

Subject Area  
Occupational health and  
Safety

Year: 2022  
Vol: 8 Issue: 99  
PP: 2020-2026

Arrival  
28 April 2022  
Published  
30 June 2022

Article ID Number  
62682  
Article Serial Number  
15

Doi Number  
<http://dx.doi.org/10.2922/8/sss.62682>

**How to Cite This Article**  
Gürsel, O. & Çağlarer, E. (2022). "Meta Analiz Yöntemi İle Hava İzoleli Ve Gaz İzoleli Trafo Merkezlerinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi"



International Social  
Sciences Studies Journal,  
(e-ISSN:2587-1587)  
Vol:8, Issue:99;  
pp:2020-2026



Social Sciences Studies  
Journal is licensed under  
a Creative Commons  
Attribution-  
NonCommercial 4.0  
International License.

## Meta Analiz Yöntemi İle Hava İzoleli Ve Gaz İzoleli Trafo Merkezlerinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi

Investigation Of Air Insulated And Gas Insulated Substations In Terms Of Occupational Health And Safety By Meta Analysis Method

Onur GÜRSEL <sup>1</sup>  Evren ÇAĞLARER <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Y.L. Öğrencisi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye  
<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye

### ÖZET

İş yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uygulamaları işyerinin ekonomik olarak devamlılığı, çalışanların sağlığı ve iş yeri ekipmanlarının uzun süreli idamesi açısından önemlidir. Spesifik olarak trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları sistemlerin yapılarından dolayı farklılık gösterebilmektedir. Bu amaçla; hava izoleli trafo merkezleri ile gaz izoleli trafo merkezlerinin karşılaştırılması literatür inceleme yoluyla yapılmıştır. Toplanan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği içermeyen çalışmalar araştırmanın dışında bırakılmış olup 18 çalışma meta analize dahil edilmiştir. Elde edilen kaynaklar hava izoleli trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları, gaz izoleli trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ve gaz izoleli ile hava izoleli trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları farklılıkları olarak kategorize edilmiştir. Sonuç olarak; literatür incelendiğinde iş sağlığı ve güvenliği yönünden iki sistemin karşılaştırılmasının neredeyse hiç yapılmadığı ancak ayrı ayrı incelendiği görülmüştür. İşçi sağlığı, işyeri ve çevre açısından önemli olacağı düşünülen iki farklı uygulamanın karşılaştırılmasının literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hava İzoleli Trafo Merkezleri, İş Sağlığı ve Güvenliği, Meta Analiz, Gaz İzoleli Trafo Merkezleri

### ABSTRACT

Occupational Health and Safety (OHS) practices in workplaces are important for the economic continuity of the workplace, the health of employees and the long-term maintenance of workplace equipment. Specifically, occupational health and safety practices in substations may differ due to the structures of the systems. For this purpose; The comparison of air insulated transformer centers and gas insulated transformer centers was made through literature review. Studies that did not include occupational health and safety in the collected studies were excluded from the study, and 18 studies were included in the meta-analysis. The obtained resources are categorized as occupational health and safety practices in air-insulated substations, occupational health and safety practices in gas-insulated substations, and occupational health and safety practices in gas-insulated and air-insulated substations. When the literature is examined, it is seen that the comparison of the two systems in terms of occupational health and safety is almost never done, but it is examined separately. It has been evaluated that the comparison of two different applications, which are thought to be important in terms of occupational health, workplace and environment, will contribute to the literature.

**Keywords:** Air-Insulated Substations, Occupational Health and Safety, Meta-Analysis, Gas-Insulated Substations

## 1. GİRİŞ

Gelişen toplum ihtiyaçlarıyla birlikte elektrik enerjisinde talep gitgide artmaktadır. Elektrik enerjisi insanlığın yaşamında büyük yeri olan temel enerjilerdendir. Diğer enerji türlerine çevrilmesindeki kolaylığının, üretim, iletim ve dağıtımının ekonomikliğini ve kullanımdan sonra atık bir malzeme bırakmamasının ve her an kullanıma hazır bir enerji olmasının sonucu elektrik enerjisi kullanımı oldukça yaygındır. Ayrıca kişi başına düşen enerji miktarının çokluğu ve enerji yoğunluğunun düşüklüğü ülkelerin gelişmişliğinin bir göstergesidir. Meskenlerde, sanayide, ulaşımda, sulamada, eğitimde, sağlık ve günlük yaşamın her safhasında giderek artan kullanılan ikincil enerji türünün elektrik enerjisi olması kaçınılmazdır.

