

## ELASTİK DAVRANI SPEKTRUMUNUN YAPAY SINIRLA İYAKLAŞIMI LE TAHMİNİ

E.Ç. Kandemir-Mazanoğlu<sup>1</sup> ve Ç. Kandemir-Çava<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yardımcı Doçent, İnşaat Müh. Bölümü, Uşak Üniversitesi

<sup>2</sup> Doçent, Bilgisayar Bil. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe Kampüsü  
Email: elif.kandemir@usak.edu.tr

### ÖZET:

Davranı spektrumu, bir deprem yükü etkisi altında, tek serbestlik dereceli sistemin doğal frekansına karşılık gelen maksimum davranı büyüklüğü (yer deşirme, hız ve ivme) ifade eden kullanılı grafiklerdir. Bu çalışmada Düzce depreminin ivme kayıtları kullanılarak, tek serbestlik dereceli sistemin zaman tanım alanında nümerik integrasyonu ile maksimum cevapları hesaplanmıştır ve davranı spektrumları elde edilmiştir. Nümerik integrasyon metodu olarak merkezi farklar yöntemi kullanılmıştır. İleri-beslemeli Levenberg-Marquardt geri yayılım öğrenme algoritması kullanılarak, her bir ivme kaydı için hesaplanmıştır spektrumların %70'e eğitim verisi, %15'i geçerlilik, %15'i de test verisi olarak rassal olarak belirlenmiştir. Model sonucunda davranı spektrumlarının elde edilen tahmin değerleri ile hedef değerler arasındaki regresyon katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Böylelikle, önerilen yapay sinir ağı yöntemiyle, farklı doğal frekanslara sahip sistemlerin ivme kayıtları altındaki davranımın zaman tanım alanında belirlenmesi için gerekli olan nümerik integrasyon metodundan kaçınarak, zaman ve boyutlu ortadan kaldırmak mümkün hale gelmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Davranı spektrumu, ileri-beslemeli Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması, merkezi farklar yöntemi.

### 1. GİRİŞ

Davranı spektrumları deprem mühendisliğinde önemli yer tutmaktadır. Sismik dizayn standartlarında, yapıların karşılayacağı dizayn yükleri, davranı spektrumlarına göre belirlenmektedir. Doğrusal elastik davranı spektrumu, yapının elastik sınırlar içinde hareket ettiği varsayılarak çizilen bir grafikdir. Bir deprem ivmesi altında, tek serbestlik dereceli sistemin çeşitli doğal periyot ya da frekans değerlerine karşılık gelen en büyük cevap değeri çizilerek elde edilir. Periyodun değeri, kütle ve rijitlikteki değeri ifade eder. Cevap değerleri de ivme, hız ve yer deşirme olabilmektedir.

Son zamanlarda deprem spektrumları ile ilgili olarak yapay sinir ağı yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır olup, literatürde konuyla ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır (Bojorquez et al., 2012; Gunaydin et al., 2008; Lee et al., 2002; Alcantara et al., 2008)

Yapay sinir ağı (YSA) doğrusal olmayan problemlerin çözümü amacıyla beyindeki sinir hücrelerinin işlevi taklit edilerek önerilen öğrenme-tabanlı bir tekniktir. Literatürde sınıflama, örüntü tanıma, tahminleme, kontrol uygulamaları, kümeleme, optimizasyon vb. problemler için zaman tasarruflu güçlü çözüm modelleri bulunmaktadır. Çalışmada ileri-besleme geri yayılım algoritması kullanılarak, en yüksek ivme değerlerinin, en yüksek yer deşirme ve periyot değerleri kullanılarak YSA ile tahmini yapılmıştır ve böylece bir test çalışması gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, spektral yer deşirme, yalancı ivme ve periyot değerleri de kullanılarak istasyonların fayda olan mesafeleri YSA ile tahmin edilmiştir.

### 1.1. Elastik Davranış Spektrumunun Elde Edilmesi

Yer de i tirme en büyük de erine ula tı ı anda ivme, açısıl frekansın karesiyle spektral yer de i tirmenin çarpımına e ittir. Bu ivme de eri yalancı ivme olarak adlandırılmakta olup, her bir periyot için yalancı ivme de erlerini gösteren spektruma da yalancı ivme spektrumu (pseudo acceleration spectra) denir.

