

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE K-ORTALAMA KÜMELEME YÖNTEMİ İLE
BAKIM-ONARIM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİ

MUSTAFA ŞEN YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BEDRİ KEKEZOĞLU

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE K-ORTALAMA KÜMELEME YÖNTEMİ İLE
BAKIM-ONARIM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa Şen YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 15.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Evren İŞEN

Kırklareli Üniversitesi

ÖNSÖZ

Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artması sebebiyle üretilen enerjinin kullanıcılara kaliteli bir şekilde ulaştırılması da giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Bu karmaşık yapının kaliteli ve güvenilir bir şekilde işleyebilmesi için etkin bakım-onarım çalışmalarına tabi tutulmalıdır. Sistem içerisindeki en kritik ve en pahalı donanımın güç transformatörleri olması sebebiyle de öncelikli olarak bakım-onarım yöntemlerine tabi tutulması gerektiği çok açıktır. Bu sebeple güç transformatörlerinin bakım-onarım yöntemleri ile ilgili olarak bu çalışmayı yapmaktan duyduğum mutluluğu ifade etmek isterim.

Tez çalışmamın hazırlanmasındaki katkılarından ve yönlendirmelerinden dolayı değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmalarımda her zaman manevi destekleri ile yanımda olan anneme, babama ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2017

Mustafa Şen YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
TRANSFORMATÖRLER	6
2.1 Transformatörlerin Genel Tanımı	6
2.1.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri	6
2.1.1.1 Transformatörün Dönüştürme Oranı	7
2.2 Transformatörlerin Sınıflandırılması	8
2.2.1 Manyetik Nüvenin Yapılış Şekline Göre Transformatörler	8
2.2.2 Çalışma Ortamına Göre Transformatörler	9
2.2.3 Faz Sayısına Göre Transformatörler.....	9
2.2.4 Kullanım Amacına Göre Transformatörler	10
2.2.5 Uygulanan Soğutma Sistemine Göre Transformatörler	10
2.3 Kuru Tip Transformatörler.....	11
2.4 Yağlı Tip Transformatörler.....	13
2.5 Transformatör Korumaları	16
2.5.1 Buchholz Koruma	17

2.5.2	Aşırı Yük Koruma	18
2.5.3	Aşırı Akım Koruma	19
2.5.4	Toprak Arıza Koruma	20
2.5.5	Parafudr ve Ark Boynuzları	21

BÖLÜM 3

HATA AĞACI DİYAGRAMI İLE GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN ARIZA ANALİZİ		23
3.1	Giriş	23
3.1.1	Hata Ağacı Analizi	23
3.2	Hata Ağacının Güç Transformatörlerine uygulanması	25
3.2.1	Buşing Arızası	26
3.2.2	Nem ve Rutubet Arızası	27
3.2.3	Sargı Arızası	28
3.2.4	Kademe Değiştirici Arızası	29
3.3	Güç Transformatörleri için Hata Ağacı Diyagramı	30

BÖLÜM 4

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ İÇİN BAKIM-ONARIM YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ		31
4.1	Giriş	31
4.2	Transformatör Durum Görüntüleme	32
4.2.1	Termal Analiz	33
4.2.2	Titreşim Analizi	33
4.2.3	Kısmi Deşarj Analizi	34
4.2.4	Çözünmüş Gaz Analizi	34
4.2.4.1	Duval Üçgen Yöntemi	35
4.2.5	Frekans Tepki Analizi	36
4.3	Bakım - Onarım Yöntemleri	37
4.3.1	Düzeltilici Bakım-Onarım Yöntemi	37
4.3.2	Zaman Temelli Bakım-Onarım Yöntemi	38
4.3.3	Durum Temelli Bakım-Onarım Yöntemi	38
4.3.4	Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım Yöntemi	39
4.4	Yaşlanma, Sağlık ve Yaşam Değerlendirmesi	39

BÖLÜM 5

GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ ARIZALARI İÇİN KÜMELEME ÇALIŞMASI		41
5.1	Giriş	41
5.2	Kümeleme Analizinde Kullanılan Yöntemler	41
5.2.1	Kümeleme Yöntemleri	42
5.2.1.1	K-Ortalama kümeleme yöntemi	43
5.3	Weka Yazılımı	45
5.3.1	ARFF Dosya Yapısı	46
5.3.2	Ön İşleme Paneli (Preprocess)	47
5.3.3	Sınıflandırıcı Paneli (Classifier Panel)	48

5.3.4	Kümeleme Paneli (Clustering Panel)	49
5.3.5	İlişkilendirme Paneli (Association Panel).....	50
5.4	K-Ortalamalı Kümeleme Yönteminin Güç Transformatörlerine Uygulanması	50
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		56
KAYNAKLAR		59
EK-A		
WEKA PROGRAMINDA YAPILAN KÜMELEME ÇALIŞMASININ EKLAN ÇIKTILARI		63
ÖZGEÇMİŞ		65



SİMGE LİSTESİ

K_d	Dönüştürme Oranı
N_p	Primer Sarım Sayısı
N_s	Sekonder Sarım Sayısı
V_p	Primer Gerilimi
V_s	Sekonder Gerilimi
I_p	Primer Akımı
I_s	Sekonder Akımı
I	Efektif Akım
T	Sıcaklık (°C)
KVA	Kilo Volt Amper
MVA	Mega Volt Amper
ppm	Parts Per Million
arff	Nitelik İlişkili Dosya Biçimi (Attribute-Relation File Format)
csv	Virgülle Ayrılmış Değerler (Comma Seperated Values)
X_{duval}	CH ₄ 'ün yalıtım yağındaki ppm değeri
Y_{duval}	C ₂ H ₄ 'ün yalıtım yağındaki ppm değeri
Z_{duval}	C ₂ H ₂ 'nin yalıtım yağındaki ppm değeri
k	Küme Adedi
n	Örnek Adedi
x	Örneğin Konumu
c	Küme Merkezi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
AN	Doğal Hava (Air Natural)
CIGRE	Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi (International Council on Large Electric Systems)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DGA	Çözülmüş Gaz Analizi (Dissolved Gas Analysis)
FRA	Frekans Tepki Analizi (Frequency Response Analysis)
FTA	Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
HST	Etkin Sıcaklık Noktası (Hot-spot Temperature)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institution of Electrical and Electronics Engineer)
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Organization for Standardization)
ONAN	Doğal Yağ Doğal Hava (Oil Natural Air Natural)
ONAF	Doğal Yağ Zorlamalı Hava (Oil Natural Air Forced)
OFAF	Zorlamalı Yağ Zorlamalı Hava (Oil Forced Air Forced)
OFWF	Zorlamalı Yağ Zorlamalı Su (Oil Forced Water Forced)
PF	Güç Faktörü (Power Factor)
RCM	Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım Yöntemi (Reliability Centered Maintenance)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
UHF	Çok Yüksek Frekans (Ultra high Frequency)
WEKA	Bilgi Analizi için Waikato Ortamı (Waikato Environment for Knowledge Analysis)
YG	Yüksek Gerilim

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Transformatör çekirdek ve sargıları	7
Şekil 2.2 Çekirdek tip nüveli transformatör sac şekilleri	8
Şekil 2.3 Mantel tip nüveli transformatör ve sac şekilleri	8
Şekil 2.4 Dağıtılmış tip nüveli transformatör	9
Şekil 2.5 Kuru Tip Transformatör	12
Şekil 2.6 Hermetik tip transformatör	13
Şekil 2.7 Yağlı tip genişleme depolu transformatör	14
Şekil 2.8 Yağlı tip genişleme depolu transformatörün yapısı	14
Şekil 2.9 Yağlı tip genişleme depolu transformatörün içyapısı.....	15
Şekil 2.10 Buchholz rölesi	17
Şekil 2.11 Buchholz rölesi içyapısı	17
Şekil 2.12 Yağ sıcaklığı ölçüm sensörü.....	18
Şekil 2.13 Diferansiyel Röle.....	20
Şekil 2.14 Toprak Rölesi	20
Şekil 2.15 Nötr topraklama direnci	21
Şekil 2.16 Parafudr	22
Şekil 2.17 Ark Boynuzu	22
Şekil 3.1 VEYA kapısı bağlantısı	24
Şekil 3.2 VE kapısı bağlantısı	24
Şekil 3.3 Güç transformatörü hata ağacı diyagramı ilk basamağı.....	26
Şekil 3.4 Buşing arızası hata ağacı diyagramı	27
Şekil 3.5 Nem ve rutubet arızası hata ağacı diyagramı	27
Şekil 3.6 Transformatör sargılarının Hata Ağacı diyagramı	28
Şekil 3.7 Kademe değiştirici arızaları için hata ağacı diyagramı.....	29
Şekil 3.8 Güç Transformatörü hata ağacı diyagramı	30

Şekil 4.1 Küvet eğrisi ile arıza oranlarının zamanla değişimi	31
Şekil 4.2 Transformatorün durum değerlendirmesi için kullanılan akış şeması	32
Şekil 4.3 Transformator durum görüntüleme yöntemleri	33
Şekil 4.4 Duval üçgen diyagramı	35
Şekil 4.5 Bakım-Onarım stratejilerinin sınıflandırılması	37
Şekil 5.1 Örnek uzaya dağıtılmış veri kümesi	44
Şekil 5.2 Rastgele seçilmiş kümelerin merkezleri	44
Şekil 5.3 Seçilen merkezlere göre verilerin kümelere atanması	45
Şekil 5.4 Kümelerin son hali	45
Şekil 5.5 Arff dosya formatı üstbilgi kısmı	47
Şekil 5.6 Preprocess ekran görüntüsü	48
Şekil 5.7 Classifier ekran görüntüsü	49
Şekil 5.8 Clustering ekran görüntüsü	49
Şekil 5.9 Associate panel ekran görüntüsü	50
Şekil 5.10 Veri setinin kümelere dağılımı	53
Şekil 5.11 Yaşlanmaya göre kümelere dağılım	53
Şekil 5.12 Güce göre kümeleme dağılımı	54
Şekil 5.13 Yüklenmeye göre kümeleme dağılımı	54
Şekil 5.14 Yüklenmenin güce göre dağılımı	55
Şekil 5.15 Yüklenmenin yaşa göre dağılımı	55

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Transformatörlerde Kullanılan Soğutma Tipleri ve Soğutucuların Kısaltmaları	11
Çizelge 3.1 Hata Ağacında olaylar ve kapılar için kullanılan semboller	25
Çizelge 3.2 Güç Transformatörleri Arıza İstatistikleri	26
Çizelge 4.1 Duval üçgen yöntemi için arıza tanımı ve sınır bölgeler	36
Çizelge 5.1 Güç Transformatörlerinin Arıza İstatistiği	51
Çizelge 5.2 Öklid uzaklık fonksiyonu ile K-Means kümeleme sonuçları	52
Çizelge 6.1 Kümeleme Analizi Sonuçları	56

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE K-ORTALAMA KÜMELEME YÖNTEMİ İLE BAKIM-ONARIM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa Şen YILDIZ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Güç transformatörleri, enerji sistemleri içerisinde güç transferi için hayati öneme sahip devre elemanlarıdır. Bununla beraber, her geçen gün enerjiye olan ihtiyacın artması ve elektrik enerjisine bağlı teknolojik gelişmeler de göz önünde bulundurulduğunda, güç transformatörlerinde oluşabilecek arızaların sosyal hayata ve ekonomik gelişime etkilerinin kritik bir öneme sahip olduğu açıktır.

Çeşitli sebeplere bağlı olarak güç transformatörlerinde oluşabilecek arızalar, sensörler ve bakım-onarım yöntemleri vasıtasıyla meydana gelmeden veya başlangıç aşamasında belirlenip müdahale edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında, meydana gelen arıza çeşitlerinin ayrıntılı bir şekilde açıklanabilmesi için arıza istatistikleri incelenerek güç transformatörü hata ağacı diyagramı oluşturulmuştur. Transformatörlerin yaşlanma, yüklenme, arıza çeşidi ve güçleri göz önünde bulundurularak Öklid uzaklık fonksiyonu ve k-ortalamar metodu ile benzer özellikteki transformatörler gruplandırılmıştır. Tezin sonuç kısmında ise kümeleme sonuçları yorumlanmış ve güç transformatörlerine uygun bakım-onarım yöntemleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç transformatörü, bakım-onarım yöntemi, hata ağacı analizi

**DETERMINATION OF MAINTENANCE STRATEGIES WITH K-MEANS
CLUSTERING METHOD IN POWER TRANSFORMERS**

Mustafa Şen YILDIZ

Department of Electrical Engineering
M.Sc. Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Power transformers are circuit elements that have vital role for power transfer within energy systems. In addition, when examining increased energy needs and technological developments, it's clear that the effects of failures in power transformers to social life and economic development.

Depending on various reasons, faults in the power transformers are determined pre-fault by the help of sensors and maintenance strategies. In this thesis study, the fault tree diagram of the power transformers were constructed by analyzing the fault statistics in order to see the fault phases. Considering the aging, load, fault types and power of the transformers, similar transformers were grouped by Euclidean distance function and k-means clustering method. In the result section, the clustering results were interpreted and optimum maintenance strategy for power transformers were determined.

Key words: Power Transformer, maintenance strategy, fault tree analysis

GİRİŞ

Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artması sebebiyle elektrik üretim sistemleri geliştirilmekte ve çeşitlendirilmektedir. Üretimi geliştirmekle beraber üretilen enerjinin kabul edilebilir bir güvenilirlik ve kalite seviyesinde nihai kullanıcıya sunulması da çok önemli bir faktördür.

Güç sistemlerinin başlıca görevi enerjiyi kaliteli ve güvenilir bir şekilde ekonomik olarak kullanıcılara sunmaktır. Güç sisteminin güvenilirliği de sistemi oluşturan elemanların her birinin ayrı ayrı güvenilirliğine bağlıdır. Güç sistemleri çok fazla ekipmandan oluşmaktadır. Ancak bilindiği üzere bu ekipmanların içerisinde güç transformatörleri en pahalı ve en stratejik öneme sahip ekipmanlardır.

Güç transformatörlerinde oluşacak arızalar ciddi finansal ve teknik problemlere sebep olacaktır. Güç transformatörlerinin ömrü, tasarımlarına göre teoride 30 yıl ile 40 yıl arasında değişmektedir. Ancak uygulamada uygun çalışma şartları ve bakımlarla 60 yıla kadar çıkartılabilmektedir [1]. Bu sebeple transformatörlerin işletme şartlarının iyileştirilmesi, arıza tespitlerinin yapılması ve uygun bakım-onarım yöntemlerinin belirlenmesi çok önemlidir.

1.1 Literatür Özeti

Güç transformatörlerinde oluşabilecek arızaların tespitine yönelik çalışmalar literatüre bakıldığında 1980'li yıllardan başlamakla birlikte teknolojinin gelişimine paralel olarak artarak devam etmektedir.

T. D. Poyser ve arkadaşları 1985 yılında ilk defa izleme “monitoring” kavramını makalelerinde kullanmışlardır [2]. Devam eden yıllarda bu terim transformatörlerin işletim bilgileri, sıcaklık bilgileri ve izolasyon bilgilerini öğrenmek için kullanılmıştır [3].

Chu ve arkadaşları 2000 yılında yayınlamış oldukları makalede güç transformatörlerinin izlenmesi için anahtar parametreleri belirlemeye çalışmışlardır [4]. Bu çalışmaya benzer olarak Kreig ve Napolitano 2000 yılında yayınlamış oldukları makalede transformatör arızalarının tespitine yönelik görüntüleme yöntemlerini geleneksel ve modern olarak ikiye ayırarak incelemişlerdir [5].

Sargı arızalarını ve yalıtım arızalarını tespit etmeye yönelik olarak, yalıtım yağında çözünmüş gazlardan arıza tespiti yapılması yöntemi pratikte kullanılan bir off-line monitoring yöntemidir [6]. 1989 yılında Michel Duval [7], yayınlamış olduğu makalede transformatörlerin yalıtım yağında çözünmüş gazlar üzerine analizler yapmıştır. Bu yöntem aynı zamanda “duval Triangle” olarak literatüre geçmiştir. Benzer bir şekilde 2010 yılında Singh ve Bandyopadhyay [8], yayınlamış oldukları makalede 1975 ve 2009 yılları arasındaki yayınları inceleyerek güç transformatörlerinin yalıtım yağında çözünen gazları, transformatörlerin yaşlarını göz önüne bulundurarak gruplandırmışlardır. Ayrıca çözünen gazlar için arıza tespiti yapmışlardır. [9], [10] makalelerde ise değişik yaklaşımlar kullanılarak yalıtım yağında çözünen gaz analizi yapılmıştır.

Transformatörlerin aşırı yüklenmeleri veya harmonikler sebebiyle kayıpların artmasına ve buna bağlı olarak özellikle sargılarda sıcaklık artışlarına ve yalıtım malzemelerinde bozulmalara sebep olmaktadır [11]–[14]. IEEE standartlarına göre, bir transformatörün normal çalışma şartlarında maksimum sargı sıcaklığı 110 °C olarak belirlenmiştir [13]. Ali Burhan HALİLOĞLU yapmış olduğu tez çalışmasında [15], belirlenen güç transformatörlerinin standartlara göre termal analizi yapılmış etkin sıcaklık noktası ölçümleri yapılmış, harmonikler ve aşırı yüklenmelerin transformatörün ömrüne etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak [16], [17] çalışmalarda ise etkin sıcaklık noktası (HST), termal analiz için kullanılan çeşitli yöntemlerle tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Etkin sıcaklık noktası transformatörlerin yaşlanma ve kalan ömür tahminlerinde kullanılan en önemli yöntemdir. Bu yöntem, IEEE ve IEC tarafından da kabul edilmiştir [18]. Ancak sadece etkin nokta sıcaklığı bilgisi kalan ömür tahmini için yeterli görülmemiştir. Perkins

ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, etkin nokta sıcaklığına çözünmüş gaz analizini ve transformatörlerin elektriksel ve fiziksel özelliklerini de ekleyerek bir algoritma geliştirmişlerdir [19].

Transformatörlerin arıza tespitine yönelik çalışmalar devam ederken, bu çalışmalara paralel olarak bakım-onarım yöntemleri de gelişmektedir. W. Young 1998 yılında yapmış olduğu çalışmada, transformatörlerin yaşam yönetiminde durum görüntülemeyi incelemiştir. Bu çalışma sonucunda transformatörlere bazı sensörler eklenerek durum görüntüleme işleminin sürekli devam etmesini ve bu sayede olası arızaları tespit etmeyi amaçlamıştır [20]. M. D. Judd ve arkadaşları 2002 yılında 100 MVA'lık bir güç transformatöründe uygulamalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [21]. M. Wang ve arkadaşları 2002 yılında yayınlamış oldukları makalede, servisteki güç transformatörleri için durum değerlendirmesi yapmışlardır. Bu değerlendirmede istatistikî bilgiler kullanılarak transformatörlerde oluşan arızalar belirlenmiş ve en çok hangi parçaların arızalandığını tespit edilmiştir. Buna ek olarak yaşlanmaya göre arıza istatistikleri çıkarılmıştır. Arızaları tespite yönelik çözünmüş gaz analizi, sargı direnç değerleri, sıcak nokta sıcaklığı analizleri ve kısmi deşarj test sonuçlarını incelenmiş ve bu sonuçlara göre transformatör durum değerlendirmesi yapılmıştır [22].

Joachim Schneider ve arkadaşları [23], varlık yönetim teknikleri isimli makalede bakım-onarım yöntemlerini dört başlık altında tanımlamışlardır. Bunlar, düzeltici bakım-onarım, zaman temelli bakım-onarım, durum temelli bakım-onarım ve güvenilirlik merkezli bakım-onarım yöntemleridir. Abu-Elanien ve Salama 2010 yılında yaptıkları çalışmada [24], transformatörler için varlık yönetim teknikleri üzerinde araştırma yapmışlardır. Transformatörlerde varlık yönetimini 3 gruba ayırarak açıklamışlardır.

