



ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) YÖNTEMİNİN ESNEK YOL ÜSTYAPILARININ YAPISAL ANALİZİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet SALTAN*, Fakhir ALAEFARY

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*ANFIS,
Esnek üstyapı,
Kalan ömür.*

Öz

Bir kaplamanın kalan ömrünü doğru bir şekilde değerlendirme ihtiyacı, son zamanlarda yeni bir kaplama inşaatından kaplama rehabilitasyonuna kadar uzanan büyük harcamalar açısından önemi giderek artan bir sorun olmaktadır. Bu nedenle, kaplama yapısının kalan ömrünü doğru bir şekilde tahmin etmek gerekmektedir. Gelecekte planlama ve bütçe oluşturmak amacıyla, sistemdeki her bir kaplama bölümünün kalan ömrünü tahmin etmek önemlidir. Kalan ömür, trafik ve çevresel faktörlere maruz kalan kaplama sisteminin geriye kalan kullanışlı ömrünün bir ölçüsü olmaktadır. Kalan ömür, yıl, kalan yük tekerlek sayısı veya tasarım ömür yüzdesi olarak ifade edilebilmektedir. Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamanın kalan ömrünü tahmin etmek için, tahribatsız test yöntemlerinden (Non-Destructive Testing – NDT) elde edilen malzeme özelliklerini kullanan farklı tahmin modelleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada esnek üstyapı kalan ömrü tahmini, Sugeno, Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tahmin metotlarında girdiler; tabaka sayısı, yük tekrar sayısı, elastisite modülü (iki asfalt kaplama, temel tabakası ve taban zemini), tabaka kalınlığı (iki asfalt kaplama ve temel tabakası) olarak kullanılmış ve esnek üstyapı kalan ömrü çıktı olarak alınmıştır. Tahmin edilen sonuçlar hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tahmin edilen verilerin hesaplanan verilerle yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

USABILITY OF ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF HIGHWAY FLEXIBLE PAVEMENTS

Keywords

*ANFIS,
Flexible pavements,
Remaining life.*

Abstract

The need for an accurate assessment of the remaining life of a pavement is a problem of recent major expenditures from new pavement construction to pavement rehabilitation. So, it is necessary to accurately predict the remaining life of the pavement structure. For the purpose of future planning and budgeting, it is important to estimate the remaining life of each pavement section in the system. Remaining life is the extent of the useful life remaining in pavement system exposed to traffic and environmental factors. The remaining life can be expressed in terms of years of life, number of load cycles remaining or percentage of design. A number of different prediction models exist that use material properties developed from various Non-Destructive Testing (NDT) methods to predict the remaining life of a HMA pavement.

In this study, adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS), using Sugeno ANFIS is used to for predicting structural remaining life for flexible pavements. Input

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmetsaltan@sdu.edu.tr, +90-246-211-1215

variables used the number of layers, actual traffic applications, modulus of elasticity for (two asphalt, base and subgrade) layer and thickness for (two asphalt and base) layer and the remaining life of the pavement as output. As a result the predicted results were compared with the results obtained from the calculation and found that they are close to each other.

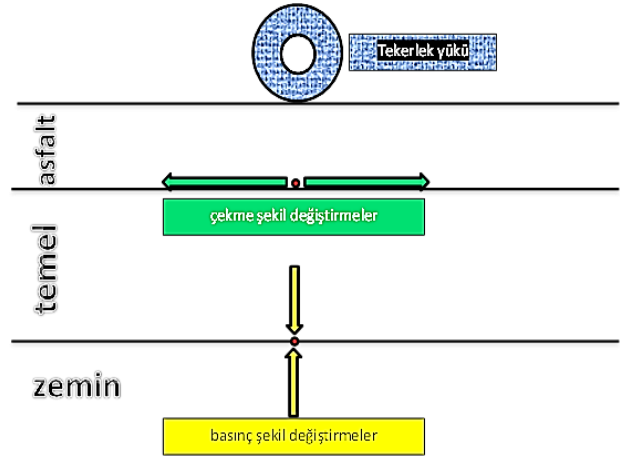
Alıntı / Cite

Saltan, M., Alaefary, F., (2018). Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) Yönteminin Esnek Yol Üstyapılarının Yapısal Analizinde Kullanılabilirliği, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 396-405.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Saltan, 0000-0001-6221-4918	Başvuru Tarihi / Submission Date	16.05.2017
	Revizyon Tarihi / Revision Date	05.04.2018
	Kabul Tarihi / Accepted Date	26.07.2018
	Yayın Tarihi / Published Date	11.09.2018

1. Giriş

Karayollarının ulaştırma ağı göz önüne alındığında bir insan vücudunun kan damarları ile benzer işlevlere sahip olduğu görülmektedir. Kişinin hayatını devam ettirmesi için gerekli olan kan dolaşımı arterler vasıtasıyla sağlanır ve gerekli kan organlara ulaştırılır. Aynı şekilde, ürün ve insanlar da bir ülkenin sürdürülebilirliğine katkı sağlayan karayolları vasıtasıyla bir noktadan diğerine taşınmaktadır. Yollarda servis kabiliyeti ve emniyeti sağlamak ve kaplamanın bozulmasını yavaşlatmak amacıyla, bakım ve rehabilitasyon süreçleri gereklidir (Öcal, 2014). Bunun için mevcut bir esnek üstyapının fiziksel durumu hakkında bilgi edinmek ve uygun bakım programını seçmek için mekanik özelliklerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Saltan, 1999). Esnek üstyapıların durum değerlendirmesi, genel olarak iki amaç için yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, mevcut üst yapının fiziki durumu hakkında bilgi vermektir. Böylelikle, uygun bakım ve onarım programı seçilmektedir. İkincisi ise, inşası yeni tamamlanmış bir üstyapının kontrolünü gerçekleştirmektir (Ağar vd., 2005). Üstyapı değerlendirmesinde bir karayolu kesiminin yapısal ve fonksiyonel koşullarını belirlemek amacıyla ya rutin izlemeler ya da planlı doğru aksiyonların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Fonksiyonel durum, ilk olarak üstyapı kesiminin sürüş veya yüzey dokusunun kalitesini belirlemeyi hedeflemektedir. Yapısal durumu ise defleksiyon ölçümleri gibi üstyapının yapısal kapasitesi, tabaka kalınlığı ve malzeme özellikleri ile ilgilidir (Özcanan ve Akpınar, 2014). Üstyapıdaki bozulmalara, üstyapı tabakalarındaki kritik gerilme ve şekil değiştirmeler sebep olmaktadır. Bitümlü karışım tabakalarının alt kısımlarında oluşan çekme gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri önce küçük çatlamalara ardından da gözle görülür kırılmalara sebep olmaktadır. Taban zemini üzerindeki düşey gerilme veya şekil değiştirmeler de kalıcı deformasyonlara neden olmaktadır (Şekil 1) (Saltan, 1999).