Elektrik enerjisi depolanamayan bir enerjidir. Bu nedenle üretildiği anda hemen tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin üretildiği santraller çoğu zaman tüketim bölgelerinden uzakta kurulmaktadır. Bu bakımdan elektrik enerjisinin üretildiği yerlerden tüketim bölgelerine taşınması gerekmektedir. Santrallerde üretilen elektrik enerjisi, yüksek gerilim hatlarıyla iletilmektedir, orta gerilim ve alçak gerilim hatlarıyla da dağıtılmaktadır. Yüksek gerilim hatları genellikle enterkonnekte şebeke ile yerleşim birimleri arasında enerji iletimini sağlamaktadır. Orta gerilim ve alçak gerilim hatları ise şehir içinde ve köylerde elektrik enerjisi dağıtımında kullanılmaktadır. Orta gerilimden alçak gerilime dönüştürme ise trafo merkezleri tarafından yapılmaktadır. Böylece trafo merkezleri elektriği son kullanıcıya ulaştırmaktadır.

Trafo merkezlerinin yapılmasında ve projelendirilmesinde birçok husus dikkate alınmaktadır. Bu merkezler direkt olarak insan yaşamının en büyük gereksinimlerinden olan elektriğin dönüştürülüp dağıtılmasını sağladığından dolayı büyük önem taşımaktadır. Bu meta analiz makalesinde hava izoleli ve gaz izoleli yapıya sahip olan yüksek gerilim trafo merkezlerinin iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları farklılıkları açısından araştırılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Çalışma meta analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır ve iki aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada internet kaynaklı veri tabanlarında konuya ilişkin bir literatür taraması yapılmıştır. Yapılan araştırma kapsamında çalışmalara ulaşabilmek için çeşitli veri tabanlarından faydalanılmıştır. Veri tabanlarındaki arama motorlarına Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler yazılarak bu kelimelerin geçtiği ulusal ve uluslararası makale, kitap, tez ve sempozyum bildirileri toplanmıştır. İkinci aşamada toplanan literatür kaynakları çeşitli açılardan değerlendirilerek trafo merkezlerinde uygulanan iş sağlığı ve güvenliği uygulama farklılıkları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda veri tabanlarından elde edilen çalışmaların içinde uygun verilere sahip 18 çalışma meta analize dâhil edilmiştir.

Meta analize dâhil edilen çalışmalar şu araştırma sorularını ele almaktadır:

- ✓ Hava izoleli trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları nelerdir?
- ✓ Gaz izoleli trafo tesislerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları nelerdir?
- ✓ Gaz izoleli ve hava izoleli trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları farklılıkları nelerdir?

## 3. TRAFİ MERKEZLERİNDE İSG UYGULAMALARI

Endüstriyel bir elektrik trafo merkezinin amacı, üretim sürecinde oluşturan elektrik enerjisinin (voltaj ve akım) özelliklerini çeşitli cihazlar vasıtasıyla kullanıma uygun seviyelere değiştirmek ve daha sonra dağıtımını yapmaktır. Bu süreçte kullanılan cihazların ve ekipmanların fiziksel bir düzenlemesine trafo merkezi denmektedir. Trafo merkezlerinin bakım ve işletme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi sırasında, çalışanlar, enerji verilen parçalarda kazara temastan kaynaklanan elektrik çarpması ve bir elektrik arkından kaynaklanan iş kazalarına maruz kalmaktadır. Elektrikle ilgili faaliyet risklerini azaltmak için, yıllar içinde emniyet prosedürleri ve endüstriyel süreçlerde sürekli bir evrim olmuştur. Hâlihazırda elektrik trafo merkezlerinde uygulanan iş güvenliği yönetimi, esas olarak düzenleyici standartlara dayanmaktadır. Bu standartlar, elektrik tesisatlarında ve hizmetlerinde emniyet amaçları, bireysel ve toplu kontrol önlemleri, enerjili elektrik tesisatlarında emniyet, yüksek gerilim içeren işler ve acil durum prosedürleri sağlamaktadır (Rocha ve Delabrida, 2021).

### 3.1. Hava İzoleli Trafo Merkezlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları

Twomey vd. (2019)'da çalışmalarında hava izoleli trafo merkezlerinin temel tasarım ilkelerini açıklamıştır. Bu çalışmada emniyet ve iş sağlığı güvenliği uygulamaları ile ilgili ayrıntılı inceleme yapılmamıştır. Fakat çalışma içerisinde trafo yerleşimi, yalıtım, trafo temel alanları, topraklama ve yıldırımdan korunma, bulaşmalar ve kirlilik başlıkları altında emniyet tedbirleri ve iş sağlığı güvenliği uygulamaları yer almıştır. Trafo yerleşiminde yatay ve dikey minimum ayırma mesafelerinin (düzenlemeler ile belirlenmiş) İSG için önemine vurgu yapılmıştır. Yalıtım kısmında ise elektrik yüküne göre ve işletme gerekliliklerine göre yalıtım malzemesinin değişebileceği ve İSG uygulamalarının buna göre farklılık gösterebileceğine vurgu yapılmıştır. Trafo temel unsurları kısmında İSG uygulamaları taşıyıcı sistemler ve iletim sistemleri bazında incelenmiştir. Topraklama ve yıldırımdan korunma doğrudan emniyet tedbirleri ile ilgili bir başlıktır ve içerisinde İSG uygulamaları ve kullanılacak ekipmanlar yer almaktadır. Bulaşmalar bölümünde tuz ve toz kirliliği ve sızıntı alanı ayrıntılı olarak incelenmektedir. Kirlilik konusunda ise gürültü özellikle detaylı incelenerek kontrol yöntemlerinden de bahsedilmiştir. Bu çalışmada ayrıca yangından korunma, aşırı elektrik yükü oluşması, transformatör korunması ve sismik olaylara karşı önlemler de yer almaktadır.

