

## Transformatörlerde Buşing Bağlantılarının Önemi

Tuğçe Kayalak<sup>1</sup>, Furkan Ekşi<sup>2</sup>, Şeyma Nur Gökmen<sup>3</sup>, Ahmet Doğuhan Mermer<sup>4</sup>, Melis Öder<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>SEM Transformatör A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>SEM Transformatör A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>SEM Transformatör A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>4</sup>SEM Transformatör A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>5\*</sup>SEM Transformatör A.Ş., Ankara, Türkiye

\*(melis.oder@semtransformator.com.tr) Email of the corresponding author

**Özet** – Bu çalışma, transformatörlerde alçak gerilim (AG) tijlerinin kararmasına yol açan aşırı ısınma sorunlarını ve bu sorunların çözümünü ele almaktadır. Transformatörler, elektrik enerjisini alçak gerilimden yüksek gerilime veya tam tersine çevirerek, enerjinin uzun mesafelere verimli bir şekilde iletilmesini sağlar. Transformatörlerin sahada kurulması ve bağlanması çeşitli elektriksel ve mekanik bağlantıları gerektiren bir süreçtir. Bağlantılarda ve montajda oluşan hatalar; elektrik kaçaklarına, kısa devre oluşmasına ve hatta sistemin bozulmasına sebep olabilir.

Çalışma kapsamında saha ortamında alıcının yanlış bağlantısından dolayı trafonun alçak gerilim tijlerindeki aşırı ısınmaya bağlı olarak kararmaların ana nedenini belirlemek hedeflenmiştir. Aşırı ısınma yaşayan AG buşinglerin direnç değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir, fazlar arası direnç değerlerinde anormal artışlar gözlemlenmiştir. Isınmaya bağlı kararmaların yüksek direnç noktalarındaki transformatör terminalleri ve buşing bileşenleri arasındaki bağlantılarda problem olabileceği konusu öne çıkmıştır. Ayrıca buşinglerdeki aşırı ısınmaya bağlı olarak yapılan kısa devre testleri ve termal görüntüleme çalışmaları, sorunların altında yatan ana nedenin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Analizler sonucunda, fazlar arası sargı dirençleri dengelenmiştir ve sorunun alçak gerilim buşinglerinin montajında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, hasarlı terminaller ve contalar değiştirilmiş, gevşek bağlantılar sıkılaştırılmış ve uygun tork değerleri sağlanmıştır. 8D analiz metoduyla sistemli bir şekilde sorunun kök nedenleri belirlenmiştir ve kalıcı çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümler sahada başarıyla uygulanarak test edilmiştir. Böylece transformatörlerin daha güvenli ve verimli çalışması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Güç Sistemleri, Transformatör, Aşırı Isınma, Buşing, 8D Analizi, Montaj Hataları

## The Importance of Bushing Connections in Transformers

**Abstract** – This study addresses the overheating issues that cause the low-voltage (LV) busbars of transformers to become discolored due to excessive heating, as well as the solutions to these issues. Transformers are essential for efficiently transmitting electrical energy over long distances by converting it from low voltage to high voltage or vice versa. The installation and connection of transformers in the field require various electrical and mechanical connections. Errors in these connections and installation processes can lead to electrical leaks, short circuits, and even system failures.

The aim of this study is to identify the root cause of the discoloration of the low-voltage busbars in the transformer, which is due to excessive heating caused by incorrect connections made by the customer in the field. It was found that the resistance values of the overheated LV bushings were high, and abnormal increases were observed in the resistance values between phases. It was concluded that the discoloration due to overheating could be related to issues in the connections between the high-resistance points of the transformer terminals and the bushing components. Additionally, short-circuit tests and thermal imaging studies related to the overheating of the bushings helped better understand the underlying causes of the problem. As a result of the analysis, phase-to-phase winding resistances were balanced, and it was determined that the problem originated from the installation of the low-voltage bushings. Damaged terminals and gaskets were replaced, loose connections were tightened, and appropriate torque values were applied. Using the 8D analysis method, the root causes of the issue were systematically identified, and permanent solutions were developed. These solutions were successfully implemented and tested in the field, ensuring the transformers operated more safely and efficiently.

