



Güç Trafosu Arızasının Farklı Yöntemler ile Tahmini: 403 MVA'lık Bir Trafoda Uygulama ve Ekonomik Analizi

Ceyhun YILDIZ¹, İbrahim ÇELİK^{2*}, Mustafa ŞEKKELİ³

¹ Kahramanmaraş İstiklal University, Department of Electricity and Energy, Kahramanmaraş/Türkiye.
ORCID No:0000 – 0002 – 5498 – 4127, e-mail: ceyhun.yildiz@istiklal.edu.tr

^{2*} Kahramanmaraş İstiklal University, Department of Electricity and Energy, Kahramanmaraş/Türkiye.
ORCID No:0000 – 0001 – 5923 – 554X, e-mail: ibrahim.celik@istiklal.edu.tr

³Kahramanmaraş Sütçü İmama Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye.
ORCID No: 0000 – 0002 – 1641 – 3243, e-mail: msekkeli@ksu.edu.tr

(Alınış/Arrival: 22.04.2022, Kabul/Acceptance: 07.06.2022, Yayınlanma/Published: 20.06.2022)

Öz

Güç trafoları (GT), güç sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. GT'ler, enerji iletim ve dağıtım sürecinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu sebeple güç sistemlerinin kalitesini ve güvenilirliğini korumak için GT'lerin sürekli çalışması sağlanmalıdır. Elektrik üretim, iletim ve dağıtımından sorumlu kuruluşlar, GT'lerin sürekli çalışması için ellerinden geleni yapıyor olmalarına rağmen birçok trafo arızası yaşanmaktadır. Bu arızalar neticesinde elde edilen tecrübeler gelecekte meydana gelebilecek arızaların tespit ve giderilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada bir GT arızası teknik ve ekonomik açıdan derinlemesine irdelenmiştir. İncelenen GT gücü 403 MVA'dır ve kömür yakıtlı bir termik santralde yükseltici trafo olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın ilk amacı literatürden seçilen etkin analiz yöntemleri kullanarak, 403 MVA gücündeki bu GT'de meydana gelmiş arızanın önceden tespit edilebilirliğini ortaya koymaktır. Bu kapsamda arıza yaşanan GT'den alınmış gerçek ölçüm değerleri beş adet analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci amacı ise arıza sonucu oluşan ekonomik kaybı hesaplamak ve bu kaybın yaşanmaması için bazı önerilerde bulunmaktır. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda, bu çalışmada kullanılan analiz yöntemleri ile incelenen arızanın önceden tespit edilip, gerçekleşmeden önlenileceği görülmüştür. Ayrıca ekonomik kaybın yaşanmaması için bazı çıkarım ve öneriler sonuç bölümünde özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç trafosu, Trafo arızası teşhisi, Trafo arızası maliyeti.

Forecasting power transformer failure using different methods: An application on a 403 MVA transformer and an economic analysis

Abstract

Power transformers (PT) are one of the most important components of power systems. PTs take a major role in energy transmission and distribution processes. So continuous operation of PTs must be ensured to maintain the power systems quality and reliability. Although the organizations responsible for electricity generation, transmission and distribution have done their best to obtain continuous transformer operation, many transformer failures have been witnessed. The experiences obtained from the result of these failures are of great importance in terms of detecting and eliminating the faults that may occur in the future. In this study, a PT failure is deeply investigated from technical and economic point of views. Investigated PT has 403 MVA installed power and it is the step-up transformer of a thermal power plant. The first aim of the study is to determine the predeterminable of the failure in this PT with 403 MVA power using the effective analysis methods selected from the literature. In this context, an actual measurement values obtained from PT were evaluated using five analysis methods. The second

aim of the study is to calculate the economic loss due to failure and to make some suggestions to avoid this loss. As a result of the analyzes and calculations, it was seen that the failure could be detected and prevented before occurrence by the analysis methods used in this study. In addition, some inferences and recommendations in order to prevent economic loss are summarized in the conclusion section.

