

TEKİS: TEİAŞ Elektrik Güç Kalitesi ve Şebeke İzleme Sistemi *TEKİS: TEİAŞ Electric Power Quality and Grid Monitoring System*

Dilek Küçük¹, Serkan Buhan¹, Turan Demirci¹, Mehmet Barış Özkan¹, Muhammet Serkan Çınar¹,
Erinç Altıntaş¹, Umut Güvengir¹, Seyit Bilal Çelik¹, Sara Uçar¹, Cuma Ali Mantas²,
Murathan Yeniceli², Numan Noyan², Merden Yeşil², Şehri Nur Güler², İlker Erdem Kayaoğlu²,
Umut Yener², Kamil Çağatay Bayındır³

¹TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
dilek.kucuk@tubitak.gov.tr

²Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)
cumaali.mantas@teias.gov.tr

³Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
kcbayindir@ybu.edu.tr

Özet

Elektrik güç kalitesi hem şebeke yönetimi hem de son kullanıcılar için son derece önemli bir konudur. Düşük güç kalitesinin kritik ekipmanların arızalanmasına, kablo ve diğer ekipmanlarda aşırı ısınmalara ve sistem kayıplarına neden olabildiği bilinmektedir. Bu çalışmada, TÜBİTAK MAM tarafından TEİAŞ için yürütülmekte olan bir AR-GE projesi kapsamında geliştirilmesine devam edilen TEİAŞ Elektrik Güç Kalitesi ve Şebeke İzleme Sistemi (TEKİS) tanıtılmaktadır. TEKİS; daha öncesinde Milli Güç Kalitesi Projesi kapsamında geliştirilen Güç Kalitesi İzleme Sistemi'nin yerini almak üzere geliştirilen ve yeni yazılım ve yapay zekâ teknolojileriyle yetenekleri büyük ölçüde artırılmış ve çeşitlendirilmiş tamamen yeni ve geniş-ölçekli bir sistemdir. TEKİS; geniş alan izleme, fazör ölçüm birimi, güncel ve tarihsel veri sorgulama, ilgili çeşitli standartlara göre otomatik raporlar oluşturma, detaylı arıza analizleri, gerilim çukuru yönü belirleme ve yapay zekâ tabanlı olay sınıflandırma gibi önemli yeteneklere sahiptir. Çalışmamızda sistemin güncel sürümünün mimarisi ve örnek ekran görüntüleri de sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: güç kalitesi, geniş alan izleme, güç kalitesi izleme, fazör ölçüm birimi, yapay zekâ.

