

YAPAY SİNİR AĞI İLE İZOLATÖR KONUM AÇISI OPTİMİZASYONU

Suna BOLAT¹Özcan KALENDERLİ²^{1,2} Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

¹ e-posta: bolats@itu.edu.tr² e-posta: ozcan@elk.itu.edu.tr*Anahtar sözcükler: Yüksek Gerilim, Gaz Yalıtımlı Sistem, İzolatör, Yapay Sinir Ağı*

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle gaz yalıtımlı sistemlerde ara tutucu olarak kullanılan doğrusal eğimli izolatörlerin optimum konum açısı, yapay sinir ağı kullanılarak belirlenmiştir. Elektrotların yerleşim şekillerinden ve tabakalı elektrot sistemlerinde sınır yüzeyde kırılma ilkesinde yararlanılarak elektrik alan hesaplamaları yapılmış ve elektrot açıklığı ve konum açısı değerleri ile birlikte yapay sinir ağına (YSA) tanıtılmıştır. Bu çalışma, bu tür problemler için YSA kullanılmasının genel, etkili, hızlı ve ekonomik olarak, sonuçlara ulaşılmasını sağladığını göstermiştir.

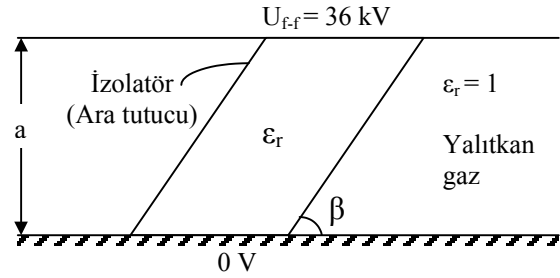
1. GİRİŞ

Yerleşim sınırlamaları, kirlenme, çevre koşulları ve güvenlik gibi etkenler nedeniyle, gaz yalıtımlı sistemlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Basınçlı gaz yalıtımlı bu sistemlerde, metal mahfazaları ile yüksek gerilim iletkenleri arasındaki açıklığın sağlanması ve iletkenlerin mekanik olarak tutturulması amacıyla ara tutucu (spacer) adı verilen (yalıtkan) izolatörlerden (Şekil 1) yararlanılmaktadır.

Ara tutucuların kullanılması, gaz yalıtımlı sistemlerin elektriksel, mekanik ve ısı özelliklerini dolayısıyla güvenilirliklerini etkiler. Ara tutucu – gaz ara yüzeyinde teğetsel alan şiddetinin değeri, ara tutucunun elektrot açıklığını köprülemesi nedeniyle gaz yalıtımlı sistemin delinme dayanımına sınırlama getirir. Ara tutucu olarak kullanılan izolatörün biçimi, boyutları, yüzey durumu, yerleşimi, malzemesi, kirlenmesi ve iletken parçacıklar gaz yalıtımlı sistem içindeki elektriksel alan dağılımını değiştirir.

Ara tutucuların gerek yüzeylerinde, gerekse buldukları ortam içinde elektrik alan dağılımındaki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla deneysel ve kuramsal çalışmalar yapılmaktadır [1, 8].

Bu çalışmada, elektrot açıklığı ve izolatörün gaz yalıtkan tarafındaki yüzeyinin elektrik alan değerlerine göre, izolatörün konum (yerleştirilme) açısı Yapay Sinir Ağı (YSA) ile belirlenmiştir. Ara tutucu olarak porselen, cam ve epoksi reçineden yapılmış üç farklı izolatör göz önüne alınmıştır.



Şekil 1 Gaz yalıtımlı sistemde ara tutucu olarak kullanılan izolatör

Böyle bir amaçla YSA kullanılması, deneysel çalışmaların zorluklarını, zaman alıcılığını ve pahalılığını gidermesi yanında, hesaplamada diğer kuramsal yöntemlere göre hem daha kolay ve hızlı, hem de daha genel sonuç alınmasını sağlar.