Korpinen vd. (2012)'de yaptığı çalışmanın temel amacı, hava yalıtımlı 110 kV trafo merkezlerindeki görevlerle ilişkili elektrik alanlarına mesleki maruziyeti, akım yoğunluklarını, temas akımlarını incelemektir. Bununla birlikte 2004/40/EC AB Yönergesinin eylem/sınır değerlerinin aşılp aşılmadığını ve Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu'nun mesleki maruziyet değerini aşılp aşılmadığını araştırmak için gönüllü olan dört işçi ve bunlara verilen görevler sonucu yapılan ölçümleri analiz edilmiştir. Yapılan ölçümler tablo olarak açıklanmıştır.

Teikari vd. (2008)'deki çalışmasının amacı alan kuvvetlerini ölçmek ve yeni direktifin Finlandiya'da 50 Hz, 400 kV trafo merkezlerinde çalışmayı nasıl etkileyeceğini bulmaktır. Eylem değerinin aşıldığı noktalar, seçilen sekiz trafo merkezinin %75'inde bulunmaktadır. En büyük elektrik alan kuvveti olan 14.3 kV/m, aynı faz açısına sahip gerilimleri taşıyan iki bitişik bara arasında ölçülmüştür. Üç fazlı bir hava çekirdekli reaktör setinin etrafındaki emniyet çitindeki bir trafo merkezinde 500 mT'nin üzerinde manyetik akı yoğunluğu ölçülmüştür. Basit elipsoid

hesaplamalarına göre, baş veya gövdede 10 mA/m indüklenen akım yoğunluğu maruz kalma limiti aşılmayacağı sonucuna varmıştır.

Pasulescu vd. (2021)'de yazdığı makalede, Avrupa elektrik şebekesine bağlı, Avrupa kritik altyapısı olarak tanımlanan 400/220 kV bir elektrik trafo merkezinde iş sağlığı ve güvenliği açısından risk değerlendirmesi yapmıştır. Değerlendirme, sistematik bir analize ve kaza ve mesleki hastalık risklerinin değerlendirilmesine dayalı olarak risk/emniyet seviyelerini nicel bir şekilde belirlemek için INCDPM Bükreş yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemi açıklayarak 5 aşamadan oluştuğunu ve aşamalarını maddeler halinde yazmıştır. Küresel risk seviyesi hesaplama formülünden bahsetmiştir. Endüstriyel emniyet bağlamında kritik güç altyapılarının önemini anlatmıştır. Elektrik altyapısının da bu kritik altyapılardan olduğunu vurgulamıştır ve Ulusal veya Avrupa kritik altyapısı (sınır ötesi elektrik trafo merkezi) olarak listelenen her bir elektrik trafo merkezi, kazalar veya meslek hastalıkları yoluyla çalışanların emniyetini tehlikeye atabilecek riskler üretebileceğinden, bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi önemli hale geldiğini yazmıştır. Her kritik güç altyapısının hedefinin, iş yeri ve personeli güvence altına alma bağlamında iş sağlığı ve güvenliği risklerini değerlendirmede yüksek vasıflı enerji süreç uzmanları tarafından gerçekleştirilmesini önermiştir. Ulusal enerji sektörü, Avrupa kritik altyapısı dahilindeki bir sınır ötesi güç trafo merkezinde 400/220 kV-20 kV operasyon servis ve birincil/ikincil devre bakımları için İSG açısından risk değerlendirmesi yapmıştır. Risk faktörlerini ve risk seviyelerini tablolar halinde sıralamıştır. Her bir risk faktörüne karşılık gelen risk seviyesini dikkate alarak, bir dizi önleyici tedbir önerilmiştir.

Rocha ve Delabria (2021)'de yaptıkları çalışmada arttırılmış gerçeklik teknolojisinin emniyette ve İSG'de kullanılarak risklerin azaltılabileceğini savunmuşlardır. Bu konuda özellikle elektrik arklarının bakımı sırasında alınacak emniyet önlemlerine yoğunlaşmışlardır. Trafolaradaki kazaların temel nedenleri; elektrik çarpması, kısa devre yangınları ve yıldırım düşmesi olarak sıralanmıştır.