Abstract

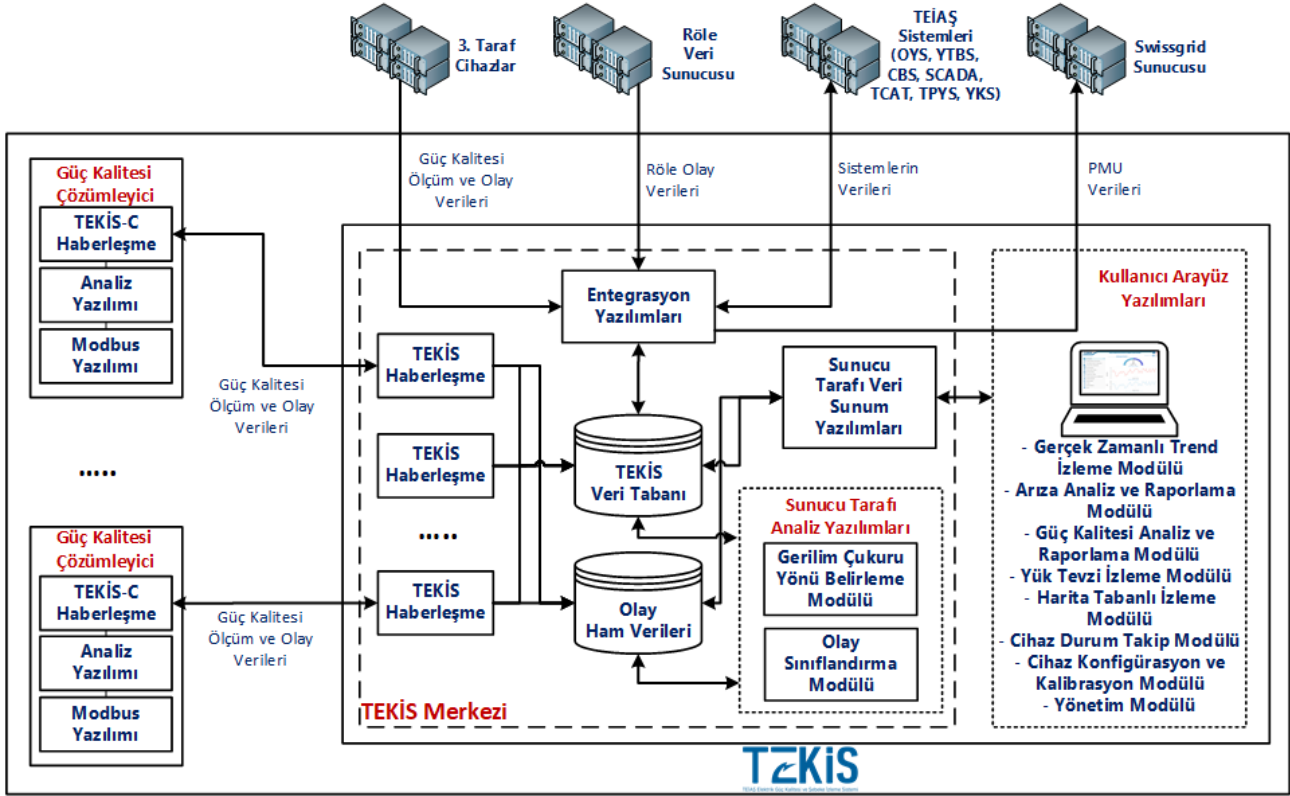
Electric power quality is of utmost importance both for grid management and end users. It is known that low quality of power may lead to malfunctioning of critical equipment, overheating in cables and other equipment, and system losses. In this study, TEİAŞ Electric Power Quality and Grid Monitoring System (TEKİS), which is being developed within the course of an R&D project

carried out by TÜBİTAK MRC for TEİAŞ. To replace the previous Power Quality Monitoring System developed within the course of National Power Quality Project, TEKİS is being built as a large-scale brand-new system with enhanced and enriched capabilities using new software and AI technologies. TEKİS comprises important features like wide area monitoring, phasor measurement unit, querying recent and historical data, automatic report generation based on standards, detailed fault analysis, sag directivity detection, and AI-based event classification. Architecture and sample screenshots of the current system version are also presented in our current study.

Keywords: power quality, wide area monitoring, power quality monitoring, phasor measurement unit, artificial intelligence.

1. Giriş

Elektrik güç kalitesi (elektiriksel güç kalitesi veya güç kalitesi) ilgili IEEE Std. 1159-2019 standardında, “elektronik ekipmana, o ekipmanın çalışmasına uygun ve ayrıca bina içi kablolama sistemi ve bağlı ekipmanlarla uyumlu olacak şekilde güç sağlanması ve topraklanması” olarak tanımlanmaktadır. Düşük güç kalitesinin hem şebeke tarafında hem de son kullanıcı tarafında önemli problemlere neden olduğu bilinmektedir. Şebeke tarafında yaşanan problemler arasında; kritik ekipmanların arızalanmaları, kabloların ve ekipmanların aşırı ısınmaları, koruma araçlarının uygun olmayan şekilde çalışmaları ve sistem kayıpları sayılabilir [1]. Son kullanıcılar açısından ise; üretim veriminin ve kalitesinin düşmesi, tüketici elektroniğinin arızalanması, buna bağlı veri kayıpları ile fliker gibi problemlerin insanların psikolojileri üzerindeki olumsuz etkileri sayılabilir.



