

Bulanık Mantık Yöntemi Kullanılarak Güç Transformatörleri Arızalarının Belirlenmesi

Diagnosis of Power Transformers Faults using Fuzzy Logic Method

Fatih ATALAR¹, Ayten KUNTMAN¹

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Üniversitesi
fatih.atalar@istanbul.edu.tr, akuntman@istanbul.edu.tr

Özet

Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım sisteminde yer alan ekipmanlardan biri olan güç transformatörlerinde meydana gelen arızaların önceden belirlenmesi sistemin ve ekipmanların korunmasını sağlar. Arızaların belirlenmesi ile verimli ve kaliteli çalışma koşullarının devamlılığı sağlanarak finansal kayıplar ve enerji kesintileri önlenir. Arızaların belirlenmesi için kullanılan Yağda çözülmüş gaz analizi [Dissolved Gas Analysis – (DGA)] ile daha arızanın başlangıç aşamasında müdahale edilebilmektedir. Yalıtım için kullanılan trafo yağında arıza sonucu bazı gazlar oluşur. Arıza sonucu oluşan bu gazlar trafo yağından örnekler alınarak DGA sistemlerinde değerlendirilir. DGA temelde iki şekilde uygulanır. Bunların en bilineni i-)Klasik Yöntemler ve son zamanlarda geliştirilen ii-)Akıllı sistemler yani esnek hesaplama yöntemleridir. Klasik sistemlerin arıza belirlemedeki doğruluğunu arttırmak için akıllı sistemler kullanılır. Bu çalışmada klasik yöntemlerden IEC oran metodu ve Bulanık mantık ile DGA arıza değerlendirilmesi yapılmıştır. Akıllı sistemdeki sonuçların klasik yöntemlere göre daha doğru arıza analizi yaptığı gözlemlenmiştir.

Abstract

Early diagnosis faults of power transformers which is an equipment part of the electric energy transmission and distribution system protects system and equipments. Power outages and financial loses are prevented thanks to diagnosis of transformers faults by ensuring continuity of efficient and high quality working conditions. Dissolved Gas Analysis (DGA) has ability to detect incipient faults of transformers. When any fault occur in power transformers, some gases dissolved in transformer oil. These gases are interpreted the DGA systems. When DGA is carried out i-) Conventional Methods and ii-) Intelligents Systems are used. The conventional systems have limitations. Intelligent systems overcome limitations. In this paper a Fuzzy Logic application is implemented to increase reliability of IEC Ratio, which is one of the DGA methods. The outputs have show that the intelligent system which we used is over the conventional method called IEC Ratio.

1. Giriş

Güç transformatörleri, üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara iletilmesinde ve kullanıcılar arasında dağıtılmasında gerilim yükseltme ve düşürme görevlerini yapmaktadır [1]. Bu işlevlerin kaliteli ve sürdürülebilir bir şekilde devam etmesi için transformatör sorunsuz çalışmalıdır. Transformatörde meydana gelebilecek arızalar enerji kesintilerine, sistem ve ekipmanların sağlıksız çalışmasına ve maddi kayıplara sebep olmaktadır [2]. Bu kayıpların önüne geçmek için arızaların ve arıza nedenlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Arızalar ne kadar kısa sürede belirlenirse, transformatörlerin daha kaliteli ve daha verimli çalışması devam ettirilebilir. Normal ömürleri 20-35 yıl arası olan güç transformatörlerinin ömürleri gerekli önlemlerle 60 yıla kadar çıkarılabilmektedir [3].

