

# BİR TRANSFORMATÖRÜN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİNDE NONLİNEERLİĞİN YAPAY SİNİR AĞI İLE SAĞLANMASI

Eyyüp ÖKSÜZTEPE<sup>1</sup> Hakan ÇELİK<sup>2</sup> Hasan KÜRÜM<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ

<sup>1</sup>e-posta: eyoksuztepe@hotmail.com <sup>2</sup> e-posta:hcelik@firat.edu.tr

e-posta: hkurum@firat.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Sonlu Elemanlar Yöntemi, Transformator, Yapay Sinir Ağları*

## ABSTRACT

*This paper presents a new Finite Element Method for nonlinear approach of single phase transformers. The proposed method is to use Artificial Neural Network for nonlinear magnet problems. After every iteration proces, Artificial Neural Network predict magnetik rezistive of the meterial which the transformator made from it. Thus, we can avoid from extracting equation of the meterial characteristic. In the paper, it is proven valid of the proposed method by the computer program .*

## 1. GİRİŞ

Elektrik makinelerinin magnetik alan denklemleri Laplace ve poisson tipi kısmi türevli diferansiyel denklemlerden oluşur. Bu denklemlerin çözümünde Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), Sonlu Farklar Yöntemi gibi sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Maxwell denklemlerinden elde edilen Laplace ve Poisson denklemleri makinada kullanılan manyetik malzemenin geçirgenliği ile orantılıdır. Bir elektrik makinesında manyetik malzemede geçirgenlik, özellikle ağır yük koşullarında oluşan doymadan dolayı, lineer olarak değişmez.[1] Manyetik geçirgenlik, SEY kullanılarak bulunan vektör potansiyellerin bir fonksiyonudur [2],[3]. Bu fonksiyon nonlineer bir fonksiyon olup, malzemenin özelliklerine göre değişmektedir. Manyetik geçirgenlik fonksiyonunu elde etmek yerine Yapay Sinir Ağı (YSA) kullanarak manyetik geçirgenlik tahmin edilir.

Bu bildiride bir transformatorün iki boyutlu SEY ile analizi kendimiz tarafından Pascal Programlama dili kullanarak hazırlanan bir programla gerçekleştirildi. Önerilen yöntemin geçerliliği ispat edildi.

## 2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi, Laplace ve poisson tipi kısmi türevli diferansiyel denklemlerin çözümlerinde kullanılan bir yöntemdir. Çözüm için

yapılan işlemlerin çok fazla olması nedeniyle bir bilgisayar programı kullanılır. Laplace (1) ve poisson (2) denklemlerinin bu yöntemle çözümü, denklemin direkt çözümü yerine, çözümü sağlayan fonksiyonun sisteme ait enerji fonksiyoneli minimize eden değerleri bulmakla yapılır. Deneme fonksiyonu oluşturmada genellikle Rayleigh-Ritz yöntemi kullanılır [4].

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = f(x, y) \quad (2)$$

Sonlu elemanlar yönteminde ilk aşama, çözüm bölgesinin küçük elemanlara bölünmesi işlemidir. Bu elemanların iki boyutlu analiz yapılması esnasında alanlarının, üçboyutlu analiz yapılması esnasında da hacimlerinin hesaplamalara katıldığından dolayı, alan ve hacim hesaplamalarının kolay yapılabileceği ve çözüm bölgesinin sınırlarını bozmayacak elemanlara bölünmesi esas alınır. Çözüm ağı üretme adı verilen bu işlemde, çözüm bölgesinin mümkün olduğu kadar küçük elemanlara bölünmesi ve vektör potansiyel değişimlerinin fazla olduğu kısımların daha küçük elemanlara bölünmesi çözümün doğruluğunu artırmaktadır. Ancak çok fazla eleman kullanmak çözümün yapılması için gerekli sürenin uzamasına neden olmaktadır. Çözüm ağı  $F^{(n)}$  üretildikten sonra her bir eleman için  $F^{(n)}$  enerji fonksiyoneli bulunur.

$$F^n = \iint \left[ \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (3)$$

Burada  $\phi$  Vektör potansiyel olup, birimi Wb/m'dir ve bir üçgen için lineer değiştiği kabul edilir. Bir üçgen elemanın herhangi bir köşe düğümündeki vektör potansiyel, aynı zamanda o düğümü çevreleyen üçgen elemanların o noktadaki vektör potansiyelidir. Bu yaklaşımla tüm üçgen elemanlar birleştirilerek bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının çözülmesi ile çözüm bölgesindeki herhangi bir noktanın vektör potansiyeli elde edilir.

Bir transformatör için maxwel denklemleri yardımıyla (4) yazılabilir.

$$\nu \cdot \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) = \vec{J} \quad (4)$$

Burada  $\nu$  manyetik direnç, J akım yoğunluğudur. Manyetik dirençle manyetik geçirgenlik arasında denklem (5)'deki ilişki vardır.

$$\nu = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

Bir transformatörde doyma olmadığı kabulüyle çözüm yapılırken manyetik direnç sabit alınır. Ancak doyma dikkate alındığında manyetik direnç her bir üçgen eleman için manyetik indüksiyon yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Manyetik indüksiyon ise vektör potansiyelin gradyentidir.

