

## Demiryolları Yolcularının Tutum ve Davranışlarının Farklı İstatistiksel Yöntemler ile Modellenmesi

Halim Ferit BAYATA<sup>1</sup>, Hacer Nur SAĞLAM YÜREK<sup>1</sup>, Osman Ünsal BAYRAK<sup>2</sup>

**ÖZET:** Ülkemizde son yıllarda gelişim gösteren en önemli sektörlerden biri de ulaşım sistemleri olmuştur. Diğer ulaşım sistemlerine göre daha fazla olan yük ve yolcu kapasiteleri, demiryollarının önümüzdeki yüzyılda stratejik önemini artıracaktır. Tarihi İpek Yolu'nun (Pekin-Londra) tekrar hayata geçerek Bakü-Tiflis-Kars demiryolunun açılmış olması, bu ulaşım sınıfının ülkemizde ve uluslararası platformdaki jeopolitik önemini artırmıştır. Bu çalışmada, demiryolu bağlantı yollarının kesiştiği sekiz farklı ilde (Erzincan, Elazığ, Erzurum, Eskişehir, Kocaeli, İstanbul, Ankara, Sivas) 515 yolcu anketi yapılmıştır. Bu anketler, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarını (TCDD) kullanan yolcuların demiryolu hizmetlerinden faydalanırken beklentilerinin ve memnuniyet derecelerinin tespiti için yapılmıştır. Bunun tespit edilmesi amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise yolcuların tercih, tutum ve memnuniyet derecelerine göre demiryolu seyahat sıklığı talep modellemesi Yapay Sinir Ağları (YSA), Çok Değişkenli Regresyon (ÇDR) ve Bulanık Mantık (Fuzzy Logic-BM) yöntemleri yardımıyla modellenmiş, karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. AHP ile yapılan değerlendirmeler neticesinde, TCDD hizmetlerini kullanan yolcular için hizmetlerin genellikle yeterli olduğu, hizmet düzeyinin iyileştirmeden ziyade stabil olarak kalmasının uygun olacağı belirlenmiştir. YSA ve ÇDR ile modellemelere göre istatistiksel olarak YSA'nın daha başarılı bir yöntem olduğu belirlenmiştir. BM ile yapılan modellemede ise yolcuların üç ayda bir seyahat ettikleri anlaşılmış olup, tercih, önem ve memnuniyet tutumları değiştikçe seyahat sıklığının değiştiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolu yolcu taşımacılığı, istatistiksel modelleme, AHP, YSA, BM.

## Modeling of Attitudes and Behaviors of Railway Passengers with Different Statistical Methods

**ABSTRACT:** Transportation systems are one of the most important sectors that have developed in our country in recent years. Load and passenger capacities, which are higher than other modes of transport, will increase the strategic importance of railroads over the next century. The opening of the Baku-Tbilisi-Kars railway by the resurrection of the historic Silk Road (Beijing-London) have increased the geopolitical importance of this transportation class in our country and international platform. In this study, 515 passengers were surveyed on eight different provinces (Erzincan, Elazığ, Eskişehir, Erzurum, Kocaeli, İstanbul, Ankara, Sivas) where railway connection roads intersected. These questionnaires were done for the detection of benefiting the expectations and satisfaction levels of passengers using Republic of Turkey State Railways (TCDD). Analytic Hierarchical Process (AHP) method, which is one of the most criterion-based decision making methods, has been used for this purpose. In the second part of the study, railway travel frequency demand modeling based on passengers' preference, attitude and satisfaction ratings was modeled, compared and reviewed with the help of Artificial Neural Networks (ANN), Multivariate Regression (MR) and Fuzzy Logic (FL) methods. As a result of the evaluations made with the AHP, it was determined that the services for the passengers using TCDD services are generally sufficient and the level of service should be kept stable rather than improve them.

**Keywords:** Railway passenger transport, statistical modelling, AHP, ANN, FL.

<sup>1</sup> Halim Ferit BAYATA (0000-0001-8274-8888), Hacer Nur SAĞLAM YÜREK (0000-0001-7973-2498), Erzincan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

<sup>2</sup> Osman Ünsal BAYRAK (0000-0003-4039-1248), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Halim Ferit BAYATA, hfbayata@erzincan.edu.tr

## GİRİŞ

Ulaşım sektörü, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızlı bir gelişim göstermektedir. Ulaşım türlerinden demiryolunun kalkındırılması ve gereken talebi görmesi ülke ekonomisi, kaynakların daha iyi kullanılması, taşımada ve trafikteki yoğunluğun rahatlatılması, istihdam ve çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi açısından yüksek önem taşımaktadır.

Yolcuların TCDD hizmetlerinden yararlanırken, beklentileri anketler aracılığıyla ölçülmektedir. Aynı zamanda bu anket sonuçlarının değerlendirilmesi için de AHP, YSA, ÇDR, BM vb. gibi farklı birçok istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Tayyar, 2010; Tolon ve Tosunoğlu, 2008).

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin kullanılmasındaki amaç, alternatif ve parametre (kriter) sayılarının fazla olduğu durumlarda, karar verme mekanizmasını kontrol altında tutabilmek ve karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve çabuk elde etmektir (Gür ve ark., 2017; Herişçakar, 1999). Gursoy (2010), tekstil sektöründe çok türlü yük taşımacılığında, taşıma türü seçiminde etkili olan faktörleri belirlemek amacıyla AHP karar destekleyici bir model oluşturmuştur. Özuysal ve ark. (2016), mevcut bir transit hattın verimliliğini arttırmak adına transit sistemlerin yolcu akış tahmini ve karar destek modelini YSA ve ÇDR ile oluşturmayı amaçlamıştır. Yan ve Li (2014), Çin'de demiryolu yolcularının tercihlerini etkileyen faktörleri genetik algoritma ve YSA ile araştırmayı amaçlamıştır. Yue ve ark. (2011), Çin'de yüksek hızlı tren ile seyahat eden yolcuların tercih sebepleri üzerindeki etkileri belirlemeyi ve bir modeli YSA ile oluşturmayı amaçlamıştır. Topuz (2008), toplu taşıma yolculuk taleplerinin tahminine yönelik bir modeli YSA ve ÇDR ile oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışmanın sonucunda, YSA yönteminin, ÇDR'ye göre daha başarılı sonuçlar verdiği öne sürülmüştür. Keskin (2007), Trabzon'da üniversite öğrencilerinin seyahat etme sıklığı üzerinde rol oynayan faktörleri ÇDR ile belirlemeyi amaçlamıştır. Liu ve ark. (2009), Tayvan Yüksek Hızlı Raylı Sistemlerinin çevresel etki değerlendirilmesinde kalitatif insan düşünme sürecini etkileyen faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemlerin ile değerlendirilmesini yetersiz bularak BM yöntemi ile yeni bir karar destek modeli oluşturmayı amaçlamıştır. Kalić ve Teodorović (2003), seyahat talebinin tahmininde bilgi işlem tekniklerinin uygulanması için olanakları BM ve Genetik Algoritma ile incelemiştir.

