

Ülkemizde Düzgünsüzlük Ölçümleri ve Bazı Verilerin Değerlendirilmesi

Ufuk KIRBAŞ¹, Mustafa KARAŞAHİN², Birol DEMİR³, Nazan ÜNAL³

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Atakum/SAMSUN, Tel: (362) 312 19 19 / 1056
E-Posta: ufukkirbas@gmail.com

² İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar/İSTANBUL, Tel: (212) 473 70 70 / 17936
E-Posta: mkarasahin@istanbul.edu.tr

³Karayolları Genel Müdürlüğü, Ar-Ge Dairesi Başkanlığı, Vecdi Diker Eğitim ve Araştırma Merkezi C2 Blok, 06790 Etimesgut / ANKARA, Tel: (312) 415 80 80
E-Posta: 07DB-Aras-Gel-D-B-Baskanlik@kgm.gov.tr

Öz

Ülkemizde, 2013 yılında ülke genelinde günümüz fiyatlarıyla yaklaşık 8 milyar 800 milyon TL, yalnızca şehirlerarası yollarda ise 5 milyar 200 milyon TL asfalt yatırımının yapıldığı bilinmektedir. Rakamlardan da anlaşılacağı üzere, ülkemiz asfalt yatırımının önemli miktarı şehirlerarası yollarda yapılmaktadır. Bahsi geçen bu yollarda üstyapıları yöneten bir bakım&onarım sisteminin bulunması kaçınılmazdır. Üstyapı yönetimi, en geniş anlamda planlama, programlama, tasarım, yapım, bakım, onarım ve yenileme işlemlerinin tamamını içeren çalışma programının genel adıdır. Bir üstyapı yönetim sistemi (ÜYS) verilen bir periyot süresinde karar vericiler için en uygun bakım ve onarım takviminin belirlenmesinde kullanılacak araçların ve yöntemlerin ayarlanmasını sağlar. Üstyapı yönetim sistemi kurulmasında birinci adım üstyapıların mevcut performansının belirlenmesidir. Gerçek anlamda bir ÜYS'den faydalanabilmek için, sistemin bir yol ağının geleceği ile ilgili doğru ve güvenilir tahminlerde bulunması gerekmektedir. Bu şekilde karar vericilere yatırımların doğru ve yerinde yapılması konusunda destekleyici çıktılar elde edilebilir. Bu maksatla, periyodik olarak ölçülen üstyapı mevcut performansları birlikte değerlendirilerek 'Üstyapı Bozulma Tahmin Modelleri' geliştirilmektedir. Söz konusu tahmin modellerinin düzgün ölçülmüş gerçek verilerle ve hassas bir şekilde yapılması, yol ağının geleceği ile ilgili doğru tahminlerin yapılmasına ve yatırımın anlamlı bir şekilde yönlendirilmesine olanak sağlayacağı açık bir gerçektir. Araştırmacılar genel olarak çalışmalarında en az 5 yıllık ölçümlerin değerlendirilmesi ile sağlıklı çalışan bir modelin oluşturulabileceğini vurgulamaktadırlar.

Çalışmada, ülkemizde yapılan düzgünsüzlük ölçümleri ve kabul sınırları açıklanmış ve bazı örnekler verilmiştir. Ayrıca, bazı yollara ait düzgünsüzlüğü tanımladığı kabul edilen tekrerrür halinde toplanmış 'Uluslar Arası Düzgünsüzlük İndeksi - IRI' verileri değerlendirilmiştir. Toplanan bu verilerle değişimi gösteren bir matematiksel ifadeler oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Karayolu Üst Yapısı, Üstyapı Yönetim Sistemi, Düzgünsüzlük, IRI, Bozulma Modeli

Giriş

Ulaşım, insan yaşamının zorunlu ihtiyaçları arasında yer almaktadır ve artık modern ulaşım sistemleri olmaksızın yaşamın sürdürülebilmesi düşünülemez durumdadır. Otomotiv teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ortaya çıkan karayolu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen üstyapıların artması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve yenileme işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır. Bakım ve onarım işlemleriyle beraber uygun tasarım ve doğru yapım tekniklerinin yanı sıra tutarlı bir işletimin, yol üstyapısının mevcut durumunda bir iyileşme ve üstyapının ekonomik ömrü sonunda kabul edilebilir bir servis düzeyi sağladığı da bilimsel bir gerçektir.

