Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi
7(3), 505 – 513, 2019
e-ISSN: 1308-6693

Journal of Engineering Sciences and Design
DOI: 10.21923/jesd.484899

Araştırma Makalesi Research Article

K-ORTALAMALAR KÜMELEME YÖNTEMİ İLE GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN BAKIM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa Şen YILDIZ[1*], Bedri KEKEZOĞLU[2], Evren İŞEN[1]

[1] Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye
[2] Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler
Bakım-Onarım yöntemleri, Güç transformatörleri, K-Ortalamalar algoritması.

Öz

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisine olan ihtiyacın hızla artması sebebiyle, 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 sayesinde, meydana gelmeden veya başlangıç aşamasında tespit edilebilmektedir. Bu makalede, meydana gelmiş arıza istatistikleri incelenerek, transformatörlerin yaşları, yüklenme oranları ve güçleri dikkate alınarak uygun bakım-onarım yönteminin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Belirli bir transformatör grubuna uygun bakım-onarım yönteminin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım olması açısından K-ortalamalar algoritması tercih edilmiştir. Kümeleme sonuçları yorumlanmış ve güç transformatörlerine uygun bakım-onarım yöntemleri belirlenmiştir.

DETERMINATION OF MAINTENANCE STRATEGY FOR POWER TRANSFORMERS WITH K-MEANS CLUSTERING METHOD

Keywords
Maintenance strategy, Power transformers, K-Means.

Abstract

As a result of modernization and development of technology, demand of electrical energy increased. Thus, network stabilization, reliability of energy system, service to customer and power quality becomes more crucial. Especially, assets in transmission system, such as power transformers, have a vital role because of the probability of effect to the whole network. Recently, electric utilities with deregulation and competitive market structure are focused reducing operational costs and increasing life expectancy of the assets with some strategies. For instance, diversify of maintenance strategies and particular instruments of condition monitoring. In this study, it is adverted commonly preferred maintenance strategies and power transformer condition monitoring methods. Subsequently, a case study about the determination of correct maintenance strategy for power transformers is applied with K-Means clustering method.

Alıntı / Cite

Yıldız, M.Ş., Kekezoğlu, B., İşen, E., (2019). K-Ortalamalar Kümeleme Yöntemi İle Güç Transformatörlerinin Bakım Stratejilerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 505-513.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)
M. Ş. Yıldız, 0000-0003-4176-9353
B. Kekezoğlu, 0000-0002-1202-913X
E. İşen, 0000-0002-3107-9255

Makale Süreci / Article Process	
Başvuru Tarihi / Submission Date	19.11.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.03.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.03.2019
Yayım Tarihi / Published Date	15.09.2019

1. Giriş

Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artmasına bağlı olarak elektrik enerjisi üretim sistemleri de çeşitlendirilmektedir. Enerjinin üretiminin yanı sıra üretilen enerjinin kabul edilebilir bir güvenilirlik ve kalite seviyesinde nihai kullanıcıya sunulması da güç sistem operatörleri açısından çok önemli bir faktördür.

Güç sistemlerinin işletiminde temel amaç elektrik enerjisini kaliteli, güvenilir ve ekonomik bir şekilde

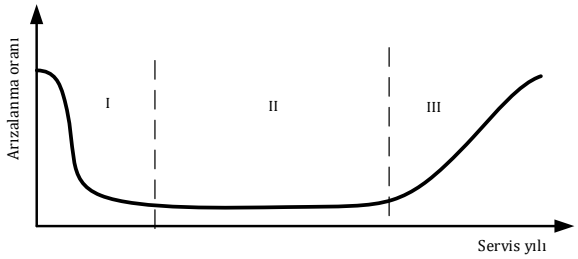
[*] İlgili yazar / Corresponding author: mustafasenyildiz@klu.edu.tr, +90-288-214-0514

tüketicilere sunmasıdır. Bir güç sisteminde güvenilirlik temel olarak sistemi üzerinde bulunan ekipmanların ayrı ayrı incelenmesi ile belirlenebilmektedir. Bu noktada güç transformatörleri yüksek maliyetleri ve stratejik önemlerinden ötürü ön plana çıkmaktadır. Bir sistem üzerinde meydana gelen arıza oranları ve kesintiler incelendiğinde güç transformatörlerin etkilerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (CIGRE, 1983; Fan, 2017; Schneider, 2006). Güç transformatörlerinde meydana gelen arızalar ciddi finansal kayıplarla birlikte teknik problemlere de sebep olmaktadır. Transformatörler üzerinde oluşan arızalar sıklıkla ağır çalışma koşullarından kaynaklanmakta ve yaşlanmaya bağlı olarak da değişim göstermektedir.

Güç transformatörlerinin ömürleri, tasarımlarına göre 30 yıl ile 40 yıl arasında değişmektedir. Ancak uygulamada uygun çalışma şartları ve periyodik bakımlarla ekonomik ömürleri arttırılabilmektedir. Güç transformatörlerinin arıza istatistikleri analiz edildiğinde, ekonomik ömür ile arıza istatistikleri arasındaki ilişki şekil 1'de gösterilen küvet eğrisine benzer şekildedir. Buna göre, transformatörün arızalanma eğrisi üç kısma ayrılmaktadır. İlk kısım, devreye alma (infant mortality) kısmıdır. Eğer bu kısımda arızalanma alt seviyelerde tamamlanırsa, genel olarak transformatörün servis ömrü boyunca arızalanma oranı daha düşük olmaktadır. İkinci kısım, sabit ve düşük arızalanma (constant failure) ve son kısım ise yaşlılıktan kaynaklanan arızalanma kısmı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere özellikle transformatörün yaşlılık sürecinde, arızalanma oranı daha yüksek olmaktadır.

