

Türkiye Otoyol Ağı için üstyapı performans tahmin modellerinin geliştirilmesi

Ahmet Taner HERGÜNER*, Emine AĞAR

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Ulaştırma yatırımlarının devlet tarafından finanse edilmesi ve işletilmesi geleneği yakın zamanlara kadar sürmüştür. Ne var ki tüm dünyada ulaştırma yatırımlarına olan gereksinimin artışı ve kamu kesimi kaynaklarının sınırlılığı, devletlerin asli görevleri olarak görülen kamu hizmeti anlayışını değişime zorlamıştır. Bu bağlamda özel sektörün ilgisinin ulaştırma altyapı yatırımlarına çekilerek ihtiyaçların kamu kaynaklarına gerek kalmadan veya daha az kamu katkısıyla giderilmesi amaçlanmakta ve bunun yolları aranmaktadır. Günümüzde yeni otoyolların yapımı her geçen gün azalmakta, motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, yeni otoyolu yapmaktan çok mevcut otoyol üstyapılarının, gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde bakımı, onarımı ve yenilenmesi gibi çalışmalar daha çok önem kazanmaktadır. Türkiye otoyol ağının bakım ve onarımı için çok yüksek değerlere ulaşan bütçe gereksinimleri nedeniyle, sınırlı kaynaklara sahip bulunan ülkemizde, kaynakların daha verimli biçimde kullanılmasını sağlamak amacıyla, otoyol ağı içindeki yollarda, Üstyapı Yönetim Sistemi'nin uygulanması zorunlu hale gelmiş bulunmaktadır. Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), sınırlı mevcut bir bütçeye, en yüksek kazanç sağlayacak optimum bakım/iyileştirme önceliği programlarını oluşturmak için, nesnel ve sistematik yaklaşım taşımaktadır. Bu çalışmada; Karayolları Genel Müdürlüğü'nce yapılan ölçümlerin (IRI, RN) sonucunda toplanan veriler kullanılarak, otoyolların üstyapısında bozulmaların ne zaman meydana geleceğinin, oluşturulacak modeller (fuzzy logic, regresyon analizi) yardımıyla saptanması hususunda, ülkemiz koşullarına uygun örnek bir Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS)'nin kurulması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Üstyapı Yönetim Sistemi, bulanık mantık, IRI, RN.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: A.Taner HERGÜNER. tanerherguner@yahoo.com ; Tel: (216) 4893900/2000. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Programı'nda tamamlanmış olan "Türkiye otoyol ağı için üstyapı yönetim sistemi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 15.07.2009 tarihinde dergiye ulaşılmış, 08.10.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir. Bu makaleye "Hergüner, A.T., Ağar, E., (2010) 'Türkiye Otoyol Ağı için üstyapı performans tahmin modellerinin geliştirilmesi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 105-113" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Developing models of pavement performance estimation using fuzzy logic and regression analyze approach for the motorway network in Turkey

Extended abstract

21. Century World of transportation services without adequate and contemporary social and economic life is not possible to keep alive and dynamic. The main aim of transportation, the country development goals of economic and social needs of the service, the user, to secure the economic condition, age and by using technology, international rules and in compliance with EU policies, to provide uninterrupted.

Science and technology progress, the economy needs people to change their habits and cultural accumulation, and possibly all of them at the top of the political preferences, and improve access framework is referring to. In general, an investment in transport and the operation to be financed by the state tradition have continued until recently. However, the worldwide increase in the need for transportation investments and public sector of its limited resources, the state as the primary task of the public service has forced the change. In this context, private sector investment in transport infrastructure by the interest of public resources without the need or less fixed by public contributions and the roads are intended to be searched. However, the private sector by the implementation of transport investment opportunities, to provide an important opening, the demand and the private sector increasingly replicated because of limitations in resources, public also needs to contribute is inevitable. Today, construction of new highway each day to reduce motor vehicle traffic in the continuous increase in resources and right in the face of difficulties, the new highway as much of the existing highway superstructure, the future intensive and heavy traffic can provide answers to the maintenance, repair and renewal work as more important. Turkey's Motorway Network maintenance and repair is too high to reach for the requirements of the budget because of limited resources available in our country of resources in a more efficient use, to the motorway network, roads, Pavement Management System implementation has become mandatory to have. Pavement Management System (PMS), limited to an existing budget, to provide the highest gain optimum maintenance / improvement programs to create a priority objective and systematic approach to move. This system, road managers, limited budget available for road im-

provement in terms of better use to help you decide to minimize the initiative depends on the person. The basic purpose of a pavement management system is to achieve the best value possible for the available public funds and to provide safe, comfortable and economic transportation.

Pavement Management System (PMS), are applicable on two levels, namely the network level and the individual (project) level. At the network level, decisions are made on a large group of projects or an entire motorway network regarding what to do (repair, rehabilitation or other measures) and when and where. The individual or project level, on the other hand, is concerned with more specific technical management decisions for the individual projects. Roughness of a motorway is an important parameter which not only indicates the comfort level of ride over a pavement surface, but it is also related to vehicle's vibration, operating speed wear and tear of the wheel, vehicle operating cost. Some of the roughness indices, which are used to quantify the road roughness, are: International Roughness Index (IRI), Mean Panel Rating (MPR), Profile Index (PI), Ride Number (RN), Root Mean Square Vertical Acceleration (RMSVA.)In this study, General Directorate of Turkish Highways as a result of measurement data (IRI and RN) collected with the use of motorways in the pavement when the corruption occurs in the future, to create models (fuzzy logic, regression analyze) to help in the matter of identifying the country in accordance with our conditions, a Pavement Management System (PMS)'s goal is to be established.

