

## Güç Transformatörleri Arızalarının Yağda Çözünmüş Gaz Analiziyle Tanılanması

### Diagnosis of Power Transformer Faults with Dissolved Gas Analysis

Selim Köroğlu<sup>1</sup>, Akif Demirçali<sup>1</sup>, Mustafa Yıldız<sup>2</sup>, M. Ece Çalı<sup>1</sup>, Gamze Mihci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Pamukkale Üniversitesi

skoroglu@pau.edu.tr, akifdemircali@pau.edu.tr, ece\_\_cali@hotmail.com, gamze.mihci@gmail.com

<sup>2</sup> 21. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü  
TEİAŞ  
yildizmustafa@msn.com

#### Özet

Güç transformatörleri, enerji iletim sisteminin en önemli ve işlevsel elemanlarından biridir. Bu nedenle sorunsuz, arızasız ve verimli bir şekilde çalışması oldukça önemlidir. Yağda çözünmüş gaz analizi (DGA) gelişmekte olan transformatör arızalarının önceden tahmin edilmesi ve mevcut arızaların sebeplerinin hızlı bir şekilde belirlenmesinde kullanılan yaygın yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada, güç sisteminde bulunan gerçek bir transformatöre ait DGA sonuçları üzerinden arıza analizi yapılmıştır. DGA sonuçlarının değerlendirilmesinde birçok konvansiyonel yöntem kullanılmaktadır. Bu değerlendirme yöntemlerinden kılavuz gaz, Duval üçgen, Roger gaz oranları ve Doernenburg gaz oranları yöntemleri kullanılmıştır. Tüm bu yöntemlere göre değerlendirme yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Transformatörü, yağda çözünmüş gaz analizi, transformatör hata tanılama

#### Abstract

Power transformers are one of the most important and functional part of the power transmissions systems. Therefore, their smoothly, trouble-free and efficient operation is crucial. Dissolved gas analysis (DGA) is a commonly used method to estimate emerging transformer faults and determine the causes of them quickly. In this paper, fault diagnosis over the test data of real transformer situated in power system is implemented. There are many conventional methods to interpret the results of DGA. From these methods Key Gas, Duval Triangle, Rogers Ratio and Doernenburg Ratio method are used. All these methods are analyzed and the results are interpreted.

**Key Words:** Power Transformer, Dissolved Gas Analysis, Transformer fault diagnosis

#### 1. Giriş

Güç sistemlerinin en önemli ve en pahalı ekipmanlarından birisi de güç transformatörleridir. Enerjinin sürdürülebilir, verimli ve kaliteli bir şekilde iletilmesi bu ekipmanların sorunsuz ve arızasız çalışması ile mümkün olabilmektedir [1]. Güç transformatörlerinde herhangi bir arıza meydana gelmesi durumu enerji kesintisine neden olabilir. Özellikle uzun süreli kesintilerde ciddi maddi kayıplar meydana gelir. Bu nedenle transformatör arızaların hızlı bir şekilde tespit edilmesi veya daha da önemlisi arıza tam olarak meydana gelmeden, tespit edilip gerekli önlemlerin alınması oldukça önemlidir.

Yağda çözünmüş gaz analizi (DGA), güç transformatörlerinde hataları tespit etmek için etkili bir tanı tekniği olarak kabul edilmekte ve uzun yıllardan bu yana tüm dünyada başarıyla uygulanmaktadır. Diğer ölçüm yöntemleriyle kolayca bulunamayan ve henüz başlangıç aşamasında olan çoğu arıza ancak DGA sayesinde ortaya çıkarılabilir. Bir transformatörün izolasyon yağında çözünmüş bulunan belirli gaz konsantrasyonlarının analizi transformatörün durumu hakkında bilgi verir ve gerekli önlemlerin alınmasına olanak sağlar [2,3]. Transformatörde meydana gelen korona boşalması, aşırı ısınma, düşük ve yüksek enerjili deşarj, ark olayları vb. durumlar transformatör yağı içerisinde bulunan kısımlardaki yalıtkan maddelerin parçalanmalarına neden olur [4,5]. Parçalanmış malzeme yağ içerisinde temel olarak hidrojen ( $H_2$ ), metan ( $CH_4$ ), asetilen ( $C_2H_2$ ), etilen ( $C_2H_4$ ) ve etan ( $C_2H_6$ ) gazlarının çeşitli yoğunluklarda ortaya çıkmasına yol açar. Tespit edilen bu gaz miktarlarına göre yapılan analiz ve çeşitli değerlendirme yöntemleriyle arızanın türü ve nedeni hakkında bilgi elde edilmektedir. Bu yöntem DGA olarak adlandırılmakta olup bölüm 2’de daha detaylı açıklanmıştır.

