

ADA MODUNDA ÇALIŞAN BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN HATA ANALİZİ

Irmak ÖNAL KORKUT, Hacer ŞEKERCİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yaşar Üniversitesi, İzmir

irmak.onal@yasar.edu.tr hacer.sekerci@yasar.edu.tr

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi enerji kaynaklarına olan talebinde hızla artmasına neden olmaktadır. Ancak birincil veya ikincil formda kullanılan fosil enerji rezervleri ise benzer bir hızla azalmaktadır. Üstelik klasik sistemlerle elektrik üretiminde çok büyük oranda bir enerji atık ısı olarak kaybedilmektedir. Ancak kojenerasyon olarak da bilinen birleşik-güç sistemlerinde enerji kayıp oranı %10 civarındadır. Atık durumda olan ısının sanayi veya hizmet binalarında kullanılabilir olması verimin bu derece yüksek olmasını sağlamaktadır. Kojenerasyon sistemleri ulusal şebekeye paralel veya ada modunda çalışmak üzere dizayn edilirler. Bu çalışmada kojenerasyon sistemlerinin ülkemizde ve dünyada ki yeri değerlendirilecek ve bölgemizde bulunan orta ölçekli bir kojenerasyon sisteminden hata anında alınan verileri analiz edilecektir.

1. GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin azalması günümüzde bir yandan yeni enerji üretim teknolojilerinin gelişmesine neden olurken, diğer yandan ise gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin yeniden gündeme gelmesini sağlamıştır. 18. ve 19. yüzyıllarda sanayi devrimi ile temelleri atılan kojenerasyon sistemi aslında ilk olarak ısıtma amaçlı kullanılmıştır^[1,2]. 20. yüzyılın başlarından beri kullanılan kojenerasyon sistemleri tüketicilerin ısı ve elektrik ihtiyaçlarını birlikte sağlamaktadır^[2]. Kombine ısı ve güç sistemleri büyüklüğüne göre 4 kategoride incelenmektedirler. 50 kW ve altı için **mikro** kojenerasyon, 50 kW ile 1 MW elektrik gücü için **küçük** kojenerasyon, 1 MW ile 10 MW arası elektrik enerjisi için **orta ölçekli** kojenerasyon ve 10 MW üstü için ise **büyük ölçekli** kojenerasyon olarak ayrılmaktadır^[3]. Küçük ölçekli enerji ihtiyacı olan binaların (apartman, ofis, otel, avm, hastane, kampüs, vb.) elektrik, ısı ve sıcak su ihtiyaçları mikro kojenerasyon sistemi ile karşılanabilmektedir^[4].

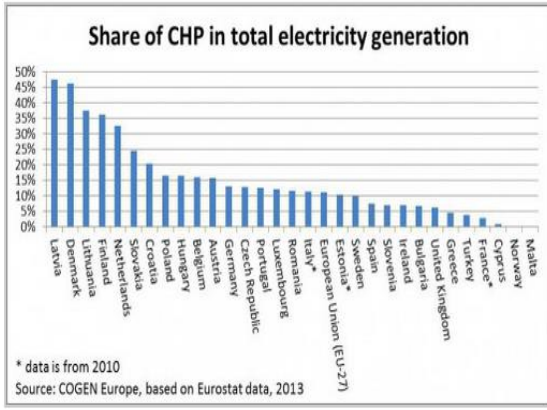
Şekil 1'de verilen sektörlere göre dağılım grafiğinden de açıkça görüleceği üzere, kojenerasyon sistemleri en fazla tekstil & dokuma sektöründe, en az çimento, petrokimya alanında kullanılmaktadır.

