

Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Yüksek Mukavemetli Akıllı Panoların Saha Uygulaması ve Operasyonel Etkileri

Field Implementation and Operational Impacts of High-Strength Smart Panels in Electric Distribution Networks

Elifnur BAYRAKTAR GÜNEŞ¹, Mustafa ÇELİKPENÇE², Fatih KAYMAK³

¹Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.
Ar-Ge Merkezi/Diyarbakır/Türkiye
elifnurbayraktargunes@gmail.com
ID 0009-0005-3512-9263

²Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.
Ar-Ge Merkezi/Diyarbakır/Türkiye
mustafa.celikpence@fbu.edu.tr
ID 0009-0003-1925-9450

³Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.
Ar-Ge Merkezi/Diyarbakır/Türkiye
fatih.kaymak@dedas.com.tr
ID 0000-0003-0699-8767

Özet

Elektrik dağıtım şebekelerinde izinsiz müdahaleler ve kayıt dışı enerji kullanımı, hem sistem güvenliğini hem de işletme verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada söz konusu risklerin azaltılmasına yönelik olarak geliştirilen yüksek mukavemetli akıllı panoların tasarımı, saha uygulamaları ve performans analizleri sunulmaktadır. Kompozit gövde ve poliürea kaplama ile güçlendirilen panolar, klasik panolara kıyasla yaklaşık %70 daha yüksek mekanik dayanım sergilemiştir. Entegre darbe, sıcaklık ve kapı açılma sensörleri ile izinsiz erişimler anlık olarak tespit edilip merkeze iletilmiş; kamera ve elektromekanik kilit mekanizması ise güvenliği pekiştirmiştir. Pilot bölge uygulamalarında kurulan 3 adet prototip akıllı pano SCADA sistemiyle entegre edilerek gerçek zamanlı izlenmiştir. Bulgular, akıllı panoların izinsiz müdahaleleri caydırmada, bakım-onarım kesinti sürelerini azaltmada ve enerji sürekliliğini artırmada etkili olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonunda bu teknolojinin sektörde yaygınlaştırılmasına yönelik öneriler tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Akıllı Dağıtım Panosu, Kompozit Gövde Tasarımı, İzinsiz Müdahale Tespiti, Elektromekanik Kilit Sistemleri, Enerji Sürekliliği ve Güvenliği.

Abstract

Unauthorized interventions and unregistered energy usage in electricity distribution networks negatively affect both system security and operational efficiency. This study presents the design, field applications, and performance analyses of high-strength smart panels developed to mitigate such risks. Reinforced with a composite body and polyurea coating, the panels demonstrated approximately 70% higher mechanical durability compared to conventional enclosures. Integrated

shock, temperature, and door-opening sensors enabled instant detection and transmission of unauthorized access attempts to the central system, while a camera and electromechanical locking mechanism further enhanced security. In pilot applications, 3 prototype smart panels were deployed, integrated with the SCADA system, and monitored in real time. The findings revealed that the smart panels were effective in deterring unauthorized interventions, reducing maintenance-related outage durations, and improving energy continuity. Finally, the study discusses recommendations for the large-scale implementation of this technology in the electricity distribution sector.

Keywords: Smart Distribution Panel, Composite Enclosure Design, Unauthorized Access Detection, Electromechanical Locking Systems, Energy Continuity and Security.

1. Giriş

Elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan panolar hem çalışan güvenliği hem de enerji arzının sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir. Ancak bazı bölgelerde dağıtım panoları yetkisiz erişim girişimleri ve kasıtlı müdahalelere maruz kalabilmektedir. Bu müdahalelerin sonucunda pano içindeki ekipmanlar zarar görmekte, geniş kapsamlı elektrik kesintileri yaşanmakta ve hatta can ve mal kaybıyla sonuçlanan kazalar meydana gelebilmektedir.

Mevcut geleneksel pano kabinlerinin mekanik dayanımı düşüktür; dolayısıyla bu panolar kolaylıkla kırılarak devre dışı bırakılabilmektedir. Ayrıca eski tip panolarda izinsiz açılmaların kim tarafından gerçekleştirildiği tespit edilememektedir. Sonuç olarak mevcut sistem yetkisiz müdahalelerin önlenmesi ve takibinde yetersiz kalmaktadır. Bu duruma ilişkin dikkat çekici bir örnek Şekil 1'de sunulmuştur.

Mardin'in Nusaybin ilçesinde Kasım 2019 tarihinde kayıt dışı enerji kullanımını önlemeye yönelik kurulan bir Alçak Gerilim Sayaç Otomasyon Panosu (ASOP) sabotaj amaçlı olarak kapağı kırılıp ateşe verilmiştir [1].



Şekil 1: Sabotaj Girişimi Sonucu Tahrip Edilen ASOP.

Bu tür yetkisiz eylemler, kamuya ait altyapı ekipmanlarında ciddi fiziksel hasarlara neden olmakta ve elektrik hizmetinde süreklilik sorunlarına yol açabilmektedir.

Türkiye’de özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde elektrik dağıtım şebekelerindeki kayıp-kaçak oranları uzun yıllar ülke ortalamasının çok üzerinde seyretmiştir [2]. Örnek verilecek olursa, Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. sorumluluk bölgesindeki illerde 2013 yılında kayıp-kaçak oranı %76 iken, alınan önlemler ve teknoloji yatırımları sayesinde bu oran 10 yıl içinde %42’e kadar düşürülmüştür [3]. Buna rağmen kayıt dışı enerji tüketimi hâlâ önemli bir sorun olmaya devam etmekte; bu durumla mücadele amacıyla geliştirilen altyapılara yönelik sabotaj girişimleri ise zaman zaman yaşanmaktadır. Nitekim yalnızca 2024 yılı içinde Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. ekipleri sorumluluk bölgesindeki 60.730 panoda kontrol ve bakım işlemi gerçekleştirmiştir [4]. Bu panolardan 16.054’ünün kapağı ve kilidi, yetkisiz müdahaleler sonucu kırıldığı için yeniden değiştirilmek zorunda kalmıştır. Bahsedilen istatistik, mevcut pano sistemlerinin fiziksel sağlamlık ve güvenlik açısından ne denli yetersiz kaldığını açıkça göstermektedir.

Bu koşullar elektrik dağıtım sektöründe daha güvenli, akıllı ve yüksek mukavemetli pano çözümlerine acil bir ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kayıt dışı enerji tüketimiyle mücadele çalışmalarının yoğun olarak sürdürüldüğü bölgelerde, yalnızca yetkili personelin erişimine izin veren, izinsiz müdahaleleri anında tespit ederek bildiren ve çevresel etkenlerden minimum düzeyde etkilenen yeni nesil panoların geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Nitekim akıllı pano kavramı, akıllı şebeke dönüşümünün bir parçası olarak literatürde son yıllarda gündeme gelmiştir. Temel fikir, dağıtım panolarına algılama ve haberleşme yetenekleri kazandırarak uzaktan izleme ve kontrol imkânı sağlamak; böylece arıza, kayıp-kaçak veya yetkisiz erişim

durumlarında gerçek zamanlı müdahale edebilmektir. Dünyada ve Türkiye’de akıllı şebeke uygulamaları ilk aşamada Akıllı Sayaçlar ile Otomatik Sayaç Okuma Sistemleri (OSOS) altyapısı üzerinde yoğunlaşmıştır [5]. ASOP da bu çabanın bir uzantısı olarak özellikle Türkiye’de elektrik dağıtım şirketlerince devreye alınmıştır.

