

Yapay Sinir Ağı Kullanarak Trafo Sağlık Endeksi Tahmini

Transformer Health Index Estimation Using Artificial Neural Network

Kübra Nur Birlik, Okan Ozgonenel, Serap Karagol

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

kubranur.birlik@omu.edu.tr, okanoz@omu.edu.tr, serap.karagol@omu.edu.tr

Özet

Sağlık Endeksi; varlık yönetimi, sermaye ve bakım planları, yatırımlara öncelik belirlemek için işletme gözlemleri, saha incelemeleri, saha ve laboratuvar testlerinin sonuçlarını birleştiren kolay uygulanabilir bir araçtır. Bu çalışmada, çeşitli trafo test sonuçları kullanılarak trafo sağlık endeksi tahmini yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, trafolar için güvenilir bir sağlık endeksi geliştirmektir. Önerilen trafo sağlık endeksi, uygun değer trafo ömrü tahminini ve trafo sağlık durumunun değerlendirilmesini sağlayacaktır. Test verileri kullanılarak tahmin edilen sağlık endeksi ile hesaplanan gerçek değer karşılaştırıldığında %80'lik benzerlik oranıyla bu sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Abstract

Health Index is a practical tool that determines the priorities for investment, field studies, combining the results of field and laboratory tests represents for asset management, capital and maintenance plans, operating observations. In this study, transformer health index predicted using artificial neural network and test results of various types of transformers. The main purpose of this study is to develop a reliable health index for transformers. The suggested transformer health index calculation method will allow optimum transformer life prediction and assess the transformer health. The results show that the comparison between the actual transformer health index and the estimated one based on real time data is acceptable around 80% similarity rate.

1. Giriş

Elektrik şebekelerinde güvenilir enerji akışı çok önemlidir. Elektrik güç sisteminin ana bileşenlerinden biri olan güç transformatörleri kurulan donanımın yaklaşık %60'lık kısmını oluşturabilen en yüksek sermaye maliyetine sahiptir. Bu nedenle trafonun durum değerlendirilmesi ve yönetimi yüksek derecede önem arz etmektedir. Günümüzün rekabetçi enerji piyasasında, gelişmiş teknik başarımlar için artan talep, birçok enerji kuruluşunu trafolarının güncel durumunu değerlendirmeye yönlendirmektedir. Mevcut eğilim yeni tesislere sermaye yatırımı yerine mevcut tesislerin yüksek kapasite seviyelerinde kullanılmasıdır. Sermaye yatırımları, bakım maliyetleri ve işletme başarımları arasında en uygun dengeyi sağlamak gereklidir. [1],[2],[3].

Sağlık Endeksi, varlığın dayanımını sağlayan, nitel ve nicel olarak işletme gözlemleri, saha incelemeleri, saha ve

laboratuvar testlerinin sonuçlarını birleştiren pratik bir aracı temsil eder. Bir güç transformatörünün genel durumunu değerlendirmek için kullanılabilen bir boyuttur. Bu boyut trafonun durumunu ve çalışma karakteristiğini en iyi temsil eden tanı unsurlarını teşhis edip hesaplamaktadır.

Sağlık Endeksi aracı, varlıkları yönetmek ve yatırım belirleme ihtiyacının yanı sıra sermaye ve bakım programlarında yatırımlara öncelik verilmesi için güçlü bir araçtır[4]. Sağlık endeksi kullanılarak güç trafosu durum değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu etken yalıtım sisteminin en önemli karakteristiklerini hesaba katarak trafonun kalan yaşam süresini tahmin etmeye izin vermektedir.[5] Literatürde, sağlık endeksi yirmi dört tanı etkeni modeline dayalı olarak hesaplanmaktadır. (iletkenlik etkeni, polarizasyon indeksi vb.). Bu çalışmada, mevcut verilerin etkisini birleştiren pratik bir varlık sağlık endeksi hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Hesaplama yönteminde durum parametreleri, ağırlık etkeni ve bazı durum parametreleri için atanan değerler kullanılmıştır.

