

## Bir Elektromanyetik Fırlatıcı Bobininde Mermiye Etkiyen Kuvvetin Çok Katmanlı Sinir Ağı ile Kestirimi

Adem DALCALI<sup>1</sup>, Onursal ÇETİN<sup>2</sup>, Cemil OCAK<sup>3</sup>, Feyzullah TEMURTAŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Corresponding Author; Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü; adalcali@bandirma.edu.tr

<sup>2</sup> Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü; oacetin@bandirma.edu.tr

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü; cemilocak@gazi.edu.tr

<sup>4</sup> Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü; ftemurtas@bandirma.edu.tr

Received 12 December 2018; Accepted 17 December 2018; Published online 18 December 2018

### Özet

Elektromanyetik fırlatıcılarda merminin üzerindeki kuvvet, uyarım değeri ve merminin sargı içerisindeki konumuna göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada elektromanyetik fırlatıcılarda kullanılan bobin ve merminin 3 boyutlu modeli oluşturularak sonlu elemanlar metodu ile analizler gerçekleştirilmiştir. Parametrik çözüm metodu kullanılarak, sargının uyarım değeri ve mermi konumu değiştirilerek mermi üzerindeki kuvvet karakteristiği elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde daha küçük çözüm adımları tanımlanarak daha hassas analizler gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte, değişkenlerin sayısındaki artış nedeniyle analiz süresi uzamaktadır. Analiz süresi dikkate alınarak, çalışmada kuvvet kestirimi tek gizli katmandan ve iki gizli katmandan oluşan çok katmanlı sinir ağı modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çok katmanlı sinir ağları ile yapılan kuvvet kestirimi çalışmalarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** çok katmanlı sinir ağı, kuvvet kestirimi, elektromanyetik fırlatıcı, sonlu elemanlar analizi

## Prediction of the Force on a Projectile in an Electromagnetic Launcher Coil with Multilayer Neural Network

### Abstract

The force on the projectile in the electromagnetic launchers varies according to the the excitation value and the position of the projectile in the winding. In this study, 3D model of coil and projectile used in electromagnetic launchers have been created and analyzed by finite element method. The force characteristic on the projectile has been obtained by changing the excitation value of the winding and the position of the projectile using parametric solution method. In finite element analysis, more accurate analysis can be performed by defining smaller solution steps. However, the analysis time is prolonged due to the increase in the number of variables. Taking into consideration the duration of analysis, the force prediction has been carried out using multilayer neural network models consisting of one hidden layer and two hidden layers. Successful results have been obtained in the force prediction studies with multilayer neural networks.

**Keywords:** multilayer neural network, force prediction, electromagnetic launcher, finite element method

### 1. Giriş

Klasik tip yapılarda mermileri fırlatmak için kimyasal patlayıcılar tercih edilmektedir. Fakat bu sistemlerde merminin hızı kısıtlıdır. Klasik yapılarda merminin hızını arttırmak için iki yöntemden

yararlanılır. Hızı arttırmak için kimyasal madde miktarı veya yanma sıcaklığı artırılmalıdır. Bu iki yöntemde de mermi hızını kısıtlayıcı koşullar mevcuttur. Kimyasal patlama ile elde edilen itici gücün aksine elektromanyetik fırlatıcılarda, fırlatıcı kuvvet elektromanyetik prensiplere dayanır [1].

Elektromanyetik fırlatıcılarda, manyetik alanın hareket hızında teorik olarak sınır olmadığından fırlatılacak nesnenin hareket etme hızında da bir sınır bulunmamaktadır. Elektromanyetik fırlatıcılar robotik [1] askeri [2], uzay [3] ve endüstriyel uygulamalarda [4] geniş yer bulmaktadır. Elektromanyetik fırlatıcılar ile ilgili çalışmalar, güç elektroniği alanında meydana gelen gelişmelere paralel olarak son yıllarda yoğunlaşmıştır [5].

