

HM-CFRP ile güçlendirilmiş çelik I kirişlerin eğilme davranışlarının YSA analizi ile incelenmesi

Elif Ağcakoca^{1*}, Zehra Şule Garip², Muharrem Aktaş³

03.07.2015 Geliş/Received, 31.05.2016 Kabul/Accepted

ÖZ

Köprülerde kullanılan, çelik kompozit kirişler gerek kesit kayıplarından, gerekse artan trafik yüklerinden dolayı mevcut kesitleri yetersiz kalabilmektedir. Çözüm olarak kesitin yenisi ile değiştirilmesi ya da güçlendirilmesi tavsiye edilmektedir. Günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde karbon fiberlerin içinde yüksek rijitliğe sahip High modulus carbon fiber-reinforced polimer (HM-CFRP) gibi güçlendirme malzemeleri üretilmekte ve bu malzemeler yine yüksek elastik modüle sahip çelik yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Böylece polimer malzeme ile güçlendirilen çelik yapı elemanlarının rijitlik ve dayanımında mukavemet kazanması sağlanmaktadır. Ancak çelik, epoksi ve fiber takviyeli malzemeden oluşan güçlendirilmiş kirişlere ait deneysel çalışmalar zaman ve parasal yönden ekonomik olmamaktadır. Bu yüzden deney hazırlık aşaması zor olan durumlarda, numerik modeller hazırlanıp doğrulanarak parametrik çalışmalar yürütülebilmektedir. Bu çalışmadaki numerik model, deneysel çalışma ile doğrulanmış daha sonra parametrik çalışmalar yapılmış ve YSA ile test edilmiştir. Çalışmanın numerik modellemesinde ABAQUS sonlu eleman modeli kullanılmış gerek malzeme gerekse geometrik bakımdan doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. YSA tabanlı modelinin performansı ile ABAQUS programından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde YSA tekniği kullanılarak I kesitli Çelik- Betonarme kompozit kirişlerin HM- CFRP ile onarım ve güçlendirilmesinde daha hızlı, güvenilir ve ekonomik sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: çelik kiriş, ABAQUS, YSA, HM-CFRP.

The investigation of HM-CFRP reinforced steel beams analysis of bending behavior in YSA

ABSTRACT

Steel sections used in the bridge, the beam can be renewed or reinforced for systems which have section loss due to corrosion or insufficient sections due to increasing traffic load. The solution is recommended as the sectional replaced or strengthened. Thanks to technological advances with high rigidity high modulus carbon fiber-reinforced polymer (HM-CFRP) materials are produced, and these materials are used again for the high elastic modulus reinforced with steel construction components. Thus, gaining strength in polymer reinforced steel construction elements are provided with the material stiffness and strength. However, experimental studies on the reinforced beams are not economic and monetary aspects of time. The difficulty of experimental cases, numerical models created parametric studies can be conducted. In this study, numerical models validated with experimental work, then tested with parametric study of the YSA. Study of numerical modeling ABAQUS finite element model of care used materials and the geometric nonlinear analysis. When the results obtained from modeling with NNA and FEM are compared, the former has given reliable, fast results for the behavior of RC composite steel I-Section retrofitted or repaired by HM-CFRP.

Keywords: steel beams ,ABAQUS, YSA, HM-CFRP.

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya - elifd@sakarya.edu.tr

2 Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük - zsulegarip@karabuk.edu.tr

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya - muharrema@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıların güçlendirilmesindeki başlıca sebepler arasında, hesaplarda küçük alınmış yükler, ihtiyaçlar doğrultusunda yapıdaki işlev değişimi veya iyileştirme nedeniyle yük taşıma kapasitesinde artış veya zamanla oluşan yorulmalara bağlı yük taşıma kapasitesinde meydana gelen kayıplar sayılabilir [1].

Çelik köprülerde ise, güçlendirme durumu daha çok elemanlardaki paslanmadan ve trafik yüklerindeki artıştan dolayı olmaktadır. Korozyondan dolayı kesit kaybına uğrayan veya artan trafik yüklerinden dolayı mevcut kesitleri yetersiz kalan sistemlerde, çözüm olarak kesitin yenisiyle değiştirilmesi ya da hasarlı bölgeye çelik plaka kaynaklanması ve bulonlanması yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak önerilen bu çözümler trafik akışımı uzunca bir süre aksatması ve ekonomik olmaması gibi sebeplerden dolayı dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca yüksek maliyet, ilave edilen malzemelerin ağır olması ve yorulma performansının düşük olması, bulon ya da kaynaklanma sırasında kesitte zarar verilmesi ya da istenmeyen gerilmelerin oluşması gibi sebeplerden dolayı bu güçlendirme teknikleri pek tercih edilmemektedir [2].

Günümüzde inşaat sektöründe elemanların güçlendirmesine olan ihtiyaçların artması ile yeni malzeme arayışı çerçevesinde fiber teknolojisinin bulunması güçlendirmede yeni bir sayfa açmıştır. Betonarme yapılarda kullanılan Karbon Takviyeli Polimer (CFRP) malzemesi, çelik yapılarda kullanımı için dayanımı artırılarak HM-CFRP malzemesi üretilmiş ve istenilen performansa ulaşılmıştır. Ayrıca HM-CFRP malzemelerinin köprü elemanlarında tercih sebebi olmasında, malzemenin ince, hafif, korozyona dayanıklı olması ve özellikle çelik köprü kirişlerinin devamlı korozyona maruz kalmaları önemli etken olmuştur [3, 4].

FRP ile güçlendirilmiş çelik kirişlerin dayanımlarında, kullanılan FRP'nin boyu, kullanılan yapıştırıcı türü, FRP kalınlığı önemlidir[5-8]. Ayrıca FRP malzemesi sadece köprü elemanlarında değil aynı zamanda iletişim kuleleri gibi farklı tür yapıların dayanımlarında istenilen artışı sağlayabilmektedir [8].

Literatürde yapay sinir ağları ile birçok alanda çalışma yapılmıştır. YSA İnşaat Mühendisliği alanında mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesinde [10], yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde [11], doğrusal ve doğrusal olmayan yapıların kontrol edilmesinde [12], yapı hasarlarının belirlenmesinde [13], yapıların dinamik analizlerinin daha hızlı ve güvenilir yapılabilmesinde [14], deprem etkisindeki binaların yapı zemin etkileşimi ile ilgili sorunların çözümünde [15] kullanılmıştır.

