

Enerji Dağıtım Şebekeleri için Adaptif Röle Koordinasyonu Tasarımı

Kemal Uğur^{1*}, Celal Fadıl Kumru¹

¹*Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye*

**(kemal.ugur@msb.gov.tr)*

Özet – Röle koordinasyonu, son yıllarda güç sistemlerinde önem kazanan başlıca çalışma alanlarından biridir. Özellikle rüzgar ve güneş santralleri gibi dağıtık üretim tesislerinin orta gerilim üzerinden sisteme bağlanmaları dağıtım sistemlerinin kontrolünü daha da karmaşık hale getirmiştir. Bu kaynakların sıklıkla devreye girip çıkmaları ve anahtarlama amacıyla gerçekleştirilen manevralar sistemin elektriksel yapısını değiştirdiği için röle koordinasyonun her bir durum için tekrardan yapılandırılması gerekmektedir. Aksi halde, bir arıza durumunda sistemde istenmeyen ve hatalı açma durumlarıyla karşılaşılması kaçınılmazdır. Bu nedenle, özellikle dağıtım şebekelerinde adaptif röle koordinasyonu sağlanması sistemin daha kararlı çalışmasına olanak sağlayacaktır. Bu çalışmada, 34.5 kV dağıtım şebekesinden beslenen ring yapıdaki bir orta gerilim tesisinde, değişen işletme koşulları için arıza analizleri gerçekleştirilmiş olup röle koordinasyonunda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Saha verileri kullanılarak modellenen tesisin şebekeden, generatörden ve şebeke+generatörden beslenmesi durumları için arıza analizleri yapılarak röle açma süreleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, ring şebekenin belirli noktalardan açılarak işletilmesi durumunda röle açma sürelerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar besleme kaynağındaki değişimin, arıza yerinin ve ring şebekenin açıldığı baranın röle açma değerlerini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermektedir. Bu nedenle, klasik koruma sisteminin ve röle koordinasyonunun değişen işletme koşullarına hızlı biçimde adapte olacak şekilde tekrardan yapılandırılması önem arz etmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar kullanılarak SQL ile bir veri tabanı oluşturulmuş ve C+ da kodlanan bir yazılım yardımıyla, değişen her bir durum için röle ayar değerlerini hesaplayan bir ara yüz tasarlanmıştır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen çalışma orta gerilimden beslenen ve geleneksel koruma altyapısına sahip tesislerin adaptif koruma sistemine geçmesi için yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler – Adaptif Koruma, Röle Koordinasyonu, Selektivite, Enerji Dağıtımı, Arıza Analizi

I. GİRİŞ

Ülkemizdeki elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir bölümü hidroelektrik ve termik santrallerden karşılanmakta olup son yıllarda yenilenebilir enerji santralleri de önemli ölçüde güç sistemi içerisinde yer almaya başlamıştır. Elektrik üretim santrallerinde orta gerilim (OG) seviyesinde üretilen elektrik enerjisini, tüketimin gerçekleştiği uzak mesafelere taşıyabilmek için gerilim seviyesi güç transformatörleri aracılığıyla yüksek gerilim (YG) seviyesine çıkarılmaktadır. Yüksek gerilimli elektrik enerjisi, üretildiği bölgeden enerji iletim hatlarıyla ihtiyaç duyan farklı bölgelere iletilerek

şalt merkezlerinde tekrar OG seviyesine ve sonrasında da alçak gerilim (AG) seviyesine indirilerek dağıtılmaktadır [1]. Üretimden tüketime kadarki süreç içerisinde en karmaşık elektriksel altyapıya sahip olan kısımlardan biri OG dağıtım sistemidir. Özellikle rüzgar ve güneş santralleri gibi dağıtık üretim tesislerinin (DÜT) dağıtım sistemi üzerinden güç sistemine bağlanmaları konvansiyonel şebeke yapısını değiştirmektedir. DÜT'lerin sayılarının fazla olması ve de çok sık devreye girip çıkmaları nedeniyle şebeke yapısı dinamik olarak günde birden fazla kez dahi değişebilmektedir. Bu durumda kararlılık, kısa devre ve özellikle selektivite gibi elektriksel