Sektör adı	Kojenerasyon tesisi sayısı:	Elektrik kapasitesi:
1) Çimento	4 kojenerasyon tesisi	38 MW
2) Demir-çelik, metal	15 kojenerasyon tesisi	1056 MW
3) Diğer / Bilinmeyen	16 kojenerasyon tesisi	458 MW
4) Gıda (Şeker hariç)	30 kojenerasyon tesisi	179 MW
5) Şeker Fabrikaları	32 kojenerasyon tesisi	316 MW
6) İstima	37 kojenerasyon tesisi	1252 MW (*)
7) Kağıt-Orman	20 kojenerasyon tesisi	323 MW
8) Kimya	36 kojenerasyon tesisi	974 MW
9) Makine -Teçhizat üretim	8 kojenerasyon tesisi	614 MW
10) Cam-Seramik	13 kojenerasyon tesisi	250 MW
11) Tekstil-Dokuma	88 kojenerasyon tesisi	1701 MW
12) Petro-kimya Rafinerileri	5 kojenerasyon tesisi	586 MW

(*) Soma Santrali 2014 yılında 165 MW'lık bir ünitesinden, Soma şehrine bölgesel ısıtma hizmeti vermeye başlamıştır. Çalışmada Soma Santralinin lisans değeri olan 990 MW değeri kullanılmıştır.

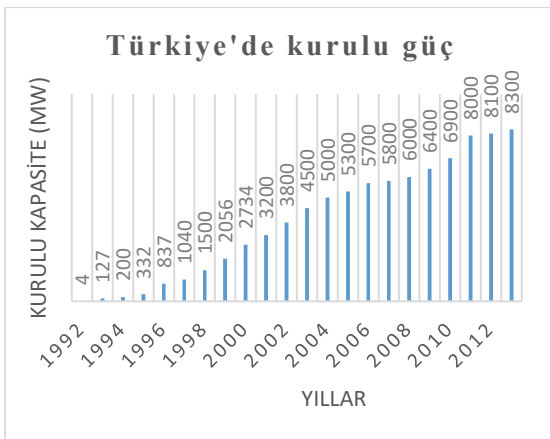
Şekil-1. Türkiye'de Sektöre Göre Kojenerasyon Sistemleri^[5]

Dünyada ilk olarak 1900'lü yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan kojenerasyon sistemleri, ülkenin kendi mevzuatlarının getirdiği engellerden dolayı yaygınlaşmamıştır. Buna rağmen Avrupa'da kojenerasyon sistemleri hızla gelişmiştir. Şekil-2'de Avrupa ülkelerinde toplam üretimlerinin ne kadarının kojenerasyondan elde edildiği görülmektedir. Bu grafikte dikkat çeken ülkeler arasında yer alan Letonya, elektrik enerjisinin yaklaşık %50'sini kojenerasyondan karşılamaktadır. Danimarka, Hollanda, Rusya ve Finlandiya ise toplam elektrik üretiminin %30'undan fazlasını kojenerasyon sisteminden sağlamaktadır. Bu listenin sonlarında yer alan Türkiye ise genel ihtiyacının %5'inden azını kojenerasyon sistemlerinden sağlamaktadır.



Şekil-2. Ülkelerin Güç Üretimlerinin Yüzdolik Olarak Kojenerasyon Kapasiteleri [6]

Türkiye’de ilk kurulan kojenerasyon sistemi 1992 yılında Yalova Elyaf’dır. 1992 yılında ilk olarak 4 MW kurulu güce sahip olan elyaf fabrikası şu anda 12,5 MW gücünde bir kojenerasyon sistemine sahiptir.[7,8]. 1995 yılından sonra Botaş ile birlikte yeni kojenerasyon sistemleri kurulmaya başlanmıştır. Bu dönemde kojenerasyon sistemi yapımı ivme kazanarak 2001 yılında işletmedeki oto-prodüksör enerji tesisi sayısı 90’a ulaşmıştır[8]. Şekil-3’de 1992 yılından itibaren 2013 yılına kadar olan dönemde kojenerasyon sistemiyle çalışan endüstriyel kuruluşların toplam kurulu güçlerinin yıllara göre artışı gözükmektedir. 1992 yılında 4 MW kurulu güç ile kojenerasyondan elektrik üretmeye başlayan Türkiye, 2013 yılı itibarıyla kurulu güç kapasitesini 8300 MW’a çıkarmıştır.