Şekil 1. TEKİS'in Genel Sistem Mimarisi

Bu çalışmada, Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nden yaygın biçimde güç ve güç kalitesi verilerini toplayarak şebekenin bütünsel bir yapıda izlenmesini, verilerin otomatik analiz edilmesi ve raporlanmasını sağlayacak büyük ölçekli bir sistem olan TEİAŞ Elektrik Güç Kalitesi ve Şebeke İzleme Sistemi (TEKİS) tanıtılmaktadır. TEKİS, yeni yazılım ve yapay zekâ teknolojilerine dayalı olarak geliştirilmektedir. Sistem; geniş alan izleme, fazör ölçüm birimi, gerçek zamanlı izleme, otomatik raporlama, gerilim çukuru yönü belirleme ve olay sınıflandırma gibi önemli yeteneklere sahip olacaktır. Sistem tamamlandığında; önemli bir akıllı şebeke (smart grid) uygulaması örneği oluşturacaktır. TEKİS; aşağıda da açıklanan Güç Kalitesi Milli Projesi (2006-2020) kapsamında geliştirilmiş olan Milli Güç Kalitesi İzleme Sistemi'nin tüm özelliklerini kapsayacak ve bu sistemin yerini alacaktır. Bu bölümün kalan kısmında, yakın dönemde güç kalitesi izleme sistemleri konusunda gerçekleştirilmiş literatür taranmıştır.

Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nde elektrik güç kalitesini izlemek için 2006-2010 yılları arasında Milli Güç Kalitesi İzleme Sistemi gerçekleştirilmiş ve Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi kurulmuştur [2]. Sistem kapsamında Linux işletim sistemini kullanan bilgisayar tabanlı güç kalitesi çözümleyicileri donanım ve yazılım bileşenleriyle birlikte gerçekleştirilmiştir. Bu çözümleyiciler IEC-61000-4-30 standardına uygun olarak güç ve güç kalitesi parametrelerini ölçmekte, güç kalitesi olaylarını tespit etmektedir. Her biri; iki fideri aynı anda ölçme kapasitesine sahip olan çözümleyiciler

aynı zamanda GPS bileşenleri sayesinde senkron veri ölçümü gerçekleştirmektedir. 2012 yılında 43 ülkeden 114 dağıtım ve iletim sistemi operatörüne gönderilen ve güç kalitesi izleme konusundaki endüstriyel pratikleri belirleme amaçlı anket çalışmasının sonuçları 2013 yılında elde edilmiştir [3]. Bu anketin sonuçlarına göre; sistem operatörlerinin %82'sinin sabit monitörler ile sürekli ölçüm yaptıkları görülmüştür (dağıtım operatörleri daha çok taşınabilir, iletim operatörleri daha çok sabit monitörler kullanmaktadır). Bir diğer ilgili çalışmada; Avustralya'daki 16 elektrik dağıtım hizmeti sağlayıcısının 12'sinin toplamda 12.000 noktadan sağladığı verileri kapsayan geniş-ölçekli bir güç kalitesi izleme sistemi projesi sunulmuştur [4]. Ölçüm noktaları alçak gerilim ve orta/yüksek gerilim noktalarından oluşmaktadır. Dağıtım seviyesinde bir geniş alan izleme sistemi olan FNET/GridEye sistemi bir tür fazör ölçüm birimi olarak tanımlanan frekans arızası kaydedicilerden veri toplamaktadır [5]. Başka bir çalışmada, güç kalitesi ölçümlerinin FPGA-tabanlı bir cihaz ile gerçekleştirildiği ve İnternet-tabanlı Güç Kalitesi İzleme Sistemi (İnternet-based Power Quality Monitoring System-IPQMS) verilen bir sistem tanıtılmıştır [6]. Ölçümler IEC 61000-4-30 standardına uygun olarak gerçekleştirilmekte, UDP/IP protokolü ile sistemin merkezine gönderilmekte ve merkezdeki yazılımlar ile 3 sn'lik ortalamalar şeklinde veriler veri tabanına aktarılmaktadır. Hawaii Üniversitesi tarafından Açık Güç Kalitesi (Open Power Quality-OPQ) adında bir proje gerçekleştirilmiştir [7]. Raspberry Pi tabanlı OPQ Box isimli cihaz veri toplamakta, belirli eşikler aşıldığında sistem merkezine ilgili verileri

göndermekte, talep edilirse ayrıca yüksek çözünürlüklü veriler de sistem merkezine gönderilebilmektedir.