hesaplamaların değişen her bir şebeke durumu için tekrardan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aksi halde, herhangi bir arıza durumunda, koruma röleleri değişen şebeke yapısına göre tekrardan ayarlanmadığı için beklenen seviyede bir koruma sağlayamayacak olup bu durum, ciddi anlamda teknik ve ekonomik kayıpların oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle iletimde ve dağıtımda kullanılan koruma röle koordinasyonunun adaptif olarak sağlanması, güç sistem kararlılığının ve enerji sürekliliğinin korunması adına oldukça önemlidir [1], [2].

Elektrik dağıtım sistemindeki koruma rölelerinin temel görevi, arızayı ve arıza tipini tespit edip gerekli açma sinyalinin üretmektir. Böylelikle, herhangi bir arıza durumunda arızalı bölgenin sistemden ayrılarak, arızasız bölümlerin enerjisiz kalmasının engellenmesi amaçlanmaktadır. Bütün bu görevlerin yerine getirilmesi, şebeke yapısına uygun koruma röle koordinasyonu konusunu ön plana çıkartmaktadır. Doğru bir röle koordinasyonu, sistem güvenilirliği ile birlikte arızadan kaynaklı kayıpların da azaltılmasına katkı sağlamaktadır [1], [3]–[5]. Ancak, mevcut bir dağıtım şebekesindeki koruma rölelerin parametreleri doğru ayarlanırsa dahi, işletme sırasında oluşabilen veya planlı konfigürasyon değişimleri, dağıtım sistemindeki yeniden yapılandırmalar, DÜT'lerin ve/veya generatörlerin sisteme ilave edilmesi, yaz-kış dönemlerinde talep edilen enerji değişimlerine bağlı manevralar, rüzgar ve buz yükünün oluşturabileceği etkiler gibi birçok nedenden dolayı hatalı çalışma durumları ortaya çıkabilmektedir.

Bu tip durumların önüne geçmek adına adaptif koruma üzerine literatürde pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar temelde, özellikle güç sistemindeki belirsizlikler, arızalar ve değişikliklerin varlığında koruma eylemlerinin güvenilirliğini, seçiciliğini ve hızını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bunun için yapay zeka, makine öğrenme ve bulanık mantık gibi yöntemler kullanarak karar verme süreçlerini değişen sistem koşullarına göre ayarlayabilen yeni koruma algoritmaları geliştirilmektedir [5]–[9]. Bu tip çalışmalarda genellikle IEEE 14 baralı güç sistemleri kullanılmakta olup gerçek saha verilerinin kullanıldığı çalışmaların sayısı azdır. Bununla birlikte, koruma röleleri ile diğer cihazlar arasında gerçek zamanlı olarak veri alışverişi yapmak için farklı haberleşme protokolleri ve

