Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi
30(1), 9-19, 2018

Science and Eng. J of Fırat Univ.
30(1), 9-19, 2018

# Sarsma Tablasına Maruz Kalan Dolgu Duvarların Göreli Maksimum Düzlem-Dışı Deplasmanının Yapay Sinir Ağı Modelleri ile Tahmini

**Onur ONAT*[1], Muhammet GUL[2]**
[1]Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli
[2] Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli
*onuronat@munzur.edu.tr

**(Geliş/Received: 19.07.2017; Kabul/Accepted: 11.01.2018)**

**Özet**

Bu çalışma, sarsma tablasında suni deprem yüküne maruz bırakılmış betonarme çerçeveli dolgu duvarların düzlem-dışı deplasman, göçme modu ve göçme limitinin yapay sinir ağları (YSA) modelleri ile tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Bu amaç için, sarsma tablasında yapılmış iki adet deney sonucu değerlendirilmiştir. Model-I güçlendirmesiz tuğla duvarlı dolgu duvar numunesi, Model-II ise tuğla duvarlarının arası derz donatıları ile güçlendirilmiş dolgu duvar modeldir. Belirli bir ivme seviyesinden sonra duvar üzerinde çatlakların oluştuğu yerlerdeki ivme ölçerler çıkarılmıştır ve veri kaybı oluşmuştur. Kayıp olan düzlem-dışı göreli maksimum deplasman verileri YSA modelleri ile tahmin edilmiştir. Ayrıca dolgu duvarın düzlem dışı davranışı boyunca oluşan göçme mekanizması 0,79g seviyesinde her iki model için tahmin edilmiştir. Bu çalışma, YSA temelinde oluşturulmuş modellerin, kayıp verileri tam olarak tahmin ederek kesin sonuçlar alınacağını kanıtlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağları, Düzlem-dışı deplasman, Dolgu duvar, Deprem

# Prediction of maximum relative out-of- plane displacement of infill wall exposed to shake table by using artificial neural network models

**Abstract**

This paper aims to present forecasting of relative out-of-plane displacement, failure mode and failure limit of reinforced concrete frame enclosure with infill wall by artificial neural network (ANN) models. For this purpose, two shake table experiment test results were evaluated. Model-I is unreinforced brick model and Model-II is composed of infill wall with bed joint reinforcement. After a certain acceleration level, accelerometers are detached from the cracked wall surface in order not to be damaged. These instrument detachments cause data missing. Missing relative maximum out-of-plane displacements were predicted by ANN models. Moreover, failure of infill wall through out-of-plane direction is also predicted at 0,79g acceleration level for both models (Model-I and Model-II). This study proves that ANN based procedure predict robust results to estimate missing experimental data.

**Keywords:** Artificial neural network, Out-of-plane displacement, Infill wall, Earthquake

## 1. Giriş

Sarsma tablaları yapısal sistemlerin ve yapısal elemanlarının herhangi bir sismik aktivite altındaki tepkilerinin ölçüldüğü en ideal sistemlerdir. Bu simülasyon sistemleri temelde bir platform, hidrolik ayaklar ve ölçeklenmiş veya ölçeklenmemiş yapılardan oluşurlar. Platforma verilecek suni itkiler ise yatay hidrolik kuvvet sistemleri tarafından sağlanır. Sarsma tablası deneyleri, yarı-statik, tekrarlı-monotonik ve benzeşik dinamik test teknikleriyle kıyaslanınca oldukça maliyeti yüksek deneylerdir [1]. Dolgu duvarların sismik aktivite altında düzlem-içi ve düzlem dışı deplasmanlarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi, herhangi bir geçek deprem durumunda can ve mal kaybını önlemek için önem arz eder. Bu deneysel çalışmalar, hedeflenen durumlar için önlem alma ve uygun güçlendirme önerileri sunmak için gerekli adımlardır [2-5]. Dünya üzerinde devam eden depremler göstermiştir ki, can ve mal kayıplarının çok büyük bir kısmı dolgu duvarların düzlem dışı göçmesinden kaynaklanmıştır. Bu gerçek, araştırmacıların çalışmalarını dolgu duvarların genel ve özel davranışlarını araştırmaya itmiştir

[6-9]. Çift yönlü deprem yükleri altında, düzlem dışı davranışlar birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır [10-16]. Birbirini tetikleyen düzlem-içi ve düzlem-dışı hasar etkileşimi, dolgu duvarların deprem esnasında rijitliğini ve tedrici göçme mekanizmasını doğrudan etkilemektedir [17]. Dolgu duvarların düzlem-dışı deplasmanı ile hasar ve göçme mekanizmalarını incelemek için yapılan deneysel çalışmaların temel amacı, lineer olmayan davranış eğrisini net bir şekilde ortaya çıkarıp, dolgu duvarların göçme anı ile ilgili fikir sahibi olabilmek. Bu amaçla deneysel numunelerin üzerine yerleştirilen; LVDT (Linear Variable Differential Transformer, Türkçesi; Doğrusal Değişken Fark Transformatörü), potensiyometre ve ivmeölçer gibi aletlerin doğru davranışı ortaya çıkarabilecek kayıtlar yapması gerekmektedir. Fakat bu aletler, çok pahalı olduklarından, deneysel çalışmanın sonlarına gelmeden ve lineer olmayan davranış tam olarak kaydedilmeden demonte edilmek zorunda kalınmaktadır [14]. Furtado vd. (2016) düzlem-içi çatlak oranının, düzlem-dışı göçmeye ve göçme mekanizmasına etkilerini araştırmak için bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, çift katmanlı dolgu duvarlar düzlem-dışı yüklemelere maruz bırakılmışlardır. Fakat, dolgu duvarların düzlem dışı toptan göçmelerini engelleyerek toplam veri kaybını önlemek, duvarların üzerindeki ölçüm yapan cihazlara ve deney düzeneğine zarar vermemek için; deney, düzlem-içi katlar arası göreli ötelenmenin % 0,5 oranından sonra, ek aparatlar yardımıyla devam ettirilmiştir [18]. Bazı deneysel çalışmalarda ise düzlem-dışı göçme ve hasar mekanizması tayini için düzlem-içi taşıma kapasitesinin belirli bir yüzdesi kadar düzlem-dışına yük, orantılı olarak uygulanmaktadır. Mısır vd. (2015, 2016) düzlem-içi taşıma kapasitesinin %30'u kadar yükü düzlem dışına tedrici olarak uygulamışlardır. Bu orantılı yük uygulama sayesinde dolgu duvarların kırılgan yapısı da göz önüne alınarak, lineer olmayan davranışlarının ilk adımları rahatlıkla incelenebilmektedir fakat veri kaybı narinlik etkisinden dolayı deneyin ortalarında cihazların hasarını engellemek için çıkarılmasıyla tekrar bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [19, 20]. Shan vd. (2016) dolgu duvarların düzlem dışı davranışlarıyla ilgili bir dizi deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar esnasında, düzlem dışı ivme ve deplasmanları kaydeden bazı aletler demonte edilmiştir. Bu aletlerin yapamadığı ölçümler, deneysel çalışmanın katkılarının matematiksel olarak ifadesini zorlaştırarak, lineer olmayan aşamayı ve limit durumların incelenmesini zorlaştırmıştır. Bu kayıp verilerin tahmini ve lineer olmayan durumların incelenmesi için ileri adımların tahmin edilmesi önem arz etmektedir [21].