Son yıllarda pekçok alanda, YSAlarının kullanımı ve geliştirilmesi için çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [2-6]. Bunun sonucu olarak da, YSA literatürü oldukça hızlı bir şekilde gelişmiştir. YSAlar, çok geniş uygulama alanına sahiptir. Elektrik enerji sistemlerinde YSAlar, yük tahmininde, güvenlik değerlendirilmesinde, kapasite kontrolünde, alarm değerlendirilmesinde etkin olarak kullanılmaktadır. Yüksek gerilim sistemlerinde ise YSA uygulamaları, başta kısmi boşalma örüntülerinin tanınması olmak üzere, atlama gerilimi bulunması gibi her türlü boşalma olayının modellenmesinde, yıldırım tahmini ve yerinin bulunmasında, yüksek gerilim elemanlarının optimum geometriyelerinin bulunmasında (biçim optimizasyonu) kullanılmaktadır.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

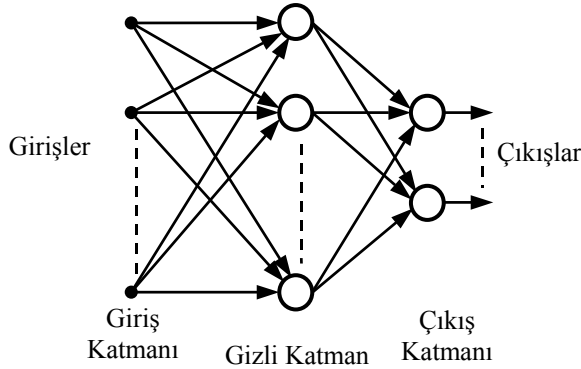
YSA, insan beyninin öğrenme şeklinin uygulanmaya çalışıldığı bir yöntemdir. Bir YSA, nöron adı verilen, bilgi işleme elemanlarından oluşmaktadır. Nöronlar, bağlantı hatları üzerinden işaret göndererek birbirlerini etkilerler. Bu bağlantı hatlarının herbirinin kendine özgü bir ağırlığı vardır. Uyarlamalı hesaplanabilen bu ağırlıklar, bilgi simgesini, doğru olarak bildirir. Genellikle, bilgi ağ boyunca dağıldığı için, bağlantı ağırlıklarını önceden belirlemek mümkün değildir. Bu

sebeple, ağırlıkların değiştirileceği bir öğrenme işlemi gereklidir. Öğrenme işlemi gerçekleştirilecek pek çok öğrenme algoritması bulunmaktadır. Bu çalışmada, eğitici öğrenmeli, geriye yayılım (back-propagation) algoritması kullanılmıştır.

2.1. ÇOK KATMANLI İLERİ BESLEMELİ AĞ

Eğitici öğrenmeli en basit ağ yapısı, bir giriş ve bir çıkış katmanı bulunan, iki katmanlı, ileri beslemeli ağıdır. Çıkış katmanındaki her bir nöron, düzeltilebilen ağırlıklar yoluyla, bütün giriş nöronlarından işaret alır. Ancak iki katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları, sadece lineer ayrıştırılabilir fonksiyonları hesaplayabilir. Bununla birlikte, birden fazla adaptif ağırlıklı katmana sahip olan bir ileri beslemeli ağ, çok kompleks fonksiyonları hesaplayabilir.

Şekil 2’de çok katmanlı ileri beslemeli bir ağın şematik yapısı görülmektedir. Ağda giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman bulunur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, ileri beslemeli bir ağda, işaretlerin girişten çıkışa bir veya daha fazla gizli katman üzerinden yayılmasıdır.



Şekil 2 Çok katmanlı ileri beslemeli bir ağ

Yapay sinir ağları, giriş vektörünü bir kez tanımladıktan sonra, ağırlıkları öğrenme işlemine göre ayarlar. Bu çalışmada, tek gizli katmandan oluşan YSA'nın eğitimi için, Widrow-Hoff öğrenme kuralının genelleştirilmiş hali olan geriye yayılım (back-propagation) algoritması kullanılmıştır.