- Durum izleme ve değerlendirme
- Bakım planı yapma
- Yaşlanma, sağlık ve yaşam değerlendirmesi

2015 yılında, Murugan ve Ramasmy, 2009 ve 2013 yılları arasında TANTRANSCO ve TANGEDCO elektrik şirketi ortaklığına bağlı güç transformatörlerinin arıza istatistiklerini

incelemişler ve arıza analizi yapmışlardır. Bunun sonucunda da transformatörlerin en uygun bakım-onarım yöntemlerini belirlemeye çalışmışlardır [25].

Çalışmanın ikinci bölümde transformatörlerin genel yapısı, kullanım alanları ve transformatör çeşitlerine ait genel bilgiler verilmiştir. Yine aynı bölümde soğutma sistemleri hakkında ve türlerine ait bilgiler yer almaktadır.

Bu bölümün devamında ise, güç transformatörlerinde meydana gelen arızalar incelenerek hata ağacı diyagramı oluşturulmuştur. Bu diyagram oluşturulurken TEİAŞ'ın 1995-2007 yıllarında kaydedilen arıza verileri [1] ve Cigre (International Council on Large Electric Systems) çalışma grubunun yapmış olduğu uluslararası anket çalışmasından yararlanılmıştır [26].

Dördüncü bölümde transformatörün durumunun belirlenmesi için uygulanması gereken analiz yöntemlerine değinilmiştir. Bunun devamında ise durum görüntüleme sonuçlarına göre uygulanması gereken bakım-onarım yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu yöntemler açıklanmıştır. Bölümün son kısmında ise yaşlanma, sağlık ve yaşam değerlendirilmesi hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde WEKA yazılımı hakkında genel bilgilendirme yapılmıştır. Devamında ise güç transformatörlerine ait güç, yaş, yüklenme ve arıza verilerinden oluşan 240 adet veriden oluşan veri seti WEKA yardımıyla kümelenecek uygun bakım-onarım yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmasının sonuç bölümünde ise bulunan sonuçlar ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır ve her bir transformatörün bakım-onarım yöntemi belirlenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Enerjiye olan talebin her geçen gün artması, enerji iletim sistemlerini daha karmaşık bir yapı haline getirmektedir. Buna paralel olarak, güç transformatörlerine olan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu sebeple, şebeke içerisinde kritik öneme sahip donanımların başında gelen güç transformatörlerinin arıza tespitine ve bakım-onarım yöntemlerine olan dikkatin artırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışması ile güç transformatörlerinde oluşan arızalar incelenmiştir ve bu verilerden faydalanılarak transformatörler için hata ağacı diyagramı oluşturulmuştur. Bu

diyagramın devamında ise literatürde mevcut olan bakım-onarım yöntemleri açıklanmıştır ve transformatörlere uygun bakım-onarım yöntemini belirlemek için teorik bir çalışma ile yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada güç transformatörlerine uygulanan bakım-onarım yöntemleri araştırılmıştır. Buna ek olarak transformatörlerin arıza istatistikleri kullanılarak hata ağacı diyagramı oluşturulmuştur ve arıza istatistiklerine ek olarak kritik öneme sahip özellikler belirlenerek kümeleme çalışması yapılmıştır. Sonuç kısmında ise, kümeleme sonucunda transformatörlerin durumlarına göre kullanılması gereken uygun bakım-onarım yöntemleri açıklanmıştır. Bu çalışma sayesinde çok önemli bir enerji sistemi donanımı olan güç transformatörlerinin güvenilirliğinin artırılması, enerji kayıplarının ve buna bağlı olarak maddi kayıpların azaltılması hedeflenmiştir.

TRANSFORMATÖRLER

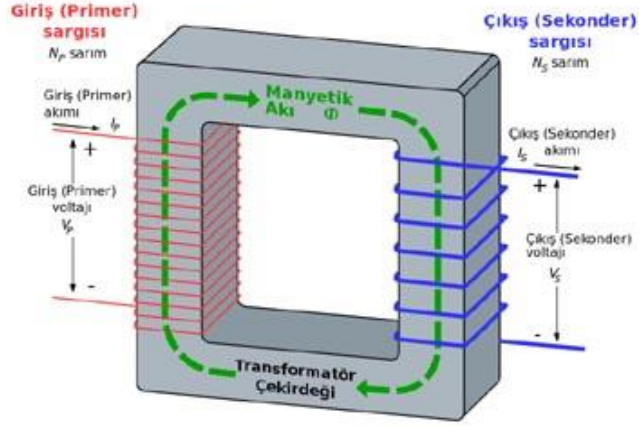
2.1 Transformatörlerin Genel Tanımı

Transformatör ya da diğer bir deyişle Trafo, AC sistemlerde manyetik indüksiyon yoluyla frekansı ve gücü değiştirmeksizin gerilim ve akım seviyesini değiştirmek için kullanılan bir elektrik makinesidir. Transformatörün tamamı hareketsiz parçalardan oluşması sebebiyle verim oranı en yüksek elektrik makinesi çeşididir [27].

2.1.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Transformatörler, ince özel sacların birleştirilmesiyle oluşan kapalı bir manyetik gövde ile bunun üzerine eklenen yalıtılmış sargılardan oluşmaktadır. Trafolarında iki adet sargı vardır. Bu sargılardan gerilim verdiğimiz kısım birincil (primer) sargı, gerilim aldığımız kısım ise ikincil (sekonder) sargı olarak adlandırılır. Primer ve sekonder sargıların birbirleri arasında elektriksel olarak bağlantısı bulunmamaktadır. Primer ve sekonder sargılar birbirlerinden elektriksel olarak yalıtıldıkları gibi nüveden de yalıtılmışlardır. Bu yalıtım için yalıtkan olarak, pres bant, mika, pamuk reçine, kâğıt, pertinaks, ağaç takozlar, bazı plastik maddeler ve çeşitli yağlar gibi malzemeler kullanılmaktadır [28].

Transformatörün primer sargısına uygulanan AC gerilim, sargılarda değişken bir manyetik alan oluşturur. Manyetik alanın yönü ve şiddeti uygulanan AC gerilimin yönüne ve şiddetine bağlıdır. Bu değişken manyetik alan, üzerinde sekonder sargıların da bulunduğu manyetik nüve üzerinden devresini tamamlar.



Şekil 2.1 Transformatör çekirdek ve sargıları

Bu manyetik alanın sekonder sargıları kesmesi ile de sargılarda alternatif bir gerilim indüklenir [27].

2.1.1.1 Transformatörün Dönüştürme Oranı

Transformatörlerin primer ve sekonder sargıları arasında sabit bir oran vardır. Bu orana dönüştürme oranı denir. Eğer primer sarım ve gerilim sabit kabul edilirse sekonder sarım sayısı artırılarak gerilim artırılır ve akım düşülür veya azaltılarak sekonder gerilim düşürülüp akım artırılır [27].

$$K_d = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.1)$$

K_d : Dönüştürme oranı

N_p : Primer sarım sayısı

N_s : Sekonder sarım sayısı

V_p : Primer gerilimi

V_s : Sekonder gerilimi

I_p : Primer akımı

I_s : Sekonder akımı

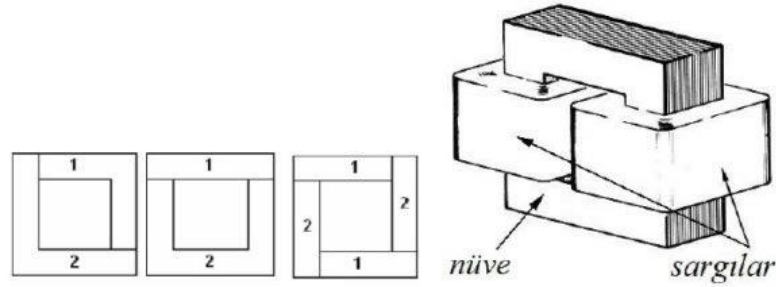
2.2 Transformatörlerin Sınıflandırılması

Uygulamada ihtiyaçlar farklı olduğu için transformatör çeşitleri de fazladır. Bu nedenle transformatörler farklı başlıklar halinde incelenmiştir.

2.2.1 Manyetik Nüvenin Yapılış Şekline Göre Transformatörler

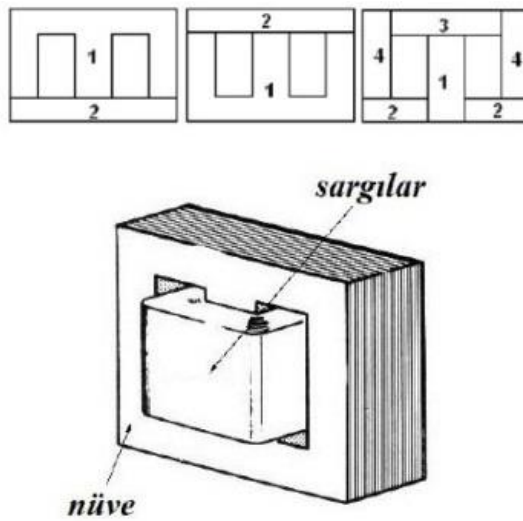
Transformatörler, kullanılan nüve türlerine göre üçe ayrılır. Bunlar; mantel tip, çekirdek tip nüveler ve dağıtılmış tip nüvelerdir [29].

Çekirdek tip nüvelerde yalıtım için fazla alan bırakılmıştır. Buna ek olarak sargı kontrolleri kolaydır. Bu tip transformatörler, yüksek gerilim ve büyük güçler için kullanılmaktadır [29].



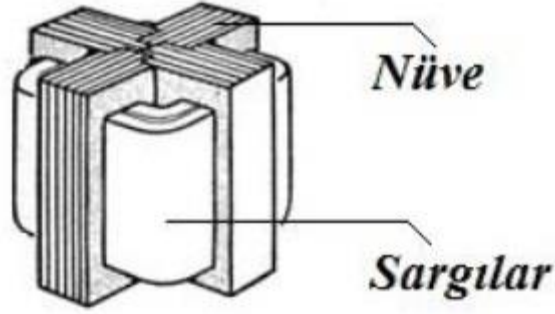
Şekil 2.2 Çekirdek tip nüveli transformatör sac şekilleri

Mantel tip nüveler alçak gerilimler için kullanılmaktadır. Sargılar manyetik nüve tarafından sarılmış şekildedir. Demir yolu kısadır ve mıknatıslanma akımı küçüktür [29].



Şekil 2.3 Mantel tip nüveli transformatör ve sac şekilleri

Dağıtılmış tip nüveli transformatörler ise kaçak alanlar küçük olduğu için boşta çalışma akımları ve iç gerilim düşümleri azdır. Soğutulmaları daha kolaydır [29].



Şekil 2.4 Dağıtılmış tip nüveli transformatör

2.2.2 Çalışma Ortamına Göre Transformatörler

Transformatörler kullanıldıkları ortamın durumuna göre suya, su basıncına, sıcaklığa, yağmura, soğuk hava şartlarına ve toza karşı korunmalıdırlar. Bu sebeple transformatörler çalışma ortamına göre

- İç mekân tipi transformatörler
- Platform tipi transformatörler
- Su altı tipi transformatörler
- Yer altı tipi transformatörler

şeklinde sınıflandırılmaktadırlar [29].

2.2.3 Faz Sayısına Göre Transformatörler

Transformatörler faz sayıları dikkate alındığında iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunlar, tek fazlı ve çok fazlı transformatörler olarak isimlendirilmektedir [29].

Tek fazlı transformatörlerde tek primer sargısı bulunmaktadır ve tek fazlı giriş sinyali vardır. Sekonder sargısı ise ihtiyaca göre tek veya çoklu olabilir.

Çok fazlı transformatörlerde ise iki veya daha fazla primer sargı bulunmaktadır. Sekonder sargısı ise amaca göre iki veya daha fazladır. Genellikle çok fazlı transformatörler üç fazlı sarılır.

2.2.4 Kullanım Amacına Göre Transformatörler

Transformatörler birçok alanlarda ihtiyaca yönelik kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre transformatörler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- **Güç Transformatörleri (İletim ve Dağıtım Transformatörleri):** Üretilen enerjinin uzak noktalara iletilmesi amacıyla gerilimi yükseltmek ve düşürmek amacıyla kullanılmaktadır [30].
- **Yalıtım (İzolasyon) Transformatörleri:** Yalıtım transformatörlerinin amacı iki devreyi elektriksel olarak birbirinden ayırmaktır. Bu sayede herhangi bir tarafta oluşan kısa devre arızaları ve her türlü parazitin önlenmesi amaçlanmaktadır. Bu tip transformatörlerde primer ve sekonder sargıların gerilimleri aynıdır [30].
- **Ölçü Transformatörleri:** Yüksek gerilim ve büyük akımların ölçülebilmesi için bu tip transformatörler kullanılmaktadır. Ölçü transformatörlerinde yüksek gerilimler ve büyük akımlar sekonder sargılarında ölçü aletlerinin ölçebileceği değerlere düşürülmekte ve bu sayede kolay ve doğru ölçümler yapılabilmektedir [30].
- **Oto Transformatörler;** Primer sargısının bir kısmının veya tamamının sekonder sargı olarak kullanıldığı ve her iki sargısının da aynı manyetik alanın etkisinde kaldığı transformatör tipidir. Tek sargı kullanımı sebebiyle maliyeti diğer transformatörlerden daha düşüktür. Bazı yüksek gerilim hatlarında ve ölçü transformatörü olarak da kullanılmaktadır [30].

2.2.5 Uygulanan Soğutma Sistemine Göre Transformatörler

Transformatörlerin çalışması sırasında oluşan kayıplar sebebiyle ısı meydana gelmekte ve bu ısı transformatörün yalıtım yapısını bozarak transformatöre zarar vermektedir. Bu sebeple transformatörlerin soğutulması gerekmektedir.

Soğutma işlemi için hava, su ve yağ olmak üzere üç soğutucu çeşidi kullanılmaktadır. Bunlardan ihtiyaca göre yalnız bir tanesinin kullanılabilmesi gibi ihtiyaç duyulması halinde ikisinin de kullanıldığı uygulamalar mevcuttur. Çizelge 2.1'de gösterilen soğutma çeşitleri kullanılarak oluşturulan soğutma yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [31].

Çizelge 2.1 Transformatörlerde Kullanılan Soğutma Tipleri ve Soğutucuların Kısaltmaları

SEMBOL	İNGİLİZCE	TÜRKÇE
O	Oil	Yağ
A	Air	Hava
W	Water	Su
N	Naturel	Tabii
F	Force	Zorlanmış

Kuru tip transformatörlerde kullanılan soğutma sistemleri [31]:

- Doğal Hava Soğutmalı (AN – Air Natural)
- Hava üfleli (Air Blast)

Yağlı Tip transformatörlerde kullanılan soğutma sistemleri [31]:

- Doğal hava ve yağ soğutmalı (ONAN – Oil Natural Air Natural); Fan ve yağ pompası kullanılmaz. Soğutma doğal hava ile yapılır.
- Doğal yağ ve cebri hava Soğutmalı (ONAF – Oil Natural Air Forced); Fan kullanılır, yağ pompası kullanılmaz.
- Cebri Yağ ve Cebri Hava Soğutmalı (OFAF – Oil Forced Air Forced); Hem yağ pompası hem de fan kullanılır.
- Cebri Yağ ve Cebri Su soğutmalı (OFWF - Oil Forced Water Forced); Hem yağ hem de su pompası kullanılır.

2.3 Kuru Tip Transformatörler

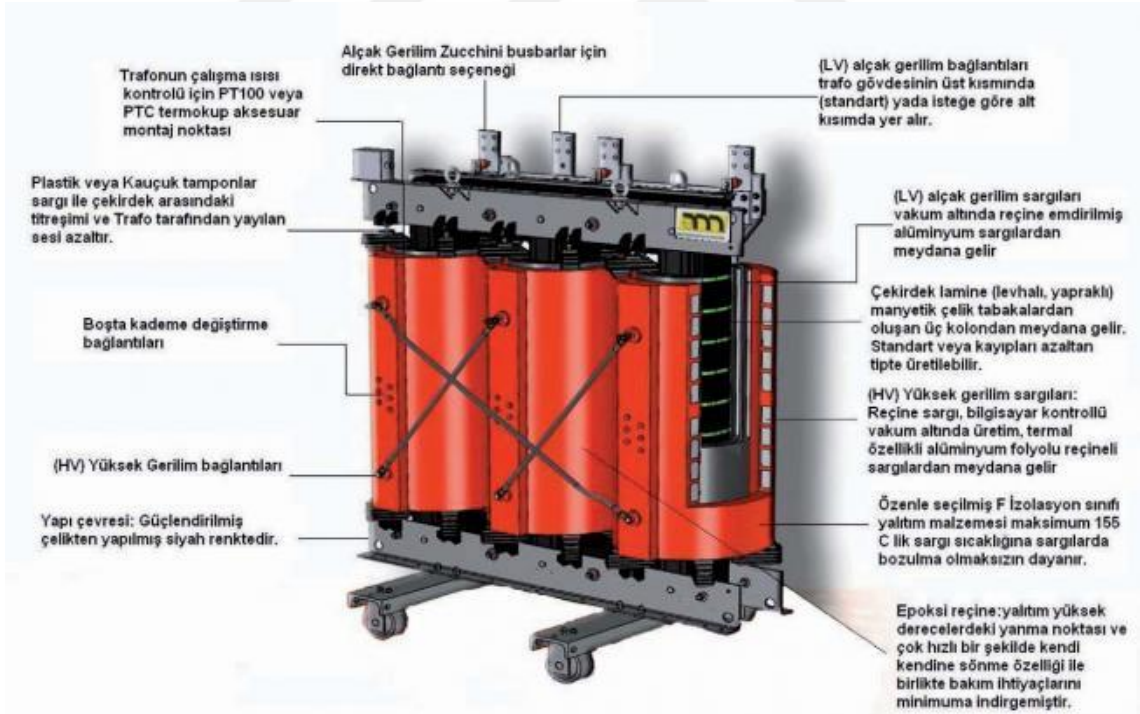
Kuru tip transformatörler, sargıları ve manyetik devresi yalıtkan bir sıvıda korunmayan, sargıları cam elyaf destekli epoksi reçine ile kaplanmış ve dış etkilere karşı yalıtılmış

transformatörlerdir. Bu tip transformatörler atmosfer altında veya gaz içinde rahatlıkla çalışabilmektedir. Gazlı türler, genellikle azot gazı içinde bulunmaktadır [32].

Kuru tip transformatörün özellikleri [32]:

- Sargıların yalıtımı için kullanılan epoksi kolay tutuşmama ve kendiliğinden sönebilme özelliğine sahiptir. Ayrıca zehirli gaz yaymaz
- Bakım gerektirmez
- Tozlu ve nemli ortamlara dayanıklıdır
- Fanlı soğutma sistemi ilavesiyle güç kapasitesi % 50'ye kadar artırılabilir
- Boyutları yağlı tip transformatörlere göre daha küçüktür

Kuru tip transformatörlerin yukarıda belirtildiği gibi avantajları vardır. Ancak yalıtım problemleri sebebiyle yüksek güçlü sistemlerde yağlı tip transformatörler tercih edilmektedir. Şekil 2.5'te kuru tip transformatörün yapısı gösterilmektedir [33].



Şekil 2.5 Kuru Tip Transformatör

2.4 Yağlı Tip Transformatörler

Yağlı tip transformatörler, hermetik tip ve genişleme depolu tip olarak iki çeşit üzere imal edilmektedir. Her iki çeşitte de transformatör sargılarının tamamı yağın içerisinde.

