

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ HATALARININ BULANIK
MANTIK VE ÖZ DÜZENLEMELİ HARİTALAMA
YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE KEMİK

DENİZLİ, EKİM – 2016

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ HATALARININ BULANIK
MANTIK VE ÖZ DÜZENLEMELİ HARİTALAMA
YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE KEMİK

DENİZLİ, EKİM – 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

EMRE KEMİK tarafından hazırlanan “Güç Transformatörü Hatalarının Bulanık Mantık ve Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi İle Belirlenmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 04/11/2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Yrd Doç. Dr. Selim KÖROĞLU



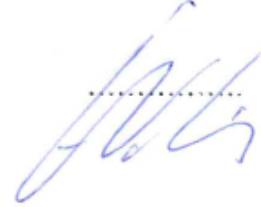
Üye

Doç Dr. Sezai TOKAT



Üye

Yrd. Doç. Dr. İsmail NAKİR



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05.12/2016 tarih ve 45/19 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Emre Kemik


EMRE KEMİK

ÖZET

GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ HATALARININ BULANIK MANTIK VE ÖZ DÜZENLEMELİ HARİTALAMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE KEMİK

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. SELİM KÖROĞLU)

DENİZLİ, EKİM 2016

Güç Sistemlerinde elektriğin iletimi ve dağıtımında oldukça önemli bir yere sahip olan transformatörlerinin arıza durumlarının zamanında tespiti iletim ve dağıtım hatlarının sorunsuz çalışabilmesi için hayati öneme sahiptir. Yağda Çözünmüş Gaz Analizi (YGA) başlangıç hatalarının tespitinde dünya çapında kabul görmüş bir yöntemdir. YGA analizine dayanan yöntemlerde belirlenen limit değerler uzun süreli tecrübelerin sonucunda elde edilmiştir. Ancak bir transformatörün kendine özgü doğal yapısı ve işleyişi nedeniyle yağda çözünmüş gaz analizi yöntemlerinde farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca gaz oranlarına dayanan yöntemlerde transformatör yağında yeterli miktarda çözünmüş gaz miktarının bulunması gerekmektedir. Gözetimsiz makine öğrenme yaklaşımı olan Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi (ÖDH), sonucu olmayan verilerle çalışabilmesi ve mevcut durumu görsel bir şekilde sunabilmesi nedeniyle transformatör arızalarının tespitinde önemli bir yere sahip olabilir. Bu yöntemde transformatör arızaları belirlenirken tamamen o transformatörün geriye dönük verileri analiz edilerek kendi kendine öğrenen bir yapay zeka ağı kullanılarak gruplama yapılmaktadır. Ancak klasik ÖDH yöntemindeki keskin sınıflandırma verilerin yanlış gruplara atılmasına neden olabilmektedir. ÖDH yönteminin sınıflandırmadaki bu dezavantajı, ÖDH yöntemine bulanık mantık uygulanarak iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada güç transformatörü arızalarının zamanında ve doğru bir şekilde tespiti için YGA, ÖDH ve bulanık mantık uygulanmış ÖDH yöntemlerine göre analizler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç Transformatörü, Yağda Çözünmüş Gaz Analizi, DGA, Öz Düzenlemeli Haritalama, SOM, Bulanık Öz Düzenlemeli Haritalama, FSOM.

ABSTRACT

FAULT DIAGNOSIS OF POWER TRANSFORMERS WITH FUZZY LOGIC SELF-ORGANIZING MAP

MSC THESIS

EMRE KEMİK

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIT. PROF. DR. SELİM KOROĞLU)**

DENİZLİ, OCTOBER 2016

Power transformers have an important role at transmission and distribution of electricity. Therefore, transmission and distribution lines to work troubleless, transformer fault diagnosis methods are quite important. Dissolved Gas Analysis (DGA) is a worldwide approved method at transformer fault diagnosis. Methods derived from DGA mostly based on long term experience of experts. However transformers could show different behavior at same type of faulty situations because of different natural working conditions of each transformer. Ratio based DGA methods need adequate amount of gas in the transformer oil, otherwise diagnosis results are not accurate. Self Organizing Map (SOM) is an unsupervised machine learning approach that could have an important place at transformer fault diagnosis. SOM uses unlabeled realtime data to define health condition of transformer so that the results of diagnosis customized to that transformer. However classification of classic SOM is crisp and some of the inputs are grouped in wrong classes. Fuzzy logic is a solution to this problem of classic SOM. In this thesis, DGA methods, SOM and Fuzzy SOM are practised to transformer fault diagnosis and the results are compared.

Keywords: Power Transformer, Dissolved Gas Analysis, DGA, Self-Organizing Map, SOM, Fuzzy Self-Organizing Map, FSOM.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ	5
2.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çalışma Prensibi	5
2.2 Kullanım Alanlarına Göre Transformatör Çeşitleri.....	9
2.2.1 Güç Transformatörleri.....	10
2.2.2 İzolasyon Transformatörleri	10
2.2.3 Ses Transformatörleri	10
2.2.4 Ölçü Transformatörleri.....	10
2.2.5 Yüksek Frekans Transformatörleri.....	11
2.2.6 Pals Transformatörleri.....	11
2.3 Soğutma Şekillerine Göre Transformatörler	12
2.3.1 Yağlı Tip Transformatörler	12
2.3.2 Kuru Tip Transformatörler.....	14
2.4 Transformatörlerde Kullanılan Yalıtım Malzemeleri	15
2.4.1 Katı Yalıtkanlar	15
2.4.2 Sıvı Yalıtkanlar	16
2.5 İşletme Aşamasında Transformatörün Ömrünü Etkileyen Faktörler..	17
2.5.1 Aşırı Yükleme ve Sıcaklığın Etkisi	17
2.5.2 Oksijenin Etkisi.....	18
2.5.3 Suyun Etkisi	18
2.5.4 Korozyon Etkisi	18
2.5.5 Bakırın Katalitik Etkisi	19
2.5.6 Asitik Maddelerin Etkisi	19
3. GÜÇ TRANSFORMATÖR HATALARI	20
3.1 Transformatör Arızaları.....	20
3.2 Yağda Çözünmüş Gaz Analizi Yöntemi	21
3.2.1 Roger Gaz Oranları Yöntemi.....	22
3.2.2 IEC-Temel Gaz Oranları Yöntemi.....	23
3.2.3 Duval Üçgen Yöntemi	24
3.2.4 Kılavuz Gazlar Yöntemi	26
4. BULANIK MANTIK VE ÖZ DÜZENLEMELİ HARİTALAMA YÖNTEMİ	27
4.1 Bulanık Mantık.....	27
4.1.1 Mamdani Yöntemi.....	29
4.1.2 Sugeno Yöntemi	30
4.2 Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi	30
4.3 Öz Düzenlemeli Haritalama Ağının Eğitimi	32
4.3.1 Sıralı Eğitim Yaklaşımı	33
4.3.2 Yığın Eğitim Yaklaşımı	34

4.4 Bulanık Mantık Uygulanmış Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi..	34
5. GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ HATALARININ ANALİZİ.....	36
5.1 Bulanık Mantık Analizi	36
5.2 Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemine Göre Analiz	42
5.3 Bulanık Mantıklı Uygulanmış Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemine Göre Analiz.....	45
5.4 Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması	48
6. SONUÇ	51
7. KAYNAKLAR.....	52
EK A: BULANIK MANTIK MATLAB KODU	56
EK B: ÖDH MATLAB KODU	58
EK C: BÖDH MATLAB KODU	59
EK D: VERİ SETİ VE SONUÇLAR	62
8. ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Transformatör yapısı.	6
Şekil 2.2 Transformatör prensip şeması.	7
Şekil 2.3 Yıldız bağlı üç fazlı transformatör fazör diyagramı.....	8
Şekil 2.4 Transformatör yıldız bağlantı.....	8
Şekil 2.5 Transformatör üçgen bağlantı.....	9
Şekil 2.6 Kullanım alanlarına göre transformatörler.	9
Şekil 2.7 Soğutma şekline göre transformatörler.	12
Şekil 2.8 Hermetik tip yağlı tip transformatör yapısı.....	13
Şekil 2.9 Genleşme depolu yağlı tip transformatör iç yapısı.....	13
Şekil 2.10 Yağın filtrelenerek iyileştirilmesi.	14
Şekil 2.11 Kuru tip transformatör.....	15
Şekil 3.1 Transformatör arıza tipleri ve açığa çıkan gazlar.	22
Şekil 3.2 Duval Üçgen Diyagramı.....	25
Şekil 4.1 Üyelik derece fonksiyonu.	28
Şekil 4.2 Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi.....	29
Şekil 4.3 Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi.....	30
Şekil 4.4 Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi.....	31
Şekil 4.5 Komşuluk fonksiyonu.....	33
Şekil 5.1 R1 üyelik derece fonksiyonu.....	39
Şekil 5.2 R2 üyelik derece fonksiyonu.....	40
Şekil 5.3 R3 üyelik derece fonksiyonu.....	41
Şekil 5.4 ÖDH U-Matrix gösterimi	44
Şekil 5.5 Bulanık Mantık Uygulanmış ÖDH yöntemi akış diyagramı.....	46
Şekil 5.6 Bulanık ÖDH U-Matrix gösterimi.....	47

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Tranformatör sıcaklık limit değerleri.....	17
Tablo 3.1 Güç transformatörü arızaları tablosu.	20
Tablo 3.2 Roger Gaz Oranları kod tablosu.	23
Tablo 3.3 Roger Gaz Oranları hata kodları ve arıza tipleri.	23
Tablo 3.4 IEC kod tablosu.	24
Tablo 3.5 IEC arıza tablosu.	24
Tablo 3.6 Duval Üçgeni arıza sınır değerleri.	25
Tablo 3.7 Kılavuz Gazlar Yöntemi arıza tablosu.	26
Tablo 4.1 Klasik Mantık-Bulanık Mantık arasındaki temel farklılıklar. ...	27
Tablo 5.1 IEC arıza tipleri dağılımı.	37
Tablo 5.2 Bulanık Mantık sonuç çıkarım tablosu.	37
Tablo 5.3 Bulanık Mantık kural seti.	38
Tablo 5.4 Bulanık Mantık analiz sonuçları.....	42
Tablo 5.5 ÖDH analiz sonuçları.....	45
Tablo 5.6 Bulanık Mantık Uygulanmış ÖDH Analiz Sonuçları.....	48
Tablo 5.7 Güç Transformatörü hatalarının tanımlanmasında kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması	49
Tablo 5.8 ÖDH ve Bulanık ÖDH metotlarına test verilerinin uygulanması	50

KISALTMALAR LİSTESİ

YGA	: Yağda Çözünmüş Gaz Analizi
ÖDH	: Öz Düzenlemeli Haritalama
BÖDH	: Bulanık Mantık Uygulanmış Öz Düzenlemeli Haritalama
IEC	: International Electrotechnical Commission
DGA	: Dissolved Gas Analysis
U-Matrix	: Unified Distance Matrix

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, günlük hayatımızın devamlılığında önemli bir yere sahip olan transformatörlerin arıza durumları klasik yöntemlerden farklı olarak bulanık mantık ve öz düzenlemeli haritalama yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez konusunun seçiminde ve sonuçlandırılmasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren sayın Yrd. Doç. Dr. Selim KÖROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Elektrik şüphesiz ki şu anki uygarlığımızı şekillendiren teknolojik devrimin yapı taşlarından biridir, belki de en önemlisidir. Elektriği bu kadar etkili kılan kontrollü ve planlı olarak üretilerek son kullanıcıya kadar ulaştırılabilmesidir. Bu yüzdendir ki diğer enerji türleri elektriğe çevrilerek kullanılmaktadır Üretim santrallerinde üretilen elektrik enerjisi iletim ve dağıtım hatlarıyla son kullanıcıya ulaştırılmakta ve çeşitli enstrümanlarla insanlığın hizmetine sunulmaktadır.

Üretilen elektrik enerjisinin son kullanıcıya kadar iletilmesinde önemli bir yere sahip olan transformatörlerin sorunsuz çalışması büyük önem arz etmektedir. Herhangibi bir transformatör arızası durumunda tüm iletim hattı ve son kullanıcı cihazları bundan olumsuz etkilenebilmekte ve büyük maddi kayıplar yaşanabilmektedir. Bu yüzden transformatör arızalarının hata oluşmadan önleyici bir yaklaşımla zamanında doğru bir şekilde tespiti oldukça önemlidir.

Transformatör arıza tespitinde şüphesiz en etkili yöntemlerden biri dünya çapında kabul görmüş Yağda Çözünmüş Gaz Analizi (YGA) yöntemidir. YGA yöntemi transformatör üzerindeki termal ve elektriksel zorlanma ile transformatör yağında ve izolasyon maddesi selülozde oluşan bozunmalar sonucu açığa çıkan; hidrojen (H_2), Oksijen (O_2), Nitrojen (N_2), Metan (CH_4), Etan (C_2H_6), Etilen (C_2H_4), Asetilen (C_2H_2), Karbondioksit (CO_2) ve Karbonmonoksit (CO) gazlarının analizine dayanmaktadır. Açığa çıkan bu gazlar transformatörün mevcut durumu hakkında birçok bilgi barındırmaktadır. Bu güne kadar transformatör arızalarının analizine yönelik geliştirilen Roger Gaz Oranları, Duval Üçgen, Temel Gaz Oranları (IEC), Doerenburg ve Kılavuz Gaz gibi yöntemler yağda çözünmüş gaz analizi yönteminin birer yorumlamasıdır. Bu yöntemler matematiksel formülasyondan daha çok tecrübeye dayalı olarak geliştirilmiştir ve uygulanmasında bazı kısıtlar söz konusudur. Mesela Gaz oranlarını kullanan Roger, IEC, Doerenburg yöntemlerinin uygulanabilmesi için transformatör yağında çözünmüş gaz miktarı belli limitlerin üzerinde olmalıdır. Aksi durumda doğru bir arıza tespiti yapılamamaktadır. Duval Üçgen yönteminde ise transformatörün normal durumu için bir alan bulunmamakta

ve sadece hata durumunda kullanılabilir. Ayrıca yeni başlayan hata durumlarında kullanılamamaktadır. Bu gibi nedenlerle yağda çözünmüş gaz analizine yapay sinir ağları, bulanık mantık kümeleri gibi yaklaşımlar uygulanarak daha doğru ve pratik çözümler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Bulanık mantığın kullanıldığı YGA yaklaşımında gaz oranlarındaki sınır değerler noktasındaki belirsizlik büyük oranda ortadan kalkmakta üyelik derece fonksiyonu ile belirsiz ve nitel veriler nicel verilere dönüştürülerek daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Keskin sınır değerlerle hata ayrımının yapıldığı ve tam üyelik derecesinin söz konusu olduğu Roger Gaz Oranları Yöntemine bulanık mantığın uygulanmasıyla verilerin sınıflandırılmasında kısmi üyeliklere de izin verilerek hataların daha doğru tespiti sağlanabilmektedir (How ve Khalid, 2000).

Yapılan bir çalışmada , gözetimsiz bir makine öğrenme yaklaşımı olan ve çok boyutlu veriyi iki boyutlu bir koordinat sistemine haritalayan Öz Düzenlemeli Haritalama (ÖDH) yöntemi YGA'ya uygulanmıştır. Haritalamadan sonra çok boyutlu verinin iki boyutlu sistemde gösterimi olan nöronların arasındaki uzaklık ölçülerek nöronlar gruplandırılmış ve U-Matrix gösterim ile görselleştirilmiştir. Elektriksel deşarj, Termal hata, iki hatanın aynı anda olduğu bir grup ve Normal durum olmak üzere dört ana arıza grubunun birbirinden görsel olarak ayrılarak gruplandırıldığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca ÖDH yönteminin klasik YGA yöntemleriyle karşılaştırması yapılmış ve klasik yöntemlerin yorumlayamadığı gaz örneklerinin bile gruplandırabildiği görülmüştür. Ayrıca bu yöntemin kayıt altına alınmış -uzman görüşlerine göre belirlenmiş sonuç gerektirmeyen- YGA verileriyle çalışabilmesi ve transformatörün mevcut durumunu görselleştirerek sunabilmesi gibi önemli avantajlarının olduğu belirtilmiştir (K.F Thang,2003).

Bulanık Mantığın Öz Düzenlemeli Haritalama yöntemine uygulandığı başka bir çalışmada ise kredi onay veri seti kullanılarak ÖDH yöntemindeki keskin gruplandırmalar daha anlaşılır bir hale getirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada bulanık mantık üyelik dereceleri kullanılarak verilerin sınıflandırılmasında derecelendirme yapılarak hangi gruba ait olduğu tam olarak belli olmayan verilerin doğru bir şekilde sınıflandırılması sağlanmıştır (Sunghwan Sonh ve diğ, 2001).

Yine ayrıbir çalışmada kanser araştırmalarında kullanılan büyük çaplı bir veri setine ÖDH ve BÖDH yöntemleri uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. ÖDH yönteminde bir ana grup ve küçük boyutlu bir çok alt grup elde edilmiştir. Diğer taraftan BÖDH yönteminde iyi tanımlanmış 6 ana grup ve 3 alt grup elde edilmiştir. Çalışma sonucunda BÖDH yönteminin daha az hatayla daha iyi bir görsel gruplandırma yaptığı görülmüştür (Ho Yi ve Hasan, 2011).

Magnetic Resonance Images (MRI) meme kanserlerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir ve bu yöntemde küçük tümörlerin belirlenebilmesi kanser tanısı konulmasında oldukça önem arz etmektedir. Ancak MR resimlerinin doğru bir şekilde ayrıştırılması oldukça zordur. Çalışmada MR resimlerinin incelenmesinin doğru bir şekilde yapılmasının sağlanması amacıyla veriler önce Fuzzy C Means ile bölge bazlı ayrılmış ve daha sonra normal durumların ve tümörün olduğu durumların ÖDH yöntemi kullanılarak gruplandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile MR resimlerinden küçük tümörlerin bile belirlenerek daha doğru teşhisler konulması sağlanmıştır (Anand, Vinond ve Rampure, 2015).

Bu tez çalışmasında transformatör arızalarının tespitinin daha doğru ve arızaların önceden tahminini olanaklı kılacak yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda gözetimsiz bir makine öğrenme yaklaşımı olan ÖDH yöntemi üzerine yoğunlaşmış ve bu yöntemin veri sınıflandırmasındaki zayıf yönlerinin giderildiği bulanık mantığa dayalı öz düzenlemeli haritalama yöntemi YGA verilerine uygulanmıştır. Bu doğrultuda öncelikle literatürdeki çalışmalardan ve TEDAŞ verilerinden elde edilen 201 örneklilik bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti transformatörün mevcut durumu hakkında önemli bilgiler ihtiva eden yağda çözünmüş (H₂), Metan (CH₄), Etan (C₂H₆), Etilen (C₂H₄), Asetilen (C₂H₂), gazlarının ppm olarak miktarlarını içermektedir. Veri setinin oluşturulmasından sonra MATLAB ortamında Bulanık Mantık, ÖDH ve BÖDH modelleri geliştirilmiş ve YGA veri setine uygulanmıştır. Ayrıca veri seti klasik YGA yöntemlerinden Duval Üçgeni, Temel Gaz Oranları Yöntemi ve Roger Gaz Oranları Yöntemine göre de analiz edilmiş ve çıkan sonuçların karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde transformatörler hakkında genel bilgiler verilmiş ve tez konusuna benzer daha önce yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölümde; güç transformatörlerinin çalışma prensibi, genel özellikleri ve transformatör tipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde; YGA yöntemi anlatılmış ve bu yöntemin yorumlanması şeklinde geliştirilen diğer klasik YGA yöntemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise tezin de asıl konusu olan Bulanık Mantık, Öz Düzenlemeli Haritalama ve Bulanık Mantık Uygulanmış Öz Düzenlemeli Haritalama yöntemlerinden bahsedilmiştir. Beşinci Bölümde; hazırlanan veri setine bulanık Mantık, ÖDH, bulanık mantık uygulanmış ÖDH metotlarının ve Klasik YGA yöntemlerinin uygulaması gerçekleştirilmiş ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Altıncı ve son bölümde ise tez çalışmasının toplu bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

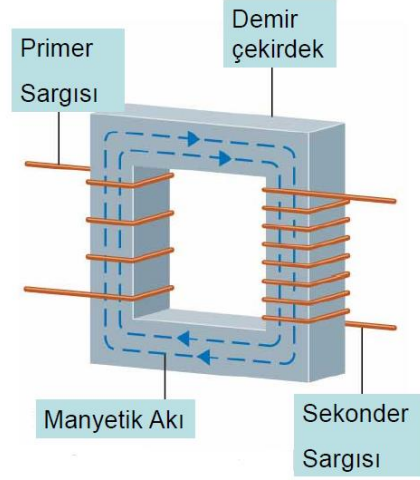
2. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ

Elektriğin kontrollü ve planlı bir şekilde üretilerek tüketim bölgelerine kadar iletilmesini sağlayan en önemli araçlardan birisi güç transformatörlerdir. Transformatör çağdaş güç sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Elektrik enerjisinin santrallerden, kullanım alanlarına iletimi ve dağıtımı sırasında oluşan güç kayıplarını ve gerilim düşümleri transformatörler sayesinde asgariye indirildiği için yüksek gerilim seviyesinde iletim sağlanabilmektedir. Böylece hatlarda kullanılan iletkenlerin kesitleri küçülmekte, kayıplar azalmakta ve iletken maliyeti dolayısıyla da iletim maliyetleri düşmektedir. Elektriğin uzak mesafelere taşınmasının sağlanması amacıyla güç transformatörleri kullanılmaktadır.