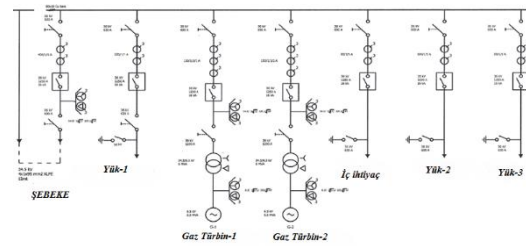


Şekil-3. Türkiye’de Yıllara Göre Kojenerasyon Tesisleri Kapasite Gelişimi[9]

Güç elektroniği alanının gelişerek özellikle de kontrol ve otomasyon uygulamalarında

yaygın olarak kullanılması, endüstrinin kesintisiz ve kaliteli enerji ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Kojenerasyon sistemleri şebeke ile paralel çalışacak şekilde bağlanırken, ulusal şebekede meydana gelecek sorunlar karşısında da kendi sisteminin etkilenmemesi için ada moduna geçmektedirler. Şebeke ile paralel çalışma çok daha yaygın olarak görülmektedir. Ada modunda çalışma pozisyonunda ise jeneratör şebekeden bağımsız bir şekilde, kendi başına yani sadece beslediği yükler ile bağlantılı çalışır. Böylece yükün talep ettiği enerji kesintisiz ve kaliteli olarak sağlanır. Bu sistemlerin artan enerjisi ise alım ve satım imkânı sağlayacak şekilde çift yönlü aktarım şeklinde tesis edilir[10,11].

Şebeke bağlı çalışan kojenerasyon sistemleri enterkonnekte sistemde meydana gelen her türlü hatadan etkilenebilir. Eğer sistem ada moduna geçer ise, bu durumda sistemin hassasiyeti daha da önem kazanmaktadır. Ada modunda hassas toprak hata koruması yapılmasını gerekli kılar[12]. Bu çalışmada Ege bölgesinde bulunan 9,8 MW kurulu güce sahip, her biri 6,5 MVA olan 2 türbinli bir kojenerasyon sisteminin hata analizi üzerinde durulacaktır. İşletmenin şematik gösterilimi Şekil 4’de görülmektedir. Bu tesis üretilen elektrik enerjisi ve kızgın su ile üç farklı endüstriyel kuruluşun beslediği ve gerektiğinde ada moduna geçebilen bir yapıya sahiptir.



Şekil-4. İncelenen işletmenin tek hat şeması

2. HATA ANALİZİ

Kısa devre analizi, en temel hata analizi olup, şebeke, endüstri ile her türlü hizmet ve ticari kurumların ve buralarda çalışanların, sistem ekipmanlarının ve sistemin kendi

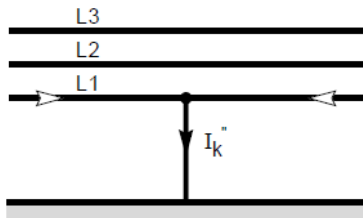
güvenliği için uygulanır. Sistemde oluşan arızalar normal olmayan koşullar altında yani elektriksel hatalar meydana geldiğinde gerçekleşir. Genellikle iki tip arıza vardır. Bunlardan birincisi izolasyon hatası olup kısa devre arızası ile sonuçlanmaktadır. Bir diğer hata ise açık devre arızasıdır^[13].

Ticari ve endüstriyel güç sistemlerinde çoğu kısa devre analizi iki ayrı kategoriye ayrılır. Bunlar simetrik (dengeli) ve simetrik olmayan (dengesiz) arızalardır. Bu çalışmada, İzmir ilindeki bir kojenerasyon sisteminin kendi içine farklı zamanlarda yaşanan hata anında kayıt ettiği 1 mili saniyelik verileri kullanılarak söz konusu analizler gerçekleştirilmiştir. Türbinlerden ve şebekeden alınan akım ve gerilim değerleri incelenmiş ve tabii olduğu hata hata türü belirlenmiştir. Simetrik olmayan hatalar da kendi içerisinde sınıflandırmaya tabidir.