**Key words** – Power Systems, Transformer, Overheating, Bushing, 8D Analysis, Assembly Defects

### I. GİRİŞ

Güç Sistemlerinde elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımı için transformatörler oldukça önemlidir. Elektrik enerjisinin iletimi, dağıtımı ve kullanımı için gerilim seviyesini değiştiren elektrik makineleridir. Hareketli parçalara sahip olmayan bu makineler, manyetik indüksiyon ile çalışarak gerilim

seviyesini yükseltir veya düşürür. Ancak bu dönüşüm esnasında frekansında herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Bu sayede elektrik enerjisi, daha az kayıplar ile uzun mesafelere ulaştırılır. Aynı zamanda enerjinin güvenli bir şekilde iletimi ve kullanımı sağlanır [1].

Elektrik üretim santrallerinde, üretilen elektrik enerjisi genellikle daha düşük gerilim seviyelerinde olur. Santrallerde üretilen elektriğin üretildiği yerde tamamen tüketilmesi

mümkün olmadığından; kullanım bölgelerine taşınması gerekir. Ancak, bu enerjinin uzak mesafedeki tüketim alanlarına güvenli bir şekilde iletilmesi için gerilim seviyesinin yükseltilmelidir. Yüksek gerilimli enerji iletimi, uzun mesafelerde enerji kaybını önemli ölçüde azaltır. Böylelikle verimli bir iletim sağlanır. Elektrik enerjisi kullanıcıya ulaştığında ise gerilim seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Çünkü dağıtım hatlarında yüksek gerilim, güvenlik riskleri oluşturabilir. Bu sebeple, enerjinin güvenli bir seviyeye ve kullanılabilir hale getirilmesi için gerilim dağıtım merkezlerinde transformatörlerle yeniden dönüştürülür [2].

Transformatörlerin görevlerinin yerine getirirken saha kurulumunun ve bağlantılarının doğru bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Yanlış yapılan bağlantılar ve sahadaki hatalar, transformatör arızalarının en büyük nedenlerinden biridir. Arızaların belirlenmesi verimli ve kaliteli çalışma koşullarının devamlılığını sağlar [3]. Sahadaki bağlantılar, transformatörün primer ve sekonder sargılarının doğru ve güvenli bir şekilde enerjilendirilme görevini yerine getirir. Primer sargıya gerilim uygulandığında oluşan manyetik alan, sekonder sargıda uygun gerilim seviyesini oluşturur. Enerjinin yüksek gerilim hattından alçak gerilim hattına güvenli bir şekilde aktarılması için bağlantıların sağlam yapılması ve yalıtım önlemlerinin alınması büyük önem arz etmektedir. Çünkü yanlış bağlantılar, aşırı ısınma ve yağ kaçaklarına neden olabilir, bu da ciddi hasarlara ve sistemin durmasına yol açar [4][5].

Transformatörün metal gövdesi ile toprak arasındaki bağlantının da doğru yapılması gerekmektedir. Çünkü topraklama, kaçak akımları güvenli bir şekilde toprağa ileterek, transformatörü ve çevresini korumaya alır. Ayrıca transformatörlerde önemli bir diğer konu ise buşing bağlantılarıdır. Buşingler, transformatörün içindeki yüksek gerilimli enerjinin dışarıya güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır. Bu işlevi yerine getirirken elektriksel yalıtıma ve mekaniksel sağlamlığa uygun olması gerekir. Yanlış yapılan bağlantılar hem mekanik hem de elektriksel sorunlara yol açarak ciddi güvenlik riskleri oluşturur. Bu nedenle, bağlantıların doğru yapılması, sadece sistemin verimli çalışmasını sağlamakla kalmaz; aynı zamanda enerjinin güvenli ve sorunsuz bir şekilde iletilmesine, çevreye herhangi bir zarar vermemesine de katkıda bulunur. Düzgün bir kurulum, olası riskleri en aza indirir, güvenliği artırır ve transformatörün daha uzun ömürlü olmasını sağlar [6].