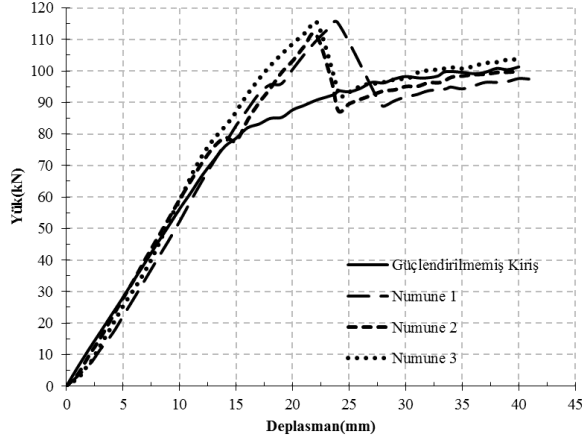
Bu çalışmada HM-CFRP ile güçlendirilmiş çelik kirişler üretilerek eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. 3000 mm uzunluklardaki çelik levhalı kirişlere farklı HM-CFRP uzunluğu, kalınlığı ve genişliği uygulanarak dört nokta yükleme deneyi yapılmıştır. 3000 mm uzunluğundaki IPE 160 çelik profilin alt başlığına 2400 mm uzunluğundaki HM-CFRP yerleştirilmiştir. HM-CFRP kirişin her iki uc noktalarından 300 mm içeriye gelecek şekilde yapıştırılmıştır. HM-CFRP'nin yerleştirilmesinde, kirişte maksimum momentin olduğu, kiriş orta bölgenin güçlendirilmesi dikkate alınmıştır. HM-CFRP kirişe yapıştırılmadan önce yüzey mekanik olarak temizlenerek, tozdan ve kirlerden arındırılmıştır. Epoksi, üretici firmanın verdiği karışım oranına göre hazırlanmış ve çok ince bir yüzey oluşturacak şekilde çelik kirişin alt başlığına uygulanmış ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Son aşamada HM-CFRP epoksi üzerine yerleştirilerek kelepçelerle sıkıştırılmış ve kirişler 28 gün bekletilmiştir. Kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan HM-CFRP boyutları EK A'da tablo halinde verilmiştir. Çalışmanın devamında farklı boy ve kalınlıkta kullanılan HM-CFRP ile güçlendirilen çelik kirişlerin sonlu eleman modeli ABAQUS yardımı ile oluşturulmuş, kirişlerin güçlendirme sayesinde artan moment taşıma kapasiteleri bulunarak bu artış YSA ile test edilmiştir.

2. DENEY VE SONLU ELEMAN METODU (EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENT METHOD)

Doğrusal olmayan sonlu eleman modellemesini test etmek amacıyla aynı oranda güçlendirilmiş 3 adet numune hazırlanmıştır. Yüklerin ve mesnetlerin olduğu yerlerde kesme kuvvetlerini karşılaması ve burkulma olmaması için berkitme levhaları kullanılmıştır. Güçlendirme yapılırken, 1,4x50x2400 mm boyutundaki HM-CFRP malzemesinin tek parça halinde çelik kirişin çekme başlığının altına epoksi ile yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Deney kirişlerinin uzunluğu 3000 mm mesnetler arası mesafe 2900 mm'dir. Yükün uygulandığı nokta ile HM-CFRP malzemesinin bittiği yer arası mesafe 1050 mm'dir. Yüklerin uygulandığı noktalar arası mesafe 800 mm'dir. Üç adet deplasman ölçer kiriş alt başlığına yerleştirilmiştir. HM-CFRP ile güçlendirilmiş kirişler Şekil 2'de Numune 1, Numune 2 ve Numune 3 olarak isimlendirilmiştir. Yapılan bu üç güçlendirilmiş deney numunesine ait yük-deplasman grafikleri ile güçlendirilmemiş kirişin yük-deplasman grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çelik kirişe HM-CFRP yapıştırılması (Bonding steel beams HM-CFRP)



Şekil 2. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş çelik kirişin deney sonuçları (Reinforced and unreinforced steel beam test results)

Sonlu elemanlar metodları (SEM), analitik olarak çözümü mümkün olmayan veya karmaşık olan mühendislik problemlerinin çözülmesinde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Bu tür bilgisayar programlarından biri olan ABAQUS doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise hassas çözüm gerektiren kompozit eleman davranışı incelerken ABAQUS/Explicit kullanılmıştır.

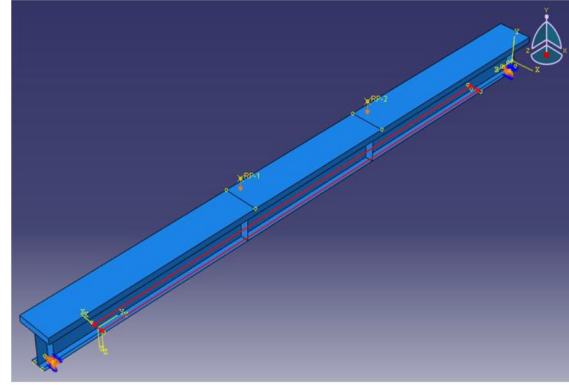
Doğrulanması yapılan kiriş numerik modelinde çelik malzeme, ideal elasto-plastik malzeme davranışına göre tanımlanmıştır. HM-CFRP malzemesi doğrusal olmayan gevrek malzeme olarak modellenmiştir. HM-CFRP, çekme kırılmasının etkin olduğu bir malzeme olduğu için, ABAQUS sonlu elemanlar programında modellenirken gevrek kırılma malzeme davranışını temsil eden "brittle cracking" malzeme modeli kullanılmıştır. HM-CFRP malzemesi maksimum çekme gerilmesine kadar lineer elastik kabul edilmiştir. Daha sonra liflerde çatlak başlaması ve liflerin kopması olarak tanımlanmıştır.

Sonlu elemanlar programında kompozit eleman oluşturulurken, elemanları birleştiren arayüzlere ihtiyaç vardır. Çalışmada, yapıştırıcı ara yüzey kalınlığı çok ince olduğundan çekme-ayrılma modellemesi yapılmıştır. Yapıştırıcı elemanlar, ABAQUS eleman kütüphanesinden COH3D8 ile tanımlanarak; elemanların serbestlik dereceleri bağlandıkları çelik ve HM-CFRP ile bağlar vasıtasıyla paylaşılmıştır.