Bu çalışmada güçlendirmesiz ve güçlendirmeli iki adet 1:1 ölçekli betonarme çerçeveli dolgu duvarın, sarsma tablası üzerinde düzlem dışı deplasmanının değerlendirildiği çalışma temel alınarak, kayıp veriler YSA tabanlı bir model geliştirilerek tahmin edilmiştir. Çalışmada ayrıca 0.79g seviyesindeki hasara ve takip eden göçme mekanizmasına sebep olan düzlem dışı göreli maksimum göçme mekanizması tahmin edilen verilerle çizilerek limit göçme durumu belirlenmiştir.

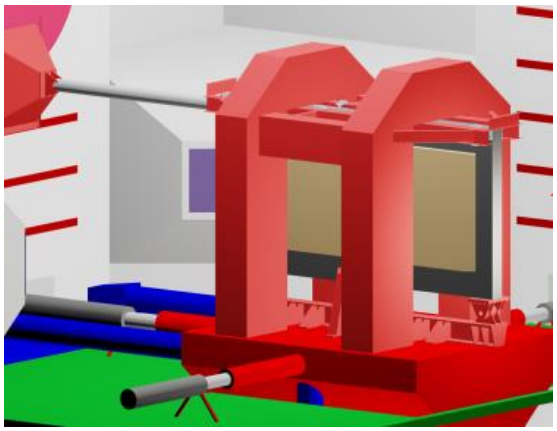
## 2. Önceki Çalışmalar

Tahmin, inşaat mühendisliği uygulamalarının en önemli çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Literatürde betonarme yapılar [22], sarsma tablası testleri [23], dolgu duvarlı yapılar [24], kerpiç duvarlı yapılar [25], betonarme T-kiriş köprüler [26] ve yapılar üzerinde dinamik analizinin kullanıldığı betonarme çerçevelerin performansı [27] ile ilgili tahmin çalışmaları yapılmıştır. Topçu vd. (2009) betonarme yapının korozyon akımlarını modellemek için ileri beslemeli bir YSA modeli geliştirmişlerdir. 4 girdi (Uçucu kül oranı, çimento tipi, kuruma süresi, zaman aralığı) ve 1 çıktı (korozyon akımı) değişkeni kullanarak önerdikleri bu model ile yüksek doğrulukta tahminler yapmışlardır (MAPE: 9,4371, RMSE: 0,0114 ve Korelasyon katsayısı: 0,9941) [22]. Sipos vd. (2013) betonarme çerçeve ile dolgu duvarların davranışını düzlem içi yük altında tahmin etmek için hassasiyet ve boyutsuz parametre yaklaşımını kullanmışlardır [24]. Garzon-Roca vd. (2013), deneysel verinin temelinde tuğla duvarının maksimum düşey yük kapasitesini tahmin etmek için yeni bir YSA tekniği önermişlerdir [25]. Doğrusal ve doğrusal olmayan parametrelerin Levenberg-Marquardt geri yayılımlı YSA modeli ile kalibrasyonu Hasançebi ve Dumlupınar (2013) tarafından çalışılmış ve yüksek doğruluk elde edilmiştir [26].

Yukarıda kısaca özetlenen çalışmalardan hareketle, inşaat mühendisliğinin özel bir konusu olan dolgu duvarının göreli maksimum düzlem-dışı deplasman değerlerinin tahmin edilmesinde YSA modellerinin kullanılması yeni ve uygun bir çalışma motivasyonu olduğu söylenebilir. Bu nedenle, bu YSA tabanlı yöntemin kullanılması ile, inşaat mühendisliği alanındaki karar vericilere, depremlere karşı makro ölçekte alınan tedbirlerin ve politikaların belirlenmesinde katkı sağlaması amaçlanmıştır.

## 3. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın verileri Portekiz Ulusal İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında (LNEC) yapılan sarsma tablası deneylerinden alınmıştır [28]. Deneysel çalışmada temel amaç, çift yönlü ve eşzamanlı sarsma tablası deneyine tabi tutulan güçlendirmesiz dolgu duvar (Model-I) ile derz donatıları ile güçlendirilmiş (Model-II) dolgu duvarların gerçek davranış simülasyonunu yaparak, yerel tepkilerini ortaya çıkarmak ve derz donatılarının dolgu duvarların rijitliğine ve sünekliğine katkısını ifade etmektir. Bu deney seti ve dolgu duvarın davranışının simülasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir.

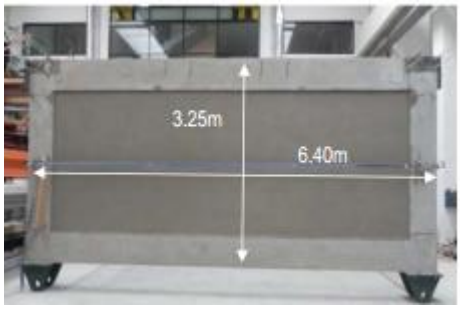


**Şekil 1.** Deney seti ve dolgu duvarın davranış simülasyonu [39]

Bu çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak, kayıp veriler YSA modelleri ile tahmin edilmiş ve daha sonra limit durumu için 0,79g seviyesindeki göçme anına ait veriler tek bir grafikte toplanarak göçme modu belirlenmiştir.

