

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ASFALT YOL YÜZEYİNDEKİ İNCE TANELİ MALZEMELERİN SÜRTÜNME
KATSAYISINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Mustafa MADEN

**TEMMUZ 2009
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ASFALT YOL YÜZEYİNDEKİ İNCE TANELİ MALZEMELERİN SÜRTÜNME
KATSAYISINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

İnşaat Mühendisi Mustafa MADEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23.06.2009
Tezin Savunma Tarihi : 09.07.2009

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Asfalt yol yüzeyindeki ince taneli malzemelerin sürtünme katsayısına etkilerinin araştırılması” adlı bu çalışmayı bana öneren ve çalışma boyunca çok değerli zamanını ayırarak ilgilerini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR’a içtenlikle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Mustafa MADEN

Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yolların Yüzey Özellikleri	5
1.2.1. Pürüzlülük	7
1.2.1.1. Mikro Pürüzlülük	7
1.2.1.2. Makro Pürüzlülük.....	7
1.2.1.3. Mega Pürüzlülük	8
1.2.1.4. Pürüzlülük-Lastik Aşınması İlişkisi	9
1.2.1.5. Pürüzlülük Ölçüm Yöntemleri	9
1.2.1.5.1. Mikro dokuyu Ölçme Yöntemleri	9
1.2.1.5.2. Makro dokuyu Ölçme Yöntemleri	11
1.2.1.5.3. Mega Dokuyu Ölçüm Yöntemleri.....	16
1.2.1.5.4. Geometrik Düzgünlük Ölçüm Yöntemleri.....	16
1.3. Sürtünme Katsayısı	17
1.3.1. Tekerlek-Yol Etkileşim Mekanizması	21
1.3.2. Yanal Sürtünme Kuvveti.....	24
1.3.3. Sürtünme Katsayısı Ölçüm Yöntemleri	24
1.3.4. Sürtünme Katsayısı- Pürüzlülük İlişkisi.....	27
1.3.5. Sürtünme Katsayısının Trafik Kazalarına Etkisi.....	28
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	30
2.1. Amaç	30

2.2.	Kapsam	30
2.3.	Kum Yama Yöntemi	33
2.4.	Yüzey Profil Derinliğinin Belirlenmesi	34
2.5.	Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi	39
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
4.	KAYNAKLAR.....	47
5.	EKLER	49
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu tez çalışmasında Trabzon Maçka yolunda aynı enkesitlerden alınan altı adet asfalt numunenin, kuru, ıslak, killi, kumlu, buzlu yol yüzeyi durumlarında lazer aleti ve kum yama yöntemi ile pürüzlülüğü, İngiliz Sürtünme pandülü aleti ile de sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Test sonuçlarında, yol pürüzlülüğünün azalmasının ve yol yüzeyindeki su, kil, ve kumun sürtünme katsayısını önemli ölçüde azalttıkları anlaşılmıştır. Test sonuçları, yol yüzeyinin ıslak killi olması durumundaki sürtünme katsayısının, buzlu olması durumundaki sürtünme katsayısına çok yakın olduğunu ve buz kadar tehlikeli olduğunu göstermiştir

Anahtar Kelimeler: Asfalt Yol, Aşınma, Pürüzlülük, Sürtünme Katsayısı, Kum Yama Yöntemi, Lazer Profilometre, İngiliz Sürtünme Pandülü

SUMMARY

Investigating the Effects of Dust on the Asphalt Pavement Surface Friction Coefficient

In this project, six different asphalt core specimens in the same cross-section from Trabzon Macka highway were obtained to investigate the dry, wet, clayey, sandy, icy surface conditions effects on the skid resistance of the asphalt pavement roads. Laser device and Sand Patch Method were used to measure the macrotexture values and the British Pendulum test method was used to obtain the skid resistance values. According to the test results, the skid resistance of the road significantly decreases with decreasing macrotexture. The wet, clayey, sandy, iced road conditions, especially the wet-clayey road surface condition, significantly decreases the frictional coefficient of the road compared to the dry road condition. The test results indicated that the friction of wet-clayey condition is dangerous as much as icy condition.

Key Words: Asphalt Pavement Road, Texture, Friction Coefficient, Sand Patch Method, Laser Profilometer, British Pendulum Test

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Beton ve asfalt yollardaki durma mesafelerinin karşılaştırılması	4
Şekil 1.2. Yakıt tüketiminin asfalt ve beton yola göre değişimi	5
Şekil 1.3. Değişik yol yüzeyleri	6
Şekil 1.4. Yol yüzey özelliklerindeki farklı durumların basit gösterimi	6
Şekil 1.5. Makro pürüzlülük ve mikro pürüzlülüğün gösterimi	8
Şekil 1.6. Yol yüzey özelliklerinin araçlara etkisi.....	8
Şekil 1.7. Dromometre izleme (kopyalama) ünitesi.....	10
Şekil 1.8. Kum yama yönteminin uygulanışı	12
Şekil 1.9. Eğik açıyla gelen lazer ışınının yansıması	13
Şekil 1.10. Lazerli bir ölçüm düzeneği.....	14
Şekil 1.11. Lazerin çalışma prensibi	14
Şekil 1.12. Su drenajı yönteminin şematik gösterimi.....	16
Şekil 1.13. Sürtünme direnci kuvvet ilişkisi.....	18
Şekil 1.14. Buzlu yolda dönemeyerek devrilen araç	19
Şekil 1.15. Yol girintilerini doldurmuş kil	19
Şekil 1.16. Sürtünme katsayısı değerinin frenlemeyle değişimi	21
Şekil 1.17. Sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi	23
Şekil 1.18. İngiliz sürtünme pandülü.....	25
Şekil 1.19. Japon dinamik sürtünme ölçer	26
Şekil 1.20. Dinamik sürtünme ölçüm araçları.....	26
Şekil 1.21. Hız ve pürüzlülük durumuna göre sürtünme katsayısının değişimi.....	27
Şekil 2.1. Lastiğin fazla geçtiği bölgelerin aşınması.....	31
Şekil 2.2. Asfalt yoldan karot numune alımı	32
Şekil 2.3. Araziden alınan asfalt numunenin granülometri eğrisi	32
Şekil 2.4. Kum yama yönteminde kullanılan asfalt numuneler ve asfalt numune yüzeyine kumun serilmiş hali	33
Şekil 2.5. Yüzeyine kil serilmiş numunenin lazer aleti ile pürüzlülüğünün ölçülmesi	35

Şekil 2.6.	Yüzeyine kum serilmiş asfalt numunenin lazer aleti ile pürüzlülüğünün ölçülmesi	35
Şekil 2.7.	Yüzeyine yol yüzeyinden alınan toz numune serilmiş asfalt numunenin lazer aleti ile pürüzlülüğünün ölçülmesi	36
Şekil 2.8.	Lazer profilometre yazılımının ilk açılış ekran görüntüsü	36
Şekil 2.9.	Temiz yüzeyli asfalt numunenin pürüzlülük değerleri	37
Şekil 2.10.	Yüzeyine kil serilmiş asfalt numunenin pürüzlülük değerleri	37
Şekil 2.11.	Yüzeyine kum serilmiş asfalt numunenin pürüzlülük değerleri	38
Şekil 2.12.	Yüzeyine yol yüzeyinden alınan toz numune serilmiş asfalt numunenin pürüzlülük değerleri	38
Şekil 2.13.	Sürtünme katsayısı ölçüm deney düzeneği	39
Şekil 2.14.	Buzdolabında dondurulmuş numune	43
Şekil 5.1.	Temiz yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	50
Şekil 5.2.	Temiz yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	50
Şekil 5.3.	Temiz yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	51
Şekil 5.4.	Temiz yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	51
Şekil 5.5.	Temiz yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	52
Şekil 5.6.	Killi yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	52
Şekil 5.7.	Killi yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	53
Şekil 5.8.	Killi yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	53
Şekil 5.9.	Killi yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	54
Şekil 5.10.	Killi yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	54
Şekil 5.11.	Kalın killi yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	55
Şekil 5.12.	Kalın killi yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	55
Şekil 5.13.	Kalın killi yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	56
Şekil 5.14.	Kumlu yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	56
Şekil 5.15.	Kumlu yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	57
Şekil 5.16.	Kumlu yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	57
Şekil 5.17.	Kumlu yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	58
Şekil 5.18.	Kumlu yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	58
Şekil 5.19.	Toz numune yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	59
Şekil 5.20.	Toz numune yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü	59
Şekil 5.21.	Toz numune yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü	60

- Şekil 5.22. Toz numune yüzeyli, lastiğın az geçtiğı asfalt numunenin pürüzlülüğü.....60
- Şekil 5.23. Toz numune yüzeyli, lastiğın fazla geçtiğı asfalt numunenin pürüzlülüğü61

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bazı durumlardaki statik ve kinetik sürtünme katsayısı değerleri	20
Tablo 1.2. Yol yüzeyi durumuna göre ortalama pik ve kızaklama sürtünme değerleri	22
Tablo 1.3. Yol kesimine ve kamyon trafiği yoğunluğuna göre olması gereken agrega cilalanma değeri ve sürtünme katsayısı değerleri	29
Tablo 2.1. Kum yama yöntemi deneyi sonuçları.....	34
Tablo 2.2. Temiz kuru ve ıslak yüzeyli asfalt numunelerin farklı sıcaklıklardaki sürtünme katsayısı değerleri.....	40
Tablo 2.3. Yüzeyine kil serilmiş asfalt numunelerin kuru ve ıslak haldeki sürtünme katsayısı değerleri.....	41
Tablo 2.4. Araziden alınan toz numune serilen asfalt numunelerin ıslak ve kuru haldeki sürtünme katsayısı değerleri.....	42
Tablo 2.5. Yüzeyine kum serilmiş numunenin kuru ve ıslak haldeki sürtünme katsayısı değerleri.....	42
Tablo 2.6. Yüzeyi buzla kaplı asfalt numunenin sürtünme katsayısı değerleri.....	43
Tablo 2.7. Yapılan deneylerde farklı yol yüzeyi durumundaki sürtünme katsayıları	45
Tablo 2.8. Tablo 2.7 deki sürtünme katsayılarına karşılık gelen 50 km/h hızdaki durma mesafeleri.....	46

SEMBOLLER DİZİNİ

BPT	: İngiliz sürtünme pandülü (British Pandilium Tester)
F_k	: Kinetik sürtünme kuvveti
MPD	: Ortalama profil derinliği (Middle Profile Depth)
MTD	: Ortalama doku derinliği (Middle Texture Depth)
μ_s :	: Statik sürtünme katsayısı
μ_k :	: Kinetik sürtünme katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

Birinci bölümde, asfalt yolların avantaj ve dezavantajları, sürtünme ve pürüzlülük ölçüm yöntemleriyle ilgili genel konularda bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, tez çalışmasında kullanılan deney düzeneklerinin hazırlanması, deneyde kullanılan numune özellikleri, sürtünme katsayısının belirlenmesi, lazer aleti ile yüzey profilinin ölçümü ve yapılan deneylerden elde edilen test sonuçları gösterilmiştir. Üçüncü bölümde, varılan sonuçlar ve öneriler açıklanmıştır.

1.1. Giriş

Tarihin en eski yol yapım malzemelerinden biri olan asfalt, geliştirilen teknik özellikleri ile yüksek performanslı, uzun ömürlü, güvenilir ve çevre ile uyumlu yolların yapımına imkan tanımaktadır.

Asfalt yolun avantajları şu şekilde sıralanabilir:

a. Hızlı ve kolay inşaat olanağı: Asfalt kaplamalar, beton kaplamalar gibi kür gerektirmediğinden tabaka inşaatı hızla tamamlanarak, birkaç saat içinde trafiğe açılabilir. Hızlı yapım tekniğinden dolayı alt tabakaların hemen kaplanabilmesi mümkün olmakta ve bu tabakaların açık hava şartlarına maruz kalarak taşıma gücünü kaybetmesi ihtimalini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca alternatifi olmayan yollarda ve şehir içi uygulamalarında trafik sıkışıklığına neden olmadan güvenli, hızlı bir şekilde ve hatta gerekirse gece çalışılarak, yolun trafiğe açılmasına olanak sağlamaktadır.

b. Daha ince tabakaların yeterli olması: Asfalt üstyapıların esneklik özelliğinden dolayı trafik yüklerini tabana yayması ve asfalt karışımların yüksek dayanıma sahip olması nedeniyle asfalt kaplamalar, beton gibi rijit kaplamalara göre özellikle düşük trafik şartlarında daha ince uygulanabilir. Bugün asfaltın geliştirilen performans özellikleri ile yüksek trafikli yollarda bile 1-3 cm kalınlığında ince asfalt kaplamaların yüzey tabakası olarak yapımı söz konusudur.

c. Daha sağlam üstyapı oluşturması: Asfaltın tabakalarda suyun üstyapıya girişi engellendiğinden üstyapı tabanının dondan etkilenmesi önlenerek, daha yüksek bir üstyapı dayanımı sağlanır. Asfalt üstyapılar, elastik ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dayanıklı

olduğundan uzun vadeli performansları daha yüksektir. Son yıllarda farklı trafik ve iklim şartlarına uygun asfalt tabakaların uygulanmasına yönelik performans esaslı asfalt şartnameleri geliştirilmiştir. Yüksek performanslı, gürültü seviyesi düşük ve kayma direnci yüksek Stone Mastic Asfalt-SMA ve serbest drenajlı Poröz Asfalt gibi asfalt karışımlar kullanılmaya başlanarak, asfalt üstyapılarda görülen tekerlek izinde oturma, yorulma ve termal çatlak gibi tipik bozulmaların oluşumu engellenmiştir. Beton kaplamaların en önemli sorunları, çimentonun suyla reaksiyonu sonucu oluşan büzülme çatlakları ile ısı değişimlerine ve aşırı yüklemelere karşı yüksek hassasiyeti nedeniyle ortaya çıkan şiddetli bozulmalardır. Ayrıca beton kaplamalar, tabandaki oturma ve şişmelerden asfalt üstyapıya göre daha çok etkilenirler. Geçmişte ülkemiz otoyollarında asfalt tabakaları altında kullanılan düşük dayanımlı çimento bağlayıcılı granüler temel tabakasından kaynaklanan ve tipik bir rijit üstyapı bozukluğu olan yüzeye yansımış büzülme ve termal çatlaklar nedeniyle bu tip tabakanın yapımından vazgeçilmiş ve halen uygulanan bağlayıcısız granüler temel yapımı tercih edilmiştir [20].

d. Az bakım gereksinimi: İyi dizayn edilmiş ve kaliteli yapılmış asfalt yollar minimum bakım gerektirir. Sadece düzenli rutin bakımla asfalt üstyapıların ilk performansı uzun yıllar korunabilmektedir. Asfalt kaplamanın bakım maliyeti düşüktür. Bozuk kesim hızla ve kolayca lokal olarak onarılabilir. Zamanla güçlendirilmesi gerektiğinden asfalt kaplamalara 4-5 cm'lik tabaka ilavesi yeterli olabilmektedir. Beton yolların rutin bakımı asfalt kaplamaların bakımı ile kıyaslandığında, daha fazla zaman, para ve işgücü gerektiren komplike bir işlemdir. Bozulmaların şiddetine ve yoğunluğuna bağlı olarak çok kere bakım işlemi bir nevi yeniden yapım işlemine dönüşebilmektedir. Ayrıca bozulmuş beton yolların takviyesinde sıcak karışım asfalt tabakalarına ihtiyaç duyulmakta ve bu uygulama dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

e. Konforlu ve güvenli yüzey özelliği: Asfalt kaplamalar, beton kaplamaların aksine düzgün ve derzsiz sürekli bir yüzey oluşturur. Derz gerektirmeksizin istenilen yüzey düzgünlüğü ve eğim verilebilir. Asfalt kaplamalarda yüzey kayma direnci, karışım dizaynı ayarlanarak optimum seviyede sağlanabilirken, beton karışımlarda yüzeyin özel olarak pürüzlendirilmesi ek işlemi de gerektirir. Asfalt kaplama üzerinde yol işaretleri çok iyi görülür. Yol çizgi boyasının ve diğer tip işaret malzemelerinin uygulanabilmesi ve kalıcı olmasını sağlamasının yanı sıra, kritik hat ve bölgelerin işaretlenmesinde oluşturduğu zıt renk ile hattı veya bölgeyi belirgin hale getirir. Son yıllarda geliştirilen renkli asfalt uygulaması ise şehir içinde estetik görünümlü alanların inşasına imkan sağlamaktadır.

Asfalt koyu rengi nedeniyle ısıyı çektiği ve kolay buharlaşma sağladığı için, asfalt kaplamalarda buz çabuk erimekte ve yüzey suyu hızla kurumaktadır. Asfalt, beton gibi reaktif bir malzeme değildir. Asit ve sülfatlara dirençli olduğundan korozyona neden olmaz, diğer malzemelerle reaksiyona girmez ve buz çözücü kimyasallar asfalta zarar vermez. Sathi kaplama uygulamaları hariç asfalt kaplamalı yollardaki gürültü seviyesi beton kaplamalı yollara göre oldukça düşüktür.

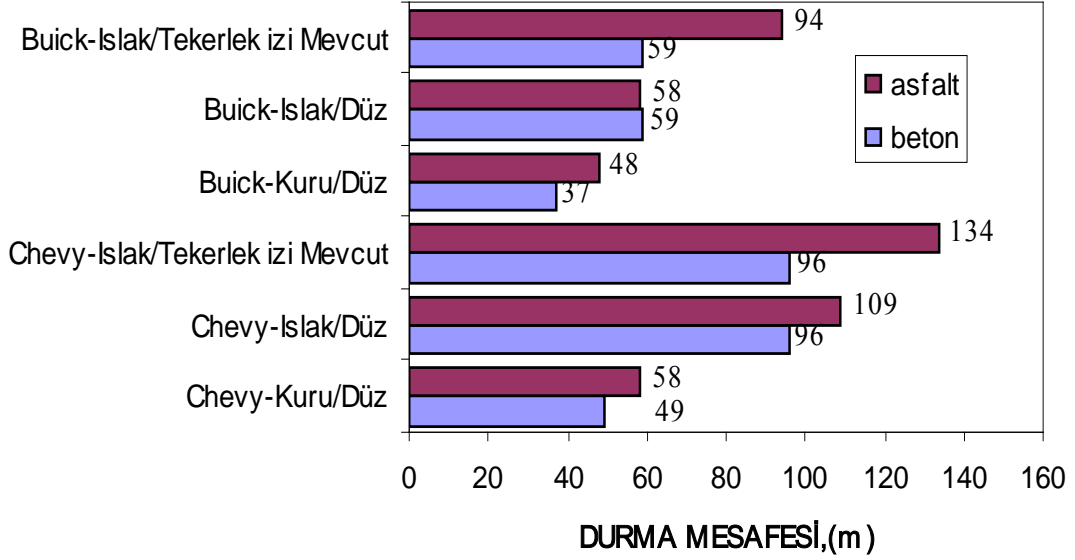
f. Yeniden kullanılabilirliği: Çimentonun aksine bitüm, bağlayıcı özelliğini kaybetmediğinden, asfalt karışımlardaki bitüm ve agreganın tamamı yeniden kullanılabilir yani, asfalt kaplamalar %100 geri dönüştürülebilen doğal malzeme karışımlarıdır. Buna karşın beton kaplamaların kullanım ömrü sonunda sadece agrega üretilecek bir kaynak olarak değeri vardır. Asfalt kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, esas amacı petro-kimya ürünleri eldesi olan ham petrol rafinasyonunda artık olarak kalan bir malzeme olup, bu malzemenin asfalt kaplamalarda değerlendirilmesi rafinasyonu daha ekonomik kılmakta hem de çevreye katkı sağlamaktadır[24].

g. Aşamalı inşaaata uygunluğu: Asfalt kaplamalar aşamalı olarak yapılabildiğinden ihtiyaca göre kalınlaştırılabilir ve genişletilebilir. İlave edilen her tabaka üstyapının yük taşıma kapasitesini artırır. Asfalt üstyapılar başlangıçta kaynak yetersizliği nedeniyle daha kısa ömürle dizayn edilebilmekte ve daha sonra gereksinimlere bağlı olarak asfalt tabakalarıyla takviye edilerek, ömrü uzatılabilmektedir. İlk maliyetinin yüksekliği ve aşamalı inşaatı uygun olmaması nedeniyle beton yollar, Türkiye'nin mevcut ekonomik şartlarında ihtiyaçlara cevap verecek bir yol tipi değildir.

Asfalt yolun dezavantajları şu şekilde sıralanabilir.

a. Yapım ve bakım maliyeti: Yapılan bir araştırmada Türkiye’de beton yol yapım maliyetinin daha ucuz olduğu ortaya çıkmıştır. İlk yapım maliyetleri karşılaştırmasında, asfalt yolun kilometre maliyeti 2004 yılı verilerine göre 436 – 622 milyar lira arasında değişmektedir. Yolun beton yol olarak inşa edilmesi halinde ise kilometre maliyetleri 369 – 570 milyar lira arasında değişmektedir. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı’nın kriterlerine göre yapılan bu maliyet hesapları beton yolun asfalt yola göre yüzde 20 – 30 arasında daha ucuz olacağını göstermektedir. Beton yolların ilk yapım maliyetleri asfalt yollarla aynı olduğu düşünülse bile yolun hizmet ömrü boyunca tüm maliyetleri düşünüldüğünde beton yollar, asfalt yollara göre yüzde 30–60’a varan daha az maliyetlere sahiptir [13].

b. Durma mesafesi: Asfaltta oluklaşmadan doğan tümsekler ve çukurlar yağışlı havalarda fazladan su tutar. Bu da su kızıağı tehlikesi için büyük bir potansiyel oluşturur. Ayrıca, biriken sular soğuk havalarda don yapabilir.



