanıtımı**
  - Model Konfigürasyonu**
  - Alt sistemlere ayırma**
  - Alt sistemlerin isimlendirilmeleri**
  - OpComm bloklarının eklenmesi**
  - Paralel işlemlerin maksimize edilmesi**
  - Simülasyon parametrelerinin girilmesi**
  - Off-line çalışma**
- **Konfigürasyonda karşılaşılan problemler**
- **Model oluşturma**
- **Model Yükleme**
- **Model Çalıştırma**
- **Modelin test edilmesi**

## ➤ OPAL-RT Sisteminin Tanıtılması

RT-LAB OPAL-RT mühendislik firması tarafından üretilen ürünlerden birisidir. RT-LAB güç sistemleri, güç elektroniği, otomotive ve havacılık sektörlerinde kullanılan bir simütatördür. RT-LAB MATLAB/SIMULINK ile uyumludur ve sistemlerin gerçek zamanlı simülasyonu ve kontrolünde hızlı çözümler sunmaktadır. Böylece, kompleks sistemlerin tasarım, uygulama ve test aşamaları hızlandırılabilir. Gerçek zamanlı simülasyon sisteminin ana bileşenleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1:** Gerçek zamanlı simülasyon sisteminin ana bileşenleri.

➤ **Çevrimde gerçek bir cihazın bulunmasının (Hardware in the loop [HIL]) ana amaçları:**

- ✓ HIL test sisteminin ana faydası tasarım aşamasında problemlerin erkenden bulunması ve ürün geliştirme süresinin kısaltılabilmesidir. Böylece toplam maliyet azaltılabilir.
- ✓ Ayrıca, sorunlar tasarım aşamasında daha erken görüldüğünden projenin gecikme riski azaltılabilir.
- ✓ Özet olarak, tasarım aşamasının başında daha fazla ve daha iyi testler yapılabilmesi kompleks ürünlerin üretim maliyetlerini düşürebilir ve ürünün piyasaya çıkış süresini kısaltılabilir.

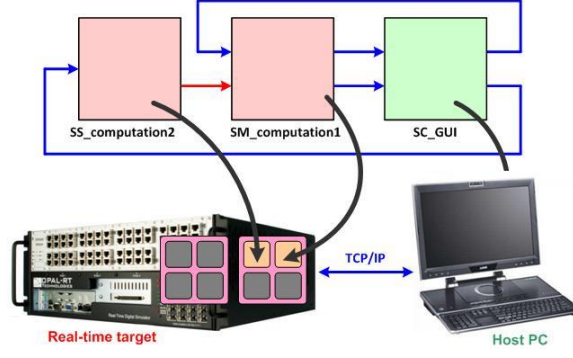
➤ **HIL sistemi kullanımında karşılaşılabilecek temel sorunlar:**

- ✓ Hızlı güç elektroniği sistemlerine sahip büyük şebekeler için HIL çözümleri geliştirmek.
- ✓ Aynı anda esnekliği, hızı ve ölçeklenebilirliği elde etmek.

➤ **Model Konfigürasyonu**

RT-LAB'da bir Simulink modelini geliştirmek için yapılması gerekenler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. **Alt sistem grupları oluşturması:** tüm sistemin alt sistem gruplarına ayrılması ile daha hızlı bir simülasyon yapılabilir. Hesaplamalarda kullanılan ana sistem SM\_modelismi ile isimlendirilirken oluşturulan alt sistem SS\_modelismi olarak isimlendirilir. Grafikselle kullanıcı ara yüzü ve ölçümler için kullanılan modellere SC\_modelismi şeklinde isimlendirilir. SS alt sistem sayısını artırmak toplam modeli farklı hesaplama bloklarına (core) paylaştıracaktır. Böylece daha hızlı bir simülasyon elde edilebilecektir. Kullanılan farklı RT-LAB modelleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



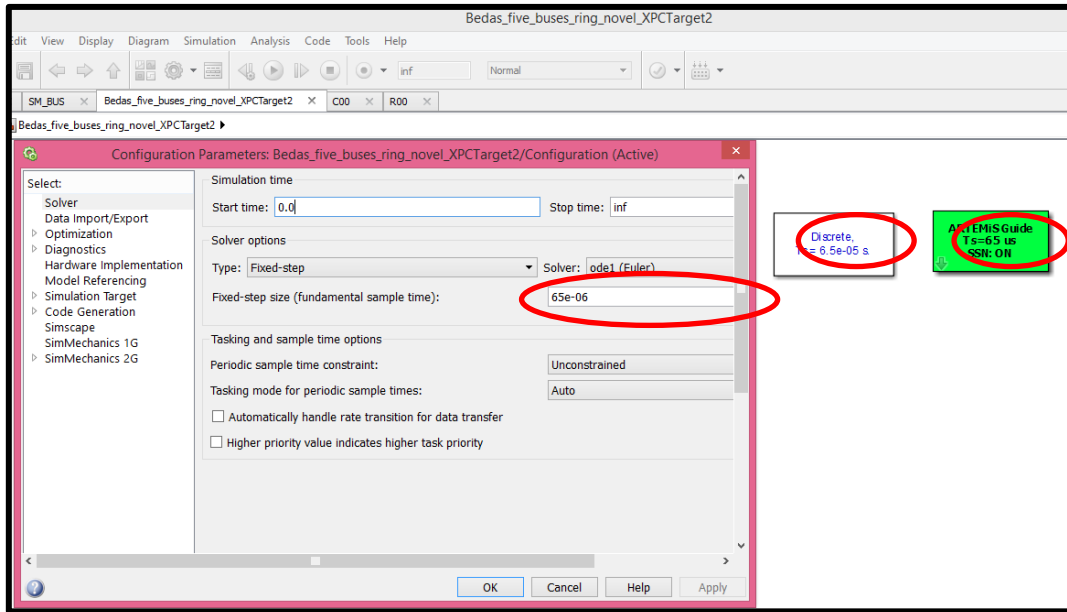
**Şekil 2:** Farklı RT-LAB modelleri.

2. **Alt sistemlerin isimlendirilmesi:** GUI alt sistemi: SC\_modelismi ana bilgisayarda hesaplama alt sistemi ile asenkron olarak çalışır. Bu alt sistem osiloskop, anahtar, gösterge ve sabit bloklarını içerir. Bunun yanında hesaplama alt sistemi modelin tüm hesaplama bileşenleri, matematiksel işlemleri, I/O bloklarını, sinyal üreteçlerini ve fiziksel modelleri içerir.
3. **OpComm bloklarının eklenmesi:** OpComm blokları iki hesaplama alt sistemi ve hesaplama alt sistemi ile GUI alt sistemi arasındaki haberleşmeyi sağlar. Diğer bir ifade ile, tüm alt sistem girişleri bir OpComm bloğundan geçmek zorundadır. Böylece, sinyaller üzerinde işlemler yapılabilir. Bir OpComm bloğu 25 girişe kadar çoklu girişe imkan tanımaktadır.
4. **Paralel işlemin maksimize edilmesi:** OPAL-RT sisteminde bulunan tüm hesaplama blokları (cores) kullanıldığında modelin oluşturulması ve hesaplamalar çok hızlı bir şekilde yapılabilir. Tüm işlemin eldeki hesaplama bloklarına (core) dağıtılması iki şekilde yapılabilir: ilk olarak modeli alt sistemlere bölmektir, ikinci yol hafıza bloğu (Memory block) kullanarak seri işlemin geciktirilmesidir.
5. **Simülasyon parametrelerinin girilmesi:** Simülasyonların yapılabilmesi için sabit adımlı çözüm metotlarından birisinin kullanılması zorunludur. Bu bilgi simülasyon model konfigürasyonu penceresinden girilebilir.

6. **Off-line çalışma:** Geliştirilen model ilk olarak off-line (simülasyon programında) çalıştırılarak hatalar görülebilir. Bu hatalar çözüldükten sonra, RT-LAB araç kutusunda bazı yardımcı bloklar kullanılarak geliştirilen model OPAL-RT içerisine yüklenebilir.