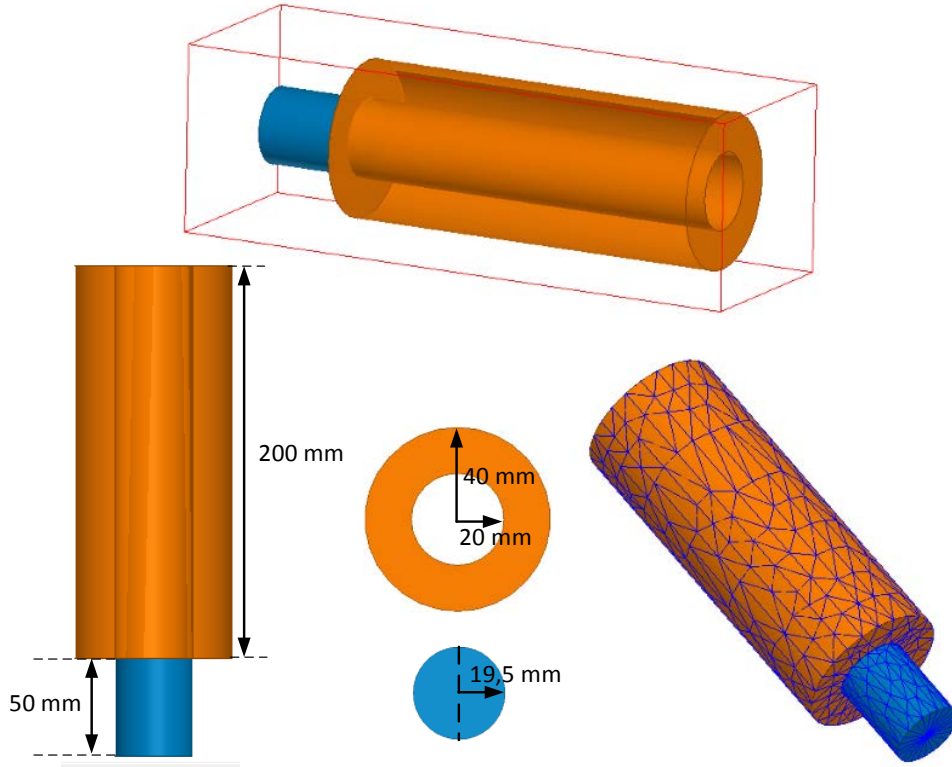
Mermi itici kuvvetinin incelendiği çalışmada iticuvvetine etki eden değişkenler incelenerek akı yoğunlaştırıcı bobin tipi önerilmiştir. Aynı çalışmada itici kuvvetin mermi boyunun olabildiğince kısa ve sargı dış çapının iç çapına oranının küçük seçilmesi gerektiği önerilmiştir [5]. Mermi hızının incelendiği diğer bir çalışmada merminin yapıldığı malzemenin manyetik geçirgenliğinin artmasının mermi hızını artırdığı belirlenmiştir [6]. Elektromanyetik fırlatıcılarda sonlu elemanlar analizlerinin (SEA) kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde çalışmaların kuvvet, verim ve hız üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Maksimum fırlatma hızının elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada 2 boyutlu (2B) sonlu elemanlar analizi kullanarak yapılan bir çalışmada sargı sipir sayısı optimize edilmiş ve sistem veriminin maksimize edilmesi sağlanmıştır [7]. Matematiksel modeli doğrulamak amacıyla oluşturulan elektromanyetik fırlatıcı sisteminin sonlu elemanlar modeli, matematiksel model ile başarılı bir şekilde eşleştirilmiştir [8].

Bu çalışmada, elektromanyetik fırlatıcılarda kullanılabilen bir bobin ve merminin 3 boyutlu (3B) sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Parametrik çözüm metodu kullanılarak merminin bağlı geçirgenlik değeri 1000 sabit kabul edilerek sargı uyarım değeri ve merminin konumu değiştirilerek mermi üzerindeki kuvvetin değişimi incelenmiştir. Böylelikle uyarım miktarı ve konuma bağlı bir kuvvet profili elde edilmiştir. Ayrıca tek ve iki gizli katmandan oluşan çok katmanlı sinir ağı modelleri kullanarak bu kuvvet profilinin kestirimi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle farklı elektromanyetik parametrelere sahip fırlatıcılar için de benzer kestirim modelleri oluşturularak sistem optimizasyona yönelik çalışmaların yapılabilmesi mümkün olmuştur.

## 2. Sistemin Sonlu Elemanlar Modeli

Mühendislik analizlerinde kullanılan sonlu fark ve sonlu elemanlar metodu (SEM) gibi yaklaşım metodları ve bilgisayar yazılımları yardımıyla istenilen tasarım ve davranış modelinin oluşturulması mümkündür. SEM manyetik alan, ısı, basınç gibi belirli bir bölgede sürekli olan ve değişimleri kısmi diferansiyel denklemlerle modellenebilen büyüklüklerin yaklaşık çözümlerini elde etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. SEM’de çözüm yapılacak bölge adına ağ (mesh) denilen sonlu sayıda küçük bölgelere ayrılır. Çözümü aranan değer, bu bölgeler üzerinde sürekli olduğu ve modellenen temel diferansiyel denkleminde, her bir eleman üzerinde geçerli olduğu varsayılır. Herhangi bir noktadaki çözümü elde etmek için, o noktayı çevreleyen ağların noktaya olan katkıları hesaba katılır. Böylelikle bütün elemanların köşe noktalarına ait büyüklükler birbirine bağlanmış olur. Sonuç olarak, düğüm sayısı kadar denklemleri kapsayan doğrusal denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının çözümünden istenenler elde edilir [9-11]

