

## Türkiye Demiryolları Karbon Ayak İzinin Temel Bileşen Analizi Destekli Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmini

Ömer Faruk CANSIZ<sup>1</sup>, Kevser ÜNSALAN<sup>2\*</sup>

**ÖZET:** Günümüzün en büyük problemlerinden birisi çevresel kirleticiler ve etkileridir. Çevresel kirleticilerin tabanına inildiğinde birçok sektör inceleme altına alınmaktadır. Bu sektörlerden biriside tüm sektörler içindeki %19 pay ile ulaştırma sektörüdür. Ulaştırma sektörünün kolları incelendiğinde en fazla kirleticisi karayolu taşımacılığıdır. Bu nedenle ülkelerin genel politikası hem yük hem de yolcu taşımacılığında yakıt tüketimi tasarrufu sağlayan demiryolu ve denizyolu taşımacılığına yönelimdir. Yakıt tüketiminde tasarrufla birlikte CO<sub>2</sub> emisyonlarında da azalım meydana gelmektedir. Bu çalışmada Türkiye için demiryolu ulaşım modu kullanımının yıllara göre değişimi incelenmekte ve demiryolu taşımacılığı CO<sub>2</sub> salınımı için yapay sinir ağları (YSA) metodu kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Tahmin modellerinde, demiryolu taşımacılığı için demiryolu hattı uzunluğu, yolcu sayısı, taşınan yük miktarı, tren-kilometre, yolcu-kilometre ve ton-kilometre girdi verilerini oluşturmaktadır. Modeller girdilerin 2, 3, 4, 5 ve 6'lı kombinasyonlarına göre oluşturulmaktadır. Tahmin modellerinin hem performansın artırılması hem de kullanılan altı değişkenin etkisinin de modele girdirilmesi amacıyla temel bileşen analizi (TBA) ile yeni girdiler oluşturulmaktadır. Modellerin performans değerlendirilmesi sonucu en iyi tahmin modeli 2 değişkenli NPFA çıkmaktadır. Modelin hataların karesinin ortalaması (HKO), ortalama yüzde hata (OYH) ve korelasyon katsayısı (R) performans değerleri sırasıyla  $6,48 \times 10^{-5}$ , %0,125 ve %99,65'tir. Ayrıca TBA'nın modeller üzerine kayda değer etkileri görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolu emisyon, temel bileşen analizi, yapay sinir ağları

### Prediction of Carbon Footprint for Railway Transport Sector by Using Artificial Neural Network (ANN) Technique supported by principal component analysis (PCA)

**ABSTRACT:** One of the biggest problems of today is environmental pollutants and their effects. When the sources of environmental pollutants are examined, many sectors are under examination. One of these sectors is the transportation sector with 19% emission share in all sectors. When the modes of the transportation sector are examined, the most polluting is road transportation. Therefore, the general policy of the countries is to focus on rail and maritime transport, which saves fuel consumption in both freight and passenger transport. Along with saving in fuel consumption, CO<sub>2</sub> emissions also decrease. In this study, change of railway transport mode share are examined for Turkey and prediction models are created by using artificial neural networks (ANN) method for rail transport CO<sub>2</sub> emission. In the prediction models, six variables are examined: length of railways, the number of passengers, freight amount, train-kilometer, passenger-kilometer and ton-kilometer for railway transportation. The models are created according to the combinations of input variables with 2, 3, 4, 5 and 6 combinations. New inputs are created by using principal component analysis (PCA) in order to both increase performance and predict the effects of the six variables used in the model. As a result of the performance evaluation of the models, the best prediction model is NPFA which have 2 variables. Mean Square Error (MSE), Mean percentage error (MPE) and coefficient of correlation (R) performance values of the model are  $6.48 \times 10^{-5}$ , 0.125% and 99.65%, respectively. In addition, PCA has significant effects on models.

**Keywords:** Railway emission, principle component analysis, artificial neural network

<sup>1</sup> Ömer Faruk CANSIZ (Orcid ID: 0000-0001-6857-2513), İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

<sup>2\*</sup> Kevser ÜNSALAN (Orcid ID: 0000-0002-9163-4855), İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Kevser ÜNSALAN, e-mail: kevser.keskin@iste.edu.tr

## GİRİŞ

Birçok çalışma insan aktiviteleri sonucu meydana gelen sera gazı emisyonu yoğunluğunun arttığını ve buna paralel olarak Dünya yüzey sıcaklığının arttığını göstermektedir (Oreskes, 2004). Yüzey sıcaklığının artışı, canlı yaşam alanlarının tahribatı, bazı canlı türlerinin neslinin tükenmesi, doğal yaşam dengesinin bozulması gibi olumsuz sonuçları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle küresel ölçekte, sera gazı ölçümleri, izlenmesi, azaltmaya yönelik alınacak önlemler, izlenecek politikalar büyük önem arz etmektedir. Sera gazı emisyonları sektör bazlı incelendiğinde ulaştırma sektörü ilk üçte yer almaktadır (Soruşbay, 2007). Ulaştırma sektörü içerisindeki ulaşım modları bazında hava kirleticilerin de yer aldığı harici maliyetler karşılaştırıldığında, karayolu taşımacılığı demiryolu taşımacılığının yaklaşık 8 katına karşılık gelmektedir (Zhang ve ark., 2016). Bu durumda çevresel etkiler bazında karayolu taşımacılığı, demiryolu taşımacılığının oldukça gerisinde kalmaktadır. Taşımacılıkta her ne kadar ilk yatırım maliyetleri karayoluna göre elverişsiz olsa da demiryolu taşımacılığı, çevresel ve işletme maliyeti bakımından üstünlük göstermektedir.