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{\phi} \quad (6)$$

Öncelikle SEY ile vektör potansiyeller bulunur. Sonra buradan her bir üçgen için B bulunur.

$$\nu = \frac{H}{B} \quad (7)$$

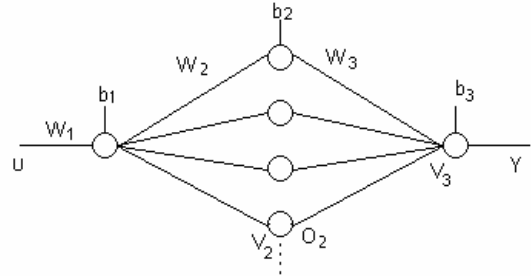
B değerine karşılık manyetik direnç transformatörde bulunan manyetik malzemenin B-H grafiğinden bulunur. Daha sonra bulunan manyetik direnç kullanılarak tekrar çözüm yapılır. Çözüm, bulunan vektör potansiyel değeriyle bir önceki vektör potansiyellerin karşılaştırılmasıyla elde edilen hatanın kabul edilebilir bir değere düşmesiyle tamamlanır. Ancak sayısal analizde manyetik malzemenin B-H grafiğini modelleyecek bir fonksiyon bulmak zordur. Burada önerilen yöntemde manyetik direnci tahmin etmek için YSA'nın kullanılmasıdır.

### 3. YSA İLE MANYETİK DİRENCİN TAHMİN EDİLMESİ

Manyetik direncin tahmin edilmesi, şekil 1'de görülen ileri yönlü üç katmanlı yapay sinir ağıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan YSA'nın birinci katmanında 1 hücre, gizli katmanında 150 hücre, çıkış katmanında da 1 hücre kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak, YSA'nın daha

çabuk eğriyi öğrenmesinden dolayı, tek yönlü sigmoid fonksiyonu (logsig) seçilmiştir. Eğitimin daha çabuk yapılabilmesi için giriş değerlerinin normalizasyon işleminden geçirilmesi gereklidir. Bu çalışmada yapılan normalizasyon (8) de U girişi için verilmiştir.

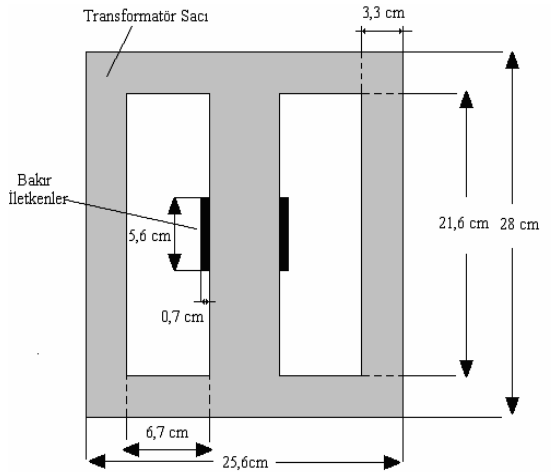
$$U_g = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} \quad (8)$$



Şekil 1. Yapay sinir ağı

Ağırlıkların uyarlanması hata geri yayılım (Back Propagation) algoritmasına göre yapılmıştır [7]. Eğitime Vogl kuralı kullanılarak 0.001 hata ile gerçekleştirilmiştir [8].

### 4. TRANSFORMATÖRÜN SEY

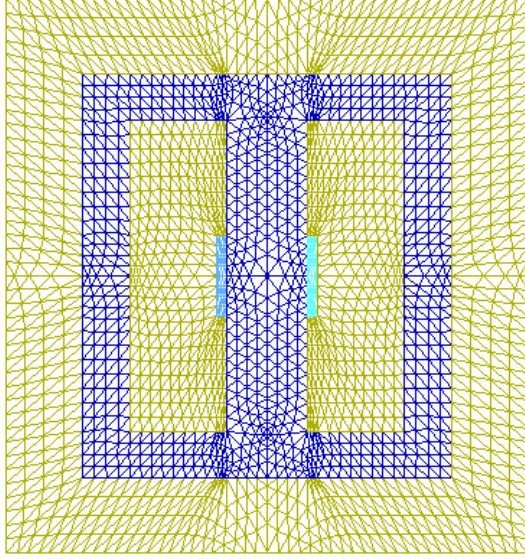


### İLE ANALİZİ

Şekil 2. Analizi Yapılan Transformator boyutları

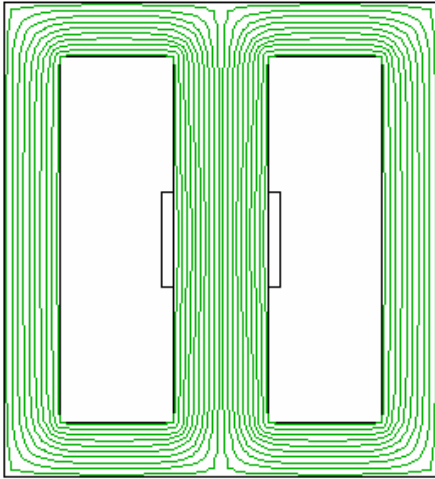
Analizi yapılan transformator bir fazlı olup fiziksel boyutları şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 3'de transformatörün üçgen elemanlara bölünmüş şekli görülmektedir. Bu çalışma için çözüm bölgesi 3840 üçgen elemana bölünmüştür [9].