### 3.1. Materyal

Bu çalışmaya esas deneysel çalışma, 1:1 ölçekli güçlendirmeli ve güçlendirmesiz iki adet betonarme çerçeveli dolgu duvarın çift yönlü eş zamanlı deprem yükü altında düzlem-dışı hasar ve göçme modlarını araştırmak amacıyla uygulanmıştır. Deneye tabi tutulan numune Şekil-2'de gösterilmiştir.




**Şekil 2.** Deneye tabi tutulan numune ve boyutları [28]

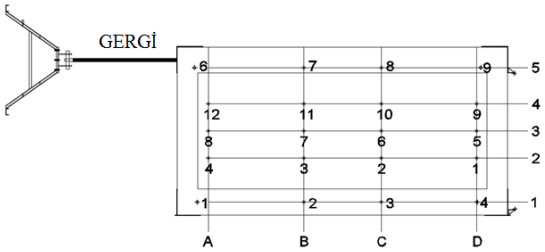
Deneye tabi tutulan betonarme malzemenin hedef mukavemeti C25/30 seçilmiştir. Dolgu duvar ise 22 cm kalınlığında tuğladan imal edilmiştir. İmal edilen betonarme çerçeveli dolgu duvar numuneler sarsma tablası üzerindeki özel çelik destekler arasına yerleştirilerek, suni deprem yüküne maruz bırakılmıştır. Deney öncesi son durum Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Deney öncesi numune, sarsma tablası ve çelik destekler [28,39]

Dolgu duvarın üzerine düzlem-dışı doğrultudaki ivmeyi ölçmek için 12 adet ivme ölçer, betonarme çerçeve üzerine ise düzlem-dışı ivmeleri ölçmek için 8 adet ivme ölçer yerleştirilmiştir [28]. Betonarme çerçeve ve duvar üzerindeki ivmelerden aynı doğrultuda olanlar sanal akslar ile işaretlenerek düşey doğrultuda olanlar harflendirilmiş, enine doğrultuda olan akslara ise rakamlar verilmiştir. Modellere ait tablolar ve grafikler bu akslar temelinde çizilmiştir. Test edilen betonarme çerçeveli dolgu duvar modelinin, ivme ölçerlerin, düşey ve yatay aksların şematik çizimi Şekil 2'de gösterilmiştir.

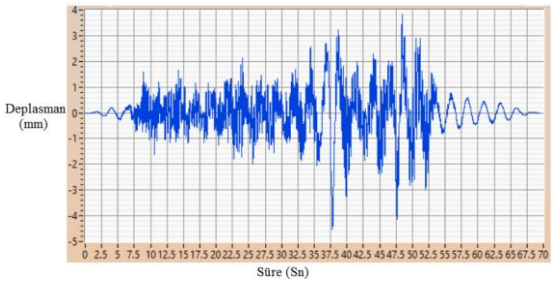
Şekil 4'te de gösterildiği gibi yatay doğrultuda 5 adet, düşey doğrultuda ise 4 adet aks bulunmaktadır. Bu sanal aksların belirlenmesindeki temel amaç, deneysel olarak elde edilen veriler ile oluşturulacak olan tabloların düzlem dışı göçme moduna ait verilerin kolay ve anlaşılabilir bir şekilde gösterilmesidir.




**Şekil 4.** İvme ölçerlerin yerleşimi ve akslar

Deneye tabi tutulan modeller için oluşturulan tablolar, zaman tanım alanında elde edilen deplasman grafiklerinden alınmıştır. Bu grafikler çizilirken, betonarme çerçevenin üst ve alt kirişinden okunan değerlerin ortalaması alınmıştır, daha sonra bu ortalama deplasman değerinden 2, 3 ve 4 numaralı akslara ait deplasman değerleri çıkarılarak dolgu duvarın betonarme çerçeveye göre yaptığı maksimum düzlem dışı göreli deplasmanlar hesaplanmıştır. Hesaplanan deplasmanların zaman tanım alanından bir görüntü Şekil 5'te gösterilmiştir.

Bu hesaplama sonucunda oluşturulan ve Model-II'ye ait olan 0.59g seviyesindeki deplasman tablosu ve kayıp veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.** Zaman tanım alanında deplasman grafiği. 0,59g A4 deplasmanı

Kayıp veriler dolgu duvarda oluşan sıva çatlaklarından dolayı oluşmuştur. Oluşan sıva çatlakları dökülmeye başladığı için 0.59g seviyesindeki deneye başlamadan önce Tablo 1'de (*) ile gösterilen kısımlarda ivme ölçerler çıkarılmıştır. Anılan çizelgelerde sıfır ile gösterilen 1. ve 5. satırların sıfır ile gösterilmesinin sebebi yukarıda da açıklandığı gibi betonarme çerçevenin deplasman değerlerinin ortalaması alındıktan sonra göreli deplasman hesabı için referans olarak kabul edilmesidir. Ayrıca kayıp veriler tahmin edildikten sonra, göçme moduna ait verilerin tam olarak gösterilmesini kolaylaştırmak. Şekil 1'de reaksiyon duvarına sabitlenmiş bir adet gergi de görülmektedir. Bu gerginin amacı, betonarme çerçeveli dolgu duvarın, sarsma tablasının hareketi esnasında, üstten mesnetleyerek düzlem içi hasar oluşmasını ve göreli kat ötelenmesi oluşmasını sağlamak. Bu deney esnasında kullanılan deprem kayıtları, Eurocode-8'e göre laboratuvar ortamında geri dönüş oranına bağlı olarak tasarım spektrumu tabanlı suni olarak üretilmiş kayıtlardır. Bu çalışmada kayıp verilerin tahmin edilmesi ve göçme adımına yönelik tahmin amaçlı her bir model için 4 girdi değeri tanımlanmıştır. Bunlar; maksimum zemin ivmesi (PGA), diferansiyel ağırlık ve ivme ölçerlerin bağlı bulunduğu koordinatın gergiden düşey ve yatay olan mesafeleri. Bu çalışmadaki girdi değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Model-II 0.59g seviyesi göreli maksimum deplasman değerleri

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 5.43 | * | 18.85 | * |
| 3 | 4.52 | * | * | 4.3 |
| 2 | * | * | 30.8 | 4.16 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Sarsma tablası deneyi Model-I için 4 adımda, Model-II için ise 5 adımda yapılmıştır. Bu deneylerden Model-I, tüm aletler üzerinden çıkarıldıktan sonra hasar durumuna bakılmak için maksimum 0.79g zemin ivmesiyle teste tabi tutulmuştur.