## II. MATERYAL VE METOD

Buşinglerin en önemli görevlerinden biri, yüksek gerilimli elektrik akımını izolasyonunu sağlayarak elektrik kaçaklarının engellemektir. Transformatörde dönüştürülen enerji genellikle yüksek gerilimde olur. Bu gerilimin trafonun dışına, yani transformatörün gövdesine ya da çevresindeki bileşenlere geçmesini önlemek buşinglerin temel işlevidir. Sağlanan elektriksel yalıtım ile oluşabilecek ciddi elektrik kazaları engellenmektedir. Montajı yanlış yapılmış veya zamanla aşınmış buşingler, kaçak akımlara, kısa devrelere ve hatta yangın risklerine yol açabilir [7] [8].

Buşingler yalnızca elektriksel bir yalıtım sağlamaz; aynı zamanda transformatör ile sistem arasındaki mekanik bağlantıyı da kurar. Buşinglerin düzgün monte edilmesi, özellikle yüksek akım geçişlerinde kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, mekanik sağlamlık, transformatörün iç yapısının titreşim, mekanik darbeler, sıcaklık değişimleri gibi çevresel

faktörlere dayanmasını sağlar. Eğer buşing bağlantıları yeterince sağlam değilse, elektrik iletimi sırasında temas sorunları yaşanabilir, bu da performans düşüklüğüne, ısınmalara ve enerji kayıplarına yol açar.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Müşteri şikâyeti olan aşırı ısınma nedeniyle Alçak Gerilim (AG) buşinglerinin kararması Şekil 1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Tijleri kararmış AG buşingler

Aşırı ısınmadan dolayı meydana gelen alçak gerilim buşinglerinin termal kameradaki görüntüsü Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Aşırı ısınmanın gözlemlendiği alçak gerilim buşinglerinin termal kamera görüntüleri

Alçak gerilim terminallerinde sahada tespit edilen sıcak noktaların kaynağını belirlemek için transformatörde tanı testleri gerçekleştirildi.

Yağı boşaltmadan ve transformatör tanktan çıkarmadan önce, transformatörde düşük voltaj testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Test sonuçları

| Ölçüm Sonuçları |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A (a2-b2)       |                |                | B (b2-c2)      |                |                | C (c2-a2)      |                |                |
| R <sub>m</sub>  | R <sub>d</sub> | R <sub>c</sub> | R <sub>m</sub> | R <sub>d</sub> | R <sub>c</sub> | R <sub>m</sub> | R <sub>d</sub> | R <sub>c</sub> |
| 7,68            | 0,00           | 7,68           | 6,95           | 0,00           | 6,95           | 6,18           | 0,00           | 6,18           |
| 1 µΩ            | 8 %            | 1 µΩ           | 9 µΩ           | 8 %            | 9 µΩ           | 9 µΩ           | 8 %            | 9 µΩ           |

Bu testlerin sonucunda, aşırı ısınmaya maruz kalan AG sargı direnci beklenen değerlerden yüksek gelmiştir. Fazlar arası fark %16,7 katı direnç değerlerinin arttığı görülmüştür.

Sonuçlar göz önüne alındığında, yağın boşaltılmasına, aktif kısmın tankın dışına çıkarılmasına, aynı sargıların dirençlerinin ölçülmesine, buşinglerinin etkisinin ortadan



kaldırılmasına ve kapağın altından ölçülmesine karar verilmiştir.

Buşinglerin etkisini ortadan kaldırmak için kullanılan ölçüm noktaları Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. Buşinglerin etkisini ortadan kaldırmak için kullanılan ölçüm noktaları

Bu işlemlerin sonucunda fazlar arasındaki sargı dirençleri doğru ve dengeli hale geldiği değerler Tablo 2.'de paylaşılmıştır.