Ülkemizde şehiriçi ve şehirlerarası yollarda en temel ulaşım ağı olarak karayolu ağları kullanılmaktadır. Karayolu ağlarında güvenlik ve konforu sağlayan en önemli unsur karayolu üstyapısı olarak görülmektedir. Ülkemizdeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan karayolu ihtiyacının artması ve yollardaki üstyapıların zamanla bozulmaya başlaması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve onarım işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır.

Üstyapı, ulaştırma şebekesinin ucuz olmayan bir parçasıdır. Amerika'da yalnızca şehirlerarası yollardaki üstyapı yatırımına harcanan para 30 milyar dolardır. Ayrıca bu üstyapıların bakımı ve geliştirilmesine yılda 1 milyar dolardan fazla para harcanılmaktadır.

Ülkemiz genelinde bu yatırım 2013 yılı itibariyle yaklaşık olarak 8 milyar 800 milyon TL olarak belirlenmiştir. Benzer bir değerlendirme yalnızca şehirlerarası yollar için yapıldığında yine 2013 yılı itibari ile 5 milyar 200 milyon TL olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu rakam 2013 yılı verileri ile 24.4 milyon ton bitümlü sıcak karşım (BSK) olarak karşımıza çıkmaktadır ki bu rakam ülkemizde yapılan toplam BSK'nın yaklaşık %52'sine karşılık gelmektedir. Rakamlar üstyapı yatırımlarının her ölçekteki karayolu ağlarında koordineli, planlı ve programlı bir şekilde yapılması gerektiğini açıklıkla göstermektedir (Asmüd, 2014).

Yukarıda atfedilen rakamlardan da anlaşılacağı üzere üstyapıların düzenli bir şekilde yönetilmesi, kullanıcılara konforlu ve güvenli bir seyahat sunmanın yanında temelde topluma ait bütçenin en iyi şekilde değerlendirilmesini de sağlayacaktır.

Üstyapı Yönetim Sistemi Kavramı

Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), sistem genelindeki tüm işlemlerin koordineli bir şekilde ayarlanarak, temelde topluma ait olan bütçenin en uygun harcamalarla düzgün, güvenli ve ekonomik olarak üstyapıların işletimini sağlamayı amaçlayan çalışmaların tamamına verilen isimdir (Haas ve diğ., 1994).

İyi bir üstyapı yönetimi sistematik yaklaşımlı ve organize edilmiş bir şekilde düşünmeyi gerektirmesinin yanında işlerin günü güne yapılmasını da sağlayan bir sistemin bütünüdür. Üstyapı yönetimi en geniş anlamda planlama, programlama, tasarım, yapım, bakım, onarım ve yenileme işlemlerinin tamamını içeren çalışma programıdır (Kırbaş, 2007).

Bir ÜYS'de bulunması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir;

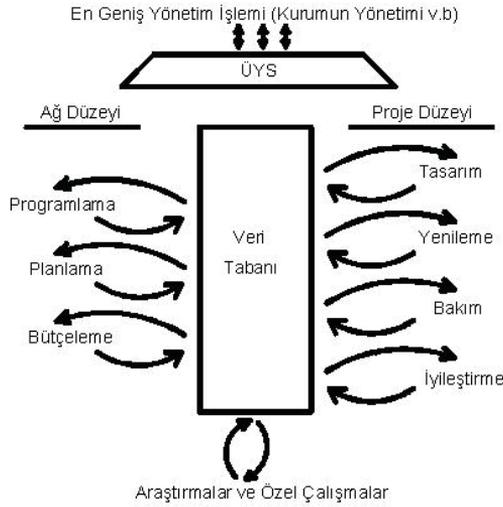
- Yeni bilgi ve daha iyi modeller elde edildiğinde kolaylıkla sistem güncellenebilmeli ve düzenlenebilmelidir,
- Alternatif stratejilerin tamamı hesaba katılabilmelidir,

- Optimum alternatifler veya stratejiler tanımlanabilmelidir,
- Tanımlanan özellikler, kriterler veya kısıtlar ile birlikte temel kararlar gerçekçi yaklaşımlara dayandırılabilir,
- Kararların karşılaştırılması sonucunda elde edilen yorumlar bilgi olarak kullanılabilir (Haas ve diğ., 1994).