Transformatörün temel işlevi 1831'de elektrik alanında ilk çalışmaları gerçekleştirmiş olan İngiliz fizikçi Michael Faraday tarafından ortaya konulmuştur. Elli yıl kadar sonra çağdaş örneğinin gerekli tüm elemanlarına sahip, kullanışlı transformatörün ortaya çıkmasıyla da endüstrisinde devrim olmuştur. Yüzyılın sonlarında değişken akımlı (a.c.) güç sistemleri tüm dünyada kullanılmaya başlanmış ve transformatörler elektrik iletim ve dağıtımında anahtar rolünü üstlenmişlerdir. Günümüzün çağdaş transformatörleri güç bakımından 500, gerilim bakımından 15 kat daha fazla kapasiteye sahipken güç birimi başına düşen ağırlık 10 kat azalmış durumdadır. Ayrıca verimlilik oranları %99'lar seviyesindedir (Coltman,1988).

2.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Transformatörler manyetik endüksiyon yoluyla, alternatif akım elektrik gücünü bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine kaynak frekansını bozmadan değiştiren cihazlardır.



Şekil 2.1: Transformör yapısı

Basit bir transformör prensip şeması şekil 2.1’de gösterilmiştir. Primer sargısı giriş olarak kullanılan sarıdır. Bir transformöre gerilim primer sargılarından uygulanır. Sekonder sargısı çıkış olarak kullanılan sarıdır. Nüve transformörlerin en iç kısmında hava veya demir dolgulu olmak üzere primer ve sekondere ait tellerin sarıldığı çekirdek kısımdır.

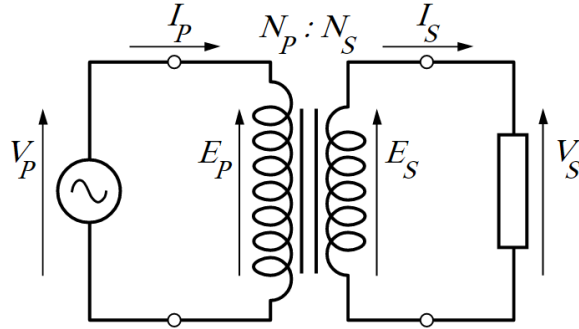
Primer sargılarına uygulanan alternatif gerilim nüve üzerine sarılı primer sargıları tarafından manyetik bir alan oluşturur. Oluşan manyetik alan nüve üzerinden geçerek sekonder sargılarını keser ve sekonderde bir gerilim indüklemesine sebep olur. Primer ve sekonder sargılar arasında direkt bir kablo bağlantısı olmamasına rağmen oluşan elektromanyetik alan ile primerden sekondere nüve üzerinden bir güç transferi gerçekleştirilir.

Transformörün sekonderinde devamlı bir gerilim indüklemesi oluşabilmesi için değişken manyetik alanın devamlılığı gerekir. Değişken manyetik alan oluşumu için ise değişken bir akım uygulanması şarttır. DC akımda nüve üzerinde bir manyetik alan oluşur ancak bu sabit bir alandır. Sekonder üzerinde emk (elektromotor kuvvet) indüklemesi söz konusu olmaz. Bu nedenle transformörler alternatif akım esasına göre çalışırlar. Elektromotor kuvvet ve manyetik akı arasındaki ilişki denklem 2.1’ verilmiştir.

$$\varepsilon = - \frac{(d\Phi_B)}{dt} \quad (2.1)$$

Burada \mathcal{E} elektromotor kuvveti Φ_B ise manyetik akıyı temsil etmektedir.

Şekil 2.2’de bir transformatörün temel elektriksel prensip devresi görülmektedir. Denklem 2.2’de transformatörün gerilim, akım ve sarım sayısı arasındaki ilişkiyi gösterir dönüştürme oranı verilmiştir.



Şekil 2.2: Transformatör prensip şeması

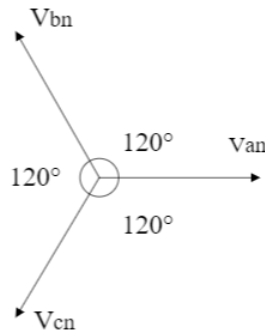
$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = K \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de K ; dönüştürme oranını, N_p ; primer sarım sayısını, N_s ; sekonder sarım sayısını, V_p ; primer gerilimini, V_s ; sekonder gerilimini, I_p ; primer akımı, I_s ; sekonder akımı göstermektedir.

Transformatör primer sargısına uygulanan AC gerilim dönüştürme oranında sekonder sargıdan elde edilir. Dönüştürme işlemi primer sargıya uygulanan elektriksel gücün sekonder taraftan alınması prensibine dayanır. Böylece yüksek akımlı bir elektriksel güç sekonder taraftan düşük akımlı ama yüksek gerilimli olarak elde edilerek elektriğin daha uzak mesafelere daha az kayıpla taşınmasını sağlanabilmektedir.

Günümüzde kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı üç fazlı olarak kullanılmaktadır. Üç fazlı sistemde 3 sargı (bobin) manyetik alan içerisinde aralarında elektriksel olarak 120° açı olacak şekilde yerleştirilirler. Üç fazlı gerilim kaynağının fazörsel diyagramı şekil 2.3’de gösterilmektedir. Üç fazlı

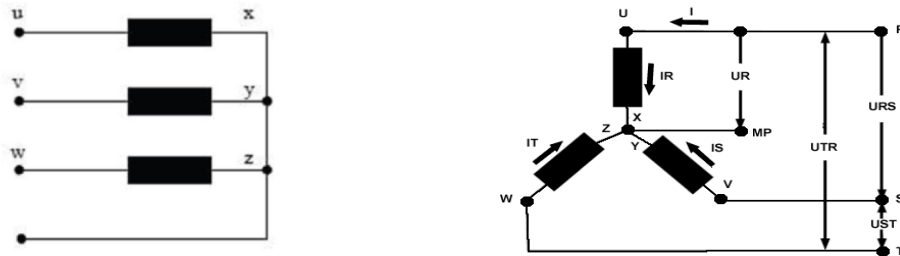
transformatörlerin çalışma prensibi bir fazlı transformatörler gibidir. Transformatörün primer sargılarına üç fazlı alternatif gerilim uygulandığında bu sargılar değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan, üstünde sekonder sargılarının da bulunduğu nüve üzerinden devresini tamamlar. Primere uygulanan alternatif gerilimin zamana bağlı olarak her an yön ve şiddeti değiştiğinden, oluşturduğu manyetik alanın da her an yön ve şiddeti değişir. Bu alanın sekonder sargıları kesmesi ile bu sargılarda alternatif bir gerilim indüklenir.



Şekil 2.3: Yıldız bağlı üç fazlı transformatör fazör diyagramı

Üç fazlı transformatörlerin birincil ve ikincil sargılarını ayrı ayrı yıldız (Y) veya üçgen (Δ) olarak bağlamak mümkündür. Üç fazlı transformatörlerin üst ve alt gerilim sargıları genel olarak yıldız ve üçgen olarak bağlanır.

Yıldız Bağlantı: Şekil 2.4'de görüldüğü üzere yıldız bağlamada nötr noktasının olması bir avantajdır ancak harmoniklerin bu noktada birikmesi önemli bir dezavantajdır. Yıldız bağlantıda, dengeli yüklemelerde, fazların akımları bir birine eşit olur. Sekonder kısım yükün bağlandığı kısım olduğundan yıldız bağlama genellikle bu sargılarda yapılır. Hat gerilimleri sargıların gerilimlerinden $\sqrt{3}$ kadar daha büyüktür.



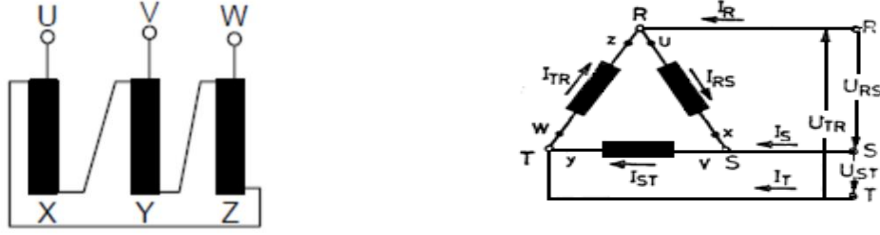
Şekil 2.4: Transformatör yıldız bağlantı

Dengeli yükte görünür güç

$$S = \sqrt{3} \cdot U_R \cdot I_R = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (2.3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Üçgen Bağlantı: Üçgen bağlantıda şekil 2.5'de de görüldüğü üzere nötr noktasının olmaması nedeniyle sadece simetrik yüklerde kullanılır ancak harmonikleri geçirmesi bu bağlantı şeklinin en önemli avantajıdır. Faz sargısı uç gerilimleri fazlar arası hat gerilimleriyle aynıdır. ($U_{RS}=U_R$) Hat akımı sargı akımının $\sqrt{3}$ katıdır. ($I_R=\sqrt{3}.I_{RS}$).



Şekil 2.5: Transformator üçgen bağlantı

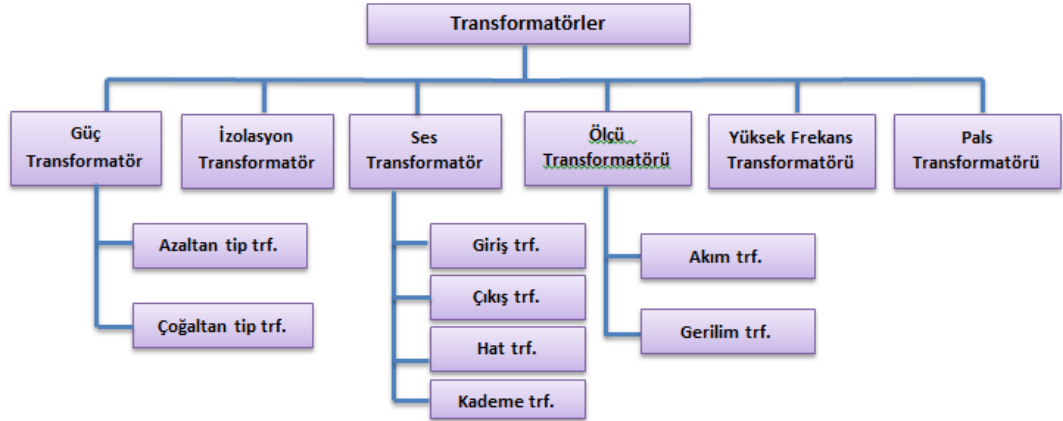
Dengeli yükte görünür güç

$$S = \sqrt{3}.U_{RS}.I_{RS} = \sqrt{3}.U.I \quad (2.4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

2.2 Kullanım Alanlarına Göre Transformator Çeşitleri

Transformatörler kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.6'da transformatörlerin kullanım alanlarına göre sınıflandırması yapılmıştır.



Şekil 2.6: Kullanım alanlarına göre transformatörler

2.2.1 Güç Transformatörleri

Bu tip transformatörler genellikle güç sistemlerinde kullanılan ve giriş gerilimini artırıp azaltan transformatörlerdir. Kendi içinde azaltan ve çoğaltan tip olmak üzere ikiye ayrılır:

Azaltan tip transformatörlerde primere uygulanan AC gerilimin sekonderden azaltılmış olarak elde edilmesini sağlayan transformatör çeşidine "azaltan tip transformatör" denir. Bu tip transformatörlerin primer sargısı ince kesitli tellerden ve çok sarımlı iken sekonder sargısı kalın kesitli ve az sarımlı olarak imal edilir.

Çoğaltan tip transformatörlerde primer sargıya uygulanan AC gerilimin sekonderden yükseltilmiş olarak elde edilmesinin sağlayan transformatör çeşidine "çoğaltan tip transformatör" denir. Bu tip transformatörlerde primer sargısı az sarımlı iken sekonder sargısı çok sarımlıdır.

2.2.2 İzolasyon Transformatörleri

Aynı güç hattına bağlı farklı iki elektronik cihaz ortak şase kullanılmak durumunda kalındığında şaseler arasında meydana gelebilecek ters bağlantının önüne geçmek için izolasyon transformatörleri kullanılır.

2.2.3 Ses Transformatörleri

Genellikle bu tip transformatörler ses frekansı (audio) yükseltici devrelerde empedans uygunluğunu sağlamak amacıyla kullanılırlar.

2.2.4 Ölçü Transformatörleri

Ölçü transformatörleri akımı veya gerilimi belli oranlarda küçülterek ölçmek amacıyla kullanılan transformatörlerdir. Yüksek alternatif akım ve gerilim değerlerini elektrikli ölçüm cihazları ile ölçmek oldukça zor ve tehlikelidir ve ölçüm cihazlarını doğrudan şebeke hattına bağlamak imkansızdır. Bu nedenle yüksek gerilim için uygun değerlerde yalıtım sağlayan ölçü transformatörlerine ihtiyaç duyulur.

Akım transformatörü: Akım transformatörü bağı olduğu devreden geçen yüksek akımı, istenilen oranda küçülterek sekonder terminallere bağı cihazları besleyen ve bu cihazları yüksek gerilimden izole eden bir ölçüm transformatörüdür. Primer akımı ile sekonder akımı arasındaki faz farkı yaklaşık sıfır derecedir ve ölçü aletleri sekonder sargıya seri olarak bağılanır.

Gerilim transformatörü: Gerilim transformatörü bağı olduğu devredeki yüksek gerilimi, istenilen oranda küçülterek, sekonder terminallere bağı cihazları besleyen ve bu cihazları yüksek gerilimden izole eden bir ölçüm transformatörüdür. Primerle sekonder gerilimleri arasındaki faz farkı yaklaşık olarak sıfır derecedir ve ölçü aletleri sekondere paralel bağılanır.

2.2.5 Yüksek Frekans Transformatörleri

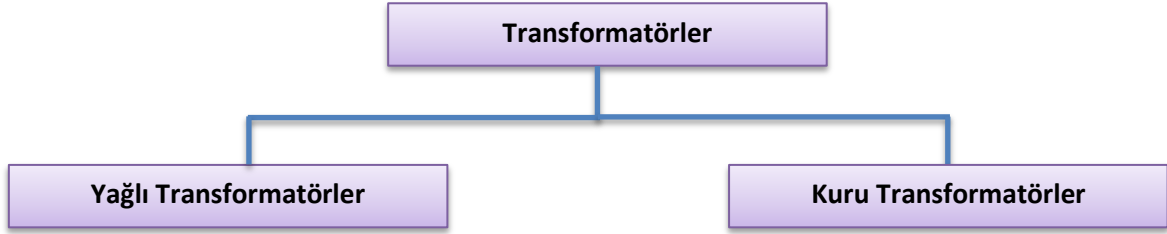
Yüksek frekans transformatörleri, ses frekans düzeyinin üst sınırı olan 20 KHz'in üzerindeki frekanslarda çalışırlar. Bu tür transformatörlere aynı zamanda "radyo frekans (RF) transformatörleri" denir. Radyo frekans transformatörleri gevşek kuplajlı olup kuplaj katsayısı 0,65 civarındadır. Radyo frekans transformatörü olarak kullanılan diğeri bir transformatör çeşidi "arafrekans (IF) transformatörü" dür. Bu transformatörler radyo frekans sınırları içerisinde olmak kaydıyla belirli ve dar bir frekans bandında çalışan transformatörlerdir.

2.2.6 Pals Transformatörleri

Darbe transformatörleri, darbe işaretini gürültüsüz olarak geçiren geniş frekans bantlı transformatörlerdir. Bu tip transformatörler AC/DC çevirici, DC/DC çevirici olarak özellikle telekomünikasyon sistemlerinde tercih edilirlar. Günümüzde PC'lerde modem kartları üzerinde sıkça kullanılırlar. Tristör ve triyak gibi elemanları tetikleme işlemi için kullanılırlar.

2.3 Soğutma Şekillerine Göre Transformatörler

Bütün makinalarda olduğu gibi transformatörlerde de sargı ve demirde kayıplar meydana gelir; bu kayıplar ısı şeklinde kendini gösterir. Meydana gelen ısının uygun bir şekilde ortama, yani havaya iletilmesi gerekir. Soğutucu ortam olarak yağ veya hava kullanılır. Şekil 2.4'de soğutma şekline göre transformatörler sınıflandırılmıştır. Genel olarak soğutma şekline göre transformatörler yağlı tip ve kuru tip olarak ikiye ayrılabilir.



Şekil 2.7: Soğutma şekline göre transformatörler

2.3.1 Yağlı Tip Transformatörler

Yağlı tip transformatörler orta ve büyük güçler için üretilirler. Yağlı tip transformatörler, hermetik ve genişleme depolu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Her iki tipte de transformatör sargıları tamamen yağın içindedir. Ancak hermetik tipte yağlı transformatörler atmosfere kapalıdır ve bakım gerektirmemektedir. Hermetik tipte yağlı transformatörlerde genişleme deposu bulunmamaktadır ve bulundurduğu kazan tümüyle yağ doludur. Hermetik tip transformatörler fabrika ortamında hermetik basınç ayarı yapılarak atmosfere kapatılmıştır. Yağın genişmesi elastik ve dalgalı olan kazan yapısıyla kontrol altına alınmıştır. Dalga duvarlar hem ısıyı dışarıya iletme, hem de genişleyip büzülme hareketleriyle genişleyen ilave yağ da absorbe etme görevi görürler. Transformatör yağı hava ile temas etmediği için ortamda oksijen yoktur. Dolayısıyla yağ oksitlenmeye maruz kalmamaktadır. Hava ile temas olmadığından transformatör yağı nemden etkilenmez. Bu nedenlerden ötürü hermetik tip transformatörler genişleme depolulara kıyasla daha uzun ömürlü

olmaktadır. Hermetik transformatörlerde genleşme deposu olmadığı için yükseklikleri genleşme depolara göre azdır. Bu da daha küçük alanlarda montaj imkanı sağlamaktadır. Genleşme depolu yağlı transformatörlerin bakımlarının periyodik yapılması gerekmektedir. Yağ atmosfer ile sürekli etkileşim halinde bulunduğundan yağın bozulması ve yalıtkanlık özelliğini yitirmesi gibi bir durum söz konusudur. Bu sebeple hermetik transformatörlere göre ömürleri daha kısadır. Genleşme depolu transformatörlerde belli aralıklar ile periyodik yağ değişimi ve aktif kısmın kurutulması işlemleri yapılması gerekmektedir. Şekil 2.8’de hermetik tipte yağlı transformatörlerin genel yapısı şekil 2.9’da ise genleşme depolu yağlı transformatörlerin iç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Hermetik tip yağlı transformatör yapısı



Şekil 2.9: Genleşme depolu yağlı transformatör yapısı

Bu tip transformatörlerde tranformatör yağı kontrolü düzenli bir şekilde yapılmalıdır. Tranformatörlerde kullanılan yağın çeşitli sebeplere dayanan deşarj ve yüke bağılı ısı farklılıklarından dolayı kimyasal yapısı zamanla bozulur yağ, izolasyon ve soğutma görevini yerine getiremez hale gelir. Bunun sonucunda transformatör sargılarının dayanımının düşerek arızalanmasına neden olur.