In this paper, to develop a system for planning of pavement maintenance works on the motorway network in Turkey, on which roughness tests were made by KGM (General Directorate of Turkish Highways) considered. By using the present parameters for the conditions in Turkey (traffic, climate, material features, total thickness of distressed motorways, pavement temperatures etc.) and the measured roughness values (IRI, RN), pavement performance estimation modelling and related to this, a method about establishing a pavement rehabilitation program for the future, is given. In this study, to create models, used two computer programs which above written in MATLAB2008R Fuzzy Logic toolbox and SPSS16

Keywords: *Pavement Management System, fuzzy logic model, IRI, RN.*

Giriş

Kuzey-Güney Avrupa Otoyolu (TEM) projesi, 1977 yılında Helsinki Nihai Belgesi kararları doğrultusunda olmak üzere, o zaman için 10 Avrupa ülkesinin katılımı ile Avrupa Ekonomik Komisyonu ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı desteğinde başlatılmıştır.

Bugün projeye Avusturya, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Macaristan, İtalya, Polonya, Romanya, Türkiye, Hırvatistan, Litvanya, Gürcistan, Bosna Hersek olmak üzere 13 ülke katılmış durumdadır. İsveç ve Ukrayna gözlemci statüsündedir (UAPS1, 2005).

Proje; Baltık, Adriyatik, Ege ve Karadeniz'i bağlayan modern otoyol ve ekspres yol niteliğinde bir karayolu ağı inşasını ve yönetimini amaçlamaktadır. Toplam uzunluğu 01.01.2003 tarihi itibari ile 23858 km olup, ülkemiz içinde kalan ağ uzunluğu 6921 km.dir. Bu uzunluk tüm ağın % 29'unu oluşturmaktadır.

Proje, Türkiye'ye Kapıkule'de girmekte, doğuda Sarp (Gürcistan) ve Gürbulak (İran), güneyde ise Habur (Irak) ve Cilvegözü (Suriye) kapılarına ulaşmaktadır (UAPS1, 2005).

2003 yılı itibariyle Türkiye'deki toplam Otoyol uzunluğu 1.851 km'dir. GAP kapsamında olan G.Antep-Şanlıurfa Otoyolunun inşaatı ise devam etmektedir. 1.ve 2. Çevre Otoyollarının otoyol statüsünden çıkarılması ile 1 Şubat 2009 itibari ile toplam otoyol uzunluğu 1987 km. olarak belirlenmiştir (KGMPBEK, 2009).

KGM' nin Türkiye Genel Bütçesi'nden aldığı pay 1960 yılında %13 düzeyinde iken, krizlerin etkisiyle 1993 yılında % 2.7 düzeyine, 1999 yılında ise tarihinin en düşük değeri olan % 1.2 düzeyine düşmüştür. 2008 yılında bu oran % 1.5 olmuştur.

Üstyapı yönetim sistemi

Üstyapı yönetim sistemi, düzgün, emniyetli ve ekonomik üstyapıların oluşturulmasına, işletilmesine ve mevcut kamu fonlarının mümkün olan en iyi şekilde korunmasına yönelik uyumlu faaliyetlerin bütünüdür. Üstyapı Yönetim Sis-

temleri; Ağ düzeyi ve Bağımsız Düzey (Proje Düzeyi) olmak üzere iki düzeyde uygulanabilmektedir.

Ağ düzeyi, planlama amaçlıdır. Yol ağının mevcut durumunun değerlendirilmesi yapılır. ÜYS için veri tabanı oluşturulur. Veri tabanında, yol yüzey düzgünsüzlüğü, kayma direnci, (kayma sürtünme katsayısı) ve kaplama bozuklukları ölçümleri birinci derecede önemlidir.

Proje düzeyi, onarımda öncelikli yol kesimleri belirlendikten sonra, ayrıntılı projelendirme çalışmaları için (seçenek tasarım, yapım, bakım veya iyileştirme çalışmaları) defleksiyon ölçümleri yapıp, karot numunesi alınarak tabaka malzeme özellikleri ve kaplam tipinin belirlenmesi gerekir.

Bir projenin veya seçilen özel kesimlerin karar vericileri ve bütçe yöneticilerini daha çok ilgilendiren ağ düzeyindeki analiz, kuşkusuz en güçlü üstyapı yönetim kısmıdır. Proje düzeyinde analiz daha çok teknik personeli ilgilendirir. Bir ÜYS'de bulunması gereken özellikler ise; bilgiler ve modeller revize edildiğinde sistem kolaylıkla güncellenebilmeli, düzenlenebilmeli ve seçenek stratejilerin tamamı hesaba katılabilmelidir (Haas vd., 1994).