Xiao ve ark. (2018) ulaştırma sektöründe izlenecek politikaların düşük maliyet tabanlı olmasının yanı sıra, düşük emisyonlu olmasının da altını çizmektedir. Van Fan ve ark. (2018) çevresel sürdürülebilirlik açısından farklı ulaşım modları ile geliştirilen senaryoların güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak, ulaşım modları bakımından inceleme yapmaktadır. Çalışma sonucundan seçilen bir ulaşım modu düşük sera gazı emisyonuna sahip olabilir, ancak hava kirleticileri göz önüne alındığında her zaman uygun bir ulaşım modu çıkmamaktadır. Yükün taşınmasında emisyon miktarı; taşıma modu, yakıt türü, taşıma kapasitesi ve taşıma mesafesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu da emisyonla ilgili ulaşım modu seçimini çok faktörlü karmaşık bir problem haline getirmektedir. Farklı ulaşım modlarındaki araç kapasite ve çeşitliliğinden kaynaklı olarak emisyon miktarlarının ölçülmesi ve izlenmesi oldukça güçtür. Bu nedenle taşıtların tek tek incelenmesinden ziyade emisyon değerleri hesaplamaya yönelik genel formüllerin çıkartılması izlenecek politikalar açısından büyük önem arz etmektedir. Tabii ki genel formüllerin çıkartılmasında ulaşım modu bazlı formüllerin çıkartılması, farklı araç tipi olmasına bağlı olarak oldukça önemlidir. Ulaşım sektörü karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hattı taşımacılığı olmak üzere beş ana moda ayrılmaktadır. Ülkemizde hem yolcu hem yük taşımacılığı bakımından en fazla kullanılan mod karayolu taşımacılığıdır. Enerji tüketiminin diğer türlere göre az olması, trafik probleminin olmaması, yük taşımacılığında kitle bakımından karayolu taşımacılığının önüne geçmesi, güvenli taşımacılığın yapılması gibi avantajlarının yanı sıra altyapı maliyetlerinin oldukça yüksek olması bakımından Türkiye’de demiryolu taşımacılığı gelişmemiştir. Fakat belli dönemlerde yapılan teşviklerle belli ilerlemeler kaydedilmiştir. 2000’li yılların başlarında yüksek hızlı tren hatlarına verilen teşvik ile beraber Türkiye’de demiryolu taşımacılığı bir ilerleme kaydetmiştir (Deniz, 2016). Demiryolu taşımacılığı emisyon kontrolü yapılmayan dizel motorla çalışan lokomotiflerden meydana gelmektedir. Demiryolu taşımacılığında egzoz gazı 450 farklı bileşenden meydana gelmekte ve ana bileşenleri nitrojen oksit, partiküler madde, uçucu organik bileşikler, ozon ve sülfür oksitlerdir (Dincer ve Elbir, 2007). CO<sub>2</sub>, sera gazı emisyonları içerisindeki payı ve havada kalış süresi bakımından incelenmesi gereken bir gaz türüdür. CO<sub>2</sub> üzerine yapılacak araştırmalar, sürdürülebilir ulaşımın koşullarından biri olan sera gazı tüketiminin azaltılması yönündeki adımların atılmasında bir basamak niteliğindedir.

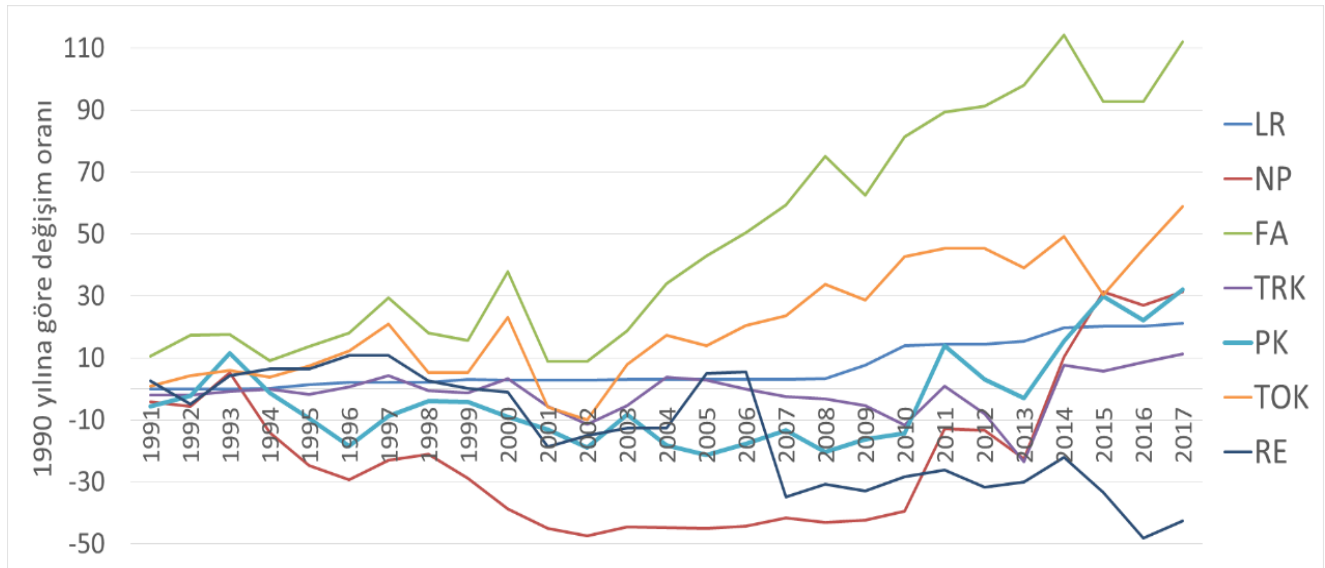
Bu çalışmanın amacı Türkiye’de Cumhuriyet’in ilanında büyük teşvik gören ve günümüzde de kalkındırma planları içerisinde yerinin daimi olduğu demiryolu taşımacılığında emisyon miktarının hesaplanmasına yönelik tahmin modellerine dayalı denklemler çıkartmaktır. Modeller, yapay sinir ağları tekniği kullanılarak oluşturulmaktadır. Ayrıca çalışmada ham veriler ile model oluşturmanın yanı sıra TBA ile yeni bileşenler oluşturularak modellerin performansının artırılması hedeflenmektedir. Tahmin modellerinin performans ölçümü HKO, OYH ve R ile ölçülmektedir.