Bu çalışmada, örnek bir arıza durumuna ait DGA sonuçları kılavuz gaz, Duval üçgen, Rogers oranları, Doernenburg oranları gibi önemli değerlendirme yöntemleriyle detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapılmış, hata türü belirlenmiş ve gerçek transformatör arızası ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Yağda Çözünmüş Gaz Analizi

DGA işletmede bulunan güç transformatöründen alınan yağ numunesine uygulanan ve yağda çözünmüş gazların miktarlarının belirlenmesine yarayan bir yöntemdir. Yağda oluşan gazların analiz sonuçlarından transformatörün durumu hakkında bilgi elde edilir. Gelişmekte olan arızalar hakkında erken uyarı bilgileri alınır ve henüz başlangıç aşamasında olan yavaş ve gizli biçimde gelişen küçük boyutlu arızaların önüne geçilerek zararın en az düzeyde kalması sağlanabilir.

DGA sonuçlarının değerlendirilmesinde; kılavuz gaz, Duval üçgen, Rogers oranları, Doernenburg oranları yöntemi gibi çok çeşitli tespit kriterleri geliştirilmiştir [4]. Bu yöntemler belirli gaz miktarlarına veya onların oranlarına göre önceden hazırlanmış tablo ve grafikler yardımıyla arıza sınıflandırması yapmaktadır. Bu tablo ve grafikler uzun yıllar süren tecrübeler sonucu toplandığından yöntemin hassasiyeti ve doğruluğu toplanan bilgi birikimiyle bağlantılı olmaktadır [6,7]. Bu yüzden kullanılan değerlendirme yöntemleri ve analiz yöntemlerinin hepsi ayrı ayrı önem teşkil etmektedir. Bazı gazlar ancak bazı arızalar sonucunda oluşur. Arızanın türüne ve şiddetine bağlı olarak oluşan gazların miktarı değişir. Eğer gazların türü ve miktarları bilinirse kullanılan değerlendirme yöntemleriyle arızalar hakkında doğru yorum yapılabilir. Böylelikle önleyici tedbirler alınabilir. Fakat tüm önlemler yararlı olmamış ve tehlikeli bir arızaya doğru ilerleme devam ederse transformatör servis dışı edilir. Servis dışına alınan transformatördeki sorun belirlenerek gerekli bakım onarım işlemleri uygulanır. Sorun giderildikten sonra transformatör tekrar işletmeye alınır.

### 2.1. Kılavuz Gaz Yöntemi

Kılavuz gaz yönteminde, DGA sonuçları gaz değerlerini esas alan karakteristik "kılavuz gazlar" belli arızaların saptanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre değerlendirme yapılırken, yanıcı gazların toplam yanıcı gazlar içerisindeki yüzde değerleri hesaplanır. Değeri fazla olan gaz/gazlara göre muhtemel hata yorumu yapılabilir [3,7]. Tespit edilen kılavuz gazlar ve onlara karşılık gelen genel arıza nedenleri kısaca Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Kılavuz gazlara ilişkin genel arıza değerlendirmesi [7]

| Kılavuz gaz                               | Genel değerlendirme                               |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Hidrojen (H <sub>2</sub> )                | Elektriksel deşarj (Korona deşarjı, kısmi deşarj) |
| Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )   | Termik arıza                                      |
| Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | Yüksek enerjili deşarj (ark, kıvılcım)            |
| Oksijen (O <sub>2</sub> )                 | Bağlantı gevşekliği                               |
| Etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )     | Termik arızanın ikincil göstergesi                |
| Metan (CH <sub>4</sub> )                  | Ark ve aşırı ısınmanın ikincil göstergesi         |
| Karbonmonoksit (CO)                       | Selülozun ısınması                                |
| Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )          | Selülozun ısınması                                |