Genel olarak transformatörlerin arızalanma oranlarının daha düşük seviyelerde tutulabilmesi için işletme şartlarının iyileştirilmesi, durum tespitlerinin yapılması ve uygun bakım-onarım yöntemlerinin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

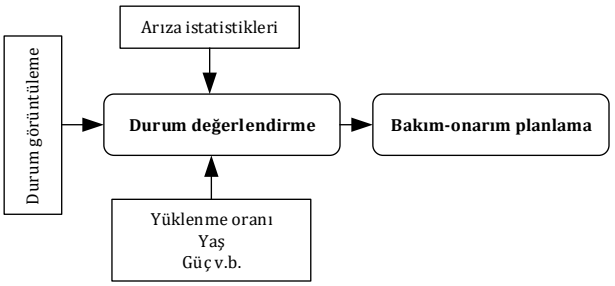
Bu çalışmada, 1995-2007 yılları arasında TEİAŞ'ın güç transformatörü arıza istatistikleri kullanılarak ve transformatörlerin özellikleri temel alınarak bakım-onarım yöntemleri belirlenmiştir. Transformatörlerin özellik olarak güç, yaş ve yüklenme verileri dikkate alınmıştır. Benzer karakteristikti transformatörlerin gruplandırılması K-Ortalamalar kümeleme algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak sunulmuştur.



Şekil 1. Güç transformatörleri için küvet eğrisi

2. Güç Transformatörlerinde Durum Değerlendirme ve Bakım-Onarım

Güç transformatörlerinin arızalanma oranlarının düşük seviyelerde tutulması ve uygun şartlarda işletilmesi kritik öneme sahiptir. Bu şartların sağlanabilmesi, uygun bakım-onarım yönteminin (Maintenance Strategy) belirlenmesine ve uygulanmasına bağlıdır. Şekil 2'de bakım-onarım yöntemi adımları gösterilmiştir. Bu adımlara ait ayrıntılar aşağıda sunulmuştur.



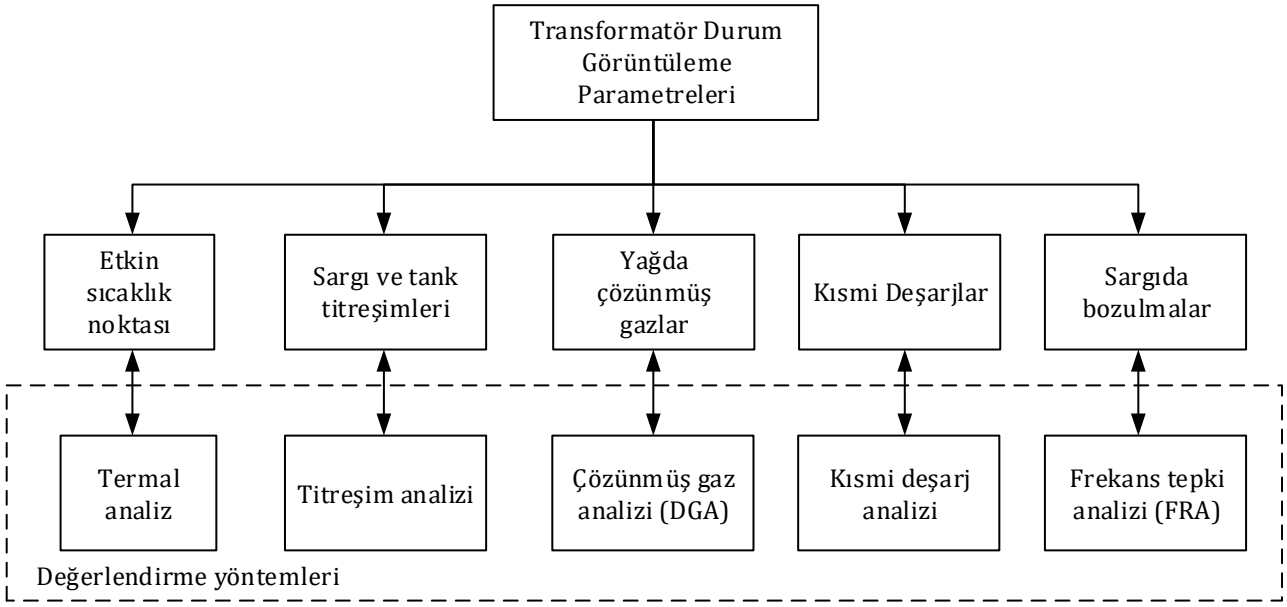
Şekil 2. Bakım-onarım yöntemi adımları

Bakım-onarım yönteminin belirlenmesinin ilk aşaması olarak, transformatörün durumunun ve çalışma koşullarının ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla, durum izleme ekipmanları kullanılarak (Buchholz rölesi, diferansiyel röle, yağ sıcaklığı ölçüm sensörü, v.b.), anlık (online) veya belirli aralıklarla (offline) analizlerin yapılması sağlanmalıdır (Abu-Elanien ve Salama, 2010).

Güç transformatörlerinde uygulanan durum görüntüleme yöntemleri Şekil 3'te gösterilmiştir. İkinci aşama olarak durum değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Değerlendirme sonucuna uygun bakım-onarım yöntemi uygulanmalıdır.