2.2. GERİYE YAYILIM ALGORİTMASI

Geriye yayılım algoritması, yapay sinir ağlarında en çok kullanılan algoritmadır [7]. Geriye yayılım öğrenmesi sırasında ağ, her giriş örüntüsünü, çıkış nöronlarında sonuç üretmek üzere gizli katmanlardaki nöronlardan geçirir. Daha sonra çıkış katmanındaki hataları bulabilmek için, beklenen sonuçla, elde edilen sonuç karşılaştırılır. Bundan sonra, çıkış hatalarının türevi çıkış katmanından geriye doğru gizli katmanlara geçerilir. Hata değerleri bulunduğundan sonra, nöronlar kendi hatalarını azaltmak için ağırlıklarını ayarlar. Ağırlık değiştirme denklemleri, ağdaki ortalama hata

karesini en küçük yapacak şekilde düzenlenir. Öğrenme algoritması şu şekilde gerçekleşir:

n. iterasyonda, j. nöronun çıkışındaki hata işareti, j. nöron çıkış katmanındaysa;

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Ağın öğrenme sırasındaki hatası geriye yayılım algoritmasıyla en küçük değere indirilir. Hata fonksiyonu, N eğitim kümesindeki tüm örüntü sayısı olmak üzere, (2) denklemiyle bulunur:

$$E_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N E(n) \quad (2)$$

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2(n) \quad (3)$$

(3) denklemindeki C kümesi, ağın çıkış katmanındaki bütün nöronları içerir.

Hatayı en küçük değere indirmek için en uygun ağırlık seçimi şu şekilde gerçekleştirilir:

1. $\delta E/\delta w$ hesaplanır.
2. Ağırlıklar $w(n)$ 'den $w(n+1)$ 'e güncellenir.

$$w(n+1) = w(n) + \Delta w(n) \quad (4)$$

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \eta \delta_j(n) y_i(n) + \alpha \Delta w_{ji}(n) \quad (5)$$

(5) denklemi ile yazılan kurala delta kuralı denilmektedir. Ağ ağırlıklarını güncellemek için kullanılan bu eşitlikte, η öğrenme hızı, α momentum katsayısıdır. Yerel gradyen denilen δ_{ji} , j. nöronun çıkış katmanında veya gizli katmanda olmasına göre farklı hesaplanır. ϕ aktivasyon fonksiyonunu belirtmek üzere, eğer j. nöron çıkış katmanında ise;

$$\delta_{ji} = e_j(n) \phi'_j(v_j(n)) \quad (6)$$

bağıntısından, eğer j. nöron gizli katmanda ise;

$$\delta_{ji} = \phi'_j(v_j(n)) \sum_k \delta_k(n) w_{kj}(n) \quad (7)$$

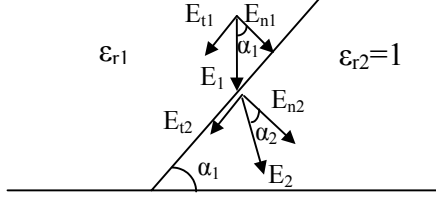
bağıntısından hesaplanır.

Bu çalışmada, yerel gradyenlerin hesabında ϕ aktivasyon fonksiyonu olarak, gizli katmanda sigmoid fonksiyonu ve çıkış katmanında parçalı doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. Söz konusu YSA algoritması çalışmaları, Matlab 6.5 Neural Network Toolbox kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. GİRİŞ ÇIKIŞ VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Şekil 1’de görülen gaz yalıtımlı sistemde ara tutucu olarak kullanılan izolator, doğrusal eğimlidir. Elektrotlar arasındaki açıklık ve üst elektrota uygulanan gerilim değerleri belirlidir. Bu değerlerle oluşan elektrik alan dağılımı hesaplanabilir (Şekil 3).