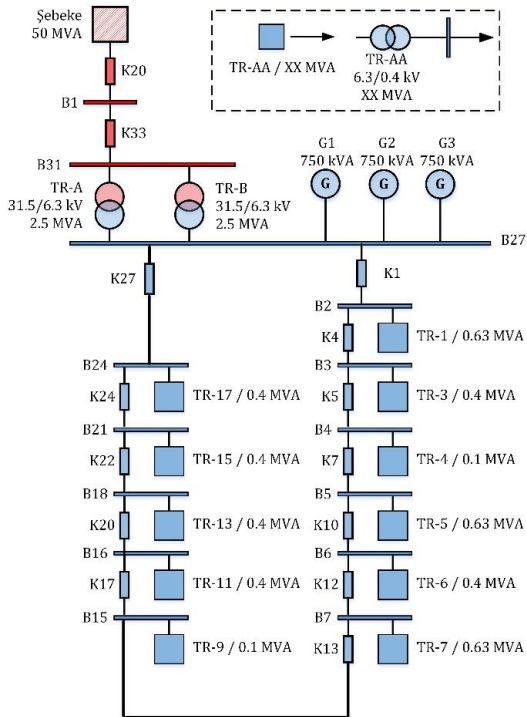
stratejileri üzerine de çalışmalar gerçekleştirilmiştir [10]. Tüm bu çalışmalarda temel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını ve diğer DÜT'leri adaptif koruma planlarına entegre etmenin zorlukları ve fırsatları araştırılmaktadır. Ancak adaptif koruma ve röle koordinasyonu konusunda incelenmesi gereken konulardan biri de geleneksel dağıtım şebekelerinde karşılaşılan anomali durumlarıdır [11]. Özellikle ring biçiminde tasarlanmış şebekelerin belirli bir noktadan açılarak iki paralel radyal fider biçiminde işletilmesi başlıca karşılaşılan anomali durumlarından biridir. Bu tip şebeke yapılarıyla, özellikle işletme personelinin ring şebekede hatalı manevra yapmaktan çekindiği yerlerde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, radyal bir şebekenin işletilmesi ring şebekeye göre kısmen daha basit olduğu için ring şebeke herhangi bir noktadan açılarak iki paralel fider biçiminde işletilmektedir. Bu tip bir durumda güç akış yönü ve kısa devre empedansı ring şebekenin ayrıldığı noktaya göre değişiklik gösterecektir. Dolayısıyla, güç akış yönü ve şebekenin kısa devre empedansı değişeceği için yeni şebeke topolojisine göre hesaplamalarının tekrardan yapılması ve röle ayar değerlerinin güncellenmesi gerekmektedir. Benzer bir durum ile ring bir şebekede bakım yapıldığı esnada karşılaşmak mümkündür. Bakım amacıyla ring şebekenin ayrıldığı bir esnada, sistemde bir arıza meydana gelmesi durumunda, röle koordinasyonu ring şebekeye göre tasarlanmadığı için hatalı açmalar ve/veya arıza akımının zamanında kesilememesi gibi durumlarla karşılaşabilmektedir [12]. Bu tip durumların önüne geçilmesi için öncelikli olarak koruma rölelerinin sistemin anlık ve değişen yapısına uygun hale getirilmesi ve sistemdeki her türlü değişimi algılayarak ilgili parametre değişimlerini gerçekleştirebilmesi gerekmektedir [3], [13], [14]. Bu noktada yetersiz kalan klasik koruma sistemleri yerini adaptif (değişime uyumlu) koruma sistemlerine bırakmaya başlamıştır. Adaptif koruma sistemleri, sahip olduğu birden çok ayar grubu sayesinde, koruma rölesinin koruduğu bölgenin durumuna göre koruma ayar parametrelerinin değişimini sağlamaktadır. Böylece koruma sistemi farklı işletme durumlarına uyum sağlayarak koruma sisteminin hatalı çalışma ihtimalini minimuma indirebilmektedir. Adaptif koruma sistemleri sahip oldukları bu dinamik yapı sayesinde, klasik koruma sistemleri ile karşılaştırıldığında daha seçici ve güvenilir koruma

sunmaktadır [14], [15]. Bu nedenle günümüzde elektrik dağıtım firmaları ve kendi enerjisini üreten işletmeler klasik koruma sistemleri yerine adaptif koruma sistemlerine yönelmeye başlamışlardır.