Pasulescu vd. (2021)'de İSG için yapılacak risk değerlendirmesinin endüstriyel emniyet açısından kritik enerji altyapılarında incelenmesini yayınlamışlardır. Bu çalışmada öncelikle endüstriyel emniyet bakış açısıyla İSG uygulamalarının değerlendirilmesinin uygun olduğu görüşü ayrıntılandırılmıştır. Risk değerlendirmenin küresel risk seviyeleri de dikkate alınarak yapılması gerektiğini savunmakta ve nasıl yapılacağını ayrıntılı olarak belirtmektedir. Risk faktörlerini; mekanik risk faktörleri, elektrik risk faktörleri ve termal risk faktörleri olarak sınıflandırmaktadır.

İncekara (2008)'de yaptığı çalışmada "Yüksek ve Orta Gerilim İletiminde İş Sağlığı ve Güvenliği Sorunları ve Çözüm Önerileri"ni incelemiştir. Bu çalışmanın içerisinde yer alan yüksek gerilim iletim tesislerinde; yaklaşma mesafeleri, kazaların önlenmesi, elektrikli el aletleri, orta ve yüksek gerilim şalt tesisleri, enerji iletim hatları, yağlardan temizleme işleri, depo vb. yerlerde yapılan çalışmalar, boya işleri, basınçlı kaplar, kaynak işleri ve ark ve kıvılcımlardan korunma yer almaktadır.

Özkan (2014)'te yaptığı çalışmada "Trafo Merkezlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri"ni incelemiştir. Önce elektrik tehlikelerinden bahsedilmiş, ardından trafo merkezleri anlatılmıştır. İş kazaları ve meslek hastalıkları açısından risk değerlendirmesinin önemi vurgulanarak fine-kinney metoduna göre risk değerlendirmesinin yapılması önerilmektedir.

Kitak vd. (2021)'de trafo merkezlerinde bakım yönetimi ile ilgili araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada kısmi olarak gaz izoleli ve hava izoleli trafoların da karşılaştırılması yapılırken emniyet ve dolayısıyla İSG hususlarına yer verilmiştir.

Ceylan (2012)'de yaptığı çalışmada 2003 yılından 2011 yılına kadar TEİAŞ'ta (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) meydana gelen kazalara ilişkin kaza raporları araştırılarak, elektrik kaynaklı kazalar analiz edilmiştir. Ayrıca, SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) ve TEİAŞ'tan alınan bilgiler ile Türkiye genelinde meydana gelen kazalar ve TEİAŞ kazaları çeşitli parametreler açısından kıyaslanmıştır.

### 3.2. Gaz İzoleli Trafo Tesislerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları

Korpinen (2014)'te yaptığı çalışmada, Tampere bölgesindeki 110 kV GİS trafo merkezlerinde işçilerin görevleri sırasında elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyetini ölçmüştür. Ölçümü tüm trafo merkezlerinde ve tipik olarak işçilerin normal olarak çalıştığı alanda yapılmıştır. Ölçümleri 41 manyetik alan ve 4 elektrik alanında gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, GİS'lerin açık transformatör merkezlerinden daha az Elektro-Manyetik Kuvvet yaydığı ve açık hava trafo merkezlerinin iç mekanlara yerleştirmenin daha kolay olduğunu açıklamıştır. Dezavantaj olarak sistemin pahalı olduğunu ve SF6 gazının kazara emisyon salınımlarında oldukça zehirli bir gaz olduğuna değinmiştir.

Aranda vd. (2022)'de yayınladığı makalede elektrik şirketlerinin iletim sistemlerinin karbon ayak izini ve dolayısıyla çevresel riskleri azaltması, maliyeti en aza indirmesi ve performansı en üst düzeye çıkarması için çevresel etkiyi tahmin etme algoritması yapmışlardır. Makalede kükürt heksaflorür (SF<sub>6</sub>) gazının havanın 2,5 katı dielektrik kuvveti ile olağanüstü bir dielektrik özelliğe sahip olduğunu belirtmektedir. SF<sub>6</sub> gazının önemli bir ark söndürme gazı olduğundan bahsederek dezavantaj olarak SF<sub>6</sub> gazı salınımının karbondioksitten (CO<sub>2</sub>) 22.800 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahip olduğu ayrıca atmosferde 3.200 yıllık bir ömre sahip olduğunu açıklamışlardır. SF<sub>6</sub> emisyonlarının olası kaynaklarının, SF<sub>6</sub> içeren ekipmandaki sızıntılardan ve ekipman kurulumu, bakımı ve hizmetten çıkarma sırasındaki kayıplardan olduğu belirtilmiştir. Elektrikli ekipmanlarda SF<sub>6</sub> sızıntısı ve ekipmanın değiştirme zamanını gelecekteki projelerde tahmin etmek için karma modellenmiş bir yaklaşımın gerekli olduğundan bahsetmişlerdir. Makale bir güç trafo merkezinde kullanılan SF<sub>6</sub> sızıntısını tahmin etmek için bir algoritma önermektedir. Algoritmanın amacı, mevcut verilere dayalı olarak işletmenin mevcut durumunun ve SF<sub>6</sub> sızıntısının anlaşılmasının yanı sıra gelecekteki potansiyel bir projenin sızıntısının tahmin edilmesini sağlamaktır.

