



## ATIK KÖMÜR KATKILI ASFALT BETONU PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI VE MERKEZİ KOMPOZİT TASARIM YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Burak Yiğit KATANALP<sup>1\*</sup>, Zeynel Baran YILDIRIM<sup>1</sup>, Murat KARACASU<sup>2</sup>, Turgay İBRİKÇİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

<sup>3</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Yapay sinir ağları,  
Merkezi kompozit tasarım,  
Marshall tasarımı,  
Asfalt betonu,  
Atık kömür.*

### Öz

Bu çalışmada atık kömür katkı modifiye bitüm kullanılarak Marshall tasarımı ile hazırlanmış asfalt betonu numunelerinin performans karakteristikleri deneysel tasarım yöntemlerinden Merkezi Kompozit Tasarım (MKT) ve Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Her iki modelin tahmin ettiği performans değerleri karşılaştırılmıştır. MKT yönteminin optimum olarak belirlediği koşullarda doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca optimum deney koşulları YSA giriş parametresi olarak tanımlanmış ve ağın ürettiği çıktılar ile doğrulama deney sonuçları % 95 güven aralığının alt ve üst limitleri arasında incelenmiştir. MKT ve YSA modellerinin yanıt değişkenleri üzerindeki tahmin değerleri sırası ile %84.8 - 94.3 - 89.65 - 47.1 olarak elde edilmiştir. Kullanılan modeller karşılaştırıldığında MKT ve YSA tahminlerinin tamamının, doğrulama deney sonuçlarının ise %91.67 nin belirlenen güven aralıklarında kaldığı gözlemlenmiştir. Kullanılan her iki yöntemin ürettiği çıktılar sayesinde Marshall tasarımı performans değerlerinin belirlenmesi için üretilmesi gereken numune sayılarının azalacağı düşünülmüştür. Böylece zaman tasarrufu ve ekonomik kazançların sağlanabileceği belirlenmiştir.

## COMPARISON OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF WASTE COAL MODIFIED ASPHALT CONCRETE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND CENTRAL COMPOSITE DESIGN METHODS

### Keywords

*Artificial neural networks,  
Central composite design,  
Marshall design,  
Asphalt concrete,  
Coal waste.*

### Abstract

In this study, the performance characteristics of the asphalt concrete samples prepared with Marshall design, using coal waste modified bitumen, were estimated by using Central Composite Design (CCD) and Back Propagated Artificial Neural Network (ANN) model. Verification tests were carried out under optimum conditions determined by CCD method. In addition, the optimum experimental conditions were defined as the input parameter of ANN and the results of the validation test with the outputs produced by the network were examined between the upper and lower limits of the 95% confidence interval. The estimation values on response variables of MKT and ANN models were obtained as 84.8 - 94.3 - 89.65 - 47.1%, respectively. Compared both of the models used in the study, it was observed that both all of the CCD and ANN predictions and 91.67% of validation test results were within observed confidence intervals. Due to the outputs produced by both methods, it is thought that the number of samples that should be produced in order to determine the Marshall performance values will decrease. Thus, it was determined that time savings and economic gains could be achieved.

### Alıntı / Cite

Katanalp, B.Y., Yıldırım, Z.B., Karacasu, M., İbrıkçi, T., (2019). Atık Kömür Katkılı Asfalt Betonu Performans Karakteristiklerinin Yapay Sinir Ağları ve Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 680-688.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
B. Y. Katanalp, 0000-0002-7172-8192	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	11.01.2019
Z. B. Yıldırım, 0000-0003-4068-7161	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	26.03.2019
M. Karacasu, 0000-001-9721-0984	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	10.05.2019
T. İbrikçi, 0000-0003-1321-2523	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	15.09.2019

## 1. Giriş

Geçmişten günümüze birçok uygarlık tarafından kullanılmış olan asfalt insanlık tarihinin en eski yapı malzemelerinden biri olarak kabul görmektedir. Tarihte önceleri hava ve su yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılan asfalt daha sonraki dönemlerde ilerleyen teknolojik gelişmeler ile beraber modern yolların inşasında sıklıkla kullanılan bir bağlayıcı malzeme haline gelmiştir (İsfalt, 2002).

Yol kaplamalarında asfalt betonu kullanımının yaygınlaşması, asfalt betonunun performans özelliklerinin araştırılmasını ve bu konuda gerekli görülen iyileştirmelerin yapılmasını da zaruri hale getirmiştir. Asfalt betonunun istenilen performansı karşılaması için karışım hazırlanırken çeşitli tasarım yöntemlerinden faydalanılmakla beraber bunlar arasında en yaygın olanın Marshall metodu olduğunu ifade etmek mümkündür (Önal ve Karaca, 1984).

Geleneksel tasarım yöntemleri ile hazırlanan asfalt betonu numunelerinin istenilen performans özelliklerini karşılaması için ve karışım hazırlanırken ekonomik maliyetleri azaltmak amacı ile karışım içerisine sıklıkla çeşitli katkı malzemeleri eklenmektedir. Özellikle son yıllarda gerek çevresel olumlu etkileri gerekse maliyeti düşürücü etkileri göz önüne alındığında asfalt karışımların performans özelliklerinin artırılması için atık malzemelerin kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Literatürde atık kullanımının asfalt karışımın performans özelliklerine etkisini inceleyen birçok çalışma yer almaktadır (Çelik, 2001; Çetin ve Tuncan, 1997; Eriskin ve Karahancer, 2017; HınısHoğlu ve Açar, 2004; Huang vd., 2007; Keskin ve Karacasu, 2018).