Bu nedenle yağın cam ya da paslanmaz bir kap ile numunesi alınarak dielektrik dayanımının (delinme geriliminin) ölçülmesi gerekir. Dielektrik dayanımı belirlenen standart değerlerin altında olan yağlar, ya filtre edilerek temizlenir ya da yenisi ile değıştirilir. Zaman içerisinde yağda biriken ve süspansiyon hâlinde yağda asılı kalan 10 mikron altı kirliliğın alışagelmiş filtreleme yöntemleri ile temizlenememesi ne yağın treatmentı (iyileştirilmesi) denir. Şekil 2.10'da kirli tranformatör yağı, birinci kademe filtrelemeden sonraki yağın hali ve ikinci kademe filtrelemeden sonra yağın hali gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Yağın filtrelenerek iyileştirilmesi

2.3.2 Kuru Tip Transformatörler

Kuru tip transformatörler ya atmosfer altında ya da gaz içinde çalışır. Kuru transformatörler genellikle vernik emdirilmiş ve dökme reçine ile örtülmüş transformatörlerdir. Gazlı türler, genellikle azot gazı içinde hapsolunmuştur. Bu tip transformatörlerde genellikle tabii soğutma uygulanır. Çünkü kuru tip transformatörler küçük güçlüdür ve kendi kendilerine soğuyabilmektedirler. Yüksek gerilimler için kuru tip transformatör yapmak havanın delinme dayanımının düşük olması nedeniyle oldukça zordur. Fakat özel yöntemler kullanılarak yapılan kuru tip yüksek gerilim transformatörlerinde zorlanmış soğutma uygulanır. Tabii soğutmada

hava transformatörün yüzeyine kendiliğinden çarparak ısınır ve yükselirken yerine soğuk hava kendiliğinden gelir. Zorlanmış soğutmada ise hava fanlar yardımıyla transformatöre üflenerek transformatörün soğutulması sağlanır. Şekil 2.11’de örnek bir kuru tip transformatör görülmektedir.



Şekil 2.11: Kuru tip transformatör

2.4 Transformatörlerde Kullanılan Yalıtım Malzemeleri

Yapılan araştırmalar transformatör arızalarının büyük bir kısmının yalıtım hatalarından kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle transformatör yalıtımı güç sistemlerinin sorunsuz işleyebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Katı ve sıvı yalıtım malzemelerinin birleşiminden oluşan yalıtım düzeni güç transformatörlerinde en sık kullanılan sistemdir. Bu malzemelerin elektriksel ve fiziksel özellikleri transformatörün yapısına ya da transformatörde kullanılacakları yere (sargı yalıtımı, YG ve AG sargıları arasındaki silindirler, baskı halkaları vb.) göre çeşitlilik gösterirler.

2.4.1 Katı Yalıtkanlar

Transformatörlerde kullanılan katı yalıtım malzemeleri temel olarak selüloz bazlıdır. Genellikle sülfat selülozu ve pamuk selülozu olmak üzere iki farklı tip selüloz malzeme kullanılır. Kâğıt, katı yalıtkanlar içinde yaygın olarak kullanılan en ucuz ve en iyi elektriksel yalıtım sağlayan malzemedir.

PresBoard: %100 sülfat selülozundan üretilen pesboard 0,1–1 mm arasındaki kalınlıklarda rulo halinde, 1–8 mm arası kalınlıklarda ise plakalar halinde üretilmektedir. Malzemenin yapısına bağlı olarak, %6–20 oranında yağ emdikten sonra delinme dayanımı 30–45 kV/mm arasında bir değere ulaşır bu sayede malzeme yüksek gerilim transformatörleri için kullanışlı bir hale gelir.

Lamine PresBoard: Kalınlıkları 2–5 mm kadar olan presboard plakaların özel tutkallar ile preslenerek yapıştırılmasından elde edilir. Yağ içindeki delinme dayanımı 110–120 kV/mm kadar olabilmektedir.

Kontraplaklar: Kontraplak (KP) malzemeler ise nispeten daha küçük güçlerde ya da daha küçük elektriksel zorlanmaya maruz kalan bölümlerde kullanılmaktadır. Yağ içindeki delinme dayanımları 60–70 kV/mm civarındadır.

2.4.2 Sıvı Yalıtkanlar

Sıvı yalıtkan malzemeler, güç transformatörlerinde genel olarak yalıtım, soğutma, ark söndürme, malzemeyi koruma gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Sıvı yalıtkanlar, transformatörlerde kısmi boşalmalar, arklar gibi nedenlerle çözünen gazları da içlerinde barındırırlar.

Madeni Yağlar: Petrol kökenli madeni yalıtım yağları, yapı malzemesiyle iyi uyum sağlamaları, yaşlanma davranışları, düşük viskoziteleri ve ucuz olmalarından dolayı güç transformatörlerinde kullanılmaktadır. Yalıtım yağının transformatörde işlevini yerine getirebilmesi için yağın aşağıdaki özelliklerine dikkat edilir.

- Delinme gerilimi: Yağın dayandığı gerilimin volt olarak değeridir.
- İç yüzey gerilimi: Yağ ve su yüzeyler arasında yağ film yüzeyini çekerken kopması için gereken kuvvettir. Kirli yağlarda bu kuvvet küçüktür.
- Güç faktörü: Yağa uygulanan AC gerilim ile akım arasındaki açının kosinüs değeridir. Yüksek olması yağın kirli olduğunu gösterir.
- Asit miktarı: Yağdaki sit içerikli maddelerin toplam miktarıdır. Asitlik yağın yalıtım özelliğini bozar.

- Su miktarı: Yağdaki su miktarının fazlalığı elektriksel dayanıma doğrudan etki eder.
- Viskozite: Sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozitesi düşük olan yağlar daha iyi soğutma sağlar.
- Renk ve Görünüş: Yağın temiz ve berrak olması gerekir rengin koyulaşması kirlenmeyi ve bozulmayı gösterir.

Esterler: Esterler, asit ve alkolün organik bileşiklerinden oluşturulurlar. Genel olarak doğal (naturel) ve sentetik olmak üzere iki tür ester bulunur. Sentetik esterlerin oksidasyon ve termal kararlılıklarının yüksek olması, yangın güvenliğinin ve çevresel endişelerin kritik olduğu uygulamalarda güç transformatörlerinde de tercih sebebi olmaktadır.

2.5 İşletme Aşamasında Transformatörün Ömrünü Etkileyen Faktörler

2.5.1 Aşırı Yükleme ve Sıcaklığın Etkisi

Tranformatörün aşırı yükte çalıştırılarak aşırı ısınmasına neden olunması tranformatörde kağıt, yağ ve diğer yalıtım malzemelerinin bozunmasına neden olmakta ve tranformatörün işletme ömrünü kısaltmaktadır. Ayrıca tranformatörün elektriksel ve mekanik dayanım azalmaktadır (Sezer,2014).

IEC-60076/2 Standardında bir tranformatör için izin verilen sıcaklık limitleri tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Transformatör sıcaklık limit değerleri

Isınan Bölge	Limit Sıcaklık	Tranformatörün Yapısı
Sargılar	<65 °C <65 °C <70 °C	ON Doğal Soğutmalı OF Cebri soğutmalı OD Cebri ve güdümlü yağ soğutmalı
Üst Yağ	<60 °C <55 °C	Genleşme tankı ve hermetic Genleşme tanksız ve hermetic olmayan
-Çekirdek -Bağlantılar -Metal Parçalar	Sıcaklıklar yukarıdaki limitlerin üstüne çıkmış ise bu parçalarda bir arıza olabilir.	
Göstergede okunan sıcaklık değerinden ortam sıcaklığı çıkarılır bulunan değer yukarıdaki Limit Sıcaklık’tan küçükse transformatör sıcaklığı normaldir.		

2.5.2 Oksijenin Etkisi

Tranformatörlerde yağ ve selüloz yapılı malzeme oksijen gazı ile oksidasyona uğramaktadır. Eğer transformatörün genişleme tankından hava ve nem girişi oluyorsa veya sirkülasyon pompasında kaçaklar varsa ya da transformatöre dışardan hava sızıyorsa yağın ve yalıtkan malzemelerin ömrü kısalmaktadır. Oksidasyonu engellemek amacıyla genişleme tankının üst kısmına koruyucu diyaframlar eklenerek transformatöre giren hava en az seviyeye indirilmektedir (Sezer,2014).

2.5.3 Suyun Etkisi

Tranformatörün kağıt yalıtımındaki suyun miktarı oldukça önemlidir ve kağıttaki nem miktarı sıcaklık miktarına göre artıp azalmaktadır. Fabrikada üretim aşamasında transformatörün sargıları kurutulmuş olarak içindeki nem oranı %0,5 ppm değerinin altına düşürülmektedir. Ancak işletme ve çevre koşullarına bağlı olarak su miktarı değişmektedir. Kağıt kısmındaki su miktarı %0,3 ppm olduğunda her 6 °C lik sıcaklık artışı transformatörün ömrünü 2 kat düşürmekte tersi durumda transformatör kağıdındaki nem oranı %5 ppm üzerine çıktığında transformatörün yalıtım düzeyi düşmekte ve transformatör ömrü 50 kat azalmaktadır. Tranformatör yağındaki su yağın elektriksel direncini azaltmakta ve asidik maddelerle birleşerek güç faktörünün değişmesine neden olmaktadır (Sezer,2014).

2.5.4 Korozyon Etkisi

Özellikle düşük kaliteli transformatör yağlarında kükürtlü bileşik miktarı fazladır ve bu bileşikler bakır ve gümüş gibi metallerle karşı korozyon etkisi yaparak aşınmalara neden olmaktadır. Ayrıca korozyon sonrası kağıt gibi selülozik yalıtkanlar üzerinde iletken yollar oluşarak elektriksel deşarjlara neden olmaktadır. Tranformatörde korozyona neden olan etmenler şunlardır (Sezer,2014);

- Aşırı yükte çalışma
- Kapalı ortamda bulunma
- Bakır sargıların cilasız olması

- Düşük kaliteli yağ kullanımı
- Transformatörün sıcak ve nemli ortamlarda çalışması

2.5.5 Bakırın Katalitik Etkisi

Yapılan araştırmalar sonucunda bakırın, tranformatör yağının oksidasyonu sırasında katalizör görevi görerek oksidasyonu hızlandırdığı görülmüştür. Gerçekleştirilen bir deneyde bakır bir deney tüpü ve alüminyum bir deney tüpü yağ ile doldurulup 100 °C'de bekletilmiştir. Bakır deney tüpündeki yağ 175 saat sonra; alüminyum deney tüpündeki yağ ise 2000 saat sonra çamurlaşmaya başlamıştır. Bu deney de de görüldüğü üzere bakır bir katalizör etkisi yaparak kimyasal süreci hızlandırmaktadır (Sezer,2014).

2.5.6 Asitik Maddelerin Etkisi

Tranformatör yağının oksidasyonu sırasında birçok asidik madde de açığa çıkar bu maddeler korozotif etki yaparak metal kısımların aşınmasına neden olur; yağın izolasyon özelliğini azaltır; kağıt yalıtkanının daha fazla su emmesine neden olur; kağıt ve selüloz gibi yalıtkanların bozunma sürecini hızlandırır.

3. GÜÇ TRANSFORMATÖR HATALARI

3.1 Transformatör Arızaları

Transformatör arızaları genel olarak elektriksel deşarj, korona, selüloz aşırı ısınması ve yağ aşırı ısınması şeklinde dört kategoride incelenebilir. Bu hataların bir ya da birden fazla nedeni olabilmektedir. Transformatör arızaları ve muhtemel sebepleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 3.1: Güç transformatörü arızaları tablosu

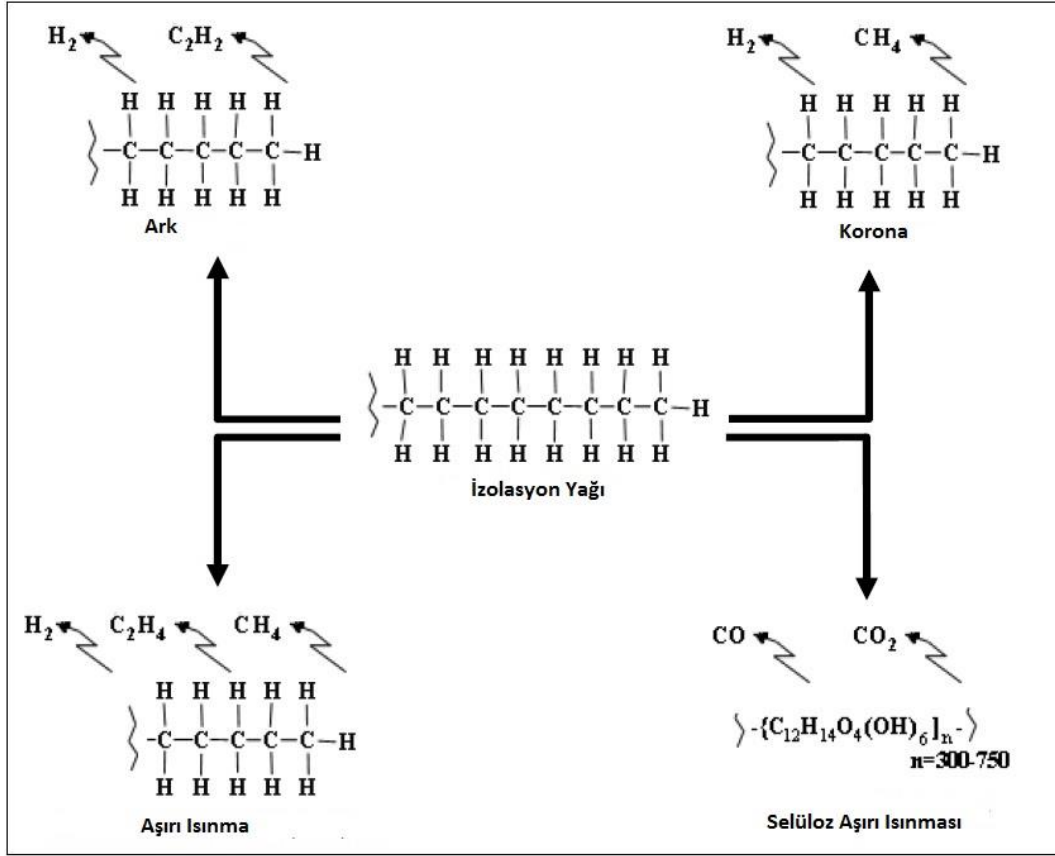
Sebepler	Hatalar			
	Elektriksel Deşarj	Korona	Selüloz Aşırı Isınması	Yağ Aşırı Isınması
Sarım-Sarım Kısa Devre	√		√	
Sargı Açık Devre	√		√	
Kademe Değitirme Operasyonu	√			
Sargı Bozunması yada Yer Değitirmesi		√	√	
Sargı Başları Bozunması yada Yer Değitirmesi		√	√	
Buşinglerde Bağlantı Sorunu	√	√	√	
Yağda Su yada Nem Bulunması	√	√		
Yağ İçerisinde Metal Parçacıklar	√	√		
Korona Yalıtımı Bağlantısı Sorunu		√		
Sıkma Bileziklerindeki Sorunlar		√		
Aşırı Yüklenme			√	√
Cıvata İzolasyonundaki Sorunlar				√
Çekirdekte Paslanma ve Diğer				√
Tanktaki Hasarlar				√
Yağ Sirkülasyonundaki Tıkanıklık				√
Soğutma Sistemi Sorunları				√

3.2 Yağda Çözünmüş Gaz Analizi Yöntemi

Transformatörde meydana gelen aşırı elektriksel baskı yada termal baskı sonucu transformatör yağında ya da selüloz gibi transformatörde kullanılan yalıtım malzemelerinde bozunmalar gerçekleşebilir. Bunun sonucunda da açığa bazı gazlar çıkar. IEC 60599 (International Electrotechnical Commission) standardına göre bu gazlar; hidrojen (H_2), Oksijen (O_2), Nitrojen (N_2), Metan (CH_4), Etan (C_2H_6), Etilen (C_2H_4), Asetilen (C_2H_2), Karbondioksit (CO_2) ve Karbonmonoksit (CO)'tir. Transformatör yağı içinde çözünmüş şekilde bulunan bu gazlar transformatörün durumu hakkında birçok bilgi barındırır. Çözünmüş Gaz Analizi Yöntemi (YGA) yağda çözünmüş bu gazların analiz edilerek transformatörün mevcut durumu hakkında çıkarımlar yapılmasını sağlayan bir yöntemdir.

Transformatör içindeki yağın görevi dielektrik bir ortam oluşturarak izolasyonun sağlanması ve ısının yayılmasının sağlayarak transformatörün soğumasına yardımcı olmaktır. Aktif halde çalışan bir transformatörün mevcut durumu ile ilgili bir çok bilgi transformatörü durdurmadan alınacak bir miktar yağ örneklemeyle elde edilebilmektedir. Böylece herhangi bir arıza oluşmadan gerekli önlemler alınabilmektedir.

Transformatörlerde kullanılan yağ, parafin denilen doymuş hidrokarbonlardan oluşur. Hidrokarbon molekülleri karbon-karbon, karbon-hidrojen bağlarıyla birbirine bağlıdır. Herhangi bir termal ya da elektriksel arıza durumunda bu bağlar kırılır ve yeniden oluşur. Bu sırada başka bileşikler açığa çıkar. Aşağıdaki şekilde dört temel arıza durumu ark, korona, selülöz aşırı ısınması ve yağ aşırı ısınması durumlarında hangi gazların ortaya çıktığı görülmektedir. Düşük enerji arızalarında C-H bağları kırılırken yüksek enerji arızalarında C-C bağlarının da kırıldığı görülmektedir.



Şekil 3.1: Transformatör arıza tipleri ve açığa çıkan gazlar

Transformatör mevcut durumu hakkında bilgi edinmede ve arıza türünü belirlemede YGA yöntemini kullanarak geliştirilen bir çok matematiksel metot bulunmaktadır. Bu metotlardan bazıları tek başına belli gaz miktarlarını kullanırken, bazıları da gazların birbirlerine oranlarını dikkate almaktadır. YGA'ya dayanan ve en çok bilinen metotlar: Roger Gaz Oranları, Doerenburg Gaz Oranları, IEC Temel Gaz Oranları ve Duval Üçgeni metotlarıdır.

3.2.1 Roger Gaz Oranları Yöntemi

1974 yılında Ron Rogers tarafından geliştirilen bu yöntemde C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6 , C_2H_6/CH_4 olmak üzere 4 gaz oranına dayanan bir kodlama sistemi ile 15 transformatör hata tipine göre analiz gerçekleştirilmektedir. Yöntemde meydana gelen gaz miktarları belirlenir ve oranları alınarak Tablo 3.2'de belirtilen aralık değerlerine göre hata kodları belirlenir ve daha sonra Tablo 3.3'te tecrübeler sonucu elde edilen uzman görüşlerine dayanan arıza tipleri ve arıza kodları belirlenir.