Nahman vd. (1999)'daki makalesinde elektrik güç sistemlerinin güvenilirliğini arttırmak için, sistem ekipmanlarının arızalanmasından sonra ekipman onarımı ve yedek parça tedariki için gerekli olan zamanı azaltmanın önemine değinmiştir. Trafo merkezlerinin iyileştirilmesinin ve yedek parça temininin maliyetlerine vurgu yapmıştır. Çeşitli açık hava yalıtımlı tesisler için yapılan analizlerin, beklenen yük kısıtlama maliyetleri göz önüne alınarak tüm trafo merkezleri bileşenleri için düzeltici bakım ile ilişkili toplam maliyetin optimizasyon yaklaşımı ile önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Bu şekilde, bu çalışmada GIS'ler için matematiksel bir model kullanarak optimizasyon analizi yapmıştır. Yapılan analiz sonucunda, önerilen optimizasyon yönteminin uygulanmasının toplam maliyeti önemli ölçüde azaltabileceği açıkça gösterilmiştir. Bu çalışmada incelenen trafo merkezi bileşenleri için farklı yedekleme konseptlerinin karşılaştırılması, özellikle güç kaynağı yedeğinin sınırlı olması ve hizmet verilmeyen kWh başına maliyetin yüksek olması durumunda, trafo merkezi maliyetlerinin önemli ölçüde tasarruflu olduğunu göstermiştir. Önerilen yaklaşım, devre kesiciler ve trafo üniteleri gibi trafo elemanlarının bir bütün olarak değil, çeşitli kısımlarına uygulanan daha ayrıntılı bir envanter politikasının optimizasyonudur.

Blackman'ın (2002)'deki makalesi kükürt heksaflorür (SF<sub>6</sub>) yan ürünleri hakkında açıklayıcı bilgiler sunmaktadır ve sağlık ve emniyet endişelerinin yanı sıra kullanım, tespit ve emniyet prosedürleri ve yönergeleri özetlemektedir. Çalışmada SF<sub>6</sub> gazının elektrik boşalmasına maruz kaldığında dört tip bir ayrışma yaşadığını anlatmaktadır. Her deşarj, farklı karışımlara ve yan ürün konsantrasyonlarına neden olabilmektedir. SF<sub>6</sub> yan ürünlerinin konsantrasyonlarını aldığı kaynaklardan tablolar halinde açıklamıştır. SF<sub>6</sub> yan ürünlerinin sağlık ve emniyet endişelerini ve insan sağlığına etkilerini açıklamıştır. SF<sub>6</sub> yan ürünlerine maruz kalınmasını içeren örnek olayları incelemiştir. Oluşan yan ürünlerin hücre ve hayvan toksisite verilerini yazmıştır. Taşıma, tespit ve emniyet prosedürleri ve yönergeleri konusunda bilgiler vermiştir. SF<sub>6</sub> gazının yan ürünlerinin maruziyet sınırlarını tablolarda açıklamıştır.

Ma (2021)'deki makalesinde, GIS ekipmanının yaygın arızalarının istatistiksel bir analizini yapmaktadır ve dört yaygın arızanın nedenlerini, tehlikelerini ve bakım yöntemleri açıklamıştır. GIS sisteminin ve ekipmanlarının çalışma sistemini ve diğer sistemlere göre avantajlarını anlatmıştır. Arıza sayısı ve kullanım süresi ile ilgili bir "kuvvet eğrisi" oluşturmuştur ve açıklamalarda bulunmuştur. GIS sisteminin hata türlerini analiz etmiştir. 2012'den 2014'e kadar Baoding bölgesindeki GIS ekipman kusurlarının nedenlerine ilişkin izleme tablosu ve 2009 yılında Guangdong elektrik şebekesinin GIS kusurlarının istatistiksel tablosu oluşturmuştur. Oluşturulan tablolara göre istatistiksel analizler sonucunda en çok olan arızanın gaz kaçağı arızası olduğu sonucuna varıp, yangın nedenlerini araştırmıştır. Yazar yaygın gaz kaçağı tespit yöntemleri ile ilgili bilgiler sunmuştur. GIS sistemlerinde standart hatayı aşan SF<sub>6</sub> gazının mikro su içeriğini vurgulamış ve SF<sub>6</sub> gazının mikro su kontrolü, GIS'nin normal çalışması için çok önemli olduğunu söylemiştir. Yazar GIS'lerde iç izolasyon arızasından kaynaklanan kısmi deşarjların oluşabileceğinden bahsederek yalıtım durumlarının tespiti için kontrol yöntemlerini açıklamıştır. Sonuç olarak arıza oranının açık trafo merkezlerine göre düşük olmasına rağmen istatistiksel analizlerde GIS ekipmanlarının da arızalandığından bahsetmiştir. Yaygın arıza nedenlerini gaz kaçağı, standardı aşan mikro su ve dahili izolasyon ve bileşen kusurları olarak tespit etmiş ve arızaların nedenlerini, tehlikelerini ve bakım yöntemlerini analiz etmiştir.