**Tablo 2.** Girdi değişkenlerinin tanımı

| Parametreler | Birim | Değişken Tipi | Detay | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Model-I | Model-II |
| PGA | g | Girdi | 0.04<br>0.18<br>0.28<br>0.53 | 0.05<br>0.15<br>0.38<br>0.59<br>0.74 |
| Yerel ağırlık | Ton | Girdi | 0.1; 0.142; 0.15; 0.23 | |
| Gergiden olan düşey mesafe | m | Girdi | 1.1; 1.11; 1.64; 2.15; 2.16 | |
| Gergiden olan yatay mesafe | m | Girdi | 0.6; 2.46; 3.95; 5.8 | |

Bu adım Tablo 2'deki PGA değerlerine yazılmamıştır. Bu adımdaki düzlem-dışı göreli maksimum ötelenmeyi bulmak için iki model göz önüne alınarak tahmin yapılmış ve göçme değerleri tablolaştırılmıştır. İki deneysel model için, 0.79g seviyesindeki göçme moduna ait göreli maksimum deplasman değerleri tahmin edilmeden önce zaman tanım alanında okunan tüm ivmeler, karşı gelen deplasman değerlerine çevrilmiştir. Çevrildikten sonra Model-II'nin 0.59g seviyesindeki eksik verileri yapay sinir ağları modeli oluşturularak tahmin edilmiştir. Model-II'ye ait eksik veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1'de gösterilmiş olan tüm deplasman değerleri, ivmelerin iki defa türevlerinin alınması ile aşağıdaki formüller yardımıyla elde edilmiştir.

$$a = maks\left|\ddot{u}_g(t)\right| \tag{3.1}$$

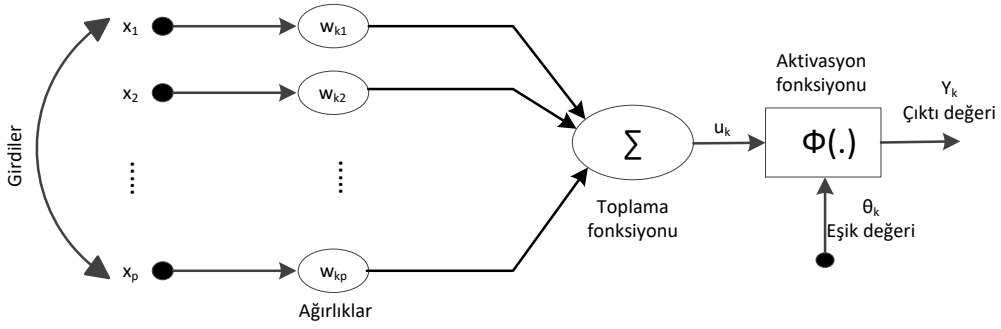
$$v = max\left|\dot{u}_g(t)\right| \tag{3.2}$$

$$d = max\left|u_g(t)\right| \tag{3.3}$$

$a$, $v$ ve $d$ değerleri sırasıyla ivme, hız ve deplasmanı temsil etmektedir.

### 3.2. Metot

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden esinlenerek; öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, keşfetme ve oluşturma gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştiren bilgisayar sistemleridir. YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük birimler yapay sinir hücresi olarak tanımlanır [29-32]. En basit yapay sinir hücresi girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkış olmak üzere 5 ana bileşenden oluşmaktadır [33]. Şekil 6'de bir YSA modeline ait akış gösterilmiştir.




**Şekil 6.** YSA ve bileşenlerinin gösterimi

Aktivasyon fonksiyonu ağa giren ve çıkan birimler arasındaki doğrusal olmayan eşleşmeyi sağlar. Aktivasyon fonksiyonunun doğru seçilmesi, ağ performansı üzerinde etkilidir. Genellikle hatayı minimum yapan, en yaygın uygulama alanına sahip olan çok katmanlı ağ modellerinde aktivasyon fonksiyonu çoğunlukla sigmoid tercih edilmektedir [33]. Uygulamalarda kullanılan diğer aktivasyon fonksiyonları doğrusal, adım (step) ve hiperbolik tanjant

fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Bir yapay sinir ağı sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşuyorsa tek katmanlı ağdır. Çok katmanlı ağlarda ise, birden fazla gizli katman bulunmaktadır. YSA ile modellemede başvurulan diğer parametreler normalizasyon, katman sayısı, öğrenme katsayısı ve momentum katsayısıdır. Öğrenme katsayısı ağırlıkların değişim miktarını belirlemektedir. Momentum katsayısıysa bir önceki iterasyondaki değişimin belirli bir oranını yeni değişim miktarına eklenmesi durumudur. Ağın yerel çözümlere takılmasını engellemek için kullanılmaktadır [33]. YSA'nın çalışması iki aşamadan oluşmaktadır: eğitim ve test aşaması. Eğitim aşamasında karar verilen öğrenme algoritmasına göre ağırlıklar hesaplanır ve bu değerlere göre bir çıktı hesaplanır. Test aşamasında ise ağın görmediği örneklerden faydalanılarak sistem test edilir. YSA ağın öğrenme yöntemine göre birçok algoritmadan yararlanmaktadır. Bunlar arasında başlıcaları geri yayılma, Levenberg Marquardt algoritması, hızlı yayılım (Quick Propagation), eşleştirmeli eğilim (Conjugate Gradient) algoritması, Quasi Newton öğrenme algoritması, online geri yayılım (Online Back Propagation) ve grup geri yayılım (Batch Back Propagation) algoritmaları olarak sayılabilir. YSA; inşaat [22], gıda [34], sağlık [32,35], enerji [36] vb. [37,38] birçok alanda başarı ile uygulanmıştır. Uygulama konusu yönünden bakıldığında, başta tahmin olmak üzere sınıflandırma, veri birleştirme, resim ve görüntü işleme gibi konularda YSA sıkça başvurulan bir metot olmuştur. YSA modellerinin performansını belirlemede çeşitli ölçütler vardır. Bu ölçütlerden bazıları hata kareleri toplamı (*Mean Squared Error-MSE*), ortalama mutlak hata (*Mean Absolute Error-MAE*), ortalama mutlak yüzde hata (*Mean Absolute Percentage Error-MAPE*) olarak literatürde kullanılmaktadır. Bu ölçütler (3.4-3.6)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - y_i\right)^2 \tag{3.4}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|x_i - y_i\right| \tag{3.5}$$

