

BETON YOLLARIN YÜZEY ÖZELLİĞİ ve ETKİLERİ

SURFACE CHARACTERISTIC OF CEMENT CONCRETE ROADS AND EFFECTS

Murat Ergün

İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul

Güven Öztaş

İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul

Özet

1990 yıllarına kadar karayolu kaplamalarında yol yüzeyinin performansında en önemli parametre olarak güvenlik ön plandaydı. Günümüzde ise, karayolu kaplamalarının en önemli özellikleri olarak güvenliğin yanında, çevre kirliliği, sürüş konforu ve kullanıcılara maliyeti gibi faktörleri öne çıkmaya başlamıştır.

Bu çalışmanın amacı, beton yol yüzey özellikleri ve bu özelliklerin çeşitli yol performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, çalışmanın ilk bölümünde yol yüzey özellikleri tanımlanmıştır. Yol güvenliğinde etkili olan yol yüzey özellikleri açıklanmıştır. Sonra, çevre etkileri ve sürüş konforunda etkili olan yol yüzey özelliği parametreleri anlatılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında ise, beton yol yüzey özelliklerinin etkilerini en aza indirmek için, ülkemizde beton yol inşaatı sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır.

Abstract

Until 1990, the most important parameter for road pavements is friction. Today, in addition to safety, the environmental effects of roads, driving comfort and user cost become the important parameters.

The main aim of this study is to analyse the surface characteristics of cement concrete roads and its effects on the performance of roads. To reach this aim, the surface characteristics of cement concrete roads are explained and defined. Then, the surface characteristics related with road safety performance is clarified. Further more, the surface characteristics related with the environmental effects of roads, driving comfort

and user cost are explained. In the final part of the this study, to minimise the effect of surface characteristics of cement concrete road on the road performances, the important information about the construction and the design phases of the cement concrete are given.

1. GİRİŞ

Mühendislik yönünden bakıldığında, yeni yapılmış bir beton yolun kabulü veya serviste olan bir beton yolun yüzey özelliklerinin kontrolü aşamasında en öncelikli performans kriteri, beton yolda belirli bir seyir hızında olan taşıtın, tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasında oluşan kayma-sürtünme katsayısının belirli bir seviyede olup olmadığı, yani beton yolun güvenli olup olmadığıdır. Bundan sonra gelen öncelikli performans kriteri ise, sürüş konfordur. Günümüzde, karayolu taşıt trafiğinin çok hızlı bir şekilde artması nedeniyle, ulaştırmanın çevre ve kullanıcıya maliyetleri (ekonomi) de önemli performans kriterleri arasına girmiştir. Konfor, çevre etkileri ve ekonomi ile ilgili teknik şartnameler ve standartlar, genellikle karayolu güvenliği ile ilgili teknik şartnameler ile çalışmakta ve bu da sorunlara yol açmaktadır. Beton kalitesinin gelişmesi ve beton yol yüzey yapım tekniklerinin gelişmiş olması da bu problemlerle karşılaşma olasılığını arttırmaktadır. Bu nedenle öncelikle, bu performans kriterleri ile yol yüzey özelliklerinin ilişkisinin ortaya koyulması gerekmektedir.

2. BETON YOL YÜZEY ÖZELLİKLERİ

Yol yüzey özelliklerinin (tüm yol tipleri için) uluslararası tanımın PIARC tarafından 1987 yılındaki kongresinde yapılmıştır [1]. Bu tanımlamaya göre, yol yüzey özellikleri, yolun gerçek profilinin, yolun teorik profilinden sapmaları olarak belirtilmiştir. Yol yüzey özellikleri, bu sapmaların dalga boyuna (λ) bağlı olarak, yol yüzey dokusu ve geometrik düzgünlüğü olmak üzere iki ana kısma ayrılmıştır. Bu tanımlama aşağıdaki gibidir belirtilebilir;

Yol Yüzey Dokusu :

Mikrodoku $\lambda < 0.5\text{mm}$.

Makrodoku $0.5\text{ mm.} < \lambda < 50\text{ mm}$.

Megadoku $50\text{mm.} < \lambda < 500\text{ mm}$.

