

	<b>MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ</b> <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	eISSN: 2564-6435		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/fce">http://dergipark.gov.tr/fce</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 26.05.2021		
	<u>Kabul/Accepted</u> 19.06.2021		<u>Doi</u> <a href="https://doi.org/10.52702/fce.942902">https://doi.org/10.52702/fce.942902</a>

## PANO YANGINLARI ÖNLENEBİLİR Mİ?

### YARDES (NESNELERİN İNTERNETİ VE SMART UÇ BAZLI SİGORTA KAYNAKLI YANGIN RİSK DEĞERLENDİRME SİSTEMİ)

Hakan Serhad Soyhan<sup>1</sup>, Muhammed Fatih Pekşen<sup>2</sup>, Hakan Saylan<sup>3</sup>, Ali Serim Akurgal<sup>4</sup>

#### ÖZ

YARDES, yangınların elektrik panosu kaynaklı çıkıp çıkmadığı konusunda veri elde edilmesi yanında, yangın riskinin anlık değerlendirilmesi sonucu ilgili birimlerin ve alarm sistemlerinin tetiklenmesini sağlayan bir yangın öncesi algılama sistemidir. Elektrik panolarına eklenecek cihaz ve toplanan verileri raporlayabilen merkezi bir sistemden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Sahada kullanılacak cihaz devreleri ile fazlardaki akım-gerilim-harmonik değerlerinin gerçek zamanlı ölçümleri gerçekleştirilerek; cihaza bağlı sensörler vasıtası ile sıcaklık ve pano içi sıcaklık-nem-toz, O<sub>2</sub>-CO-CO<sub>2</sub> seviyeleri ve topraklama değerlerinin ölçümü yapılmaktadır. Bu şekilde yangın sonrası olay yeri inceleme faaliyetlerinde yangının elektrik kaynaklı olup olmadığına dair incelemelerde verilerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Projenin ticarileşme aşamasında, yangın öncesi algılama ve yangına erken müdahale olanağı tanıyacak şekilde sistemin geliştirilmesi yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Pano yangınları, elektrik pano yangınları, elektrik kaynaklı yangınlar

<sup>1</sup> Prof. Dr. Sakarya Üniversitesi, Yangın Araştırma Merkezi, Esentepe Kampüsü, Serdivan, Sakarya

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Sakarya Üniversitesi, Yangın Araştırma Merkezi, Esentepe Kampüsü, Serdivan, Sakarya

<sup>3</sup> Müh.&MBA, PiA Bilişim Hizmetleri AŞ. Sabiha Gökçen Teknopark, Sanayi Mah. Teknopark Bulvarı 1/1C 6.Kat No: 1602 Kurtköy Pendik – İstanbul

<sup>4</sup> Yük. Müh, PiA Bilişim Hizmetleri AŞ. Sabiha Gökçen Teknopark, Sanayi Mah. Teknopark Bulvarı 1/1C 6.Kat No: 1602 Kurtköy Pendik – İstanbul

## 1. GİRİŞ

Ateşin keşfi ve kullanımı insanlık için çok önemlidir [1]. Ateşin bulunması sayesinde insanoğlu geçmişten günümüze kadar büyük gelişme yaşamıştır. Ateş; pişirme, koruma ve ısınma gibi birçok nedenden dolayı insanoğlu için önemli hale gelmiştir, fakat insanlık için faydalı olan işlerin yapılabilmesi için ateşin kontrol altında tutulması gerekir [2]. Ateşi kalıcı olarak elde edebilmek için yanma olayını kalıcı kılmak zorunludur. Bilimsel anlamda, yangın veya yanma, yakıt ve bir oksitleyici içeren kimyasal bir reaksiyon sonucu oluşur. Kimyasal bir olay olan yanma olayının gerçekleşmesi için üç temel unsura gerek vardır [3]. Bunlar; yanıcı madde, yakıcı madde ve yeterli ısıdır. Yanma olayının kontrolsüz şekilde devam etmesi ve yayılması sonucunda ise yangın meydana gelir. Ayrıca AFAD terimleri sözlüğünde yangın kelimesinin karşılığı olarak "Maddenin yeterli derecede ısı ve oksijen (hava) ile birleşmesi sonucunda yanarak kimyasal şekil değişikliğine uğraması olayı" tanımı yapılmıştır [5]. Yangın olayının devam ederek büyümesi, önlenememesi sonucu ise felaketler meydana gelir. Dolayısıyla yangın olayı, hemen müdahale edilmesi gereken ve büyüme işleminin engellenmesi gereken bir acil durum olaydır. Aslına bakılırsa yangın olayının meydana gelmemesi için, insanlar gerekli tedbirleri önceden almalıdır. Fakat geçmişte olduğu gibi günümüzde de yangınlar meydana gelmektedir.

Bazı ülkeler yangın olayına karşı proaktif bir yaklaşım sergileyerek, ülkelerinin çıkarlarını göz önünde bulundurarak ve ulusal bilinçle yangınları önleme politikaları gütmektedirler. Çeşitli alanlarda oluşturulan bu politikaların doğru yürütülmesi amacıyla gerekli kanunları çıkarmış ve standartları oluşturmuşlardır. Bu kanunları ve standartları uygulayan, geliştiren ve yenileyen kuruluşlar kurmuşlardır. Bu kuruluşlardan en bilinen olanı Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yangından Korunma Birliği (National Fire Protection Association-NFPA)'dir. Benzer bir kuruluş ise Japonya Yangın ve Afet Yönetim Ajansı (Fire and Disaster Management Agency-FDMA)'dır. Diğer bir örnek kuruluş ise Fransa Uluslararası Yangın Önleme ve Bastırma Teknik Komitesi (Comité Technique International de prevention et d'extinction de Feu-CTIF)'dir. Bu kuruluşlar, geçmiş yangınlar hakkında bilgiler toplayıp, raporlar düzenlemektedirler ve bu

raporlar sayesinde eğitici rehber kitaplar basılmaktadır. Gene bu raporlar sayesinde eğitim faaliyetleri düzenlenmekte, toplum bilgilendirilmekte ve yangınlar hakkında ulusal farkındalık oluşturulmaktadır. Bu faaliyetler dışında asıl önemli olan diğer bir husus ise yangınlar hakkında bu ve benzeri kuruluşların oluşturduğu standartlardır. Bu standartlar sayesinde, yangınlara karşı alınması gereken tedbirler ve öğretiler paylaşılmaktadır. "Eğitim en genel anlamıyla insanları belli amaçlara göre yetiştirme sürecidir. Bu süreçten geçen insanın kişiliği farklılaşır. Bu farklılaşma eğitim sürecinde kazanılan bilgi, beceri, tutum ve değerler yoluyla gerçekleşir" [4]. Yangın olaylarının azaltılabilmesi için eğitim ve bilinçlendirme şarttır. Eğitimin yeterli ve kaliteli seviyede olabilmesi için yaşanmış olaylardan ders çıkarılması ve gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Dolayısıyla yaşanmış olayların kayıt altında tutulması, paylaşılması ve yangına karşı önleyici tedbirler üzerinde çalışılması ulusal bir politika olmalıdır.