Keywords: Power transformer, Transformer failure diagnosis, Transformer failure cost.

1. GİRİŞ

Güç trafoları (GT), iletim ve dağıtım sistemlerinin en temel ve en önemli elemanlarından birisidir. Elektriksel enerjinin uzak mesafelere iletiminde GT'lere ihtiyaç duyulmaktadır. GT'ler elektriksel gerilim seviyelerini ihtiyaç duyulan aralıklarda değiştirmektedirler. Elektriksel enerjinin sürdürülebilir, verimli ve kaliteli bir şekilde iletiminin gerçekleştirilmesi için GT'lerin iyi şartlarda işletilmesi oldukça önemlidir [1]. GT'lerde işletme kaynaklı meydana gelebilecek herhangi bir arıza sonucunda çok büyük maddi kayıplarla ve teknik problemlerle karşılaşılabilir.

Üretim tesisleri açısından bakıldığında, GT 'de meydana gelebilecek bir arıza sebebiyle tesisteki ünite veya üniteler arıza süresince üretim yapamayacaktır. Bunun neticesinde meydana gelecek üretim kayıpları büyük ekonomik zararlara yol açacaktır. İletim ve dağıtım şirketleri açısından bakıldığında ise GT arızaları bu şirketlerin sorumluluğundaki şebekelerin daha hassas hale gelmesine ve kimi zaman enerji akışında problem yaşanmasına sebep olacaktır. Bu durum tüketiciler açısından bakıldığında, GT arızaları neticesinde tüketilen enerji kalitesinde bozulmalar ve kesintileri meydana gelecektir. Tüm bu olumsuz durumlarla karşılaşmamak için GT'lerin dikkatli bir şekilde işletmeleri gerekmektedir. Bu nedenle GT'lerde meydana gelebilecek arızaların oluşmadan önce hızlı şekilde saptanması ve giderilmesini ilke edinen bir anlayışı benimsemek önem arz etmektedir [2-5].

GT'ler, işletme sürecinde meydana gelen bazı mekanik, termal ve elektriksel zorlanmalar sonucunda arızalanmaktadır [6]. Bu durumları temel olarak üçe ayırarak olursak, ilki ark oluşumu sonucu ortaya çıkan, ikincisi termal sebeplerden kaynaklı ve üçüncüsü de kısmi deşarjlar nedeniyle oluşan arızalardır [7]. Bu arızalar meydana gelirken arızanın türü ve şiddetine bağlı olarak transformatörün yağında çözünebilir bazı gazlar ortaya çıkmaktadır. Bu gazlar Etan (C_2H_6), Etilen (C_2H_4), Asetilen (C_2H_2), Metan (CH_4), Hidrojen (H_2), Karbonmonoksit (CO) ve Karbondioksit (CO_2) gazlarıdır. Ortaya çıkan bu gazların miktarları doğru şekilde ölçülebilirse meydana gelen arızanın çeşidi bazı analizler ile tahmin edilebilmektedir [8]. Güç transformatörlerinde arızanın tespiti için yağda çözülmüş gaz analizi (YGA) çok yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir [9-13]. Bu yöntemde GT'den alınan yağ örnekleri laboratuvar ortamında analizleri gerçekleştirilerek arıza tespiti yapılabilmektedir. Böylece trafonun açılmasına gerek kalmadan gelişmekte olan arızalar daha başlangıç aşamasında tespit edilebilmektedir. Bu sayede başlangıç aşamasında tespit edilen arızalar gerekli önlemlerin alınmasıyla büyümeden önlenilmekte ve olası maddi zarar en aza indirilebilmektedir. YGA yönteminde GT'nin enerjisi kesilmeden gaz analizlerinin gerçekleştirilebilmesi ise bu yöntemin en önemli avantajlarından birisi olmaktadır.