Hermetik tipteki transformatörler atmosfere kapalıdır ve bakım gerektirmez. Bu tip transformatörler fabrika ortamında hermetik basınç ayarı yapılarak atmosfere kapatılmaktadır. Yağın genişmesi dalgalı ve elastik kazan yapısı sayesinde kontrol edilir. Dalga duvarlar hem ısıyı dışarıya ileterek hem de genişleme ve büzülme hareketleri yaparak genişleyen yağı absorbe ederler. Yalıtım yağı hava ile temas etmediği için oksitlenme meydana gelmez ve nemden etkilenmez. Bu sebeple hermetik tipteki transformatörler genişleme depolu transformatörlere göre daha uzun ömürlüdürler [34].



Şekil 2.6 Hermetik tip transformatör

Genişleme depolu transformatörlerde ise periyodik bakım yapılmalıdır. Yağ, atmosfer ile etkileşim halinde olduğu için zamanla bozulmaya ve yalıtkanlık özelliğini kaybetmeye başlar. Bu sebeple periyodik olarak yağ değişimi ve aktif kısımların kurutulması işlemleri yapılmalıdır.

Yağlı tip transformatörlerde [35];

- Çekirdek (Nüve)
- Sargılar

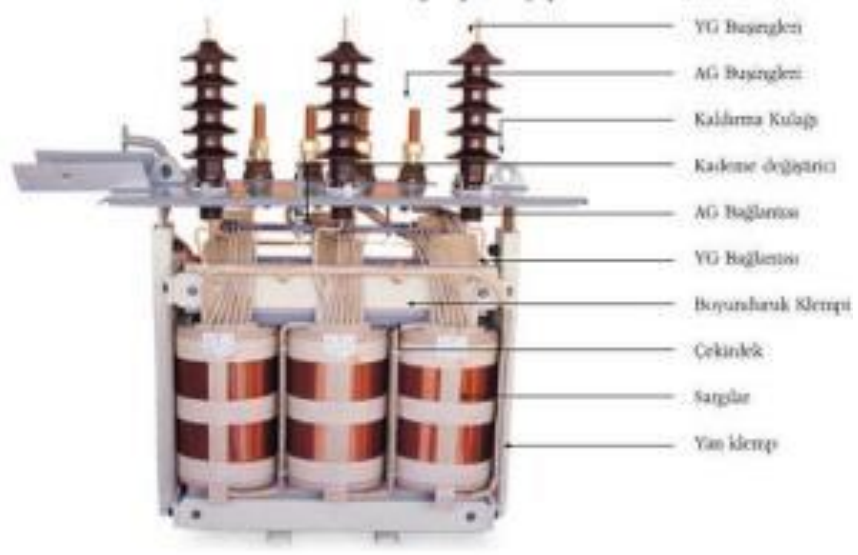
- Transformatör kazanı ve kapağı
- Yalıtım yağı
- Buşing ve terminaller
- Kademe değiştirici
- Genleşme tankı ve yağ seviye göstergesi (sadece genleşme depolu tipte)
- Kablo kutuları bulunur.



şekil 2.7 Yağlı tip genleşme depolu transformatör



şekil 2.8 Yağlı tip genleşme depolu transformatörün yapısı



Şekil 2.9 Yağlı tip genleşme depolu transformatörün içyapısı

Genleşme depolu transformatörlerin istenilen işletme şartlarında çalışabilmeleri için yardımcı aksesuarlara ihtiyaç duymaktadırlar.

Bunlar [35];

- Yağ Rezervuar Tankı
- Teneffüs Tertibatı
- Emniyet Borusu (Genleşme Borusu – Deve Boynu)
- Buchholz Rölesi
- Yağ Isıl Göstergesi
- Sargı Isıl Göstergesi
- Gaz Basınç Rölesi
- Gaz Kontrol Göstergesi
- Kademe Değiştirici
- Radyatörler
- Vantilatörler (Fanlar)
- Devir Daim Pompaları
- Yangın Söndürme Tertibatı

- Ark Boynuzları
- Tekerlekler
- Raylar

Yukarıda sayılan elemanların hepsinin bir güç transformatöründe bulunması mümkün değildir. Kullanım amacına göre transformatörlere eklenmektedir.

2.5 Transformatör Korumaları

Transformatörlerde herhangi bir arıza meydana geldiğinde koruma elemanlarının devreye girerek arızayı izole etmesi ve sistem güvenliğini sağlaması beklenmektedir. Bununla birlikte son yıllarda transformatörlerde oluşması muhtemel arızaları belirlemek amacıyla izleme cihazları da kullanılmaktadır. Genellikle 5 MVA üzeri güçteki transformatörlerde kullanılan koruma donanımları aşağıdaki gibidir [36].

- Buchholz Koruma
- Aşırı Yük Koruma (Termik Röle veya Sıcaklık görüntüleme sistemleri)
- Aşırı Akım Koruma
- Toprak Arıza Koruma
- Diferansiyel Koruma
- Kademe Buchholz Koruma
- Parafudr ve Ark Boynuzlarıdır.

5 MVA'dan düşük güçteki transformatörler için uygulanan koruma donanımları;

- Buchholz Koruma
- Aşırı Akım Koruma
- Toprak Arıza Koruma
- Transformatör Zati Koruma
- Parafudr ve Ark Boynuzlarıdır [36].

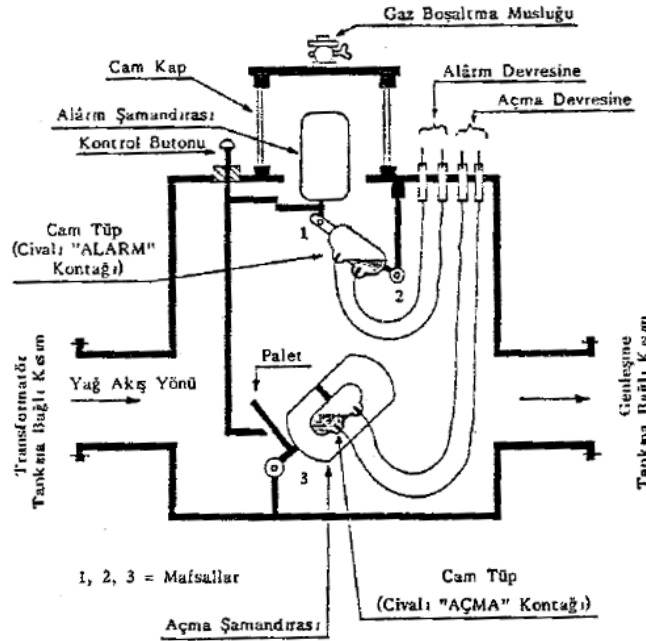
2.5.1 Buchholz Koruma

Alman mühendis Max Buchholz tarafından tasarlanan ve kendi ismiyle anılan bu röleler 1940'lı yıllardan günümüze kadar güç transformatörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Transformatör içerisinde meydana gelen arklardan ve deşarjlardan dolayı oluşan gazların biriktiği röledir. Rölede biriken gaz yoğunluğuna göre uyarı ve açma sinyalleri vermektedir. Bu sayede transformatör içi arızaların, transformatöre büyük zararlar vermeden ortaya çıkmasını sağlar [37].



Şekil 2.10 Buchholz rölesi



Şekil 2.11 Buchholz rölesi içyapısı

2.5.2 Aşırı Yük Koruma

Güç transformatörleri aşırı yüklendiklerinde sargı sıcaklıklarında artış meydana gelmektedir. Bu sıcaklık artışı yalıtım malzemelerinin ve yalıtım yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Bu da transformatörlerin ömürlerini azaltmaktadır. Aşırı yüklenmeye karşı koruma önlemi olarak termik koruma yapılmaktadır. Bu da sargı sıcaklığının ölçülmesi veya yağ sıcaklığının ölçülmesi şeklinde yapılmaktadır [38].

- **Yağ sıcaklığının ölçülmesi;** transformatör tankındaki yağın sıcaklığı ölçülerek belirlenen değerleri aşması durumunda uyarı vermesi ve koruma işlemini gerçekleştirmesi için sıcaklık ölçüm sensörleri kullanılmaktadır [38].



Şekil 2.12 Yağ sıcaklığı ölçüm sensörü

- **Sargı sıcaklığının ölçülmesi;** Sargı sıcaklığı güç transformatörleri için önemli bir faktördür. Yalıtım yağının sıcaklığı sargı sıcaklığına bağlıdır ve transformatörün çalışma koşullarını göstermek için kullanılmaktadır. Bu sebeple korunacak transformatörün ısınma zaman sabitine göre ayarlanabilecek bir termal imaj rölesi de aynı amaçla kullanılmaktadır. Büyüklüğüne göre transformatörlerin sargılarının etkin nokta sıcaklıklarını izleyebilmek için değişik yerlere sıcaklık izleme sensörlerinin yerleştirilmesi ile ideal bir aşırı yük koruma sağlanması amaçlanmaktadır [38].

2.5.3 Aşırı Akım Koruma

Transformatörlerde aşırı akımlar [39];

- Faz-Toprak arızası
- Transformatör sargılarında sıcaklık artışı
- Transformatör sargılarında aşırı yüklenme sonucu meydana gelen aşırı akım
- Yağ seviyesinin düşmesi
- Sargı-Toprak arızası sonucu meydana gelen ark ile transformatör tankının delinmesi
- Herhangi bir arızadan dolayı ark meydana gelmesi ve katı ve sıvı yalıtım maddelerinin yanması gibi sebeplerden dolayı meydana gelmektedir.

Aşırı akım röleleri iki kısma ayrılmaktadır [39].

1. **Çıkış aşırı akım koruma Rölesi:** Transformatörlerin sekonder devresine bağlanan rölelerle sağlanmaktadır. Transformatörleri aşırı akımlara karşı korumada kullanılır. Rölelerin çalışma akımları, transformatör nominal akımlarına göre seçilir, genellikle %120'si esas alınır. Zaman ayarı transformatörün kısa devreye dayanma süresi dikkate alınarak belirlenmektedir [38].
2. **Diferansiyel Aşırı Akım Koruma Rölesi:** Güç transformatörlerinin primer ve sekonder akımlarının eşit ve aralarında 180° faz farkı olması prensibiyle çalışmaktadır. Transformatörün primer ve sekonder sargılarında bulunan akım transformatörlerinin arasında bulunan bölgeye diferansiyel koruma bölgesi denilmektedir. Bu bölgede herhangi bir arıza meydana geldiğinde diferansiyel bölgeye giren akımlar ile çıkan akımların farkı alınır. Normal şartlarda diferansiyel bölgeye giren ve çıkan akımların genlikleri eşit ve fark akımları sıfır olur. Arızalı durumda akımlar arasında fark oluşur ve diferansiyel röle çalışarak kesiciyi açtırır. Böylece arıza akımı kesilir, transformatör devre dışı edilir [39].



Şekil 2.13 Diferansiyel Röle

2.5.4 Toprak Arıza Koruma

Güç transformatörlerinde faz sargıları ile toprak arasında meydana gelebilecek faz-toprak kaçaklarına karşı sistemin korunmasını sağlamak için faz toprak arıza koruma rölesi kullanılmaktadır. Oto transformatörler ve yıldız-yıldız bağlı transformatörlerin toprak arıza akımları primer ve sekonder sargılar arasında geçiş yaptığından dolayı bir faz toprak koruma rölesi yeterli olur. Ancak bunun dışındaki transformatörler için primer ve skonder sargılar için ayrı faz toprak rölesi gerekmektedir [40].



Şekil 2.14 Toprak Rölesi

Nötr topraklama dirençleri ile donanım ve çalışan güvenliğini sağlamak için arıza akımları sınırlandırılmaktadır. Direk topraklamada, sistem direk olarak toprağa bağlanarak topraklanır ve arıza akımı toprağın direnci ile sınırlandırılır. Ancak arıza akımı bu yöntemde transformatöre ve diğer sistem donanımlarına zarar verecek kadar büyük olabilir. Bu sebeple nötr ile toprak arasına yerleştirilen nötr topraklama dirençleri sayesinde oluşan arıza akımları, direnç değerleri ayarlanarak güvenli seviyelerde sınırlandırılmış olur.

Arıza akım değerleri, transformatörler ve diğer donanımların dayanabileceği seviyeye göre sınırlandırılmaktadır. Bununla birlikte, arıza akımı, toprak arıza rölelerinin algılayabileceği kadar da büyük olmalıdır [41].



Şekil 2.15 Nötr topraklama direnci

2.5.5 Parafudr ve Ark Boynuzları

Parafudr, yüksek gerilim tesislerini yıldırım düşmesi gibi nedenlerden dolayı meydana gelebilecek dış yüksek gerilimlere karşı korumak amacıyla kullanılmaktadır [38].

Parafudr, büyük akım darbelerinin toprağa iletilmesini sağlayarak işletmeleri kesintiye uğratmadan çok yüksek gerilimleri şebeke yalıtımı içerisinde zararsız hale getirmektedir. Hat arızaları, kesici açmaları gibi manevralar ve yıldırım düşmesi gibi çeşitli sebeplerle meydana gelen aşırı ve zararlı yüksek gerilim şoklarını toprağa deşarj eden ve yürüyen dalgaların meydana getirebileceği hasarları önlemeye çalışan koruma cihazlarıdır [38].



Şekil 2.16 Parafudr

Ark boynuzları, buşinglerin ve izolatörlerin, hat-toprak taraflarına yerleştirilen uçları kıvrık madeni çubuklardır.

Ark boynuzu atlama aralığındaki yalıtım seviyesi, buşing veya izolatörün yalıtım seviyesinden daha düşüktür. Bu sebeple oluşabilecek aşırı gerilimler ark boynuzları üzerinden boşalacağından sistemin izolasyonu korunmuş olur. Ark boynuzları üzerinden boşalmanın başlaması, ark boynuzları arasında bulunan havanın aşırı gerilim sonucu delinerek ark oluşması şeklinde oluşmaktadır. Ark boynuzu basit yapısı ile hem ucuz bir koruma elemanı hem de sonuç olarak enerji kesilmesine sebep olduğu için artçı koruma elemanı olarak kullanılmaktadır [38].



Şekil 2.17 Ark Boynuzu

HATA AĞACI DİYAGRAMI İLE GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN ARIZA ANALİZİ

3.1 Giriş

Hata ağacı sistemdeki arızalar arasındaki mantıksal ilişkileri gösteren güçlü bir araçtır. Bu sebeple, güç transformatörleri de karmaşık bir yapıya sahip olduğundan arızaları daha iyi anlayabilmek ve meydana gelebilecek sonuçları daha iyi analiz edebilmek için istatistik arıza verileri kullanılarak güç transformatörlerinin hata ağacı bu bölümde oluşturulmuştur.

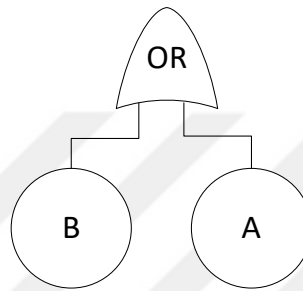
3.1.1 Hata Ağacı Analizi

Hata Ağacı Analizi (FTA) güvenilirlik analizi için kullanılan bir tekniktir. Bell Telefon Laboratuvarlarında, 1962'de Amerikan Hava Kuvvetleri için Minuteman sistemi ile birlikte kullanılmak üzere bu kavram geliştirilmiştir. Daha sonra Boeing şirketi tarafından benimsenmiş ve yaygın şekilde uygulanmıştır. Hata ağacı analizi, operasyon araştırmalarında ve sistem güvenilirliğinde bulunan birçok sembolik "analitik mantık tekniklerinden" biridir.

Hata ağacı diyagramları (veya negatif analitik ağaçlar), bileşenlerin durumları (temel olaylar) bakımından bir sistemin durumunu (en üstteki olay) görüntüleyen mantıksal blok diyagramlarıdır. Bu sistemde olaylar veya başarısızlıklar belirli bir sistem dâhilinde en alt basamaktan en üste kadar inşa edilmektedir. Öngörülebilir, istenmeyen bir kayıp olayına (veya bir başarısızlığa) yol açabilecek bir sistem içindeki yolların grafik bir "modeli" kullanılmaktadır.

Hata ağacı olaylar ve kapılardan inşa edilmektedir. Yollar, standart mantık sembollerini kullanarak (VE, VEYA, vb.) katkıda bulunan olayları ve koşulları birbirine bağlamaktadır. En çok kullanılan kapılar Ve ve VEYA kapılarıdır.

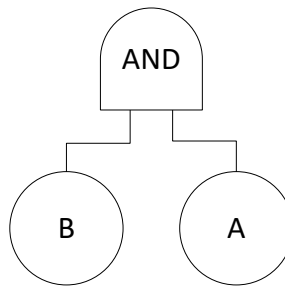
Bir görselleştirme örneği olarak, iki bileşenden oluşan bir sistemin başarısızlığına neden olan bir sistemin A ve B'den oluşan basit bir durumu göz önünde bulundursun. Başka bir olaya (çıkış olayı) yol açabilen iki olay (girdi olayları) herhangi bir giriş olayının meydana gelmesi ile çıkış olayına neden olursa, bu giriş olayları bir VEYA kapısı kullanılarak bağlanmaktadır [42].



Şekil 3.1 VEYA kapısı bağlantısı

Bu sistemin hata ağacı diyagramı, çıkış olayı veya "en iyi olay" olan VEYA kapısına bağlı iki giriş olayını içermektedir. En üstteki olay sistem hatası ve iki giriş olayı bileşen hataları ise, bu hata ağacı, A veya B'nin başarısızlığının sistemin başarısız olmasına neden olduğunu göstermektedir.

Alternatif olarak, çıkış olayının gerçekleşmesi için her iki giriş olayının da oluşması gerekirse VE kapısı ile birbirine bağlanmaktadır.





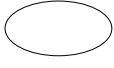




Şekil 3.2 VE kapısı bağlantısı

Bu sistemin hata ağacı diyagramı, çıkış olayı veya "en iyi olay" olan VE kapısına bağlı iki giriş olayını içermektedir. En üstteki olay sistem hatası ve iki giriş olayı bileşen hataları

ise, bu hata ağacı, A ve B'nin başarısızlığının sistemin başarısız olmasına neden olduğunu göstermektedir.

Karmaşık bir hata ağacı oluştururken sadece Ve ve VEYA kapıları yeterli olmamaktadır. Bu sebeple çizelge 3.1'de kullanılan semboller ve kapılar açıklamalarıyla birlikte gösterilmiştir [42].