Üreticiler genellikle güç transformatörlerinin beklenen ömrünü 25 ile 40 yıl olarak tanımlamaktadırlar. Ancak kullanımdaki bazı trafolar bu yaşa yaklaşıyor, 60 yaşa ulaşan rakamlar mevcuttur. Trafonun yaşam süresini arttırmak için denetim önceliklerinin belirlenmesi ve bakım stratejisi geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yalıtım sistemi izleme ve teşhisi trafonun sağlık endeksi takibinin önemli bir parçası haline gelmiştir. İzleme ve teşhis için fiziksel, elektriksel, mekaniksel, termal ve optik etkilere dayanan farklı yöntemler kullanılır. Bu yöntemler durum değerlendirmesine, kalan ömür hakkında bilgi sağlanmasına ve yalıtım kalitesinin geliştirilmesi için ölçüm tavsiyesine ve yaşam süresi değerlendirmesine bilgi sağlamaktadır [5]. Transformatörün ömrü ile ilgili arıza olasılığı ve güvenilirlik, gerçek yaşına karşı efektif yaş, kalan ve tüketilen ömür gibi farklı kavramlar tanımlanmıştır. İzolasyon ömrü gibi birçok analiz bu kavramları kullanmaktadır. Sıcaklık ve çözünmüş gaz analizi bu tip modellerde anahtar etkenlerdendir. Bakım verileri, test sonuçları ve trafonun önceki geçmişi genellikle ihmal edilmektedir [6].

Güç transformatörünün durum değerlendirmesinde, gerçekçi sonuçlar için mümkün olduğunca çok ve kullanılabilir veri gereklidir. Sağlık endeksi (SE), sermaye ve bakım programlarında yatırımlara önceliğin belirlenmesinde kullanılabilecek bir araçtır. Trafonun durumunu değerlendirmek için çözünmüş gaz, kısmi boşalma (olası tüm arızaların %80'ini kapsamaktadır), yağ veya iletken sıcaklığı,

nem, yağın kalitesi(dielektrik dayanımı, asitliği, rengi) ölçülen bazı parametrelerdir.

Bu çalışmada kimyasal tanı yöntemi olan çözünmüş gaz analizi (ÇGA) modellemede anahtar etkidir. ÇGA transformatörlerde başlangıç aşamasındaki başarısızlık durumlarını tespit etmek için güvenli bir yöntemdir. ÇGA kullanarak, iç ark, kontak arızaları, kısmi boşalma, yağda aşırı ısınma, vb. varlığını ayırt etmek mümkündür [6]. Yağ ölçüm testleriyle sağlık endeksinin hesaplanması ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Trafonun sağlık endeksinin tahmin etmek için 380/154 kV, 150 MVA ototrafo'dan alınan gaz verileri; metan (CH₄), etilen (C₂H₄), asetilen (C₂H₂), etan (C₂H₆) içeriklerinin test sonuçları kullanmıştır [7].

Çalışma sonunda trafonun gaz analiz verileri alınarak kuramsal olarak hesaplanan sağlık endeksi ile YSA kullanılarak hesaplanan veriler karşılaştırılmış ve sonuç şekilleri oluşturulup trafonun sağlamlığı ve ömür çizelgesi elde edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Sağlık Endeksi Hesaplanması

Sağlık endeksinin hesaplanması için öncelikle çözünmüş gaz analizi hesaplanmalıdır. Son 30 yılda güç transformatörleri için ÇGA hesaplanmasına ilişkin Duval üçgen, Roger gaz oranları ve Doernenburg gaz oranları gibi farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin çoğu gaz oranlarına dayanmaktadır [4]. Konsantrasyon oranları her gazın puanını belirlemektedir ve bu puanlar çizelge haline dönüştürülür. Sağlık endeksinin hesaplanması, disiplinler arası uzman grupların bilgilerine ve tecrübelerine, test sonuçlarına, muayene ve bakım çalışmalarına dayanır. Limit ve sınır değerler standartlara (IEC 60599, IEC 60422 gibi), yeterli sayıdaki trafonun istatistiksel çalışmalarına ve bazı durumlarda özellikli uzman bilgisine bağlıdır.

