

GÜÇ TRAFOLARINA AİT YAĞDA ERİMİŞ GAZ ANALİZİ SONUÇLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE ARIZA ANALİZİ



Abdulkadir GÖZÜTOK
Elektrik-Elektronik Y. Mühendisi
Hamitabat Doğalgaz Kombine
Çevrim Santrali

ÖZET - Enerji sistemlerinin temel görevi enerjiyi en ekonomik şekilde, kabul edilebilir bir güvenilirlik ve kalite seviyesinde müşteriye sunmaktır. Sistemin güvenilirliği de sistemi oluşturan elemanların güvenilirliğine bağlıdır. Bilindiği üzere güç sistemlerinde en temel ve önemli donanımlardan biri trafolardır. Arızaların önlenmesi ve trafoların iyi işletme şartlarında çalıştırılması enerji sistemlerinde çok önemlidir. Trafolardaki izolasyon yağları ve selülozik maddeler normalin üzerinde elektriksel ve ısı stresse maruz kaldıklarında parçalanırlar ve bazı karakteristik gazlar oluşur. Bu gazların dağılımı elektriksel arızanın cinsini, gaz oluşum hızı da arızanın şiddetini gösterir. Yağda çözünmüş olan bu gazların bilgisi koruyucu bakım programları için oldukça kullanışlıdır. Yapay zekanın bir parçası olan Yapay Sinir Ağları, girişleri ve çıkışları arasında non-lineer bağıntı kurma yeteneği sayesinde, yağda erimiş gaz analizi sonuçlarına bağlı olarak arızanın teşhisinde kullanışlı ve güçlü bir araçtır.

Anahtar Sözcükler : YSA, Yağda Erimiş Gaz Analizi, Güç Trafoları

I- GİRİŞ

Enerji sistemlerinin temel görevi, enerjiyi en ekonomik şekilde, kabul edilebilir bir güvenilirlik ve kalite seviyesinde müşteriye sunmaktır. Sistemi oluşturan elemanların durumu ve çevre koşulları sistemin düzenli çalışmasını doğrudan etkiler. Bu yüzden enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemini verimli şekilde işletmek ve zamansız elektrik kesintisinin önüne geçebilmek için düzenli bir koruyucu bakıma ihtiyaç vardır.

Enerji sistemlerinde en temel ve önemli donanımlardan biri trafolardır. Meydana gelecek arızanın çevreye ve sisteme verebileceği zararlar, trafoların pahalı olması, onarımları veya değiştirilmeleri süresince enerjide olacak kesintiler göz önüne alındığında trafo arızalarının hem işletme

hem de müşteri açısından önemli kayıplara neden olacağı anlaşılmaktadır.

Trafoların arızalanması; yıldırım veya anahtarlama aşırı gerilimleri, koruyucu ekipmanların yetersizliği, aşırı yüklenme, kısa devre arızaları, yağ kaçaqları, rüzgar, sis, aşırı sıcak gibi olumsuz hava şartları, kağıdın ve yağın yaşlanması sonucu dielektrik dayanımlarının zayıflaması gibi nedenlerden olmaktadır.

Trafolar güç sistemlerinin en önemli ve en pahalı donanımlarından biridir. Dolayısıyla trafolarla ait arızaların önceden veya başlangıç aşamasında belirlenmesi;

- Enerji kesintisinin önlenmesi,
- Büyük hasarların önlenmesi,
- Arızanın ilerlemesinin önlenmesi,
- Ekonomik kayıpların azaltılması,
- Tamirat süresinin kısaltılması açısından oldukça önemlidir.