Yangınların oluşumunda birçok farklı neden bulunmaktadır. Verilere bakıldığında yangınların başlangıç nedenleri arasında sigara, elektrik, sabotaj, kıvılcım sıçraması, patlama gibi nedenler bulunmaktadır. Ayrıca yangınlar oluşum yerlerine göre iki farklı grupta toplanmaktadır. Bunlar yapısal ve yapısal olmayan yangınlardır. Yapısal yangınlara örnek konut, fabrika, araç ve diğer bina yangınlarıdır.

Fabrika yangınları gibi yapısal yangınlarda, yangın sonrası olay yeri inceleme faaliyetleri yangın çıkış sebebini öğrenme açısından sigorta işlemleri için önemlidir. Özellikle yangının elektrik kaynaklı olup olmadığına dair incelemelerde verilerin yangın sonrası ortadan kalkması nedeniyle zorluklar yaşanmaktadır. Yangının çıktığı yerin yakınında bulunan elektrik tesisatı ve cihazlarda ne tür olumsuz etkenlerin olduğunun yangın sonrası ortamında tespiti çoğu zaman deneyim gerektiren bir çalışma olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bireysel çalışmalarda kablunun gevşek kalması nedeniyle ark oluşması, arkın zamanla kıvılcım çıkararak malzemeyi eritmesi, malzeme kalitesi, prizde ısınma, panolarda giriş şalterlerinin uygunluğu, kablo ile sigorta uyumluluğu, akım taşıma kapasitesinin sigorta ile uyumu, kaçak akım rölesinin ve yangın koruma rölesinin kullanılıp kullanılmadığı, yangının panonun giriş veya çıkış tarafında olması, proje dışı (ara, seyyar) kablolama ile

elektrik tesisatının aşırı yüklenmesi, makinanın çektiği akımı karşılayamaması, kabloların durumu, renk değişimi ve kabarcıklanma durumu deneyim kapsamında incelenmektedir.

Bu çalışmada yangın öncesi algılama ile yangınların önlenmesinde kullanılacak ve yangın sonrası incelemelerde yangın çıkış nedeninin tespitine imkân sağlayacak bir algoritmayı esas alan bir cihaz geliştirilmiştir. Cihaz sayesinde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, madde-3 içerisinde yer alan “Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali”nin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır [6]. Elektrik panolarında yangına neden olabilecek parametreler yönetmelik ve standartlarda verilen tehlike seviyelerine göre cihaz tarafından izlenerek üç farklı seviyede alarm vermesi kurgulanmıştır. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği’nde geçen risk değerlendirmesi tanımında işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalardır şeklinde tanımlanır [7]. Dolayısıyla çalışmanın proje adı “Yangın Risk Değerlendirme Sistemi (YaRDeS)”dir.

YaRDeS kapsamında iki aşamalı bir önceden algılama yaklaşımı sergilenmektedir. Aşırı yüklenme ve gevşek bağlantı nedeniyle çıkan yangınlarda, yangın başlangıcından hemen önce, kabloların yalıtkanlarının aşırı ısınma sonucunda çıkardığı gazlar pano içerisine konulan duyargalar ile algılanmaktadır. Bu gazların algılanması ile hemen harekete geçilip pano elektriği kesilirse, olası bir yangının çıkması önlenebilecektir. Yanma esnasında O<sub>2</sub>’in azalması ve CO<sub>2</sub>’in artması ve beraberinde sıcaklık ölçümlerinde bir artış gözlenmesi beklenmelidir. Alevlenmeden önce duman ölçerinin duman algılanması beklenmelidir.

Aşırı yüklenme olmasa da gevşek bağlantı nedeniyle çıkan yangınlarda ise, yangın başlangıcından çok önce, daha kablo yalıtkanları ısınıp gaz ve duman salıvermeye başlamadan gevşek bağlantının neden olabileceği “ark”lanma algılanmaktadır. Akımdaki düzensizlik, kablo üzerine konulmuş bir akım kelepçesi tarafından (şebeke frekansına göre yüksek frekans olan 100Hz...5kHz bölgesinde) bir “ark gürültüsü” olarak ölçülebilmektedir. Böylece gevşek bağlantı

nedeniyle çıkan yangınlarda, gaz çıkışından da önce bir uyarı elde edilmesi mümkündür.

## 2. PANOLARIN TANIMLAMALARI

Elektrik enerjisi, rüzgâr gücünden, jeotermal kaynaklardan, güneş enerjisinden, hidrolik kaynaklardan, termik ve nükleer vb. enerji dönüşümlerinden elde edilebilir. Bu elektrik enerjisinin, ana iletim hatları (380KV, 34KV, 380V vb.), tali dağıtım direkleri, trafo binaları gibi güzergâhları izleyerek evlere veya işyerlerine ulaşması ülkemizde elektrik piyasası kanunu kapsamında sağlanır. Bu enerjinin evlerde veya işyerlerinde uygun dağıtılması için elektrik panolarına ihtiyaç bulunmaktadır. Elektrik panoları farklı şekillerde ve çeşitlerde olabilir. Bu çeşitlilik kullanılacak olan elektrik enerjisinden elde edilmesi gereken güce bağlıdır. Evlerde veya işyerlerinde belirli bir projeye bağlı olarak elektrik pano seçimi ve dağıtım hatları seçimi (kablo kesiti, cinsi vb.) yapılır. Bu seçimler doğrultusunda ve periyodik kontroller sayesinde elektrik enerjisi özellikle işyerlerinde güvenli bir şekilde kullanılır.

Elektrik panolarının bazı çeşitleri ve tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

**Ana dağıtım panosu:** Bir tesisin girişinde bulunur ve dağıtımın yapıldığı ana üstür. Çok sayıda elektrik elemanları bulunur. Enerji binaya ilk olarak bu panodan giriş yapar. İçerisinde yüksek amperli elemanlar barındırır.

**Tali dağıtım panosu:** Bu pano çeşidi ana dağıtım panosundan sonra gelir. Ana dağıtım panosundan sonra, pano çıkışına yerleştirilir. Bina içerisindeki çeşitli katlarda projeye uygun şekilde yerleştirilir. Daha küçük dağıtım panolarıdır ve düşük akımlı cihazlar bulunur.

**Sigorta kutusu:** Küçük bir elektrik dağıtım panosu olarak kullanılan bu yapı daha çok evlerde ve küçük ofislerde kullanılan bir kutudur. İçerisinde sigortalar ve kaçak akım anahtarları bulunur. Ev veya ofis için enerji dağıtımını bu kutu üzerinden gerçekleştirerek prizlere ve anahtarlara gider.

**Kompanzasyon panosu:** İçerisinde kondansatörler, reaktif role, kontaktörlerin barındığı pano tipidir. Enerji dalgalanmalarına karşı harmonik bozulmaların engellenmesi kondansatör gruplarınca önlenir. Reaktif güçlerin kompanze edilmesi bu pano sayesinde gerçekleşir.