Şekil 1. Asfaltta kritik çekme ve basınç gerilmeleri

Fonksiyonel bozulma tabanlı yaklaşımda, kalan ömür kaplamanın hizmet verebilirliği ve sürdürülebilirliği temelinde hesaplanmakta ve yıl/8.2 ton eşdeğer standart dingil yükü (EASL) ile ifade edilebilmektedir. Servis kabiliyeti ölçümlerinden biri AASHO yol testi sırasında geliştirilen Mevcut Servis Kabiliyeti İndeksidir (Present Serviceability Index - PSI). Öte yandan, yapısal bozulmalara dayalı bir yaklaşımda temel sorun kaplamanın yapısal kapasitesinin azalmasıdır. Yapısal bozulma tabanlı analizler, kalan ömrü tahmin etmek için genellikle yorulma ve tekerlek izi kriterlerini kullanmaktadır. Kalan ömrün tahmininde kaplamanın rijitlik profili, trafik verileri, kaplama bozulma verileri ve kaplama tabakalarının kalınlıkları önemli parametrelerdir. Tahribatsız test (Non-Destructive Test - NDT) yöntemleri, BSK kaplamaların kalan ömrünü tahmin etmek amacıyla kaplamanın rijitlik profilini elde etmede kullanılabilir (Dennis vd., 2012).

2. Çalışmanın Amacı

Tahribatsız ve tahribatlı test aletleriyle önceden elde edilen veriler (tabaka sayısı, yük tekrar sayısı, BSK1 tabakası elastisite modülü, BSK2 tabakası elastisite modülü, temel tabakası elastisite modülü, taban zemini elastisite modülü, BSK1 tabaka kalınlığı, BSK2

tabaka kalınlığı, temel tabakası kalınlığı) kullanılarak tahmini esnek üstyapı kalan ömrü hesaplanmıştır. Aynı veriler yardımıyla kalan ömrü tahmin etmek için ayrıca Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile bir model geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerle tek çıktılı doğrusal olmayan fonksiyon elde etmek amacıyla ANFIS yöntemi tercih edilmiştir.

3. Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Günümüzde geleneksel yöntemlere alternatif olarak çeşitli problemlerin çözümünde, akıllı sistemler kullanılmaktadır. Bulanık mantık ve sinir ağları, akıllı sistemlerin geliştirilmesinde birlikte kullanılan tamamlayıcı araçlardır (Hocaoğlu ve Kurban, 2013). Bulanık sistemler, genel anlamda, girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerine dönüşümü sağlamak amacıyla bulanık kümeleri kullanan sistemlerdir. Bulanık çıkarım sistemlerinde kural tabanında kullanılan bulanık kuralların sonuç kısımları yardımıyla bulanık sistemleri ikiye ayırmak mümkündür; Mamdani ve Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Parametreleri optimize edilen sugeno tipi bulanık çıkarım sistemlerine, adaptif sinir ağına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) adı verilmektedir (Karamanoğlu vd. 2010). ANFIS kelimesi 'Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System'in baş harflerinden oluşmaktadır (Çakıroğlu vd., 2011). ANFIS yalnızca görev tahmini ya da tek çıktılı doğrusal olmayan fonksiyonların tahmininde kullanılabilir. ANFIS modelinde temel amaç kullanılan parametreleri optimize etmektir (Berber ve Boru, 2013). ANFIS mimarisi 5 katmandan oluşmaktadır; ilk katman girdi katmanı olarak adlandırılmaktadır ve gelen girdi sinyallerini diğer katmanlara iletmektedir. İkinci katman bulanıklaştırma katmanı ve üçüncü katman kural katmanı olarak adlandırılmaktadır. Dördüncü katman normalizasyon katmanı olarak görev yapmaktadır. Beşinci katman durulaştırma katmanıdır ve son olarak altıncı katmanda durulaştırma katmanından gelen değerler toplanarak ANFIS sisteminin gerçek çıktı değeri elde edilmektedir (Khaled, 2013). ANFIS Tasarımcı penceresi, tipik bir iş akışını desteklemek için bir pilot bölgeyi ve dört ayrı alanı içermektedir. Tasarımcı penceresinde, Veri Yükleme ve Temizleme, Başlangıç FIS Yapısını Üretme veya Yükleme, FIS Eğitimi ve Eğitilen FIS'in Doğrulanması görevleri gerçekleştirilmektedir.

4. Esnek Üstyapı Kalan Ömür Hesaplaması

Kalan ömrü hesaplamak için tabaka esneklik modülü değerleri, trafik verileri, tabaka kalınlıkları gibi önemli parametrelerin bulunması gerekmektedir. Bitümlü tabakanın en alt kısmındaki maksimum yatay çekme şekil değiştirmesi (maksimum yatay çekme şekil

değiştirmesi toplam asfalt tabakasının altında hesaplanmalıdır) ve taban zeminindeki maksimum basınç şekil değiştirmesinin (maksimum basınç şekil değiştirmesi (0.0001 in) temel ve taban zemininin ara yüzü altında hesaplanmalıdır) hesaplanması gerekmektedir. Bunun için bir elastik tabaka programı olan KENLAYER kullanılmaktadır. Dingil yükü tekrar sayısının izin verilen miktarının hesaplanması, bitümlü tabakadaki yorulma ve taban zemini düşey şekil değiştirme (kalıcı deformasyon) değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bunun için Denklem (1 ve 2) kullanılmaktadır:

➤ Yorulmaya göre:

$$N_f = f_1 * (\epsilon_t)^{-f_2} * (E_{AC})^{-f_3} \quad (1)$$

➤ Deformasyona göre:

$$N_r = f_4 * (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (2)$$

Burada: N_f , N_r yorulma ve deformasyon için izin verilen standart tekerlek yükü tekrar sayısıdır. ϵ_t Bitümlü tabakanın altındaki maksimum yatay çekme şekil değiştirmesidir. E_{ac} Asfalt tabakasının elastisite modülü, ϵ_c Taban zemini üstündeki basınç şekil değiştirmesidir. f_1, f_2, f_3, f_4 ve f_5 Katsayılarıdır (genellikle arazi performans verileri, yol testleri ve laboratuvar testlerinden tespit edilmektedir) ve katsayıların değeri sırasıyla (0.0796, 3.291, 0.854, 1.365 E-9, 4.477) olarak kullanılmaktadır.