Özgönenel vd. (2018)'de yazdığı makalede artan çevresel kirlenme nedeniyle, hükümetlerin uluslararası protokoller imzalamak zorunda kaldığını açıklamıştır. Yazıda yağ yalıtımlı transformatörlerin dezavantajlarından, çevresel etkilerinden ve SF<sub>6</sub> gazlı yalıtım sistemlerinin daha güvenli bir çözüm sağlamasından bahsetmektedir. Makale dağıtım/güç transformatörlerinde izolasyon konusunda iyi bir malzeme olmasına rağmen, bazı çevresel tehlikeler ve emniyet dezavantajları sunduğundan, gaz yalıtımlı transformatörlerin özellikle tehlikeli yerler için düşünülmesi gerektiğinden bahsetmektedir. Aynı zamanda 50 kVA, 34,5/0,4 kV ve 50 Hz'lik yağ yalıtımlı bir



dağıtım trafosu incelenmiştir ve SF6 gaz izolasyonlu trafo (GIT) modellenmesinde bulunmuştur. Önerilen SF6 yalıtımlı dağıtım trafosu modeli, kompakt tasarımı ile patlamaya dayanıklı olması ve hafif olması gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle yeni tasarımın nükleer santraller, madenler ve denizaltılar gibi emniyet riski taşıyan ortamlar için daha güvenli bir dönüşüm sağlamadığını belirtmektedir. Ayrıca hazırlanan prototipin daha kompakt ve geleneksel yağ yalıtımlı transformatörlere kıyasla daha hafif tasarımlar sunacağını açıklamıştır.

Özgenel ve Thomas (2017)'deki çalışmada 2,5 MVA ve 34,5/0,4 kV gücüne sahip transformatörün yalıtım malzemeleri açısından modellenmesini karşılaştırmış ve günümüzde kullanılan hava izoleli güç/dağıtım transformatörlerinin dezavantajlarını açıklamıştır. Transformatörlerde kullanılan trafo yağı yerine gaz kullanılmasının, iletken ve yalıtkan malzemeler arasındaki boşlukların azalmasına neden olduğunu belirtmekte ve kararsız yağ yerine daha güvenilir bir yalıtım malzemesi olan SF6 gazının kullanılmasını önermektedir. Yazar SF6 gazının da sakıncalarını anlatmıştır, uluslararası kuruluşlar SF6 gazının üretimini ve küresel ısınmaya etkilerini rakamlarla açıklamıştır. Makalede, SF6 gazlı izolasyonlu transformatör (GIT) tasarımı önermekte ve yalıtım seviyesini ve arıza gerilimi sınırlarını en üst düzeye çıkarmak için gereken optimal gaz basıncını araştırmaktadır.