Bu çalışmada, demiryolunu kullanan yolcuların önem verdikleri, zaman, konfor, fiyat, güvenlik, ulaşım, hijyen, personel olmak üzere yedi kriter baz alınmıştır. Kriterler AHP, YSA, ÇDR, BM yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Mevcut durum değerlendirmesi stabil, iyileştirme ve yenileme olarak belirlenmiştir. Tüm AHP süreci tamamlandıktan sonra, yedi kriter için mevcut durumun anket sahipleri için memnuniyet ve/veya memnuniyetsizliklerine bağlı olarak, TCDD'nin hangi kriterler için stabil kalması, hangi kriterler için iyileştirme yapması ya da hangi kriterler için yenileme yapması gerektiği araştırılmıştır. YSA, BM ve ÇDR ile de seyahat sıklığı talep modellemesi yapılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Çok Kriterli Karar Verme

Her bir insan için aynı karar probleminde karar ölçütlerinin önem düzeyi ve karar seçeneklerinin değerlendirilmesinde yargılar farklılık gösterebilmektedir. Bu tür karar problemlerinin çözümünde analitik hiyerarşi süreci daha etkin karar verme imkânı sağlayabilmektedir. AHP kompleks kararlar ile başa çıkmak için yapılandırılmış bir tekniktir (Tamer, 2012).

AHP'de karar vericinin amacı doğrultusunda faktörlerin ve faktörlere ait olan alt faktörlerin belirlenmesi ilk adımdır. Bu yöntemde öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda amacı etkileyen faktörler saptanmaya çalışılır. Bu aşamada karar sürecini etkileyen tüm faktörlerin belirlenebilmesi için anket çalışmasına veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurulmalıdır (Akay ve ark., 2004). AHP yönteminin; hiyerarşinin oluşturulması, ikili karşılaştırmalı değerlendirme ve önceliklerin (ağırlıklı puanların) hesaplanması olmak üzere üç aşaması vardır (Durdudiler, 2006). Hiyerarşinin oluşturulmasında öncelikle hedef belirlenmelidir. Belirlenen hedef doğrultusunda karar verilen kriterlerle, kriterler ise alternatiflerle ilişkilendirilmelidir.

### Yapay Sinir Ağları

YSA, beyin gibi çalışma prensibi olan işlemleri yerine getirmede farklı modeller tasarlayan bir sistemler bütünü şeklinde tanımlanabilir. Yapay sinir ağı, dışarıdan gelen girdilere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir. YSA paralel olarak bağlantılı ve çok sayıdaki basit

elemanın, gerçek dünyanın nesneleriyle biyolojik sınır sisteminin benzeri yolla etkileşim kuran, hiyerarşik bir organizasyonudur (Saraç, 2004).

YSA'larında verilerin transfer fonksiyonunun özelliğine göre veri setinin [0,1] aralığında ölçeklenmesi gerekmektedir. Eğitim verisi hazırlanırken normal dağılıma uygun hale getirilmiş (normalize) giriş ve çıkış değerleri kullanılır. Normalize edilmiş veriler, ağırlık eğitiminde sonra ters dönüşüme tabii tutularak gerçek seri değerlerine yakın bir değere ulaşması sağlanmalıdır. Ağırlık öğrenme algoritmasındaki en önemli etken performans fonksiyonudur. İleri beslemeli ağırlıklı performans fonksiyonu karesel ortalama hatadır (KOH). Uygulamalarda daha çok tanjant hiperbolik veya sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Lineer ve doğrusal olmayan transfer fonksiyonlarının kullanımı YSA'ların çok karmaşık problemlere uygulanmasını sağlamıştır (Sağıroğlu ve ark., 2003).

### Çok Değişkenli Regresyon

Bağımlı değişkeni, bağımsız değişkenlerden hangisi tarafından istatistiksel olarak da çok etkilediğini tespit etmek, çok değişkenli regresyon yönteminin amaçlarındandır. Eğer bağımsız değişken birden fazla ise bu sayıyı azaltarak, az sayıda parametre ile bağımsız değişkeni açıklamakta başka bir amacıdır. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında olan matematiksel bir modelle istatistik temellere dayandırılarak açıklanmaya çalışmak, bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişken için tahminlerde bulunmak çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin amaçları arasındadır (Alpar, 1997). Bayazit (2006)'ya göre bir rastgele değişken ile birden fazla rastgele değişkenler arasında istatistikî ilişkinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu rastgele değişkenin varyansının olabildiğince büyük kısmını açıklayacak şekilde belirlenecek bu ilişki (regresyon denklemi) ile söz konusu değişkenin bir olayda alacağı değer, bilinen diğer rastgele değişkenlere bağlı olarak tahmin edilecek ve tahminlerin güven aralıkları belirlenecektir.

Çok değişkenli regresyonda bağımlı veya bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilmektedir.