ASOP birden fazla abonenin sayacını barındıran ve dağıtım direkleri ya da sokak başlarına kurulan korumalı pano sistemleridir. Sayaçların abonelerin erişemeyeceği bir noktada toplanması sayesinde tüketimler uzaktan otomatik olarak okunabilmekte ve kaçak elektrik kullanımı doğrudan engellenebilmektedir. Birçok elektrik dağıtım firması tarafından uygulanan “Yatay Sayaç” uygulaması kapsamında sayaçlar bina içlerinden çıkarılarak yer altı şebekesine entegre edilen sokak panolarına taşınmıştır. Böylece abonelerin sayaçlara doğrudan erişimi kısıtlanmış ve kayıt dışı enerji kullanımının azaltılmasına yönelik önemli bir adım atılmıştır. Ayrıca 2012 yılında Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) tarafından yayımlanan teknik şartnamede, sayaçların elektrik dağıtım şirketlerince uygun görülen panolar içine alınabilmesine imkân tanıyarak ASOP konseptini resmî olarak tanımlamıştır [6].

Mevcut akıllı pano uygulamalarının büyük bir kısmı uzaktan izleme ve otomasyon odaklıdır. Standart ASOP panolarında, dâhili haberleşme modülleri (PLC, GSM Modem vb.) üzerinden sayaç verileri günlük olarak merkezdeki OSOS sistemine iletilmektedir [7]. Bu sayede kayıp-kaçak analizleri ve faturalama süreçleri belirgin şekilde iyileştirilebilmektedir. Ancak fiziksel güvenlik boyutunda klasik ASOP panolarının yetersiz kaldığı, son yıllarda yaşanan birçok vakayla görülmüştür. Ancak kurulan çok sayıda ASOP panosu kimliği belirsiz kişilerce yakılıp kırılarak devre dışı bırakılmaktadır. Saha koşullarında yaşanan bu tür sabotaj vakaları, akıllı pano tasarımlarında yüksek mekanik dayanımın sağlanması ve gelişmiş güvenlik protokollerinin entegrasyonu ile sistemin güvenilirliğinin ve operasyonel sürekliliğinin teminat altına alınmasının vazgeçilmez bir gereklilik olduğunu göstermektedir.

Literatürde de dağıtım ekipmanlarını izinsiz müdahalelere karşı korumak için çeşitli öneriler bulunmaktadır. Örneğin kayıp-kaçığın yüksek olduğu bölgelerde sayaçların direk üstü panolara alınması, panoların mühürlenmesi ve uzaktan alarm ileten sensörlerle donatılması tavsiye edilmektedir. Yurtdışında da bazı elektrik dağıtım şirketleri, dağıtım panoları ile trafoları korumak üzere özel kilit sistemleri ve açılma veya darbe algılama sensörleri gibi alarm cihazları kullanmaya başlamıştır. Ancak bu önlemlerin hiçbiri tek başına yeterli değildir; etkin bir koruma için entegre bir “akıllı pano” mimarisi içinde birlikte çalışmaları gerekmektedir. Nitekim mevcut akıllı pano uygulamaları kayıt dışı enerji tüketiminin azaltılmasında önemli kazanımlar sağlamış olsa da sabotaj ve yetkisiz erişim sorunlarını tamamen ortadan kaldıramamıştır. Bu boşluğu gidermek amacıyla Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından Yüksek Mukavemetli Akıllı Pano (YMAP) adlı Ar-Ge projesi hayata geçirilmiştir [8]. Proje kapsamında fabrikada üretilen prototip panolar gerçek şebeke koşullarında seçilen pilot bölgelerde denenmiş ve performansları değerlendirilmiştir. Bu makalede geliştirilen akıllı pano sisteminin tasarım bileşenleri ve pilot saha uygulamasından elde edilen bulgular teknik ve ekonomik açılardan değerlendirilmekte; söz konusu çözüm

literatürdeki benzer uygulamalarla karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. YMAP Pano Tasarım Yaklaşımı ve Bileşenleri

Bu çalışmada geliştirilen YMAP pano prototipi geleneksel elektrik dağıtım panolarının formunu korumakla birlikte malzeme, donanım ve yazılım açısından önemli iyileştirmeler içermektedir. Tasarımın odağında, fabrikada üretilen prototip panonun saha koşullarında karşılaşılabilecek zorlu etkenlere ve sabotaj girişimlerine direnç gösterecek şekilde güçlendirilmesi bulunmaktadır. YMAP panosunun başlıca tasarım bileşenleri aşağıda özetlenmiştir:

2.1.1. Yüksek mekanik dayanım

Pano gövdesi yekpare yapıda, cam elyaf takviyeli özel bir polyeater malzemeden imal edilmiştir. Dış yüzeyi ise esnek fakat darbe emici özelliğe sahip bir poliürea kaplama ile kaplanmıştır. Bu sayede prototip panoların mekanik dayanımı standart panolara kıyasla yaklaşık %70 oranında artırılmıştır. Kompozit gövde yapısı, levye veya balyoz gibi aletlerle yapılan güçlü darbelere direnç gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Gövdenin yere montaj noktaları ile menteşe ve kilit bölgeleri takviyeli olup, kapak zorlandığında kırılmak yerine esneyerek darbe enerjisini sönmüşeyebilmektedir. Yüksek mukavemetli bu yapı tasarlanırken haberleşme sistemlerine engel teşkil etmemesine de özen gösterilmiştir. Metal pano gövdelerinde görülen Faraday kafesi etkisi, kompozit gövde sayesinde bertaraf edilmiştir. Dolayısıyla pano içerisine konulan mobil haberleşme antenleri (GSM/GPRS anteni vb.), sinyal zayıflaması olmadan merkezle iletişim kurabilmektedir. Pano, yekpare kompozit gövde yapısı poliürea kaplama ile güçlendirilmiş ve darbelere karşı yüksek mekanik dayanım sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım levye veya balyoz gibi aletlerle yapılan müdahalelere karşı direnci artırırken aynı zamanda Faraday kafesi etkisini ortadan kaldırarak haberleşme sistemlerinin sorunsuz çalışmasına imkân tanımaktadır.

2.1.2. Elektromekanik kilit ve erişim kontrolü

Pano kapısı, geleneksel anahtarlı kilit mekanizmalarından farklı olarak elektromekanik bir kilit ile korunmaktadır. Pano kapısına entegre edilen elektromekanik kilit sistemi yalnızca yetkili personelin dijital kimlik doğrulaması ile erişim sağlamasına imkân tanımakta olup izinsiz müdahaleleri önleyici bir güvenlik katmanı sunmaktadır. Bu mekanizmanın genel görünümü Şekil 2'de gösterilmektedir. Saha ekipleri kendilerine tahsis edilen Windows tablet cihaz üzerinden pano kilidine Bluetooth ile bağlanmakta, kullanıcı kodu ve şifre girerek kilit açma komutu vermektedir. Doğru kimlik bilgileri girildiğinde kilit mekanizması yaklaşık 5 saniye içinde açılır hale gelir; aksi halde kapak kesinlikle açılmaz. Bu tasarım sayesinde sahada anahtar kopyalama veya kilit göbeğini kırma gibi yöntemlerle izinsiz açma girişimlerinin önüne geçilmiştir. Elektromekanik kilit, enerji kesintisi durumunda dahi çalışabilmesi için akü destekli bir güç ünitesi ile beslenmektedir. Ayrıca kilidin açık/kapalı durum bilgisi sürekli olarak pano kontrol kartına iletilerek merkeze raporlanır. Böylece bir pano kapağının ne zaman ve kim tarafından açıldığı merkezi yazılımda kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 2: Elektromekanik Kilit Sistemine Sahip Akıllı Pano Dış Görünümü ve İç Mekanizması.