Tablo 3.2 Roger Gaz Oranları kod tablosu

C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_6/CH_4	Aralık
0	5	0	0	<0.1
1	0	0	0	0.1-1
1	1	1	1	1-3
2	2	2	1	>3

Tablo 3.3 Roger Gaz Oranları hata kodları ve arıza tipleri

0	0	0	0	Normal
0	5	0	0	Düşük Enerji Yoğunluğu-Kısmi Deşarj
1	5	0	0	Yüksek Enerji Yoğunluğu-Kısmi Deşarj
0	5	1	0	Rastlantısal kısmi Deşarj ve iletken ısınması
0	5	0	1	Enerji Yoğunluğu Artışı Kısmi Deşarj
1>2	0	0	0	Düşük Enerji Deşarj
1>2	0	1	0	Düşük Enerji Deşarj
1>2	0	2	0	Yüksek Enerji Deşarj
0	0	1	0	Yalıtılmış iletken ısınması
0	0	1	1	Karmaşık ısı yoğunlaşması ve iletken ısınması
1	0	0	1	Rastlantısal ısı yoğunlaşması ve düşük enerji deşarjı
1	1	0	0	Rastlantısal ısı yoğunlaşması ve düşük enerji deşarjı
0	1	0	0	Isı Hatası (<150 ⁰ C)
0	0>2	0	1	Isı Hatası(100 ⁰ C-200 ⁰ C)
0	1	1	0	Isı Hatası (150 ⁰ C-300 ⁰ C) girdap akımlarından
0	1>2	2	0	Isı Hatası (300 ⁰ C-700 ⁰ C)

3.2.2 IEC-Temel Gaz Oranları Yöntemi

Endüstriyel uygulamalar, gerçekleştirilen testler ve edinilen tecrübeler doğrultusunda Roger's Ratio metodu IEC 599 Standardına dönüştürülmüştür. Roger Gaz Oranları yönteminden farklı olarak, C_2H_6/CH_4 oranı sadece sınırlı bir sıcaklık aralığını ilgilendirdiğinden IEC Temel Gaz oranları yönteminde dikkate alınmamıştır. IEC 599 standardı 1996 yılında revize edilmiştir ve bugün en çok kullanılan transformatör arıza analiz metodudur. Tablo 3.4'te gaz oranları aralıklarına göre belirlenmiş hata kodları görülmektedir Tablo 3.5'te ise hata kodlarının karşılığı olan arıza tipleri verilmektedir.

Tablo 3.4 IEC kod tablosu

C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6	Aralık
0	1	0	<0.1
1	0	0	0.1-1
1	2	1	1-3
2	2	2	>3

Tablo 3.5 IEC arıza tablosu

Normal	0	0	0
Düşük enerji yoğunluğu kısmi deşarj	NS	1	0
Yüksek enerji yoğunluğu kısmi deşarj	1	1	0
Düşük enerji deşarjı	1-2	0	1-2
Yüksek enerji deşarjı	1	0	2
Termal Hata <150 ⁰ C	0	0	1
Termal Hata 150 ⁰ C<300 ⁰ C	0	2	0
Termal Hata 300 ⁰ C<700 ⁰ C	0	2	1
Termal Hata >700 ⁰ C	0	2	2

3.2.3 Duval Üçgen Yöntemi

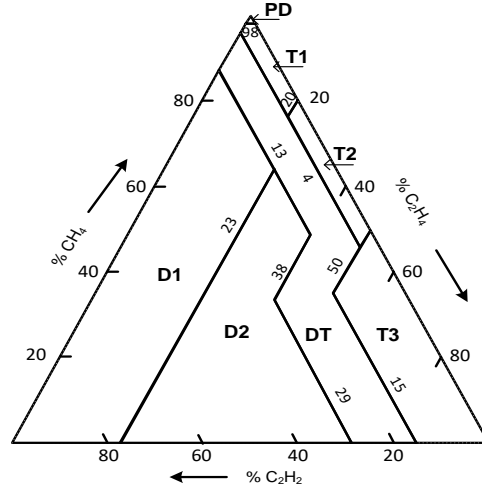
1970'lerde geliştirilen Duval Üçgen Yönteminde metan (CH_4), asetilen (C_2H_2) ve etilen (C_2H_4) gaz konsantrasyonlarının (ppm olarak) yüzde değerleri kullanılmaktadır. Denklem 3.1, 3.2, ve 3.3'te gaz konsantrasyonlarının nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

Duval üçgeninin kullanımı şekli şöyledir: Öncelikle üçgenin üç kenarını x, y, z koordinatları gibi düşünebiliriz. Üç gazın yüzde oranlarını bu koordinatlardan bulup $CH_4\%$ için C_2H_2 ye bir paralel doğru, $C_2H_4\%$ için CH_4 'e bir paralel doğru ve $C_2H_2\%$ için C_2H_4 'e bir paralel doğru çizilir Bu doğruların üçgen üzerinde kesişimi arıza türünü gösterir. Tablo 3.6'da Duval üçgeni arıza sınır değerleri verilmektedir.

$$\%CH_4 = \frac{100 \times x}{x + y + z} \quad (3.1)$$

$$\%C_2H_2 = \frac{100 \times z}{x + y + z} \quad (3.2)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 \times y}{x + y + z} \quad (3.3)$$



Şekil 3.2: Duval Üçgen diyagramı

Tablo 3.6: Duval Üçgeni arıza sınır değerleri

Arıza Türü	Arıza Tanımı	%CH ₄	%C ₂ H ₄	%C ₂ H ₂
KD	Kısmi Deşarj	98	-	-
D1	Düşük Enerjili Deşarj	-	23	13
D2	Yüksek Enerjili Deşarj	-	23-38	13-29
T1	Termik Arıza T<300 °C	-	10	4
T2	Termik Arıza 300<T<700 °C	-	10-50	4
T3	Termik Arıza T>700 °C	-	50	15

3.2.4 Kılavuz Gazlar Yöntemi

Kılavuz Gazlar Yönteminde yağda çözünmüş gaz seviyeleri dikkate alınmaktadır. Bu gazların konsantrasyonlarının belirli limitler dışında olması durumunda hata durumu oluşmaktadır. Tablo 3.7’de Kılavuz Gazlar Yönteminde açığa çıkan gazlar ve bu gazların normal, anormal sınır değerleri ile bu değerlerin aşılması durumunda oluşan arıza tipleri verilmektedir.

Tablo 3.7: Kılavuz Gazlar Yöntemi arıza tablosu

Gaz	Normal	Anormal	Arıza Türü
H ₂	<150 ppm	>1000 ppm	Korona Deşarjı, Kısmi Deşarj
CH ₄	<25	>80	Ark ve Aşırı Isınma
C ₂ H ₆	<10	>35	Termik Arıza
C ₂ H ₄	<20	>100	Termik Arıza
CO	<500	>1000	Selülozun Isınması
CO ₂	<1000	>15000	Selülozun Isınması
O ₂	0.2-3.5%	>0.5%	Bağlantı Gevşekliği

4. BULANIK MANTIK VE ÖZ DÜZENLEMELİ HARİTALAMA YÖNTEMİ

4.1 Bulanık Mantık

Kuantum teorisyenleri, iki değerli klasik mantık sistemlerinin ‘doğru’ ve ‘yanlış’tan oluşan değer kümesine, bir üçüncü veya orta doğruluk değeri ekleyerek ‘belirlenemezlik’in ifade edilebilmesine imkan sağlamışlardır. Bu durum bulanık mantığın doğmasını sağlamıştır. Bulanık mantığın ardındaki temel fikir, bir önermenin ‘doğru’, ‘yanlış’, ‘çok doğru’, ‘çok yanlış’, ‘çok çok doğru’, ‘çok çok yanlış’, ‘yaklaşık olarak doğru’, ‘yaklaşık olarak yanlış’, v.b. gibi olabileceğidir.

Bulanık mantık, ilk defa 1960 yılında, Dr. Lotfi Zadeh tarafından, doğal dildeki belirsizliği modellemek için ortaya konulmuştur. İlk kez 1973 yılında, H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulanmış ve ticari olarak da, 1980 yılında, Danimarka’daki bir çimento fabrikasının fırınına kontrol etmede kullanılmıştır.(Çobanoğlu,2000)

Zadeh’ e göre bulanık mantık çoklu değerlidir. Klasik mantığın 0 – 1 önermelerine karşılık bulanık mantık, üç veya daha fazla sayıda önerme oluşturur (Güneş, 1997).

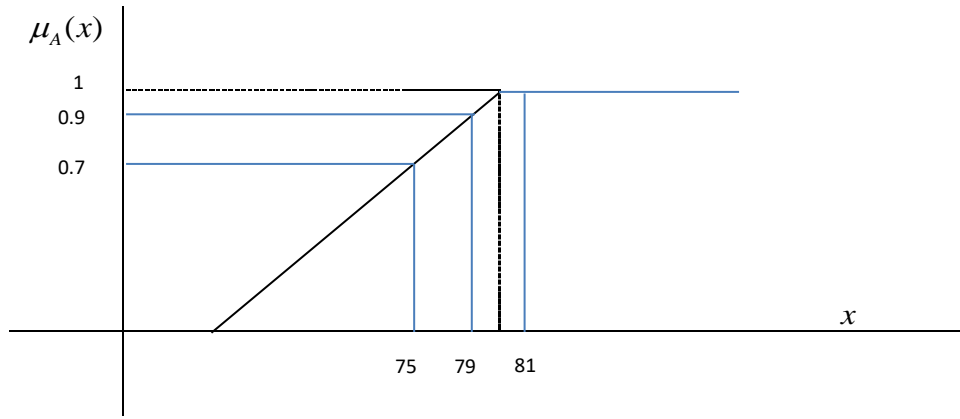
Tablo 4.1: Klasik Mantık-Bulanık Mantık arasındaki temel farklılıklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Tablo 4.1’de Bulanık Mantık ve Klasik Mantık arasındaki farklılıklar verilmektedir. Klasik mantıkta büyüklük-küçüklük, uzunluk-kısalık gibi kavramların kesin sınırları vardır. Günlük konuşma dilini kullanan bulanık mantıkta, dilsel değişkenler yardımıyla çok büyük, orta büyüklükte, çok küçük gibi günlük

hayatımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta denetim sağlanabilmektedir. Böylece doğrusal olmayan, matematiksel olarak modellenemeyen problemler bulanık mantık yöntemiyle çözülebilmektedir.

Örneğin bir insanın şişman sayılabilmesi için alt sınır 80 kg ise klasik mantıkta 81 kg'lık bir insan şişmanken 79 kg ağırlığındaki biri şişman değildir. Görüldüğü gibi ne kadar şişman sorumuzun cevabını klasik yaklaşımda bulamamaktayız. Bulanık mantık yaklaşımında şişmanlığı az şişman çok şişman gibi derecelendiren ifadelerle tanımlayabilmekteyiz. Bu derecelendirme işlemi sonucu bulanık mantık kümeleri oluşmaktadır. Şişman kümesinde şişmanlığın derecesi 0 ile 1 arasındaki sonsuz sayıda üyelik derecesi ile gösterilebilmektedir.



Şekil 4.1: Üyelik derece fonksiyonu

Klasik yaklaşımda şişmanlık kümesinde 79 kg'lık bir insan bulunmazken Şekil 4.1'deki üyelik derece fonksiyonunda da görüldüğü üzere bulanık mantıkta 79 kg ağırlığındaki bir insan 0.9 üyelik derecesiyle gösterilebilmektedir. Buradaki $\mu_A(x)$ ifadesi üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

Eğer $A, R \in (-\infty, +\infty)$ 'de söz konusu kümenin bir elemanı ise, $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu $R \rightarrow [0,1]$ aralığında bir değer almaktadır.

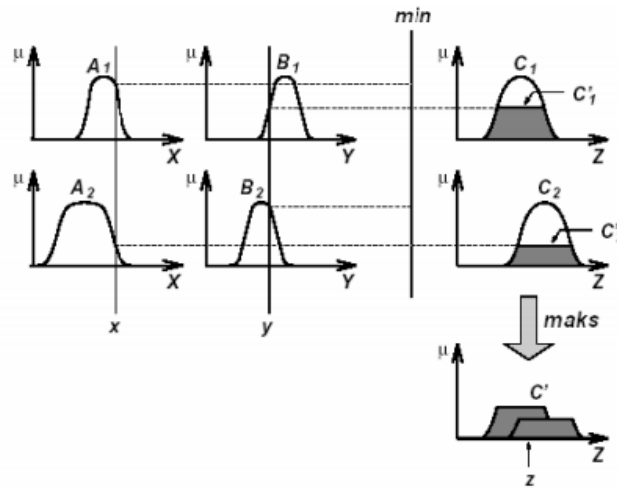
Bulanık mantıkta üç temel adım bulunmaktadır:

- Bulanıklaştırma da denilen girdi ve çıktı kümelerinin üyelik derece fonksiyonlarının oluşturulması,
- Kural seti oluşturularak girdi ve çıktı arasında bir ilişki yaratılması
- Çıktı kümelerinden somut bir çıktı elde edilmesidir.

Bulanık mantık yönteminde yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bunlar; Mamdani ve Sugeno yöntemleridir.

4.1.1 Mamdani Yöntemi

Mamdani yöntemi, yaygın olarak kullanım alanı olan, uzman bilgisi gerektiren ve her türlü problemin çözümüne uygulanabilen bir bulanık mantık yöntemidir.



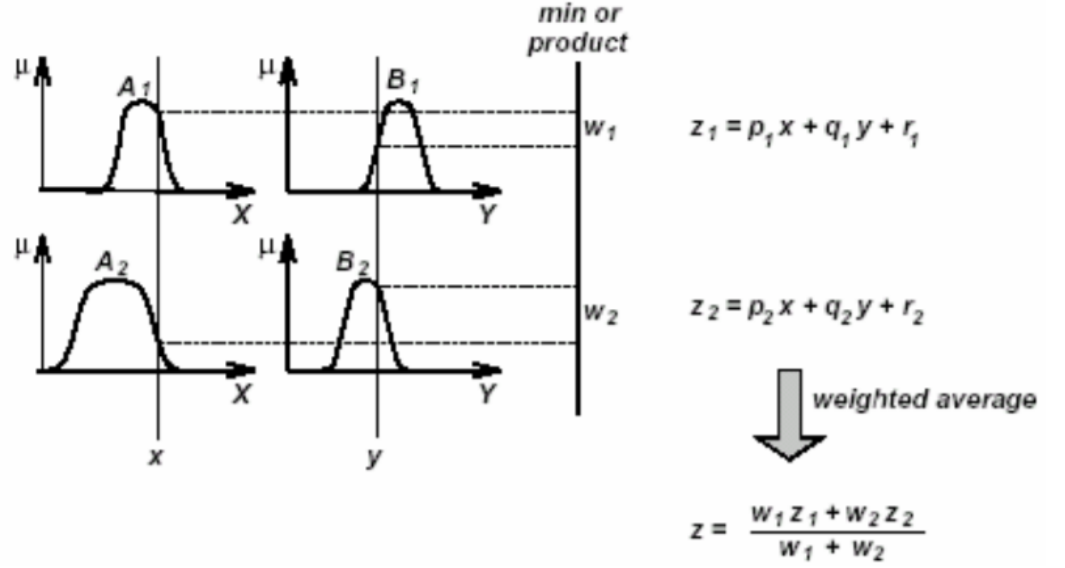
Şekil 4.2: Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi (Akyılmaz,2005)

Kural 1: Eğer $x = A_1$ VE $y = B_1$ İse $z = C_1$
Kural 2: Eğer $x = A_2$ VE $y = B_2$ İse $z = C_2$

Şekil 4.2’de Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi görülmektedir. Bulanık VE(Kesişim) ve VEYA(birleşim) işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanılarak sonuca ulaşılmakta bulanık mantık kural setleri kullanılarak her bir çıktının minimum sağlanma derecesi belirlenmektedir.

4.1.2 Sugeno Yöntemi

Bir çok açıdan Mamdani yöntemine benzerlik gösteren Sugeno yöntemi 1985 yılında Takagi-Sugeno-Kang tarafından geliştirilmiştir. Sugeno modelinde Mamdani'den farklı olarak çıkış üyelik fonksiyonu üçgen, yamuk gibi herhangi bir şekle sahip bir bulanık küme değildir. Katsayılar ve girişlerden oluşan bir polinom şeklindedir.



Şekil 4.3: Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi (Karakuzu, 2006)

Eğer x ve y ise O Halde $z=f(x,y)$

Sugeno modelinde her kuralın sonucu fonksiyon tarafından hesaplanan kesin bir değerdir. Bu nedenle çıkış, her bir kural sonucunun ağırlıklı ortalaması olarak bulunabilir.

4.2 Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi

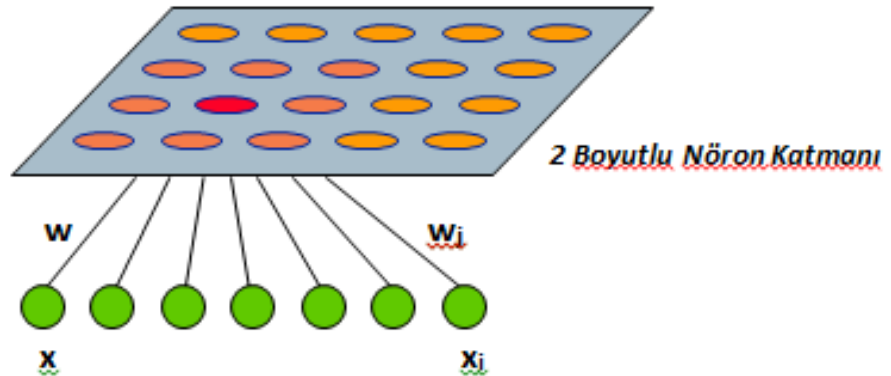
Yapay zeka yöntemlerinde insan beyninden esinlenilmiş ve bir sorunu çözmek, bir olayı sınıflandırmak veya bir durumda karar vermek için beynimizde kullanılan yöntemler incelenerek, makine öğrenmesi algoritmaları geliştirilmiştir. Makinelerde gözetimli ve gözetimsiz olmak üzere iki türlü öğrenme yaklaşımı bulunmaktadır.

Gözetimli (Supervised) Öğrenme Yaklaşımı: Öğrenme sürecinde veriler ve bu verilerin sonuçları vardır. Doğru sonucu bilinen veri setleri ile eğitim yapılır. Doğru değerlere ulaşabilmek amacıyla ağıdaki ağırlıklar güncellenir. Bu öğrenme yaklaşımına örnek olarak Destek Vektör Makineleri verilebilir.

Gözetimsiz (Unsupervised) Öğrenme Yaklaşımı: Öğrenme sürecinde sonucu olmayan veriler kullanılır. Sınıflama tamamen verilerin benzer özelliklerine göre yapılır. Ağın öğrenme sürecinde eğitim grubundaki verilerin özelliklerini keşfetmesi beklenir. Bu öğrenme yaklaşımına örnek olarak Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi verilebilir.

ÖDH yöntemi gözetimsiz öğrenme yaklaşımını kullanan bir yapay zeka ağı türüdür. 1982 yılında Teuvo Kohanen tarafından geliştirilen bu modelde çok boyutlu verinin daha düşük boyutlu olarak görselleştirilmesi sağlanır. Böylece verinin analizi ve görselleştirilmesi daha kolay hale gelir.

Öz Düzenlemeli Haritalama yöntemi 'Node' yada 'Nöron' denilen yapılar içerir. Bu yapıların her biri girdi vektörü ile aynı boyutta ağırlık vektörleri ile ilişkilidir. Nöron katmanı girdi ve ağırlık vektörleri Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Burada w_j ağırlık vektörlerini göstermektedir. Ağırlık vektörleri $w_j = [w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn}]$ şeklinde olup $j=1, 2, \dots, m$ 'dir ve m nöron sayısını göstermektedir. Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere çok boyutlu girdi vektörü x_i iki boyutlu nöron katmanına haritalanarak gösterimi sağlanmaktadır.