Elektromanyetik analizi yapılacak olan sistemin 2B ve 3B modeli oluşturularak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilebilir. Böylece tasarıma ait kuvvet, nüve kayıpları, akım yoğunluğu, manyetik akı yoğunluğu gibi parametreler bulunabilir [12]. SEM, belirtilen büyüklüklerin hesaplanmasında kullanılan esnek, güvenilir, kısa hesaplama süresi ve yüksek doğruluk sunan bir metottur [13, 14]. Ansys paket programı kullanılarak tasarlanan elektromanyetik fırlatıcıya ait bobin ve merminin 3B görünümü ve ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir. Tasarlanan bobinin malzemesi bakır, merminin ise  $\mu_r$ ’si 1000 olan ferromanyetik bir malzeme seçilmiştir.



Şekil 1 Tasarlanan bobin ve merminin 3B modeli ve ağ yapısı

Her bir analiz adımında ortalama 18800 adet dörtyüzlü kullanılarak ağ yapısı kurulmuştur. Ağ yapısı Şekil 1’de verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada parametrik çözüm metodu kullanılarak uyarım değeri ve merminin konumu değiştirilerek mermi üzerinde oluşacak kuvvetin değeri incelenmiştir. Mermiye ait bağıl geçirgenlik değeri sabit ve farklı alaşımlardan oluşan malzemelerin kullanılabilmesine imkân sağlayacak düzeyde düşük tutulmuştur. Bu metot da tasarıma ait fiziksel veya elektriksel parametreler esas alınarak sabit bir değer yerine değişken bir parametre tanımlanır. Belirlenen değişkene ait sınırlar ve çözüm adımları belirlenerek istenilen hassasiyette analizler gerçekleştirilir. Analiz sonuçları değerlendirilerek hedeflenen çıktılara uygun parametreler seçilir. Analizlerde ki çözüm aralığı ve çözüm adımının değeri çözümün hassasiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Analizlerde ki hassasiyet arttıkça çözüm basamağı sayısı da artacak, dolayısıyla çözüm süresi de uzayacaktır [15]. SEA ile gerçekleştirilen bu parametrik analizlerin temel amacı, sinir ağı modelleri için uygun ve nitelikli girdiler oluşturabilmek içindir. Bobin içerisindeki mermiye indüklenen kuvvetin konuma ve Ampersarım değerine bağlı olarak kestirilebilmesi ile, ardışık bobinlere sahip elektromanyetik fırlatıcılar için optimal ateşleme pozisyonu ve minimum enerji tüketimi değerlerinin elde edilebilmesine imkân sağlayacaktır. Tablo 1’de çalışmada belirlenen sınırlar ve adım değerleri verilmiştir.