**MCC Panosu:** Motor gruplarının çalışmasını sağlar. Motor kontrol merkezi görevini üstlenir.

**Sayaç Panosu:** Elektrik sayaçlarının olduğu panodur. Abone girişlerinde yer alır ve harcanan elektrik miktarının ölçülmesinde kullanılır.

**Makine Panosu:** Hemen hemen her makinede bulunan ve makine girişinde yer alan küçük bir panodur. Makinede kullanılan elektrik enerjisini kontrol etme amaçlı yerleştirilir.

**Şantiye Panosu:** Geçici olarak kurulan ve inşaat alanlarında elektrik enerjisi karşılanmasını sağlayan panolardır.

**PLC veya Otomasyon Panosu:** Kontrol ve kumanda işlevlerini yöneten panolardır.

**Transfer Panosu:** Jeneratör bulunan işyerlerinde veya evlerde şebekeden gelen elektrik ile jeneratörden gelen elektrik arasında geçişi sağlar.

**Orta Gerilim Panolar:** Üzerinde enerjinin kesilmesini sağlayan elemanlar barındırır. İletim sistemi ile ana pano geçişini sağlayan panolardır.

**Etanj Panolar:** Rutubetin ve tozun çok bulunduğu yerlerde etanj panoları kullanılır. Etanj panolar, içerisine nem ve toz almayacak şekilde imal edilir.

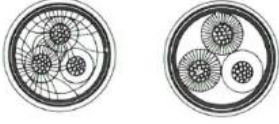
### 3. ELEKTRİK PANOSU ELEMANLARI

Elektrik panoları içerilerinde çeşitli elemanlar barındırır. Bu elemanlar, baralar, şalterler (sigorta), yük şalteri, kompakt (termik / manyetik ) şalter, açık tip otomatik şalter, akım trafoları, iletkenler (kablolar), pabuçlar, rakorlar, kanallar, kablo bağları, klemensler, kondansatörler, kontaktörler, güç kontrol rölesi, parça montaj plakaları, montaj rayı, montaj profili, pano lambaları (sinyal lambaları), kapak kolu (kelebek tip kilitli / çevirmeli kilitli), devre kesiciler, Parafudurlar, kaçak akım röleleri, pano fanları ve termostatlar gibi elemanlardır.

Baralar, bakır, pirinç ve alüminyumdan olmak üzere değişik metallere yapılır. Bakır için erime sıcaklığı  $1380 \pm 20$  °K [8], Alüminyumun için erime sıcaklığı  $643 \pm 10$  ° C [9], Pirinç (bakıra çinko karışımı) ergime sıcaklığı  $950$  ° C civarındadır [10]. Sigortaların (şalterin), gövde ve kapak malzemelerinde cam elyafı polyester reçinesi (polieterimit) kullanılır. Sigorta üreticilerinin teknik doküman verilerinde sigortaların  $160$ °C sıcaklığa sürekli olarak dayanabildiği belirtilmektedir. Akım trafolarının dış malzemesi plastikten ve iç malzemesi ise sargı

bakır ve demir / ferrit çekirdekten yapılır. İletkenler (kablolar) iletken, yalıtkan, iç kılıf, zırh ve dış kılıftan meydana gelir. İletken kısımlarında bakır ve alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Kablo pabuçlarının iletken kısmı bakır ve alüminyumdur. Yalıtkan kısım plastik malzemedir. Kablo rakorları poliamid (sentetik polimer), pirinç ve paslanmaz çeliktir. Poliamidlerin karışımların oranlanmasına göre çeşitli erime noktası bulunmaktadır. Poliamidlerin erime sıcaklığı  $160-211$ °C aralığında yer alır [11]. Ayrıca karışım oranlarına göre tutuşma sıcaklığı farklılık gösterir. Kablo kanalları, bağları, çelik, paslanmaz çelik, PVC, alüminyum veya cam elyaf takviyeli plastik malzemelerden üretilir. Klemenslerin içeriğinde yer alan yalıtkan bölümleri genelde porselen ya da plastik ve bakalıttır. Kondansatörlerin yalıtkan kısmı boş olabilir ya da plastik, kâğıt, cam, seramik vb. dielektrik özelliğe sahip madde ile kaplıdır. Güç kontrol rölesinin yalıtkan kısım plastik veya PVC malzemedir. Parça montaj plakaları, montaj rayı ve montaj profili alüminyum malzemeden üretilir. Parafudurların yalıtkan kısım plastik, PVC malzemedir. Büyük parafudurlar için kullanılan yalıtkan malzeme porselendir. Kaçak akım rölelerinin yalıtkan kısım plastik, PVC malzemedir.

Elektrik kablosu, elektrik enerjisini ileten, iki cihazı birbirine bağlayan bir yapıdır. Kablo tek damarlı veya çok damarlı yapıya sahip olabilir. Bu yapı damar, iletken, kılıf, ekran, konsantrik iletken (helisel biçimli bir sargı), zırh gibi katmanlardan oluşur. Kabloların iletken kısmı elektronların geçişini sağlar. İletken kısım bakır veya alüminyumdan oluşur [12]. İletken kısım bir tek tel veya daha ince tellerden (kıl tellerden) örülmüş, örgü tel yapıya sahip olabilir. Alüminyum kabloların aynı miktarda akım taşıma kapasitesi gerekirse bakır iletkenine göre %50 daha büyük çapta olması gerekir. Bu sebeple bakır kablolar yer problemi olan alanlarda tercih edilir. Alüminyum iletkenin tercih sebebi ise ağır olmaması gereken havadaki hatlardadır. Kabloların yük taşıması gerekiyorsa, çelik örgülerle (askı teli) kuvvetlendirilir. Yalıtkan kısım ise geçiş yapan elektriğin güvenliğini sağlamak üzere tasarlanan kısımdır. Yalıtkan kısım iletken teli saran plastik, pvc vb. yapı malzemelerdir.



Şekil 1. Örnek kablo yapısı görüntüsü [13]

Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC), kabloları belirli standartlar içerisinde sınıflandırmıştır. HD361 belgesi, kablo voltajının, izolasyon malzemesinin, yapısal elemanlarının, kılıf özellikleri ve iletken tipinin temsil edilmesi için belirli kodlar (harfler veya rakamlar) kullanmıştır [14]. Bu sayede kablolar sınıflandırılır. Ülkemizde de benzer şekilde TS HD 361 S4 :2021 standardı kablo gösteriliş sistemi başlıklı belge yürürlüktedir. Bu belgeye göre kablo standardı üç ana başlık altında toplanır. İlk ana başlık standartlarla olan ilişki ile anma geriliminin gösterildiği bilgileri, ikinci ana başlık kablonun yapısı ve son ana başlık ise iletken sayısı ve boyutu hakkında bilgileri içerir.