Trafo ve elektrik donanımında meydana gelen deşarjlar ve aşırı ısınmalar sırasında bazı gazlar oluşur ve yağın içinde çözülmeye başlar. Çözünen bu gazların kalitatif ve kantitatif analizleri yapılarak, arızanın türü, şiddeti ve yeri hakkında isabetli bilgiler elde edilir. Henüz başlangıç aşamasında olan, yavaş ve gizli biçimde gelişen çok küçük boyutlu arıza ve olaylar, ancak gaz analizleri sayesinde açığa çıkarılmaktadır.

Bu çalışmada, 403 MVA gücünde bir GT arızası analiz edilmiştir. Analiz, teknik ve ekonomik olmak üzere iki yönlü olarak gerçekleştirilmiştir. Teknik analizde, trafo arızası ve arızanın giderilmesi süreci detaylı olarak incelenmiştir. Mevcut arızadan yola çıkarak, bu tip arızaların gelişmeden önlenmesi ve daha kısa sürede giderilebilmesi için bazı önerilerde bulunulmuştur. Bu kapsamda GT arızalarının erken tespitinde yaygın olarak kullanılan beş YGA yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler, incelenen GT'den arıza öncesi ve sonrası alınmış olan gaz değerlerine uygulanarak sonuçlar irdelenmiştir. Elde edilen YGA test sonuçları incelendiğinde, GT'de arızanın önceden tespit ve giderilmesi açısından önemli bulgular elde edilmektedir. Kullanılan YGA yöntemleri materyal ve metot bölümünde ayrıntılı olarak tanıtılmıştır. Ayrıca elde edilen YGA sonuçları bulgular bölümünde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

İncelenen GT, bir kömür yakıtlı termik santralin 360MW güce sahip ünitesinin yükseltici trafosudur. Tesiste yedek trafo bulunmadığından dolayı yaşanan GT arızası süresince ünite devre dışı kalmıştır. Bu sebeple bir üretim ve gelir kaybı yaşanmıştır. Çalışmada yapılan arıza analizinin ikinci kısmında, arızadan kaynaklı üretim ve gelir kaybı hesaplanmıştır. Kayıplar hesaplanırken geçmiş yıllarda aynı dönemde gerçekleşmiş üretim değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır. Sonuçlar Bulgular bölümünde verilmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı iki yönlü olmuştur. Bunlardan ilki Türkiye şartlarında 403 MVA gücünde bir GT'nin alçak gerilim bağlantı noktasında kavrulma sonucu oluşan arızanın giderilmesi için gereken işlemler ve süreç ortaya koyulmuştur. İkincisi de kömür yakıtlı bir termik santral ünitesinin yükseltici GT'sinde yaşanan arızanın giderilmesi sürecinde oluşacak ekonomik kayıp hesaplanarak bu tür sistemlerde yedek trafo kullanımının önemi ortaya koyulmuştur.

Bu makale beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konu ve yapılan çalışma ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, çalışmada kullanılan veriler ve metotlar ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölüm, çalışma sonucu elde edilen bulguların verildiği kısımdır. Dördüncü bölümde, çalışma sonucu elde edilen bulgular ışığında bazı öneri ve çıkarımlar yapılmıştır. Son bölümde ise referanslar bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Güç Trafosu ve Tamir Süreci

Çalışmada incelenen GT, Türkiye'de faaliyet göstermekte olan bir termik santralde yükseltici trafo olarak kullanılmaktadır. GT, 360 MW'lık elektriksel güce sahip santral ünitesinin 20 kV'lık çıkış gerilimini 380 kV'a yükseltmektedir. GT gücü 403 MVA olduğundan fiziksel olarak oldukça büyük ve ağır bir yapıya sahiptir. Bu sebeple GT'deki arızanın giderilme süreci uzun zaman almıştır. GT'nin genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca GT ile ilgili bazı teknik detaylar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. GT'nin teknik özellikleri

Teknik Özellik Türü	Değeri
Üretim Yılı	2002
Nominal Güç (MVA)	403
AG Gerilim (kV)	20
YG Gerilim (kV)	380
Frekans (Hz)	50
Soğutma Tipi	ODAF
Bağlantı Grubu	YNd11
Toplam Ağırlık (Ton)	370



Şekil 1. Trafonun genel görünümü.

