

TEKNİK NOT/TECHNICAL NOTE

RİJİT YOL ÜSTYAPISININ BAKIMINA BİR YAPAY SİNİR AĞI METODOLOJİSİNİN UYGULANMASI

Mehmet SALTAN¹

ÖZ

Yapısal açıdan incelendiğinde rijit yol üstyapılarının, esnek olanlara benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak günümüzde, uçak teknolojisindeki gelişmeler sonucu uçak ağırlıkları artmış ve buna paralel olarak özellikle havaalanı rijit üstyapıları için bakım çalışmaları daha fazla önem kazanmıştır. Rijit üstyapılarda, yapılan çok sayıda defleksiyon ölçümü kullanılarak üstyapının durumu hakkında bilgi edinmek mümkündür. Alışılmış geri-hesaplama teknikleri dışında çok sayıda defleksiyon ölçümünden yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak üstyapının durumunu değerlendirmek mümkündür. Üstyapının durumunu belirlemede kullanılan diğer yöntemlerde veri hazırlama ve özellikle de değerlendirmek çok uzun sürmektedir. Bu çalışmada YSA kullanılarak eldeki mevcut veri tabanı öğretilmiş, sonra da öğretimde kullanılmayan veriler değerlendirilmiştir. Böylece çok uzun sürebilecek sayısal yöntemlerin kullanımı yerine YSA kullanımının kolaylık ve zamandan tasarruf sağladığı görülmüştür. Ayrıca YSA, girdi ve çıktılar arasında doğrudan nonlineer bir ilişki bulduğu için diğer program ve yöntemlerdeki kabuller ortadan kaldırılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rijit Yol Üstyapıları, Defleksiyon, Yapay Sinir Ağları, Geri-hesaplama.

AN APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHODOLOGY TO MAINTENANCE OF RIGID PAVEMENTS

ABSTRACT

Rigid pavements are like flexible pavements as structural manner. Today especially with increase of airplane weight, rigid pavement maintenance is important. It is important to examine structural capacity of pavements using deflection tests. Except for usual backcalculation techniques, pavement performance can be evaluated using Artificial Neural Network (ANN) from deflection tests. Other techniques used structural capacity of pavement require more time in preparing data and evaluating pavement condition. In this study, available data base was trained using ANN and then data which are not used in training were evaluated. So instead of the use of numerical methods that can take long time, the use of ANN make simplicity and saving time. Also, because ANN ensure a nonlinear relation between input and output, assumptions in other programs and methods are removed.

Key Words: Rigid Pavements, Deflection, Artificial Neural Networks, Backcalculation.

1. GİRİŞ

Günümüzde hizmet vermekte olan rijit yol üstyapılarında, güvenli bir hizmet verebilmek için bakım yöntemlerini uygulamak son derece önemli bir problemidir. Araçların güvenli bir şekilde geçişlerini gerçekleştirebilmeleri ve uçakların emniyetli bir şekilde uçuşlarını yapabilmelerini sağlamak için karayolu rijit üstyapılarında ve günde 300'e varan uçuşların olduğu havaalanla-

rında inşaat mühendisleri, artan uçak yüklerine karşı yeterli dayanım gücünü sağlama konusunda çalışmalar yapmaktadır.

Temel olarak rijit üstyapılar, esnek üstyapılara benzerlik gösterir. Rijit üstyapılarda dingil yüklerine bağlı olarak bozulmalar meydana gelir. Özellikle yeni geliştirilen ticari uçaklar, artan yükleri sebebiyle sert inişler yapmakta ve havaalanı rijit üstyapılarında bozulmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple oluşacak bozulmayı güve-

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı, 32260 Isparta.
Faks: 0.246.2370859; Tel: 0.532.7309700; E-posta: msaltan@mmf.sdu.edu.tr.
Geliş: 14 Eylül 2000; Düzeltme: 14 Mayıs 2001; Kabul: 15 Kasım 2001.

nilir olarak belirlemek ve sınıflandırmak büyük önem kazanmaktadır. Beton karayolu ya da havaalanı üstyapılarındaki bozulmaların durumunu belirleyebilmek için yıkıntısız olarak değerlendirme yapmaya gereksinim vardır. Rijit üstyapılarda yıkıntısız test yöntemleri, ya yük uygulayarak defleksiyon ölçmek, ya da yüzey dalgaları göndermek suretiyle yapılmaktadır. Düşen Ağırlıklı Defleksiyon Ölçer (Falling Weight Deflectometer-FWD) benzeri aletler ile yapılan defleksiyon ölçümleri, üstyapının taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılırken, yüzey dalgaları genelde rijit üstyapıdaki çatlaklar ve kırılmalar gibi süreksizlikleri belirlemede kullanılmaktadır. Yüzey dalgalarının rijit üstyapılarda kullanımı, üstyapının derinliğinin denetimini sağlar ve üstyapı tabaka parametreleri hakkında pratik bilgi edinilmesine yardımcı olur. Yüzey dalga ölçümleri belli aralıklarla yapılarak çatlakların ilerleme durumu belirlenebilir (Saltan vd., 1999).