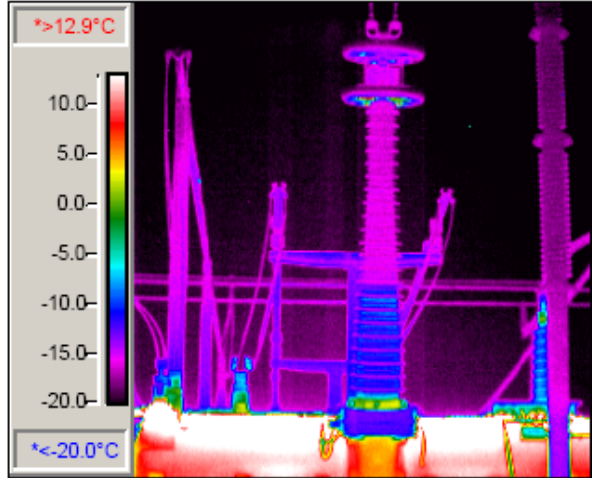
II- TRAFOLARDA YAPILAN TESTLER

Trafoların imalatından itibaren adım adım bir takım testler yapılmaktadır. Trafo imal edildikten sonra fabrikada 3 ay süreyle enerji altında bırakılarak test edilir ve bu süre çalışma süresinden sayılmaz. Taşınması ve montajı sırasında ekipmanda olabilecek kırılma, bozulma gibi problemleri belirlemek için, trafoya montajından sonra da aynı fabrikadaki gibi kabul testleri uygulanır. Bu testlerin ardından trafonun 12 ay süreyle problemsiz bir şekilde çalışması enerji altında kısa süreli testleri geçmesi demektir. İşletmedeki trafolarla yapılan testleri rutin testler ve özel testler olarak ikiye ayırabiliriz:

Rutin testler : Sargı %PF ve Kapasiteleri, sargı yalıtım dirençleri, buşing %PF ve kapasiteleri sarım oranları, sargı DC dirençleri, uyarma akımları, yağ elektriksel testleri, yağda erimiş gaz analizi.

Özel testler : Kısmi deşarj ölçümü, frekans analizi (fr response analysis), vibrasyon analizi, kızılötesi

inceleme, voltage recovery ve polimerizasyon derecesi testleri [1,2].



Resim 1: Arızalı Bir Buşinge Ait Kızılötesi Resmi

III- YALITIM YAĞLARI

A- Yalıtım Yağlarının Görevleri

Yalıtım yağları, transformatör, reaktör, kapasitör, regülatör, devre kesici, elektrik kabloları ve diğer elektrik donanımında izolasyon sıvısı ve ısı transfer maddesi olarak kullanılmak üzere özel amaçla üretilen petrol kökenli madeni (mineral) yağlardır.

Yalıtım yağının dört temel görevi vardır:

- 1- Soğutma
- 2- Yalıtım
- 3- Ark söndürme
- 4- Donanımdaki diğer malzemeyi koruma

Petrol kökenli madeni yalıtım yağları uzun yıllardan bu yana, elektrik donanımında başarıyla kullanılan önemli bir izolasyon sıvısıdır. Diğer yalıtım maddelerine göre daha ucuz olması ve yapı malzemesiyle iyi uyum sağlaması nedeniyle, tüm dünyada hala yaygın şekilde kullanılmaktadır.

B- Yağlar Üzerinde Yapılan Testler

Yalıtım yağının kalitesini ve özelliklerini belirlemek için yağ numunesi üzerinde yapılan testler 3 gruba ayrılır.

Fiziksel Testler: Viskozite, Akma Noktası, Parlama ve Yanma Noktası, İç Yüzey Gerilme gibi fabrika aşamasında yapılan testler.

Elektriksel Testler: Dielektrik Dayanma Gerilimi, Gaz Oluşumu, Güç Faktörü, Direnç testleri.

Kimyasal Testler: Asidite, Karbon Bileşimi, Gaz İçeriği, Gaz Analizi, Sabunlaşma Sayısı, Su Miktarı, Oksidasyon Stabilitesi, Tortu ve Çamur, Bakır İçeriği vs. testleri [1].