Bu çalışmada; yukarıda genel hatlarıyla tanıtılmış GT'de oluşmuş bir arıza, teknik ve ekonomik açıdan irdelenmiştir. Arıza 01.08.2017 tarihinde oluşmuştur. GT'nin bağlı olduğu ünite, ana trafo toprak arızasından dolayı devre dışı kalmıştır. Bu tarihten itibaren arızanın giderilmesi için gereken çalışmalara başlanmıştır. Tamir süreci ana hatları ile Şekil 2'de verilen şema ile özetlenmiştir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere trafo arızasının giderilmesi uzun zaman almıştır. Bu süreçte tesisteki ünite devre dışı kaldığından dolayı üretim yapamamıştır. Ünitenin nominal çıkış elektriksel gücü 360 MW'tır. Fakat bazı verim kayıpları sebebiyle, ünitenin çalışma çıkış gücü genelde 280 MW olmaktadır. Bu yaklaşık çıkış gücü dikkate alındığında ünitenin uzun süre devre dışı kalmasından kaynaklı ekonomik kaybın oldukça yüksek olacağı görülmektedir. Ekonomik kayıp; tesisin ikili anlaşma ile belirlenen sabit enerji satış fiyatı, arıza giderme süresi ve ünitenin yaklaşık üretimi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ekonomik kayıp değeri bir sonraki bölümde verilmiştir.

GT'de oluşan arıza alçak gerilim tarafındaki gevşek bağlantı sebebiyle oluşmuştur. Bu gevşek bağlantının arızadan bir yıl önce yapılmış bakım çalışması sonrasında oluştuğu tahmin edilmektedir. Anlaşılacağı üzere arıza zaman içerisinde oluşmuş ve alçak gerilim tarafındaki bağlantı noktasında bir kavrulma olayı ile sonuçlanmıştır. Bu tür arızaların erken tespiti arızanın daha kısa sürede giderilmesini sağlamaktadır. Literatür incelendiğinde bu tip arızaların erken tespitinde yağda çözünmüş gaz değerlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [14]. Gaz değerlerinin analizinde yaygın olarak kullanılan beş yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada da kullanılmış olan bu beş yöntem, aşağıdaki diğer bölümlerde kısaca anlatılmıştır.



Şekil 2. GT'nin tamir süreci.

2.2. Kılavuz Gaz Yöntemi

Bu yöntemde gaz türlerine göre arıza sınıflandırması yapılmaktadır. Öncelikle her gaz türünün toplam gazın yüzde kaçını oluşturduğu bulunur. Yüzde olarak yüksek miktarda bulunan gazlar kılavuz gazlardır ve arızanın türünü göstermektedir [15]. Gaz türlerine göre hata sınıflandırması Tablo 2 kullanılarak yapılmaktadır.

Tablo 2. Kılavuz gaz yöntemi gaz yorumları.

Gaz Türü	Arıza Türü
(C ₂ H ₄)	Termik arıza (bölgesel ısınma).
(C ₂ H ₆)	Termik arıza ikincil göstergesi.
(H ₂)	Deşarj (korona, kısmi deşarj).
(CH ₄)	Ark veya ciddi ısınma ikincil göstergesi.
(C ₂ H ₂)	Yüksek deşarj (ark, kıvılcım).

Gaz Türü	Arıza Türü
(O ₂)	Bağlantı gevşekliği.
(CO)	Selülozun bozulması.
(CO ₂)	Selülozun bozulması.

2.3. Doernenburg Gaz Oranları Yöntemi

Bu yöntemde, bazı gaz oranları kullanılarak arıza üç sınıfa ayrılabilir. Yöntemde kullanılan gaz oranları Tablo 3'te verilmiştir. Bu oranlar için Tablo 4'te bazı limit değerleri tanımlanmıştır. Tablo 4 kullanılarak GT'de oluşmuş arıza termik, yüksek ve düşük enerjili deşarj olmak üzere toplam üç sınıfa ayrılabilir [16].