Yıkıntısız test aletleri üstyapının yapısal durumunu değerlendirmekte oldukça faydalıdır. Özellikle hareket eden, tekerlek yükünü en iyi simule eden FWD ölçümleri sonucunda elde ettiğimiz yüzey defleksiyon eğrisi üstyapı hakkında bize temel bilgi verir (Xue-Jun and Xiao-Ming, 1990).

Üstyapı durumunu belirleme çalışmalarında yıkıntısız testlerden elde edilen defleksiyon verileri; öncelikle kabaca üstyapının yapısal durumunu anlamak için aynı noktada belli aralıklarla ölçüm yapılarak üstyapının zamanla geldiği noktanın belirlenmesi, ya da üstyapı tabaka karakteristiklerinin ölçülmüş defleksiyon verileri yardımıyla belirlenmesi şeklinde kullanılmaktadır. Ölçülen defleksiyon değerlerinden üstyapı tabaka elastiklik modüllerinin belirlenmesi işlemine "geri-hesaplama" (backcalculation) denilmektedir. Geri-hesaplama işlemi sonucunda bulunan üstyapı tabakalarının elastiklik modülü değerleri üstyapının durumunun göstergesi olmaktadır. Bu değerlerin gerçek önemi, yerinde test yapıldığı için gerçek değerler olması sebebiyle laboratuvar testlerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermesidir. Böylece elde edilen bu elastiklik modülü değerleri yardımıyla üstyapının kalan ömrü belirlenebilir (Saltan, 1999).

Havaalanı üstyapılarının analizi için denetimi kolay ve çok hassas sonuç veren aletlerin geliştirilmesi önemlidir. Ayrıca elde edilen verileri çok hızlı ve çok doğru şekilde değerlendirebilecek yöntem geliştirmek de önemlidir. Değerlendirme yaparken, rijit üstyapılardaki çatlakların oluşumunun belirlenmesi, havaalanı üstyapı tabaka özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Achenbach and Popovics, 1999).

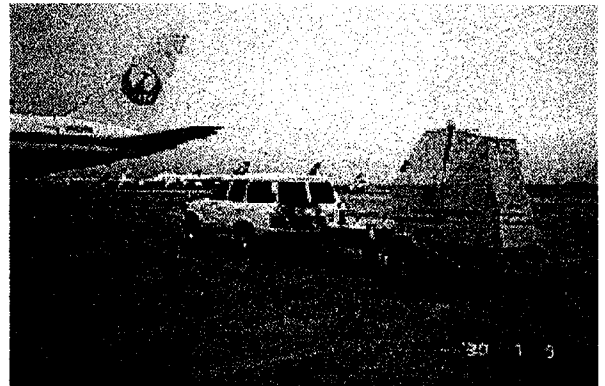
FWD ölçümlerinden alınan defleksiyon değerleri, elastiklik modülü ve poisson oranı gibi tabaka malzeme özelliklerinin gerihesaplanmasında kullanılmaktadır. Üstyapı tabaka malzeme özelliklerini belirlemek için,

günümüze kadar lineer elastik tabaka teorisi, denk kalınlık yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi sıklıkla kullanılmıştır. Son yıllarda esnek yol üstyapılarında tabaka malzeme elastiklik modüllerinin geri-hesaplanmasında, Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Temelde rijit yol üstyapıları, esnek olanlara benzerlik gösterdiğine göre, YSA rijit yol üstyapılarında tabaka malzeme özelliklerini gerihesaplamak için kullanılabilir.

2. RİJİT ÜSTYAPILARDA FWD KULLANILARAK DEFLEKSİYON TESTİ

Bir rijit üstyapının işletimi yapılırken, yapısal bütünlüğü ve kapasitesinin sürekli olarak denetim altında tutulması gereklidir. Yapısal durumun değerlendirilmesi normal olarak FWD aletinden alınan defleksiyon ölçümleri sayesinde olmaktadır. Yapısal kapasiteyi belirlemek için daha önceleri Benkelman Kirişi, Dynaflect gibi aletler kullanılırken, günümüzde bu aletler yerini FWD'ye bırakmıştır. Bütün üstyapı boyunca FWD ile defleksiyon ölçme işlemleri sabah erken saatlerde yapılmalıdır. Gün ortasında ya da öğleden sonra yapılan deneyler sağlıklı olmamaktadır (Larsen, 1990; Huang, 1993). Bir FWD ile bir havaalanında bir gecede 250 farklı noktada deney yapılabilmektedir. Her deney noktasında genelde yedi adet defleksiyon okuması yapılır. 20-150 kN' luk yük 20-25 ms gibi sürelerde uygulanabilmektedir. Yük merkezinden itibaren her sensör arasında, 250 cm mesafe bırakılır (Battiatto and Larsen, 1990). FWD testi hızlı ve ucuzdur. Düşüş yüksekliği ve yük büyüklüğü değiştirilerek değişik trafik yükleri temsil edilebilmektedir (Stet and Beuving, 1990).

Ağır uçak yüklerini simule edebilmek için Dynatest, Heavy Weight Deflectometer (HWD)'yi geliştirmiştir (Şekil 1). Bu alet, 240 kN'a kadar yük uygulayabilmektedir. Bu demektir ki, 425 ton civarında ağırlığı olan uçak teker yükleri simule edilebilmektedir (Stet and Beuving, 1990).



Şekil 1. HWD Uygulaması.