Denklem (1)'de binanın kütlesi m, sönüm katsayısı c, rijitli i k ile gösterilmektedir.  $x(t)$ ,  $\dot{x}(t)$ ,  $\ddot{x}(t)$  ise sırasıyla binanın her bir t anındaki ivme, hız ve yer de i tirme cevabı olup  $x_g(t)$  depremin ivme kayıdır. Bu dinamik e itlik merkezi farklar yöntemi kullanılarak (Chopra, 1995) çözümlenmi ve yer de i tirmeler elde edilmi tir.

$$\ddot{x} t + c\dot{x} t + kx t = -m\ddot{x}_g(t) \quad (1)$$

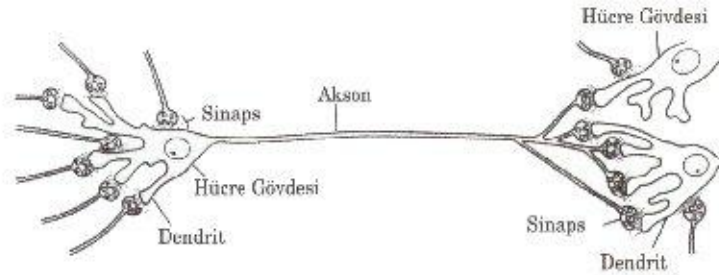
Yer de i tirmenin en büyük de eri aldı ı andaki ivme;

$$\max \ddot{x}(t) = \omega^2 \max \dot{x} t \quad (2)$$

formülü ile hesaplanır.

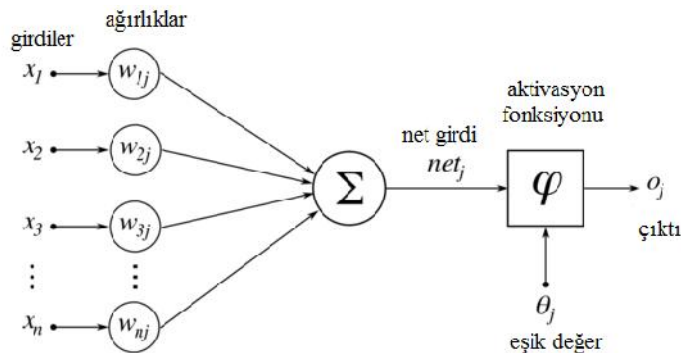
### 1.2. Yapay Sinir A ları

Yapay sinir a ları (YSA), beyinde bulunan sinir hücresinden esinlenerek önerilmi bir yöntemdir. Bir sinir hücresi di er adıyla nöron ekil 1'de verildi i gibi, bilgiyi alan dendrid, gelen bilginin di er nöronlara aktarımını sa layan sinaps, bilginin geçi yolu aksondan olmaktadır. Böylelikle, nörona verilen bir sinyal, birçok biyolojik nöronun bir araya gelmesiyle bilgiye dönü mektedir.



ekil 1. Sinir hücresi (<http://www.bilgiustam.com/beynin-sirlari/>, 20.08.2015)

Sözü edilen biyolojik sistem, yapay olarak dü ünüldü ünde ekil 2'deki yapı ortaya çıkmaktadır.



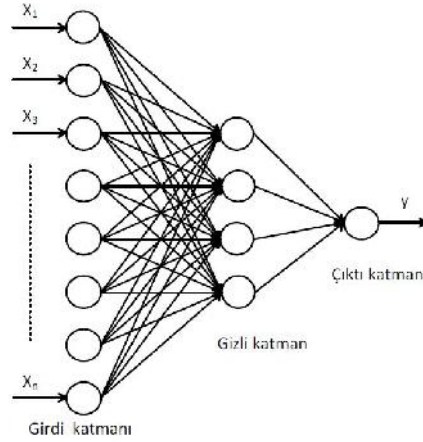
ekil 2. Yapay nöron modeli

ekil 2'de, girdiler a ırlıklandırılarak net girdi olu turulur ve net girdi aktivasyon fonksiyonu aracılı ıyla e ik de erden yüksek de ere sahip çıkıtı de ere dönü mektedir. E er e ik de eri a acak büyüklükte çıkıtı elde edilmedi inde a ırlıklar güncellenerek yeni bir net girdi elde edilerek aktivasyon fonksiyonuna dahil edilir ve çıkıtı e ik de erinden büyük olana kadar iterasyon tekrar edilir. Bu süreç a ın e itimi olarak adlandırılır. Verilen