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{x_i - y_i}{x_i}\right| \tag{3.6}$$

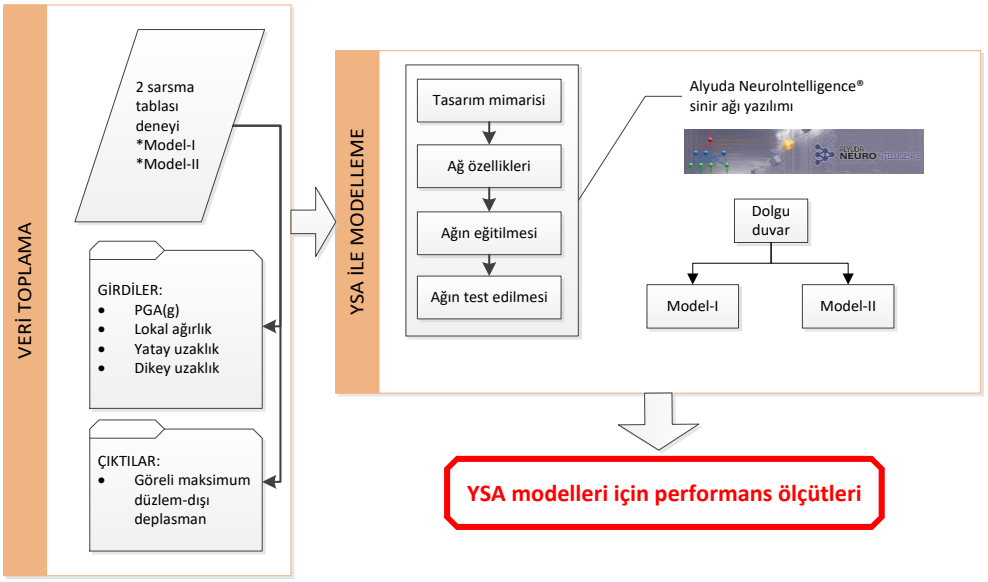
Burada $x_i$ gözlenen değeri belirtirken, $y_i$ ise tahmin edilen değeri göstermektedir.

Bu çalışmada sarsma tablasına maruz kalan dolgu duvarların göreli maksimum düzlem dışı deplasmanının kurulan YSA modelleri ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Şekil 7'de gösterilen YSA tabanlı modelleme yaklaşımı önerilmiştir. İlk olarak her iki modele ait veriler derlenmiştir. Model-I, her bir parametre için (YSA için kullanılan girdi ve çıktı parametreleri) 48 adet veriye sahipken, Model-II, 42 adet veriye sahiptir.

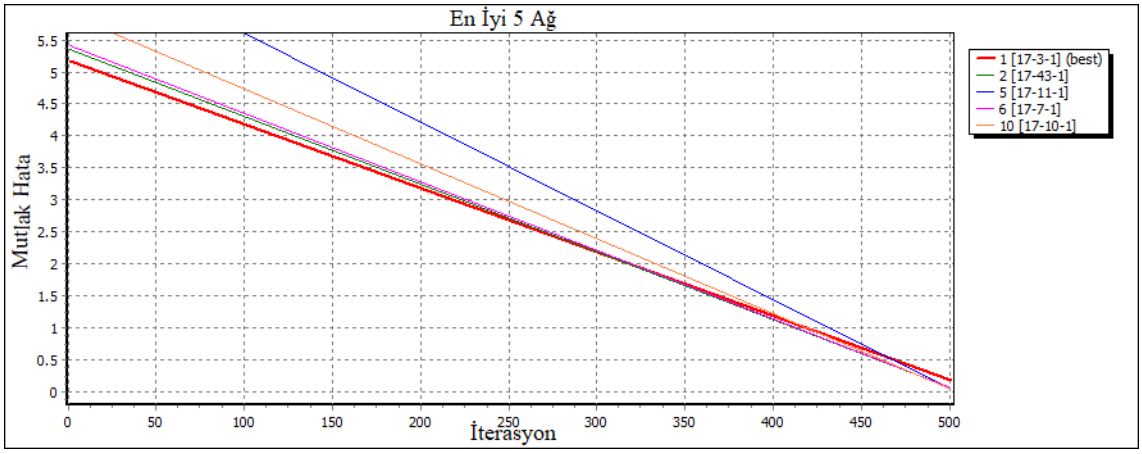
Bu ilk aşamadan sonra veriyi bölme ve normalize etme aşamaları gelmektedir. Tasarım mimarisi ve ağ özellikleri belirlendikten sonra YSA'ya bağlı eğitim ve test modelleri çalıştırılmıştır. Son olarak bu çalıştırmadan elde edilen performans ölçütlerine göre modellerin doğruluğu ve performansı değerlendirilmiştir.

## 4. Analiz

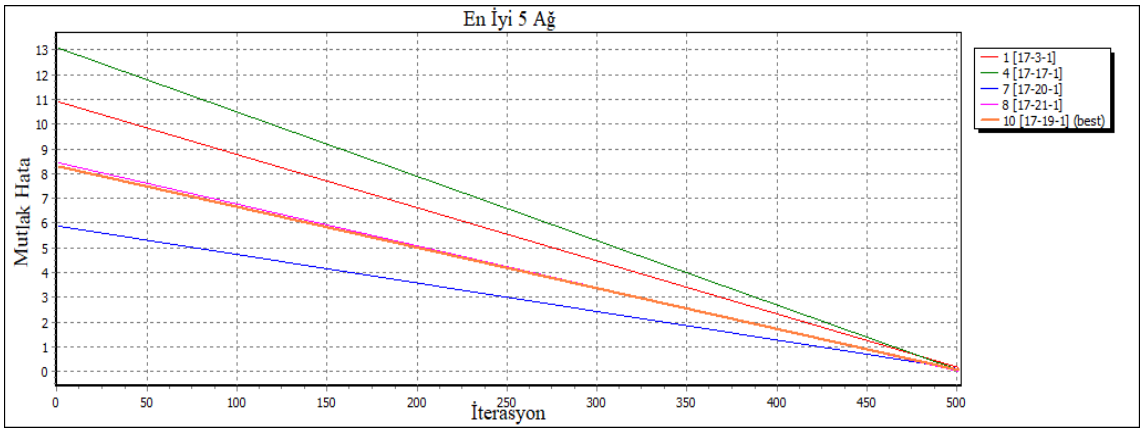
Gizli katman, nöron sayısı, ağın eğitilmesi için gerekeli iterasyon sayısı, öğrenme algoritması ve transfer fonksiyonlarının seçimi için otomatik bir seçme modülünden yararlanılmıştır. Her iki model için Bölüm 4'de ifade edilen veri setlerinin YSA yazılımına aktarılmasından sonra veri setleri; ağın eğitimi, doğrulanması ve testi için 68:16:16 oranında ayrılmıştır. Otomatik ağ mimarisini seçme modülü [x–y–z] şeklinde bir yapıya sahiptir. Burada x, girdi değişkenlerinin sayısını ifade etmektedir. z, gizli katman sayısını, y ise gizli katman nöron sayısını göstermektedir. Model-I ve Model-II için, yazılımdan elde edilen en iyi ağlar ve yapıları Şekil 8 ve Şekil 9'de gösterilmiştir.