Güç transformatörleri işletme ömrü süresince çeşitli elektriksel ve termal zorlanmalara maruz kalırlar [4]. Bu zorlanmalar sonucunda transformatörlerde arızalar meydana gelir ve bu arızalar sistemin ve ekipmanın sağlıklı çalışmasını engeller. Transformatörlerde temelde üç tip arıza oluşur. Bu arızaların en önemlisi ark oluşumu, bunu takip eden termal arıza ve en zayıfı ve kolay atlatılabilir arıza ise kısmi deşarjlardır [5]. Bu arızalar oluşurken bazı gazlar ortaya çıkar. Bu gazlar trafo yağında çözünen Hidrojen (H₂), Metan (CH₄), Etan (C₂H₆), Etilen (C₂H₄) ve Asetilen (C₂H₂) ile selülozik yalıtıkanda oluşan Karbonmonoksit (CO) ve Karbondioksit (CO₂) gazlarıdır. Diğer yandan arıza ile ilgisi olmayan ancak transformatör işletmeye alındığında montaj sırasında veya bağlantı gevşekliğinden dolayı ortaya çıkan Oksijen (O₂) ve Azot (N₂) [6-8] gazlarıdır. Her arıza türü belli bir gazın ortaya çıkışını gösterir ve buradan hareketle çıkan gazların hangisi olduğuna bakılarak arızanın türü belirlenebilir. Genelde kısmi deşarj arızasında H₂ ve CH₄ gazları oluşurken, termal arızalarda C₂H₄ ve C₂H₆ gazları, ark arızasında ise H₂ ve C₂H₂ gazları ortaya çıkar [9].

Yağda çözülmüş gaz analizi (DGA) yöntemi ile bu gazlar değerlendirilerek arızanın tipi ve şiddeti belirlenir [10]. Transformatörden alınan yağ örnekleri laboratuvar da analiz edilerek arıza değerlendirilmesi yapılır. DGA transformatör arızalarını henüz başlama esnasında belirleyebildiği için kullanımını oldukça avantajlı bir yöntemdir.

DGA farklı metotlarla yapılır. Bu metotların en bilineni 1978 yılında kullanılmaya başlanan IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission))

Oran metodudur [11]. Roger Oran metodu, Doernenburg metodu ve Duval Üçgen metodu diğer DGA metotlarıdır [12]. Klasik metotlar olarak da adlandırılan bu metotların bazı dezavantajları vardır [13]. Özellikle IEC Oran metodunda bazı arızaları bulamama veya transformatördeki birden fazla arıza olduğunda bu çoklu arızaları belirlenememesi gibi dezavantajlar vardır [14]. Klasik yöntemlerin güç transformatörlerindeki arızaların belirlenmesindeki doğruluğunu arttırmak için yapay zeka metotları kullanılabilir. Akıllı sistemler olarak da adlandırılan bu yöntemlerden bazıları; Bulanık mantık, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makinaları, Genetik Algoritmalar ve Bayes Ağlarıdır [15].

Bulanık mantık yöntemi sayesinde, klasik yöntemlerin yanlış arıza değerlendirmelerinin önüne geçilir. Bulanık mantık temel olarak klasik mantıktaki 0 veya 1 olabilen sonucu 0 ile 1 değerleri arasında bir sonuç bulma yöntemidir [16]. Bu yöntem DGA'ya uygulanarak daha doğru arıza analizleri yapılabilir. Girişlerden hareketle sistemdeki çıkış için gerekli kurallar oluşturularak transformatördeki arıza veya arızalar belirlenir.

Bu çalışmada IEC Oran metodunun daha doğru analiz yapması için metot bulanıklaştırılarak Bulanık IEC Oran Sistemi geliştirildi. Sistemde IEC 60599 standardındaki arıza gazlarının limit değerleri de kullanılmıştır. 15 numunelik arıza analizinde çıkan sonuçlar deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu Bulanık IEC Oran Sisteminin daha doğru analiz yaptığı gözlemlendi.

2. Yağda Çözünmüş Gaz Analizi

Güç transformatöründe yalıtkan olarak kullanılan mineral yağı aynı zamanda soğutma işlevi yapar. Transformatörde meydana gelen arızalardan dolayı oluşan gaz molekülleri trafo yağında çözünmüş olarak bulunur [8]. Bu gazların her biri belirli bir arıza türüne göre açığa çıkar. Ayrıca gazın miktarı da arızanın türünün ve şiddetinin belirlenmesinde göz önüne alınır. Yağda Çözünmüş Gaz Analizi ile transformatörde meydana gelen ve henüz başlangıç aşamasındaki arızalar belirlenir ve gerekli önlemler alınır [2]. DGA'nın en önemli avantajı arıza henüz başlangıç aşamasında iken başka şekilde bulunamayan bu arızayı belirlemek ve transformatörün durumu hakkında sağlıklı bilgi vermektir. DGA yapılırken transformatörün devreden çıkarılmasına da gerek yoktur [8]. Böylece DGA sırasında enerji kesintisi yaşanmamış olur.

