



**Makale  
(Article)**

## **Şehiriçi Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollarda İklim ve Üstyapı Yaşına Endeksli Bir Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli Geliştirilmesi**

**Ufuk KIRBAŞ\***, **Mustafa KARAŞAHİN\*\***

\* Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh.Böl. 55139 Samsun/TÜRKİYE

\*\*İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. İnş.Müh. Böl., 34320 İstanbul/TÜRKİYE

ufukkibas@gmail.com

### **Özet**

Şehiriçi yollar için önemli bir altyapı yatırımı olan bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplama bozulmalarının doğru tahmin edilmesi, bakım çalışmalarına doğru bütçelerin ayrılabilmesi için bir zorunluluktur. Çalışmada, şehiriçi yol ağına ait BSK üstyapılı bir yol kesiminde üstyapının gelecek yıllara ait performansını tahmin edebilen bir model geliştirilmiştir. Üstyapıların mevcut performansı, PAVER sisteminde kabul edilen PCI (Pavement Condition Index-Üstyapı Durum İndeksi) ile tanımlanmıştır. Trafik ve iklim, bir üstyapının maruz kaldığı en önemli iki temel bozulma sebebidir. Bir şehiriçi yol ağında, ağır taşıt trafiğinin az olmasından dolayı, trafik etkisinin az olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle çalışmada, üstyapıların daha çok etkisi altında kaldığı, iklim etkileri olan ilişkileri araştırılmıştır. Değerlendirmeler sonrasında, özellikle minimum sıcaklığın  $-0,1$  °C ve küçük günler sayısı (Donlu Gün Sayısı) ve toplam yağış miktarı (mm) parametreleri ile PCI değerleri arasında ilişkinin yüksek olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Üstyapı, Bozulma Tahmin Modeli, Üstyapı Yönetim Sistemi, Üstyapı Durum İndeksi

## **Developing Climate and Pavement Age Indexed Pavement Deterioration Model In Urban Bituminous Hot Mix Pavement**

### **Abstract**

The correct prediction of the deterioration of bituminous hot mix asphalt (HMA), which is a significant substructure investment for urban roads, is a must to be able to allocate a correct budget to maintenance works. This study has developed a model that can predict the future performance of the pavement in urban HMA coated roads. The current performances of the pavements were defined by PCI index, which is approved by the PAVER system. Traffic and climate are the two most important deterioration causes a pavement is exposed to. In an urban road network, it is estimated that traffic has a little effect since there is little heavy vehicle traffic. Thus, this study examines the effects of climate which affects pavements more. After the assessments, the association between the parameters of days with a minimum temperature of  $-0,1$  °C, the number of frost days and total amount of rainfall (mm) and PCI values were found to be high.

**Keywords:** Pavement, Deterioration Model, Pavement Management System, Pavement Condition Index (PCI)

*Bu makaleye atf yapmak için*

*Kırbaş U., Kardeş M., "Şehiriçi Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollarda İklim ve Üstyapı Yaşına Endeksli Bir Üstyapı Bozulma Tahmin Modeli Geliştirilmesi" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 11(2) 10-19*

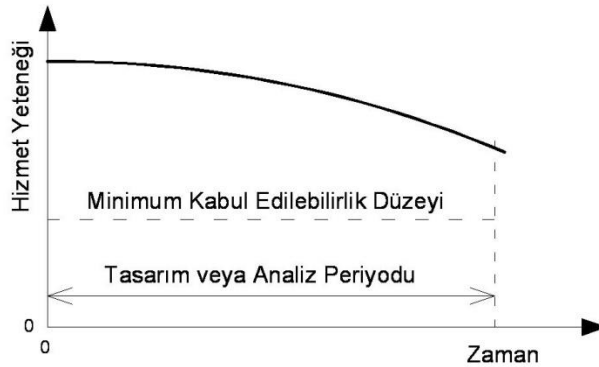
*How to cite this article*

*Kırbaş U., Kardeş M., "Developing Climate and Pavement Age Indexed Pavement Deterioration Model In Urban Bituminous Hot Mix Pavement " Electronic Journal of Construction Technologies, 2015, 11 (2) 10-19*