Literatürde asfalt karışımlarda kullanılan katkıları üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların deneysel içeriklerinin fazla olduğu görülmektedir. Farklı oranlarda katkıların kullanımı ve her oran için ayrı ayrı deneysel çalışmaların yapılması gerekliliği zamansal açıdan kayıp oluşturmaktadır. Bu sebeple tasarım öncesinde uygulanan deneysel tasarım optimizasyon yöntemleri iş yükünü azaltarak verilerin analizinde kolaylık sağlamaktadır.

Tortum vd. (2005) atık lastiklerin asfalt karışımlar içerisinde kullanımını araştırmış ve optimum kullanım oranını belirlemek için Taguchi optimizasyon yönteminden faydalanmışlardır. Zhang vd. (2010) polipropilen ve atık lastik tozu katkılarının, deneysel tasarım yöntemleri ile hazırlanmış bitümlü karışımın mekanik özelliklerine etkisini YSA ile

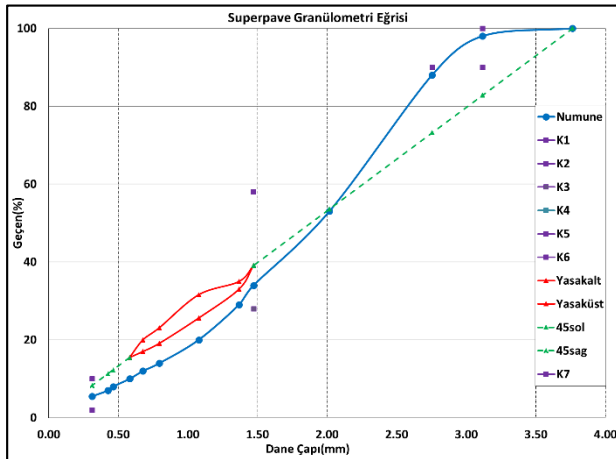
incelemiş ve bu katkıların mekanik özelliklerde kayda değer bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Morova vd. (2011) asfalt karışımlardaki bitüm oranının basınç dayanımına etkisini incelemiş, yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri verileri kullanarak bulanık mantık yöntemi ile bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu model %97 tutarlılıkla tahmin gerçekleştirmiştir. Kök vd. (2011) çeşitli oranlarda stiren-butadien-stiren (SBS) ile modifiye edilmiş bitümlü karışımın dönel viskozimetre değerlerini YSA yöntemini kullanarak tespit etmişlerdir. Giriş olarak seçtikleri karıştırma hızı, karıştırma süresi ve sıcaklık parametrelerinden viskozite üzerinde en etkili olanın karıştırma hızı olduğu kanaatine varmışlardır. Khodai vd. (2012) sıcak karışımlarda agrega gradasyonunun ve kuru-doygun çekme dayanımını üzerine etkisini MKT optimizasyon yöntemi kullanarak tayin etmişlerdir. Hamzah vd. (2013) Yüzey Yanıt Yöntemi (YYY) kullanarak önceden seçilen bağımlı ve bağımsız değişkenler ile kimyasal katkı karışımındaki optimum bağlayıcı oranını tayin etmişlerdir. Kullandıkları yöntem sayesinde normalde yapmaları gereken deney sayıları azalmış ve ekonomik tasarruf sağlamışlardır. Kavussi vd. (2014) çeşitli katkıların ılık karışım üzerindeki etkilerini MKT kullanarak incelemiş performans gerekliliklerini karşılayan tasarım için gerekli olan optimum katkı ve bitüm oranlarını belirlemişlerdir. Khodai vd. (2014) yaptıkları çalışmada bitüm oranı, numune çapı, sıcaklık gibi çeşitli parametrelerin bitümlü sıcak karışımların esneklik modülüne etkisini MKT yöntemi ile incelemiş ve sıcaklığın diğer parametrelere nazaran karışımların esneklik modülüne daha fazla etki ettiğini bulmuşlardır. Moghaddam vd. (2015) yaptıkları çalışmada modifiyeli asfalt karışım için belirledikleri değişkenlerin karışımın rijitlik modülü üzerindeki etkilerini MKT kullanarak incelemişlerdir. Haghshenas vd. (2015) bitümlü sıcak karışımlar üzerinde belirledikleri bağımsız değişkenleri ve bağımlı değişkenleri YYY ile incelemiş ve karışımların soyulma sürecini incelemişlerdir. Nassar vd. (2016) emülsiyon içeriği, su içeriği, kür sıcaklığı gibi çeşitli parametreleri bağımsız değişkenler olarak tanımladıkları çalışmalarında emülsiyon içerikli bitümlü karışımların hacimsel ve mekanik açıdan optimum oranlarının tayinini MKT ile gerçekleştirmişlerdir. Bala vd. (2017) yaptıkları çalışmada nano-kompozit modifiyeli asfalt karışım üretmek için karışımındaki optimum nano-kompozit ve bitüm oranı bir matematiksel model yardımı ile gerçekleştirmişlerdir. Kurdukları bu matematiksel model ile ortalama hatayı çok düşük seviyelerde elde ederek modelleme ile elde ettikleri sonuçların gerçek deney sonuçları ile örtüşüğünü göstermişlerdir.