bu model, YSA'nın en temel modelidir. Çalışmamızda YSA'nın ileri-beslemeli geri yayılım algoritmasına değinilecektir.

### 1.3. İleri-Beslemeli Geri Yayılım Algoritması

Tek katmanlı modellerin doğrusal olmayan problemler için yetersiz olması nedeniyle çok katmanlı ağlar önerilmektedir. ekil 3'de çok katmanlı ileri-beslemeli modelin yapısı verilmektedir.



ekil 3. Çok katmanlı ileri-beslemeli YSA modeli

Katmanlar sırasıyla, girdilerden oluşan girdi katmanı, girdilerin önemli özelliklerini ayıran gizli katman, çıktılarını oluşturduğunu çıktı katmanı olarak adlandırılmaktadır. Ağın eğitim aşamasında girdi verileri üzerinde ağın hatası oluşturulduğunda, ağırlıkların değeri iteratif olarak değiştirilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için geri yayılım algoritması kullanılmaktadır.

İleri-beslemeli geri yayılım algoritması p. girdi nöronu için aşağıdaki gibi verilmektedir,

1. p. girdinin i. üyesi verisi  $x_{p,i}$  olsun.

2. Gizli katmandaki j. üyenin NET girdisi

$$net_j^{(1)} = \sum_{i=0}^n w_{j,i}^{(1,0)} x_{p,i} ,$$

$w_{j,i}^{(1,0)}$  i. girdi katmanı ile j. gizli katman arasındaki ağırlık değeri olsun.

3. Gizli katmanın j. üyesine ait çıktı

$$x_{p,j}^{(1)} = u \left( \sum_{i=0}^n w_{j,i}^{(1,0)} x_{p,i}^{(1)} \right), \text{ burada } u \text{ aktivasyon fonksiyonudur.}$$

4. Çıktı katmanındaki k. üyenin NET girdisi

$$net_k^{(2)} = \sum_j \left( w_{k,j}^{(2,1)} x_{p,j}^{(1)} \right) \text{ olarak ifade edilir. Burada } w_{k,j}^{(2,1)} \text{ j. gizli katman üyesi ile k. çıktı katmanı üyesi arasındaki ağırlıktır.}$$

5. Çıktı katmanının k. üyesinin çıktısı

$$y_{p,k} = u \left( \sum_j w_{k,j}^{(2,1)} x_{p,j}^{(1)} \right) \text{ olarak belirtilir. Burada } u \text{ aktivasyon fonksiyonunu ifade eder.}$$

6. Son olarak, hata karesi,

$$V_{p,k}^2 = \left| d_{p,k} - y_{p,k} \right|^2 \text{ olarak hesaplanır. Burada } d_{p,k} \text{ ve } y_{p,k} \text{ sırasıyla beklenen ve hesaplanan çıktı değeridir.}$$

Bu algoritmanın temel amacı, a a ıda verilen  $E_p$  hatasını en küçükleme için en uygun a ırlıkları hesaplamaktır.

$$E_p = \sum_k (v_{p,k})^2$$

Gradient descend algoritması ile, girdi ve gizli katman arasındaki a ırlıklar,

$$\Delta w_{j,i}^{(1,0)} \propto \left( \frac{-\partial E}{\partial w_{j,i}^{(1,0)}} \right)$$

gizli ve çıktı katmanları arasındaki a ırlıklar

$$\Delta w_{k,j}^{(2,1)} \propto \left( \frac{-\partial E}{\partial w_{k,j}^{(2,1)}} \right)$$

ile güncellenmektedir (Mehrotra et al., 2000).