Normal dağılıma uygunluk için grafiksel görüntüler incelenebilir ve istatistiksel testlerle analiz edilir. Uygulamalarda genellikle Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve bu testte olasılık değeri %5 anlamlılık düzeyinden büyük ise  $H_0$  hipotezi reddedilir.  $R^2$  belirlilik

katsayı istatistik modellerinde bir belirleyici önemli bir kriterdir (Alpar, 1997). KOH ve Akaike Bilgi Kriteri (ABK) modelin optimum belirleme kriterlerinden olup, minimum değeri aldıkları durumda modelin en uygun model olduğu sonucuna varılır. Modelin tamamının istatistiksel olarak uygunluğunu test etmek için F testi uygulanır.  $F_{hesap} > F_{tablo}$  ve olasılıkları %5'ten küçük ise modelin tamamının uygun olduğu kabul edilir. Uygulamada t-testi ile model içinde bulunan bağımsız değişkenler ve sabit terimin katsayılarının istatistiksel olarak anlamlılıkları analiz edilir ve yine olasılıkların %5'ten küçük olması beklenir.

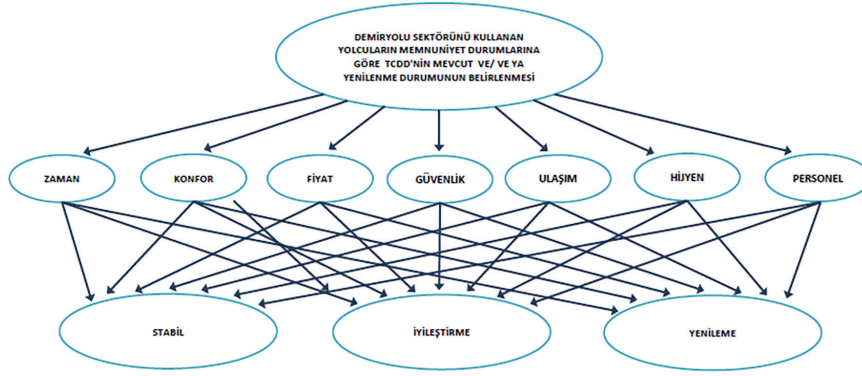
### Bulanık Mantık

Bulanık mantık, klasik ikili mantığın tamamen doğru ve tamamen yanlış doğruluk değerleri arasında yer alan "kısmen doğru" kavramını da kapsayacak şekilde genişletilmesi sonucunda ulaşılan bir üst kümedir. Çok net olmayan mantığa dayalı önermelerin, mantık süzgecinden geçirilerek incelenmesinin yapıldığı bir yöntem olarak tanımlanabilmektedir (Zimmermann, 2012). Günlük hayatta karşılaşılan bütün belirsizliklerin rastgele karakterde olduğu düşünülmektedir. Rastgele karakterde olan olaylar genelde şans faktörüne endeksli olarak yorumlanır, fakat karşılaşılan belirsizliklerin hepsi rastgele karakterde olmamaktadır. Rastgele karakterde olmayan bu tip sözel belirsizliklerin incelenip çözümlenmesi istatistik veya ihtimaller teorisi gibi yöntemler kullanılarak yapılamamaktadır. Söz konusu varlık, kümenin elemanı '1' değerini, elemanı değil ise '0' değerini almaktadır. Bulanık mantık ise klasik kümeyi kapsayan bir yöntem ve klasik kümenin bir bakıma genişletilmesi olarak tanımlanmaktadır (Şen, 2004).

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Yolcu Taşımacılığında Karar Kriterlerinin AHP Yöntemi İle Analizi Uygulaması

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yönteminde ilk aşamada TCDD yolcularının almış oldukları hizmet düzeyinin yeterlilik derecesi amaç olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu amaç doğrultusunda kriterlere karar verilmiş ve bu kriterler alternatiflerle ilişkilendirilerek hiyerarşi oluşturulmuştur (Şekil 1). Temel kriterlerin alternatiflere göre ağırlıklı yüzdelik değerleri oluşturulmuştur (Çizelge 1).



Şekil 1. AHP hedef, kriter ve alternatiflerin hiyerarşisi

Çizelge 1. 7 Temel kriterin, alternatiflere göre ağırlıklı yüzdelik değerleri

	Zaman	Konfor	Fiyat	Güvenlik	Ulaşım	Hijyen	Personel
Stabil	0.812	0.710	0.383	0.961	0.759	0.361	0.833
İyileştirme	0.165	0.282	0.477	0.033	0.204	0.227	0.130
Yenileme	0.023	0.008	0.140	0.006	0.037	0.412	0.037
Sütun toplamı	1	1	1	1	1	1	1

AHP yönteminde kriterlerin birbirlerine göre, göreceli olarak, ikili karşılaştırmaları yapılmıştır (Çizelge 2). Saaty (2008) tarafından geliştirilen ve ikili karşılaştırmalarda kullanılan ölçekte, kriterlere 1

ile 9 arasında değerler beş uzman mühendis tarafından verilmiştir. Bu değerler tayin edildikten sonra kriterler arası AHP matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 2. Kriterler arası AHP ikili karşılaştırmalar matrisi

	Zaman	Konfor	Fiyat	Güvenlik	Ulaşım	Hijyen	Personel
Zaman	1.000	0.200	0.333	0.143	2.000	3.000	5
Konfor	5.000	1.000	3.000	0.333	5.000	6.000	7
Fiyat	3.000	0.333	1.000	0.200	3.000	5.000	7
Güvenlik	7.000	3.000	5.000	1.000	5.000	7.000	9
Ulaşım	0.500	0.200	0.333	0.200	1.000	3.000	5
Hijyen	0.333	0.167	0.200	0.143	0.333	1.000	3
Personel	0.200	0.143	0.143	0.111	0.200	0.333	1
Sütun top.	17.033	5.043	10.010	2.130	16.533	25.333	37

Çizelge 3. Parametrelerin birleştirilmiş ağırlıkları

	Zaman	Konfor	Fiyat	Güvenlik	Ulaşım	Hijyen	Personel	AHP puanı	Sıra
Stabil	0.067	0.170	0.055	0.384	0.055	0.014	0.019	0.764	1
İyileştirme	0.014	0.068	0.068	0.013	0.015	0.009	0.003	0.190	2
Yenileme	0.002	0.002	0.020	0.002	0.003	0.017	0.001	0.046	3