2. Sistemin Tanıtımı

TEKİS faklı nitelikteki birçok yazılım bileşenlerinden oluşan bütünlük ve geniş-ölçekli bir güç kalitesi ve şebeke izleme sistemidir. Sisteme ait özet bilgilere ayrıca <https://tekis.teias.gov.tr/> adresinden erişilebilmektedir. Aşağıda ilk bölümde, sistemin genel mimarisi açıklanmış; takip eden ikinci bölümde ise sistem modüllerinin açıklamalarına yer verilmiştir.

2.1. TEKİS'in Genel Mimarisi

TEKİS'in genel sistem mimarisi Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin merkezinde TEKİS veri tabanı, güç kalitesi olay ham verileri ve sunucu tarafı tüm TEKİS yazılım bileşenleri için gerekli sunucu kümeleri yer almaktadır. Sistemin ana veri kaynağını TEKİS-C adı verilen ve TÜBİTAK MAM tarafından TEİAŞ için geliştirilen güç kalitesi çözümleyici cihazlar oluşturmaktadır. Bu cihazlar Şekil 1'de verilen mimaride solda yer almakta ve sürekli ölçtükleri ilgili verilerle birlikte kaydettikleri güç kalitesi olay ve arızalarına ait kayıtları sistem merkezine göndermektedir. Sürekli ölçülen tüm güç ve güç kalitesi parametreleri merkezi TEKİS veri tabanında saklanmakta; olay ve arızaların ise üst bilgileri veri tabanında saklanırken bunlara ait yüksek çözünürlüklü ham veriler ilgili TEKİS dosya sunucusunda saklanmaktadır.

Sistemin diğer veri kaynakları arasında; bahsi geçen cihazlar dışında; iletim sisteminde bazı noktalara kurulmuş 3. taraf cihazlar, mümkün olursa röle arıza kayıtlarının saklanacağı röle veri sunucusu ve TEİAŞ'ın diğer bilişim sistemleri de bulunmaktadır. Bu veri kaynaklarından FTP, Modbus protokolü ve Web servisler gibi çeşitli yöntemlerle veriler alınacaktır/alınmaktadır. Bunlar dışında; Türkiye'nin Elektrik İletim Sistemi'nin Avrupa'nın sistemine bağlı olması nedeniyle TEKİS'ten ilgili ENTSO-E merkezine (Swissgrid) de sürekli fazör verisi akışı olacaktır. Sistemin bu veri kaynakları Şekil 1'de üst kısımda gösterilmiştir.

Sistemin bir sonraki bölümde açıklanacak modüllerinden iki tanesi (Gerilim Çukuru Yönü Belirleme ve Olay Sınıflandırma modülleri) yine sistem merkezindeki ilgili uygulama sunucu kümeleri üzerinde çalışacaktır. Bu modüller dışında, TEKİS'in çok çeşitli amaçlarla geliştirilmekte olan farklı kullanıcı arayüz modülleri bulunmaktadır ve bu modüllerin tümü bütünlük yapıdaki bir kullanıcı arayüz uygulaması ile TEKİS kullanıcılarına sunulmaktadır. Örneğin; Arıza Analiz ve Raporlama modülü ile güç kalitesi olay ve arızaları üzerinde ayrıntılı analizler yapılabilmekte, Harita Tabanlı İzleme modülü ile TEKİS verileri Türkiye Elektrik İletim Sistemi haritası üzerinde görselleştirilmektedir. Söz konusu modüllerin sistem mimarisinde (Şekil 1) sağ tarafta listelenmiştir. TEKİS uygulama sunucuları üzerinde ise TEKİS veri tabanından söz konusu kullanıcı arayüz modüllerine (esasen bütünlük TEKİS kullanıcı arayüz uygulamasına) veri

sağlayan sunucu tarafı veri sunum yazılımları yer almaktadır. Bahsi geçen sistem modülleri aşağıdaki bölümde daha ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır.

2.2. TEKİS Modülleri

TEKİS'in ana modülleri aşağıda listelenmiş ve açıklanmıştır.