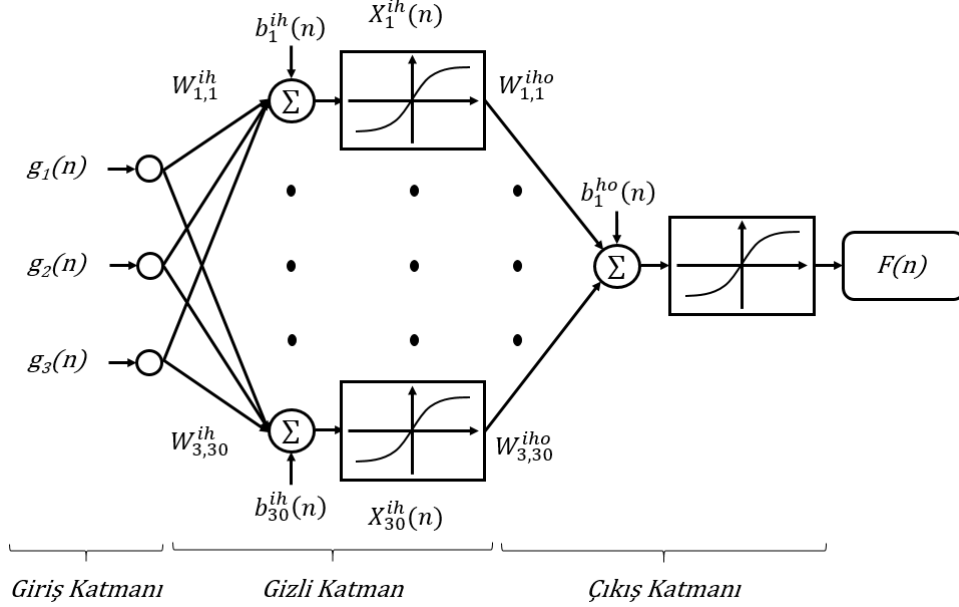
Tablo 1 Değişkenler ve limitleri

Değişken	Alt Limit	Üst Limit	Çözüm Aralığı
Uyarım değeri	0 Ampersarım	3000 Ampersarım	50 Ampersarım
Mermi konumu (x)	0 mm	115 mm	5 mm

### 3. Çok Katmanlı Sinir Ağı ile Kuvvet Kestirimi

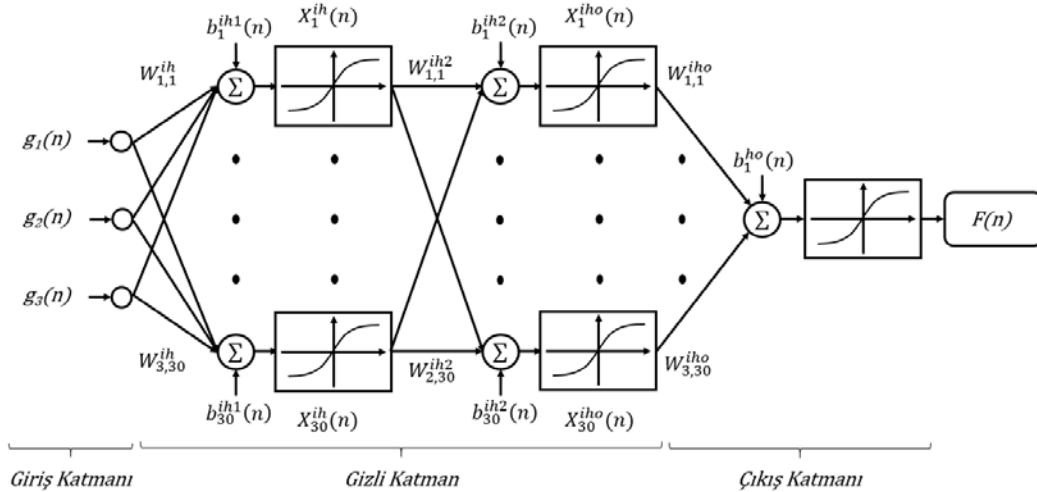
Yapay sinir ağı modelleri arasında en çok kullanılan yöntemlerden biri Çok Katmanlı Sinir Ağı (Multilayer Neural Network - MLNN) yapısıdır [16]. Bu çalışma kapsamında tek ve iki gizli katmandan oluşan MLNN modelleri kullanılarak MATLAB (Lisans no: 40692431) programı vasıtasıyla manyetik sargı içerisinde hareket eden cisim üzerindeki kuvvet kestirimi gerçekleştirilmiştir. Veri setinin 2/3’ü ağın eğitimi, 1/3’ü ise test işlemi için kullanılmıştır ve toplam 1463 giriş değeri rastgele MLNN ağına

sunulmuştur. Tek gizli katmana sahip MLNN yapısı giriş katmanında 3 nörona, gizli katmanda 30 nörona ve çıkış katmanında ise bir nörona sahiptir. Gizli katmanda ve çıkış katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal olmayan yapıya sahip tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşan MLNN yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Tek gizli katmandan oluşan MLNN yapısı

İki gizli katmana sahip MLNN yapısı giriş katmanında 3 nörona, gizli katmanlarda 30'ar nörona ve çıkış katmanında ise bir nörona sahiptir. Hem gizli katmanlarda hem de çıkış katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bir giriş katmanı, iki gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşan MLNN yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3 İki gizli katmandan oluşan MLNN yapısı

Bu çalışmada daha iyi kestirim yapmak için Hessian matrisini kullanan ve Newton yönteminin bir yaklaşımı olan Levenberg Morquardt (LM) algoritması kullanılmıştır [17, 18] Eğitim algoritmasının MLNN yapılarına uygulanması ile ilgili ayrıntılı hesaplamalara [19] nolu çalışmadan ulaşılabilir. Bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu ifade eden ortalama karesel hata (Mean Squared Error-MSE) tek başına hataların dağılımı hakkında bilgi sağlamamaktadır [20]. Bu sebeple

nöral ağ yapılarının uygunluğunu ortalama mutlak göreceli hata (Mean Relative Absolute Error-MRAE) gibi diğer performans değerlendirme ölçütlerini kullanarak test etmek önemlidir. MRAE Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$E(MRAE) = \frac{1}{n_{test}} \sum_{test\ set} 100x \left( \left| \frac{f_{kestirilen} - f_{gerçek}}{f_{gerçek}} \right| \right) \forall f_{gerçek} \neq 0 \quad (1)$$