Tablo 2. Test sonuçları

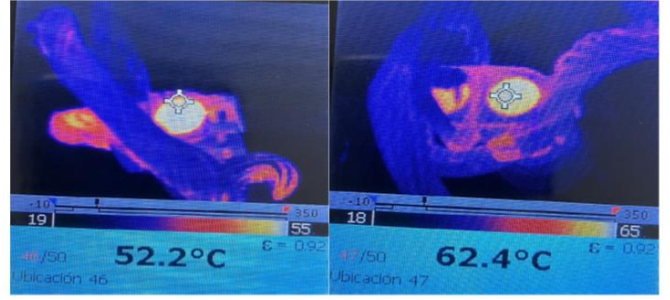
| Ölçüm Sonuçları |       |             |             |       |             |             |       |             |
|-----------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|
| A (a2-b2)       |       |             | B (b2-c2)   |       |             | C (c2-a2)   |       |             |
| $R_m$           | $R_d$ | $R_c$       | $R_m$       | $R_d$ | $R_c$       | $R_m$       | $R_d$ | $R_c$       |
| 658,            | 0,00  | 658,        | 664,        | 0,00  | 664,        | 673,        | 0,00  | 673,        |
| 80              | 5%    | 80          | 65          | 6%    | 65          | 80          | 7%    | 80          |
| $\mu\Omega$     |       | $\mu\Omega$ | $\mu\Omega$ |       | $\mu\Omega$ | $\mu\Omega$ |       | $\mu\Omega$ |

Bu, problemin yüksek direnç noktalarının alçak gerilim buşinglerinde bulunduğu anlamına gelir; ancak bunu tekrar kontrol etmek için transformatörde kısa devre testi gerçekleştirildi. Önce buşinglerin kendisinde kısa devre yapıldı ve ardından buşinglerin etkisini ortadan kaldırmak için bakır bağlantı baraları kısa devre yapıldı.



Şekil 4. Buşing kısa devre ölçümü

Buşing kısa devre ölçümünün termal kamera görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Buşing kısa devre ölçümünün termal görüntüleme sonucu

Termal görüntüleme kamerasıyla yapılan incelemenin sonucuna göre buşingler kısa devre yapıldığında, tijlerin 30 saniyeden kısa bir sürede çok hızlı bir şekilde ısındığını ve yüksek voltaj sargısında 50 amperlik, yani nominal akımının %30'undan daha az bir akımla kısa devre yapılmasına rağmen yüksek sıcaklıklara ulaştığını göstermektedir.

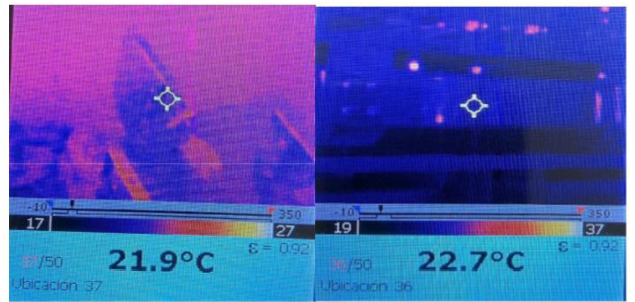
Ancak, aynı kısa devre testi bakır bağlantı baralarında yapıldığında, buşingler de veya bağlantıyı oluşturan diğer bakır tijlerde aşırı ısınma gözlemlenmemektedir.

Tij ile bara bağlantısı arasındaki ölçüm Şekil 6.'da verilmiştir.



Şekil 6. Tij ile bara bağlantısı arasındaki ölçüm

Tij ile bara bağlantısı arasında yapılan ölçümlerin termal kamera görüntüleri Şekil 7.'de verilmiştir.



Şekil 7. Tij ile bara bağlantısı arasındaki ölçümün termal görüntüleme sonucu

Bu ölçüm sonuçları transformatörde meydana gelen yüksek direnç noktalarının buşinglerde olduğu teorisini güçlendirdi. Bu teoriyi kesin olarak doğrulamak için, bayrak bara ile tij arasında ve tij ile bara bağlantı noktası arasında bir temas direnci testi gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar yüksek direnç noktasının bayrak bara ile tij arasında olduğunu göstermektedir. Elde edilen değerler Tablo 3.'te yer almaktadır.

Tablo 3. Test sonuçları

| Ölçüm Sonuçları    |                |                |                |                |                |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Bayrak bara ve tij |                |                | Tij ve tabanı  |                |                |
| R <sub>m</sub>     | R <sub>d</sub> | R <sub>c</sub> | R <sub>m</sub> | R <sub>d</sub> | R <sub>c</sub> |
| 4,77 mΩ            | 0,002%         | 4,77 mΩ        | 2,30 μΩ        | 0,003%         | 2,30 μΩ        |

Tüm bu test ve kontroller tamamlandıktan sonra hasarlı terminallerden biri çıkarılıp incelenmiştir. Hasarlı terminallerin görüntüsü Şekil 8.'de verilmiştir.