## 1. GİRİŞ

Üstyapılar, yolların kullanıcıları olan yolcu ve sürücülere konfor ve güvenlik sağlayan en önemli altyapı bileşenleridir. Ülkemizde, şehir içi yollarda yılda ortalama 45 milyon ton bitümlü sıcak karışım (BSK) asfalt kullanılmaktadır. Gerek üstyapıların sürücü ve yolcular için hayati önem taşıması gerekse üstyapı imalatları için önemli miktarlarda yatırımın yapılması sebebiyle, üstyapıları yöneten sistem(ler)in kurulması zorunluluğu kaçınılmazdır. Üstyapılarda olduğu gibi tüm mühendislik yapılarının işletiminde yalnızca gelecek tahminlerinin doğru yapılması ile bakım için uygun bütçe düzenlemeleri yapılabilir. Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi biçimde dağıtımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS); sistem genelindeki tüm işlerin koordinasyonunu kurarak, temelde topluma ait olan bütçeyi en uygun biçimde yapılan harcamalarla düzgün, güvenli ve ekonomik olarak üstyapıların işletimini sağlamayı amaçlayan çalışmaların tamamına verilen genel isimdir [1]. İdeal ÜYS mevcut bütçe ile en doğru, güvenli ve ekonomik üstyapı işletimini sağlayabilen sistemdir. Elbette tüm kurumlar/kuruluşlar için en iyi olarak tanımlanabilecek tek bir ÜYS yoktur. Her bir yerel yönetimin sahip olduğu teknik eleman sayısı ve kalitesi, bakım için ayrılan bütçe ve bakımda kullanılan teknikler ayrılan bütçeye göre farklılıklar göstermektedir. Ancak, her kurumun/kuruluşun kendine özel ihtiyaçlarına cevap verebilecek, içinde bulunduğu coğrafyaya ait verilerle kalibre edilmiş bir ÜYS'ne ihtiyacı vardır [2]. Bir ÜYS'de gerek trafik karakteristiklerinin (ağır taşıt oranı, akım hızı) farklılığından gerekse imalat aşamalarında yapı denetim mekanizmalarının farklı işleyişinden dolayı şehir içi ve şehirlerarası yolların farklı değerlendirme stratejileri ile yönetilmesi gerektiği tüm otoritelerce kabul edilmiştir [1-2]. Çalışmada esas amaç, bir şehir içi yol ağında, üstyapılarda karşılaşılan performans kaybını doğru tahmin edebilecek üstyapı bozulma tahmin modellerinin geliştirilmesidir.

Üstyapı performansının değerlendirilmesi, belirlenen kesimlerin detaylı olarak analizini içerir. Sürüş kalitesindeki bozulma ile üstyapının servis verebilme yeteneği arasında doğrudan bir ilişki mevcuttur. Ayrıca, üstyapının sürüş kalitesi ile servis verebilme yeteneği eşit kabul edilerek, bu iki parametreye birden hizmet yeteneği adı verilmektedir. Bir üstyapıya ait hizmet yeteneğinin zamanla değişimi, diğer bir deyişle geleneksel üstyapı bozulma tahmin modeli Şekil 1'de gösterilen şekildedir [1].



Şekil 1. Geleneksel üstyapı bozulma tahmin modeli gösterimi [1]

Üstyapı performansı, genel anlamda sürüş memnuniyeti veya memnuniyetsizliği ile ilişkili olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu değerlendirme sonucunda bakım, onarım veya yenileme kararları alınır. Araştırmacılar Carey ve Irick tarafından, AASHO yol testinde yaptıkları çalışmalara dayanarak üstyapı performansının;