Yağda Çözünmüş Gaz Analizi yöntemi kullanılmadan önce transformatördeki arıza değerlendirmesi çalışmanın iş tecrübesinden hareketle yaptığı çıkarıma göre belirleniyordu [13]. Ancak aynı ekipman için başka bir insan tarafından yapılacak analiz tecrübe farklılığından dolayı doğal olarak nüans gösterebilir. Ayrıca endüstride ve konutlarda enerji ihtiyacı artmaya başladığı için bu talebin karşılanabilmesi amacıyla kurulan sistemlerdeki transformatörler daha karmaşık yapıda olduklarından dolayı, olası arızaların belirlenmesi kişi tecrübesine bırakılmayacak kadar hassas bir hale geldi. Bu nedenle oran metotları kullanılmaya başlanmıştır. IEC Oran Metodu, Roger Oran Metodu ve Doernenburg Oran Metodu en çok kullanılan metotlardır. Bu çalışmada IEC Oran Metodu incelenecektir.

2.1. IEC Oran Metodu

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission) 1978 yılında Yağda Çözünmüş Gaz Analizi için bir standart geliştirdi [11]. Bu standart gazların ppm (parts per million - µl/l) olarak yalıtım yağındaki konsantrasyon değerleri birbirlerine bölünerek çıkan sonuca uygun 0, 1 ve 2 kodlarının atanması prensibine dayanır. IEC Oran Metodunda arıza sonucu ortaya çıkan beş kılavuz gaz kullanılır. H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, ve C₂H₂ gazları bu yöntemde değerlendirilir [2]. Bu metotta beş gazın kendi aralarındaki üç farklı oran kullanılır. (R1= C₂H₂/ C₂H₄, R2=CH₄/H₂ ve R3 = C₂H₄/C₂H₆). Çizelge 1'de bu oranları ve oranların sonucuna göre aralığa karşılık gelen 0,1 ve 2 kodlarının gösterimi verilmiştir [17].

Çizelge 1: IEC Metodundaki Gaz Oranları ve Oran Kodları

Gaz Oranları	Oran Değer Aralığı	Oran Kodu
R1= C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	a < 0.1	0
	0.1 ≤ a ≤ 3.0	1
	a > 3.0	2
R2 = CH ₄ /H ₂	a < 0.1	1
	0.1 ≤ a ≤ 1.0	0
	a > 1.0	2
R3 = C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	a < 1.0	0
	1.0 ≤ a ≤ 3.0	1
	a > 3.0	2

Çizelge 1'de görüldüğü gibi her bir gaz oranının değerine (a) göre kodlar (0,1,2) atanmıştır. Bu atanan kodların kendi aralarındaki kombinasyonları sonucunun kullanılmasyla güç transformatörlerindeki arıza tanımları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Çizelge 2'de kullanılan kısaltmalar arıza değerlendirilmesinde kullanılacaktır.

Çizelge 2: IEC Gaz Oranları Kodları ve Karşı Gelen Arızalar

R1	R2	R3	Arıza	Kısaltma
0	0	1	Termik Arıza <150 ⁰ C	TA_1
0	2	0	Termik Arıza 150 ⁰ C-300 ⁰	TA_2
0	2	1	Termik Arıza 300 ⁰ C-700 ⁰	YTA_1
0	2	2	Termik Arıza >700 ⁰ C	YTA_2
1-2	0	1-2	Düşük Enerjili Ark	ARC_1
1	0	2	Yüksek Enerjili Ark	ARC_2
0	1	0	Düşük Enerjili Korona	KD_1
1	1	0	Yüksek Enerjili Korona	KD_2
0	0	0	Normal (Arıza Yok)	N

Bu çalışmada IEC Oran metodu kullanılırken IEC 60599 standardındaki limit değerler de kullanılmıştır. Bu limit değerler Çizelge 3'te gösterilmiştir [8,17].