### 2.2. Duval Üçgen Yöntemi

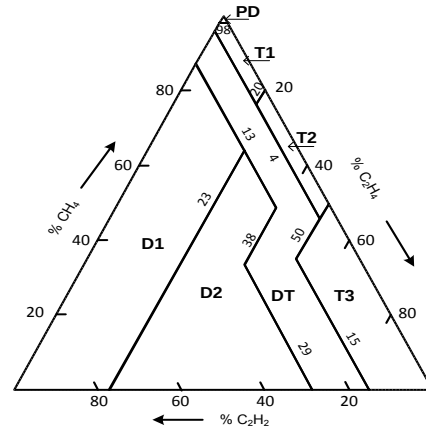
Duval üçgeni yöntemi grafiksel gösterim diyagramlarından biri olup bu yöntemde; metan, asetilen ve etilen gaz konsantrasyonlarının (ppm olarak) yüzde değerleri kullanılır. Bu yöntemde göre arıza tanımı yapılırken Şekil 1'de görüldüğü gibi farklı bölgelere bölünmüş olan Duval üçgen diyagramı kullanılır. Duval üçgen diyagramında, hesaplanan bu yüzde değerlerinin kesiştiği noktanın bulunduğu tanım bölgesi transformatörde meydana gelen muhtemel hata türünü verir. Çizelge 2'de her bir bölgenin karşılık düştüğü sınır koordinatları ve o bölgeye ait arıza türü verilmiştir. Duval üçgenindeki kullanılan gaz değerlerinin yüzdeleri

$$\%CH_4 = \frac{100 \times x}{x + y + z} \quad (1)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 \times y}{x + y + z} \quad (2)$$

$$\%C_2H_2 = \frac{100 \times z}{x + y + z} \quad (3)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada x = [CH<sub>4</sub>], y = [C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>], z = [C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>] olmak üzere yağda çözünmüş gaz miktarlarının ppm değerlerini ifade etmektedir [8,9]. Bu yöntemle arıza türleri, kısmi deşarj (KD), düşük enerjili deşarj (D<sub>1</sub>), yüksek enerjili deşarj (D<sub>2</sub>), düşük sıcaklık termik arıza (T<sub>1</sub>), orta sıcaklık termik arıza (T<sub>2</sub>) ve yüksek sıcaklık termik arıza (T<sub>3</sub>) olmak üzere altı sınıfa ayrılır.



Şekil 1: Duval üçgen diyagramı

Çizelge 2: Duval üçgen yöntemi için arıza tanımı ve sınır bölgeler [3]

| Arıza türü     | Arıza Tanımı                     | %               |                               |                               |
|----------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                |                                  | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> |
| KD             | Kısmi Deşarjlar                  | 98              | -                             | -                             |
| D <sub>1</sub> | Düşük Enerjili Deşarjlar         | -               | 23                            | 13                            |
| D <sub>2</sub> | Yüksek Enerjili Deşarjlar        | -               | 23-38                         | 13-29                         |
| T <sub>1</sub> | Termik Arıza T < 300 °C          | -               | 10                            | 4                             |
| T <sub>2</sub> | Termik Arıza 300 °C < T < 700 °C | -               | 10-50                         | 4                             |
| T <sub>3</sub> | Termik Arıza T > 700 °C          | -               | 50                            | 15                            |

### 2.3. Roger Gaz Oranları Yöntemi

Roger gaz oranları yöntemi, arıza tanımı için  $C_2H_2/C_2H_4$ ,  $CH_4/H_2$  ve  $C_2H_4/C_2H_6$  olmak üzere üç farklı gaz oranını kullanır. Bu yöntem için gaz oranlarının sınır değerleri ve karşılık gelen arıza tanımı Çizelge 3'te verilmiştir [3]. DGA sonuçlarından elde edilen gaz miktarlarından belirtilen gaz oranları hesaplanır. Bu gaz oranlarının denk geldiği satır güç transformatöründe meydana gelen hatanın türünü verir. Burada tıpkı Duval üçgen yönteminde olduğu gibi yine arıza altı hata sınıfına ayrılır.