Dinamik yükün etkisindeki bir üstyapının yüzeyindeki defleksiyon ölçümleri üstyapı tabakaları ve taban zemininin özelliklerini belirlemek için analitik yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Bahsedilen tabaka özellikleri taban zemini ve üstyapı tabakalarının elastiklik modülleridir ve bu modül değerleri üstyapının yapısal taşıma kapasitesinin bir göstergesidir. Buna bağlı olarak üstyapının beklenen ömrü belirlenir ve bu ömrü artırmak için uygun bir çözüm aranır. Bu çözüm de genelde bir takviye tabakası yapılmasıdır. Ancak üstyapının bakımından sorumlu olan şirketler farklı alternatifleri karşılaştırarak ellerindeki bütçeye en uygun çözümü bulmaya çalışırlar. Üstyapının yapısal kapasitesi genelde ASN/ÜSN (Araç Sınıf Numarası / Üstyapı Sınıf Numarası) oranıyla ifade edilmektedir (Shoukry vd., 1999).

3. RİJİT ÜSTYAPILARIN YAPISAL DURUMUNU BELİRLEMEDE KULLANILAN PROGRAMLAR

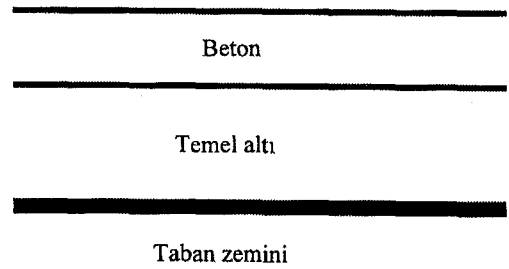
Rijit üstyapıların yapısal durumunu belirlemede en çok kullanılan bilgisayar programları; ILLI-BACK, JCP-1, ILLI-PAVE, MAPCON, NULOAD, Pavechek, ARA ve KENSLABS programlarıdır (Black, 1999).

ILLI-BACK programı, rijit üstyapı tabaka elastiklik modüllerini geri-hesaplamakta kullanılan bir programdır. İki tabakalı rijit üstyapılar için çözüm yapmaya uygun bir programdır. Bu program FWD gibi yıkıntısız test (Nondestructive Testing-NDT) verilerinin yorumlamasını yapar ve bunu yaparken de basitleştirmelere gidilmektedir. Ölçülen defleksiyon değerlerinin oluşturduğu defleksiyon eğrisinin alanını kullanmaktadır (Black, 1999).

ILLI-PAVE programı, çok kısa sürelerde, çok miktardaki NDT verisinin yorumlanmasında kullanılabilir. Arazide ölçüm yapan aracın içine monte edilebilen bir bilgisayara yüklenerek pratik olarak kullanılabilir. Bir sonlu eleman programıdır (Black, 1999).

MAPCON (Methods for Analyzing Pavement CONDITION data) programı, üstyapının yapısal kapasitesini, pürüzlülüğünü ve yüzey durumunu değerlendirir. ELSYM5 programını da bir alt program olarak kullanmaktadır (Black, 1999).

KENSLABS programını, Huang 1985 yılında yapmış ve sonlu eleman yöntemini kullanmıştır. Üstyapı plağı, pek çok düğüm noktasına sahip dikdörtgen sonlu elemanlara bölünmektedir (Huang, 1993). Bu çalışmada yapılmış olan çözümlerde KENSLABS programı kullanılmıştır.



Şekil 2. Tipik Bir Rijit Yol Üstyapının Enkesiti.

4. FWD TEST SONUÇLARININ ANALİZİ

Üstyapıların analizini yapmaktaki amaçlar şunlardır:

- İstenen fonksiyon ve performansın sağlanıp sağlanmadığını denetlemek.
- Bakım ve rehabilitasyon planlamaları için bilgi sağlamak.
- Projelendirme, yapım ve bakım stratejileri geliştirmek için bilgi sağlamak.

Rijit yol üstyapılarında üç yerde yapısal analiz yapılabilir. Bunlar; beton plağın iç kısmı, derzlerin olduğu kısım ve köşe kısımlarıdır (Greer, 1990). Rijit üstyapıların analizinde üstyapı, beton plak ve beton plağın oturduğu temel olmak üzere iki parçaya ayrılır. Bazen beton plak iki tabaka halinde de yapılabilir. Ayrıca analizlerde, üstyapıya yükün dairesel bir yüzey üzerinden uygulandığı kabul edilerek, problem eksenel olarak simetrik hale gelmektedir. Havaalanı rijit üstyapılarının çözümünde plak teorisi kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümler yapılmaktadır. Xue-Jun ve Xiao-Ming (1990) yaptıkları çalışmada, plak teorisini kullanarak ve değişik matematiksel fonksiyon ve dönüşümler yardımıyla havaalanı rijit üstyapı için teorik denklemler geliştirmişlerdir.