Çizelge 3.1 Hata Ağacında olaylar ve kapılar için kullanılan semboller

Sembol	Kapı veya Olayın İsmi	Açıklama
	Temel Olay	Temel olay veya Hata
	Gelişmemiş olay	Yetersiz bilginin veya sonuçsuz olay
	Olay	Temel olaylardan meydana gelen olay
	Koşullu olay	Kapıları etkileyen veya kısıtlayan olay
	VE kapısı	Bütün giriş olayları meydana geldiğinde çıkış verir
	VEYA kapısı	Herhangi bir giriş olayı meydana geldiğinde çıkış verir.
	Öncelikli VE Kapısı	Girişler belirli bir sırada meydana gelirse çıkış verir.
	Özel VEYA kapısı	Tam bir girdi olursa çıkış verir.
	Transfer Sembolü	Hata ağacının başka bir yerde daha da geliştiğini gösterir

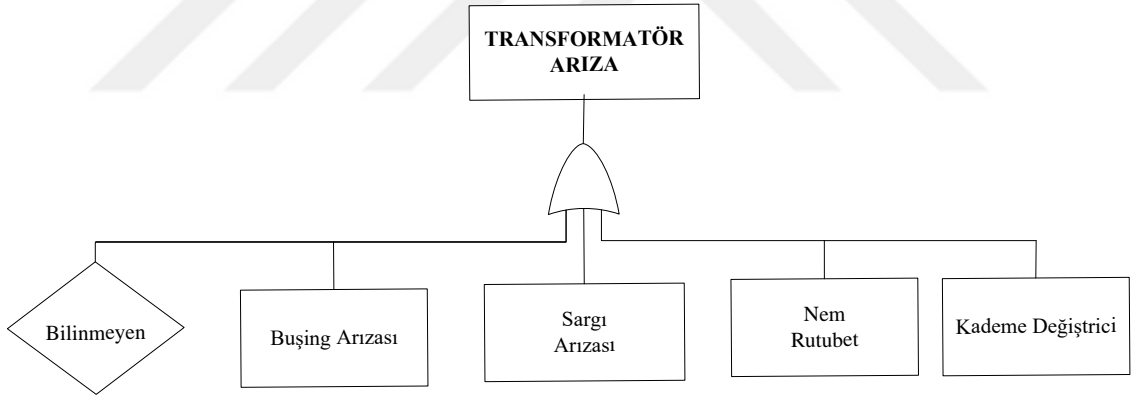
3.2 Hata Ağacının Güç Transformatörlerine uygulanması

Güç transformatörlerinin arıza istatistikleri incelendiğinde genel olarak çizelge 3.2'de gösterildiği şekilde bir sonuç ortaya çıkmaktadır. En fazla arızalanan donanımın, transformatör sargıları ve kademe değiştiriciler olduğu gözlemlenmiştir [1], [26]. Bu donanımları buşing ve nüveler takip etmektedir.

Çizelge 3.2 Güç Transformatörleri Arıza İstatistikleri

Arızalı Komponent	Arıza Oranı (Cigre Group Verileri)	Arıza Oranı (TEİAŞ Verileri 1997-2006)
Sargılar	%46	%30
Kademe Değiştiriciler	%27	%40
Buşingler	%15,5	%14
Nüve ve Diğerleri	%11,5	%16

TEİAŞ ve CIGRE Group'un arıza verileri ayrıntılı olarak incelendiğinde hata ağacının birinci basamağı şekil 3.3'de gösterildiği şekilde, bilinmeyen, buşing arızası, sargı arızası, nem ve rutubet ve kademe değiştirici olmak üzere 5 arıza olayından oluşmaktadır [43].



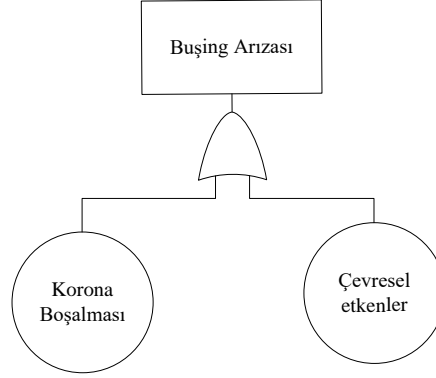
Şekil 3.3 Güç transformatörü hata ağacı diyagramı ilk basamağı

Güç transformatörü hata ağacının birinci basamağındaki olayların her biri ayrıntılı olarak incelenerek aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmaktadır.

3.2.1 Buşing Arızası

Hata ağacı diyagramındaki buşing arızasının sebepleri şekil 3.4'de gösterildiği üzere korona boşalması ve çevresel etkenlerdir [43]. Çevresel etkenler, kötü ve rüzgârlı hava

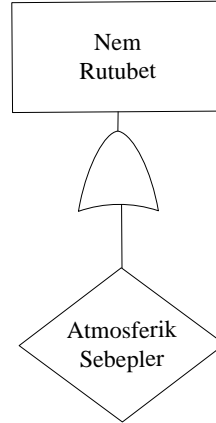
koşullarıdır. Bu koşullar, havanın dayanma gerilimini düşürmekte ve gerilim boşalmalarına sebep olmaktadır. Bu da buşinglerde arızalanmalara yol açmaktadır.



Şekil 3.4 Buşing arızası hata ağacı diyagramı

3.2.2 Nem ve Rutubet Arızası

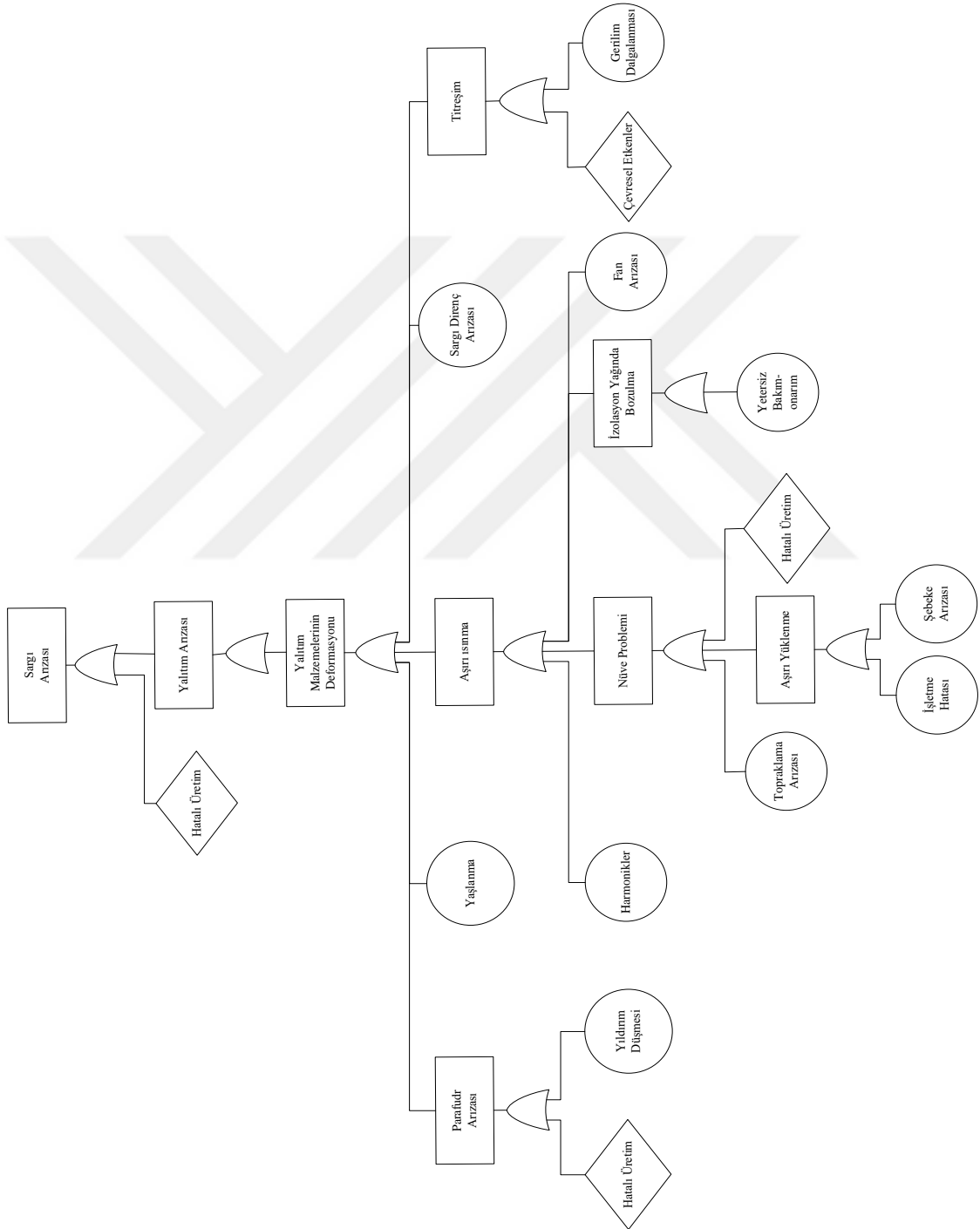
Hata ağacı diyagramında bulunan nem ve rutubet arızaları incelendiğinde şekil 3.5'te gösterildiği üzere atmosferik sebeplerden meydana geldiği tespit edilmiştir [43]. Atmosferik sebepler, kötü hava şartları olarak açıklanabilir. Yağmurlu, karlı ve rüzgârlı havalarda yalıtım yağında nem oluşmasına veya rutubetlenmeye sebep olmaktadır. Bu da transformatörlerin arızalanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.5 Nem ve rutubet arızası hata ağacı diyagramı

3.2.3 Sargı Arızası

Çizelge 3.'de gösterilen arıza istatistikleri dikkate alındığında transformatör sargılarının en fazla arızalanma oranına sahip donanım olduğu açık şekilde görülmektedir. Bu sebeple diğer donanımlara oranla daha ayrıntılı incelenmelidir. Sargı arızaları için hata ağacı diyagramı şekil 3.6'da gösterilmektedir [43].



Şekil 3.6 Transformatör sargılarının Hata Ağacı diyagramı

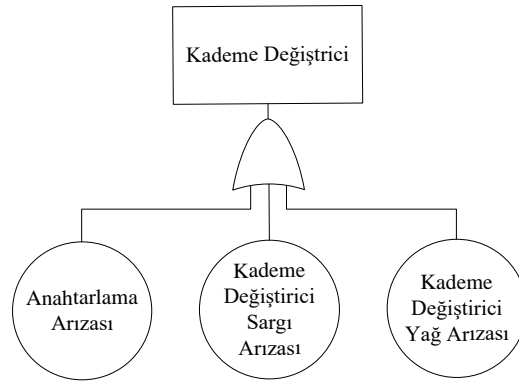
Sargı arızaları incelendiğinde her arızalanmada aynı zamanda yalıtım malzemelerinde deformasyon meydana geldiği de gözlemlenmiştir.

Katı yalıtım malzemesinde veya sargılardaki arızaların sebeplerinden biri hatalı üretilmiştir. Ancak sargı arızasına sebep olan en temel olay aşırı yüklenmedir. Bu da şebeke arızası veya işletme hatalarından dolayı meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra harmonikler ve yaşlanma da önemli ölçüde sargı arızalarını tetiklemektedir. İzolasyon yağında meydana gelen bozulmalar, nüve problemleri, topraklama arızaları, yıldırım düşmesi ve hatalı üretim sebebiyle meydana gelen Parafudr arızaları, fan arızaları, sargı direnç arızaları, çevresel etkenlerden ve gerilim dalgalanmalarından dolayı meydana gelen titreşimler de sargı arızalarına sebep olmaktadır [43].

3.2.4 Kademe Değiştirici Arızası

Kademe değiştiriciler, çizelge 3.2’de gösterilen güç transformatörü arıza istatistikleri göz önüne alındığında, sargılarla birlikte en fazla arızalanma meydana gelen diğer bir donanımdır.

Kademe değiştirici arızaları incelendiğinde, şekil 3.7’de gösterildiği şekilde anahtarlama arızası, kademe değiştirici sargı arızası ve kademe değiştirici yağ arızası olmak üzere üç temel arızadan kaynaklandığı tespit edilmiştir [43].

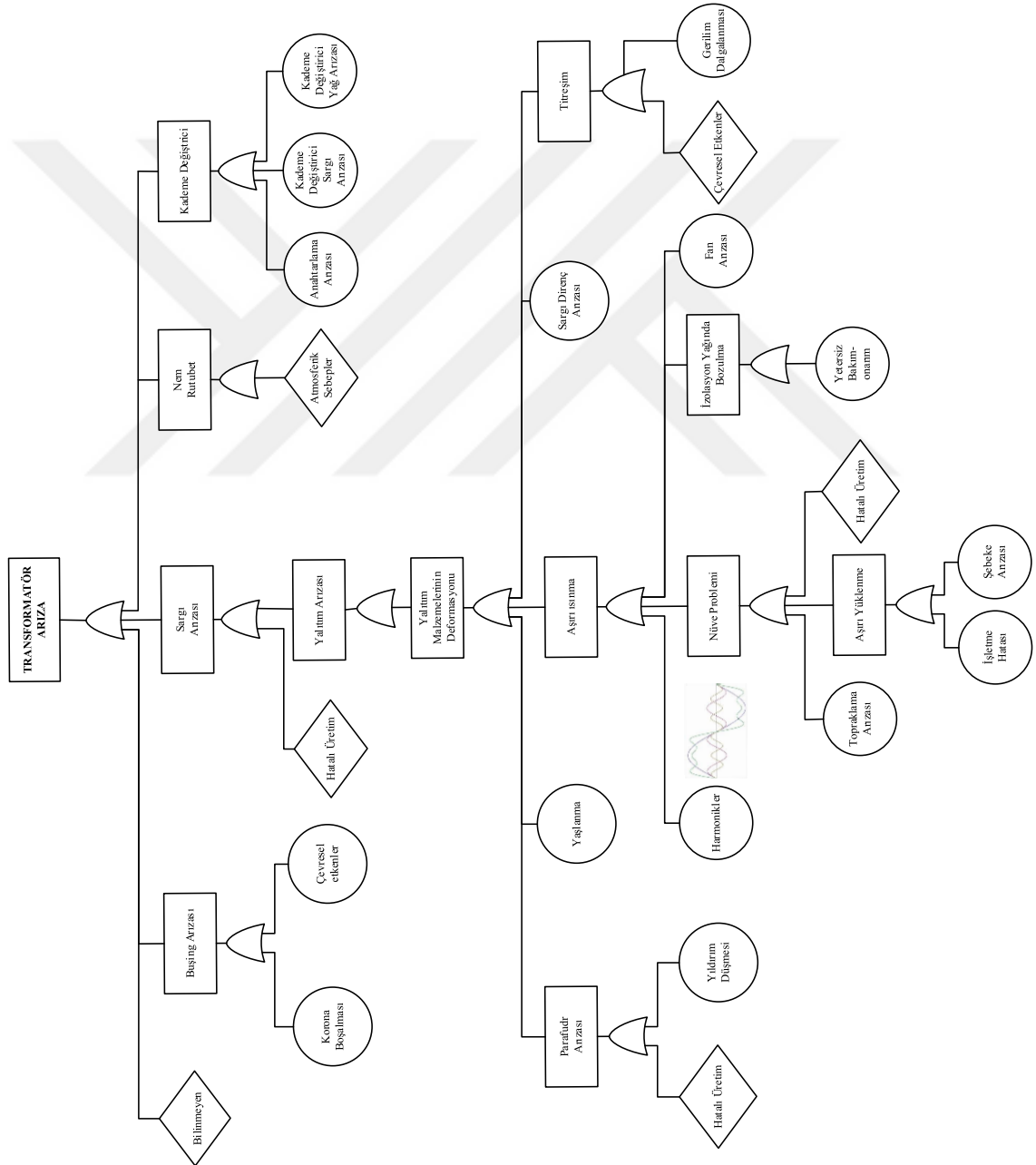


Şekil 3.7 Kademe değiştirici arızaları için hata ağacı diyagramı

3.3 Güç Transformatörleri için Hata Ağacı Diyagramı

Bir önceki bölümde her bir basamağı açıklanarak oluşturulan hata ağacı diyagramı şekil 3.8’de bütün olarak gösterilmektedir. Çizelge 3.1’de gösterilen semboller yardımıyla oluşturulan hata ağacında sargı arızaları en fazla dallanmaya sahip arıza çeşididir.

Sargı arızalarına, buşing arızaları, nem ve rutubet arızaları ve kademe değiştirici arızalarının hata ağaçları da eklenerek bütün olarak güç transformatörlerinin hata ağacı diyagramı aşağıdaki gibidir.

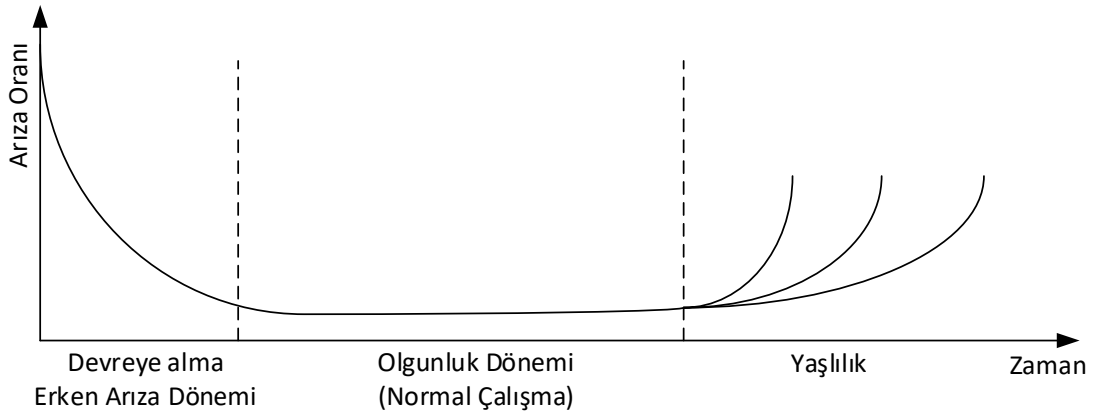


Şekil 3.8 Güç Transformatörü hata ağacı diyagramı

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ İÇİN BAKIM-ONARIM YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Giriş

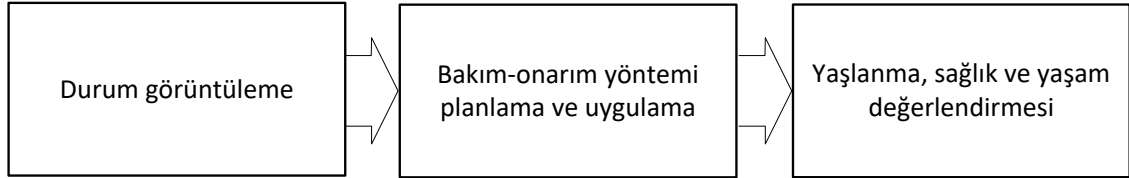
Her geçen gün enerji talebinin artması sebebiyle güç transformatörlerinin yükleri de artmaktadır. Yeni transformatörlerle enerji talebi karşılanmaya çalışılırken eldeki hazır sistemden de optimum şekilde faydalanmak gerekmektedir. Ortalama olarak güç transformatörlerinin ömürleri 40 ile 45 yıl arasında değişmekte iken optimum bakım-onarım stratejileri ile bu süre 60 yıla kadar çıkarılabilmektedir [1].



Şekil 4.1 Küvet eğrisi ile arıza oranlarının zamanla değişimi [44]

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere transformatörler yaşamları boyunca arıza oranlarına göre üç döneme ayrılmaktadır [44]. İlk dönem devreye alma ve şebekeye uyum dönemi. İkinci dönem uyum sonrası ve yaşlanmaya kadar olan dönem. Son dönem ise yaşlanma dönemidir. Transformatöre uygulanacak doğru bakım-onarım yöntemi ile yaşlanma dönemindeki arıza sayıları ve süreleri azaltılarak transformatörün ömrünün uzatılması

sağlanabilmektedir. Ancak doğru bir bakım-onarım yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle transformatörün iyi tanınması gerekmektedir. Bu sebeple transformatör durum görüntüleme ve durum değerlendirme teknikleri kullanılmalıdır. Şekil 4.2’de transformatörlerin tanınması ve değerlendirilmesi için uygulanması gereken durum değerlendirme yöntemleri sırasıyla uygulanmalıdır.