2.1.3. Akıllı sensör entegrasyonu

Pano içerisine çevresel ve durumsal değişimleri algılayacak çeşitli sensörler yerleştirilmiştir. Darbe sensörleri, pano gövdesine yönelik sert fiziksel müdahaleleri örneğin; vuruş, çarpma vb. gibi durumları algılar ve tetikleme eşiğinde bir darbe tespit edildiğinde bu bilgiyi anında merkezi sisteme iletir. Sıcaklık sensörleri, pano iç ortam sıcaklığını sürekli izler; olağandışı ısınma örneğin bir yangın başlangıcı veya aşırı yüklenme durumunda alarm üretir. Işık sensörleri pano kapağı açıldığında içeri sızan ışığı tespit etmek üzere devreye girer; bu sayede kapağın açık kalıp kalmadığı ya da izinsiz bir açılma girişimi olup olmadığı anlaşılabilir. Tüm bu sensör verileri gerçek zamanlı olarak pano kontrol ünitesine aktarılır ve eşik dışı bir durum olduğunda gecikmeksizin merkeze uyarı gönderilir. Bu tasarım izinsiz müdahalelerin anında tespitiyle hem saha ekiplerine hem de güvenlik birimlerine anında bildirim yapılmasını mümkün kılar. Sensörlerin entegrasyonu Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3: Akıllı Pano İç Yapısında Sensör Entegrasyonu.

2.1.4. Entegre kamera sistemi

YMAP panosunda güvenlik amaçlı dâhili bir kamera modülü bulunmaktadır. Pano kapağı her açıldığında yetkili personel açsa dahi kamera otomatik olarak devreye girerek paneli açan kişinin fotoğrafını çeker. Ardından bu görüntü zaman damgasıyla birlikte anlık olarak merkezi sunucuya iletilir ve

olay kaydı olarak veritabanına işlenir. Dolayısıyla personelin erişim zamanı, erişim sağlanan pano ve ilgili görsel kayıtlar eşleştirilerek izlenebilir ve arşivlenebilir hale gelmektedir. Eğer yetkisiz bir açma girişimi olur ve pano zorla kilidin kırılması vb. durumda açılırsa kamera modülü saldırının görüntüsünü yakalayıp merkeze gönderecektir. Kamera düşük ışık koşullarında çekim yapabilmek için kızılötesi aydınlatma desteğine sahip olup pano içi LED aydınlatma ile koordineli çalışır. Görüntü kayıtlarının merkezde depolanması ileride oluşabilecek soruşturma ve analizler için kanıt niteliğinde olacaktır.

2.1.5. Elektronik kontrol kartı ve haberleşme

Pano içine entegre edilen elektronik kontrol ünitesi sistemin beyni konumundadır. Bu kontrol kartı kilit mekanizması sensörler ve kamera ile sürekli iletişim halindedir. Üzerinde gömülü bir yazılım çalışmakta olup tüm çevresel girişleri denetler ve belirlenen koşullarda ilgili rutinleri tetikler. Örneğin kapının açılması, darbe algılanması veya yetkili açma komutu gelmesi gibi olaylar kontrol kartında farklı alarmları ve kayıt işlemlerini başlatır. Kontrol kartı pano durumuna ilişkin güncel verileri periyodik olarak da merkeze raporlar; böylece her panelin çevrimiçi olup olmadığı, son haberleşme zamanı gibi bilgiler izlenebilir. Haberleşme altyapısı olarak mevcut GSM şebekesi kullanılmıştır. Kontrol kartı üzerindeki haberleşme modülü, GPRS/3G bağlantısıyla merkezi sunucu ile şifreli veri iletişimi kurar. Sistem mimarisi kapalı bir ağ yapısında tasarlanmış olup dış dünyadan erişime kapalıdır; yalnızca dağıtım şirketinin kontrolündeki cihazlar ve sunucular arasında veri akışı sağlanır. Bu da olası siber saldırılara karşı ek bir güvenlik katmanını oluşturmaktadır. Kontrol kartı ile merkez arasındaki haberleşme protokolü alarm iletiminin öncelikli olacağı şekilde düzenlenmiştir. Örneğin pano kapağı açıldı veya darbe algılandı gibi bir alarm, saniyeler içinde merkeze ulaştırılır. Geliştirilen kontrol kartının saha prototipinde kullanılan elektronik bileşenleri Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Akıllı Pano Kontrol Kartının Donanım Yapısı.

2.1.6. Merkezi yazılım ve izleme

Proje kapsamında bir sunucu yazılımı geliştirilerek dağıtım şirketinin kontrol merkezine kurulmuştur. Bu yazılım sahadaki panolardan gelen tüm verileri toplayan bir haberleşme katmanı ile operatörlerin takip ettiği bir grafik ara yüz (GUI) modülünden oluşmaktadır. Haberleşme katmanı, panolardan gelen bağlantıları dinlemekte ve verileri zaman damgasıyla birlikte veri tabanına kaydetmektedir. Ara yüz yazılımı ise bu verileri işleyerek gerçek zamanlı izleme ve alarm yönetimi

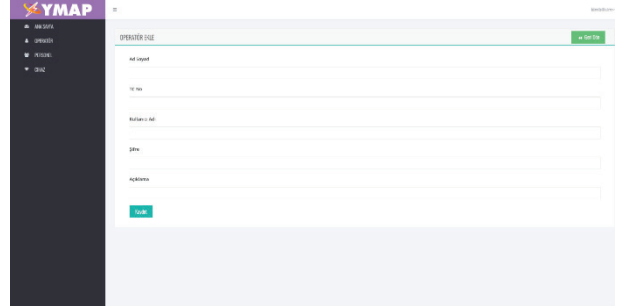
imkânı sunar. Operatörler harita veya liste üzerinden tüm akıllı panoların anlık durumunu takip edebilmektedir. Her bir pano için bölge, il, ilçe, mahalle, sokak gibi tanımlamalar yapıldığından alarm durumunda hangi lokasyonda müdahale gerektiği hızla belirlenebilmektedir. Pano yönetim yazılımında panonun o anki durumu (kapak açık/kapalı, kilitli/serbest, sıcaklık, darbe algısı vb.) ve aktif alarm listesi görüntülenebilmektedir. Örneğin bir darbe alarmı geldiğinde ilgili pano arayüzde kırmızı renk ile vurgulanmakta ve operatöre sesli/görsel uyarı verilmektedir. Geçmişe dönük tüm açma-kapama, arıza, alarm kayıtları gibi olaylar sorgulanabilir ve raporlanabilir durumdadır. Ayrıca sistemde saha personeli kullanıcıları tanımlanarak her bir personelin hangi panoları ne zaman açtığı kayıt altına alınmaktadır. Yetkisiz erişim denemesi olması durumunda ilgili personelin dijital erişimi anında engellenmektedir. Geliştirilen merkezi yazılım Windows tabanlı sunucularda çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. saha ekiplerinin Windows tabanlı tabletler kullanmaya başlamasıyla önceden planlanan ayrı bir mobil uygulamaya ihtiyaç duyulmadığı proje raporlarında not edilmiştir.

Merkezi yazılım sistemi tasarımı da belirtilen kriterler ile hazırlanmış, kullanıcı ekranları oluşturulmuştur. Geliştirilen merkezi yazılımın kullanıcı giriş ekranı Şekil 5'te gösterilmektedir.