#### 4. TRAF0 MERKEZLERİNİN İSG YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Latif vd. (2002)'da yazılan makalede gaz izoleli ve hava izoleli trafo merkezlerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada gaz izoleli trafo merkezinin toplam boyutunun, geleneksel hava izoleli trafo merkezlerinin yaklaşık %10'una eşdeğer olduğu tespitinde bulunmuştur. Gaz izoleli trafo merkezlerinin konum tercihlerini; büyük şehirler ve kasabalar, yer altı istasyonları, ağır şekilde kirlenmiş tuzlu ortamlar, kıyıda uzakta bulunan trafo merkezleri ve enerji santralleri olarak açıklamıştır. Gaz izoleli trafo sistemlerinin teknik yapısını açıklamıştır ve emniyet donanımı olarak gaz izoleli istasyonda gaz algılama sistemi bulunduğundan bahsetmiştir. Ayrıca her bölmenin içindeki gaz yoğunluğunun bir basınç aralığına sahip olduğunu açıklamıştır. Basınç 3kg/cm<sup>2</sup> olarak kontrol edilmektedir ve basıncın biraz düşmesi durumunda, gazın otomatik olarak kesildiği ve yeni gaz kaçaqlarında basıncın düşmesinin alarmı tetiklediğini veya otomatik kapandığını belirtmiştir. GIS ile AIS'i kıyaslamada bulunmuştur. Kıyaslamalarda GIS'in kurulum alanında avantajlı olduğunu belirterek, AIS'e göre uzun ömürlü olmasının ve çevresel faktörlerden etkilenmemesinin de avantaj olarak sıralanması gerektiğinden bahsetmiştir. SF6 gazının avantajlarından ve çevresel etkisinden bahsederek Sülfür Hexafluoride sadece iyi bir dielektrik gücü değil, aynı zamanda kıvılcımdan sonra hızlı rekombinasyona sahip olduğunu, bu özelliğın, ark söndürme açısından havadan 100 kat daha etkili hale getirdiğini yazmıştır. GIS'in avantajlarını güvenli ve güvenilir olması, alan tasarrufu, ekonomik olması, bakım avantajı, normalden hafif olması ve işletme montaj kolaylığı başlıkları altında açıklamıştır. Dezavantajları olarak gaz tedarik sürecinin sorunlu olduğundan, maliyet ve onarım süresi uzunluğundan bahsedilmiştir. Son olarak Alman Çevre Bakanlığının 2003 yılında SF6 gazlı orta gerilim tesislerini yaşam döngüsünün incelemesinin sonuçlarını yorumlamıştır.

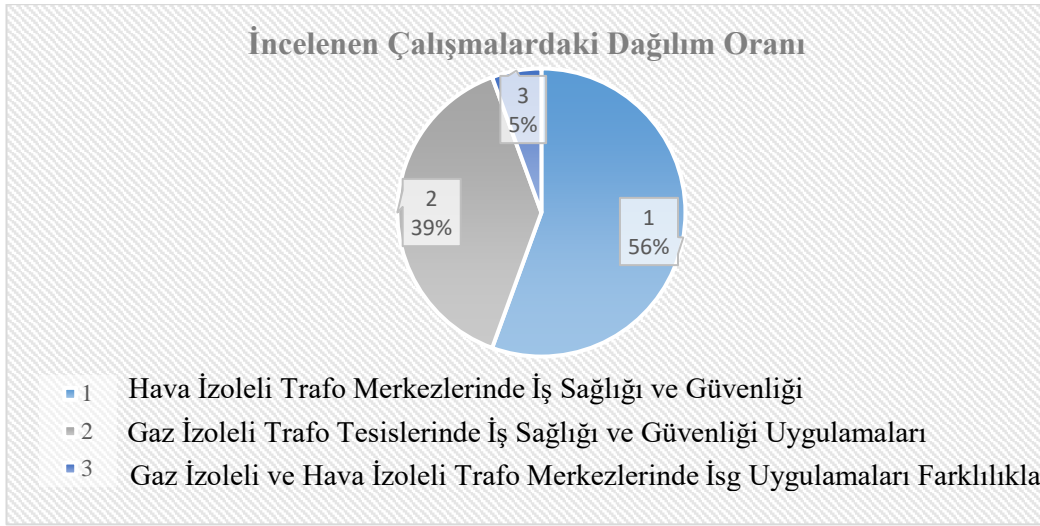
#### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şehirlerde nüfus yoğunluklarının artması hem enerji ihtiyacının artmasına neden olmuş hem de kısıtlı olan alanların doğru kullanılması gerekliliğini doğurmuştur. Enerjinin şehirlere dağıtıldığı trafo merkezlerinin ekonomik kayıpların önüne geçmek bakımından tasarımı, bakım ve işletilmesi çok önemlidir. Karşılaştırılan iki farklı sistem tasarımı, bakım ve işletim sırasında iş sağlığı ve güvenliği yönünden kendilerine özgü tehlikeleri barındırmaktadır. Yapılan çalışmada hava izoleli trafo merkezlerinin ve gaz izoleli trafo merkezlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından literatür çalışması yapılmıştır.

Yapılan çalışmada araştırma konularının iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili 3 farklı şekilde gruplandırılma yapılmıştır. Araştırmaya dahil edilen 18 kaynağın 10'unun hava izoleli trafo merkezleri ile ilgili olduğu tespit edilmiş bu da kaynakların %56'si olarak bulunmuştur.