Stet ve Beuving (1990), Westergaard'ın geliştirdiği formüllere dayanarak beton plağa uygulanan yüke karşı plakta oluşan defleksiyon değerlerini hesaplamışlardır.

$$\delta = \frac{P}{8kl^2} * C \quad (1)$$

δ , dairesel yüke göre defleksiyon(mm)

P , uygulanan FWD yükü(N)

k , taban zemini tepki modülü(N/mm³)

l , bağıl rijitlik yarıçapı(mm)

$$C = [1 + (1 / 2\pi)\{ \ln(la / 2) + \tau - 5 / 4\}(a / l)^2]$$

a, dairesel yük yarıçapı

τ , Euler sabiti (0.57721566490)

Westergaard çözümlerine göre,

$$l = \left(\frac{E_c h^3}{12 (1 - \nu^2) k} \right)^{1/4} \quad (2)$$

l , beton plağın bağıl rijitlik yarıçapı,

E_c , betonun elastik modülü (N/mm²),

h , plak kalınlığı(mm),

ν , betonun poisson oranı,

k , taban zemini tepki modülü(N/mm³)

Bu durumda defleksiyon şöyle hesaplanmaktadır:

$$\delta = \frac{3P (1 - \nu^2) l^2}{2E_c h^2} * C \quad (3)$$

Ölçülmüş olan defleksiyon değerine bağlı olarak, bütün bir üstyapının taşıma kapasitesi, bağıl rijitlik yarıçapı şeklinde ifade edilebilmektedir.

Üstyapı malzemeleri; nonlineer elastik, gerilmeye bağlı, homojen olmayan ve anizotropik olduğu için, üstyapı tepkisinin arazi yükleme koşullarına mümkün olduğunca uygun yükleme koşulları altında belirlenmesi önemlidir. Genelde yük ve defleksiyon arasında lineer bir ilişki olmadığı için, uygulanacak olan FWD yükünün mümkün olduğunca gerçek yüke uyması istenmektedir.

Taban zemininin elastiklik modülü, beton üstyapıların yapısal durumunu belirlemek için önemlidir. Beton üstyapıların altında basınç dağılımı farklı noktalarda farklı değerler aldığı için ve zeminler ve granüler malzemeler nonlineer elastik davranış gösterdiği için, taban zemini elastiklik modülü sabit bir değer almaz. Yani taban zemini elastiklik modülü uç yüklemesi için olandan daha büyük çıkar. Havaalanı için mevcut geri-hesaplama işlemleri iç yüklemeye göre yapılmaktadır. Özellikle köşe yüklemeleri için bir yöntem yoktur.

Rijit üstyapılarda, taban zemini elastiklik modülü için ampirik denklemler geliştirilmiştir (Huang 1993).

$$\ln E_i = 5.39084 - 1.271741 \ln H - 1.422781 \ln \delta_i \quad (4)$$

$$\ln E_e = 7.317 - 0.8995 \ln H - 1.2957 \ln \delta_e - 0.485 \ln LT_\delta \quad (5)$$

E_i , FWD yüklemesi için taban zemini modülü (kg/cm²)

E_e , derz kenarı FWD yüklemesi için taban zemini modülü (kg/cm²)

H , beton plak kalınlığı (cm),

δ_i , iç FWD yüklemesi için yük altındaki defleksiyon (cm),

δ_e , uç FWD yüklemesi için derzdeki defleksiyon (cm).

Rijit üstyapılarında derzler en zayıf noktalar. Derzlerin değerlendirilmesinde yük aktarma verimi çok önemlidir. Derzlerdeki testlerde, sensörler, derzin her iki tarafındaki defleksiyonlar ölçülecek şekilde yerleştirilmelidir. FWD ölçümlerine dayanarak derzlerdeki yük transfer verimi değerlendirilebilir. Derzlerdeki verimin tam olarak anlaşılabilmesi için derz boyunca gerilme transferi de çalışılabilir. Yapılan çalışmalarda derzlerde gerilme transfer verimi ve defleksiyon transfer verimi arasında bire bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır (Tang ve Deng, 1990).

Rijit üstyapılarda da genelde günümüze kadar lineer elastik çok tabakalı analiz kullanılmıştır. Her tabakanın elastiklik modülüne ulaşmak için geri-hesaplama yöntemine başvurulmuştur. Esnek üstyapılardakine benzer şekilde, iteratif olarak ölçülen ve hesaplanan defleksiyon değerleri karşılaştırılarak, defleksiyon değerlerinin belli bir tolerans dahilinde üst üste geldiği elastiklik modülü değerleri rijit üstyapının tabaka elastik modülleri olarak kabul edilmektedir (Breyer vd., 1990).

Rijit üstyapılarda rehabilitasyon yönteminin seçiminde temel problem, beton üstyapıya doğrudan mı takviye tabakası uygulanacağı yoksa bozulmalar görülmeye başladıktan sonra mı takviye tabakası yapılacağıdır. Rijit üstyapılarda aşağıdaki durumlarda takviye tabakası uygulanır (Huang, 1993).

- Beton elastiklik modülü 30.000 MPa' ın altına düşmüşse,
- Derzlerde yük taşıma kapasitesi zayıflamışsa,
- Derzlerde yük transferi zayıflamışsa.

5. YAPAY SINIR AĞLARI VE GERİ ÖĞRENME ALGORİTMASI

Son 50 yıl içerisinde araştırmacılar, elektronik ortamda sinir hücrelerini modellemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar, günümüzde Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemini ortaya çıkarmıştır. YSA, "nöron" denilen basit hesaplama birimlerini kullanmaktadır. Bilgiler YSA'daki girdi tabakasında toplanmaktadır. Bir YSA sistemindeki amaç, daha önceden eğitim yoluyla bilgileri işlemektir (Altrock, 1995).