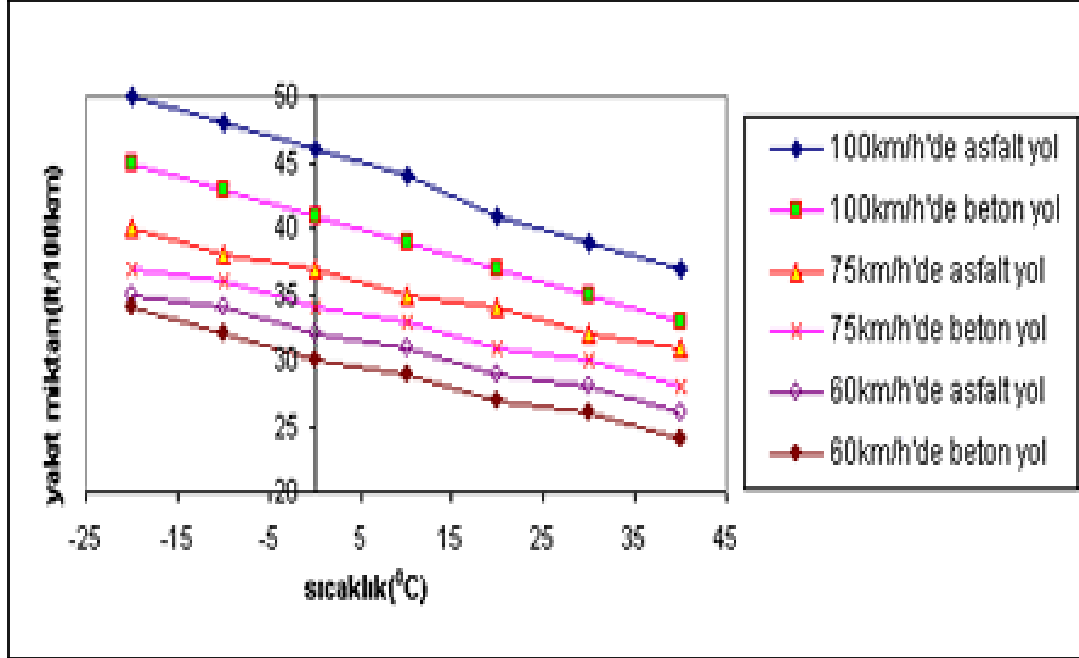
Şekil 1.1. Beton ve asfalt yollardaki durma mesafelerinin karşılaştırılması [23]

Illinois Üniversitesi tarafından sunulan “Asfalt yol yüzeylerindeki oyulmalar ve tekerlek izinin sürüş güvenliğine etkisi” isimli çalışmada, beton yüzeyindeki durma mesafesinin, asfalt yüzeyindeki durma mesafesinden daha kısa olduğunu (özellikle asfalt ıslak ve tekerlek izi oluşmuş durumda) gösterilmiştir. Şekil 1.1 de verilen değerlerde taban zeminine su geçmesi hesaba alınmamıştır. Taban zeminine su geçmesi göz önüne alındığında asfalt yüzeyde durma mesafesi daha da azalacaktır.

c. Sıcaklık: Kaplama tabakasını oluşturan asfalt ısınma sonucu yazın en düşük taşıma gücüne sahiptir. Mevsimler arası büyük ısı farkları olan, kara iklimi hüküm süren bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması sebebiyle, yazın tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formüle edilmesi gerekmektedir. Bu tip bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygundur. Bitümlü kaplamaların uygulanacağı zeminin kuru veya en fazla %2 oranında rutubetli olması gerekir. Bu zorunluluk ise yağışlı bölgelerde bitümlü kaplamaların uygulama süresinin kısalmasına neden olur [21].

d. Akaryakıt: Ağır araçlar, asfalt yollarda beton yollara göre daha fazla deformasyona neden olurlar. Kaplamadaki bu deformasyon, taşıt enerjisinin bir kısmını

emer. Bu nedenle, esnek kaplamalarda sürüş için daha fazla enerjiye ve daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç vardır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Yakıt tüketiminin asfalt ve beton yola göre değişimi [13]

1.2. Yolların Yüzey Özellikleri

Modern bir karayolu yapısal sağlamlığının yanında taşıtların güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde seyretmelerine olabildiğince uzun yıllar boyunca olanak sağlayacak yüzey özelliklerine de sahip olmalıdır. Bu özellikler yol kaplama yüzeyinin pürüzlülüğü-küçük çıkıntıları, yüzey düzgünlüğü-yüzey teğetinden sapmalar-dalgalanmalar ve tekerlek-yüzey arası sürtünme katsayısı değeri olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir.

Tüm yol tipleri için yol yüzey özelliklerinin uluslararası tanımı PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) tarafından 1987 yılında yapılmıştır [14]. 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 gibi belirtilebilir;

Yol Yüzey Dokusu-Pürüzlülüğü:

Mikro doku $\lambda < 0.5\text{mm}$.

Makro doku $0,5 \text{ mm} < \lambda < 50 \text{ mm}$.

Mega doku $50\text{mm} < \lambda < 500 \text{ mm}$.

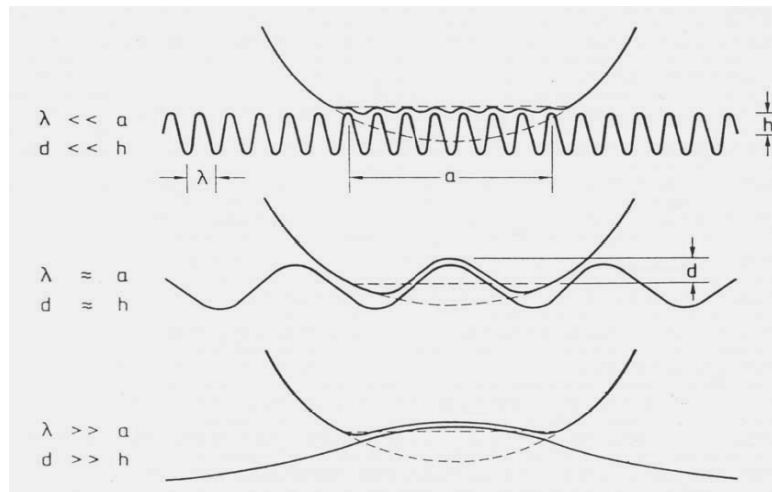
Geometrik Düzgünlük:

Boyuna Geometrik Düzgünlük $0,5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$.

Enine Geometrik Düzgünlük $0,5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$.



Şekil 1.3. Değişik yol yüzeyleri [4]



Şekil 1.4. Yol yüzey özelliklerindeki farklı durumların basit gösterimi[4]

Yol yüzey özelliklerinden mikro doku, karışımdaki agregaların yüzeyine bağlıdır. Makro doku agreganın dane boyutuna bağlı bir parametredir. Mega doku ise yol yapım aşamasında finişerin vibrasyonu sonucunda veya yol yüzeyinin zamanla bozulması sonucu oluşan çatlaklar, tekerlek izi vb. nedeniyle ortaya çıkar. Yolun geometrik düzgünlüğü ise yine yol yüzeyinin 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.

1.2.1. Pürüzlülük

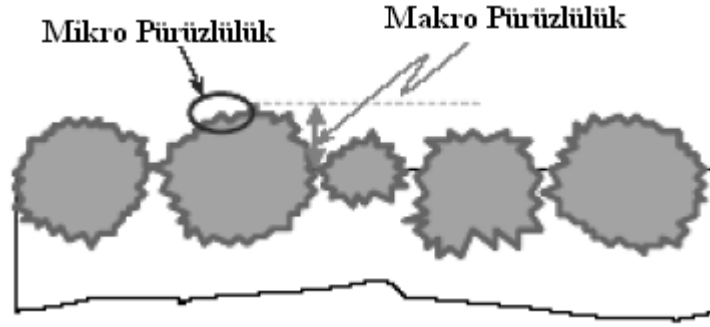
Pürüzlülük, PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) tarafından üç seviyede tanımlanmıştır.

1.2.1.1. Mikro Pürüzlülük

Mikro doku düşeyde 0,001 mm ile 0,5 mm, yatayda 0,5 mm den küçük çıkıntıları kapsar. Pütürlü kırılma yüzeylerine sahip veya farklı sertlikte mineralleri barındıran kaba agrega daneleri mikro dokuya katkı sağlar. Su filminin 0,1 mm den az olduğu ıslak koşullarda yapılan manevralarda veya frenlemelerde daha çok etkilidir. Tekerlek yüzey arası kenetlenmeyi arttırarak etkili temas alanı oluşturur.

1.2.1.2. Makro Pürüzlülük

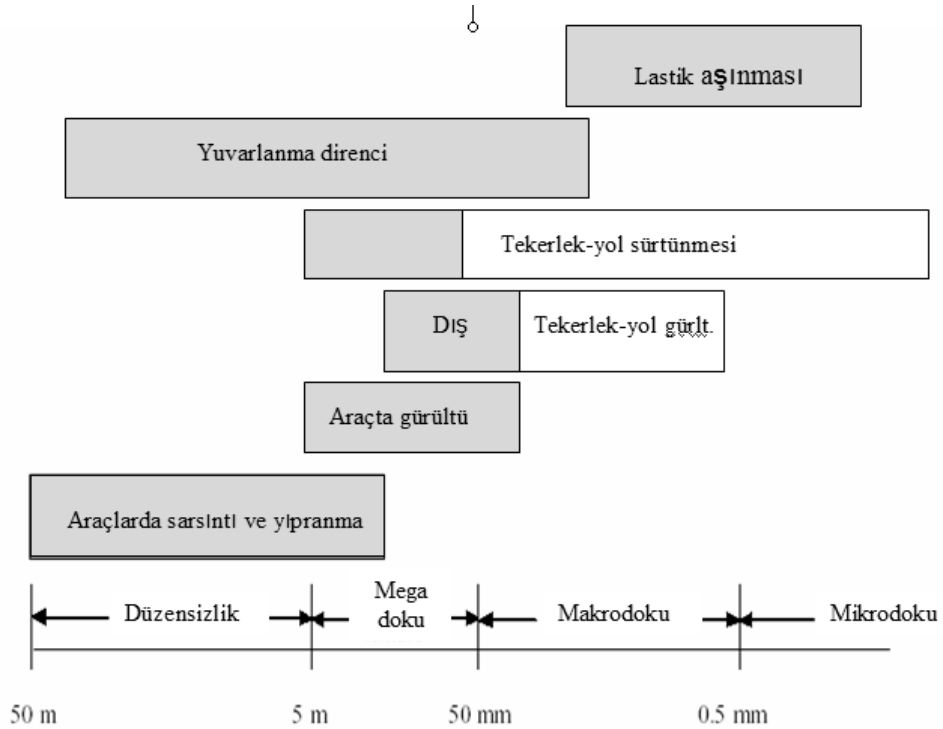
Makro doku düşeyde 0,5 mm ile 20mm ve yatayda 0,5 mm ile 50 mm arası çıkıntıları kapsar. Tekerlek yol temas alanı ara yüzünden suyun drene edilmesini sağlar. Karışım içindeki agregaların dane şekli, büyüklüğü, gradasyonu oluşturur. Genellikle ortalama doku (texture) derinliği MTD veya ortalama profil derinliği MPD olarak ifade edilir [15].



Şekil 1.5. Makro pürüzlülük ve mikro pürüzlülüğün gösterimi [11]

1.2.1.3. Mega Pürüzlülük

PIARC tanımıyla Mega doku, yatayda 50-500 mm, düşeyde 0,1-50 mm ölçülere sahiptir. Pürüzlülükten daha çok kaplama yüzeyindeki dalgalanma, kusur, arıza olarak algılanmaktadır.



Şekil 1.6. Yol yüzey özelliklerinin araçlara etkisi [3]

1.2.1.4. Pürüzlülük-Lastik Aşınması İlişkisi

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 mikro dokusunun tekerlek lastiğinin aşınmasında belirleyici bir rolü olduğu tespit edilmiştir [16].

1.2.1.5. Pürüzlülük Ölçüm Yöntemleri

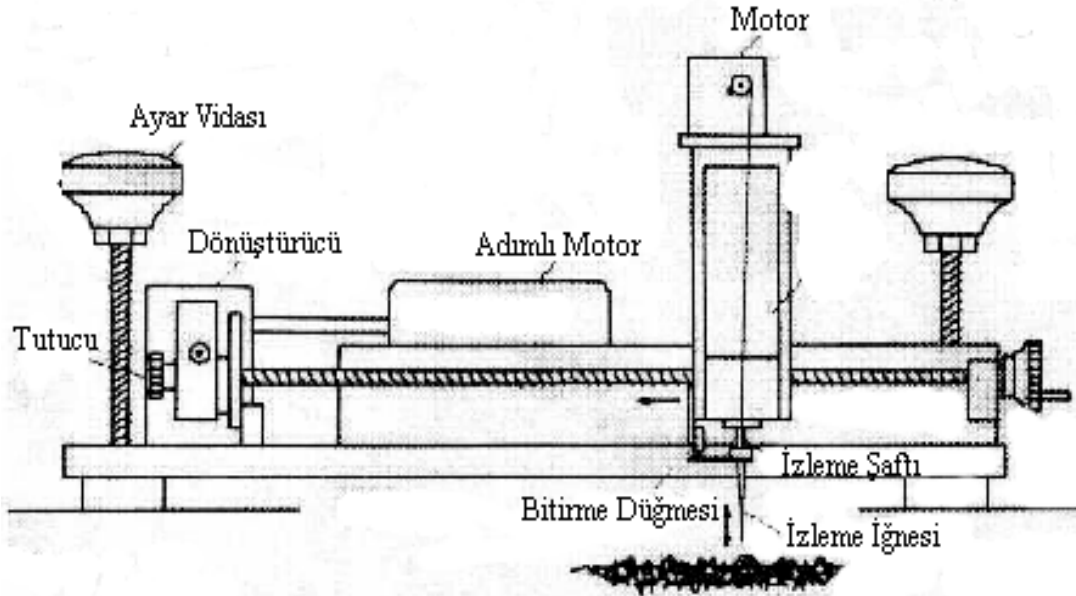
Kaplamanın pürüzlülüğünü ve sürtünmesini ölçmek için son yıllarda yol üzerine çalışan birimlerce birçok yöntem ve cihaz geliştirilmiştir. Bunlar ölçüm prensipleri, prosedürü ve veri alma yöntemi açısından farklılıklara sahiptirler. Pürüzlülük ölçümlerinde lazer cihazları, hacim teknikleri, sıvının drenaj oranı teknikleri kullanılabilir.

1.2.1.5.1. Mikro dokuyu Ölçme Yöntemleri

a. Dolaysız Yöntem

Bir mikroskop kullanımı dolaysız bir yöntem olarak düşünülebilmektedir. Bununla birlikte, bu yavaş bir işlem olup, fotoğrafik kayıt sistemli oldukça gelişmiş bir mikroskop gerektirmektedir. Mikrodokuyu ölçme gücü göz önüne alındığında dahi, bu yöntemi kullanmak çok zor olmaktadır. Bugüne kadar yapılmış yalnızca birkaç çalışma bu yöntemin kullanılmasına yol açmış bulunmaktadır. Buna bir örnek Dromometre'dir.

Dromometre, belirli bir profildeki yüzeyi adım adım izleyen (kopya eden) bir alettir. Augustin tarafından geliştirilmiştir. Şekil 1.7 izleme (kopyalama) ünitesini göstermektedir.



Şekil 1.7. Dromometre izleme (kopyalama) ünitesi

Yükseklik sayacı, bir torna tezgahı oturağına monte edilmiş, artan özellikli bir alıcı (izleyici-kopyalayıcı) dır. İzleyicinin (kopyalayıcının) içerideki kısmı, her 1/100 mm'de işaretlenmiş bir cam cetvel içermektedir. Cam cetvel, izleme (kopyalama) iğnesine dik (sıkıca) bağlanmış bulunmaktadır. Cam cetvel, bir kademeli motor (yürütme motoru) tarafından yol gösterilen izleme iğnesinin hareketi sayesinde, bir ışık kaynağı ve fotodiod arasında yukarı ve aşağı doğru hareket ettirilmektedir. Bu hareket, elektrik itici kuvvetleri yaratmaktadır. Bu itici kuvvetler ve izleme (kaydetme) iğnesinin hareketleri kaydedilmekte ve veri taşıyıcısında depolanmaktadır. Bu teknik, makine alanında çelik yüzeylerde halen kullanılmakta olsa da yol yüzeyinde kazıma yaptığından sağlıklı değildir. Günümüzde daha yeni bir teknolojiye sahip olan lazer aleti kullanılmaktadır. Laboratuvar için özel geliştirilmiş bilgisayar destekli, yakın mesafe lazerli, mikrondan nano hassasiyetine kadar ölçüm yapan cihazlar yapılmıştır. Bu cihazlar makine mühendisliği, diş hekimliği vb alanlarda da kullanılmaktadır. Arazide yol yüzey özelliklerinin hızlı ölçümü için araçlara takılmış bilgisayar destekli lazerler kullanılmaktadır. Ancak bunların ölçüm aralıkları büyük olduğundan laboratuvardakiler kadar hassas değildirler.

b. Dolaylı Yöntemler

PIARC'a göre, dolaylı yöntemler,

-Portatif Kayma Direnci Ölçücü (Portable Skid Resistance Tester)

-Bir romörk veya taşıt içine monte edilen Dinamik kayma direnci ölçümleri (BFC veya SFC) kullanılmaktadır.

1.2.1.5.2. Makro Dokuyu Ölçme Yöntemleri

Makro dokuyu doğrudan doğruya ölçmek için en sık kullanılan yöntemler, Kum Yama yöntemi, Lazer yöntemi ve Üç Boyutlu Fotoğraflama yöntemidir.

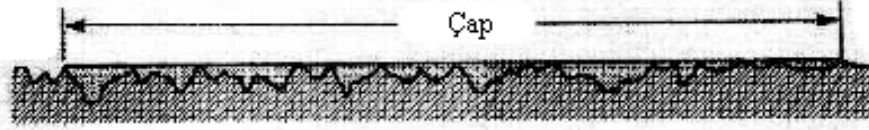
a. Kum Yama Yöntemi

Bu yöntem, en yaygın biçimde kullanılan standartlaşmış (ASTM E965) bir yöntemdir. Deney, belirli bir miktarda kumu yol yüzeyine yaymadan meydana gelmektedir. Bu şekilde, “kum yama” denilen dairesel bir alan elde edilmektedir. Kum yayılma hacmi ve kaplanan yüzey alanı arasındaki, çıkıntıların ortalama yüksekliğini vermekte ve buna geleneksel olarak Kum Yama yöntemine göre doku derinliği” denilmektedir. Elde edilen değerler 0.5 ve 5 mm arasında değişmektedir. Deneyin prensibi Şekil 1.8’de gösterilmektedir. Bu yöntem ile denenen yol yüzey alanı çok sınırlı bulunduğu için, deneyin, ortalama değer ve yol yüzeyi makro dokusunun dağılımı ile ilgili temsil edici nitelikte bir fikir vermek amacıyla bir çok yerde yapılması gerekmektedir. Kum Yama yöntemi çoğunlukla kullanılmakla birlikte, bu yöntem ile ilgili bazı sınırlamalar ve ulusal farklılıklar mevcut bulunmaktadır. Bunlar, bu yöntemin ıslak koşullar altında kullanımının zor olması, yavaş işleyiş, kullanılan kumun tane dağılımı, kumun yayılma şekli, ölçümlerin yeri ve sayısı vb. şeklinde sıralanabilmektedir. Bu nedenlerin bazıları ile ilgili olarak, son yıllarda Amerika ve Avrupa’da, kum yerine küçük cam boncuklar kullanma olanağını araştırmak üzere, çalışmalar yapılmış bulunmaktadır. Daha ileri varyasyonlar, yağ yama yöntemi ve silikon macun basma yöntemi olabilmektedir. Kullanılan ilave araştırma aletleri üç boyutlu fotoğrafik analiz ve profil izlemeye dayanan yöntemleri kapsamaktadır. Fakat, kum yama yöntemi bugün bile, yol yüzeylerinin ortalama doku derinliğini kontrol etmek üzere yol mühendislerinin rağbet ettiği bir yöntem olmaktadır [17].