Şekil 8. Hasarlı terminallerin görüntüsü

Şekil 8'de görüldüğü gibi, tijin kendisinde erimiş malzeme izleri bulunmaktadır. Bu durum ulaşılan yüksek sıcaklıkların göstergesidir.

Trafo muayenesi sonucunda, bakır bayrak baranın montajının gevşek bağlanmasından kaynaklı aşırı ısınmadan dolayı tijin karardığı ve kontak direnci geçişinin normalden çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Transformatorün aktif kısmında herhangi bir sorunla karşılaşmamıştır. Mevcut tijler çıkarılmış ve 3 tij yenileriyle değiştirilmiştir. AG buşing contaları ve üst kapak altındaki mantar conta yenileriyle değiştirilerek müşteriye teslim edilmiştir.

Sahadaki transformatorlerde yaşanan sıcak nokta ve yağ kaçağı sorunlarının çözümünde 8D analizi etkin bir şekilde uygulanmıştır. Bu sürecin sonunda, saha bağlantılarındaki montaj hataları ve çevresel etkilerin, yağ kaçağı ve sızdırmazlık problemlerini artırdığı görülmüştür.

Aşağıda 8D analizinin aşamaları yer almaktadır.

#### 1D - Ekip Oluşturma

- **Amaç:** Aşırı ısınma sorununun ve yağ kaçağının çözümü için her birimden gerekli uzmanlıklara sahip ekip oluşturuldu.
- **Ekip Üyeleri:** Elektrik mühendisi, makine mühendisi, üretim mühendisi, kalite kontrol uzmanı.
- **Sahada Çalışan Ekip Üyeleri:** Bakım mühendisi, elektrik teknisyeni, test mühendisi ve saha mühendisi.

#### 2D - Problemin Tanımlanması

- **Sorun Tanımı:** AG bağlantılarında aşırı ısınma ve yağ kaçağı gözlemlenmiştir. Transformatorde yağ kaçağı ve bağlantı civatalarında renk değişikliği raporlanmıştır.
- **Etkilenen Alanlar:** AG buşing bileşenleri

#### 3D - Geçici Önlemler Alınması

- **Önlemler:** Sıcak noktaların olduğu alanlarda yağ seviyeleri düzenli olarak kontrol edildi. Hasarlı conta bölgelerinde geçici olarak sızdırmazlık malzemesi eklendi.
- **Amaç:** Transformatorlerin anlık güvenliğini sağlamak ve daha ciddi arızaların önüne geçmek oldu.

#### 4D - Kök Neden Analizi

- **Kök Neden Analizi:** Buşinglerdeki yüksek direnç ve hatalı saha montajı sonucu aşırı ısınma sonucu sıcak noktalar oluşmuş ve bu da contaların yıpranmasına yol açmıştır. Ayrıca, bağlantı noktalarındaki aşırı yük, termal stres ile birleşerek yağ kaçağına neden olmuştur.

#### 5D - Kalıcı Çözümler Geliştirilmesi

- **Çözümler:**
- **Bağlantı Torklarının Düzeltilmesi:** Montaj sırasında uygun tork değerlerinin sağlanması için bir kontrol süreci oluşturuldu.
- **Yüksek Kaliteli Conta ve Bağlantı Elemanları Kullanımı:** AG terminalleri için kullanılan contalar yeterli olsa da aşırı ısınma sonucu yüksek kaliteli contalar kullanıldı.

#### 6D - Çözümlerin Uygulanması

- **Uygulama:** Hasarlı buşingler, contalar ve bağlantı elemanları değiştirildi. Yüksek sıcaklık oluşumunu engellemek için buşing bağlantı noktalarındaki direnç azaltacak ekipman yerleştirildi.
- **Amaç:** Sorunun temel nedenlerine yönelik kalıcı çözümler uygulayarak transformatorlerin güvenli çalışmasını sağlamaktır.

#### 7D - Çözümlerin Doğrulanması

- **Doğrulama ve Test:** Transformatorler çalıştırılarak bağlantı noktalarında termal kamera ile izleme yapılır. Yağ sızıntısı ve sıcak nokta problemlerinin giderildiği doğrulanmıştır.
- **Sonuçlar:** Uygulanan çözümler, sorunları etkili bir şekilde ortadan kaldırmıştır.