Bir ÜYS'nin kapsamı ÜYS yönetimi ile ilgilenen kurumun sistemden beklentilerine bağlıdır. Ağ ve Proje olmak üzere iki düzeyde şehir içi yollar, otoyollar ve hava meydanları gibi birçok alanda kurulabilecek bir yönetim sisteminin üstyapıların yönetiminde oldukça faydalar sağlayacağı çok açıktır. Bu bağlamda;

1. Ağ düzeyinde; yenileme, bakım veya onarım planları en düşük toplam maliyet veya en yüksek fayda göz önüne alınarak analiz periyotları geliştirilmekte,
2. Proje düzeyinde; bir kesim veya tüm ağ için yenileme, bakım veya onarım işlemlerinde, verilen alternatif tasarımlar arasından istenen fayda veya servis düzeyinde analiz periyotları için en düşük maliyetli çıktılar belirlenebilmektedir (Kırbaş, 2007).

Bir ÜYS'nin temel bileşenleri ve aralarındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1 Bir ÜYS'nin temel bileşenleri ve aralarındaki ilişki (Haas ve diğ., 1994).

Literatür taraması yapılması sırasında özellikle örnek sayılabilecek, çalışmakta olan ÜYS'lerin açıklandığı kaynaklar üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, yapılan literatür çalışmasında Yeni Zelanda, Tayland, Belçika, Portekiz, Çin, Yunanistan ve İngiltere'deki ulusal yol ağına ait yollarda ÜYS çalışmalarını anlatan kaynakların olduğu gözlemlenmiştir. Ulusal yol ağına ait çalışmalarda, üstyapının mevcut durumunu belirlemede genellikle ağdaki yol uzunluklarının fazla olmasıyla da alakalı olarak cihazlarla yapılan ölçümlerin kullanıldığı saptanmıştır. Üstyapının mevcut durumunu belirlemede çoğunlukla Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksinin (International Roughness Index, IRI) kullanıldığı çalışmalarda görülmektedir. Dünya Bankası tarafından geliştirilen ve ASTM E 950 koduyla yayınlanan

standart çerçevesinde değerlendirilen IRI'nin üstyapı tasarımında kullanılan üstyapı tasarımında kullanılan Hizmet Düzeyi (Present Serviceability Index, PSI) ile doğrudan ilişkili olduğu çalışmalarda açıklıkla ifade edilmektedir. Çalışmalarda, üstyapıların mevcut durumunu değerlendirmede ve proje düzeyi değerlendirmede ikinci parametre olarak Defleksiyon verilerinin (Falling Weight Deflection, FWD) tercih edildiği anlaşılmaktadır. Ağırlıklı olarak çalışmalar arasında, farklı matematik teknikleriyle bozulma modellerinin oluşturulduğu, yol üstyapı bozulma verileri ile düzgünsüzlük tahmini yapabilen modellerin kalibre edildiği ve karar destek sistemlerinin açıklandığı gözlemlenmiştir. Özellikle çalışmalardan, ulusal ağda çalışan yönetim sistemlerinde verilerin toplanmasında ve işlenmesinde kullanılan araç olarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) tercih edildiği görülmektedir (Abat-Bangasan, 2006) (Changpeepien ve Ammrपाला, 2008) (Veverka ve diğ., 1990) (Ferrerira ve diğ., 2008) (Pan ve diğ., 1999) (Golabi ve Pereira, 2003) .

ÜYS kavramında, araştırmacıların özellikle yoğunlaştığı bir başka konu olarak veriler arasında ilişkilerin araştırılarak modellerin kurulması olduğu çalışmalardan görülmektedir. Genel olarak yayımlar, araştırmacıların muhtelif yüzey değerlendirme verileri ile düzgünsüzlük arasındaki ilişkiler ile üstyapıların gelecek tahminini (bozulma modelleri) yapabilen modeller üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. 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 açıklıkla görülmektedir. Söz konusu bu çalışma konusunda, yüzey bozulma verileri ile IRI arasındaki ilişkileri ortaya koyan modellerin en çok ilgilenilen konu olduğu açıklıkla görülmektedir (Choi ve diğ.,2004) (Lin ve diğ., 2003) (Roberts ve Okkine, 1998) (Sundin ve Ledoux, 2001) (Terzi, 2006) (Yu, 2005).

