

Yeni Nesil Elektrik Şebekeleri için Adaptif Koruma ve Röle Koordinasyonu Yaklaşımları

Adaptive Protection and Relay Coordination Approaches for Next Generation Electricity Networks

Yavuz Ateş¹, Ali Rifat Boynueğri¹

¹Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
yates@yildiz.edu.tr, alirifat@yildiz.edu.tr

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarını da içeren dağıtık enerji sistemlerinden oluşan yeni nesil şebeke sistemleri, günümüzde akıllı şebekeler kapsamında yüksek verimlilik, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik hususlarında önemli gelişmeler sağlamıştır. Bunun yanı sıra düşük elektriksel kayıplar ve çevre kirliliği sunması sayesinde de geleneksel merkezi elektrik enerjisi yapısına alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Akıllı şebekeler kavramı dikkate alındığında çözülmesi gereken en önemli hususlardan birisi evirici arayüzlü dağıtık üreteçlerden oluşan bu tarz şebekelerin özellikle de ada modundayken değişken ve belirsiz hata karakteristikleri göstermeleri nedeniyle mevcut geleneksel koruma sistemlerinin yetersiz kalmasıdır. Bu husus için literatürde çeşitli çözüm önerileri mevcuttur. Ancak mevcut çalışmalar incelendiğinde henüz dağıtık üretim tesisleri (distributed generation-DG) içeren şebekeler için güvenilir, genel kabul görmüş ve standart bir koruma tekniğinin bulunmadığı gözlenmiştir. Bu hususlar dikkate alınarak yapılan çalışma ile geliştirilen adaptif koruma stratejisi ile farklı yük ve dağıtık üretim tesislerini de içeren bir akıllı şebeke sistemindeki koruma ve röle koordinasyonu uygulaması, verimli ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Abstract

Nowadays, microgrids composed of distributed generators including renewable energy sources have appeared as alternative to conventional electrical energy structure in terms of higher efficiency, reliability, sustainability, lower electrical losses and environmental pollution. However, one of the most significant obstacles that prevent the widespread application of microgrids is the insufficiency of conventional protection systems due to their variable and indefinite fault characteristics especially in islanding mode of operation. In the literature, there exist several solution proposals for this issue. However, when investigated; it is observed that there is a lack of a reliable, widely accepted and standard protection technique in the literature. In this concept, the protection and control issues in a smart grid system including different loads and several sources with distributed generation units have efficiently been realized in this thesis by employing smart controller.

1. Giriş

Günümüzde dünya genelinde ön plana çıkan en önemli konulardan biri enerjidir. İnsanlığın en önemli ihtiyaçlarından biri haline gelen enerji alanında gelecek açısından fosil yakıtların tükenmekte olması gibi önemli bir tehlike karşımıza çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu problem karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talep her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla birlikte şebekeye entegrasyonu ve koruma sistemlerindeki değişime paralel olarak yeni fikirler ve çalışma alanları da ortaya çıkmıştır.

Günümüzde karşı karşıya olduğumuz yukarıda bahsi geçen sorunlara çözümler getirebilmek açısından uzun dönemli sürdürülebilir gelişme sağlayabilecek aksiyomların hayata geçirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji sistemi, yerel kaynakların etkin bir şekilde kullanıldığı, maliyet bakımından kabul edilebilir uygunlukta, güvenilir ve çevre dostu bir enerji sistemi olarak tanımlanabilir [1]. Sürdürülebilir bir enerji temini sağlanması açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, en verimli ve etkin çözümlerden biri konumunda bulunmaktadır [2,7]. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, dalga, jeotermal, vb. gibi her bir yenilenebilir enerji sisteminin farklı uygulamalarda bahsi geçen kaynağın kullanımını ön plana çıkartabilecek kendine özgü avantajları bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasının, ithal edilen enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltması, iletim ve dağıtım kayıplarını düşürmesi vb. birçok avantajı mevcuttur. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından neredeyse hiçbiri işletim esnasında gaz ya da sıvı halde atık oluşturmamakta ve bu durum geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla önemli bir avantaj oluşturmaktadır [1,2].