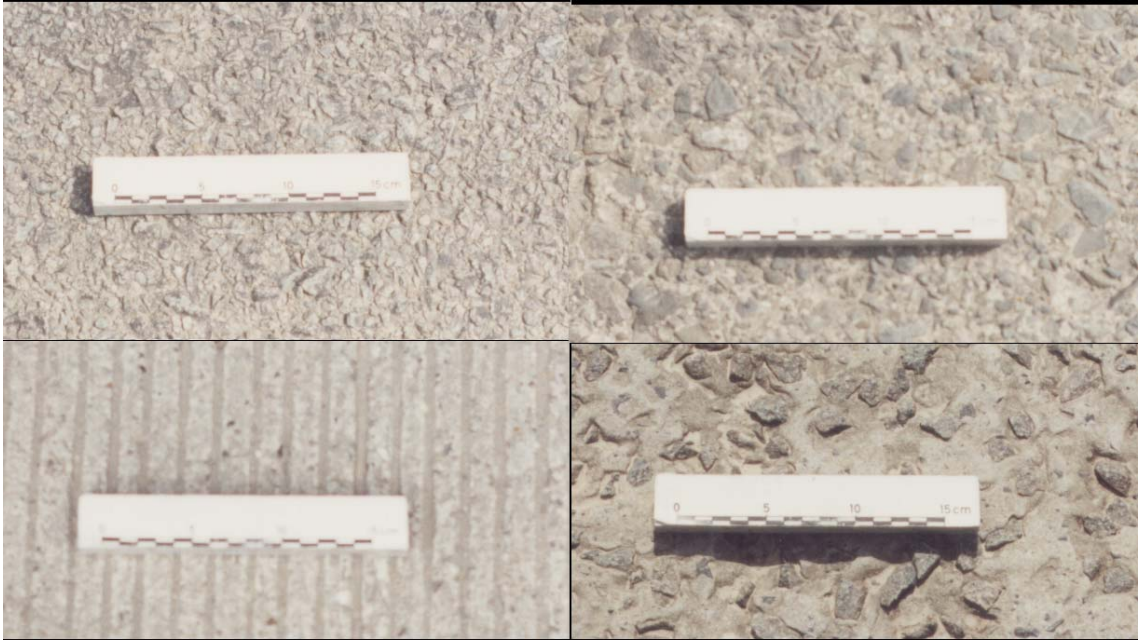
Geometrik Düzgünlük :

Boyuna Geometrik Düzgünlük $0.5\text{ m.} < \lambda < 50\text{ m}$.

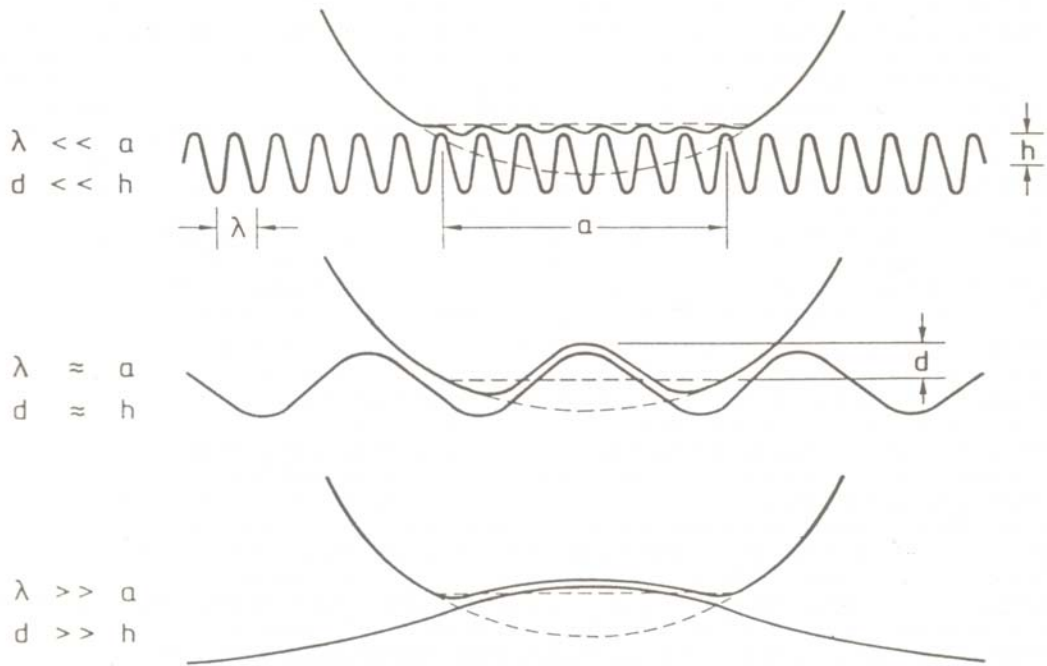
Enine Geometrik Düzgünlük $0.5\text{ m.} < \lambda < 50\text{ m}$.