## MATERYAL VE METOT

### Türkiye’de Demiryolu Taşımacılığı

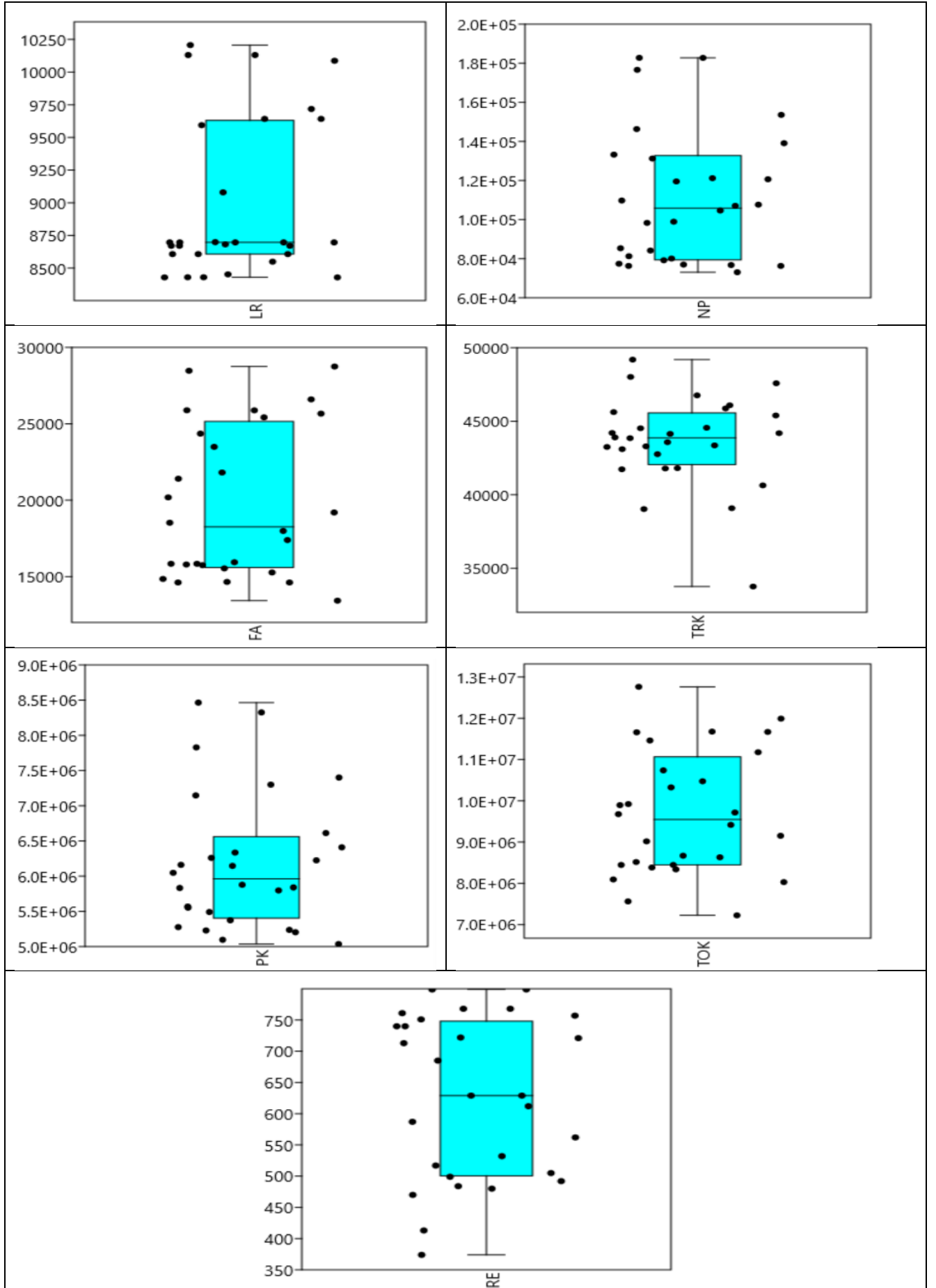
Bu bölümde Türkiye’de demiryolu taşımacılığına ait veri envanteri incelenmektedir. Bu kapsamda yıllara göre demiryolu hat uzunluğu (LR), yolcu sayısı (NP), taşınan yük miktarı (FA), tren-kilometre (TRK), yolcu- kilometre (PK), ton-kilometre (TOK) ve demiryolu taşımacılığı sonucu salınan CO<sub>2</sub> emisyonu (RE) incelenmektedir ([www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr); unfccc.int). LR, manevra ve istasyon hatları uzunluklarını kapsamamaktadır. TRK, bir tren için bir kilometreye karşılık gelen işletme hizmetidir. PK, demiryollarında bir yolcunun bir kilometre mesafe taşınmasında karşılık gelen trafik ölçütüdür. TOK ise bir ton yükün bir kilometre taşınmasıyla hesaplanan yük cinsinden trafik ölçütüdür ([www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)).

Şekil 1 de parametrelerin 1990 yılına göre artış veya azalış oranları verilmektedir. Değişkenlerin trendlerine bakıldığında problemin oldukça karmaşık bir problem olduğunu söylemek mümkündür. Demiryolu hattı uzunluğunun yıllara göre değişimi incelendiğinde 2008 yılına kadar durağan bir eğilim görülmektedir. 2000 li yılların başında hızlı tren hatlarına yatırım yapılmaya başlamasıyla birlikte 2008 yılından sonra demiryolu hat uzunluğunda bir ivmelenme gözlenmektedir. 2010 yılından sonra da yolcu sayılarında ciddi artışlar meydana gelmektedir. Türkiye’de 1990-2017 yılları arasındaki demiryolu yük taşımacılığı için 2000 yılına kadar istikrarsız dalgalanmalar görülmesinden sonra artan ivmelenmeler gözlenmektedir. Gelişen teknolojiye bağlı olarak halk dilinde kara tren olarak addedilen buharlı trenlerin yerini günümüz teknolojisine uygun yeni yüksek hızlı trenlerin almasına bağlı 2006 yılından sonra emisyon miktarında düşüş trendine girilmektedir.



Şekil 1. Parametrelerin 1990 yılına göre değişim oranları

Değişkenlerin özet istatistikleri Çizelge 1’de verilmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler üzerinde dönüşüm yapıp yapılmamasına karar vermek amacıyla Şekil 2 de verilen kutu grafiklerine, Çizelge 1’deki çarpıklık katsayısı ve z testi sonucu x değerlerine bakılmaktadır. Kutu grafikleri baz alındığında LR, NP, FA, PK, TOK değişkenleri sağa, TRK ve RE değişkenlerinin ise sola çarpık olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Kutu grafiklerindeki sağa ve sola çarpıklık, çarpıklık katsayısındaki negatif ve pozitiflikle de kendini göstermektedir. Z testi sonucu x değerlerine bakıldığında ise değerlerin -1,96 ile +1,96 arasında olması nedeniyle değişkenlerin normal dağılıma uygun davranış gösterdiği görülmektedir. Çalışma da hem değişkenleri daha çok normal dağılıma yaklaştırmak için hem de değişkenler arasındaki birim farklılıklarının tahmin modelleri üzerindeki negatif etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulanmaktadır.