$f_{kestirilen}$  tahmin edilen kuvvet değerini,  $f_{gerçek}$  gerçek kuvvet değerini ve  $n_{test}$  test veri sayısını ifade etmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonlu elemanlar analizleri ve çok katmanlı sinir ağı analizleri olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir.

##### 4.1 Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Elektromanyetik fırlatıcıda mermi üzerinde elde edilen manyetik alan Maxwell denklemleri ile ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{aligned} \quad (2)$$

denklemden  $\vec{J}$  akım yoğunluğu,  $\vec{B}$  manyetik akı yoğunluğu,  $\vec{E}$  elektrik alan şiddeti,  $\vec{H}$  manyetik alan şiddetini ifade etmektedir. Manyetik vektör potansiyeli  $\vec{A}$ , manyetik akı yoğunluğu cinsinden Denklem 3'deki gibi tanımlanabilir

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (3)$$

Manyetik alan için vektör potansiyelinin temel formülasyonu Denklem 4 ile ifade edilir.

$$\nabla \times \left( v \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J} \quad (4)$$

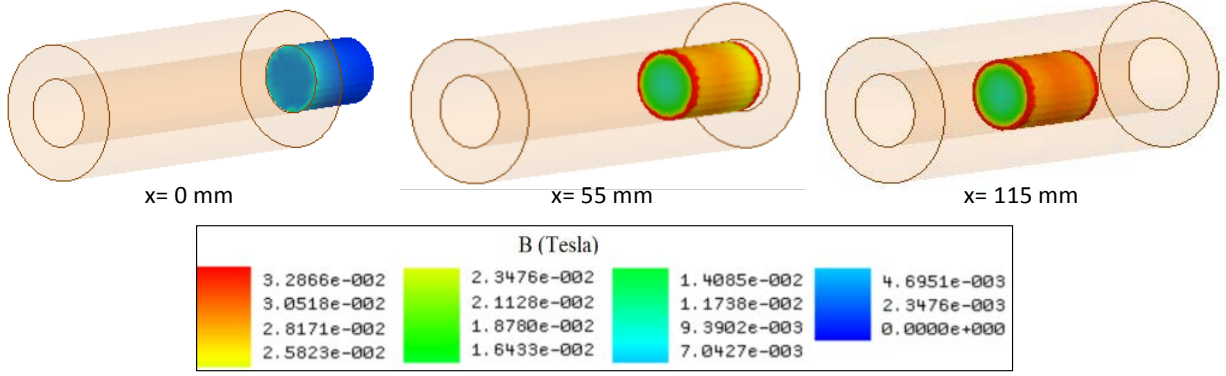
Denklem 4'de  $v$ , BH eğrisinin lineer olmaması nedeniyle değişken geçirgenliği ifade etmektedir.

$$v = \frac{\partial B}{\partial H} \quad (5)$$

olarak düşünüldüğünde Şekil 4'de elde edilen akı yoğunluğu dağılımı Denklem 6 ile belirlenir [10].

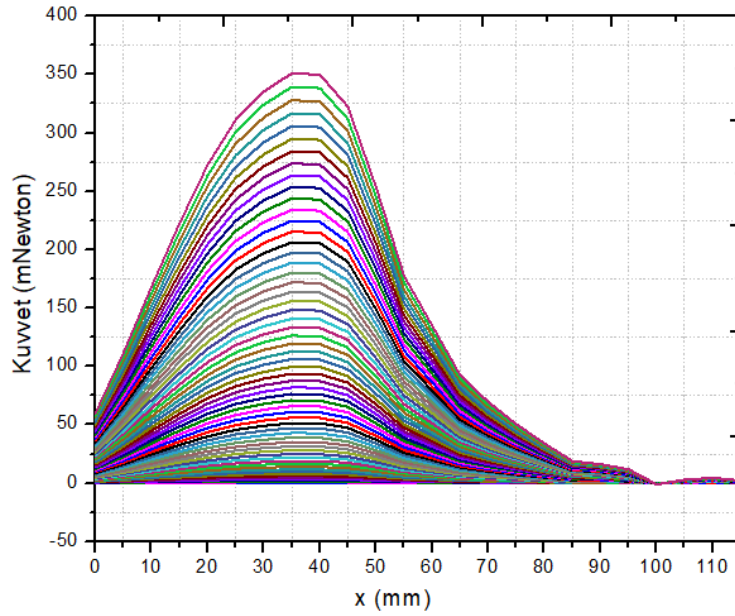
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( v \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( v \frac{\partial A}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial A}{\partial z} \right) = -\vec{J} \quad (6)$$