Araştırmacıların temel amacı inceledikleri, araştırma yaptıkları konudaki girdi-çıktıların arasındaki temel bağıntıyı bulmaktır. Böylece, incelenen konunun girdilere bağlı olarak değişimi incelenebilir. Hedeflenen bir çıktının elde edilmesi için girdiler ayarlanabilir ya da değişik girdilere bağlı olarak çıktı tahmin edilebilir. Böylece, incelenen sistem bir şekilde modellenmiş olur. Bu amaçla kullanılan pek çok algoritma, formülasyon mevcuttur. Ancak olay ne kadar karmaşık hale gelirse kullanılan algoritmalarındaki kabul sayısı artmakta, böylece sistem ancak belirli kabuller çerçevesinde çalışır hale gelmektedir. Bu sakıncanın giderilmesi için araştırmacılar çalışmalarını sürdürmüşler ve günümüzdeki bilgisayar teknolojisi ile yapay sinir ağları yönteminin kullanımı hemen hemen her alana yayılmıştır.

Yapay sinir ağlarının mantığı, bir problem için girdi ve çıktılar arasındaki ağırlık katsayılarının bulunması ve her girdi-çıkıtı için bu işlemin öğrenen bir sistem ile yapılması temeline dayanmaktadır.

Bu yöntemin temeli McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında atılmıştır ve halen temel teşkil etmektedir (Şekil 3). Daha sonraları 1949 yılında araştırmacılar dikkatlerini, insanın öğrenme yeteneğine ve onun modellenmesine yoğunlaştırdılar (Hebb, 1949). Bununla birlikte yapay sinir ağlarının daha verimli kullanımları 1980 yılından sonra, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, ortaya çıkmaktadır (Hopfield, 1982; Kohonen, 1982; Anderson, 1983; Rumelhart vd., 1986).

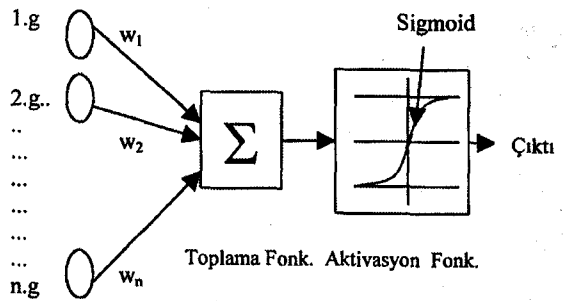
Yapay sinir ağlarında, girdi ve çıktılar arasında pek çok sinir hücresi ve pek çok sayıda bağlantı bulunmaktadır. Sinir nöronları arasındaki bu bağlantılar, ilişkiye göre bir aktarım değeri almakta ve buna ağırlık denmektedir. Veri tabanı tüm bu bağlantılardaki farklı ağırlık değerleri olarak saklanmaktadır. Bu ağırlıklar girilen tüm yeni veri takımları için yenilenmektedir, yani dinamik yapıdadırlar. Böylece mevcut bir veri tabanı öğretimi yapıldıktan sonra, ileride elde edilecek verilerle sistem kolayca güncellenebilmektedir (Altrock, 1995).

Yapay sinir ağları temel olarak 3 tabakadan oluşmaktadır; girdi tabakası (input layer), saklı tabaka (hidden layer), çıktı tabakası (output layer). Girdi ve çıktı tabakalarında, elimizdeki ham veriler bulunmaktadır. Saklı tabakada ise yapay sinir ağlarının kalbini oluşturan, işlemleri yapan sinir hücreleri (nöron) bulunmaktadır. Bu üç tabakadaki her bir nöron birbiri ile bağlantılıdır. Bu bağlantılar, verileri belli oranlarda bir sonraki nörona taşımaktadır. Saklı tabakadaki nöronlar kendileri ile girdi tabakasındaki her bir nöron ile bağlantılıdır ve bu bağ kendilerine girdilerden bağlantı aktarım ağırlığına göre değer taşımaktadır. Saklı tabakadaki bir nörona bu şekilde aktarılan veriler toplanır ve gelen bu sinyal, aktivasyon fonksiyonu denilen bir fonksiyonu tetikler. Bu fonksiyon belli bir eşik üzerindeki değerleri çıktı olarak vermektedir ve çıkış değeri genelde 0-1 aralığındadır.

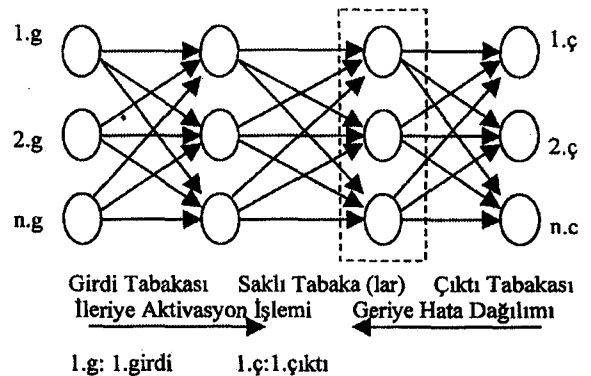
Çıkıtı tabakasındaki nöronlar da saklı tabakadaki her bir nörona bağlı durumdadırlar ve saklı tabakadaki her bir nöronun yine ağırlık katsayılarına göre veri toplarlar. Toplanan bu verileri yine aktivasyon fonksiyonları ile çıktı olarak sonuçlandırır. Çıkıtı olarak bulunan bu değer gerçek çıktı değerine göre kabul edilebilir bir değerde ise sonuç kabul edilir. Değilse, bu fark hata kabul edilerek işlem bu defa sondan başa doğru öncekine yakın bir mantık ile ağırlık katsayılarının düzeltilmesinde kullanılır. İleri-geri olan bu işlem hata toleransı kabul edilebilir bir seviyede oluncaya kadar tekrarlanır.