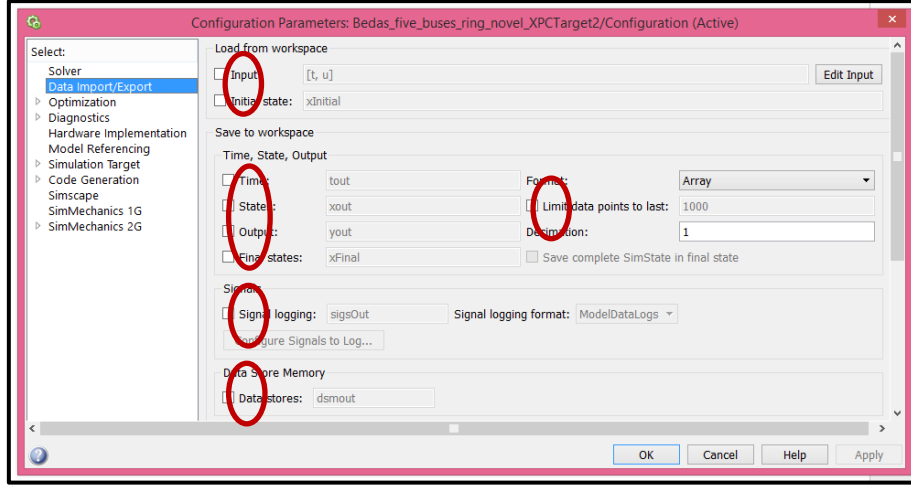
### ➤ Konfigürasyon sırasında oluşan problemler

1. **Örnekleme zamanı (Ts):** Geliştirilen modeli Simulink programında çalıştırmadan veya RT-LAB ile OPAL-RT sistemine yüklemeyen önce hem ARTEMIS bloğundaki hem de Power GUI bloğundaki ve SIMULINK programında bulunan model konfigürasyon parametrelerindeki örnekleme zamanı (Ts) parametresinin kontrol edilmesi önemlidir. Şekil 3'te Ts parametresinin kontrol edileceği noktalar belirtilmiştir.



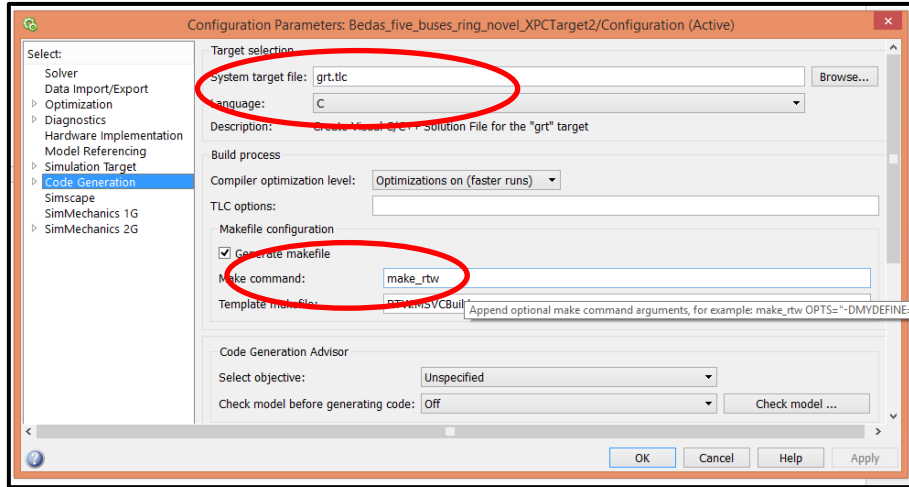
Şekil 3: Örnekleme zamanının (Ts) kontrol edilmesi.

2. **Verinin dışarıdan alınması/dışarıya aktarılması ekranı:** Bu ekrandaki tüm seçenekler boş olmalıdır (Şekil 4). Böylece gerçek zamanlı çalışma sırasında veya modelin oluşturulması sırasında verinin kaydedilmesinden dolayı ortaya çıkabilecek sorunlar önlenecektir.



Şekil 4: Verinin dışarıdan alınması/dışarıya aktarılması ekranı.

3. **Kod üretme penceresi:** Şekil 5'te gösterilen bu pencerede sistem hedef dosyası (system target file) 'grt.tlc' olarak isimlendirilmek zorundadır. Dil olarak 'C' girilmeli ve 'Make Command' satırına "make\_rtw" girilmelidir.



Şekil 5: Kod üretim penceresi.

4. **RT-LAB güncelleme araçları:** Kullanılan bazı araç kutularının güncel olmaması durumunda sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden RT-LAB araç kutularının güncellenmesi gereklidir. Bizim çalışmamızda ARTEMIS araç kutusu ile bu sorun karşımıza çıkmıştır. ARTEMIS araç

kutusunu versiyon 7.1'den versiyon 7.2'ye yükselterek sorun çözülmüştür.

**5. MATLAB:** Başlangıçta kullanılan MATLAB 2013 versiyonu ile yaşanan problemler MATLAB 2014 versiyonu kullanıldığında ortadan kalkmıştır.

➤ **Model Oluşturma:** Model oluşturmak için 4 adım tamamlanmalıdır:

- 1) C kodununun üretilmesi
- 2) Retilen C kodunun transfer edilmesi
- 3) C kodununun derlenmesi
- 4) Geliştirilen modelin transfer edilmesi .

Şekil 6'da BEDAŞ 6 baralı sistem için oluşturulan model için elde edilen ekran çıktıları verilmiştir.

```
Model preparation and separation duration : 00h:02m:41s
----- Completed successfully -----

----- Generating C code -----
Using System Target File (TLC file) : rtlab_rtmodel.tlc...
Using Template Makefile (TMF file) : rtlab_rtmodel.tmf...
----- Generating bedas_five_buses_rin_1_sm_bus C code -----

----- Starting compilation -----
Start at : Thursday, March 31, 2016, 19:03:10
The current RT-LAB version is: v11.0.5.499
The current model is: C:\Users\Mohammed\Desktop\Workspace_OPAL_1\NEW\models\Bedas_five_buses_ring_novel_XPCTarget2\Bedas_five_buses_ring_novel_XPCTarget2.mdl
The current host platform is: Windows
The current target platform is: Redhat
The current compiler is: Automatic
Preparing original model for code separation and generation...
The current Matlab version is: v8.1 (32 Bit)

bedas_five_buses_rin_1_sm_bus : Generating C code duration : 00h:03m:13s
Generating C code total duration : 00h:03m:13s
----- Completed successfully -----

----- Creating the parameter database -----
Parameter(s) with more than 20 values will be disabled.
Use PARAM_VECTOR_SIZE_LIMIT environment variable to modify this limit.
Parameter database creation duration: 00h:00m:00s
----- Parameter database created successfully -----

----- Creating the signals database -----
Signal(s) with more than 20 values will be disabled.
Use SIGNALS_VECTOR_SIZE_LIMIT environment variable to modify this limit.
Signal database creation duration: 00h:00m:01s
----- Signal database created successfully -----
Generating simulation data...
Data generated in 00h:00m:01s

Closing Matlab... OK.
Updating dependencies... OK.

----- Validating sources files -----
----- Done validating source files -----
```