Çizelge 3: IEC Standardına göre Arıza Gazları için Limit Değerler

Gaz	Limit Değeri (ppm)
Hidrojen (H ₂)	150
Metan (CH ₄)	110
Etilen (C ₂ H ₄)	280
Etan (C ₂ H ₆)	90
Asetilen (C ₂ H ₂)	50

Çizelge 3’de gösterilen gazların limit değerleri aşıldığında arıza olduğu değerlendirilmesi yapılır. Bu gazların konsantrasyon değerlerinden hiçbirinin limit değeri aşmaması demek transformatörde arıza olmadığını gösterir. Eğer en az bir gaz limit değerini aşmışsa transformatörde arıza oluşmuştur. Bu arıza ise DGA ile belirlenir ve arıza daha büyük zarara ve kayba yol açmadan önlem alınır. Limit değerler göz önüne alınmadan yapılacak bir analiz yanlış sonuç verebilir. Örneğin, gazların limit değerlerinin altında olduğunda IEC Oran Metodunda arıza değerlendirilmesi sonucu transformatörde herhangi bir arıza belirlenebilir. Ancak limit değerler aşılmadığı için transformatörde bir arıza yoktur ve IEC Oran Metodu hatalı değerlendirme yapmıştır.

2.2. Bulanık Mantık & IEC Oran Metodu

Bulanık mantık sistemi temel olarak üyelik derecesi [0,1] aralığında olan üyelik fonksiyonlarından ibarettir. Klasik yöntemlere göre insan algısına daha yakın olan bulanık mantık sistemi daha doğru arıza analizi yapılmasına imkan sağlar. Bu sistem IEC Oran metoduna uyarlanabilir. Gaz oranları bulanık sistemin girişleri olarak kabul edilerek arıza değerlendirmesi yapılır. Çoklu arızaların saptanmasında daha iyi sonuçlar verir [11]. Bulanık sistem için kullanılacak gaz oranları değerleri dilsel değişkenler olarak ifade edilmiştir. Girişler klasik yöntemdeki 0,1 ve 2 yerine düşük, orta ve yüksek olarak belirlenmiştir. Çizelge 4’te bu girişlere denk gelen dilsel değişkenler verilmiştir [9].

Çizelge 4: Bulanık Sistem Gaz Oranları Girişleri

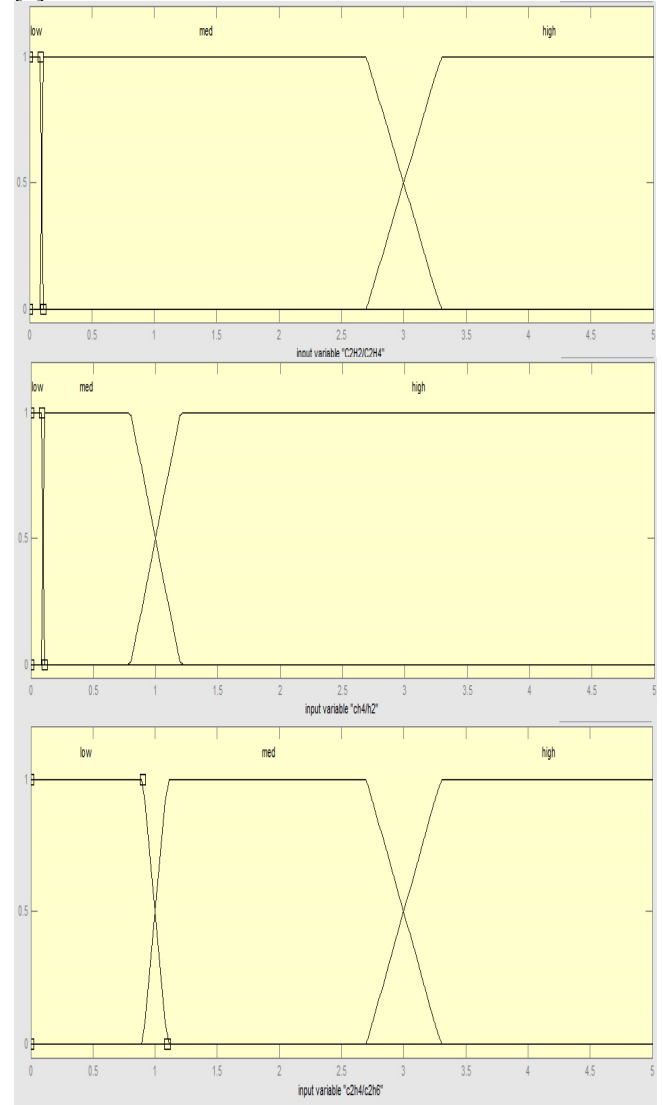
Gaz Oranları	Oran Değer Aralığı	Oran Kodu
R1 = C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	a < 0.1 0.1 ≤ a ≤ 3.0 a > 3.0	0 (Düşük =Low) 1 (Orta = Med) 2(Yüksek =High)
R2 = CH ₄ /H ₂	a < 0.1 0.1 ≤ a ≤ 1.0 a > 1.0	1 (Düşük =Low) 0 (Orta = Med) 2(Yüksek =High)
R3 = C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	a < 1.0 1.0 ≤ a ≤ 3.0 a > 3.0	0 (Düşük =Low) 1 (Orta = Med) 2(Yüksek =High)