Elektrik kabloları kullanım amacı, kullanım yerleri, yalıtım seviyeleri olarak 3 farklı sınıfta incelenir. Kullanım amacına göre sınıflandırılan kablolar içerisinde enerji kabloları kumanda, sinyal kontrol, haberleşme, koaksiyel, data- lan, ses sistemi, kompozit, yangına dayanıklı kablolar yer almaktadır. Kullanım yerlerine göre sınıflandırılan kablolar içerisinde konutlar, işyerleri, endüstriyel tesisler, demiryolu hatlarının uygulamaları, madencilik alanları uygulamaları, havacılık tesislerinin vb. uygulamaları, yer almaktadır. Yalıtım seviyelerine göre sınıflandırmada ise haberleşme, sinyal kontrol ve enstrümantasyon kabloları, alçak gerilim enerji ve kontrol kabloları, alçak gerilim enerji ve tesisat kabloları yer almaktadır.

Kabloların yalıtkan malzemesi seçimi yapılırken en kritik şartlardaki kullanım koşulları ve toleransları belirlenmelidir. Bu durumlara istinaden seçim yapılmalıdır. Yalıtkan malzemelerin de belirli bir ömrü vardır ve kablonun yalıtkanlık yeterliliği ölçüm ile yapılır. Bu ölçüm Ohm Kanununa göre yapılır [15]. Yalıtkanın direnci ölçülürken gerilim sabit tutularak akım değeri ölçülür. Gerilimin, akıma oranı yalıtkanın direncini belirler.

$$R (\text{direnc}) = \frac{V(\text{gerilim})}{I(\text{Akım})}$$

Formül 1. Ohm Kanunu

Kablolarda kullanılan yalıtkan (izolasyon) malzemeleri ekstrüzyon yöntemi kullanılarak iletken üzerine sarılır. Ekstrüzyon metodunda

plastik granüllere belirli bir basınç altında sıcaklık uygulanır. Böylece plastik granülleri eriyik hale gelir. Bu eriyik madde iletken üzerine tutunur. Kablo endüstrisinde kullanılan izolasyon malzemeleri birçok çeşide sahip olabilir. Termoplastik, termoset, silikon ve kâğıt bazlı izolasyon malzemeleri kablolarda yalıtkan kısmın üretilmesinde kullanılır [16].

Termoplastikler, ısıtılma işlemi uygulanınca yumuşar ve soğutulma işlemi uygulanınca sertleşirler. Bu malzeme cinsi belirli sıcaklıkta bükülebilir veya kalıplanabilir yani sıcaklığa bağlı olarak elastik modülü, mukavemeti ve sünekliği değişkenlik gösterir. Polimer yapıya sahip olan bir malzemedir. Kablolarda en yaygın kullanılan PVC (polivinil klorür) termoplastik malzemedir. PVC ucuz ve dayanıklıdır. Fakat PVC yandığında, içerisinde bulunan klor ve karbon monoksit sebebiyle, siyah renkli ve zehirli dumanın ortaya çıkmasına neden olur. Bu duman yoğunluğu, karayolu tünellerinde ve kapalı alanlarda sağlık için ciddi tehditler oluşturur. Elektrik altında normal çalışma koşulları (PVC türüne bağlı olarak) 70°C ve 105°C arasında değişir. 1 kg yumuşak PVC %35 klorin içerir, bu da 360 gr HCl gazının ortaya çıkmasına neden olur [17]. HCl'nin su ile karşılaşması ile Hidroklorik asit meydana çıkmaktadır. Bu asit türü de sağlık için tehdit oluşturur. Polietilen (PE) de bir çeşit termoplastik malzemedir. Kablolarda yalıtkan malzeme olarak kullanılır ve elektrik için yüksek dirence sahiptir. PVC'den daha düşük dielektrik kayıpları vardır. Elektrik kablolarında izolasyon malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemet gösterebilir. Asitlerden, alkalilerden ve organik çözücülerden etkilenmez. Yer altı elektrik hatlarında kullanılabilir. Fakat neme ve güneş ışınlarına karşı duyarlıdır. Ayrıca PE plastiği kolay alev alır. Alev alan PE kendi kendine yanmaya devam eder. PE, -65°C ile 80°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilir [18]. Diğer bir termoplastik malzeme ise Polipropilen'dir (PP). Bu malzeme çok geniş kullanım alanına sahiptir.  $\gamma$ -form Polipropilen erime sıcaklığı 125° C ile 175° C arasındadır [19]. Mor ötesi ışınlarla karşı dayanımı azdır ve termal genleşmesi yüksektir. Boyanması da kolay değildir. Açık hava şartlarına az direnç göstermektedir. Belirli bir zaman içerisinde oksitlenebilir ve yanıcıdır. Klor muhteviyatına sahip solventler ile etkileşime girer. Polietilen gibi kokusu keskin ve yakıcıdır. PE ve PP malzemeleri içeren kablolar kolay alevlenebilirler. Ayrıca yanma esnasında damlacıklanma meydana gelir.

Eriyen malzemenin oluşturduğu damlalar çevresindeki malzemeleri de kolayca yakabilirler. PE yangınları su, köpük, karbon dioksit veya toz ile söndürülür.

Termosetler ısı işlem gördüklerinde sertleşir ve bu durumu korurlar. Yapısal olarak kovalent bağlara sahiptirler. Kovalent bağ yapısı gereği tekrar ısı işlem görünce yumuşamazlar. Bu tür malzemelerin geri dönüşümleri maliyetlidir. Bu nedenle tercih edilmezler. XLPE kablo, çapraz bağlı polietilen kablo anlamına gelmektedir ve termoset yapıdadır. XLPE yüksek sıcaklıklarda erimesini ya da ayrılmasını önleyici polimer yapıdadır. Bu sebeple, XLPE sıcaklığın yüksek olduğu alanlarda kullanılması avantaj sağlar. XLPE'nin normal çalışma sıcaklıkları,  $90\pm 10$  °C'dir [20]. XLPE'nin maksimum aşırı yük sıcaklığı ( $105\pm 10$ )°C ile sınırlıdır [21]. EPR (Etilen Propilen Kauçuk) kopolimerdir. Etilen ve propilenin birleşiminden meydana gelir. EPR, XLPE'den ve PE'den daha esnektir. Fakat yüksek dielektrik kayıplarına sahiptir. Silikon izolasyonlar kauçuk-silikondan oluşan yalıtım malzemeleridir. Genellikle  $-80$  ° C ile  $+200$  ° C arası sıcaklıklara dayanıklıdır [22]. Organik ve inorganik yapıya sahip olan silikon yalıtkanlar esnek yapıdadır.

Diğer bir yalıtkan malzeme ise kâğıt bazlı izolasyon malzemeleridir. Kâğıt eskiden beri kullanılagelen bir malzeme olmasına rağmen halen yüksek gerilim kabloları için izolasyon amaçlı kullanılır. Kâğıt, yağ veya sentetik reçine gibi dielektrik bir sıvıya daldırılır ve bu sıvıyı emmesi sağlanır. Fakat kâğıt neme karşı hassastır. Bu sebeple kâğıt üzerine kurşun kılıf uygulaması yapılır ve neme karşı direnç sağlanır.