Araştırmacılar, Haas (R.), Hudson (W. R.) ve Zaniewski (J.)'nin 1994 yılında yayınladıkları, ÜYS konusunda hatırlı bir kaynak olan 'Modern Pavement Management' isimli çalışmalarında, "ÜYS, hazırlanan optimum stratejilerin ilişkili ve eşgüdümlü biçimde çeşitli özellikler, ölçütler ve kısıtlar göz önüne alınarak karar vericiler tarafından dinamik bir şekilde değerlendirilmesi, teknik kısıtların belirlenmesi ve işleme konulması adımlarının tamamına denir" olarak açıklanmaktadır. Yukarıda atfedilen araştırmacıların da açıkça vurguladığı gibi üstyapı yenileme, bakım ve onarım kararlarının alınmasında en iyi kararı verebilmek için ilgili yol kesimlerinin gelecek performanslarının en doğru şekilde bilinmesi gerektiği yadsınamaz bir gerçektir. Bu bakış açısıyla, en iyi üstyapı mühendisliğinin üstyapının gelecek performansını en doğru tahmin etmekten geçtiğini açıkça göstermektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında, iyi bir ÜYS kurulmasında tüm çalışmaların omurgasını tahmin yeteneği yüksek bir üstyapı bozulma tahmin modelinin oluşturduğu açıkça söylenebilmektedir. Ancak doğru tahminler yapabilen bir üstyapı bozulma tahmin modeli yardımıyla farklı stratejiler değerlendirilerek, karar vericilere uygun altlıklar oluşturulabilecektir.

Düzensüzlük Ölçümü

Uluslararası Düzensüzlük İndeksi (IRI) ve Ölçüm Kriterleri

Uluslararası Düzensüzlük İndeksi (International Roughness Index – IRI) ilk defa 1982 yılında Brezilya' da yapılan Uluslararası Yol Düzensüzlük Deneyinde tanımlanmıştır. IRI araç üzerine monte edilmiş yol ölçer vasıtasıyla yapılan, düşey doğrultudaki ivme ve uzaklık ölçülerinin elektronik olarak filtrelenmesi sonucu elde edilen standart düzensüzlüğün bir ölçütü olarak kabul edilmektedir. IRI, ASTM E950-98 standardı kurallarına göre ölçülen

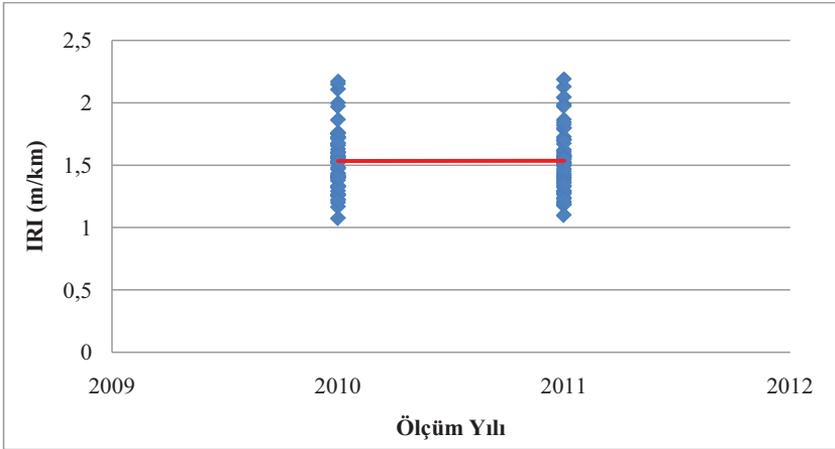
profilin matematiksel bir modelidir. Bu model Çeyrek – Araç Sistemi (Quarter Car System – QCS)’ ni simüle ettiği kabul edilmektedir (Shahin, 2002).

Ülkemizdeki ÜYS Çalışmaları

Ülkemizde, ÜYS çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülmektedir. KGM sorumluluğunda olan Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalı yolların düzgünlük ölçümleri, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Bölge Müdürlüklerinde bulunan Profilometre ölçüm araçları ile yapılmaktadır.

IRI Değerlerinin Değişimi

Bu çalışmada, tekerrür olarak ölçülen, diğer bir deyişle aynı yol kesiminin farklı zamanlarda ölçümü ile elde edilen IRI verilerine göre üstyapı bozulma miktarları diğer bir deyişle yıllara göre IRI değişimleri değerlendirilmiştir. Bu anlamda, KGM 10. Bölge Müdürlüğü yol ağında bulunan 010-21 kontrol kesim numaralı Giresun – Trabzon arası 2x2 bölünmüş yaklaşık 114 km yol ağında 2010 ve 2011 yıllarına ait IRI verileri 1 km’lik kesimlere ayrılarak değişim oranları incelenmiştir. Bu anlamda, değerlendirilen verilere göre IRI miktarında yılda % 0.1274 oranında bir artış olduğu saptanmıştır.