Yol yüzeyine dökülmüş düzenli tanecik boyutuna sahip hacmi bilinen kum



Yol yüzeyindeki boşlukları dolduracak şekilde yola yayılmış kum



$$\text{Doku Derinliği} = \frac{\text{Kum Hacmi}}{\text{Kum Serilen Alan}}$$

(a)



(b)

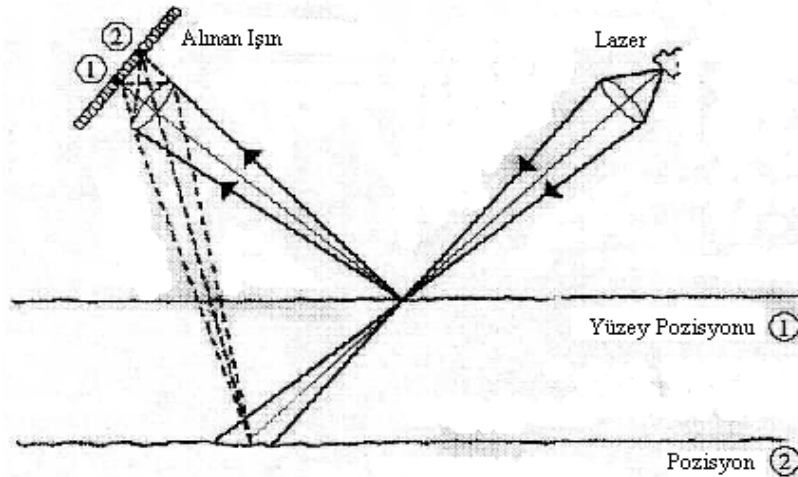
Şekil 1.8. (a) (b) Kum yama yönteminin uygulanışı [2]

b. Lazer Esaslı Yöntemler

Kum Yama deneyinin sınırlamaları karşısında, başka yöntemler bulmak amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Son zamanlarda çok sayıda yöntem bir ışık kirişi analizine dayandırılmıştır. Bu aletlerin bazıları çarpıntılı Lazer ışığı, bazıları Lazer ışığı depolarizasyonu ve hatta bazıları da yüzey dokusunun iz bırakması şeklindeki değerlendirmeyi kullanmaktadır.

Avrupa’da düzenli olarak kullanılan sistemler, Fransızlara ait Rugolaser (French Rugolaser), İsveç’e ait Lazer Yol Yüzey Ölçücüsü (Swedish Laser Road Surface Tester), İngiliz Ulaşım Araştırma Laboratuvarı’na (British Transport Research Laboratory – TRL) ait Yüksek Hızlı Yol İzleme (High-Speed Road Monitor) ve Yüksek Hızlı Doku Sayacı (High-Speed Texture Meter) ile Belçika Yol Araştırma Merkezi’ne (Belgian Road Research Center – BRRC) ait Yer Değiştirebilen Lazer Profilometresi (Mobile Laser Profilometer) ve Statik Profilometre (Static Profilometer) olarak sıralanabilmektedir. Amerikada ise birçok eyaletin ve Kanadanın geliştirdiği lazerli sistemler mevcuttur [17].

Bu yöntemlerde, Şekil 1.9 da görüldüğü gibi alıcı, bir lazer kirişi eğik olarak, yani yolculuk yönüne dik bir düzleme $30^\circ - 40^\circ$ lik bir açıda yöneltildiğinde, yol yüzeyinden geriye doğru enerji yayan, çarpıntılı yarı iletken lazer ve depolarize lazer ışığı kullanan alıcı optik bir sistemden oluşmaktadır.



Şekil 1.9. Eğik açıyla gelen lazer ışınının yansımaları

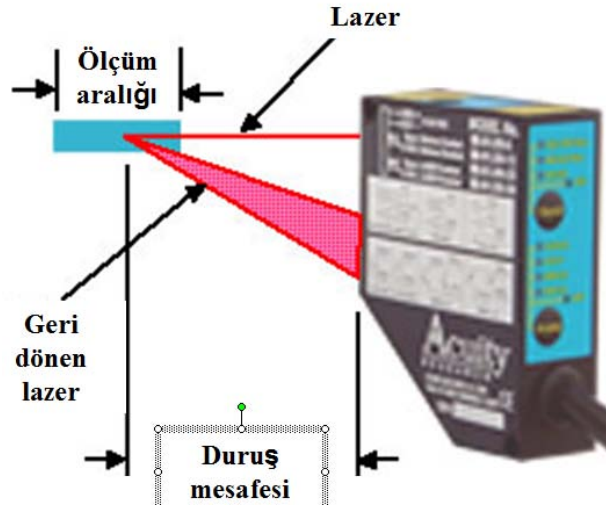
Yaygın şekilde yansıtılan kiriş bir fotodiyod düzeninde ayarlanmakta ve diyotun aydınlatılması sağlanarak, lazer ile aydınlatılan yoldaki noktaya olan uzaklığı ölçmek olası hale gelmektedir. Günümüzde uzmanlar, temassız (lazer esaslı) bir yöntem ile Kum Yama

yönteminin yer değiştirmesine çalışmaktadırlar. Bu, araştırmacılar ve karayolu topluluğu açısından çok iyi bir fırsat olacaktır. Çünkü bu deney maliyetlerini azaltarak, ölçüm sonuçlarını hızla değerlendirilebilmeleri olası hale gelecektir.

Fakat bugün çok sayıda lazer esaslı yöntem kullanılmaktadır. Donanımın her bir parçasının farklı bir hesap yöntemi ve kaide uzunluğu bulunmaktadır. Bu nedenlerle, bazen çeşitli tipte donanım arasında farklılıklar mevcuttur. Bununla birlikte, kum yama ve lazer yöntemleri arasındaki karşılıklı ilişki çok iyidir. Şekil 1.10'da İngiliz BRRC'ye ait sabit Lazer esaslı sistem gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Lazerli bir ölçüm düzeneği



Şekil 1.11. Lazerin alıřma prensibi

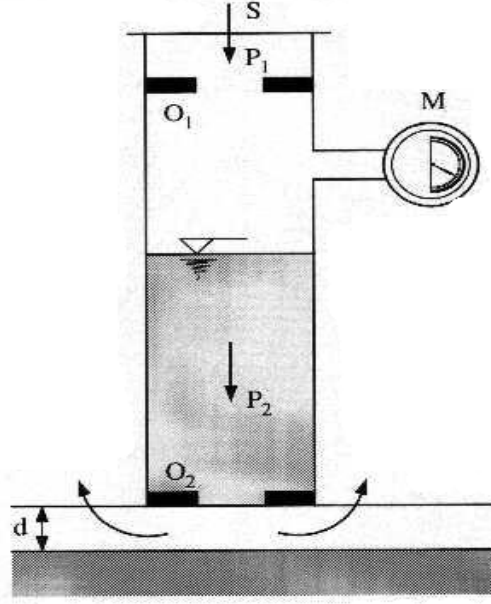
c. Üç Boyutlu Fotoğraflama Sistemi

Bu yöntem, 1973'de Schonfeld tarafından geliştirilmiştir. Schonfeld, üç boyutlu fotoğraf çiftlerini almak için tek mercekli, refleks bir kamera kullanmıştır. Kamera, yol yüzeyi örneği üzerindeki bir kutuya monte edilmiştir. Kutu, yaklaşık 45° lik bir açıda fotoğraflanan alanı aydınlatan elektronik bir flash ünitesi ile donatılmıştır. Kamera, kayan bir kaideye bağlanmış ve 95 mm lik iki ayrı pozisyondan yol yüzeyi fotoğrafları almıştır. Üç boyutlu fotoğraflama yaklaşık 10 cm² lik bir yol yüzeyi alanını kaplamıştır. Kamera kutusu, trafik yönünün sağına bakan kutu kenarındaki ışık kaynağı ile birlikte, tekerlek geçiş yerinin ortasına yerleştirilmiştir. Yol yüzeyi üç boyutlu fotoğrafları, bir ayna Stereoskop ile veya bir mikroskop altında görülmektedir. Böylece, makro doku ve yüzey projeksiyonu yapılmaktadır.

Bu yöntem daha sonra Howerter ve Rudd tarafından otomatik hale getirilmiştir. Bu, ölçümlerin dijital hale getirilmesi ile sonuçlanmıştır. Elde edilen bu veriyi kullanarak, yol yüzeyi makro dokusunun haritasını çıkarmak olası bulunmaktadır [17].

d. Drenaj Yöntemleri

Makro doku, suyu, tekerlek-yol ara yüzünden hızla akıtma yeteneği ile esasen yol güvenliğine katkıda bulunduğu için, bir çok ölçüm sisteminin özellikle yol yüzeyinin drenaj yeteneğini ve hız ile kayma direnci ilişkisini ölçmek amacıyla başlatılması şaşırtıcı bulunmamaktadır. Statik sistemler, yol ağlarının denenmesinde önemli bir rol oynamakla birlikte, çabuk ve etkili izleme için dinamik bir sisteme gereksinim bulunmaktadır. Böyle bir sistem Fransa'da zaten kullanılmakta olup, 20 ve 40 km/saat arasındaki hızlarda giderken yol yüzeyinin drenaj yeteneğini ölçebilmektedir. Bu sisteme Drainoroute adı verilmektedir. Yol yüzeyi dokusu içindeki boşluklardan kaçan suyun akım hızı sürekli ölçülmektedir. Suyun akım hızı arttıkça, yüzeyin drenaj özellikleri daha iyi olmaktadır.



Şekil 1.12. Su drenajı yönteminin şematik gösterimi

Genellikle söylenen, statik ve dinamik drenaj yöntemlerinin aynı prensibe sahip olduğudur. Fakat su basıncında bir farklılık mevcut bulunmaktadır. Bu farklılığa rağmen, her iki yöntem de kum yama yöntemi ile iyi ilişkiler vermektedir [17].

1.2.1.5.3. Mega Dokuyu Ölçüm Yöntemleri

Mega doku yollarda hiç istenmeyen bir özelliktir. Yalnız kendisi için ölçülmemiştir. Bir geometrik düzgünlük ölçümü olarak ortaya çıkmaktadır.

1.2.1.5.4. Geometrik Düzgünlük Ölçüm Yöntemleri

Kaplamanın gerçek yol profilinden sapmaları belirli aralıklarla ölçülür. Ham veriler, dijital filtrelerden geçirilerek Dalga Boyu ve Genlikler belirlenir. Birkaç yöntem vardır:

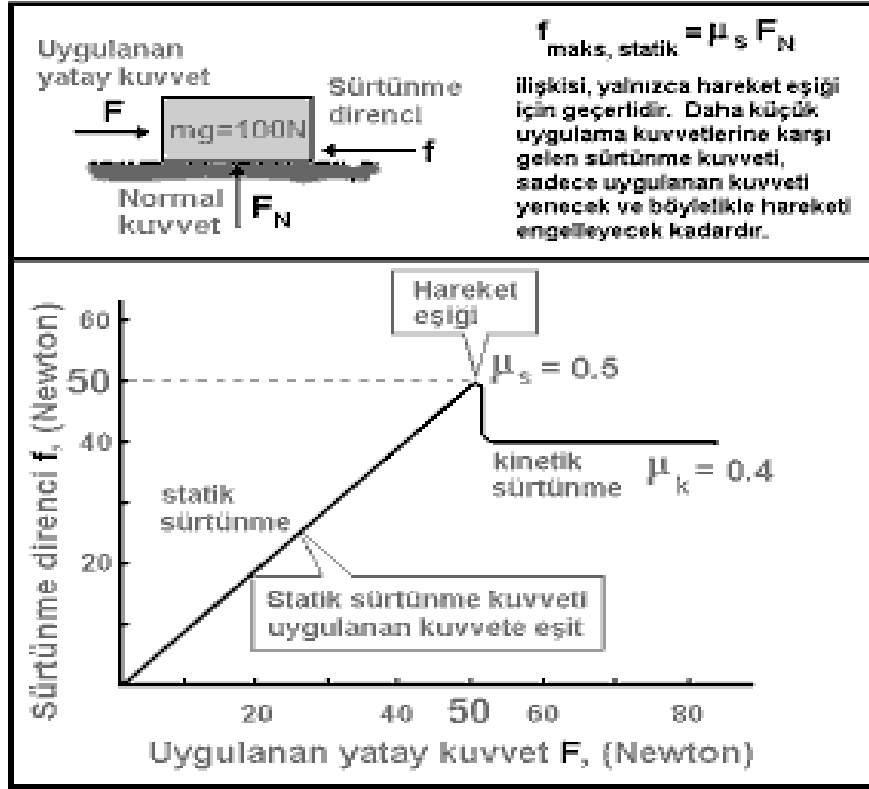
- Quarter-Car Simulation.
- Slope-Variance (SV).
- International Roughness Index (IRI).

1.3. Sürtünme Katsayısı

Sürtünme kuvveti, temas halindeki iki cismin ara yüzeyinde, yüzeylerin birbirine göre hareketini engelleyici yönde oluşan kuvvete denir. Hayatın olmazsa olmaz kanunlarından biri sürtünmedir. Sürtünme olmasa yürüyemeyiz, araçlar hareket edemez ve duramazlar.

Yüzeyler ne kadar düz görülürse görülsün pürüzlüdürler. Bir mikroskopla bakılan cilalı cismin yüzünde bile girinti ve çıkıntılar vardır. Birbirine dayalı iki cisim halinde bir cismin çıkıntıları öteki cismin girintilerine girmiştir. Cismi kaydırmak ya da hareket ettirmek için giren çıkıntıları çıkarmak gerekir. Bu da çıkıntılarının eğilmesi ya da kırılması ile olabilir. Hareketin zıt yönünde oluşan sürtünme kuvvetlerinin nedeni budur. Cismi yüzey üzerinde kaydırmak veya yuvarlamak için yüzeye paralel kuvvetin belli bir değeri aşması gerekir. Bu durum yüzeyde harekete zorlayan kuvvetin zıt yönünde ve sürtünme kuvveti denen kuvvetlerin ortaya çıktığını gösterir. Harekete zorlayan kuvvet belli bir değere ulaştıca cisim kaymaya ya da dönmeye başlar. Bu anda sürtünme kuvveti en büyük değerine ulaşmıştır. Hareketi sürdürmek için gerekli kuvvet, harekete başlanan kuvvetten küçüktür.

Şekil 1.13 görüldüğü gibi, bir cisim yerde duruyor olsun. Bu cisme önce, cismi hareket ettirmeye yetemeyecek kadar küçük bir yatay F kuvveti uygulansın. Cisim hareket edememiştir, çünkü cismin alt yüzeyiyle zemin arasında bir sürtünme kuvveti f oluşmuş olup, uygulanan yatay F kuvvetini dengelemektedir. Uygulanan yatay F kuvvetini arttırdıkça, sürtünme kuvveti f de artar. Bu sırada sürtünme kuvveti, yüzeye dik olan kuvvetlerden bağımsız olup, sadece uygulanmakta olan yatay kuvvete bağlıdır. Ta ki, uygulanan F kuvveti bir eşik değerini aşana kadar. Bu eşik değeri aşıldığında, cisim harekete geçer ve tam bu sırada, sürtünme kuvveti ansızın, bir miktar azalır. Azalmış olarak uygulanan yatay kuvvetten bağımsız bir hal almıştır. Yatay kuvvet ne kadar artarsa artsın, artık hep aynı büyüklükte kalır.



Şekil 1.13. Sürtünme direnci kuvvet ilişkisi

Cismin hareket ettiği yüzeyin pürüzlü olması, cismin harekete geçmesini zorlaştırırken, düz veya pürüzsüz yüzeylerde aynı cisim daha kolay harekete geçer. Bu nedenle halı, tahta, taşlı zemin gibi yüzeylerde cisim harekete geçirmek için gerekli olan kuvvet; cam, asfalt, yağlı zemin gibi yüzeylerdeki aynı cisim hareket ettirmek için gerekli olan kuvvetten daha büyüktür. Yani cismin temas ettiği yüzeyin pürüzlüğü arttıkça, cismin harekete geçmesi için gerekli olan kuvvete artmaktadır.

Buzun sürtünme kuvvetinin toprak veya asfalta göre daha düşük bir sürtünme kuvveti olduğu bilinmektedir. Kışın buzlu yollarda, araçlar daha fazla kaymakta ve frenlerin etkisi azalmaktadır. Bunun sebebi kışın suyun donarak buz haline gelmesi ve yol yüzeyindeki girintileri doldurarak pürüzlülüğü ortadan kaldırmasıdır. Böylece düz, ıslak ve kaygan bir yüzey ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kışın meydana gelen kazalar, diğer mevsimlere göre daha fazla olmaktadır (Şekil 1.14). Kışın buzun erimesi için tuz kullanılması (suyun donma sıcaklığını düşürür) veya toprak atılması bu sürtünme kuvvetini artırmak içindir.



Şekil 1.14. Buzlu yolda dönemeyerek devrilen araç [6]

Kışın buzlanan yollardan başka, ıslak yol ve çamurlu yolunda sürtünmeyi önemli ölçüde azalttığı bilinmektedir. Özellikle yamaçlardan veya çeşitli yollarla yol yüzeyine gelen kil ısladığında şişer ve yol girintilerini doldurarak yol yüzeyinin sürtünmesini azaltırlar (Şekil 1.15). Bu tehlike yüzeydeki suyun kili tamamen yol yüzeyinden sürükleyerek götürene kadar devam eder. Bu yüzden özellikle yağmur ilk yağdığı anda yol yüzeyindeki sürtünme azalır ve tehlikeli bir durum ortaya çıkar.



Şekil 1.15. Yol girintilerini doldurmuş kil

Birbirine göre hareketsiz yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetine ‘statik sürtünme kuvveti’ adı verilir. Hareketi başlatmak için gerekli kuvvetin en küçük değeri, statik sürtünme kuvvetinin en büyük değerine eşittir. Maksimum statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün normal kuvvetin büyüklüğüne oranına söz konusu yüzeylerin ‘statik sürtünme katsayısı’ adı verilir. Statik sürtünme kuvvetini F_s ile ifade ederek aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$F_s \leq \mu_s \cdot N \quad 1.1$$

μ_s : Statik sürtünme katsayısı

N: Normal kuvvetin büyüklüğü

Kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün normal kuvvetin büyüklüğüne oranına 'kinetik sürtünme katsayısı' adı verilir. Kinetik sürtünme kuvvetini F_k ile ifade edersek;

$$F_k = \mu_k \cdot N \quad 1.2$$

eşitliği sağlanacaktır. Burada μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır ve μ_s Statik sürtünme katsayısından küçüktür. Bazı cisimler arası sürtünme değerleri Tablo 1.1 de verilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı durumlardaki statik ve kinetik sürtünme katsayısı değerleri [1].

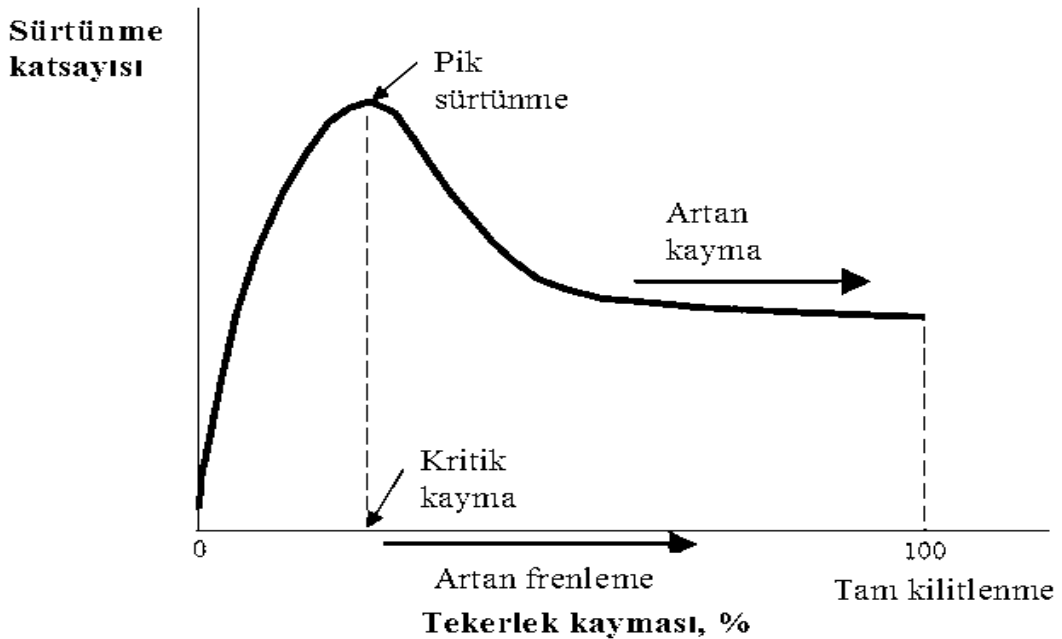
	Statik	Kinetik
Çelik üstünde çelik	0,15 – 0,25	0,1 – 0,3
Tahta üstünde tahta	0,4 – 0,7	0,2 – 0,3
Beton üstünde lastik	1	0,7

Yollardaki araçların seyir güvenliği için sürtünme kuvveti, hareketi kazandırmaktan çok özellikle yağışlı havalarda hareketi yönlendirme ve azaltma-durdurma faaliyetlerinin yoğunlaştığı iniş eğimli yollar, kurba, kavşak gibi manevra sahalarında fazla önem kazanmaktadır. Konunun önemine binaen tekerlek yol yüzeyi etkileşimi geçmişten günümüze hep araştırıla gelmiştir. Konunun, tekerlek özellikleri ve yolun yüzey özellikleri olmak üzere iki yönü vardır. Tekerlek özellikleri makine mühendislerinin sahasına girmekte ve sürekli yol tutuşu artırmanın çareleri araştırılmaktadır. Yol yüzeyinin özellikleri de araştırılmakta, en ideal seviyede ve uzun süre sürtünme katsayısı değerini muhafaza eden kaplama yüzeylerinin ortaya çıkarılmasına çalışılmaktadır [25].