Çizelge 3: Roger gaz oranı yöntemi için arıza tanımı ve gaz oranları limit değerleri

| Arıza türü     | Arıza Tanımı                        | $C_2H_2/C_2H_4$ | $CH_4/H_2$ | $C_2H_4/C_2H_6$ |
|----------------|-------------------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| KD             | Kısmi Deşarjlar                     | < 0.01          | < 0.1      | < 0.2           |
| D <sub>1</sub> | Düşük Enerjili Deşarjlar            | > 1             | 0.1-0.5    | > 1             |
| D <sub>2</sub> | Yüksek Enerjili Deşarjlar           | 0.6-2.5         | 0.1-1      | >2              |
| T <sub>1</sub> | Termik Arıza<br>T < 300 °C          | < 0.01          | > 1        | < 1             |
| T <sub>2</sub> | Termik Arıza<br>300 °C < T < 700 °C | 0.01-0.1        | > 1        | 1-4             |
| T <sub>3</sub> | Termik Arıza<br>T > 700 °C          | 0.1-0.2         | > 1        | > 4             |

### 2.4. Doernenburg Gaz Oranları Yöntemi

Doernenburg gaz oranları yönteminde kullanılan gaz oranları ve onların kısaltılmış sembolleri Çizelge 4'te verilmiştir. Bu gaz oranlarının karşılık geldiği sınır değerlerine ilişkin hata sınıflandırması ise Çizelge 5'den tespit edilmektedir. Bu yöntemle hata termik arıza, düşük enerjili deşarj ve yüksek enerjili deşarj olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir [6, 10].

Çizelge 4: Gaz oranları ve kısaltmaları

| Oran     | $CH_4/H_2$     | $C_2H_2/C_2H_4$ | $C_2H_2/CH_4$  | $C_2H_6/C_2H_2$ |
|----------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Kısaltma | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub>  | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub>  |

Çizelge 5: Doernenburg yöntemi için gaz oranlarına göre arıza türleri

| Arıza türü             | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub> | R <sub>4</sub> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Termik arıza           | >1             | < 0,75         | < 0,3          | > 0,4          |
| Düşük enerjili deşarj  | <0,1           | -              | < 0,3          | > 0,4          |
| Yüksek enerjili deşarj | 0,1-1          | > 0,75         | > 0,3          | < 0,4          |

### 3. DGA Sonuçları ve Arıza Analizi Değerlendirmesi

Bu çalışmada, TEİAŞ, 21. İletim Tesis ve İşletme Bölgesinde gücü 50 MVA, primer/sekonder gerilimi 154/31.5 kV, kademe sayısı 17 olan bir güç transformatöründe 07/02/2012

tarihli arıza sonrasında alınan DGA verilerine göre arıza analizi değerlendirmeleri yapılacaktır. Mevcut transformatörün arıza, arıza öncesi ve sonrası tarihlere ait DGA sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

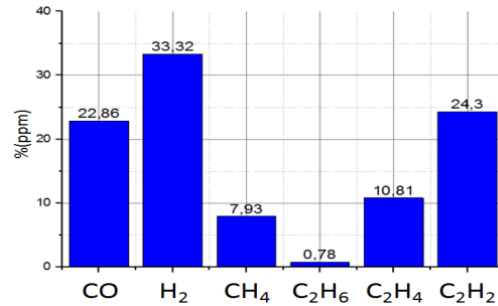
Çizelge 6: Gaz analizi sonuçları

| GAZLAR                                    | Limit Değerler (ppm) | 03/03/11 Arıza Öncesi | 07/02/12 Arıza Durumu | 07/06/13 Arıza Sonrası |
|-------------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Hidrojen (H <sub>2</sub> )                | <50-150              | 39                    | 857*                  | 82                     |
| Metan (CH <sub>4</sub> )                  | <30-130              | 8                     | 204*                  | 2                      |
| Etilen(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )    | <60-280              | 75                    | 278                   | 7                      |
| Etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )     | <20-90               | 1                     | 20                    | 1                      |
| Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | <2-20                | 1                     | 625*                  | 2                      |
| Oksijen (O <sub>2</sub> )                 |                      | 20741                 | 28349                 | 9204                   |
| Azot (N <sub>2</sub> )                    |                      | 62267                 | 55768                 | 26944                  |
| Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )          | <3800-14000          | 3482                  | 2537                  | 901                    |
| Karbonmonoksit (CO)                       | <400-600             | 589                   | 588                   | 118                    |
| CO <sub>2</sub> /CO                       |                      | 5,91                  | 4,31                  | 7,64                   |
| Toplam Yanıcı Gaz (ppm)                   |                      | 713                   | 2572                  | 212                    |

\*: DGA sonuçlarına göre limit değer/değerleri aşan gaz miktarlarını gösterir.