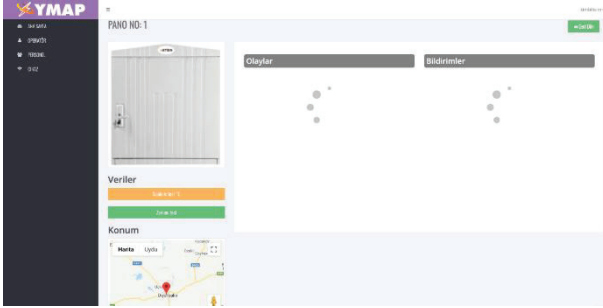
Şekil 5: YMAP Yönetim Uygulaması – Giriş Ekranı.

Sistemde kullanıcı yönetimi kapsamında yeni operatör ekleme işlemleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu ekran aracılığıyla sisteme erişim yetkisi verilecek personelin kimlik bilgileri ve görev tanımları girilmekte, her kullanıcıya özel yetki seviyeleri belirlenmektedir. Böylece operatörlerin yalnızca kendi sorumluluk alanlarıyla ilgili panolara erişmesi sağlanarak güvenlik artırılmaktadır. Ayrıca sistem, yapılan tüm kullanıcı işlemlerini kayıt altına alarak ileride denetim ve izlenebilirlik açısından detaylı raporlama imkânı sunmaktadır.



Şekil 6: YMAP Yönetim Uygulaması – Operatör Ekleme.

Operatörler pano detay ekranını Şekil 7 üzerinden sıcaklık, zaman testi, olay ve bildirim bilgilerine erişebilmektedir.



Şekil 7: YMAP Yönetim Uygulaması – Pano Takip Ekranı.

Cihazların aktif olup olmadıkları ile ilgili veri alınacaktır. Sahada meydana gelen darbe, sıcaklık değişimi ve pano içerisinde ışık oluşması gibi değişkenler ilgili ekranlardan izlenebilecektir. Log takibi için Pano ID si girilerek veya listeden seçilerek o pano ile ilgili yapılan işlemlerin listelenmesi ve detayları görüntülenebilmektedir.

Prototip akıllı panoların fabrikada gerçekleştirilen birim testleri ve kalibrasyon süreçleri başarıyla tamamlandıktan sonra saha kurulum aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. sorumluluk bölgesinde kaçak elektrik kullanımının yoğun olduğu ve geçmişte pano sabotaj vakalarının sıkça raporlandığı yerleşim alanları pilot bölgeler olarak tercih edilmiştir. Pilot bölgelerin seçilmesinde hem mevcut güvenlik açıklarının daha net gözlemlenebilmesi hem de geliştirilen yeni nesil panoların en zorlu saha koşullarında performanslarının test edilmesi hedeflenmiştir.

Kurulum aşamasında her bir akıllı pano hâlihazırda kullanılan alçak gerilim (AG) dağıtım panosunun yerine veya mevcut panoların yanına monte edilerek şebeke ile bütünleştirilmiştir. Panoların içerisine şebekenin temel bileşenleri olan bara, ayırıcı ve sigorta gibi koruma ve iletim elemanları yerleştirilmiş; ayrıca abonelere ait elektronik sayaçlar da sisteme entegre edilmiştir. Böylece panolar klasik dağıtım panolarıyla aynı elektriksel işlevi yerine getirmekle kalmamış, aynı zamanda sensör, elektromekanik kilit ve merkezi kontrol üniteleriyle donatılarak ileri seviye güvenlik ve izleme kabiliyetleri kazanmıştır.

Kurulum sürecinde panoların mekanik dayanımının yanı sıra haberleşme sistemlerinin sürekliliği de test edilmiştir. Bu doğrultuda GSM tabanlı haberleşme modülleri aracılığıyla panolardan gelen verilerin merkezi SCADA yazılımına sorunsuz iletildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca panoların merkezi veri tabanına kimlik numaraları ve konum bilgileri tanımlanmış, böylece alarm ve uyarı durumlarında hızlı müdahale imkânı sağlanmıştır.

Prototip akıllı panoların saha uygulamaları yalnızca fiziksel dayanıklılığın değil aynı zamanda yazılım, donanım ve haberleşme entegrasyonunun da başarılı bir şekilde çalıştığını ortaya koymuştur. Prototip panoların saha montajından önceki fabrika ortamındaki görünümü ise Şekil 8’de sunularak sistemin üretimden sahaya entegrasyon süreci görsel olarak desteklenmiştir.



Şekil 8: YMAP Önden ve Sağ Yandan Görünüş.

2.2. Personel Eğitimi

Kurulum esnasında pano kontrol ünitelerinin merkezi sunucu ile haberleşmesi test edilmiş; GSM sinyal seviyelerinin yeterli olduğu ve veri paketlerinin başarılı şekilde iletilip alındığı görülmüştür. Her bir pano için kimlik numarası ve konum bilgisi merkezi yazılım sistemine tanımlanmıştır. Montaj işlemlerinin ardından tüm fonksiyonlar yerinde denenmiştir (örneğin kilidin uzaktan açılması, sensör tetiklemeleri, kamera görüntü aktarımı) ve panolar devreye alınarak enerjilendirilmiştir. Kurulum öncesinde proje ekibi tarafından bölgedeki bakım personeline kısa bir eğitim verilmiş; yeni sistemin çalışma prensipleri ve olası senaryolarda örneğin; alarm alındığında ne yapılacağı, kilit arızalanırsa manuel erişim prosedürü vb. gibi durumlarda izlenecek adımlar anlatılmıştır.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Saha Uygulama ve İzleme

YMAP projesinde üretilen 5 adet prototip pano fabrika test ve kalibrasyonları tamamlandıktan sonra Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. sorumluluk bölgesindeki seçilmiş pilot bölgelerde saha kurulumuna tabi tutulmuştur. Pilot bölge seçimi kaçak elektrik kullanımının yüksek ve pano sabotaj vakalarının sık yaşandığı bir kırsal yerleşim biriminden yana yapılmıştır. Böylece yeni nesil panoların en zorlu koşullarda denenmesi ve klasik panolarla performans karşılaştırmasının net bir şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir. Saha uygulaması kapsamında izlenen adımlar ve elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

3.1.1. Pilot bölge sonuçları

Akıllı panoların pilot bölgede devreye alınmasının ardından Ar-Ge proje ekibi ve Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. ilgili birimleri tarafından kapsamlı bir izleme süreci yürütülmüştür. Pilot uygulamanın ilk aylarında hem planlı test senaryoları hem de gerçek saha olayları üzerinden sistemin performansı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda zaman zaman kontrollü senaryolar uygulanmış; örneğin saha personeli haricinde bir kişinin panoya müdahale etmeye teşebbüs ettiği varsayılmış ve darbe sensörünün tepkisi gözlemlenmiştir. Benzer şekilde

elektromekanik kilit izinsiz açılmaya zorlandığında sistemin kamera ve alarm mekanizmaları devreye girerek anlık bildirimler üretmiştir.

Pilot uygulamada yalnızca darbe sensörleri değil; kapak açılmalarını algılayan ışık sensörleri ile sıcaklık ve nem değişimlerini kaydeden çevresel sensörler de etkin şekilde çalışmıştır. Böylece yalnızca fiziksel müdahale değil yangın veya yakma girişimi gibi durumlarda da erken uyarı sağlanabilmektedir. Entegrasyonu yapılan GSM tabanlı haberleşme altyapısı sayesinde panolardan gelen veriler merkezi SCADA yazılımına kesintisiz olarak aktarılmış; alarm durumlarında sistem aynı anda operatör panelinde görsel/işitsel uyarı üretmiş, ilgili işletme şefine ve güvenlik birimine SMS ve e-posta ile bildirim göndermiştir.