- **Cihaz ve Haberleşme Modülleri:** Bu modüller; sistemin ana veri kaynağı olan güç kalitesi çözümleyici (TEKİS-C) cihazlar üzerinde çalışan ve sürekli olarak ilgili uluslararası standartlara (IEC-61000-4-30, IEEE Std. C37.118-2005) uygun olarak gerekli güç kalitesi ve fazör analizlerini yaparak verileri hesaplayan ve son olarak da bu verileri periyodik olarak TEKİS veri tabanında saklanmak üzere TEKİS merkezine gönderen yazılımları kapsamaktadır. Hesaplanan ve merkeze gönderilen veri türleri arasında; frekans, akım/gerilim harmonikleri ve ara harmonikleri, kırpışma, akım/gerilim dengesizliği, güç, alt-üst gerilim sapması ve enerji ile tespit edilen güç kalitesi olayları (tepe, çukur, kesinti) sayılabilir.
- **Veri Tabanı Modülü:** Sistemin tüm veri kaynaklarından otomatik toplanan güç ve güç kalitesi verileri ile sistemin merkez tarafındaki analiz modüllerince hesaplanan diğer tüm veriler sistemin veri tabanında saklanmaktadır.
- **Gerilim Çukuru Yönü Belirleme Modülü:** Bu modül ile TEKİS veri tabanına kaydedilmiş gerilim çukurlarının otomatik olarak karakteristikleri tanımlanacak ve gerilim çukurunun yönü belirlenmektedir.
- **Olay Sınıflandırma Modülü:** Bu modül ile TEKİS merkezine gönderilen güç kalitesi olayları, sebeplerine göre makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak otomatik sınıflandırılacaktır. Örnek sınıf etiketleri arasında *hat arızası, trafo arızası, trafo enerjileme, kapasitör anahtarlaması* sayılabilir.
- **Gerçek Zamanlı Trend İzleme Modülü:** Sistem veri tabanına sürekli olarak 1 sn. ve 3 sn.'lik ortalamalar şeklinde kaydedilen frekans, akım/gerilim büyüklükleri ve güç verileri ile 100 msn.'lik ortalamalar şeklindeki fazör verilerinin dinamik güncellenen grafikler şeklinde gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini sağlayan kullanıcı arayüz modülüdür.
- **Arıza Analiz ve Raporlama Modülü:** Ham verileriyle birlikte sistem merkezine gönderilen olay ve arızaların tablolar ve grafikler şeklinde sunulduğu ve olay ham verilerinin ayrıntılı incelenerek bu veriler üzerinde ayrıca birçok analizin gerçekleştirilebildiği modüldür. Gerilim Çukuru Yönü Belirleme ve Olay Sınıflandırma modüllerinin çıktıları da bu modül üzerinden sunulmaktadır.

- **Güç Kalitesi Analiz ve Raporlama Modülü:** TEKİS veri tabanında kayıtlı ve sürekli ölçümü yapılan frekans, güç akım/gerilim büyüklükleri, harmonikleri, ara harmonikleri, kırpışma, dengesizlik, enerji gibi tüm verilerin uzun vadede sorgulanabildiği ve ilgili standartlara uygun otomatik güç kalitesi raporlarının oluşturulduğu kullanıcı arayüz modülüdür.
- **Yük Tevzi İzleme Modülü:** Sistemde fazör ölçüm birimi (PMU) olarak da çalışmakta olan çözümleyici cihazlardan toplanan yüksek çözünürlüklü (100 msn.) fazör verilerinin farklı birçok şekilde görselleştirilerek sunulduğu kullanıcı arayüz modülüdür.
- **Harita Tabanlı İzleme Modülü:** TEKİS'in Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) benzeri yeteneklere sahip kullanıcı arayüz modülüdür. Bu modül yolu ile TEKİS veri tabanındaki güç kalitesi verileri ve olayları Türkiye haritası üzerinde görselleştirilerek gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.
- **Cihaz Durum Takip Modülü:** TEKİS'in ana veri kaynağı olan güç kalitesi çözümleyici cihazların (TEKİS-C) merkezle bağlantı durumlarının ve zaman senkronizasyonuna yönelik bazı bilgilerinin izlenebildiği kullanıcı arayüz modülüdür.
- **Cihaz Konfigürasyon ve Kalibrasyon Modülü:** Güç kalitesi çözümleyici cihazların (TEKİS-C) ayrı ayrı

konfigürasyonlarının yapılmasına ve kalibrasyonlarına olanak sağlayan kullanıcı arayüz modülüdür.