Bahsi geçen yeni nesil akıllı güç sistemlerinde güç akışının değişen işletim koşullarına adapte olacak şekilde dinamik bir şekilde kontrol edilmediği durumlarda, büyük ölçekteki değişken bir gücün mevcut iletim ve dağıtım sisteminden alınıp yük bölgelerine ulaştırılması esnasında bazı problemler ile karşılaşılabilir. Yön değiştiren güç akışlarına adapte olabilen, farklı koruma selektiviteleri uygulayabilen ve oluşabilecek büyük çaplı enerji kesintilerini hissedip farklı anahtarlama davranışları sergileyebilen iletim sisteminin akıllı

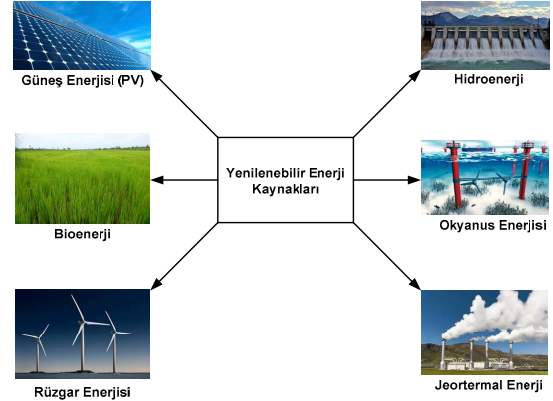
bir yapıda olması gerekir. Böylece, arızalar daha iyi lokalize edilip daha etkin kontrol ve korumanın gerçekleştirilmesi sağlanarak, sistem düzenleyicileri üzerindeki yük azaltılmış olacaktır. Bu açıdan, geleneksel koruma cihazlarının ötesinde akıllı şebekelere uyumlu yeni nesil koruma sistemleri geliştirilmesi ve bu yapıların güç sistemlerindeki değişken çalışma koşullarına uygun olarak adaptif bir şekilde kontrol edilmesi oldukça önemli bir husustur. Bahsi geçen adaptif koruma açısından birçok kontrol yaklaşımı kullanışlı çözümler sağlayacak potansiyele sahiptir. Ancak özellikle sisteme ait bir matematiksel model geliştirilmesine ihtiyaç duymadan geçmişten gelen bilgi ve tecrübenin aktarılması ile oluşturulan bulanık mantık kontrolör yaklaşımı, yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi kontrol ve optimizasyon yöntemlerinin yeni nesil güç sistemlerinin adaptif bir şekilde korunmasında kullanım açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu öngörülmektedir [8-11].

2. Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Elektrik Şebekeleri

Son yıllarda dağıtık üretim tesisleri olarak ta adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması ile elektrik şebekelerinde önemli değişiklikler ve beraberinde çözülmesi gereken sorunlar da ortaya çıkmıştır. Özellikle elektrik şebeke koruma yapısında geliştirilmesi gereken pek çok durum meydana gelmiştir.

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Hızla gelişen teknoloji ve değişen yaşam şartları ile birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde ihtiyaç duyulan kaynaklar günümüzde genel olarak nükleer, fosil ve yenilenebilir olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [12]–[14]. Fosil kaynaklardan elde edilen enerji dünyada şu anda temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak fosil kaynakların giderek azalması ve bu kaynakların çevreye olan olumsuz etkileri alternatif enerji kaynakları arayışına sebep olmaktadır [15], [16]. Bununla birlikte nükleer kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi, ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamada oldukça önemli rol oynamasına rağmen insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyen dezavantajlarını da için de barındırmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkan Yenilenebilir Enerji Sistemleri (YES) Şekil 3.1’de gösterildiği gibi 6 kategoriye ayrılmaktadır [12]. Bu kategoriler içerisinde üzerinde yaklaşık 30 yıldır çalışmalar yapılan jeotermal ve hidroelektrik enerjileri en uygun YES teknolojileridir. Okyanus, Güneş ve Rüzgar YES teknolojileri de oldukça yaygınlaşmaktadır [17]–[19]. Biyoyakıt ve Denizsel enerji grupları yeni yeni çalışılan YES teknolojileri arasındadır.