IV- YAĞDA ERİMİŞ GAZ ANALİZİ

Bir hastalığın tanısında kan testlerinin büyük önem taşıması gibi, bir trafo arızasının saptanmasında da yağda erimiş gaz analizleri çok önemli bilgiler içerir. Trafoların durumlarını izlemek için uzun yıllardan beri yağda erimiş gaz analizleri bir arıza belirleme yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Trafodaki termik ve elektriksel arızalar sırasında yağ molekülleri ve diğer katı yalıtım malzemeleri parçalanarak yeni kimyasal oluşumlar meydana gelir. Anormal elektrik ve ısı stresi maruz kalan izolasyon yağlarının delinmesi sonucu çeşitli gazlar açığa çıkar. Bu gazların bileşimi arızanın tipine bağlıdır ve analizleri yapılarak arızanın durumu hakkında bilgi edinilebilir.

Donanımda meydana gelen korona, ark ve yüksek sıcaklık arızalarında yağ molekülleri parçalanır ve bazı gazlar açığa çıkar. Bu gazlar zamanla yağ içinde çözünmeye başlar, diğer bir deyişle yağ tarafından absorbe edilir. Erimeyen kısım serbest halde buchholz rölesinde birikmeye başlar.

Petrol ürünlerde gaz analizi yıllardır gaz kromatografi kullanılarak yapılmaktadır. Eriyen gazlar ekstraksiyon yöntemi ile numune yağdan çıkarılarak kalitatif ve kantitatif analizleri yapılır. Yağda Erimiş Gaz Analizi şimdi dünya çapında standart olmuş ve elektrik donanımlarının içindeki yağlarda yapılan en önemli test olmuştur. Gaz analizinin en büyük kolaylığı, çoğu ekipmanda herhangi bir zamanda, ekipmanı devre dışı bırakmadan yağ numunesinin alınabilmesidir [2-4]. Hatta günümüzde yaygınlaşmakta olan on-line gaz analiz cihazları ile trafolar çalışırken bile sürekli analiz yapmak mümkündür.

Yağda erimiş gaz analizinde çoğunlukla Hidrojen (H_2), Metan (CH_4), Asetilen (C_2H_2), Etilen (C_2H_4), Etan (C_2H_6) ve Karbonmonoksit (CO), Karbondioksit (CO_2), Azot (N_2) ve Oksijen (O_2) miktarları tespit edilir. Arızaların belirlenmesinde izolasyon yapısı ile birlikte numunelerden elde edilen gazların yoğunlukları, oranları ve toplamları kullanılmaktadır.

V- ANALİZ SONUÇLARININ YORUMLANMASI

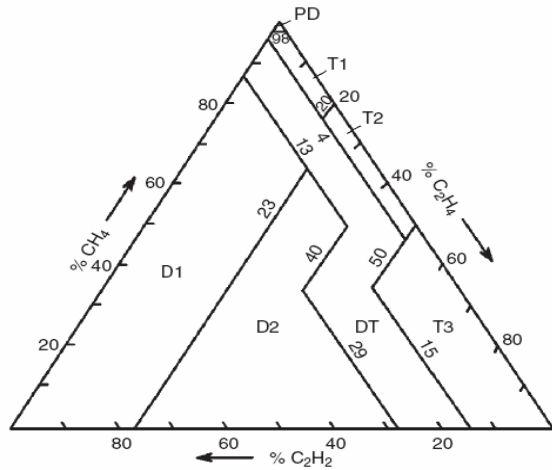
Analiz sonuçları bazı kriterler doğrultusunda değerlendirilerek trafo arızaları hakkında önemli bulgular elde edilir. Böylece arızanın türü, yeri ve

şiddeti saptanabilir. Çoğu zaman donanımın açılmasına gerek kalmadan çok yavaş gelişen küçük boyutlu arızaların önüne geçilerek olası büyük arızalar önlenir, plansız kesintiler ve istenmeyen zararlar engellenmiş olur.

Gaz analiz sonuçlarının yorumlanması ve arızaların teşhisi için kullanılan kullanılan başlıca yöntemler Kılavuz Gaz Metodu, Oran Metodu, Grafikselle Yorumlama Teknikleri ve Yapay Zeka tabanlı çalışmalardan oluşmaktadır. Bu yöntemlerde izolasyon malzemesinin maruz kaldığı sıcaklığa göre gaz oluşma karakteristiklerindeki değişimler esas alınmaktadır [5-9].