Kablo yalıtım malzemeleri için çeşitli seçim kriterleri bulunur. Dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır. Taşınacak akım, kablodaki oluşacak sıcaklık ve ortam sıcaklığı, yanmaya karşı direnç özelliği ve esneklik miktarıdır. Ayrıca kablolar için koruyucu dış yapı (kılıf) seçim kriterleri de göz ardı edilmemelidir. Koruyucu dış yapı için dikkat edilmesi gereken kriterler ise şunlardır. Ortam sıcaklığı ve bu sıcaklığa karşı direnç miktarı, yanmaya karşı direnç, esneklik, açık veya kapalı alanda kullanım ve güneş ışınlarına karşı direnç, yağ ve kimyasal direnci ve kemirgenlere karşı dayanım miktarıdır.

Her izolasyon malzemesinin farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Dolayısıyla seçimi yapılacak olan izolasyon malzemesi ilgili standartlara ve çalışma şartlarına bağlıdır. Kolay anlaşılması

adına izolasyon malzemelerinin avantajları ve dezavantajları tablo olarak aşağıda verilmiştir.

**Tablo 1.** İzolasyon malzemelerinin avantajları ve dezavantajları

Malzeme	Avantaj	Dezavantaj
PVC	Ucuz, dayanıklı, yaygın kullanım	Yüksek dielektrik kayıpları, yüksek ısılarda erime, halojen içerme, MV/HV için uygun değil
PE	Düşük dielektrik kayıpları	Yüksek hassasiyet, yüksek sıcaklıkta malzeme kopması
XLPE	Düşük dielektrik kayıpları, erimez, termal genleşme meydana gelir	PE'ye göre zor üretim, dielektrik kayıpları, tutuştuğunda alev kendiliğinden ilerler
EPR	Esneklik, düşük ısı genleşme (XLPE'ye göre)	Yüksek dielektrik kayıpları
Silikon	Yüksek sıcaklıkta çalışabilme	Düşük mekanik özellikler
Kâğıt/Yağ	Düşük dielektrik kayıpları, DC dayanıklılık	Yüksek ağırlık, maliyet, tamiri zor, nem ile bozulma

#### 4. KABLOLARDA İZOLASYON ZAYIFLAMASI VE ARK OLUŞUMU

Periyodik bakımlar pasif yangın güvenlik önlemleri içerisinde yer alan çalışmalardır. Bakımlar esnasında gözle görülemeyen ve kablo izolasyonlarında zayıflamaya neden olan olaylar bulunur. İzolasyon kalitesi, zaman içerisinde maruz kaldığı etkenler nedeni ile zayıflayabilir. Yaşlanma olarak tabir edilen bu durum kablonun temel özelliklerinde meydana gelen kalıcı değişimlere yol açar. Yaşlanma veya izolasyon zayıflaması ark oluşumunu meydana getirebilir. Bir ark oluşumu esnasında  $35.000^{\circ}\text{F}$  ( $19426,67^{\circ}\text{C}$ ) ulaşacak kadar sıcaklık artışı gözlemlenebilir [23]. Başka bir çalışmada ise ark enerjisinin,  $20000$  °K ( $19726,85^{\circ}\text{C}$ ) kadar ve üstünde yüksek sıcaklık oluşturduğu hakkında çalışma yapılmıştır [24]. Ark sıcaklığının tehlikesini daha iyi gözlemleyebilmek için farklı bir örnek üzerinden bakılması gerekirse, sigara içen kişi nefes ile içine çekerken sigara ucundaki sıcaklık sigara çeşidine göre değişkenlik gösterip en fazla  $812$  °C civarında olduğu gözlemlenmiştir [25]. Ayrıca bir ark patlamasının belirli bir uzaklığa sıcaklık etkisi oluşturacağı da unutulmamalıdır. Ark patlamaları elektrik kabloları üzerinde izolasyon yaşlanmasına sebep olabilir. Genel olarak izolasyon yaşlanmasına sebep olan unsurlar şunlardır.

**Termal yaşlanma faktörleri;** Termal yaşlanma hem yükün büyüklüğünden hem de dış çevre koşullarından kaynaklanabilir. Sıcaklık ve varyasyonları, yalıtımının bozulmasından temel olarak sorumludur; **Elektriksel yaşlanma faktörleri;** elektriksel yaşlanma, bileşenin voltaj yükünden ve bozuk voltaj dalgası şeklinin etkisinden kaynaklanır; **Çevresel yaşlanma faktörleri;** hava koşulları ve hava kirliliği ile ilgili dış nedenlerdir; **Mekanik yaşlanma faktörleri;** örneğin bir transformatördeki kademe değiştiriciler gibi cihazın içindeki hareketli parçalarla ilgilidir. [26]

Özellikle endüstriyel tesislerde izolasyonlar periyodik olarak ölçülmelidir. Bu sayede basit önlemler alınarak tesiste meydana gelebilecek bir yangın engellenebilir. Periyodik kontrollere tabi tutulması gereken bir başka husus ise hacimsel öz dirençtir. Hacimsel öz direnç formülünde geçen  $\rho$  : Hacimsel öz direnç ifade eder. R: Ölçülen yalıtım direncidir. l: Kablo uzunluğudur. D: Yalıtımın dış çapı ve d: Yalıtımın iç çapıdır. **Hacimsel öz direnç**, silindirik elektrotlar için aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times l \times R}{\ln \frac{D}{d}}$$

Formül 2. Hacimsel öz direnç [27]

## 5. ELEKTRİK KAYNAKLI YANGINLAR

“Ülkemizde yangın çıkış sebepleri incelendiği zaman elektrik kaynaklı yangınların meydana gelmesi ilk üç sıra içerisinde yer almaktadır. İstanbul, Ankara ve Sakarya gibi illerimizin itfaiye daire başkanlıkları tarafından yayımlanan yıllık veriler incelendiğinde 2018 yılında, bu üç ilimizde toplam 31.118 yangın olayı meydana gelmiştir ve bunların 6.997 adedi elektrik kaynaklı yangınlardır. Bu durum yaklaşık olarak meydana gelen yangınların %23 oranında elektrik kaynaklı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. 2018 yılında İstanbul ilinde 5.442 adet yangın elektrik kaynaklıdır ve elektrik kaynaklı yangınlar İstanbul ili için sigaradan sonra ikinci sıradadır. Benzer durum Ankara ilinde ise 1.245 adet olarak kayıtlara geçmiştir. Elektrik kaynaklı yangınlar Ankara ili için sigaradan veya kibritten sonra

ikinci sıradadır. Sakarya ilinde 2018 yılında 310 yangın elektrik kaynaklıdır.”[28]

Elektrik kaynaklı yangınlar; elektrikli cihazlardan ortaya çıkan yangınlardır. Kısa devre, aşırı yüklenme kaynaklı aşırı akım çekilmesi ve fazla ısınma, izolasyon kaçakları gibi birçok teknik sebep yüzünden yangın meydana gelebilir. Elektrik enerjisi yangın başlaması için gerekli olan ısının oluşturulmasında ateşleyici görevini üstlenir. Elektrik kaynaklı yangınların meydana gelmesinde dört temel neden gösterilebilir. Bunlar aşırı yük sebebiyle fazla akım çekilmesi, izolasyon zayıflığı, bakım eksikliği ve çeşitli sebeplerden ötürü yaşlanmadır.