Bir YSA çözümündeki ilk adım, istenen davranışın eğitimidir. Buna öğrenme aşaması da denilmektedir. Bu aşamada veri grupları kullanılır. Hiç bir matematik modelin kullanılmadığı ya da uymadığı karmaşık problemler için YSA'nın bu özelliğinden faydalanılabilmektedir (Altrock, 1995).

Öğrenme aşaması tamamlandıktan sonra, YSA kullanıma hazır hale gelmiştir. Bu aşamaya çalışma aşaması denilmektedir. Eğitim aşamasının sonucunda YSA, eğitim aşamasındaki verilere benzetim yoluyla verilen girdiler için çıktı değerleri bulacaktır. Aradaki girdi değerleri için ise yaklaşım yapacaktır. Bu aşamada artık eğitim olmaz (Altrock, 1995).



Şekil 3. Basit Bir Sinir Hücresi Modeli (McCulloch ve Pitts, 1943).



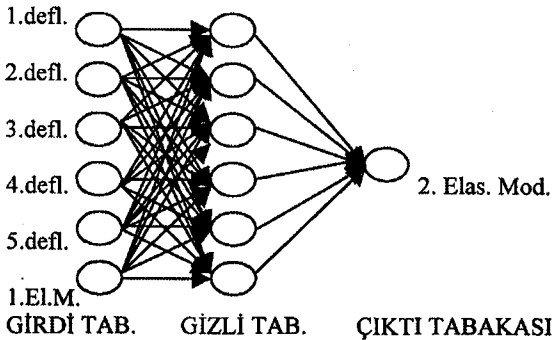
Şekil 4. Yapay Sinir Ağı İleri-Geri Öğrenme Yöntemi.

6. RİJİT ÜSTYAPININ YSA İLE MODELLENMESİ

Yapay sinir ağları yöntemi ile elimizdeki rijit üst-yapının modellenmesinde 5 defleksiyon değeri ve bir elastiklik modülü girdi tabakasında, 1 adet elastiklik modülü de çıktı tabakasında kullanılmıştır (Şekil 5). Saklı tabakada farklı sayılarda sinir hücreleri kullanılmış ve en az toplam hatayı veren sistem dikkate alınmış ve modellemede kullanılmış, daha sonra sonuçlar değerlendirilmiştir.

YSA ile sistemin modellenmesinde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanılmıştır. Veri tabanının oluşturulması için toplam 106 çözüm yapılmıştır. Her bir model farklı elastiklik modülleri için çözümlenmiş ve KENSLABS programı ile oluşan defleksiyonlar bulunmuştur. Bu şekilde oluşturulan veri tabanı YSA ile geri-hesaplama yapılabilecek şekilde modellenmiştir. Çünkü geri-hesaplama işleminde elimizde ölçülen defleksiyonlar olacaktır ve buradan elastiklik modülü değeri ya da değerlerinin bulunması gerekmektedir.

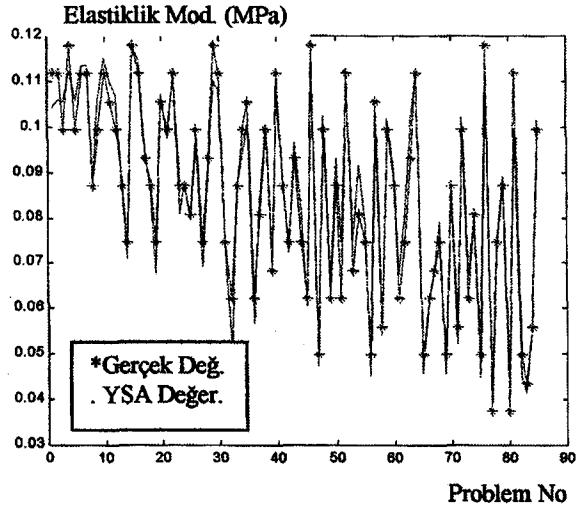
Rijit üstyapılarda iki tabakanın farklı elastiklik modülü kombinezonları için aynı defleksiyonları elde etmek mümkündür. Bu şekilde bir sistemin YSA ile modellenmesi de zordur. Bu nedenle elimizdeki 1. elastisite modülü de girdi olarak (ilk tabaka elastiklik modülü değerini bildiğimizi kabul ederek) kullanılmış ve çıktı olarak 2. elastisite modülünün bulunması hedeflenmiştir. YSA ile modellenen sistemin öğretiminde veri tabanının tekrarlanarak sisteme öğretim sayısı önemlidir. Bu şekilde her bir geriye hata dağıtımı ile toplam hataların kareleri toplamı değeri daha da azalmaktadır. Ve YSA, sistemi daha gerçekçi modelleyebilmektedir. Tablo 1’de sistemin farklı öğrenme tekrar sayısındaki hataların kareleri toplamı ve regresyon ilişki katsayıları verilmiştir. Veri tabanının ilk 85 veri-çıkı grubu YSA ile sistemin öğretiminde kullanılmıştır. Daha sonra YSA modelinin denetiminde, öğretimde kullanılmayan, 21 adet veri takımı sorgulamada kullanılmıştır. Sorgulama sonucundaki çıktı tahminlerinin çözümlerde bulunan değerlere son derece yakın çıktığı görülmektedir (Şekil 6-8).