Kılavuz Gaz Metodu'nda, ppm olarak değerleri esas alınan karakteristik "kılavuz gazlar" belli arızaların saptanmasında kullanılmaktadır. Oran Metodu'nda kılavuz gazların ppm değerleri, gazların birbirleri arasındaki oranların belirlenmesi için kullanılır. Oranların değer aralığı arızanın tipini belirleyen kodlar olarak kullanılır.

Grafikselle Yorumlama Teknikleri'nde analiz sonucu elde edilen, yağda erimiş gazların ppm değerleri kullanılarak bazı gazların birbirlerine oranı veya diğer gazlara göre yüzdeleri hesaplanır. Bu oranların kullanılan grafikte hangi bölgeye düştüğü belirlenir. Bu yöntemde kullanılan başlıca grafiklerden bir tanesi de Duval Üçgenidir.



Şekil 1. Duval Üçgeni

Her bölgenin temsil ettiği arıza aşağıdaki gibidir :

- PD Kısmi Deşarjlar
- D₁ Düşük Enerjili Deşarjlar
- D₂ Yüksek Enerjili Deşarjlar
- T₁ Termik Arıza $T < 300^{\circ}C$
- T₂ Termik Arıza $300^{\circ}C < T < 700^{\circ}C$
- T₃ Termik Arıza $T > 700^{\circ}C$

DT Termik ve Elektriksel arızaların karışımı olan bölge.

Son yıllarda, DGA sonuçlarının yorumlanmasında yapay zeka tekniklerinin kullanılmasına yönelik oldukça kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar; *Uzman Sistem*, *Bulanık Mantık* ve *Yapay Sinir Ağı (YSA)* yaklaşımlarını içermektedir [10].

Uzman sistemlerin etkinliği, genellikle karmaşık olan ve elle yapılan veri tabanının kesin ve eksiksiz olma derecesine bağlıdır. Bir uzman sistemin en büyük problemi, teşhis kurallarını otomatik olarak ayarlayamaması, dolayısıyla yeni data örneklerinden bilgileri elde edip, kendiliğinden öğrenme işleminde kullanamamasıdır. Bir uzman sistem oluşturulduktan sonra onu yükseltmek genellikle zordur.

Fuzzy bilgi teorisinin kullanımında, bir fuzzy set tabanlı arıza teşhis sistemi kurulmalıdır. Önemli bir konu, varolan DGA metodları ve deneyimler üzerine fuzzy üyelik fonksiyonlarını ayarlamaktır. Fuzzy teşhis sisteminin bir avantajı; yağ numunesi alma, saklama ve test sürecindeki hatalara duyarlı olmasıdır. Bir dezavantajı ise data örneklerinden direkt olarak öğrenememesidir [9].

VI- YAPAY SİNİR AĞLARININ TRAFİKO ARIZA ANALİZLERİNDE KULLANILMASI

Trafo arızalarının teşhisinde yapay sinir ağlarının (YSA) kullanılmasına 1990'ların ilk yıllarında başlandı, fakat yüksek nitelikte data olmayışından ilerleme sağlanamadı. 1990'ların ortalarında çalışmalar tekrar başladı.

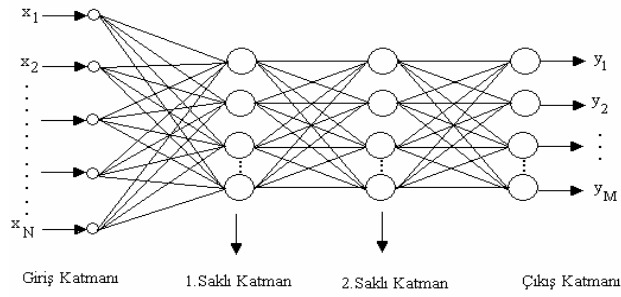
Yapay sinir ağı tabanlı arıza teşhisinin önemli bir avantajı, eğitim örneklerinden direkt öğrenerek gerektiğinde bilgilerini güncelleyebilmesidir. Nöronların yüksek seviyedeki nonlineerliği, fuzzy sistemlerine göre daha üstün bir performans sağlar, ayrıca yapay sinir ağının hesaplamaları, özellikle test (teşhis) sürecinde çok karmaşık değildir [10].