Beton yol yüzeyleri değişik şekillerde olduğu için, her beton yolun yüzey özellikleri farklıdır. Şekil 1 de değişik beton yol yüzeyleri gösterilmiştir. Beton yol yüzey özelliklerinden mikrodoku, karışımdaki agregaların yüzeyine bağlıdır. Makrodoku ise agreganın dane boyutuna bağlı bir parametredir. Megadoku ise yol yapım aşamasında finişerin vibrasyonu sonucunda veya yol yüzeyinin zamanla bozulması sonucu oluşan çatlaklar, tekerlek izi vb. nedeniyle ortaya çıkar (Şekil 2). Beton yolun geometrik düzgünlüğü ise yine yol yüzeyini zamanla trafik ve çevre şartları nedeniyle bozulması

ile oluşan büyük boyutta çatlaklar, kopmalar, yol taban zeminin çökmesi ve/veya yapım sırasındaki yapım hataları sonucunda meydana gelir.



Şekil 1. Değişik Beton Yol yüzeyleri



Şekil 2. Makrodoku, Megadoku ve Geometrik Düzgünlük

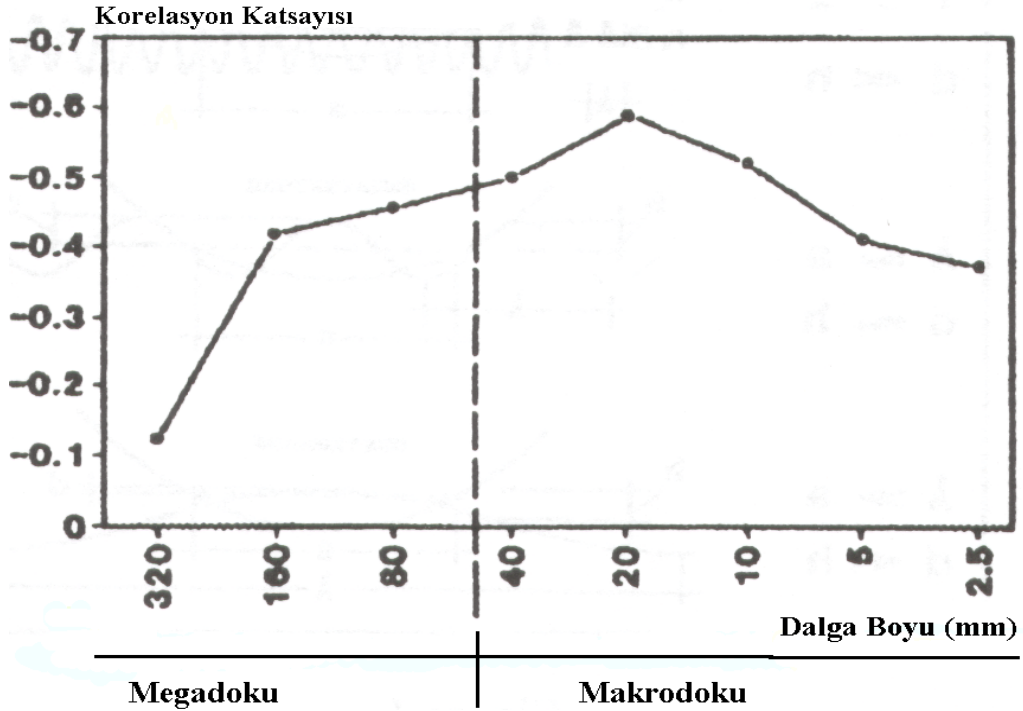
3. BETON YOL YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN YOLUN PERFORMANSINA ETKİLERİ

3.1. Güvenlik

Beton yolun en önemli performas kriteri güvenlidir. Bir beton yolun güvenliği, genellikle beton yol yüzeyinin kayma direncine, taşıtın beton yolda yol tutuşuna, optik özelliklerine ve su sıçratmasına bağlıdır.