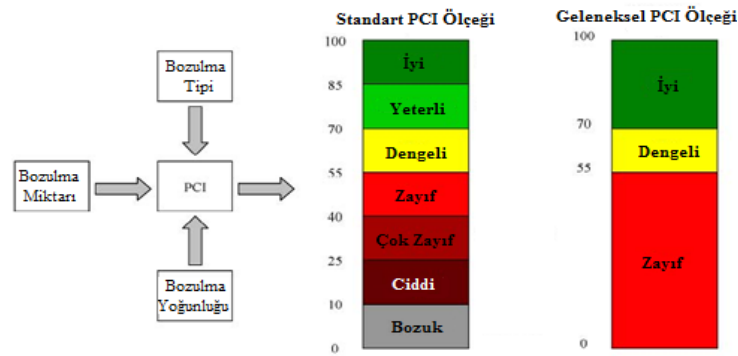
- Üstyapı fiziksel durumunu ölçen araçların deney sırasındaki verdiği tepkilere göre,
- Üstyapı yüzey bozulmaları, banket durumları, üstyapının rengi gibi faktörlerin karakterize ettiği durumlar matematiksel olarak veya görsel olarak yorumlanmasına göre sorgulanarak bulunabileceği belirtmişlerdir [3].

Üstyapı bozulmalarının gelecek yıllara ilişkin olarak tahmin edilmesi konusu literatürde incelendiğinde, araştırmacıların genellikle üstyapı dizaynları yapılmış olan şehirlerarası yollarda araştırmalara yoğunlaştığı görülmektedir. ÜYS kavramında, araştırmacıların özellikle yoğunlaştığı bir başka konu olarak veriler arasında ilişkilerin araştırılarak modellerin kurulması olduğu çalışmalardan görülmektedir. Genel olarak, araştırmacıların muhtelif yüzey değerlendirme verileri ile şehirlerarası yollarda yüksek hızlı ölçüm araçları ile ölçülen düzgünlük bileşeni arasındaki ilişkiler ile üstyapıların gelecek tahminini (bozulma modelleri) yapabilen modeller üzerinde yoğunlaştığını görülmektedir. Araştırmacıların ilişkileri ortaya koyan bu modelleri yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, veri madenciliği, karınca kolonileri gibi ileri seviye matematik modelleme tekniklerini kullanarak oluşturduğu yapılan literatür incelemelerinden anlaşılmaktadır. Söz konusu bu çalışma konusunda, yüzey bozulma verileri ile IRI (International Roughness Index) arasındaki ilişkileri ortaya koyan modellerin en çok ilgilenilen konu olduğu açıklıkla görülmektedir [4-11].

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. PAVER Sistemi

PAVER sistemi 1970'lerde ABD Ordusu Mühendislik Birimi (U.S. Army Corporation of Engineers) tarafından askeri amaçlar için geliştirmiş ve günümüzde tüm dünyada birçok şehrin üstyapılarının yönetiminde kullanılmaktadır. PAVER sisteminin ASTM D 6433-11 koduyla yayınlanmış üstyapı bozulmalarını tanımlayan ve değerlendirme prosedürlerini açıklayan bir uluslararası standardı bulunmaktadır. PAVER adında bir paket programı da bulunan PAVER sistemi, üstyapılardaki bozulma verilerinin yanında tahribatlı ve tahribatsız performans test sonuçlarını da göz önüne alarak belirlenmiş uzman görüşlerini modelleyerek oluşturulmuştur. Çalışmada, üstyapıların mevcut performansının belirlenmesinde PAVER sistemi kullanılmıştır [2]. PAVER sistemi, yolların yüzey alanını  $232 \pm 93 \text{ m}^2$  büyüklüğünde örnek alanlara bölerek ve ASTM D 6433-11 kodlu bozulma tanımlama standardına göre ölçülen 20 çeşit bozulma verisini değerlendirilerek, üstyapının mevcut performansını ortaya koyan bir değerlendirme prosedürüdür. Değerlendirme düşük (D), orta (O) ve yüksek (Y) yoğunluk düzeylerinde ölçülen verilerin, örnek alan'ın büyüklüğüne oranlanarak elde edilen değer bozukluk türüne göre hazırlanmış sonuç değer tablolarından sonuç değerleri okunarak yapılır. Elde edilen sonuç değerler 100'den çıkarılarak üstyapının mevcut performansını 0 – 100 arasında bir değerle tanımlayan üstyapı performans indeksi (PCI) değeri elde edilir [2].