Tasarlanan sistemde sargı malzemesi olarak bakır, mermi malzemesi olarak da bağıl geçirgenliği 1000 olan malzeme seçilmiştir. Kullanılan malzemenin bağıl geçirgenlik değeri bir değişken olarak tanımlanabilir. Daha yüksek bağıl geçirgenlik değerleri ile daha yüksek fırlatma kuvvetleri elde edilebilir. Fakat bu çalışmada kısmen düşük bağıl geçirgenliğe sahip bir malzeme tercih edilmesinin temel sebebi daha geniş bir yelpazede farklı mermi malzemelerinin kullanılabilmesi içindir.



Şekil 4 Farklı mermi konumlarında mermi üzerindeki manyetik akı dağılımı

Şekil 4'de ki analizde uyarım değeri 1500 Ampersarım da gerçekleştirilmiştir. Bobin malzemesi paramanyetik olduğundan akı yoğunluğu dağılımları sadece ferromanyetik olan mermi üzerinde elde edilmiştir. Mermi üzerindeki akı dağılımları üç farklı konumda ( $x=0$ mm, 55mm ve 115mm) alınmıştır. Akı yoğunlukları incelendiğinde mermi bobinin merkezine geldikçe üzerindeki akı miktarı arttığından yoğunluk artmıştır. Parametrik analiz için belirlenen kriterler dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlere göre mermi üzerinde elde edilen kuvvetin değişimi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5 Kuvvetin mermi konumuna göre değişimi

Şekil 5'deki grafikte merminin konumu başlangıçtan ( $x=0$ mm)  $x=115$  mm'e kadar değiştirilmiş ve uyarım değeri de 0-3000 Ampersarım olarak değiştirilerek kuvvet değerleri çıkarılmıştır. Maksimum kuvvet değeri 3000 Ampersarım ve  $x=35$  mm'de elde edilmiştir. Beklendiği üzere uyarım değeri arttıkça kuvvet değeri de artmıştır. Ampersarım değerinin artması sistem kontrolünü zorlaştırıp enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu sebeple Ampersarım değerini olabildiğince yüksek tutmak yerine konuma bağlı bir akım denetimi yapmak sistem optimizasyonu için bir gerekliliktir. Özellikle doğrusal olmayan mıknatıslanma karakteristiğine sahip mermi malzemeleri tercih edildiğinde, doyum bölgesinin altında maksimum geçirgenliğin elde edildiği noktalar dikkatlice incelenmelidir. Ardışık bobinlere sahip fırlatıcılarda, doğrusal olmayan davranışların dikkate alınarak elde edilen Şekil 5 benzeri konum-kuvvet grafikleri merminin izlediği tüm yol boyunca dikkatlice takip edilip ateşleme zamanları ve akım değerleri optimize edilmelidir.

Analizlerde daha küçük çözüm adımları tanımlanarak daha hassas bir analiz gerçekleştirilebilir. Ancak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilirken çözüm süresi uzun zaman almaktadır. Dolayısıyla değişken sayısının veya çözüm aralığının yoğunluğunun artırılması durumunda SEM'in uygulanması pratik bir tercih değildir. Özellikle karmaşık modele sahip sistemlerde, yoğun mesh ağları tanımlanarak çözüm süreleri birkaç haftaları bulabilmektedir. Bu sebeple, çalışmanın bu kısmında kuvvet kestirimi çok katmanlı sinir ağı modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle SEM metoduna kıyasla çok daha kısa sürelerde sistem davranışı kestirilebilmektedir.