Güçlendirilen kirişin sonlu eleman modeli oluşturulurken, deneyde uygulanan sınır şartları modellemeye dikkate alınmıştır. Modellemeye 10x10 mm'lik sonlu eleman ağı sıklığı kullanılmıştır. ABAQUS programında oluşturulan HM-CFRP'li kiriş elemanı için, malzemelerin mekanik özellikleri yapılan deneylerle belirlenerek ABAQUS programında Tablo 1'de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

Tablo 1. Malzemenin mekanik özellikleri (Mechanical properties of the material)

HM-CFRP(E)	Çelik Kiriş(E)	Epoksi(E)
440(GPa)	179(GPa)	10720(GPa)



Şekil 3. Çelik kirişin sonlu eleman modeli (Finite element model of steel beams)

Tablo 1'de malzeme özellikleri verilen çelik kiriş, çelik plaka ve HM-CFRP'nin numerik modeli Şekil 3'te görülmektedir. Sabit mesnet profil alt başlık düğüm noktalarında 3 öteleme ve 2 dönme serbestliği tutuludur. Kayıcı mesnet kirişin alt başlık düğüm noktalarında ise, 2 öteleme ve 2 dönme serbestliği tutuludur. Kiriş uzunluğu doğrultusundaki öteleme serbestliği ve kayıcı mesnedin

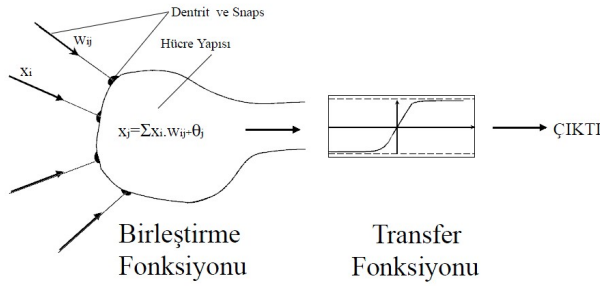
3. YSA YÖNTEMİ (ANN METHODS)

YSA, çalışma prensibi olarak insan beynini ve sinir sisteminin mimarisini kendine model edinmiş yapay bir sistemdir. Öğrenme ve genelleştirme özelliği, yapay sinir ağlarının en önemli özelliğidir. YSA, mevcut örnekleri kullanarak, herhangi bir problemin nedenleri ve sonuçları arasındaki ilişkiyi öğrenebilmektedir. Mevcut örneklerle eğitilmiş YSA modeli daha önce hiç karşılaşmadığı problemleri çözebilmektedir.

YSA modeli, birbirine bağ ağırlıkları ile bağlı, bir girdi katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Gizli katman sayısı ve bu katmanlarda bulunacak işlem elemanı sayısı, deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husus ağ hatasının minimum olması ve öğrenme hızının maksimum olmasıdır.

Yapay sinir ağlarının en temel birimi işlem elemanıdır. Bir işlem elemanı girdiler, ağırlıklar, birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve bir çıktı olmak üzere beş elemandan oluşmaktadır. YSA modeli oluşturulurken girdiler seçilen bir birleştirme fonksiyonunda işlenir ve transfer fonksiyonuna iletilir. Bu elde edilen bilgi transfer fonksiyonu ile işlenerek işlem elemanının çıktısı oluşturulur. İşlem elemanın

çıktısı diğer işlem elemanlarına gönderilir (Şekil 4). İşlem elemanının çıktısı oluşturulur. İşlem elemanının çıktısı diğer işlem elemanlarına gönderilir (Şekil 4).



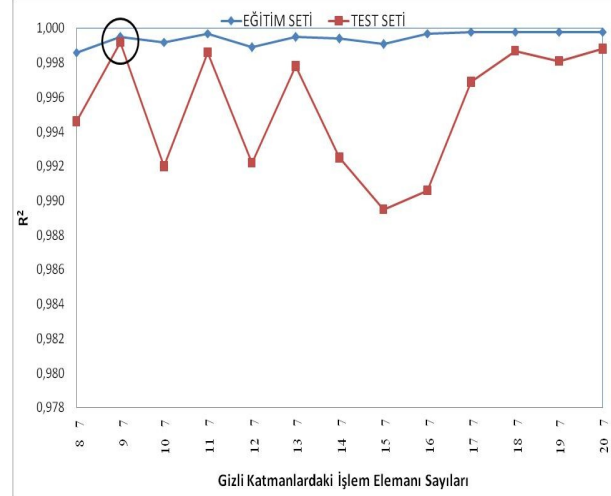
Şekil 4. Bir işlem elemanının yapısı [15] (Structure of a processing element)

4. SAYISAL ÇALIŞMA (NUMERICAL STUDY)

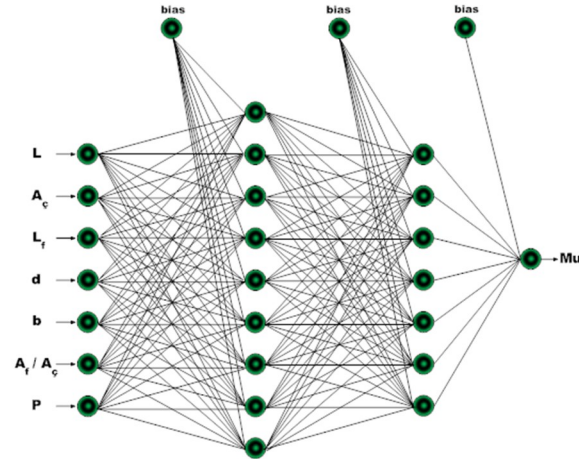
Bu çalışmada, I kesitli Çelik-Betonarme kompozit kirişlerin HM-CFRP ile onarım ve güçlendirilmesine yönelik geliştirilen nümerik metod yapay sinir ağları kullanılarak test edilmiştir. Nümerik yöntemle elde edilen verilerin daha hızlı, güvenilir ve ekonomik alternatif bir yöntemle doğrulanması amaçlanmıştır. Bunun için YSA tabanlı bir değerlendirme modeli oluşturulmuştur.