Şekil 2. Değişkenlerin Box-Jitter Grafikleri

Çizelge 1. Değişkenlerin özet istatistikleri

|                            | <i>LR</i>  | <i>NP</i>            | <i>FA</i>            | <i>TRK</i> | <i>PK</i>              | <i>TOK</i>             | <i>RE</i>  |
|----------------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|------------------------|------------------------|------------|
| <i>N</i>                   | 28         | 28                   | 28                   | 28         | 28                     | 28                     | 28         |
| <i>Minimum</i>             | 8429       | 73088                | 13426                | 33755      | 5036000                | 7224000                | 374        |
| <i>Maksimum</i>            | 10207      | 182790               | 28747                | 49190      | 8465000                | 1,28x10 <sup>7</sup>   | 799        |
| <i>Ortalama</i>            | 8987,536   | 110726,4             | 19755,07             | 43609,54   | 6181426                | 9681405                | 625,3214   |
| <i>Standart hata</i>       | 115,7898   | 6459,074             | 931,7516             | 582,4202   | 181575,9               | 283955,2               | 24,57119   |
| <i>Varyans</i>             | 375403,9   | 1,17x10 <sup>9</sup> | 2,43x10 <sup>7</sup> | 9497974    | 9,23x10 <sup>11</sup>  | 2,26x10 <sup>12</sup>  | 16904,82   |
| <i>Standart sapma</i>      | 612,7021   | 34178,21             | 4930,366             | 3081,878   | 960809,6               | 1502550                | 130,0185   |
| <i>Medyan</i>              | 8697       | 105844               | 18256,5              | 43874,5    | 5963039                | 9546500                | 629        |
| <i>Çarpıklık</i>           | 1,029757   | 0,8289852            | 0,4847024            | -1,083702  | 1,025005               | 0,360409               | -0,2698898 |
| <i>Basıklık</i>            | -0,5640614 | -0,2757379           | -1,294554            | 2,888246   | 0,3115016              | -0,9319511             | -1,326729  |
| <i>Varyasyon katsayısı</i> | 6,817243   | 30,86726             | 24,95747             | 7,066982   | 15,54349               | 15,51996               | 20,79227   |
| <i>x (Z testi)</i>         | 0,0088933  | 0,0001283            | 0,0005202            | -0,001861  | 5,645x10 <sup>-6</sup> | 1,269x10 <sup>-6</sup> | -0,010984  |

RE ve bağımsız değişkenler arasında  $\alpha=0.05$  anlamlılık düzeyinde farklılık olup olmadığının testi için öncelikle varyansların homojenliği testine bakılmaktadır. Varyans homojenliği için F testinde Ho hipotezi,  $\sigma_1^2=\sigma_2^2$  ise varyanslar homojendir, değil ise heterojen olması üzerine kurulmaktadır. Çizelge 2 de varyans homojenliği test sonuçlarına göre her bağımsız değişkenin p değeri  $\alpha=0.05$  ve  $\alpha=0.01$  anlamlılık düzeyinde Ho hipotezinin red edildiği görülmektedir. Yani tüm değişkenler ve RE arasında varyanslar heterojendir. Varyansların heterojen olması durumuna göre değişkenler için t testi uygulanmaktadır. Çizelge 3 de t testi sonuçlarına göre hem  $\alpha=0.05$  hem de  $\alpha=0.01$  anlamlılık düzeyinde seçilen bağımlı değişkenler ve RE arasında önemli ölçüde fark olduğu görülmektedir. YSA yöntemi karmaşık problemlerin çözümünde, doğrusal istatistiksel tekniklere nazaran daha üstün performans göstermektedir (Tolon ve Tosunoğlu 2008). Bu nedenle YSA yönteminin modellemede veri setindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki anlamlı farklılığın üstesinden gelerek iyi bir modelleme yapacağı düşünülmektedir.

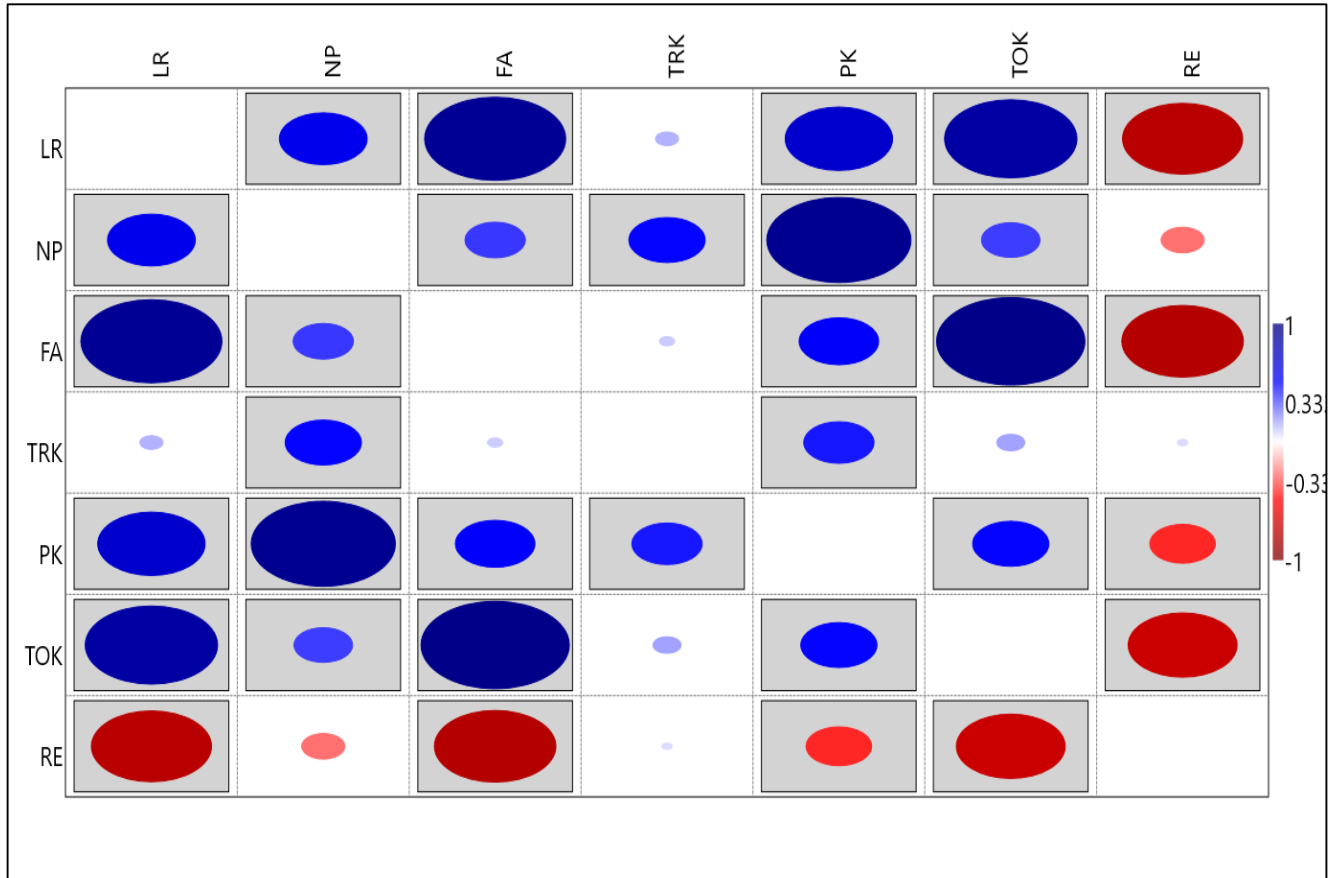
Çizelge 2. Varyansların homojenliği için F testi