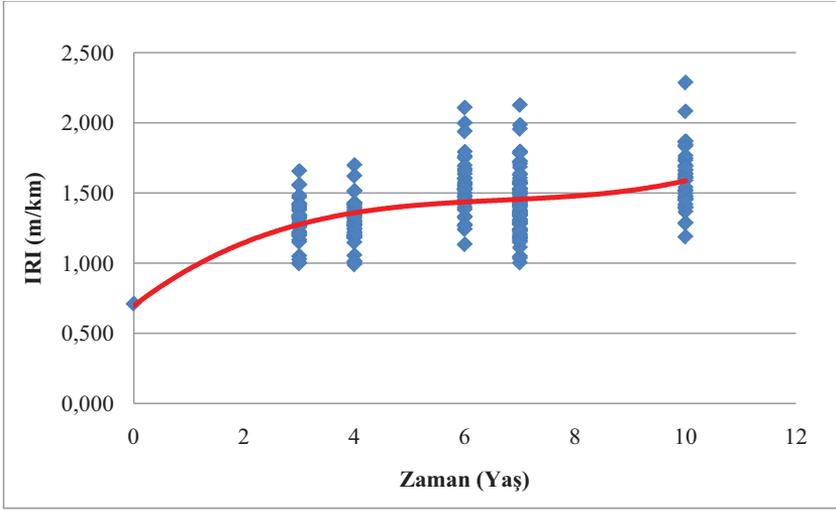
Şekil 2 IRI ölçümlerinin zaman içerisinde değişimi.

IRI değerlerinin değişimi Şekil 2’de görülmektedir. IRI değerlerindeki bu değişimlerden faydalanarak aşağıda verilen yıllara ait IRI tahmini yapabilecek matematiksel ifade oluşturulmuştur.

$$IRI_{\text{tahmin}} = IRI_{\text{ölçüm}} * (1 + 0.1274)^{Yıl}$$

Söz konusu çalışma geliştirilerek KGM 10. bölge yol ağında bulunan 010-21 kontrol kesim numaralı Giresun – Trabzon arası 2x2 bölünmüş yaklaşık 38 km’lik bir yolda 2010, 2011 ve 2014 yıllarına ait tekerrür IRI verileri 1 km’lik kesimlere ayrılarak değişim oranları incelenmiştir. Yapılan incelemede, verilerin değişimi incelenmiş, değişimi betimleyen matematiksel ifade oluşturulmuştur.

Söz konusu matematiksel ifade istatistik olarak değerlendirildiğinde bir adet bağımlı (IRI değerleri) bir adet bağımsız (Kesimlerin üstyapılarının yaşı) değişken arasında regresyon değeri $R^2 = 0.216$ olarak hesaplanmıştır. Bahsedilen matematiksel ifadenin grafik gösterimi Şekil 3 de verilmiştir.

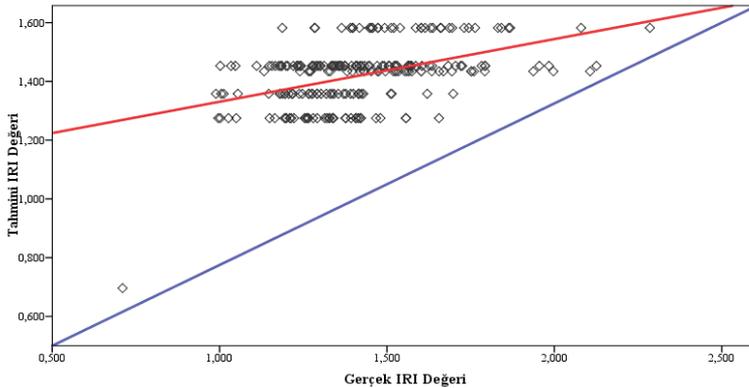


Şekil 3 Periyodik olarak ölçülen IRI verilerinin değişimi.

Tüm bu bilgiler ışığında oluşturulan IRI tahmini için kullanılabilir matematiksel ifade aşağıda verilmektedir.

$$IRI = 0.0021*(Yaş)^3 - 0.0422*(Yaş)^2 + 0.3006*(Yaş) + 0.6963$$

Söz konusu matematiksel ifadede ‘Yaş’ ismiyle tanımlanan değişken olarak bitümlü sıcak karışım üstyapının ilk yapım veya yenileme sonrası trafiğe ilk açılış tarihinden itibaren geçen yaşını tanımlamaktadır. Gerçek ve tahmin edilen veriler kullanılarak elde edilen IRI değerleri arasındaki farklar grafik olarak Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4 Gerçek ve tahmin edilen IRI değerleri değişimi.