Saha deneyimlerinin yanı sıra panolar laboratuvar ortamında EN 61439-1 ve EN 61439-5 standartlarına göre test edilmiş; mekanik dayanım, darbe direnci ve elektriksel güvenlik kriterleri açısından uygunlukları doğrulanmıştır. Pilot uygulama kapsamında toplam 5 adet prototip pano geliştirilmiş, bunlardan 3 adedi sahada aktif olarak kullanıma alınmış ve gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Geriye kalan 2 adet prototip ise hâlen geliştirme aşamasında olup, bu panolar üzerinde özellikle haberleşme altyapısının güçlendirilmesi, görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesi ve sensör entegrasyonlarının artırılması yönünde çalışmalar devam etmektedir. Böylece sahadan elde edilen geri bildirimler, geliştirilen yeni prototiplere doğrudan aktarılmakta ve sistemin sonraki versiyonları için sürekli bir iyileştirme döngüsü oluşturulmaktadır.

Pilot uygulama sürecinde yaşanan gerçek bir sabotaj girişiminde, gece saatlerinde panoya yaklaşan şahıslar kilidi kırmaya çalışmış; bu esnada darbe sensörünün ürettiği alarm ve kameranın flaşlı görüntü kaydı saldırganların bölgeden uzaklaşmasını sağlamıştır. Merkeze düşen alarm vasıtasıyla hızla olay yerine yönlendirilen saha ekipleri, küçük çaplı hasarlar dışında ciddi bir zarar olmadığını ve enerji kesintisinin yaşanmadığını raporlamıştır.

Elde edilen sonuçlar, akıllı panoların yalnızca izinsiz müdahalelere karşı caydırıcılık sağlamakla kalmadığını, aynı zamanda bakım kaynaklı kesinti sürelerini azalttığını ve operasyonel verimliliğe katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, geliştirilmekte olan iki yeni prototipin sahadan edinilen deneyimler doğrultusunda optimize edilmesi, sistemin gelecek fazlarda daha yüksek güvenlik, dayanıklılık ve işlevsellik sunacağına işaret etmektedir. Bu deneyim, akıllı panoların sürdürülebilir enerji dağıtımı ve şebeke güvenliği açısından önemli bir kazanım sunduğunu somut şekilde göstermiştir.

3.1.2. Kullanıcı deneyimi

Pilot uygulamanın bir diğer çıktısı sistemi kullanan teknik personelin geri bildirimleridir. Dağıtım operatörleri ve bakım ekipleri akıllı panoları günlük işletme faaliyetleri sırasında kullanarak klasik panolara kıyasla farklılıklarını raporlamıştır. Elde edilen geri bildirimlere göre elektromekanik kilit sistemi başta bazı personele yabancı gelse de kısa sürede adapte olunmuştur. Personel fiziken anahtar taşımak yerine tablet üzerinden dijital anahtar ile pano açmaya alışmış ve bunu pratik bulmuştur. Özellikle kilit açma işleminin uzaktan doğrulama ile

5 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmesi iş akışını yavaşlatmamıştır. Aksine bazı durumlarda klasik panolardaki kilit arızaları veya anahtar eşleşmeme sorunları düşünüldüğünde yeni sistem zaman kazandırıcı olmuştur. Kamera ile kayıt altına alınma fikri de saha personeline olumlu karşılanmıştır; bu sayede “izinsiz bir şey yapmadığımızın kanıtı oluyor, bizi de koruyor” şeklinde görüş bildirenler olmuştur. Öte yandan sistemin karmaşıklığı konusunda bazı çekinceler de dile getirilmiştir. Örneğin akü ve elektronik aksamın düzenli bakımı yapılmazsa ileride arıza verebileceği, bu yüzden bakım prosedürlerinin oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır. Pilot uygulama süresince bir akıllı panoda iç sıcaklık sensörü yaz aylarında uzun süreli yüklenmeden dolayı yüksek ısı alarmı üretmiş; ancak bu alarm sayesinde ekipler bölgeye yönlendirilip panonun havalandırmasını iyileştirerek muhtemel bir arızanın önüne geçmiştir. Bu durum akıllı sistemin proaktif bakım açısından da fayda sağladığını göstermektedir.

3.1.3. İzinsiz müdahalelere karşı başarı oranı

Pilot bölgelerdeki birkaç aylık izleme döneminde akıllı panoların bulunduğu noktalarda enerji kesintisi yaşanmamıştır. Bu panolara bağlı şebekelerde kaçak elektrik kullanımına yönelik geleneksel yöntemlerle bir girişim tespit edilmemiştir. Kaçak kullanıma niyetlenen abonelerin panoların sürekli izleme altında olduğunu anlamasıyla bu yola başvurmadıkları değerlendirilmiştir. Nitekim şirket yetkilileri, “panoları kırıp dökemedikleri yerlerde kaçak kullanım şansı kalmadığını fark edenlerin önceki alışkanlıklarından vazgeçmeye başladığını” ifade etmektedir. Yani akıllı panolar sadece fiili engelleme değil psikolojik caydırıcılık da sağlamıştır. Yetkisiz kişilerin can güvenliği açısından da pilot uygulama başarılı olmuştur: Önceki yıllarda panolara müdahale ederken çarpılma vakaları yaşanırken proje süresince böyle bir olay yaşanmamıştır. Bu da projenin dolaylı bir kazanımı olarak değerlendirilebilir.

YMAP projesinin pilot uygulama bulguları hem teknik performans hem de operasyonel kazanımlar yönünden değerlendirmelidir. Bu bölümde projenin sağladığı avantajlar ve olası sınırlamalar akademik bakış açısıyla tartışılmaktadır.

3.1.4. Teknik değerlendirme

Projede geliştirilen pano prototipleri ilgili ulusal ve uluslararası standartlara uygun şekilde tasarlanmış ve test edilmiştir. Nitekim pano numuneleri EN 61439-1 ve EN 61439-5 standartlarına göre akredite laboratuvar testlerinden başarıyla geçmiş, muayene raporlarıyla onaylanmıştır. Bu durum akıllı panonun elektriksel güvenlik ve dayanım açısından klasik panolarla eşdeğer hatta üstün olduğunu belgelemiştir. Mekanik sağlamlık bakımından elde edilen yaklaşık %70’lik iyileşme, saha koşullarında kendini kanıtlamıştır. Pilot bölgelerdeki panolarda önceki yıllarda rutin olarak görülen kapak kırılma, kilit koparma gibi fiziksel hasarların hiçbir raporlanmamıştır. Darbe sensörleri zaman zaman alarm üretse de gövde yapısında sadece yüzeysel izler kalmış, panolar işlevini yitirmemiştir. Bu açıdan proje, elektrik dağıtım ekipmanlarında fiziksel güvenilirliğin artırılabilceğini göstermiştir. Ayrıca entegre sensör ve kamera sistemlerinin gerçek zamanlı çalışması sayesinde şebeke izleme kabiliyeti artmıştır. Eskiden elektrik dağıtım şirketleri, panoların durumunu saha devriyeleri ya da müşteri ihbarları ile öğrenebilirken artık 7/24 aktif bir izleme mümkündür. Örneğin bir pano kapağı açık unutulduğunda veya farketmeden tam kapatılmadığında ışık sensörü uyarı verecek ve ekipler hemen müdahale edecektir. Benzer şekilde lokal bir

arıza ya da aşırı ısınma durumunda sistem otomatik alarm üreterek büyük çaplı arızaların önlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu proaktif izleme dağıtım şebekesinde arıza süresini ve sıklığını azaltabilecek önemli bir gelişmedir.

