



# Akıllı Elektrik Dağıtım Şebekeleri İçin Dağıtım Merkezi İzleme Sistemi Geliştirilmesi

## Development of Substation Monitoring System for Smart Electricity Distribution Networks

Doruk Güneş<sup>1</sup>, Bora Alboyacı<sup>2</sup>, Hasan Yılmaz<sup>3</sup>, Emre Akyüz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Genetek Güç, Enerji, Ltd. Şti.  
doruk.gunes@genetek.com.tr

<sup>2</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü  
Kocaeli Üniversitesi  
alboyaci@kocaeli.edu.tr

<sup>3</sup>Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş.  
hasany@aksa.com.tr  
emre.akyuz@coruhedas.com.tr

### Özet

Elektrik şebekeleri içerisinde, enerjinin son kullanıcıya aktarılmasında kilit role sahip ekipmanlarda meydana gelen arızalar, enerji sürekliliğini ve kullanıcılara sunulan hizmetin kalitesini olumsuz etkilemektedir. Çalışma kapsamında, Trabzon ili içerisinde belirlenen pilot dağıtım merkezine yerleştirilen sensörler ve ölçüm ekipmanları ile, farklı elektriksel parametrelere ilave olarak sıcaklık, nem ve akustik ölçümlerin ölçülmesi ve bu verilerin yorumlanarak, ilgili ekipmanlara ait arıza riski ve mevcut sağlık durumunun kestiriminin gerçekleştirilebilmesi için kullanılması amaçlanmıştır. Bu sayede gerek şebekenin güvenilir şekilde işletilmesi gerekse de kestirimci bakım çalışmalarının otomatik şekilde planlanarak şebeke işletmecilerin görevlerine yardımcı, etkili bir araç geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından Ar&Ge projeleri kapsamında desteklenmiştir.

### Abstract

Failures in equipment that have a key role in transferring energy to the end user negatively affect network reliability and the power quality. Within the scope of the study, it is aimed to measure temperature, humidity and acoustic signals in addition to electrical parameters with the sensors and measurement equipment to be placed in the pilot distribution substation located in Trabzon (Turkey) and to use these data to interpret the failure risk and current health index of the relevant equipment. In this way, it is aimed to develop an effective tool that assists the tasks of network operators by both the reliable operation of the network and the planning of predictive maintenance of equipment. This study has been funded by Energy Market Regulatory Authority of Turkey (EPDK) under R&D funding program for electricity distribution companies in Turkey.

### 1. Giriş

Dağıtım şebekelerinin tasarımı ve işletilmesinde, dağıtım merkezleri stratejik öneme sahiptir. Dağıtım merkezleri içerisinde alınan ölçümler, geniş alanlara yayılan dağıtım şebekesinin izlenebilmesi için gereken önemli parametrelerin işletmeciyeye sunulmasını sağlamaktadır [1]. Şebekenin güvenilir bir şekilde işletilmesi yalnızca ilgili güvenilirlik indislerini değil, aynı zamanda kullanıcılara sağlanan hizmet kalitesini de doğrudan etkilemektedir [2]. Her mevsimi yağışlı geçen ve nemliliğin yüksek olduğu Karadeniz bölgesinde dağıtım merkezlerinin belirli aralıklarla ziyaret edilerek bakım süreçlerinin yürütülmesi, sürekli stres altında kalan ekipmanlarda meydana gelen yaşlanmanın fark edilmesini sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Bakım süreçlerinde fark edilemeyen bozulmalar rutin bakım süreçleri arasındaki sürede arızaya dönüşerek plansız kesintilere sebep olabilmektedir.