Bir güç transformatöründe herhangi bir arıza tespiti için ilk olarak DGA gaz analizi sonuçlarının limit değerler içerisinde olup olmadığına bakılır. Çizelge 6'dan görüldüğü gibi arızalı durum için hidrojen, metan ve asetilen gazları limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Bu bilgi de transformatörde muhtemel bir arızanın varlığına işaret etmektedir. Daha sonra arızanın türünün ne olduğuna anlamak için arıza tanılama yöntemleriyle değerlendirme yapılır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden kılavuz gaz, Duval üçgen, Roger gaz oranları ve Doernenburg gaz oranları yöntemleri bu arıza tanılamasında kullanılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

**Kılavuz gaz yöntemine göre;** değerlendirme yapılırken yanıcı gazların yüzde değerleri hesaplanmakta, yüzde değeri fazla olan gaza göre yorumlama yapılmaktadır. Toplam yanıcı gaz 2572 ppm' dir. Buradan diğer yanıcı gazların yüzde değerleri hesaplanmıştır. Kılavuz gazlar ve yüzde değerleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2: Kılavuz gazlar ve yüzde değerleri

Hesaplanan gazların yüzde değerlerinden açıkça anlaşılabileceği üzere çok miktarda Hidrojen ve Asetilen gazı, az miktarda Metan ve Etilen gazı oluştuğu tespit edilmiştir. Gaz analiz sonuçlarında asetilen miktarının yüksek olması transformatörde ark olaylarının meydana geldiğini gösterir. Etilen miktarındaki artış ise; yağın yüksek sıcaklıkta delindiği veya karbonize olduğunun göstergesidir. Bu da yüksek enerjili deşarj sonucunu doğrulamaktadır. Yalıtım maddelerinin üzerinde iletken yollar veya köprüler oluşarak kısmi deşarjlar meydana gelir. Kısmi deşarj sonucunda da hidrojen miktarında artış söz konusu olur. Bu değerlendirme sonuçlarına göre kılavuz gaz Asetilen gazıdır ve yüzde değeri 24,3'tür. Tüm bu değerlendirmeler söz konusu arızanın yüksek enerjili deşarja (ark, kıvılcım) karşılık geldiğini gösterir. Hidrojen oranının yüksek olması asetilene bağlıdır. Asetilenin oluşumunda Hidrojen açığa çıktığından dolayı bu sırada hidrojenin de arttığı gözlemlenir.

**Duval üçgen yönteminde göre;** değerlendirme yapılırken ilgili gazların yüzde değerleri hesaplanır. Burada gazların ppm değerleri sırasıyla  $x=[CH_4]=204$ ,  $y=[C_2H_4]=278$  ve  $z=[C_2H_2]=625$ 'dir. Duval üçgen yönteminde kullanılacak olan gazların yüzde değerleri eşitlik 1-3 kullanılarak hesaplandığında  $\%CH_4 = 18,43$ ,  $\% C_2H_4 = 25,11$  ve  $\% C_2H_2 = 56,46$  olarak bulunur. Bu değerler Şekil 1'deki Duval üçgen diyagramına bakıldığında, arıza tanımı  $D_2$  bölgesine yani yüksek enerjili deşarja denk gelmektedir.

**Roger gaz oranları yöntemine göre;** değerlendirmede kullanılacak olan gazların oranları hesaplanır ve arıza tanımı sınır bölgelerine bakılarak yapılır. Çizelge 3'te gösterilen gaz oranları hesaplandığında bu oranlar sırasıyla  $C_2H_2/C_2H_4 = 2,25$ ,  $CH_4/H_2 = 0,24$  ve  $C_2H_4/C_2H_6 = 13,9$  şeklinde bulunur. Yine Çizelge 3'e bakıldığında bu değerler  $D_2$  bölgesine yani yüksek enerjili deşarja denk gelmektedir.