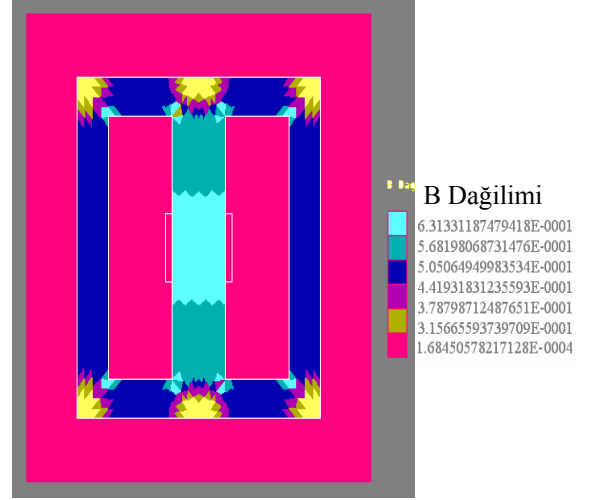


Şekil 3. Transformörün üçgenlere bölünmüş şekli

SEY’inde Rayleigh-Ritz Metodu kullanılarak her bir üçgen eleman için enerji fonksiyoneli elde edilmiş, daha sonra elemanların birleştirilmesi sonucu elde edilen denklem takımı çözülerek her bir düğüm için vektör potansiyel değerleri bulunmuştur. Denklem 6 kullanılarak her bir üçgen eleman için manyetik indüksiyon yoğunluğu elde edilmiştir. Manyetik indüksiyon eğrileri şekil 4’de ve manyetik indüksiyon yoğunluğunun dağılımı şekil 5’ de verilmiştir.



Şekil 4. Manyetik indüksiyon eğrileri



Şekil 5. Manyetik indüksiyon dağılımı

Şekil 5’deki manyetik indüksiyon dağılımı 31 iterasyon yapıldıktan sonra elde edilen manyetik indüksiyon yoğunluğudur. Her bir üçgen eleman için, elde edilen manyetik indüksiyon yoğunluğu yardımıyla, denklem 9’dan manyetik enerji bulunur.

$$W = \frac{1}{2\mu} \cdot B^2 \cdot \Delta \cdot h \quad (9)$$

Burada W manyetik enerji,  $\mu$  manyetik direnç,  $\Delta$  her bir üçgenin alanı,  $h$  transformörün yüksekliğidir. Toplam enerji her bir üçgen elemanın enerjilerinin toplamıdır. Bu durumda transformör için indüktans denklem 10 ile elde edilebilir.

$$L = \frac{2 \sum_{k=1}^n W_k}{I^2} \quad (10)$$

Analiz sonucu transformörün yüksüz çalıştığı durumda, sekonder sargıdan bir akım geçmediği durumda, indüktansı 0.485 H olarak bulundu.

## 5. SONUÇ:

Bu çalışmada bir transformörün iki boyutlu SEY ile analizi yapılmıştır. Yapılan analizde nonlineerlik, bir YSA yardımıyla analize katılmış ve önerilen yöntemin geçerliliği 0.001 hata ile ispat edilmiştir.

Machines., Ph.D. Thesis, Mc Gill University,  
Montreal, Quebec.

## KAYNAKLAR

- [1] Chari, M.V.K. , Silvester, P., Finite Element Solution of Saturable Magnetic Field problems, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol pas-89, No:7 (1642-1650), 1970.
- [2] Penman, J.,Chalmers, B.J., Kamar, M.A., Tunçay, R.N., The Performance of Solid Steel Secondary Linear İnduction Machine, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 100, 6 .2927-2935,1981.
- [3] Chari, M.V.K. , Silvester, P., Finite Element in Electrical and Magnetic Field problems, Jon Wiley and Sons, Newyork, 1984.
- [4] Chari, M.V.K., (1970) Finite Element Analysis of Nonlinear Magnetic Fields in Electric

- [5] Ergeneli A. (1988) Magnetik Alan Teorisi II, Yıldız Üniversitesi Yayınları , 197,
- [6] Kürüm H.,'F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi' 14(1),109-116,2002.
- [7] JACEK M. ZURADA, Introduction To Artificial Neural Systems, West Publishing Company,1992.
- [8] Chin-teng LIN, c.s. George LEE, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hall P T R, 1996.
- [9] Kenji shimada, current trends and issues in automatic mesh generation, Computer-Aided design&applications, vol.3. no. 6 , 741-750, 2006.