Bu çalışmada, saha verileri alınan ring yapıdaki bir OG dağıtım şebekesinin farklı kaynaklardan beslenmesinin röle açma süreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaynak olarak şebeke, generatör ve şebeke+generatör durumları için tüm baralarda arıza analizleri gerçekleştirilmiş ve her bir durum için röle açma süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, ring şebekenin belirli bir noktadan açılması durumunda röle açma sürelerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Sonuç olarak, şebeke kaynağının değişmesi ve ring şebekenin herhangi bir sebeple belirli bir noktadan açılması durumunda röle açma sürelerinde ciddi değişimler meydana gelmektedir. Bu nedenle, güç sisteminde kaynak veya bağlantı olarak meydana gelen her bir değişim için röle koordinasyonunun tekrardan yapılması ve mevcut duruma göre röle parametrelerinin tekrardan ayarlanması güç sistem kararlığı bakımından önem arz etmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Dağıtım sistemi, hali hazırda işletmede olan ve işletme koşullarındaki değişimlerin izlenebileceği bir tesisten gerçek veriler alınarak modellenmiş olup Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. OG dağıtım sistemi tek hat şeması

Şekil 1’den görüldüğü üzere, dağıtım sistemi 34.5 kV şebekeye bağlı iki adet 2.5 MVA gücündeki 34.5/6.3 kV nominal gerilimli dağıtım transformatöründen beslenmektedir. Ayrıca, B27 barasına üç adet, 6.3 kV nominal gerilimli ve 750 kVA gücünde dizel generatör bağlıdır. Bu baradan, yaklaşık 9 km uzunluğundaki 1x95/16 mm² XLPE kablolar ile ring biçiminde muhtelif güçlerdeki 11 adet 6.3/0.4 kV, hermetik tip dağıtım transformatörü beslenmektedir. OG kablo uzunlukları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. OG kablo uzunlukları

Kablo No	Uzunluk [m]
K1	25
K4	534
K5	277
K7	610
K10	2770
K12	1055
K13	570
K17	470
K20	285
K22	610
K24	420
K27	700

Tek hat şeması üzerinde 34.5 kV gerilimli kısımlar kırmızı, 6.3 kV’luk kısımlar ise mavi renk ile belirtilmiş olup tüm ekipmanların plaka ve etiket bilgileri sahadan alınmıştır. Tesiste ileri senkron uygulaması olup, şebeke enerjisi kesildiğinde generatörler otomatik olarak devreye girmekte, şebeke enerjisi geri geldiğinde faz ve frekans kontrol edilerek generatörler ile senkronlanmakta ve soğuma süresi sonunda generatörler devreden çıkmaktadır. Bu tesisin işletilmesinde, üç farklı besleme durumu ile karşılaşılmaktadır.

- Şebeke (ŞB)
- Generatör (GN)
- Şebeke + Generatör (ŞBGN)

Dağıtım sistemi, verilen farklı işletme modlarında çalışmakta olup arıza durumlarında rölelerin açma yapmadığı, geç açtığı veya hatalı açma yaptığı durumlarla karşılaşılmıştır. Bu nedenle, her bir besleme durumu için arıza analizleri gerçekleştirilmiş ve röle açma süreleri tekrardan hesaplanmıştır. Röle açma süreleri, tüm baralarda arıza meydana gelmesi durumu için hesaplanmış olup tüm bağlantı senaryolarında kullanılması

gereken röle açma değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, ring şebekenin beslemeye yakın ve uzak noktadan açılması durumunda röle açma sürelerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Arıza hesaplamaları sonrasında röle açma süreleri Eşitlik 1’de verilen normal ters zamanlı açma eğrisi formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$t_{NI} = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0.02} - 1} \right] \cdot T_p \quad (1)$$

Burada, I_p akım ayar değerini, T_p zaman çarpanı ayar değerini, I arıza akımını ve t_{NI} röle açma zamanını ifade etmektedir.