Şekil 5. Rijit Üstyapı Yapay Sinir Ağ Modeli.

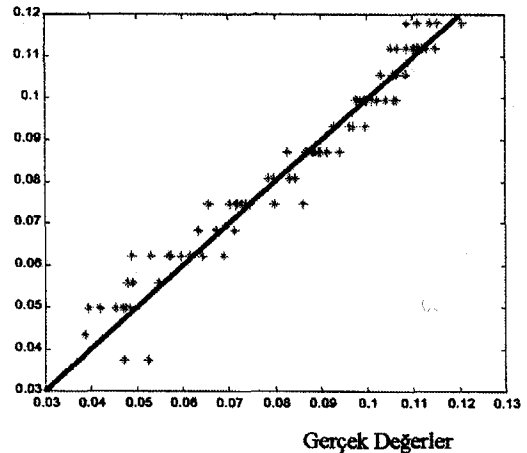
Tablo 1. Öğretim Tekrar Sayısına Göre Hataların Kareleri Toplamı ve İlişki Katsayıları

İterasyon	Eğitim		Sorgulama	
	500	5000	500	5000
Regresyon İlişki Katsayısı	0.9773	0.9964	0.9552	0.9798
Hataların Kareleri Toplamı	0.02	0.0003	0.0117	0.0015

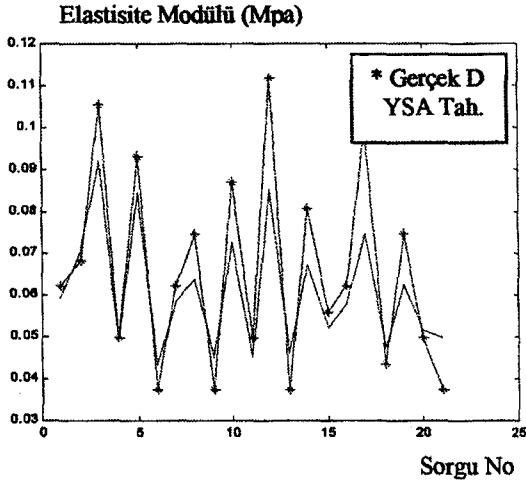


Şekil 6. YSA ile Veritabanının Öğretimi.

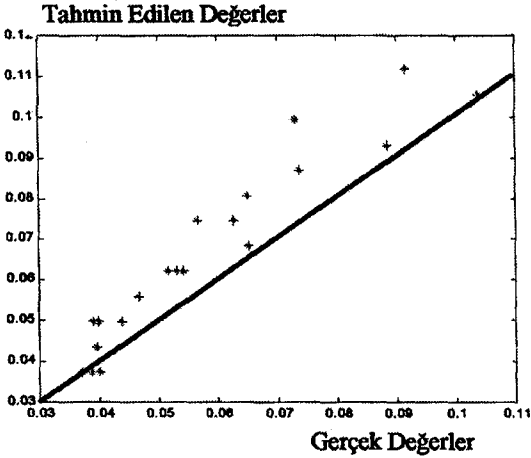
Tahmin Edilen Değerler



Şekil 7. Öğretimde Kullanılan Gerçek ve Tahmin Edilen Değerler.



Şekil 8. Öğretimde Kullanılmayan Veri Takımlarının YSA ile Sorgulanması.



Şekil 9. Sorgulamada Kullanılan Gerçek ve Tahmin Edilen Değerler.

7. SONUÇLAR

Geçmiş yıllarda, üstyapı durumunu belirleme çalışmalarında, projelendirme çalışmalarında, işletim ve bakım çalışmalarında kullanılan yaklaşık hesaplama yöntemleri, yerini güvenilir yöntemlere bırakmıştır. Üstyapıların durumlarını belirlemek için, başlangıçta karot numuneler alma, çukur açma ve benzeri yıkıntılı deneyler kullanılırken, son yıllarda çok hassas yıkıntısız deney aletleri geliştirilmiştir. Geleneksel üstyapı yapım ve bakım çalışmaları yerini günümüzde bilimsel yöntemlere bırakmaktadır. Özellikle üstyapı bakım çalışmaları günümüzde yıkıntısız deney aletleriyle toplanmış gerçek bilgilere dayandırılmaktadır. Yol üstyapılarının yapım ve bakım çalışmaları için milyarlarca lira para harcandığı da dikkate alınır, en faydalı ve en ekonomik çözümün bulunmasında bilimsel yöntemlerin kullanılması gerektiği daha açık olarak ortaya çıkmaktadır.