Kayma direnci

Karayolu güvenliği genel olarak, bir beton yol yüzeyinde ıslak halde belirli bir seyir hızında olan taşıtın tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasında oluşan kayma-sürtünme katsayısının belirli bir seviyede olup olmadığı ile ilgili olup, tümüyle beton yol yüzeyinin mikrodokusuna ve makrodokusuna bağlıdır. Beton yol yüzeyinin mikrodokusu, beton yol yüzeyindeki su filmi parçalayarak, tekerlek lastiğinin agrega ile temasını sağlar [2]. Beton yol yüzeyinin makrodokusu ise beton yol yüzeyi üzerinde biriken suyun direne olmasını sağlayarak, su yastığı oluşmasını önler ve yüksek taşıt hızlarında yeterli seviyede kayma-sürtünme katsayısına ulaşılmasını sağlar [3]. Yol yüzey profilinin kayma direnci üzerine etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, yol yüzeyinin 20 ve 80 km/sa hızlarında ölçülen kayma direnci değerlerinin farkının yol yüzeyi megadokusu ve makrodokusu üzerine etkisi incelenmiştir (Şekil 3). Bu konuda yapılan benzer teorik ve deneysel araştırmalar sonucunda [4], tekerlek lastiği ile yol yüzeyinin temasının olduğu bölgedeki en yüksek su drenajının, yol yüzeyi dalga boyunun 8-16 mm. olduğu (makrodoku bölgesi) kısımlarda oluştuğunu göstermiştir.



Şekil 3. Değişik yol yüzeylerinde 20 ve 80 km/sa hızlarında ölçülen kayma direnci değerleri farkının yol yüzeyi dalga boyu ile ilişkisi (36 değişik yol yüzeyi için)

Yol tutuşu

Sürücünün güvenli bir sürüş yapabilmesi için, taşıt tekerlek lastiğinin beton yol yüzeyine yeteri oranda temas yapması gerekmektedir. Tekerlek lastiğinin beton yol yüzeyi ile en iyi temasının olduğu durum, tekerlek lastiğinin düşey hareketinin olabildiğince sabit olduğu durumdur. PIARC'ın 1975 yılı teknik komite raporu, taşıt tekerlek lastiğinin düşey hareketinin olabildiğince sabit olduğu durumu sağlayan frekans değerleri 5 ile 20 Hz arasında olduğunu belirtmektedir [5]. Bu frekansları oluşmasına yol açan boyuna geometrik düzgünlük değerleri 0.5 m. ile 8.0 m. arasındadır. Beton yollarda, asfalt betonu kaplamaların tersine, enine geometrik düzgünlük ile ilişkili olan tekerlek izi oluşumları oluşmadığı için taşıtın yol tutuşunda azalma olmaz.

Su sıçratma

Beton yol yüzeyinin su sıçratmasının azaltılması için drenajının çok iyi olması ve yol üzerindeki su filmi kalınlığının en düşük seviyelerde olması gerektiği bilinmektedir. Yol enkesitinin çatı eğiminin yeterli seviyede olmaması ve yol yüzeyinde oyuk ve deliklerin olması, su birikintisi miktarını artıracığı için su sıçratmanın da artacağı aşikardır.

Optik özellikler

Beton yol yüzeyinin optik özellikleri konusu, genellikle beton kaplama üzerindeki yatay işaretlemenin gündüz ve gece boyunca iyi şekilde görülebilmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu konuya daha detaylı bakıldığında, beton yol güvenliği ile ilgili üç optik özellik tanımlanabilir [6] :

- Beton yol yüzeyi, otomobil far ışığının yol yüzeyinden yansıyor karşı şeritten geçmekte olan taşıt sürücüsünün gözünü almayacak şekilde bir dokuda olmalı,
- Beton yol yüzeyinin gündüz-gece ortalama aydınlatma katsayısının, gündüz gün ışığı altında, gece ise aydınlatma şartları altında güvenliği sağlayacak büyüklükte olmalı,
- Otomobil far ışığının beton yol yüzeyinden yansması için, yol yüzeyinin yeterli yansımaya açısını sağlayacak bir yol yüzey dokusuna sahip olmalıdır.