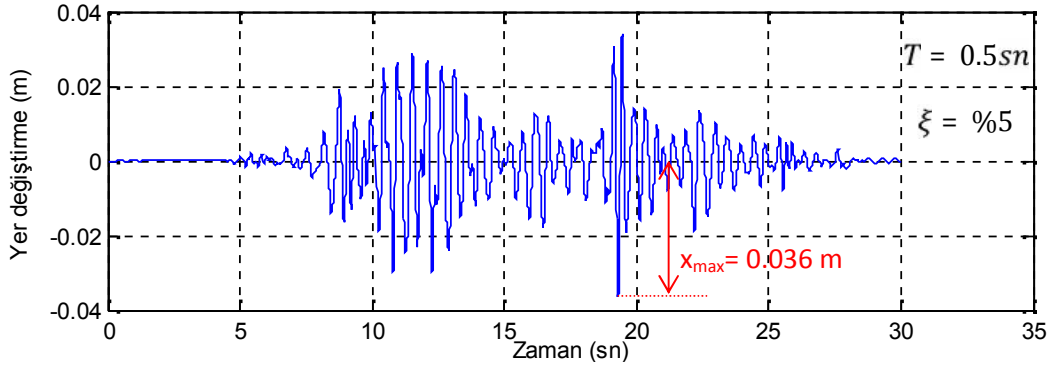
## 2. BULGULAR

Çalı mada Tablo 1’de görülen istasyonlarda ölçülmü Düzce depremi (12 Kasım 1999, Mw7.2) ivme kayıtları kullanılmı tır. Bu veriler PEER Strong Ground Motion Database’den elde edilmi tır.

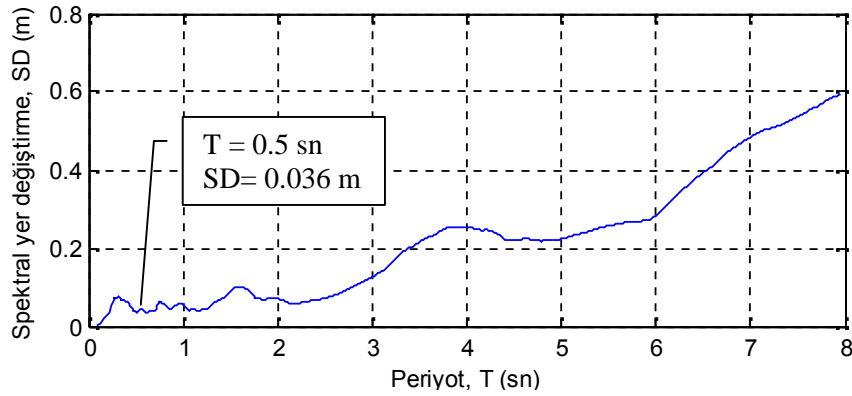
Tablo 1. vme kayıtlarının alındı ı istasyonlar

stasyon	Bile en	PGA (g)	Fay mesafesi (km)
Lamont 375	Kuzey	0.890	3.9
Lamont 1059	Kuzey	0.152	4.2
Bolu	Kuzey	0.739	12
Lamont 531	Kuzey	0.160	8
Lamont 1061	Kuzey	0.101	11.5
IRIGM 496	Kuzey-Güney	1.031	23
IRIGM 487	Kuzey-Güney	0.303	22
IRIGM 498	Kuzey-Güney	0.396	23

Düzce IRIGM 496 istasyonundan elde edilen ivme kayıtları altında, periyodu 0.5 sn ve sönüm oranı %5 olan bir tek serbestlik dereceli bir sistemin yer de i tirme cevapları merkezi farklar nümerik integrasyonu ile hesaplanmı ve yer de i tirme-zaman grafi i ekil 4’deki gibi elde edilmi tır.