Şekil 2. PCI hesabı bileşenleri ve PCI ölçeklerinin karşılaştırılması

100 hiç bozulma bulunmayan en iyi derecedeki üstyapıyı 0 ise tamamen bozulmuş kullanılamayacak derecedeki üstyapıyı tasvir etmektedir. PCI, üstyapıya ait bozulma tipi, bozulma yoğunluğu ve bozulma miktarı bileşenlerinin ortak değerlendirilmesi sonucunda üstyapının mevcut performansını gösteren bir indekstir. PCI değerlendirme prosedürü Şekil 2’de görülmektedir. PAVER sisteminde üstyapıların mevcut performansı iki farklı kategoride değerlendirilmektedir. Bunlardan, standart PCI ölçeği üstyapıları 7 farklı sınıfa ayırarak değerlendirirken geleneksel PCI ölçeği 3 farklı sınıfta değerlendirmektedir [12-13].

## 2.2. Yol Ağı ve Üstyapıların Performansı

Çalışmada öncelikli olarak, Samsun İli sınırlarında Büyükşehir ve Merkez İlçe Belediyesi sorumluluk sınırlarında şehiriçi yol ağında bulunan değerlendirme kesimleri saptanarak, ASTM D 6433-11 standardına uygun ağ tanımlaması yapılmış ve ardından üstyapılarının mevcut performansları belirlenmiştir. Bu kapsamda, toplam 20 adet farklı karayolunda 98 adet kesimde, diğer bir deyişle yaklaşık olarak 55 750 m uzunluğunda yolda, 337 867 m<sup>2</sup> alanda PAVER sisteminin öngördüğü ASTM D 6433-11 kodlu standart esasına uygun yüzey bozulma verileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, PCI değeri 100 olarak kabul edilebilecek imalatı yeni tamamlanmış bir yol en iyi durumu gösteren kesim olarak kabul edilmiştir. Değerlendirme yapılan yolların Standart PCI Ölçeğine göre ölçeklendirilmiş hali Şekil 3 ve Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 3. Standart PCI Ölçeği değerlendirmesi (1. Bölüm)

Söz konusu 20 adet yolda yüzey bozulma değerlendirmesi yapılması amacıyla PAVER sistemi kurallarına uyan 1415 adet örnek alan öngörülmüş olup 1375 adet örnek alanda yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Bu anlamda, öngörülen örnek alanların % 97.2’sinde yüzey bozulma verileri toplanmakla birlikte, incelenen tüm kesimlerde PAVER sistemi tanımına göre proje düzeyi hassasiyetini sağlayacak sayıda örnek alanda PCI değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4. Standart PCI Ölçeği değerlendirmesi (2. Bölüm)

### 3. BOZULMA MODELLERİ VE TARTIŞMA

Yapılan pek çok gözlemin gösterdiği gibi 20 yıl olarak tasarlanan bir üstyapının ömrü bakım ve onarım yapılmaksızın ancak 10-12 yıl, bazen de daha az olabilmektedir [1-2]. Bu durumdan da görüldüğü gibi bir üstyapıdan olması gerektiği gibi faydalanabilmek için belirli periyotlarda planlı, programlı bir şekilde bakım ve onarımlar yapmak şarttır [3]. Üstyapıların bozulmasında en önemli iki dış etkenin Trafik ve İklim etkileri olduğu bilinmektedir [1-2]. Trafikten kaynaklı araç dingil yüklerinin tekerrürünün yapısal anlamda üstyapıyı olumsuz etkilediği bilinmektedir. Fakat çalışmada, şehiriçi yollarda ağır taşıt trafiğinin az olması ve şehirlerde tüm yol kesimlerinde taşıt sayımı yapılmasının henüz yaygın olmaması nedeniyle, trafik etkileri değerlendirmeye alınmamıştır. Öte yandan, trafiğin değerlendirmeye alınmayacak kadar düşük olduğu yollarda dahil tüm şehiriçi yol ağında, iklim etkisinin üstyapıların bozulmasında önemli olduğu göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Bu maksatla, üstyapının bozulmasına önemli etkileri olan Minimum Sıcaklığın  $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve Küçük Günler Sayısı diğer bir deyişle Donlu Gün Sayısı [14] ve Toplam Yağış Miktarı (mm) parametrelerinin üstyapının bozulması ile etkileri değerlendirmeye alınmıştır.