- **Yönetim Modülü:** Kullanıcı yetkilendirme, otomatik raporlarda kullanılan parametre sınır değerlerinin düzenlenmesi, sistem sunucu durumlarının izlenmesi gibi çeşitli yönetsel işlemin gerçekleştirilebildiği kullanıcı arayüz modülüdür.

Sistemin sayılan ana modülleri dışında Göstergeler, Yönetici Özeti Raporları ve Kişisel Ayarlar modülleri gibi yardımcı modülleri de bulunmaktadır.

3. TEKİS Örnek Kullanıcı Arayüz Ekranları

Bu bölümde TEKİS kullanıcı arayüz modüllerinden örnek bazı ekranlar sunulmaktadır. TEKİS bütünlük kullanıcı arayüz uygulamasının sol tarafında sistemin tüm ana ve yardımcı modüllerini hızlı erişimi sağlayan açılır-kapanır ana menü yer almaktadır. Kullanıcılar bu menü yoluyla yetkili oldukları TEKİS modülü ekranlarına erişebilmektedir.

İlk olarak Şekil 2'de TEKİS Harita Tabanlı İzleme modülünün örnek görüntüsü verilmiştir. Sistem ilk açıldığında bu modül görüntülenmektedir. Modülün verilen ekranında elektrik şebekesinde meydana gelmiş olan en son güç kalitesi olay ve arızaları Türkiye haritası üzerinde görselleştirilecektir. Ayrıca harita üzerinde seçilecek noktadaki yük akışları sistemin gerçek zamanlı saniyelik çözünürlükteki verilerine dayalı olarak tek hat şeması üzerinde de izlenebilecektir.



Şekil 2. TEKİS Harita Tabanlı İzleme Modülü



Şekil 3. TEKİS Göstergeler Modülü

TEKİS kullanıcı arayüz yazılımının Göstergeler modülünün ilk ekranına ait örnek görüntü Şekil 3'te sunulmuştur. Bu ekranda sistem frekansı anlık olarak kadran bileşeni şeklinde sunulmakta, ayrıca son 15 dk.'ya ait frekans verileri ile dF/dt verileri de anlık güncellenen zaman-serisi grafikleri şeklinde ekranın alt bölümünde görüntülenmektedir. TEKİS'in Gerçek Zamanlı Trend İzleme modülünün Güç Kalitesi Trend İzleme ekranına ait örnek bir görüntü ise Şekil 4'te sunulmaktadır. Kullanıcının seçtiği çözünürlükteki son bir saate ait veriler dinamik grafikler şeklinde ekranda görüntülenmektedir. Son bir saatten önceki bir saate ait verilere de kaydırma çubuğu kullanılarak erişilebilmektedir. Benzer şekilde sistemin Arıza Analiz ve Raporlama modülünün "Son Olaylar" ekranına ait örnek bir görüntü Şekil 5'te verilmiştir. Tablo şeklinde sunulan son olay verilerinden seçilenler ayrıca ekranın sağ tarafında sunulan Türkiye İletim Sistemi Haritası üzerinde de gösterilebilmektedir. Kullanıcıların seçecekleri olayların ham verileri de ayrıca ayrıntılı şekilde incelenebilmektedir. TEKİS kullanıcı arayüz uygulaması yoluyla erişilen tüm bu modüllerde sunulan grafik ve tablo gibi yollarla sunulan tüm veriler hem resim hem de veri dosyaları şeklinde dışarı aktarılabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nin tamamının geniş ölçekli ve bütünlük bir yapıda izlenmesini sağlayacak TEİAŞ Elektrik Güç Kalitesi ve Şebeke İzleme Sistemi (TEKİS) tanıtılmıştır. Yeni yazılım ve yapay zekâ teknolojileri kullanılarak geliştirilmekte olan sistemin mimarisi ile birlikte ana modülleri açıklanmış ve örnek ekran görüntüleri