N_f , N_r değerlerine bağlı olarak yorulma ömrü ve deformasyon ömrü yukarıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu değerlerden kritik yani küçük olan değer üstyapı ömrü olarak kabul edilmektedir.

Üstyapı zarar oranını hesaplamak için, Denklem (3) kullanılmaktadır. Uygulanan yük ve deformasyon için izin verilen standart tekerlek yükü tekrar sayısının oranı olarak tanımlanmıştır.

$$D = N/N_{f,r} \quad (3)$$

Burada, D , üstyapı için zarar oranı, N , yük uygulamaları ve $N_{f,r}$, yorulma veya deformasyon için izin verilen standart tekerlek yükü tekrar sayısıdır.

Kalan ömrü hesaplamak için Denklem (4) kullanılmaktadır:

$$KÖ = (1 - D) * Y \quad (4)$$

Burada, $KÖ$ kalan ömür, D , Zarar oranı, Y , Üstyapı tasarım ömrüdür. Bu çalışma sırasında tüm üstyapılar için 20 yıl tasarım ömrü kullanılmıştır. Burada iki varsayım vardır:

- Tüm üstyapılar için tasarım ömrü 20 yıl olarak kullanılmaktadır.

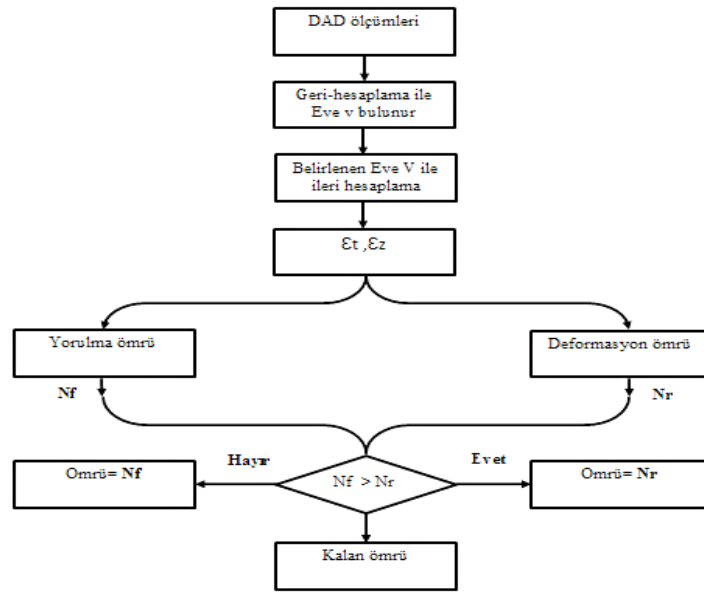
- Zarar oranı ile kalan ömrün dağılımı lineer olarak kabul edilmiştir.

Şekil 2'de üstyapıların kalan ömrünün hesaplanması adımları için bir akış şeması verilmiştir.

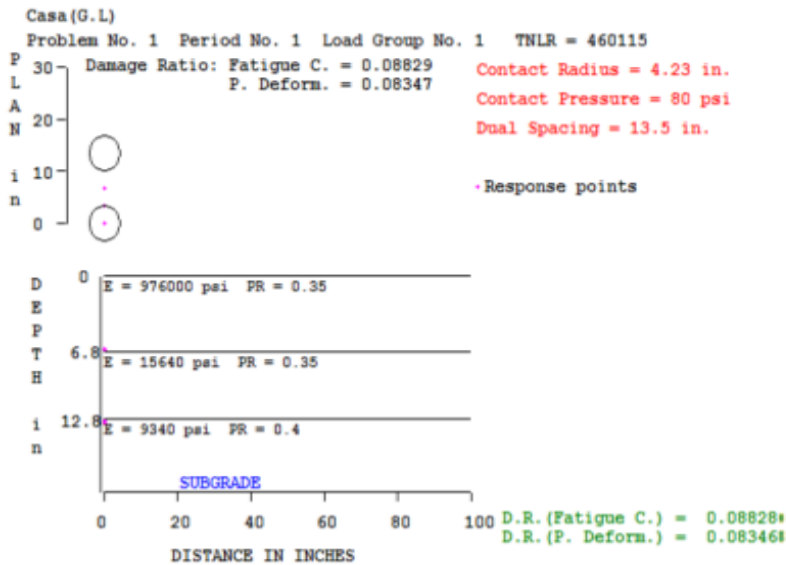
Çalışmada 16 farklı bölge incelenmiş ve her bölge için iki çeşit yük alınmıştır. Veriler, Arkansas'da Esnek Kaplamaların Kalan Ömrü İçin Tahmin Modellerinin Kalibrasyonu çalışmasından alınmıştır.

Esnek Üstyapı Kalan Ömrü Hesaplamak için (Casa G) bölgesi örnek olarak alınmıştır. Analizde KENLAYER programı kullanılmıştır. KENLAYER programında 10.7442 santimetrelilik (4.23 inçlik) bir temas yarıçapına, 551.579586039521 kPa (80 psi) lastik

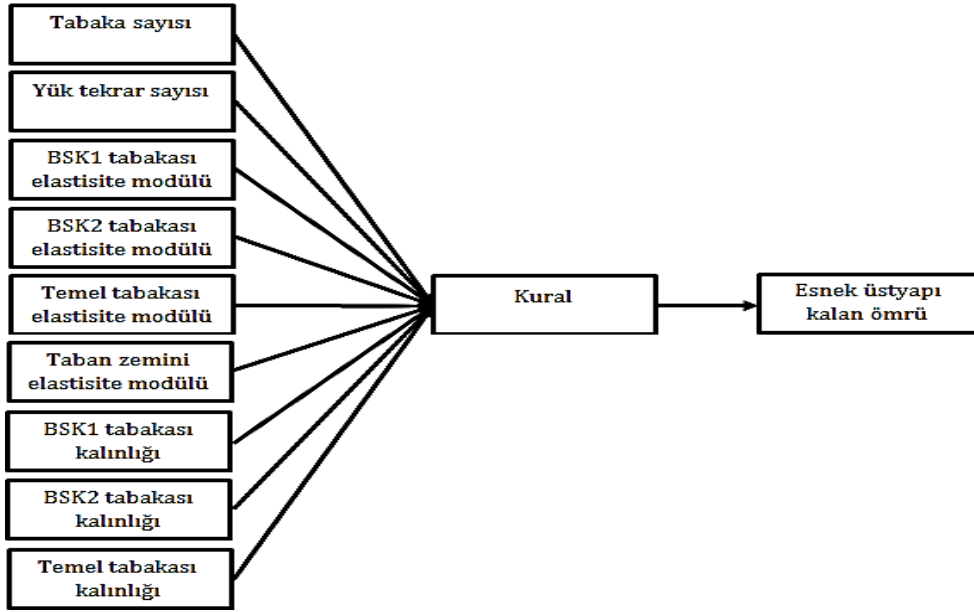
basıncına ve 34.29 santimetre (13.5 inçlik) bir tekerlek aralığına sahip olan çift lastikli 8.2 ton tek dingilli standart yük kullanılarak asfalt tabakasının altındaki çekme şekil bozulması hesaplanmıştır. Bu yükleme parametreleri KENLAYER tarafından önerilen parametrelerdir. Analizler için kritik çekme şekil değiştirmesi, asfalt tabakasının altında hesaplanmıştır. Asfalt tabakasının tabanındaki çekme şekil değiştirmesi; ilki tek bir tekerlek merkezinin altındaki nokta, ikincisi tekerleğin kenarındaki nokta ve üçüncüsü de iki tekerlek arasındaki orta nokta olmak üzere üç noktada hesaplanmıştır. BSK, temel ve taban zemini tabakaları için Poisson oranlarının değerleri sırasıyla 0.35, 0.35 ve 0.40 olarak alınmıştır. Uygulama KENLAYER programı ile tamamlandıktan sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Üstyapıların kalan ömrü hesaplama adımları akış diyagramı