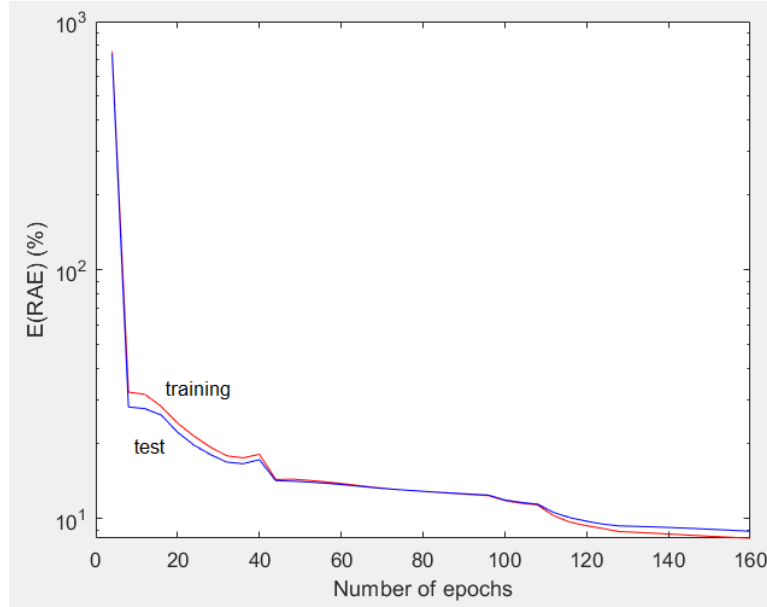
#### 4.2 Çok Katmanlı Sinir Ağı Sonuçları

Tek ve iki gizli katmandan oluşan MLNN modellerinin eğitim ve test performansları Tablo 2'de gösterilmiştir. İki gizli katmandan oluşan MLNN yapısı bir gizli katmandan oluşan MLNN yapısına göre daha düşük bir hata oranı ile kuvvet kestirimini gerçekleştirmiştir.

Tablo 2 MLNN eğitim ve test hata oranları

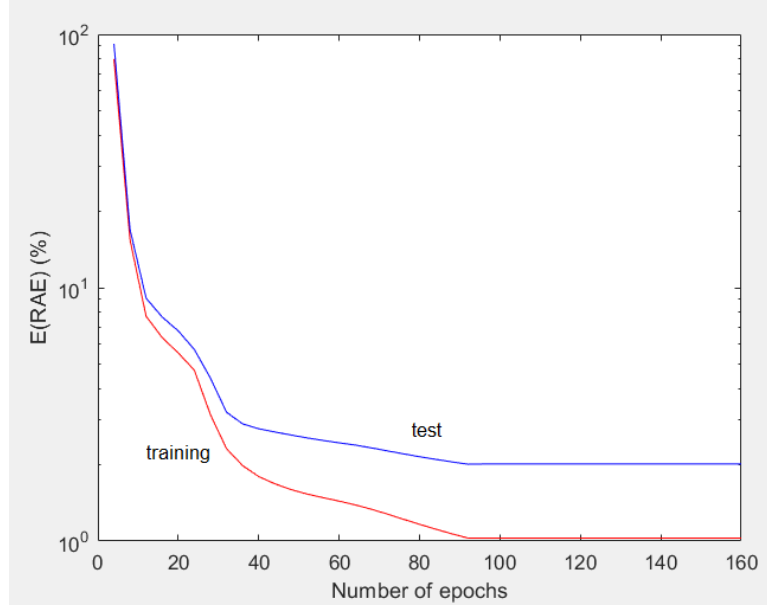
MLNN	Eğitim Performansı % E(REA)	Test Performansı % E(REA)
1 Gizli Katman	8,34	8,89
2 Gizli Katman	1,03	2,01

Tek katmanlı MLNN modeli için eğitim ve test hata grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 120. iterasyondan sonra ağı ezberlemeye girdiği hatanın sabit kaldığı gözlenmektedir



Şekil 6 Tek gizli katman için eğitim ve test hata grafiği

İki katmanlı MLNN modeli için eğitim ve test hata grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 90. iterasyondan sonra ağı ezberlemeye girdiği hatanın sabit kaldığı gözlenmektedir.



Şekil 7 İki gizli katman için eğitim ve test hata grafiği

## 5. Tartışma

Yapılan analizler sonucunda tasarlanan merminin üç farklı konumdaki akı yoğunluğu dağılımları incelenmiştir. Bobinin merkezine doğru ilerledikçe merminin üzerindeki akı yoğunluğu miktarının arttığı tespit edilmiştir. Parametrik çözümün diğer bir değişkeni olan uyarım değerinin artması mermi üzerindeki kuvvetin arttığını göstermiştir. Kompleks yapıli tasarımlarda ağ yapısının yoğun olması bu tasarımların çözüm sürecini uzatmaktadır. Bu duruma çözüm olarak, çalışmada kuvvet kestirimi çok katmanlı sinir ağı modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MLNN kullanımı ile kuvvet kestirimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü üzere özellikle iki gizli katmana sahip yapay sinir ağı yapısı ile %2’lik bir hata ile kuvvet kestirimi sağlanmıştır. MLNN’nin paralel işleme özelliğinden dolayı model bir kere kurulduktan sonra çok hızlı bir şekilde bu kestirimler gerçekleştirilebilir. Bu bakımdan bu çalışmanın gerçek zamanlı uygulamalara uygun olduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP-18-MF-1003-003 proje numarası ile desteklenmiştir.