Bu çalışmada Çizelge I ve II kullanılarak ÇGA hesaplanmıştır. ÇGA etkeni eşitliği denklem 1'de gösterilmiştir:

$$ÇGA = \frac{\sum_{i=1}^n Si \times Wi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad (1)$$

Burada Si her bir gazın Çizelge 1'i temel alarak puanı olup, Wi ise ağırlık etkenidir. Değerlendirme kodu en iyi temsil eden A ile başlayıp, en kötü durumu temsil eden E ile bitmektedir.

Çizelge 1: ÇGA Etkenine (ÇGA) Bağlı Trafo Durumu [4]

Değerlendirme Kodu	Durum	Tanımlama Aralığı
A	İyi	ÇGA < 1.2

B	Kabul Edilebilir	1.2 ≤ ÇGA < 1.5
C	Önlem Alınmalı	1.5 ≤ ÇGA < 2
D	Kötü	2 ≤ ÇGA < 3
E	Çok Kötü	ÇGA ≥ 3

Çizelge 2: Gaz Seviyeleri (ppm) İçin Puanlama ve Ağırlık Etkeni [4]

Gaz	Sayı (Si)						Wi
	1	2	3	4	5	6	
H ₂	≤ 100	100–200	200–300	300–500	500–700	>700	2
CH ₄	≤ 75	75–125	125–200	200–400	400–600	>600	3
C ₂ H ₆	≤ 65	65–80	80–100	100–120	120–150	>150	3
C ₂ H ₄	≤ 50	50–80	80–100	100–150	150–200	>200	3
C ₂ H ₂	≤ 3	3–7	7–35	35–50	50–80	>80	5
CO	≤ 350	350–700	700–900	900–1100	1100–1400	>1400	1
CO ₂	≤ 2500	≤3000	≤4000	≤5000	≤7000	>7000	1

Sağlık endeksleme, varlığın ömür bitimine neden olan uzun süreli bozulma etkenleriyle ilgili çeşitli durum ölçütlerini temel alarak donanım durumunu nicelendirmektedir. Sağlık Endeksi eşitliğinde endeks nesnel gözlemlerin aksine varlık durumunun öznel ve doğrulanabilir ölçümlerini içermeli, anlaşılır ve kolayca yorumlanabilir olmalı, varlığın uygunluğunun göstergesi olmalıdır[4].

Tartışılan tüm parametreler ve etkenler göz önüne alınırsa, bir güç trafosunun SE eşitliği denklem 2 ile hesaplanmaktadır. Burada Kj (sabit sayı) ve SEFj (Sağlık Endeksi Faktörü) değerleri çözünmüş gaz analizi için (ÇGA) Çizelge 3 'de verildiği gibi alınmıştır. Kj değeri 10 alınmış olup, SEFj değeri ise hesaplanan ÇGA'nın değerlendirme kodu temel alınarak karşılık gelen değer üzerinden hesaba katılmaktadır [4].

$$SE = \frac{\sum_{j=1}^n Kj \cdot SEFj}{\sum_{j=1}^n 4Kj} \quad (2)$$

Çizelge 3: Sağlık Endeksi Puanlaması [4]

Trafo Durum Kriteri	Kj	Durum Oranlaması	SEFj
ÇGA	10	A, B, C, D, E	4, 3, 2, 1, 0

2.2. Yapay Sinir Ağı Yapısı

Yapay sinir ağı, insan beyninin biyolojik sinir sisteminden esinlenerek oluşturulmuş bir bilgi işleme değerler dizisidir[8]. Bu değerler dizisinin temel unsuru bilgi işlem sisteminin yeni bir yapısıdır. YSA' nın karmaşık ya da kesin olmayan verilerden anlam türetmek için olağanüstü bir yeteneği vardır. Eğitilmiş bir sinir ağı, analiz etmek için gereken bilgi kategorisinde bir uzman olarak düşünülebilir. Bu uzman daha sonraki yeni durumlar için tahminler sağlamaktadır[7]-[8].