Tablo 2'de verilen girdi bilgileri kullanılarak YSA tabanlı değerlendirme modelinde nümerik yöntemle elde edilen veriler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla deneysel veriler kullanılarak 127 farklı nümerik model eğitim seti ve 20 farklı nümerik model test seti olacak şekilde belirlenmiştir (EK A). Test setinde kullanılan veriler eğitim setinde kullanılmamıştır. MATLAB bilgisayar paket programı kullanılarak YSA tabanlı değerlendirme modeli 50000 iterasyon yapılarak eğitim seti ile eğitilmiş ve test seti ile test edilmiştir (EK D).

YSA tabanlı değerlendirme modelinin mimarisinde gizli katman sayısı ve katmanlardaki işlem elemanı sayıları deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Deneme yanılma yönteminde 5000 iterasyon yapılarak YSA tabanlı değerlendirme modelinin gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki işlem elemanları sayıları belirlenmiş ve grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 5, EK B). YSA modelinin performansı belirlenirken, tek gizli katman olması durumu (5-20 işlem elemanı için) ve çift gizli katman olması durumu (8-20 işlem elemanı için) R^2 (determinasyon katsayısı) ile değerlendirilmiştir. Gerçeğe en uygun değerler için eğitim ve test seti R^2 değerlerinin birbirine yakınlığı ve 1'e yakın olması (regresyon doğrusunun etrafında dağılması) dikkate alınmıştır.



Şekil 5. İki gizli katmandaki işlem elemanı sayısının değişiminin YSA tabanlı modelin performansına etkisi (That the change in the number of processing elements in the hidden layer ANN based impact model performance)



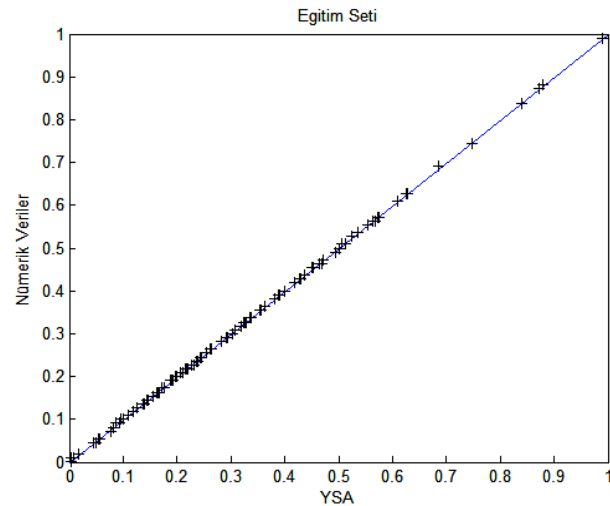
Şekil 6. YSA tabanlı değerlendirme modelinin mimarisini (The architecture of the ANN -based assessment model)

YSA tabanlı değerlendirme modelinde sigmoid fonksiyonu transfer fonksiyonu olarak kullanıldığı için tüm veriler 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi, bütün verilerin 0 ve 1 arasında değer almasını sağlamak için her bir değişken kendisinin alabileceği maksimum değere veya bu değer üzerinde belirlenen bir değere bölünmüştür (Tablo 2). YSA tabanlı değerlendirme modelinin yapısı geri beslemeli olarak tasarlanmıştır ve ağlarda yer alan ağırlık değerleri EK C'de sunulmuştur.

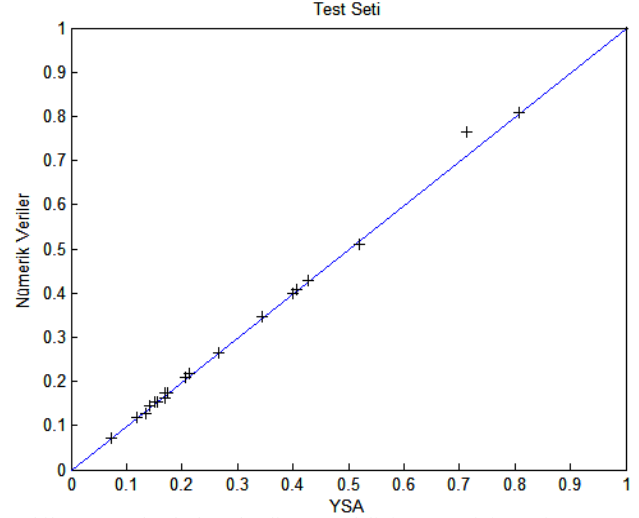
YSA tabanlı değerlendirme modeli ile elde edilen tahminlerin 45° açı yapan doğrunun üzerinde olması modelin istenen sonuçları tahmin ettiğini göstermektedir. Bu doğru üzerinden sapmalar olması durumunda istenen değerlerden uzaklaşmaları göstermektedir (Şekil 7,8).

Tablo 2. YSA tabanlı değerlendirme modelinin girdi ve çıktı katmanındaki veriler (Eğitim ve Test Seti) (The input and output parameters of ANN based assessment model).

Girdi ve Çıktı Parametreleri	simge	birim	minimu	maksimu	normaliz
					işlemi
					bölenler
Kiriş Uzunluğu	L	m	3000	12000	12000
Profil Alanı	A_c	m^2	1320	11600	12000
HM-CFRP Uzunluğu	L_f	m	2600	10400	11000
HM-CFRP Kalınlığı	d	m	0.93	11.92	12
HM-FRP Genişliği	b	m	50	150	150
HM-FRP A./ Profil A.	A_f/A		1.70	22.40	25
Toplam Yük	P	kN	57.83	1199.85	1200
Moment Artışı	M_u	%	0.00	109	110



Şekil 7. YSA tabanlı değerlendirme modelinin eğitim setinin performansı (The training set performance of ANN-based assessment model).