**Aşırı yük sebebiyle fazla akım çekilmesi:** Güç gereksiniminin fazla olduğu durumda ekipmanın kapasitesi zorlanır. Bu zorlama sebebiyle kullanılan ekipman fazla akım çeker. Üzerinden fazla akım geçen kablo, akımın karesi ile doğru orantılı olacak şekilde ısınmaya başlar. Isınma izolasyonu zayıflatır. Bu izolasyonun, özelliğini yitirmesine ve kısa devre meydana gelmesine sebep olabilir. Elektrik pano içerisindeki bir eleman hasara uğrayabilir ve patlayabilir veya yanmaya başlayabilir. Bazı durumlarda ise aşırı yüklenme trafo binalarının içerisindeki hücrelerde bile yangına sebep verebilir.

**İzolasyon zayıflığı:** Zamanla hasara uğrayan izolasyon kısa devre meydana getirebilir. Bu durum sürekli bir ark meydana getirebilir. Ark sıcaklığı yüksektir ve saniyeler içinde söndürülmezse, etrafındaki malzemeleri tutuşturur. Elektrik arki sayesinde tutuşan bu malzemeler yangının başlangıç safhasını meydana getirecektir. YaRDeS projesinin özel amacı, ark oluşumunu hızlı algılayıp hızla müdahale edebilme üzerine modellenmiştir.

**Bakım eksikliği:** Bakımsızlık veya yenileme yapılmaması ekipman kontaklarının bozulmasına yol açar. Böyle durumlarda ark oluşur ve yangın başlayabilir.

**Yaşlanma:** Ekipmanların oluşturduğu mekanik baskı veya kabloların çekilmesinden ötürü uzama yapması nedeni ile izolasyonda kırılma veya çatlaklar oluşur. Bu durum elektrik kablolarında ark meydana getirir.

Gündelik hayatımızın belirli rutinler içerisinde devam etmesini ve konfor bölgesinden çıkmak istemeyen insanoğlu yangın ile karşılaşmak istemez. Bu sebeple elektrik yangınlarına karşı yangının çıkış sebeplerini bilerek yangının çıkmasını önleyici tedbirlerin alınması ve



bakımların yapılması gereklidir. Yangın oluşumuna neden olacak belirtiler ortaya çıkarsa ya da yangının hemen başlangıç aşamasında algılanması mümkün olursa, yangın önlenir. Bu sebeple yangın ihbar sistemlerinin doğru kurulması gerekmektedir. Ayrıca doğru kurulan sistemlerin doğru şekilde işletilmesi de önem taşımaktadır. Erken ve doğrulanabilir ihbar sistemi sayesinde yangına daha başlangıç aşamasında müdahale edilmesi imkânı oluşur. Yangını henüz başlangıç aşamasında söndürmek, otomatik söndürme sistemleri ile veya yangını ilk fark eden kişiler tarafından yangın söndürücü cihazlar ile yapılır. Yangını algılama ve müdahalenin insanlar tarafından değil, sürekli izlenebilen bir sistem tarafından yapılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Çünkü yangının nerede ve ne zaman başlayacağı belirsizdir. YaRDeS projesinin bir sonucu da, ticari modelde bu belirsizliği yapay zekâ desteği ile öngörülebilir ve yönetilebilir hâle getirmektir.

## 6. YANGINI MEYDANA GELMEDEN ALGILAMA OPTİMİZASYONU

Yangın algılamada çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Bu sensörler algoritmik sistem içerisinde emniyet zinciri oluşturmakta ve birbirlerini doğrulamaktadır. Bu çerçevede sensörlerin çalışma dizilimi algılama açısından önem taşımaktadır. Bu dizilimde hata yapılması, muhtemel bir yanma olayının geç algılanmasına sebep olabilir. Dolayısıyla sistemin optimize edilmesi gereklidir. Ayrıca ortam farklılığı gösterebilecek durumlara istinaden, sensörlerin çalışma aralıklarında da gerekli optimizasyonların kurulum esnasında uygulanması gereklidir.

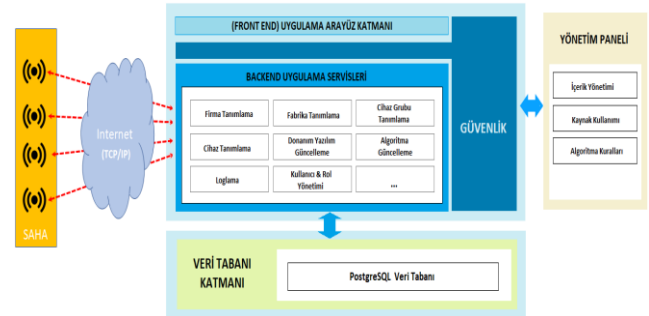
Elektrik panolarında yangın çıkma ihtimalinde öncelikli sorun aşırı akımdır. Aşırı akım dolayısıyla kablolar ısınır. Belirli bir dereceden sonra kablo üzerindeki izolasyon önce erimeye ve damlacıklanmaya başlar. Bu esnada tütme denilen duman oluşumu ortaya çıkar. Yangın çıkmadan algılama için akım ölçer sensör sistemi kurulması gereklidir. Bu sayede aşırı akım hata analizi yapılabilir. YaRDeS'te ayrıca tepe akım ölçme yeteneği de bulunmaktadır. Bir besleme hattında birkaç periyotluk çok kısa süre içinde tepe akımın, o hattın anma değerini çok aşması, ancak ortalama akımın anma değerinin altında kalması bir sigorta atmasına neden olmayabilir, yalıtkan ısınmasına da yol açmayabilir, fakat malzeme yorgunluğuna neden olabilir. Malzeme yorgunluğu da zaman

içerisinde çatlaklara ve bu nedenle de arklanmaya yol açabilir. YaRDeS, belirlenen tepe akım değerleri geçildiğinde durumu tespit eder. Anlık tepe akım aşımı her izlenen kablo için 40ms.'lik zaman dilimi için (saniyede 25 kere) ölçülür ve doğrudan iletişim birimine, oradan da korunaklı bellek ve alarm merkezine iletilir. Anma akımı aşımı, izlenen aynı kablolar için daha uzun zaman diliminde ortalama alınarak ölçülür ve saniyede bir kere bildirilir.

Duman ve gaz sensörleri kullanılarak sürekli ölçüm yapılmaktadır. Gaz sensörlerinin görece yavaş tepki vermeleri nedeniyle ölçüm raporlama sıklıkları saniyede bir olarak belirlenmiştir. Pano içerisinde meydana gelmeyen bir yangını duman sensörü ve karbon monoksit sensörü sayesinde algılama ihtimali oluşur. YaRDeS'te pano içinde (gerekirse dışında) seçilen üç noktada sıcaklık ölçülür. Üç noktanın ortalaması alınarak saniyede bir merkeze bildirilir.