III. RÖLE KOORDİNASYON ANALİZLERİ

A. Ring Şebeke Kapalı

Şekil 1’de tek hat şeması verilen tesis, ring şebeke modunda işletiliyorken ŞB, GN ve ŞBGN besleme durumlarının her biri için tüm baralarda arıza simülasyonu gerçekleştirilmiş olup B2, B4, B6, B15, B18 ve B21 baralarında arıza olması durumunda elde edilen röle açma süreleri sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 2. B2 ve B4 baralarında meydana gelen arızada farklı besleme kaynakları için hesaplanan röle açma süreleri

Arıza Noktası	Röle Açma Süreleri [sn]					
	B2			B4		
Bara No	ŞB	GN	ŞBGN	ŞB	GN	ŞBGN
B2	0.07	0.26	0.36	0.37	0.57	0.71
B3	0.22	0.41	0.51	0.22	0.42	0.56
B4	0.37	0.56	0.66	0.07	0.27	0.41
B5	0.52	0.71	0.81	0.22	0.42	0.56
B6	0.67	0.86	0.96	0.37	0.57	0.71
B7	0.82	1.01	1.11	0.52	0.72	0.86
B15	0.97	1.16	1.26	0.67	0.87	1.01
B16	1.12	1.31	1.41	0.82	1.02	1.16
B18	1.27	1.46	1.56	0.97	1.17	1.31
B21	1.42	1.61	1.71	1.12	1.32	1.46
B24	1.57	1.76	1.86	1.27	1.47	1.61
B27	0.22	0.56	0.51	0.52	0.72	0.86

Kaynağa yakın olan baradan itibaren arızanın ortaya çıkabileceği baralar değiştirilerek farklı arıza barası senaryoları irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, arızanın meydana geldiği barayı koruyan aşırı akım rölesinin açma süresinin kaynaktan uzaklaştıkça arttığı tespit edilmiştir.

Örneğin ana bara olan B27’nin ayarlanması gereken açma süresi arızanın meydana geldiği baranın bu baradan uzak bir barada meydana gelmesi durumunda artmaktadır. Arıza baralarını sırasıyla değiştirip kısa devre analizini gerçekleştirdiğimizde her bir arızalı baradaki açma süresi diğer baralardaki arıza durumu ile benzer açma süresine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. B6 ve B15 baralarında meydana gelen arızada farklı besleme kaynakları için hesaplanan röle açma süreleri

Arıza Noktası	Röle Açma Süreleri [sn]					
	B6			B15		
Bara No	ŞB	GN	ŞBGN	ŞB	GN	ŞBGN
B2	0.68	0.89	0.90	0.97	1.19	1.21
B3	0.53	0.74	0.75	0.82	1.04	1.06
B4	0.38	0.59	0.60	0.67	0.89	0.91
B5	0.23	0.44	0.45	0.52	0.74	0.76
B6	0.08	0.29	0.30	0.37	0.59	0.61
B7	0.23	0.44	0.45	0.22	0.44	0.46
B15	0.38	0.59	0.60	0.07	0.29	0.31
B16	0.53	0.74	0.75	0.22	0.44	0.46
B18	0.68	0.89	0.90	0.37	0.59	0.61
B21	0.83	1.04	1.05	0.52	0.74	0.76
B24	0.98	1.19	1.20	0.67	0.89	0.91
B27	0.83	1.04	1.05	1.12	1.34	1.36

Tablo 4. B18 ve B21 baralarında meydana gelen arızada farklı besleme kaynakları için hesaplanan röle açma süreleri

Arıza Noktası	Röle Açma Süreleri [sn]					
	B18			B21		
Bara No	ŞB	GN	ŞBGN	ŞB	GN	ŞBGN
B2	1.12	1.48	1.51	1.42	1.62	1.67
B3	0.97	1.33	1.36	1.27	1.47	1.52
B4	0.82	1.18	1.21	1.12	1.32	1.37
B5	0.67	1.03	1.06	0.97	1.17	1.22
B6	0.52	0.88	0.91	0.82	1.02	1.07
B7	0.37	0.73	0.76	0.67	0.87	0.92
B15	0.37	0.58	0.61	0.52	0.72	0.77
B16	0.22	0.43	0.46	0.37	0.57	0.62
B18	0.07	0.28	0.31	0.22	0.42	0.47
B21	0.22	0.43	0.46	0.07	0.27	0.32
B24	0.37	0.58	0.61	0.22	0.42	0.47
B27	1.27	1.63	1.66	1.57	1.77	1.82

Örneğin arızanın B3’te olması durumunda B3’ü koruyan aşırı akım rölesinin ayarlanması gereken açma süresi ile B7’de arıza meydana gelmesi durumundaki senaryoda B7’yi koruyan aşırı akım rölesinin açma süresi yaklaşık olarak aynıdır.

