

# Pürüzlendirme Uygulamasının Kaplama Yüzeyi Makro Dokusu Üzerine Olan Etkisinin Araştırılması

İslam Gökalp<sup>1</sup>, Volkan Emre Uz<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Seyhan, Adana, +90 322 455 00 00

vemreuz@adanabtu.edu.tr

\*İletişimden sorumlu yazar/Corresponding author

GelişRecieved: 6 Ocak (January) 2017

Kabul/Accepted: 27 Nisan (April) 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.18466/cbayarfbe.320010>

## Özet

Türkiye Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ), taş mastik asfalt (TMA) ve asfalt betonu (AB) tabakalarında yüksek cilalanma direncine sahip (PSV $\geq$ 50) agregaların kullanılmasını zorunlu kılmıştır. 2013 yılında, KTŞ'de yüksek cilalanma direncine sahip agregaların temininde yaşanan zorluklardan dolayı belirli bölgeler için ayrıcalık tanınmış ve yukarıda belirtilen kaplama tabakaların inşaatında PSV $\geq$ 40 değerine sahip agregaların kullanımına izin vermiştir. Ancak bu durumda, 1-3 mm boyutuna sahip magmatik agregalar ile kaplama üzerinde yüksek kayma direncine sahip yüzey elde etmek için pürüzlendirme uygulama yapılması zorunlu tutulmuştur. Bu uygulamada, pürüzlendirme malzemesi 1,5-2 kg/m<sup>2</sup> olacak şekilde sıcak karışım üzerine birinci ve ikinci silindiraj arasında uygulanması istenmiştir. Ancak, KTŞ'de farklı yüzey dokularına sahip TMA ve AB kaplama tabakaları için de aynı uygulama önerilmektedir. Bu çalışmada, farklı oranlarda serpm miktarının (1,75, 2,50 kg/m<sup>2</sup>) ve agrega boyutunun (1-3, 2-5 mm) kaplama makro dokusuna olan etkisi araştırılmıştır. Dere malzemesi ve metal cürufu gibi farklı agrega türlerinin kullanılabilirliği de ayrıca incelenmiştir. Tüm agregaların özellikleri belirlenmiş ve KTŞ limitleri ile karşılaştırılmıştır. TMA ve AB yüzey dokusunu temsilen, Tip-II ve Tip-III harç tipi kaplamalar kullanılmıştır. Sonuç olarak, pürüzlendirme uygulamasının kaplama makro dokusunda belirgin değişikliklere yol açtığı ve bu değişim oranının kullanılan agrega türüne, uygulama miktarına ve boyutuna bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler** – Agrega, Cüruf, Makro Doku, Pürüzlendirme, Üstyapı.

## Investigation of the Effect of Gritting Application on Pavement Surface Macro Texture

### Abstract

Turkey Highway Technical Specification (HTS) entails utilization of high polishing resistant aggregates (PSV $\geq$ 50) in stone mastic asphalt (SMA) and asphalt concrete (AC) layers. In 2013, HTS privileged the regions, where difficulties is encountered in high polishing resistant aggregate supplying, permitted to construct such hot mix layers with aggregates which have PSV $\geq$  40. But in this case the surface must be gritted by 1-3 mm igneous aggregate to obtain high skid resistant surface. In this application, it is necessitate applying gritting material in 1.5-2 kg/m<sup>2</sup> over the surface between the first and second rolling passes. Same gritting method is suggested in HTS over both AC and SMA layers which may have different surface textures. The aim of this study is to investigate the effect of various gritting spreading rates (1.75; 2.50 kg/m<sup>2</sup>) and aggregate sizes (1-3; 2-5 mm) on pavement macro texture. Usability of different aggregate types such as boulder and metallurgical slags are also examined. All aggregate features were determined and compared with the requirements in HTS. Slurry seals in Type II and III were used to simulate the surface textures of AC and SMA layers. The results showed that gritting

application leads to significant changes in macro texture of pavement, and it was observed that the rate of this change varies depending on the aggregate type, application rate and size.