2.1. Güç Transformatörü Durum Değerlendirme

Normal çalışma koşullarında her bir güç transformatörünün beklenen bir ekonomik ömrü vardır. Fakat çeşitli sebepler transformatörün ömrünü etkilemektedir. Genel olarak bu sebepler dâhili ve harici etkenler olarak iki kısma ayrılmaktadır. Tablo 1'de bu etkenler sıralanmıştır (Biçen, 2012; Masoum vd., 2017; Silva ve Bastos, 2017).



Şekil 3. Güç transformatörü durum görüntüleme yöntemleri

Harici etkenleri önlemek neredeyse imkânsızdır. Ancak, dâhili etkenlerin yol açacağı arızalar ve onların etkileri uygun izleme ve takip sistemleri sayesinde önlenebilmekte veya arızanın başlangıç aşamasında tespit edilip, büyümeden müdahale edilmesine imkân sağlamaktadır.

Tablo 1. Transformatör arızalarının genel sebepleri

Dâhili sebepler	Harici sebepler
• Katı yalıtım malzemesinde bozulma • Sargı arızası • Kısmi deşarj • Aşırı ısınma • Tasarım veya üretim hataları • Yalıtım yağında katı birikmesi • Nem ve rutubet • Yükte kademe değiştirici arızası	• Yıldırım düşmesi • Sistemin aşırı yüklenmesi • Anahtarlama problemleri • Kısa devreler

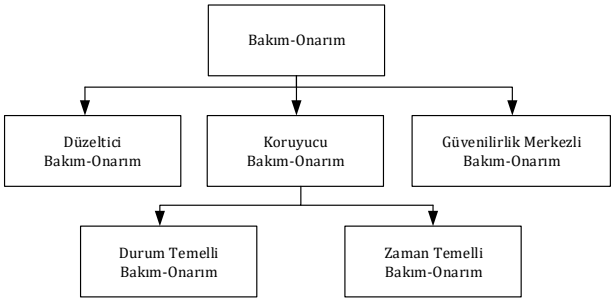
İzleme ve takip sistemleri (The Condition Monitoring System - CM) online ve offline ölçüm sistemleri olmak üzere kendi içerisinde iki kısma ayrılmaktadır. Online sistemler, sensörler ve veri toplama sistemleri üzerinden veri toplayan ve depolayan sistemler bütünüdür. Online sistem, yağ seviyesi, sargı sıcaklığı, yükte kademe değiştirici (OLTC) mekanizması, titreşim, frekans tepkisi, soğutma sistemi ile voltaj ve akım değerlerinin anlık olarak görüntülenmesine olanak sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, ihtiyaca göre farklı sensörler eklenerek görüntüleme parametreleri arttırılabilmektedir. Görüntülenen ve depolanan verilerin değerlendirilmesi sonucunda, gerilim ve akım analizi sayesinde harmonik etkileri (Masoum vd., 2017), sargı sıcaklığı analizi sayesinde kızgın nokta sıcaklığı (HST) (Silva, 2017), titreşim ve frekans tepkisi analizi sayesinde sargı bozulmaları (Kung vd., 2016; Murugan ve Ramasamy, 2015; Rahimpour vd., 2017; Seo vd., 2017) tespit edilebilmektedir. Offline ölçümler uygulanarak güç transformatörlerinin güncel durumları belirlenmektedir. Genel olarak offline ölçümler (Murugan ve Ramasamy, 2015);

1. Görsel muayene.
2. Kimyasal test: Çözünmüş gaz analizi (DGA) (Wang vd., 2002). DGA için Duval üçgen yöntemi (Duval, 2002).
3. Dielektrik Test: Güç faktörü (Rojas, 2006), kapasite testi.
4. Elektriksel Test: Sargı direnci (Das vd., 2017), dönüştürme oranı olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Bakım-Onarım Yöntemleri

Bakım-onarım yöntemleri bakım maliyetleri ve varlık durumuna bağlı olarak farklı yaklaşımlara ayrılmaktadır. Yaygın olan sınıflandırma Şekil 4'te gösterildiği şekilde üç ana başlıkta ifade edilen yaklaşımdır (Abu-Elanien ve Salama, 2010). Bunlar, Düzeltici Bakım-Onarım, Koruyucu Bakım-Onarım ve Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım yöntemleridir. Koruyucu bakım-onarım yöntemi de kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, Durum Temelli Bakım-Onarım ve Zaman Temelli Bakım-Onarım yöntemleridir.

Düzeltici Bakım-Onarım yöntemi (Corrective Maintenance-CM), en basit bakım-onarım yöntemidir. Bu yaklaşıma göre donanım 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. Buna ek olarak da enerji güvenilirliğini azaltılmış olur. Bu sebeple bu yöntem kritik olmayan donanımlar için uygulanabilecek bir yöntemdir.



Şekil 4. Bakım-onarım yöntemlerinin sınıflandırılması

Koruyucu Bakım-Onarım yöntemi (Preventive Maintenance-PM), arızaları meydana gelmeden önce veya başlangıç sırasında belirlemeyi amaçlamaktadır. En çok kullanılan yöntem olan Zaman temelli Bakım-Onarım yöntemi de (Time Based Maintenance-TBM), koruyucu bakım-onarım yönteminin içerisinde yer almaktadır. TBM normal zamanlarda ekipmanlara belirli aralıklarla denetim yapılması ve sürekli olarak 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 belirlenmektedir. Ancak denetimler, sürekli yapılacağından, arıza olmadan gerçekleştirildiği için yüzeysel olarak yapılırsa daha büyük riskler doğurabilir. Diğer bir PM yöntemi ise Durum temelli Bakım-Onarım yöntemidir (Condition Based Maintenance-CBM). CBM yönteminde, durum izleme yöntemleri (online ve offline sistemler) aktif olarak kullanılmaktadır ve donanım davranışları izleme yöntemleri aracılığıyla takip edilmektedir. Bu sayede, bir arıza başlangıç aşamasında tespit edilmekte ve uygun onarım yöntemi uygulanmaktadır. Buna ek olarak anlık olarak ve offline ölçümlerle izleme yapılan donanım hakkında güncel bilgiye sahip olunacağından arıza riski de azalmaktadır.