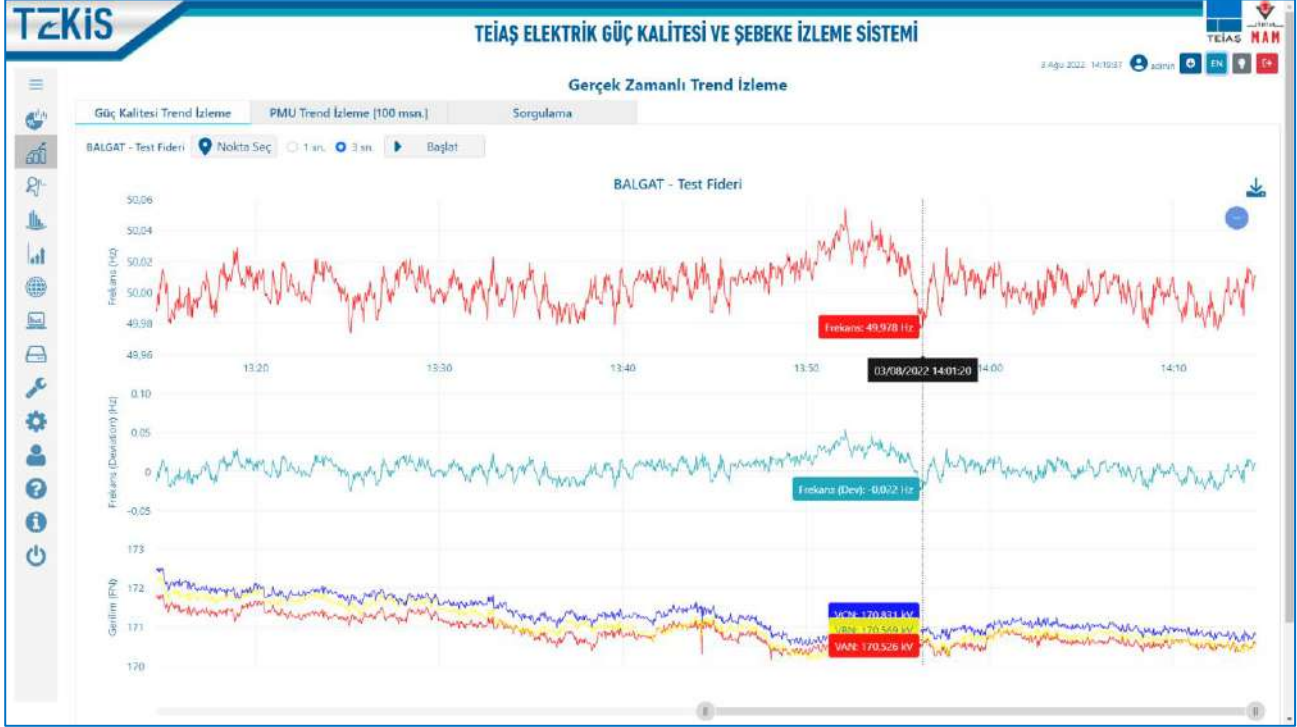
sunulmuştur. Özellikle; sahip olduğu geniş alan izleme, fazör ölçüm birimi, otomatik raporlama, gerilim çukuru yönü belirleme ve yapay zeka tabanlı olay sınıflandırma modülleri ile TEKİS'in ilgili literatür için hem teorik hem de uygulamalı bir katkı oluşturduğu değerlendirilmektedir.