1.3.1. Tekerlek-Yol Etkileşim Mekanizması

Sürtünme kuvvetleri kabaca iki kuvvetin toplamıdır. Birincisi ara yüzdeki temas noktalarındaki küçük alanlarda yüzeylerin birbiri üzerinden kaymalarını engelleyen adezyon, diğeri ise bu noktalardaki çıkıntılardan dolayı tekerlek kauçuğunun içeri doğru deformasyonunu sağlayan basınç-histerisdir. Adezyon mikro dokuyla ilgili iken histeris makro dokuyla ilgilidir. Her ikisi de frenleme sırasında viskoelastik kauçuğun yer değiştirmesine karşı direnç oluşturarak enerji kaybettirir. Islak kaplamalardaki su filmi, temas eden yüzeyler arasında bir çeşit yağlanma etkisi yapar ve araç hızı arttıkça adezyon azalır.

Sürtünme katsayısı aynı yol tekerlek şartlarında kayma derecesine göre değişik değerler alabilmektedir. %10–20 arasındaki kritik bir kayma noktasına kadar hızla yükselmekte sonra tam kızaklamadaki değerine kadar hızla azalmaktadır. Islak kaplamalardaki kayıp daha fazla olmaktadır. Bu durum Şekil 1.16'da görülmektedir.



Şekil 1.16. Sürtünme katsayısı değerinin frenlemeyle değişimi [5]

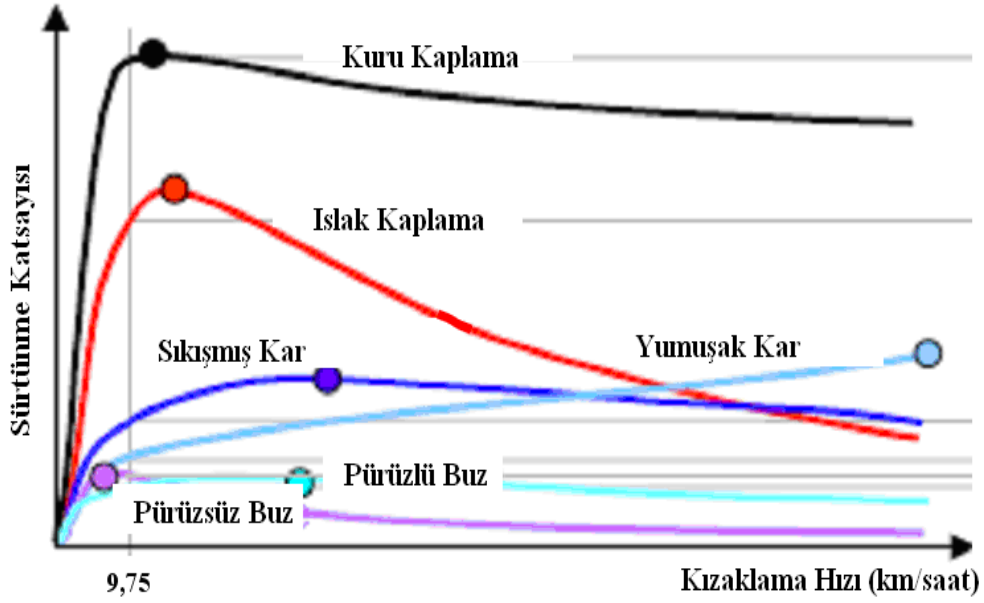
Elektronik kontrollü fren sistemli araçlarda tekerleğinin kayma derecesi maksimum sürtünme sağlayan kritik değer civarında tutulmaya çalışılarak aracın mümkün olan en kısa mesafede yavaşlaması ya da durması sağlanır.

Yol yüzey malzemesine, ıslak olup olmamasına göre kızıklamadaki sürtünme katsayısı kaybı da farklı olmaktadır. Islak yollarda en az kayıp beton kaplı yüzeylerde olurken, sonra asfalt yollarda olmaktadır. En çok kayıp yüzeyi buz tutmuş yollarda olmaktadır. Tablo 1.2 deki değerler farklı yol koşullarındaki sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir [14].

Tablo 1.2. Yol yüzeyi durumuna göre ortalama pik ve kızıklama sürtünme değerleri

Yol Yüzeyi	Pik Değer	Kızıklama Değeri
Asfalt, Beton (Kuru)	0,8–0,9	0,75
Asfalt (Islak)	0,5–0,7	0,45–0,6
Beton (Islak)	0,8	0,7
Çakıl	0,6	0,55
Toprak (Kuru)	0,68	0,65
Toprak (Islak)	0,55	0,4–0,5
Kar	0,2	0,15
Buz	0,1	0,07

Pik sürtünme değeri yaklaşık 9,75 km/saat kızıklama değerinde meydana gelmekte, frenleme sırasında tekerlekteki kilitlenme arttıkça sürtünme değeri de hızla düşmektedir [8]. Aynı yol kaplamasının farklı yüzey durumlarında elde edilen sürtünme katsayısı-kızıklama ilişkisi Şekil 1.17 de gösterilmektedir.



Şekil 1.17. Sürtünme katsayısı kayma hızı ilişkisi

Kuru rijit yüzeyde aynı yük etkisindeki tekerleğin temas basıncı ya da tekerlek şişme basıncı artarsa adezyon tipi sürtünme azalır. Düşük yüklü test tekerleği ile kuru rijit yüzeyde yapılan ölçümlerde aynı tekerleğin ağır yüklerle yapılan ölçümlerinden daha fazla sürtünme değeri elde edilmektedir.

Yol yüzeyinin mekanik aşınması tekerlek yol yüzeyi arasındaki sürtünme nedeniyle olur ve toz etkisiyle aşınma hızlanır. Toz parçacıklarının büyüklüğüne göre iki tip aşınma oluşur. Birincisi aynı sertlikteki minerallerden oluşmuş agregaların yüzeylerindeki çukurlukların yuvarlaklaşması şeklinde olur ve bunun adı cilalanmadır. İkincisi ise sertlikleri farklı minerallerden oluşan agregalarda oluşandır ve bunda yumuşak kısımların aşınmasıyla sert olanları çukurluk oluşturur ve pürüzlülük muhafaza edilmiş olur.

Bir yol kesimindeki sürtünme katsayısı mevsimlere göre değişmektedir. Yazın sonlarında en düşük değerlerdedir. Ilıman kışın hâkim olduğu yerlerde de en yüksek değerlerdedir. Yazın yağış olmadığından tekerlek ile yol arasında sürekli toz parçacıkları vardır. Yol yüzeyinin mikro dokusu tozlarla doludur ya da aşınmıştır, sürtünme azalır. Fakat kışın yağın yağmur suları bu tozları uzaklaştırır. Agregalar yıkanır, mikro doku ortaya çıkar, sürtünme artar. Karın fazla yağdığı kar temizlemenin yapıldığı yerlerde ise karlı gün sayısı önemlidir. Kar temizleme faaliyetleri ve don çözücü kimyasallar yol yüzey dokusuna olumsuz yansır ve sürtünme katsayısı azalır [13].

Yol yüzeyi açısından, beton yol yüzeylerinin sürtünme katsayılarında, yüzeyin pürüzlendiriliş şekli en büyük etkiye sahiptir. İkinci derecede agregalar özellikle de ince

agregalar etkilidir. Çeşitli şekillerde yüzeyi pürüzlendirilerek makro dokusu arttırılmış yüksek cilalanma direncine sahip ince agrega içeren karışımlardan üretilmiş yolların yüzeyi, fazla sürtünme ve dayanıklılık sağlar. Yüzey dokusu zaman içinde aşındığında agreganın direnci daha bir önem kazanır. Kalker tipi yumuşak agregalar cilalanarak, sürtünmesi düşük yol yüzeyi oluştururlar. Agrega kalitesini belirleyen özellikler sertlik, mineralojik yapı, dane şekli, köşe sayısı, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direncidir. Beton yolların yüzeylerinde sert mineralli, kırılma yüzeyleri pütürlü doğal ya da yapay agrega kullanıldığında aşınmaya bağlı olarak sürtünme katsayısı değerinde oluşacak kayıp daha az olacaktır [15].

1.3.2. Yanal Sürtünme Kuvveti

Araçların şerit değiştirme, sollama, kurba ve kavşaklardaki dönüşlerinde ve rüzgârın neden olduğu yan basınçlarda, enine eğimi fazla yol kesimlerinde yanal sürtünme katsayısı önem kazanmaktadır. Asfalt yollardan farklı olarak beton yol yüzeyleri farklı şekillerde pürüzlendirilebildiğinden yol kesiminin durumuna göre yanal doğrultudaki sürtünme katsayısı büyük olacak şekilde yüzey bitirme işlemi yapılır[20].

1.3.3. Sürtünme Katsayısı Ölçüm Yöntemleri

Sürtünme katsayısı ölçen cihazların bir ismi de tribometredir. Birçok ülkenin hatta aynı ülkenin değişik eyaletlerinin kendine has geliştirdikleri bir ya da daha fazla yol sürtünme katsayısı ölçen sistemleri vardır. Ve bunlarla yollarını sürekli ölçerek kontrol altında tutmaktadırlar. Henry kayda değer bulduğu 23 cihazı dört başlık altında toplamaktadır [15].

Tam kilitlemede ölçenler;

Yanal kuvvet ölçenler;

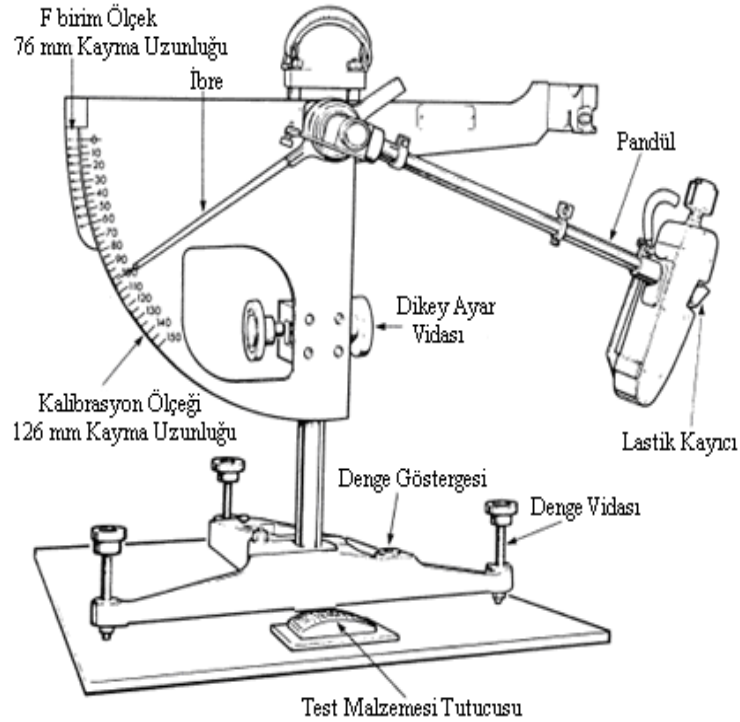
Sabit kayma oranında ölçenler;

Değişik kayma oranlarında ölçenler;

Aynı yol yüzeyinde ölçüm alınsa bile farklı iki ölçüm yöntemi arasında %5 fark olabilmektedir. Sürtünme aynı zamanda tekerleğin özelliklerinden de etkilenmektedir. Kauçuğun bileşimi-sertliği, tekerleğin eni, çapı, şişirme basıncı, hareket yönüyle açısı,

taşıdığı düşey yük ve yuvarlanma yüzeyinin yivli ya da yivsiz olması başlıca faktörlerdir. Yivsiz tekerlekler daha hassas olduğundan testlerde daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca hava şartları ve mevsimsel zaman da fark oluşturan diğer etkenlerdir.

Laboratuvar ölçümleri için hala yaygınlıkla kullanılan iki ana ölçüm metodu bulunmaktadır: British Portable Tester (BPT, ASTM E-303) ve Japon Dynamic Friction Tester (DFT, ASTM E-1890) [12]. BPT belli bir konumdan serbest bırakılan ucunda lastik bulunan kolun yüzeye belirli bir uzunluk boyunca sürttükten sonra çıkabildiği yüksekliğin 0-150 arası bir sıklarda ölçülmesiyle kaybettiği kinetik enerjinin bulunması metoduyla çalışmaktadır (Şekil 1.18). Yaklaşık 50 km/saat hızdaki tam frenlemedeki durumu yansıtır. DFT ise 0-90 km/saat arası istenilen hızda döndürülebilen bir diskin altına monte edilmiş üç lastiğin, dönme sırasında belirli bir basınçla yüzeye bastırılması neticesinde oluşan tork değişimlerinden hareketle hıza bağlı olarak sürtünme katsayısı değerini vermektedir [18] (Şekil 1.19).



Şekil 1.18. İngiliz sürtünme pandülü [2]



Şekil 1.19. Japon dinamik sürtünme ölçer [18]

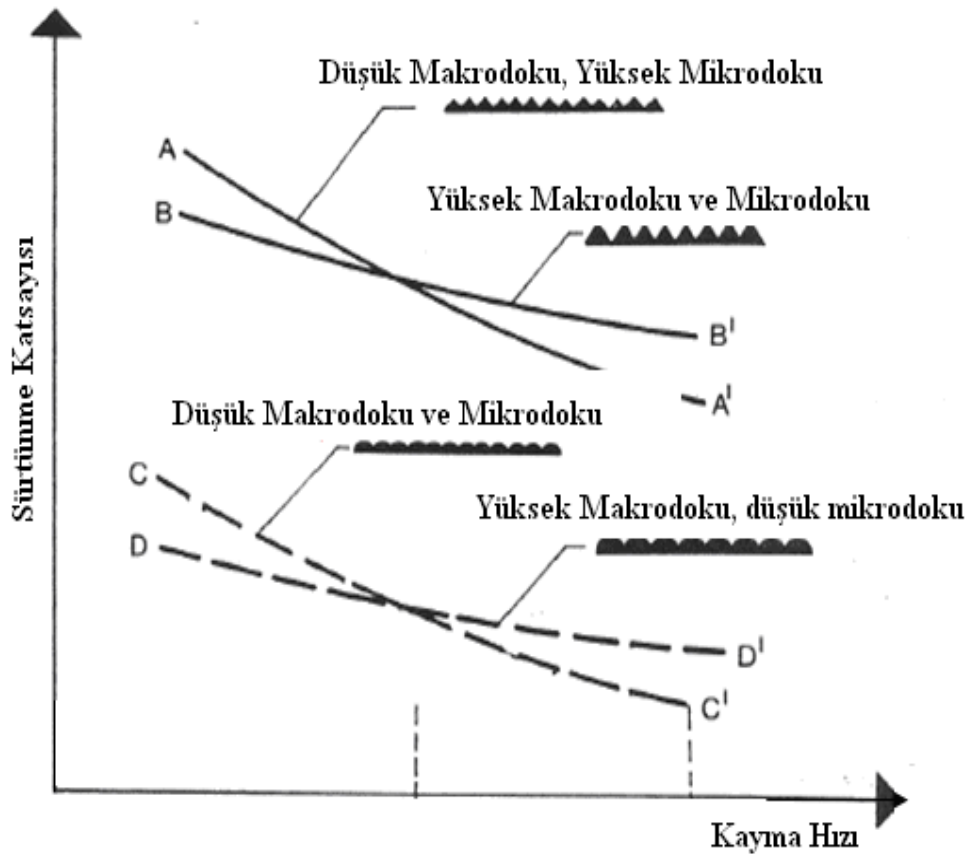
Arazideki ölçümler içinse önceleri BPT kullanılıyordu. Ancak günümüzde artık araçlara ya da çekilen römorklara yerleştirilmiş yukarıda bahsedilen dört metottan biriyle çalışan yazılım destekli dinamik sürtünme ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar ölçüm tekerleğine etkiyen çekme kuvvetinin ya da çevirme momentinin frenleme boyunca sürekli ölçülmesiyle çalışmaktadırlar (Şekil 1.20).



Şekil 1.20. Dinamik sürtünme ölçüm araçları

1.3.4. Sürtünme Katsayısı- Pürüzlülük İlişkisi

Yıllarca sürtünme katsayısı değerleri ile onların ölçüldüğü yol yüzeyinin pürüzlülük parametreleri arasında sağlam bir korelasyon bulmak için çalışıldı. Tam bir korelasyon tespit edilememekle beraber mikro ve makro pürüzlülük değerinin yol tekerlek sürtünmesini hangi doğrultuda etkilediğinin tespit edilmiş olması önemlidir. Kuru yollarda pürüzlülük değeri fazla değişmezken, yüzeyi ıslak yollarda hız artışıyla beraber makro pürüzlülük önem kazanmaktadır. Yeterli makro doku derinliği olmayan yollarda tekerlek yol ara yüzünden su kısa zamanda uzaklaşamayacağından sürtünme değeri düşmekte, fren mesafeleri önemli oranlarda uzamaktadır. Şekil 1.21 de hıza da bağlı olarak dört temel yüzey durumu için pürüzlülük sürtünme ilişkisi gösterilmektedir [13].



Şekil 1.21. Hız ve pürüzlülük durumuna göre sürtünme katsayısının değişimi

Yol yüzeyinin makro ve mikro pürüzlülüğü trafik ve çevre şartlarının aşındırmasıyla zaman içinde azalacaktır. Pürüzlülük değerleri azalınca sürtünme de azalacaktır. Dolayısıyla pürüzlülüğü etkileyen her şey sürtünmeyi de aynı doğrultuda etkiler.

Pürüzlülüğün uzun süre yeterliliğini korumasında yol yüzeyindeki agregaların cilalanmaya dirençleri en önemli role sahiptir.

1.3.5. Sürtünme Katsayısının Trafik Kazalarına Etkisi

Kuru yüzeyli yollarda genel olarak yeterli olmakla beraber yol ıslandığında yüzeyin mikro ve makro dokusuna bağlı olarak sürtünme katsayısı değerleri önemli ölçüde düşebilmektedir. Düşük seviyedeki ıslak sürtünme katsayısı araçların yavaşlama, manevra yapma kabiliyetlerini önemli oranda azaltacağından bazı istenmeyen sonuçların ortaya çıkacağı açıktır.

Chelliah, düşük sürtünme değerinin, kazaların yaklaşık %25'inin nedeni olduğunu belirtiyor. Amerikan ulusal ulaşım güvenliği kürsüsü ve ulusal karayolları müdürlüğü toplam ölümlü kazaların yaklaşık % 13,5'inin ve toplam kazaların %25'inin ıslak yollarda meydana geldiğini belirtmektedir [16]. Yine de bu tür ıslak yollardaki kazalara sürtünme katsayısının yeterli olmamasının direkt olarak neden olduğu gibi bir görüş bugüne kadar doğrulanmış değildir. Bir trafik kazasının meydana gelmesinde bir ya da daha çok faktör etkili olmuş olabilir (sürücü, araç, yol faktörleri). Yol yüzeyinin sürtünme katsayısı durumu bunlardan sadece biridir. Ancak tekerlek ile yol yüzeyi arasında sürekli oluşan sürtünme, kazaları kontrol etmede ve azaltmada en kritik faktördür.

Kaza anında fren mesafesinin uzamasından dolayı yeterli sürtünmenin olmadığı yol kesimlerinde çarpışma şiddetinin arttığı ve bunun sonucunda da ölü ve yaralı sayısının, maddi hasarların çoğaldığı ortak görüşü vardır. Yapılan çeşitli çalışmalarda, trafik karakteristiği ve hacmi değişmeyen bir yol kesiminde sürtünme azaldıkça ölümlü ve yaralanmalı kaza sayısının arttığı bulunmuştur. Bu konu geçmişten beri araştırılan bir konu olmakla beraber kesin bir şey söylemek için yeterli güvenilir istatistikî verilere henüz sahip olunmadığı belirtilmektedir. Bu konuda projeler, araştırmalar yapılmaktadır. 2002 de MDSHA tarafından başlatılan bir projede ıslak sürtünme, ıslak yoldaki kazalar, ortalama günlük trafik, ortalama günlük kamyon trafiği ve yüzey agregasının cilalanma değeri arasındaki ilişkiler araştırılmaktadır. Ağır aşındırıcı etkiye sahip olması nedeniyle kamyon trafiğinin yoğun olduğu yollarda cilalanmanın hızlı geliştiği, sürtünmenin daha kısa zamanda azaldığı, bu tür yollarda daha sert agrega kullanılarak sürtünme değerinin yüksek tutulmasının gerekli olduğu belirtilmektedir [19].

Özellikle kavşaklarda ve yol ayrımlarındaki birçok kazanın meydana gelmesinde düşük sürtünme katsayısının etkisi vardır. Özellikle ıslak yollarda oluşan kaymalı kazalarda sürtünme katsayısı için yol yüzeyinin dokusunu ve pürüzlülüğünü oluşturan agrega birinci derecede öneme sahiptir. Değişik yol kesimleri için tavsiye edilen agrega cilalanma-sürtünme katsayısı değerleri Tablo 1.3 de verilmektedir.

Bilinen birçok yol işareti, yol kaplamasında araçların kayabileceği hususunda ikazlarda bulunmaktadır. Bir yol kaplamasının kaymaya karşı dayanıklılığı, artan trafik miktarı, taşıt hızı, yüzey dokusu ve agreganın petrografik yapısı gibi birçok faktöre bağlıdır. Islak kaplama üzerinde kayma ve su üzerinde kızaklama, sorunun en tehlikeli tarafını oluşturur. Bunun yanı sıra göz kamaşması ve su sıçraması da trafik kazalarına yol açabilmektedir. Trafik yüklerinden dolayı yolların cilalanmasına ve düzleşmesine karşı dayanıklı agrega seçilmesi ve yüksek hızlarda araç lastiklerinin altından su drenajına izin verecek şekilde yüzey dokusunun durumunun muhafaza edilmesi kaymaya dayanıklı kaplama inşasında önemlidir. Beton ve asfalt karışım yol kaplamasının her ikisi de, aşınma ve kaymaya karşı geliştirilmeye uygundur.