Bu çalışmada YSA, transformatörün sağlık endeksini tahmin etmek için kullanılmıştır. Trafo sağlamlık endeksinin tahmininde benzetim çalışmaları, 380/154 kV, 150 MVA ototrafodan alınan tanısal test verilerine uygulanmıştır. Bu veriler kullanılarak önce kuramsal sağlık endeksi hesaplanmış, daha sonra YSA için test verisi olarak kullanılmıştır. Bu veriler, her trafoda, istenen 4 adet arıza verisini sağlamaktadır.

120 adet uygun trafo verisi 2 takıma ayrılır; eğitim ve test takımları. Eğitim takımı rastgele seçilen 80 adet trafo verisi içerir ki bu tüm verilerin yaklaşık %67'sidir. Geri kalan trafo verileri doğrulama evresi için kullanılmıştır.

Şekil 1'de görüldüğü üzere test sonuçlarını temsil eden 4 girişi, sağlamlık endeksini temsil eden 1 çıkışı bulunan ağ önerilmiştir. Ağ 4 düğümlü olup 3 gizli katman ve eğitmek için geri yayımlı algoritma kullanmıştır.

MATLAB programı kullanılarak oluşturulan YSA modeli, yapay sinir ağı programlarından biri olan NeuroSolutions ile aynı veriler kullanılarak tekrar oluşturulmuştur. Programda var olan tüm YSA modelleri kullanılmıştır. Hata oranı en az olan yöntem Çizelge 4'de görüldüğü üzere Temel Bileşenler Analizidir. TBA ağı kullanılarak bulunan sonuçlar %90 oranında birbirine yakın çıkmıştır.

Çizelge 4: NeuroSolutions Programında Bulunan Modellerin KOH Değerlerinin Karşılaştırılması

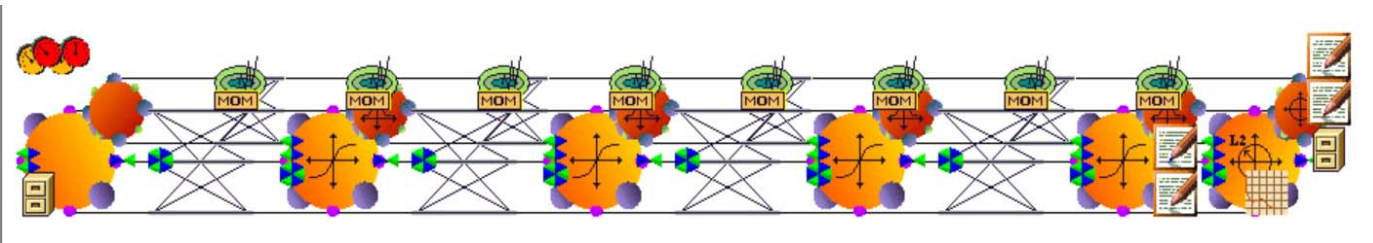
Model Adı	Eğitim	Çapraz doğrulama	Test
	KOH	KOH	KOH
Çok Katmanlı Algılayıcı	0.001198306	4.15672E-05	6.141E-05
Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağ	0.008826958	0.01712796	0.1026123
Modüler Sinir Ağı	0.008469815	0.00092841	0.0004771
Jordan/Elman Ağı	0.006516529	0.002240123	0.0150965
Temel Bileşenler Analizi (TBA)	0.001155145	4.41817E-05	5.555E-05
RBF/GRSA/OSA Ağı	0.008806371	0.000235814	0.0001934
Kendini Yöneten Özellikli Ağ	0.000439903	0.06388078	0.0208958
Zaman Gecikmeli Tekrarlayan Ağ	0.022999684	0.73780256	0.4289382
Tekrarlayan Ağ	0.072893506	0.000104614	8.647E-05
CANFIS Ağı (Bulanık Mantık)	0.012710495	0.000641418	0.000229
Destek Vektör Makinası	0.096280865	0.000868955	1.1191696

RBF = Radyal Tabanlı Ağ.