2.1 Faz Toprak Hatası (SLG)

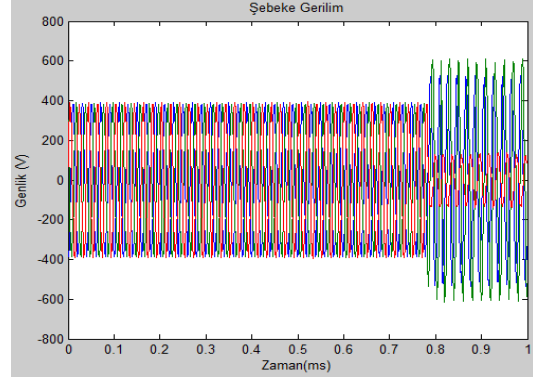
Simetrik olmayan arıza çeşitleri arasında yaklaşık %70 oranında görülen faz toprak hatası genellikle şimşek, yıldırım gibi hava olaylarının ya da kuş gibi canlıların kısa devre olması ile gerçekleşen fiziksel olaydır.

Şekil 5'de ise faz toprak kısa devre arızasının devre bağlantıları gösterilmektedir. Matematiksel olarak modellenirken I_2 ve I_3 akımları normal olarak akmaya devam ettiği, $V_1=0$ olduğu ve bu hattan bir kısa devre akımının aktığı kabulünden yola çıkılır.



Şekil-5. Faz-toprak kısa devre arızası bileşen devre bağlantıları (Schneider Electric, Cahier Technique No:158)

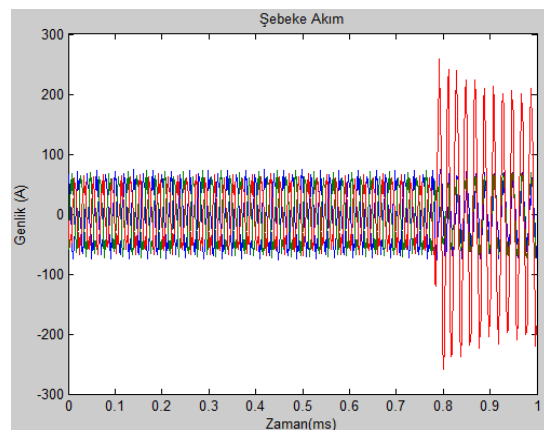
Şekil 6'da şebekeye paralel çalışan sistemin hata anındaki şebeke gerilimi gösterilmiştir.



Şekil-6. Şebeke gerilim faz toprak hatası

Hatanın oluşmasından önceki yaklaşık 0,78 mili saniyelik kısmın da kaydının alındığı görülmektedir. Bu zaman diliminde kararlı ve dengeli halde çalışan sistem, oluşan hata ile birlikte % 66 oranında genliği azalan bir V_a ile yaklaşık % 59 oranında genliği yükselen diğer iki faz gerilimi gözlenir. Teorik olarak sıfır değerine düşmesi beklenen a fazının sıfır olmadığı görülmektedir.

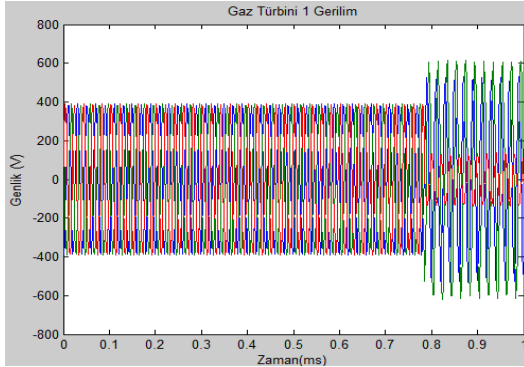
Şekil 7 ise şebekenin akım değerlerinin faz toprak hatası nedeniyle etkilenmesi verilmektedir. Faz toprak hatasının akım şartı olan diğer iki faz akımının hatadan neredeyse etkilenmemesi, ancak buna karşılık hatanın olduğu a fazının akımının oldukça yükselmesi görülebilmektedir. Diğer iki fazın akımlarının genlik değerinde yaklaşık %2 lik bir düşüş yaşamıştır.