Şekil 3. KENLAYER programı sonucu (Casa G bölgesi)



Şekil 4. Esnek üstyapı kalan ömrü ANFIS modeli

- Bitümlü tabakanın en alt kısmındaki maksimum yatay çekme şekil değiştirme değeri (ϵ_t) $1,18E-04$ olarak hesaplanmıştır.
- Taban zeminindeki maksimum basınç şekil değiştirme değeri (ϵ_c) $3,27E-04$ olarak hesaplanmıştır.
- Yorulmaya göre dingil yükü uygulamaları tekrar sayısının izin verilen miktarı (N_f) $5,21E+06$ olarak hesaplanmıştır.
- Deformasyona göre dingil yükü uygulamaları tekrar sayısının izin verilen miktarı (N_r) $5,51E+06$ olarak hesaplanmıştır.
- N_f Ve N_r değerleri Denklem 1 ve 2 yardımıyla hesaplanmıştır. N_f ve N_r değerlerine bağlı olarak yorulma ve deformasyon ömrü belirlenmiştir. Bu ömür değerlerinden kritik yani küçük olanı üstyapı ömrü olarak kabul edilmektedir. Örnekte kritik değer olarak N_r değeri bulunmuştur.
- Üstyapı zarar oranı (D) 0.0833 olarak hesaplanmıştır.
- Üstyapının kalan ömrü (KÖ) 18.23 yıl olarak hesaplanmıştır.

5. ANFIS Modeli Geliştirilmesi

Bu çalışmada, regresyon denklemlerine alternatif olarak esnek üstyapı kalan ömrü tahmin edilmesi amacıyla adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemiyle tahmin modeli geliştirilmiştir. Tahmin yönteminde girdi olarak tabaka sayısı, yük tekrar sayısı, elastisite modülü (iki asfalt kaplama, temel tabakası ve taban zemini), tabaka kalınlığı (iki asfalt kaplama ve temel tabakası) parametreleri kullanılmış ve esnek üstyapı kalan ömrü çıktı olarak kullanılmıştır. Çalışmada 32 adet deneysel veri seti kullanılmıştır. Veri setlerinin 25 adedi modelin eğitiminde, 7 adedi ise test aşamasında

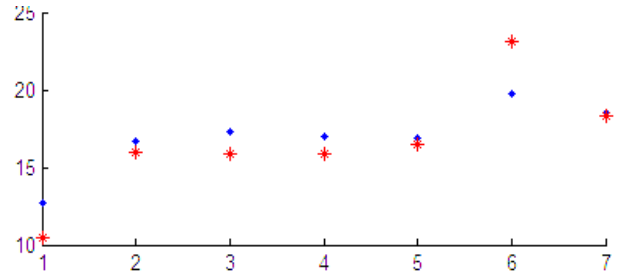
işleme alınmıştır. Kullanılan ANFIS modeli şematik olarak Şekil 4'te gösterilmiştir.

Bulanık model algoritmasının adımları veri yükleme, başlangıç FIS yapısını üretme veya yükleme, FIS eğitimi ve eğitilen FIS'İN doğrulanması şeklinde özetlenebilir.

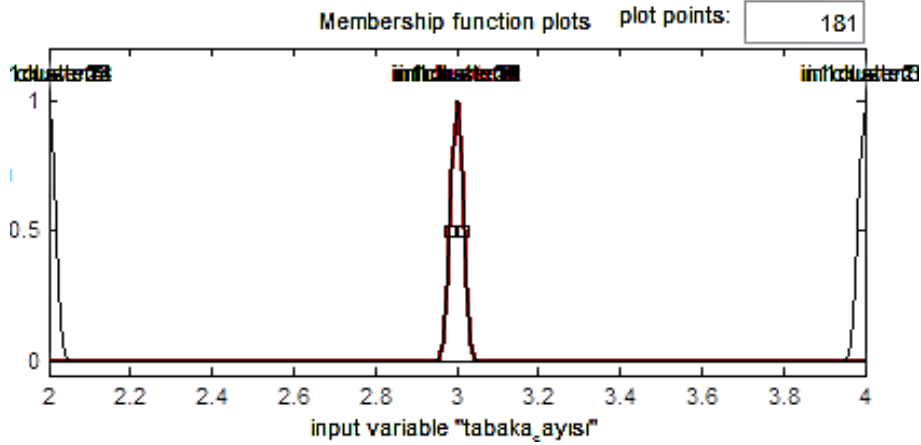
Veri yüklemede, FIS modelini eğitmek için, modellenecek olan sistemin istenen girdi/çıkıtı verilerini içeren bir Eğitim veri setini yüklenerek modellemeye başlanmıştır. Yüklenen veri seti, sütun vektörleri ve son sütunda çıkıtı verileri olarak sırasıyla (1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9.) sütunlar (tabaka sayısı, yük tekrar sayısı, BSK1 tabakası elastisite modülü, BSK2 tabakası elastisite modülü, temel tabakası elastisite modülü, taban zemini elastisite modülü, BSK1 tabaka kalınlığı, BSK2 tabaka kalınlığı, temel tabakası kalınlığı) olarak belirlenmiştir ve 10. sütun esnek üstyapı kalan ömrünü temsil etmektedir. Başlangıç FIS yapısı üretilmiş ve hesaplanan sonuçlar ile en iyi uyumu gösteren etki aralığı 0.02 , sıkıştırma faktörü 1.25 , kabul etme oranı 0.5 reddetme oranı 0.15 olarak bulunmuştur. FIS eğitiminde optimizasyon yöntemi olarak geri yayılım algoritması kullanılmış ve eğitim döngü sayısı 100 olarak alınmıştır. FIS modelini eğitmek için kullanılan veriden farklı olarak, bir test veya kontrol verisi kullanılarak model doğrulanmıştır. Test seti Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 5'te mavi olarak görülen veriler hesaplanan esnek üstyapı kalan ömrü verilerini, kırmızı olarak görülen veriler ise ANFIS modelinin tahmin ettiği verileri belirmektedir.