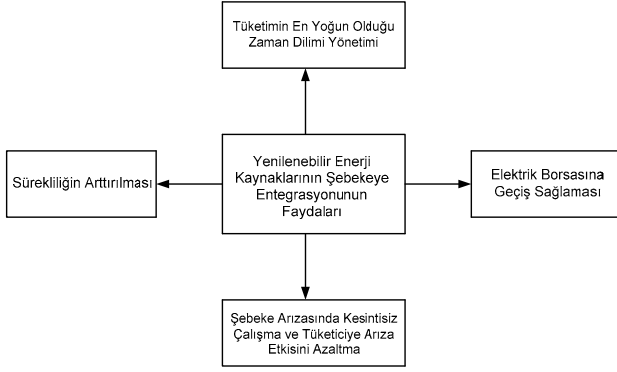


Şekil 1: YES Teknolojileri

YES’lerin büyük bir kısmı doğrudan ya da dolaylı olarak güneş ışığını kullanırlar ve düşük emisyonu sahip tükenmeyen kaynaklardan elde edilen bir enerji çeşidi olarak tanımlanırlar. Dünyanın birçok ülkesinde YES’lerin artırılmasına yönelik teşvikler gündeme getirilmektedir [66]. YES’in elektrik üretimindeki payı, enerji tüketiminin giderek artması ve fosil kaynakların çevreyi olumsuz yönde etkilemesi ile çok daha önem kazanmıştır. 1900’lü yıllardan beri kullanıla gelen YES teknolojileri, 2013 Yenilenebilir Enerji Raporu verilerine göre %1.7 yıllık büyüme oranına sahiptir. Diğer YES teknolojilerine oranla Rüzgar ve Güneş enerjilerinde daha çok büyüme gözlemlenmektedir. 5.7 milyon insanın istihdam edileceği tahmin edilen YES teknolojilerine 2011 yılından beri toplamda 260M\$ yatırım yapılmıştır. Bir çok ülkede enerji taleplerinin karşılanması adına YES hedefleri oluşturulmuş ve bu konuda 127 ülke ile ilgili mevzuat çalışmaları başlatılmıştır. Teorik olarak YES’lerden üretilecek enerji, Dünyanın toplam tüketim değerinden 18 kat fazla olmasına rağmen şu anda Dünya’nın talep ettiği gücün sadece %18’i YES’lerden karşılanabilmektedir [12]. 2013 yenilenebilir enerji raporuna göre YES kapasitesi 2000-2011 yılları arasında yaklaşık iki katına çıkmıştır [16]. Birçok ülkede kapasitesinden daha az YES çalıştırması ve eklenen fosil tabanlı üretim santralleri nedeni ile YES kapasitelerindeki artışa rağmen toplam üretimdeki YES payı yavaş olarak artmaktadır. Kurulum maliyetinin yüksek olması, lokalizasyon yatırımlarının yetersizliği (insufficient investment on localization), kullanılan teknolojinin verim düzeyi, küresel bölgesel ve yerel politikaların tam oturmamış olması gibi sebepler, YES teknolojisinde yavaşlatıcı sebepler olarak gösterilmektedir [12].

2.2. Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonu

Dağıtık üretim tesislerinin (DG) şebeke ile entegrasyonu akıllı şebekelerin en temel konularından birini oluşturmaktadır. YEK’in elektrik şebekesinde entegrasyonunun faydaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: YEK Entegrasyonunun Faydaları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanması ile ilgili birçok ülkenin kendine ait şebeke yönetmelikleri (Grid code) bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerin ortak yanları olduğu gibi her ülkenin kendine özgü şebeke yapısı, gerilim seviyesi ve kontrol düzeneği bulunduğundan ayrı yönleri de bulunmaktadır. Bu düzenlemelerin hepsi, mevcut düzeni bozabilecek bir oluşumun engellenmesi içindir. Örneğin, bir yandan klasik üretimlerde frekans belirli sınırlar içinde tutulurken, diğer yandan bu frekansı ciddi biçimde etkileyecek alternatif üretimlerin de kontrol edilebiliyor olması gerekir. Aynı şekilde alternatif üretimlerin gerilim açısından da klasik generatörlerdeki uyarım kontrolü gibi, hızlı tepki vererek düzeltici önlem gerçekleştirebiliyor olması gerekir. Eğer bu alternatif üretimler belirli bir bölgede yoğunlaşıyor ise entegrasyon öncesi çalışmaların daha titizlikle incelenmesi gerekmektedir.