## 7. NESNELERİN İNTERNETİ VE SMART UÇ BAZLI SİGORTA KAYNAKLI YANGIN RİSK DEĞERLENDİRME SİSTEMİ (YARDES)

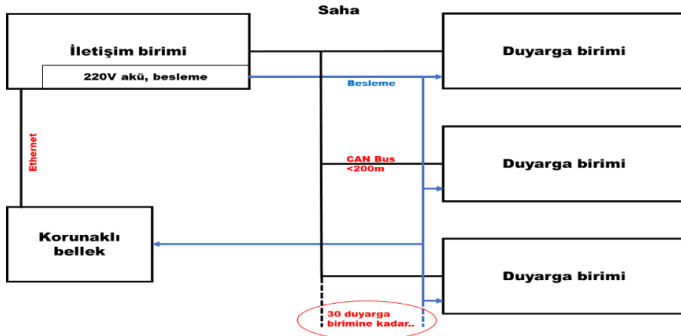
Bu bölümde, YaRDeS projesinin saha tarafındaki blok şema ve devreleri anlatılmaktadır. Devreler, canlı olarak saha ihtiyaçlarını ve sahada karşılaşılan durumlara karşı alınan önlemleri içermektedir.



Şekil 2. Mimari yapı

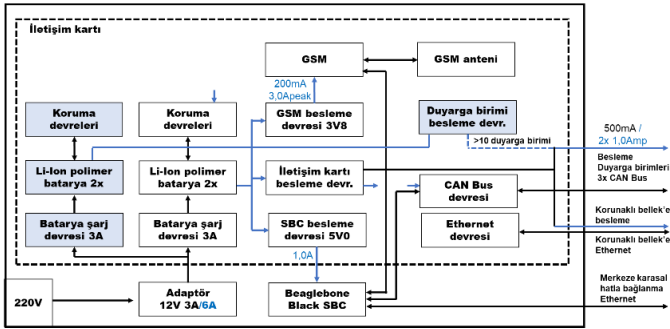
Korunaklı bellek beslemesi için 3x0,75mm<sup>2</sup> bir kablo İletişim biriminden yer altındaki korunaklı bellek birimine kadar dönecektir. İletişim birimi ve korunaklı bellek arasında 100 metreye kadar uzaklık olabilmesine karşın uygulamalarda en çok 20 metre mesafe olması beklenmektedir.





Şekil 3. Saha yapısı

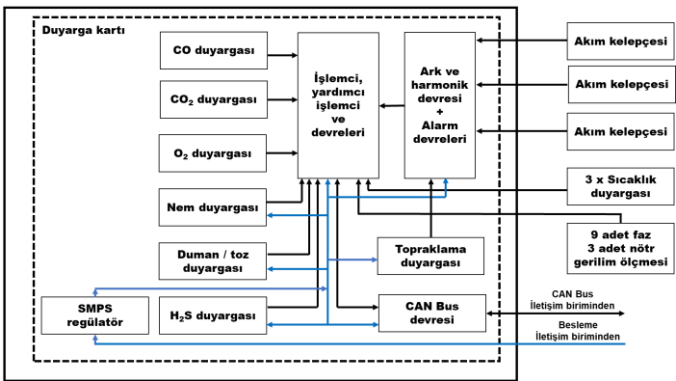
İletişim birimi, üzerinde bulunan GSM devresi ve antenin baz istasyonu ile güçlü bir bağlantı kurulabilmesi amacıyla, binanın dış cephesine yerden en az 3m. yükseğe, duvara monte edilmek üzere düşünülmüştür. Hava koşullarına dayanıklı (IP5x) bir kabuk içerisinde bir baskı devre kartı ile bir SMPS 220VAC-12VDC güç kaynağından oluşmuştur.



Şekil 4. İletişim Birimi

Duyarga olarak CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> gibi gazlar ile pano iç sıcaklığı (3 ayrı yerin ortalaması), toz, duman, pano toprağının referans toprağa direnci ve panoya gelen veya seçilmiş yüklere giden fazlar üzerinde akım ölçümleri ele alınmıştır. Duman için iki algılama yolu bulunmaktadır: a) iyonizasyon, b) optik. İyonizasyon yoluyla duman algılama yöntemi terk edilmekte olduğu için optik ölçüm kullanılmıştır.

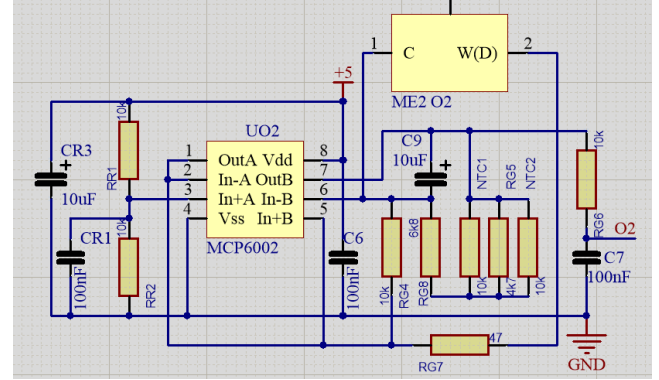
#### Duyarga birimi



Şekil 5. Duyarga Birimi

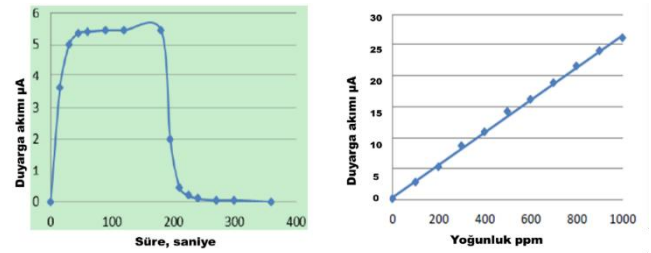
Kart üzerinde yer alan 3 gaz ölçüm duyargası vardır. Bunlardan CO<sub>2</sub> duyargası, kendi elektroniği üzerinde olarak gelmektedir. CO ve O<sub>2</sub> duyargaları ise üreticisinin önerdiği devreler kart

üzerinde kurularak kullanılmaktadır. Bu devrelerde ölçüm değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak sapmalarını düzeltecek NTC (negative temperature coefficient) termistörler mevcuttur. Her üç duyarga da yavaş tepki veren duyargalardır ve bunlarda bir ölçüm değişikliğinin durulması 10 saniyeler düzeyindedir.



Şekil 6. Devre Tasarımı

Bu iş için Winsen (Çin) üreticisinin ME2-CO ve ME2-O<sub>2</sub> duyargaları kullanılmıştır. Duyargaların özellikleri aşağıdadır. Üreticisi tarafından önerilen devreler yukarıdadır.



