

Elektrik Dağıtım Sisteminde Gerilim Çukuru Yönü Tespiti ve Arıza Tipi Sınıflandırması

Determination of Voltage Sag Direction and Classification of Fault Type in Distribution Systems

Yunus YALMAN¹, Kamil Çağatay BAYINDIR¹, Alper TERCİYANLI²,

Kürşat TANRIÖVEN³, Şevket TAŞ³

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
yyalman@ybu.edu.tr, kcbayindir@ybu.edu.tr

²ENDOKS Enerji Sistemleri
alper.terciyanli@endoks.com.tr

³Kayseri ve Civarı Elektrik Türk Anonim Şirketi
kursat.tanrioven@kcetas.com.tr, sevkettas@kcetas.com.tr

Özet

İletim ve dağıtım sistemlerinde en sık karşılaşılan problemlerden biri gerilim çukurlarıdır. Enterkonnekte sistemde meydana gelen bir arıza gerilim çukuruna sebep olabilmektedir. Bu gerilim çukuru enterkonnekte sistemin diğer kısımlarındaki hassas yükleri de etkilemektedir. İletim ve dağıtım sistemi kullanıcıları için ciddi kayıplara yol açan gerilim çukurlarının konumunun, yönünün belirlenmesi ve ve probleme sebep olan kök nedeninin tespit edilmesi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada gerilim çukuru yönü tespiti ve arıza tipi sınıflandırılması için yeni bir algoritma önerilmiştir. Geliştirilen algoritma gerçek saha verileri kullanılarak test edilmiş ve uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Arıza Tipi, Gerilim Çökmesi
Yönünün Belirlenmesi, Güç Kalitesi

Abstract

One of the most common problems in transmission and distribution systems is the voltage sag. A fault in interconnected system causes a voltage sag. This voltage sag effects sensitive loads in other parts of the system. The location and direction of the voltage sag that cause serious losses for the transmission and distribution system users and identification of the root cause of the problem has become an important research topic. In this study, a new algorithm has been proposed for detection of voltage sag direction and classification of fault type. The developed algorithm was tested and implemented using real field data.

Keywords: Fault Type, Voltage Sag Location, Power Quality

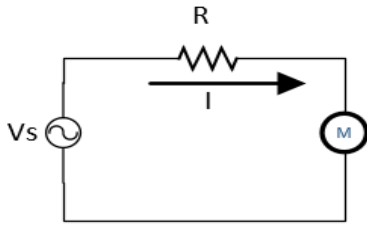
1. Giriş

İletim ve dağıtım sistemlerinde gerilim çukuru önemli bir problemdir. Gerilim çukuru, gerilim genliğinin 0.5 10milisaniyeden 1 dakikaya kadar olan sürede 0.1-0.9 pu arasına düşmesi olarak tanımlanır ve iki boyutlu güç kalitesi olayı olarak tanımlanır. Bu sınıflandırma minimum değer/toplam süre yaklaşımı olarak yapılır. Bu yaklaşım, üç fazda görülen en düşük RMS gerilim değerini ve normal çalışma koşullarına dönen üç fazın toplam süresini dikkate almaktadır. Gerilim çukurları iletim sistemleri, dağıtım sistemleri, mikro şebekeler ve müşteri tesislerinde yılda birkaç bin kere sıklıkla oluşabilen olaylardır[1]. Gerilim çukurlarının karakteristiği güç kalitesi standartlarına göre belirlenir [2,3]. Gerilim çukurları sanayi tesislerinde önemli üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Gerilim çukuru süreleri, arıza temizleme süresine bağlı olarak üç ile dört periyot kadar kısa olabilir. Kısa devreler, transformatör enerjilendirilmesi, kapasitör anahtarlama, büyük yüklerin devreye girmesi, aşırı yüklenme gerilim çukurlarının ana sebepleridir. En çok karşılaşılan arızalardan olan faz-toprak arızası ve faz-faz arızalarında oluşan gerilim çukurları asimetrik. Ayrıca mıknatıslanma akımlarının yüksek olması nedeniyle, transformatör enerjilendirmesinin sebep olduğu gerilim çukurları asimetrik ve 100ms ile 500ms arasındadır. Motorun başlangıç anında çektiği aşırı akımdan dolayı oluşan gerilim çukurları daha uzun sürmektedir [4].