2.3. Dağıtık Üretim Tesisi İçeren Şebekelerde Koruma Analizleri

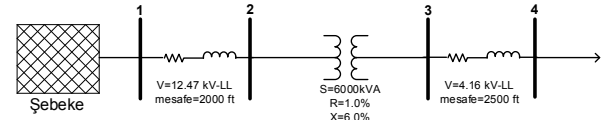
Son yıllarda elektrik endüstrisindeki gelişmeler beraberinde yeni nesil teknolojilere olan ilgiyi de arttırmıştır. Akıllı şebeke teknolojisi, bu kapsamda değerlendirilebilecek yeni bir konsept olarak hızla gelişmektedir. Akıllı şebekelere olan ilginin artması ve Devletlerin bu alandaki yeni yatırımları/teşvikleri ile geniş bir uygulama alanı ortaya çıkmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasıyla elektrik-elektronik endüstrisi de önemli yeniliklere yönelmektedir. Dağıtık üretim tesisleri olarak da adlandırılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunda karşılaşılan bazı problemler, beraberinde yeni çözüm tekniklerinin geliştirilmesine de neden olmaktadır. Dağıtık üretim tesislerinin yaygınlaşmasıyla bazı avantaj ve dezavantajlar da beraberinde gelmektedir. Güç kalitesinin artırılması, enerji sürekliliğinin sağlanması, güvenilirlik ve temiz enerji kaynakları gibi avantajlarının yanında şebeke koruması ve sistemin daha karmaşık bir yapıya bürünmesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Özellikle dağıtık üretim tesislerinin sisteme entegrasyonu ile birlikte koruma sisteminde önemli zorluklar meydana gelmektedir. Rôle koordinasyonu, kısa devre akımlarının değişimi, frekans tespitindeki zorluklar ve hata yeri tespiti gibi mutlaka çözülmesi gereken sorunlar ön plana çıkmaktadır. Dağıtık üretim kaynaklarının kullanıldığı dağıtık şebekelerde koruma felsefesindeki önemli değişimler, beraberinde farklı çözüm tekniklerini de ortaya çıkarmaktadır.

Bu sistemlerde farklı akım yönleri ortaya çıktığından yönlü aşırı akım rölelerinin kullanılması bazı kolaylıklar sağlamaktadır. Güç akışının farklı işletim şartlarına bağlı olarak her an değişebileceği bu tarz şebeke sistemlerinde koruma yapısı için mutlaka adaptif bir koruma metodunun geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle arıza analizleri yapılarak problemler tespit edilmeli ve buna bağlı olarak koruma algoritmasının geliştirilmesi gerekmektedir.

3. Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Elektrik Şebekeleri için Geliştirilen Adaptif Koruma Algoritmaları

3.1. IEEE 4 Baralı Dağıtım Şebekesi için Geliştirilen Model

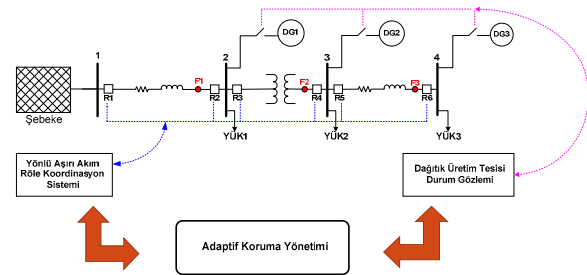
Adaptif koruma stratejisi ve rôle koordinasyonu için öncelikle IEEE 4 Baralı dağıtım şebekesi modeli tercih edilmiştir. Test sisteminin orijinal şeması Şekil 3'te görülmektedir. Sistem 12.47 kV gerilime sahip bir sonsuz kaynak ile beslenmektedir. Ayrıca hat ortasında 12.47kV/4.16 kV indirici bir trafo bulunmaktadır.