Bulanık sistemde her bir giriş ve çıkış bir üyelik fonksiyonudur. Bu üyelik fonksiyonlarından kurallar oluşturularak çıkışa ulaşılır. IF-THEN kuralları olarak adlandırılan bu kurallarda if ile gelenler giriş üyelik fonksiyonları then kısmında sonra ise çıkış üyelik fonksiyonu gelir. Min. operatörü ‘ve’ mantıksal işlemini, max. operatöründe ‘veya’ mantıksal işlemini belirtir [3-4,9,11]. Bu şekilde 12 adet kural oluşturulur.

Kural 1: IF R1 is low AND R2 is med AND R3 is med THEN Faults is TA_1

Arıza Arc_1: max{min [R1=med,R2=med,R3=med], [R1=med,R2=med,R3=high],[R1=high,R2=med,R3=med], [R1=med,R2=med,R3=high]}

Kuralları yukarıdaki gibi olan sistemin R1, R2 ve R3 oranlarının Bulanık IEC Oran Sistemindeki girişlerinin üyelik fonksiyonlarının Şekil 1’de gösterilmiştir [9].



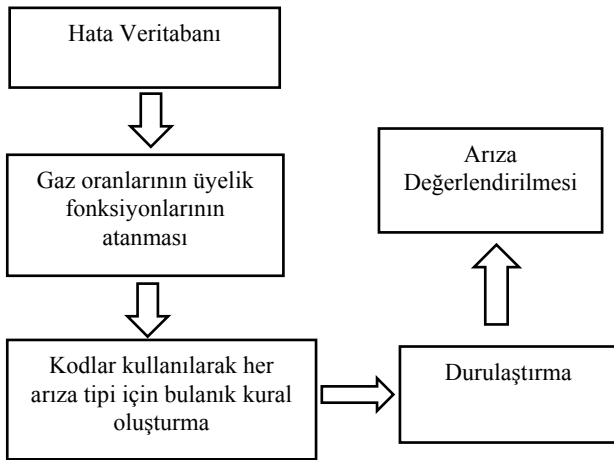
Şekil 1: Sırasıyla Bulanık IEC Oran Sisteminin R1,R2 ve R3 Oranlarının Üyelik Fonksiyonları

Çıkış için kullanılan sistem Mamdani Bulanık modelidir. Bu modelle değerlendirmede sonuç sabit değerde değil belli bir aralıkta bulunur. Bu modelde çıkışlar için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Mamdani modelinde çıkış 1 numaralı denklemdeki gibi hesaplanır [18].

$$z_c = \frac{\int_z \mu_c(z)zdz}{\int_z \mu_c(z)dz} \quad (1)$$

($\mu_c(z)$, çıkışta aktif üyelik fonksiyonlarının birleşimidir)

Bulanık mantık sistemi aldığı girişleri dilsel değişkenler yardımıyla bulanıklaştırıp daha sonra kuralların oluşturulmasıyla alınan veriler durulaştırma işleminden geçerek çıkış bulunur. Bu sistemin akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir [5].



Şekil 2: Bulanık Mantık Modelinin Yağda Çözünmüş Gaz Analizi Akış Diyagramı

3. Bulanık IEC Oran Sistemi ile Arıza Değerlendirmesi

Limit değerlerde hesaba katılarak, Bulanık IEC Oran Sistemi 2004 yılında işletmeye alınmış birincil ve ikincil sargı gerilimleri 154 / 34.5 kV ve gücü 50 MVA olan bir transformatör için 11 yıllık gaz konsantrasyon değerleri kullanılarak yapıldı. Çizelge 5’de bu transformatöre ait gaz konsantrasyon değerleri ppm olarak verilmiş ve numunelerin alındığı tarihler belirtilmiştir.