Şekil 4’de gerçek ve oluşturulan matematiksel ifade ile elde edilen sentetik verilerin en küçük kareler ilkesine göre modelin tahmin yeteneğinin karşılaştırılması ve grafik simetrik değerlendirme ilkesine göre matematiksel ifadenin tahmin yeteneği karşılaştırılması gösterilmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, üstyapı yönetim sistemi bileşenleri genel olarak açıklanmış ve üstyapı yönetim sistemlerinde üstyapının mevcut performansını gösteren en önemli parametrelerden biri olan IRI hakkında bilgiler verilmiştir. Öncelikli olarak, 114 km uzunluğunda bir kesimde 2010 ve 2011 yıllarında ölçülen IRI değerlerinin karşılaştırılması yapılmış ve değişimi gösteren bir matematiksel ifade geliştirilmiştir. Ardından, önceki çalışmaya ilave olarak 38 km uzunluğunda bir yol kesiminde periyodik olarak 2010, 2011 ve 2014 yıllarında ölçülen IRI değerlerinin değişimini 3. derece polinom olarak gösteren bir matematiksel ifade geliştirilmiştir.

Kaynaklar

Abat-Bangasan, R., (2006) Application of Low-Volume Road Maintenance Management Systems in New Zealand to the Philippines, Master of Science, University of Canterbury, in Christchurch, New Zealand.

Choi, J., Adams, M.T., and Hussain, U.B., (2004) Pavement Roughness Modeling Using Back-Propagation Neural Networks, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 19(2004), pp. 295-303.

Chongpeepien, T., and Ammarapala, V., (2008) A Review of Thailand Pavement Management System (TMPS), IEEE 978-1-4244-2330-9, pp. 554-558.

Ferreira, A.J.L., Meneses, S.C.N. and Vicente F.A.A., (2008) Pavement-Management system for Oliveira do Hospital, Portugal, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport (162), pp. 157-169.

Golabi, K., Pereira P., (2003) Innovative Pavement Management and Planning System for Road Network of Portugal, Journal of Infrastructure Systems, 10.1061/(ASCE)1076-0342(2003)9:2(75), pp. 75-80.

Güngör, A.G., ve Sağlık, A., (2008) Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, KGM Tek. Arş. Dai. Bşk. Yayınları, Ankara.

Haas R., Hudson W.R., Zaniewski J., (1994) Modern Pavement Management, Krieger Publishing Company, Florida, USA.

Kırbaş, U., (2007) Üstyapı Yönetim Sistemi ve Beşiktaş İlçesi Örneğinde Uygulama Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kırbaş, U., (2013) Şehirçi Yollarda Üstyapı Bakım Yönetim Sistemi Kurulması, Türkiye Örneği, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lin, J.D., Yau, J.T., 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.

- Pan, Y., Kerali, H.R. and Snaith M.S., (1999) A network level pavement management system for China, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineer Transport, pp. 131-137.
- Paterson, W.D.O., (1986) International Roughness Index Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality, Transportation Research Board, TRR 1084, 65th Annual Meeting CD-ROM.
- Roberts C.A., Okkine N.O., (1998) A Comparative Analysis of Two Artificial Neural Networks Using Pavement Performance Prediction, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 13(1998), pp. 339-348.
- Shahin, M.Y., (2002) Pavement Management For Airports, Roads and Parking Lots, Kluwer Academic Publishers, Boston, London, U.K.
- Sundin, S., Ledoux, C., (2001) Artificial Intelligence-Based Decision Support Technologies in Pavement Management, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 16(2001), pp. 143-147.
- Terzi S., (2006) Modeling The Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using Data Mining, Journal of Applied Science, 6(1), pp. 193-197.
- Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği, (2013) Rakamlarla Asfalt, <http://www.asnud.org.tr/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2014].
- Veverka, V., Gorski, M., Vervenne, P., (1990) Maintenance Management of Secondary Road Networks in Theory and in Practice, Belgian Road Research Centre, Final Report.
- Yu J., (2005) Pavement Service Life Estimation and Condition Prediction, Doctorate of Philosophy in Engineering, The University of Toledo, Toledo, Spain.