Yıldırım vd. (2018) çalışmalarında Marshall tasarımı ile hazırladıkları atık kömür katkılı bitümlü karışımdaki optimum bitüm oranının tayinini MKT yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kırbaş vd. (2018) kaplamadaki yüzey bozulmaları ile düzgünlük (IRI) arasındaki ilişkiyi doğrusal regresyon, YSA ve değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları modellemeler sonucunda kaplama üzerindeki bozulmaların % 45'e yakınının yük kaynaklı olduğunun ayrıca tahmin yeteneği en yüksek olan modelin YSA olduğunun sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada MKT kullanılarak %3-7 aralığındaki oranlarda hazırlanmış atık kömür katkılı Marshall numunelerinin Pratik özgül ağırlık ( $D_p$ ), Boşluk oranı ( $V_h$ ), Bitümlü dolu boşluk oranı ( $V_f$ ) ve Marshall stabilitesi (MS) deneysel sonuçları geriye yayımlı YSA ile incelenmiştir ve YSA tahminleri ile MKT sonuçları karşılaştırılmıştır. MKT'nin belirlediği optimum koşullarda deneyler gerçekleştirilerek elde edilen bulgular ile optimum koşulların giriş parametresi olarak tanımlandığı YSA tahminleri %95 güven aralığının alt ve üst limitleri arasında değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Materyal

Deneysel tasarım esnasında agregata olarak kırılmış kireçtaşı kullanılmıştır. Agregalar Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) belirtilen hem superpave hem de aşınma tabakası tip-2 gradasyonuna uyacak şekilde hazırlanmıştır (KGM,2013). Aşınma tabakası tip-2'ye ait dane dağılımı sınır şartlarını sağlayacak şekilde Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Numune dane dağılımı eğrisi

Bağlayıcı olarak 50/70 penetrasyon derecesine sahip bitüm seçilmiştir. Bitümlü bağlayıcının geleneksel deneyleri ilgili standartlara uygun olarak yapılmıştır (ASTM, 2002;2006;2013). Bitümlü bağlayıcıya ait penetrasyon, yumuşama noktası, parlama noktası, 135 - 165°C'deki viskozite, özgül ağırlık ve düktilite değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bitümün geleneksel özellikleri

Deneysel Adı	Değerler	Deneysel Standardı
Bitüm kaynağı	Tüpraş, İzmit	-
Penetrasyon (25°C)	64(50/70)	ASTM D5
Yumuşama Noktası (°C)	48	ASTM D36/D36M
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1.026	ASTM D70-09e1
Düktilite (25°C)	>100 cm	ASTM D113-07
İnce Film Isıtma Kaybı (%)	0.43	ASTM D6-95
Parlama Noktası (°C)	314	ASTM D92-05a
Viskozite (135°C, cP)	437.5	ASTM D4402-06
Viskozite (165 °C, cP)	137.5	ASTM D4402-06

Deneysel tasarımda kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellikler	Değerler	Deneysel Standardı	
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )			
Kaba Agregata	Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.718	ASTM C127
	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.665	
	YKSD Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.685	
İnce Agregata	Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.797	ASTM C128
	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.697	
	YKSD Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.733	
Filler	Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.754	ASTM C128
Sıkı Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1.469	ASTM C 29	
Geçiş Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	1.227	ASTM C 29	
Los Angeles Aşınma Kaybı(%)	12.8	ASTM C 131	
Yassılık İndeksi (%)	16	ASTM D 4791	
Donma- Çözülme Dayanımı (%)	4	ASTM C 88	

Tasarımda bitüm modifikasyonunda kullanılan atık kömür numuneleri Türkiye'nin orta kesiminde yer alan Çayırhan linyit bölgesinde ki yeraltı ocaklarından temin edilmiştir. Numuneler kurutulmuş ve çeneli kırıcılarda ezilmiştir. Atık kömür numunelerine ait endüstriyel, elementer ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir (Aksoy ve Sağol, 2016).

Tablo 3. Atık kömür katkısının özellikleri

Özellikler	Tür	Miktar
Endüstriyel Analiz	Yanabilen Madde (%)	13.92
	Kül Muhtevası (%)	86.08
Elementer Analiz	C <sub>daf</sub> (%)	46.05
	H <sub>daf</sub> (%)	4.54
	N <sub>daf</sub> (%)	0.97
	O <sub>daf</sub> (%)	36.34
	S <sub>d</sub> (%)	2.59
	Q <sub>gross</sub> (kcal/kg)	475.00
	Q <sub>net</sub> (kcal/kg)	435.00
Kimyasal Analiz (Kül)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.00
	CaO	4.60
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.60
	K <sub>2</sub> O	1.60
	MgO	6.10
	MnO	0.10
	Na <sub>2</sub> O	2.90
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20
	SO <sub>3</sub>	4.40
	SiO <sub>2</sub>	53.00
TiO <sub>2</sub>	0.30	

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1. Marshall tasarımı

Marshall tasarımı dünyada yaygın olarak uygulanan asfalt karışım tasarım yöntemlerinden biridir. Bu tasarım yönteminde maksimum dane çapı 25 mm'ye kadar olan agregalar kullanılarak asfalt betonu karışımları tasarlanabilmektedir. Çalışmada %3, %4, %5, %6, %7 bitüm içeriğine sahip 63.5mm kalınlıkta ve 1150 gr ağırlığında 30 adet asfalt beton numunesi Marshall tasarımı ile hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için gerekli ölçümler yapıldıktan sonra optimum bitüm oranının tayininde kullanılmak üzere  $D_p$ ,  $V_h$ ,  $V_f$  ve MS değerleri elde edilmiştir.

### 2.2.2. Merkezi Kompozit Tasarım

MKT, Box ve Wilson (1951) tarafından geliştirilmiş bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu tasarım yönteminde çıktılarına etkiyecek olan parametreler merkez noktasından uzaklıklarına göre  $\pm 1$ , 0 ve  $\pm \alpha$  şeklinde temsil edilir. MKT'de gerçekleştirilmesi gereken deney sayısı Eşitlik(1)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır (Myers ve Montgomery, 1995).

$$N = 2^k + 2k + n_c \quad (1)$$

Bu denklemde N gerçekleştirilecek deney sayısını, k faktör sayısını,  $n_c$  ise tarımdaki merkez noktaların sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada Marshall tasarımının hazırlanmasında kullanılmak üzere vuruş sayısı (A), sıcaklık (B), katkı oranı (C) ve bitüm içeriği (D) olmak üzere 4 faktör seçilmiştir. Deneysel tasarımda seçilen merkez noktalarının sayısı ( $n_c$ ) 6 olarak belirlenmiştir. Seçilen parametrelerin seviyeleri Tablo 4'de verilmiştir (Yıldırım vd., 2018).