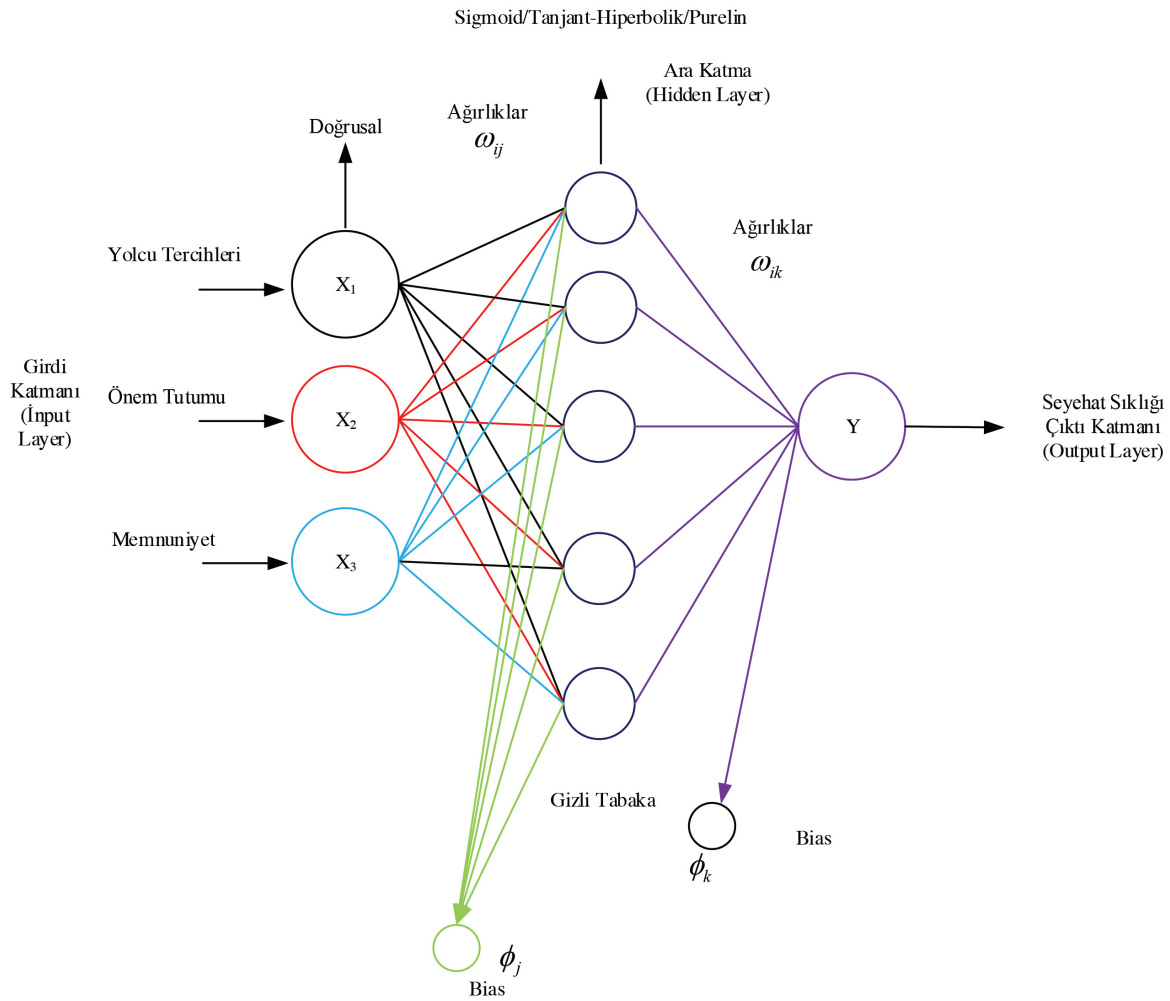
Demiryolu yolcu taşımacılığındaki tüm kriterlerin AHP puanları dikkate alındığında, “Güvenlik Kriteri” parametresi en önemli kriter olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Benzer şekilde, Hundal ve Kumar (2015) Hindistan Demiryolları için yaptığı çalışmada, güvenlik kriterini en önemli kriter olarak belirlemiştir.

### Seyahat Sıklığının YSA İle Modellenmesi

Şekil 2’de verilen ağ mimarisi ile TCDD ulaşım sistemini kullanan yolcuların önem, tercih ve memnuniyet durumlarına göre seyahat sıklığı YSA ile modellenmiştir. Anketlere verilen cevaplar sınıflandırılmış, normalize edilerek [0.1] ölçeğine dönüştürülmüştür. Matlab’de oluşturulan bir yazılım ile input tabakasında 3 nöron, çıktı tabakasında seyahat sıklığı tek nöron, gizli tabakadaki nöron sayısı ise

iterasyon ile optimize edilerek ağ mimarisi tasarlanmıştır. Bu yazılım, 1000 iterasyon yapan ve optimumum ağ mimarisi sonucunu transfer fonksiyonları (tansig-purelin-logsig), eğitim fonksiyonları (trainbr-trainlm) ve gizli tabakadaki nöron sayısı (1.2.3.4....n) arasında döngü yaparak tasarlamaktadır.