ANFIS, üyelik fonksiyonu parametreleri sistem davranışını tanımlayan bir veri setinden elde edilmektedir. Ayrıca, bu veri seti gruplar halinde bölünebilmekte ve bu grupların en iyi üyelik fonksiyonuna göre düzenlenmesi yapılabilmektedir. Bu çalışmada, hesaplanan esnek üstyapı kalan ömrü

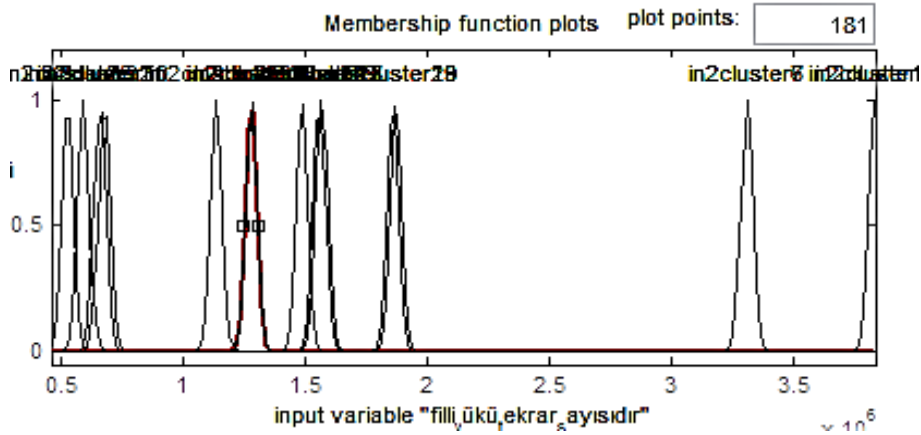
sonuçları ile modelin tahmin ettiği kalan ömür sonuçları karşılaştırılmıştır. Modelde girdi olarak seçilen tabaka sayısı, yük tekrar sayısı, BSK1 tabakası elastisite modülü, BSK2 tabakası elastisite modülü, temel tabakası elastisite modülü, taban zemini elastisite modülü, BSK1 tabaka kalınlığı, BSK2 tabaka kalınlığı ve temel tabakası kalınlığı parametreleri için gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonları lineer olarak seçilmiştir. Üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te görülmektedir. Şekil 15'te kalan ömür için üyelik fonksiyonu görülmektedir.



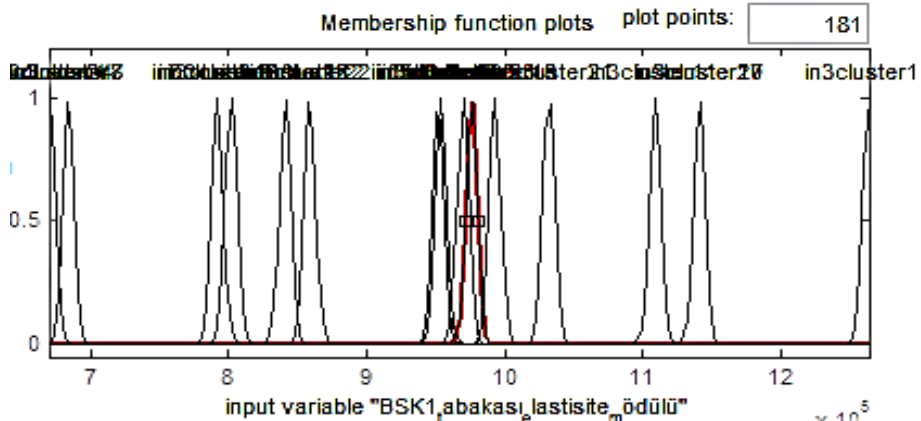
Şekil 5. Test sonrası test verilerinin eşleşmesi



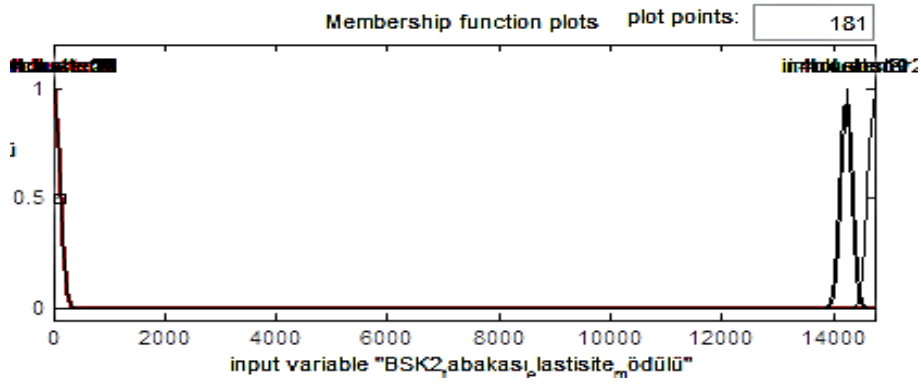
Şekil 6. Tabaka sayısı için üyelik fonksiyonu



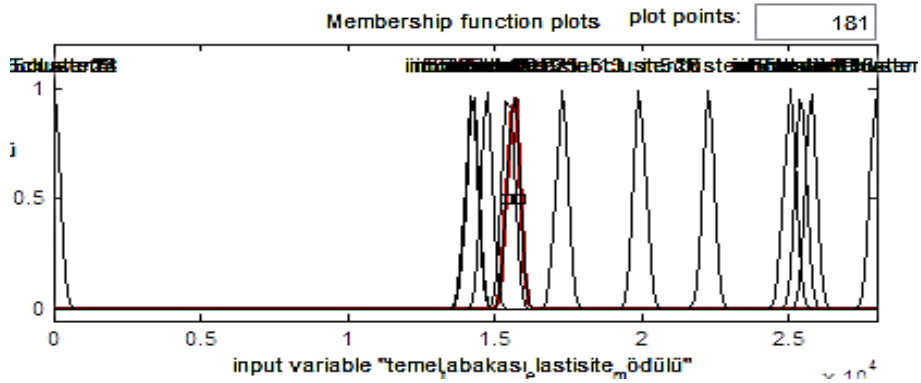
Şekil 7. Yük tekrar sayısı için üyelik fonksiyonu