Arıza meydana gelen baranın değişmesi durumunda söz konusu arızalı baradan önce ve

sonra tüm baraları koruyan koruma elamanının açma sürelerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu durum ŞB modunda böyle iken GN ya da ŞBGN modları için tamamen farklı açma sürelerine ayarlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Örneğin B4'te arıza meydana geldiğinde B3'ün koruma elemanı 0.22 sn açma süresine ayarlanması gerekirken, B5'te arıza olması senaryosunda aynı B3 0.37 sn ye ayarlanması gerekecektir. B4 arızasında arızalı bu bara 0.07 sn ye ayarlanması gerekirken arıza B5'te ortaya çıktığında B4 0.22 sn ye ayarlanmalıdır.

Kaynağa uzak bir arıza ortaya çıkarsa; örneğin B21'deki bir arızada, B4 ŞB durumunda 0,82 sn'ye ayarlanmalıdır ki B4'te arıza meydana geldiğinde B21'in 1,12 sn ye ayarlandığı, bu B21 arızasında ise B21'in 0,07 sn ye ayarlanması gerektiği tespit edilmiştir. İki açma süresi arasında 16 kat gibi büyük bir fark vardır. Ayrıca ŞB, GN ya da ŞBGN durumları için birbirinden farklı ve ayrı ayrı koşullarda oluşan açma süreleri elde edilmiştir.

Bir arıza barasının arıza anında ŞB modunda koruma elamanının 0.07 sn ye ayarlanması, sadece generatörden besleniyorsa 0.28sn'ye, şebeke ve generatörden beslenmesi durumunda ise 0.32 sn'lik açma sürelerine ayarlanması gerektiği belirlenmiştir. Bu durumda 4 kata varan açma süresi farkları oluşmaktadır.

Koruma elemanlarının koruduğu sistemdeki işletme koşulları ile çalışma durumlarının değişmesi koruma sistemlerinin hatalı çalışmasına neden olmaktadır. Bu yüzden birden fazla işletme senaryosuna sahip olan, yüklenmeye bağlı işletme manevralarıyla nedeniyle beslenme şekli değişen dağıtım sistemlerine ait koruma sistemlerinin, bu değişikliklere uyum sağlaması için adaptif koruma sistemi tasarım metodları ile ele alınmasını gerektirmektedir.

B. Ring Şebeke Açık

Bu kısımda, bakım amacıyla ya da işletme personeli tarafından ring şebekenin herhangi bir noktadan açılması durumunda röle koordinasyonunda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Şekil 1'de verilen tek hat şemasında, ring şebekenin B27 ve B3 baralarından açılması durumunda hesaplanan röle açma süreleri Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. Ring şebekenin farklı noktalardan açılması durumunda B2 barasında oluşan bir arıza durumunda röle açma süreleri

Röle Açma Süreleri [sn]						
Ring Açılan Nokta	B27 – K1 Fideri			B3 – K4 Fideri		
Arıza Noktası	B2					
Bara No	ŞB	GN	ŞBGN	ŞB	GN	ŞBGN
B2	0.09	0.39	0.26	0.07	0.26	0.36
B3	0.24	0.54	0.41	-	-	-
B4	0.39	0.69	0.56	-	-	-
B5	0.54	0.84	0.71	-	-	-
B6	0.69	0.99	0.86	-	-	-
B7	0.84	1.14	1.01	-	-	-
B15	0.99	1.29	1.16	-	-	-
B16	1.14	1.44	1.31	-	-	-
B18	1.29	1.59	1.46	-	-	-
B21	1.40	1.74	1.61	-	-	-
B24	1.59	1.89	1.76	-	-	-
B27	1.74	2.04	1.91	-	-	-