#### 3.1 Üstyapıların Bozulmasını Etkileyen Parametreler

Yapılan çalışmada üstyapıların bozulmasını etkileyen parametreler olarak, Üstyapının Yaşı, üstyapının yapıldığı tarihten itibaren mevcut performansının belirlendiği tarihe kadar geçen ömründe maruz kaldığı Donlu Gün Sayısı (DGS) ve üstyapının yapıldığı tarihten itibaren mevcut performansının belirlendiği tarihe kadar geçen ömründe maruz kaldığı Toplam Yağış Miktarı (TYM) (mm) bileşenleri değerlendirmeye alınmıştır. Söz konusu parametrelerin pearson korelasyon değerleri Tablo 1'de görülmektedir. Deęerlendirilen tüm bileşenlerin korelasyon değerlerinde istatistik anlamlılık değerinin 0.01'den küçük yani, bulunan sonuçların istatistik olarak %99 anlamlılık sınırında anlamlı olduğu saptanmıştır.

Tablo 1. Parametrelerin korelasyon ilişkileri

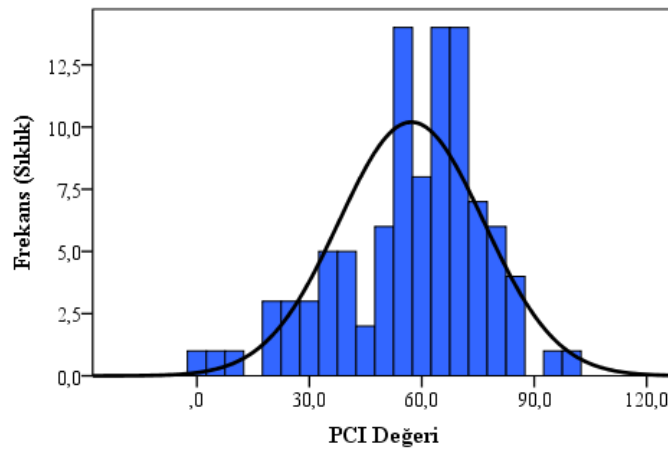
	PCI	Yaş	DGS	TYM
PCI	1	-0,727	-0,723	-0,726
Yaş	-0,727	1	0,983	0,999
DGS	-0,723	0,983	1	0,984
TYM	-0,726	0,999	0,984	1



Değerlendirme sonucunda PCI değişkeni ile tüm parametreler arasında korelasyonun ters yönde ve oldukça kuvvetli olduğu görülmektedir. Özellikle, PCI ile en yüksek ilişki Yaş parametresi arasında görülmektedir. Ayrıca değerlendirmede, TYM ile Yaş parametreleri arasında oldukça yüksek bir doğrusal ilişkinin olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, üstyapının ömrü boyunca maruz kaldığı toplam yağış miktarının en az üstyapının yaşı kadar etkili olduğunun bir göstergesi olarak da yorumlanabilir.

### 3.2 Bağımlı Değişkenin Uygunluğu

Bir regresyon değerlendirmesinde temel koşul, modellenecek bağımlı değişkenin normal dağılıma uygun olması gerektiğidir [15]. PCI tahmin modelinde bağımlı değişken PCI değerlerinin normal dağılıma uygunluğunu test etmek amacıyla Tek Örneklem Kolmogorov Smirnov Testi uygulanmıştır. Değerlendirme sonucunda, çift kuyruklu anlamlılık değeri  $0.175 > 0.05$  bulunarak PCI değerlerinin %95 güven aralığında normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca, histogram grafiğinde PCI değerlerinin önemli miktarda çarpıklık arz etmediği Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. PCI değerlerinin normal dağılım histogramı

### 3.3 Doğrusal PCI Bozulma Tahmini

Üstyapı bozulma tahmin modelinde bağımlı değişken olarak PCI kabul edilmiştir. Çalışmada, bağımsız değişkenler olarak Yaş, DGS ve TYM parametreleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler aşamasında, öncelikli olarak tüm bağımsız değişkenlerin PCI bağımlı değişkeni ile olan doğrusal ilişkileri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu modellerin regresyon değerleri ve varyans analizi sonucu bulunan istatistik anlamlılık değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Doğrusal modelleme sonuçları