Çizelge 5: Transformatör Gaz Konsantrasyon Değerleri

Analiz Tarihi	Hid. (H2)	Metan (Ch4)	Etilen (C2h4)	Etan (C2h6)	Asetilen (C2h2)
10.6.2004	63	53	123	23	7
4.3.2005	76	73	178	34	9
22.3.2006	35	50	166	34	8

5.11.2007	59	53	133	25	12
20.11.2008	87	148	354	60	20
23.12.2008	76	144	360	61	13
19.11.2009	77	98	294	60	8
29.12.2010	46	75	169	33	4
4.3.2011	384	39	63	8	3
27.12.2011	47	94	227	39	7
10.11.2014	40	84	232	43	9
7.5.2015	3095	205	9	47	1
2.6.2015	1183	433	493	34	853
2.7.2015	948	111	179	24	7
21.10.2015	2507	1392	2242	386	1157

Çizelge 5’de IEC standardına göre limit değerini aşan gaz konsantrasyon değerleri kalın olarak gösterilmiştir. Bu şekilde en az bir gazın limit değerini aşması durumunda Bulanık IEC Oran Sistemi çalıştırılıp gaz analizi ile arıza değerlendirilmesi yapıldı. Çizelge 6’da yapılan analizler gösterilmiş ve IEC Oran metodu, Bulanık IEC Oran Sistemi ve gerçek arıza türünün karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 6: Transformatör Arıza Analizi Değerlendirmesi

Numune No.	IEC Oran Kodu	Bulanık IEC Sistemi	Gerçek Arıza
1	TY	N	N
2	TY	N	N
3	YTA_2	N	N
4	TY	N	N
5	YTA_2	YTA_2	YTA_2
6	YTA_2	YTA_2	YTA_1
7	YTA_2	YTA_2	YTA_2
8	YTA_2	N	N
9	TY	KD_1	KD_1
10	YTA_2	N	N
11	YTA_2	N	N
12	KD_1	KD_1	KD_1
13	ARC_2	ARC_2	ARC_2
14	TY	TY	KD_1
15	ARC_2	YTA_1&ARC_2	YTA_1&ARC_2

Çizelge 6'daki TY kısaltması tespit yok yani sistem arıza değerlendirmesi yapamadı anlamındadır. Diğer kısaltmalar ise Çizelge 2'de gösterilenlerdir. Çizelge 6'da görüldüğü gibi IEC Oran metodu ile 15 durumdan 4 doğru analiz yapılmış ve 15. numunede ise çoklu arıza belirlenmemiştir. Bulanık IEC sistemi ise 15 arızadan 13 analizi doğru yapmıştır. Gerçek arızalar transformatörde daha sonradan yapılan elektriksel testlerle bulunmuştur. Limit değerlerinde işleme katıldığı Bulanık IEC Oran Sistemi daha doğru analiz yaparak transformatörde başlangıç aşamasındaki arızalara karşı önlemler almamızı sağlar.