Elektriksel etkiler ve çevresel şartlardan kaynaklı parametreler, dağıtım merkezi içerisinde ortam koşullarını ekipmanların sağlıklı çalışma koşullarının ötesine sürükleyebilmekte ve bir risk ortamı oluşturabilmektedir. Bu riskin ortadan kaldırılabilmesi için rutin kontrollerin sıklaştırılması ve bakım aralıklarının kısaltılması, artan insan gücü maliyetleri ve olası arıza durumlarında karşılaşılabilecek yaralanmalar sebebiyle sürdürülebilir bir çözüm olmamaktadır. Bu sebeple dağıtım merkezlerinin, olası risk durumlarını tespit edebilecek ölçü cihazlarıyla donatılması, nesnelerin interneti ve makine öğrenimi gibi gelişen teknolojilere dayalı izleme sistemleriyle takip edilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, durum bazlı bakım (condition based maintenance) konseptinin dağıtım şebekesi işletmesi içerisinde tesis edilmesi ve akıllı şebeke yapısı altında makine öğrenmesine dayalı otonom değerlendirme altyapısının denenmesi amacıyla Trabzon ili içerisinde, 31,5 kV gerilim

seviyesinde işletilen, 1 adet giriş ve 3 adet kesicili çıkış hücresi ile yaklaşık 10.000 abonenin şebekeye bağlantısının sağlandığı Aşağı Kışlacık DM, pilot bölge olarak belirlenerek farklı sensör ve izleme sistemleri ile donatılarak sürekli ölçümler alınmıştır.

## 2. Sisteme Genel Bakış

Bu çalışma kapsamında tesis edilen izleme sisteminin kapsamı ve tasarım kriterleri belirlenirken arıza istatistikleri incelenmiş ve sürekli izleme kapsamına alınacak parametreler belirlenmiştir. Geliştirilen sistem içerisinde, pilot uygulama kapsamında seçilen dağıtım merkezi içerisindeki her hücreden alınan akım ve gerilim bilgilerine ilave olarak; sıcaklık, nem, kısmi deşarj ve akustik ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca şebeke içerisinde meydana gelen kısa devre arızalarının lokasyonunun hızlı bir şekilde belirlenebilmesi için yönlü arıza gösterge cihazı da tesis edilmiştir.



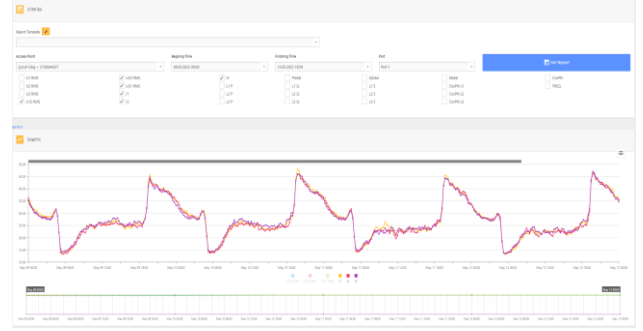
Şekil 1: Pilot bölge olarak belirlenen Aşağı Kışlacık DM içerisinde saha çalışmalarından bir kesit

Tesis edilen sistemlere ait bilgiler dağıtım merkezi içerisinde bir veri kayıt ve uzaktan erişim ünitesi tarafından otomatik şekilde toplanarak sunucuya belirli aralıklarla aktarılmaktadır.

### 2.1. Varlık Yönetimi ve Kestirimci Bakım Platformu

Akıllı şebeke yönetimi ve kestirimci bakım yaklaşımına uygun şekilde geliştirilen uzaktan izleme platformunun kullanıcı arayüzü, takip edilen dağıtım merkezi içerisindeki hücrelere ait kritik değerlerin gerçeğe yakın zamanlı olarak takip edilebileceği sayfaların ve arka planda çalışacak alarm fonksiyonlarının oluşturulması ile ortaya çıkarılmıştır.

Sunulan sürekli izlemeye yönelik arayüzlerin ötesinde, ölçülen değerler belirlenen alarm limitleri ve parametrelerin birbirleri ile ilişkilerine yönelik tanımlanmış fonksiyonlar doğrultusunda otomatik olarak takip edilmektedir. Sisteme tanımlanmış fonksiyonlar sonucunda elde edilen çıktılar, tanımlanan eşik değerleri aştığında operatörü bilgilendirici alarmlar da otomatik olarak oluşturulmaktadır.