Şekil 4.4: Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi

Veri setindeki bir girdi vektörünü 2 boyutlu bir alana haritalayabilmek için o girdi vektörüne en yakın ağırlık vektörünün bulunması gerekir. Bu duruma ÖDH yönteminin rekabetçi öğrenme özelliği denir.

Nöronlar ile veri katmanı arasındaki mesafeyi ölçmek için genellikle denklem 4.1’de gösterilen öklid yöntemi kullanılır. Bunun yanında Manhattan (MH), Cosine (COS) gibi yöntemler de vektörler arasındaki uzaklığı hesaplamada kullanılabilir.

Öklid yönteminde vektörler arasındaki uzaklığı hesaplanmak için 4.1’deki eşitlik kullanılır.

$$d_{a,b} = \sqrt{\sum_i (a_i - b_i)^2} \quad (4.1)$$

Burada $a=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ve $b=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ olmak üzere a ve b vektörleri arasındaki uzaklık vektörler arasındaki farkın karesinin kare kökü alınarak hesaplanmaktadır.

Yine $a=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ve $b=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ vektörleri olmak üzere bu iki vektör arasındaki Manhattan uzaklığı denklem 4.2 gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$MD_{a,b} = |a_1 - b_1| + |a_2 - b_2| + \dots + |a_n - b_n| \quad (4.2)$$

$$= \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|$$

Burada her bir vektör bileşenin arasındaki farkın mutlak değerlerinin toplamı alınarak hesaplama yapılmaktadır.

4.3 Öz Düzenlemeli Haritalama Ağının Eğitimi

ÖDH ağının eğitiminde sıralı ve yığın eğitim, olmak üzere iki türlü yaklaşım vardır.

4.3.1 Sıralı Eğitim Yaklaşımı

Sıralı eğitim klasik ÖDH yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda kazanan nöron bulunur, komşuluk yarıçapı dikkate alınarak komşu nöronlar belirlenir. Kazanan nöronun ve komşu nöronların ağırlık vektörleri güncellenir. Bu yaklaşımda veri setinin sisteme verilme sırası önem kazanır ve hesaplama yükü daha fazladır.

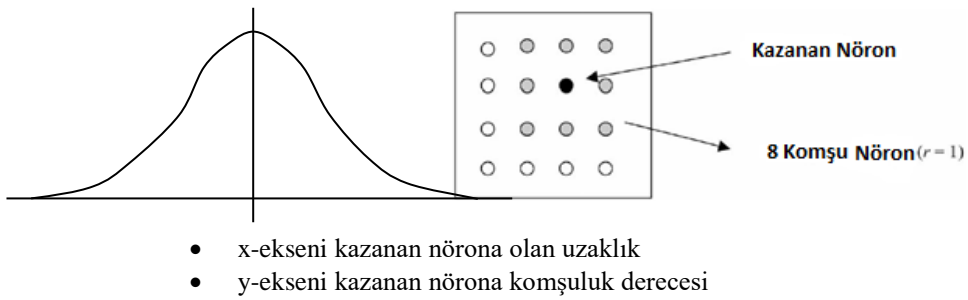
Sıralı eğitim yaklaşımında ağırlık vektörlerine başlangıç ataması yapıldıktan sonra girdi vektörü ile ağırlık vektörleri arasındaki uzaklık denklem 4.1 kullanılarak hesaplanır. Daha sonra denklem 4.3 kullanılarak uzaklığı en küçük olan nöron kazanan nöron olarak belirlenir.

$$d_c(t) = \min d_k(t) \quad (4.3)$$

Daha sonra kazanan nöron ve komşu nöronların ağırlıkları 4.4 denklemini kullanılarak güncellenir.

$$W_k(t+1) = W_k(t) + \alpha(t) \cdot h_{ck}(t) \cdot [x(t) - W_k(t)] \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te $\alpha(t)$ öğrenme oranıdır ve $0 < \alpha(t) < 1$ aralığında bir değer alır ve her iterasyonda azalır. $h_{ck}(t)$ ise komşuluk fonksiyonudur ve genellikle Gaussian fonksiyonu (denklem 4.6) olarak alınır. Her iterasyonda komşuluk derecesi üssel olarak düşer ve komşu nöronlar girdi vektörüne daha da yaklaşır. Bu durum her iterasyonla devam eder.



Şekil 4.5: Komşuluk fonksiyonu

$$h_{ck}(t) = e^{\frac{-\|rk-rc\|^2}{\sigma(t)^2}} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te rk , k 'nci nöron ve rc kazanan nöronun koordinatlarını; $\sigma(t)$ ise komşuluk genişliğini ifade etmektedir. Komşuluk genişliği başlangıçta tüm nöronları içine alacak şekilde başlanır ve azaltılarak devam edilir.

Öğrenme oranı ve komşuluk genişliği, ÖDH yönteminde kullanılan iki önemli parametredir. Bu parametreler eğitim esnasında zamanla azalan bir şekilde seçilmelidir. Bu parametrelerin optimum seviyede seçilmesi ağın başarısı için çok önemlidir.

4.3.2 Yığın Eğitim Yaklaşımı

Yığın eğitimi yaklaşımda güncellemeler eğitim sürecinden sonra ertelemeli olarak uygulanır ve öğrenme oranı ihmal edilebilir.

Yığın eğitimi yaklaşımda ağırlık vektörlerine başlangıç ataması yapıldıktan sonra denklem 4.1 ve 4.2 kullanılarak girdi vektörleri ve ağırlık vektörleri arasındaki uzaklık hesaplanır ve ilgili girdi vektörü için kazanan nöron belirlenir. Bu süreç diğer veriler için de tekrarlanır.

Daha sonra kazanan nöron ve komşu nöronların ağırlıkları aşağıdaki denklem 4.6 ile güncellenir.

$$W_k(tf) = \frac{\sum_{t=t_0}^{t=tf} h_{ck}(t)x(t)}{\sum_{t=t_0}^{t=tf} h_{ck}(t)} \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da t_0 ve tf iterasyonun başını ve sonunu, $h_{ck}(t)$ ise komşuluk fonksiyonunu ifade etmektedir.

4.4 Bulanık Mantık Uygulanmış Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemi

Klasik ÖDH yönteminin kullanıldığı uygulamalarda görülmüştür ki yapılan sınıflandırmalarda herhangi bir gruba dahil olamamış ve komşu gruplar arasında kalmış veriler mevcuttur. Ayrıca klasik ÖDH yöntemindeki bu keskin sınırlara dayanan sınıflandırma nedeniyle verilerin bir kısmı yanlış gruplara dahil

edilmektedir. Klasik ÖDH yönteminde daha hassas bir sınıflandırma yapabilmek için bulanık mantık yönteminden faydalanılmaktadır. Böylece veriler tek bir grup yerine üyelik dereceleri oranında başka gruplara da dahil olabilmektedir. ÖDH yönteminin kendi kendine öğrenme ve görselleştirme gücünü bulanık mantığın sınıflandırmadaki hassasiyetiyle birleştirerek daha etkili bir analiz yöntemi elde edilmektedir.

Bulanık mantığın Yığın ÖDH metoduna uygulanması denklem 4.7’de verilen üyelik derecelendirme fonksiyonu ile yapılmaktadır. Bu formülde her girdi vektörünün ağırlık vektörlerine olan uzaklığı $[0,1]$ aralığındaki bir üyelik derecesiyle gösterilmektedir. Üyelik derecesi girdi vektörünün ilgili ağırlık vektörüne uzaklığının tüm ağırlık vektörlerine uzaklıklarının toplamına bölünmesiyle elde edilir. Bir girdi vektörünün üyelik dereceleri toplamı 1’e eşittir.

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (4.7)$$

Bu denklemde, $1 < i < c$, c ağırlık vektörlerinin sayısını
 $1 < k < n$, n girdi sayısını
 $m > 1$, m fuzzifier parametresini
göstermektedir.

Bütün girdi vektörlerinin ağırlık vektörlerinin tamamına olan uzaklıkları hesaplanır. Üyelik dereceleri atandıktan sonra yığın eğitilmiş ÖDH yöntemin ağırlık vektörlerinin güncellenmesi süreci, üyelik dereceleri baz alınarak, Khalilia ve Popescu (2012)’de ilişkiel veri seti için uygulanan formül aşağıdaki denklem 4.8 ile transformatör arızaları veri setine uygulanır. Burada artık kazanan nöron üyelik derecesi en büyük olan nörondur.

$$W_k(t_f) = \frac{\sum_{t=t_0}^{t=t_f} (h_{ck}(t) * x(t) * (u_{ik})^m)}{\sum_{t=t_0}^{t=t_f} (h_{ck}(t) * (u_{ik})^m)} \quad (4.8)$$

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında öz düzenlemeli haritalama (ÖDH) yöntemi ifadesi kullanıldığında yığın eğitilmiş öz düzenlemeli haritalama yöntemi anlaşılmalıdır.

5. GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ HATALARININ ANALİZİ

Bu tez çalışmasında transformatör arızalarının zamanında ve doğru bir şekilde tespitinde etkili bir yöntem olabileceği düşünülerek bulanık mantık uygulanmış öz düzenlemeli haritalama yöntemi transformatör arıza tespitinde kullanılmıştır. Bu doğrultuda Transformatörün mevcut durumu hakkında veriler içeren yağda çözülmüş H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ gazlarının ppm olarak miktarlarını içeren 201 örneklilik bir veri seti kullanılmıştır. Veriler literatürdeki çalışmalardan ve TEİAŞ tarafından raporlanan verilerinden elde edilmiştir. Verilerin 127 adedi deşarj hatası, 22 adedi normal ve 52 adedi termal hatadan oluşmaktadır.

Çalışmada öncelikle verilerin bulanık mantık analizi yapılmıştır. Bu analizde IEC kuralları bulanık mantığa uyarlanmıştır. Daha sonra verilerin klasik öz düzenlemeli haritalama analizi ve ardından da her iki yöntemin birleşimi olan bulanık mantık uygulanmış öz düzenlemeli haritalama yöntemine göre analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak çalışma sonuçlarını klasik YGA metotlarıyla karşılaştırabilmek amacıyla veri setinin Roger Gaz Oranları, Duval Üçgen ve Temel Gaz Oranları metotlarına göre analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.1 Bulanık Mantık Analizi

Bu analizde güç transformatör arıza verileri IEC gaz oranlarına göre yeniden düzenlenmiş ve sisteme girdi olarak verilmiştir. IEC tabloları ve kural seti kullanılarak bulanık mantık üyelik derece fonksiyonları oluşturulmuştur. IEC yöntemine göre güç transformatörleri hatalarının belirlenmesinde üç temel oran kullanılır. Bu oranlar;

$$R1(AE) = \frac{C2H2}{C2H4} \quad (5.1-a)$$

$$R2(MH) = \frac{CH4}{H2} \quad (5.1-b)$$

$$R3(EE) = \frac{C2H4}{C2H6} \quad (5.1-c)$$

şeklinde tanımlıdır. Bu tanımlamalar bölüm 3’de verilen Tablo 3.3’teki kodlar ve gaz oranları değerlerine göre oluşturulmuştur. Bu kodların karşılık geldiği hata tipleri ise Tablo 5.1’de verilmiştir. Tablo 5.1’deki IEC kodları 0, 1, 2 yerine onların bulanık mantık küme karşılıkları “sıfır”, “bir” ve “iki” kullanılmıştır.

Tablo 5.1: IEC arıza tipleri dağılımı

	Arıza Tipi	R1(AE)	R2(MH)	R3(EE)
A	Normal	0	0	0
B	Düşük enerji yoğunluğu kısmi deşarj	NS	1	0
C	Yüksek enerji yoğunluğu kısmi deşarj	1	1	0
D	Düşük enerji deşarjı	1-2	0	1-2
E	Yüksek enerji deşarjı	1	0	2
F	Termal Hatası <150 ⁰ C	0	0	1
G	Termal Hatası 150 ⁰ C<300 ⁰ C	0	2	0
H	Termal Hatası 300 ⁰ C<700 ⁰ C	0	2	1
J	Termal Hatası >700 ⁰ C	0	2	2

Tablo 5.1 kullanılarak her bir oran için “sıfır”, “bir” , “iki” çıktı kurallarının belirlendiği Tablo 5.2 sonuç çıkarım tablosu hazırlanmıştır. IEC’de 9 arıza durumunu veren (NS-Not Significant ile belirtilen ifadeler de dikkate alınarak) toplamda 12 adet kural belirlenmiştir.

Tablo 5.2: Bulanık mantık sonuç çıkarım tablosu

		EE=sıfır	EE=bir	EE=iki
MH=sıfır	AE=sıfır	A	F	
	AE=bir		D	E
	AE=iki		D	D
MH=bir	AE=sıfır	B		
	AE=bir	C		
	AE=iki	B		
MH=iki	AE=sıfır	G	H	J
	AE=bir			
	AE=iki			

Tablo 5,2’den yararlanılarak Mandani yöntemi bulanık mantık kural seti Tablo 5.3’te oluşturulmuştur. Burada ilgili durumu veren koşulda üç oran içinde

üyelik derecesi minimum olanı alınır. Mesela Durum A için MH $\mu_{\text{sıfır}}=0.6$, AE $\mu_{\text{sıfır}}=0.5$, EE $\mu_{\text{sıfır}}=0.4$ ise Durum A'nın üyelik derecesi 0.4 alınır. Başka bir Durum A'yı veren koşul olmadığından derecesi 0.4 olan Durum A'nın Maximum değeri yine 0.4 tür.

Tablo 5.3: Bulanık Mantık kural seti

Kural 1	If MH=sıfır and AE=sıfır and EE=sıfır then Durum A	Min {MH=sıfır, AE=sıfır, EE=sıfır}
Kural 2	If MH=sıfır and AE=sıfır and EE=iki then Durum F	Min {MH=sıfır, AE=sıfır, EE=iki}
Kural 3	If MH=sıfır and AE=bir and EE=bir then Durum D	Min {MH=sıfır, AE=bir, EE=bir}
Kural 4	If MH=sıfır and AE=iki and EE=bir then Durum D	Min {MH=sıfır, AE=iki, EE=bir}
Kural 5	If MH=sıfır and AE=iki and EE=iki then Durum D	Min {MH=sıfır, AE=iki, EE=iki}
Kural 6	If MH=sıfır and AE=bir and EE=iki then Durum E	Min {MH=sıfır, AE=bir, EE=iki}
Kural 7	If MH=bir and AE=sıfır and EE=sıfır then Durum B	Min {MH=bir, AE=sıfır, EE=sıfır}
Kural 8	If MH=bir and AE=bir and EE=sıfır then Durum C	Min {MH=bir, AE=bir, EE=sıfır}
Kural 9	If MH=bir and AE=iki and EE=sıfır then Durum B	Min {MH=bir, AE=iki, EE=sıfır}
Kural 10	If MH=iki and AE=sıfır and EE=sıfır then Durum G	Min {MH=iki, AE=sıfır, EE=sıfır}
Kural 11	If MH=iki and AE=sıfır and EE=bir then Durum H	Min {MH=iki, AE=sıfır, EE=bir}
Kural 12	If MH=iki and AE=sıfır and EE=iki then Durum J	Min {MH=iki, AE=iki, EE=iki}

Daha sonra aynı çıktıyı veren kural setlerinin derecelerinin maksimumu alınarak ilgili durumun üyelik derecesi belirlenir. Bu işlem aşağıda verilmiştir.

Koşul A = Max {kural 1}
 Koşul B = Max {kural 7, kural 9}
 Koşul C = Max {kural 8}
 Koşul D = Max {kural 3, kural 4, kural 5}
 Koşul E = Max {kural 6}
 Koşul F = Max {kural 2}
 Koşul G = Max {kural 10}
 Koşul H = Max {kural 11}
 Koşul J = Max {kural 12}

Yamuk üyelik fonksiyonu kullanılan çalışmada R1, R2, R3 oranlarının üyelik fonksiyonlarının denklemleri ve belirlenme şekli aşağıda verilmektedir.

R1(AE) Oranı Üyelik Fonksiyonu:

AE oranı için IEC kod tablosunda aşağıda verilen ifadeler, Tablo 5.4'te verilen yamuk üyelik derece fonksiyonunun tanımlanmasında kullanılmıştır.

R1(AE) C2H2 / C2H4

sıfır	AE<0.1
bir	0.1<AE<3
iki	>3

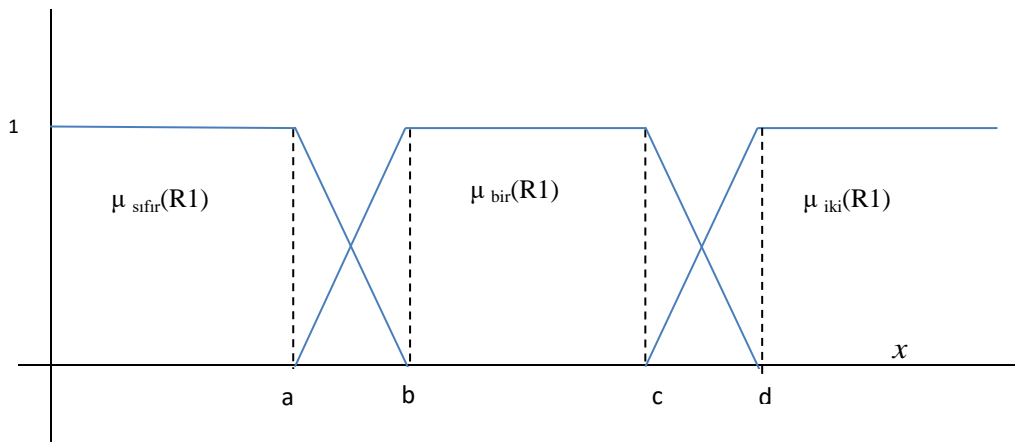
R1(AE) oranı üyelik dereceleri trapezoidal üyelik fonksiyonu yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada sırasıyla R1 oranı “sıfır” üyelik fonksiyonu, R1 oranı “bir” üyelik fonksiyonu ve R1 oranı “iki” üyelik fonksiyonu aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\mu_{sıfır} = \begin{cases} 1 & u < a \\ \frac{b-u}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 0 & u > b \end{cases} \quad (5.2-a)$$

$$\mu_{bir} = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (5.2-b)$$

$$\mu_{iki} = \begin{cases} 1 & u > d \\ \frac{u-c}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 0 & u < c \end{cases} \quad (5.2-c)$$

R1 üyelik derece fonksiyonuna ilişkin grafik şekil 5.1’de gösterilmiştir. Burada R1(AE) oranına ait “sıfır”, “bir”, ”iki” üyelik derece fonksiyonlarının sınır değerleri a=0.095, b=0.105, c=2.85 d=3.15 olarak alınmıştır.



Şekil 5.1: R1 üyelik derece fonksiyonu grafiği

R2(MH) Oranı Üyelik Fonksiyonu:

MH oranı için IEC kod tablosunda aşağıda verilen ifadeler, Tablo 5.5'te verilen yamuk üyelik derece fonksiyonunun tanımlanmasında kullanılmıştır.