Bu sınıflandırmanın sonuncu ve en geniş kapsamlı bakım-onarım yöntemi, Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım yöntemidir (Reliability Centered Maintenance-RCM). RCM, risk merkezli olarak en uygun bakım-onarım stratejisini belirlemeyi ve sistemdeki her bir ekipman için ayrı ayrı bakım parametrelerini bulmayı amaçlamaktadır. CBM yöntemine benzer olarak online ve offline durum görüntüleme adımlarını kullanarak anlık ve sürekli olarak ekipmanların durumlarını takip etmekle birlikte sistem performansındaki etkileri de dikkate almaktadır. RCM sadece bakım aksiyonları için öncelik değerlendirmesi yapmayıp aynı zamanda yenileme ve tadilat aktivitelerini sıralayan güçlü bir yaklaşımdır. Çünkü kötü durumdaki malzemeler için malzemeyi değiştirmek mi yoksa tadilattan geçirmek mi daha uygun sorusuna cevap verebilmektedir. Bu sebeple sistem içerisindeki her ekipmanı önem derecesine göre sıralar ve hata modlarını belirleyerek her bir hatanın sistem üzerindeki etkilerini açıklar. Başka bir deyişle bu yöntem, sistem fonksiyonlarını korumayı, hata durumlarını tanımlamayı, öncelikli ihtiyaçları belirlemeyi ve uygulanabilir ve en etkili bakım yöntemin seçilmesini amaçlamaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

Güç transformatörlerine uygun bakım-onarım yöntemlerinin belirlenebilmesi için kritik özelliklerin tanımlanması gerekmektedir. Bu özellikler belirlendikten sonra her bir transformatörün ihtiyacına uygun şekilde bakım-onarım yöntemi uygulanmalıdır. Buna karşın güç sistemleri üzerinde çok fazla sayıda transformatör bulunduğu için benzer özellikteki transformatörlerin gruplandırılarak, gruplara uygun bakım-onarım yöntemlerinin belirlenmesi pratikte daha uygulanabilir bir yöntemdir. Bu çalışmada gruplandırma işlemi için kümeleme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu sayede, sisteme dâhil olan bütün güç transformatörleri gruplandırılarak grupların özelliklerine uygun bakım stratejileri kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Tercih edilen kümeleme yöntemi WEKA yazılımı kullanılarak veri setine uygulanmıştır.

3.1. Kümeleme

Kümeleme algoritması, bir denetimsiz sınıflandırma metodudur. Bu metodun örüntü tanıma, veri madenciliği, görüntü işleme vb. birçok farklı alanda uygulaması mevcuttur.

Kümeleme yaparken amaçlanan kümeleme işlemi uzaklık fonksiyonları kullanılarak sağlanmaktadır. Her bir veri kaç adet özelliğe sahipse o kadar farklı boyutta durum uzay düzleminde örneklenmektedir. Bu sebeple, nesneler arasındaki benzerliği veya farklılığı belirlemek için genellikle Öklid, Manhattan ve Minkowski uzaklık ölçüm fonksiyonlarından biri kullanılmaktadır. Böylece kümeler, kendi içlerinde homojen ve kendi aralarında heterojen yapılara ayrıştırılabilmektedirler. Her bir transformatörün birbirine olan uzaklıkları en çok tercih edilen uzaklık fonksiyonu olan ve eşitlik (1)'de gösterilen Öklid uzaklık fonksiyonu ile belirlenmektedir.

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_{k=1}^{n}(x_k - y_k)^2} \tag{1}$$

Transformatör 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-ortalamalar kümeleme yöntemidir.

3.2. K-Ortalamalar Algoritması

K-Ortalamalar kümeleme yöntemi, n adet verinin, her örneğin kendine en yakın olduğu k tane kümeye ayrılmasını amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntemle, başlangıçta en iyi k adet küme bilinemese bile küme adedine müdahale edilerek uygun küme sayısı belirlenebilmektedir. En iyi k adet küme, küme içi varyantı veya kare hata fonksiyonunu en aza indirmekle bulunmaktadır. K-Ortalamalar algoritmasının ana fonksiyonu eşitlik (2)'de gösterilmiştir.