Şekil 2: Geliştirilen izleme platformundan bir kesit.

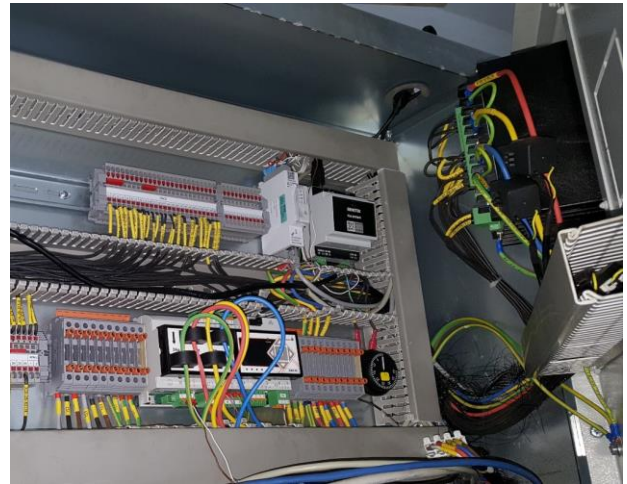
Veri güvenliği ön planda tutularak kullanıcı adı ve şifre doğrulamasının ardından girilen sistem, farklı cihazların entegrasyonuna son derece açık ve esnek şekilde, proje partneri olan Genetek Güç Enerji Ltd. Şti. tarafından geliştirilmiştir.

### 2.2. Akım, Gerilim ve Enerji İzleme Sistemi

Dağıtım merkezi içerisinde enerji izleme fonksiyonlarının gerçekleştirilebilmesi için orta gerilim hücrelerine Sfere700-M serisi enerji ölçüm cihazları tesis edilmiştir. Tesis edilen enerji izleme sistemi, harmonik bileşenlerin de ölçümünü gerçekleştirmekte ve toplam harmonik bozulma değerlerini hesaplayabilmektedir. Pilot uygulama için belirlenen dağıtım merkezi içerisinde bulunan dört adet orta gerilim hücrelerine tesis edilen enerji izleme sistemi ile ölçülen değerler, 10 saniyede bir değişen anlık değerler ve 10dk'lık ortalamalar şeklinde iki sınıfta kullanıcı arayüzüne sunulmaktadır.

### 2.3. Yönlü Arıza Gösterge Sistemi

Akıllı şebekelerin karakteristik özelliklerinden biri gözlenebilir olmasıdır. Şebeke içerisinde meydana gelen kısa devre arızalarında, arızanın meydana geldiği bölgenin temizlenmesi adına geniş bir bölge enerjisi kalabilmektedir. Yönlü arıza gösterge cihazları ise tesis edildikleri noktalarda şebekenin gözlenebilirliğini artırarak yalnızca arızanın meydana geldiği çıkışın izole edilebilmesi ve meydana gelen arıza lokasyonunun daha hızlı tespit edilerek müdahale süresinin kısaltılması konusunda fayda sağlamaktadır.



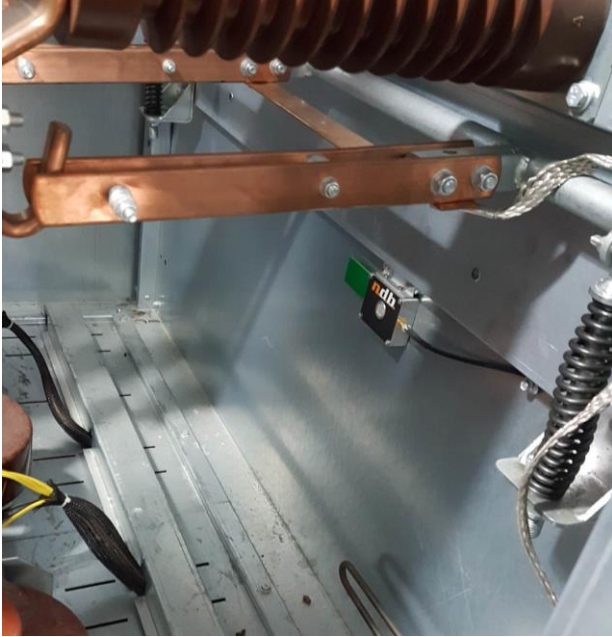
Şekil 3: Tesis edilen yönlü arıza gösterge cihazı, enerji izleme cihazı ve veri toplama ünitesi