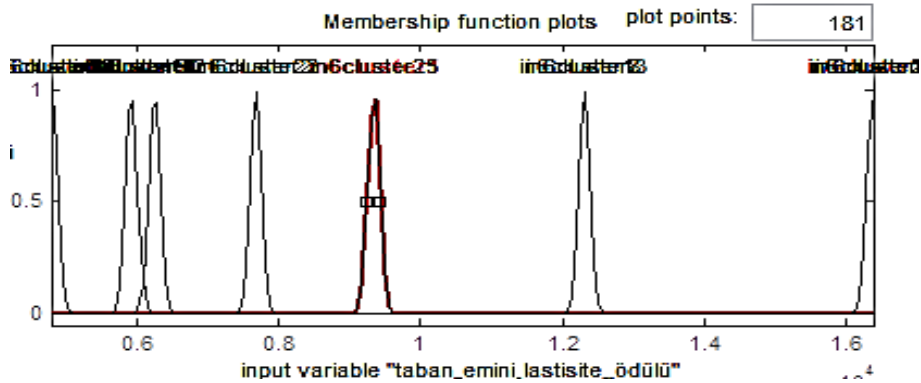
Şekil 8. BSK1 tabakası elastisite modülü için üyelik fonksiyonu



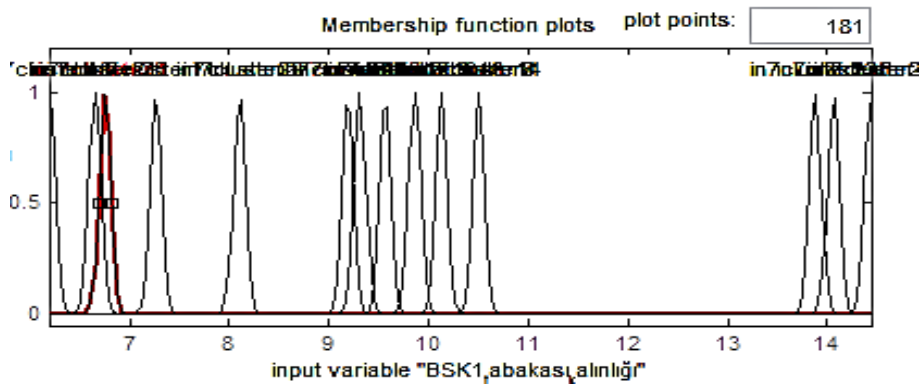
Şekil 9. BSK2 tabakası elastisite modülü için üyelik fonksiyonu



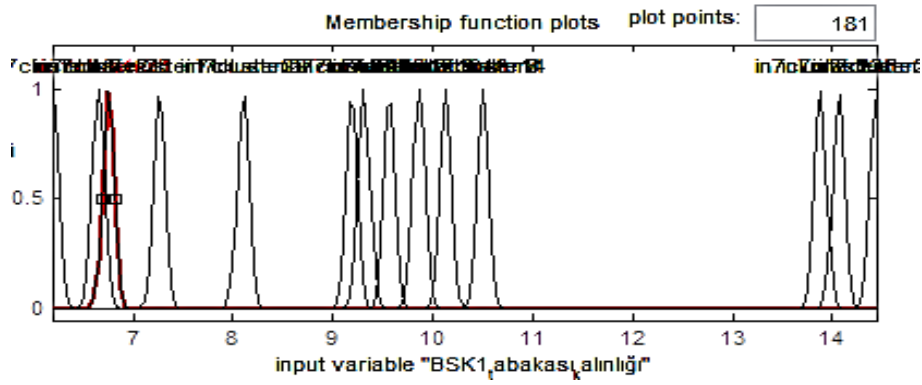
Şekil 10. Temel tabakası elastisite modülü için üyelik fonksiyonu



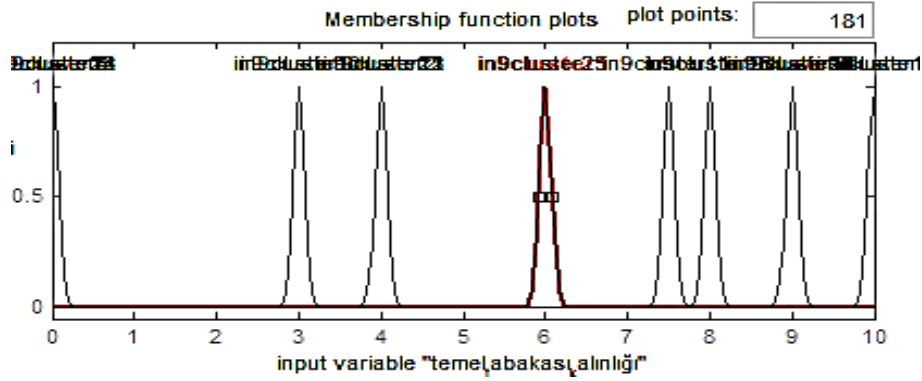
Şekil 11. Taban zemini elastisite modülü için üyelik fonksiyonu



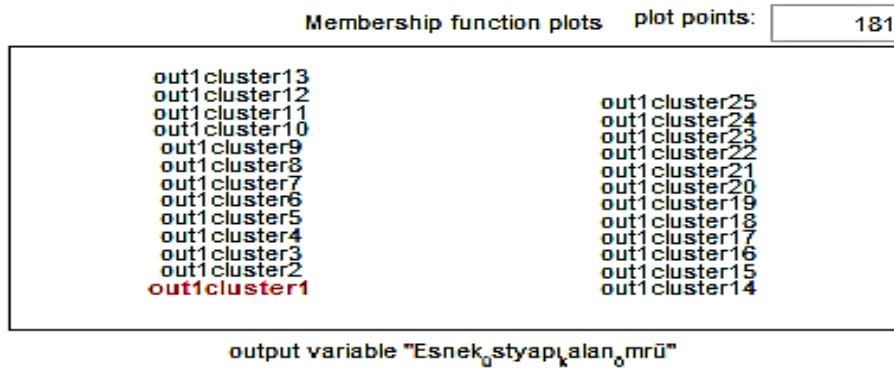
Şekil 12. BSK1 tabaka kalınlığı için üyelik fonksiyonu