3.1.5. Şebeke güvenliği ve kaçak elektrik tespitine yönelik kazanımlar

Proje ile hedeflenen en önemli başarılarından biri kaçak elektriklerle mücadelede yeni bir cephenin açılmasıdır. Akıllı panolar kaçak kullanıma fiziki engel oluşturanın ötesinde, yapılan müdahalelerin kim tarafından yapıldığını tespit edebilme olanağı sağlamıştır. Kamera ile elde edilen görsel kayıtlar ve kilit erişim logları sayesinde panoya erişen herkes denetim altındadır. Bu durum hem içerden yani şirket personeli hem dışardan gelebilecek suistimalleri minimuma indirecektir. Özellikle bazı bölgelerde kaçak elektrik kullanımının sosyal bir olgu haline geldiği ve şirket personeline yönelik baskıların olabildiği düşünüldüğünde dijital kayıtlar sayesinde işlemlerin şeffaflaşması önemlidir. Kaçak kullanımın azaltılması, elektrik dağıtım şirketine doğrudan ekonomik getiri anlamına gelir. Dicle Elektrik yetkilileri, 2023 yılında bölgelerinde yaklaşık 30 milyar TL değerinde kaçak elektrik kullanımının önüne geçtiklerini belirttiler [9]. Belirtilen kaçak kullanımın önemli bir kısmı sayaçların manipüle edilmesi veya direk hat çekilmesi yoluyla gerçekleşmektedir. Akıllı panolar bu yöntemleri büyük ölçüde engellediğinden orta vadede projenin finansal geri dönüşü çok yüksek olacaktır. Kaçak elektrik kullanımı azaldıkça şebekede teknik kayıplar da düşecek, gerilim kalitesi ve arz sürekliliği yükselecektir. Nitekim pilot uygulamanın yapıldığı bölgede kaçak kullanım kaynaklı arıza ve kesintiler sıfıra inmiş durumdadır. Bu kazanım, elektrik hizmetinin kalitesinde gözle görülür bir iyileşme anlamına gelir. Buna paralel olarak dağıtım şirketinin kaçak elektrikten dolayı uğradığı gelir kaybı azalacak bu da uzun vadede yatırım ve bakım çalışmalarına daha fazla kaynak ayırabilmesine olanak tanıyacaktır.

3.1.6. İş güvenliği ve çalışan koruması

Akıllı panolar yetkisiz erişimi engelleyerek aslında sadece elektrik enerjisini korumakla kalmaz insanların hayatını da korur. Panoların üzerine konulan “Ölüm Tehlikesi – Müdahale Etmeyin” uyarıları çoğu zaman dikkate alınmamaktadır. Özellikle kaçak elektrik kullanmak isteyen kişiler kendi hayatlarını hiçe sayarak panoları kurcalamakta ve zaman zaman telefisi mümkün olmayan kazalara uğramaktadırlar. Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. verilerine göre panolara çıplak elle müdahale eden sivil vatandaşların yaralanma ve ölümlerle sonuçlanan vakaları geçmişte yaşanmıştır. Akıllı panoların kilit sistemi bu kişilerin kapağı açmasını fiziksel olarak engellediği için bu tür riskli davranışların önüne geçmektedir. Pilot bölgelerde panoları açamayan şahısların panoyu dışarıdan tahrip etmeye çalıştığı görülmüş ancak bu esnada panonun enerjisi kısmına erişemedikleri için herhangi bir elektrik çarpması olayı yaşanmamıştır. Ayrıca sistemin merkezden izlenmesi sayesinde tehlikeli bir müdahale girişimi olduğu anda görevliler polis ile birlikte olay yerine sevk edilerek muhtemel bir kazanın önüne geçilebilmektedir. Bunun yanında sahada görev yapan şirket personelinin de güvenliği artmıştır. Klasik panolarda fiziki kilitlerin kırılması sonucu içeride zaman zaman kurulmamış düzenekler bulunabilmekteydi ve personel pano içinde ummadığı bir çok tehlikesiyle karşılaşabilmekteydi. Oysa akıllı panolar yetkisiz işlemlere izin vermediği için bakım personeli içini açtığında sürpriz bir tehlikeyle

karşılaşmamaktadır. Tüm bu açılardan bakıldığında proje, iş sağlığı ve güvenliğine de pozitif katkı sunmaktadır.

3.2. Ekonomik Değerlendirme

Projenin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği, ekonomik parametrelerle de desteklenmektedir. Ar-Ge niteliği taşıyan YMAP projesinde prototip geliştirme maliyetleri proje kapsamında karşılanmış olup elde edilen çıktılar sistemin seri üretim ve yaygın saha uygulamalarında maliyet etkin bir şekilde ölçeklenebilir olduğunu göstermektedir. Proje bütçesi; 5 adet prototip panonun tasarımı, üretim, test ve yazılım geliştirme giderlerini içermektedir. Ar-Ge sürecinde oluşan birim prototip maliyeti, seri üretim koşullarında ölçek ekonomisi sayesinde kayda değer biçimde düşecektir. Elektrik dağıtım şirketleri için asıl ekonomik getiri kaçak elektrik kaybının azaltılmasıyla sağlanacaktır. Bölgedeki kayıp-kaçak oranının %1 düşürülmesinin bile yıllık milyonlarca TL gelir artışı anlamına geldiği bilinmektedir. Dolayısıyla akıllı panoların yüksek ilk yatırım maliyeti, sağlayacağı enerji tasarrufu ve kaçak engelleme faydalarıyla fazlasıyla karşılanacaktır. Ayrıca göz ardı edilmemesi gereken bir diğer ekonomik boyut bakım/onarım giderlerindeki azalmadır. Her bir hasar görmüş panonun tamir maliyeti yani işçilik, malzeme, ulaşım vb. dâhil düşünüldüğünde bu kalemin de büyük yük getirdiği anlaşılar. Akıllı panolar sayesinde bu tür yetkisiz müdahale ve fiziksel hasar kaynaklı bakım giderleri minimize edilecektir. Yine arıza ve kesinti sayısının azalması, şirketin tedarik sürekliliği SAIDI/SAIFI göstergelerine olumlu yansıtacağından olası ceza maliyetlerini de engelleyecektir [10]. Kısacası proje dağıtım şirketi ölçeğinde kısa vadede operasyonel tasarruf, uzun vadede finansal kazanç potansiyeline sahiptir.

3.3. Sınırlılıklar ve İyileştirme Alanları

Projenin başarılarıyla birlikte bazı sınırlılıkları olduğu da tespit edilmiştir. Öncelikle geliştirilen sistem mevcut durumda GSM şebekesine bağımlıdır. Bazı kırsal bölgelerde mobil kapsama zayıf olabilmekte bu da anlık haberleşmeyi aksatabilecektir. Bu sorunu aşmak için ileride LoraWAN, uydu haberleşmesi gibi alternatif iletişim teknolojileri değerlendirilebilir. Daha sonra, elektromekanik kilit ve elektronik bileşenler periyodik bakım gerektirebilir. Özellikle pano içindeki akülerin ömürleri sınırlıdır ve birkaç yılda bir değiştirilmesi gerekir. Eğer bakım ihmal edilirse sistem zamanla güvenilirliğini yitirebilir. Bu nedenle dağıtım şirketinin bir bakım protokolü oluşturması ve panoları düzenli kontrol etmesi şarttır. Bir diğer husus saldırganların yöntem değiştirme ihtimalidir. Panoların çok iyi korunduğunu gören kaçak kullanıcılar belki de panoya hiç dokunmadan doğrudan yeraltı kablolarına kaçak bağlantı yapma gibi yollara başvurabilir. Bu tür durumlar projenin kapsamı dışında olsa da kaçakla mücadelenin çok boyutlu olduğunu hatırlatmaktadır. Yine de panoların akıllı hale getirilmesi şebekenin geneline dair veri toplama imkânını artırdığı için, örneğin bir hattan olağandışı tüketim artışı olursa bunu da tespit etmek mümkün olabilecektir. Son olarak sistemin yaygınlaştırılması sürecinde kullanıcı adaptasyonu önem arz eder. Saha personelinin yeni teknolojiye tam uyumu için eğitimler sürdürülmeli varsa kullanılabilirlik problemleri geri bildirimlerle iyileştirilmelidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada incelenen YMAP Ar-Ge projesi elektrik dağıtım şebekelerinde güvenlik ve verimlilik sorunlarına yönelik bütünsel bir çözüm ortaya koymuştur. Proje kapsamında geliştirilen prototip panolar, fabrika sonrası gerçek saha şartlarında test edilmiş ve klasik panolara kıyasla üstün performans sergilemiştir.