Performans değerlendirmesi

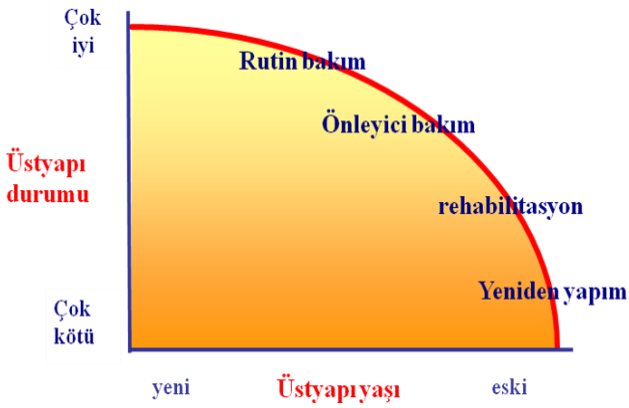
Üstyapı performansının ölçülmesi ve tahmini (modellemesi) hem ağ hem de proje düzeyi bakımından ÜYS' nin temel taşlarından birisidir. Zira hem finansal planlama hem de üstyapı tasarımını ve proje ömrü boyunca ekonomik değerlendirmeyi yönlendirir (UAPS2, 2005).

Bir üstyapının yönetim sisteminin iki anahtar elamanı, performans ve bozulma tahminidir. Bu bozulmalar başlangıçta çok yavaş olup, yolların performansını koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler.

Ancak süre ilerleyip zamanla iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı iyileştirme seçeneklerine ihtiyaç gösteren sonuçlar doğar.

En ekonomik bakım-onarım stratejisinin belirlenebilmesi ve üstyapı yaşlandıkça trafik, iklim

ve zamana bağlı olarak oluşacak bozulmanın hem tipini hem de derecesinin tahminin zamanında ve doğru olarak yapılması gerekmektedir (Şekil 1). Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış iyileştirme programları, sınırlı kamu fonlarına azami kazanç sağlar. Bir yolun tipik performans eğrisi Şekil 2’de görülmektedir. Şekil 2’den görüleceği üzere bakım çalışmasının uyarı düzeyinde yani t_2 zamanında yapılması durumunda bakım maliyeti M_1 , t_1 zamanında yani müdahale düzeyinde yapılması durumundaki bakım maliyeti M_2 ’den çok daha az maliyette olacaktır.



Şekil 1. Üstyapının zamana bağlı bozulma-bakım stratejileri değişim eğrisi

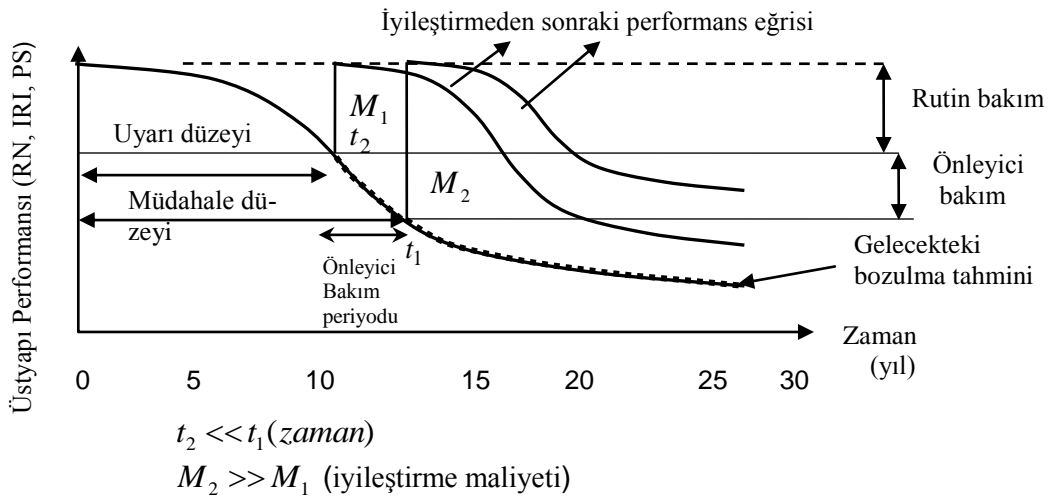
Üstyapı davranışı, tepkisi, performansı, bozulması veya gerçek ölçümlerle tahminlerin karşı-

laştırmasını yapılabilmek için bazı ölçütler koymak gereklidir. PSI için minimum kabul edilebilir değer, 2.5 olarak alınırsa, herhangi bir kesimde PSI değeri 2.5’e eşit veya daha az olduğunda mevcut bir bozulma olduğu veya “bakım zamanının” gelmiş olduğu anlaşılır.

Üstyapı yönetim sistemlerinin genel değerlendirme ölçütleri ve kullanılan sistemler

OECD’ye üye ülkelerin kullandıkları Üstyapı Yönetim Sistemlerine ve dikkate almış oldukları ölçütler incelendiğinde aşağıda ki hususlar ortaya çıkmaktadır.