Sinir ağları, öğrenme sürecinde eğitim için kullanılan datalardan tecrübe edinerek giriş-çıkış arasında lineer olmayan ilişkiler kurabilmektedir. Bu tecrübe sadece insanların bilgisini değil onların bilemediği bilgileri de kapsar.

Bir yapay sinir ağı interpolasyon ve ekstrapolasyon ile, kullanılan durum setleri arasından en azından bir tane en iyi arıza tahmini gerçekleştirir. Bu da kılavuz gaz ve oran metodlarının dezavantajı olan "kararsızlık" problemini ortadan kaldırır. Tabiki bu uygulamalarda kullanılan eğitim dataları yeterli ve doğru eğitim için uygun olmalıdır [9,10].

Arızalar sonucunda oluşan gazların türü ve miktarlarıyla, arızanın türü arasında bağlantı kurmak oldukça zordur. Yağda erimiş gaz analizi sonuçları ile arızalar arasında matematiksel bir model oluşturulamadığından bu sonuçların değerlendirilmesinde deneyimli personelin ve uzmanların görüşleri büyük önem taşımaktadır. Yağda erimiş gaz analizi sonuçlarının değerlendirilmesinde karşılaşılan bu zorlukların üstesinden gelmek için yapay sinir ağları büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Yapılan araştırmalar çok katmanlı sinir ağlarının karmaşık çözümleri olan uygulamalarda uygulanabildiğini ortaya çıkarmıştır[11]. Bu çalışmada da çok katmanlı ileri yönlü yapay sinir ağları kullanılmıştır. Uygun bir yapay sinir ağının elde edilmesinde giriş ve çıkışların iyi seçilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra gizli katman ve nöron sayısı ağın en iyi çalışabileceği sayıda seçilmelidir. Gizli katman ve nöron sayısının artması ağın eğitim süresinin uzamasına neden olmaktadır.



Şekil 2. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Bir Ağ

Ayrıca ağın eğitilmesinde kullanılan örneklerin de doğru ve yeterli sayıda seçilmesi gerekmektedir. Seçilen örneklerin çeşitliliği ve arızayla ilgili bölgeyi iyi tanımlıyor olması çok önemlidir.

VII- SONUÇ

Bu çalışmada ilk önce 108 adet örnek arıza ile sinir ağı eğitilmiş, ancak ağın hata oranı yüksek çıkmıştır. Daha sonra temin edilen 31 adet yeni örnek ile eğitim seti zenginleştirilmiş ve 139 adet örnekle eğitilen ağın hata oranının azaldığı görülmüştür.

Yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılan algoritma da çok önemlidir. Yapılan çalışmalarda Levenberg-Marquardt yöntemiyle eğitilen ağın daha hızlı öğrendiği ve testlerde daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

Eğitilen yapay sinir ağının test edilmesi için 25 adet örnek kullanılmıştır. Testte kullanılan bu örneklerden

18 tanesi enerji altında arızalanarak devre dışı kalan arızalı trafolarla aittir. 7 tanesi de laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucu elde edilen örneklerdir. Testte kullanılan bu örnekler Çizelge 1'de verilmiştir. Laboratuvar simülasyonlarına ait olan örnekler Çizelge 1'de 19-25. sıralarda verilmiştir.

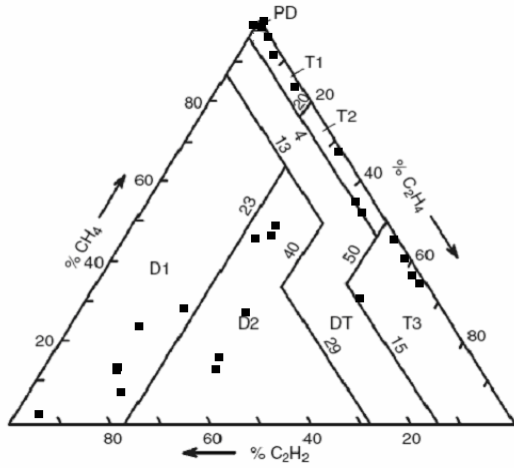
YSA'nın testinde kullanılan 25 adet arızanın türlerine göre dağılımı da Şekil 3'de gösterilmiştir. PD, T1 ve T2 bölgelerinde 3'er adet, T3 ve D1 bölgelerinde 5'er adet, D2 bölgesinde 6 adet arıza bulunmaktadır.