Şekil 8. Duyarga tepkime (yeşil) ve duyarlılık grafikleri (beyaz)

## 8. SONUÇ

Yayımlanmış olan verilerden, akademik çalışmalar incelendiğinde yangınların çıkış sebebinin büyük bir kısmının elektrik kaynaklı olduğu gözlemlenebilir. Özellikle büyük işletmelerin veya rezidans tipi konutların elektrik panoları çalışanların veya konut sakinlerinin çabuk erişemeyeceği ve yangına müdahale edemeyeceği alanlarda yer almaktadır. Dolayısıyla bir elektrik panosunda oluşabilecek bir yangın riskinin senaryolaştırılması ve yangını oluşturacak koşulların erken algılanması önem kazanmaktadır. Bu değerlendirmeyi yapacak matematiksel model (algoritma) ürünün tescili ve ticarileşmesi ardından optimize edilerek ayrı bir makale ile paylaşılacaktır.

YaRDeS ile riskler ve yangın oluşturabilecek koşullar, yangın meydana gelmeden izlenecek ve ilgili bakım-tutum-test (BTT) ekiplerine bilgi verilecektir. Bu durum, yangına henüz gelişme

safhasındayken müdahale edilmesine imkân vererek engellenmesi, söndürülmesi sağlanacaktır. Dolayısıyla muhtemel can kayıpları engellenebilecek, oluşacak maddi ve manevi kayıplar en az seviyede atlatılacaktır.

### KAYNAKLAR

[1] CLARK J. D. and HARRIS J. W. K., “Fire and its roles in early hominid lifeways”, *The African Archaeological Review*, 3, pp. 3-27 1985.

[2] GOWLETT J. A. J., “The discovery of fire by humans: a long and convoluted process”, *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, DOI: 10.1098/rstb.2015.0164, May 2016.

[3] BALLI Esin Nihan, “Toplu Konut Projelerinde Yangına Karşı Alınacak Önlemler Ve Malzeme Önerileri”, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı Mimarlık Programı, Yüksek Lisans Tezi*, 25.01.2010.

[4] Nurettin FİDAN, “Okulda Öğrenme ve Öğretme”, *PEGEM AKADEMİ Baskı: Şubat 2012*, ISBN 978-605-364-254-1, 3., 2012.

[5] KAYNAK 1:  
<https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu> (ERİŞİM TARİHİ 15.05.2021).

[6] KAYNAK 2:  
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (ERİŞİM TARİHİ 12.05.2021).

[7] KAYNAK 3:  
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16925&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (ERİŞİM TARİHİ 12.05.2021).

[8] Hamid Loulijat, Hicham Zerradi, Soufiya MizaniEl mehdi Achhal, Aouatif Dezairi Said Ouaskit, “The behavior of the thermal conductivity near the melting temperature of copper nanoparticle”, *Journal of Molecular Liquids*, Volume 211 Pages 695-704, November 2015.

[9] Bryan Zuanetti, Tianxue Wang, Vikas Prakash, “Mechanical response of 99.999% purity aluminum under dynamic uniaxial strain and near melting temperatures”, *International Journal of*

*Impact Engineering*, Volume 113 Pages 180-190, March 2018,.

[10] M.-N. Avettand-FènoëlT. NagaokaM. MarinovaR. Taillard, “Upon the effect of Zn during friction stir welding of aluminum-copper and aluminum-brass systems”, *Journal of Manufacturing Processes* Volume 58, Pages 259-278, October 2020.

[11] Syang-Peng Rwei, Palraj Ranganathan, Yi-Huan Lee, “Synthesis and characterization of low melting point PA6 copolyamides from ε-caprolactam with bio-based polyamide salt”, *Journal of Molecular Structure*, Volume 1186, Pages 285-292, 15 June 2019.

[12] Thomas P. Arnold, C. David Mercier, “Power Cable Manual 3RD Edition”, *Southwire Company*, ASIN: B0012NCJ12, 2005.

[13] Larry Kirkpatrick, “Aluminum Electrical Conductor Handbook Third Edition”, *Library of Congress Catalog NO. 81-71410*, Aluminum Association Publication No. ECH-S6, Year: 1989

[14] TÜRK STANDARDI, TS HD 361 S4, Kablo gösteriliş sistemi, Uluslararası Karşılıklar: HD 361 S4-EQV, ICS Kodu: 29.060 Elektrik Telleri ve Kabloları

[15] Colm O'Sullivan, “Ohm's law and the definition of resistance”, *Article in Physics Education*, DOI: 10.1088/0031-9120/15/4/009 August 1980.

[16] Technical Information Handbook Wire and Cable Fifth Edition, ISBN: 978-0-615-24926-1, 2013

[17] BTS Yangın Güvenlik Yapı Teknolojileri, “Ticari Binalarda Yangın Zonları ve Elektrik Tesisatı Üzerinden Yangın Yayılımın Önlenmesi”, *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 212. Sayı (Ocak-Şubat 2020)

[18] C.A.Uwaa, B.AbebA.F., NnachibE.R., SadikucT.Jamirua, “Experimental investigation of thermal and physical properties of nanocomposites for power cable insulations”, *Materials Today: Proceedings*, Volume 38, Part 2, Pages 823-829, 2021.

[19] Khaled Mezghani, Paul J. Phillips, “The  $\gamma$ -phase of high molecular weight isotactic polypropylene: III. The equilibrium melting point and the phase diagram”, *Polymer, Volume 39, Issue 16, Pages 3735-3744*, 1 June 1998.

[20] Emna Khouildi, Rabah Attia, Rafik Cherni, “Investigating Thermal Effect on a Cross Linked Polyethylene Power Cable”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 33 ~ 40, DOI: 10.11591/ijeecs.v5.i1.pp 33-40, January 2017.

[21] Ibrahim A. Metwally, “The Evolution Of Medium Voltage Power Cables”, *IEEE Potentials*. 2012; 31(3): 20-25.

[22] Anixter Inc., “Technical Information Handbook Wire and Cable”, Fifth Edition, 2013, ISBN: 978-0-615-24926-1, pg:37

[23] Cameron G. Clark, “The Basics of Arc Flash”, GE Industrial Solutions

[24] Zakir Husain, Deepak Kumar, Khushbu Thakur, “Remediation of Old Substations for Arc Flash Hazard”, *International Journal of Applied*

*Power Engineering (IJAPE) Vol. 3, No. 1, pp. 23~32 ISSN: 2252-8792*, April 2014.

[25] Pentti Ermala, Lars R. Holst, “On the Burning Temperatures of Tobacco”, *American Association for Cancer Research, cancerres.aacrjournals.org*, 1956.

[26] Tomasz Lech KOLTUNOWICZ, “Accelerated Insulation Aging Due to Thermal and Electrical Stresses in Future Power Grids”, *Master of Electrical and Electronic Engineering, The University of Nottingham (UK) geboren te Warschau (Polen), ISBN 978-90-8891-819-3*, 2014.

[27] IEEE Std 402-1974, “IEEE Guide for Measuring Resistivity of Cable-Insulation Materials at High Direct Voltages”,

[28] Pekşen M.F, Uyaroğlu Y, Soyhan H.S., “İstanbul, Ankara ve Sakarya İllerinin 2018 Yılı İtfaiye Olaylarının Karşılaştırılması”, *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın Ve Yanma Dergisi*, Vol(No):8, 1-19, 2020.