**Tablo 4.** MKT'da kullanılan parametreler ve seviyeleri

Factor	Düşük Eks.	Düşük Fakt.	Merkez	Yüksek Fakt.	Yüksek Eks.
	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
A Vuruş Sayısı	40	50	60	70	80
B Sıcaklık, °C	100	120	140	160	180
C Katkı oranı, %	0	10	20	30	40
D Bitüm oranı, %	3	4	5	6	7

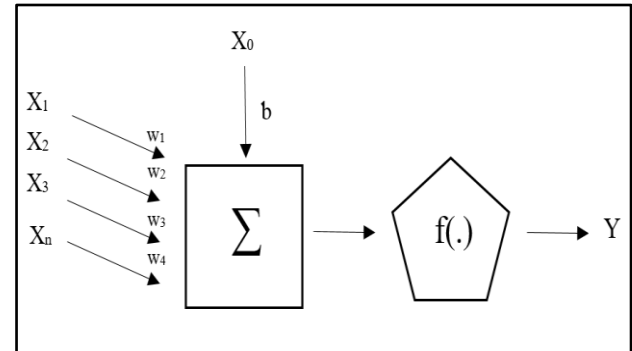
Gerçekleştirilmesi gereken deney sayısı  $N=2^4+2*4+6=30$  olarak belirlenmiştir. Tasarım matrisi giriş parametrelerinin belirlenen seviyeleri arasından farklı kombinasyonlarda ki sıralamaları ile belirlenmiştir. MKT ile oluşturulan tasarım matrisi Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Tasarım matrisi

Deney No	Nokta Tipi	A	B	C	D
1	Faktöriyel	1	-1	-1	-1
2	Faktöriyel	-1	1	1	-1
3	Faktöriyel	-1	-1	-1	-1
4	Eksenel	0	0	0	$-\alpha$
5	Faktöriyel	-1	1	-1	1
6	Faktöriyel	1	-1	-1	1
7	Faktöriyel	-1	-1	1	-1
8	Eksenel	0	$+\alpha$	0	0
9	Faktöriyel	1	-1	1	1
10	Faktöriyel	-1	-1	1	1
11	Merkez	0	0	0	0
12	Merkez	0	0	0	0
13	Merkez	0	0	0	0
14	Faktöriyel	-1	1	1	1
15	Merkez	0	0	0	0
16	Eksenel	0	$-\alpha$	0	0
17	Eksenel	0	0	0	$+\alpha$
18	Faktöriyel	-1	-1	-1	1
19	Faktöriyel	1	1	-1	-1
20	Merkez	0	0	0	0
21	Faktöriyel	1	1	-1	1
22	Eksenel	0	0	$-\alpha$	0
23	Faktöriyel	1	1	1	-1
24	Merkez	0	0	0	0
25	Eksenel	$+\alpha$	0	0	0
26	Eksenel	0	0	$+\alpha$	0
27	Faktöriyel	1	-1	1	-1
28	Eksenel	$-\alpha$	0	0	0
29	Faktöriyel	-1	1	-1	-1
30	Faktöriyel	1	1	1	1

### 2.2.3. Yapay Sinir Ağları

YSA insan beyni tarafından gerçekleştirilebilen öğrenme, sınıflandırma, ilişki kurma, optimize etme, genelleme gibi çeşitli konuları başarı ile gerçekleştirebilen bir sistemdir (Öztemel, 2003). YSA tıpkı bir biyolojik sinir ağı gibi hücreleri ve hücreler arası bağlantıları içerir. Her bir YSA hücresi 5 temel kısımdan oluşmaktadır. Şekil 2'de YSA hücresinin yapısı gösterilmiştir.

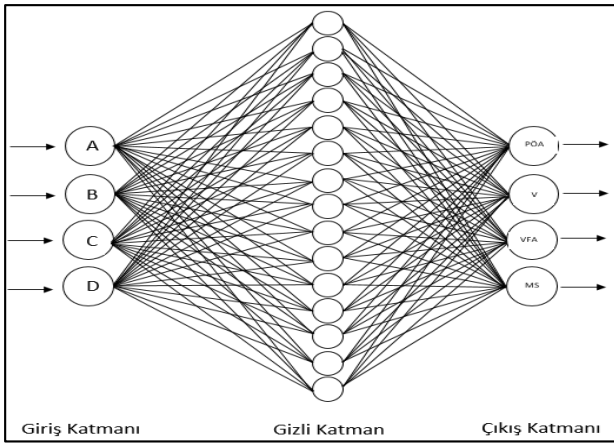


**Şekil 2.** YSA hücresinin yapısı

YSA hücresi  $X_i$  giriş parametreleri ( $X_i$ ), ağırlıklar ( $W_i$ ),  $\Sigma$  toplam fonksiyonu,  $f(\cdot)$  aktivasyon fonksiyonu, bias değeri ( $b$ ) ve çıkış değerinden ( $Y_i$ ) oluşmaktadır. YSA'nın çalışma prensibi giriş parametrelerinin rastgele ağırlıklar ile çarpılarak toplam ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi, elde edilen değerlerin çıkış

değeri ile karşılaştırılarak hatanın hesaplaması ve ağırlıkların optimize edilerek aynı döngünün yeni ağırlıklar ile gerçekleştirilmesi şeklindedir. Literatürde çok sayıda YSA modeli bulunmaktadır (Haykin, 1994; Schmidhuber, 2015).