- Üstyapı yönetim sistemlerinin temel esasları, sorumluluk paylaşımı ülke koşullarına göre ayarlanarak tespit edilmiştir.
- Üstyapı performansının değerlendirilmesi için tek bir indeksin kullanılması benimsenmiştir.
- Mevcut üstyapının değerlendirilmesi ve bakım veya yeniden yapımına karar verilmesi hususunda, kullanılan parametreler genel olarak; yüzey bozulması, düzgünlük, tekerlek izi, çatlama, defleksiyon, kayma direnci, trafik, bakım maliyetleri, taşıma kapasitesi ve kullanıcı maliyetleri gibi parametrelerden seçilmektedir.
- Tahmin modelleri kullanılarak müdahale düzeyleri belirlenmektedir.



Şekil 2. Üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi

Üstyapı performansı ölçüm sonuçları,

RI - RN ilişkisi

AASHTO Road Test'i araştırmaları, hizmet kabiliyetinin % 95'inin, yol yüzeyi boyuna düzgünlüğü değeri ile belirlenebileceğini göstermiştir (Carey ve Iric, 1960). Profilometre ölçümlerinden elde edilen üstyapının boyuna profili ile de, sürüş konforunu gösteren "RN ve IRI" gibi düzgünlük indisleri hesaplanmaktadır.

Uluslararası Düzgünlük İndeksi IRI, (International Roughness Index) Dünya Bankası tarafından 1982 yılında Brezilya'da geliştirilmiştir (Sayers vd., 1986). IRI, genel bir kaplama durumu göstergesi olup, 80 km/saat hızla giden ölçüm aracı ile ölçülen yolun boyuna profil değeri (ASTM E 2002) olup, birimi m/km'dir. IRI değeri; sürüş kalitesi, trafik emniyeti, araç bakım maliyeti değerlerini açıklamaktadır (Sayers vd., 1986).

IRI değeri ise 0 ile 2.13 arasında değişmekte olup, 0'a yaklaştıkça mükemmel bir yolu, >2.13 değeri ise geçit vermeyen bir yolu tanımlamaktadır. Yeni yapılan yol kesimlerinde IRI değerinin, 0 – 1.11 değerine sahip olması gerekmektedir (Ünal ve Aydoğdu, 2007).

RN değerleri, AASHTO yöntemindeki Hizmet Kabiliyetine karşılık gelen bir değer olarak kabul edilmiştir (HRB, 1962). 0 ile 5 arasında değişmekte olup, 0 değeri geçit vermeyen bir yolu, 5 değeri ise, mükemmel bir yolu göstermektedir. Yol profilinin karakteristik yapısı, RN değerlerini IRI değerlerine göre daha farklı etkilemektedir. Bu nedenle aralarında bir korelasyon bulunmakla birlikte her iki indeksten farklı düzgünlük verisi elde edilmektedir. RN ile IRI ölçümleri arasındaki temel farklılıklar aşağıda sıralanmıştır.

RN ölçümlerinin;

- Alt ve üst limit değerlerinin kesin sınırlar içermesi,
- Uluslararası geçerliliği olan standart bir değer olmaması,
- Daha kısa genlik ve dalga boylarında ölçüm yapılması

IRI ölçümlerinin;

- Alt ve üst limit değerlerinin kesin sınırlar içermemesi,
- Uluslararası geçerliliği olan standart bir değer olması,
- Daha büyük dalga boylarında ölçüm yapılması.

FDOT (Florida Department of Transportation) tarafından sekiz test alanında ve üç farklı boyuna profilde yapılan düzgünlük indeksi ölçümleri sonucunda RN ile IRI indeksleri arasında aşağıda verilen korelasyon eşitliği bulunmuştur (Choubane ve McNamara, 2001). Regresyon katsayısı $R^2 = 0.94$ elde edilmiştir.

$$IRI = 563982.18 e^{(-1.51 RN)} \quad (1)$$

IRI: Uluslararası düzgünlük İndeksi, [mm/km]
RN: Sürüş Sayısı

Türkiye otoyol ağına üstyapı performans tahmini için kullanılan modeller

Modelleme de; Edirne – İstanbul - Adapazarı-Düzce İl Sınırı kesimlerini içeren, Trakya ve Anadolu Otoyolu'nun KGM tarafından 1997, 1998 ve 2000 yıllarında RN düzgünlük ölçümleri yapılan 198 ayrı kesimi göz önüne alınmıştır. Performans göstergesinin önemli ölçütü olan düzgünlük ölçüm sonuçları, güzergah boyunca yapılan bozulma etütleri, yer yer yapılan iyileştirmeler ve üstyapı projeksiyonu göz önüne alınarak otoyol performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Düzgünlük değerlerine karşılık gelen RN değerlerinin tahmini için bir bozulma modeli oluşturmak üzere regresyon analizi yöntemi kullanılarak performans tahmini modellemesi yapılmıştır. İncelenen otoyol kesimlerinde, üstyapıda bozulmalara neden olan $T_{8.2}$ eşdeğer standart dingil yükü ile ifade edilen trafik verisi, iklim verileri, üstyapı kalınlığı ve zeminin durumu gibi tüm etkenler modelin girdisi olarak başlangıçta dikkate alınmıştır. Model çıktısı ise sürüş sayısı değerleridir.