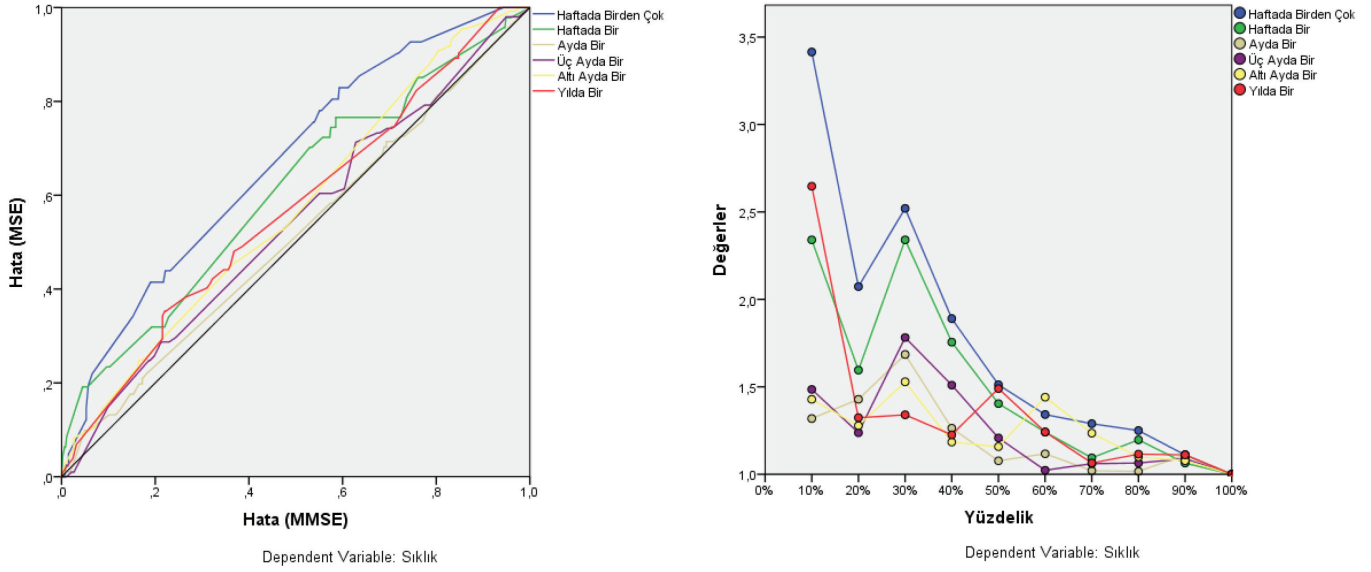
Yazılımın diğer özellikleri ise oluşturulan ağda performans belirleme kistası olarak ortalama karesel hatayı alması, iterasyon sayısını isteğe bağlı olarak değiştirebilmesi ve ağın eğitimini istenilen hassasiyette sonlandırabilmesidir (Bayata ve Hattatoğlu, 2010). Bu çalışmada kullanılan alternatif ağ yapıları, girdi - gizli - çıktı tabakasındaki nöron sayısı, eğitim fonksiyonu, tabakalardaki transfer fonksiyonları,  $R^2$ , KOH ve ABK değerleri de MS Excel programında okutulmuştur.



Çok tabakalı geri beslemeli en küçük kareler yöntemi

Şekil 2. YSA ağ mimarisi

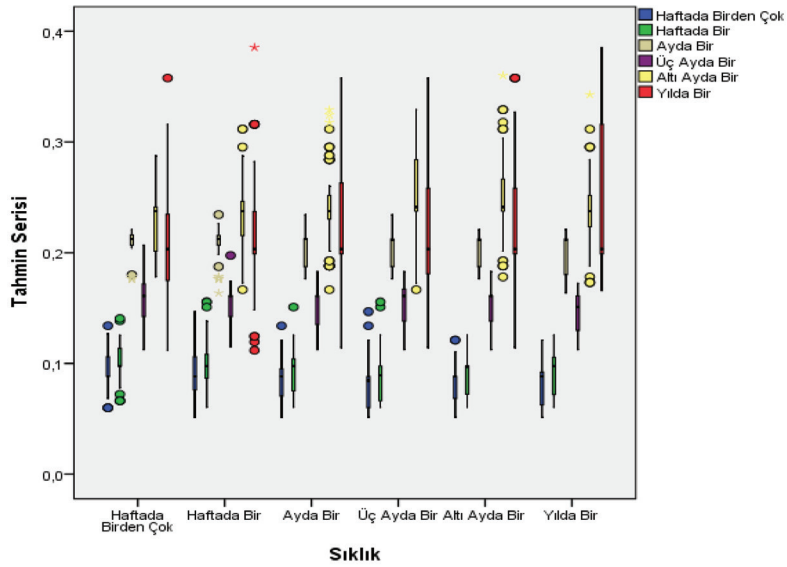




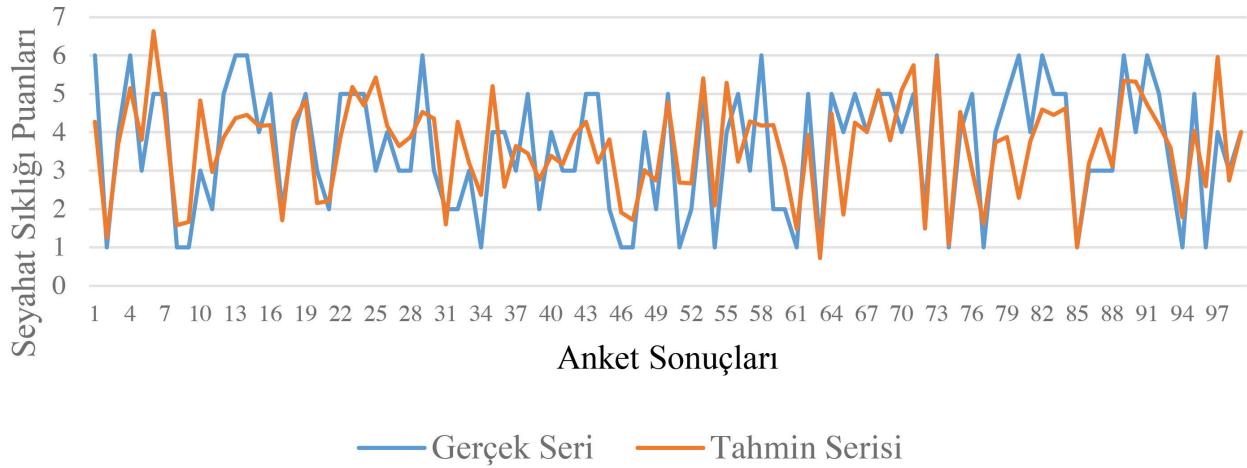
Şekil 3. YSA Seyahat sıklığı modeli sonucunda uyum grafikleri

Şekil 3 incelendiğinde seyahat sıklığına verilen cevapların ortalama hata değerlerinin YSA sonuçlarına göre dağılımı ve yüzdeler görülmektedir. Ağın

testi sonucu bulunan uyum ve serpilme grafikleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Tahmin serisi ile seyahat sıklığı dağılım grafiği



Şekil 5. Tahmin serisi ile seyahat sıklığı dağılım grafiği

Şekil 5'te ağız tahmin seri ile seyahat sıklığı orijinal serisinin uyum grafiği verilmiştir. YSA ile elde edilen modelin matris şeklinde gösterimi aşağıda denklem (1) ve (2)'de verilmiştir.