Bu çalışmada çok katmanlı ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır ve model MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir (Matlab,1992). Giriş katmanında 4 hücre, gizli katmanda 15 hücre ve çıkış katmanında yine 4 hücre bulunmaktadır. Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquart algoritması kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu için tanjant-sigmoid seçilmiştir. Modelin doğruluğu için ortalama karesel hata (MSE) kullanılmıştır. Verilerin % 70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i test için kullanılmıştır. Ayrıca MKT'nin ürettiği ve ağa daha önce gösterilmeyen optimum koşulları temsil eden giriş parametreleri de ikinci bir test için kullanılmıştır. Giriş parametreleri, MKT'de kullanılan vuruş sayısı(A), sıcaklık(B), katkı oranı(C) ve bitüm içeriğidir(D). Çıkış parametreleri olarak  $D_p$ ,  $V_h$ ,  $V_f$  ve MS değerleri tahmin edilmiştir. Çalışmada kullanılan YSA modeli Şekil 3'de verilmiştir.



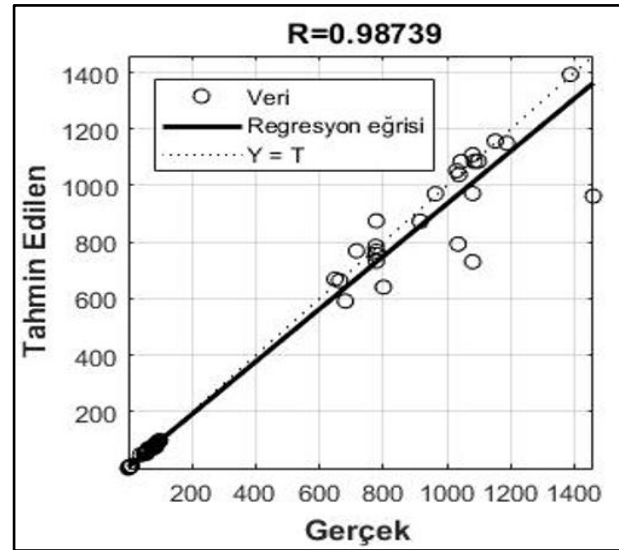
Şekil 3. Kullanılan YSA modeli

### 3. Bulgular ve Tartışma

MKT deneysel tasarımı ile 4 bağımsız değişken kullanılarak gerçekleştirilen 30 adet deney sonucunda  $D_p$ ,  $V_h$ ,  $V_f$ , MS değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuç değerlerinin (yanıt değişkenleri) varyans analizi yapılmış ve MKT modelinin %95 güven aralığında kaldığı tespit edilmiştir. 30 deneyin sonuçları dikkate alınarak yanıt değişkenlerinin her biri için ANOVA varyans analizi yapıldıktan sonra bağımsız değişkenler ve yanıt değişkenleri arasındaki

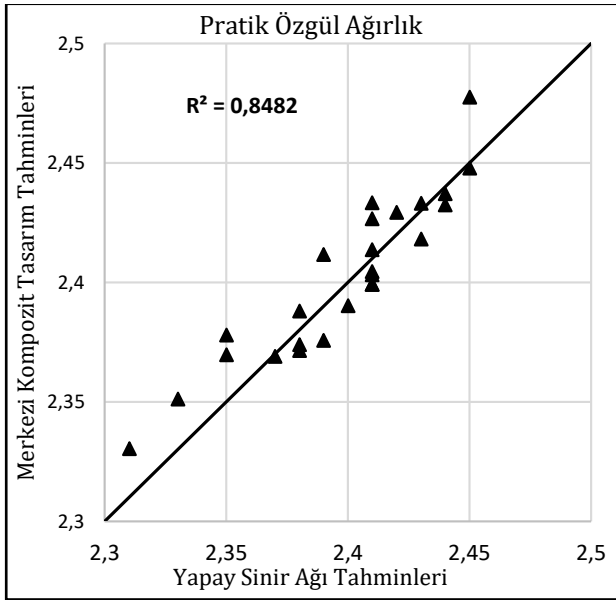
etkileşimin saptanabilmesi için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matematiksel modellerde ANOVA analizinden elde edilen model katsayıları kullanılmıştır. Her bir yanıt değişkeni için tahmin edilen sonuçların gerçek değerler ile uyumluluğu karşılaştırılmış ve MS dışındaki diğer tahmin edilen değerlerin %99 oranında gerçeği yansıttığı görülmüştür (Yıldırım vd., 2018).

MKT'deki tasarım matrisinin merkez noktalarında giriş parametreleri aynı seviyelerde olduklarından dolayı veriler YSA' ile işleme koyulmadan önce tekrar düzenlenmiştir. Bu düzenleme sonucunda 6 adet merkez noktadan uygun görülen 5 tanesi çıkartılarak kalan 25 verinin %70'i YSA'nın eğitiminde kullanılmıştır. Verilerin %15'i validasyon ve %15'i test aşamasında kullanılmıştır. YSA modeli bu verileri başarılı bir şekilde işlemiş ve % 98,7 tutarlılık göstermiştir. Deney sonuçlarının gerçek değerleri ile oluşturulan YSA modelinin tahmin ettiği değerler arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir.