Gaz izoleli trafo merkezlerinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olarak yapılan araştırmada ise 18 kaynağın 7'unun konuyla doğrudan ilgili olduğu tespit edilmiştir ve bu sayının da toplam kaynağın %39'lik oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Her iki sistemin karşılaştırılmasıyla ilgili 1 adet çalışma bulunmaktadır. Bu sayı da toplam araştırmanın %5 oranına sahiptir. Dağılım tablosu şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Kaynak dağılım tablosu

Teknolojinin gelişmesiyle yeni çıkan ürün ve sistemler trafo merkezlerinin tasarımı, bakım ve işletilmesinde farklılaşmalar sağlamaktadır. Dolayısıyla yeni sistemler iş sağlığı ve güvenliği yönünden yeni uygulamalar getirmektedir. Araştırma konusu farklı sistemlerin İSG yönünden karşılaştırması her iki sisteminde avantajlarını ve dezavantajlarını araştırma ve sonuçta İSG yönünden hangi sistemin gelecekte tercih edilmesine ışık tutacaktır.

#### KAYNAKÇA

- Aranda C. F., Sierra R.G., Piamba A. F. C., Gil L. M. L. (2022). An Algorithm For Estimation of SF6 Leakage on Power Substation Assets, *Algorithms*, 15(2), 38. <https://doi.org/10.3390/a15020038>.
- Blackman J. (2002). Byproducts of Sulfur Hexafluoride (SF6) Use in the Electric Power Industry, *U.S. Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation Global Programs Division, NW Washington*. Erişim Tarihi: 10.03.2022. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-02/documents/sf6\\_byproducts.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-02/documents/sf6_byproducts.pdf)
- Ceylan H. (2012). Türkiye'deki Elektrik İletim Tesislerinde Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, ss:87-109.
- İncekara N. G. (2008). Yüksek ve Orta Gerilim İletiminde İş Sağlığı ve Güvenliği Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi*. Erişim Tarihi: 05.03.2022. <https://www.csgeb.gov.tr/media/1489/nasipgulinckara.pdf>.
- Kitak P., Belak L., Pihler J., Ribic J., (2021). Maintenance Management of a Transmission Substation with Optimization. *Appl. Sci.* 2021, 11, 11806. <https://doi.org/10.3390/app112411806>.
- Korpinen, L. H., Kuisti, H. A., Tarao, H., & Elovaara, J. A. (2012). Occupational exposure to electric fields and currents associated with 110 kV substation tasks. *Bioelectromagnetics*, 33(5), 438–442. <https://doi.org/10.1002/bem.21711>
- Korpinen, L., & Pääkkönen, R. (2015). Examples of occupational exposure to electric and magnetic fields at 110-kV gas-insulated substations (GISs). *Radiation protection dosimetry*, 163(3), 394–397. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu200>
- Latif, B. M., Abbas W., Masood B. (2002). Comparison of Gas Insulated Substation over Air Insulated Substation. *IET-CIRED Seminar*. Erişim Tarihi: 03.03.2022. <https://superior.edu.pk/wp-content/uploads/2017/04/7-6.pdf>
- Ma Y. (2021). Analysis of Common Faults in Gas Insulated Substation. *2021 International Conference on Advances in Optics and Computational Sciences IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 186*, doi:10.1088/1742-6596/1865/2/022055.
- Nahman J., Mijailovic V. (1999). Optimal Sparing for SF6 Gas Insulated Substations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 21(1):33-38. DOI: 10.1016/S0142-0615(98)00025-8
- Özğönel O., Thomas D. (2017). Modeling and simulation of 2.5 MVA SF6-gas insulated transformer. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25(4), 3475 - 3485.
- Özğönel O., Thomas D., Kurt Ü. (2018). SF6 Gas Insulated 50 kVA Distribution Transformer Design. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26: 2140 – 2150.

Özkan N. (2014). Trafo merkezlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Tespiti ve Çözümleri. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi*. Erişim Tarihi: 12.03.2022. <https://www.csgb.gov.tr/media/1497/nurdanozkan.pdf>

Pasulescu D., Fita N. D., Grigorie E., Popescu F. G., Handra A.D. (2021) Risks Assessment in Terms of OHS for Critical Power Infrastructures in context of Industrial Safety. *MATEC Web of Conferences 343*, DOI: 10.1051/mateconf/202134310020.

Pasulescu, D., Fita N. D, Herbei R. (2021) Power Substations. *Lap Lambert Academic Publishing* ISBN 13: 978-6204726366.

Rocha V. M., Delabrida S. (2021). Augmented Reality Applied to Reducing Risks in Work Safety in Electric Substations. *In Proceedings of the 23rd International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2021) - Volume 2*, pages 533-540, ISBN: 978-989-758-509-8.

Teikari J. L., Karjanlahti T., Kurikka-Oja J., Elovaara J, Långsjö T, Korpinen L. (2008) Measuring Occupational Exposure to Electric and Magnetic Field at 400 Kv Substations. Erişim Tarihi: 11.03.2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4517068>.

Twomey, C., Cunningham, H., Fraga, F.N., Godoy, A.V., Kawakita, K., (2019). Basic Design and Analysis of Air-Insulated Substations, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019 149 T. Krieg, J. Finn (eds.), Substations, CIGRE Green Books, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49574-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49574-3_11).