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

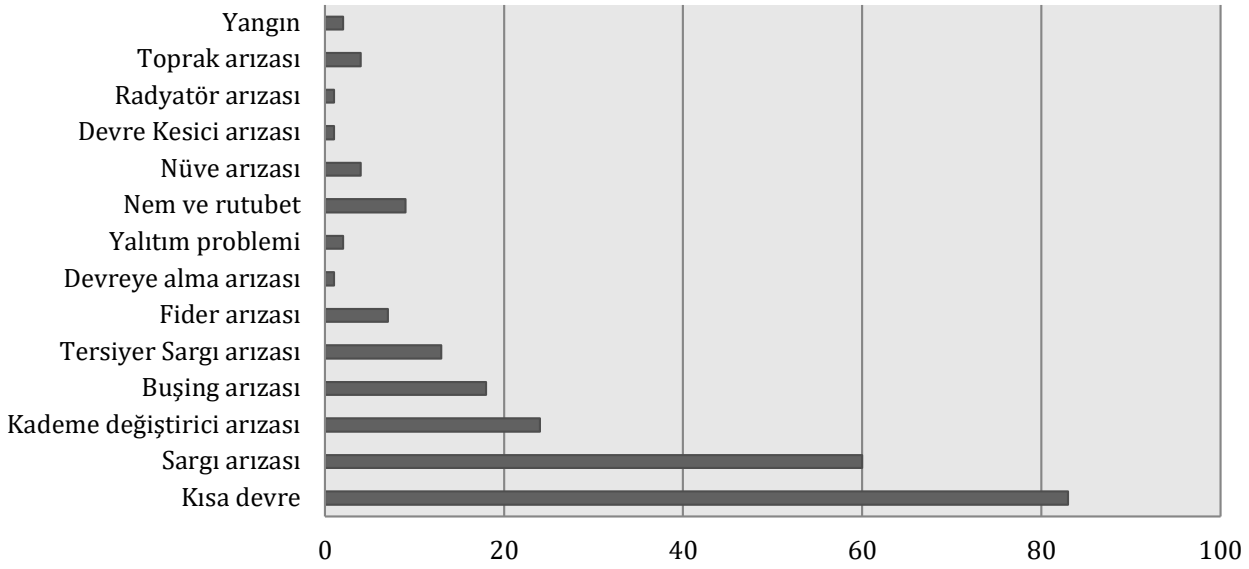
Bu fonksiyonda belirtilen J, ana fonksiyonu; j={1,2,…,k}, küme adedini; i={1,2,….,n}, veri adedini; cj, j. küme merkezini ve xi, verinin boyutsal olarak yerini göstermektedir. Veri noktası (xi), n boyutlu uzaya sahiptir ve verinin sahip olduğu özellik adedine göre değişmektedir. Algoritma aşamaları aşağıda belirtilen adımlardan oluşmaktadır.

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.

Bu çalışmada kullanılan veri seti her bir transformatör için güç, yaş, yüklenme oranı ve arıza istatistiği olmak üzere 4 adet özellik içermektedir. Bu sebeple dört boyutlu uzayda her bir transformatör özelliklerine göre örneklenmektedir.

4. K-Ortalamalar Kümeleme Yönteminin Güç Transformatörlerine Uygulanması

Bu çalışmada, TEİAŞ'ta kullanılan 240 adet yağlı tip güç transformatörüne ait arıza verileri analiz edilmiştir (Murat, 2008). Şekil 5'te transformatörlere ait arıza istatistikleri gösterilmiştir. Arıza istatistikleri göz önünde bulundurulduğunda; kısa devre arızası, sargı arızası, kademe değiştirici arızası ve buşing arızasının en çok karşılaşılan arızalar oldukları görülmektedir.