Tablo 1.3. Yol kesimine ve kamyon trafiği yoğunluğuna göre olması gereken agrega cilalanma değeri ve sürtünme katsayısı değerleri [9]

Yol kesiminin özellikleri	Agrega cilalanma değeri- PV						Proje sürtünme katsayısı	Kalite seviyesi
	Günlük şerit başına ağır ticari araç sayısı							
	250	1000	1750	2500	3250	4000		
Kavşaklara Yakın Yerler	7	7	8	8	9	9	55	Yüksek
%10 dan Fazla Eğimli, 50 m den Uzun İniş Rampaları, 250 m den Dar Kurplar,	6	7	7	8	8	9	50	Yüksek
%5-10 İniş eğimli rampalar	6	6	7	7	8	8	45	Yüksek
Bölünmemiş Düzgün Yollar	5	6	6	7	7	8	40	Düşük
Bölünmüş Düzgün Yollar	5	5	6	6	7	7	35	Düşük

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Amaç

Asfalt yolların yüzeyi gerek trafiğin gerekse de iklimin aşındırıcı etkilerine karşı dayanıksız olabilmektedir. Yol yüzey özellikleri araçların seyir güvenlikleri, konforu ve lastiklerinin aşınmasıyla doğrudan ilişkili olduğundan yol mühendisliği açısından büyük önem taşımaktadır. Yol yüzeyi özellikle lastiğin daha sık geçtiği yerlerde pürüzlülüğünü zamanla kaybeder ve bu da sürtünme katsayısının azalmasına dolayısıyla durma mesafesinin uzamasına yol açar. Bunun yanında ayrıca ıslak yol, buzlanmış yol ve yol yüzeyindeki toz tanecikleri sürtünme katsayısına etki etmektedir. Bu çalışmada yol yüzeyinde bulunan buz, su, toz tanelerinin sürtünme katsayısına etkileri ve farklı yol pürüzlülüklerinin sürtünme katsayısına etkileri araştırılmıştır.

2.2. Kapsam

Bu çalışmanın kapsamında Trabzon Maçka karayolunun 10. km sinde, 14 cm çapındaki altı adet numune yol kaplamasından karot makinesiyle kesilerek çıkartıldı (Şekil 2.2). Bu 6 adet numunenin ikisi trafiğin yoğun olarak geçtiği yerden, diğer ikisi trafiğin daha az yoğunlukta geçtiği yerden ve son ikisi banketten yani trafiğin geçmediği ya da çok nadiren geçtiği yerden alındı. Numunelerin farklı kesitlerden alınmasının sebebi Şekil 2.1(a) da görüldüğü gibi cilalanmanın trafiğin fazla geçtiği yüzeylerde daha fazla olacağı, trafiğin az geçtiği ya da trafiğin geçmediği yüzeylerde daha az olacağı, dolayısıyla pürüzlülüğün daha fazla olacağı .



(a)

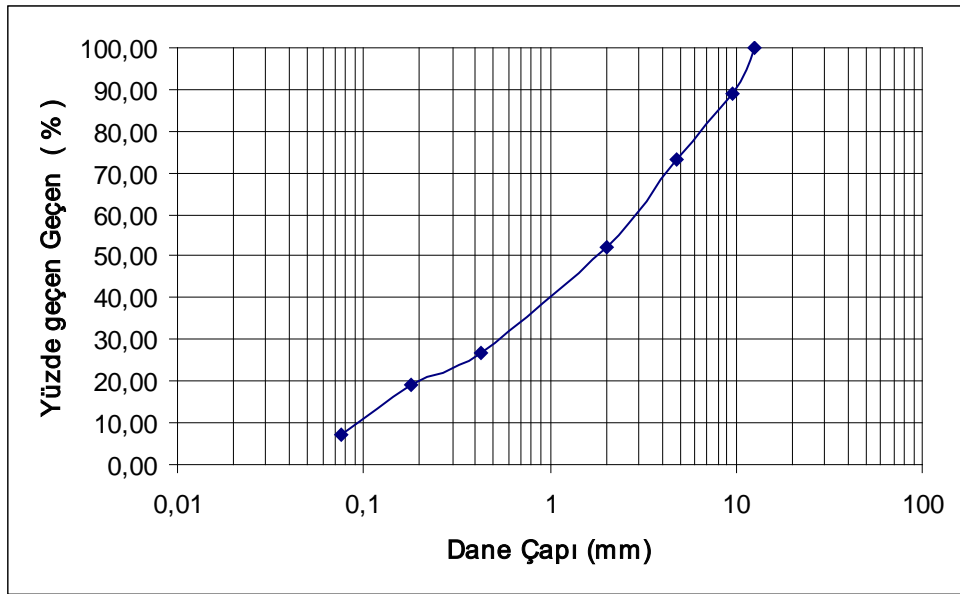


Şekil 2.1. (a) Lastiğın fazla geçtiğı bölgelerin aşınması [7]

(b) Maçka yolu araç lastiğın fazla geçtiğı kesitten numune alımı



Şekil 2.2. Asfalt yoldan karot numune alımı



Şekil 2.3. Araziden alınan asfalt numunenin granülometri eğrisi

Numuneler arazi ortamından laboratuara getirildikten sonra asfalt numune kalınlığı ihtiyaç duyulan kalınlıktan daha kalın olduğu için ve sadece aşınma tabakasına ihtiyaç duyulduğu için taş kesme makinesi ile laboratuarda alt tabakalar aşınma tabakasından kesilerek ayrıldı ve numuneler deneyleri yapmaya hazır hale getirildi.

2.3. Kum Yama Yöntemi

Asfalt numunenin ağırlığı hassas terazi ile ölçüldü. Sonra asfalt numunenin üzerine 100 nolu elekten geçen bir miktar kum döküldü ve bir cetvel yardımıyla asfalt numunenin yüzeyindeki bütün girintileri kapatacak şekilde kum serildi (Şekil 2.4). Kum serildikten sonra asfalt numune yüzeyinde fazlalık kalan kum tanecikleri cetvel yardımıyla kazınarak asfalt numune üzerinden uzaklaştırıldı. Asfalt numune üzerine kum serilmiş haldeki ağırlığı tekrar hassas terazi ile ölçüldü. Asfalt numunenin üzerine kum serilmiş haldeki ağırlığından üzerine kum serilmemiş haldeki ağırlığı çıkartıldı ve üzerine serilmiş olan kumun ağırlığı hesaplanmış oldu. Bu ağırlığı bulmamızdaki amaç kumun özkütlesini ve ağırlığını kullanarak numunenin üzerine serilmiş ve bütün gözenekleri kapatmış olan kumun hacmini bulmaktır. Kumun hacmi de bulunduktan sonra asfalt numunenin yüzey alanına bölünerek numune üzerindeki ortalama çıkıntı yüksekliği bulundu. Yapılan deneyde anlatılan işlemler altı numuneye de uygulanmış ve Tablo 2.1 deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2.4. Kum yama yönteminde kullanılan asfalt numuneler ve asfalt numune yüzeyine kumun serilmiş hali

Tablo 2.1. Kum yama yöntemi deneyi sonuçları

Numune adı	Üzerine kum serilmiş asfalt numunenin ağırlığı(gr)	Asfalt numunenin ağırlığı(gr)	Kumun ağırlığı (gr)	Kumun özkütlesi (gr/cm ³)	Kumun hacmi (cm ³)	Ortalama numune pürüzlülüğü (cm)
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	2106,98	1981,57	125,41	1,41	88,94	0,145
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	2169,8	2044,71	125,09	1,41	88,72	0,144
Lastiğin az geçtiği numune 1	2215,46	2086,92	128,54	1,41	91,16	0,148
Lastiğin az geçtiği numune 2	1901,82	1766,26	135,56	1,41	96,14	0,156
Lastiğin geçmediği numune 1	1952,35	1813,54	138,81	1,41	98,45	0,160
Lastiğin geçmediği numune 2	1830,32	1687,08	143,24	1,41	101,59	0,165

Tablo 2.1’de belirlenen ortalama numune pürüzlülük değerlerine göre araç lastiğinin fazla geçtiği kesitten alınan numune ile araç lastiğinin geçmediği banketten alınan numune pürüzlülüğü arasında yaklaşık 0,2 mm kadar bir fark vardır.

2.4. Yüzey Profil Derinliğinin Belirlenmesi

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan lazer profilometre aletinin bilgisayar bağlantıları yapıldıktan sonra asfalt numune lazer aletinin altına konuldu (Lazer profilometre aleti K.T.Ü Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde M. Vefa AKPINAR tarafından geliştirilmiştir). Lazer aleti ile numune arasındaki dik uzaklık optimum değer olan 2 cm olarak lazer profilometrenin ayaklarından ayarlandı. Bilgisayardan lazer aleti açıldı ve lazer ışığı asfalt numunenin bir ucuna yansıtıldı. Daha sonra *lazeri aç* komutuna basarak lazer ve lazer motoru çalıştırıldı. Lazer aleti numunenin diğer ucuna kadar 350 okuma aldı. *Kaydet* komutuna tıklanarak değerler kaydedildi.

Numune yüzeyinden geçen lazer ışığı çizgisel şekilde geçtiğinden dolayı numune yüzeyinin özelliklerini tam olarak yansıtamayacağından dolayı daha doğru bilgi alabilmek için numune yüzeyinden aynı doğrultuda üç farklı yerden lazer ışığı geçirilmiş ve ortalaması alınmıştır. Lazer aleti ile okunan ve kaydedilen değerlere göre pürüzlülük grafikleri çizilmiştir. Lazer aleti ile temiz yüzey, killi yüzey (Şekil 2.5), kumlu yüzey (Şekil 2.6) ve araziden alınan toz numune(Şekil 2.7) asfalt numunelerin üzerine serilerek her bir numune için ayrı ayrı, değerler lazer aleti ile okunmuş ve grafikleri çizilmiştir.



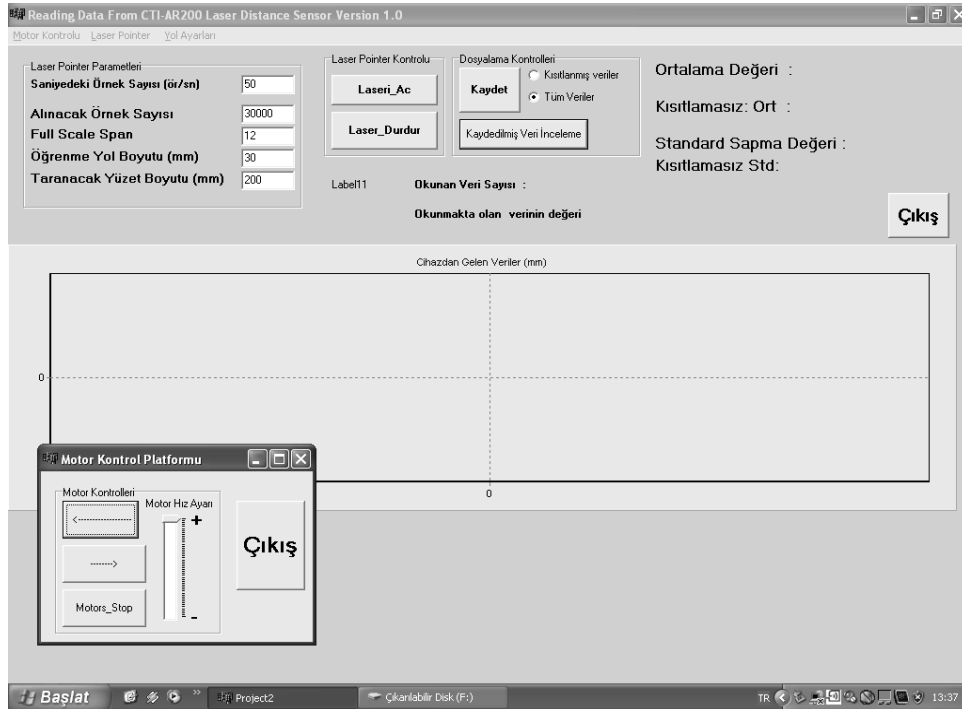
Şekil 2.5. Yüzeyine kil serilmiş numunenin lazer aleti ile Pürüzlülüğünün ölçülmesi



Şekil 2.6. Yüzeyine kum serilmiş asfalt numunenin lazer aleti ile pürüzlülüğünün ölçülmesi



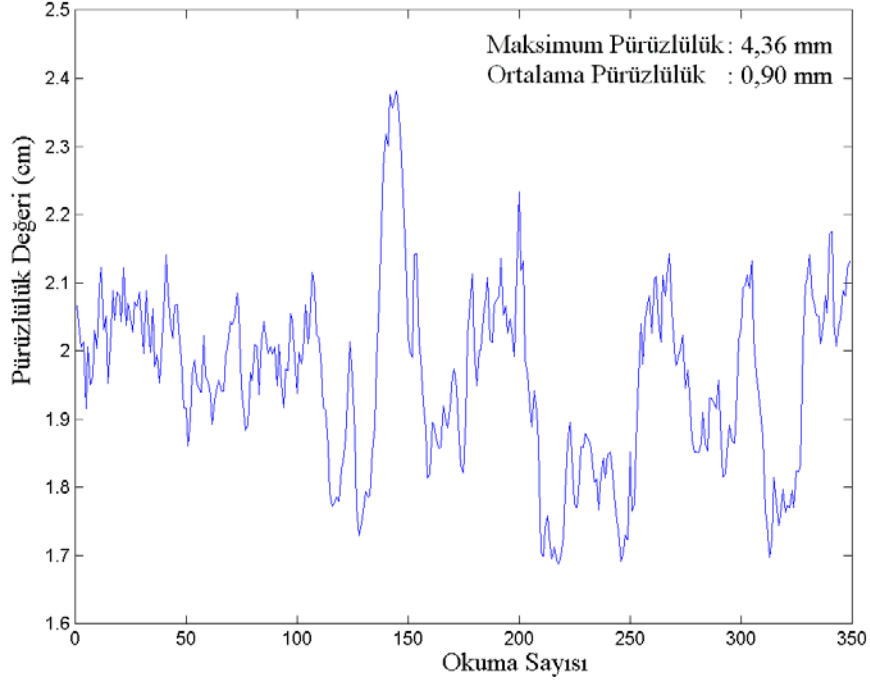
Şekil 2.7. Yüzeyine yol yüzeyinden alınan toz numune serilmiş asfalt numunenin lazer aleti ile pürüzlülüğünün ölçülmesi



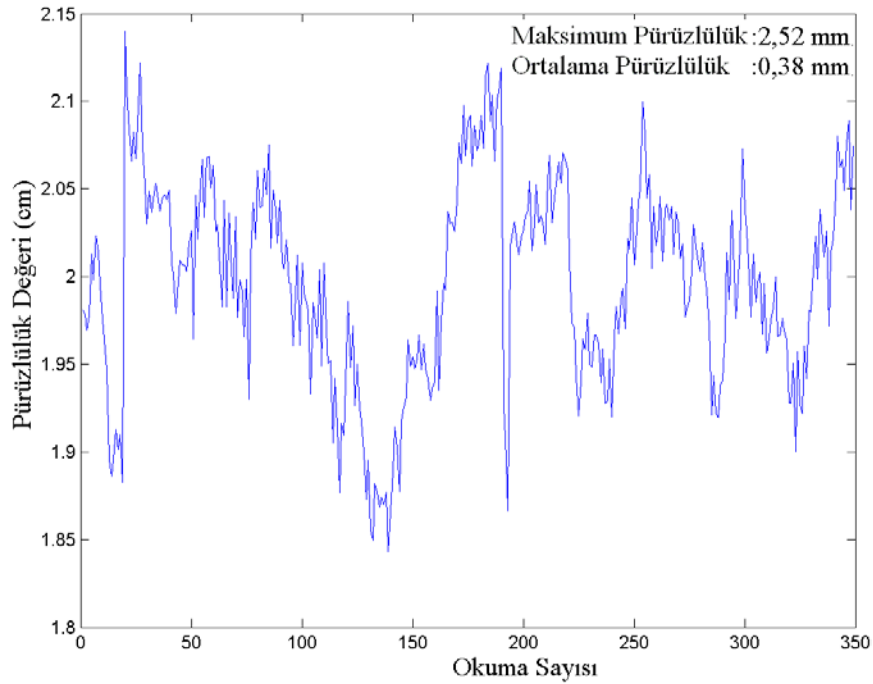
Şekil 2.8. Lazer profilometre yazılımının ilk açılış ekran görüntüsü

Aşağıdaki şekiller lazer profilometre aleti ile sırasıyla temiz yüzey (Şekil 2.9), kil serilmiş yüzey (Şekil 2.10), kum serilmiş yüzey (Şekil 2.11) ve araziden alınan toz

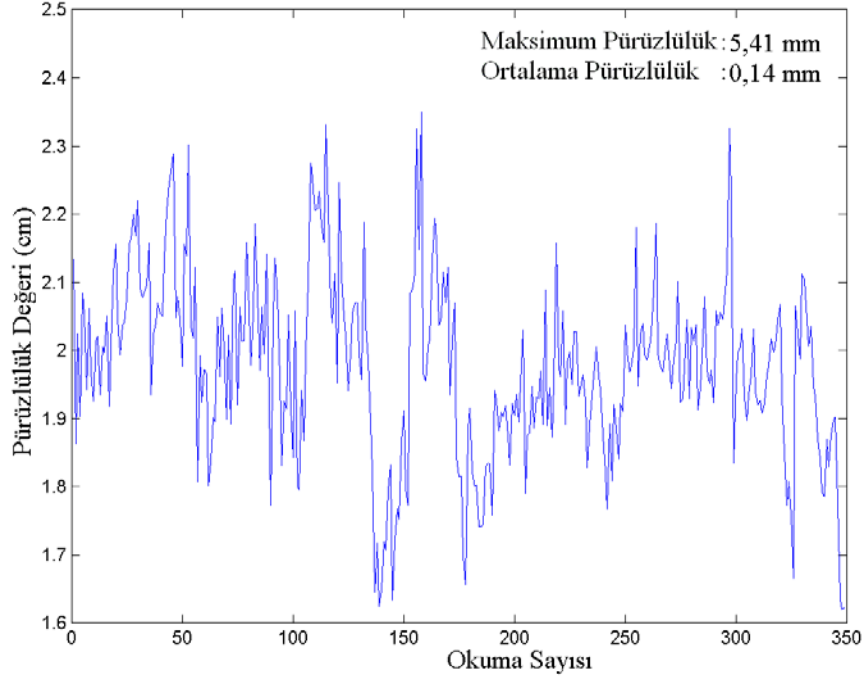
malzemenin asfalt numunenin üzerine serilmesi (Şekil 2.12) sonucunda ortaya çıkan pürüzlülük değerini göstermektedir.



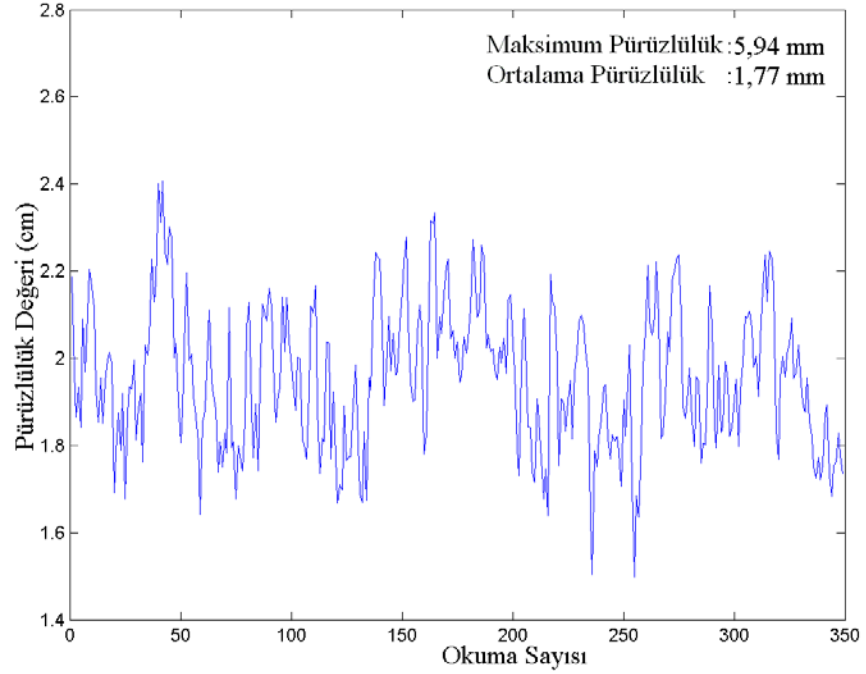
Şekil 2.9. Temiz yüzeyli asfalt numunenin pürüzlülük değerleri



Şekil 2.10. Yüzeyine kil serilmiş asfalt numunenin pürüzlülük değerleri



Şekil 2.11. Yüzeyine kum serilmiş asfalt numunenin pürüzlülük değerleri



Şekil 2.12. Yüzeyine yol yüzeyinden alınan toz numune serilmiş asfalt numunenin pürüzlülük değerleri

2.5. Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi

Sürtünme katsayısını belirlemek için kullanılan İngiliz Sürtünme Pandülü test aletinin ucuna lastik sürtünme takozu takıldı. Test aleti ölçüm alınırken sallanmaması için üç ayağından kendi altlığına monte edildi. Numunelerin ölçüm alınırken yerinden oynamaması içinde test aleti altlığına iki takoz monte edildi. Sürtünme aleti ölçüm yapılabilecek şekilde hazırlandıktan sonra 20⁰C sıcaklığındaki numune test aletinin altına yerleştirildi (Şekil 2.13). Test aleti pandülünün numuneye ilk değdiği nokta ile son değdiği nokta arasındaki sürtünme boyu alet üzerindeki ayar vidası yardımıyla yukarı aşağı oynanarak yatayda 12,6 cm olacak şekilde kumpasla ölçülerek ve yakın ışık kaynağıyla iyice görülerek hassas bir şekilde ayarlandı. Sürtünme kaybını gösterecek ibre dikeydeki sıfır konumuna getirildi. Yatay konumda bekleyen pandül, butonuna basılarak serbest bırakıldı ve salınım yapıp geri döndüğünde numune yüzeyine değmeden elle tutuldu. İbrenin gösterdiği değer tamsayı olarak kaydedildi. Bu şekilde her bir numune için peş peşe beş salınım yapıldı ve son üç okuma ile ortalaması tabloya kaydedildi. Bu üç okumanın ortalamasınının 100 e bölümü o numunenin sürtünme katsayısını vermektedir. Daha sonra numuneler önce 30⁰C, sonra 40⁰C kadar ısıtılarak ölçümler alındı. Son olarak numunelerin yüzeyi ıslatılarak tekrar aynı şekilde ölçümler alındı ve değerler Tablo 2.2 ye kaydedildi.