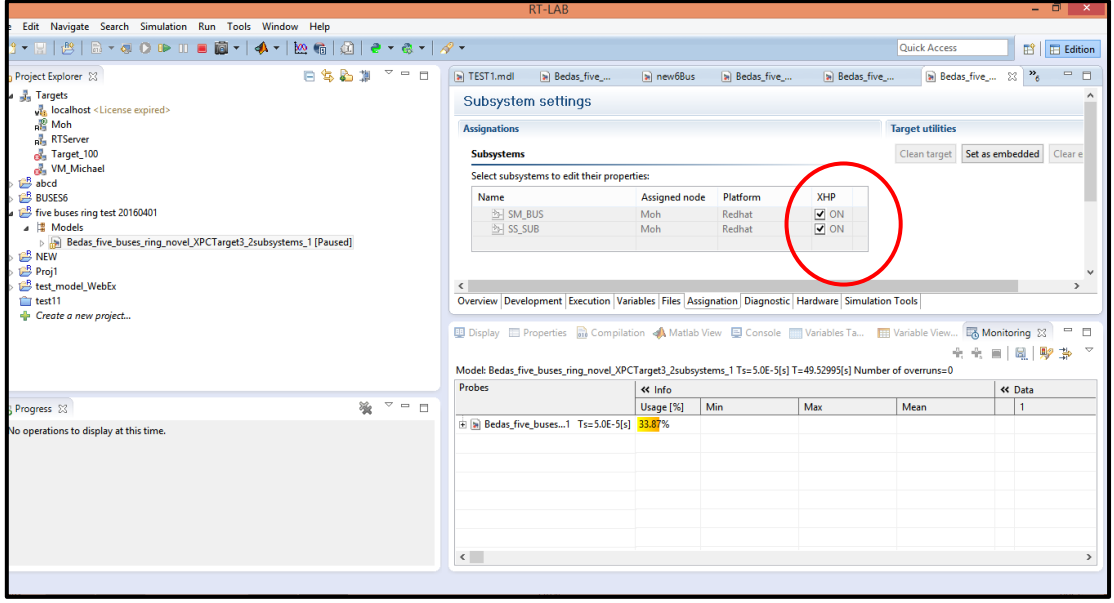
```
----- Transferring the generated C code -----  
  
Transferring user extra files:  
Transferring in binary: C:\OPAL-RT\ARTEMIS\v7.0.2.795\art_r2013a\lib\redhawk\artemis_RT702795r2013ar.a (SM_BUS) ... OK.  
  
File transfer duration : 00h:00m:08s  
----- Completed successfully -----  
  
----- Building the generated C code -----  
  
Executing script /usr/opalrt/v11.0.5.499/common/python/rtlab/global/target_precompile.py ... done  
Removing relative includes from ../bedas_five_buses_ring_novel_xpctarget2_sm_bus/model_main.c ... Done  
Executing script /usr/opalrt/v11.0.5.499/common/python/rtlab/global/target_subsys_precompile.py ... done  
  
----- Building bedas_five_buses_rin_1_sm_bus -----  
  
bedas_five_buses_rin_1_sm_bus : Building subsystem duration : 00h:00m:15s  
  
Building model total duration : 00h:00m:16s  
----- Completed successfully -----  
  
----- Transferring the built model -----  
Connecting to 192.168.10.101 ... OK.  
Transferring in binary mode /home/mohammed_ytu/c/users/mohammed/desktop/workspace_opal_1/new/models/bedas_five_buses_ring_novel_xpctarget2/bedas_five_buses_ring_novel_1  
Transferring in ascii mode /home/mohammed_ytu/c/users/mohammed/desktop/workspace_opal_1/new/models/bedas_five_buses_ring_novel_xpctarget2/compilation_target_report.xml  
  
File transfer duration : 00h:00m:02s  
----- Completed successfully -----  
  
End at : Thursday, March 31, 2016, 19:11:09  
  
Compilation duration : 00h:07m:59s  
  
Updating status for next build...OK
```

Şekil 6: RT-LAB’da model oluşturma adımları.

### ➤ Modelin Yüklenmesi

Modelin OPAL-RT sistemine yüklenmesinden önce XHP modu gibi bazı özelliklerin düzenlenmesi gereklidir.

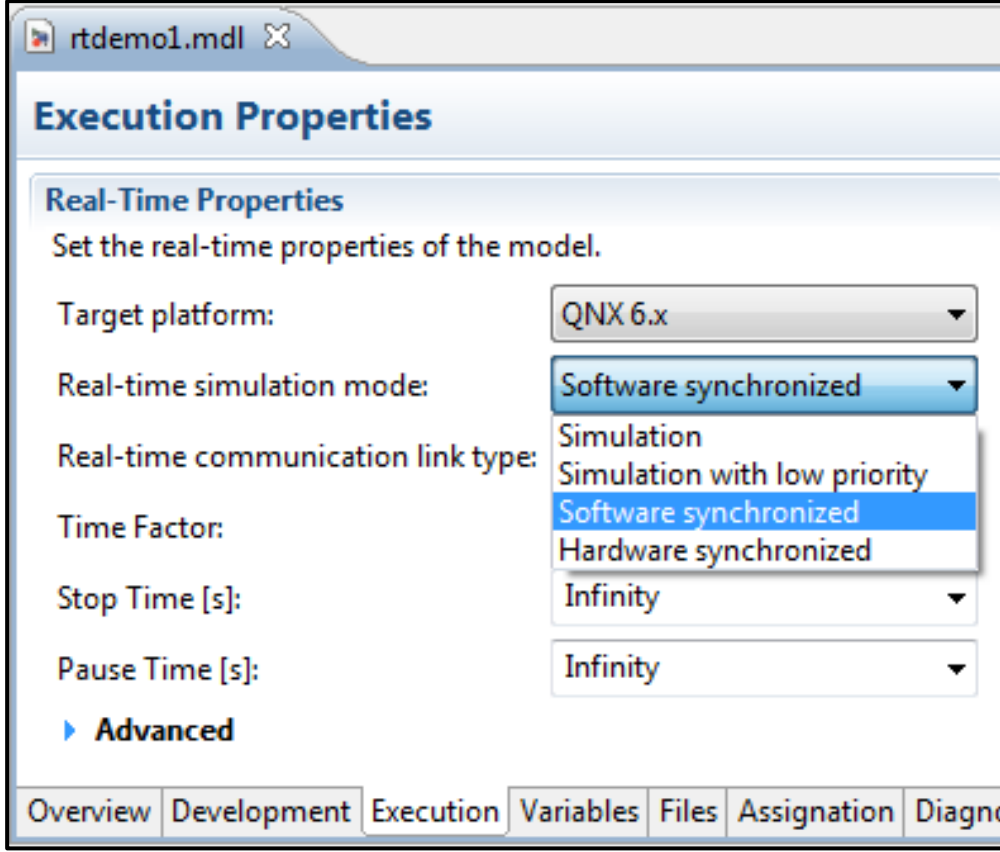
XHP (eXtreme High Performance) aşırı yüksek performans anlamına gelmektedir. “XHP” modu Şekil 7’de gösterildiği ‘on’ hale getirilmelidir. Böylece gerçek zamanlı simülasyon 50us veya daha düşük adımlarla yapılabilir ve her bir adımdaki hesaplamalar güvenilir ve hızlı bir şekilde yapılabilir.



Şekil 7: Model yükleme ekranı.

### ➤ Modelin Çalıştırılması

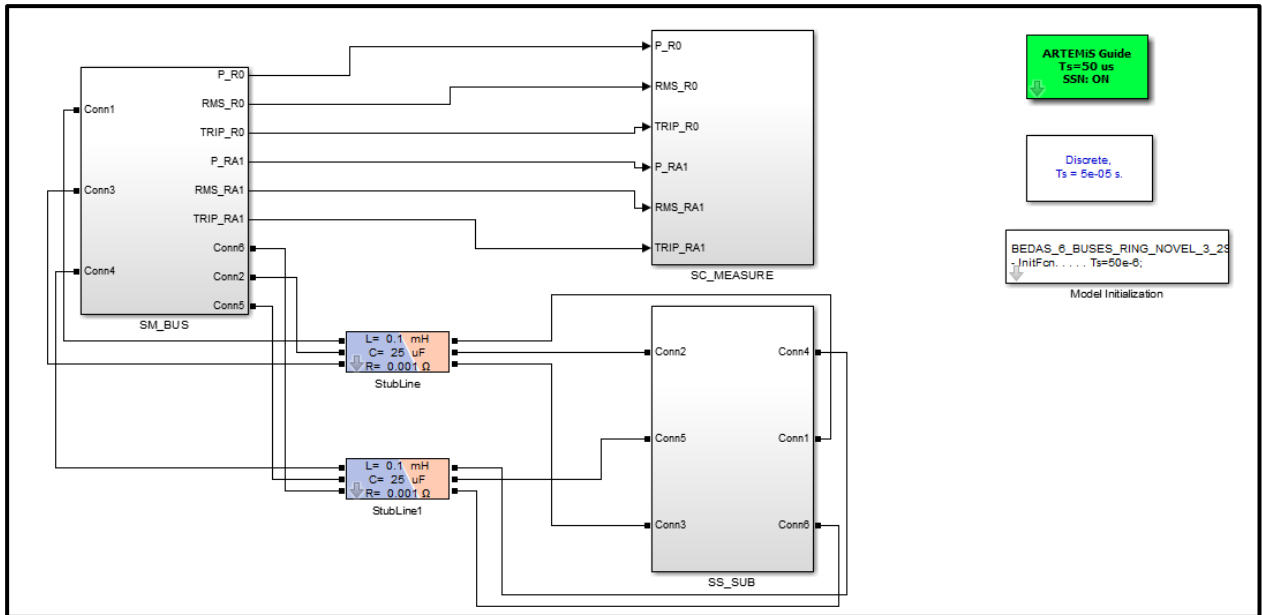
Modelin gerçek zamanlı simülasyonun çalıştırılması için aşağıda gösterildiği gibi uygun simülasyon modu seçilmelidir. Farklı simülasyon modları Şekil 8’de gösterilmiştir. Geliştirdiğimiz modelde, “Software synchronized” modu seçilmiştir. Ancak, geliştirilen model OPAL-RT sistemine yüklendikten sonra “Hardware synchronized’ modu seçilebilir.