Şekil 8. YSA tabanlı değerlendirme modelinin test setinin performansı (The test set performance of ANN-based assessment model)

5. SONUÇLAR (RESULTS)

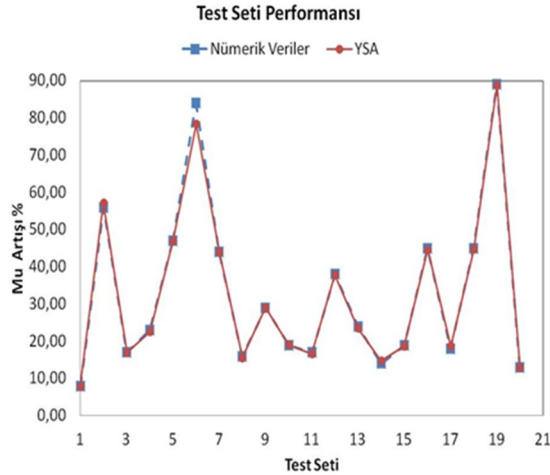
I kesitli Çelik- Betonarme kompozit kirişlerin HM-CFRP ile onarım ve güçlendirilmesine yönelik geliştirilen nümerik metot kullanılarak elde edilen veriler ile eğitilen ve test edilen YSA tabanlı değerlendirme modeli %95 doğrulukla nümerik verileri yakalamıştır. Test setindeki 20 nümerik veriden 19 tane veriyi yakalamış olduğu sadece 1 nümerik veri değerinde sapma yaptığı gözlemlenmiştir (Şekil 9 ve Tablo3).

YSA tekniğinin, varsayımlar ve kabuller yapmadan problemi direk örneklerden öğrenmesinden dolayı diğer yöntemlerle kıyaslandığında birçok üstünlüğü bulunmaktadır. YSA tekniği kullanılarak I kesitli Çelik-Betonarme kompozit kirişlerin HM- CFRP ile onarım ve güçlendirilmesinde daha hızlı, güvenilir ve ekonomik sonuçlar elde edilebilir.

Tablo 3. YSA tabanlı değerlendirme modelinin nümerik veriler ile karşılaştırılması (Comparison with the numerical data and ANN-based assessment model)

No	Nümerik Veri	YSA	Nümerik Veri / YSA
1	8.0000	7.9815	1.0023
2	56.0000	57.2757	0.9777
3	17.0000	17.0911	0.9947
4	23.0000	22.5892	1.0182
5	47.0000	47.0621	0.9987
6	84.0000	78.4007	1.0714
7	44.0000	43.9427	1.0013
8	16.0000	15.6255	1.0240
9	29.0000	29.1505	0.9948

10	19.0000	19.1227	0.9936
11	17.0000	16.5925	1.0246
12	38.0000	37.8732	1.0033
13	24.0000	23.5576	1.0188
14	14.0000	14.8250	0.9444
15	19.0000	18.6813	1.0171
16	45.0000	44.5731	1.0096
17	18.0000	18.6537	0.9650
18	45.0000	44.8109	1.0042
19	89.0000	88.8405	1.0018
20	13.0000	12.9803	1.0015



Şekil 9. YSA tabanlı değerlendirme modelinin test setinin performansı
(The test set performance of ANN-based assessment model)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] E. Ağcakoca, "I Kesitli Çelik-Betonarme Kompozit Kirişlerin Hm-Cfrp İle Onarım Ve Güçlendirilmesine Yönelik Metot Geliştirilmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [2] D. Schnerch, S. Rizkalla, Strengthening Of Scaled Steel-Concrete Composite Girders And Steel Monopole towers with CFRP, FRP Composites in Civil Engineering, ISBN 90 5809 638 6, United Kingdom, 2004.
- [3] S. Rizkalla, M. Dawood, E.A. Sumner, Fatigue and overloading behavior of steel-concrete composite flexural member strengthened with high modulus materials. J Compos Construct, Volume 11, Number:6, pp:659-669, 2007.
- [4] M. Tavakkolizadeh, H. Saadatmanesh, Strengthening of steel-concrete composite girders using carbon fiber reinforced polymer sheets. Journal of Structural Engineering, Volume:129, Number:2, pp:30-40, 2003.
- [5] L.C. Hollaway, J. Cadei, Progress in the technique of upgrading metallic structures with advanced polymer composites. Prog Struct Eng Mater, Volume: 4, Number:2, pp:131-48, 2002.
- [6] P. Colombi, C. Poggi, An experimental analytical and numerical study of the static behavior of steel beams reinforced by pultruded CFRP strips. Composites Part B, Volume: 37, Number:1, pp: 64-73, 2006.
- [7] M. Tavakkolizadeh, H. Saadatmanesh, Galvanic corrosion of carbon and steel in aggressive environments. Journal of Composites for Construction, Volume:5 , Number:3, pp: 200-210, 2001.
- [8] M. Tavakkolizadeh, H. Saadatmanesh, Galvanic corrosion of carbon and steel in aggressive environments. Journal of Composites for Construction, Volume:5 , Number:3, pp: 200-210, 2001.
- [9] J.A Gargia, A. Chiminelli, M. Lizaranzu, M.A. Jimenez, Characterization and material model definition of toughened adhesives for finite element analysis. International Journal of Adhesion, Volume: 31, Number:4, pp:182-192, 2010.
- [10] Z.Ş. Garip, Yapay Sinir Ağları ile Mevcut Yapıların Deprem Riski Açısından Durum Tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [11] T. Koyuncu, "Mevcut Betonarme Binaların Deprem Yükleri Altında Performanslarının Hızlı Olarak Belirlenebilmesi İçin Yeni Bir Değerlendirme Yöntemi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [12] D.K. Kim, C.B. Yun, 'Time Domain Soil-Structure Interaction in TwoDimensional Medium Based on Analytical Frequency-Dependent infinite Elements, International Journal of Numerical Methods in Engineering, vol. 47, no. 7, pp.1241-1261, 2000
- [13] T. Marwala, "Damage Identification Using Committee of Neural Networks", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 43-50, 2000.
- [14] N. Çağlar, "Yapay Sinir Ağları ile Binaların Dinamik Analizi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002
- [15] M. Pala, Zemin Yapı Dinamik Etkileşiminin Yapay Sinir Ağları ile Analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004