2. Gerilim Çukuru ve Arıza İlişkisi

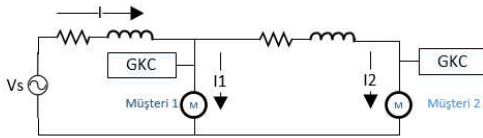
Elektrik şebekelerinde meydana gelen arızalar gerilim çukuruna sebep olmaktadır. Yük tarafında meydana gelen arızalar yükü besleyen barada gerilim çukuruna yol açabileceği gibi, diğer baralarda ortaya çıkan arızalar da

ortak şebeke gerilimini etkilemesi sebebiyle yükü besleyen barada yine gerilim çukuru oluşmakta ve güç kalitesi izleme sistemleri tarafından kaydedilmektedir. Literatürde bu durum şebeke kaynaklı gerilim çukuru veya yük kaynaklı gerilim çukuru (upstream veya downstream) olarak tanımlanmaktadır. Literatürde arızalar 4 sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar: Tek faz toprak arızası, iki faz toprak arızası, üç faz toprak arızası ve iki faz arızadır. Gerilim ve akım arasındaki ilişki gerilim çukurunun yönünün belirlenmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 1. Basit gerilim çökmesi modeli

Şekil 1'de Vs: kaynak gerilimi, R: toplam empedansı göstermektedir. Gerilim çukurunun sebebi ohm kanununa dayanmaktadır. Yük tarafından çekilen aşırı akım sistemin toplam empedansı üzerinde $V=I \cdot R$ formülü gereği bir gerilim düşümü meydana getirecektir. Yük üzerine düşen gerilim ise kaynak geriliminden gerilim düşümünün çıkarılması ile bulunur. Bu gerilim değeri 0.9 pu değerinden küçük ise güç kalitesi cihazı gerilim çukuru kaydeder. [5].



Şekil 2. İki yüklü gerilim çukuru modeli

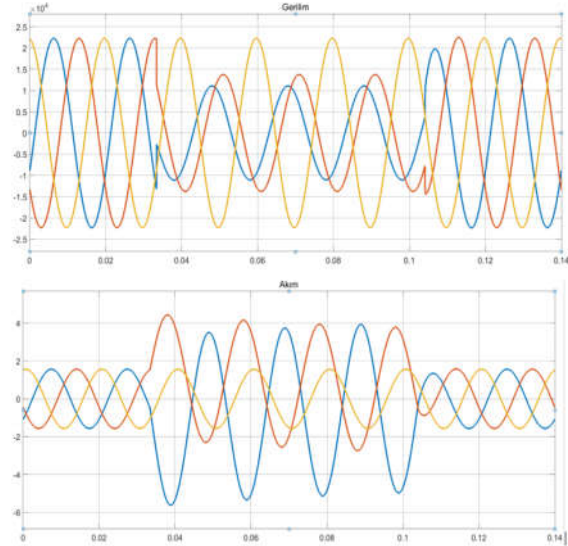
Şekil-2'de iki yüklü gerilim çukuru modeli gösterilmektedir. Müşteri 1'in çektiği akım I_1 , Müşteri 2'nin çektiği akım I_2 ve ana kaynaktan çekilen akım I_1+I_2 'dir. Şebekede meydana gelen bir arızadan dolayı güç kalitesi cihazının bağlı olduğu bara geriliminde meydana gelen gerilim çukuru yüzünden güç kalitesi cihazı gerilim çukuru kaydediyorsa olay yönü şebeke kaynaklı gerilim çukuru (upstream) olarak belirlenmektedir. Yani güç kalitesi cihazı sistemde meydana gelen arıza akımını kaydetmemektedir. Arıza yükün girişinde ya da yük tarafında ise güç kalitesi cihazı arıza akımını kaydetmektedir ve bu durumda olay yönü yük kaynaklı gerilim çukuru (downstream) olarak tanımlanmaktadır. Şebekeyi daha büyük düşündüğümüzde, bu durum iletim kaynaklı gerilim çukuru veya dağıtım kaynaklı gerilim çukuru durumuna benzetilebilir [5].