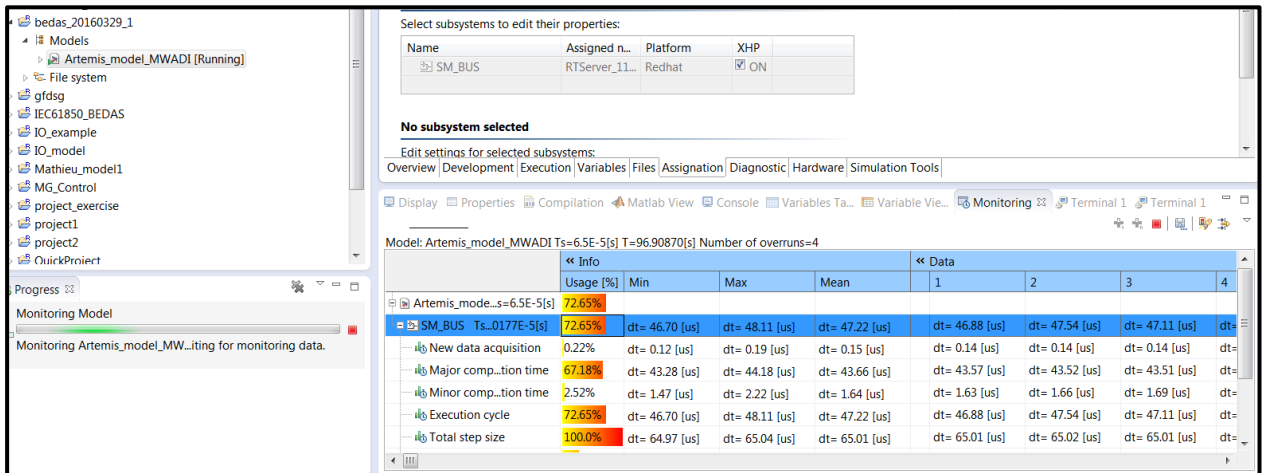
**Şekil 8:** Farklı simülasyon modlarının seçildiği ekran.

## **Modelin Test Edilmesi**

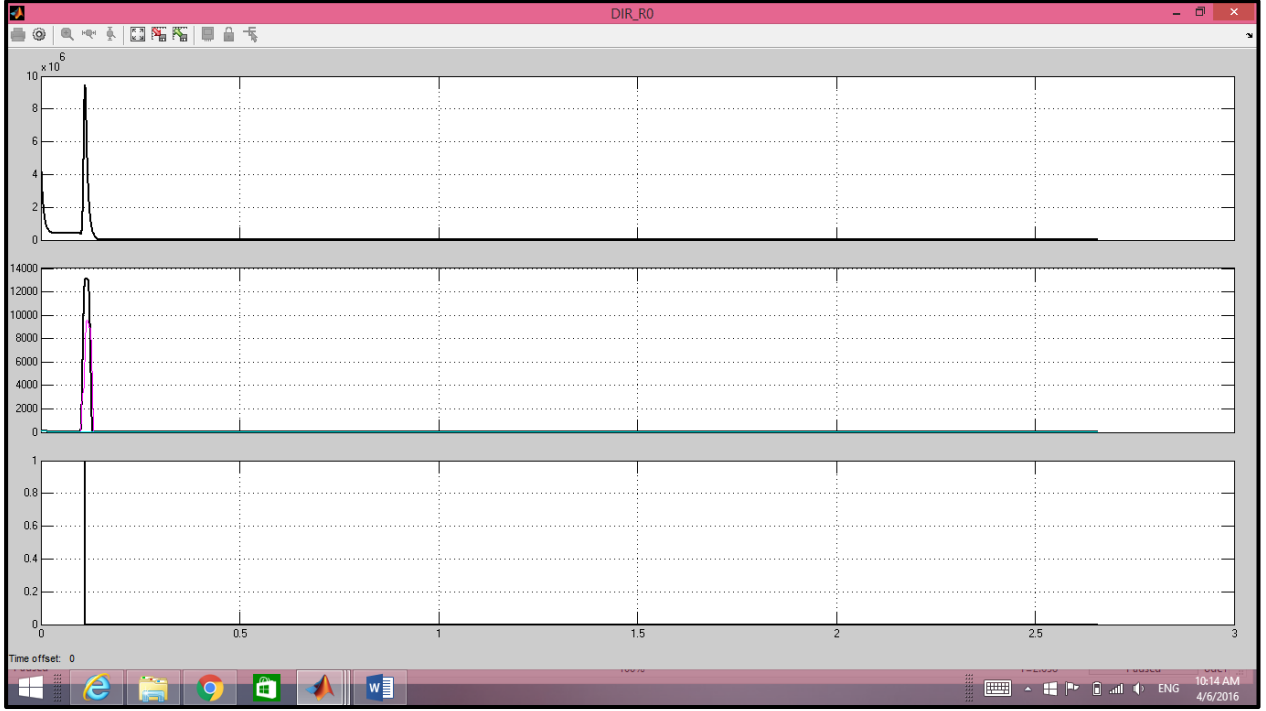
Bu kısımda, BEDAŞ 6-baralı sistemine ait modelin hem OPAL-RT sisteminde gerçek zamanlı simülasyon sonuçları hem de Simulink programında (off-line) elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 9'da BEDAŞ 6 baralı sisteme ait model verilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.



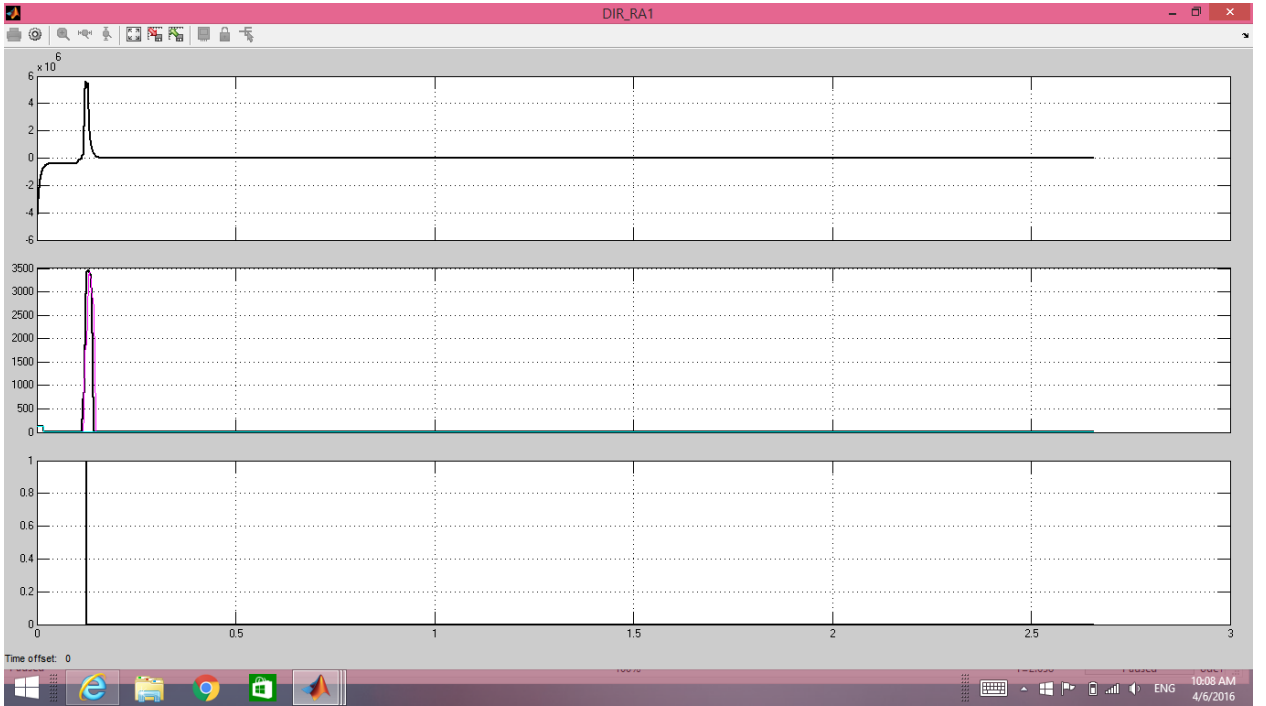
Şekil 9: BEDAS 6-Baralı sistem modeli.