Tesis edilen sistem içerisinde A-berle EOR3-D modeli yönlü arıza gösterge cihazı tercih edilmiştir. EOR3-D modelinin sahip olduğu yönlü arıza tespit algoritmaları, haberleşme protokolleri ve kullanışlı ekranı ürünün tercih edilmesinde önemli rol oynamıştır.

#### 2.4. Kısmi Deşarj İzleme Sistemi

Elektriksel ekipmanlar üzerinde kısmi deşarj ölçümleri işletme sürekliliği bakımından sistem operatörleri için büyük öneme sahiptir. Kısmi deşarj ölçümleri online ve offline olarak tabir edilmek üzere iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Online kısmi deşarj ölçümleri işletme koşullarında kısmi deşarj tanımlanmasında fayda sağlamaktadır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre tespit edilen kısmi deşarj varlığından dolayı oluşacak etkilere, karşı müdahale süreleri azaltılabilmektedir. Başka bir ifadeyle, elektriksel ekipmanlarda oluşan yalıtım problemleri kalıcı arızaya dönüşmeden sistem operatörleri tarafından önleyici bakım çalışmaları planlanabilmekte ve bu sayede kısmi deşarj kaynaklı plansız kesinti süreleri azaltılabilmektedir.

Çalışma kapsamında pilot dağıtım merkezi içerisinde bulunan orta gerilim hücrelerine ndb Technologies PD Annunciator ürünü tesis edilmiştir.



Şekil 4: OG hücre duvarına tesis edilen kısmi deşarj sensörünün görüntüsü.

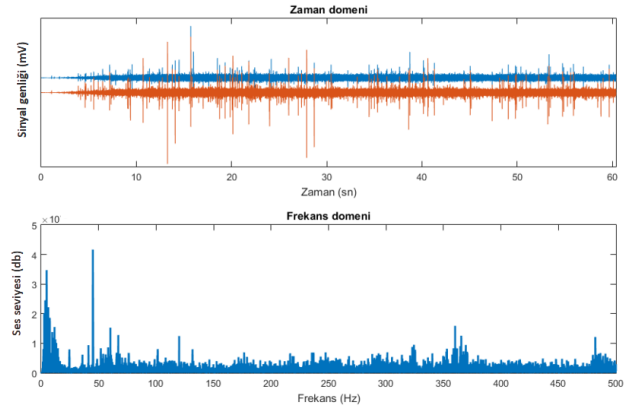
### 3. Akustik Ölçüm ve İzleme Sistemi

Enerji altında çalışan transformatörlerin yaydığı ses, transformatörün durumu hakkında pek çok bilgiyi içerisinde barındırmaktadır. [3, 4] Ses sinyalinin toplanarak incelenmesi, güç kalitesi parametrelerine yansımayan durumların tespitini sağlamaktadır. Görme duyusu gibi, işitme duyusu da uzak olaylar hakkında bilgi edinebilmek için kullanılmaktadır. Görmenin aksine işitme, görüş alanıyla sınırlı değildir. Mekanik sistemlerde ve elektrik sistemlerinde kullanılan ekipmanlar genellikle çalışırken farklı sesler üretmektedirler. Ekipmanlar tarafından üretilen sesin dalga formu, birbirinden farklı genlikte ve frekansta çok sayıda sesin üst üste binmiş hali olarak