Projenin önemli bir çıktısı yerli ve milli imkânlarla yüksek güvenli ve güçlendirilmiş bir elektrik panosu üretilebileceğinin gösterilmiş olmasıdır. Bu teknoloji Türkiye genelindeki diğer elektrik dağıtım bölgelerine ve hatta yurt dışına uygulanabilir potansiyele sahiptir. Özellikle kayıp-kaçak oranlarının yüksek seyrettiği Ortadoğu, Güney Asya gibi bölgelerde benzer yaklaşımlarla önemli faydalar elde edilebilir. Projenin bir diğer dikkate değer yönü, farklı disiplinlerin entegrasyonunu gerektiren kapsamlı bir akıllı şebeke bileşeni ortaya koymasındır. Bu tür Ar-Ge projeleri Türkiye'nin elektrik dağıtım sektöründe teknolojik yenilikler geliştirme kapasitesini de arttırmaktadır.

Sonuçlar göstermektedir ki elektrik dağıtım panolarında akıllı sistemlerin kullanımı kaçak elektrik kullanımını azaltmada ve altyapı güvenliğini sağlamada etkin bir yöntemdir. Bu nedenle aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- **Yaygınlaştırma ve Ölçeklendirme**
Pilot uygulamanın başarısı doğrultusunda akıllı pano sistemi yüksek riskli bölgelerden başlayarak kademeli biçimde yaygınlaştırılmalıdır. Öncelikle kaçak kullanım oranı yüksek, sık sık pano tahribatı yaşanan trafo bölgeleri tespit edilip bu panolarla değiştirilmelidir. Daha sonra olumlu sonuçlar alındıkça elektrik dağıtım bölgesinin geneline doğru ölçek büyütülebilir. Seri üretime geçilmesiyle birim maliyetler düşeceği için ekonomik fizibilite artacaktır.
- **Mevzuat ve Standartlar**
Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) nezdinde akıllı pano uygulamalarının teşvik edilmesine yönelik düzenlemeler yapılmalıdır. Örneğin elektrik dağıtım şirketlerinin Ar-Ge projeleri sonucunda geliştirdiği bu tür sistemlerin yatırım planlarına dâhil edilebilmesi ve tarifeyle yansıtılabilmesi önemlidir. Teknik şartnamelerde akıllı pano tanımı ve asgari gerekleri tarif edilmeli, ihale ve birim fiyat pozları oluşturularak sektörde standart haline getirilmelidir. TEDAŞ'ın 2012 tarihli ASOP şartnamesi bu konuda ilk adımdı; benzer şekilde akıllı panolar için güncellenmiş bir şartname hazırlanabilir.
- **Bakım ve İşletme Protokolleri**
Yeni teknolojilerin sürekliliği için uygun bakım işletme süreçlerinin tanımlanması gerekir. Elektrik dağıtım şirketi akıllı panoların periyodik bakımını örneğin akü değişimi, sensör kalibrasyonu, iletişim kontrolü vb. gibi işlemleri yapacak ekipleri ve takvimi belirlemelidir. Ayrıca pano izleme yazılımından gelen alarmların kim tarafından nasıl değerlendirileceği, olay anında hangi birimlerin haberdar edileceği gibi prosedürler oluşturulmalıdır. Bu sayede sistem tam verimlilikle işletilebilecektir.
- **İyileştirme Çalışmaları**
Proje çıktıları dikkate alındığında gelecekteki sürümler için haberleşme altyapısında iyileştirmeler öngörülmektedir. Özellikle kritik alarm iletiminde sürekliliğin sağlanabilmesi

için GSM şebekesi ile birlikte LPWAN tabanlı ikincil bir kanalın kullanılması, çift yedeklemeli bir haberleşme mimarisi oluşturulmasına imkân tanıyacaktır. Böylece olası kapsama sorunları veya şebeke kesintileri alarm iletiminde kesinti riskini en aza indirecektir. Panolara entegre edilen sensör seti genişletilebilir; duman sensörü eklenerek olası yangın durumları daha hassas izlenebilir. Yapay zekâ tabanlı analiz yöntemleriyle pano verileri gerçek zamanlı işlenerek olağandışı kullanım paternleri tespit edilebilir. Böylece henüz kaçak girişimi gerçekleşmeden şüpheli durumlar önceden belirlenerek ilgili birimlere iletilir. Kilit sistemi için de alternatif RFID kart veya biyometrik doğrulama açma yöntemleri değerlendirilebilir; böylece çok katmanlı güvenlik sağlanır.

- **Farkındalık ve Eğitim**
Akıllı panoların tam başarısı için bölge halkının da bilinçlendirilmesi önemlidir. Kaçak elektrik kullanmanın hem yasa dışı hem de tehlikeli olduğu yeni panoların bunu engellemek için konulduğu halka anlatılmalıdır. Panolara zarar vermenin ağır cezai yaptırımları olduğu vurgulanmalı, vatandaşların bu panolara sahip çıkması istenmelidir. Ayrıca şirket içi olarak da çalışanlara düzenli eğitimlerle sistemdeki yenilikler, karşılaşılan sorunlar ve çözüm yöntemleri aktarılmalıdır.

Sonuç itibarıyla, YMAP projesi elektrik dağıtım şebekelerinde dijital dönüşüm ve güvenlik iyileştirmesi adına atılmış başarılı bir adımdır. Elde edilen kazanımlar projenin hem teknik hem ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Bu çalışma gelecekte benzer akıllı şebeke uygulamalarına ışık tutacak nitelikte olup dağıtım sektöründe güvenli, verimli ve sürdürülebilir işletmecilik hedeflerine ulaşmaya katkı sağlayacaktır.

5. Kaynaklar

- [1] Yeni Şafak, "Mardin Nusaybin'de kaçak elektriği önleyen panoları kırıp yaktılar," Yeni Şafak, Nov. 5, 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.yenisafak.com/gundem/mardin-nusaybinde-kaçak-elektrigi-onleyen-panolari-kirip-yaktilar-3513003>. [Erişildi:01.07.2025].
- [2] GZT, "Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kayıp-kaçak yüzde 30'a düşürmeyi planlıyoruz," GZT, Mar. 15, 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.gzt.com/z-raporu/guneydogu-anadolu-bolgesinde-kayip-kaçak-yuzde-30a-dusurmeyi-planliyoruz-3789078>. [Erişildi: 18.07.2025].
- [3] Eksim Holding, "Dicle Elektrik: Kaçak elektrik kullanımı azaldıkça şebekeler güçleniyor," Eksim Holding, Jul. 6, 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://eksim.com.tr/medya-merkezi/haberler/dicle-elektrik-kacak-elektrik-kullanimi-azalttikca-sebekeler-gucleniyor>. [Erişildi: 18.07.2025].
- [4] TradingView, "Dicle Elektrik, 2023'te kayıp-kaçak oranını %43'e düşürdü," TradingView, Apr. 25, 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.tradingview.com/news/matriks:5544088/0/>. [Erişildi: 19.07.2025].
- [5] N. Güler, M. Öztemur, and Z. Müftüoğlu, "Akıllı Sayaçlar Koruma Profili," 2014.
- [6] TEDAŞ, Alçak Gerilim Sayaç Otomasyon Panosu (ASOP) Teknik Şartnamesi (TEDAŞ-MLZ/2012-058), Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., 2012. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/dc2a4>

d94-704a-4677-abfa-bf81821980c0.pdf. [Erişildi: 19.07.2025].