Dielektrik katsayıları farklı olan izotrop, homojen iki yalıtkan ortamı ayıran sınır yüzeyde (izolatör yüzeyi) E ve D alan çizgileri kırılırlar. Kırılma olayı, kırılma açıları ile dielektrik katsayıları arasında belirli bir bağıntıya göre olur [9].



Şekil 3 Sınır yüzeyde elektrik alan bileşenleri

Şekil 3'te görüldüğü gibi, dielektrik katsayısı $\epsilon_{r1}=1$ olan gaz yalıtkan ve dielektrik katsayısı ϵ_{r2} olan izolatörü ayıran yüzeyde (izolatör yüzeyinde), \vec{E}_1 ve \vec{E}_2 elektrik alan vektörlerinin sınır yüzeyin normali ile yaptıkları açılar β_1 ve β_2 'dir. İzolatörün doğrusal eğimli olmasından ve elektrotların paralel düzende yerleşmesinden dolayı, β_1 aynı zamanda izolatörün yerleşim açısıdır.

Sınır yüzeyde, elektrik alanların teğetsel bileşenleri birbirlerine eşittir.

$$E_{t1} = E_{t2} \quad (8)$$

$$E_1 \sin\beta_1 = E_2 \sin\beta_2 \quad (9)$$

Ayrıca sınır yüzeyde deplasman vektörlerinin normal bileşenleri de birbirine eşittir.

$$D_{n1} = D_{n2} \quad (10)$$

$$D_1 \cos\beta_1 = D_2 \cos\beta_2 \quad (11)$$

$\vec{D}_1 = \epsilon_1 \vec{E}_1$ ve $\vec{D}_2 = \epsilon_2 \vec{E}_2$ olduğundan

$$\epsilon_{r1} E_1 \cos\beta_1 = \epsilon_{r2} E_2 \cos\beta_2 \quad (12)$$

yazılabilir. Denklem (9) ve (12) birbirine oranlanırsa,

$$\epsilon_{r1} \tan\beta_1 = \epsilon_{r2} \tan\beta_2 \quad (13)$$

bağıntısı bulunur. Bu çalışmada, ikinci ortam gaz yalıtkan olduğu için dielektrik katsayısı yaklaşık 1 alınmıştır.

$$\beta_2 = \arctan(\epsilon_{r1} \tan\beta_1) \quad (14)$$

Bu çalışmada, üst elektroda faz – faz arası $U_m = 36$ kV gerilim uygulandığı kabul edilmiştir. Ara tutucu olarak kullanılan izolatör, faz – toprak arasına yerleştirildiği için, izolatöre uygulanan gerilim $U = U_m/\sqrt{3} = 36/\sqrt{3}$ kV olarak alınmıştır. Düzgün alanda, elektrik alanı $E = U/a$ olduğu için, yalıtkan ortamlardaki elektrik alan değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_1 = \frac{U}{a} \quad (15)$$

$$E_2 = E_1 \frac{\sin\beta_1}{\sin\beta_2}$$

Bu çalışma, malzemesi epoksi reçine, cam ve porselen olan üç farklı izolatör (ara tutucu) türü için yinelenmiştir. Her izolatör durumu için, dielektrik katsayıları göz önünde bulundurularak, alan hesaplamaları yapılmış ve eğitim kümeleri elde edilmiştir. Elektrot açıklığı, her izolatör durumu için, izolatörün yerleşim açısı sabit olmak koşulu ile, 25 ve 35 cm arasında 2,5 cm aralıkla artırılarak belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen elektrot açıklıkları için izolatörün yerleşim açısı 30°, 45° ve 60° alınarak eğitim kümesi oluşturulmuştur. Belirlenen elektrot açıklığı, izolatörün dielektrik katsayısı ve yerleşim açısı kullanılarak, gaz yalıtkanındaki elektrik alan değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, elektrot açıklığı (a) ve gaz yalıtkanındaki elektrik alan şiddeti (E_2) değerleri giriş vektörünü, izolatörün yerleşim açısı (β_1) çıkış vektörünü oluşturmaktadır.