R2(MH) CH4/H2

sıfır	$0.1 < MH < 1$
bir	$MH < 0.1$
iki	$MH > 1$

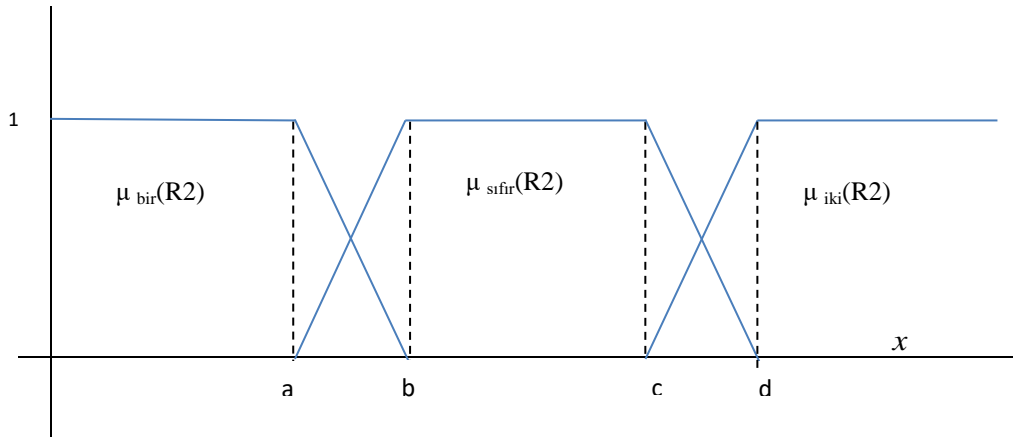
R2(MH) oranı üyelik dereceleri trapezoidal üyelik fonksiyonu yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada sırasıyla R2 oranı “sıfır” üyelik fonksiyonu, R2 oranı “bir” üyelik fonksiyonu ve R2 oranı “iki” üyelik fonksiyonu aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\mu_{sıfır} = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{b-u}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (5.3-a)$$

$$\mu_{bir} = \begin{cases} 1 & u < a \\ \frac{b-u}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 0 & u > b \end{cases} \quad (5.3-b)$$

$$\mu_{iki} = \begin{cases} 0 & u < c \\ \frac{u-c}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 1 & u > d \end{cases} \quad (5.3-c)$$

R2 üyelik derece fonksiyonuna ilişkin grafik şekil 5.2’de gösterilmiştir. Burada R2(MH) oranına ait “sıfır”, “bir”, ”iki” üyelik derece fonksiyonlarının sınır değerleri $a=0.095$, $b=0.105$, $c=0.95$ ve $d=1.105$ olarak alınmıştır.



Şekil 5.2: R2 üyelik derece fonksiyonu grafiği

R3(EE) Oranı Üyelik Fonksiyonu:

EE oranı için IEC kod tablosunda verilen ifadeler, Tablo 5.6’da verilen yamuk üyelik derece fonksiyonunun tanımlanmasında kullanılmıştır.

R3(EE) C2H4 / C2H6

sıfır	EE<1
bir	1<EE <3
iki	>3

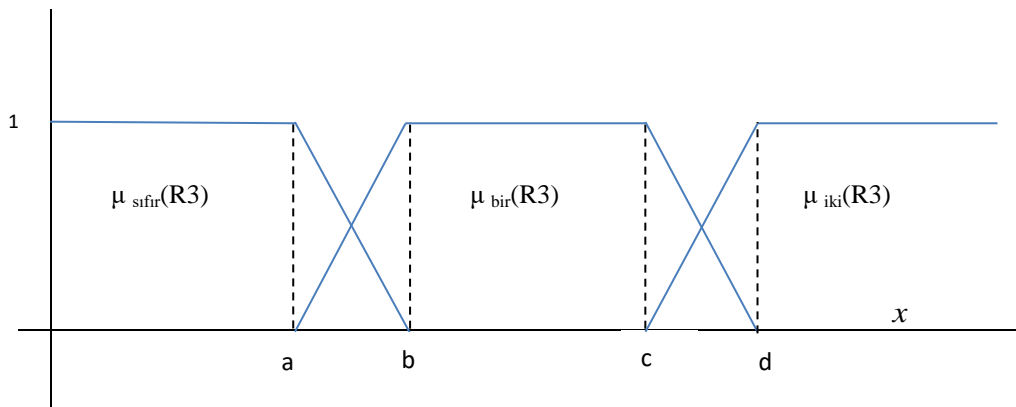
R3(EE) oranı üyelik dereceleri trapezoidal üyelik fonksiyonu yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada sırasıyla R3 oranı “sıfır” üyelik fonksiyonu, R3 oranı “bir” üyelik fonksiyonu ve R3 oranı “iki” üyelik fonksiyonu aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\text{sıfır}} = \begin{cases} 1 & u < a \\ \frac{b-u}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 0 & u > b \end{cases} \quad (5.4-a)$$

$$\mu_{\text{bir}} = \begin{cases} 0 & u \leq a \\ \frac{b-u}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b < u \leq c \\ \frac{u-c}{d-c} & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases} \quad (5.4-b)$$

$$\mu_{\text{iki}} = \begin{cases} 0 & u \leq c \\ \frac{u-c}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 1 & u > d \end{cases} \quad (5.4-c)$$

R3 üyelik derece fonksiyonuna ilişkin grafik şekil 5.3’de gösterilmiştir. Burada R3(EE) oranına ait “sıfır”, “bir”, ”iki” üyelik derece fonksiyonlarının sınır değerleri a=0.95, b=1.105, c=2.85 ve d=3.15 olarak alınmıştır.



Şekil 5.3 R3 üyelik derece fonksiyonu grafiği

Temel gaz oranları metoduna göre oluşturulan bulanık mantık kural seti ve üyelik fonksiyonları kullanılarak verilerin bulanık mantık analizi gerçekleştirilmiştir. Deşarj, normal ve termal hata tiplerinde değerlendirilen sonuçlara göre Deşarj hata tipini belirlemede doğruluk yüzdesi %68, Normal durumu belirlemede doğruluk yüzdesi %18, Termal hata tipini belirlemede ise %88'lik bir doğruluk oranı görülmüştür. Toplamda ise %68'lik bir doğruluk oranı elde edilmiştir. Doğruluk oranları; her bir hata tipinde tüm örneklem sayısından yanlış ve belirlenemeyen örneklem sayısı çıkarılarak elde edilen doğru sayısının tüm örneklem sayısına oranı alınarak elde edilmiştir.

Tablo 5.4: Bulanık Mantık analiz sonuçları

Hata	Örneklem Sayısı	Yanlış Sayısı	Belirlenemeyen	Doğruluk yüzdeleri
Deşarj	127	5	35	%68
Normal	22	10	8	%18
Termal	52	2	4	%88
Toplam	201	17	47	%68

5.2 Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemine Göre Analiz

Öz düzenlemeli haritalama yönteminde doğru sonuçlara ulaşılması haritalama boyutu, haritalama şekli, komşuluk yarı çapı, öğrenme oranı, iterasyon sayısı gibi parametrelerinin doğru belirlenmesiyle direkt olarak ilişkilidir.

Ağ boyutları belirlenirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Ağ dikdörtgen formda olmalıdır.
- Nöronların sayısı, girdi sayısından daha az olacak şekilde harita boyutu belirlenmelidir.
- Grup sayısı kadar nöron belirlenmemelidir. Aksi halde SOM ağı K-Means algoritması gibi davranır.

İterasyon sayısı ağın boyutuna bağlıdır. Küçük boyutlu ağlarda daha fazla iterasyona ihtiyaç duyulur.

ğrenme oranı tahmin edilmesi zor bir orandır. Literatür taramalarında genellikle $0.01 < \alpha(t) < 0.1$ aralığında seçildiği görülmektedir.

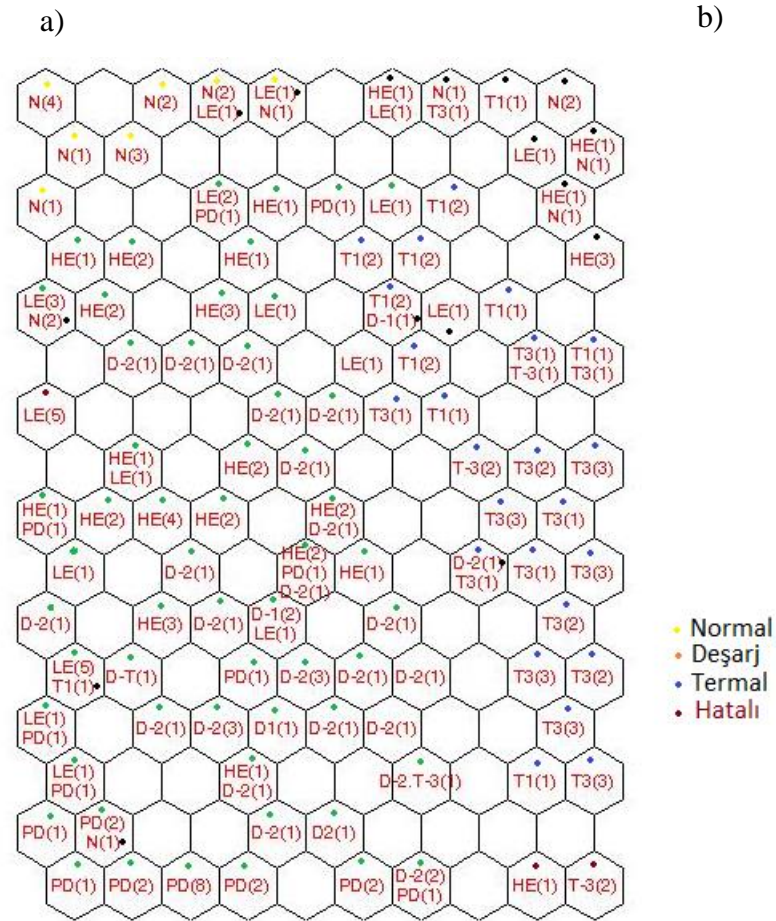
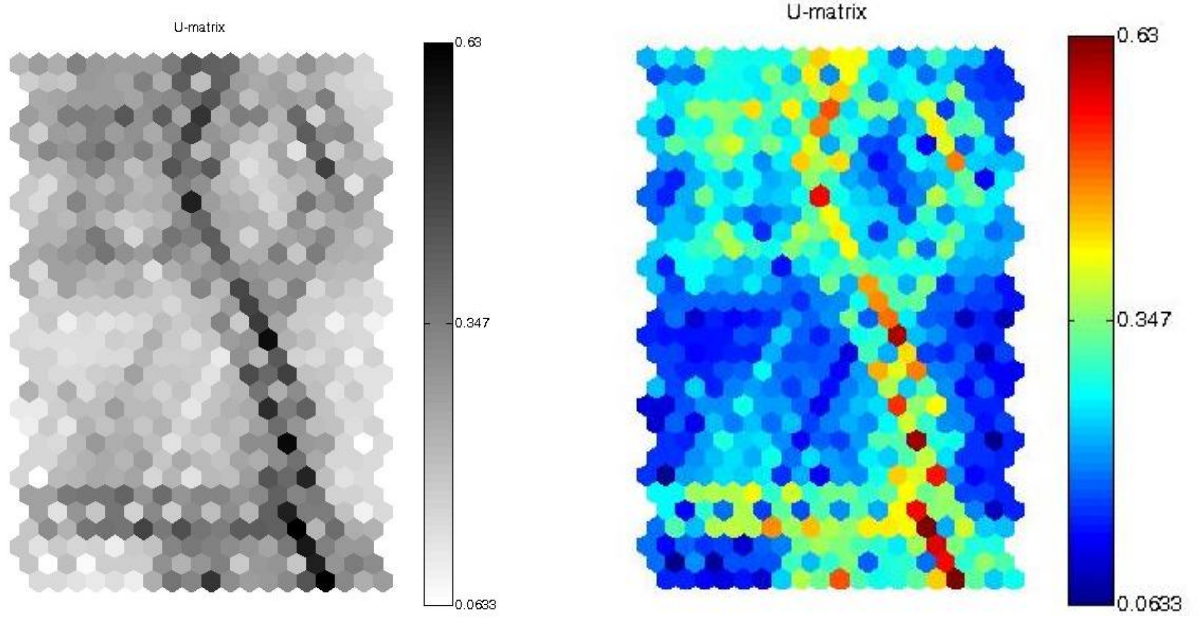
Başlangıç komşuluk yarıçapı ise bütün bir haritayı kapsayacak şekilde seçilmeli ve daha sonra her iterasyonda azaltılarak devam edilmelidir. Başlangıç aşamasında kk bir komşuluk yarıçapı seçilirse bozulmaya uğramış bir haritalamayla karşılaşılabilir.

H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ gazlarından oluşan 201 örneklik bir veri seti öncelikle [0 1] aralığında denklem 5.5 ile yeniden ölçeklendirilmiş ve daha düzgün bir dağılım elde edebilmek amacıyla veri setine denklem 5.6 ile log dönüşüm kolonu eklenerek 201 x 6 boyutlarında bir veri seti oluşturulmuştur. Bu denklemlerde x satır vektörünü göstermektedir.

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (5.5)$$

$$x[6] = \log_{10}(\max(x)) \quad (5.6)$$

Ağ parametrelerinin belirlenmesinde yukarda belirtilen hususlar çerçevesinde ve deneme yanılma yöntemiyle en iyi değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuda 160 nöronun bulunduğu 16X10 dikdörtgen formda hexagonal yapıda bir SOM ağı oluşturulmuştur. İterasyon sayısı 120 olarak alınmıştır.



c)

Şekil 5.4 ÖDH U-Matrix gösterimi a) Siyah-Beyaz b) Renkli c) Verilerin nöronlara dağılımı

Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemine göre yapılan analizlerde matlab ortamında yapılan denemelerle en uygun parametre değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Gruplandırma sonuçları nöronlar arasındaki uzaklığa dayanan U-Matrix gösterimi ile görselleştirilerek Şekil 5.4’de gösterilmektedir. U-Matrix gösterimi incelendiğinde dağınık bir dağılım ve keskin ayrımlara sahip bir gruplandırma görülmektedir. Gruplandırma dışında kalmış veriler siyah olarak şekil üzerinde gösterilmektedir. Analiz sonuçları Tablo 5.5’te verilmiştir. Toplamda 201 adet verinin 25 adedinin hatalı olarak gruplandırıldığı gözlemlenmiştir. Deşarj arıza tipinde %90’lık bir doğruluk oranı, Normal durum için %63’lük bir doğruluk oranının ve Termal tip arıza için %90’lık doğruluk oranının elde edildiği görülmekle birlikte toplamda doğruluk oranının %87 civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.5: ÖDH Analiz sonuçları

Hata	Örneklem Sayısı	Yanlış Sayısı	Doğruluk Yüzdeleri
Deşarj	127	12	%90
Normal	22	8	%63
Termal	52	5	%90
Toplam	201	25	%87

5.3 Bulanık Mantıklı Uygulanmış Öz Düzenlemeli Haritalama Yöntemine Göre Analiz

Daha önceki bölümlerde bulanık mantık ve öz düzenlemeli haritalama yöntemleri anlatılmış ve transformatör arızalarının analizinde bu yöntemler kullanılmıştır bu kısımda ise iki yöntem birleştirilerek öz düzenlemeli haritalama yöntemine bulanık mantık uygulanarak veri seti analiz edilmiştir. Bulanık mantık uygulanmış ÖDH yöntemine ait akış diyagramı Şekil 5-5’de verilmiştir. Analiz için matlab ortamında geliştirilen uygulamada işlem basamakları şu şekildedir:

Adım 1: H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ gazlarından oluşan 201 örneklilik veri seti denklem 5.10 kullanılarak normalize edilmiş ve her satıra log kolonu eklenmiştir.

Adım 2: Veri setinin büyüklüğü ve bölüm 5.2 de anlatılan kriterler dikkate alınarak 160 nöronun bulunduğu 16x10’luk ÖDH ağı yaratılmıştır,

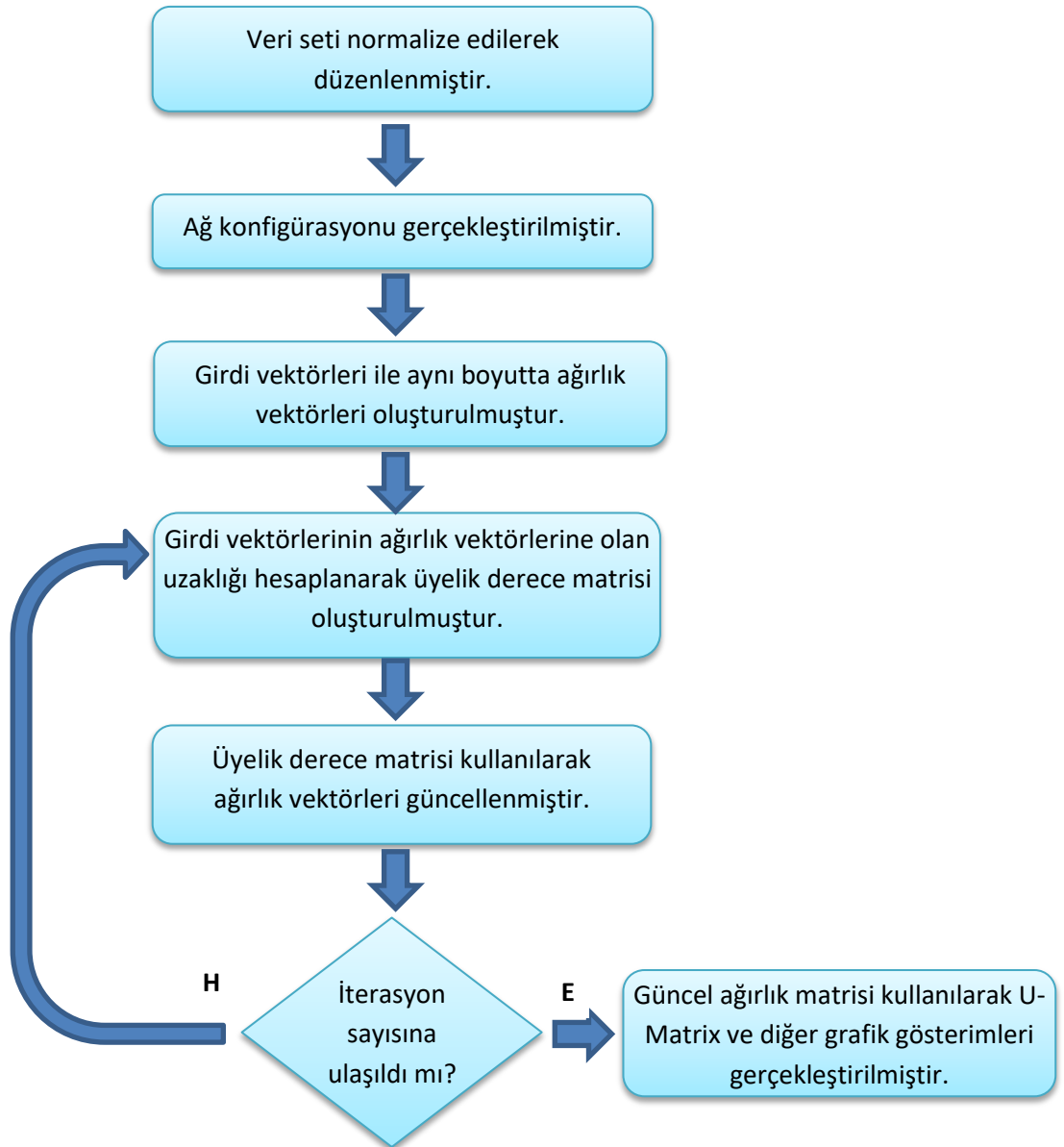
Adım 3: Ağ parametreleri olan komşuluk yarı çapı, fuzzier ve iterasyon sayılarının başlangıç değerleri atanmıştır.

Adım 4: Nöronlarla aynı sayıda ve girdi vektörleri ile aynı boyutta ağırlık vektörleri oluşturulmuştur.