**Şekil 7.** Önerilen YSA modelleme yaklaşımı




**Şekil 8.** Model-I için en iyi ağın seçilmesi




**Şekil 9.** Model-II için en iyi ağın seçilmesi

Her iki model için öğrenme oranı ve momentum katsayısı 0,1 olarak belirlenmiştir. Farklı öğrenme oranı ve momentum katsayıları (0,2 ve 0,9) için de denemeler yapılmıştır. Ayrıca,

Quasi-Newton, Levenberg–Marquardt, Quick Propagation, ve Online-Back Propagation gibi algoritmalarla kurulan modeller de denenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda en iyi ağlar ve bu ağlara ait parametreler Tablo 3'de verilmiştir.

Model-I ve Model-II'ye ait gerçek ve çıktı değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin çizimler sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'da verilmiştir. Bunlar eğitim, doğrulama ve test için kullanılan verinin tamamını kapsayan grafiklerdir.

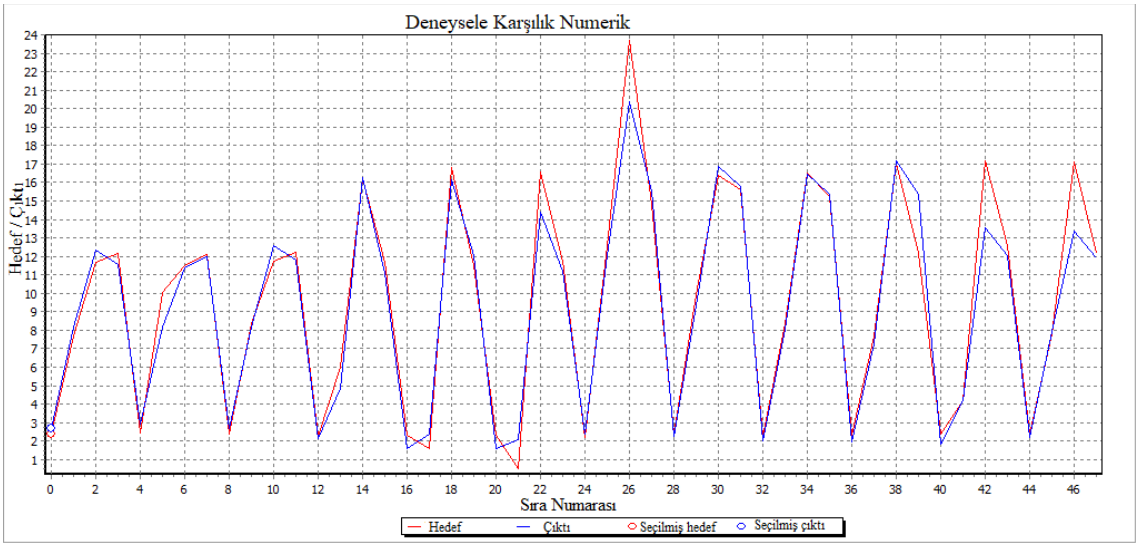
Yatay eksen, veri satır numarasını (eğitim, doğrulama ve test veri setleri dahil); dikey eksen ise hedef ve çıkış değerlerinin miktarını göstermektedir. Bu grafiklerde daha fazla çakışan nokta, geliştirilen YSA modellerinin daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar ve kullanılan gerçek veriler arasındaki karşılaştırma, YSA modellerinin, sarsma tablasına maruz kalan dolgu duvarların göreli maksimum düzlem dışı deplasmanını tahmin etmede uygun olduğunu göstermiştir. YSA modelleri doğrulandıktan sonra, Tablo 1'de ifade edilen Model-II için 0,59g seviyesindeki kayıp veriler tahmin edilmiştir (Tablo 4).

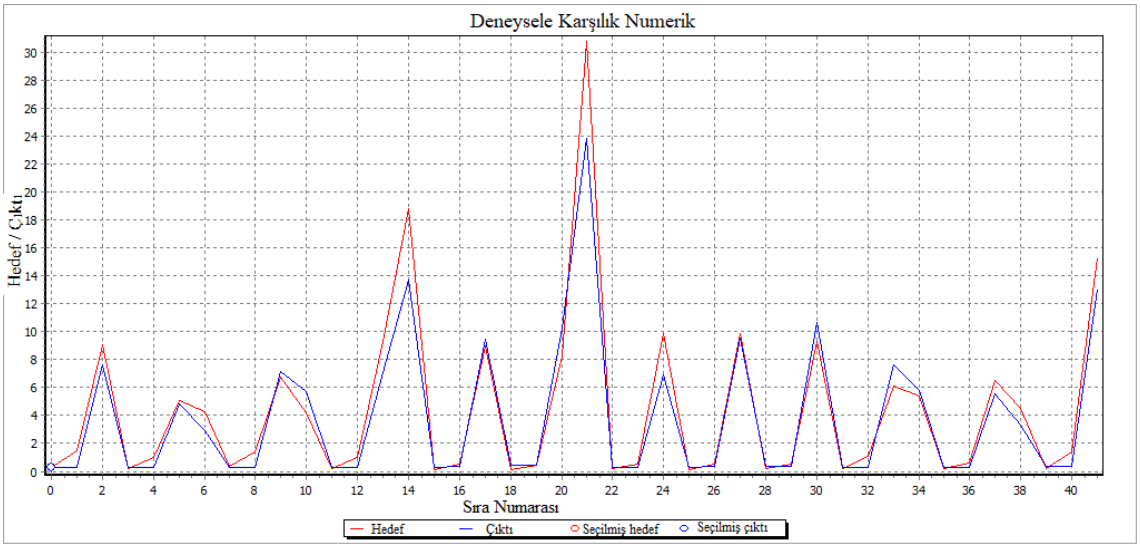
Model-II için kayıp veriler edildikten sonra, dolgu duvarının deplasmanı 0,79g PGA düzeyi için tahmin edilmiştir (Tablo 5). 0,79g PGA düzeyi sarsma tablasında herhangi bir ölçüm cihazı olmadan yapının ağır hasar durumunu belirlemek için yapılan son test adımı olduğu için bu PGA düzeyine göre tahmin yapılmıştır. Bu seçim, her iki modelin de kıyası için yapılmış bir tahmin düzeyidir. Karşılaştırmanın amacı dolgu duvar için bir güçlendirme tekniği olarak Model-II'nin katkısını açıkça ortaya koymaktır.