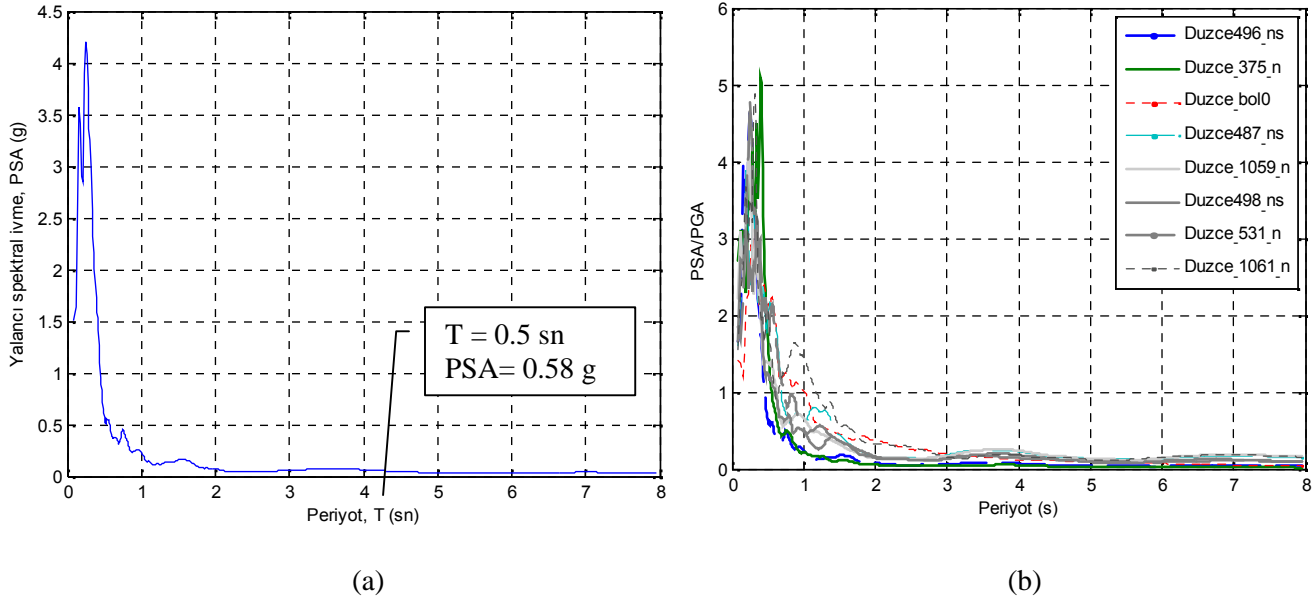
ekil 4. T=0.5 sn için yer de i tirme – zaman grafi i (1999 Duzce IRIGM 496 ivme kaydı)



ekil 5. Yer de i tirme spektrumu, SD (1999 Duzce IRIGM 496 ivme kaydı)

ekil 5, aynı karakteristik özelliklere sahip tek serbestlik dereceli sistemin yer de i tirme spektrumunu göstermektedir. Görüldü ü üzere ekil 1’de 0.5 sn periyodu olan bir sistem için en büyük yer de i tirme miktarı 0.036 m’dir. Spektral yer de i tirmeye de baktı mızda 0.5 sn’ye kar ılık gelen yer de i tirmenin de 0.036 m oldu u görülmektedir. Yer de i tirme spektrumları yapıda olu an maksimum yer de i tirmeleri ifade etmektedir. Böylelikle yapıda olu an iç kuvvetleri belirlemede de kullanılabilirler. Spektral yer de i tirme de erlerinden elde edilen yalancı ivme spektrumu da ekil 6’da gösterilmi tir.

Böylelikle farklı periyoda sahip sistemlerin, belirlenmi deprem yükü altında verecekleri maksimum cevap gözlenebilmektedir. Sonuçlar sönüm oranı  $\xi = \%5$  için elde edilmi tir. ekil 6 (a)’da IRIGM 469 için yalancı ivme spektrumu çizilmi tir. ekil 6 (b), ele alınan tüm istasyonların yalancı ivme spektrumlarını göstermektedir. De i ik sönüm oranına sahip sistemler için analizler tekrar edilerek farklı sönüm oranına göre spektrumlar çizilebilir.



ekil 6. Yalancı ivme spektrumu, PSA (a) 1999 Duzce IRIGM 496 ivme kaydı (b) Tablo 1'deki tüm istasyonların ivme kayıtları)

Oluturulan YSA modeli ile spektral yer de i tirmelerden yalancı ivmeler elde edilmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısı deneme-yanılma yoluyla 20 olarak alınmıştır. Performans değerleri Tablo 2'deki gibi elde edilmiştir.