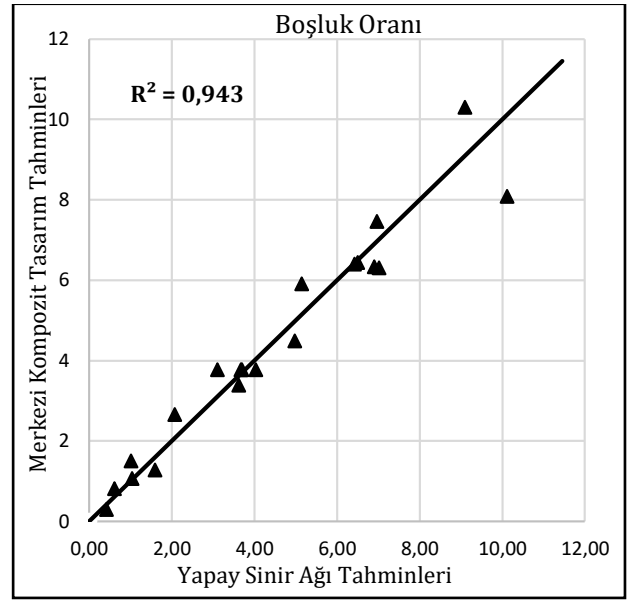


Şekil 4. YSA modeli tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ilişki

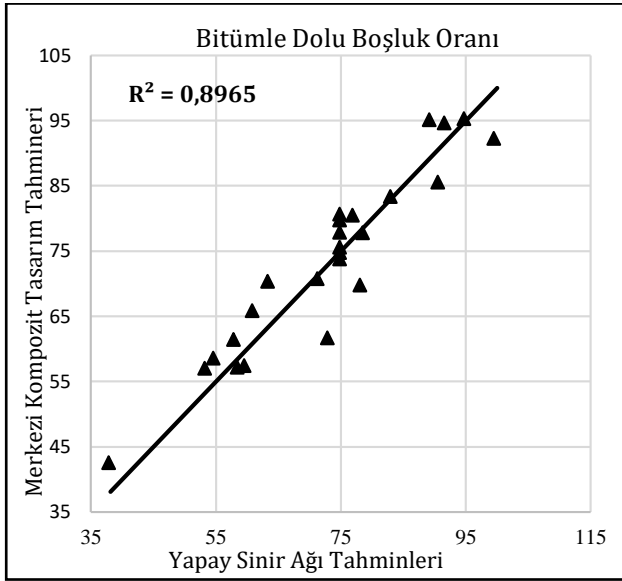
YSA'nın gerçek değerlere yakın tahminlerde bulunduğu görülmektedir. YSA'nın gizli katmanı içerisindeki nöron sayısının 15 olarak seçilmesi ve öğrenme algoritması değerlerin tutarlılığında etkili olmuştur. YSA ve MKT modellerinin yanıt değişkenlerine yönelik tahminleri ve bu tahminlerin birbirleri ile ilişkisi Şekil 5'te yer almaktadır.



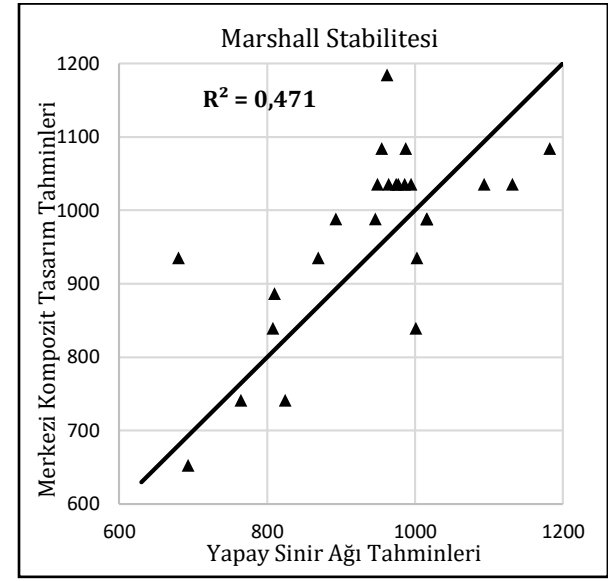
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 5.** MKT ve YSA modelleri kullanılarak elde edilen tahminlerin karşılaştırılması

Grafiklerde de görüldüğü üzere YSA ve MKT modellerinin tahmin ettikleri yanıt değerleri arasındaki ilişki yüksek  $R^2$  yüzdeleri ile tutarlılık göstermektedir. Ancak MKT için MS yanıt değişkeni değerleri, asfalt betonu numunelerinin homojen bir dağılıma sahip olmadığından dolayı, diğer yanıt değişkenleri ile karşılaştırıldığında daha düşük bir  $R^2$  yüzdesi vermiştir. Bu durumun sebebi asfalt numunelerin kırılma stabilitesi kırılma esnasında değişkenlik gösterebilir (Vaitkus et al. 2016, White

1985). YSA modeli de MS yanıt değişkeni için MKT modeline benzer sonuçlar vermiştir. Öte yandan veri kümesinin artırılması ile YSA modelinin daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. YSA'nın eğitilmesi ve test edilmesinin ardından ağa daha önce hiç görmediği 3 adet veri grubu doğrulama için gösterilmiştir. MKT ve YSA modellerinin doğrulama verilerine karşılık ürettikleri çıktılar Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** MKT ve YSA modellerinin doğrulama çıktıları

					Pratik Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )				Doğrulama Test Sonuçları
Tahmin Seviyeleri					%95 CI - Low	MKT Tahmin	YSA Tahmin	%95 CI - High	
	A	B	C	D					
Hedef-1	70	160	10	4,484	2,41263	<b>2,41822</b>	<b>2,4159</b>	2,42381	<b>2,4166</b>
Hedef-2	60	160	30	4,666	2,40723	<b>2,412555</b>	<b>2,4083</b>	2,41788	<b>2,4115</b>
Hedef-3	70	160	25	4,539	2,413	<b>2,4175</b>	<b>2,4141</b>	2,422	<b>2,4189</b>