4. ALGORİTMANIN UYGULANMASI

Bölüm 3'te de açıklandığı gibi, YSA iki giriş (elektrot açıklığı ve gaz yalıtkanındaki elektrik alan) ve bir çıkış (izolatörün yerleşim açısı) nöronundan oluşmaktadır.

Eğitim kümesi ağa uygulanmadan önce normalizasyon yapılır. Eğitimin tamamlanmasında sonra, her izolatör için, eğitim kümesinin dışından bir test kümesi oluşturularak, eğitim ve test hataları hesaplanır.

Test kümesini oluşturmak için, elektrot açıklığı $a = 26$ cm iken, izolatörün yerleşim açısı 45° olarak alınarak, $\epsilon_{r1} = 3, 4$ ve 5 değerleri için (epoksi reçine, cam, porselen izolatörlerin bağıl dielektrik sabitleri) elektrik alan değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1 Test kümeleri

İzolator malzemesi	Giriş		Çıkış
	Elektrot açıklığı [cm]	Gaz yalıtkanındaki elektrik alanı [kV/cm]	Konum açısı [°]
Epoksi reçine	26	0,5958	45
Cam	26	0,5827	45
Porselen	26	0,5765	45

Parametrelerin belirlenmesi için, deneme – yanılma yönteminden yararlanılmıştır. 1000 iterasyon için yapılan çalışmalarda, önce öğrenme hızı ($0 < \eta < 1$) sabit tutulup, momentum katsayısı (α) 0,1'den 0,9'a kadar değiştirilerek en uygun momentum katsayısı aranmıştır. Benzer çalışma, momentum katsayısı ($0 < \alpha < 1$) sabit tutulup, öğrenme hızı (η) 0,1'den 0,9'a kadar değiştirilerek en uygun öğrenme hızı aranmıştır. Bu çalışmada her denemede öğrenme hızı ve momentum katsayısı sabit tutulmuştur. En uygun

öğrenme hızı ve momentum katsayıları bulunduktan sonra, bu değerler kullanılarak gizli katmandaki nöron sayısı 5'ten 15'e kadar değiştirilmiş ve en uygun gizli katman nöron sayısı belirlenmiştir.

Parametrelerin bulunması için denemeler yapılırken, eğitim için hatanın etkin değeri (rms), test için ise ortalama mutlak hata (mae) kullanılmıştır.

$$rms = \sqrt{\frac{1}{N n_o} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{n_o} (d_{jk} - y_{jk})^2} \quad (16)$$

$$mae = \frac{1}{n_t n_o} \sum_{j=1}^{n_t} \sum_{k=1}^{n_o} \left[\frac{|d_{jk} - y_{jk}|}{d_{jk}} \right] 100 \quad (17)$$

Burada N eğitim kümesindeki tüm örüntü sayısını, n_o çıkış katmanındaki nöron sayısını, n_t ise test kümesindeki örüntü sayısını göstermektedir.

YSAda kullanılacak parametreler belirlendikten sonra, eğitim, toplam karesel hata 0,0001'den küçük olana kadar sürdürülmüştür. Her izolator durumu için, YSA'nın öngörülen hataya kaçınıcı iterasyonda ulaştığı ve bu iterasyonda eğitim hatası (hatanın etkin değeri), test hatası (ortalama mutlak hata) Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2 YSA'nın eğitim ve test hataları

İzolator malzemesi	İterasyon sayısı	Hatanın etkin değeri (%)	Ortalama mutlak hata (%)
Epoksi reçine	1866	0,48	1,82
Cam	6678	0,24	1,95
Porselen	4124	0,23	0,92

Eğitim ve test bittikten sonra, YSA istenen elektrot açıklığı ve gaz yalıtımdaki elektrik alanı değerlerine en uygun konum açısını büyük bir yaklaşıklıkla verir (Tablo 3).