|                            | <i>LR</i>              | <i>NP</i>              | <i>FA</i>              | <i>TRK</i>             | <i>PK</i>             | <i>TOK</i>             | <i>RE</i> |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| <i>Ortalama</i>            | 8987.536               | 110726.4               | 19755.07               | 43609.54               | 6181426               | 9681405                | 625.3214  |
| <i>Varyans</i>             | 375403.9               | 1.17x10 <sup>-9</sup>  | 24308508               | 9497974                | 9.23x10 <sup>11</sup> | 2.26x10 <sup>12</sup>  | 16904.82  |
| <i>Gözlem</i>              | 28                     | 28                     | 28                     | 28                     | 28                    | 28                     | 28        |
| <i>df</i>                  | 27                     | 27                     | 27                     | 27                     | 27                    | 27                     | 27        |
| <i>F</i>                   | 22.20692               | 69101.6                | 1437.963               | 561.8501               | 54608988              | 1.34x10 <sup>8</sup>   |           |
| <i>P(F&lt;=f) tek-üçlü</i> | 2.24x10 <sup>-12</sup> | 4.74x10 <sup>-59</sup> | 2.35x10 <sup>-36</sup> | 7.41x10 <sup>-31</sup> | 3.6x10 <sup>-98</sup> | 2.1x10 <sup>-103</sup> |           |
| <i>F Kritik iki-üçlü</i>   | 1.904823               | 1.904823               | 1.904823               | 1.904823               | 1.904823              | 1.904823               |           |

Çizelge 3. Varyansların heterojen olması durumuna göre t testi

|                                 | <i>LR</i>              | <i>NP</i>              | <i>FA</i>              | <i>TRK</i>             | <i>PK</i>              | <i>TOK</i>             | <i>RE</i> |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| <i>Ortalama</i>                 | 8987.536               | 110726.4               | 19755.07               | 43609.54               | 6181426                | 9681405                | 625.3214  |
| <i>Varyans</i>                  | 375403.9               | 1.17x10 <sup>9</sup>   | 24308508               | 9497974                | 9.23x10 <sup>11</sup>  | 2.26x10 <sup>12</sup>  | 16904.82  |
| <i>Gözlem</i>                   | 28                     | 28                     | 28                     | 28                     | 28                     | 28                     | 28        |
| <i>Öngörülen Ortalama Farkı</i> | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |           |
| <i>df</i>                       | 29                     | 27                     | 27                     | 27                     | 27                     | 27                     |           |
| <i>t Stat</i>                   | 70.6458                | 17.04583               | 20.52382               | 73.73716               | 34.03976               | 34.09263               |           |
| <i>P(T&lt;=t) tek-üçlü</i>      | 2.58x10 <sup>-34</sup> | 2.8x10 <sup>-16</sup>  | 2.64x10 <sup>-18</sup> | 5.61x10 <sup>-33</sup> | 5.14x10 <sup>-24</sup> | 4.93x10 <sup>-24</sup> |           |
| <i>t Kritik tek-üçlü</i>        | 1.699127               | 1.703288               | 1.703288               | 1.703288               | 1.703288               | 1.703288               |           |
| <i>P(T&lt;=t) iki-üçlü</i>      | 5.16x10 <sup>-34</sup> | 5.61x10 <sup>-16</sup> | 5.28x10 <sup>-18</sup> | 1.12x10 <sup>-32</sup> | 1.03x10 <sup>-23</sup> | 9.86x10 <sup>-24</sup> |           |
| <i>t Kritik iki-üçlü</i>        | 2.04523                | 2.051831               | 2.051831               | 2.051831               | 2.051831               | 2.051831               |           |

Değişkenler arasındaki çapraz korelasyon değerlerine göre RE ile LR, NP, FA, PK, TOK değişkenleri arasında negatif korelasyon ilişkisi görülmektedir. RE ve TRK arasında ise pozitif korelasyon ilişkisi vardır.  $\alpha=0.05$  anlamlılık düzeyinde RE ile NP ve TRK arasında anlamlı bir ilişki görülmemektedir.



Şekil 3.  $\alpha= 0,05$  anlamlılık düzeyine göre değişkenler arasındaki çapraz korelasyonları arasındaki ilişki

Çizelge 4. Değişkenler arasındaki korelasyon değerleri

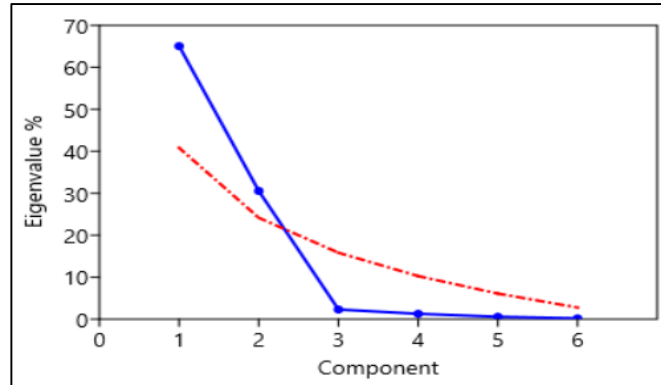
|            | <i>LR</i> | <i>NP</i> | <i>FA</i> | <i>TRK</i> | <i>PK</i> | <i>TOK</i> | <i>RE</i> |
|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| <i>LR</i>  |           | 0,5679    | 0,9123    | 0,1501     | 0,6948    | 0,8564     | -0,7773   |
| <i>NP</i>  | 0,5679    |           | 0,3910    | 0,4932     | 0,9325    | 0,3797     | -0,2799   |
| <i>FA</i>  | 0,9123    | 0,3910    |           | 0,1003     | 0,5145    | 0,9590     | -0,7861   |
| <i>TRK</i> | 0,1501    | 0,4932    | 0,1003    |            | 0,4550    | 0,1820     | 0,0687    |
| <i>PK</i>  | 0,6948    | 0,9325    | 0,5145    | 0,4550     |           | 0,4929     | -0,4252   |
| <i>TOK</i> | 0,8564    | 0,3797    | 0,9590    | 0,1820     | 0,4929    |            | -0,7047   |
| <i>RE</i>  | -0,7773   | -0,2799   | -0,7861   | 0,0687     | -0,4252   | -0,7047    |           |

## Metot

### Temel Bileşen Analizi (TBA)

Temel bileşen analizi (TBA) birbiriyle ilişkili değişkenler arasındaki ilişkiyi bozmadan değişkenlerin boyutunun azaltılmasında kullanılan bir dönüşüm metodudur (Yazar ve ark., 2009). Amaç çok boyutlu bir problemde boyutlar azaltılarak, problemi daha basite indirgemeye çalışmaktır. Bu metodun çalışmada kullanılma amacı 6 bağımsız değişkeni daha az değişkene indirgeyip boyut küçültme yoluna gidilerek, hem değişken sayısı azaltılıp problemin karmaşıklığı giderilmeye çalışılmakta hem de tüm değişkenlerin etkisi bileşenler sayesinde modele girdirilebilmektedir. TBA dönüşüm tekniğinde bileşenler en büyük varyans değerinden en küçüğüne doğru sıralanmaktadır. Hangi bileşenlerin dikkate alınacağına ise eigen değerlerinin kırılma noktalarına bakılarak karar verilmektedir. Bu çalışma da 6

bağımsız değişken için TBA yapıldığında ikinci temel bileşenden sonraki temel bileşenlerin katkısı yoktur (Şekil 4). PC1 ve PC2 temel bileşenlerini oluşturan bağımsız değişkenlerin oranlarına bakıldığında ise en etkili parametreler NP ve FA parametreleri çıkmaktadır (Çizelge 5).