(a)

					Boşluk Oranı (%)				Doğrulama Test Sonuçları
Tahmin Seviyeleri					%95 CI - Low	MKT Tahmin	YSA Tahmin	%95 CI - High	
	A	B	C	D					
Hedef - 1	70	160	10	4,484	3,75885	<b>4,00025</b>	<b>4,121</b>	4,2412	<b>4,182</b>
Hedef - 2	60	160	30	4,666	3,77457	<b>4,00828</b>	<b>4,1015</b>	4,24199	<b>4,1985</b>
Hedef - 3	70	160	25	4,539	3,799	<b>3,9995</b>	<b>4,1625</b>	4,2	<b>4,098</b>

(b)

					Bitümlü Dolu Boşluk Oranı (%)				Doğrulama Test Sonuçları
Tahmin Seviyeleri					%95 CI - Low	MKT Tahmin	YSA Tahmin	%95 CI - High	
	A	B	C	D					
Hedef - 1	70	160	10	4,484	70,528	<b>71,74615</b>	<b>71,5014</b>	72,9643	<b>72,16</b>
Hedef - 2	60	160	30	4,666	71,413	<b>72,6085</b>	<b>71,6198</b>	73,804	<b>72,32</b>
Hedef - 3	70	160	25	4,539	71,26	<b>72,285</b>	<b>71,8018</b>	73,31	<b>72,85</b>

(c)

					Marshall Stabilitesi (kgf)				Doğrulama Test Sonuçları
Tahmin Seviyeleri					%95 CI - Low	MKT Tahmin	YSA Tahmin	%95 CI - High	
	A	B	C	D					
Hedef - 1	70	160	10	4,484	1033,38	<b>1138,365</b>	<b>1086,5</b>	1243,35	<b>1210,5</b>
Hedef - 2	60	160	30	4,666	989,814	<b>1072,447</b>	<b>967,5995</b>	1155,08	<b>1005,8</b>
Hedef - 3	70	160	25	4,539	1036,13	<b>1142,385</b>	<b>1084,8</b>	1248,64	<b>1025,6</b>

(d)

Doğrulama için kullanılan veri grubunun her bir elemanı Hedef 1,2 ve 3 olarak isimlendirilmiştir. Hedefler içerisinde yer alan A, B, C, D tahmin seviyeleri sırası ile vuruş sayısı, sıcaklık, katkı oranı ve bitüm içeriği parametrelerini temsil etmektedir. Her iki modelde  $D_p$ ,  $V_h$ ,  $V_f$  yanıt değişkenleri için %95 güven aralığının alt ve üst değerleri arasında kalmıştır. Ancak MS yanıt değişkenine bakıldığında Hedef 1 ve Hedef 2 veri grupları için MKT ve YSA güven aralığında kalmış olsa da Hedef 3 veri grubunda yalnızca MKT %95 güven aralığının alt ve üst değerleri arasında kalmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Sürekli gelişmekte olan teknoloji ile mühendislik problemlerinin çözümlerinde farklı yaklaşım teknikleri ortaya çıkmaktadır. Deneysel tasarım yöntemleri ve YSA bu yaklaşımlardan bazılarıdır. Günümüzde asfalt betonu karışımlarda kullanılan yeni tür katkıların, karışımın hacimsel ve mekanik

özelliklerine etkisinin araştırılması için çok sayıda deney yapılması gerekliliğinin aşılması bu tarz yenilikçi yaklaşımların kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Atık kömür katkılı asfalt betonu karışımlarda performans karakteristiklerinin MKT ve YSA modeller kullanılarak incelendiği bu çalışmada vuruş sayısı, sıcaklık, katkı oranı ve bitüm miktarı girdi olarak kullanılmıştır. 30 adet veri grubu ile  $D_p$ ,  $V_h$ ,  $V_f$  ve MS tahminleri yapılmıştır. Modellerin verdiği sonuçlara göre bu modellerin kullanımının araştırmacıları çok fazla sayıda deney yapma gerekliliğinden kurtaracağı, dolayısı ile zamansal ve ekonomik olarak tasarruf edilmesini sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın sonucunda her iki yenilikçi yaklaşımında  $D_p$ ,  $V_h$  ve  $V_f$  çıktıları için kabul edilebilir aralıkta sonuçlar ürettiği görülmüştür. Ancak MS yanıt değişkeni için modeller, asfalt numunelerin tam homojen bir yapıya sahip olmamasından dolayı, yeterince iyi sonuçlar

üretmemiştir. YSA modelinin daha fazla veri ile daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Kömür maden bölgeleri ve kömür yıkama tesisleri etrafında büyük hacimlerde kömür atıkları bulunmaktadır. Bu atıkların ve küllerinin geri dönüştürülmüş karışımlarda uygulanması, biriken atık miktarlarının azaltılmasını sağlamaktadır ve inşaat maliyetlerinin diğer katkı maddelerine kıyasla azaltılması yoluyla çevresel korumaya yönelik bir adım olarak görülmektedir.

Mevcut çalışmada katkı olarak sadece atık kömür kullanılmıştır. Bu yenilikçi yaklaşımlar kullanılarak etkisi henüz araştırılmamış çok sayıda katkının ve atığın bitüm veya karışıma etkisi daha az sayıda numune üretilerek, deney yapılarak olumlu veya olumsuz sonuçlarının bulunması mümkündür. Ayrıca yol üst yapılarında Marshall tasarımı dışında birçok tasarım yöntemi bulunmaktadır ve bu tasarım yöntemlerinin performans kriterlerinin tahmini de MKT, YSA gibi yenilikçi yaklaşım teknikleri ile belirlenerek geleneksel metotlara alternatif olarak kullanılabilir.

#### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar

- Aksoy, D.O. and Sağol, E., 2016. Application of central composite design method to coal flotation: Modelling, optimization and verification. *Fuel*, 183 (2016)609-616.
- ASTM, D., 2006. 4402. Standard test method for viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer.
- ASTM, D., 2013. Standard test method for penetration of bituminous materials. USA, ASTM International.
- ASTM, D., 2006. Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). Annual Book of Standards.
- ASTM, D., 2002. Standard test method for flash and fire points by Cleveland open cup tester. Annual Book of Standards.
- Bala, N., Napiyah, M. and Kamaruddin, I., 2017. Application of Response Surface Methodology for Mix Design Optimization of Nanocomposite Modified Asphalt Mixtures. *International Journal of Geomate*, 13(39): 237-244.

- Box, G.P.E., Wilson, K.B., 1951. On the experimental attainment of optimum conditions, *Journal of Royal Statistical Society*, 13, 1-45.
- Çelik, O., 2001. Öğütülmüş Atık Otomobil Lastiğiyle Modifiye Edilmiş Bitümler ile Yapılan Asfalt Betonunun Yorulma Davranışı. *Turk. J. Engin. Environ. Sci.*, Tübitak, 25: 487-495.
- Çetin, A. and Tuncan, M., 1997. Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Eriskin, E., Karahancer, S., Terzi, S. and Saltan, M., 2017. Waste frying oil modified bitumen usage for sustainable hot mix asphalt pavement. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 17(4): 863-870.
- Haghshenas, H., Khodaii, A., Khedmati, M. and Tapkin, S., 2015. A mathematical model for predicting stripping potential of Hot Mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, 75: 488-495.
- Hamzah, M.O., Golchin, B. and Tye, C.T., 2013. Determination of the optimum binder content of warm mix asphalt incorporating Rediset using response surface method. *Construction and Building Materials*, 47: 1328-1336.
- Haykin, S., 1994. *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall PTR.
- Hınıslioğlu, S. and Açar, E., 2004. Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. *Materials letters*, 58(3-4): 267-271.
- İsfalt, 2002. *Asfalt El Kitabı*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi. İSFALT Bilimsel Yayın(2).
- Huang, Y., Bird, R.N. and Heidrich, O., 2007. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1): 58-73.
- Kavussi, A., Qorbani, M., Khodaii, A. and Haghshenas, H., 2014. Moisture susceptibility of warm mix asphalt: a statistical analysis of the laboratory testing results. *Construction and Building Materials*, 52: 511-517.
- Keskin, M. and Karacasu, M., 2018. Atık Bor İçeren Asfalt Betonlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2): 185-192.
- Khodaii, A., Haghshenas, H. and Tehrani, H.K., 2012. Effect of grading and lime content on HMA



- stripping using statistical methodology. *Construction and Building Materials*, 34: 131-135.
- Khodaii, A., Khedmati, M. and Haghshenas, H., 2014. Statistical evaluation of hot mix asphalt resilient modulus using a central composite design. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 7(6): 445-450.
- Kırbaş, U., Kardeşin, M., Demir, B., Komut, M. ve Ünal, E.N., 2018. Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapılarda Görülen Yüzey Bozulmaları ile Düzgünsüzlük Arasındaki İlişkilerin Modellenmesinde Bazı Yaklaşımlar. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi: DOI: 10.19113/sdufbed. 32804-Online Yayınlanma: 16.02. 2018.
- Kök, B., Yılmaz, M., Kuloğlu, N. and Şengür, A., Değişik Şartlarda Hazırlanmış SBS Modifiyeli Bitümün Viskozitesinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi.
- Matlab, U.S.G., 1760. The mathworks. Inc., Natick, MA, 1992.
- Moghaddam, T.B., Soltani, M. and Karim, M.R., 2015. Stiffness modulus of Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixture: A statistical analysis of the laboratory testing results. *Materials & Design*, 68: 88-96.
- Morova, N., Serin, S. and Terzi, S., 2011. Bitüm Miktarının Asfalt Betonu Dayanımına Etkisinin Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
- KGM, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi. TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Kısım, 218: 82-92.
- Myers, R.H. and Montgomery, D.C., 1995. *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*, 4. Wiley New York.
- Nassar, A.I., Thom, N. and Parry, T., 2016. Optimizing the mix design of cold bitumen emulsion mixtures using response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 104: 216-229.
- Önal, M. and Karaca, S., 1984. Asfalt betonu ve diğer sıcak karışım tipleri için karışım dizayn metotları. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı(s 200).
- Öztemel, E., 2003. *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Schmidhuber, J., 2015. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61: 85-117.
- Tortum, A., Çelik, C. and Aydın, A.C., 2005. Determination of the optimum conditions for tire rubber in asphalt concrete. *Building and Environment*, 40(11): 1492-1504.
- Vaitkus, A., Cygas, D., Laurinavicius, A., Vorobjovas, V. and Perveneckas, Z., 2016. Influence of warm mix asphalt technology on asphalt physical and mechanical properties. *Construction and Building Materials*: 112, 800-806.
- White, T.D., 1985. Marshall procedures for design and quality control of asphalt mixtures. *Asphalt Paving Technology*, 54, 265-284.
- Yıldırım, Z.B., Karacasu, M. and Okur, V., 2018. Optimisation of Marshall Design criteria with central composite design in asphalt concrete. *International Journal of Pavement Engineering*: 1-11.
- Zhang, S.L., Zhang, Z.X., Xin, Z.X., Pal, K. and Kim, J.K., 2010. Prediction of mechanical properties of polypropylene/waste ground rubber tire powder treated by bitumen composites via uniform design and artificial neural networks. *Materials & Design*, 31(4): 1900-1905.