4. Tartışma

Bu çalışmada güç transformatörlerinde meydana gelen arızalar sonucu yalıtım yağında ortaya çıkan ve yağda çözünebilir gazların konsantrasyon değerlerini kullanan Yağda Çözünmüş Gaz Analizi ile arıza değerlendirilmesi yapıldı. Arıza sonucu oluşan gazların limit değerleri de hesaba katılarak deneysel olarak arıza değerlendirilmesi yapılmıştır. DGA'nın klasik metodlarından IEC Oran metodunun arıza belirlenmesindeki kısıtlamaları nedeniyle doğru analiz güvenilirliğini arttırmak için akıllı sistemlerden olan Bulanık mantık sistemi kullanılmıştır. Bulanık Mantık sisteminin IEC Oran Metodunun daha doğru arıza analizi yapmasını sağlamak için geliştirilen Bulanık IEC Oran Sistemi 15 numunelik gaz konsantrasyon değerlerine uygulandı. Analizler sonucu yapılan arıza değerlendirmesi sonucu Bulanık IEC Oran Sistemi ile daha doğru analizler yapılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada her türlü yardımlarını esirgemeyen Adapazarı TEİAŞ Müdürlüğü ve TEİAŞ 2. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- [1] Bide, Z., Yanru, L., Zhaohui, L., ve Chunen, F., "A Method of Diagnosing Power Transformer's fault Based on Fuzzy c and Immune Genetic Algorithm", *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2008, s: 876-879.
- [2] Köroğlu, S., Demirci, A., Yıldız, M., Çalı, M. E., ve Mihci, G., "Güç transformatörleri arızalarının yağda çözülmüş gaz analiziyle tanılanması", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (ELECO)*, 2014, Bursa, Türkiye, s:221-224.
- [3] Pamuk, N., ve Uyaroğlu, Y., "The analysis of electrical and mechanical faults in power transformers by Fuzzy expert system", *Scientific Research and Essays*, Vol. 5 (24), s: 4018-4027, 2010.
- [4] Afıqah, R.N., Musirin, I., Johari, D., Othman, M.M., Rahman, T.K.A., ve Othman, Z., "Fuzzy Logic Application in DGA Methods to Classify Fault Type in Power Transformer", *10th WSEAS/IASME International Conference On Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (Power '10)*, 2010, s:83-88.
- [5] Khan, S.A., Equbal, M.D., ve Islam, T., "A Comprehensive Comparative Study of DGA Based Transformer Fault Diagnosis Using Fuzzy Logic and ANFIS Models", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 22, s:590-596, 2015.
- [6] Zhang, J., Zhu, Y., Shi, W., Sheng, G., ve Chen, Y., "An Improved Machine Learning Scheme for Data-driven Fault Diagnosis of Power Grid Equipment", *IEEE 17th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC), IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), ve IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICESSE)*, 2015, s: 1737-1742
- [7] Li, Y., Bao, D., Luo, C., Huang, L., ve Cao, L., "An Intelligent Fault Diagnosis Method for Oil-Immersed Power Transformer Based on Adaptive Genetic Algorithm", *Advances in Automation and Robotics*, Vol. 1, s:155-162, 2011.
- [8] Sezer, M., *Trafo Bakımı ve Yalıtım Yağı*, Çağdaş Basımevi, Balıkesir, 2014.
- [9] Ahmed, M. R., Geliel M. A. ve Khalil, A., "Power Transformer Fault Diagnosis using Fuzzy Logic Technique Based on Dissolved Gas Analysis", *21st Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, 2013, s:584-589.
- [10] Peng, Z., ve Song, B., "Research on fault diagnosis method for transformer based on fuzzy genetic algorithm and artificial neural network", *Kybernetes*, Vol. 39, s:1235-1244, 2010.
- [11] Su, Q., Lai, L.L., ve Austin, P., "A Fuzzy Dissolved Gas Analysis Method For The Diagnosis Of Multiple Incipient Faults In A Transformer", *Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management APSCOM*, 2000, s:344 – 348.
- [12] Bhalla, D., Bansal, R.K., ve Gupta, H.O., "Application of Artificial Intelligence Techniques for Dissolved Gas Analysis of Transformers", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, Vol.4, s: 261 – 269, 2010.
- [13] Waghmare, H.V., ve Kulkarni, H.H., "Modeling of Transformer DGA using IEC & Fuzzy Based Three Gas Ratio Method", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 3, s: 1149 - 1152, 2014.
- [14] Sharma, N.K., Tiwari, P.K., ve Sood, Y.R., "Review of Artificial Intelligence Techniques Application to Dissolved Gas Analysis on Power Transformer", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 3, s: 577 - 582, 2014.
- [15] Lakehal, A., Ghemari, Z., ve Saad, S., "Transformer fault diagnosis using Dissolved Gas Analysis technology and Bayesian networks", *Proceedings of the 4th International Conference on Systems and Control*, 2015, s: 194-198.
- [16] Zadeh, L., "Fuzzy Sets", *Information and Control*, Vol. 8, s: 338-353, 1965.
- [17] Standard IEC 60599, Guide for the Interpretation of Dissolved Gas Analysis and Gas-free, 2007.
- [18] Mamdani, E. H., ve Assilian, S., "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", *Int. J. Man-Machine Studies*, 1975, s: 1-13.