Şekil 10: BEDAS 6-Baralı sistemin test sonuçları.



**Şekil 11:** R0 yönlü röleye bağlı osiloskop bloğundan alınan çıktı.



**Şekil 12:** RA1 yönlü röleye bağlı osiloskop bloğundan alınan çıktı.

## **Ek-7**

### **OPAL RT HIL DONANIMI İÇERİSİNDE IEC 61850 PROTOKOLÜNÜN KULLANIMI**

#### **1. Projede neden IEC 61850 kullanılmıştır?**

Proje kapsamında geliştirilen koruma algoritması (felsefesi) HIL (Hardware in the loop-çevrim içi gerçek sistemin kullanıldığı simülasyon çalışması) ile doğrulanacaktır. Bu amaçla, projede kapsamında temin edilen OPAL-RT gerçek zamanlı simulator kullanılacak ve önerilen koruma algoritmasının bir dağıtım sisteminde uygulanması gerçek zamanlı olarak çalıştırılacaktır.

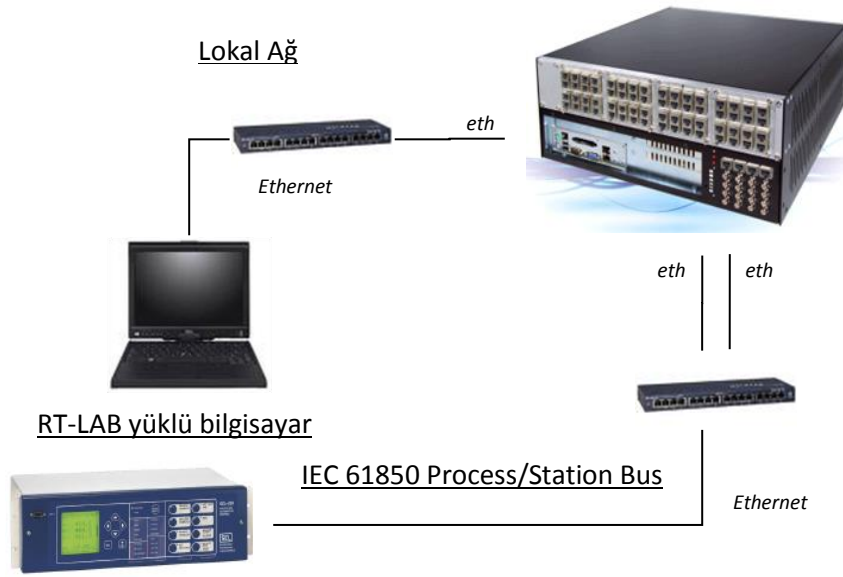
Koruma algoritmasının test edilebilmesi için test siteminde SEL 751 koruma rölesi HIL sisteminde dışarıdan bağlanan eleman olarak kullanılacaktır. Kullanılan OPAL-RT sisteminin çıkışları ya dijital sinyaller ya da çok düşük değerli analog sinyallerdir. Bu nedenle, OPAL-RT tarafından koruma rölelerinde kullanılan 1A veya 5A'lık giriş sinyalleri üretilmemektedir. Çözüm olarak OPAL-RT sistemi ile gerçek röle arasında bir amplifikatör kullanımı düşünülmüştür. Ancak, proje bütçesinde amplifikatör alımı öngörülmediğinden ve oldukça pahalı olan amplifikatör alımı yapılamamıştır.

OPAL-RT sistemi IEC 61850 standardını kullanabilen bir sistemdir ve proje çalışması için gerekli olan röleler arası haberleşme sinyallerinin IEC 61850 protokolü üzerinden iletilmesi mümkündür. Bu nedenle, proje çalışmasında IEC 61850 haberleşme protokolü kullanılmıştır. IEC 61850 haberleşme protokolü koruma, kontrol, izleme, ölçüm ve test amaçlı kullanılabilen bir protokoldür.

#### **2. OPAL-RT sisteminde IEC 61850 kullanımı**

IEC 61850 standardının IEC 61850-8-1 kısmında karşılıklı haberleşme ve GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events-Genel nesne tabanlı alt istasyon olayları) bileşenleri tanımlanmıştır. GOOSE ile bir ağ üzerinde bulunan diğer cihazlar tarafından kullanılmak üzere cihazın durum bilgisi, kontrol durumu ve ölçüm değerleri (akım ve/veya gerilim) gibi bilgiler otomatik olarak ağa aktarılmaktadır. Bu mesajlar GOOSE üzerinden pek çok kez tekrarlandığı için ağda bulunan diğer cihazların bu mesajları alma olasılığı da yükselmektedir.

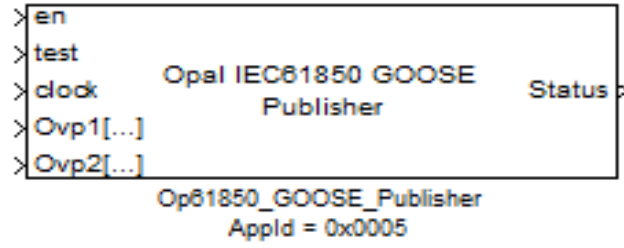
IEC 61850 GOOSE ile durum bilgisi, kontrol bilgisi ve ölçüm değerleri gibi bilgiler ağda bulunan cihazlar arasında hızlı ve uygun bir şekilde transfer edilebilmektedir. GOOSE tabanlı haberleşme alt istasyon koruma ve otomasyon sistemlerinde kullanılan kablolu haberleşme yapısına göre daha hızlıdır. Bu yüzden, gerçek zamanlı dijital bilgi röleler arasında hızlı bir şekilde paylaşılabilir. Proje çalışmasında OPAL-RT ile SEL 751 cihazı arasında GOOSE tabanlı haberleşme gerçekleştirilmiştir. OPAL-RT ile SEL 751 rölesi arasında IEC 61850 protokolüne göre yapılan bağlantı Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** OPAL RT ile SEL 751 rölesinin IEC 61850 protokolüne göre bağlantısı

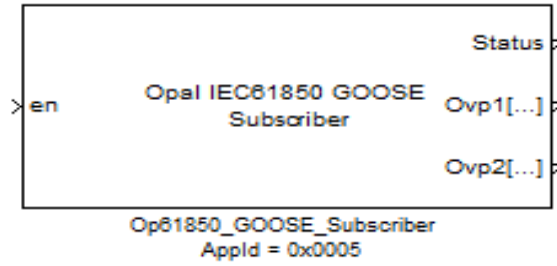
MATLAB’de bulunan OPAL-RT araç kutusunda geliştirilen MATLAB modeli ile gerçek bir cihaz arasındaki haberleşmeyi sağlamak amacı ile tanımlanmış GOOSE blokları vardır. Bu bloklar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. IEC 61850 GOOSE Yayınlayıcısı: Bu blok IED kontrolü için “Station Bus” a GOOSE mesajı göndermek için kullanılır.



**Şekil 2:** GOOSE yayımlayıcı bloğu

2. IEC 61850 GOOSE “SUBSCRİBER”: Bu blok “STATION BUS” tan gelen mesajları almak ve bu mesajları Simulink modeline ulaştırmak için kullanılır.



**Şekil 3:** GOOSE Subscriber Block

Bu blokların detaylı açıklamaları MATLAB’de bulunan RT-LAB araç kutusu yardım sayfasında verilmiştir.