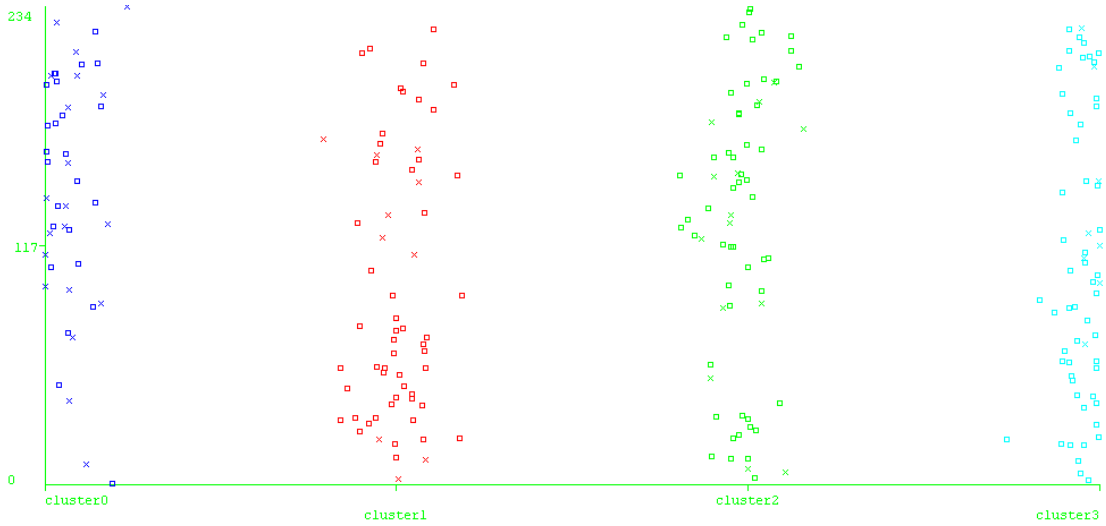
Şekil 1. Güç transformatör arızalar

Transformatörlerin bakım-onarım yöntemlerinin belirlenmesinde arıza istatistikleri önemli bir parametredir. Arızalanmaya doğrudan etki ettiğinden dolayı, nominal güç değeri, yaşlanma ve yüklenme oranı da önemli belirleyici etkenlerdir. Bunlara ek olarak, paralel bağlı transformatörler, iklim koşulları, arazi koşulları gibi etkenlerde bakım-onarım yönteminin belirlenmesi amacıyla göz önünde bulundurulması gereken etkenlerdir. Bu çalışmada, her bir transformatörün güç, yaş, ortalama yüklenme oranları ve arıza istatistikleri dikkate alınarak veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti, Öklid uzaklık fonksiyonu ve K-ortalamalar kümeleme algoritması kullanılarak kümelenmiştir. Elde edilen kümeler Tablo 2 'de her bir k değeri için ortalama kare hata oranları ile beraber belirtilmiştir. Kare hata oranları incelendiğinde, 3. kümeden 4. kümeye geçilirken belirgin bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Sonra ise hataların küçük değişimlerle lineer olarak azaldığı görülmektedir. Bu azalım k değerinin, veri setindeki örnek adedine yaklaştıkça küçük azalımlar ile sıfıra doğru devam etmektedir. Kare hata oranlarındaki kırılma noktası k=4 noktası olduğundan dolayı, veri setinin 4 kümeye ayrılmasına karar verilmiştir. Küme

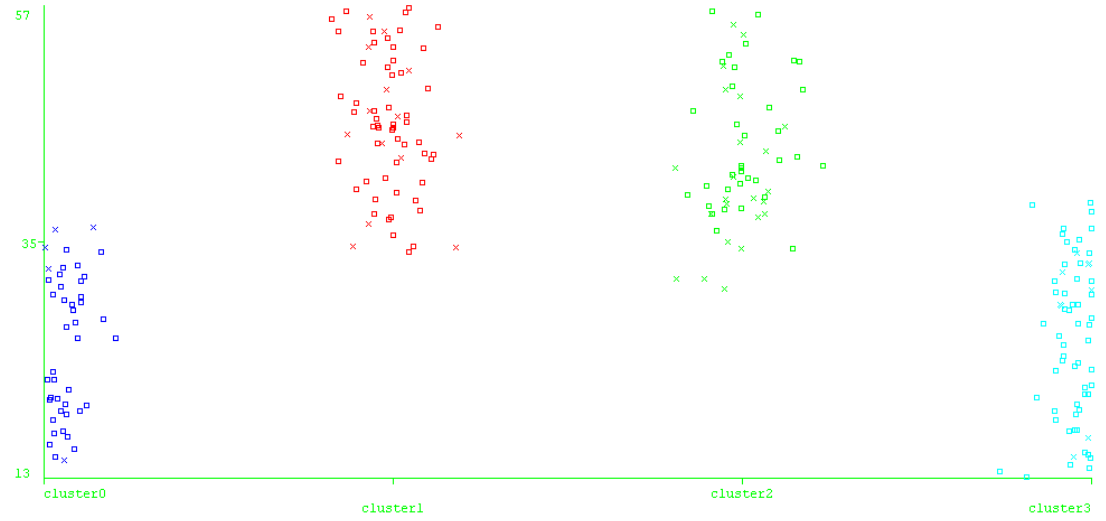
grupları daha ayrıntılı incelendiğinde ise, 1'den 235'e kadar her bir transformatör örneğinin hangi kümede olduğu Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu genel dağılım grafiği net çıkarımlar yapılmasına izin vermemektedir. Bu sebeple, daha ayrıntılı bilgi edinebilmek amacıyla genel dağılım kümesi Şekil 7'de yaşlanmaya göre, Şekil 8'de güce göre, Şekil 9'da ise yüklenme oranlarına göre kümeleme sonuçları sunulmuştur. Yaşa göre kümelemede, genç transformatörlerin sıfırıncı ve üçüncü kümede gruplandığı, 35 ve üzeri yaştaki transformatörlerin ise genellikle birinci ve ikinci kümelerde toplandığı belirgin olarak görülmektedir. Güce göre kümeleme dağılımlarına bakıldığında, birinci ve üçüncü kümelere daha küçük güçteki transformatörlerin, sıfırıncı ve ikinci kümelere ise yüksek güçteki transformatörlerin kümelendiği gözlemlenmektedir. Şekil 8'de görüldüğü üzere yüklenme oranlarında net bir ayrım yapılamamaktadır. Bunun sebebi, bütün transformatörlerin yüklenme oranlarının birbirine yakın değer aralıklarında olmasıdır.

Tablo 2. K-ortalamalar kümeleme yöntemi ile kümeleme sonuçları

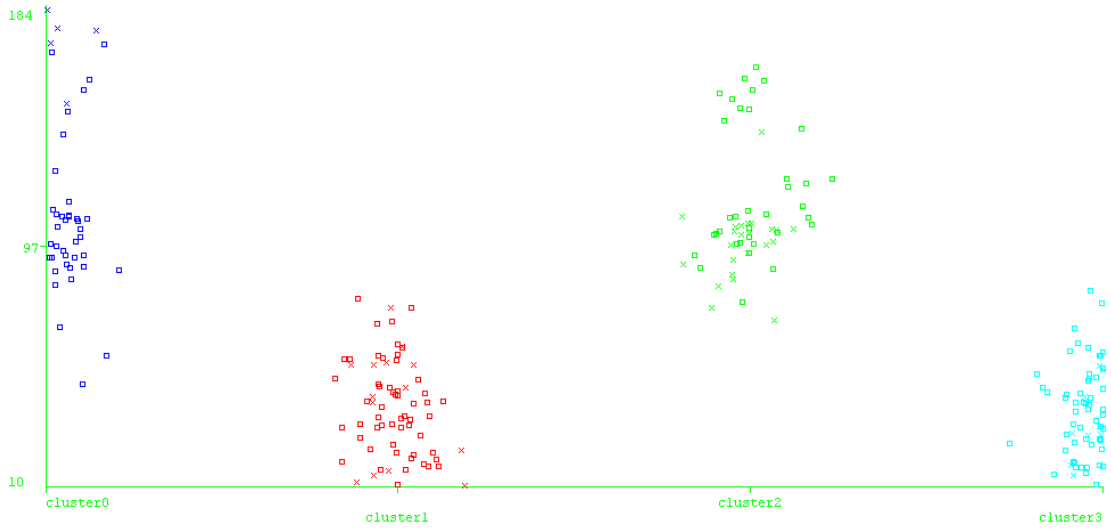
İterasyon	8	3	7	10	16	11
Kare hata ortalaması	27	21	15	13	12	11
Küme sayısı						
0	103	55	44	29	23	21
1	132	100	69	51	48	42
2		80	58	37	37	33
3			64	63	35	35
4				55	48	45
5					44	44
6						15
Toplam	235	235	235	235	235	235