**Tablo 3.** En iyi ağlar ve ilgili parametreler

| Parametreler | Model-I | Model-II |
|---|---|---|
| Ağ mimarisi | [17-8-1] | [17-19-1] |
| Öğrenme algoritması | Quick Propagation | Quick Propagation |
| Ara katman fonksiyonu | Logistic | Logistic |
| Çıktı katmanı fonksiyonu | Logistic | Logistic |
| İterasyon sayısı | 501 | 501 |
| Ort. eğitim hatası | 0.517216 | 1.177598 |
| Ort. doğrulama | 0.915573 | 0.373163 |
| Ort. test hatası | 1.702721 | 0.522882 |
| $R^2$ | 0.981628 | 0.918559 |
| Öğrenme oranı | 0.1 | 0.1 |
| Momentum | 0.1 | 0.1 |




**Şekil 10.** Model-I için gerçek değerlerin ve tahmini çıkış değerlerinin karşılaştırılması




**Şekil 11.** Model-II için gerçek değerlerin ve tahmini çıkış değerlerinin karşılaştırılması

**Tablo 4.** Model-II 0,59g seviyesi için kayıp verilerin tahmin sonuçları

| PGA | Aks No | Diferansiyel Ağırlık | Düşey mesafe | Yatay mesafe | Göreli maksimum düzlem-dışı deplasman |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.59 | 9 | 0.15 | 1.11 | 5.8 | 10.18 |
| 0.59 | 6 | 0.142 | 1.64 | 3.95 | 11.45 |
| 0.59 | 11 | 0.23 | 1.1 | 2.46 | 13.27 |
| 0.59 | 7 | 0.142 | 1.64 | 2.46 | 10.9 |
| 0.59 | 3 | 0.23 | 2.16 | 2.46 | 13.37 |
| 0.59 | 4 | 0.15 | 2.16 | 0.6 | 12.72 |

**Tablo 5.** Model-I ve II 0,79g seviyesi için YSA ile tahmin edilen göreli maksimum düzlem-dışı deplasman değerleri

| PGA | Aks No | Diferansiyel Ağırlık | Düşey mesafe | Yatay mesafe | Göreli maksimum düzlem-dışı deplasman | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Model-I | Model-II |
| 0.79 | 9 | 0.15 | 1.11 | 5.8 | 15.11 | 10.75 |
| 0.79 | 5 | 0.1 | 1.64 | 5.8 | 12.26 | 7.4 |
| 0.79 | 1 | 0.15 | 2.15 | 5.8 | 15.97 | 13.19 |
| 0.79 | 10 | 0.23 | 1.1 | 3.95 | 15.62 | 13.32 |
| 0.79 | 6 | 0.142 | 1.64 | 3.95 | 15.11 | 11.83 |
| 0.79 | 2 | 0.23 | 2.16 | 3.95 | 15.19 | 13.37 |
| 0.79 | 11 | 0.23 | 1.1 | 2.46 | 12.95 | 13.3 |
| 0.79 | 7 | 0.242 | 1.64 | 2.46 | 15.11 | 11.37 |
| 0.79 | 3 | 0.23 | 2.16 | 2.46 | 14.14 | 13.37 |
| 0.79 | 12 | 0.15 | 1.1 | 0.6 | 18.3 | 8 |
| 0.79 | 8 | 0.1 | 1.64 | 0.6 | 15.97 | 5 |
| 0.79 | 4 | 0.15 | 2.16 | 0.6 | 12.49 | 12.86 |

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, YSA metodu kullanılarak geliştirilen iki farklı model ile, sarsma tablasına maruz kalan dolgu duvarların göreli maksimum düzlem dışı deplasmanı tahmin edilmiştir. Çalışmada, gerçek değerler ile YSA kullanılarak elde edilen değerler arasındaki korelasyon yüksek olarak elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, YSA modellerinin inşaat mühendisliği için önemli olan böyle bir durumu analiz etmede başarılı bir şekilde kullanılabildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca ileriki çalışmalar için, adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve regresyon modelleri gibi diğer tahmin metotları kullanılarak dolgu duvarların düzlem dışı deplasmanlarının tahmin eden çalışmalar gerçekleştirilebilir.

## 6. Kaynaklar

**1.** Mendes, N., (2012). Seismic assessment of ancient masonry buildings: shaking table tests and numerical analysis. Doktora Tezi, Minho Üniversitesi, Guimaraes, Portekiz.

**2.** Dolšek, M., P. Fajfar., (2002). Mathematical modelling of an inlled RC frame structure based on the results of pseudo-dynamic tests, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**: 1215-1230.

**3.** Shing, P. B., A. B. Mehrabi, (2002). Behaviour and analysis of masonry-infilled frames, *Progress in Structural Engineering and Materials*, **4**(3): 320-331.

**4.** Anıl, Ö., Altın, S., (2007). An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames, *Engineering Structures*, **29**: 449-460.