$$Y(t) = \{v\}_{1 \times 3} \left( \tan \text{sig} \left( [w]_{3 \times 2} \begin{bmatrix} p_i \\ r_j \end{bmatrix}_{2 \times 1} + \{\phi\}_{3 \times 1} \right) \right) + \{\phi_0\}_{1 \times 1} \quad (1)$$

$$Y(t) = [0.5745 \quad 0.2600 \quad 0.6449] \left( \tan \text{sig} \left( \begin{bmatrix} -0.5703 & 0.0519 \\ -0.2578 & 0.0235 \\ -0.6401 & 0.0589 \end{bmatrix}_{3 \times 2} \begin{bmatrix} p_i \\ r_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0443 \\ -0.0200 \\ -0.0497 \end{bmatrix} \right) \right) - [0.0768] \quad (2)$$

Matlab yazılımı sonucunda 985.iterasyonda optimum sonuç bulunmuştur. Giriş-gizli-çıkış tabakalarında tanjant sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı, gizli tabakada 8 nöronunun olduğu AIC değerinin (53.73246) minimum olduğu ağ yapısı en uygun ağ yapısı olarak bulunmuştur. KOH'nın en küçük olduğu bu ağ sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. YSA modeli için belirleme kriterleri

	Eğitim Seti	Test Seti		
Yöntem	R <sup>2</sup>	KOH	R <sup>2</sup>	KOH
YSA	0.74	0.0259	0.79	0.02187

### Çok Değişkenli Regresyon

TCDD yolcularının tercih sebepleri, önem tutumları ve memnuniyet davranışları puanlarının seyahat sıklığı üzerindeki etkilerine ait analiz ve sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 5.** TCDD yolcularının tutum ve davranış düzeylerine ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları

Seyahat Sıklığı	B	SHb	$\beta$	t	p
Sabit	3.467	0.205		16.897	0.000
Tercih	0.234	0.035	0.275	6.611	0.000
Memnuniyet	0.534	0.028	0.458	3.456	0.000
Önem	-0.166	0.036	-0.189	-4.549	0.000
R=0.65 R <sup>2</sup> =0.42	p=0.000				

Yolcuların memnuniyetlerinin, tercih ve önem tutumları üzerindeki etkisi incelendiğinde (Çizelge 5), tercih ve önem tutumu puanlarının, memnuniyetin (R<sup>2</sup>=0.42) toplam varyansının yaklaşık olarak %42'sini açıkladığı görülmektedir. Regresyon eşitliği incelendiğinde ise tercih ölçeğindeki bir

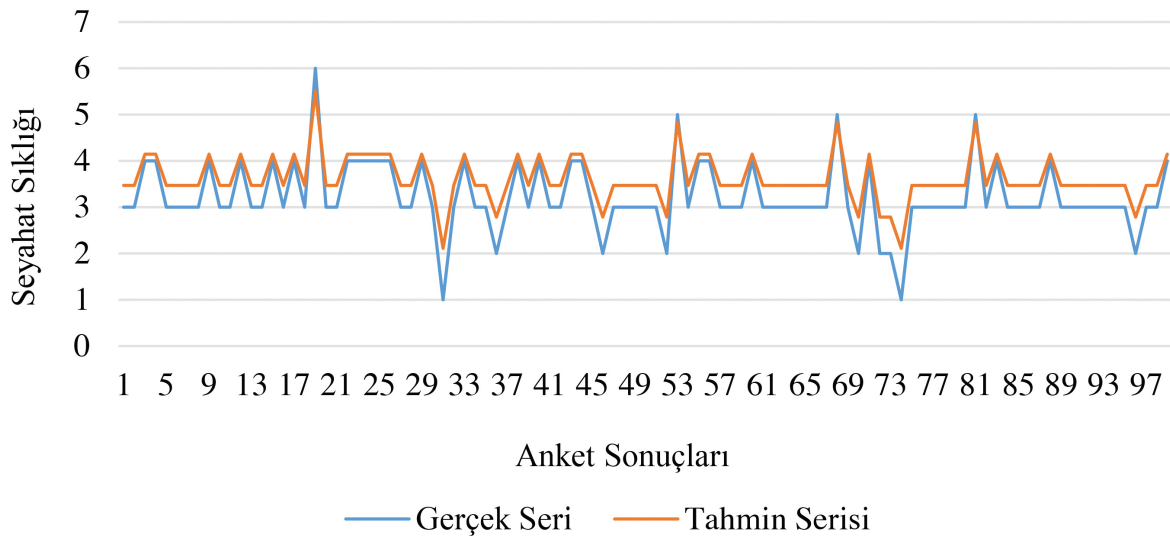
birimlik artışın seyahat sıklığında 0.234'lük bir artışa, önem tutumu ölçeğindeki bir birimlik artışın seyahat sıklığında -0.166'lık bir azalışa, memnuniyet ölçeğindeki bir birimlik artışın seyahat sıklığında 0.534'lük bir artışa neden olduğu görülmektedir (Denklem (3), (4)).

$$y = \beta + ax_1 + bx_2x + cx_3 \quad (3)$$

$$y = 3.467 + 0.534x_1 + 0.234x_2 - 0.166x_3 \quad (4)$$

Regresyon denklemi incelendiğinde model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (F=34.813; p<0.05). Modeldeki bağımsız değişkenlerin katsayıları ve sabit terim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş

model geçerli sayılmıştır (t=16.897; p<0.05). (t=-4.549; p<0.05) (t=3.456; p<0.05). (t=-4.549; p<0.05). Şekil 6'da ÇDR uygulaması sonucu uyum grafiği verilmiştir.