Şekil-7. Şebeke akım faz toprak hatası

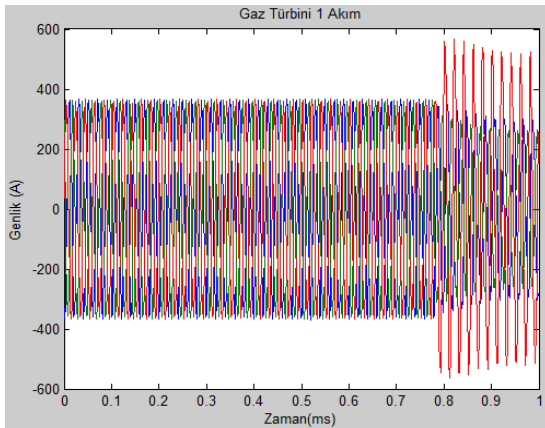
Şekil 8'de 6,5 MVA'lık gaz türbinlerinden birincisine ait gerilimin faz toprak hatasında vermiş olduğu tepkisi görülmektedir.

Şebeke kısmında yaşanan faz-toprak arızasından türbinin de etkilenmiştir. Tek faz yaklaşık %66,5 düşüş yaşarken diğer fazların genliği ortalama %57 artmıştır.



Şekil-8. Gaz tribünü 1 gerilim faz toprak hatası

Şekil 9'de gaz türbini bire ait akımın faz toprak hatasına vermiş olduğu reaksiyon görülmektedir. Bu akımlarda ise hata temizleninceye kadar hatanın görülmediği diğer iki fazın akımlarının genlikleri giderek azalmaktadır.

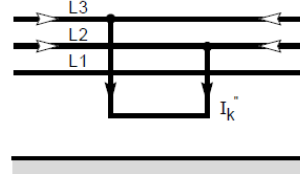


Şekil-9. Gaz tribünü 1 akım faz toprak hatası

2.2 Faz-Faz Hatası (LLG)

Diğer bir simetrik olmayan arıza türü olan faz-faz hatası ise, havanın iyonlaşması ya da iki fazın herhangi bir sebeple fiziksel olarak birbirine dokunması sonucunda oluşur.

Şekil 10'da faz-faz kısa devre arızası bileşen devre bağlantısı bulunmaktadır. Matematiksel olarak $I_2 = -I_3$ ve $V_2 = V_3$ şartını sağlaması koşuluyla kısa devre gözlemlenir. Ancak toprağa akan herhangi bir akım mevcut değildir.



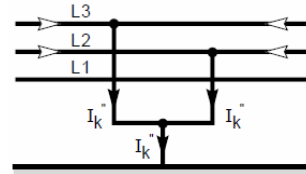
Şekil-10. Faz faz kısa devre arızası bileşen devre bağlantıları

Kojenerasyon sistemi için çalışmanın yapıldığı zaman diliminde kayıtlı hata verileri arasında faz-faz hatası bulunmamaktadır.

2.3 Faz-Faz Toprak Hatası (DLG)

Bu bölümde simetrik olmayan hata tiplerinin sonucunu olan ve sistemde görülen faz faz toprak hatası incelenecektir. Bu tür hata iki fazın birbirleriyle ve toprakla oluşturduğu kontak olarak tanımlanır. Fırtına gibi hava olaylarında gerçekleşir.