Bu özelliklerin hepsinin sağlanabilmesi, beton yol yüzeyi makrodokusunun iyi bir şekilde tasarlanması ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca, iyi bir makrodokuya sahip yüzeyler, ıslak havada yol işaretlemelerinin daha iyi görünmesine yardımcı olur.

3.2. Ekonomi (Kullanıcıya Maliyeti)

Beton yol yüzey özelliklerinin kullanıcıya maliyetleri üzerindeki etkileri, genel olarak, Dinamik yükler, Taşıtın yıpranması ve Yakıt tüketimini artması olmak üzere üç bölüm şeklinde incelenebilir.

Dinamik yükler

Dinamik yükler, beton yol yüzeyindeki girinti, çıkıntı ve yivlerin taşıt süspansiyonları üzerindeki etkisi nedeniyle oluşup, taşıtın kütlesinin meydana getirdiği statik yükün yaklaşık % 15 katı kadardır. Taşıt yükleri ile beton yol kaplaması üzerindeki hasar miktarı arasında üssel bir ilişki olması nedeniyle, bu etki toplam standart dingil yükünde ($T_{8,2}$) yaklaşık % 35 artışa neden olur [7]. Dinamik yükler nedeniyle, kaplamanın ömrü beklenen servis ömründen önce biter. Dinamik yükler, tekerlek lastiğinin titreşim frekansı olan yaklaşık 1 Hz ve taşıtın titreşim frekansı olan 15 Hz (15 ile 30 m/s)'de

etkisini daha çok gösterir. Dinamik yüklemelere neden olan beton yol yüzey özelliği, yaklaşık olarak tüm boyuna geometrik düzgünlüğü kapsar (1m. ile 30m.).

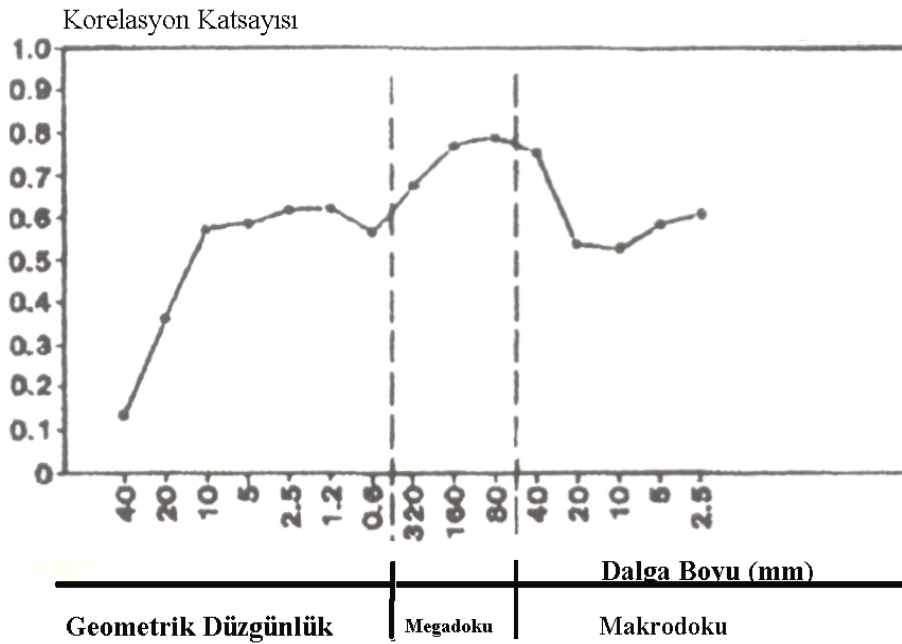
Taşıtın yıpranması

1985 yılında Dünya Bankası'nın değişik ülkelerde yaptığı ölçümler sonucunda, taşıtın yıpranması (bakım maliyetleri, yedek parça tüketimi, yağ tüketimi vb.) ve yolun boyuna geometrik düzgünlüğü ile ilgili bir parametre olan IRI (Uluslararası Pürüzlülük İndeksi) arasında önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Tekerlek lastiğinin aşınması üzerinde yapılan detaylı araştırmalar sonucunda, tekerlek lastiğinde meydana gelen aşınmanın, daha pürüzlü yol yüzeyinde, pürüzlülüğü az olan yol yüzeyine göre üç kat fazla olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda yol yüzeyi mikrodokusunun tekerlek lastiğinin aşınmasında belirleyici bir rolü olduğu saptanmıştır [4].