Tablo 3. Doernenburg gaz oranları

Gaz Oranı	Kısaltması
(CH ₄) / (H ₂)	O ₁
(C ₂ H ₂) / (C ₂ H ₄)	O ₂
(C ₂ H ₂) / (CH ₄)	O ₃
(C ₂ H ₆) / (C ₂ H ₂)	O ₄

Tablo 4. Doernenburg gaz oranları yorumları

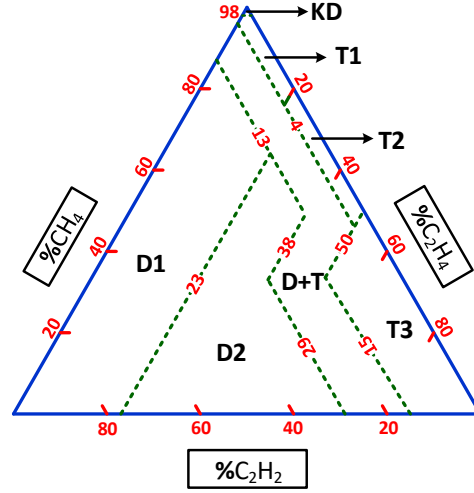
Gaz Oranları				Arıza Türü
O ₁ >1	O ₂ <0,75	O ₃ <0,3	O ₄ >0,4	Termik arıza
O ₁ <0,1	-	O ₃ <0,3	O ₄ >0,4	Düşük enerjili deşarj
0,1<O ₁ <1	O ₂ >0,75	O ₃ >0,3	O ₄ <0,4	Yüksek enerjili deşarj

2.4. Duval Üçgen Yöntemi

Bu yöntemde üç tür gaz değeri yorumlanarak hata türü belirlenmeye çalışılmaktadır [17]. Bu gazlar; asetilen, metan ve etilendir. Öncelikle her gaz türünün, üç gaz miktarı toplamının yüzde kaçını oluşturduğu bulunur. İkinci adımda, Şekil 3'teki üçgen grafik kullanılarak arıza türü tespit edilir. Yüzde gaz değerleri üçgenin kenarlarında işaretlenerek ve işaretlenen noktalardan çizilen doğruların kesiştiği nokta belirlenir. Bu noktanın içinde kaldığı bölgeye göre arıza türü saptanır. Tablo 5'te bölgelerin işaret ettiği arıza türleri verilmiştir.

Tablo 5. Duval Üçgen grafiği arıza türleri

Bölge	Arıza Türü	%
T1	Termik arıza < 300 °C	
T2	300 °C < Termik arıza < 700 °C	
T3	Termik arıza > 700 °C	
D1	Düşük enerjili deşarj	
D2	Yüksek enerjili deşarj	
KD	Kısmi deşarj	



Şekil 3. Duval üçgen grafiği

2.5. Rogers Gaz Oranları Yöntemi

Bu yöntem ilk adımında, altı tür gaz değeri kullanılarak üç adet gaz oranı elde edilmektedir. Bu gazlar; C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , H_2 ve C_2H_6 'dır. İkinci adımda bu üç oran kullanılarak arızanın türü belirlenmektedir [10]. Gaz oranlarına göre arıza türü Tablo 6 kullanılarak belirlenmektedir. Bu tabloda gaz oranlarının sınır değerleri verilmiştir. Ölçülen gaz değerlerinin oluşturduğu oranlar kullanılarak arıza sınıfı belirlenmektedir.