Doğrusal Model	R <sup>2</sup>	Anlamlılık
PCI = f(Yaş)	0,531	0,000
PCI = f(DGS)	0,523	0,000
PCI = f(TYM)	0,530	0,000
PCI = f(Yaş, DGS)	0,531	0,000
PCI = f(Yaş, TYM)	0,530	0,000
PCI = f(DGS, TYM)	0,532	0,000
PCI = f(Yaş, DGS, TYM)	0,532	0,000

Tabloda yapılan varyans analizi değerlendirmelerine göre oluşturulan tüm modellerin istatistik olarak anlamlı ( $p < 0,01$ ) olduğu açıkça görülmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında oluşturulacak üstyapı bozulma tahmin modelinin tahmin gücünü arttırmak amacıyla bağımsız değişkenlerin değişik formları analiz edilmiştir. Analizler sonucu oluşturulan doğrusal regresyon modeli aşağıdaki Eşitlik (1)'de verilmiştir:

$$PCI = 0,002 * Yaş^4 - 4,338 * 10^{-7} * DGS^4 - 0,691 * \sqrt{TYM} + 104,776 \quad (1)$$

Oluşturulan üstyapı bozulma tahmin modelinde  $R^2 = 0,574$  olarak tespit edilmiştir. Bir başka deyişle modelin tahmin yeteneği % 57 olarak tespit edilmiştir. Bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyon ilişkisi bulunduğu ve modelin tahmin yeteneğini arttırmak amacıyla Yaş değişkeni 4 katı ( $Yaş^4$ ), DGS değişkeni 4 katı ( $DGS^4$ ) ve TYM değişkeni karekök ( $\sqrt{TYM}$ ) alınarak değerlendirmeye alınmıştır.

**Tablo 3.** Bağımsız değişkenlerin korelasyon ilişkileri

	PCI	Yaş4	DGS4	KKTYM
PCI	1,000	-0,682	-0,665	-0,711
Yaş4	-0,682	1,000	0,980	0,754
DGS4	-0,665	0,980	1,000	0,677
KKTYM	-0,711	0,754	0,677	1,000

**Tablo 4.** Bağımsız değişkenlerin istatistik anlamlılıkları

	PCI	Yaş4	DGS4	KKTYM
PCI		0,000	0,000	0,000
Yaş4	0,000		0,000	0,000
DGS4	0,000	0,000		0,000
KKTYM	0,000	0,000	0,000	

Analiz sonucunda değişkenlerin korelasyon ve istatistik anlamlılık değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'de görülmektedir. Tablo 4'de görüldüğü gibi tüm bağımsız değişkenler arasında varyans analizine göre anlamlılık  $p < 0,01$  seviyesindedir. Bu durum, üstyapıların bozulma mekanizmalarında etkili olan bu parametrelerin birbirleriyle aralarında istatistik olarak anlamlı farkların olduğunun bir diğer göstergesi olarak yorumlanabilmektedir. Oluşturulan modele ait istatistik parametreler aşağıdaki Tablo 5'de görülmektedir. Tabloda görüldüğü üzere gerek katsayılar da gerekse korelasyon değerlerinde istatistik anlamlılık değeri 0.05'den küçük yani, bulunan sonuçların istatistik olarak %95 anlamlılık sınırında anlamlı olduğu saptanmıştır.

**Tablo 5.** PCI bozulma modeli istatistik verileri

	Sabitler		t	Anlamlılık	Korelasyonlar		Kolinerite İstatistiği
	Katsayılar	Standart Hata			PCI ile	Anlamlılık	Kondüsyon İndeksi
Sabit	104,776	8,240	12,716	0,000			1,000
Yaş4	0,002	0,001	1,231	0,021	-0,682	0,000	1,780
DGS4	-4,338E-07	0,000	-2,089	0,039	-0,665	0,000	9,738
KKTYM	-0,691	0,140	-4,926	0,000	-0,711	0,000	15,782