GRSA = Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı.

OSA = Olasılıksal Sinir Ağı.

KOH = Kare Ortalama Hata



Şekil 1: Trafo sağlık endeksi tahmininde kullanılan NeuroSolutions Programındaki ağ yapısı.

Farklı türleri arasında en genel olarak kullanılan sinir ağlarından biri çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağıdır (İBYSA). Bu tip bir YSA küresel fonksiyon yaklaşımı oluşturur. Hatta çok katmanlı İBYSA'yı karmaşık bir sistemi modellemek için doğrudan uygulamanın geleneksel yöntemlere göre daha iyi olduğu kanıtlanmıştır. Çok katmanlı İBYSA'nın başarımı veri gösterimine bağlıdır. Veri gösteriminin en önemli özelliği ilintisizliktir, ilişkili veri tanıma öğrenme sürecinde sinir ağı için karışıklıktır. Birçok giriş değişkeni, kötü genelleme başarımına neden olabilir. Bu sorunlar TBA ile İBYSA birleştirilerek çözülebilir. TBA, orijinal veri takımının tüm varyanslarını kaydederek orijinal verileri ilintisiz değişkenler kümesine dönüştürür.[9]

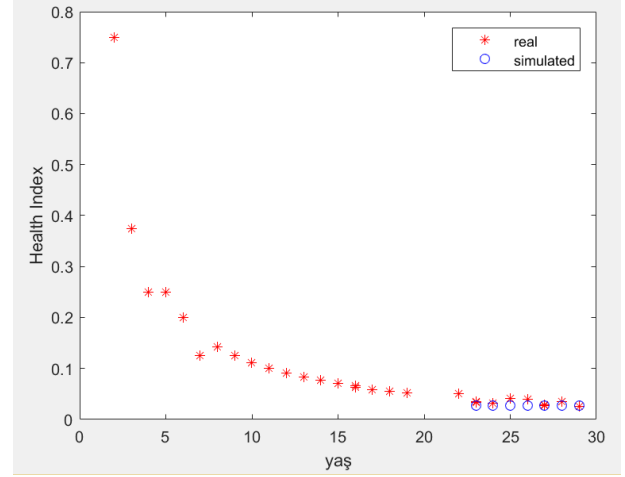
Çizelge 5: NeuroSolutios Programındaki Sağlık Endeksi(SI) Test Sonucu Örnekleri

	İstenen SI	Çıkan SI
1. Trafo	0.111100000000	0.103653301272
	0.100000000000	0.102946374950
	0.090900000000	0.097985071937
	0.083300000000	0.094519176965
2. Trafo	0.100000000000	0.112060626314
	0.090900000000	0.082594762658
	0.062500000000	0.079576943475
	0.076900000000	0.168274922947
3. Trafo	0.100000000000	0.112060626314
	0.090900000000	0.082594762658
	0.062500000000	0.079576943475
	0.076900000000	0.168274922947
4. Trafo	0.071428571429	0.065970902660
	0.066666666667	0.064113923103
	0.062500000000	0.063244908374
	0.058823529412	0.062676716102
5. Trafo	0.071428571429	0.065970902660
	0.066666666667	0.064113923103
	0.062500000000	0.063244908374
	0.058823529412	0.062676716102
6. Trafo	0.083333333333	0.077172760285
	0.076923076923	0.067399505342
	0.071428571429	0.059859615998
	0.066666666667	0.055298199734

3. Sonuçlar

Yapay sinir ağı kullanılarak önerilen sağlık endeksi tahmini yöntemi, çözülmüş gaz analiz verilerini kullanarak bir güç transformatörünün durumunun belirlenmesinde yararlı bir araçtır. Sağlık endeksi, trafo ömrü içeren sermaye planlaması için kullanılabilir[10]-[11].