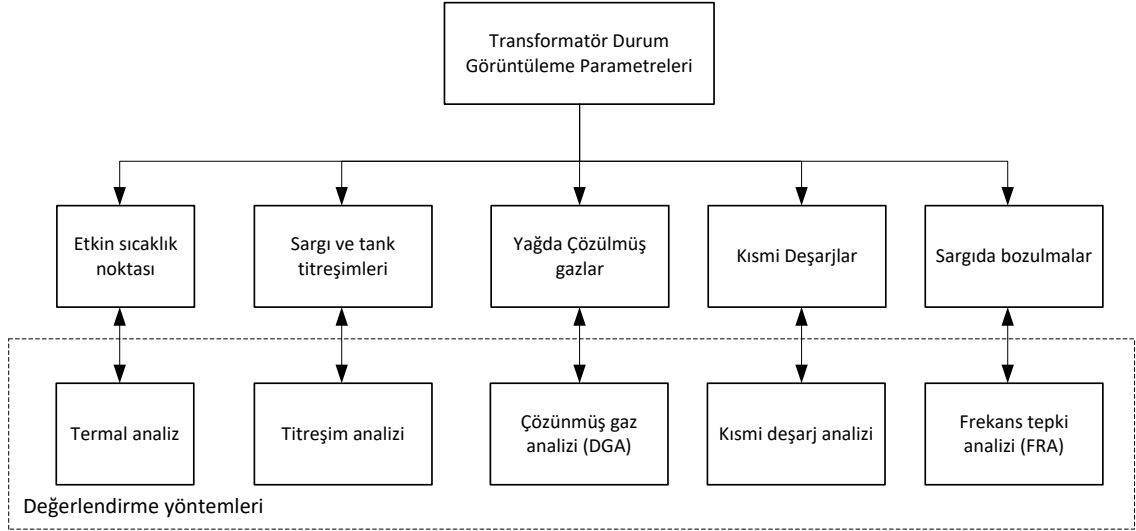
Şekil 4.2 Transformatörün durum değerlendirmesi için kullanılan akış şeması [24]

Bu yöntemler transformatörün durumunu belirlemek amacıyla kullanılan durum görüntüleme, elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle uygun bakım-onarım yönteminin belirlenip uygulanması ve son aşama olarak yaşanan ve güvenilirlik ve kararlılığını yitiren transformatörün yenisi ile değiştirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmaktadır.

4.2 Transformatör Durum Görüntüleme

Oluşması muhtemel arızaları erken algılama bakım-onarım maliyetlerini düşürmekle birlikte oluşabilecek büyük arızaların da önüne geçmeye yardımcı olur. Buna bağlı olarak kararlılığı da artırır. Durum görüntülemeyi bir sistem dâhilinde yapabilmek için şekil 4.3’de gösterildiği üzere beş ana bölüm oluşturulmuştur [24]. Bunlar;

1. Etkin sıcaklık noktası
2. Sargı ve tank titreşimleri
3. Yalıtım yağında çözülmüş gaz analizi
4. Transformatör katı ve sıvı yalıtımdaki kısmi deşarj analizi
5. Sargı hareketleri ve deformasyonlarının analizi



Şekil 4.3 Transformatör durum görüntüleme yöntemleri [24]

4.2.1 Termal Analiz

Arızaların çoğu transformatörlerin termal davranışlarında değişikliklere sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak, termal analiz sayesinde transformatörün durumu hakkında faydalı bilgiler elde edilebilmekte ve herhangi bir arızanın tespiti için kullanılabilir. Herhangi bir arızanın tespiti için kullanılabilir.

Transformatörün en ünlü anormal durumu aşırı yüküdür. Bir önceki bölümde güç transformatörleri için oluşturulan hata ağacı diyagramı incelendiğinde aşırı yüklenmenin getireceği aşırı ısınma sebebiyle yalıtım problemlerine dolayısıyla sargı arızalarına sebep olabileceği gözlemlenmektedir. Aşırı ısınmaları tespit edebilmek amacıyla etkin sıcaklık noktası analizi (HST-Hotspot temperature) kullanılabilir önemli bir yöntemdir. Bu etki sıcaklık analizi iki şekilde yapılmaktadır [24]. Birincisi, yapay sinir ağları gibi yapay zekâ teknikleri kullanılarak [45], ikincisi ise transformatörün ısıl davranışlarını tahmin etmek için kullanılan termal model geliştirmektir.

4.2.2 Titreşim Analizi

Transformatör sağlığını değerlendirmede titreşim sinyallerinin kullanılması, diğer yöntemlere kıyasla yeni bir tekniktir. Transformatör titreşimi, çekirdek titreşimleri, sarım titreşimleri ve yük kademe değiştiricisi titreşimlerinden oluşur. Bu üretilen titreşimler transformatör yalıtım yağı boyunca transformatör duvarlarına ulaşınca kadar yayılır ve titreşim sensörleri vasıtasıyla toplanır. Çekirdeğin ve sargıların sağlık durumu

transformatör tankının titreşim işareti kullanılarak değerlendirilebilir [24]. Ayrıca titreşim analizi, yük kademe değiştiricisi sağlığının değerlendirilmesi için de çok güçlü bir araçtır.

4.2.3 Kısmi Deşarj Analizi

Kısmi deşarjlar, elektrik alan kuvveti belirli bir bölgesel alanın dielektrik bozulma mukavemetini aştığında ortaya çıkar ve burada bir elektrik deşarjı oluşur veya deşarj iletkenler arasındaki izolasyonu kısmen köprüler. İzolasyonun dielektrik özellikleri, uzun süreler boyunca tutarlı kısmi deşarj aktivitesine maruz bırakıldığında ciddi şekilde etkilenir. Kısmi deşarjlar ortadan kaldırılmadığında bu tam bir başarısızlığa neden olabilir. Kısmi deşarjlar, fiber optik sensörler ve Ultra Yüksek Frekanslı (UHF) sensörler kullanılarak tespit edilebilir ve ölçülebilir [24]. Sahada kısmi deşarj ölçümü, gürültülü olmayan kısmi deşarj sinyallerinin çıkarılma zorluluğunu arttıran güçlü birleşmiş elektromanyetik girişimden genellikle etkilenir. Kısmi deşarjın gürültüsüzleştirilmesi için en yaygın yöntemler, Wavelet Transform, kapılama yöntemi ve yönsel algılamanın kullanılmasıdır. Kısmi deşarj ölçümü, çok sayıdaki izolasyon probleminin kısmi deşarj faaliyetiyle başladığı gerçeğinden dolayı transformatör yalıtımının durum değerlendirmesi için kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır.

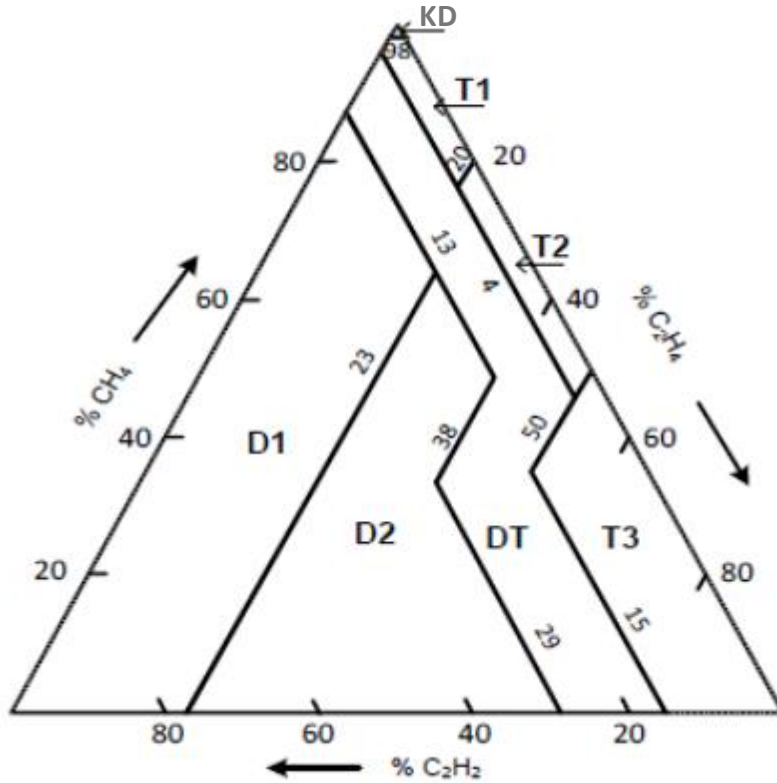
4.2.4 Çözünmüş Gaz Analizi

İzolasyon yağında çözünmüş gaz analizi transformatör arızalarının önceden tahmin edilmesi ve mevcut arızaların sebeplerinin belirlenmesinde kullanılan etkin ve yaygın yöntemlerden bir tanesidir. Çözünmüş gaz analizinde kullanılan farklı konvansiyonel yöntemler mevcuttur [6]. Bu yöntemlerden en meşhuru duval üçgen yöntemidir [7].

Transformatörlerde meydana gelen korona boşalması, yüksek ve düşük enerjili deşarj olayları, ark olayları, aşırı ısınma vb. durumlar transformatör izolasyon yağı içerisinde bulunan kısımlarda yalıtkan maddelerin parçalanmasına neden olmaktadır. Bu parçalanmalarda temel olarak hidrojen (H_2), metan (CH_4), etilen (C_2H_4), asetilen (C_2H_2) ve etan (C_2H_6) gazları farklı yoğunluklarda ortaya çıkmaktadır [6]. Tespit edilen gaz oranlarına göre çeşitli değerlendirme yöntemleriyle arızanın türü ve sebebi hakkında bilgi elde edilebilmektedir.

4.2.4.1 Duval Üçgen Yöntemi

Duval üçgen yöntemi grafiksel bir gösterim yöntemidir. Bu yöntemde yağda çözünen metan, etilen ve asetilen gaz konsantrasyonlarının (ppm olarak) yüzdesel değerleri alınarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde arıza tanımı, şekil 4.4'de farklı kısımlara ayrılmış duval üçgen diyagramı kullanılarak yapılır [7]. Bu diyagramda, hesaplanan yüzde değerinin kesiştiği noktanın bulunduğu kısım hatanın tanımlanmasını sağlar.



Şekil 4.4 Duval üçgen diyagramı [7]

Çizelge 4.1'de her bölgeye karşılık gelen sınır koordinatları ve arıza türleri gösterilmiştir.

Bu yöntemde kullanılan gaz değerlerinin yüzdeleri;

$$\%CH_4 = \frac{100 * X_{duval}}{X_{duval} + Y_{duval} + Z_{duval}} \quad (4.1)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 * Y_{duval}}{X_{duval} + Y_{duval} + Z_{duval}} \quad (4.2)$$

$$\%C_2H_2 = \frac{100 * Z_{duval}}{X_{duval} + Y_{duval} + Z_{duval}} \quad (4.3)$$

Denklemleri ile hesaplanır [6]. Bu denklemlerde, $X_{duval}=CH_4$, $Y_{duval}=C_2H_4$, $Z_{duval}=C_2H_2$ olmak üzere izolasyon yağında çözünen gaz miktarlarının ppm değerlerini ifade etmektedir. Ayrıca bu yöntemde arıza türleri çizelge 4.1’de gösterildiği üzere, kısmi deşarj, düşük enerjili deşarj, yüksek enerjili deşarj, düşük sıcaklık termik arıza, orta sıcaklık termik arıza ve yüksek sıcaklık termik arıza olmak üzere altı kısma ayrılmaktadır [6].

Çizelge 4.1 Duval üçgen yöntemi için arıza tanımı ve sınır bölgeler [7]

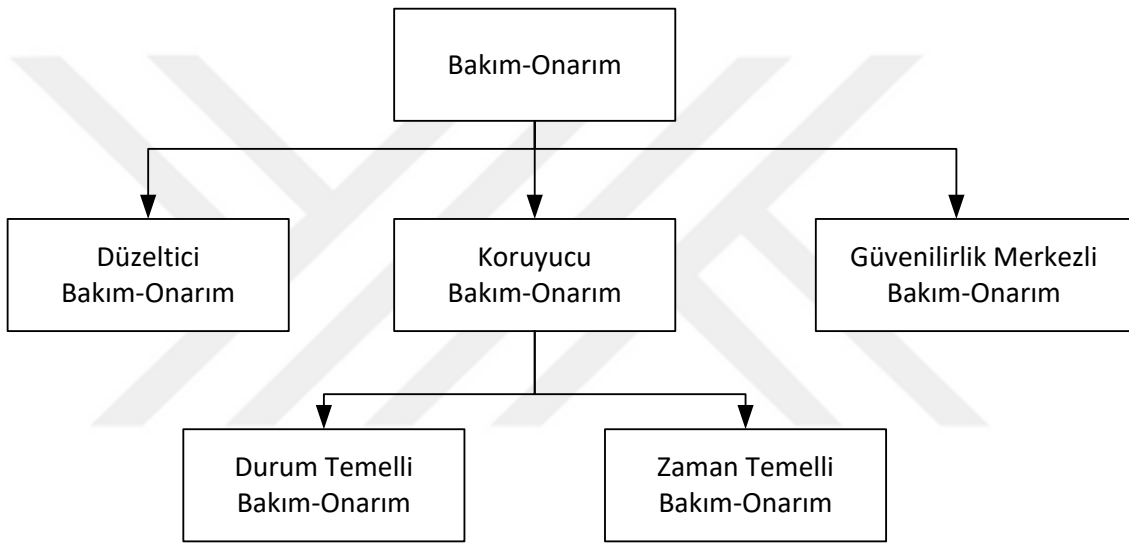
Arıza Türü	Arıza Tanımı	%		
		CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
KD	Kısmi Deşarjlar	98	-	-
D ₁	Düşük Enerjili Deşarjlar	-	23	13
D ₂	Yüksek Enerjili Deşarjlar	-	23-38	13-29
T ₁	Termik Arıza T<300 °C	-	10	4
T ₂	Termik Arıza 300 °C<T<700 °C	-	10-50	4
T ₃	Termik Arıza T>700 °C	-	50	15

4.2.5 Frekans Tepki Analizi

Bir transformatör yüksek arıza akımlarına maruz kaldığında, sarım hareketine, deformasyona ve bazı durumlarda ciddi hasarlara neden olan ciddi mekanik gerilmelere maruz kalmaktadır. Deformasyon, frekans cevabı analizi (FRA) yöntemi ile harici olarak tespit edilebilen, sargının iç endüktansı ve kapasitesine göre göreceli değişikliklerle sonuçlanır. Sargı hasar tespiti, sağlıklı bir sargının (ya da bir transformatör eşdeğer devresi kullanılarak hesaplanan tepki) parmak izlerini hasar gören sargının parmak izleriyle karşılaştırarak gerçekleştirilebilir. Parmak izindeki değişiklikler sarma hasarı derecesini ve konumunu tahmin etmek için kullanılabilir.

4.3 Bakım - Onarım Yöntemleri

Bakım-Onarım yöntemleri değişik bakım maliyetleri ve varlık durumuna bağlı olarak farklı yaklaşımlara ayrılmaktadır. Yaygın olan sınıflandırmalardan bir tanesi, şekil 4.4’de gösterildiği gibi üç ana başlıkta gösteren yaklaşımdır [24]. Bunlar, Düzeltici bakım-onarım, koruyucu bakım-onarım ve güvenilirlik merkezli bakım-onarım yöntemidir. Koruyucu bakım-onarım yöntemi de kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, durum temelli bakım-onarım ve zaman temelli bakım-onarım yöntemidir. Bu yöntemler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmaktadır.



Şekil 4.5 Bakım-Onarım stratejilerinin sınıflandırılması

4.3.1 Düzeltici Bakım-Onarım Yöntemi

Düzeltici Bakım-Onarım yöntemi (Corrective Maintenance) en basit bakım-onarım yöntemidir. Ancak bu yöntem söylenildiği gibi aslında bir yöntem değildir. Çünkü bu yaklaşımda ekipmanlar bozulana kadar çalışmaya devam eder. Bozulduğunda ise duruma göre ya onarılır ya da yenisiyle değiştirilir.

Genel olarak bakıldığında ise harcamalar kısılmış veya gerçekten koruyucu bir yaklaşım ortaya konulmuş olmaz. Hatta aksine daha büyük sorunlara sebep olabilecek durumlarla karşılaşılabilir. Dahası enerji şirketlerine daha büyük zararlara mal olabilir. Buna ek olarak da enerji güvenilirliğini azaltır. Bu sebeple bu yöntem kritik olmayan ekipmanlar için uygulanabilecek bir yöntemdir [24].

4.3.2 Zaman Temelli Bakım-Onarım Yöntemi

Günümüzde en çok kullanılan yöntemdir. Zaman temelli bakım-onarım yöntemi (Time-Based Maintenance) normal zamanlarda ekipmanlara belirli aralıklarla denetim yapılması ve sürekli bakım-onarım çalışmalarının devam etmesi üzerine kurulu bir yöntemdir.

Bu yöntemde önemli olan denetim sürelerinin belirlenmesidir. Bu süreler ya üreticinin yönlendirmesiyle ya da saha ekibinin tecrübeleriyle belirlenir. Ancak denetimler belirli sürelerle arıza olmadan gerçekleştirildiği için yüzeysel olarak yapılır ve bu da ileride büyük riskler doğurabilir. Bu sebeple ayrılan harcama bütçesi azaltılamaz. Ayrıca malzemelerin ömrü de uzatılmış olmaz.

Bu yöntem genelde yüksek ve orta gerilim şebekelerinde kullanılmaktaydı. Denetim aralıklarının sıklığı nispeten yüksek bakım maliyeti gerektirdiğinden, bu aralık denetim maliyetlerinin kabul edilebilir seviyelerde olmasına bağlıdır.

4.3.3 Durum Temelli Bakım-Onarım Yöntemi

Kullanılan ekipmanların durumlarını belirleyebilmek için güncel durum bilgisi gereklidir. Bunun içinde Durum–Temelli (Condition–Based Maintenance) bakım-onarım yaklaşımı kullanılmaktadır.

Durum bilgisi online ölçümler ve offline ölçümler olmak üzere iki şekilde alınmaktadır. On-line olarak, etkin nokta sıcaklığı, yağ seviye göstergesi, sargı sıcaklığı görüntüleme, titreşim görüntüleme, yükte kademe değiştirici mekanizması görüntüleme gibi ölçümler sensörler yardımıyla yapılabilir. Offline ölçümler, görsel denetim, kimyasal testler (Çözünmüş gaz analizi, yağ kalitesi ölçümleri), Dielektrik testler (yalıtım direnci ölçümleri, güç faktörü, kapasite testleri), Elektriksel testler (sargı direnci, manyetik denge testi, dönüştürme oranları v.b.) [25].

Bu yöntemde malzemelere belirli eşik değerleri konulmakta ve onu geçtiği zaman bakım aktiviteleri başlatılmaktadır. Bu yöntem genellikle Çok yüksek ve yüksek voltaj seviyelerinde kullanılmakta ve bu yöntem sayesinde bakım maliyetleri belirlenen seviyelere düşürülebilmektedir. Günümüzde orta gerilim şebekelerine de bu yöntem entegre edilmeye çalışılmaktadır [24].

Pratikte finansal olarak ve lojistik anlamda limitlerin tanımlanması ve önceliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle rekabetçi pazarlarda en ufak hareketlilik dahi izlendiğinden, şebeke ekipmanları bu anlamda önem kazanmaktadır. İletim sisteminin güvenilirliği teknik olarak anahtar rolde olduğundan ve olasılıksal güvenilirlik hesaplamalarının kullanımı ile ölçümler ve hesaplamalar yapılabildiğinden, güvenilirliği sağlamanın önemiyle ilişkili olarak uygun sonuçlara ulaşılmalıdır.