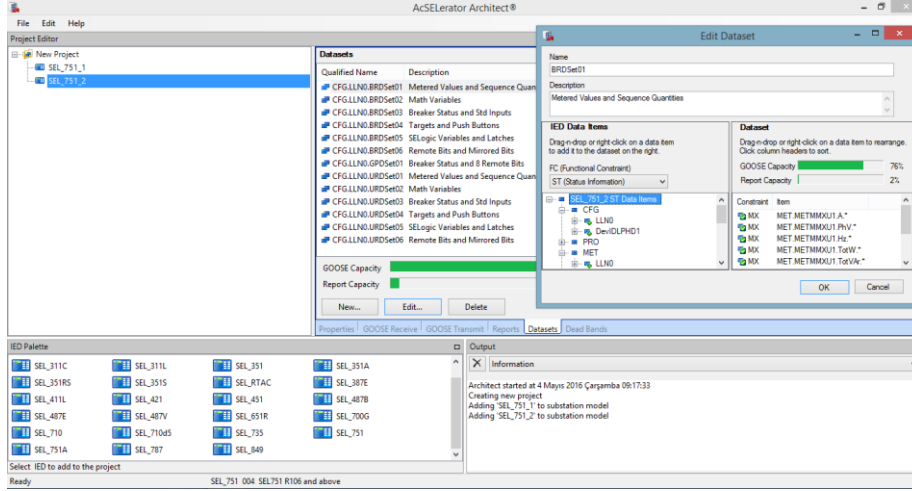
### 3. Konfigürasyon İşlemleri

Projede SEL 751 röle ile OPAL-RT sistemi arasındaki haberleşmenin test edilmesinde bazı zorluklarla karşılaşmıştır. GOOSE üzerinden haberleşmeyi sağlayabilmek için aşağıda verilen adımlar izlenmiştir:

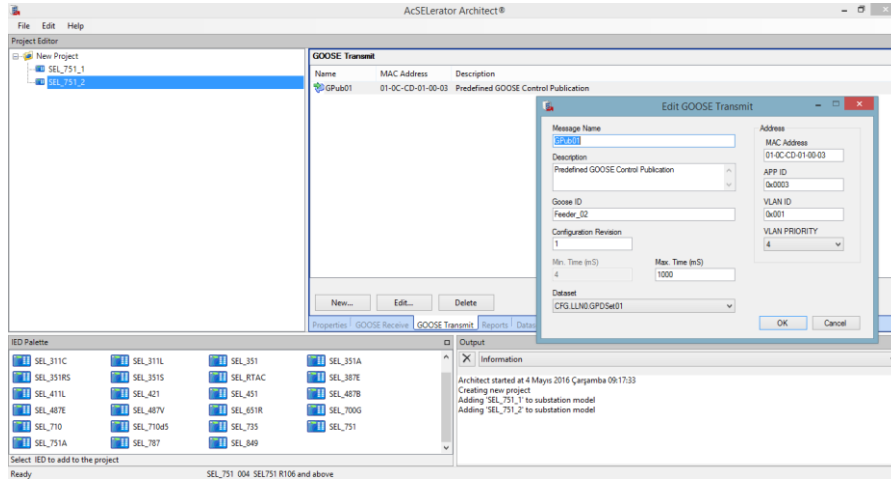
1. Röleden ICD (SEL\_751\_1) dosyası alınmıştır.
2. Alınan ICD dosyası AcSELErator Architect programına aktarılmıştır.
3. OPAL-RT simülatörünün içerisinde CID(SEL\_751\_2) dosyası oluşturulmuştur.
4. Veri kümesini düzenlemek etmek için “AcSELErator Architect” kullanılmıştır. Röleler ile model arasında veri gönderilmesi ve alımı ile ilgili GOOSE mesajları Şekil 4 (a-c)’de verilmiştir.
5. AcSELErator Architect veri setlerini, GOOSE mesaj iletim ve mesaj alım parametrelerini ayarlamak için kullanılmıştır (Şekil 4(a)-(c)). Böylece GOOSE mesajları röleler (simülasyon modeli ve gerçek röle) arasında gönderilebilmektedir.



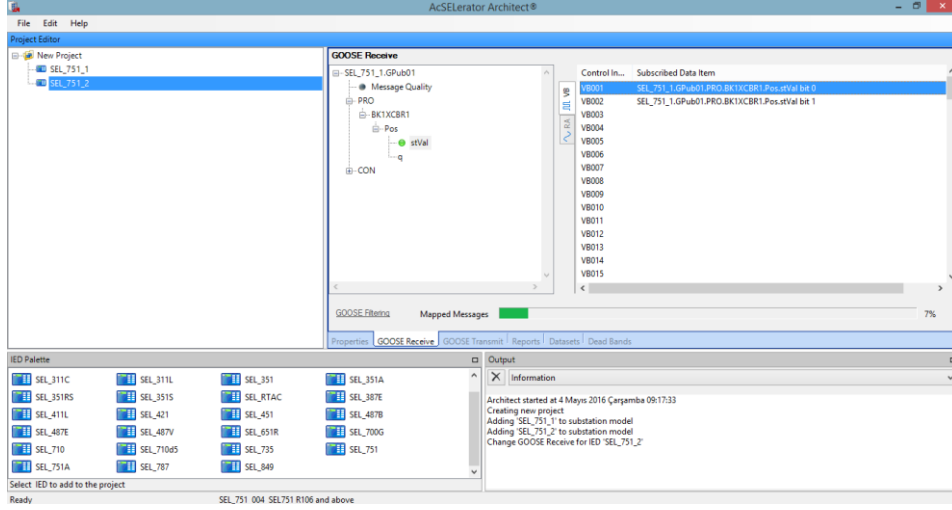
6. AcSELeRator üzerinden gerçek rölenin CID modeli OPAL-RT simülörde bulunan röle modeline gönderilmiştir.
7. Röle modeli için oluşturulan CID dosyası röle modeline aktarılmıştır.



Şekil 4(a) Veri seti konfigürasyonu.

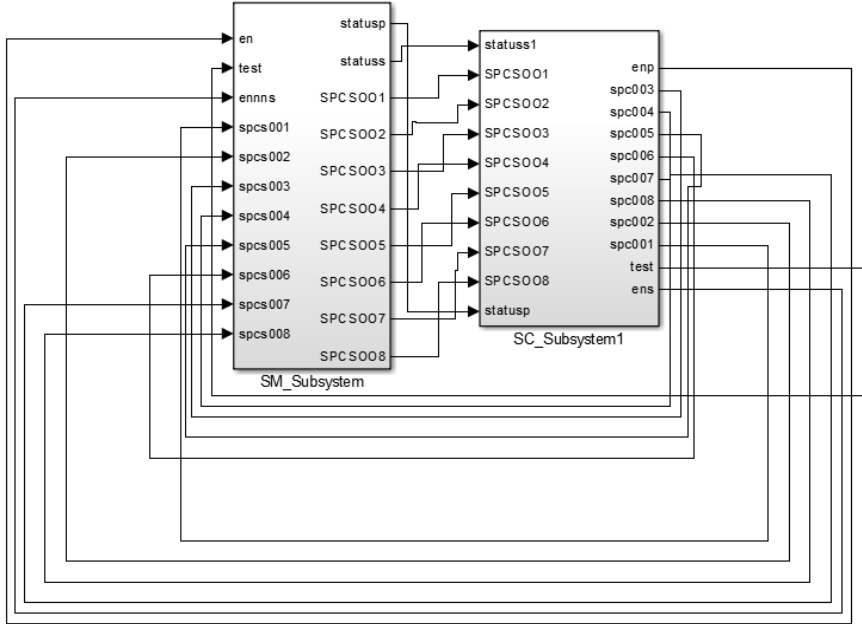


Şekil 4(b) GOOSE mesaj iletim parametreleri



Şekil 4(c) GOOSE mesaj alma parametreleri

Haberleşmenin test edilmesi için geliştirilen SM ve SC blokları Şekil 5'te gösterilmiştir. SM ve SC blokları hakkında detaylı bilgi OPAL-RT kullanım kılavuzunda vardır.



Şekil 5. OPAL-RT ile SEL 751 rölesi arasındaki haberleşmeyi test etmek için geliştirilen SM ve SC blokları

#### **4. Karşılaşılan Problemler**

OPAL RT sistemi ile SEL 751 arasındaki haberleşme GOOSE üzerinden problemsiz bir şekilde yapılabilmektedir. Ancak, halen üzerinde çalışmamız gereken konular vardır:

- Gerekli bir durumda rölenin çalışması için gerekli trip (anahtarlama) sinyalleri GOOSE üzerinden gönderilebilmekte iken röle tarafından ölçülen gerilim ve akım bilgileri GOOSE üzerinden gönderilememektedir.
- Akım ve gerilim bilgilerini gönderebilmek için IEC 61850-9-2’de detayları verilen örneklenmiş değer (SM)’in kullanılması gerekmektedir. SEL 751 rölesi örneklenmiş değeri desteklememektedir. Bu problemin iletişim bloklarının simülasyon modeline tam olarak entegre edilmesinden önce çözülmesi gereklidir.