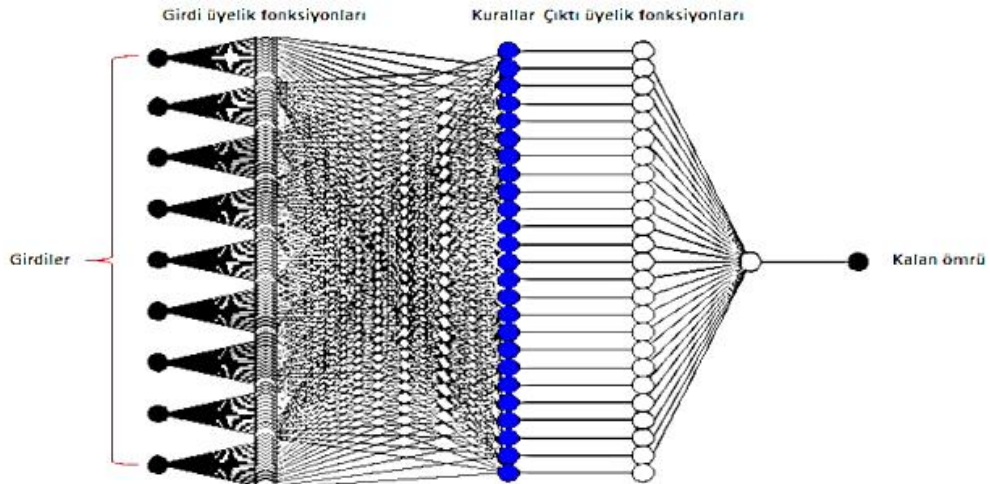
Şekil 13. BSK2 tabaka kalınlığı için üyelik fonksiyonu



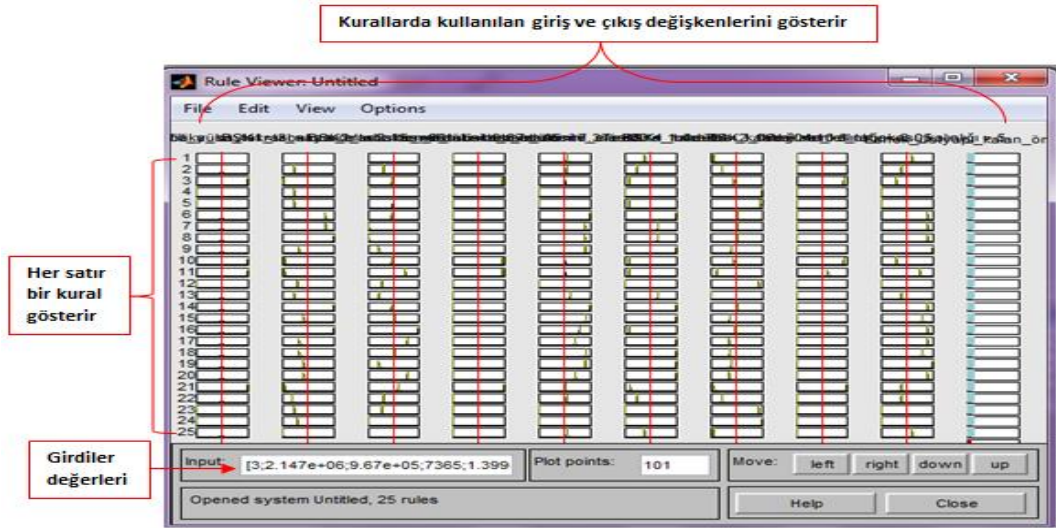
Şekil 14. Temel tabakası kalınlığı için üyelik fonksiyonu



Şekil 15. Kalan ömür için üyelik fonksiyonu



Şekil 16. Geliştirilen modelin genel yapısı

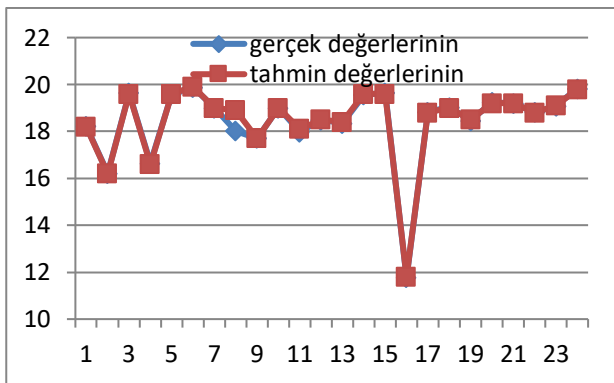


Şekil 17. Kural izleyici

Geliştirilen modelin genel yapısı Şekil 16'de görülmektedir.

Kurallar oluşturulduktan sonra bulanık çıkarım sistemi tanımlanmış ve sistemin kontrol edilmesi amacıyla kural izleyici kullanılmıştır. Kural izleyici ile oluşturulan kural tabanına uygun olarak girdi değerlerinin değişimine göre çıktı değerlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Şekil 17'de Kural izleyici görülmektedir.

Şekil 17'de kural numaraları her satırın sol tarafında gösterilmektedir. İlk dokuz sütun öncül üyelik fonksiyonlarını, son sütun ise verilen çıkarım sistemi için ağırlıklı ortalama sonucunu göstermektedir. Durulaştırılmış çıktı bu alan üzerinde kalın dikey bir çizgi olarak görüntülenmektedir. Bulanık kuralların grafiksel gösterimi aslında bütün bulanık çıkarım süreçlerinin bir yol haritasını ve özetini teşkil etmektedir. Grafikteki her bir satır kural tabanındaki bir kurala karşılık gelmekte, girdi ve çıktuların üyelik fonksiyonlarını vermektedir.

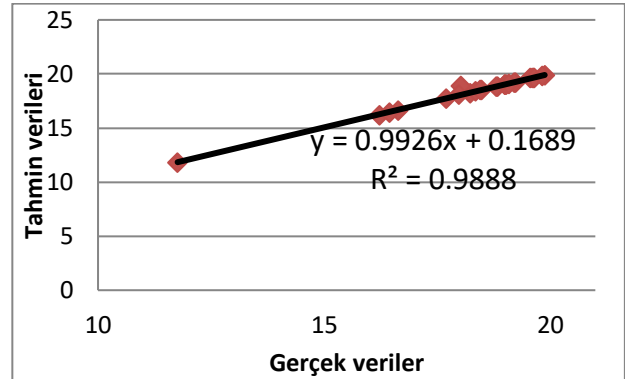


Şekil 18. Model - hesaplama sonuçları eşleşme grafiği (Eğitim seti)

Eğitim aşamasından sonra eğitim seti ile modelin tahmin ettiği eğitim verileri arasındaki ilişki Şekil 18'de görülmektedir. Şekil 18'de mavi olarak görülen

çizgi hesaplanan verileri, kırmızı olarak görülen çizgi ANFIS modelinin tahmin ettiği verileri göstermektedir.