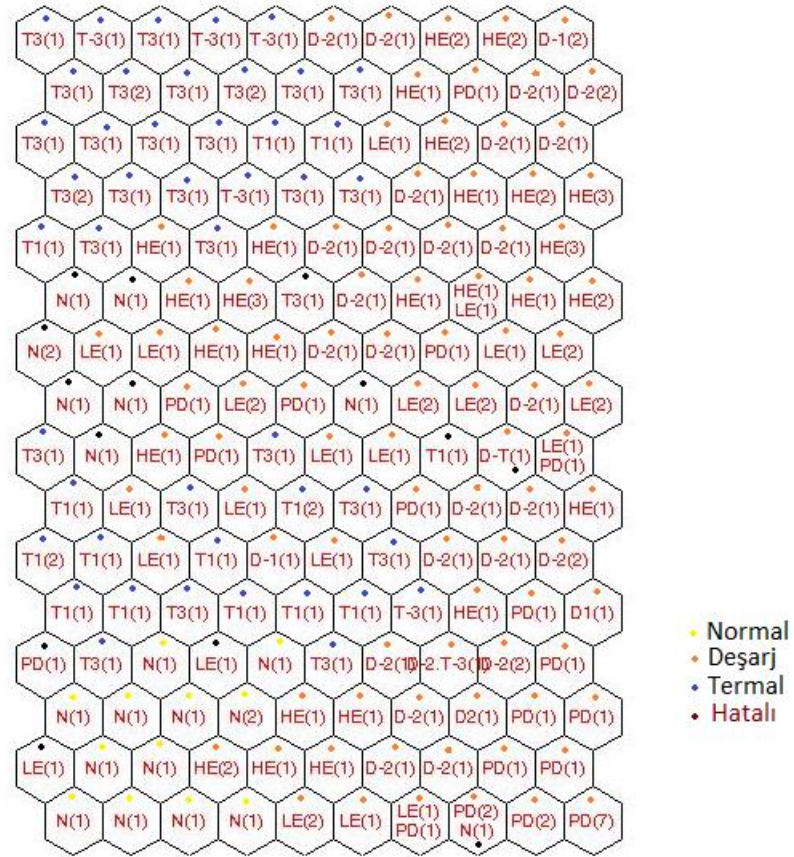
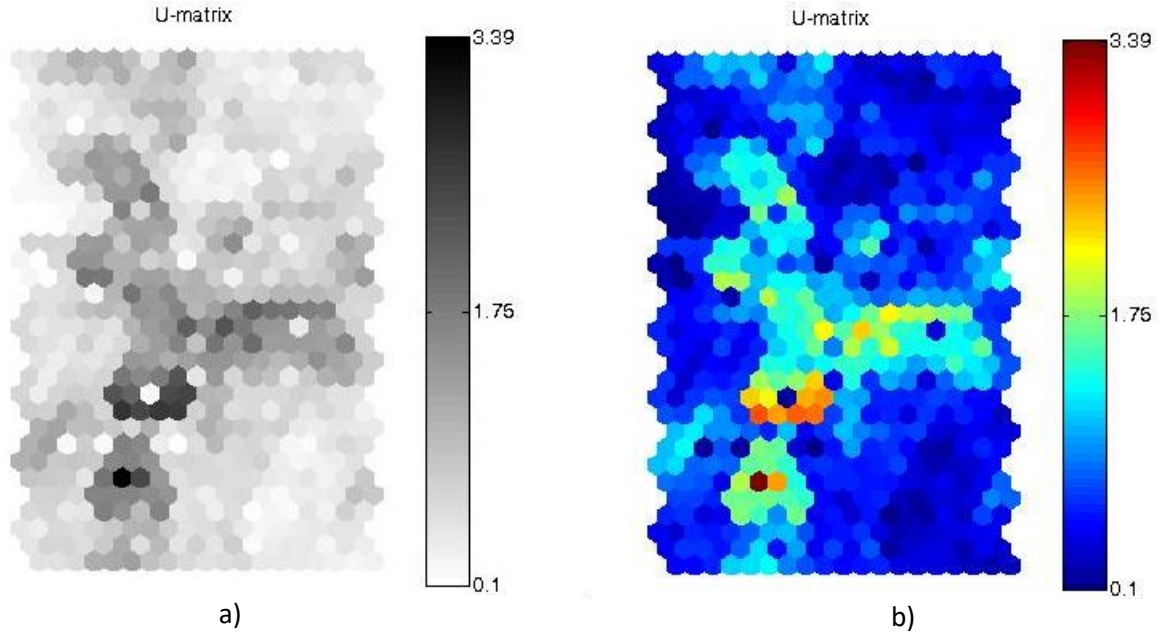
Adım 5: Girdi vektörlerinin ağırlık vektörlerine olan uzaklıkları hesaplanarak üyelik derece matrisi oluşturulmuştur.

Adım 6: Bulanık mantık uygulanmış yığın eğitimi yöntemiyle ağırlık vektörlerinin güncelleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Adım 7: Bazı ağ parametreleri güncellenerek 4-7 arası işlem basamakları iterasyon sayısı kadar tekrarlanmıştır.



Şekil 5.5: Bulanık mantık uygulanmış ÖDH yöntemi akış diyagramı



c)

Şekil 5.6 BÖDH U-Matrix Gösterimi a) Siyah-Beyaz b) Renkli c) Verilerin nöronlara dağılımı

Bulanık mantık uygulanmış yığın eğitilmiş ÖDH yöntemine göre yapılan analiz sonucunun U-Matrix gösterimi Şekil 5.6’da gösterilmektedir. Verilerin nöronlara dağılımı incelendiğinde ÖDH yöntemine göre gruplandırmanın daha düzgün dağılımlı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 5.6 üzerinden doğruluk sonuçları bakımından incelendiğinde toplamda 201 adet verinin 14 adedinin gruplandırmaların dışında kaldığı görülmüştür. Deşarj hata tipinde %97, Normal durumda %63 ve Termal hata tipinde %94’lük bir doğruluk oranının olduğu görülmektedir. Genel olarak bulanık mantık uygulanmış yığın eğitilmiş ÖDH yönteminde %93’lük bir doğruluk oranına ulaşıldığı söylenebilir.

Tablo 5.6: Bulanık Mantık Uygulanmış ÖDH Analiz sonuçları

Hata	Örneklem Sayısı	Yanlış Sayısı	Doğruluk Yüzdeleri
Deşarj	127	3	%97
Normal	22	8	%63
Termal	52	3	%94
Toplam	201	14	%93

5.4 Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması

Hazırlanan veri seti klasik DGA yöntemlerinden IEC Temel Gaz Oranları Yöntemi, Roger Gaz Oranları yöntemi ve Duval Üçgen yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Klasik YGA yöntemlerine göre yapılan analiz sonuçları Tablo 5.10’da koyu renkli olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.7’de görüldüğü üzere Normal durumun belirlenmesinde her üç klasik yöntem de oldukça düşük doğruluk oranlarına sahiptir. Termal ve deşarj hata tiplerinin belirlenmesinde Duval Üçgeni yönteminin diğer iki hata belirleme yönteminden daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5.7 Güç Transformatörü hatalarının tanımlanmasında kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

	Hata Tipi	Örneklem Sayısı	Yanlış Sayısı	Belirlenemeyen	Hata Doğruluk	Method Doğruluk
IEC	Deşarj	127	25	34	53%	%57
	Normal	22	7	15	0%	
	Termal	52	0	6	88%	
Roger	Deşarj	127	4	63	47%	%50
	Normal	22	8	12	9%	
	Termal	52	1	12	75%	
Duval	Deşarj	127	22	1	82%	%78
	Normal	22	21	1	0%	
	Termal	52	0	0	100%	
Bulanık Mantık	Deşarj	127	5	35	%68	%68
	Normal	22	10	8	%18	
	Termal	52	2	4	%88	
ÖDH	Deşarj	127	12		%90	%87
	Normal	22	8		%63	
	Termal	52	5		%90	
BÖDH	Deşarj	127	3		%97	%93
	Normal	22	8		%63	
	Termal	52	3		%94	

Tablo 5.7’de incelendiğinde yapay zeka yöntemlerinde doğruluk oranlarının klasik YGA yöntemlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca klasik ÖDH yöntemine göre bulanık mantık uygulanmış öz düzenlemeli haritalama yönteminin daha iyi doğruluk değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca gruplandırmanın U-Matrix ile görselleştirilebilmesi transformatörün mevcut durumu ve ileriye dönük yönelimlerinin daha anlaşılır olmasını sağlamaktadır.

Sistemi test etmek amacıyla 12 adet test verisi hazırlanarak ÖDH ve Bulanık mantık uygulanmış ÖDH ağlarına uygulanmıştır. Tablo 5.8’de bu test verilerinin doğruluk oranları gösterilmektedir. ÖDH yönteminde 12 veriden 2 tanesi tam olarak belirlenememiştir. Bulanık mantık uygulanmış ÖDH yönteminde ise 12 veriden 1 adedi tam olarak belirlenememiştir.

Tablo 5.8 ÖDH ve Bulanık ÖDH metotlarına test verilerinin uygulanması

Hata Tipi	Örneklem Sayısı	Yanlış Sayısı	Belirlenemeyen
ÖDH	12	2	-
BÖDH	12	1	-

6. SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen veri setine ÖDH, bulanık mantık uygulanmış ÖDH ve konvansiyonel YGA değerlendirme yöntemleri uygulanarak transformatör arıza analizi yapılmıştır. Her bir yöntemin doğruluk derecesi ortaya konmuş, yöntemler arasındaki kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması güç tranformatörleri arıza analizinde bulanık mantık uygulanmış ÖDH yöntemini kullanan ilk çalışmalardan biridir.

Çalışmada ÖDH yönteminin kendi kendine öğrenme ve görselleştirme gücü, bulanık mantığın sınıflandırmadaki hassasiyetiyle birleştirilerek transformatör arıza tespitine uygulanmıştır. Böylece transformatör arızalarının daha doğru bir şekilde daha oluşmadan tespiti ve önlenmesi amaçlanmıştır. Bulanık mantık uygulanmış ÖDH yönteminin Deşarj, Termal ve Normal durumların ayırt edilmesinde diğer klasik YGA yöntemlerinden ve normal ÖDH yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. ÖDH yönteminin gözetimsiz bir öğrenme yaklaşımı ile çalışması yani uzman görüşlerine dayanan sonuçlara gereksinim duymadan verileri kendi doğallığı içinde gruplandırması ve bu gruplandırmayı U-Matrix ile görselleştirebilmesi bu yöntemin diğer bir güçlü özelliğidir.

7. KAYNAKLAR

Coltman,W., “The Transformatör”, Scientific American (F.Levent,Çev),258 (1), (1988).

How, W., Khalid, M., “ADAPT - An Intelligent Software for the Diagnosis of Power Transformers.”, Conference on Intelligent Solutions for Manufacturing Systems in the New Millennium, Kuala Lumpur, Malaysiya, (2000).

Wang, Z., “Artificial Intelligence Applications in the Diagnosis of Power Transformer Incipient Faults”, 2, 6-16, (2000).

Alghamdi, A., Muhamad, N., Suleiman A., “DGA Interpretation of Oil Filled Transformer Condition Diagnosis”, Regular Paper Transactions on Electrical And Electronic Materials, 13 (5), 229-232, (2012).

Khalilia, M., Popescu, M., “Fuzzy Relational Self-Organizing Maps” , IEEE World Congress on Computational Intelligence, June, 10-15, (2012).

C. H. Yi, Y. A. Hasan, “Microarray Data Mining with Fuzzy Self-Organising Maps” , Journal of Applied Mathematics & Bioinformatics, 1 (1), 159-174, (2011).

Duval, M., ”A Review of Faults Detectable by Gas-in-Oil Analysis in Transformers”, DEIS Feature Article, 18 (3), (2002).

Çobanoğlu, B., “Bulanık Mantık ve Bulanık Mantık Teorisi”, Niksar MYO/GOP Üniversitesi, (2000).

Sohn, S., Dağlı, C., ”Advantages of Using Fuzzy Class Memberships in Self Organizing Map and Support Vector Machines”, Smart Engineering Systems Laboratory Department of Engineering Management University of Missouri-Rolla, (2001).

Umasankar, L., Kalaiarasi, N., "Identification of Inrush Current and Integral Fault Currents In A Transformer Using Self Organizing Maps", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, .58 (2), (2013).

Ma, H., Saha, T.K., Ekanayake, C., Allan, D., "Modern Machine Learning Techniques for Pwer Transformer Condition Assessment", CIGRE, A2-106, (2012).

Vesanto, J., Alhoniemi, E., "Clustering Self Organizing Map", IEEE Transactions on Neural Networks, 11 (3), (2000).

Matsushita, H., Nishio, Y., "Batch Learning Self Organizing Map with Weighted Connections Avoiding False-Neighbor Effects", IEEE World Congress on Computational Intelligence, (2010).

Hu, W., Xie, D., Tan, T., Maybank, S., "Learning Activity Patterns Using Fuzzy Self-Organizing Neural Network", IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, 34 (3), (2004).

Martin, F., Duran, O., Aguado, J., "Detection of Emerging Faults In Power Transformers Using Self Organizing Maps", International Conference on Modeling And Simulation, (2013)

Sharma, N., Tiwari, P., Sood, Y., "Review of Artificial Intelligence Techniques Application to Dissolved Gas Analysis on Power Transformer", International Journal of Computer and Electrical Engineering, 3 (4), (2011).

Thang, K., Aggarwal, R., Mcgrail, A., Esp, S., "Analysis of Power Transformer Dissolved Gas Data Using the Self-Organizing Map", IEEE Transactions on Power Delivery, 18 (4), (2003).

Wagh, N., Deshpande, D., "Performance Assessment of Supervised and Unsupervised Neural Networks as Applied to Transformer Fault Diagnosis", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 3 (10), (2013)

Muhamad, A., N., Ali, M., A., S., “Labview with Fuzzy Logic Controller Simulation Panel for Condition Monitoring of Oil and Dry Type Transformer”, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2, (2008).

Matsushita, H., Nishio, Y., “Batch-Learning Self Organizing Map with Weighted Connections Avoiding False-Neighbor Effect”, WCCI 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, (2008).

Beykverdi, M., Faghihi, F., Moarefian, A., “A New Approach for Transformer Incipient Fault Diagnosis Based on Dissolved Gas Analysis (DGA)”, Nova Journal of Engineering and Applied Sciences, 2, (2014)

Jasim, Y., S., Shrivastava J., “Dissolved Gas Analysis of Power Transformers”, International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research, 3, (2013)

Anand, S., Vinod, V., Rampure, Anand., “Application of Fuzzy c-means and Neural networks to categorize tumor affected breast MR Images”, International Journal of Applied Engineering Research, 10 (64), (2015).

Alhoniemi, E., Himberg, J., Parhankangas, J., Vesanto, J., (24.04.2015), <http://www.cis.hut.fi/somtoolbox/>

Khalilia, M., (12.03.2015), <https://github.com/scimk/SOM>

Sezer, M., “Trafo Bakımı ve Yalıtım Yağı”, 3, (2014).

Yıldız, H., İsmailoğlu, H., “Güç Transformatörlerinde Kullanılan Selüloz Bazlı Katı İle Sıvı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri ve Etkileşimleri”, III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi - Güç ve Enerji Sistemleri Sempozyumu, 83 - 91, (2013)

EKLER

EK A: BULANIK MANTIK MATLAB KODU

```
a=newfis('DGA');  
a=addvar(a,'input','AE',[0 550]);  
a=addmf(a,'input',1,'zero','trapmf',[0 0 0.095 0.105]);  
a=addmf(a,'input',1,'one','trapmf',[0.095 0.105 2.85 3.15]);  
a=addmf(a,'input',1,'two','trapmf',[2.85 3.15 450 550]);  
a=addvar(a,'input','MH',[0 550]);  
a=addmf(a,'input',2,'zero','trapmf',[0.095 0.105 0.95 1.05]);  
a=addmf(a,'input',2,'one','trapmf',[0 0 0.085 0.105]);  
a=addmf(a,'input',2,'two','trapmf',[0.95 1.05 450 550]);  
a=addvar(a,'input','EE',[0 550]);  
a=addmf(a,'input',3,'zero','trapmf',[0 0 0.95 1.05]);  
a=addmf(a,'input',3,'one','trapmf',[0.95 1.05 2.85 3.15]);  
a=addmf(a,'input',3,'two','trapmf',[2.85 3.15 450 550]);  
a=addvar(a,'output','Error',[0 90]);  
a=addmf(a,'output',1,'A','trimf',[0 5 10]);  
a=addmf(a,'output',1,'B','trimf',[10 15 20]);  
a=addmf(a,'output',1,'C','trimf',[20 25 30]);  
a=addmf(a,'output',1,'D','trimf',[30 35 40]);  
a=addmf(a,'output',1,'E','trimf',[40 45 50]);  
a=addmf(a,'output',1,'F','trimf',[50 55 60]);  
a=addmf(a,'output',1,'G','trimf',[60 65 70]);  
a=addmf(a,'output',1,'H','trimf',[70 75 80]);  
a=addmf(a,'output',1,'J','trimf',[80 85 90]);
```

```
ruleList=[ ...
```

```
1 1 1 1 1 1  
1 1 2 6 1 1  
2 1 2 4 1 1  
2 1 2 4 1 1  
2 1 3 4 1 1  
2 1 3 5 1 1  
1 2 1 2 1 1  
2 2 1 3 1 1  
2 3 1 2 1 1  
1 3 1 7 1 1  
1 3 2 8 1 1  
1 3 3 9 1 1];
```

```
a=addrule(a,ruleList);
```

```
data = xlsread('C:\Tez\18032016\FSOM\ds2.xlsx');
```

```
out=evalfis(data,a);
```

```
ruleview(a);
```

EK B: ÖDH MATLAB KODU

```
% Bu kısımda Laboratory of Computer and Information Science (CIS)  
% tarafından geliştirilmiş SOM Toolbox fonksiyonları kullanılmıştır.  
sd = som_read_data('C:\Tez\18032016\FSOM\somdataq.data');  
sm=som_make(sd,'msize',[16 10],'training',[14 120],'lattice', 'hexa');  
sm = som_autolabel(sm,sd,'freq');  
f1=figure;  
som_cplane(sm,'none')  
hold on  
som_grid(sm,'Label',sm.labels,'Labelsize',8,'Line','none','Marker','none','Labelcolor','r');  
hold off  
f2=figure;  
colormap(1-gray)  
som_show(sm,'umat','all','edge','on');  
f3=figure;  
som_show(sm,'umat','all','edge','on');
```

EK C: BÖDH MATLAB KODU

```
% Bu kısımda Laboratory of Computer and Information Science (CIS)
% tarafından geliştirilmiş SOM Toolbox fonksiyonları kullanılmıştır.
% Fuzzybatchsom fonksiyonunda Mohammed Khalilia, SOM Toolbox'tan yararlanılmıştır.

[W kazanan data1 wmb]=Fuzzybatchsom([16 10], 'C:\Tez\18032016\FSOM\ds2.xlsx',120);

sd = som_read_data('C:\Tez\18032016\FSOM\somdataq.data');

sm=som_make(sd,'msize',[16 10], 'training',[14 120], 'lattice', 'hexa');

sm.codebook=W;

sm = som_autolabel(sm,sd,'freq');

f1=figure;

som_cplane(sm, 'none')

hold on

som_grid(sm, 'Label', sm.labels, 'Labelsize', 8, 'Line', 'none', 'Marker', 'none', 'Labelcolor', 'r');

hold off

f2=figure;

colormap(1-gray)

som_show(sm, 'umat', 'all', 'edge', 'on');

f3=figure;

som_show(sm, 'umat', 'all', 'edge', 'on');

%-----

function [W kazanan data1 wmb]=Fuzzybatchsom (msize,url,it)

    T=it;

    mpsize=msize;

    rad=[1 0.05];%komsuluk yarı çapı

    fuz=[1.01 2];%fuzzier

    data = xlsread(url);
```

```

rwn= size(data,1);

clnm=size(data,2);

%Ölçeklendirme yapılarak veri setinde son kolon olarak log kolonu ekleniyor

for i=1:rwn

    data(i,clnm+1)=0;

    data1(i,:)=data(i,:)/max(data(i,:));

    data1(i,clnm+1)=log10(max(data(i,:)));

end

data=data1;

neronsay = prod(mpsize);%sıra ve kolon sayısı çarpılarak noron sayısı bulunuyor

[n d] = size(data);% n veri seti sıra sayısı, d kolon sayısı

W = rand(neronsay,d);%girdi vektörleri ile aynı boyutta ağırlık vektörleri
oluşturuluyor

%noronların bulunduğu 2 boyutlu koordinat sistemi oluşturuluyor

mm=zeros(prod(mpsize),2);

for nn=1:mpsize(1,2)

    for m=1:mpsize(1,1)

        mm(m+(nn-1)*mpsize(1,1),1)=nn-1;

        mm(m+(nn-1)*mpsize(1,1),2)=m-1;

    end

end

norondist= squareform(pdist(mm,'euclidean'));% her bir noronun birbirine olan
oklid uzaklığı bulunuyor

for iter=1:T

    r = rad(1) * (rad(2))^(iter/T); % her iterasyonda r değeri azalıyor

    m = fuz(1) * (fuz(2))^(iter/T);% her iterasyonda m değeri azalıyor

```


dist = zeros(neronsay,n);%her neronun her inputa uzaklığını tutacak olan matris yaratılır neron sayısı kadar sıra veri sayısı kadar kolon

for i=1:n

farkı alınır
*d = W - (data(i,:)*ones(1,neronsay))'; % Ağırlık matrisi ile ilgili inputun*

dist(:,i) = sqrt(sum(d.^2,2));

end

*h = exp(-norondist/(2*r^2));% komsuluk fonksiyonu güncelleniyor (Komsuluk kernel fonksiyonu-gaussian) öğrenme oranı 1 alınmıştır.*

tmp = zeros(size(dist));

tmp=dist.^(-2/(m-1));%Üyelik derece fonksiyonu uygulanıyor

distsum = sum (tmp)

*wmbpayda = ones(neronsay, 1)*distsum;*

wmb = zeros(neronsay,n);

wmb = tmp./wmbpayda;%Üyelik derece matrisi oluşturuluyor

W = zeros(size(h,1),size(data,2));% Fuzzy batch fonksiyonu uygulanıyor

*Wpay= (h) *(wmb.^m)*(data);*

Wpayda= (h)(wmb.^m)*(ones(size(data)));*

W = Wpay./Wpayda;

end

[a xi]=sort(wmb,1,'descend');

kazanan=xi(1:2,:);%Üyelik derece matrisinden derecesi en büyük olan ilk iki neron belirleniyor

return

EK D: VERİ SETİ VE SONUÇLAR

Tabloda ilk 5 sütun gaz verilerini 6. sütun gerçek hataları 7. 8. ve 9. sütunlar klasik yöntem analiz sonuçlarını 10. sütun BÖDH yöntemine göre ilgili verinin atandığı nöronu göstermektedir. 11. sütun bulanık ÖDH yönteminde hatalı gruplanan verileri göstermektedir. Son sütun olan 12. sütun ise Bulanık Mantık analiz sonucunu göstermektedir.