Bağımsız değişkenler arasındaki kolinerite (bağımlılık) problemi için yapılan değerlendirmede, kondüsyon indeksi sınır değeri için genel kabul görmüş değerlendirme; orta seviyede bir kolinerite problemi için 10 veya 15, ileri seviyede bir kolinerite problemi için ise 30 değerleri kriter alınmıştır [16]. Bu değerlendirmeye göre bağımsız değişkenler arasında önemli bir kolinerite probleminin olmadığı

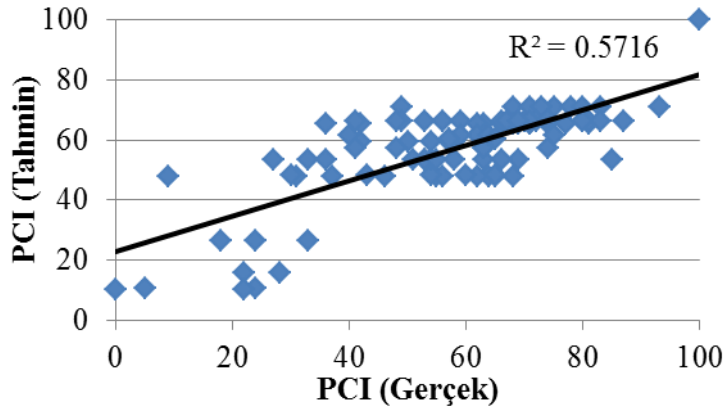
görülmektedir. Öte yandan, modelin varyans analizine göre anlamlılık değeri  $p < 0.01$  seviyesindedir. Bu durum, modelin kurulmasının anlamlı olduğunun bir başka göstergesi olarak yorumlanabilmektedir.

### 3.4. Doğrusal Olmayan PCI Bozulma Tahmini

Çalışmada ayrıca, üstyapı bozulma tahmin modeli doğrusal olmayan regresyon tekniği ile de değerlendirilmiştir. Geleneksel PCI bozulma modellere uyulması amacıyla model sabiti PCI değerinin aldığı maksimum rakam olan 100 kabul edilerek model oluşturulmuştur. Analizler sonucu oluşturulan doğrusal regresyon modeli Eşitlik (2)'de verilmiştir:

$$PCI = 100 + 0,001 * Yaş^4 - 3,89 * 10^{-7} * DGS^4 - 0,611 * \sqrt{TYM} \quad (2)$$

Doğrusal tahmin modeli ile neredeyse aynı tahmin yeteneğine ve istatistik yeterliliğe sahip modelin, form olarak geleneksel modellere yakın olması sebebiyle daha kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Oluşturulan bu modelde, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon değeri 0,572 ( $R = 0,756$ ) gibi bir ilişki yakalanabilmiştir. Ölçüm sonuçları ve tahmin modeli kullanılarak elde edilen PCI değerleri arasındaki farklar grafik olarak Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. PCI değerleri arasındaki farklar

### 3.5. Tahmin Doğruluğunun Arttırılması

Yapılan modelleme çalışmalarında, gerek bağımsız değişkenlerin birbirleri ile korelasyonlarının yüksek oluşu gerekse değişkenlerin tahmin yeteneği göze önüne alınarak değişkenler için fonksiyon modeller oluşturulmuştur. 5 derece polinom olarak analiz yapılan modellerde tahmin yeteneğinin oldukça arttırılabildiği gözlemlenmiştir. Analizi yapılan modellerin regresyon değerleri Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Polinom modelleme sonuçları

5. Derece Polinom Model	R <sup>2</sup>
PCI = p(Yaş)	0,591
PCI = p(DGS)	0,572
PCI = p(TYM)	0,589

Değerlendirmeler sonucunda polinom modelleme yaklaşımı ile modelin tahmin yeteneğinin attırıldığı görülmektedir. Özellikle, tahmin modelinde en yüksek regresyon değerinin, 'Yaş' bağımsız değişkeni kullanıldığında elde edildiği tespit edilmiştir.