Eğer sistemde 1 adet güç kalitesi cihazı varsa:

- Eğer güç kalitesi cihazı müşteri 1'in girişinde ve müşteri 1'de arıza meydana gelirse olay yönü yük kaynaklıdır. (downstream)
- Eğer güç kalitesi cihazı müşteri 2'in girişinde ve müşteri 1'de arıza meydana gelirse olay yönü şebeke kaynaklıdır. (upstream)
- Eğer güç kalitesi cihazı müşteri 1'in girişinde ve müşteri 2'de arıza meydana gelirse olay yönü şebeke kaynaklıdır. (upstream)
- Eğer güç kalitesi cihazı müşteri 2'in girişinde ve müşteri 2'de arıza meydana gelirse olay yönü yük kaynaklıdır. (downstream)

Eğer sistemde 2 adet güç kalitesi cihazı var ise:

- Eğer güç kalitesi cihazları müşteri 1 ve müşteri 2'nin girişinde ve müşteri 1'de arıza meydana gelirse müşteri 1 için olay yönü yük kaynaklı (downstream) iken müşteri 2 için şebeke kaynaklıdır. (upstream)
- Eğer güç kalitesi cihazları müşteri 1 ve müşteri 2'nin girişinde ve müşteri 2'de arıza meydana gelirse müşteri 1 için olay yönü şebeke kaynaklı (upstream) iken müşteri 2 için yük kaynaklıdır (downstream) [5].



Şekil 3. Aşırı akımdan dolayı oluşan gerilim çukuru

Şekil 3'de gerilim çukuruna sebep olan arıza akımı dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 3'e göre sistemde meydana gelen aşırı akım sistem empedansı sebebiyle gerilim düşümüne sebep olmaktadır. Bu da güç kalitesi cihazı tarafından gerilim çukuru olarak kaydedilmektedir. Bu tür dalga şekilleri gerilim çukurunun yönünün yük kaynaklı (downstream olduğunu) göstermektedir. Oluşan gerilim çukurunun etkisi toplam sistem empedansına ve akımın genliğine bağlıdır.

3. Örnek Çalışma

Dağıtım sistemleri sorumlu oldukları bölgelerde dağıttığı elektriğin kalitesinden sorumludurlar. Elektrik enerjisinin tedarik sürekliliği, ticari ve teknik kalitesine ilişkin olarak dağıtım şirketleri ve kullanıcılar tarafından uyulması gereken kurallar Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği'nde tanımlanmıştır. Teknik kalite parametrelerinin ölçülmesi ve raporlanması gerekliliği yönetmelikte tanımlanan kurallardan biridir. Teknik kalite parametrelerinin ölçülmesi amacıyla şebekede birçok noktaya şebekeye güç kalitesi cihazları bağlanmaktadır. Toplanan teknik kalite verilerinin kaydedilmesi, işlenmesi ve raporlanması amacıyla da çeşitli yazılım platformları dağıtım şirketleri tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada Güç Kalitesi Analizörü olarak ION 7650 ve Yazılım Platformu olarak INAVITAS T&D kullanılmıştır. Saha uygulaması Kayseri ve Cıvırı Elektrik Türk A.Ş. verileri ile gerçekleştirilmiştir.

Tüm gerilim çukuru olaylarının ve ilgili akım gerilim dalga formlarının incelenerek gerilim çukuru yönünün tesbit edilmesi ve arıza tipinin belirlenmesi zor ve çok fazla zaman alan bir işlemdir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan ve geliştirilen algoritma ile güç kalitesi cihazlarından alınan veriler otomatik olarak gerilim çukurunun yönünün belirlenmesinde kullanılmakta ve gerilim çukuruna sebep olan arızanın tipi belirlenmektedir.