B27 barasına bağlı K1 fideri enerjisizken B2 barası meydana gelen radyal hattın son kısmında kalmaktadır. Diğer bir ifadeyle, ring şebeke açıkken arızanın kaynağa uzak olması durumu incelenmiştir. Diğer senaryoda ise ring şebeke B3 barasından açılmaktadır. Bu durumda ise B2 barası kaynağa yakın durumda olmaktadır. Tablo 5'den görüldüğü üzere, her iki durum için de açma süreleri değişmektedir. Özellikle, GN ve ŞBGN modlarında röle açma süreleri arasındaki fark artmaktadır. Bu nedenle, ring şebekenin herhangi bir sebeple belirli bir baradan açılarak işletilmesi, geçici bir süre için dahi olsa, röle koordinasyonunda değişime neden olmaktadır.

IV. KULLANICI ARAYÜZ UYGULAMASI

Çalışma kapsamında, özellikle OG'den beslenen işletmelere rehber olması amacıyla farklı işletme koşulları için röle ayar değerlerinin belirlenebildiği bir arayüz tasarlanmıştır. Uygulamada ilk olarak güç sisteminin tek hat görseli oluşturulmalı ve yüklenmelidir. Bu çalışmada incelenen güç sistemine ait görsel Şekil 2'de sunulmuştur.

Sustain. Energy Rev., vol. 118, no. November 2019, p. 109524, 2020.

- [6] O. V. G. Swathika, S. Angalaeswari, V. A. Krishnan, K. Jamuna, and J. L. F. Daya, "Fuzzy Decision and Graph Algorithms Aided Adaptive Protection of Microgrid," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 1078–1084, 2017.
- [7] A. A. Bittencourt, M. R. De Carvalho, and J. G. Rolim, "Adaptive strategies in power systems protection using artificial intelligence techniques," *2009 15th Int. Conf. Intell. Syst. Appl. to Power Syst. ISAP '09*, pp. 1–6, 2009.
- [8] H. Lin, K. Sun, Z. H. Tan, C. Liu, J. M. Guerrero, and J. C. Vasquez, "Adaptive protection combined with machine learning for microgrids," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 13, no. 6, pp. 770–779, 2019.
- [9] A. I. Atteya, A. M. E. Zonkoly, and H. A. Ashour, "Optimal relay coordination of an adaptive protection scheme using modified PSO algorithm," *2017 19th Int. Middle-East Power Syst. Conf. MEPCON 2017 - Proc.*, vol. 2018-Febru, no. December, pp. 689–694, 2018.
- [10] D. Gutierrez-Rojas, P. H. J. Nardelli, G. Mendes, and P. Popovski, "Review of the State of the Art on Adaptive Protection for Microgrids Based on Communications," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 17, no. 3, pp. 1539–1552, Mar. 2021.
- [11] A. Laruhin, M. Nikandrov, and L. Slavutskii, "Anomalous modes recognizing secondary equipment in electric power industry: Adaptive neuro algorithms," *Proc. - 2019 Int. Ural Conf. Electr. Power Eng. Ural. 2019*, pp. 399–403, 2019.
- [12] T. S. S. Senarathna and K. T. M. Udayanga Hemapala, "Review of adaptive protection methods for microgrids," *AIMS Energy*, vol. 7, no. 5, pp. 557–578, 2019.
- [13] S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang, "For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 998–1027, 2011.
- [14] S. A. M. Javadian and M. R. Haghifam, "Implementation of a new protection scheme on a real distribution system in presence of DG," *2008 Jt. Int. Conf. Power Syst. Technol. POWERCON IEEE Power India Conf. POWERCON 2008*, 2008.
- [15] C. Sahin and A. Nadar, "Smart Distribution Automation System," *IEEE Natl. Conf. Electr. Electron. Comput. Eng.*, pp. 123–127, 2010.