RN değerlerinin tahmini için çok katlı regresyon ve varyans analizi

Çoklu doğrusal regresyon modelinde değişken seçilmesi yöntemlerinden “geriye doğru çıkarma yöntemi” kullanılarak, çok katlı regresyon ve varyans analizinde bağımsız değişken olarak kullanılmak üzere; trafik parametresi olarak $T_{8.2}$ eşdeğer standart dingil yükü değerleri ve iklim sıcaklık parametrelerine bağlı olarak hesap edilen, aşınma tabakasında ki Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklığı Toplamı Sayısı (YYKSTS), Yıllık Düşük Kaplama Sıcaklığı Toplamı Sayısı (YDKSTS), yine iklim parametrelerinden; yıllık en yüksek Sıcaklık Farkları Değişimi Toplam Sayısı (SFDTS), Yıllık Ortalama Nem Toplam Sayısı (YONTS), Yıllık En Yüksek Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı (YKÖRTTS), parametreleri kullanılmıştır. Analizde yağış değerlerinin diğer parametrelerle yüksek ilişki içerisinde bulunması ve anlamlılık derecesi yönünden, kaplama kalınlıklarının değerlendirmeye alınan otoyol kesimlerinde fazla bir değişkenlik göstermemesi ve gerek t istatistiği gerekse anlamlılık yönünden yeter şartları sağlamadıklarından değerlendirilmeye alınmamışlardır.

Çoklu korelasyon katsayısı R^2 bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkeni açıklama oranını göstermektedir (Alpar, 2003). Kurulan modeldeki R^2 değeri 0.784, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0.777’dir. Çok katlı regresyon tekniği ile Tablo 1’deki katsayılarla geliştirilen model aşağıda verilmiştir.

$$RN = 4.163 - 1.068 \times 10^{-8} \times T_{8.2} + 4840.88 \times (1/YYKSTS) + 200.209 \times (1/YDKSTS) - 40033.214 \times (1/YONTS) - 1568.418 \times (1/SFDTS) - 0.000138 \times YKÖRTTS \quad (2)$$

Regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmin RN değerleri ile gerçek arazi RN değerlerinin kıyas grafiği Şekil 3’ de verilmiştir.

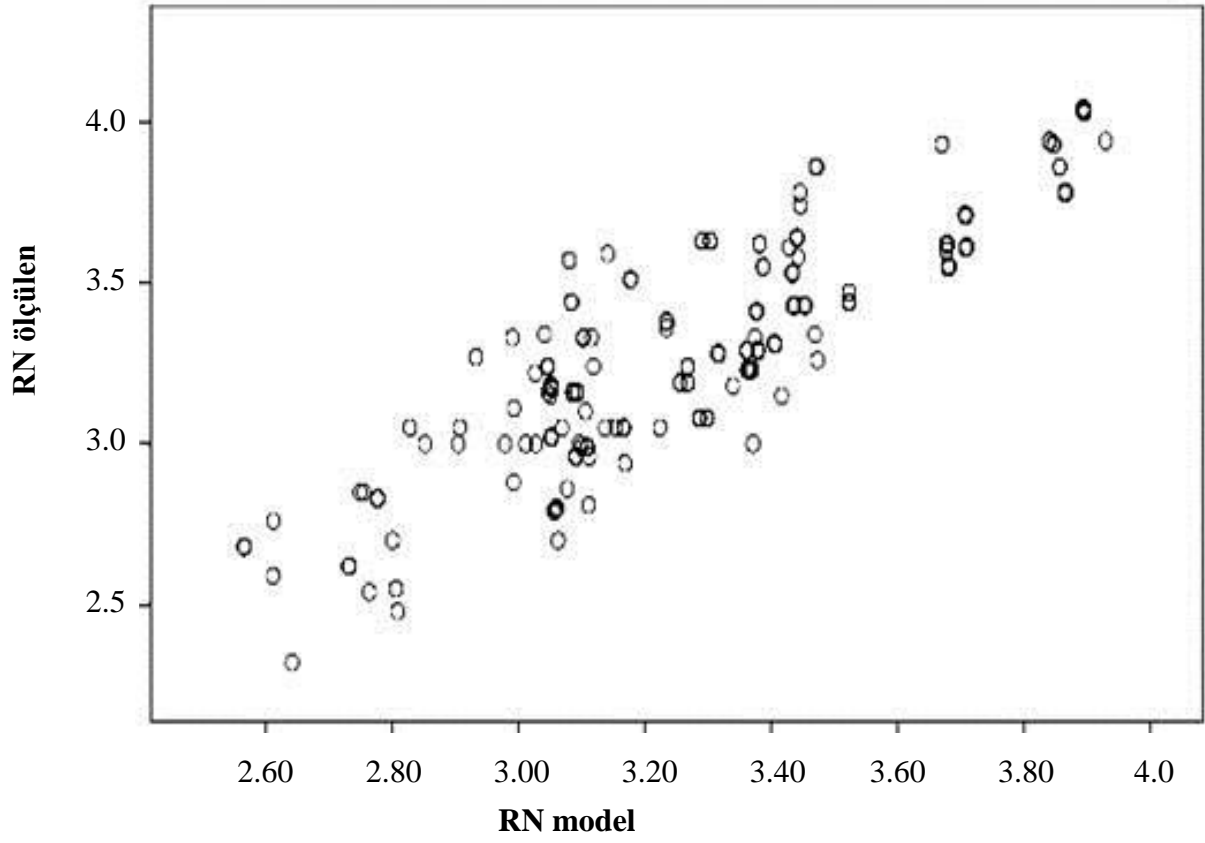
Gerçek RN değerleri ile modelden hesaplanan tahmin RN değerlerinin $T_{8.2}$ ile değişim grafiği ise Şekil 4’ de verilmiştir. Otoyol Ağının göz önüne alınan kesimlerinden bazı kesimlerine ait RN değerlerinin, yolun yapıldığı tarihten itibaren olmak üzere 20 yıllık değişimleri de regresyon modeli kullanılarak tahmin değerleri Şekil 6’da verilmiştir.

Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, arazide ölçülen RN değerleri ile modelden tahmin edilen RN değerlerinin birbirine çok yakın oldukları, her iki RN değeri değişimlerinden, eşdeğer standart dingil yükü değerlerinin artışı ile doğru orantılı olarak yolda ki bozulmaların arttığını, zamana bağlı olarak da bakım onarım yapılmaması durumunda RN değerlerinin azaldığı (yolun bozulduğu) görülmektedir.

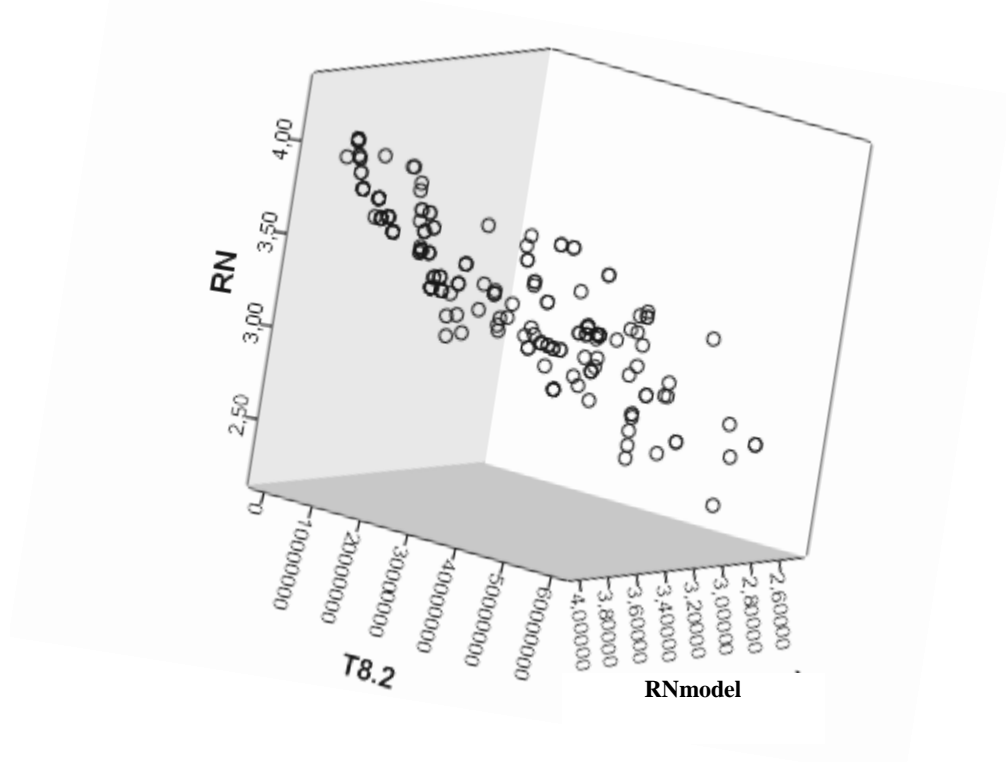
Şekil 5’de ise standartlaştırılmış kalıntıların normal P-P grafiği görülmektedir. Saçılımın doğru üzerinde veya etrafında kümelenmiş olması kalıntıların normal dağıldığını göstermektedir.