**Şekil 6.** ÇDR Uygulaması gerçek seri ile tahmin serisi uyum grafiği



### Bulanık Mantık

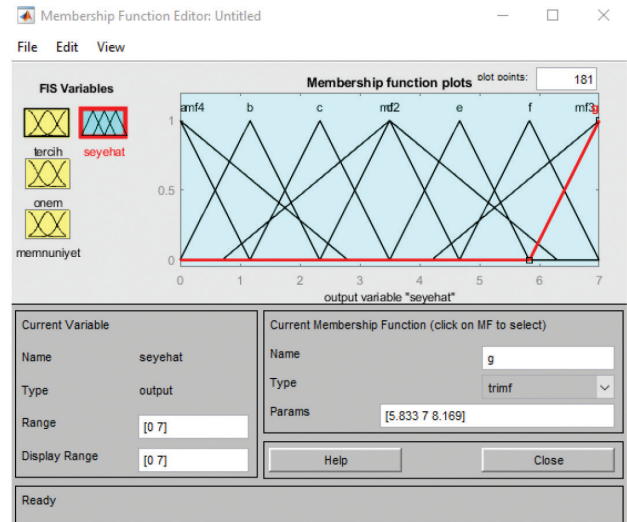
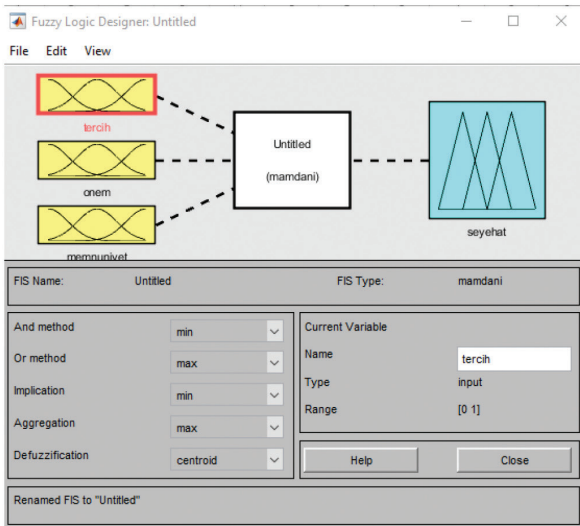
Problemi tanımlamak amacıyla, yolcuların seyahat sıklığını belirlemek için bir fuzzy kontrolör yapısı oluşturmak istenmiştir (Çizelge 6). Seyahat sıklığını

etkileyen üç davranış ve tutum etmeni bulunmaktadır. Tercih, önem, memnuniyette verilen cevapların seyahat sıklığını nasıl etkilediği, bulanık mantık yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çizelge 6. Bulanık mantık kontrolör yapısı (kural tablosu)

Tercih	Önem					Memnuniyet
	1 Kesinlikle Katılmıyorum	2 Katılmıyorum	3 Kararsızım	4 Katılıyorum	5 Kesinlikle Katılıyorum	
1 Kesinlikle Katılmıyorum	g	g	g	f	f	5 Hiç Memnun Değilim
2 Katılmıyorum	g	f	e	e	f	4 Memnun Değilim
3 Kararsızım	e	e	d	d	c	3 Kararsızım
4 Katılıyorum	d	c	c	b	b	2 Memnunum
5 Kesinlikle Katılıyorum	c	b	b	a	a	1 Çok Memnunum

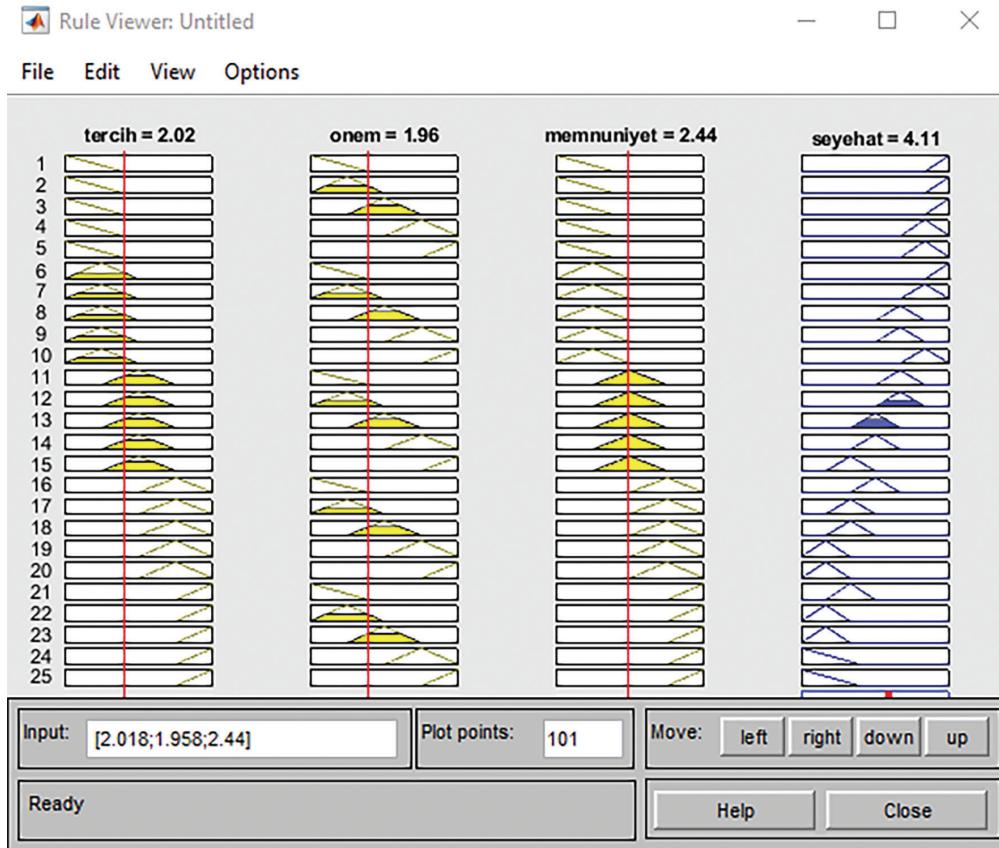
Burada; haftada birden çok “a”, haftada bir “b”, ayda bir “c”, üç ayda bir “d”, altı ayda bir “e”, yılda bir “f”, diğer “g” olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 7. Üyelik fonksiyon editörü

Cevap şıklarına göre (Kesinlikle katılıyorum, katılmıyorum, kararsızım, katılıyorum, kesinlikle katılıyorum) şeklinde 5 adet üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Üçgensel bir üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 7). Range kısmını seyahat sıklığı

0-7 arasında sınıflandırıldığı için bu yönde bir seçim yapılmıştır. Üyelik fonksiyonu eğimleri ile ilgili herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Kural tablosu (Çizelge 5) eklenerek işlemlere devam edilmiştir.