Şekil 4. Temel bileşen analizinde eigen value değerlerinin değişimi

Çizelge 5. Bileşenler üzerindeki bağımsız değişkenlerin katkısı

|     | PC 1           | PC 2            | PC 3      | PC 4     | PC 5     | PC 6     |
|-----|----------------|-----------------|-----------|----------|----------|----------|
| LR  | 0.15021        | 0.11567         | -0.12653  | 0.24822  | -0.14863 | 0.9297   |
| NP  | <b>0.7112</b>  | <b>-0.56346</b> | -0.075714 | -0.39141 | -0.13025 | 0.028568 |
| FA  | <b>0.48327</b> | <b>0.68405</b>  | -0.083738 | 0.046738 | -0.46969 | -0.26215 |
| TRK | 0.073972       | -0.081105       | 0.9551    | 0.14589  | -0.22727 | 0.052846 |
| PK  | 0.36975        | -0.17883        | -0.077448 | 0.81757  | 0.334    | -0.21292 |
| TOK | 0.30967        | 0.4033          | 0.23027   | -0.30545 | 0.75969  | 0.13413  |

### Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA) birçok karmaşık problemin çözümünde üstün performans gösteren yapay zekâ tekniklerinden birisidir. Bir YSA modelinde, her girdi rastgele ağırlıklarla çarpılmakta, transfer fonksiyonundan geçirilmekte ve bir sonraki katmanın nöronlarına iletilmektedir. Bu işlem ağdaki katman sayısına bağlı olarak tekerrür etmektedir. Her katmanda ağ yapısını geliştirmek amacıyla ağırlıklar yenilenerek ağın öğrenmesi gerçekleştirilmektedir (Dal ve ark., 2019). Fakat ağırlıklar rastgele dağıtıldığı için YSA metodu kara kutu mantığı ile çalışmaktadır (Karayiannis ve Venetsanopoulos, 2013).

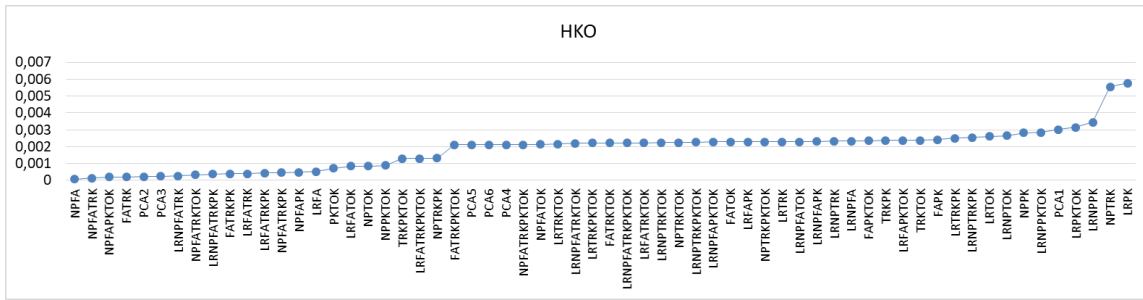
Bu çalışmada tek gizli katmana sahip ağ yapısı kullanılmaktadır. Ağın eğitilmesinde MATLAB eğitim algoritmalarından Levenberg-Marquardt backpropagation (LM) kullanılmaktadır. Modellerde LR, NP, FA, TRK, PK ve TOK modelin girdi değişkenlerini, RE ise çıktı değişkenini oluşturmaktadır. Modeller girdilerin normal dağılıma yakınsaması için ham değerlerinin logaritması alınarak 2, 3, 4, 5 ve 6 lı kombinasyonlarına göre oluşturulmaktadır. Buna ek olarak PCA analizinde elde edilen 6 bileşenin 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 lı kombinasyonlarına göre de YSA modelleri elde edilmektedir. YSA modellemesinde 1'den 20'ye kadar nöron sayısı değiştirilmektedir.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

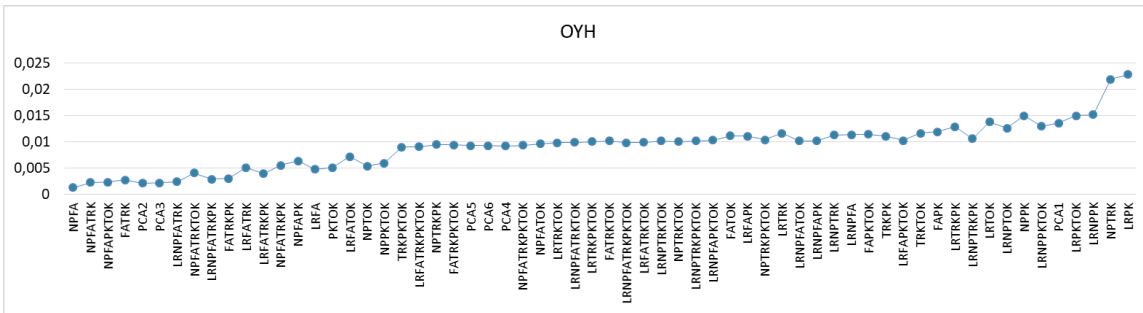
Çalışmada logaritmik transformasyon ve temel bileşenler kullanılarak elde edilen YSA tahmin modellerinin performans karşılaştırmaları Şekil 5-6-7'de verilmektedir. Performans grafikleri incelendiğinde en iyi performans  $6.48 \times 10^{-5}$  HKO, %0.125 OYH ve %99.65 R ile NPFA ikili modeli çıkmaktadır. Temel bileşen analizine göre oluşturulan tahmin modellerinin sonuçları incelendiğinde PC1 ve PC2 kullanılarak elde edilen tahmin modeli en iyi çıkmaktadır. Bileşen sayısı arttıkça model performansında azalma görülmektedir. Yalnız PC1 bileşeni kullanılarak oluşturulan tahmin modeli performans açısından diğer modellere kıyasla oldukça zayıf kalmaktadır. Bağımsız değişken sayısına göre model performansları incelendiğinde bağımsız değişken sayısı arttıkça model performansı düşmektedir. Fakat RE tahmin modellerinin oluşturulmasında en iyi performansa sahip değişkenler NP

ve FA olurken, bu değişkenleri sırasıyla TRK, PK, TOK takip etmektedir. YSA tahmin modellerinin geliştirilmesinde TBA'den elde edilen bileşenler ile geliştirilen tahmin modellerindeki yüksek performans oldukça göze çarpmaktadır.