Tablo 1. Model katsayıları

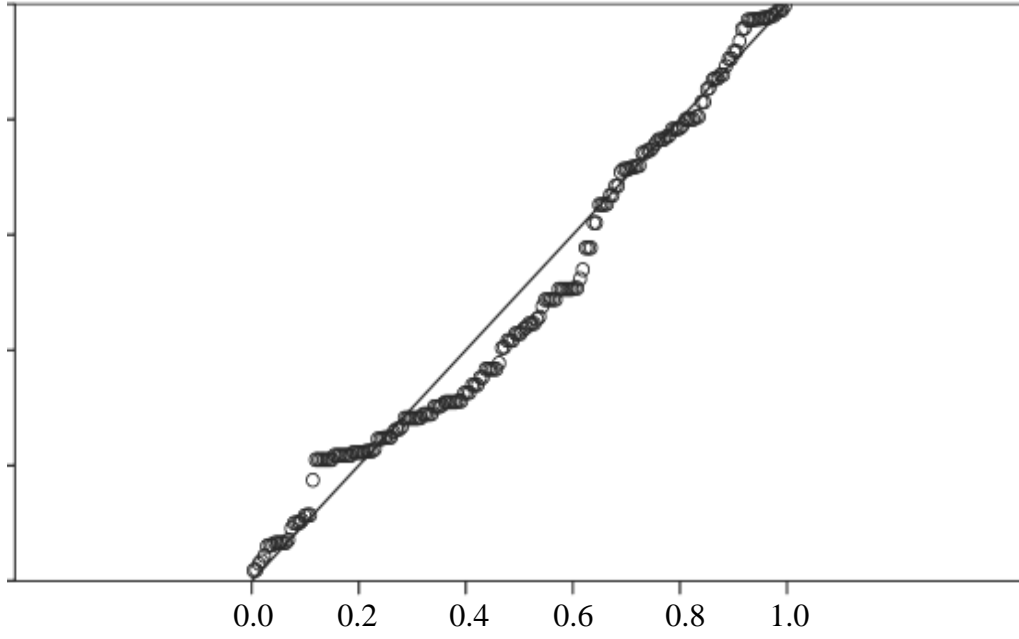
Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Std. Kats.	t	p	%95 Güven Aralığı (B için)		Korelasyonlar			Doğal Bağımlılık İstatistikleri	
	B	Std. Hata				Alt Sınır	Üst Sınır	Sıfır Der.	Kısmi	Yarı Kısmi	Tolerans	VIF
(Sabit)	4.163	0.047		87.915	0.000	4.070	4.257					
$T_{8.2}$	-1.068E-8	0.000	-0.44	-8.450	0.000	0.000	0.000	-0.708	-0.522	-0.284	0.411	2.436
1/YYKSTS	4840.880	1331.617	0.24	3.635	0.000	2214.315	7467.444	0.057	0.254	0.122	0.256	3.899
1/YDKSTS	200.209	34.822	0.36	5.750	0.000	131.524	268.894	0.407	0.384	0.193	0.278	3.591
1/SFDTS	-1568.418	142.498	-0.47	-11.007	0.000	-1849.490	-1287.345	-0.228	-0.623	-0.370	0.623	1.604
YKÖRTTS	0.000138	0.000	-0.63	-12.282	0.000	0.000	0.000	-0.329	-0.664	-0.413	0.434	2.305
1/YONTS	-40033.214	12399.180	-0.17	-3.229	0.001	-64490.13	-15576.30	0.035	-0.227	-0.109	0.413	2.421



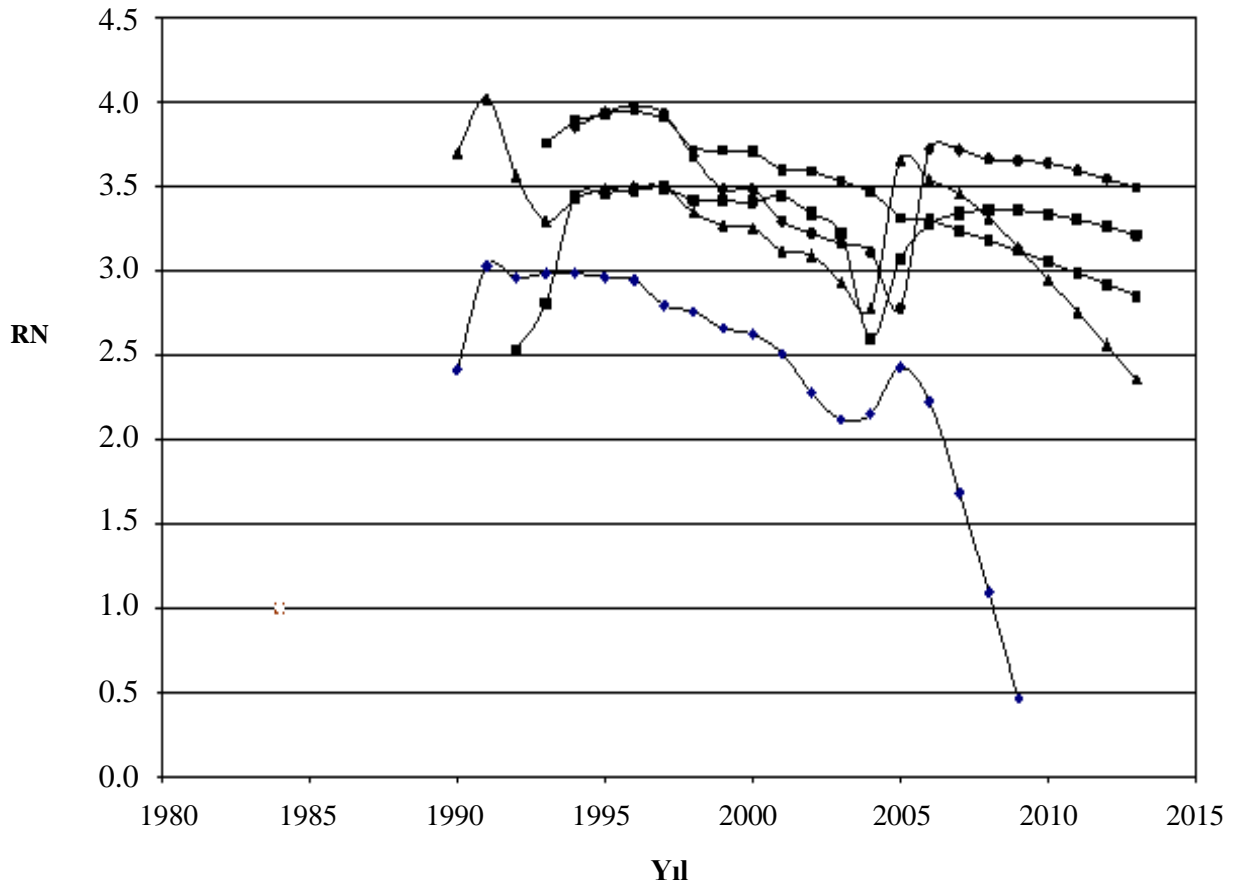
Şekil 3. Ölçülen RN değerleri ile modelden hesaplanan RN değerlerinin kıyaslaması