Şekil 3: IEEE 4 Baralı Test Sistemi

Düzenlenen ve geliştirilen yeni sistem Şekil 4'te görülmektedir. Adaptif koruma yapısına uygun hale getirilen şebekede yapılan değişiklikler aşağıda verilmiştir :

- Sistemde 2,3 ve 4 numaralı baralara birer Dağıtık Üretim Tesisi entegre edilmiştir.
- Yönlü enerji akışına uygun hale getirilen yeni şebeke modeline ilave olarak R2, R4 ve R6 yönlü aşırı akım röleleri ilave edilerek her iki yönde koruma yapabilecek hale getirilmiştir.
- Orijinal sistemde sadece hat sonunda bulunan yük, yeni sistemde her bir baraya dağıtılarak adaptif koruma sistemine uygun şebeke modeli tamamlanmıştır.



Şekil 4: Geliştirilen IEEE 4 Baralı Test Sistemi

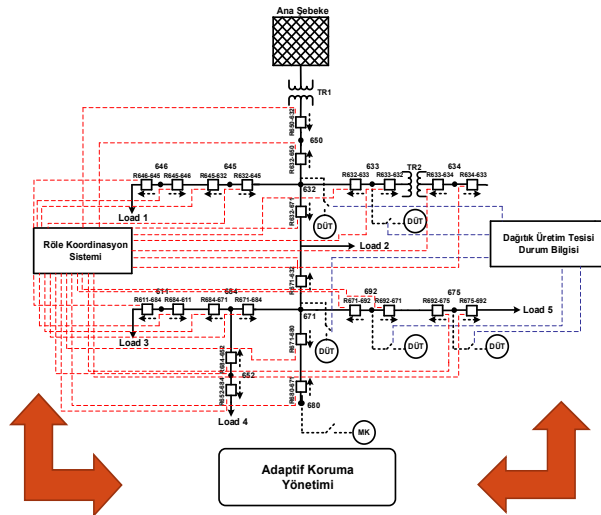
Adaptif koruma yapısına uygun hale getirilen dağıtım şebekesine, dağıtık üretim tesisi olarak 3 adet 1.5 MW'lık rüzgar türbini bağlanmıştır. Eşit güç seviyelerine sahip rüzgar türbinlerinin şebekeye entegrasyonu ile enerji akışı yönlü hale gelerek koruma yapısının geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu duruma çözüm sunmak amacıyla yönlü aşırı

akım rölelerinin optimum zaman diliminde koruma sağlaması için adaptif koruma sistemi geliştirilmiştir.

Geliştirilen algoritma mantığında öncelikle her barada akım ölçümü yapılarak sistemin güç akışı gözlemlenmektedir. Sonraki aşamada sistemde herhangi bir dağıtık üretim tesisinin bağlı olup olmadığı, eğer bağlıysa kaç adet olduğu belirlenir. Böylece şebekenin toplam gücü göz önüne alınarak kısa devre akımları elde edilir. Çalışmaya ait detaylı analizler [20]'de incelenebilecektir.

3.2. IEEE 13 Baralı Dağıtım Şebekesi için Geliştirilen Model

Mevcut dağıtım şebekesine ait orijinal parametreler dikkate alındığında tek yönlü bir enerji akışına sahip olduğu görülmektedir. Adaptif koruma yapısına uygun bir şebeke modeli için sistemin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çift yönlü bir enerji akışının sağlanması ve adaptif koruma yapısına uygun bir şebeke modeli için sisteme dağıtık üretim tesislerinin entegre edilmesi planlanmıştır. Oluşturulan yeni şebeke modelinde toplam 5 adet rüzgar türbini entegre edilerek çift yönlü enerji akışına uygun bir şebeke modeli elde edilmiş ve adaptif koruma stratejisinin test edilmesi sağlanmıştır. Çift yönlü güç akışından dolayı, bu tarz sistemlerde yönlü aşırı akım rölelerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle hem ana şebekeden yüklere, hem de dağıtık üretim tesislerinden yüklere olan tüm enerji akışını algılayabilecek röleler kullanılarak arıza tespitinin en kısa sürede sağlanması gerekmektedir. Sistemde tüm baraların giriş ve çıkışlarına farklı yönleri algılayan aşırı akım röleleri bağlanarak koruma yapısı tamamlanmıştır. Oluşturulan adaptif koruma sistemine ait genel devre şeması Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5: Geliştirilen IEEE 13 Baralı Test Sistemi