Yakıt tüketimi

Genellikle tüm beton yol yüzey özellikleri ile yakıt tüketimi arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar ise, yakıt tüketiminin artmasına neden olan en önemli parametrenin, taşıt tekerliğinin maruz kaldığı yuvarlanma direncinin olduğunu göstermiştir. Yuvarlanma direnci, büyük oranda, tekerlek lastiğinin bir yol yüzeyini aşması için harcaması gerektiği güce bağlıdır. Belçika karayolu ağındaki 37 değişik yol yüzeyi üzerinde yapılan ölçümler ve deneyler sonucunda, en uygun yol yüzeyi ile en kötü yol yüzeyi arasında yol yüzeyinin yuvarlanma direnimleri arasındaki fark % 47 seviyesine ulaştığı belirlenmiştir. Yakıt tüketimindeki fark ise yaklaşık % 10 oranına ulaşmaktadır. Yapılan bu çalışma sonucunda, yol yüzey özellikleri ile yuvarlanma direnci arasındaki en yüksek ilişkinin, taşıt hızının 50 km/sa ve 80 mm. dalga boyunda olduğu belirtilmiştir (Şekil 4)[8].



Şekil 4. Yuvarlanma direnci katsayısı ile yol yüzeyi dalga boyu ilişkisi (37 değişik yol yüzeyi için)

3.3. Konfor ve Çevre

Beton yol yüzey özelliklerinin konfor üzerindeki etkisine bakıldığında, genellikle taşıt içindeki kullanıcıların maruz kaldığı titreşimler öne çıkmaktadır. Çevre üzerindeki etkileri ise, çevreye verdiği trafik gürültüsü ve taşıt içindeki sürücüye verdiği gürültü olarak iki bölüme ayrılmaktadır.

Konfor

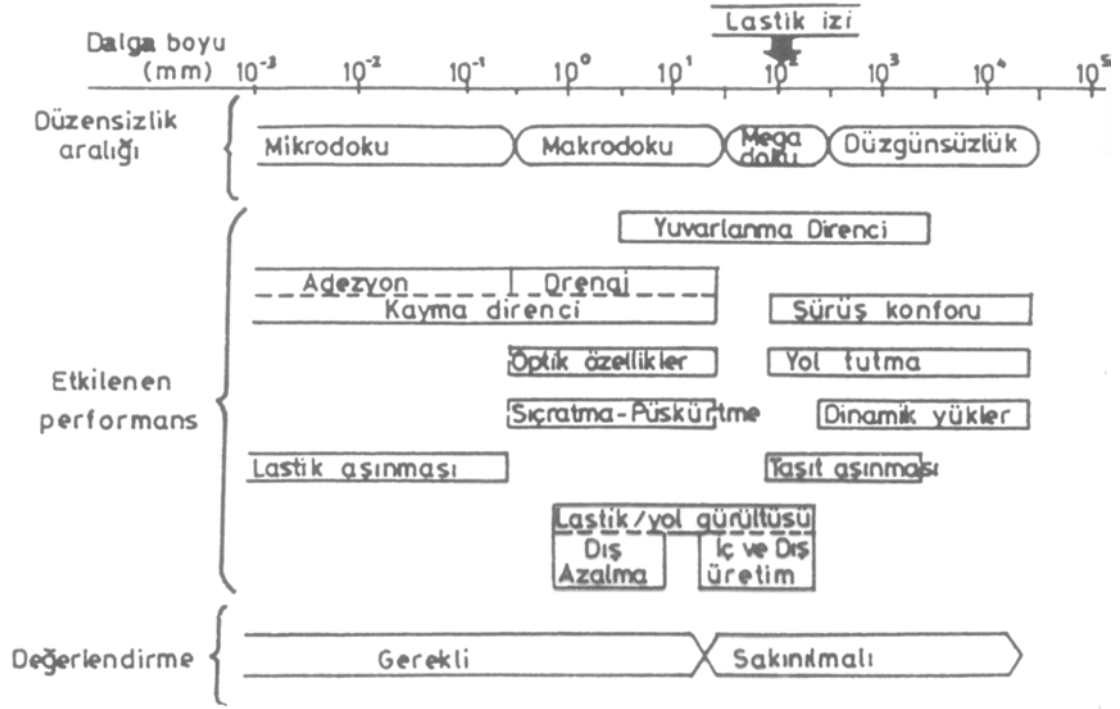
Taşıt sürücüsünün konforunu etkileyen en önemli faktör taşıt içinde oluşan titreşimlerdir. Bu nedenle bu kısımda, yol yüzey özelliklerinin konfor üzerindeki etkisi bu açıdan incelenecektir. Yol yüzey özelliklerinin sürücü konforu üzerindeki etkisi incelendiğinde (konfor kişiden kişiye değişen bir olgu olduğu için incelemede bir grup sürücünün konforsuzluk hislerinin ortalaması alınarak araştırma yapılmıştır), yol yüzey profilinin dalga boyu 0.5 m. büyük, 3 m. den küçük kısmının ortalama konfor değerlendirmesinde en belirleyici etken olduğu görülmüştür [9]. Araba üreticileri tarafından yapılan araştırmalarda ise, megadokunun da konforsuzluğa neden olduğunu belirtmektedir [10].