3.1. ION7650 ve INAVITAS T&D

ION7650 (PQ analizörü) akıllı ölçüm ve kontrol ekipmanı, gerilim, güç, enerji ve akımın gerçek RMS ölçümlerini sağlamaktadır. Ayrıca, COMTRADE, FTP ile indirmek için mevcut olan TRAnsient Data Exchange (COMTRADE) formatı için COM biçiminde dalga biçimi verilerinin kaydedilmesine imkan vermektedir. ION 7650 PQ analizörü tarafından ölçülen parametreler aşağıdaki gibidir.

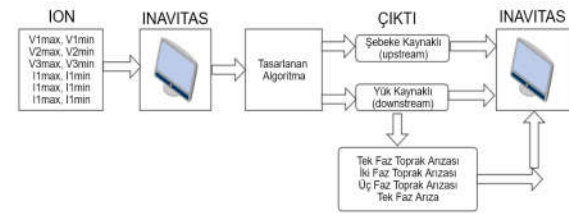
- Enerji
- Gerilim ve akım, aktif ve reaktif güç, görünür güç, güç faktörü, frekans, gerilim ve akım dengesizliği (Ani)
- Harmonikler: bireysel harmonikler, toplam harmonikler, toplam tek harmonikler, K-faktörü,
- Gerilim ve akım min/max, kW, kVAR ve kVA min/max, güç faktörü, frekans, gerilim dengesizliği
- Power Quality: Sag/swell, Transient [6].

INAVITAS T&D iletim ve dağıtım sistemleri için güç kalitesi izleme, otomatik sayaç okuma, enerji verimliliği analizi ve talep tahmin araçları sağlayan bir yazılım platformudur.

3.2. Önerilen Algoritma

İletim ve dağıtım sistemlerinde gerilim çökmesinin yönünün belirlenmesi için birçok yöntem önerilmiştir. Gerilim çukurları enerji depoları olarak kabul edilebilecek farklı olayların bir sonucudur. Eğer izleme noktasındaki enerji akışı artıyorsa gerilim çukurunun yönü aşağı yönlü, enerji akışı azalıyorsa yukarı yönlüdür [7]. Sistemin herhangi bir yerindeki akım artışı gerilim çukuruna sebep olmaktadır. Aşağı yönlü olaylarda akım artarken yukarı yönlü olaylarda akım azalmaktadır[8]. Gerilim çukuru sırasında izleme noktasındaki empedansın değişimine dayalı gerilim çukurunun yönü bulunmaktadır[9]. Ortak bağlantı noktasında yalnızca gerilim ölçümleri ile gerilim çukuru yönü tespit edilir. Bu yöntemde kriterler faz açısı zıplaması veya sistem karakteristiklerinde genlik değişimidir [10]. Dağıtım ve iletim sistemlerinde gerilim çukurunun yönü yalnızca hat akımı ölçümleri ile belirlenebilir. Bu yöntemde kriter akımın genliğindeki ve faz açısındaki değişimdir[11]. Literatürde bulunan çalışmalar çoğunlukla benzetim çalışması olup gerçek saha verilerini kullanan çalışma az sayıdadır. Bu çalışmada ION7650 güç kalitesi analizörü tarafından kaydedilen veriler INAVITAS T&D platformunda geliştirilen algoritma ile işlenmekte, gerilim çukurunun yönü ve arızanın tipi ilgili olay sayfasında otomatik olarak gösterilmektedir.