EK A

Tablo A1. Eğitim Seti Girdi ve Çıktı Parametreleri

Örnek No:	GİRDİLER						ÇIKTI	
	Kiriş Uzunluğu L (mm)	Profil Alanı A_c (mm ²)	FRP Uzunluğu L_f (mm)	FRP Kalınlığı d (mm)	FRP Genişliği b (mm)	FRP A./ Profil A. A_f/A_c	Toplam Yük P (kN)	Mu Artışı %
1	3000	1320	2600	0.93	50	3.50	57.83	5.00
2	3000	1320	2600	1.01	50	3.80	58.70	6.00
3	3000	1320	2600	1.21	50	4.60	60.83	10.00
4	3000	1320	2600	1.34	50	5.10	69.01	25.00
5	3000	1320	2600	1.76	50	6.70	66.74	21.00
6	3000	1320	2600	1.86	50	7.00	64.66	17.00
7	3000	1320	2600	2.32	50	8.80	89.43	62.00
8	3000	1320	2600	2.56	50	9.70	93.11	69.00
9	3000	1320	2600	2.82	50	10.70	96.92	76.00
10	3000	1320	2600	3.08	50	11.70	100.65	82.00
11	3000	1320	2600	3.50	50	13.30	106.18	92.00
12	3000	1320	2600	3.70	50	14.00	108.82	97.00
13	3000	1320	2600	4.30	50	16.30	89.80	63.00
14	3000	2010	2600	1.40	50	3.50	121.35	17.00
15	3000	2010	2600	1.68	50	4.20	126.98	23.00
16	3000	2010	2600	1.84	50	4.60	129.75	25.00
17	3000	2010	2600	2.04	50	5.10	133.32	29.00
18	3000	2010	2600	2.25	50	5.60	136.92	32.00
19	3000	2010	2600	2.47	50	6.10	152.41	47.00
20	3000	2010	2600	2.69	50	6.70	145.16	40.00
21	3000	2010	2600	3.29	50	8.20	155.34	50.00
22	3000	2010	2600	3.60	50	9.00	160.83	55.00
23	3000	2010	2600	3.90	50	9.70	166.67	61.00
24	3000	2010	2600	4.39	50	10.90	172.88	67.00
25	3000	2010	2600	4.80	50	11.90	160.24	55.00
26	3000	2010	2600	5.28	50	13.10	142.04	37.00
27	3000	2010	2600	5.81	50	14.50	146.49	42.00
28	3000	3337	2600	1.17	100	3.50	290.00	14.00
29	3000	3337	2600	1.27	100	3.80	294.75	16.00
30	3000	3337	2600	1.40	100	4.20	300.75	18.00
31	3000	3337	2600	1.54	100	4.60	307.20	21.00
32	3000	3337	2600	1.70	100	5.10	314.20	24.00
33	3000	3337	2600	2.24	100	6.70	336.48	32.00
34	3000	3337	2600	2.35	100	7.00	340.96	34.00
35	3000	3337	2600	2.67	100	8.00	353.18	39.00
36	3000	3337	2600	2.94	100	8.80	363.14	43.00
37	3000	3337	2600	3.57	100	10.70	384.76	51.00
38	3000	3337	2600	3.91	100	11.70	395.37	56.00
39	3000	3337	2600	4.50	100	13.50	414.05	63.00
40	3000	3337	2600	5.00	100	15.00	428.72	69.00
41	3000	3337	2600	6.00	100	18.00	347.82	37.00
42	6000	3337	5200	1.27	100	3.80	144.10	15.00
43	6000	3337	5200	1.40	100	4.20	147.42	18.00
44	6000	3337	5200	1.54	100	4.60	150.88	21.00
45	6000	3337	5200	1.70	100	5.10	154.98	24.00
46	6000	3337	5200	2.35	100	7.00	245.32	96.00
47	6000	3337	5200	2.67	100	8.00	261.81	109.00
48	6000	3337	5200	2.94	100	8.80	183.95	47.00
49	6000	3337	5200	3.24	100	9.70	190.09	52.00
50	6000	3337	5200	3.57	100	10.70	197.18	58.00
51	6000	3337	5200	3.91	100	11.70	203.98	63.00
52	3000	4590	2600	1.75	100	3.80	474.12	21.00
53	3000	4590	2600	1.92	100	4.20	484.49	24.00
54	3000	4590	2600	2.11	100	4.60	493.18	26.00

Tablo A1. Eğitim Seti Girdi ve Çıktı Parametreleri (devam)

Örnek No:	Kiriş Uzunluğu L (mm)	Profil Alanı A_c (mm ²)	GİRDİLER				ÇIKTI		
			FRP Uzunluğu L_f (mm)	FRP Kalınlığı d (mm)	FRP Genişliği b (mm)	FRP A./ Profil A. A_f/A_c	Toplam Yük P (kN)	Mu Artışı %	
55		3000	4590	2600	2.33	100	5.10	505.86	29.00
56		3000	4590	2600	2.82	100	6.10	534.81	36.00
57		3000	4590	2600	3.07	100	6.70	548.80	40.00
58		3000	4590	2600	3.70	100	8.10	578.20	48.00
59		3000	4590	2600	4.07	100	8.90	590.47	51.00
60		3000	4590	2600	4.47	100	9.70	558.97	43.00
61		3000	4590	2600	4.91	100	10.70	494.31	26.00
62		3000	4590	2600	5.40	100	11.80	425.33	9.00
63		6000	4590	5200	1.60	100	3.50	213.30	8.00
64		6000	4590	5200	1.75	100	3.80	217.57	11.00
65		6000	4590	5200	1.92	100	4.20	222.35	13.00
66		6000	4590	5200	2.33	100	5.10	233.23	19.00
67		6000	4590	5200	3.07	100	6.70	293.99	50.00
68		6000	4590	5200	3.37	100	7.30	303.41	54.00
69		6000	4590	5200	3.70	100	8.10	269.45	37.00
70		6000	4590	5200	4.07	100	8.90	269.45	37.00
71		6000	4590	5200	4.91	100	10.70	294.42	50.00
72		6000	4590	5200	6.48	100	14.10	279.88	42.00
73		6000	4590	5200	7.13	100	15.50	287.98	46.00
74		6000	4590	5200	8.55	100	18.60	208.12	6.00
75		6000	4590	5200	10.26	100	22.40	222.14	13.00
76		6000	6260	5200	2.19	100	3.50	402.66	24.00
77		6000	6260	5200	2.38	100	3.80	410.16	26.00
78		6000	6260	5200	2.90	100	4.60	430.08	32.00
79		6000	6260	5200	3.19	100	5.10	441.28	36.00
80		6000	6260	5200	4.19	100	6.70	477.89	47.00
81		6000	6260	5200	4.41	100	7.00	486.02	50.00
82		6000	6260	5200	5.00	100	8.00	507.14	56.00
83		6000	6260	5200	5.50	100	8.80	521.46	61.00
84		6000	6260	5200	6.07	100	9.70	339.45	5.00
85		6000	6260	5200	6.69	100	10.70	414.64	28.00
86		6000	6260	5200	7.32	100	11.70	355.99	10.00
87		6000	6260	5200	8.82	100	14.10	374.97	15.00
88		6000	6260	5200	11.64	100	18.60	375.88	19.00
89		6000	8450	5200	2.96	100	3.50	590.83	11.00
90		6000	8450	5200	3.21	100	3.80	601.43	13.00
91		6000	8450	5200	3.55	100	4.20	615.62	16.00
92		6000	8450	5200	3.89	100	4.60	590.83	11.00
93		6000	8450	5200	4.30	100	5.10	645.22	22.00
94		6000	8450	5200	5.66	100	6.70	696.33	31.00
95		6000	8450	5200	5.96	100	7.10	606.13	14.00
96		6000	8450	5200	7.50	100	8.90	633.57	19.00
97		6000	8450	5200	8.20	100	9.70	645.55	22.00
98		6000	8450	5200	9.03	100	10.70	652.64	23.00
99		6000	8450	5200	11.92	100	14.10	535.77	1.00
100		12000	8450	10400	1.40	100	1.70	325.65	27.00
101		12000	8450	10400	2.00	100	2.40	302.14	18.00
102		12000	8450	10400	2.95	100	3.50	413.95	62.00
103		12000	8450	10400	3.21	100	3.80	372.51	46.00
104		12000	8450	10400	4.30	100	5.10	406.36	59.00
105		12000	8450	10400	5.65	100	6.70	369.21	44.00
106		12000	8450	10400	5.96	100	7.10	364.36	42.00
107		6000	11600	5200	2.71	150	3.50	1101.49	28.00
108		6000	11600	5200	2.94	150	3.80	1199.85	39.00
109		6000	11600	5200	3.25	150	4.20	1144.25	33.00
110		6000	11600	5200	3.56	150	4.60	1167.15	36.00