şekillenmektedir. Bu sebeple, geniş bir frekans bandında yüksek örnekleme hızı ile incelenecek ses sinyalleri, potansiyel olarak arıza tespitinde kullanılabilir [5]. Akustik veriye dayalı sistemlerin diğer yöntemlere göre avantajlarının başında, akım veya titreşim tabanlı yöntemlerde olduğu gibi ölçülecek ekipmana çoğu zaman doğrudan temas gerektirmemeleri yer almaktadır. İkinci sırada ise, sızıntı gibi titreşim oluşturmeyen arızaların da tespit edilebilmesi gelmektedir. Ek olarak, bu yöntemlerde kullanılan sensörler nispeten daha düşük maliyetli sensörler olmaktadır. Bu sebeple elde edilen çıktılar daha uygulanabilir sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca, fiber optik mikrofolar, elektromanyetik parazitin yüksek olduğu ortamlarda kullanılabilir. [6]. Çalışma kapsamında tesis edilen sistem ile, elektrik dağıtım seviyesinde işletme altındaki bir transformatörden yayılan ses sinyallerinin, sinyal toplama ünitesi ile sürekli kayıt altına alınması sağlanmıştır. Elde edilen akustik veriler ilk olarak, çerçevelere bölünür ve pencerelenir. Çerçeve uzunluğu 0,025 sn ve çerçeve kayması 0,01 sn olarak belirlenmiştir. Hanning penceresinin daha iyi frekans çözünürlüğüne sahip olması sebebiyle seçilmiştir. Kullanılan formül Denklem 1 içerisinde gösterilmiştir.

$$w(n) = \begin{cases} 0.5 \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi n}{N-1} \right) \right], & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1)$$

Gerçekleştirilen ölçümlerde, transformatörün çalışma sesi içerisindeki frekans bileşenlerine ilave olarak çevreden gelen sesler ve gürültüler de kayıtlara etki etmiştir.



Şekil 5: Alınan akustik kayıttan bir kesit.

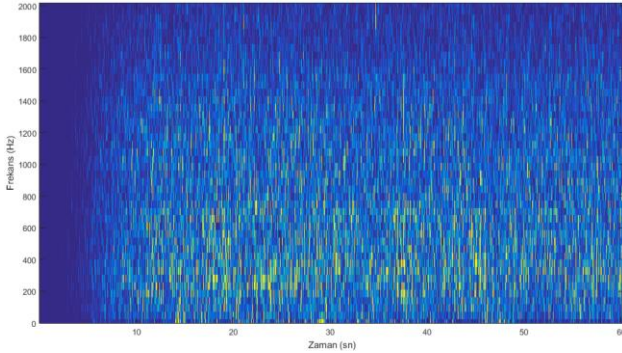
Şekil 5 üzerinde görülebildiği gibi transformatörden gelen ses üzerine çevreden gelen gürültüler de yansımış ve farklı frekansa sahip çok sayıda bileşen, dalga formunu bozmuştur.

Zaman alanında transformatörün çalışma sesi ve fan sesi gibi sinyaller sürekli sinyal olarak tabir edilen periyodik sinyal grubuna aitken, yürüme sesleri, hayvan sesleri ve kademe değiştirme sesleri anlık ses sinyalleri olarak değerlendirilir. Literatür incelendiğinde frekans alanında rüzgar sesleri genellikle 1 kHz bandında yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak arıza anında çıkan sesler, arızanın tipine ve gelişme şekline bağlı olduğu için ayırt etmek zordur. Transformatör kaynaklı sesleri gürültü içerisinde ayırmak için Kör Kaynak Ayırma (Blind Source Separation) algoritmaları kullanılmaktadır.