4.3.4 Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım Yöntemi

Güvenilirlik Merkezli Bakım-onarım yöntemi (Reliability Centered Maintenance), risk merkezli olarak en uygun bakım-onarım stratejisini belirlemeyi ve sistemdeki her bir ekipman için ayrı ayrı bakım parametrelerini bulmayı amaçlar. Durum temelli bakım-onarım yöntemine benzer olarak online ve offline durum görüntüleme adımlarını kullanarak anlık ve sürekli olarak ekipmanların durumlarını takip etmekle birlikte sistem performansındaki etkileri de hesaba katar. RCM sadece bakım aksiyonları için öncelik değerlendirmesi yapmayı aynı zamanda yenileme ve tadilat aktivitelerini sıralayan güçlü bir alettir. Çünkü kötü durumdaki malzemeler için malzemeyi değiştirmek mi yoksa tadilattan geçirmek mi daha uygun sorusuna cevap verebilmektedir [24]. Bu sebeple sistem içerisindeki her ekipmanı önem derecesine göre sıralar ve hata modlarını belirleyerek her bir hatanın sistem üzerindeki etkilerini açıklar. Bu yöntem;

- Sistem fonksiyonlarını korumayı
- Hata durumlarını tanımlamayı
- Öncelikli ihtiyaçları belirlemeyi
- Uygulanabilir ve en etkili bakım yönteminin seçilmesini

amaçlar [46].

4.4 Yaşlanma, Sağlık ve Yaşam Değerlendirmesi

Transformatör ekipmanları yaşlanmanın ve deformasyonun etkisiyle sistem dışı olana kadar daha sık arızalanmaya başlar ve daha fazla onarım süresine ihtiyaç duyar. Bakım faaliyetleriyle ekipmanın ömrü uzatılabilir, ancak ömrü biten ekipmanın yaşlanmaya

bağlı olarak yıpranması daha fazla maliyete sebep olur. Bu sebeple ekipman ömrünün belirlenmesinde üç farklı kavram vardır: fiziksel ömür, teknik ömür ve ekonomik mr.

1. **Fiziksel mr:** Bir ekipmanın normal alışma Şartlarında kullanılamayacağı ve emekli olması gerekene kadar yeni koşullarda çalışmaya devam etmesidir.

Transformatörlerin tamamında selüloz tabanlı katı yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. Su, sıcaklık, oksijen ve diğer sebeplerden dolayı selüloz moleküllerinde değişmeler, bozulmalara ve yalıtımın zayıflamasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte tekrar eden aşırı yüklenmeler, harmonikler de transformatörün yıpranmasına ve ömrünün kısalmasına sebep olmaktadır [24].

2. **Teknik mr:** Teknik sebeplerle bir ekipmanın değiştirilmesi gerekebilir, ancak fiziksel ömrünün sonuna gelmeyebilir. Örneğin, bir ekipmanın yeni gelişen teknolojilerle daha farklı üretilmesi ve eldeki ekipmanın yedek parçasının bulunamaması durumunda teknik ömrü bitmiş olur.

3. **Ekonomik mr:** Bir ekipmanın artık fiziksel olarak kullanılabilir olmasına rağmen ekonomik olarak değerini yitirmesi durumudur. Her ekipmanın sermaye değerini her yıl amortismanına tabi tutulur. Varlık değerini sifıra yaklaştığında ise ekonomik ömrünün sonuna ulaşır.

Transformatör yaşam yönetiminde genel olarak ekonomik ve teknik yaşam dikkate alınmaktadır [24].

GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ ARIZALARI İÇİN KÜMELEME ÇALIŞMASI

5.1 Giriş

Güç transformatörlerine uygun bakım-onarım yöntemlerinin belirlenebilmesi için kritik özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler belirlendikten sonra her bir transformatörün ihtiyacına uygun şekilde bakım-onarım yöntemi uygulanmalıdır. Ancak çok fazla transformatör olduğu için her bir transformatörü ayrı ayrı incelemek hem zahmetli hem de çok fazla zaman alan bir süreçtir. Bu sebeple benzer özellikteki transformatörleri gruplandırarak, gruplara uygun bakım-onarım yöntemlerini belirlemek pratikte daha uygulanabilir bir yöntemdir. Gruplandırma işlemi için veri madenciliğinde kullanılan kümeleme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Tercih edilen kümeleme yöntemi WEKA yazılımı kullanılarak veri setine uygulanmıştır.

Alt bölümlerde WEKA yazılımı hakkında ve seçilen kümeleme yöntemi hakkında bilgilendirme yapılmakta ve kümeleme yönteminin güç transformatörlerine uygulanması detaylı şekilde açıklanmaktadır.

5.2 Kümeleme Analizinde Kullanılan Yöntemler

Kümeleme analizinin amacı, belirli özelliklere sahip gruplanmamış verileri özelliklerini dikkate alarak gruplandırmaktır.

Kümeleme yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli husus iki örnek arasındaki benzerliğin nasıl belirleneceğidir. Bu sebeple, nesnelere arasındaki benzerliği veya farklılığı belirlemek için genellikle Öklid, Manhattan ve Minkowski uzaklık ölçüm

fonksiyonlarından biri kullanılmaktadır. Böylece kümeler, kendi içinde homojen ve kendi aralarında heterojen yapıda olmaktadır. Bu fonksiyonlar aşağıda gösterilmektedir.

Her biri p tane nicel değişken içeren x_i ve x_j gözlem çifti arasındaki uzaklık $d_{ij} = d(x_i, x_j)$ olsun.

- Öklid uzaklık ölçüm fonksiyonu;

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (5.1)$$

- Manhattan uzaklık ölçüm fonksiyonu;

$$d(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}| \quad (5.2)$$

- Minkowski uzaklık ölçüm fonksiyonu ($\lambda \geq 1$);

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^\lambda \right]^{1/\lambda} \quad (5.3)$$

5.2.1 Kümeleme Yöntemleri

Kümeleme, hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan olmak üzere genel olarak iki kısma ayrılmaktadır.

- **Hiyerarşik kümeleme yöntemi;** Aşama sıralı kümeleme yöntemi olarak da bilinmektedir
 1. **Gruplayıcı hiyerarşik Kümeleme;** Bu yöntemde her örnek bir grup olarak kabul edilmekte ve en yakın iki küme yeni bir kümede toplanarak birleştirilmektedir. Böylece her adımda küme sayısı azaltılmaktadır.
 - i. Tek bağlantı yöntemi
 - ii. Tam bağlantı yöntemi
 - iii. Ortalama bağlantı yöntemi
 - iv. Merkezi yöntem

v. Varyans yöntemi

2. **Bölücü hiyerarşik Kümeleme;** Gruplayıcı yöntemin tam tersi yöntemdir. Öncelikler bütün örnekler bir küme kabul edilmektedir. Benzer olmayan örnekler ayıklanarak yeni ve daha küçük kümeler oluşturulmaktadır.

- **Hiyerarşik Olmayan Kümeleme Yöntemleri;**

1. K-Ortalama kümeleme yöntemi
2. En çok olabilirlik yöntemi

Transformatör arıza verilerinde kümeleme çalışması yaparken, küme sayısına dışarıdan müdahale edilebilmesi amacıyla hiyerarşik olmayan kümeleme yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Bu yöntemler içerisinde en fazla kullanılan yöntem K-ortalama kümeleme yöntemidir.

5.2.1.1 K-Ortalama kümeleme yöntemi

Kümelemede çok kullanılan algoritmalarından biridir. Algoritmanın amacı özellik çıkarımı yapılmış veri kümesinin birden fazla küme özelliğine göre hangi kümeye ait olduğunu bulmayı amaçlamaktadır.

K-Means yönteminde n adet veri her örneğin kendine en yakın olduğu k tane kümeye ayrılmasını amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntemle başlangıçta en iyi k adet küme bilinemesse bile hesaplanabilir. K-Means kümelemesinin amacı toplam küme içi varyansı veya kare hata fonksiyonunu en aza indirmektir [47].

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (5.4)$$

k: küme adedi

n: örnek adedi

x: örneğin konumu

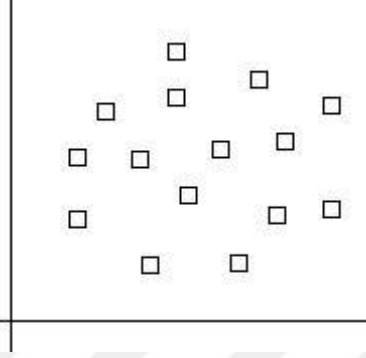
c: küme merkezi

Algoritma aşağıdaki aşamalardan oluşur:

1. Veriler belirlenen k tane gruba ayrılır.

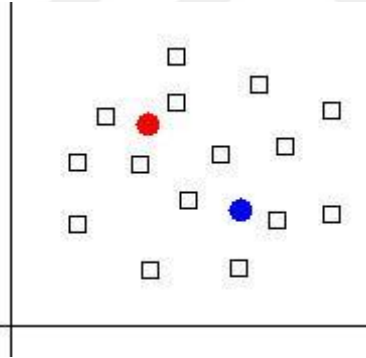
2. Her kümenin merkezi rastgele seçilir.
3. Öklid mesafe fonksiyonu kullanılarak, örnekler en yakın merkeze ait kümeye eklenir.
4. Her kümedeki bütün örneklerin ortalaması veya merkezleri hesaplanır.
5. Her örnek bir kümeye atanana kadar 2., 3. Ve 4. adımlar tekrarlanır.

Algoritmayı daha iyi anlamak için aşağıdaki örnek veriyi inceleyelim.



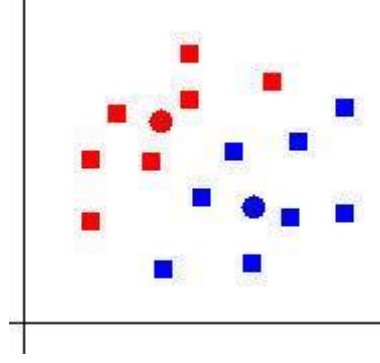
Şekil 5.1 Örnek uzaya dağıtılmış veri kümesi [47]

Şekil 5.5'de verilen ve örnek uzayda kodlaması yapılmış örnek için $k=2$ seçilsin.



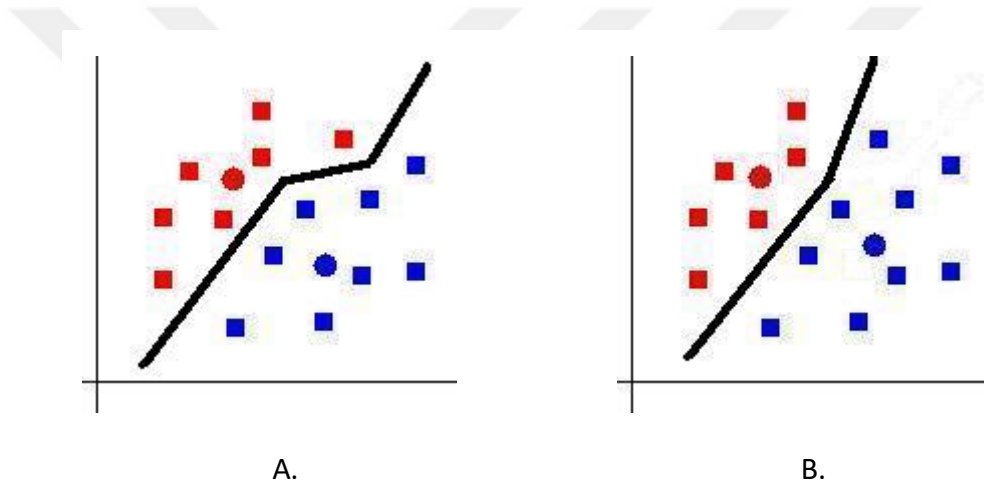
Şekil 5.2 Rastgele seçilmiş kümelerin merkezleri [47]

Algoritma aşamalarından 2. Kısımda belirtildiği gibi şekil 5.6'da da görüleceği gibi rastgele iki merkez seçilir.



Şekil 5.3 Seçilen merkezlere göre verilerin kümelerine atanması [47]

Her bir örnek şekil 5.7’de gösterildiği gibi Öklid mesafe fonksiyonu kullanılarak en yakın kümeye eklenir.



Şekil 5.4 Kümelerin son hali [47]

Kümelenen örneklerin merkezleri hesaplanır. Bazı noktalar yeni belirlenen merkezlerde başka kümeye daha yakın olabilir. Şekil 5.8’in a ve b kısımlarında gösterildiği gibi örneklerin kümelerine göre sınıflandırması güncellenir.

5.3 Weka Yazılımı

Weka (Waikato Environmental for Knowledge Analysis), java programlama dilini kullanan ve Yeni Zelanda’da Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir veri madenciliği yazılımıdır. Modüler bir tasarıma sahip olan bu yazılım kendine özgü olan “.arff” uzantısı desteğine sahiptir. Bununla birlikte Weka yazılımının içerisinde CSV dosyalarını da ARFF formatına çevirme işlevine sahip araçlar bulunmaktadır.

Stokastik değişkenleri nominal veya sayısal değerler olduğunu kabul eder. Bununla birlikte veri tabanından da veri çekebilir. Weka kütüphanesinde hazır olarak bulunan pek çok makine öğrenmesi ve istatistik ile ilgili algoritmaları kullanarak temelde 3 veri madenciliği işlemlerini yapmaktadır [48]. Bunlar;

- İlişkilendirme (Association)
- Sınıflandırma (Classification)
- Kümeleme (Clustering)

Bunlara ek olarak;

- Görselleme (Visualization)
- Veri ön işleme (Data Pre-processing)

veriler üzerinde ön ve son işlemler yapabilmektedir [49].

5.3.1 ARFF Dosya Yapısı

“Attribute Relationship File Format” kelimelerinin baş harflerinin kısaltmasından oluşan format Weka için özel olarak geliştirilmiştir. Dosya öncelikle başlık kısmını içerir. Satırlar % ile başlayarak gerekli açıklamalar eklenir. Sonrasında gelen satırda @RELATION komutuyla birlikte ilişki tipi tanımlanır. Ardından @ATTRIBUTE komutu ile özellikler sırasıyla tanımlanır. Bu format dört farklı tipte veri girişini tanımaktadır. Bunlar [49];

- **Numeric:** Tamsayı veya reel sayılar kullanılabilir.
- **<nominal-specification>** : {<nominal isim 1>, <nominal isim 2>, ..., } olmalıdır.
- **String**
- **Date [<date-format>]:** “yıl-ay-gün ” formatında olmalıdır.

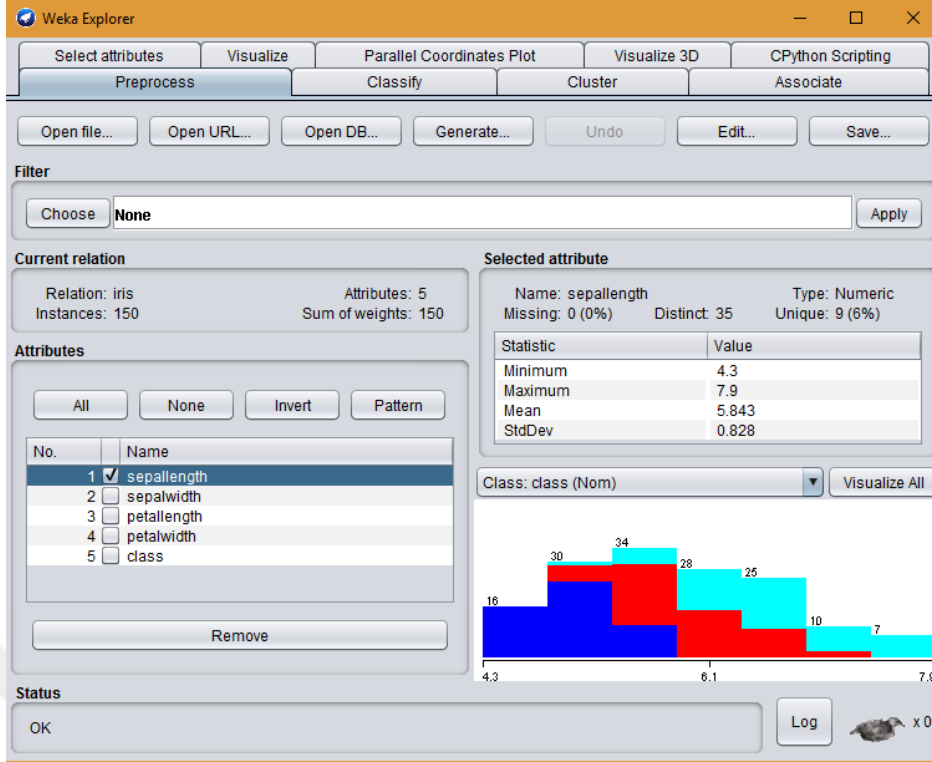
Ve son olarak @DATA komutundan sonra bütün örnekler özelliklerin belirtildiği sıra dikkate alınarak eklenir.

```
@relation    trafodata
@attribute   Outlook {kisadevre, kesiciarizasi, toprakarizasi, busingarizasi,
tankicindepislikbirikmesi, yangin, kismidesarj, dengesizyuklenme}
@attribute   guc          numeric
@attribute   yuklenme    numeric
@attribute   yas          numeric
@data
kisadevre,100,90,25
...
```

5.3.2 Ön İşleme Paneli (Preprocess)

Şekil 5.5 Arff dosya formatı üstbilgi kısmı

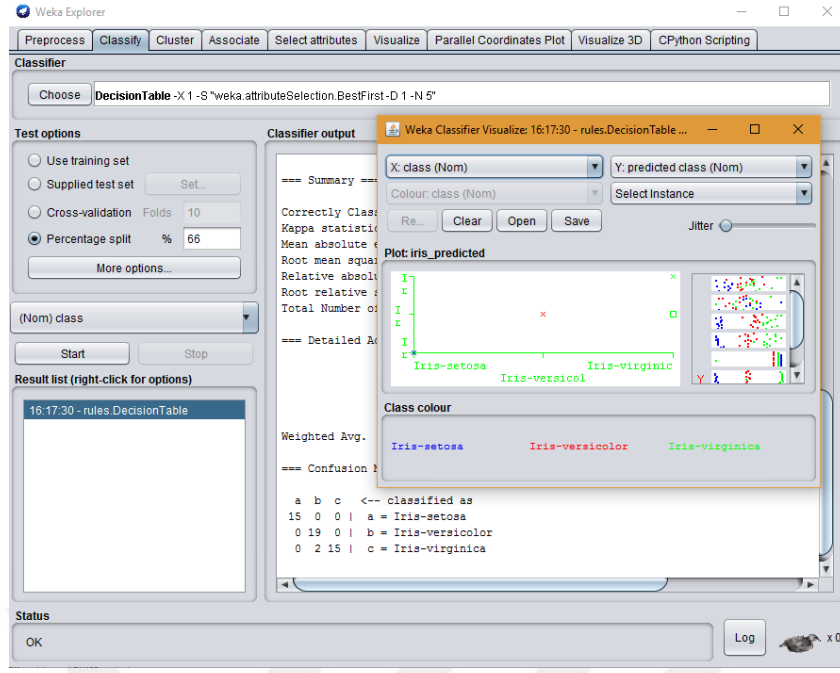
Ana ekranda bulunan “Explorer” bölümünde bulunan “Preprocess” paneli verileri ön işleme tabi tutmanın başlangıç noktasıdır. Bu bölümde veri kümeleri yüklenebilir veya Weka içinde bulunan filtreler sayesinde üzerinde işlemler yapılarak veriler işlenebilir.