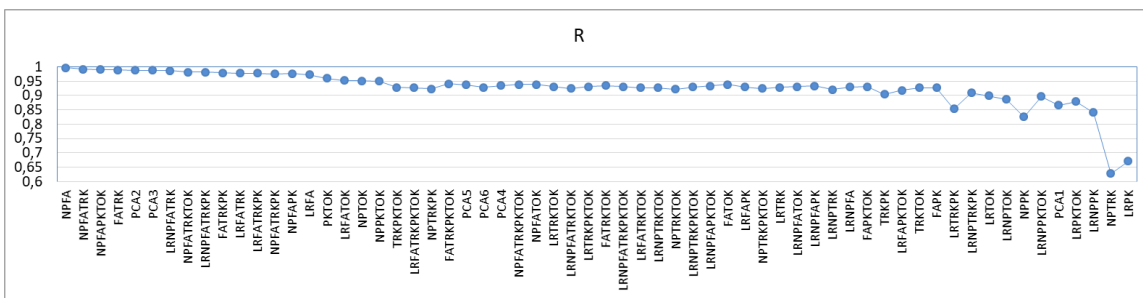
Çok fazla bağımsız değişkenin bulunduğu tahmin modellemelerinde TBA analizi gibi değişken sayısını azaltıcı tekniklerin kullanılarak modellemelerinin yapılması problemin karmaşıklığını azaltıcı bir faktör olarak düşünülmektedir. Aynı zamanda temel bileşen analizi ile değişkenler arasındaki ilişki incelendiğinde en etkili değişkenler NP ve FA değişkenleri modelleme yapmadan önce belirlenmişti. Modellerin performans sonuçlarında da görüldüğü gibi bileşenler üzerinde en etkili iki değişken olan NPFA modelinin en iyi performansı gösterdiği görülmektedir. Bu da TBA analizinin tahmin modellemesi yapmadan önce en etkili bağımsız değişkenlerin seçimine olanak sağladığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 5. YSA modellerinin HKO değerleri



Şekil 6. YSA modellerinin OYH değerleri



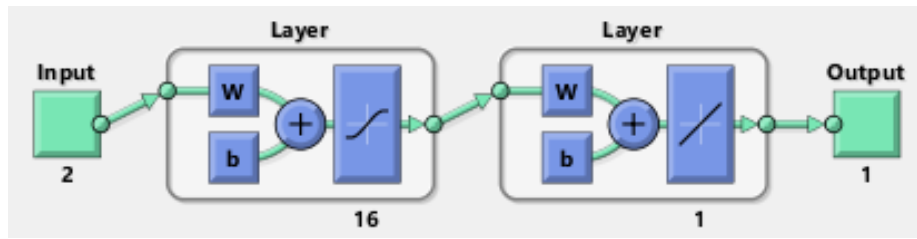
Şekil 7. YSA modellerinin R değerleri

En iyi RE tahmin modeli olan NPFA modelinin YSA denklemi denklem 1'de verilmektedir. NPFA modelinin ağ yapısı şekil 8 de verilmektedir. Ağ yapısında görüldüğü gibi gizli katmanında 16 adet nöron bulunmakta ve tanjant sigmoid (tan-sig) transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Çıkış katmanında ise purelin transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. NPFA modelinin eğitim ve test periyotlarına göre

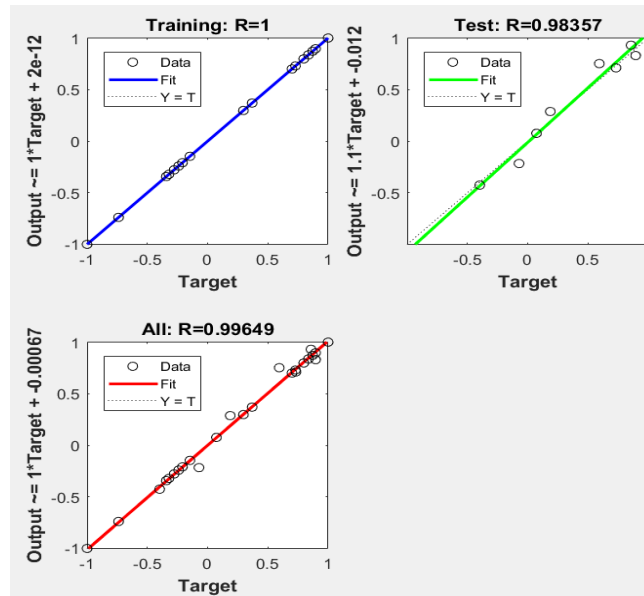


korelasyon grafikleri şekil 9 da görülmektedir. Modelin eğitim sonuçlarına göre korelasyon değeri 1 e çok yakın, test korelasyon sonucu ise %98.36'dur.

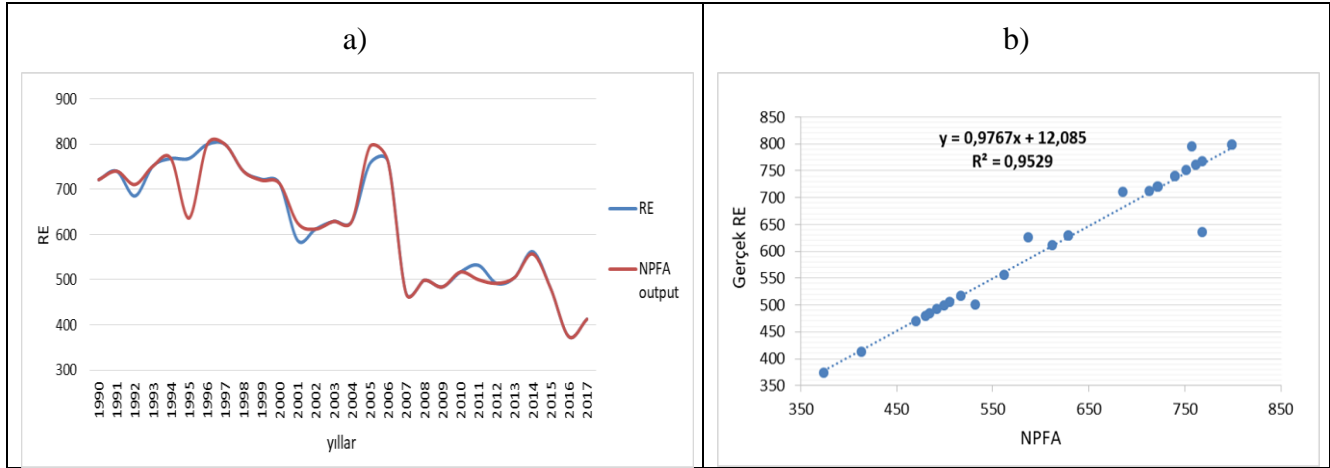
$$RE_{NPFA} = \text{purelin} \left( \tan \text{sig} \left( \begin{matrix} 1.994036 & 5.215574 \\ -5.03676 & 2.266094 \\ 1.463401 & 5.37914 \\ -3.78661 & 3.57178 \\ 4.724663 & -2.5748 \\ -2.03747 & -5.21219 \\ -4.57368 & 3.909126 \\ 2.18531 & 5.035987 \\ 2.684434 & -4.86377 \\ 5.593983 & -0.00525 \\ 3.773355 & 4.19583 \\ 3.632466 & -4.32738 \\ 4.133884 & 4.327839 \\ 4.774169 & -2.95724 \\ 3.078787 & 5.000776 \\ 4.437166 & 2.823398 \end{matrix} \right) \times \begin{matrix} NP \\ FA \end{matrix} + \begin{matrix} -5.60975 \\ 4.958566 \\ -4.16603 \\ 4.093303 \\ -3.1299 \\ 1.894023 \\ 0.417908 \\ -0.06919 \\ -0.13293 \\ 1.377772 \\ 1.070266 \\ 2.47194 \\ 3.896644 \\ 3.809431 \\ 4.750605 \\ 6.078471 \end{matrix} \right)^T \times \begin{matrix} 0.141782 \\ -0.08267 \\ -0.22877 \\ 0.753195 \\ 0.785767 \\ -0.36328 \\ 1.205014 \\ 0.423223 \\ 1.631616 \\ 1.043612 \\ -0.23453 \\ 0.432076 \\ -1.7565 \\ -1.38371 \\ 1.546094 \\ 0.526752 \end{matrix} + 0.154258 \quad (1)$$