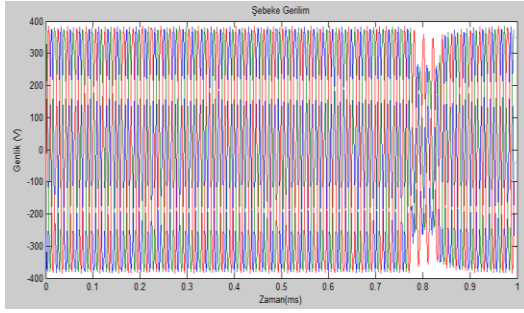
Şekil 11'de da faz-faz toprak kısa devre arızası için, eşdeğer devre bağlantısı mevcuttur. Matematiksel olarak bir nolu hattın akımının hatadan etkilenmediği, normal değerinde akmaya devam ettiği ve ikinci ile üçüncü hatların gerilimlerinin sıfır olması durumunun yaşandığı hata türüdür.



Şekil-11. Faz-faz toprak kısa devre arızası bileşen devre bağlantıları

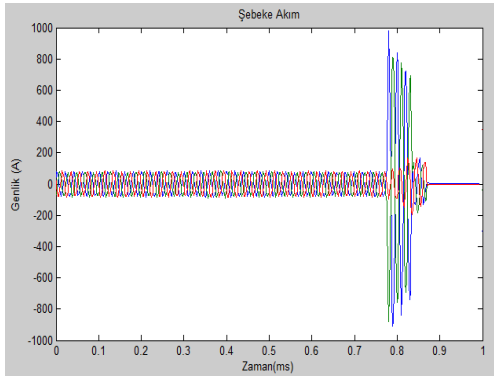
Şekil 12'de hatanın oluştuğu zaman diliminde gene şebekeye paralel çalışan kojenerasyon sisteminin şebeke geriliminin faz-faz toprak hatasında vermiş olduğu tepkisi görülmektedir. Faz faz toprak hatasının gerilim şartı olan $V_b = V_c$ koşulu sağlanmakta ancak tamamen sıfır olmayarak sadece %36,5'lük düşüş görülmektedir. Bir önceki analizde ada moduna geçiş görülmezken, bu kayıtlardan yaklaşık 0,1 mili saniye gibi kısa bir zamanda kesicilerin açtığı ve ada moduna geçildiği anlaşılmaktadır. Arızanın olmadığı diğer fazın geriliminde ise arıza devam ederken

%8 civarında küçük bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil-12. Şebeke gerilimi faz faz hatası grafiği

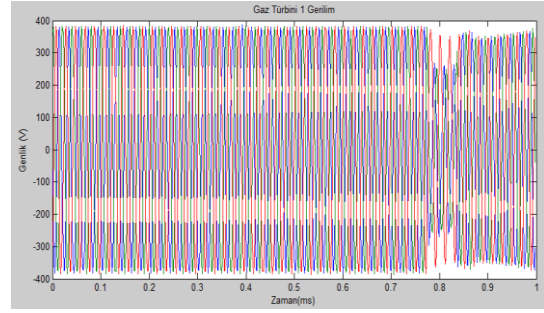
Şekil 13’de şebeke akımı bağlantı noktasına ait faz-faz toprak hatası kayıtları görülmektedir. Hatanın görülmediği faz akımı kararlı halini başlangıçta sürdürürken, geriliminin düşmeye başlaması ile göreceli olarak artış göstermektedir. Bu sırada kısa devrenin yaşandığı iki fazın akımları sub transient olarak da anılan ilk anda kararlı hal değerinin yaklaşık dört katına çıkıp hızlı bir şekilde transient kısmına doğru ilerlediği görülmektedir. Bu grafikten çok net bir şekilde görülmektedir ki, 0,86ncı mili saniyede sistem şebeke ile bağlantısını kopararak ada moduna geçmiştir.