Tablo 6. Roger Gaz Oranları ve arıza türleri

Arıza Türü	$O_1 = C_2H_2/C_2H_4$	$O_2 = CH_4/H_2$	$O_3 = C_2H_4/C_2H_6$
Termik arıza < 300 °C	$O_1 < 0,01$	$O_2 < 0,1$	$O_3 < 0,2$
Termik arıza 300 °C - 700 °C	$O_1 > 1$	$0,1 < O_2 < 0,5$	$O_3 > 1$
Termik arıza > 700 °C	$0,6 < O_1 < 2,5$	$0,1 < O_2 < 1$	$O_3 > 2$
Düşük enerjili deşarj	$O_1 < 0,01$	$O_2 > 1$	$O_3 < 1$
Yüksek enerjili deşarj	$0,01 < O_1 < 0,1$	$O_2 > 1$	$1 < O_3 < 4$
Kısmi deşarj	$0,1 < O_1 < 0,2$	$O_2 > 1$	$O_3 > 4$

2.6. IEC Gaz Oranları Yöntemi

IEC gaz oranları yöntemi Roger gaz oranları yönteminde olduğu gibi üç oranlı bir yöntemdir. Bu yöntem 1978 yılında IEC tarafından standardize edilmiş ve daha sonra 2008 yılına gelindiğinde ise revize edilmiştir. Yöntem, oranların (Rogers Oranları), gaz konsantrasyonlarının ve oranların bir kombinasyonuna dayanmaktadır [18]. Gaz oranlarına göre arıza türü Tablo 7 kullanılarak belirlenmektedir. Bu tabloda gaz oranlarının sınır değerleri verilmiştir. Ölçülen gaz değerlerinin oluşturduğu oranlar sınır oranlar ile karşılaştırılarak arıza sınıfı belirlenmektedir.

Tablo 7. IEC Gaz Oranları ve arıza türleri.

Arıza Türü	$O_1 = C_2H_2/C_2H_4$	$O_2 = CH_4/H_2$	$O_3 = C_2H_4/C_2H_6$
Termik arıza < 300 °C	$O_1 < 0,01$	$O_2 > 1$	$O_3 < 1$
Termik arıza 300 °C - 700 °C	$0,01 < O_1 < 0,1$	$O_2 > 1$	$1 < O_3 < 4$
Termik arıza > 700 °C	$0,1 < O_1 < 0,2$	$O_2 > 1$	$O_3 > 4$
Düşük enerjili deşarj	$O_1 > 1$	$0,1 < O_2 < 0,5$	$O_3 > 1$
Yüksek enerjili deşarj	$0,6 < O_1 < 2,5$	$0,1 < O_2 < 1$	$O_3 > 2$
Kısmi deşarj	$O_1 < 0,01$	$O_2 < 0,1$	$O_3 < 0,2$

Bir sonraki bölümde, GT'den alınan ölçümler için yukarıda anlatılan gaz analiz yöntemlerinin verdiği sonuçlar kıyaslamalı olarak verilmiştir. Ölçümler arıza öncesi ve sonrası yapılmış olduğundan arızanın aslında erken tespitinin yapılabilir olup olmadığı da irdelenecektir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, incelenen GT arızası için teknik ve ekonomik olmak üzere iki açıdan değerlendirme yapılmıştır. Teknik değerlendirme kısmında, arızanın oluşum ve giderilme aşamaları incelenmiştir. Ayrıca arızanın, bir önceki bölümde anlatılmış YGA yöntemleri kullanılarak erken tespitinin mümkün olup olmadığı üzerinde durulmuştur. Bu amaçla beş YGA yöntemi, arıza oluşmadan önce ve arıza oluşuktan sonra alınan gaz ölçümleri kullanılarak arıza türü tespiti yapılmış ve sonuçlar Tablo 8'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 8'de verilen limit değerler International Electrotechnical Commission kuruluşunun 60599 nolu standartta belirlenen değerlerdir [10]. Arıza öncesi ve arıza sonrası ölçüm değerleri incelendiğinde; hidrojen, metan, etilen ve etan değerlerinin limit değerlerin üstünde olduğu görülmüştür. Bu durum, arıza öncesinde alınan ölçümlerin YGA yöntemleriyle değerlendirilerek oluşabilecek arızaların tespit edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmada beş adet YGA yöntemi kullanılarak ölçümler değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 9'da özetlenmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde GT'de oluşan arızanın önceden tespit edilebileceği görülmüştür.