Çizelge 1. YSA'nın testinde kullanılan örnekler

ÖRNEK	ARIZA	% CH4	% C2H4	% C2H2
1	T2	53	42	5
2	D2	45	26	30
3	T2	51	41	7
4	D2	44	30	26
5	T1	98	2	0
6	T2	66	34	0
7	T3	41	59	0
8	T3	46	54	0
9	D2	47	29	24
10	D2	14	34	52
11	T3	23	57	19
12	D2	17	30	53
13	D1	13	15	72
14	T3	35	64	0
15	D2	27	28	45
16	T3	36	63	1
17	T1	91	8	1
18	D1	9	18	72
19	PD	100	0	0
20	PD	98	0	2
21	D1	30	22	48
22	D1	26	19	55
23	D1	2	5	93
24	T1	83	17	0
25	PD	97	2	2

Enerji altındayken arızalanmış trafoların yağlarında tespit edilen Metan (CH₄), Asetilen (C₂H₂) ve Etilen (C₂H₄) miktarlarının kullanılmasıyla, girişinde 3, gizli katmanda 9 ve çıkış katmanında 1 nöron olan sinir ağı uygun bir algoritma ve yeterli sayıda örnekle eğitilerek arızanın tespitinde %100 başarı sağlamıştır. Böylece, oldukça zor ve zahmetli bir işlem olan trafo arızalarının yağda erimiş gaz analizi ile

belirlenmesinde, yapay sinir ağlarının çok başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür.



Şekil 3. YSA'nın testinde kullanılan arızaların türlerine göre dağılımı

Transactions On Power Delivery, 16(4): 643-647(2001).

8. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation, "Transformer Maintenance: Facilities Instructions, Standards and Techniques", *Reclamation FIST 3-30, Colorado*, 35-53 (2000).
9. Su, Q., Mi, C., Lai, L.L., Austin P., "A Fuzzy Dissolved Gas Analysis Method for the Diagnosis of Multiple Incipient Faults in a Transformer", *IEEE Transactions On Power Systems*, 15(2): 593-598 (2000).
10. Wang, Z., "Artificial Intelligence Applications in the Diagnosis of Power Transformer Incipient Faults", PhD Thesis, *Virginia Polytechnic Institute*, Virginia, 6-53 (2000).
11. Haykin, S., "Neural Networks: A Comprehensive Foundation 2nd ed.", *Prentice Hall*, New Jersey, 70-75 (2003).

VII-KAYNAKLAR

1. Sezer, M., "Elektrik Donanımında Gaz Analizi Yöntemiyle Arıza Yorumu", *TEAŞ*, Ankara, 34-45, 55-64, 72-79, 83-94 (1999).
2. Wang, M., Vandermaar, A.J., Srivastava, K.D. , "Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 18(6) : 12-25 (2002).
3. Lewand, L.R., "Using Dissolved Gas-in-Oil Analysis to Detect Active Faults in Oil-Insulated Electrical Equipment. Practicing Oil Analysis Magazine", (2003).
4. IEC Publication 60599, "Mineral oil-impregnated electrical equipment in service-Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis", 3-21 (1999).
5. Duval, M., "Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 5(6): 22-27 (1989).
6. Zhang, Y., Ding, X., Liu, Y., Griffin, P.J., "An Artificial Neural Network Approach to Transformer Fault Diagnosis", *IEEE Transactions On Power Delivery*, 11(4): 1836-1841 (1996).
7. Guardado, J. L., Naredo, J. L., Fuerte, C. R., "A Comparative Study of Neural Network Efficiency in Power Transformers Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis", *IEEE*