Çizelge 1: Trafo merkezinde duyulabilecek sesler ve karakteristik bilgileri [3]

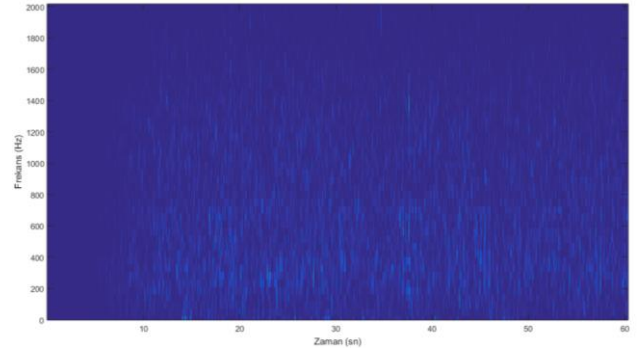
Ses tipi	Zaman Karakteristiği	Frekans karakteristiği
Transformatör fanı	Sürekli	< 1 kHz
Rüzgâr sesi	Sürekli	< 1 kHz
Yürüme sesi	Anlık	< 1 kHz
İnsan sesi	Anlık	< 2 kHz
Kuş sesi	Anlık	5-10 kHz
Araba gürültüsü	Anlık	< 5 kHz
Ekipman anahtarlamaı	Anlık	< 20 kHz
Haşere kovucu	Sürekli	< 10 kHz

Alınan akustik ölçüm kayıtlarının Hızlı Fourier dönüşümü (FFT – Fast Fourier Transform) ile işlenmesi sonucunda dalga formunu oluşturan frekans bileşenleri görülebilse de bu frekansı üreten kaynağın zamanı, sesin ne zaman meydana geldiği ve süresi gibi karakteristik verilerin elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple alınan akustik kayıt içerisinde hem frekans bileşenlerinin, hem ilgili kaynağın gücünün hem de meydana gelme şeklinin görülebilmesi amacıyla alınan kayıtlar spektrum oluşturacak şekilde işlenmiştir. Aşağıda örnek bir kayıt içerisinde verinin gürültüden arındırılacak şekilde filtrelenmesi ile elde edilen sonuçlar ve ardından transformatörün devreye alınması anında kayıt edilen değerler görülebilmektedir.



Şekil 6: Akustik kayıt verisinin çizdirilen spektrum üzerinde gösterimi.

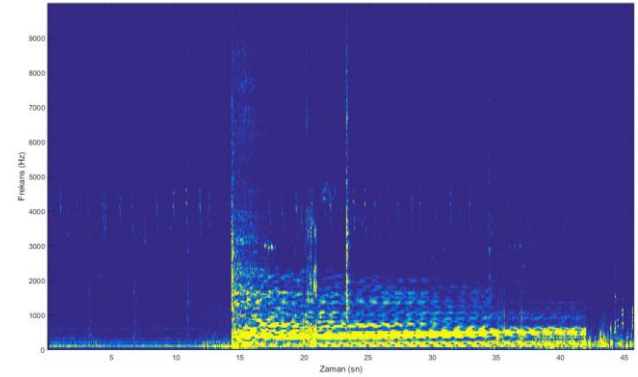
Şekil 6 üzerinde gösterilen spektrum üzerinde çok sayıda kaynaktan gelen veriler zaman ve frekans eksenleri üzerinde çizdirilmiştir. Spektrum üzerinde renk yoğunluğunun arttığı noktalar, karşılık gelen frekans bandındaki sinyalin o anda şiddetinin arttığını göstermektedir. Böylece üç boyutlu bir grafik elde edilebilmektedir. Alınan kayıt üzerinde gürültünün filtrelenmesi için kullanılan algoritma sonucunda elde edilen sinyalin akustik spektrumu aşağıda çizdirilmiştir.



Şekil 7: Gürültüden arındırılan akustik kayıt verisinin spektrum üzerinde gösterimi.

Akustik veriye uygulanan filtre fonksiyonunun ardından elde edilen spektrum Şekil 7 üzerinde gösterilmektedir. Filtrelenmiş veri içerisinde de farklı frekanslarda küçük değerli bileşenler görülmektedir.