Şekil 8. En iyi performansa sahip NPFA modelinin ağ yapısı



Şekil 9. NPFA modelinin eğitim ve test periyotlarına göre korelasyon dağılım grafikleri



**Şekil 10.** a) Gerçek RE değerleri ile NPFA modelinin çıktı değerlerinin karşılaştırılması b) Gerçek RE değerleri ile NPFA modelinin çıktı değerlerinin saçılım grafiği

NPFA model çıktılarının, gerçek RE değerleri ile karşılaştırması Şekil 10 da görülmektedir. NPFA model çıktıları genel olarak bakıldığında bir uyum içerisindedir. Fakat 1995, 2001, 2005, 2011 yılları test verisi olarak kullanılmasından kaynaklı olarak bu yıllarda sıçramalar meydana gelmektedir. Modelin eğitim ve test sonuçlarına göre model gücüne bakıldığında %95.29, gerçek RE değerleriyle olan uyumuna bakıldığında ise %99.65 korelasyon çıkmaktadır.

## SONUÇ

Çalışmada tahmin modellerinin oluşturulmasında TBA ile gelişim görülmektedir. Bileşenlerin boyut sayısı 2 de kırılma göstermektedir. Bu da tahmin modellerinin performans sonuçlarına açık bir şekilde yansımaktadır. Bileşenli YSA modellerine bakıldığında en iyi performans iki boyutlu da görülmektedir. Boyut sayısı arttıkça performans düşmektedir. Buna karşılık bileşenli tahmin modellerinde en kötü performans PCA 1 bileşenli modelde görülmektedir. TBA'ye göre oluşturulan modellerde en iyi performansı gösteren PC1 ve PC2 vektörlerini oluşturan parametrelerin yüzdelere bakıldığında en büyük yüzdelere NP ve FA parametrelerine aittir. Tüm model performans sonuçlarına bakıldığında en iyi model NPFA çıkmaktadır. Bu da demiryollarında karbondioksit emisyonunun hesaplanmasında en etkili girdilerin NP ve FA olduğunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Çalışmada TBA bileşenleri ve ham veriler ile yapılan tahmin modellemesinde TBA analizi bileşenlerinin modellemede olumlu yönde iyileşmeye sebep olduğu görülmüştür. Tahmin modellemelerinde boyut azaltmaya gidilerek daha iyi modellerin elde edileceği aşikârdır. Bu çalışma ile boyut azaltmanın etkisi ortaya konulmakta ve bunun yanı sıra bağımsız değişken seçiminde TBA analizinin yol gösterici olduğu açık bir şekilde ifade edilmektedir.

Türkiye demiryollarında karbondioksit emisyonunun incelenmesi açısından etkili parametreler boyutsal olarak incelendiğinde, tahmin modellerinin performans sonuçları boyutsal incelemenin ortaya koyduğu göstergeleri destekler niteliktedir. Performans sonuçlarına göre en iyi tahmin modeli NPFA çıkmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen model ile ölçümü zor olan demiryollarında emisyon tüketim miktarına yönelik literatüre genelleştirilmiş yeni bir denklem kazandırılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2018. Demiryolları Uzunluğu, Yük Taşımaları, Tren, Yolcu ve Ton Kilometre, [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1051](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051) (Erişim Tarihi: 28.01.2020)
- Anonim, 2018. Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2017, <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2019> (Erişim Tarihi: 02.02.2020)

- Dal K, Cansiz OF, Ornek M, Turedi Y, 2019. Prediction of Footing Settlements With Geogrid Reinforcement and Eccentricity. *Geosynthetics International*, 26(3): 1-12.
- Deniz T, 2016. Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler ve Mevcut Durum. *Eastern Geographical Review*, 20(36).
- Dincer F, Elbir T, 2007. Estimating National Exhaust Emissions from Railway Vehicles in Turkey. *Science of the Total Environment*, 374(1): 127-134.
- Karayiannis N, Venetsanopoulos AN, 2013. *Artificial Neural Networks: Learning Algorithms, Performance Evaluation and Applications*. Springer Science and Business Media, 209: 1-439.
- Oreskes N, 2004. The Scientific Consensus on Climate Change. *Science*, 306: 1686.
- Soruşbay C, 2007. Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. *Mühendis ve Makine*, 48(564): 22-26.
- Tolon M, Tosunoğlu NG, 2008. Tüketici Tatmini Verilerinin Analizi: Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analizi Karşılaştırması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2).
- Xiao LY, Dridi M, El Hassani, AH, Fei HY, Lin WL, 2018. An Improved Cuckoo Search for A Patient Transportation Problem with Consideration of Reducing Transport Emissions. *Sustainability*, 10: 1-19.
- Van Fan Y, Perry S, Klemes JJ, Lee CT, 2018. A Review on Air Emissions Assessment: Transportation. *Journal of Cleaner Production*, 194: 673-684.
- Yazar I, Yavuz HS, Çay MA, 2009. Temel Bileşen Analizi Yönteminin ve Bazı Klasik ve Robust Uyarlamalarının Yüz Tanıma Uygulamaları. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1): 49-63.
- Zhang R, ve Li P, 2016. Calculation of External Costs of Road And Railway Freight Transportation And Internalization. In *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*, 16: 2507-2522.