Tablo 8. Arıza öncesi ve sonrası ölçülmüş yağda çözülmüş gaz değerleri.

Ölçülen Gaz	Limit Değerler (ppm)	Arıza Sonrası (ppm)	Arıza Öncesi (ppm)
Hidrojen (H ₂)	150	373	223
Oksijen (O ₂)	-	7277	4009
Azot (N ₂)	-	26453	13316
Metan (CH ₄)	110	3021	1937
Karbonmonoksit (CO)	900	104	43
Karondioksit (CO ₂)	13000	6980	4071
Etilen (C ₂ H ₄)	280	3678	2254
Etan (C ₂ H ₆)	90	1439	984
Asetilen (C ₂ H ₂)	50	16	1
Toplam		49341	26838

Tablo 9. YGA yöntemleri sonuçları

Yöntem	Arıza Sonrası	Arıza Öncesi
Kılavuz Gaz	Bağlantı Arızası	Bağlantı Arızası
Doernenburg	Termik Arıza	Termik Arıza
Duval Üçgen	Termik arıza >700°C	Termik arıza >700°C
Rogers	Yüksek enerjili deşarj	Yüksek enerjili deşarj
IEC gaz oranları	Termik arıza 300 °C - 700 °C	Termik arıza 300 °C - 700 °C

Çalışmada yapılan ikinci değerlendirmede, GT arızası sonucu oluşan ekonomik kayıp hesaplanmıştır. Bu kapsamda öncelikle arızadan kaynaklı üretilmeyen enerji yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada incelenen GT'nin bir ünitesi arıza süresince devre dışı kalmış ve üretim yapamamıştır. Ünitenin devre dışı kalmasından dolayı gerçekleşmeyen üretim geçmiş yıllarda aynı zaman diliminde gerçekleşen üretim değerleri incelenerek yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Geçmiş yıllara ilişkin aynı dönemlerde gerçekleşen üretimlerin ortalama değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Geçmiş yıllara ait ortalama üretim ve gelir değerleri

Ay	Üretim (MWh)	Satış Geliri (TL)	İşletme ve Yakıt Gideri (TL)	Toplam Gelir (TL)
Ağustos	67.375,85	10.544.320,26	7.884.550,85	2.659.769,41
Eylül	59.357,42	9.289.436,75	6.946.207,49	2.343.229,26
Ekim	78.663,97	12.310.911,70	9.205.525,52	3.105.386,18
Toplam	205.397,24	32.144.668,71	24.036.283,86	8.108.384,85

Satış geliri hesabında, tesisin ikili anlaşma ile belirlenen birim enerji satış fiyatı (156,5TL/MWh) kullanılmıştır. Satış geliri, üretim değeri ile bu birim enerji satış fiyatı çarpılarak elde edilmiştir. İşletme-bakım ve yakıt gideri dolar-cent bazında sırasıyla 1,495 (cent/kWh) ve 1,839 (cent/kWh) olarak alınmıştır [19]. Toplam gider, üretim değeri ile birim yakıt ve bakım gideri çarpılarak hesaplanmıştır. Bu giderler TL'ye çevrilirken arıza döneminde oluşmuş Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası dolar kurlarının ortalaması alınmıştır. Bir sonraki bölümde sonuçlar yorumlanmış ve çalışmada görülen bazı durumlar tartışılmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir GT arızası teknik ve ekonomik açıdan irdelenmiştir. Teknik incelemede; oluşan arıza, arıza öncesinde ve sonrasında alınan yağda çözünmüş gaz ölçümleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, beş adet YGA yöntemi kullanılarak arıza tespiti yapılmıştır. Tespit sonuçlarına göre tüm yöntemlerin termik bir arızayı işaret ettiği görülmüştür. GT'nin tamir sürecinde, gerçekte oluşan arızanın ise termik sınıf bir arıza olduğu ve alçak gerilim tarafındaki bağlantı noktasında bir kavrulma ile sonuçlandığı belirlenmiştir. Bu durum, gerçekleşen arıza ile YGA yöntemleri ile tespit edilen arızanın aynı türden olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma sonunda YGA yöntemlerinin GT'lerde meydana gelebilecek benzer arızaların arıza öncesi ölçümler kullanılarak erken tespit edilip daha kısa sürede giderilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilceğini göstermiştir.