## **Ek-7**

### **OPAL RT HIL DONANIMI İÇERİSİNDE IEC 61850 PROTOKOLÜNÜN KULLANIMI**

#### **1. Projede neden IEC 61850 kullanılmıştır?**

Proje kapsamında geliştirilen koruma algoritması (felsefesi) HIL (Hardware in the loop-çevrim içi gerçek sistemin kullanıldığı simülasyon çalışması) ile doğrulanacaktır. Bu amaçla, projede kapsamında temin edilen OPAL-RT gerçek zamanlı simulator kullanılacak ve önerilen koruma algoritmasının bir dağıtım sisteminde uygulanması gerçek zamanlı olarak çalıştırılacaktır.

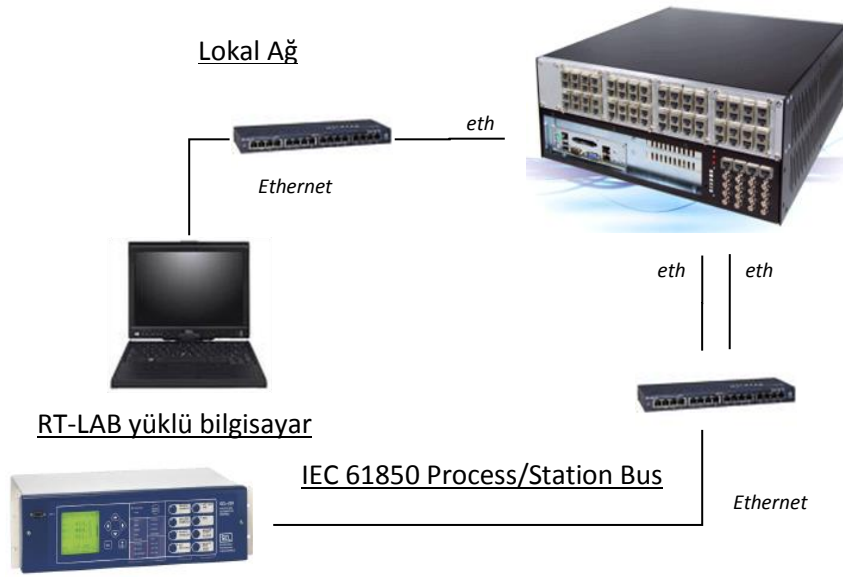
Koruma algoritmasının test edilebilmesi için test siteminde SEL 751 koruma rölesi HIL sisteminde dışarıdan bağlanan eleman olarak kullanılacaktır. Kullanılan OPAL-RT sisteminin çıkışları ya dijital sinyaller ya da çok düşük değerli analog sinyallerdir. Bu nedenle, OPAL-RT tarafından koruma rölelerinde kullanılan 1A veya 5A'lık giriş sinyalleri üretilmemektedir. Çözüm olarak OPAL-RT sistemi ile gerçek röle arasında bir amplifikatör kullanımı düşünülmüştür. Ancak, proje bütçesinde amplifikatör alımı öngörülmediğinden ve oldukça pahalı olan amplifikatör alımı yapılamamıştır.

OPAL-RT sistemi IEC 61850 standardını kullanabilen bir sistemdir ve proje çalışması için gerekli olan röleler arası haberleşme sinyallerinin IEC 61850 protokolü üzerinden iletilmesi mümkündür. Bu nedenle, proje çalışmasında IEC 61850 haberleşme protokolü kullanılmıştır. IEC 61850 haberleşme protokolü koruma, kontrol, izleme, ölçüm ve test amaçlı kullanılabilen bir protokoldür.

#### **2. OPAL-RT sisteminde IEC 61850 kullanımı**

IEC 61850 standardının IEC 61850-8-1 kısmında karşılıklı haberleşme ve GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events-Genel nesne tabanlı alt istasyon olayları) bileşenleri tanımlanmıştır. GOOSE ile bir ağ üzerinde bulunan diğer cihazlar tarafından kullanılmak üzere cihazın durum bilgisi, kontrol durumu ve ölçüm değerleri (akım ve/veya gerilim) gibi bilgiler otomatik olarak ağa aktarılmaktadır. Bu mesajlar GOOSE üzerinden pek çok kez tekrarlandığı için ağda bulunan diğer cihazların bu mesajları alma olasılığı da yükselmektedir.

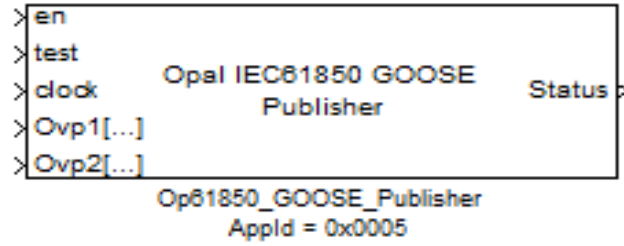
IEC 61850 GOOSE ile durum bilgisi, kontrol bilgisi ve ölçüm değerleri gibi bilgiler ağda bulunan cihazlar arasında hızlı ve uygun bir şekilde transfer edilebilmektedir. GOOSE tabanlı haberleşme alt istasyon koruma ve otomasyon sistemlerinde kullanılan kablolu haberleşme yapısına göre daha hızlıdır. Bu yüzden, gerçek zamanlı dijital bilgi röleler arasında hızlı bir şekilde paylaşılabilir. Proje çalışmasında OPAL-RT ile SEL 751 cihazı arasında GOOSE tabanlı haberleşme gerçekleştirilmiştir. OPAL-RT ile SEL 751 rölesi arasında IEC 61850 protokolüne göre yapılan bağlantı Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** OPAL RT ile SEL 751 rölesinin IEC 61850 protokolüne göre bağlantısı

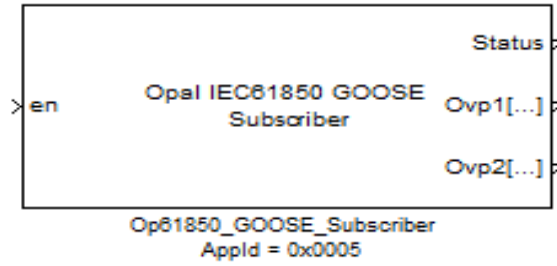
MATLAB’de bulunan OPAL-RT araç kutusunda geliştirilen MATLAB modeli ile gerçek bir cihaz arasındaki haberleşmeyi sağlamak amacı ile tanımlanmış GOOSE blokları vardır. Bu bloklar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. IEC 61850 GOOSE Yayınlayıcısı: Bu blok IED kontrolü için “Station Bus” a GOOSE mesajı göndermek için kullanılır.



**Şekil 2:** GOOSE yayımlayıcı bloğu

2. IEC 61850 GOOSE “SUBSCRİBER”: Bu blok “STATION BUS” tan gelen mesajları almak ve bu mesajları Simulink modeline ulaştırmak için kullanılır.



**Şekil 3:** GOOSE Subscriber Block

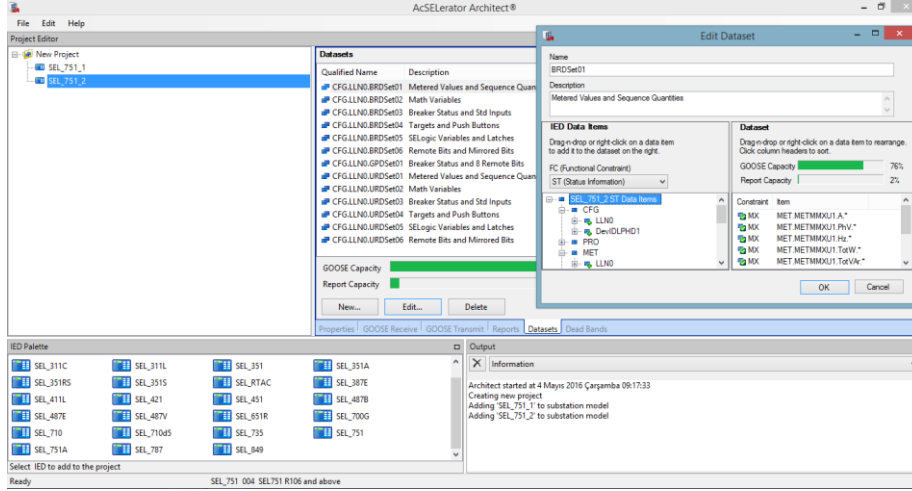
Bu blokların detaylı açıklamaları MATLAB’de bulunan RT-LAB araç kutusu yardım sayfasında verilmiştir.