Şekil 2.13. Sürtünme katsayısı ölçüm deney düzeneği

Tablo 2.2. Temiz kuru ve ıslak yüzeyli asfalt numunelerin farklı sıcaklıklardaki sürtünme katsayısı değerleri

Numune Adı	Kuru Temiz Numune (20 ⁰ C)			Kuru Temiz Numune (30 ⁰ C)			Kuru Temiz Numune (40 ⁰ C)			Islak Temiz Numune		
Lastiğin geçmediği numune 1	91	93	94	95	97	96	97	98	97	62	63	63
	92,7			96			97,3			62,7		
Lastiğin geçmediği numune 2	91	90	90	92	92	93	93	94	94	61	61	61
	90,3			92,3			93,6			61		
Lastiğin az geçtiği numune 1	90	91	93	98	97	97	95	96	95	63	62	63
	91,3			97,3			95,3			62,7		
Lastiğin az geçtiği numune 2	92	91	93	95	96	95	96	95	95	61	61	61
	92			95,3			95,3			61		
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	90	88	88	89	90	89	90	91	90	59	60	60
	88,6			89,3			90,3			59,7		
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	85	87	89	90	90	91	93	92	90	62	61	62
	87			90,3			91,7			61,7		

Tablo 2.2'deki sürtünme katsayısı değerlerine göre, banketten alınan lastiğin geçmediği numune ile lastiğin fazla geçtiği numunenin sürtünme katsayısı arasında fazla fark yoktur. Aynı numunenin sıcaklığı artırılarak yapılan ölçümlerde, sıcaklık arttıkça asfaltın yapışkanlık özelliğinin ortaya çıktığı ve sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. 20⁰C sıcaklığındaki asfalt numunenin yüzeyi ıslandığı zaman ise sürtünme katsayısı, 20⁰C sıcaklıkta kuru yüzeyli asfalt numuneye göre yaklaşık üçte bir oranında azalmaktadır.

200 nolu elekten geçen kil, asfalt numunenin üzerine önce ince tabaka halinde, sonra kalın tabaka halinde serilerek ölçümler alındı. Son olarak ta numunenin üzerine su muhtevası %18, likit limiti %91 ve plastik limiti %35 olan ıslak kil serilerek aynı şekilde sürtünme testleri yapılmış, çıkan değerler ve değerlerin ortalaması Tablo 2.3 de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Yüzeyine kil serilmiş asfalt numunelerin kuru ve ıslak haldeki sürtünme katsayısı değerleri

Numune Adı	İnce Tabakalı Kil			Kalın Tabakalı Kil			Islak Kil		
	Lastiğin geçmediği numune 1	70	72	72	63	64	65	41	41
71,3			64			41,7			
Lastiğin geçmediği numune 2	68	69	70	64	64	65	36	37	37
	69			64,3			36,7		
Lastiğin az geçtiği numune 1	65	66	67	60	61	62	25	25	25
	66			61			25		
Lastiğin az geçtiği numune 2	65	65	66	60	62	63	30	31	31
	65,3			61,7			30,7		
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	65	66	67	61	62	63	25	26	27
	66			62			26		
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	67	67	68	64	65	66	25	25	25
	67,3			65			25		

Tablo 2.3'te görüldüğü gibi; ince tabakalı kilin sürtünme katsayısı, kalın tabakalı kilin sürtünme katsayısından fazladır. Bunun sebebi, ince tabaka halinde asfalt numunenin üzerine serilen kil asfalt numunenin yüzeyini tamamen kapatamaz ve sürtünme katsayısının ölçümünde asfalt numunenin de yüzey özellikleri de sürtünme katsayısına etki eder. Ancak asfalt numune üzerine kalın tabaka halinde kil serildiğinde asfalt numunenin üzerini tamamen kaplayan kil, asfalt numunenin yüzey özelliğini ortadan kaldırmış ve sadece numune üstündeki kil sürtünme katsayısına etki etmiştir. Kil ıslatıldığında ise sürtünme katsayısının çok düştüğü ve kaygan bir zeminin ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Asfalt numunelerin alındığı Maçka karayolunun yol yüzeyinden süpürülerek alınan toz numune asfalt numunelerin üzerine serildi, önce kuru halde sürtünme testi uygulandı daha sonra asfalt numunenin üzerindeki toz numune ıslatılarak test yapıldı ve çıkan sonuçlar ve ortalaması Tablo 2.4'e kaydedildi.

Tablo 2.4. Araziden alınan toz numune serilen asfalt numunelerin ıslak ve kuru haldeki sürtünme katsayısı değerleri

Numune Adı	Kuru Arazi Malzemesi			Islak Arazi Malzemesi		
	Lastiğin geçmediği numune 1	48	49	50	47	47
	49			47		
Lastiğin geçmediği numune 2	50	52	53	54	53	52
	51,7			53		
Lastiğin az geçtiği numune 1	48	49	49	47	47	47
	48,7			47		
Lastiğin az geçtiği numune 2	45	46	47	47	49	50
	46			48,6		
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	47	49	51	48	47	45
	49			46,7		
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	45	46	45	46	47	47
	45,3			46,7		

Laboratuarda 40-200 nolu elek arası kum numune elenerek elde edildikten sonra asfalt numune üzerine serildi önce kuru olarak daha sonra ise kum numune ıslatılarak sürtünme testi yapıldı çıkan sonuçlar ve ortalaması Tablo 2.5'e kaydedildi.

Tablo 2.5. Yüzeyine kum serilmiş numunenin kuru ve ıslak haldeki sürtünme katsayısı değerleri

Numune Adı	40-200 Nolu Elek Arası Kum			40-200 Nolu Elek Arası Islak Kum		
	Lastiğin geçmediği numune 1	53	54	55	54	54
	54			54		
Lastiğin geçmediği numune 2	55	54	56	57	55	55
	55			55,7		
Lastiğin az geçtiği numune 1	51	51	53	50	50	49
	51,7			49,7		
Lastiğin az geçtiği numune 2	49	50	51	50	50	49
	50			49,7		
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	53	55	54	50	52	51
	54			51		
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	50	49	50	50	50	50
	49,7			50		

Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te asfalt numunenin yüzeyine serilen numunelerin, sürtünme testi yapıldığında kuru ve ıslak haldeki sürtünme katsayılarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi asfalt numunenin yüzeyindeki malzemenin su emme

özelliği çok az olduğu için kuru haldeki sürtünme katsayısı ile ıslak haldeki sürtünme katsayısı aynıdır.

Asfalt numuneler ıslatılarak buzdolabının derin dondurucusuna bırakıldı. Asfalt numuneler bir gün sonra buzdolabından çıkarıldı. Şekil 2.14 görüldüğü gibi, yüzeyi tamamen buzla kaplı olan asfalt numunelere sürtünme testi yapıldı çıkan sonuçlar ve ortalaması Tablo 2.6'ya kaydedildi.



Şekil 2.14. Buzdolabında dondurulmuş numune

Tablo 2.6. Yüzeyi buzla kaplı asfalt numunenin sürtünme katsayısı değerleri

Numune Adı	Buzlu Numune		
Lastiğin geçmediği numune 1	25	25	26
	25,3		
Lastiğin geçmediği numune 2	26	25	24
	24		
Lastiğin az geçtiği numune 1	25	24	24
	24,3		
Lastiğin az geçtiği numune 2	24	25	24
	24,3		
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	25	24	23
	24		
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	25	24	24
	24,3		

Tablo 2.6’da görüldüğü gibi yüzeyi buzlanmış olan asfalt numunenin sürtünme katsayısının çok fazla düştüğü görülmektedir. Araç lastiğinin fazla geçtiği numune ile araç lastiğinin geçmediği numune arasında neredeyse fark olmadığı Tablo 2.6 da görülmektedir. Bunun sebebi buzun asfalt numune yüzeyini kaplaması ve yüzeydeki pürüzlülüğün etkisini ortadan kaldırmasıdır.

Tablo 2.7’de farklı yol yüzeyleri için yapılan sürtünme katsayısı deneylerini sonuçlarının hepsi bir arada gösterilmektedir. Yapılan deneylerde sürtünme katsayısının en düşük olduğu yol yüzeyi buzlu ve ıslak killi olduğunda görülmektedir.

Tablo 2.7. Yapılan deneylerde farklı yol yüzeyi durumundaki sürtünme katsayıları

Numune Adı	Kuru Temiz Numune (20°C)	Kuru Temiz Numune (30°C)	Kuru Temiz Numune (40°C)	Islak Temiz Numune	İnce Tabakalı Kil	Kalın Tabakalı Kil	Islak Kil	Kuru Kum	Islak Kum	Kuru Arazi Malzemesi	Islak Arazi Malzemesi	Buzlu Numune
Lastiğin geçmediği numune 1	0,93	0,96	0,97	0,63	0,71	0,64	0,42	0,54	0,54	0,49	0,47	0,25
Lastiğin geçmediği numune 2	0,90	0,92	0,94	0,61	0,69	0,64	0,37	0,55	0,56	0,52	0,53	0,24
Lastiğin az geçtiği numune 1	0,91	0,97	0,95	0,63	0,66	0,61	0,25	0,52	0,50	0,49	0,47	0,24
Lastiğin az geçtiği numune 2	0,92	0,95	0,95	0,61	0,65	0,62	0,31	0,50	0,50	0,46	0,49	0,24
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	0,89	0,89	0,90	0,60	0,66	0,62	0,26	0,54	0,51	0,49	0,47	0,24
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	0,87	0,90	0,92	0,62	0,67	0,65	0,25	0,50	0,50	0,45	0,47	0,24

Tablo 2.8. Tablo 2.7'deki sürtünme katsayılarına karşılık gelen 50 km/h hızdaki durma mesafeleri (m)

Numune Adı	Kuru Temiz Numune (20°C)	Kuru Temiz Numune (30°C)	Kuru Temiz Numune (40°C)	Islak Temiz Numune	İnce Tabakalı Kil	Kalın Tabakalı Kil	Islak Kil	Kuru Kum	Islak Kum	Kuru Arazi Malzemesi	Islak Arazi Malzemesi	Buzlu Numune
Lastiğin geçmediği numune 1	10,59	10,26	10,15	15,63	13,87	15,39	23,45	18,24	18,24	20,10	20,96	39,4
Lastiğin geçmediği numune 2	10,94	10,71	10,48	16,15	14,28	15,39	26,62	17,91	17,59	18,94	18,58	41,04
Lastiğin az geçtiği numune 1	10,82	10,15	10,37	15,64	14,92	16,15	39,4	18,94	19,70	20,10	20,96	41,04
Lastiğin az geçtiği numune 2	10,71	10,37	10,37	16,15	15,15	15,89	31,77	19,70	19,70	21,41	20,10	41,04
Lastiğin fazla geçtiği numune 1	11,07	11,07	10,94	16,42	14,92	15,89	37,88	18,24	19,31	20,1	20,96	41,04
Lastiğin fazla geçtiği numune 2	11,32	10,94	10,71	15,89	14,7	15,15	39,4	19,7	19,7	21,89	20,96	41,04

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada asfalt yol kaplaması yüzeyinden alınan karot numuneler üzerinde kuru, ıslak, killi, kumlu, buzlu yol durumları için sürtünme katsayısı değerlerinin değişimleri araştırılmıştır. Yapılan testlerde lazer aleti ve kum yama yöntemi ile yol pürüzlülüğü ve İngiliz sürtünme pandülü aleti ile de sürtünme katsayısı değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Lazer aleti ve kum yama yöntemi ile yapılan pürüzlülük ölçümü sonucunda araç lastiğinin fazla geçtiği kesitten alınan asfalt numuneler ile araç lastiğinin geçmediği kesitten alınan asfalt numunelerin ortalama pürüzlülüğü arasında yaklaşık 0,35 mm fark olduğu tespit edilmiştir. Bu fark sürtünme katsayısını %5 dolaylarında düşürmüştür.

Islak yol yüzeyinde yapılan sürtünme katsayısı deneylerinde sürtünme katsayısının kuru yüzeye göre yaklaşık %35 azaldığı görülmektedir. Yol yüzeyine çeşitli şekillerde gelebilen kil, özellikle ıslak durumda sürtünme katsayısını çok düşürmektedir. Yapılan deneylerde yüzeyinde ıslak kil bulunan asfalt numunenin sürtünme katsayısı kuru temiz yüzeye göre %65 düşmektedir. Buzlu yüzeyin sürtünme katsayısını kuru yüzeye göre yaklaşık %75 düşürdüğü göz önüne alındığında, ıslak killi yüzeyin neredeyse buzlu yüzey kadar tehlikeli olduğu anlaşılmaktadır.

Asfalt numunenin yüzeyinin kumlu olması durumunda ıslak ve kuru halde sürtünme katsayısı değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Başka bir ifadeyle yol yüzeyinin kumlu olması durumunda yağmurlu ve kuru havalarda sürtünme katsayısı değerlerinin fazla değişmeyeceği anlaşılmıştır. Bunun sebebi, kum taneciklerinin su emme potansiyellerinin çok düşük olduğu ve test esnasında pandül ucundaki lastik altında ıslak ve kuru haldeki kum taneciklerinin aynı şekilde hareket ediyor olmasıdır.

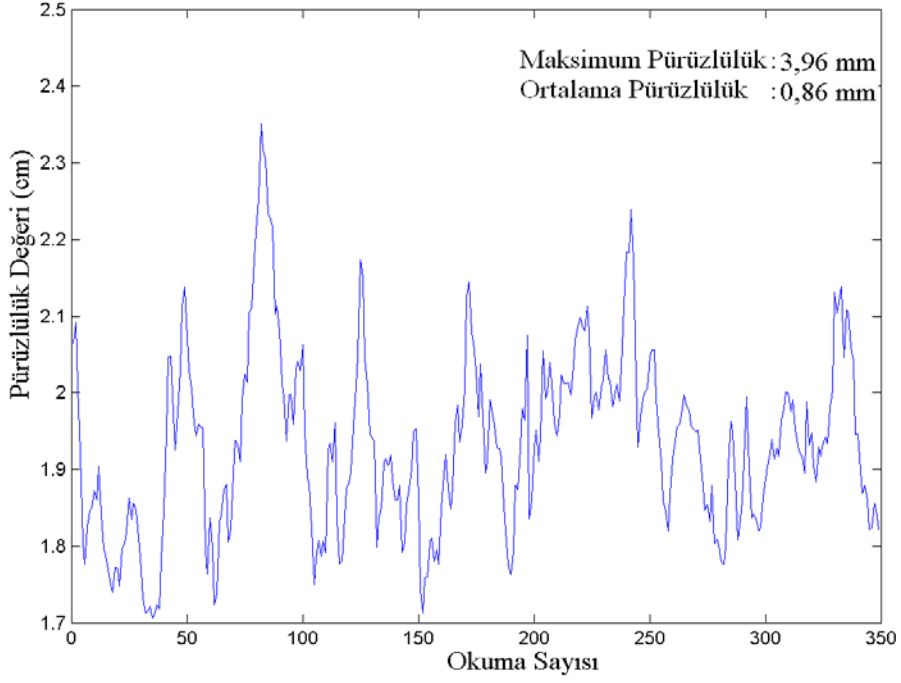
Bu çalışmadaki bulgular sadece Trabzon-Maçka karayolu üzerinde alınan 6 adet karot numune için geçerlidir. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan numunelerin ortalama pürüzlülük değerleri değişmesi durumunda sürtünme katsayılarının da değişeceğinin unutulmaması gerekir.

5. KAYNAKLAR

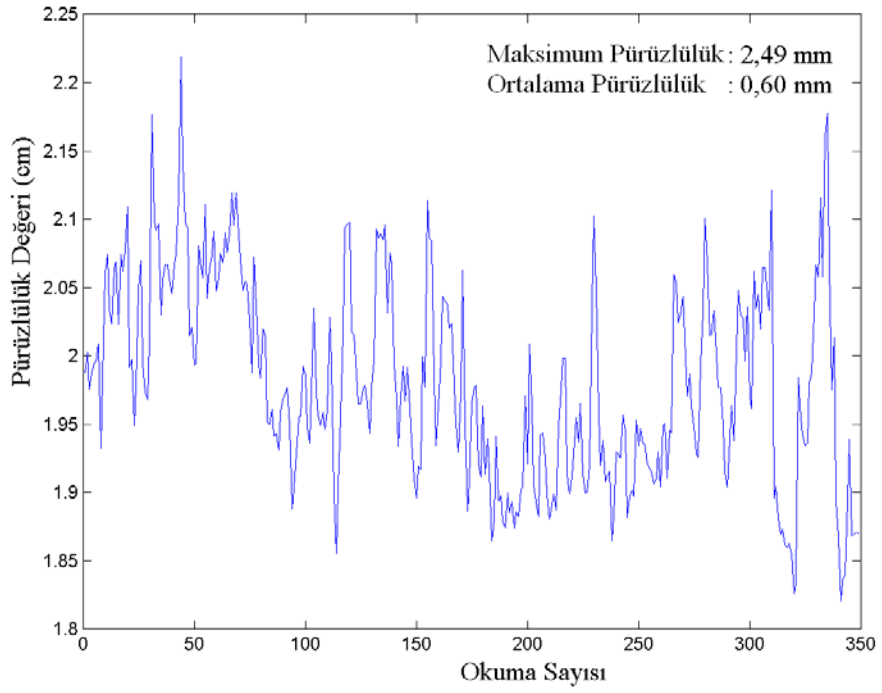
1. Wallingford, J., Greenlees, B. ve Christofferson, S., Tire-Roadway Friction Coefficients on Concrete and Asphalt Surfaces Accident Reconstruction, SAE International, 900103 (1990) 52-57.
2. ASTM E303-93, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester, American Society for Testing and Materials Standard, Philadelphia, 2000.
3. Lee, Y. P. K., Fwa, T. F. ve Choo, Y. S., Skid Resistance Evaluation Of Concrete Pavement Surfaces, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5 (2003) 972-984.
4. Ergün, M., “Effect of Road Surface Micro- and Macrotecture on Skid Resistance”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
5. AASHTO, Guidelines for Skid Resistance Pavement Design, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1976.
6. Seiler, L., Is The Correlation Between Pavement Skid Resistance And Accident Frequency Significant?, Swiss Transport Research Conference, Mart 2004, Ascona, Italy, 3: 220-234.
7. URL-1, <http://www.austroads.com.au>, Yol yüzeyi sürtünme direnci projesi, 13 Nisan 2009.
8. Cunningham, A., Andrew, K. R. ve Roberts, A. D., Short Duration Sliding Contacts, Between Elastomers and Smooth Rigid Substrates: Exploratory Studies With an Instrumented Pendulum Skid Tester, 232-1 (1999) 122-130.
9. Chelliah, T., Stephanos, P., Smith, T. ve Kochen B., A Design Policy To Improve Pavement Surface Characteristics, Pavement Evaluation Conference, Ekim 2002, Virginia, 3: 1-19.
10. URL-2, <http://www.pavement.com>, Asfalt teknolojisi, 23 Nisan 2009.
11. Kuttesch, J. S., Quantifying The Relationship Between Skid Resistance And Wet Weather Accidents For Virginia Data, Yüksek Lisans Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia, 2004.
12. Luce, A., Mahmoud, E., Masad, E. ve Chowdhury, A., Relationship of Aggregate Microtexture to Asphalt Pavement Skid Resistance, Journal of Testing and Evaluation, 90 (2007) 48-59.