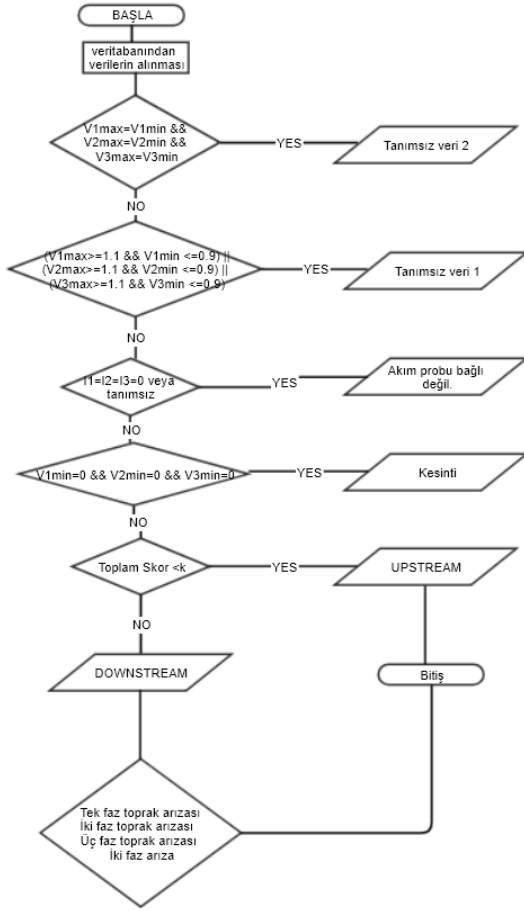
Şekil-4'te sisteme ait genel bir yapı gösterilmiştir. ION cihazından gelen veriler INAVITAS platformu veritabanında toplanmaktadır. Üç faza ait olay sırasındaki akım ve gerilimin minimum değerleri, olay zamanı, gerilimin nominal değeri, olay süresi ve derinliği geliştirilen algoritmada kullanılan verilerdir. Ayrıca olay sırasında kaydedilen akım ve gerilime ait dalga şekilleri de COMTRADE dosyası olarak kaydedilmektedir. Tasarlanan algoritma ile gerilim çukurunun yönü ve gerilim çukuruna sebep olan arızanın tipi belirlenmektedir. Gerilim çukurunun yönü ve arıza tipi INAVITAS Arayüz sayfasında olay verileri ile birlikte kullanıcıya gösterilmektedir.



Şekil 4. Sistemin genel yapısı

Bu algoritmaya göre olay sırasında kaydedilen akımın ve gerilimin maksimum ve minimum değerlerine göre arızanın yönünü konumu ve arızanın tipi belirlenmektedir. Tasarlanan algoritmanın akış şeması Şekil 5'de gösterilmektedir. Önerilen algoritmaya göre ilk olarak veriler süzülerek olay verileri sadeleştirilmektedir. Daha sonra veriler yardımı ile belirlenen şartlar doğrultusunda skorlama işlemi yapılarak olayın yönü belirlenmektedir. Olay yönünden

sonra bu olaya sebep olan arıza tipi veriler yardımı ile belirlenmektedir.



Şekil 5. Önerilen Algoritmanın Akış Şeması

3.3. Örnek Çalışmalar

Tasarlanan algoritma doğruluğu olay sırasında ION7650 güç kalitesi cihazının kaydettiği COMTRADE dosyası

yardımla gösterilmektedir. COMTRADE dosyasında olay sırasında gerilim ve akıma ait dalga şekilleri bulunmaktadır. Olay sırasında gerilim ve akıma ait dalga şekilleri bulunmaktadır.

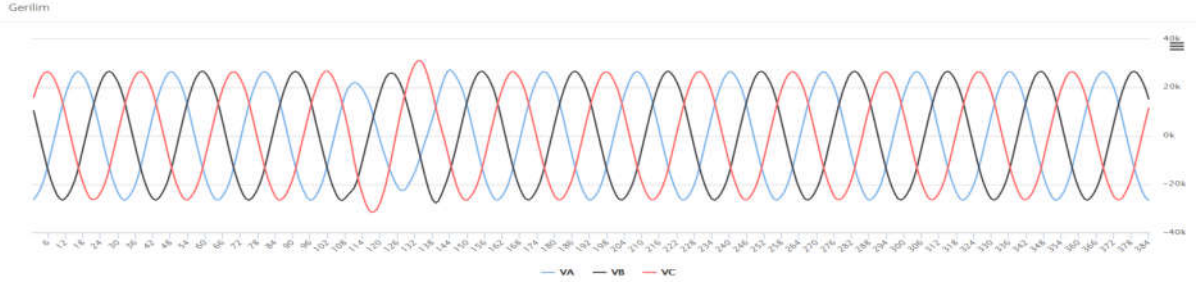
Şekil 6'da olay sırasında kaydedilen veriler Inavitas aracılığıyla görüntülenmektedir. Önerilen algoritmaya göre olay yönü yük kaynaklı(downstream) olarak belirlenirken arıza tipide tek faz toprak arızası olarak belirlenmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilen COMTRADE dosyalarındaki akım ve gerilim dalga şekilleri incelediğinde güç kalitesi cihazının arıza akımını kaydettiği ve A fazının akımı yükselirken A fazının geriliminde bir çökme meydana gelmektedir. Aynı zamanda toprak arızası olduğundan dolayı C fazının gerilim yükselmiştir. Bu veriler öncülüğünde arıza tipi ve yönü doğru bir şekilde belirlendiği gözlemlenmektedir.