### 3. Konfigürasyon İşlemleri

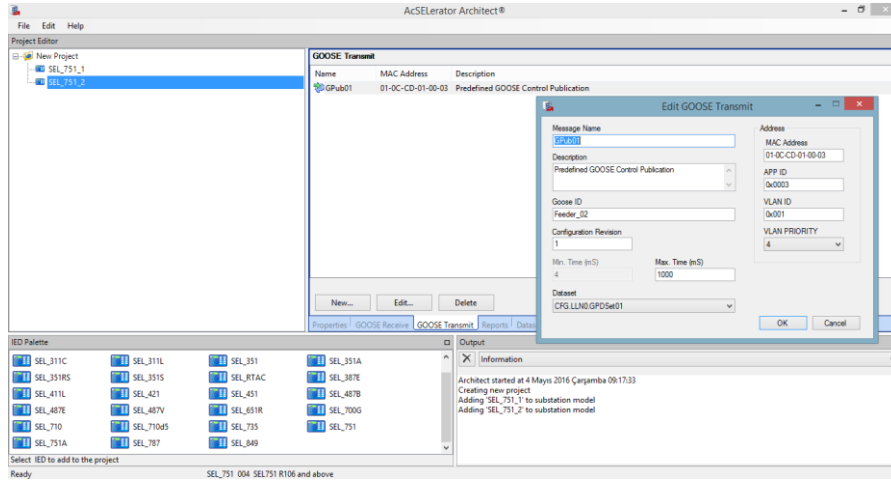
Projede SEL 751 röle ile OPAL-RT sistemi arasındaki haberleşmenin test edilmesinde bazı zorluklarla karşılaşmıştır. GOOSE üzerinden haberleşmeyi sağlayabilmek için aşağıda verilen adımlar izlenmiştir:

1. Röleden ICD (SEL\_751\_1) dosyası alınmıştır.
2. Alınan ICD dosyası AcSELErator Architect programına aktarılmıştır.
3. OPAL-RT simülâtörünün içerisinde CID(SEL\_751\_2) dosyası oluşturulmuştur.
4. Veri kümesini düzenlemek etmek için “AcSELErator Architect” kullanılmıştır. Röleler ile model arasında veri gönderilmesi ve alımı ile ilgili GOOSE mesajları Şekil 4 (a-c)’de verilmiştir.
5. AcSELErator Architect veri setlerini, GOOSE mesaj iletim ve mesaj alım parametrelerini ayarlamak için kullanılmıştır (Şekil 4(a)-(c)). Böylece GOOSE mesajları röleler (simülasyon modeli ve gerçek röle) arasında gönderilebilmektedir.

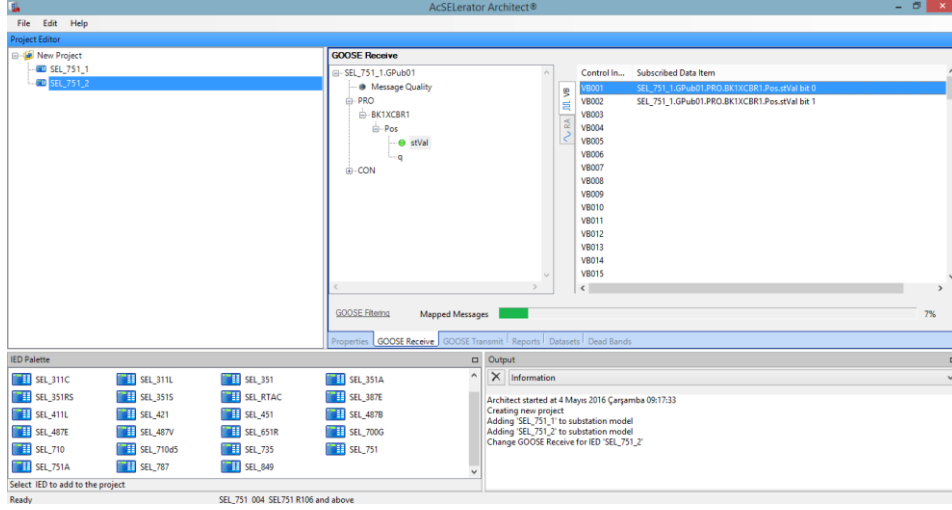
6. AcSELErator üzerinden gerçek rölenin CID modeli OPAL-RT simülörde bulunan röle modeline gönderilmiştir.
7. Röle modeli için oluşturulan CID dosyası röle modeline aktarılmıştır.



Şekil 4(a) Veri seti konfigürasyonu.

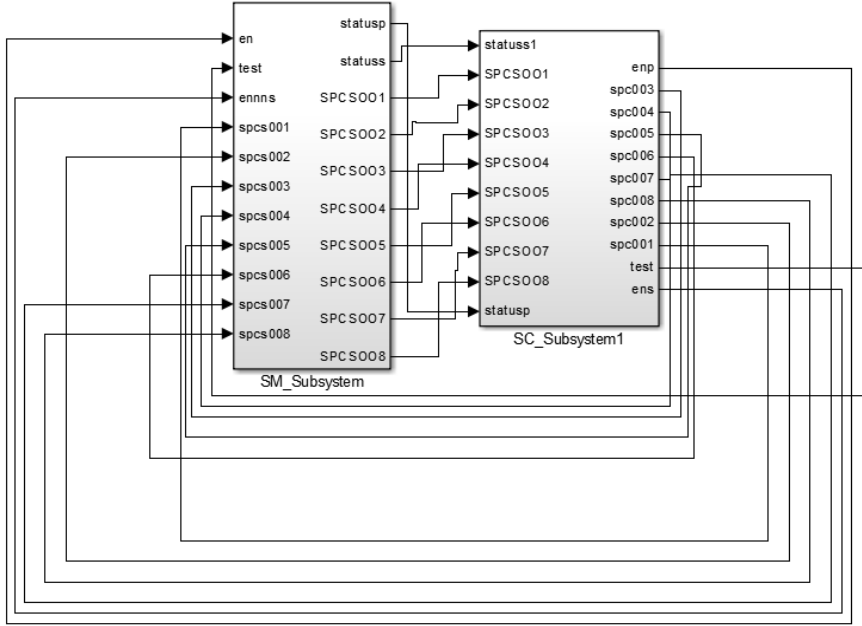


Şekil 4(b) GOOSE mesaj iletim parametreleri



Şekil 4(c) GOOSE mesaj alma parametreleri

Haberleşmenin test edilmesi için geliştirilen SM ve SC blokları Şekil 5’te gösterilmiştir. SM ve SC blokları hakkında detaylı bilgi OPAL-RT kullanım kılavuzunda vardır.



Şekil 5. OPAL-RT ile SEL 751 rölesi arasındaki haberleşmeyi test etmek için geliştirilen SM ve SC blokları



#### **4. Karşılaşılan Problemler**

OPAL RT sistemi ile SEL 751 arasındaki haberleşme GOOSE üzerinden problemsiz bir şekilde yapılabilmektedir. Ancak, halen üzerinde çalışmamız gereken konular vardır:

- Gerekli bir durumda rölenin çalışması için gerekli trip (anahtarlama) sinyalleri GOOSE üzerinden gönderilebilmekte iken röle tarafından ölçülen gerilim ve akım bilgileri GOOSE üzerinden gönderilememektedir.
- Akım ve gerilim bilgilerini gönderebilmek için IEC 61850-9-2’de detayları verilen örneklenmiş değer (SM)’in kullanılması gerekmektedir. SEL 751 rölesi örneklenmiş değeri desteklememektedir. Bu problemin iletişim bloklarının simülasyon modeline tam olarak entegre edilmesinden önce çözülmesi gereklidir.