Çevre (Trafik Gürültüsü)

Trafik gürültüsü, taşıt tekerleğinin beton yol yüzeyi ile teması sonucunda oluşur ve gürültünün ana kaynağıdır. Diğer gürültü kaynakları ise taşıt motorunun gürültüsü ve taşıt iletim (transmission) elemanlarının gürültüsü şeklinde sıralanabilir. Taşıt tekerleğinin yol yüzeyi ile teması sonucunda oluşan trafik gürültüsü, beton yol yüzeylerinin çok farklı özellikte olmaları nedeniyle, beton yol yüzeyi tipine göre 10 dB(A) kadar farklı değerlere ulaşabilmektedir. 50 km/sa hızla giden taşıtın (otomobil) meydana getirdiği trafik gürültüsü ile yol yüzey profilinin dalga analizi üzerine yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, şu çarpıcı sonuçlar elde edilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir [11]:

- Yol yüzeyi profilindeki düzensizlikler 80 mm. ye yaklaştığında ve genişliği arttığında, trafik gürültüsünün değeri artar, bu etki ses dalgasının düşük frekanstaki etkisini gösterir (< 1 kHz),
- Fakat, dalga boyu 3 mm. ye ulaşırsa, gürültü seviyesi azalır, bu ise yüksek frekanstaki ses dalgasının etkisini göstermektedir (> 1 kHz).

İlk etki megadokunun neden olduğu tekerlek titreşiminden meydana gelmektedir. İkinci etki ise, genellikle air pumping şeklinde adlandırılan ve tekerlek lastiğinin iz şekillerinin boyutunda olan ve düşük makrodokunun yararlı etkisi olarak belirtilebilir.



Şekil 5. Yol yüzey özelliklerinin ve etkilerinin karşılaştırılması.

- Güvenlik performans kriterleri: Bir beton yolda yüksek bir kayma-sürtünme elde edebilmek için, yüksek mikrodokulu, düşük makrodokulu yol yüzeyine sahip olmak; Beton yol yüzeyinin su sıçratmasını önlemek için yüksek makrodokulu bir yapıya sahip olmak; Optik özellikleri iyi olan bir beton yolun sağlanabilmesi için makrodokusu yüksek olan bir yol yüzeyine sahip olmak gereklidir.
- Ekonomik performans kriterleri: Beton yolda taşıtın yol tutuşunun arttırılabilmesi için, enine ve boyuna geometrik düzgünlükten kaçınılmalı; Dinamik yüklerin oluşmasını önlemek amacıyla megadoku ve boyuna geometrik düzgünlük azaltılmalı; Taşıtın aşınmasının azaltılması için yüksek makrodokudan ve düşük seviyedeki boyuna geometrik düzgünlükten kaçınılmalıdır.
- Konfor ve Çevre performans kriterleri: Konfor için yüksek makrodoku, megadoku ve düşük frekanslı boyuna geometrik düzgünlükten kaçınılmalı; Trafik gürültüsü ve taşıt içindeki gürültü açısından ise, her türlü megadokudan kaçınılmalıdır.