4. Sonuçlar

4.1. IEEE 4 Baralı Dağıtım Şebekesi için Sonuçlar

Çizelge 1 Adaptif Koruma Sistemi Çalışma Sonuçları

İşletme Durumu	Arıza Noktası	Açma Yapan Röle	Geleneksel Koruma için Açma Zamanı (s)	Adaptif Koruma için Açma Zamanı (s)
1	F1	R1	R1=0.3846	R1=0.3829
1	F2	R3	R2=0.152	R2=0.1509
1	F3	R5	R3=0.1017	R3=0.1017
2	F1	R1-R2	R1=0.3465 R2=0.1203	R1=0.3449 R2=0.1203
2	F2	R3-R4	R3=0.152 R4=0.5885	R3=0.1509 R4=0.4269
2	F3	R5-R6	R5=0.076 R6=0.9603	R5=0.076 R6=0.6601
3	F1	R1-R2	R1=0.3456 R2=0.1122	R1=0.3447 R2=0.1122
3	F2	R3-R4	R3=0.1517 R4=0.5659	R3=0.1513 R4=0.4394
3	F3	R5	R5=0.1014	R5=0.1014
4	F1	R1-R2	R1=0.3428 R2=0.0903	R1=0.3417 R2=0.0903
4	F2	R3-R4	R3=0.1488 R4=0.1825	R3=0.1483 R4=0.1219
4	F3	R5-R6	R5=0.0764 R6=0.9578	R5=0.0764 R6=0.8552
5	F1	R1-R2	R1=0.3443 R2=0.1079	R1=0.3439 R2=0.1079
5	F2	R3	R3=0.1515	R3=0.151
5	F3	R5	R5=0.1018	R5=0.1018
6	F1	R1-R2	R1=0.3396 R2=0.0887	R1=0.3391 R2=0.0887
6	F2	R3-R4	R3=0.1516 R4=0.5881	R3=0.151 R4=0.5082
6	F3	R5-R6	R5=0.077 R6=0.9637	R5=0.077 R6=0.7521
7	F1	R1-R2	R1=0.3378 R2=0.0857	R1=0.3381 R2=0.0857
7	F2	R3-R4	R3=0.1514 R4=0.5653	R3=0.1516 R4=0.5037
7	F3	R5	R5=0.1014	R5=0.1014
8	F1	R1-R2	R1=0.3341 R2=0.0754	R1=0.3341 R2=0.0754
8	F2	R3-R4	R3=0.1487 R4=0.2142	R3=0.1487 R4=0.2142
8	F3	R5-R6	R5=0.0774 R6=0.9652	R5=0.0774 R6=0.9652

4.2. IEEE 13 Baralı Dağıtım Şebekesi için Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada 5 farklı senaryo uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar detaylı bir şekilde [21] çalışmasında derlenerek makale olarak yayımlanmıştır. Sayfa sınırı nedeniyle bu kısımda yer verilemeyen sonuçlara ait detaylı açıklamalar ilgili çalışmada görülebilecektir. Global anlamdaki enerji talebindeki artış ve fosil yakıt kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan çevresel sorunlar,