Tablo A1. Eğitim Seti Girdi ve Çıktı Parametreleri (devam)

Örnek No:	Kiriş Uzunluğu L (mm)	Profil Alanı A_c (mm ²)	GİRDİLER				ÇIKTI	
			FRP Uzunluğu L_f (mm)	FRP Kalınlığı d (mm)	FRP Genişliği b (mm)	FRP A./ Profil A. A_f/A_c	Toplam Yük P (kN)	Mu Artışı %
111	6000	11600	5200	3.94	150	5.10	1194.28	39.00
112	6000	11600	5200	5.18	150	6.70	1051.11	22.00
113	6000	11600	5200	6.19	150	8.00	1101.90	28.00
114	6000	11600	5200	6.81	150	8.80	1130.64	31.00
115	6000	11600	5200	7.50	150	9.70	1027.38	19.00
116	6000	11600	5200	8.27	150	10.70	875.03	2.00
117	6000	11600	5200	9.05	150	11.70	1004.55	17.00
118	12000	11600	10400	1.40	150	1.80	470.48	12.00
119	12000	11600	10400	2.01	150	2.60	494.57	18.00
120	12000	11600	10400	2.71	150	3.50	523.46	25.00
121	12000	11600	10400	2.94	150	3.80	532.48	27.00
122	12000	11600	10400	3.25	150	4.20	589.37	40.00
123	12000	11600	10400	3.94	150	5.10	568.42	35.00
124	12000	11600	10400	5.18	150	6.70	531.88	27.00
125	12000	11600	10400	5.45	150	7.00	522.71	24.00
126	12000	11600	10400	6.19	150	8.00	421.31	0.00
127	12000	11600	10400	6.81	150	8.80	425.01	1.00

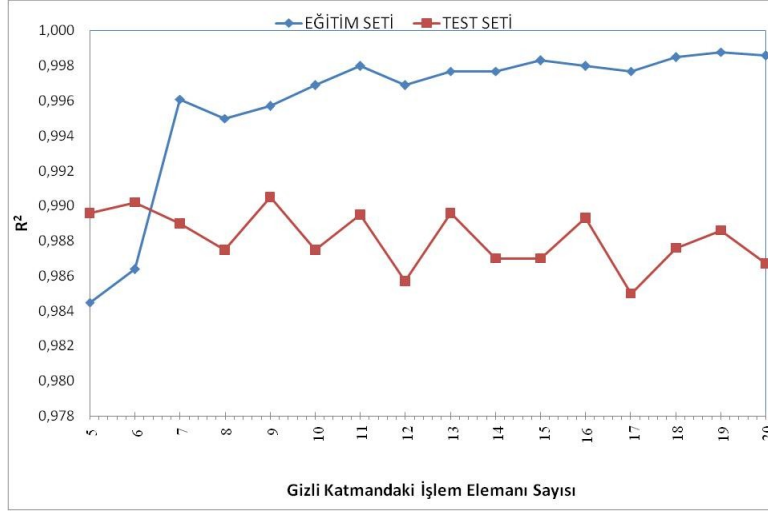
Tablo A2. Test Seti Girdi ve Çıktı Parametreleri

Örnek No:	Kiriş Uzunluğu L (mm)	Profil Alanı A_c (mm ²)	GİRDİLER				ÇIKTI	
			FRP Uzunluğu L_f (mm)	FRP Kalınlığı d (mm)	FRP Genişliği b (mm)	FRP A./ Profil A. A_f/A_c	Toplam Yük P (kN)	Mu Artışı %
1	3000	1320	2600	1.12	50	4.20	59.88	8.00
2	3000	1320	2600	2.12	50	8.00	86.31	56.00
3	3000	2010	2600	1.54	50	3.80	121.35	17.00
4	3000	2010	2600	6.96	50	17.30	127.11	23.00
5	3000	3337	2600	3.24	100	9.70	373.69	47.00
6	6000	3337	5200	2.24	100	6.70	229.47	84.00
7	3000	4590	2600	3.37	100	7.30	564.02	44.00
8	6000	4590	5200	2.11	100	4.60	227.4	16.00
9	6000	6260	5200	2.63	100	4.20	419.94	29.00
10	6000	6260	5200	9.70	100	15.50	385.73	19.00
11	6000	8450	5200	6.76	100	8.00	620.54	17.00
12	12000	8450	10400	3.55	100	4.20	352.51	38.00
13	6000	11600	5200	5.45	150	7.00	1064.9	24.00
14	12000	11600	10400	1.68	150	2.20	481.33	14.00
15	12000	8450	10400	1.80	100	2.10	305.13	19.00
16	6000	4590	5200	4.47	100	9.70	284.78	45.00
17	3000	4590	2600	1.60	100	3.50	464.33	18.00
18	3000	2010	2600	3.01	50	7.50	150.3	45.00
19	3000	1320	2600	3.34	50	12.70	104.16	89.00
20	6000	3337	5200	1.17	100	3.50	141.22	13.00