13. Karpuz, O., Karışımdaki Kum Özelliklerinin Beton Yol Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
14. Kuennen, T., Creating Friction Where Rubber Meets the Roads, James Information Media Incorporated, 73-10 (2003) 30-36.
15. Henry, J. J. , Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis 291, Transportation Research Board, Washington DC, 2000.
16. Bond, E. A. , Tyre/Road Surface Interaction, Journal of the Institution of Highway Engineers, 45 (1976) 121-130..
17. Wambold, J. C. , Friction Fundamentals Concepts and Methodology, Transport Canada, 89 (1999) 112-119.
18. Moore, D. F., The Friction of Pneumatic Tyres, Tire Science and Technology, 3-4 (1975) 274-275.
19. Maryland State Highway Administration, Roads Accident and Wet Surface Accident Profile Sheet Accident Information, Maryland State, 2002.
20. Özey, İ., Rijit Üstyapı ile Esnek Üstyapının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
21. Taylor, G. W., Farrell, P. ve Woodside, A., Additional Analysis of the Effect of Pavement Structure on Truck Fuel Consumption, RP409, Concrete Roads Advisory Committee, Kanada, 2002.
22. Gajda, J. W., Van Geem, M. G., A Comparison of Six Environmental Impacts of Portland Cement Concrete and Asphalt Cement Concrete Pavement, 2068, Portland Cement Association, Portland, 1997.
23. American Concrete Pavement Association, A Guide for Comparing Alternate Pavement Analysis, Life Cycle Cost Analysis, EB 220P, USA, 2002.
24. Kokkalis, A. G., Prediction of Skid Resistance from Texture Measurements, Transport, 129-2 (1998) 85-93.
25. M.V.Akpınar, G. Akpınar, Yollarda Kaymayı Engelleyecek Uygun Agregat Malzemelerin Seçimi ve Test Edilmesi, Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Konferansı, 2004, Ankara, 2: 116-118.

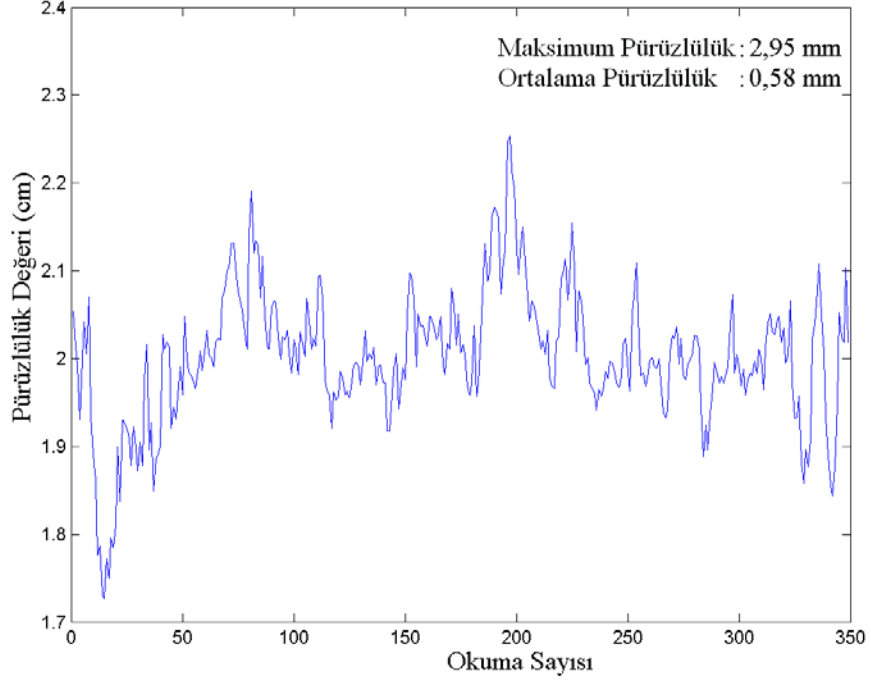
5. EKLER



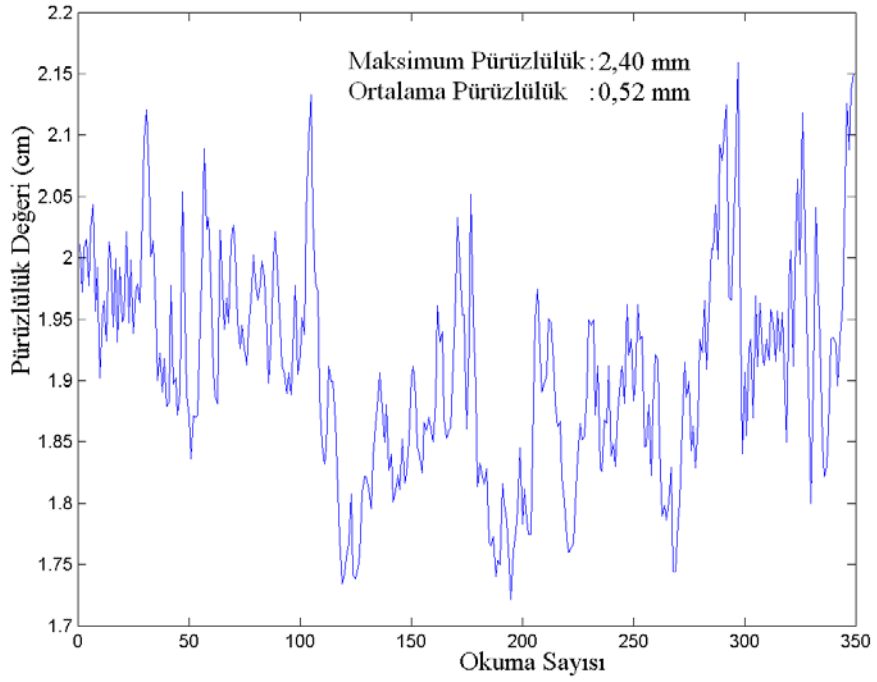
Şekil 5.1 Temiz yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



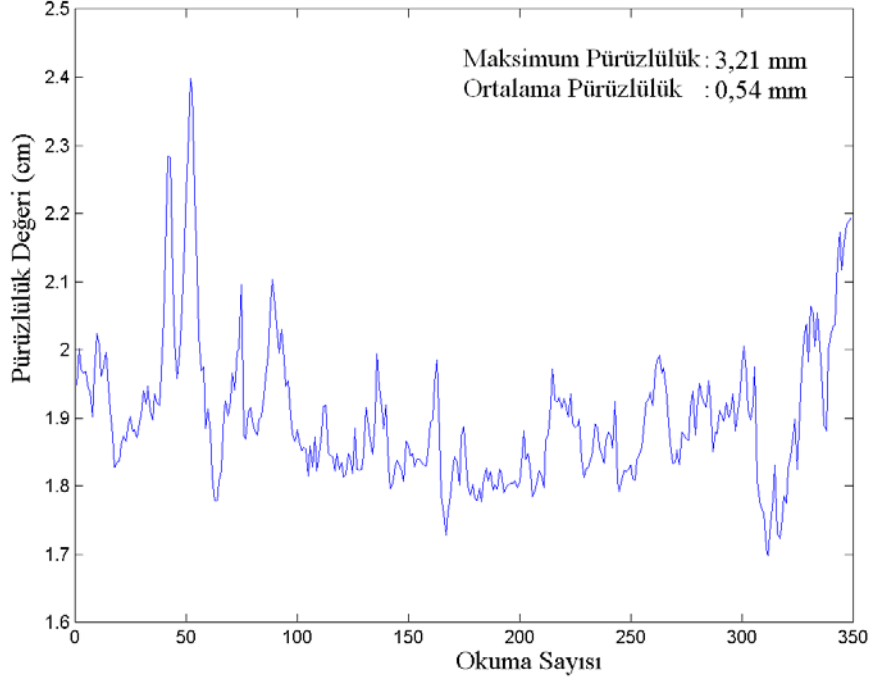
Şekil 5.2 Temiz yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



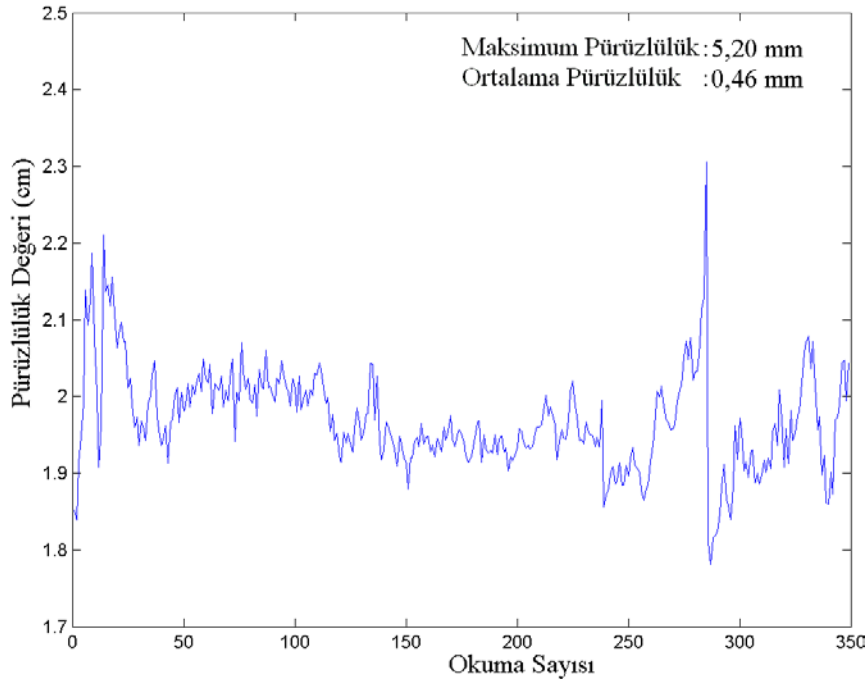
Şekil 5.3 Temiz yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



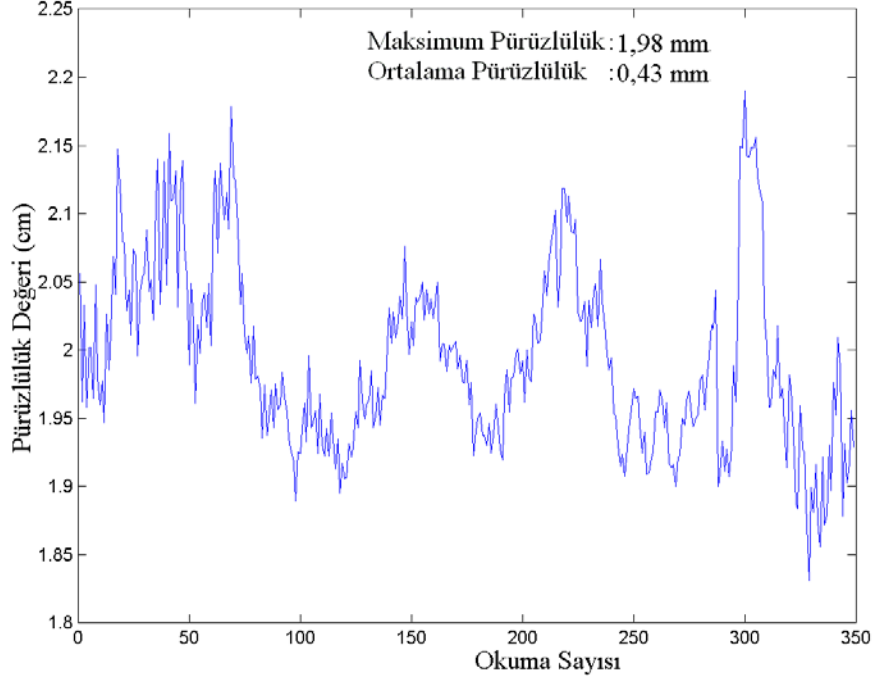
Şekil 5.4 Temiz yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



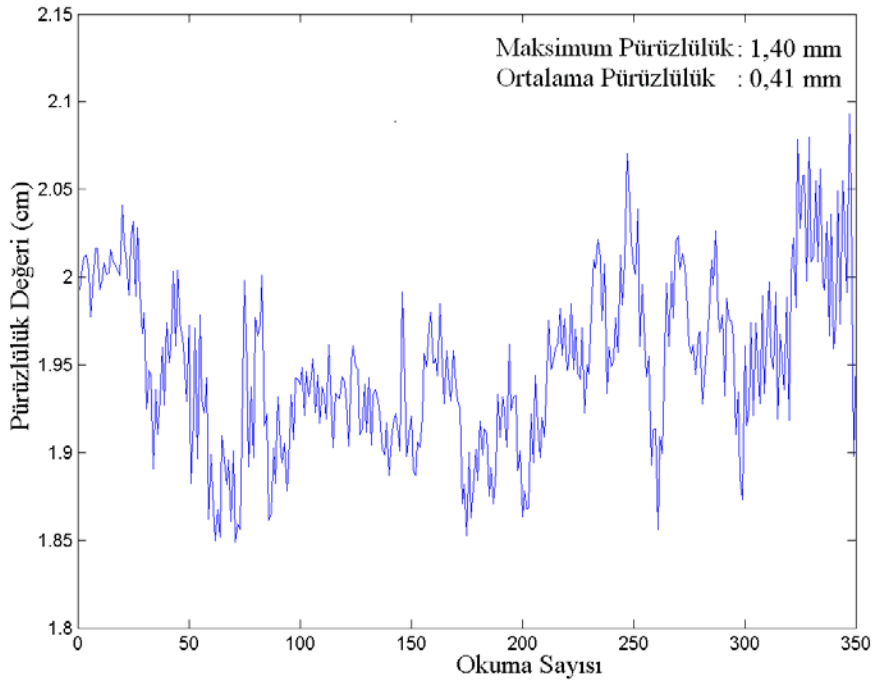
Şekil 5.5 Temiz yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



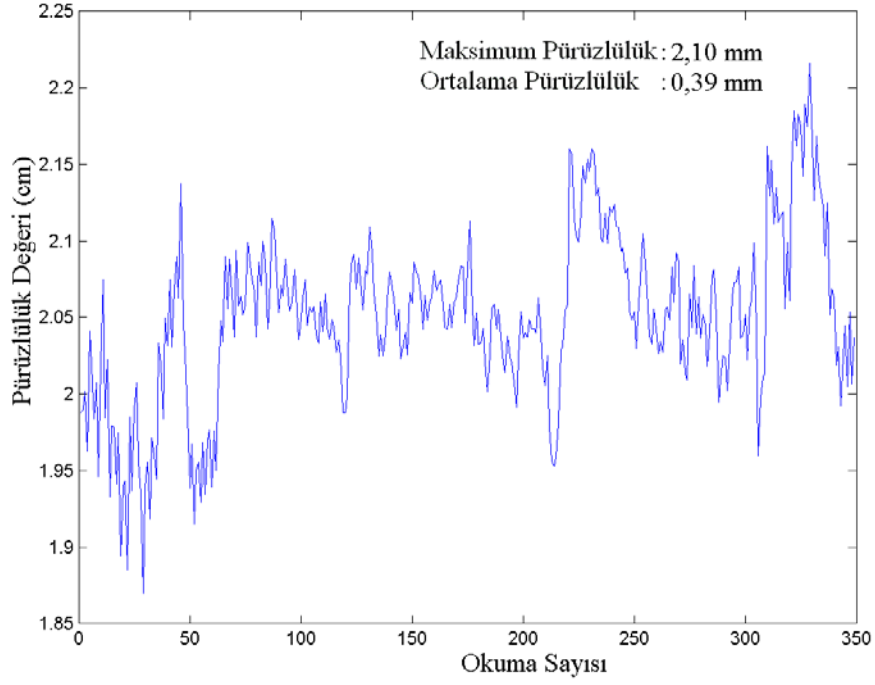
Şekil 5.6 Killi yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



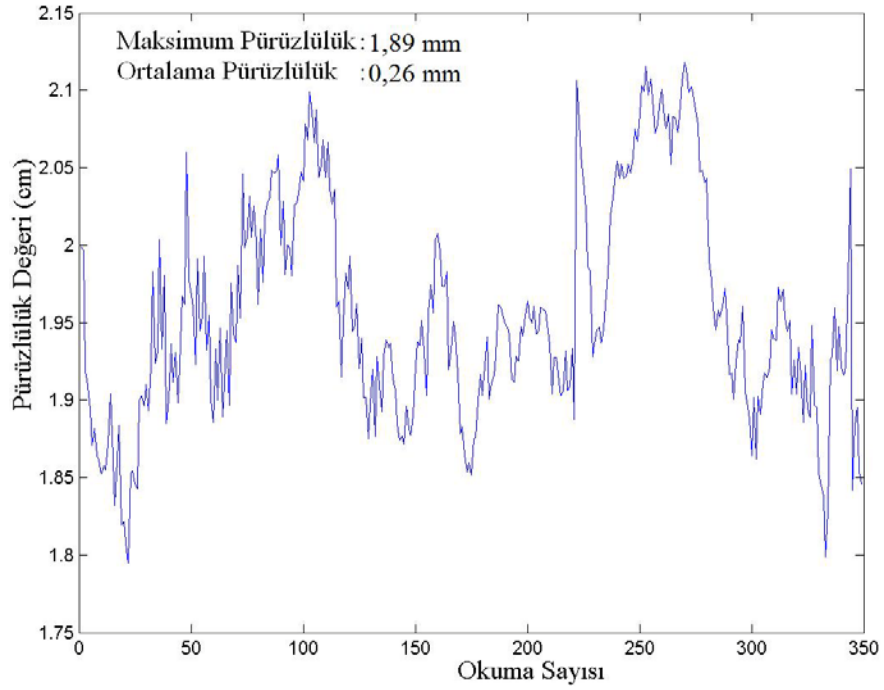
Şekil 5.7 Killi yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



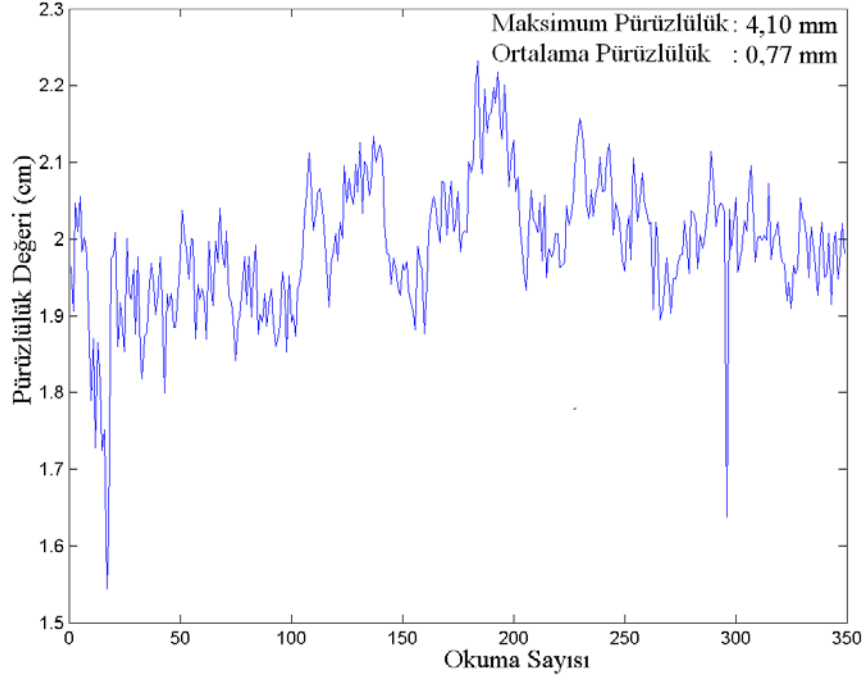
Şekil 5.8 Killi yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



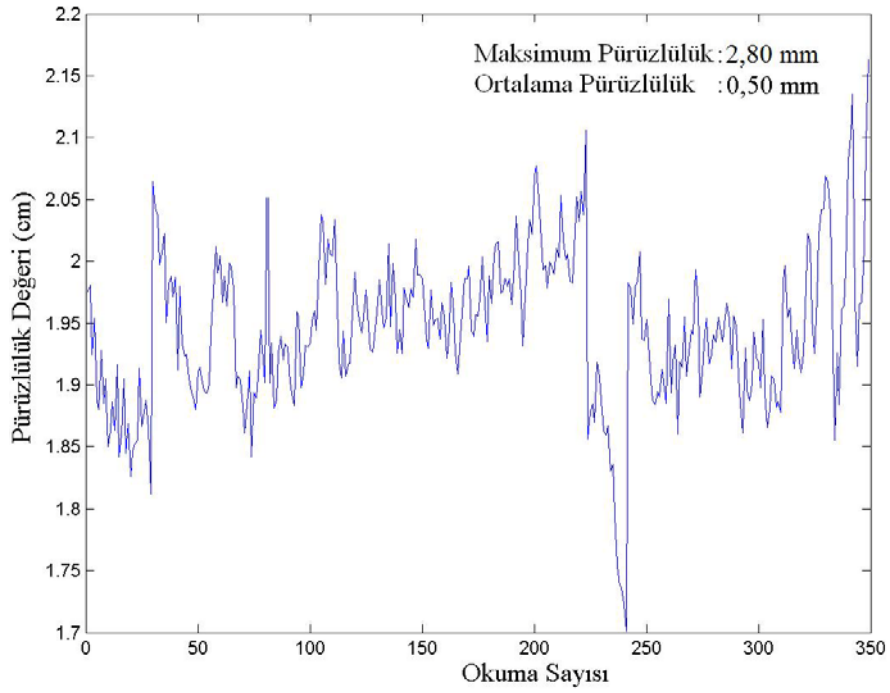
Şekil 5.9 Killi yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