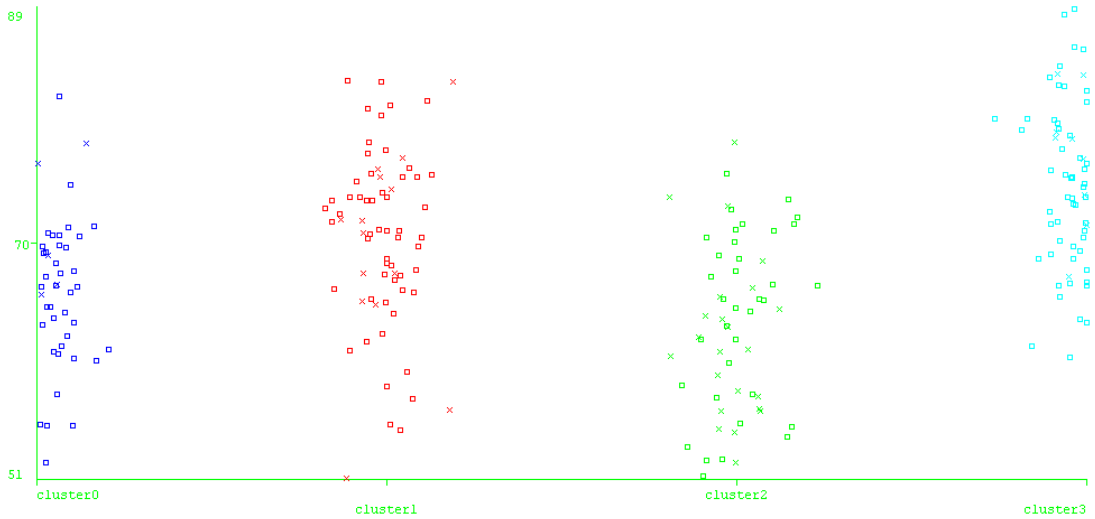
Şekil 6. Kümelenmiş veri setinin genel dağılımı



Şekil 7. Yaşa göre kümeleme dağılımı



Şekil 8. Güce göre kümeleme dağılımı



Şekil 9. Yüklenme oranlarına göre kümeleme dağılımı

5. Sonuçlar ve Yorumlar

Güç transformatörleri, enerji sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır ve şebeke güvenliğini ile güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple, güç transformatörleri sürekli kontrol altında tutulmalı, oluşabilecek arızalara karşı önceden stratejiler geliştirilmeli ve bakım-onarım yöntemleri uygulanmalıdır. Bu çalışmada, güç transformatörlerinin bakım-onarım yöntemlerini belirlemeye yönelik bir yaklaşım sunulmuştur.

Güç transformatörlerine uygun bakım-onarım yöntemlerinin uygulanabilmesi için öncelikli olarak transformatörün durumunun net bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, durum görüntüleme ve analiz yöntemlerinin transformatöre uygulanması gerekmektedir. Devamında ise yaşlanma, yüklenme, çevre koşulları vb. gibi etkenler de dikkate alınarak değerlendirme yapılmalı ve bakım-onarım stratejileri belirlenmelidir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, güç transformatörlerine ait arıza verileri, nominal güç değerleri, yaşlanma ve yüklenme durumları dikkate alınarak bakım-onarım stratejilerinin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım ortaya konulmuştur.

Oluşturulan veri setinde 240 adet güç transformatörü bulunmaktadır. Bu transformatörlerin 5 adedi 250 MVA ve üzeri güce sahip olduğu için kümelemeye dâhil edilmemiş ve en kapsamlı bakım-onarım yöntemi olan Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Bunun dışında kalan 235 adet transformatörün kümeleme sonucuna göre uygulanması tavsiye edilen bakım-onarım yöntemleri Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde, sıfırıncı kümede 44 adet transformatörün kümelendiği görülmektedir. Bu transformatörler incelendiğinde arıza çeşitleri, kısa devre arızası, sargı arızası, buşing arızası, kademe değiştirici arızası, nem ve rutubet arızasıdır. Bu kümedeki transformatörlerin yaş ortalaması 25 olarak

görülmektedir. Ortalama yüklenme oranı %66 ve ortalama güç 112 MVA'dir. Bu kümedeki transformatörlerin güç ortalamasının yüksek olması ve genç bir transformatör grubu olması sebebiyle Durum Temelli Bakım-Onarım yöntemi en uygun strateji olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Kümeleme analiz sonuçları

Küme Numarası	Transformatör adedi	Ortalama güç (MVA)	Ortalama yaş	Karar verilen Bakım-Onarım yöntemi
0	44	112	25	Durum temelli Bakım-Onarım yöntemi
1	69	36	46	Zaman temelli Bakım-Onarım yöntemi
2	58	109	43	Güvenilirlik merkezli Bakım-Onarım yöntemi
3	64	33	25	Zaman temelli Bakım-Onarım yöntemi