Şekil 9'da olay sırasında kaydedilen veriler Inavitas aracılığıyla görüntülenmektedir. Önerilen algoritmaya göre olay yönü yük kaynaklı(downstream) olarak belirlenirken arıza tipide üç faz toprak arızası olarak belirlenmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilen COMTRADE dosyalarındaki akım ve gerilim dalga şekilleri incelediğinde güç kalitesi cihazının arıza akımını kaydettiği ve üç fazın akımı yükselirken üç faza ait gerilimlerde bir çökme meydana gelmektedir. Bu veriler öncülüğünde arıza tipi ve yönü doğru bir şekilde belirlendiği gözlemlenmektedir.

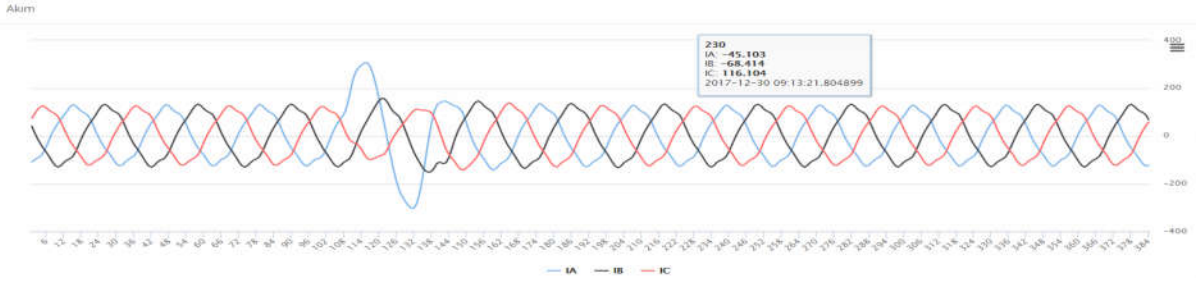
Şekil 12'de olay sırasında kaydedilen veriler Inavitas aracılığıyla görüntülenmektedir. Önerilen algoritmaya göre olay yönü şebeke kaynaklı(upstream) olarak belirlenmiştir. Şekil 13 ve Şekil 14'da gösterilen COMTRADE dosyalarındaki akım ve gerilim dalga şekilleri incelediğinde güç kalitesi cihazının arıza akımını kaydetmediği görülmektedir. Bu durumda güç kalitesi analizörünün bulunduğu hatta herhangi bir arıza meydana gelmemiştir. Ancak bağlı oldu fiderde gerilim çukuru gözlenmektedir. Bu bilgiler öncülüğünde arıza yönünün doğru tespit edildiği gözlenmektedir

Cihaz adı	Olay adı	Tarih	Süre	Depth	Faz	Vamin	Vamax	Vbmin	Vbmax	Vcmin	Vcmax	Olay yönü	Arıza Tipi		
100466	SENDIREMEKE TRB (JON)	Sag&Swell	18.186	2017-12-30 09:13:21.690	0.03	1.203	C	85.597	94.609	99.58	105.202	110.421	120.265	0	Tek Faz Toprak Arızası