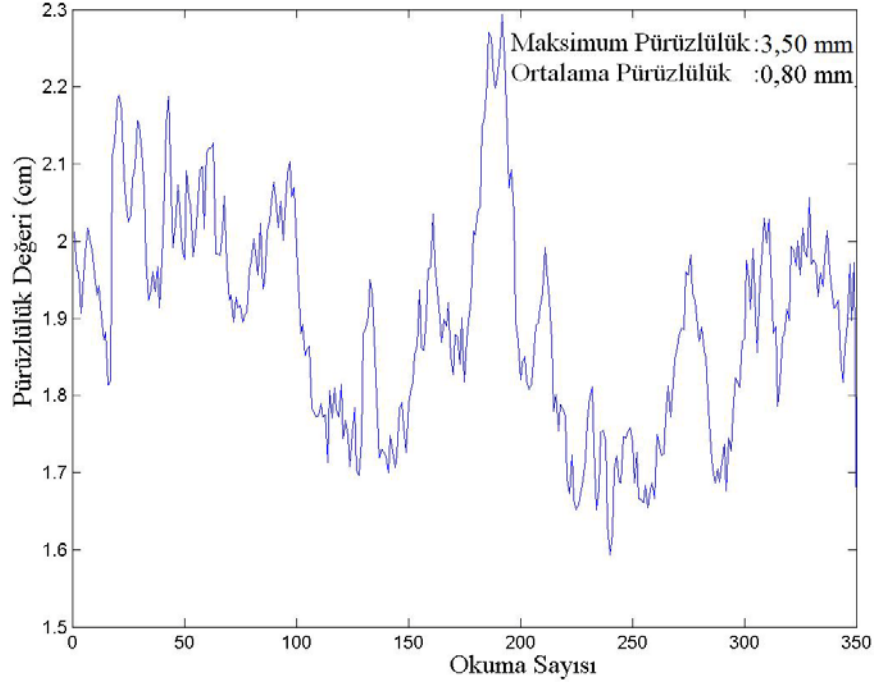
Şekil 5.10 Killi yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



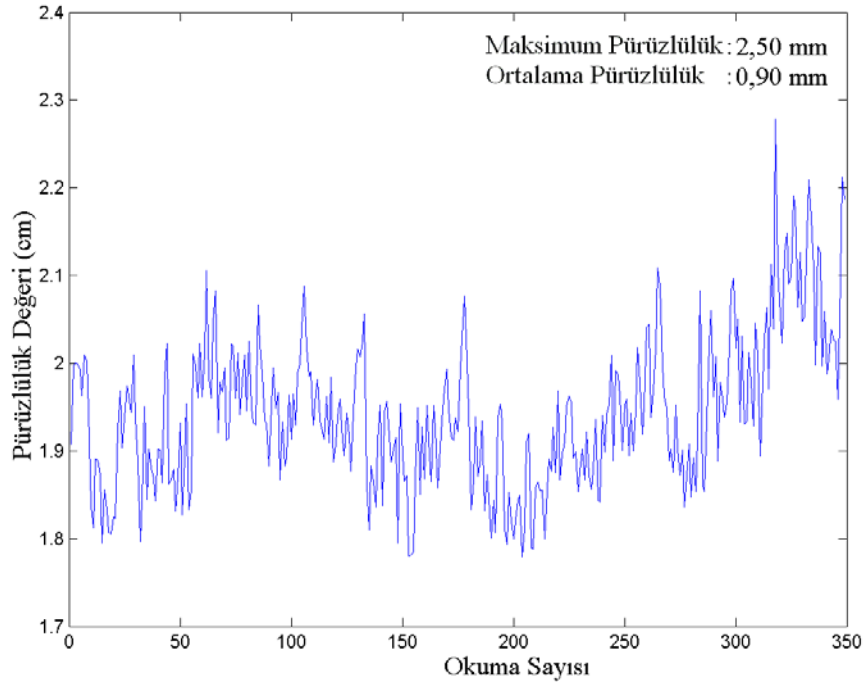
Şekil 5.11 Kalın killi yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



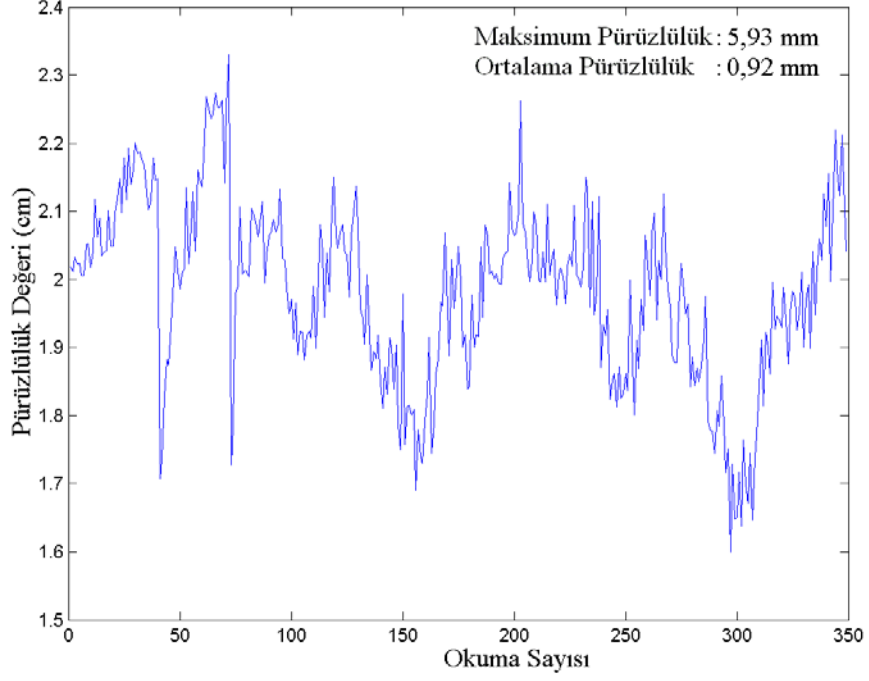
Şekil 5.12 Kalın killi yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



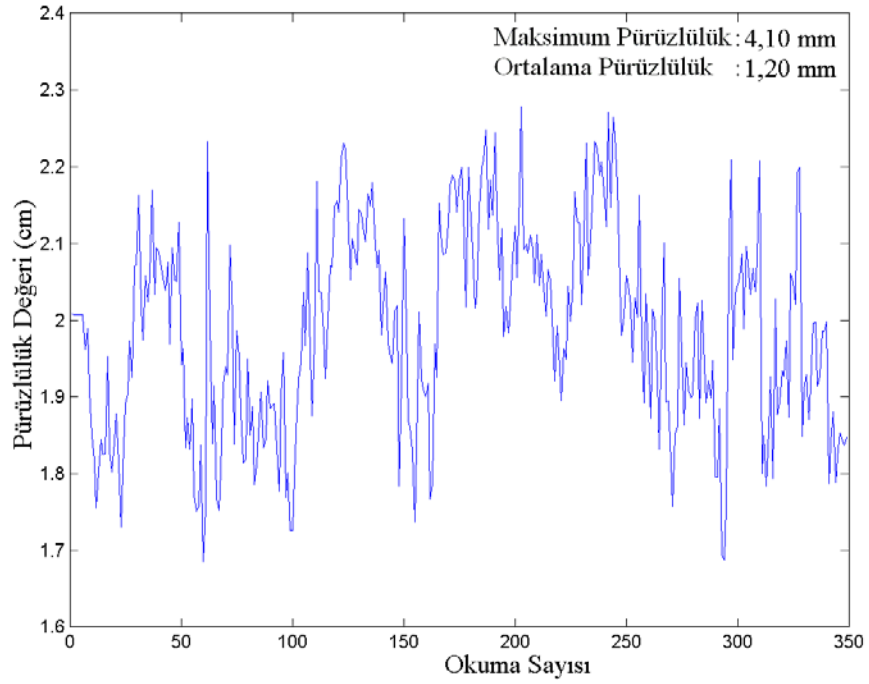
Şekil 5.13 Kalın killi yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



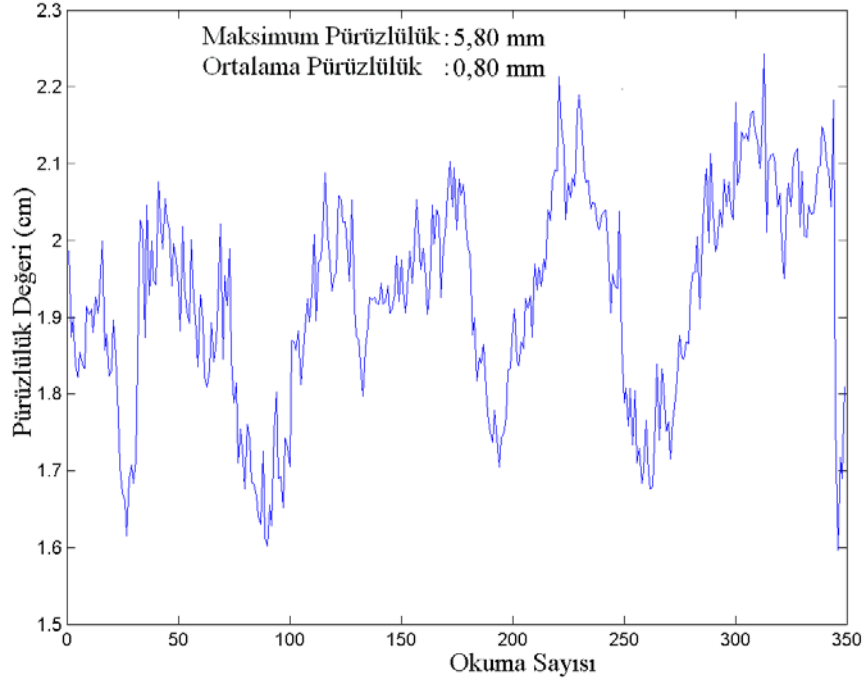
Şekil 5.14 Kumlu yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



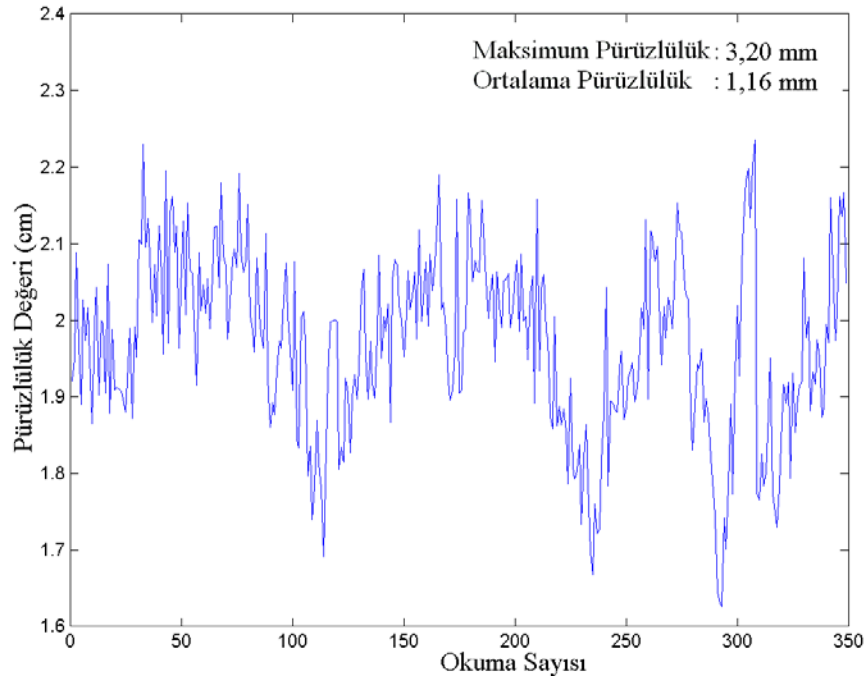
Şekil 5.15 Kumlu yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



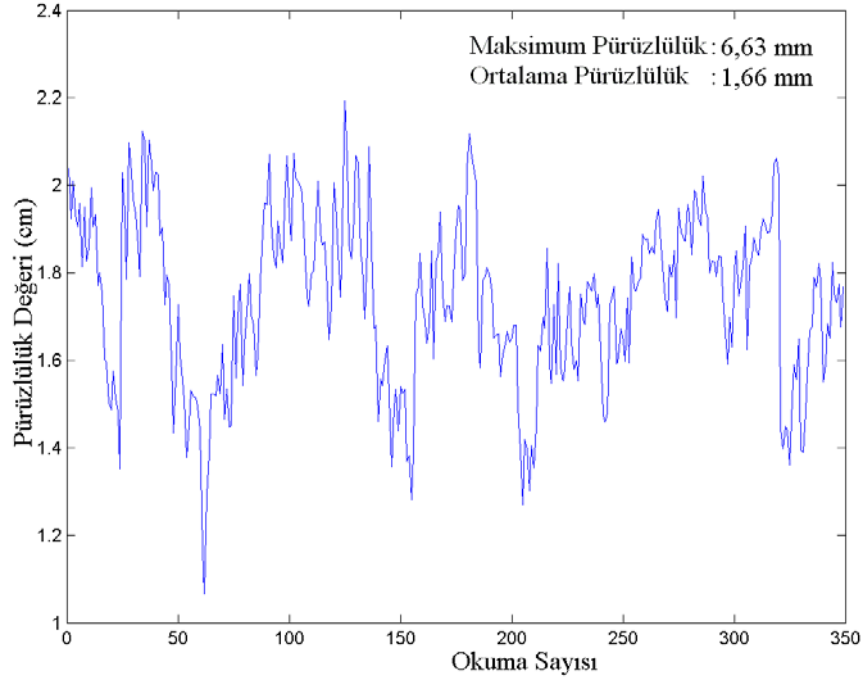
Şekil 5.16 Kumlu yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



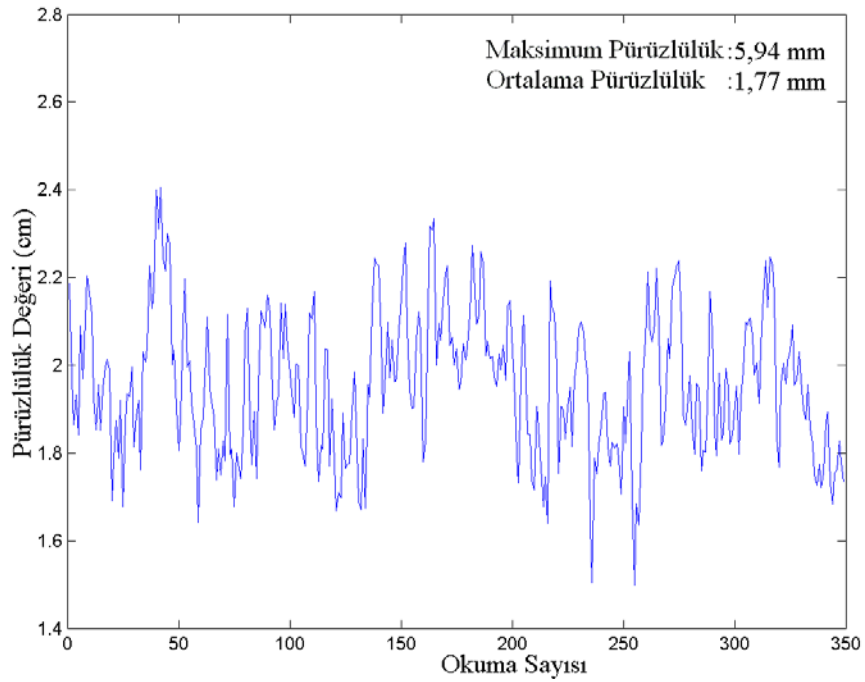
Şekil 5.17 Kumlu yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



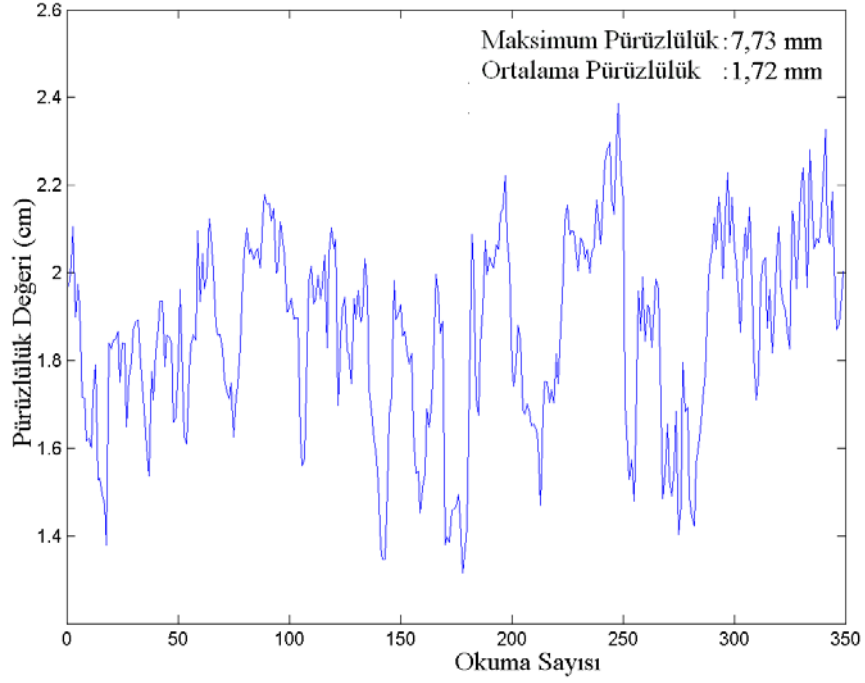
Şekil 5.18 Kumlu yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



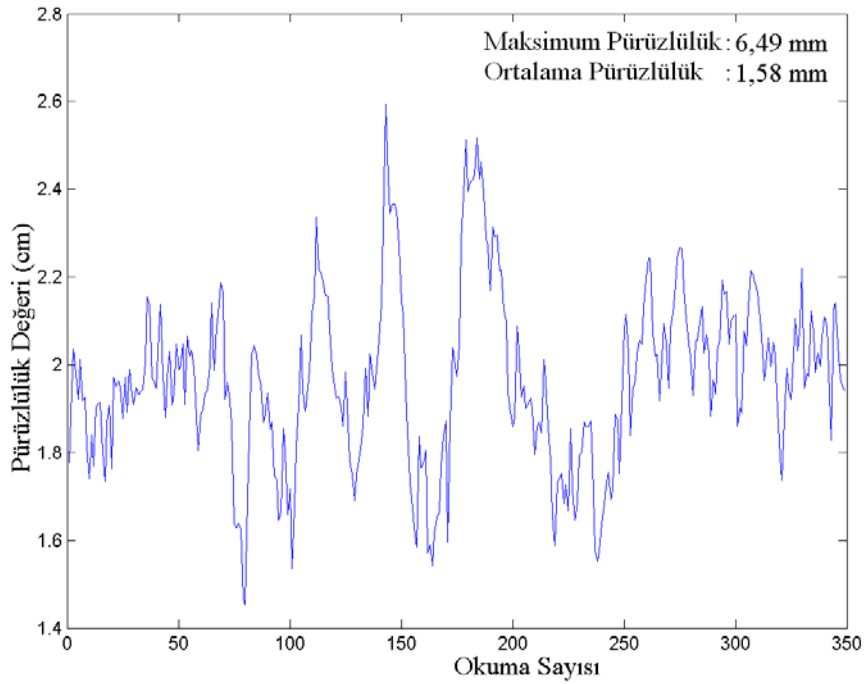
Şekil 5.19 Toz numune yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



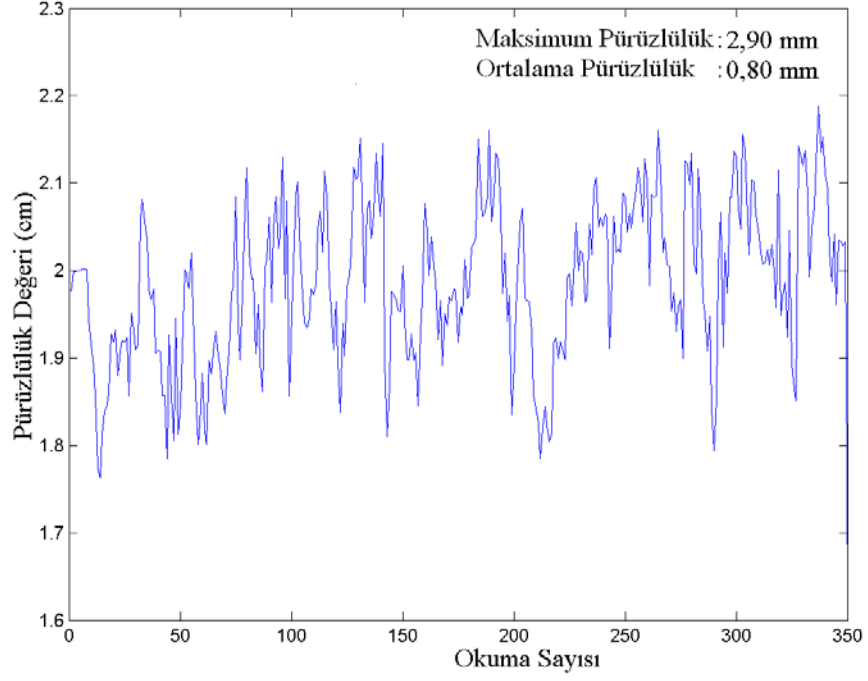
Şekil 5.20 Toz numune yüzeyli, lastiğin geçmediği asfalt numunenin pürüzlülüğü



Şekil 5.21 Toz numune yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



Şekil 5.22 Toz numune yüzeyli, lastiğin az geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü



Şekil 5.23 Toz numune yüzeyli, lastiğin fazla geçtiği asfalt numunenin pürüzlülüğü

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2006 yılı güz döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Mayıs 2007'de Ordu Bayındırlık ve İskan Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.