Eğitim aşamasında kullanılan veri seti ile modelden elde edilen tahmin verileri Şekil 19'da görülmektedir.

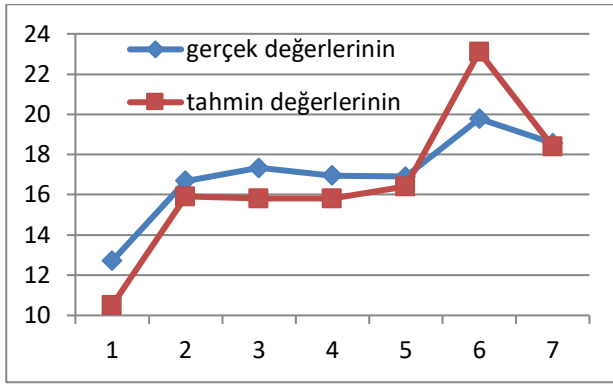


Şekil 19. Model - hesaplama sonuçları ilişkisi (Eğitim seti)

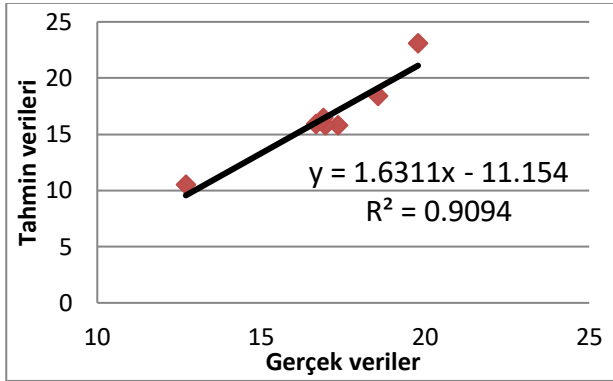
Test seti ile modelin tahmin verileri arasındaki ilişki de Şekil 20'de verilmiştir. Şekil 20'de mavi olarak görülen çizgi gerçek verileri, kırmızı olarak görülen çizgi ANFIS modelinin tahmin ettiği verileri göstermektedir.

Test aşamasında kullanılan veri seti ile modelden elde edilen tahmin verileri Şekil 21'de görülmektedir.

Şekil 19 ve Şekil 21 incelendiğinde model ile hesaplama sonuçları arasında kabul edilebilir düzeyde bir yakınlık bulunmaktadır. Oluşturulan ANFIS modelinin test ve eğitim aşamasında gerçek sonuçları iyi bir korelasyon ile tahmin edebildiği görülmüştür.



Şekil 20. Model - hesaplama sonuçları eşleşme grafiği (test seti)



Şekil 21. Model - hesaplama sonuçları ilişkisi (test seti)

6. Sonuçlar

Bu çalışmada esnek üstyapı kalan ömrü tahmini, Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanılarak yapılmıştır. Tahmin metodlarında girdi olarak tabaka sayısı, yük tekrar sayısı, elastisite modülü (iki asfalt kaplama, temel tabakası ve taban zemini), tabaka kalınlığı (iki asfalt kaplama ve temel tabakası) parametreleri kullanılmış ve esnek üstyapı kalan ömrü çıktı olarak alınmıştır. ANFIS’de kullanılan üyelik fonksiyonları ise parametrelere göre ayarlanmış ve bu çalışmada esnek üstyapı kalan ömrü belirlenmesi için en uygun üyelik fonksiyonu gauss olarak belirlenmiştir. Bulanık çıkarım sisteminin oluşturulması için 32 veri kullanılmıştır. Deneysel veriler, eğitim için 25 adet ve test için 7 adet olmak üzere ikiye ayrılarak modellemeye kullanılmıştır. Test aşamasında model oluşturulurken daha önceden tanımlanmayan girdiler kullanılarak modelin durulaştırma ekranından tahmin sonuçları alınmıştır. Eğitim setinde model sonuçları ile hesaplanan değerler arasında 0.988 gibi yüksek bir ilişki görülmüştür. Test setinde ise model sonuçları ile hesaplanan değerler arasında 0.909 gibi yüksek bir ilişki görülmüştür. Çalışma sonucunda, kurulan ANFIS modelinin, esnek üstyapı kalan ömrünün tahmin edilmesinde uygun sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Ağar, E., Göktepe, A.B., Hilmi L., 2005, Esnek üstyapılarda mekanik özelliklerin yapay sinir ağları kullanılarak geri-hesaplanması. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Berber, N., Boru, A., 2013, Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi İle Hava Tahmini, Endüstri Mühendisliği, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.

Çakıroğlu, M., Erenoğlu, E., KASAP, S., EKİZ, Y., 2011, Çelik Lif Katkılı Betonların Tahribatsız Deney Yöntemleriyle Elde Edilen Basınç Dayanımının Anfis Metoduyla Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Böl, Isparta.

Dennis, N., Hall, K.D., Hazra, S., 2012, Calibration Of Prediction Models For Remaining Life Of Flexible Pavements In Arkansas,, University of Arkansas, Arkansas.

Hocaoglu F., Kurban M., 2013, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemle Eskişehir Bölgesi İçin Güneşlenme Süreleri Tahmini, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Anadolu Üniversitesi iki Eylül Kampusu, Eskişehir.

Kandil, K.A., 2013, Modeling Marshall Stability and Flow for Hot Mix Asphalt Using Artificial Intelligence Techniques,, Associate Professor, Public Works Department, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

Karamanoğlu, M., Bilgehan, M., Sivrikaya, Osman., (2010). Yangına Maruz Betonarme Döşemelerin Moment Kapasitesinin Bulanık Sinir Ağı Yöntemi ile Tahmini, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS 2010, 14-16 Ekim 2010, Diyarbakır.

Öcal, A., 2014, Backcalculation Of Pavement Layer Properties Using Artificial Neural Network Based Gravitational Search Algorithm. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, Ankara.

Özcanan, S., Akpınar, M.V., 2014, Esnek Üstyapılarda Kritik Tekerlek ve Aks Konfigürasyonların Mekanistik Analizlere Göre Tespit Edilmesi, İMO Teknik Dergi, 2014 6625-6654, Yazı 413.

Saltan, M., 1999, Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.