5. Kaynaklar

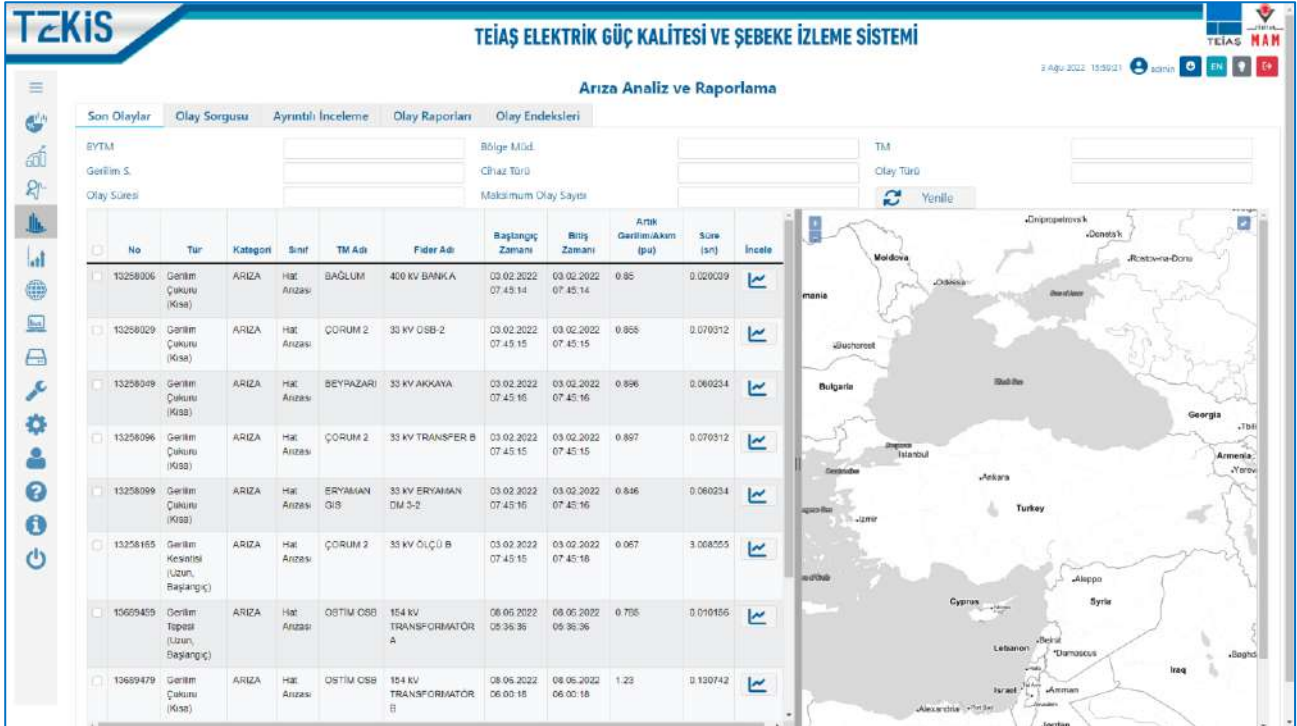
- [1] Johnson, D. O., & Hassan, K. A. Issues of power quality in electrical systems. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 5(4), 148-154, 2016.
- [2] Demirci, T., Kalaycıoğlu, A., Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Pakhuylu, S., ... & Ermiş, M. Nationwide real-time monitoring system for electrical quantities and power quality of the electricity transmission system. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(5), 540-550, 2011.
- [3] Milanović, J. V., Meyer, J., Ball, R. F., Howe, W., Preece, R., Bollen, M. H., Elphick, S. & Čukalevski, N. International industry practice on power-quality monitoring. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(2), 934-941, 2014.
- [4] Elphick, S., Ciufu, P., Drury, G., Smith, V., Perera, S., & Gosbell, V. Large scale proactive power-quality monitoring: An example from Australia. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(2), 881-889, 2016.
- [5] Liu, Y., You, S., Yao, W., Cui, Y., Wu, L., Zhou, D., Zhao, J., Liu, H. & Liu, Y. A distribution level wide area monitoring system for the electric power grid-FNET/GridEye. *IEEE Access*, 5, 2329-2338, 2017.
- [6] Yıldırım, O., Erişti, B., Erişti, H., Ünal, S., Erol, Y., & Demir, Y. FPGA-based online power quality

monitoring system for electrical distribution network. *Measurement*, 121, 109-121, 2018.

[7] Christe, A. J., Negrashov, S., & Johnson, P. M. Design, Implementation, and Evaluation of Open Power Quality. *Energies*, 13(15), 4032, 2020.



Şekil 4. TEKİS Gerçek Zamanlı İzleme Modülü



Şekil 5. TEKİS Arıza Analiz ve Raporlama Modülü