Şekil 4. RN değerleri ile modelden hesaplanan RN değerlerinin $T_{8,2}$ ile değişimi



Şekil 5. Standartlaştırılmış kalıntuların normal P-P grafiği histogramı



Şekil 6. Edirne-Düzce arasında modelden hesaplanan RN değerlerinin 20 yıllık değişimleri

Sonuçlar ve öneriler

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Türkiye Otoyol Ağına Üst Yapı Yönetim Sisteminin kurulması için geliştirilen performans tahmin modelinde, regresyon analizi ile bir modelleme yapılmıştır.
- Çalışmada esas olarak Türkiye Otoyol Ağı için geliştirilen performans tahmin modelinde, Edirne - Düzce arası otoyol kesimleri göz önüne alınmış olmasına karşın, diğer otoyol kesimlerindeki üstyapı kalınlıklarının, modelde değerlendirmeye alınan otoyol kesimlerindeki üstyapı kalınlıkları ile aynı olması nedeniyle (75 cm) geliştirilen model bütün otoyol ağı genelinde kullanılabilir.
- Genel olarak ölçülen RN değerleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen çok katlı regresyon analizi ile elde edilen performans modelleri, en etkin parametrenin T8.2 eşdeğer standart dingil yükü değerlerinin olduğunu, bu parametrenin artışı ile otoyoldaki bozulmaların doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir.
- Otoyol ağı üstyapısı durumunun değerlendirilmesini ve gelecekteki performansını tahmin etmek amacıyla; Ölçülen RN değerlerine, T8.2 eşdeğer standart dingil yükü değerlerine, kaplama sıcaklıklarına ve iklim verilerine (Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Farklarının Maksimum Sıcaklık Değeri Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Ortalama Nem Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı) bağlı olarak çok katlı regresyon tekniği ile yeni bir performans tahmin modeli geliştirilmiştir.
- Ölçülen RN değerleri göz önüne alınarak geliştirilen çok katlı regresyon analizi ile elde edilen bozulma modeli, incelenen otoyol kesimlerindeki üstyapı performanslarının; *Yıllık Maksimum Kar Örtüsü Toplam Tekrar Sayısı ile doğru orantılı, Yıllık Yüksek Kaplama Sıcaklık Toplam Tekrar Sayısı, Yıllık Düşük Kaplama Yüzeyi Sıcaklık Toplam Tekrar Sa-*

yısı, Yıllık Maksimum ve Minimum Sıcaklık Farklarının Maksimum Sıcaklık Değeri Toplam Tekrar Sayısı ile değerleri ile ters orantılı olarak değiştiğini göstermiştir.

- Ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının korelasyon katsayıları yönünden, yüksek bir ilişki içerisinde bulunmaları, modellerin tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- Alpar, R., (2003). *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş I*, Nobel Yayınevi., Ankara.
- ASTM, E1889, (2002). *Standard guide for pavement management implementation*, 19428-2959 USA.
- Carey, W.N. ve Irick, P.E., (1960). *The pavement serviceability – performance concept*, Highway Research Bulletin, 250.
- Choubane, B.R.L., (2001). *Precision of high-speed profilers for measurement of asphalt pavement smoothness*, Research Report FL/DOT/SMO /01-451. State of Florida.
- Haas, R., Hudson, W.R. ve Zaniewski, J., (1994). *Modern pavement management*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- HRB, (1962). Highway Research Board, *The AASHTO road test, Report 5*, Pavement Research, Highway Research Board Special Report.
- KGMPBEK, (2009). *Karayolu planlaması bilgileri el kitabı*, Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Sayers, M.W., Gillespie, T.D. ve Queiroz, C.A.V., (1986). *The international road roughness experiment, establishing correlation and calibration standard for measurements*, Technical Paper, 45, WorldBank, Washington.
- UAPS1, (2005). *Ulaştırma ana planı stratejisi*, 1. Rapor, Cilt 1, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, İTÜ, Ulaştırma ve Ulaşım Araç. Uyg. - Ar. Merkezi, İstanbul.
- UAPS2, (2005). *Ulaştırma ana planı stratejisi*, 2. Rapor, Cilt 1, T.C.Ulaştırma Bakanlığı, İTÜ, Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg.-Ar. Merkezi, İstanbul.
- Ünal, E.N. ve Aydoğdu, Y., (2007). *Otoyollar üstyapı performansı raporu*, KGM, T.A.D.B, Ankara.