## Referenslar

- [1] K.S. Chandan and P. M. Rao, “A Mathematical Formulation of Inductance for Multipole Field Electromagnetic Launcher,” *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 118, no. 24, pp. 1-13, 2018.
- [2] V. Sarı, “Elektromanyetik Fırlatıcıların Farklı Manyetik Özellikteki Çekirdeklerle Performans Analizi,” *Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri*, 2015.
- [3] E. İnger, “Elektromanyetik Fırlatıcı Sistemlerinin İrdelenmesi Ve Simülasyonu,” *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara*, 2013.



- [4] H. D. Fair, "Electromagnetic Launch Science and Technology in the United States Enters A New Era," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 41, no. 1, pp. 158-164, 2005.
- [5] İ. Çoşkun, O. Kalender ve Y. Ege, "İndüksiyon Bobin Silahı İçin Uygun Stator Bobini Geometrisinin Araştırılması," *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8, s. 40-48, 2006.
- [6] F. Daldaban ve V. Sarı, "Bir Relüktans Fırlatıcının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi," *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, cilt 30, no 4, s. 605-614, 2015.
- [7] B. Jing, T. Liao, T. Jiang, L. Chen and X. Jia, "Optimal Design and Simulation of Combined Reluctance-induction Electromagnetic Launcher," in *Electromagnetics Research Symposium*, 2017, pp. 1377-1381.
- [8] D. V. Le, B. S. Go, M. G. Song, M. Park and I. K. Yu, "Design of an Electromagnetic Induction Coilgun Using the Taguchi Method," *IEEE Transactions On Plasma Science*, vol. 46, no. 10, 2018.
- [9] M. Akbaba and S. Q. Fakhro, "Field distribution and iron loss computation in reluctance augmented shaded-pole motors using finite element method," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 7, no. 2, pp. 302–307, 1992.
- [10] A. Dalcalı, ve M. Akbaba, "FEM Study of the Effects of Geometric Changes on the Variable Reluctance Shaded-Pole Motors Performance," in *6th Paris International Conference on Recent Trends in Engineering and Technology*, April 2017.
- [11] M. Akbaba and S. Q. Fakhro, "An improved computational technique of the inductance parameters of the reluctance augmented shaded-pole motors using finite element method," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 7, no. 2, pp. 308–314, 1992.
- [12] A. Dalcalı. and M. Akbaba, "Comparison of 2D and 3D magnetic field analysis of single-phase shaded pole induction motors," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, pp. 1–7, 2016.
- [13] S.L. HO and W.N. FU, "Review and Future Application of Finite Element Methods in Induction Motors," *Electric Machines & Power Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 111-125, 2007.
- [14] W.N. FU "A Versatile Finite Element Model of Electric Machines," *Electric Power Components and Systems*, vol. 31, no. 10, pp. 941-966, 2003.
- [15] A. Saygın, C. Ocak, A. Dalcalı, O. Gürdal, S. Alantar and Y. Tarhan, "Influence of Pole Arc Offset on The Field and Output Parameters of Brushless DC Motors," *International Journal of Advancements in Electronics and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 47-51, 2014.
- [16] O. Cetin and F. Temurtas "Classification of Magnetoencephalography Signals by Multilayer and Radial Based Artificial Neural Networks," *Elec Lett Sci Eng*, vol. 14, no. 1, pp. 32–38, 2018.
- [17] O. Cetin, F. Temurtas and S. Gulgonul, "An application of multilayer neural network on hepatitis disease diagnosis using approximations of sigmoid activation function," *Dicle Medical Journal*, vol.42, no. 2, p. 150–157, 2015.

[18] A. Gulbag and F. Temurtas, "A study on transient and steady state sensor data for identification of individual gas concentrations in their gas mixtures," *Sensors and Actuators B*, vol. 121, no. 1, pp. 590–599, 2007.

[19] A. Gulbag and F. Temurtas, "A study on quantitative classification of binary gas mixture using neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems," *Sensors and Actuators B*, vol. 115, no. 1, pp. 252–262, 2006.

[20] E. Dogan, "Suspended sediment load estimation in lower Sakarya river by using soft computational methods," *Elec Lett Sci Eng*, vol. 1, pp. 22–32, 2005.