Yol üstyapılarından sorumlu olan kurumlar, ileriye dönük teknik ve finansal planlamalar yapabilmek için, üstyapıların ne durumda olduğunu bilmeye ihtiyaç duyarlar. Bu amaçla yıkıntısız deneylerden elde edilen defleksiyon verilerini kullanmaktadır (Saltan, 1999). Ölçülen defleksiyon değerlerinden, üstyapı tabaka elastiklik modüllerinin belirlenmesi işlemine "geri-hesaplama" (backcalculation) denilmektedir. Geri-hesaplama işlemi sonucunda bulunan üstyapı tabakalarının elastiklik modülü değerleri üstyapının durumunun göstergesi olmaktadır. Bu değerlerin gerçek önemi, yerinde deney yapıldığı için gerçek değer olması sebebiyle, laboratuvar deneylerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermesidir. Böylece elde edilen bu elastiklik modülü değerleri yardımıyla üstyapının kalan ömrü belirlenebilmekte ve bakım çalışmaları buna göre yönlendirilmektedir.

Üstyapının durumunu belirlemede kullanılan diğer yöntemlerde veri hazırlama ve özellikle de değerlendirme çok uzun sürmektedir. Özellikle sonlu elemanlar yönteminde ağı oluşturmak son derece zor olmaktadır. YSA, bu sakıncayı ortadan kaldırmaktadır.

Bu çalışmada YSA kullanılarak elimizdeki mevcut veri tabanı öğretilmiş, sonra da öğretimde kullanılmayan veriler değerlendirilmiştir. Böylece çok uzun sürecek sayısal yöntemlerin kullanımı yerine YSA kullanımının kolaylık ve zamandan tasarruf sağladığı görülmüştür. Ayrıca YSA, girdi ve çıktılar arasında doğrudan nonlineer bir ilişki bulunduğu için diğer program ve yöntemlerdeki kabuller ortadan kaldırılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan çözüm sayısı sınırlıdır. Ancak karşılaşılabilecek tüm durumlar çözülerek oluşturulacak bir veri tabanı, YSA kullanılarak daha farklı kombinasyonların çözümlerini elde etmek mümkün olabilecektir. Çok fazla veri kullanarak çok karmaşık problemler, YSA kullanılarak çok doğru bir şekilde çözülebilmektedir. YSA kullanmanın bir üstün yanı da, yeni verilerin eklenmesiyle sistemin güncellenebilmesidir.

TEŞEKKÜR

Makalenin hazırlanmasında, MATLAB programının kullanılmasına izin verdikleri için Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Achenbach, J.D. ve Popovics, J.S. (1999). Nondestructive ve Evaluation of Pavements. <http://www.uiuc.edu>.
- Altrock, C.V. (1995). *Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications Explained*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

- Anderson, J.A. (1983). Cognitive and psychological computation with neural models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13, 799-814.
- Battiato, G. ve Larsen, B.K. (1990). Evaluation of PCN (Pavement Classification Number) of airfields by means of the FWD. *Bearing Capacity of Roads and Airfields*, 2, 959-974.
- Black, T. (1999). Airport'99: As traffic increases, so do maintenance requirements. *American City & County*, 114, 51.
- Breyer, G., Fuchs, M., Litzka, J., Molenaar, A.A.A. ve Nievelt, G. (1990). Survey of reconstruction methods of worn-out (aged) rigid pavements. *Bearing Capacity of Roads and Airfields*, 2, 1147-1158.
- Greer, W.C. (1990). Structural evaluation of runway 8K-26L at Atlanta International Airport. *Bearing Capacity of Roads and Airfields*, 2, 1061-1070.
- Hebb, D. (1949). *The Organization of Behavior*. Wiley, New York, USA.
- Hopfield, J.J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Science*, 79, 2554-2558.
- Huang, Y.H. (1993). *Pavement Analysis and Design*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Kohonen, T. (1982). The self-organised formation of topography correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43, 59-69.
- Larsen, T.J. (1990). Test procedure for rigid pavements using falling weight deflectometer. *Bearing Capacity of Roads and Airfields*, 1, 139-147.
- McCulloch, W.S. ve Pitts, W.A. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. ve Williams, R.J. (1986). Learning representations by back propagation error. *Nature*, 32, 533-536.
- Saltan, M. (1999). Esnek üstyapıların analitik değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Saltan, M., Karaşahin, M. ve Tığdemir, M. (1999). Ha vaalanı rijit üstyapılarının analitik bakım çalışmalarının planlaması. *X. Mühendislik Sempozyumu İnşaat Mühendisliği'99*, Isparta, ss.567-576.
- Shoukry, S.N., William, G.W. ve Martinelli, D.R. (1999). Assessment of the performance of rigid pavement backcalculation through finite element modeling. *Proceedings of 1999 Nondestructive*
- Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (1)
Evaluation of Bridges and Highways III, v. 3587, Newport Beach, CA, USA. ss. 146-156.
- Stet, M.J.A. ve Beuving, E. (1990). An evaluation and overlay design method for prestressed concrete airport pavements. *Bearing Capacity of Roads and Airfields*, 2, 1031-1040.
- Tang, B. ve Deng, X. (1990). Application of FWD to structural evaluation of jointed concrete airfield pavements. *Bearing Capacity of Roads and Airfields*, 2, 1041-1050.
- Xue-Jun, D. ve Xiao-Ming, H. (1990). Dynamic analysis and evaluation of concrete pavement-theory, method., 1, 541-548.