Bu çalışmada güç trafolarında kullanılan uygun verilerden ve literatürde kullanılan yöntemlerden yararlanılarak gerçekçi bir sağlık endeksi metodu yapay sinir ağı ile uygulanmıştır. Kuramsal hesaplama ağırlık etkeni, durum oranlaması ve özel parametrelere atanan değerler temel alınarak yapılmıştır.



Şekil 2: Güç Trafosunun Sağlık Endeksi-Yaş Grafiği

Şekil 2’de bir güç transformatörünün yaşına bağlı sağlık endeksi grafiği gösterilmiştir. 30 yaşında olan trafonun gerçek gaz verileri kullanılarak yıl temelinde hesaplanmış sağlık endeksi ile YSA ile tahmin edilen değerler son 10 yıl içerisindeki sağlık endeksi karşılaştırılmıştır. Kuramsal hesaplama ile YSA tarafından öngörülen değerlerin birbirine %80 oranında yaklaştığı görülmüştür.

Sağlık endeksi kullanılarak, güç transformatörünün durum değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu etken yalıtım sisteminin en önemli özelliklerini temel alarak trafonun kalan ömrünün tahminine izin vermektedir.

Sağlık endeksi 0 ve 1 arasındaki değerlere göre değerlendirilir. 1 trafo durumunun çok iyi olduğunu gösterirken, 0 değeri trafonun çok kötü durumda olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada ÇGA yöntemlerinden Duval üçgen, Roger ve Doernenburg gaz oranları kullanılmak yerine sağlık endeksi tahmini ile trafonun durum değerlendirmesi yapılması tercih edilmiştir. Diğer yöntemlere kıyasla istatistiksel olarak ağırlık faktörü gibi ayrıntılı veriler kullanılmış, sonuçlar yapay sinir ağı ile incelenmiş, sonuç olarak arıza verileri ve trafonun hesaplanan ömrü gerçeğe yakın çıkmıştır.

4. Kaynaklar

- [1] A.N. Jahromi, R. Piercy, S. Cress and J.R.R. Service, “An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index”, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 25, no. 2, pp. 20-34, 2009.
- [2] Ahmed Mohamed, Elkhatab Mohamed, Salama Magdy, Shaban Khaled Bashir, "Transformer Health Index Estimation Using Orthogonal Wavelet Network", *Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015 IEEE*, 2015.

- [3] W. Fu, J. D. McCalley, and V. Vittal, "Risk assessment for transformer loading," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 16, no. 3, pp. 346–353, Aug. 2001.
- [4] A. Naderian, S. Cress, R. Piercy, F. Wang and J. Service, "An approach to determine the health index of power transformers," in *proc. Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, ISEI*, 2008, pp. 192-196.
- [5] B. Gorgan, P. V. Notingher, L. V. Badicu, G. Tanasescu, Calculation of Power Transformers Health Indexes, *Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering Series*, no. 34, pp. 13 – 18, ISN: 2069-0150, Craiova, Romania.
- [6] Xiang Zhang, Ernst Gockenbach, "Asset Management of Transformers Based on Condition Monitoring and Standard Diagnosis", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 24, no. 4, pp. 26-40, 2008.
- [7] A. E. B. Abu-Elanien, M. M. A. Salama, M. Ibrahim, "Determination of Transformer Health Condition Using Artificial Neural Networks", *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 2011 International Symposium, 2011.
- [8] B. Coppin, *Artificial Intelligence Illuminated*. Sudbury, Massachusetts, USA: Jones and Bartlett Publishers, 2004.
- [9] Can Elmar Balas, M. Levent Koç, Rıfat Tür, "Artificial neural networks based on principal component analysis, fuzzy systems and fuzzy neural networks for preliminary design of rubble mound breakwaters", *Applied Ocean Research*, Volume 32, Issue 4, October 2010, Pages 425–433.
- [10] A. E. B. Abu-Elanien and M. M. A. Salama, "Asset management techniques for transformers," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, pp. 456-464, 2010.
- [11] Nick Dominelli, "Equipment Health Rating of Power Transformers", *IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Indianapolis, IN USA*, 19-22 September 2004, pp. 163-168.