EK B



Şekil B.1. İki gizli katmandaki işlem elemanı sayısının değişiminin YSA tabanlı modelin performansına etkisi



Şekil B.2. Tek gizli katmandaki işlem elemanı sayısının değişiminin YSA tabanlı modelin performansına etkisi

EK C

Tablo C1. YSA Tabanlı Modelin Girdi Katmanı ile 1. Gizli Katmanı Arasındaki Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri

İşlem Elemanı	Girdi Katmanı ile 1. Gizli Katman Arasındaki Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri								
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
L	6.5672	0.1095	-1.0312	-0.9521	-2.0532	2.5211	-2.6775	-4.3086	5.3142
A_c	-3.5240	-6.4825	9.2199	5.3689	12.1905	-3.7110	4.2821	7.5213	5.2452
L_f	0.4246	8.2002	-6.9156	-2.1909	-2.4597	-4.1467	-6.4398	-2.6505	-1.0156
d	0.2632	-5.5427	-1.2486	-2.6869	4.4882	4.0774	4.8193	2.5216	-5.0722
b	3.4450	-0.3241	-3.6060	4.4470	5.4762	-4.9379	6.6937	-3.8752	0.7602
A_f/A_c	-0.3685	5.5123	1.5324	1.6668	-3.0913	-2.1408	0.3651	-8.2122	4.2413
P	-7.5079	18.3159	-4.3658	0.6043	-1.4876	0.2703	-10.1701	-0.4530	15.7330

Tablo C2. YSA Tabanlı Modelin 1. Gizli Katmanı ile 2. Gizli Katmanı Arasındaki Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri

İşlem Elemanı	1. Gizli Katman ile 2. Gizli Katman Arasındaki Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri						
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
1	-1.0081	2.2286	1.6477	-5.9098	-3.0414	-9.6247	0.4887
2	18.6814	-1.9211	3.2923	2.2834	1.1782	3.9011	-3.0544
3	-4.2920	0.9045	1.2125	0.7934	6.6154	-6.8497	-0.0708
4	-6.8060	2.6118	-2.8509	-1.3672	4.5120	-0.3695	-2.6979
5	-15.2929	2.1539	-3.3047	-2.5240	-0.7983	-3.4649	0.3401
6	3.5257	3.2636	0.7512	-0.7894	0.5585	3.7229	-2.0514
7	-6.6628	0.4462	2.0974	-0.5659	-0.7323	-4.1562	0.5646
8	1.2171	1.1955	-0.4196	3.0374	2.2360	-8.0194	0.3256
9	-4.9633	-1.5160	-2.6094	4.0599	-2.8042	11.2580	5.9596

Tablo C3. YSA Tabanlı Modelin 2. Gizli Katmanı ile Çıktı Katmanı Arasındaki Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri

İşlem Elemanı	2. Gizli Katman ile Çıktı Katmanı Arasındaki Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri
	W1
1	15.2545
2	1.9017
3	0.2742
4	7.1536
5	-9.0542
6	7.7803
7	-4.2876

Tablo C4. YSA Tabanlı Modelin Girdi Katmanı ile 1. Gizli Katmanı Arasındaki Bias Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri

İşlem Elemanı	Girdi Katmanı ile 1. Gizli Katman Arasındaki Bias Bağlantılarındaki Ağırlık Değerleri								
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
1	-3.4220	-5.5798	1.1173	-1.5065	-4.7160	3.6559	-0.8700	2.2425	-2.5874

Tablo C5. YSA Tabanlı Modelin 1. Gizli Katmanı ile 2. Gizli Katmanı Arasındaki Bias Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri

İşlem Elemanı	1. Gizli Katman ile 2. Gizli Katman Arasındaki Bias Bağlantılarındaki Ağırlık Değerleri						
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
1	4.9886	-10.3233	-2.8323	-0.7113	-1.4571	-0.6436	0.4697

Tablo C6. YSA Tabanlı Modelin 2. Gizli Katmanı ile Çıktı Katmanı Arasındaki Bias Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri

İşlem Elemanı	2. Gizli Katman ile Çıktı Katmanı Arasındaki Bias Bağlantılardaki Ağırlık Değerleri
	W1
1	-3.7045

EK D

YSA tabanlı değerlendirme modelinin MATLAB ortamında oluşturulan parametre değerleri.

```

gk=7;
ck=1;

%hk1=input('1. gizli katmanında kaç işlem elemanı ');
%hk2=input('2. gizli katmanında kaç işlem elemanı ');
%hk3=input('3. gizli katmanında kaç işlem elemanı ');
%hk4=input('4. gizli katmanında kaç işlem elemanı ');
%hk5=input('5. gizli katmanında kaç işlem elemanı ');

%nd=input('normalizasyon hangi aralıkta (0;1) (-1;1) min değerini giriniz ');

hk1=9;
hk2=7;

save mimari gk ck hk1
egitim

grd=egt(1:gk,:);
ckt=egt((gk+1):(gk+ck),:);

[cc dd]=size(ckt);

ma=ones(1,gk);
mi=0*(ones(1,gk)); % burada nd=0 girilmiştir
mima=[mi' ma'];

P=grd(1:1:cc,:);
T=ckt(1:1:cc,:);

net = newff(mima,[hk1 hk2 ck],{'logsig' 'logsig' 'logsig'});
net.trainFcn = 'trainscg';
net.trainParam.epochs = 50000;
net.trainParam.show = 150;
net.trainParam.goal = 0.000001;
net.performFcn = 'sse';
[net,tr] = train(net,P,T);
save ysa net

```