geleneksel fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması üzerine yapılan çalışmalara ivme kazandırmıştır. Özellikle yeni nesil şebeke sistemleri olarak adlandırılan akıllı şebeke sistemlerinde koruma ve röle koordinasyonu konusunun araştırılması ve pek çok açıdan geliştirilmesi gereken önemli bir konu haline gelmiştir. Geliştirilen algoritmaların başarısı ve etkinliği çeşitli senaryolar kurgulanarak test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Tamamlanan çalışmanın en önemli özelliklerinden birisi koruma sisteminin online bir şekilde sağlanması olmuştur. Böylece sistem üzerinde koruma ve koordinasyonu etkileyebilecek tüm değişkenlerden bilgi alışverişi sağlanarak en güncel röle açma ayar süresi hesaplanmış ve olası arıza sonrası en ideal rölenin açma yapması sağlanmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] S. M. Shaahid, M. A. Elhadidy, Technical and economic assessment of grid-independent hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(8) (2007) 1794–1810.
- [2] P. Yilmaz, M. H. Hocaoglu, A. E. S. Konukman, A pre-feasibility case study on integrated resource planning including renewables, *Energy Policy* 36(3) (2008) 1223–1232.
- [3] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, H. Yang, Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems, *Applied Energy* 87(2) (2010) 380–389.
- [4] A. Kornelakis, Multiobjective Particle Swarm Optimization for the optimal design of photovoltaic grid-connected systems, *Solar Energy* 84(12) (2010) 2022–2033.
- [5] W. Zhou, H. Yang, Z. Fang, Battery behavior prediction and battery working states analysis of a hybrid solar-wind power generation system, *Renewable Energy* 33(6) (2008) 1413–1423.
- [6] A. Hepbasli, A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(3) (2008) 593–661.
- [7] C. V. Nayar, S. M. Islam, H. Dehbonei, K. Tan, H. Sharma, *Power Electronics for Renewable Energy Sources*, in Muhammad H Rashid(eds), *Power Electronics Handbook*, 2nd edn, Academic Press - imprint of Elsevier Inc., United Kingdom., pp. 673-716
- [8] P. Mahat, Z. Chen, B. Bak-Jensen, C. L. Bak, A Simple Adaptive Overcurrent Protection of Distribution Systems With Distributed Generation, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(3)(2011) 428 - 437 .
- [9] A.A. Bittencourt, M.R. de Carvalho, J.G. Rolim, Adaptive Strategies in Power Systems Protection Using Artificial Intelligence Techniques, ISAP '09. 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, 2009.
- [10] W. Hui, K.K.Li, K.P.Wong, An Adaptive Multiagent Approach to Protection Relay Coordination With Distributed Generators in Industrial Power Distribution System, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(5)(2010) 2118-2124.
- [11] A.F Botero, M.A.Rios, Procedure of fault management in distribution networks with distributed generation, *PowerTech (POWERTECH)*, 2013 IEEE Grenoble
- [12] M. Bilgili, A. Ozbek, B. Sahin, and A. Kahraman, “An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 323–334, Sep. 2015.
- [13] N. L. Panwar, S. C. Kaushik, and S. Kothari, “Role of renewable energy sources in environmental protection: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1513–1524, Apr. 2011.
- [14] K. Kaygusuz, “Energy for sustainable development: A case of developing countries,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 2, pp. 1116–1126, Feb. 2012.
- [15] M. Beccali, M. Cellura, and M. Mistretta, “Environmental effects of energy policy in sicily: The role of renewable energy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 11, no. 2, pp. 282–298, Feb. 2007.
- [16] EIA, U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook* 2013, (<https://www.eia.org>).
- [17] Y. Kumar, J. Ringenberg, S. S. Depuru, V. K. Devabhaktuni, J. W. Lee, E. Nikolaidis, B. Andersen, and A. Afjeh, “Wind energy: Trends and enabling technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 209–224, Jan. 2016.
- [18] B. Parida, S. Iniyar, and R. Goic, “A review of solar photovoltaic technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 3, pp. 1625–1636, Apr. 2011.
- [19] IEA. International Energy Agency. *Tracking Clean Energy Progress* 2013.
- [20] Ateş, Y., Uzunoğlu, M., Karakaş, A., Boynueğri, A. R., Nadar, A., & Dağ, B. (2016). Implementation of Adaptive Relay Coordination in Distribution Systems Including Distributed Generation. *Journal of Cleaner Production*, 112(4), 2697-2705.
- [21] Ateş, Y., Boynueğri, A. R., Uzunoğlu, M., Nadar, A., Yumurtacı, R., Erdiñç, O., Paterakis, N. G., & Catalao, J. P. S. (2016). Adaptive Protection Scheme for a Distribution System Considering Grid-Connected and Islanded Modes of Operation. *Energies*, 9(5), 378.