Yapılan ekonomik analizde ise GT'nin arızalı olduğu süreçte üniteye yaşanan üretim kaybı ve ekonomik kayıp hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda arızadan kaynaklı gelir kaybının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek kurulu güce sahip üretim tesislerinde GT arızalarından kaynaklı ekonomik kayıpların azaltılması amacıyla yedek trafo tutulmasının iyi bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mirzai M, Gholami A, Aminifar F. Regular paper Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers. J. Electrical Systems. 2006; 2(1).
- [2] Wang X, Wu K, Xu Y. Research on Transformer Fault Diagnosis based on Multi-source Information Fusion,, International Journal of Control and Automation. 2014; 7(2).
- [3] Suna HC, Huang YC, Huang C.M. A Review of Dissolved Gas Analysis in Power Transformers, Energy Procedia. 2012; 14.
- [4] Pamuk N. Güç Trafolarında Arıza Tespitine Yönelik Gelişmiş Tanı Testleri. Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research. 2014; 10.

- [5] Yaman O, Biçen Y . An Internet of Things (IoT) based Monitoring System for Oil-immersed Transformers. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2019; 7(3).
- [6] Saraswati D, Marie I A, Witonohadi A. Power Transformer Failures Evaluation Using Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) Method. *Asian Journal of Engineering and Technology*. 2014; 2(06).
- [7] Khan SA, Eqbal MD, Islam T. A comprehensive comparative study of DGA based transformer fault diagnosis using fuzzy logic and ANFIS models. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2015; 22(1).
- [8] Shintemirov A, Tang W, Wu Q. Power transformer fault classification based on dissolved gas analysis by implementing bootstrap and genetic programming. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*. 2009; 39(1).
- [9] Rogers R. IEEE and IEC codes to interpret incipient faults in transformers, using gas in oil analysis. *IEEE transactions on electrical insulation*. 1978; 5.
- [10] Standard I. 60599. Guide for the interpretation of dissolved gas analysis and gas-free. 2007.
- [11] Duval MA. review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers. *IEEE electrical Insulation magazine*. 2002; 18(3).
- [12] Duval M, Dukarm J. Improving the reliability of transformer gas-in-oil diagnosis. *IEEE electrical Insulation magazine*, 2005, 21(4).
- [13] Mollmann A, Pahlavanpour B. New guidelines for interpretation of dissolved gas analysis in oil-filled transformers. *Electra*. 1999; 186.
- [14] Sun HC, Huang YC, Huang CM. A review of dissolved gas analysis in power transformers. *Energy Procedia*. 2012; 14.
- [15] Bacha K, Souahlia S, Gossa M. Power transformer fault diagnosis based on dissolved gas analysis by support vector machine. *Electric power systems research*. 2012; 83(1).
- [16] Faria Jr H, Costa JGS, Olivias JLM. A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2015; 46.
- [17] Singh S, Bandyopadhyay M. Duval triangle: A noble technique for DGA in power transformers. *International journal of electrical and power engineering*. 2010; 4(3).
- [18] Liu Z, Song B, Li E, Mao Y, Wang G. Study of "code absence" in the IEC three-ratio method of dissolved gas analysis, *IEEE Electrical Insulation Magazine*. 2015; 31(6).
- [19] Kaya K, Koç E. Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi, *Engineer & the Machinery Magazine*. 2015; 660.