Şekil 6. SENDIREMEKE TRB Olay Verisi



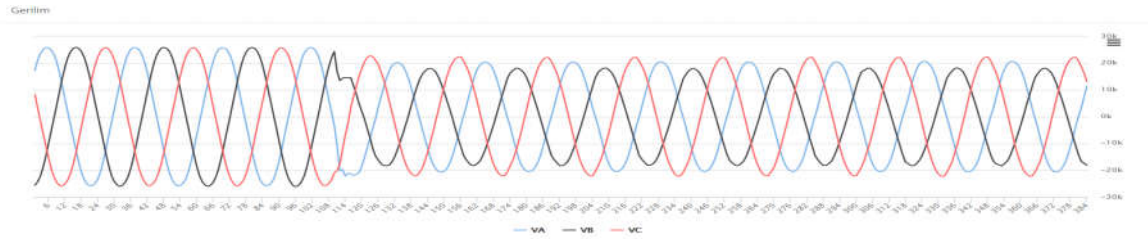
Şekil 7. Olay sırasında gerilim dalga şekli



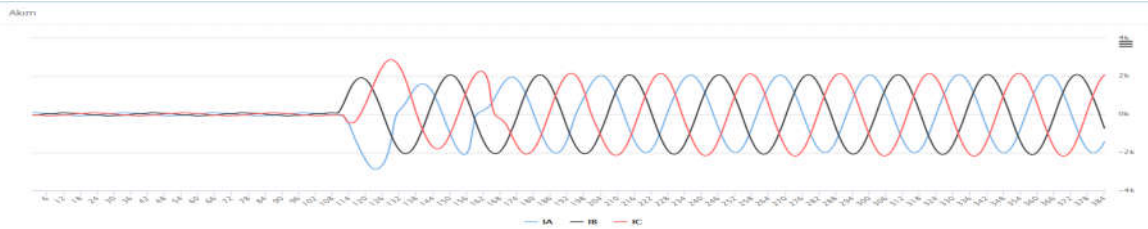
Şekil 8. Olay sırasındaki akım dalga şekli

Cihaz adı	Olay adı	Tarih	Süre	Depth	Faz	Vamin	Vamax	Vbmin	Vbmax	Vcmin	Vcmax	Olay yönü	Anıza Tipi
100504 CAMLICA-1 HES TRA (ON)	Sag	19.052 2017-12-24 13:45:11.277	0.77	0.673	B	76.44	99.347	67.327	87.351	81.394	107.095	0	Üç Faz Toprak Arzası

Şekil 9. CAMLICA-1 HES TRA Olay Verisi



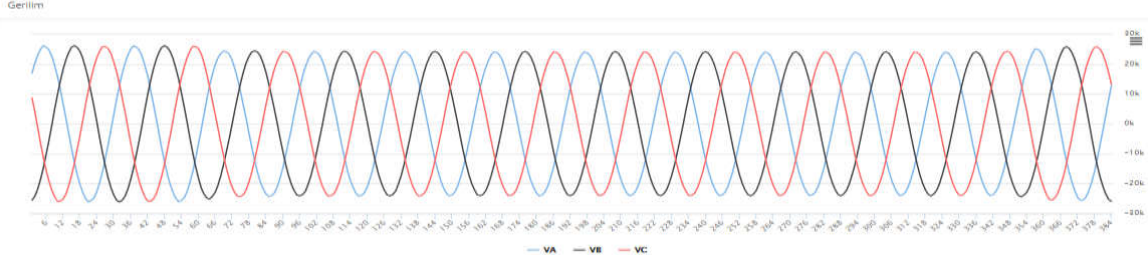
Şekil 10. Olay sırasındaki gerilim dalga şekli



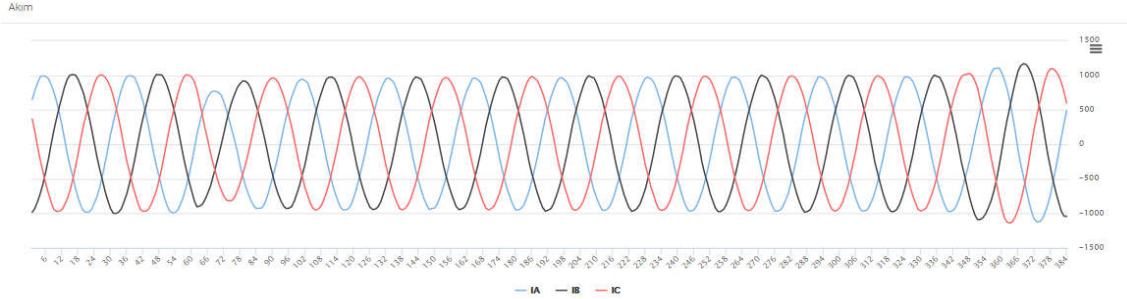
Şekil 11. Olay sırasındaki akım dalga şekli