Tablo 3 Konum açısı için izolator malzemesine bağlı olarak YSA sonuçları ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

İzolator malzemesi	Gerçek değerler	YSA değerleri
Epoksi reçine	45	45,0182
Cam	45	44,9805
Porselen	45	45,0093

Bu bölümde açıklanan sonuçlardan görüleceği gibi, problemin YSA ile çözümü oldukça etkin, kesin ve genel bir çözüm vermektedir. YSA kullanılarak, bağlı dielektrik sabiti bilinen herhangi bir doğrusal eğimli izolator için, elektrot açıklığı ve uygulanan gerilim kullanılarak oluşturulan bir test kümesi ile, izolatorün konum açısı yaklaşık %1 hatayla bulunabilir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, özellikle gaz yalıtımlı sistemlerde kullanılan, doğrusal biçimli üç farklı izolatorün (epoksi reçine, cam ve porselen) konum (yerleşim) açısı, YSA kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla kullanılan YSA, ileri beslemeli, çok katmanlı bir YSA'dır. Eğitim sürecinde ağırlıkların hesaplanması için momentum katsayılı geriye yayılım algoritması kullanılmıştır. Eğitim sonunda ağın güvenilirliği, eğitim kümesinin dışından bir test kümesi belirlenerek sınanmıştır. Kullanılan eğitim parametrelerinin uygunluğu, test hatasında kendini göstermektedir. Kullanılan ağ, eğitim kümesinden farklı bir giriş değeri için %2'den küçük hatayla cevap verebilir.

Bu problem için YSA kullanılması gerçekten oldukça etkin ve kesin sonuçlar vermektedir. Yapay sinir kullanılımasının üstünlüğü, sadece sınırlı sayıda hesaplama yapılarak genel bir çözüme ulaşmaktır. Yapay sinir ağlarının kullanılması ise 15 örüntüsü bulunan bu yapıda, günümüz bilgisayarlarında yaklaşık 100-200 saniyede sonuç vererek, sayısal yöntemlerin zaman alıcılığını giderir ve genel çözümlere ulaşmamızı sağlar.

6. KAYNAKLAR

- [1] Kalenderli, Ö., İsmailoğlu, H., "Gaz Yalıtımlı Sistemlerde Ara Tutucuların Alan Dağılımına Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesine Bir Uygulama", Elektrik Mühendisliği IV. Ulusal Kongresi, s. 272-275, 1991.
- [2] Bhattacharya K., Chakravorti S., Mukherjee P. K., "Insulator Contour Optimization by a NN", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No 2, pp. 157-161, 1994.
- [3] Chakravorti S., Mukherjee P. K., "Application of Artificial Neural Networks for Optimization of Electrode Contour", IEEE Trans. on Dielec. and Elec. Insul., Vol. 1, No 2, pp. 254- 263, 1994.
- [4] Bolat, S., Kalenderli, Ö., Önal, E., Merev, A., "Yüksek Gerilim İzolatorlerinin Darbe Atlama Gerilimlerinin Yapay Sinir Ağı ile Belirlenmesi", ELECO'2002, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, s. 154-158, 2002.
- [5] Bolat, S., Kalenderli, Ö., "Levenberg-Marquardt Algoritması Kullanılan YSA ile Elektrot Biçim Optimizasyonu", TAINN'03, 12th Turkish Symp. on Artificial Intelligence and Neural Networks, 2-4 July, Çanakkale, 2003.
- [6] Bermudez, J. L., Piras, A., Rubinstein, M., "Artificial Neural Networks in Lightning Location Systems", AT'96., Int. Symp. on Neuro-Fuzzy Systems, 29-31 Aug., pp. 177-178, 1996.
- [7] Haykin S., *Neural Networks*, Upper Saddle River, N. J., Prentice Hall, 1999.
- [8] Chakravorti, S., Siddanangappa, M. C., "Effect of Charge Accumulation on the Electric Field Distribution Along Spacer Surfaces", The 9th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Graz, Austria, paper 8352, 1995.
- [9] Özkaya, M., *Yüksek Gerilim Tekniği*, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.