	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	Gerçek Hata	Roger	IEC	Duval Üçgen	BÖDH Atanan Nöron	BÖDH Hatalılar	BM Hata
1	40,8	3	3,6	3,5	7,4	HE	ND	ND	DHE	78		PD
2	23	12	12	10	61	HE	ND	T1	DLE	55		
3	57	13	0,1	11	12	HE	ND	ND	DHE	95		DHE
4	31	6,6	19	4,7	67	HE	ND	T1	DLE	98		
5	285	36,3	75	8,4	133	HE	ND	T1	DLE	134		
6	528	3179	320	3020	2314	HE	ND	ND	DHE	124		
7	335	67	18	143	170	HE	DHE	DLE	DHE	132		DHE
8	44	12,2	3,4	3,2	17,4	HE	ND	DLE	DLE	79		
9	42	62	5	63	73	HE	ND	ND	DHE	69		
10	60	40	9,9	110	70	HE	DHE	DHE	DHE	54		DHE
11	240	28	6	26	85	HE	ND	DLE	DLE	150		
12	466,5	148,8	13	266	511	HE	DHE	DLE	DHE	129		DHE
13	260	130	29	84	92	HE	ND	DLE	DHE	118		DLE
14	295	51	12	117	124	HE	DHE	DLE	DHE	148		DHE
15	449	83	12	104	176	HE	DHE	DLE	DHE	149		DHE
16	127	107	11	154	224	HE	DHE	DHE	DHE	113		DHE
17	60	40	6,9	110	70	HE	DHE	DHE	DHE	54		DHE
18	200	48	14	117	131	HE	DHE	DLE	DHE	115		DHE
19	21	7,6	4,7	96,3	26,73	HE	DHE	ND	D+T	38		DHE
20	48,3	47,4	7,3	52,2	7,3	HE	DHE	ND	D+T	41		DHE
21	65	26,1	10,1	41,6	57,8	HE	DHE	DLE	DHE	71		DHE

22	421	135	27,7	351	374	HE	DHE	DLE	DHE	116		DHE
23	2054	370	26	535	805	HE	DHE	DLE	DHE	154		DHE
24	49	41,6	25,1	124	15,7	HE	DHE	ND	T3	37		DHE
25	335	67	18	143	170	HE	DHE	DLE	DHE	132		DHE
26	443	85	9,5	103	174	HE	DHE	DLE	DHE	149		DHE
27	59,5	41	9,9	111	70	HE	DHE	DHE	DHE	54		DHE
28	201	47,5	13,5	116	130	HE	DHE	DLE	DHE	115		DHE
29	293,5	50	13,5	116,5	123	HE	DHE	DLE	DHE	148		DHE
30	250	63	3,8	66	120	HE	DHE	DLE	DHE	102		DHE
31	59	7,1	19	4,5	71	HE	ND	T1	DLE	94		
32	293	50	13	115	120	HE	DHE	DLE	DHE	148		DHE
33	443	85	9,5	103	174	HE	DHE	DLE	DHE	149		DHE
34	32,4	5,5	1,4	12,6	13,2	HE	DHE	DLE	DHE	63		DHE
35	239	27,5	5,5	25,5	85	HE	ND	DLE	DLE	150		
36	128	106	11,5	153	223	HE	DHE	DHE	DHE	113		DHE
37	33	5,4	1,5	12,9	13,6	HE	DHE	DLE	DHE	63		DHE
38	469	147	12,5	265	520	HE	DHE	DLE	DHE	129		DHE
39	650	53	34	20	0	LE	PD	T1	T2	152		PD
40	0	5,2	5,12	9,58	14,6	LE	ND	ND	DHE	39		T1
41	1565	93	34	47	0	LE	ND	ND	T2	112		
42	160	90	27	17	5,8	LE	ND	T1	D+T	104		
43	35	25	0	23	22	LE	ND	ND	DHE	56		
44	980	73	58	12	0	LE	PD	T1	T1	153		PD
45	160	90	27	17	5	LE	ND	T1	D+T	104		
46	566	92	35	46	2	LE	T1	ND	T2	151		T1
47	152	54	32	20	3	LE	ND	T1	D+T	120		
48	345	112,3	27,5	51,5	58,8	LE	ND	DLE	DLE	135		DLE
49	565	53	34	47	0	LE	ND	ND	T2	96		
50	4,1	3,5	0,68	1,2	5,2	LE	ND	ND	DLE	15	x	
51	43	36	41	47	13	LE	ND	ND	D+T	26	x	DLE

52	49,1	12,2	0,3	3,9	4,8	LE	ND	ND	DLE	80		DHE
53	316	36,1	37,3	109	440	LE	ND	DLE	DLE	99		
54	26,5	29,8	0	69,3	8,6	LE	ND	ND	T3	23		
55	46,7	8,2	1,8	5,1	4,1	LE	ND	ND	DHE	61	x	DLE
56	72	116	36	70	19	LE	ND	ND	D+T	58	x	
57	42	59	8	28	8	LE	ND	ND	D+T	43	x	
58	36	24	0	24	21	LE	ND	ND	DHE	56		
59	49	12	0,3	4	4,8	LE	ND	ND	DLE	80		DHE
60	176	206	47,7	75,7	68,7	LE	ND	ND	DLE	91	x	
61	565	93	34	47	0	LE	T1	ND	T2	151		T1
62	150	53	34	20	0	LE	N	T1	T2	120		N
63	172	78	36	28	6	LE	ND	T1	D+T	105		
64	260,5	130,5	29	84	92	LE	ND	DLE	DHE	118		DLE
65	56	5,5	92	34,5	27,5	LE	ND	T1	DHE	89		PD
66	651	52	35	21	0	LE	PD	T1	T2	152		PD
67	10	4	3	33	6	N	DHE	ND	T3	7		DLE
68	8,5	7,2	4,3	3,9	3,5	N	ND	ND	DHE	14		
69	32	31	7,5	50	1,1	N	ND	ND	T3	25		T4
70	13,5	1,7	1,2	0,6	0	N	T1	ND	T2	48		N
71	9,87	2,49	0,79	4,06	4,81	N	DHE	DLE	DHE	32		DHE
72	10	4	3	33	6	N	DHE	ND	T3	7		DHE
73	5	3	2	6	6	N	ND	DHE	DHE	16		DLE
74	14,7	3,8	10,5	2,7	0,2	N	N	T1	T2	62		N
75	6,7	10	11	71	3,9	N	T3	T3	T3	6		T4
76	14,7	3,7	10,5	2,7	0,2	N	N	T1	T2	62		N
77	0,32	0,25	0,04	0,25	0	N	ND	ND	ND	31		
78	3,5	5	5,5	10,5	2,5	N	ND	ND	D+T	8		
79	69,05	5,92	23,09	145,6	0	N	ND	ND	T3	22		
80	980	73	58	12	0	PD	PD	T1	T1	153		PD
81	297	9	211,67	154,5	3,97	PD	PD	T1	T3	106		PD

82	16000	3600	670	14	0	PD	N	T1	PD	57		N
83	6600	1000	38	2	19	PD	ND	T1	T1	143		
84	5000	4000	2000	2000	8000	PD	ND	ND	DHE	158		
85	24,3	15,7	6,4	11,2	29,8	PD	ND	ND	DHE	72		DLE
86	200	230	2	170	480	PD	ND	ND	DLE	114		
87	890	110	3	84	700	PD	ND	DLE	DLE	140		
88	56	61	75	32	31	PD	ND	T1	DHE	13	x	PD
89	41	112	0	254	4536	PD	ND	ND	DLE	157		
90	16000	4000	500	8500	16000	PD	DHE	DLE	DHE	142		DLE
91	27	90	42	63	0,2	T1	T2	T2	T2	11		T3
92	160	130	33	96	0	T1	T1	ND	T2	74		T1
93	95	110	160	150	0	T1	ND	T1	T3	27		T2
94	300	490	180	360	5	T1	T2	T2	T2	67		T3
95	44,2	101	13	11,8	0,45	T1	ND	T1	T1	60		T2
96	11	31	26	52	0	T1	T2	T2	T3	10		T3
97	46	98	41,3	26,3	0	T1	ND	T1	T2	59		T2
98	140	173	45	17	0	T1	ND	T1	T1	76		T2
99	27,5	88	40,5	62	0,2	T1	T2	T2	T2	11		T3
100	178	259	40	26,5	0	T1	ND	T1	T1	92		T2
101	24,28	74,59	74	2,67	0,23	T1	ND	T1	T1	12		T2
102	34,88	76,93	52,89	8,74	3,86	T1	ND	T1	D+T	28		PD
103	625	130	47	2	0	T1	N	T1	T1	121	x	N
104	77,5	160	984	352	9	T1	ND	T1	T3	83		T2
105	157	127	34	96	0	T1	T1	ND	T2	74		T1
106	11,6	67,25	96,23	166	1	T1	T2	T2	T3	5		T3
107	74	523	142	1200	6	T3	T3	T3	T3	19		T4
108	220	382	82	1019	17	T3	T3	T3	T3	93		T4
109	173	334	172	812,5	37,7	T3	T3	T3	T3	18		T4
110	220	340	42	480	14	T3	T3	T3	T3	50		T4
111	170	320	53	520	3,2	T3	T3	T3	T3	90		T4

112	56	286	96	928	7	T3	T3	T3	T3	29		T4
113	45	168	82	330	3,1	T3	T3	T3	T3	4		T4
114	6,9	80,6	47,4	351	4,9	T3	T3	T3	T3	44		T4
115	56	144	36	164	1,8	T3	T3	T3	T3	42		T4
116	80	243	274	1348	8,4	T3	T3	T3	T3	2		T4
117	143	305	78	721	2	T3	T3	T3	T3	84		T4
118	76	202	275	3216	16	T3	T3	T3	T3	107		T4
119	7,8	111	129	701	2,8	T3	T3	T3	T3	82		T4
120	58	103	51	251	6	T3	T3	T3	T3	21		T4
121	82	161	79	406	8,9	T3	T3	T3	T3	20		T4
122	279	487	109	708	4,4	T3	T3	T3	T3	34		T4
123	14	237	92	470	0	T3	T3	T3	T3	53		T4
124	54,17	90,32	2,19	456,2	1,8	T3	T3	T3	T3	3		T4
125	45,42	39,31	7,92	60,32	0,34	T3	ND	ND	T3	9		
126	116	352	90	465	5	T3	T3	T3	T3	51		T4
127	78	161	86	353	10	T3	T3	T3	T3	36		T4
128	200	700	250	740	1	T3	T3	T2	T3	33		T3
129	172	336,5	172,5	821	37	T3	T3	T3	T3	18		T4
130	162,5	224	45,5	497	12,5	T3	T3	T3	T3	35		T4
131	220	340	41	492	14	T3	T3	T3	T3	50		T4
132	45	167,5	82	330	3,5	T3	T3	T3	T3	4		T4
133	193	71	45	124	66	D-2	ND	ND	D+T	101		DLE
134	952	315	32	500	667	D-2	DHE	DLE	DHE	123		DHE
135	6272	2740	272	2370	2424	D2	DHE	DLE	DHE	126		DHE
136	173	217	63	438	169	D-2	ND	ND	D+T	81		
137	759	206	19	315	713	D-2	DHE	DLE	DHE	146		DHE
138	132	161	26	154	62	T3	ND	ND	D+T	68		
139	7663	166	22	8	1	PD	ND	T1	T1	160		PD
140	656	178	16	272	512	D-2	DHE	DLE	DHE	117		DHE
141	381	143	51	233	216	D-2	DHE	DHE	DHE	131		DHE

142	95	118	12	18	3	D-1	ND	ND	T1	75	x	
143	296	518	122	512	2	T-3	T3	T3	T3	49		T4
144	73	26	4	35	55	D-2	DHE	DLE	DHE	86		DHE
145	109	147	36	197	58	T-3	ND	ND	D+T	52		
146	1727	262	12	231	643	D-2	DHE	DLE	DLE	111		DHE
147	4157	494	21	438	1317	D-2	ND	DLE	DLE	127		DLE
148	309	126	11	177	315	D-2	DHE	DLE	DHE	130		DHE
149	380	2451	678	3150	6	T-3	T3	T3	T3	17		T4
150	559	128	213	361	385	D-2	ND	DLE	DHE	147		DLE
151	1318	316	164	501	825	D-2	DHE	DLE	DHE	139		DLE
152	1884	102	13	10	5	PD	ND	T1	D+T	112		PD
153	2059	416	46	176	2135	D1	ND	DLE	DLE	156		
154	3459	114	19	2	1	PD	ND	PD	T1	128		PD
155	172	56	15	121	75	D-2	DHE	DHE	DHE	100		DHE
156	9536	211	30	12	1	PD	PD	T1	T1	160		PD
157	8444	209	29	10	1	PD	ND	T1	T1	160		PD
158	9577	250	36	12	1	PD	PD	T1	T1	160		PD
159	5515	145	31	6	1	PD	ND	PD	T1	144		PD
160	3457	75	17	2	1	PD	ND	PD	ND	128		PD
161	3904	134	41	10	1	PD	ND	T1	T1	40		PD
162	591	79	16	91	50	D-2	DHE	ND	D+T	136		DLE
163	327	48	4	67	167	D-2	DHE	DLE	DHE	133		DLE
164	596	631	104	763	34	T-3	T3	T3	T3	65		T4
165	393	78	3	63	520	D-1	ND	DLE	DLE	145		
166	396	80	5	70	522	D-1	ND	DLE	DLE	145		
167	2367	50	6	15	22	PD	ND	ND	D+T	119		
168	7341	120	11	12	16	PD	ND	ND	D+T	160		
169	7797	219	20	11	14	PD	ND	T1	D+T	160		PD
170	8074	255	28	11	10	PD	ND	T1	D+T	160		PD
171	5851	206	28	9	7	PD	ND	T1	T1	144		PD

172	22566	1002	107	4	3	PD	ND	PD	PD	159		PD
173	693	140	23	220	404	D-2	DHE	DLE	DHE	122		DHE
174	1313	249	27	337	593	D-2	DHE	DLE	DHE	155		DHE
175	1405	255	29	353	609	D-2	DHE	DLE	DHE	155		DHE
176	793	243	23	338	666	D-2	DHE	DLE	DHE	146		DHE
177	133	630	520	1553	6	T3	T2	T2	T3	70		T3
178	230	851	640	1956	8	T3	T3	T2	T3	1		T4
179	404	121	16	229	412	D-2	DHE	DLE	DHE	85		DHE
180	966	184	87	770	393	D-2	DHE	ND	DHE	109		DHE
181	527	394	114	1534	3791	D-2	DHE	DHE	DHE	141		DHE
182	1020	464	120	1525	3801	D-2	DHE	DLE	DHE	141		DHE
183	655	193	19	193	44	D-T	DHE	ND	D+T	137		DHE
184	101	37	3	27	36	D-2	DHE	DLE	DHE	87		DHE
185	1529	245	14	270	708	D-2	DHE	DLE	DLE	103		DHE
186	1730	887	135	698	661	D-2	DHE	DHE	DHE	110		DHE
187	547	518	87	854	78	T3	ND	ND	T3	66		
188	3421	4862	1225	5015	131	T-3	T3	T3	T3	108		T4
189	102	376	371	1270	1	T3	T3	T2	T3	73	x	T4
190	2507	1392	386	2242	1157	D-2,T-3	DHE	ND	D+T	125		DHE
191	60	15	4	61	115	D-2	ND	DLE	DLE	97		DHE
192	913	168	14	184	312	D-2	DHE	DLE	DHE	138		DHE
193	12	5	1	5	1	N	DHE	ND	D+T	47		DHE
194	20	5	3	5	1	N	ND	ND	D+T	64		DLE
195	11	2	1	1	1	N	ND	ND	DHE	30		DLE
196	61	18	4	2	1	N	ND	T1	D+T	77		
197	51	27	4	2	1	N	ND	T1	T1	88	x	
198	5	3	1	8	1	N	DHE	ND	T3	24		DHE
199	3557	235	57	74	90	N	ND	ND	DLE	128		
200	19	15	4	13	1	N	ND	ND	T2	46		
201	22	15	4	12	1	N	T1	ND	D+T	45		T1

Test Verileri:

No	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	Hata
1	200,0	700,0	250,0	740,0	1,0	TF
2	300,0	490,0	180,0	360,0	95,0	TF
3	56,0	61,0	75,0	32,0	31,0	PD
4	33,0	26,0	6,0	5,3	0,2	N
5	176,0	205,9	47,7	75,7	68,7	DLE
6	70,4	69,5	28,9	241,2	10,4	TF
7	162,0	35,0	5,6	30,0	44,0	DHE
8	345,0	112,3	27,5	51,5	58,8	DLE
9	181,0	262,0	210,0	528,0	0,0	TF
10	172,9	334,1	172,9	812,5	37,7	TF
11	2587,2	7,9	4,7	1,4	0,0	PD
12	1678,0	652,9	80,7	1005,9	419,1	DHE

8. ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı : Emre KEMİK
- Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar 11.03.1983
- Lisans Üniversite : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Y. Lisans Üniversite (varsa) : İstanbul Teknik Üniversitesi - İnşaat Yönetiminde
Bilişim Tezsiz Y.L.
- Elektronik posta : emrekemik@yahoo.com
- İletişim Adresi : Pazar Cad. No:11 Okursoy Konutları A Blok D:1
Pamukkale/Denizli
- Yayın Listesi :
- Konferans listesi :