Şekil-13. Şebeke akım grafiği

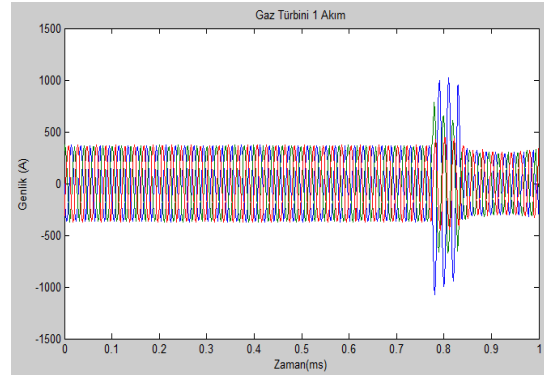
Şekil 14’de gaz türbini bire ait gerilimin faz-faz toprak hatasında vermiş olduğu tepki görülmektedir. Şebeke noktasında alınan ölçüm ile neredeyse aynı dalga şekli görülmektedir. Sistem normal işleyişindeyken 0,79ncü mili saniyede meydana gelen arıza sinyali sonucunda 0,87ni mili saniyede adaya geçmesine rağmen, toparlanması biraz daha sürmüştür. Ada moduna geçtikten sonra görülen genlikteki küçük miktardaki azalış zamanla

düzelerek 1 mili saniye civarında yeniden kararlı hali ulaşmaktadır.



Şekil-14. Gaz tribünü 1 gerilim grafiği

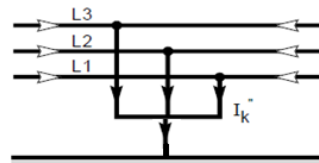
Şekil 15’de gaz tribünü bire ait akımın faz faz toprak hatasında vermiş olduğu tepkisi görülmektedir. Hatanın oluşmadığı faza ait akım çok az miktarda artarken, diğer iki fazın akımı neredeyse bir tam kat artmışlardır ancak, bu akımların artış miktarları ve dalga şekilleri birbirinden farklı gelişmiştir.



Şekil-15. Gaz Türbini 1 akım grafiği

2.4 Üç Faz Kısa Devre (3Ø)

Simetrik hata kapsamı altında incelenen tek bir hata çeşidi vardır, üç faz birden kısa devre olmasıdır. Nadir görülen arıza çeşidi olup matematiksel olarak $I_1+I_2+I_3=I_k$ ve $V_1=V_2=V_3=0$ şeklinde ifade edilir. Şekil 16’da üç faz kısa devre arızasının bağlantısı bulunmaktadır.



Şekil-16. Üç faz kısa devre arızası bileşen bağlantısı

Kojenerasyon sistemi için çalışmanın yapıldığı süre boyunca kayıtlı hata verileri arasında 3 faz kısa devre hatası bulunmamaktadır.

3. KOJENERASYON HATA KAYITLARI

2007 yılından, 2015 yılına kadar olan zaman içerisinde yaşanan olaylardan *örnekleme şeklinde* alınan bazı kayıtlar değerlendirilmiştir. Toplam 37 hata kaydı incelenmiş olup, bunların bir kısmında sistem adaya geçerek kendisini toparlarken, diğerlerinde böyle bir sürece ihtiyaç duyulmadan ulusal şebeke yeniden kararlı hale ulaşmıştır. Yıllara ve hata türlerine göre dağılım ise tablo-1’de verilmiştir.

Tablo-1: Kojenerasyon hata analizi

Yıl	Hata Sayısı	Hata Türü	Ada Modu
2007	11	8 SLG, 3 DLG	6
2008	1	SLG	—
2009	3	3 SLG	1
2011	9	6 SLG, 3 DLG	3
2012	2	2 SLG	1
2014	4	2 SLG, 2 DLG	2
2015	4	3 SLG, 1 DLG	1

4. SONUÇLAR

Güç sistemlerinde kaliteyi etkileyen en önemli problemlerden biri kısa devre türü arızalar, diğeri ise büyük miktardaki güçlerin devreye giriş çıkışı sırasında oluşan dengesizliklerdir. İster arıza, ister değişik etkilerden oluşan dengesizlikler sistemden bunların en kısa sürede temizlenip tekrar kararlı ve kaliteli sürece geçmek çok önemlidir.