#### 8D - Standartlaştırma

- **Standartlaştırma:** Tork kontrolü, yüksek kaliteli conta kullanımı ve çevresel koruma prosedürleri müşterinin saha montajı için bakım standartlarına dahil edilir.

## IV. SONUÇ

Transformatorde yapılan tüm test ve kontrollerin sonucunda, gevşek bayrak tijinin neden olduğu terminal bayrağı ile hasarlı buşinglerin tijler arasında yüksek direnç noktası oluşumunda aşırı ısınma görülmüştür. Bunun sonucunda tijin karardığı ve

temas direnci geçişinin normalden çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca contaların işlevlerini yitirecek şekilde hasar görmesine neden olmuştur. Hasar gören conta da transformatörde yağ sızıntılarının görülmesine sebep olmuştur.

Yaşanan bu tür sorunlar, saha bağlantılarının doğru ve güvenli bir şekilde yapılmasının ne kadar kritik olduğunu göstermektedir. Saha bağlantıları, sadece transformatörün güvenli ve verimli çalışmasını değil, aynı zamanda uzun ömürlü olmasını da doğrudan etkiler.

Doğru yapılan saha bağlantıları, transformatörde elektriksel akımların düzgün bir şekilde iletilmesini sağlayarak enerji kayıplarını minimumda tutar. Yanlış veya hatalı bağlantılar ise fazlar arasında dengesiz akımlara, aşırı ısınmaya ve hem termal hem de mekanik strese neden olabilir. Bu tür hatalar, zamanla transformatörün yalıtımının bozulmasına bozulan yalıtım sonucunda ömrünün azalmasına, yağ sızıntılarına ve en önemlisi transformatörün tamamen arızalanmasına yol açabilir.

Ayrıca, bağlantıların doğru yapılması, aşırı yüklenme, kısa devre gibi durumlarda koruma sistemlerinin doğru çalışmasını sağlar. Koruma sistemlerinin devreye girmesi, transformatörün hasar almasını önler ve olası maliyetli onarımların ya da sistemin devre dışı kalmasının önüne geçer.

Sonuç olarak, saha bağlantılarında gerçekleşen ihmal veya oluşacak olan hata, transformatörün performansını olumsuz etkileyip ömrünü kısaltabilir. Bu nedenle, saha bağlantıları transformatörün hem güvenli hem de uzun yıllar verimli çalışmasını sağlamak adına önemli bir rol oynar.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya vermiş olduğu katkı ve desteklerinden dolayı SEM Transformatör A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- [1] Tören,M. (2022).Yağlı tip transformatörlerde hibrit bir soğutma sistem tasarımının FEM ve CFD analizleri ,Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 11(3), 611-619.
  - [2] Karabacak,K.(2011).Elektronik Burun Kullanarak Trafolarında Arıza Analizi. Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
  - [3] Atalar,F. & Kuntman,A. (2022). Bulanık Mantık Yöntemi Kullanılarak Güç Transformatörleri Arızalarının Belirlenmesi. Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları.
  - [4] Kemik,E.(2016)Güç Transformatörü hatalarının Bulanık Mantık ve Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi ile Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [5] Yıldız, C., Çelik, İ., & Şekkeli, M. (2022). Güç Trafosu Arızasının Farklı Yöntemler ile Tahmini: 403 MVA'lık Bir Trafoda Uygulama ve Ekonomik Analizi. Bingol University Journal of Technical Science.
  - [6] Saraswati D, Marie I A, Witonohadi A. Power Transformer Failures Evaluation Using Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) Method. Asian Journal of Engineering and Technology. 2014; 2(06).
  - [7] Kruger, M., Kraetge, A., Koch, M., Rethmeier, K., Pütter, M., Hulka, L., Muhr, M., Summereder, C., "New Diagnostic Tools For High Voltage Bushing", Cigre VI Workspot-International Workshop On Power Transformers, 25-28 April 2010.

- [8] Pekin,H. (2020) Transformatör Arızaları ve Sebepleri. Elektrik Mühendisliği Araştırmaları Dergisi.