- [7] Ö. Ü. S. Ü. Ercan and Ş. E. N. Murat, “Güç hatları üzerinden alçak gerilim elektrik dağıtım şebekesinde akıllı sayaç okuma uygulaması,” n.d.
- [8] B. Şen, S. K. Koldemir, M. Çelikpence, and F. Kaymak, “Design and performance analysis of high-strength smart panels for electrical distribution systems,” in Proc. 11th Int. New York Conf. Evolving Trends Interdisciplinary Research & Practices, New York, USA, Feb. 2025, pp. 354–361.
- [9] Enerji Gündemi, “Dicle Elektrik: 2023’te yaklaşık 30 milyar lira değerinde kaçak elektrik kullanımının önüne geçtik,” Enerji Gündemi, Jul. 2, 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://enerjigundemi.com/dicle-elektrik-2023te-yaklasik-30-milyar-lira-degerinde-kacak-elektrik-kullaniminin-onune-gectik/>. [Erişildi: 28.07.2025].
- [10] N. Lembang, Y. N. Nantan, R. Rusliadi, N. Husnah, and Y. La Elo, “Analysis of SAIDI and SAIFI stability in the distribution system at PT. PLN (Persero) ULP Fakfak,” J. Media Elektrik, vol. 21, no. 3, pp. 191–202, 2024.

Özgeçmiş



Elifnur Bayraktar Güneş, Elektrik & Elektronik Yüksek Mühendisi olup elektrik dağıtım sektöründe ulusal ve uluslararası Ar-Ge projelerinde proje yazımı, planlama, yürütme ve raporlama süreçlerinde aktif rol almıştır. Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.’de (Temmuz 2022–Aralık 2025) Ar-Ge Uzmanı olarak; teknik olmayan kayıpların azaltılması, şebeke performansının izlenmesi, güç kalitesi iyileştirmeleri ve akıllı saha uygulamalarının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar yürütmüştür. EPDK Ar-Ge proje döngüsünde ihtiyaç analizi, teknik şartname, iş paketleri, bütçe, risk/kalite planları, tedarik-entegrasyon ve saha doğrulama adımlarında sorumluluk almıştır. TÜBİTAK destekleri ve Ufuk Avrupa (Horizon Europe) ekosisteminde çağrı takibi, konsorsiyum koordinasyonu, etki-yaygınlaştırma planı ve raporlama çıktılarında deneyim sahibidir; ERIGrid 2.0 ve CETPartnership gibi programlarda dağıtım şirketi bakış açısıyla uygulama senaryolarının olgunlaştırılmasına katkı sunmuştur. Akademik altyapısını Dicle Üniversitesi’nde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tezli Yüksek Lisans ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Lisans programlarıyla güçlendirmiştir. PMP sertifikasına sahip olup zaman-maliyet-kapsam dengesi, paydaş yönetimi ve çıktı odaklı proje takibinde yetkindir. MATLAB, HOMER Pro, Proteus ve AutoCAD gibi araçlarla modelleme/simülasyon ve analiz çalışmaları yürütmektedir. Yayınları arasında DergiPark’ta yayımlanan “Hidrojen Depolamalı Bir Mikroşebekenin Tekno-Ekonomik Analizi: Devegeçidi Sulama Barajı Örneği” makalesi bulunmaktadır. Ayrıca IoT tabanlı fotovoltaik emülatör, hidrojen depolama, direkt bağlı sayaç tasarımı ve mikroşebeke tekno-ekonomik analizi konularında ulusal/uluslararası etkinliklerde bildiriler sunmuştur.

Özgeçmiş



Mustafa Çelikpençe, 1978 yılında İstanbul'da doğmuştur. İstanbul Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünden 2000 yılında dereceyle mezun olmuştur. 2003 yılında Türkiye'deki günümüz LLM çalışmalarına öncü ve başlangıç niteliğindeki "Türkçe tümcelerdeki sözdizimsel anlamsal belirsizliği kaldıran paket program" konulu tez çalışmasıyla İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalından Yüksek Lisans derecesiyle mezun olmuştur. "Elektrik dağıtım şebekelerinde teknik olmayan kayıp kaçakların makine öğrenmesi ile tespiti" konulu tez çalışmasıyla, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim dalında, 2023 yılında doktorasını tamamlamıştır. 25 yılı aşkın deneyimiyle, ARGE ve dijital dönüşüm projeleri ile büyük veri ve yapay zeka, kurumsal uygulamalar ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi alanlarındaki çalışmalara yön vererek, şirketlerin dijital dönüşüm stratejilerine liderlik etmektedir. Halen Türkiye'nin önde gelen yatırım şirketlerinden olan enerji, gıda, girişim sermayesi, şarj istasyonları ve farklı yatırım alanlarında faaliyetlerini sürdüren Eksim Holding'te, ARGE ve Dijital Süreç Yönetimi Direktörü olarak görev almaktadır. Ayrıca 2024 yılından beri Fenerbahçe Üniversitesi'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Farklı lokasyonlardaki ARGE Merkezi ve Teknopark şubelerinin yönetimi, farklı sektörlerdeki dijital dönüşüm projelerine liderlik ile kurumsal uygulamaların geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması, yapay zeka ve Robotik Süreç Otomasyonu ile süreçlerin metal yaka çalışanlara devredilmesi çalışmalarını yönetmektedir. Türkiye'nin elektrik dağıtım sektöründeki ilk Arge Merkezi olan Dicle Elektrik Arge Merkezi'nin başında, paydaşlarıyla birlikte sektöre yön veren ulusal ve uluslararası projeler üretmeye devam etmektedir.

Özgeçmiş



Fatih Kaymak, Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.'de Ar-Ge Müdürü olarak görev yapmaktadır. Elektrik dağıtım şebekelerinde verimlilik, güvenilirlik ve iş güvenliğini artırmaya yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi, pilotlanması ve yaygınlaştırılması alanında çalışmaktadır. Ar-Ge portföy yönetimi kapsamında; regülasyon odaklı Ar-Ge süreçleri, çok paydaşlı proje koordinasyonu, tedarikçi/üniversite iş birlikleri ve saha uygulamalarının planlanması konularında deneyim sahibidir. Çalışmaları ağırlıklı olarak akıllı şebekeler, güç elektroniği ve kompanzasyon uygulamaları, enerji depolama destekli şebeke çözümleri, dağıtım otomasyonu, saha operasyonlarında robotik ve uzaktan kontrol, varlık yönetimi ve dijitalleşme başlıklarında yoğunlaşmaktadır. Ayrıca Ar-Ge çıktılarının ticarileştirilmesi, ölçeklenebilir ürünleştirme yaklaşımı ve kurumsal inovasyon süreçlerinin yapılandırılması üzerine çalışmalar yürütmektedir.