Elektrik enerjisi ile birlikte ısı enerjisinin de ihtiyaç gösterdiği ortamlar için, hem daha verimli hem de daha kaliteli enerji sağlayabilmek amacıyla kojenerasyon sistemleri önemli bir avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat kojenerasyon sistemi içerisinde çalışmak her türlü arızan uzak çalışmak anlamına da gelmemektedir.

Bu çalışmada, simetrik olmayan arıza çeşitlerinin şebekeye paralel ya da ada modunda çalışan durumdaki şebeke, gaz türbinleri tarafından verilenin incelenerek

hangi tip arıza çeşitleri görüldüğü analiz edilmiştir. En sık görülen arıza tipi faz-toprak hatası olup şebeke tarafından yaşanan uzun süreli problemlerde sistem kendisini hemen ada moduna almaktadır.

Arızaların sisteme ve tüketicilere en az zararı verebilmesi için öncelikle arızanın bulunması, sınıflandırılması, yerinin tespiti ve yaşanan arıza türlerine göre eğer alınması gereken önlemler varsa projelendirilerek, yatırım planlarına konması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Erdem Işık, Mustafa İnalı, Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtıma Sistemlerindeki Gelişmeler, Mühendis ve Makine, Cilt:46, Sayı:550

[2] Martin Pehnt, Martin Cames, Corinna Fischer, Barbara Praetorius, Lambert Schneider, Katja Schumacher, Jan Peter Voss, Micro Cogeneration Towards Decentralized Energy Systems

[3] http://www.code-project.eu/wp-content/uploads/2011/04/CODE_CS_Handbook_Final.pdf, Erişim Tarihi: 10.08.2015

[4] Emine Filoğlu, Türkiye’de Mikro Kojenerasyon, 2. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri, 2011

[5] Meryem İpek, Kojenerasyon ve Trijenerasyon Teknolojisinin Tanımı, Avantajları ve Türkiye’de Kurulu Gücü, 28 Mayıs 2015 TÜRKOTED İzto Sempozyumu/ http://turkoted.org/admin/belgelerim/dosyalar/939_Tanim.pdf, Erişim Tarihi: 10.08.2015

[6] http://www.cogeneurope.eu/what-is-cogeneration_19.html, Erişim Tarihi: 10.08.2015

[7] Ömer Özdemir, Kojenerasyonun Enerji Verimliliğindeki Yeri, <http://geposb.com.tr/uploads/OmerOZDEMIRSunum.pdf>, Erişim Tarihi : 11.08.2015

[8] <http://www.hmyoelk.sakarya.edu.tr/bilgi/fazlasi/kojenerasyon/4.htm>, Erişim Tarihi: 10.08.2015

[9] Turkish Cogeneration and Clean Energy Technologies Association, Country Report Turkey 2013, November 2013

[10] Kasım Zor, Ahmet Teke, Pistonlu Gaz Motorlarıyla Tahrik Edilen Kojenerasyon Sistemleri ile Yerinde Enerji Üretimi, <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/126-pistonlu-gaz-motorlariyla-tahrik-edilen-kojenerasyon-sistemleri-ile-yerindeenerji-uretimi>, Erişim Tarihi: 11.08.2015

[11] Engin Özdemir, Dağıtılmış Enerji Üretim Sistemlerinden Elektrik Üretimi Ve Şebeke Desteği Hizmetleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,2007

[12] Nuran Yörükeren, Musa Uçan, Şebekeye Paralel Çalışan Generatörler için Faz- Toprak Arıza Analizinin Bilgisayar Destekli İncelenmesi, 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu,2011

[13] Nasser Tleis, Power System Modelling and Fault Anaysis Theory and Practice, Page: 2-3, Oxford, UK; Burlington, 2008