**Doernenburg gaz oranları yöntemine göre;** değerlendirmeler yapmak için Çizelge 4'de belirtilen oranlar hesaplanır. Bu belirlenen oranların değerleri  $R_1 = 0,24$ ,  $R_2 = 2,25$ ,  $R_3 = 3,06$  ve  $R_4 = 0,032$  olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5'teki arıza tanımı ve sınır bölgeleri baz alınarak tanımlama yapıldığında arızanın yüksek enerjili deşarj olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 7: Güç transformatör arızasının DGA sonuçlarına göre farklı yöntemlerle belirlenmesi

| Test yöntemi    | Test yöntemi bulguları      | Genel değerlendirme    | Gerçek hata                                      |
|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|
| Kılavuz gaz     | Yüksek enerjili deşarj      | Yüksek enerjili deşarj | C fazından meydana gelen faz toprak kısa devresi |
| Duval Üçgen     | D2 (yüksek enerjili deşarj) |                        |                                                  |
| Roger Gaz       | D2 (yüksek enerjili deşarj) |                        |                                                  |
| Doernenburg Gaz | Yüksek enerjili deşarj      |                        |                                                  |

Örnek güç transformatörü arızasının yağda çözünmüş gaz analizi sonuçlarına göre değerlendirilmesi karşılaştırılmalı olarak Çizelge 7'de verilmiştir. Tüm değerlendirme yöntemleri birbirini teyit eder nitelikte olup arızanın yüksek enerjili deşarj olduğu sonucuna varılmıştır. Öyle ki transformatörün onarım/bakım esnasında da gerçek hatanın yüksek enerjili bir deşarj biçimi olan faz toprak kısa devresi

olduğu görülmüştür. Bu arıza sebebiyle C fazında kısa devre ve hasar tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Enerji iletim sisteminde bulunan örnek bir transformatöre ait DGA sonuçları üzerinden arıza analizi yapılmıştır. DGA sonuçları değerlendirmesinde kılavuz gaz, Duval üçgen, Roger gaz oranları ve Doernenburg gaz oranları yöntemleri kullanılmıştır. Tüm değerlendirme yöntemlerine göre arıza tanımı ve yorumu arızanın yüksek enerjili deşarj olduğunu göstermektedir. Transformatörde meydana gelen gerçek hata yüksek enerjili bir deşarj biçimi olan faz toprak kısa devresi olduğu yapılan fiziksel müdahalelerde görülmüş olup C fazında kısa devre ve hasar tespit edilmiştir. Bu çalışma konuyla ilgili araştırmacı, mühendis, tekniker, teknisyen vb. için transformatör arızalarının belirlenmesinde DGA sonuçlarını kullanan ve yaygın olarak kullanılan konvansiyonel arıza tanımlama yöntemlerinin kullanımı açısından bir rehber olma niteliğindedir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışmada TEİAŞ, 21. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü'ne doğrudan ve dolaylı katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

#### 6. Kaynaklar

- [1] Mirzai, M., Gholami, A. and Aminifar, F., "Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers", *Journal of electrical system*, 2-1, pp.1-12, 2006.
- [2] Standard IEC 60599, Guide for the Interpretation of Dissolved Gas Analysis and Gas-free, 2007.
- [3] Sezer, M., *Trafo bakımı ve yalıtım yağı*, Çağdaş basımevi, 2014.
- [4] Muhamad, N. A., Phung, B. T., Blackburn, T. R. and Lai, K. X., "Comparative Study and Analysis of DGA Methods for Transformer Mineral Oil ", in *Proc. Power Tech*, 2007, pp. 45–50.
- [5] Beykverdi, M., Faghihi, F. and Pour, A. M., "A New Approach for Transformer Incipient Fault Diagnosis Based on Dissolved Gas Analysis (DGA)", *Nova Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 2, No. 3, pp.1-8, 2014.
- [6] IEEE guide for the interpretation of gases generated III oil immersed transformers, IEEE Power Eng. Soc., IEEE Std C57.104™, 2008.
- [7] Bacha, K., Souahlia, S. and Gossa, M., "Power Transformer Fault Diagnosis Based on Dissolved Gas Analysis by Support Vector Machine", *Electric power systems research*, Vol. 83, pp. 73– 79, 2012.
- [8] Nitin, K. D., And Helonde, J. B., "Improvement in Transformer Diagnosis by DGA using Fuzzy Logic, 2013 *Journal of electrical engineering & technology*, Vol. 9, pp. 615–621, 2014.
- [9] Duval, M. and Dukaram, J., "Improving the Reliability of the Transformer Gas-in-Oil Diagnosis", *IEEE Electrical insulation magazine*, Vol. 21, No. 4, pp. 21-27, 2005.
- [10] Yadaiah, N. and Ravi, N., "Fault Detection Techniques for Power Transformers", *In industrial & commercial power aystems technical conference*, 2007, pp. 1-9.