Şekil 5.6 Preprocess ekran görüntüsü

5.3.3 Sınıflandırıcı Paneli (Classifier Panel)

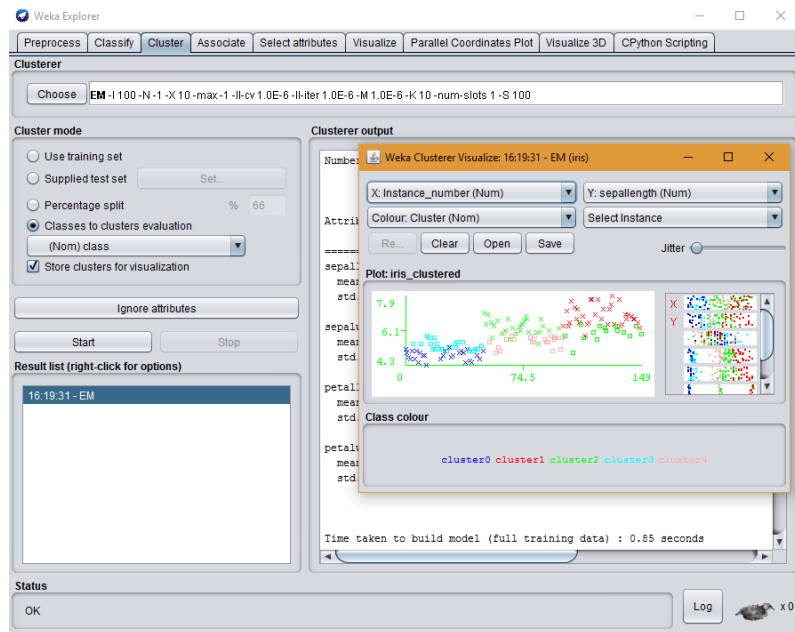
Yüklü sınıflandırma algoritmaları kullanılarak verilerin sınıflandırılması sağlanmaktadır. Ayrıca bu ekranda sağlama yapmak ve test yapmak için farklı verilerde kullanılabilir. Sınıflandırma hataları ayrı bir ekranda açılır ve eğer sınıflandırma algoritması bir karar ağacı oluşturuyorsa bu da ayrıca bir ekranda görüntülenebilmektedir.



Şekil 5.7 Classifier ekran görüntüsü

5.3.4 Kümeleme Paneli (Clustering Panel)

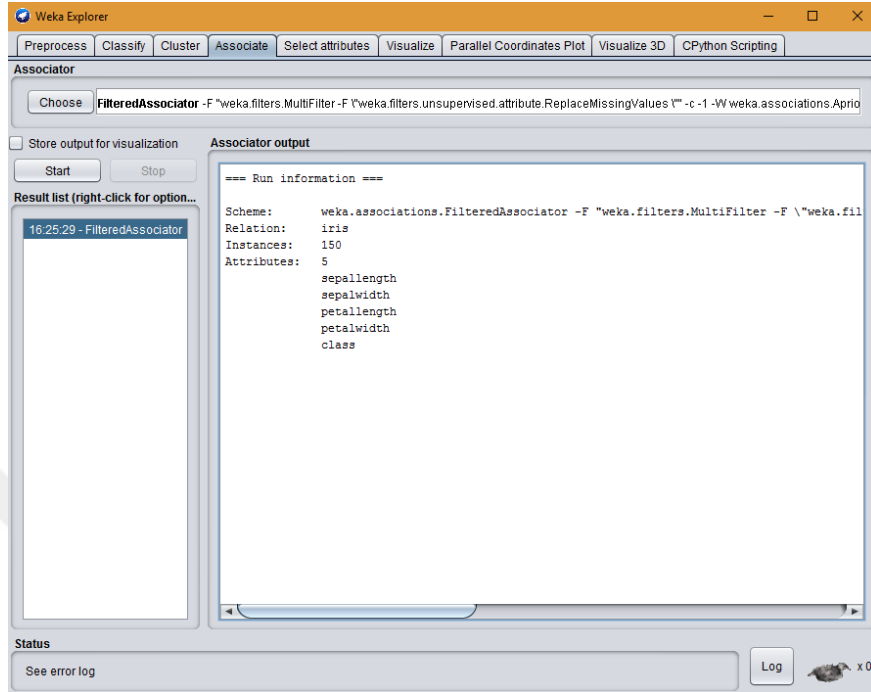
Kümeleme paneli verileri özelliklerine göre uygun algoritmayı kullanarak gruplandırmayı amaçlayan kısımdır. Grup sayısı isteğe göre belirlenebilmektedir. Ancak verilerin özellikleri dikkate alınarak kaç gruba ayrılacağı bilinmiyorsa deneme yoluyla en uygun küme adedi belirlenebilmektedir.



Şekil 5.8 Clustering ekran görüntüsü

5.3.5 İlişkilendirme Paneli (Association Panel)

İlişkilendirme panelinden, weka ilişkilendiricilerini kullanarak geçerli veri kümesini veriler üzerinde oynama yapılabilmektedir.



Şekil 5.9 Associate panel ekran görüntüsü

5.4 K-Ortalamalı Kümeleme Yönteminin Güç Transformatörlerine Uygulanması

TEİAŞ'tan edinilen 240 adet yağlı tip güç transformatörüne ait arıza verileri incelenmiştir [1]. Çizelge 5.1'de transformatörlerin arıza istatistiği görülmektedir. Arıza verileri göz önünde bulundurulduğunda; Kısa devre arızası, sargı arızası, kademe değiştirici arızası ve buşing arızasının, arızaların çoğunluğunu oluşturduğu gözlemlenmektedir. Meydana gelen bu arızaları önceden tespit edilmesi ve transformatörlerin kararlılığının artırılması amacıyla bölüm 4'te açıklanan Bakım-Onarım yöntemleri uygulanmalıdır. Bu sebeple, her bir transformatör tek tek incelenmeli ve ihtiyaç duyulan bakım-onarım yöntemi uygulanmalıdır. Ancak uygulamada çok fazla güç transformatörü olduğundan dolayı, transformatörlerin gruplandırılması ve benzer özellikteki transformatörlere aynı bakım-onarım yönteminin uygulanmasının, zamandan ve iş gücünden tasarruf sağlamanın yanı sıra verimliliğe ve kararlılığa da faydasının olacağı son derece açıktır.

Çizelge 5.1 Güç Transformatörlerinin Arıza İstatistiği

Kısa Devre	83
Sargı Arızası	43
Kademe Değiştirici Arızası	24
Buşing Arızası	18
Faz Kopması	17
Tersiyer Sargı Arızası	13
Fider Arızası	7
Dengesiz Yüklenme	2
Devreye Alma Arızası	1
Fiziksel Hata	2
İzolasyon Arızası	2
Kapasitif Değer Artışı	3
Kesici Arızası	4
Nem ve Rutubet	9
Nüve Arızası	4
Parafudr arızası	1
Radyatör Arızası	1
Toprak Arızası	4
Yangın	2

Transformatörlerin bakım-onarım yöntemlerinin belirlenmesinde arıza istatistikleri önemli bir parametredir. Buna ek olarak arızalanmaya doğrudan etki ettiğinden dolayı yaşlanma ve yüklenme oranı da belirleyici etkenlerdir. Bu parametrelerin yanı sıra transformatörlerin güçleri de şebekeye etkilerinden dolayı önemli bir etkindir. Bunlara ek olarak paralel bağlı transformatörler, iklim koşulları, arazi koşulları gibi etkenlerde bakım-onarım yönteminin belirlenmesi amacıyla göz önünde bulundurulabilir. Transformatörler için aşağıda gösterilen özellikler dikkate alınarak veri seti oluşturulmuştur. Bu özellikler;

- Arıza istatistiği
- Yaş
- Ortalama yüklenme oranı
- Güç

Oluşturulan veri seti, K-Ortalama kümeleme yöntemi ile kümelenebilir. Bu kümeleme ile benzer özellikteki transformatörlerin aynı kümelerle toplanması ve kümelerin ihtiyacına uygun bakım-onarım yönteminin uygulanması amaçlanmaktadır.

K-Ortalama kümeleme yönteminde veriler arasındaki uzaklığı ölçmek için Öklid uzaklık fonksiyonu kullanılarak sonuçlar çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Bu yöntem ile yapılan uygulamada, kümelemeye hata oranları incelenerek karar verilmektedir. Bu oranlar incelendiğinde, 3. kümeden 4. kümeye geçilirken belirgin bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Sonra ise hataların küçük değişimlerle azaldığı görülmektedir. Bu sebeple kullanılan veri seti için en uygun küme adedi dördtür.

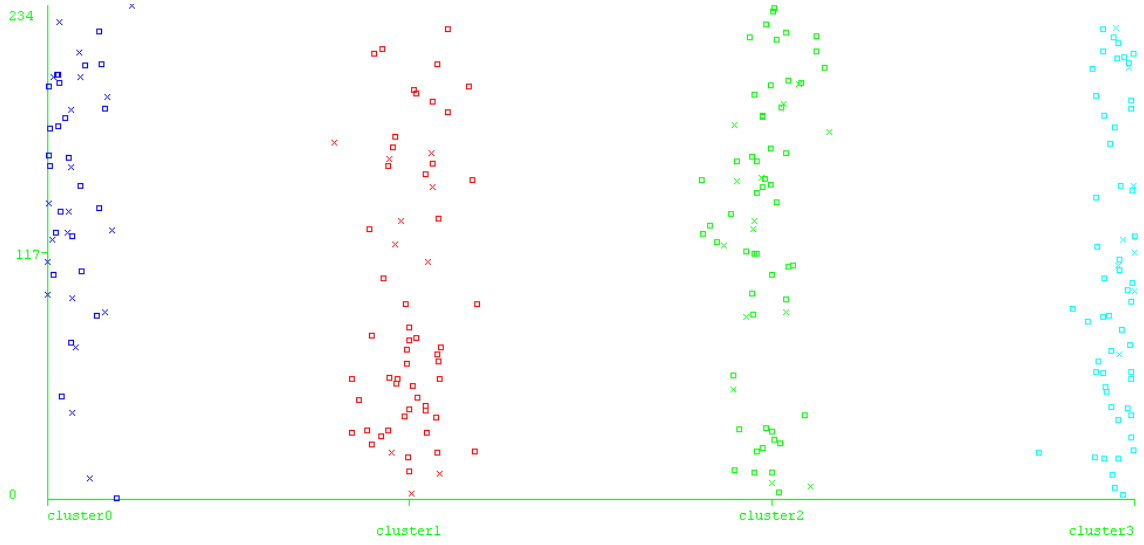
Çizelge 5.2 Öklid uzaklık fonksiyonu ile K-Means kümeleme sonuçları

İterasyon	8	3	7	10	16	11
Hata	27	21	15	13	12	11
Küme Sayısı	Öklid Uzaklık fonksiyonu ile					
0	103	55	44	29	23	21
1	132	100	69	51	48	42
2		80	58	37	37	33
3			64	63	35	35
4				55	48	45
5					44	44
6						15
7						
8						
9						
10						
Toplam	235	235	235	235	235	235

Genel olarak kümelerde aşağıda gösterildiği şekilde bir yığılma olmuştur.

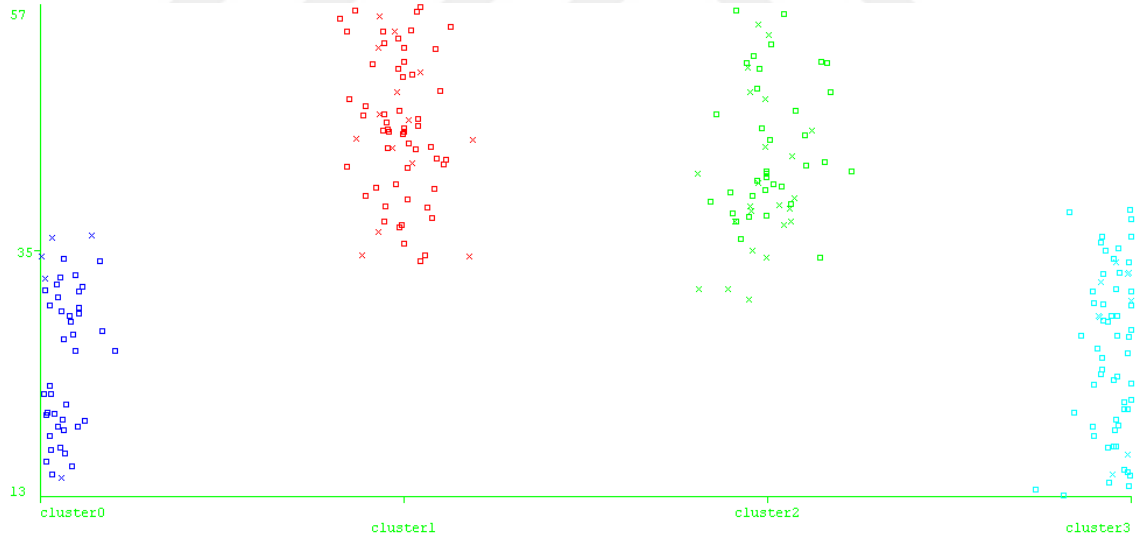
- Küme 0 = 44
- Küme 1 = 69
- Küme 2 = 58
- Küme 3 = 64

Küme grupları daha ayrıntılı incelendiğinde ise, 1’den 235’e kadar her bir transformatör örneğinin hangi kümede olduğu şekil 5.10’da gösterilmiştir. Bu genel dağılım grafiği net çıkarımlar yapılmasına izin vermemektedir. Veri setinde kullanılan özelliklerin kümelere dağılımları aşağıda incelenmektedir.



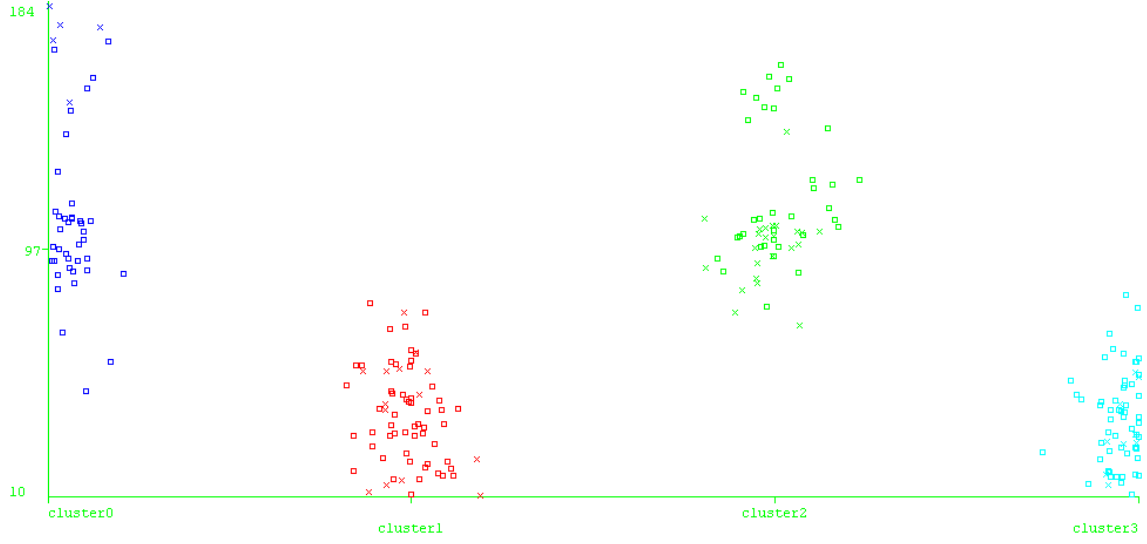
Şekil 5.10 Veri setinin kümelere dağılımı

Şekil 5.11’de yaşlanmaya göre kümeleme grafiği gösterilmektedir. Bu grafikte genç transformatörlerin birinci ve dördüncü kümede, 35 ve üzeri yaştaki transformatörlerin ise genellikle ikinci ve üçüncü kümelere toplandığı açıkça görülmektedir.



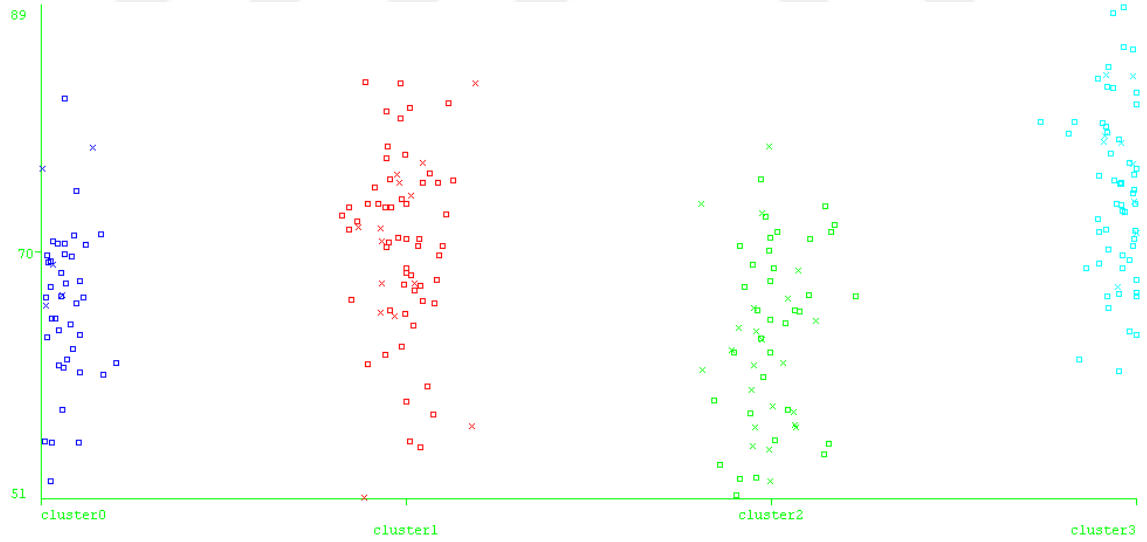
Şekil 5.11 Yaşlanmaya göre kümelere dağılım

Güce göre kümeleme şekil 5.12’de gösterilmektedir. Bu grafikte görüldüğü üzere ikinci ve dördüncü kümelere daha küçük güçteki transformatörlerin, birinci ve üçüncü kümelere ise yüksek güçteki transformatörlerin kümelendiği gözlemlenmektedir.