Gürültüden arındırılmış veri içerisinde, meydana gelen olayların yansımaları daha net görülebilmektedir. Geliştirilen şebeke izleme ve akustik değerlendirme sisteminin, belirli örüntülerin geri besleme ile tanıtılmasının ardından benzer olayların tespitini otomatik olarak gerçekleştirilmesini sağlayacak şekilde geliştirilmesi hedeflenmiştir. Aşağıda bir örnek üzerinde transformatörün devreye girme anı spektrum görseli üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 8: Gürültüden arındırılan akustik kayıt verisinin spektrum üzerinde gösterimi.

Şekil 8 üzerinde çevre gürültüsünden arındırılmış veride transformatörün devreye giriş anına ait zaman ve frekans verileri net şekilde net şekilde görülebilmektedir. Frekans bileşenlerine ait değerler ise ham veri içerisinde elde edilmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma içerisinde, belirlenen bir pilot dağıtım merkezine yerleştirilen sensörler ve ölçüm sistemleri ile kayıt altına alınan parametreler belirtilerek, kurulması hedeflenen sistemin çalışma prensibi aktarılmıştır. Özellikle akustik sinyallerin ölçümü ve işlenmesiyle elde edilen veriler, örnek bir olay üzerinden gösterilmiştir. Akustik verilerin, geniş bir frekans spektrumunda sürekli olarak ölçülmesi hem sağlık endeksi çalışmaları hem de arıza kestirimi yaklaşımı içerisinde örüntü tanıma yeteneğine sahip makine öğrenmesi teknikleri ile ele alınarak işletmeciler için kullanışlı ve pratik bir değerlendirme aracının oluşturulması

konusunun araştırmaya son derece açık olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda akustik verilerin, elektriksel parametreler ile ilişkilendirilerek sağlık endeksi yaklaşımlarının her bir tekil ekipman için özelleştirilebilir hale getirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilecektir. Çalışma kapsamında ele alınan sistemin devreye alınmasının ardından geçen kısa süre sebebiyle henüz kısıtlı miktarda veri elde edilebilmiştir. Sürekli lm ve izleme süreçlerini gerçekleştiren sistem sayesinde zamanla elde edilecek veriler hem kök neden analizi hem de arıza kestirimine yönelik çalışmalarla gelecek dönemde ele alınacaktır. Varlık yönetimi için tüm araçların kullanılması gerekmektedir. Bu araçlar, sensörler ve diğer ölçüm cihazlarından alınan verilerin akıllı teknikler ile birleştirilmesi ile farklı anlamlar kazanmakta ve katma değerli çıktılar elde edilmektedir.

## 5. Kaynaklar

- [1] Zhang, M., Fang, J., Mo, W., Wang, H., Ma, J., Luo, L., Hao, F., "Development of the Monitoring System in the Smart Distribution Substation in Guangzhou, China", 2020 International Conference on Wireless Communications and Smart Grid (ICWCSG), 2020.
- [2] Jafary, P., Repo S., Seppl, J., Koivisto, H., "Security and reliability analysis of a use case in smart grid substation automation systems," 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, 2017, pp. 615-620.
- [3] Min, L., Huamao, Z., Annan, Q., "Voiceprint Recognition of Transformer Fault Based on Blind Source Separation and Convolutional Neural Network", 2021 Electrical Insulation Conference (EIC), 2021.
- [4] Zhao, S., Pan, L., Li, B., "The Study of Transformer Fault Acoustic Signal Processing Based on HHT and Wavelet Contour", 2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems, Xiamen, 2009, pp. 262-266.
- [5] Tossavainen T., "Sound Based Fault Detection System" , Aalto University, 2015.
- [6] Yang, J.-H., Jian Huang, Y., Cheng Zhang, R., Ying Fang, H. "Early Detecting and Protecting of Fault Arcs Based on Chaos." Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2008, pp. 778-781.