Cihaz adı	Olay adı	Tarih	Süre	Depth	Vamin	Vamax	Vbmin	Vbmax	Vcmin	Vcmax	Olay yönü	Anıza Tipi	
100621 TALAS TRA (ON)	Sag	19.052 2017-10-22 15:29:38.290	0.149	0.29	A	88.979	89.861	89.305	90.281	89.1	90.231	1	Upstream

Şekil 12. Talas TRA olay verisi



Şekil 13. Olay sırasındaki gerilim dalga şekli



Şekil 14. Olay sırasındaki akım dalga şekli

4. Sonuçlar

İletim ve dağıtım sistemlerinde en fazla karşılaşılan sorun gerilim çukurudur. Bu yüzden gerilim çukurunun yönünün ve konumunun tespit edilmesi şebeke operatörleri tarafından önemsenmektedir. Önerilen algoritma ile gerilim ve akım arasındaki ilişkiye göre olay yönü ve arıza tipi belirlenmektedir. Bu çalışmada elektrik şebekesindeki arıza sırasında güç kalitesi analizörleri tarafından kaydedilen akım ve gerilimin maksimum ve minimum değerleri yardımıyla arıza tipi ve olay yönü tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda önerilen metotlar simülasyon ağırlıklıdır. Ancak tasarlanan algoritmada gerçek zamanlı saha verileri kullanılmıştır. Bu çalışma müşteri şikayetlerinin çok olduğu gerilim çukuru olaylarının iletim şebekesi mi dağıtım şebekesi mi kaynaklı olduğu sorusuna cevap vermekte ve dağıtım sistemi operatörleri tarafından bu amaçla kullanılabilir. Ayrıca gerçek verilerin kullanılması ile literatüre yeni bir metot kazandırılmıştır. Geliştirilen metod radyal şebekelerde kullanıldığında olay yönünün belirlenmesi yanında olay konumunun belirlenmesine de yardımcı olmaktadır. Algoritma yaklaşık 10000 veri ile test edilmiştir ve büyük ölçüde gerçek veriler ile doğrulanmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] Bollen MJH., Understanding power quality problems, voltage sags and interruption. New York, IEEE Press, 2000.
- [2] Recommended practice for monitoring electric power quality, IEEE Standard 1159, 2009.
- [3] EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. European

Standard, CENELEC, 2007.[4] Mohammadia, Y., Moradia, M.H, ve Leborgneb, R.C., "Locating the source of voltage sags: Full review, introduction of generalized methods and numerical simulations", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 821-844, 2017

[5] Mullins, C., "Voltage sags: Upstream or Downstream", *Power Monitors, Inc.*, White Paper, 2016.

[6] Schneider Electric, "Power Logic ION 7550/ION 7650 Power and energy meters", 2010.

[7] Kong, W., Dong, X., Chen, Z., "Voltage sag source location based on instantaneous energy detection", *Electric Power System Research*, 78(11), 1889-98, 2008.

[8] Polajzer, B., "Detection of voltage sag sources based on instantaneous voltage and current vectors and orthogonal Clarke's transformation", *IET Generation Transmission Distribution*, 2(2), 219-26, 2008

[9] [27] Tayjasant, T., Chun, L. ve Xu W. A., "resistance sign-based method for voltage sag source detection", *IEEE Transaction on Power Delivery*, 20(4), 2544-51, 2005.

[10] Leborgne, RC., Karlsson, D., "Voltage sag source location based on voltage measurements only", *Electrical Power Quality Utilisation*, 2008; 14(1):25-30.

[11] Polajzer, B., Štumberger, G. ve Dolinar, D. "Detection of voltage sag sources based on the angle and norm changes in the instantaneous current vector written in Clarke's components", *International Journal Electrical Power & Energy Systems*, 64, 967-76, 2015