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, üstyapının mevcut performansını tanımlayan PCI bağımlı değişkeninin zaman içerisinde değişimi ‘Yaş’, ‘DGS’ ve ‘TYM’ bağımsız değişkenleri ile modellenerek, üstyapıların işletiminden sorumlu kurum/kuruluşlarca rahatlıkla kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu amaçla, karmaşık olmayan matematik modelleme teknikleriyle bağımsız değişkenlerin doğrusal değerlendirmesi yapılmıştır. Bulunan olumlu sonuçlar üzerine geleneksel bozulma tahmin modellerine uyması açısından doğrusal olmayan tahmin modeli kalibre edilmiştir. Her iki modelde tahmin gücünün birbirine yakın oluşu modellerin her ikisinin de kullanılabilirliğini göstermiştir. Böylece, işletmecilerin elde edebilecekleri tahmini iklim verilerini de kullanarak üstyapılarının gelecek performanslarını karşılıklı ve/veya kontrollü olarak tahmin edebilmelerine ilişkin olarak bir altyapı sağlanmıştır.

Sentetik veriler yerine araziden ölçümlerle toplanan gerçek veriler kullanılarak kalibre edilen modeller yardımıyla, ihtiyaç duyan tüm işletim birimleri tarafından sorumluluğunda bulunan şehirçi BSK üstyapılı yollarda zaman içerisinde oluşan performans kayıpları doğru tahmin edilebilecektir. Literatürde şehirçi yollar için yapılan çalışmaların azlığından dolayı çalışmanın, ihtiyaç duyan tüm kurum/kuruluşlarca gelecek yıllara ait yatırım planlarını doğru yapılmasında ve sorumluluğunda bulunan yollarda konfor ve güvenlik seviyelerinin kontrol altında tutulmasında yardımcı olacağı düşünülmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Haas, R., Hudson, W. R., ve Zaniwski, J., 1994, “Modern Pavement Management”, Krieger Publishing Company, Florida.
2. Shahin M., Y., 2002, “Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots”, Kluwer Academic Publishers, London.
3. Hudson, W.R., Monismith, C.L., Shook, J.F., Finn, F.,N., ve Skok, E.L., 2007, “AASHO Road Test Effect on Pavement Design and Evaluation After 50 Years”, Pavement Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System, Number E-C118, Transportation Research Board, Washington DC, 17-30.
4. Choi, J., Adams, M.T., ve Hussain, U.B., 2004 “Pavement Roughness Modeling Using Back-Propagation Neural Networks”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Cilt 19, No 4, 295-303.
5. Lin, J. D., Yau, J.T., ve Hsiao, L.T., 2003 “Correlation Analysis Between International Roughness Index (IRI) and Pavement Distress by Neural Networks”, Transportation Research Board, 2003 Annual Meeting CD-ROM.
6. Roberts C.A., ve Okkine N.O., 1998, “A Comparative Analysis of Two Artificial Neural Networks Using Pavement Performance Prediction”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Cilt 13, No 5, 339-348.
7. Jain, S.S., Aggarwal, S., ve Parida, M. 2005,“HDM-4 Pavement Deterioration Models for Indian National Highway Network”, Journal of Transportation Engineering, Cilt 131, No 8, 623-631.
8. Terzi S., 2006, “Modeling The Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using Data Mining”, Journal of Applied Sciences, Cilt 6, No 1, 193-197.

9. Terzi S., 2007, “Modeling the Pavement Serviceability Ratio of Flexible Highway Pavements by Artificial Neural Networks”, Construction and Building Materials, Cilt 21, No 3, 590-593.
10. Yu, J., 2005, “Pavement Service Life Estimation and Condition Prediction”, Doctorate of Philosophy in Engineering, The University of Toledo.
11. Zouch, M., Yeung, T., Castanier, B., Lorino, T., 2012, “Application of Bivariate Deterioration Model for A Pavement Management Optimization”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Cilt 48, No 19, 196-204.
12. Kırbaş, U., 2013, “ Şehiriçi Yollarda Üstyapı Bakım Yönetim Sistemi Kurulması, Türkiye Örneği”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. ASTM D6433-11 Standart, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys
14. Huschke, R.E., 1959, “Glossary of Meteorology”, American Meteorological Society, Boston.
15. Cohen, J., Cohen, P., West , S.G., Aiken, L.S., 2003, “Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences”, Lawrence Erlbaum Associates Inc., New Jersey, London.
16. Pektaş, A.O., 2013, “SPSS İle Veri Madenciliği”, Dikeyksen Yayın Dağıtım, İstanbul.