Fay mesafesi sınıflandırması için, YSA modelini olutururken yine %70'e itim, %15 geçerlilik ve %15'i test verisi olarak ele alınmıştır. Girdiyi oluturan parametreler periyot, spektral ivme ve yalancı yer de i tirmedir. A ın topolojisi bir önceki modeldeki gibi hazırlanmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı deneme-yanılma yoluyla 20 olarak alınmıştır.

Çalışma sonucu test verilerinde regresyon katsayısı %97 bulunmuştur. Bu uygulamada ile herhangi bir depremin spektrum değerleri kullanılarak, ivme kayıtlarının ölçüldüğü istasyonun fay mesafesi bir aralık olarak belirlenebilmektedir.

### 3. SONUÇLAR

Elastik davranış spektrumları, deprem etkisi altında, yapıların en büyük davranış cevaplarını gösteren grafiklerdir. Bu nedenle deprem mühendisliğinde ve depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli yer tutmaktadırlar. Bu çalışmada, spektral yer de i tirmelerden, yalancı ivme spektrumları yapay sinir a ları kullanılarak elde edilmiştir ve yöntemin doğruluğu ispatlanmıştır. Daha sonraki amaçta bir yapay sinir a ları modeli kurulmuş ve bu modelde yapının periyodu, spektral yer de i tirme ve yalancı ivme spektrumları girdi, deprem istasyonunun faya olan mesafesi çıktı olarak alınmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, depremin yeri, deprem ivme kayıtları kullanılarak elde edilen spektrumlardan, yapay sinir a ları yöntemi kullanılarak elde edilebilmektedir.

Tablo 2. YSA performans sonuçları

	Veri türü	Örnek sayısı	Hata (%)	Regresyon katsayısı (R)
Lamont 375	E itim	2170	0.10	0.985
	Geçerlilik	465	0.20	0.985
	Test	465	0.09	0.989
Lamont 1059	E itim	2170	0.007	0.976
	Geçerlilik	465	0.001	0.994
	Test	465	0.000	0.996
Bolu	E itim	2170	0.002	0.999
	Geçerlilik	465	0.000	0.999
	Test	465	0.01	0.999
Lamont 531	E itim	2170	0.003	0.994
	Geçerlilik	465	0.000	0.998
	Test	465	0.001	0.998
Lamont 1061	E itim	2170	0.002	0.994
	Geçerlilik	465	0.001	0.995
	Test	465	0.003	0.990
IRIGM 496	E itim	2170	0.05	0.996
	Geçerlilik	465	0.04	0.996
	Test	465	0.04	0.997
IRIGM 487	E itim	2170	0.02	0.988
	Geçerlilik	465	0.04	0.998
	Test	465	0.05	0.997
IRIGM 498	E itim	2170	0.05	0.979
	Geçerlilik	465	0.02	0.998
	Test	465	0.06	0.996

## KAYNAKLAR

Bojorquez, E., Bojorquez, J., Ruiz, S.E. ve Reyes-Salazar, A. (2012). Prediction of Inelastic Response Spectra Using Artificial Neural Networks. *Mathematical Problems in Engineering* **2012**, 15 pages.

Gunaydin, K. ve Günaydin A. (2008). Peak Ground Acceleration Prediction by Artificial Neural Networks for Northwestern Turkey. *Mathematical Problems in Engineering* **2008**, 20 pages.

Lee, S.C. ve Han S.W. (2002). Neural-network-based models for generating artificial earthquakes and response spectra, *Computers and Structures* **80**, 1627-1638.

Alcantara, L., Ovando, E., Macias, M.A. ve Ruiz, A.L. (2008). Strong ground motion duration and response spectra using artificial neural Networks. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering 2008*, China.

**3. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı**  
**14-16 Ekim 2015 – DEÜ – ZM R**



Mehrotra K., Mohan C. K. ve Ranka S. (2000). Elements of Artificial Neural Network, MIT Press, USA.

Chopra A.K. (1995). Dynamics of Structures, Prentice Hall, New Jersey.