Yukarıda sıralanan kriterlerin ve İnşaat Mühendisliği ilkelerinin ışığı altında Beton yol yüzey özellikleri arasında en önemli kriterin megadoku olduğu açıkça görülmektedir. Karşılaştığımız bu problemi, Beton yolun yapımı aşamasında kontrol ederek en aza indirmemiz olasıdır. Bu nedenle, Beton yolun yapımı sırasında meydana gelecek yüksek megadokunun meydana gelmesini önleyecek bazı yapım önlemleri önerilecektir. Önerilecek önlemleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz :

- Yüksek megadokuya neden olan büyük yivli Yivlendirilmiş Çimento Betonu kaplamalardan kaçınılmalı,

- Mıhlanmış Agregalı Çimento Betonu kaplamalarda mıhlanacak agreganın tane dağılımını megadokulu yüzey oluşmayacak şekilde ayarlanmalı,
- Beton yol yapımında yol yüzeyinde düzensiz makrodokulu ve yüksek makrodokulu kesimler oluşmamasına dikkat edilmeli, bunun için hasas duyarlı ve yeni tip finişerler kullanılmalı,
- Finişerin son düzelticisinin gereğinden fazla titreşmesini önleyerek, yol yüzeyinin dalgalı (megadokulu) bir yüzeye sahip olması önlenmeli, gereğinde perdelama sayısı arttırılmalıdır.

Ülkemizde yeni yapılmaya başlanacak olan beton yolların yapımı ve tasarımı aşamasında, yukarıda da belirtilen önlemlerin alınması şartıyla, hem ülke ekonomisine ve çevreye büyük katkılarda bulunulabilir, hem de sürücülerin güvenli, konforlu ve sağlıklı bir şekilde taşıtlarını sürmeleri sağlanabilir.

Kaynaklar

1. PIARC, "Report of the Technical Committee on Surface Characteristics" *XVIII. World Road Congress*, Brussels, Belgium, 1987.
2. Ergün, M., "Effect of Road Surface Micro- and Macrotecture on Skid Resitance", *Doctorate Thesis*, Technical University of İstanbul, İstanbul, Turkey, 1998.
3. PIARC, "Report of the Technical Committee on Surface Characteristics" *XVII. World Road Congress*, Vienna, Avustrali, 1979.
4. Bond and et al., "Tyre/Road Surface Interaction", *Journal of the Institution of Highway Engineers*, November, 1976.
5. PIARC, "Report of the Technical Committee on Surface Characteristics" *XIII. World Road Congress*, Mexico City, Mexico, 1975.
6. CIE and PIARC, "Road Surface and Lightining", *Common Technical Report*, Paris, France, 1983.
7. Molenar A., Sweere B., "Road Roughness : Its Evaluation and Effect on Riding Confort and Pavement Life", *Delf University of Technology Press*, The Netherlands, 1981.
8. Descornet, G., "Influence of Surface Characteristics on Rolling Resistance and Fuel Consumption", *International Conferance on Roads and Road Traffic for the Year 2000*, Berlin, Germany, 1988.
9. Janoff, M.S., "Methodology for Computing Pavement Ride Quality from Pavement Roughness Measurements", *TRB RR 1084*, National Reseach Council, Washington, D.C., U.S.A., 1986.
10. Yoshida, Suziki, Suziki, "Analysis and Improvement of Vibration and Acoustic Characteristics of Automobiles", *SAE Paper 740950*, Sciety of Automotive Engineers, Warendale, U.S.A., 1974.
11. Sandberg, U., Descornet, G., "Road Surface Influence on Tire/Road Noise (Part I and II)", *Inter-Noise 1980*, Miami, U.S.A., 1980.
12. Descornet, G., "Experimantal Study of the Rolling Noise of a Test Car on Verious Existing Road Surfaces in Belgium", *International Tire Noise Conferance*, Stockholm, Sweden, 1979.