Birinci kümede, 69 adet transformatör kümelenmiştir. Bu kümedeki transformatörlerdeki arıza çeşitleri, kısa devre arızası, sargı arızası, kademe değiştirici arızası, toprak arızası, buşing arızası ve yangındır. Bu kümede ki transformatörlerin yaş ortalaması 46, ortalama yüklenme oranı %70 ve güç ortalaması ise 36 MVA olarak görülmektedir. Bu küme, yaşlı transformatör grubuna ait bir kümedir ve arızalanma oranları da oldukça yüksektir. Kısa devre ve sargı arızalanmalarının sebebi yaşlı transformatör grubuna ait olması ve bu sebeple yalıtım malzemelerinde ki yaşlanmaya bağlı deformasyon olma ihtimali yüksektir. Ayrıca güç ortalamasının da düşük olması sebebiyle bu grup için Zaman Temelli Bakım-Onarım yöntemi en uygun strateji olarak tespit edilmiştir.

İkinci kümede, 58 adet transformatör kümelenmiştir. Bu kümedeki transformatör arıza çeşitleri, kısa devre arızası, sargı arızası ve buşing arızasıdır. Bu kümedeki transformatörlerin yaş ortalaması 43, ortalama yüklenme oranı %63 ve güç ortalaması ise 109 MVA olarak görülmektedir. Bu gruptaki transformatörlerin hem yaş ortalamasının yüksek olması hem de güç ortalamasının yüksek olması sebebiyle Güvenilirlik Merkezli Bakım-Onarım yöntemi en uygun strateji olarak tespit edilmiştir.

Son kümede ise 64 adet transformatör kümelenmiştir. Bu kümedeki arıza çeşitleri, kısa devre arızası, kademe değiştirici arızası, sargı arızası, nem ve rutubet arızasıdır. Bu kümedeki transformatörlerin yaş ortalaması 25, yüklenme oranı %75 ve güçleri ortalaması ise 33MVA olarak görülmektedir. Bu küme diğer kümeler içerisindeki en genç ve güç ortalaması en düşük kümedir. Bu grup için Zaman Temelli Bakım Onarım yöntemi en uygun strateji olarak tespit edilmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Abu-Elanien, A.E.B., Salama, M.M.A., 2010. Asset management techniques for transformers. Electric Power Systems Research, 80(4): 456-464.

Biçen, Y., 2012. Güç transformatörlerini izleme ve arıza önleme odaklı akıllı yönetim sisteminin gelştirilmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 197 s.

CIGRE Working Group, 1983. An international surveys on failures in large power transformers in services, Electra, 88: 21-48.

Das, A.K., Tian, H., Wei, Z., Vaisambhayana, S., 2017. Accurate calculation of winding resistance and ınfluence of ınterleaving to mitigate ac effect in a medium-frequency high-power transformer. 2017 Asian Conference on Energy, Power and Transportation Electrification (ACEPT).

Duval, M., 2002. A review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers. IEEE Electrical Insulation Magazine, 18(3): 8-17.

Fan, J., Wang, F., Sun, Q., Bin, F., Ye, H., Liu, Y., 2017. An Online Monitoring System for Oil Immersed Power Transformer Based on SnO2GC Detector with a New Quantification Approach. IEEE Sensors Journal, 17(20): 6662-6671.

Kung, P., Idsinga, R., Fu, J. Bin, Durand, H.C.V., Yang, C.S., Comanici, M.I., 2016. Online detection of windings distortion in power transformers by direct vibration measurement using a thin fiber optics sensor. 34th Electrical Insulation Conference, EIC 2016, pp: 576-578.

Masoum, A.S., Hashemnia, N., Abu-Siada, A., Masoum, M.A.S., Islam, S.M., 2017. Online Transformer Internal Fault Detection Based on Instantaneous Voltage and Current Measurements Considering Impact of Harmonics. IEEE Transactions on Power Delivery, 32(2): 587-598.

Murat, I., 2008. Güç Transformatör Arızalarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, s. 250.

Murugan, R., Ramasamy, R., 2015. Failure analysis of power transformer for effective maintenance

planning in electric utilities. Engineering Failure Analysis, 55: 182-192.

Rahimpour, H., Mitchell, S., Rahimpour, S., 2017. Online monitoring of power transformers using impulse frequency response analysis. 2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp: 1390-1394.

Rojas, A., 2006. Power factor testing in transformer condition assessment - Is there a better way?. 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, pp: 3-6.

Schneider, J., Gaul, AJ., Neumann, C., Hogräfer, J., Wellßow, W., Schwan, M., Schnettler, A., 2006. Asset management techniques. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 28(9): 643-654.

Seo, J., Ma, H., Saha, T.K., 2017. A Joint Vibration and Arcing Measurement System for Online Condition Monitoring of Onload Tap Changer of the Power Transformer. IEEE Transactions on Power Delivery, 32(2): 1031-1038.

Silva, J.R., Bastos, J.P.A., 2017. Online Evaluation of Power Transformer Temperatures Using Magnetic and Thermodynamics Numerical Modeling. IEEE Transactions on Magnetics, 53(6): 1-4.

Wang, M., Vandermaar, A.J., Srivastava, K.D., 2002. Review of condition assessment of power transformers in service. IEEE Electrical Insulation Magazine, 18(6): 12-25.