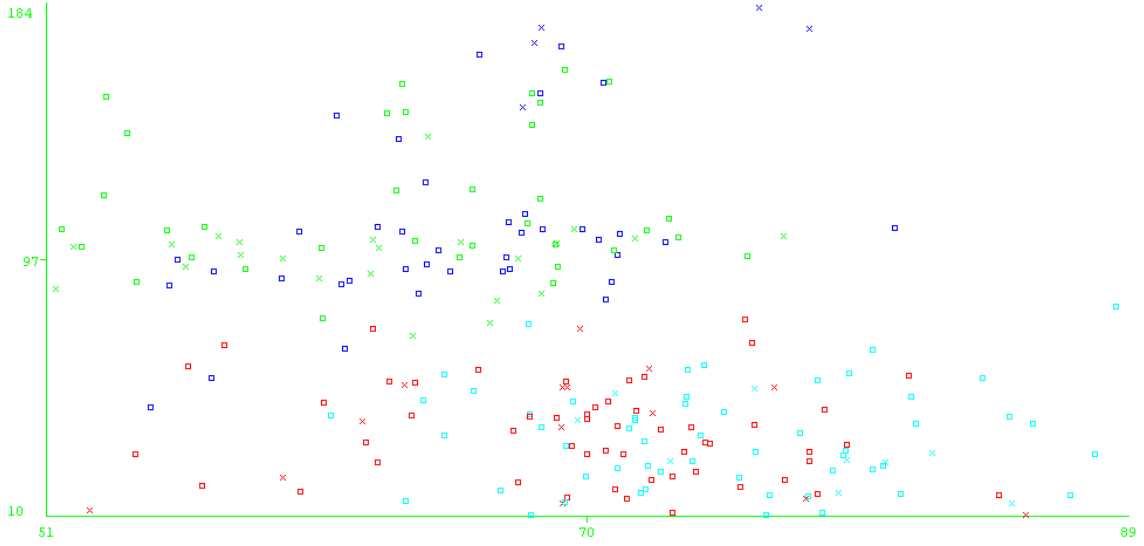


Şekil 5.12 Güce göre kümeleme dağılımı

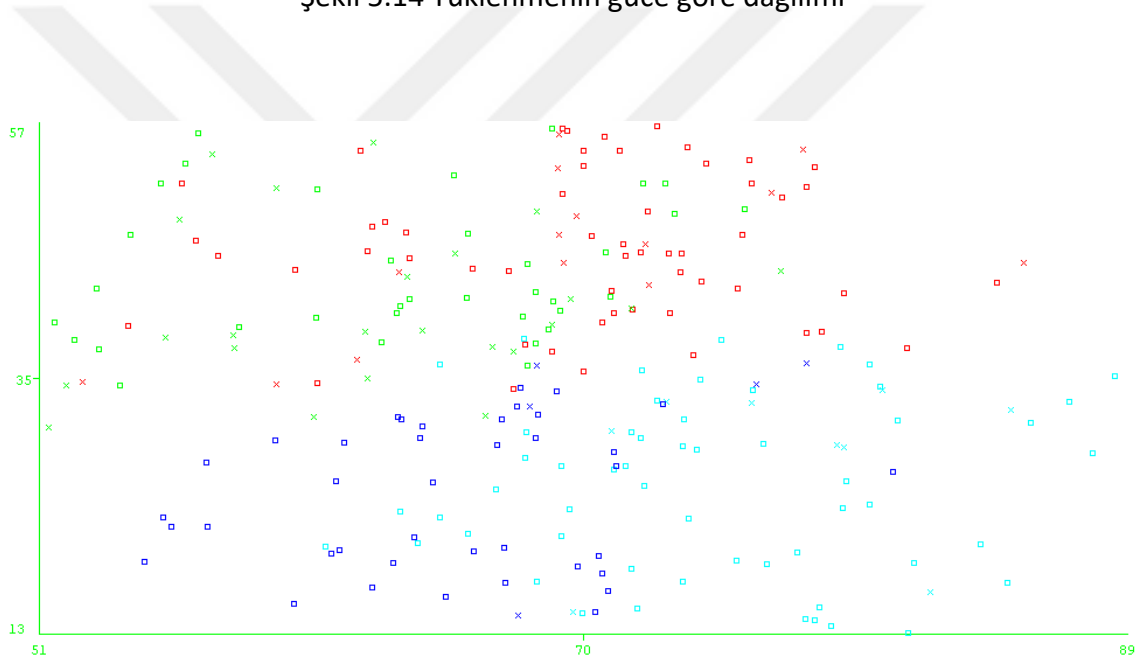
Yüklenme oranlarına göre kümeleme şekil 5.13'te gösterilmektedir. Grafikte de görüldüğü üzere net bir ayırım yapılamamaktadır. Bu sebeple yüklenme oranları hakkında yorum yapabilmek için diğer özelliklere göre dağılımları aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.13 Yüklenmeye göre kümeleme dağılımı



Şekil 5.14 Yüklenmenin güce göre dağılımı



Şekil 5.15 Yüklenmenin yaşa göre dağılımı

Yüklenmenin güce ve yaşa göre dağılımları şekil 5.14 ve şekil 5.15'te gösterilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde de yüklenmenin belirgin olarak kümelenmediği görünmektedir. Bu sebeple kümeleme çalışmasında yaş ve güç belirgin rol oynamış, yüklenme ise bütün kümelere genel dağılım gösterdiğinden dolayı belirgin rol oynamamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Güç transformatörleri, enerji sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır ve şebeke güvenliğini ve güvenilirliğini direk olarak etkilemektedir. Bu sebeple, güç transformatörleri sürekli kontrol altında tutulmalı, oluşabilecek arızalara karşı önceden stratejiler geliştirilmeli ve bakım-onarım yöntemleri uygulanmalıdır. Bu çalışmada güç transformatörleri için hata ağacı ve bakım-onarım yöntemlerine ait önemli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Çizelge 6.1 Kümeleme Analizi Sonuçları

Küme	Transformatör Adedi	Ortalama Güç (MVA)	Ortalama Yaş	Uygun Bakım-Onarım Yöntemi
1	44	112	25	Durum Temelli Bakım-Onarım Yöntemi
2	69	36	46	Zaman Temelli Bakım-Onarım Yöntemi
3	58	109	43	Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım Yöntemi
4	64	33	25	Zaman Temelli Bakım-Onarım Yöntemi

Güç transformatörlerine uygun bakım-onarım yöntemlerinin uygulanabilmesi için öncelikli olarak transformatörünün durumunun net bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple 4. Bölümde açıklanan analiz yöntemleri transformatöre uygulanmalıdır. Bu analiz yöntemlerinde alınan sonuçların değerlendirilmesi sonucu 3. Bölümde oluşturulan hata ağacı diyagramı sayesinde arızalanma ve devamındaki sorunlar ile ilgili bilgi verecektir. Bu analizlerin devamı olarak transformatörlerde kritik öneme sahip olan yaşlanma durumları, yüklenme durumları ve güçleri de göz önüne alınarak her transformatör için ayrı ayrı değerlendirme yapılmalıdır.

Eğer transformatör 250 MVA ve üzeri güce sahipse hiçbir değerlendirmeye gerek duyulmadan güvenilirlik merkezli bakım-onarım yöntemi uygulanmalıdır. Veri setimizde 250 MVA ve üzeri 5 adet transformatör bulunmaktadır. Dolayısıyla bu transformatörlere güvenilirlik merkezli bakım-onarım yöntemi uygulanmalıdır. Bu şartın dışında kalan 235 adet transformatör ise kümeleme sonucuna göre birinci kümede 44 adet transformatör bulunmaktadır. Bu transformatörler incelendiğinde arıza çeşitleri, kısa devre arızası, sargı arızası, buşing arızası, kademe değiştirici arızası, nem ve rutubet, tersiyer sargı arızası ve nötr direnç arızasıdır. Bu kümede ki transformatörlerin yaş ortalaması 25 olarak görünmektedir. Yüklenme olarak ortalama %66 ve güç olarak ortalama 112 MVA olarak görünmektedir. Bu kümedeki transformatörlerin güç ortalamasının yüksek olması ve genç bir transformatör grubu olması sebebiyle durum temelli bakım-onarım yönteminin uygulanması uygun olacaktır.

İkinci kümede ise 69 adet transformatör kümelenmiştir. Bu kümedeki transformatörlerdeki arıza çeşitleri kısa devre arızası, sargı arızası, kademe değiştirici arızası, kesici arızası, toprak arızası, buşing arızası, yangın ve faz kopmasıdır. Bu kümede ki transformatörlerin yaş ortalaması 46, yüklenme ortalaması %70 ve güç ortalaması ise 36 MVA olarak görünmektedir. Bu transformatör kümesi yaşlı transformatör grubuna ait bir kümedir. Buna ek olarak arızalanma oranları da oldukça fazladır. Kısa devre ve sargı arızalanmalarının sebebi yaşlı transformatör grubuna ait olması ve bu sebeple yalıtım malzemelerinde ki yaşlanmaya bağlı deformasyon olma ihtimali yüksektir. Bu gruba zaman temelli bakım-onarım yönteminin uygulanması yeterli olacaktır.

Üçüncü kümede 58 adet transformatör kümelenmiştir. Bu kümedeki transformatör arıza çeşitleri, kısa devre arızası, sargı arızası, buşing arızası, kesici arızası, faz kopması, tersiyer sargı arızası, fider arızası ve tersiyer sargı arızasıdır. Bu kümedeki transformatörlerin yaş ortalaması 43, yüklenme oranları %63 ve güç ortalamaları ise 109 MVA olarak görünmektedir. Bu gruptaki transformatörlerim hem yaş ortalamalarının yüksek olması hem de güç ortalamasının yüksek olması sebebiyle güvenilirlik merkezli bakım-onarım yönteminin uygulanması daha doğru bir tercih olacaktır.

Son kümede 64 adet transformatör kümelenmiştir. Bu kümedeki arıza çeşitleri, kısa devre arızası, kademe değiştirici arızası, faz kopması, sargı arızası ve nem ve rutubet, fider arızası, fiziksel hata, buşing arızalarıdır. Bu kümedeki transformatörlerin yaş ortalamaları 25, yüklenme oranları %75 ve güçleri ortalamaları ise 33MVA olarak görünmektedir. Bu küme diğer kümeler içerisindeki en genç ve güç ortalaması en düşük kümedir. Dolayısıyla bu gruba zaman temelli bakım onarım yöntemi yeterli olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] İlkahraman, M., (2008). Güç Transformatör Arızalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [2] Poyser, T.D., Yannucci, D.A., Templeton, J.B. ve Lenderking, B.N., (1985). "On-Line Monitoring of Power Transformers", IEEE Trans. Power Appar. Syst., 104: 207–211.
- [3] Biçen, Y., (2012). Güç Transformatörlerini İzleme ve Arıza Önleme Odaklı Akıllı Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [4] Chu, D. ve Lux, A., (1999). "On-Line Monitoring of Power Transformers and Components : A Review of Key Parameters", Electrical Insulation Conference and electrical Manufacturing and Coil Winding Conference, 28 October 1999, 669-675.
- [5] Krieg, T. ve Napolitano, M., (2000). "Techniques and Experience in On-Line Transformer Condition Monitoring and Fault Diagnosis in ElectraNet SA", PowerCon 2000 - 2000 Int. Conf. Power Syst. Technol. Proc., vol. 2:1019–1024.
- [6] Köroğlu, S., Demirçalı, A., Yıldız, M., Çalı, M.E. ve Mıhçı, G., (2014). "Güç Transformatörleri Arızalarının Yağda Çözünmüş Gaz Analizi ile Tanılanması", Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa, 27–29.
- [7] Duval, M., (1989). "Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer", IEEE Electr. Insul. Mag., 5:22–27.
- [8] Singh, S. ve Bandyopadhyay, M.N., (2010). "Dissolved Gas Analysis Technique for Incipient Fault Diagnosis in Power Transformers: A Bibliographic Survey", IEEE Electr. Insul. Mag., 26:41–46.
- [9] Fei, S.W. ve Sun, Y., (2008). "Forecasting Dissolved Gases Content in Power Transformer Oil Based on Support Vector Machine with Genetic Algorithm", Electr. Power Syst. Res., 78:507–514.
- [10] Bacha, K., Souahlia, S. ve Gossa, M., (2012). "Power Transformer Fault Diagnosis Based on Dissolved Gas Analysis by Support Vector Machine", Electr. Power Syst. Res., 83:73–79.

- [11] Elmoudi, A.A., (2006). Evaluation of Power System Harmonic Effects on Transformers: Hot-Spot Calculation And Loss Of Life Estimation, Doktora Tezi, Helsinki University of Technology Department of Electrical and Communications Engineering, Helsinki.
- [12] Wagner, V.E., Emanuel, A.E., Horton, W.F., Jewel, W.T. ve Phileggi, D.J., (1993). "Effects of Harmonics on Equipment", Report of the IEEE Task Force on the Effects of Harmonics on Equipment, IEEE Trans. Power Delivery, 8:672–680, 1993.
- [13] IEEE C57.91, (1995). IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers, IEEE, USA.
- [14] Emanuel, A.E. ve Wang, X., (1985). "Estimation of Loss of Life Power Transformers Supplying Nonlinear Loads", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 3:628-636.
- [15] Haliloğlu, A.B., (2012). Güç Transformatörlerinin Standartlara Göre Termal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Hosseini, R., Nourolahi, M. ve Gharehpetian, G.B., (2008). "Determination of OD cooling System Parameters Based on Thermal Modeling of Power Transformer Winding", Simulation Modelling and Practice Theory, 16:585–596.
- [17] Taghikhani, M.A. ve Gholami, A., (2009). "Prediction of Hottest Spot Temperature in Power Transformer Windings with Non-Directed and Directed Oil-Forced Cooling", Int. J. Electr. Power Energy Syst., 31:356–364.
- [18] Mann, P., (1963). "Determination of Transformer Life Expectancy", Electrical Engineering, 82:512–514.
- [19] Perkins, M., Pettersson, L., Fantana, N.L., Oommen, T.V. ve Jordan, S., (1999). "Transformer Life Assessment Tools With Specific Application To Nuclear Power Station Generator Transformers", Electrical Insulation Conference, 28-28 October 1999, Cincinnati, 685–690.
- [20] Young, W., (1998). "Transformer Life Management-Condition Monitoring", IEE Colloquium Transformer Life Management, 22 October 1998, London, 2/1-2/4.
- [21] Judd, M.D., McArthur, S.D.J., McDonald, J.R. ve Farish, O., (2002). "Intelligent Condition Monitoring and Asset Management. Partial Discharge Monitoring for Power Transformers", Power Engineering Journal, 16:297–304.
- [22] Wang, M., Vandermaar, A.J. ve Srivastava, K.D., (2002). "Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service", IEEE Electrical Insulation Magazine, 18:12–25.
- [23] Schneider, J., Gaul, A.J., Neumann, C., Hogräfer, J, Wellßow, W, Schwan, M. ve Schnettler, A., (2006). "Asset Management Techniques", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 28:643–654.
- [24] Abu-Elanien, A.E.B. ve Salama, M.M.A., (2010). "Asset Management Techniques For Transformers", Electric Power Systems Research, 80:456–464.
- [25] Murugan, R. ve Ramasamy, R., (2015). "Failure Analysis of Power Transformer for Effective Maintenance Planning in Electric Utilities", Engineering Failure Analysis,

- 55:182–192.
- [26] CIGRE Working Group, (1983). “An international Surveys on Failures in Large Power Transformers in Services”, *Electra*, 88:21–48.
- [27] Robotik Sistem, Transformatör Nedir?, http://www.robotiksistem.com/transformatör_nedir_transformatör_yapisi.htm, 16 Şubat 2017.
- [28] Yıldız, H.A. ve İsmailoğlu, H., (2001). “Güç Transformatörlerinde Kullanılan Selüloz Bazlı Katı ile Sıvı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri Ve Etkileşimleri”, III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 21-24 Kasım 2013, İzmir, 1997–2001.
- [29] Robotik Sistem, Transformatör Çeşitleri, http://www.robotiksistem.com/transformatör_nedir_transformatör_çesitleri.html, 17 Şubat 2017.
- [30] Elektrik Rehberi, Trafo Çeşitleri Nelerdir?, <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-trafolari/trafo-cesitleri-nelerdir-109/>, 25 Mart 2017.
- [31] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, (2005). *Transformers : Basics, Maintenance and Diagnostics*, Denver, Colorado.
- [32] Elektrik Rehberi, Kuru Tip Trafo, <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-trafolari/kuru-tip-trafo-131/>, 25 Mart 2017.
- [33] legrand, Kuru Tip Dağıtım Trafoları, <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/132-kuru-tip-dagitim-trafolari.>, 25 Nisan 2017.
- [34] MEB, (2011). *YG Tesislerinde Trafo Sistemlerinin Bakımı*, Ankara.
- [35] ABB GROUP, (2004). *Transformer Handbook*, Geneva, Switzerland.
- [36] Nylén, R., (1988). *ABB Relays-Power Transformer Protection*, Yayın no: AG03-5005^E, Västerås, Sweden.
- [37] EMB, (2016). *Transformer Protection Relays (Buchholz Principle)*, Barleben, Germany.
- [38] Mesleki Denetim, Transformatör Merkezlerinde Uygulanan Koruma Tertipleri, http://www.meslekidenetim.com/belgelerformlar/tr_koruma_tertipleri.pdf, 27 Mart 2017.
- [39] MEB, (2012). *Koruma Röleleri 2*, Yayın no: 523EO0170, Ankara.
- [40] Elektrik Mühendisleri Odası, Koruma Rölelerinin Seçimi için Uygulama Kılavuzu, http://www.emo.org.tr/ekler/79a727188f38c61_ek.pdf?tipi=2&туру=X...7, 27 Mart 2017.
- [41] Hilkar, Nötr Topraklama Direnci, <http://www.hilkar.com/tr/notrtopraklamadirencleri.html#>, 14 Nisan 2017.
- [42] Harms-Ringdahl, L., (2005). *Safety Analysis: Principles and Practice in Occupational Safety*, Second Edition, Taylor&Francis Inc., New York.

- [43] Yıldız, M.Ş. ve Tanrıöven, M., (2016). "Fault Tree Analysis for Transformers and Determination of Maintenance Strategies", II. International Conference on Engineering and Natural Sciences, 24-28 Mayıs 2016, Saraybosna, 2208–2212.
- [44] De Faria, H., Costa, J.G.S. ve Olivas, J.L.M., (2015). "A Review of Monitoring Methods for Predictive Maintenance of Electric Power Transformers Based on Dissolved Gas Analysis", Renewable and Sustainable Energy Review, 46:201–209.
- [45] Rigatos, G. ve Siano, P., (2016). "Power Transformers' Condition Monitoring Using Neural Modeling and The Local Statistical Approach To Fault Diagnosis", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 80:150–159.
- [46] Bertling, L., (2005). "On Evaluation of RCM for Maintenance Management of Electric Power Systems", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 12-16 Haziran 2005, San Francisco, 2850–2852.
- [47] Şeker, S.E., (2008), K-Ortalama Algoritması (K-Means Algorithm), <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2008/12/15/k-ortalama-algoritmasi-k-means-algorithm/>, 21 Nisan 2017.
- [48] Bouckaert, R.R., Frank, E., Hall, M., Kirkby, R., Reutmann, P., Seewald, A. ve Scuse, D. (2016), WEKA Manual for Version 3-8-1, https://sourceforge.net/projects/weka/files/documentation/3.8.x/WekaManual-3-8-1.pdf/download?use_mirror=kent&download=, 21 Nisan 2017.
- [49] Şeker, S.E., (2009), Bilgisayar Kavramları, WEKA, <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2009/06/01/weka/>, 21 Nisan 2017.

WEKA PROGRAMINDA YAPILAN KÜMELEME ÇALIŞMASININ EKRAM ÇIKTILARI

Öklid uzaklık fonksiyonu kullanılarak 4 kümeleme için ekran çıktısı

```
=== Run information ===
```

```
Scheme: weka.clusterers.SimpleKMeans -init 0 -max-candidates 100 -periodic-  
pruning 10000 -min-density 2.0 -t1 -1.25 -t2 -1.0 -N 4 -A "weka.core.EuclideanDistance  
-R first-last" -I 500 -num-slots 1 -S 10
```

```
Relation: trafodata-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1
```

```
Instances: 235
```

```
Attributes: 3
```

```
guc
```

```
yuklenme
```

```
yas
```

```
Test mode: evaluate on training data
```

```
=== Clustering model (full training set) ===
```

```
kMeans
```

```
=====
```

```
Number of iterations: 7
```

Within cluster sum of squared errors: 14.902644797506783

Initial starting points (random):

Cluster 0: 100,70,14

Cluster 1: 16,81,37

Cluster 2: 100,56,54

Cluster 3: 25,86,35

Missing values globally replaced with mean/mode

Final cluster centroids:

		Cluster#			
Attribute	Full Data	0	1	2	3
	(235.0)	(44.0)	(69.0)	(58.0)	(64.0)
=====					
guc	67.4596	112	35.7681	109.2241	33.1563
yuklenme	69.0085	66.0227	70.1159	63.3103	75.0313
yas	35.8894	24.7727	46.1159	43.0862	25.9844

Time taken to build model (full training data) : 0 seconds

=== Model and evaluation on training set ===

Clustered Instances

0 44 (19%)

1 69 (29%)

2 58 (25%)

3 64 (27%)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Şen Yıldız
Doğum Tarihi ve Yeri : Giresun – 24/08/1988
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mustafasenyildiz@klu.edu.tr / yildizmsen@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi	2012

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014 - ...	Kırklareli Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Ulusal ve Uluslararası Bildiriler

1. Yıldız, M.Ş. ve Tanrıöven, M., (2016). "Fault Tree Analysis for Transformers and Determination of Maintenance Strategies", II. International Conference on Engineering and Natural Sciences, 24-28 Mayıs 2016, Saraybosna, 2208–2212.