Şekil 8. Ağırlık merkezi yöntemi ile bulanık mantık sonuç penceresi

Şekil 8’de ağırlık merkezi yöntemi ile BM sonuç penceresinde tercih, önem ve memnuniyete verilen cevaplar sonucunda seyahat sıklığındaki değişim görülmektedir.

## SONUÇ

Bu çalışmada, AHP hesaplamaları sonucunda, kriterlerin önem derecelerine tutarlılık analizi uygulanmıştır. Analizin 0.1’in altında çıkması sonucu, kriterlerin önem derecelerinin tutarlı ve doğru olduğu saptanmıştır. Yedi farklı kriterlere göre stabil, iyileştirme

ve yenileme sonuçları incelendiğinde yolcuların TCDD hizmetlerinden hijyen ve fiyat kriteri hariç diğer tüm kriterlerden memnun oldukları sonucuna varılmıştır. Yani hizmetlerde iyileştirme veya yenileme istenmediği, stabil olarak devam etmesi anlaşılmıştır. Topuz (2008) çalışmasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

YSA ile ÇDR yöntemleri karşılaştırılmış, istatistiksel olarak YSA’nın daha anlamlı bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. YSA yönteminde  $R^2$  daha yüksek, KOH daha düşük, AIC daha düşük bulunmuş, uyum grafiğinin ise daha uygun olduğu görülmüştür. Bayata ve Hattatoğlu (2010) benzer sonuçlar elde etmiştir.

Çizelge 7. Yöntem karşılaştırmaları

Yöntem	Değerlendirme Kriterleri		
	$R^2$	KOH	AIC
YSA	0.74	0.0259	53,73
ÇDR	0,42	0,35	-23,74

BM yöntemi ile seyahat sıklığı incelenmiş olup, TCDD yolcularının önem, tercih ve memnuniyet kriterlerine vermiş oldukları cevapların, seyahat sıklığını etkilediği görülmüştür.

Düşük yoğunluklu cevapların seyahat sıklığını azalttığı, yılda bir hatta daha az bir sıklıkla TCDD'yi

tercih ettikleri anlaşılmıştır. TCDD'den memnun olan yolcuların öneme verdikleri cevaplardaki pozitif artış, tercih kriterine verdikleri olumlu cevapların ve memnuniyet derecesindeki artışların, seyahat sıklığını (ayda bir, hafta bir, haftada birden çok) olumlu yönde artırdığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Akay A, Karas I, Sessions J, Yuksel A, Bozali N, Gundogan R, 2004. Using high-resolution digital elevation model for computer-aided forest road design. Paper presented at the The Proceedings for XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Istanbul, Turkey, July.
- Alpar R, 1997. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş-I: Bağırhan Yayınevi.
- Bayata HF, Hattatoğlu F, 2010. Yapay Sinir Ağları Ve Çok Değişkenli İstatistik Yöntemlerle Trafik Kaza Modellemesi. Erzincan University Journal of Science and Technology: 3(2), 207-219.
- Bayazit M, 2006. Çok değişkenli istatistik analiz ve hidrolojide uygulamaları: Su Vakfı.
- Durdudiler M, 2006. Perakende Sektöründe Tedarikçi Performans Değerlemesinde AHP ve Bulanık AHP Uygulaması.
- Gursoy M, 2010. A method for transportation mode choice. Scientific Research and Essays: 5(7), 613-624.
- Gür Ş, Hamurcu M, Eren T, 2017. Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences: 23(4).
- Herişçakar E, 1999. Gemi ana makine seçiminde çok kriterli karar verme yöntemleri ahp ve smart uygulaması. Gemi inşaatı ve deniz teknolojisi teknik kongresi: 99, 240-256.
- Hundal BS, Kumar V, 2015. Assessing the Service Quality of Northern Railway by using SERVQUAL Model. Pasific Bussiness Review International: 8(2), 82-88.
- Kalić M, Teodorović D, 2003. Trip distribution modelling using fuzzy logic and a genetic algorithm. Transportation Planning and Technology: 26(3), 213-238.
- Keskin D, 2007. Üniversite Öğrencilerinin Ulaşım Tercihleri Üzerinde Etkili Olan Faktörlerin Belirlenmesi: Karadeniz Teknik Üniversitesi Örneği. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi(28).
- Liu KF, Liang H, Yeh K, Chen C, 2009. A qualitative decision support for environmental impact assessment using fuzzy logic. Journal of Environmental Informatics: 13(2).
- Özuysal M, Çalışkanelli SP, Tanyel S, 2016. Otobüs duraklarındaki yolcu iniş-biniş zamanları üzerine bir tartışma. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences: 22(6).
- Saaty TL, 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences: 1(1), 83-98.
- Sağiroğlu Ş, Beşdok E, Erler M, 2003. Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-1: Yapay sinir ağları: Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık.
- Saraç T, 2004. Yapay Sinir Ağları, Seminer Projesi. Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Şen Z, 2004. Mantık ile Modelleme Prensipleri. İstanbul, Türkiye, Su Vakfı Yayınları.
- Tamer E, 2012. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Bursiyer Seçimi: Bir Eğitim Kurumunda Uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi: 26(3-4).
- Tayyar N, 2010. Müşteri Memnuniyeti Tahmininde Yapay Sinir Ağları, Lojistik Regresyon Ve Ayırma Analizinin Performanslarının Karşılaştırılması. Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences: 15(1).
- Tolon M, Tosunoğlu NG, 2008. Tüketici Tatmini Verilerinin Analizi: Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analizi Karşılaştırması. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi: 10(2), 1-13.
- Topuz S, 2008. İstanbul İlindeki Toplu Taşıma Yolculuk Taleplerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yan X, Li J, 2014. Analysis on predict model of railway passenger travel factors judgment with soft-computing methods. Journal of Industrial Engineering and Management: 7(1), 100-114.
- Yue G, Jing L, Yuhang F, 2011. High-Speed Railway Passengers' Choices Of Travel Forecast Based On Matlab Neural Network. Paper presented at the ICEIS 2011 - 13th International Conference on Enterprise Information Systems, Beijing, China.
- Zimmermann H-J, 2012. Fuzzy sets, decision making, and expert systems (Vol. 10): Springer Science & Bussiness Media.