**5.** Pereira, M. F. P., (2013). Avaliação do desempenho das envolventes dos edifícios face à acção dos sismos (Portekizce). İnşaat Mühendisliği Bölümü, Minho Üniversitesi. Doktora Tezi.
**6.** Leite, J. M., (2014). Seismic Behavior of Masonry Infill Walls: Test and Design, Doktora Tezi, Minho Üniversitesi, Guimarães, Portekiz.
**7.** Onat, O., Lourenco, P. B., Kocak, A., (2015). Experimental and numerical analysis of RC structure with two leaf cavity wall subjected to shake table, *Structural Engineering and Mechanics*, **55**(5): 1037-1053.
**8.** Onat, O., Lourenco, P. B., Kocak, A., (2016). Nonlinear analysis of RC structure with massive infill wall exposed to shake table. *Earthquakes and Structures*, **10**(4): 811-828.
**9.** Lourenço, P. B., Leite, J. M., Paulo-Pereira, M. F., Campos-Costa, A., Candeias, P. X., Mendes, N., (2016). Shaking table testing for masonry infill walls: unreinforced versus reinforced solutions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. **45**(14): 2241-2260.
**10.** Calvi, G., Bolognini, D., (2001). Seismic Response of Reinforced Concrete Frames Infilled with Weakly Reinforced Masonry Panels‖, *Journal of Earthquake Engineering*, **5**(2): 153-185.
**11.** Griffith, M. C., Vaculik, J., Lam, N. T. K., Wilson, J., Lumantarna, E., (2007). Cyclic Testing of Unreinforced Masonry Walls in Two-Way Bending, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **36**: 801-821.
**12.** Hashemi, A., Mosalam, K. M., (2006). Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **35**(14): 1827-1852.
**13.** Pujol, S., Fick, D., (2010). The Test of a Full-Scale Three Storey RC Structure With Masonry Infill‖, *Engineering Structures*, **32**: 3112-3121.
**14.** Varela-Rivera, J., L., Navarrete-Macias, D., Fernandez-Baqueiro, L., E., Moreno, E., I., (2011). Out-Of-Plane Behaviour of Confined Masonry Walls, *Engineering Structures*, **33**: 1734-1741.
**15.** Stavridis, A., Koutromanos, I., Shing, P. B., (2012). Shake-Table Tests of A Three-Storey Reinforced Concrete Frame with Masonry Infill Walls, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **41**: 1089-1108.
**16.** Misir, S., Ozcelik, O., Girgin, S. C., Kahraman, S. (2012). Experimental work on seismic behavior of various types of masonry infilled RC frames. *Structural Engineering and Mechanics*, **44**(6): 763-774.
**17.** Mosalam, K., Günay, M. S., (2015). Progressive Collapse Analysis of RC Frames with URM Infill Walls Considering In-Plane/Out-of-Plane Interaction, *Earthquake Spectra*, **31**(2): 921-943.
**18.** Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. 2016. Experimental evaluation of out-of-plane capacity of masonry infill walls. *Engineering Structures*, **111**: 48-63.
**19.** Misir, I. S., Ozcelik, O., Girgin, S. C., Yucel, U. (2016). The Behavior of Infill Walls in RC Frames Under Combined Bidirectional Loading. *Journal of Earthquake Engineering*, **20**(4): 559-586.
**20.** Misir, I. S., Ozcelik, O., Kahraman, S., 2015. The Behaviour of double-whyte hollow clay brick walls under bidirectional loads in R/C frame. Teknik Dergi, 26(3): 7139-7165.
**21.** Shan, S., Li, S., Xu, S., Xie, L., (2016). Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls. *Engineering Structures*, **111**: 80-92.
**22.** Topçu, İ. B., Boğa, A. R., Hocaoğlu, F. O., 2009. Modeling corrosion currents of reinforced concrete using ANN. Automation in Construction, 18(2): 145-152.
**23.** Kumar, B., Samui, P., (2013). Application of ANN for predicting pore water pressure response in a shake table test. *International Journal of Geotechnical Engineering*, **2**(2): 153-160.
**24.** Šipoš, T. K., Sigmund, V., Hadzima-Nyarko, M., (2013). Earthquake performance of infilled frames using neural networks and experimental database, *Engineering structures*, **51**: 113-127.
**25.** Garzón-Roca, J., Adam, J. M., Sandoval, C., Roca, P., (2013). Estimation of the axial behaviour of masonry walls based on artificial neural networks. *Computers & Structures*, **125**: 145-152.
**26.** Hasançebi, O., Dumlupınar, T., (2013). Linear and nonlinear model updating of reinforced concrete T-beam bridges using artificial neural networks. *Computers & Structures*, **119**: 1-11.
**27.** Joshi, S. G., Londhe, S. N., Kwatra, N., (2014). Application of artificial neural networks for dynamic analysis of building frames. *Computers and Concrete*, **13**(6): 765-780.
**28.** Onat, O., (2015). Investigation of seismic behaviour of infill wall surrounded by reinforced concrete frame. Müşterek Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Türkiye ve Minho Üniversitesi, Guimaraes Portekiz.
**29.** Somoza, E. and Somoza, J.R., (1993). A neural-network approach to predicting admission decisions in a psychiatric emergency room. *Medical Decision Making*, **13**(4): 273-280.
**30.** Guneri, A.F., Gumus, A.T., (2008). The usage of artificial neural networks for finite capacity planning. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, **15**(1): 16-25.
**31.** Guneri, A.F., Gumus, A.T., (2009). Artificial Neural Networks for Finite Capacity Scheduling: A Comparative Study. *International Journal of*

*Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, **15**(4): 349-359.
**32.** Gul, M., Guneri, A. F., 2015. Forecasting patient length of stay in an emergency department by artificial neural networks. Journal of Aeronautics and Space Technologies (Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi), 2(8): 1-6.
**33.** Öztemel, E., (2003). Yapay sinir ağları. Papatya yayıncılık.
**34.** Goyal, S., (2013). Artificial neural networks (ANNs) in food science a review. *International Journal of Scientific World*, **1**(2): 19-28.
**35.** Gul, M., Guneri, A. F., (2016). Planning the future of emergency departments: Forecasting ED patient arrivals by using regression and neural network models. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, **23**(2): 137-154.
**36.** Kalogirou, S. A., (2001). Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, **5**(4): 373-401.
**37.** Zhang, G., Patuwo, B. E., Hu, M. Y., (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. International Journal of Forecasting, **14**(1): 35-62.
**38.** Gul, M., Guneri, A. F. (2016). An artificial neural network-based earthquake casualty estimation model for Istanbul city. *Natural Hazards*, **84**(3): 2163-2178.
**39.** Correia, A. A., Costa, A. C., Candeias, P., & Lourenço, P. B. (2014). Ensaios sísmicos inovadores de pórticos com paredes de enchimento em alvenaria. 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas (JPEE 2014), 1-16. (Portekizce)