**Keywords** – Aggregate, Gritting, Macro texture, Pavement, Slag,

## 1 Giriş

Türkiye Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ), magmatik kökenli agregaya temin edilememesi veya yola mesafesinin magmatik kökenli ocaktan en az 100 km daha az olması koşuluyla, Karayolları 11. ve 13. Bölge Müdürlükleri (Van ve Antalya) sınırları içerisinde, cilalanma değeri en az 40 olan diğer kökenden agregaların idarenin onayı ile kullanılabilceği vurgulanmıştır. Bu durumda, kaymaya karşı direnci artırmak için kaba agregaya için verilen kriterleri sağlayan ve cilalanma değeri (PSV) en az 50 olan 1-3 mm boyutlarında magmatik kökenli kayaların, pürüzlendirme amacıyla uygulanması gerekli kılınmıştır. Pürüzlendirme uygulaması, aşınma tabakasında istenilen cilalanma değerinde agregaların temininin oldukça zor ve maliyetli olması gibi zorunlu sebeplerden dolayı, KTŞ'de kendisine yer bulmuştur. Pürüzlendirme uygulamasının detayları incelendiğinde, cilalanma değeri minimum 50 olan tek tip (magmatik kayalık kökenli) tek boyut (1-3 mm) ve miktarda (1,5-2,0 kg /m<sup>2</sup>) agreganın pürüzlendirme malzemesi olarak kullanılabilceği görülecektir [1].

Ülkemizde pürüzlendirme uygulaması ile ilgili uygulama tecrübesine henüz sahip olunmadığından, malzemenin uygulanma şekli, zamanı, miktar ve boyut özelliklerinin kaplama performansına olan etkileri bilinmemektedir. Ayrıca, KTŞ'de AB ve TMA tabakalarında kullanılması tavsiye edilen pürüzlendirme uygulamalarında herhangi bir farklılık görülmemektedir. İki farklı sıcak karışım uygulamasında (AB ve TMA) kullanılan agregaya gradasyonları dolayısıyla elde edilecek yüzey dokularının farklı olacağı düşünüldüğünde her iki tür kaplama içinde aynı pürüzlendirme uygulama yöntemini seçmek doğru bir yaklaşım olmayabilir. Oysa dünyadaki uygulamalara bakıldığında, örneğin Almanya'da üst yapı aşınma tabakasında yapılan pürüzlendirme uygulaması KTŞ'de belirtilen tek tip agregaya, tür, boyutu ve miktarı kullanımından farklı olarak; farklı agregaya boyutlarının farklı miktarlarda ve farklı gradasyonlarda ve farklı uygulama koşullarında yapıldığı görülecektir. Bu çalışmada, KTŞ'ye yeni giren pürüzlendirme uy-

gulamasında kullanılacak olan agreganın tane boyutu dağılımı ve uygulama miktarı ile yüzey doku derinliğinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu bağlamda, AB ve TMA yüzey makro dokusunu temsil eden harç tipi kaplama numuneleri (Tip-II ve Tip-III) üretilmiş ve bu numuneler üzerinde farklı tane boyutlarında farklı malzemeler farklı miktarlarda uygulanarak pürüzlendirme işlemi yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan her bir agreganın fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri ilgili standartlara göre belirlenmiştir. Hem harç tipi kaplamalar üzerinde hem de pürüzlendirme yapılmış yüzeylerde makro doku ölçümleri iki farklı yöntemle, kum yama ve akış zaman ölçer, tayin edilmiştir. Kaplama numuneleri üzerine pürüzlendirme öncesi ve sonrası uygulanan bu iki farklı yöntem ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve pürüzlendirme uygulamasının kaplama makro dokusuna olan etkisi ortaya konmuştur.

## 2 Önceki Çalışmalar

Üstyapılarda, hem aşınma hem de alt tabakalarda kullanılan malzemelerin ağırlıkça %90-95 ve hacimce %85-90 kadarını agregalar oluşturmaktadır. Agregalar, inşaat alanına yakın ve uygun agregaya ocaklarından veya doğal agregaya kaynaklarından temin edilmektedir. İnşaa edilecek yeni yollarda, yenilenecek eski yollarda veya bakım onarıma ihtiyaç duyan mevcut yollarda kullanılmak üzere agregaya olan ihtiyacın her geçen gün arttığı görülecektir. Yol üst yapı kaplama tabakalarında kullanılacak olan agregaların: trafik yükleri altında cilalanma, kırılma ve aşınmaya, aynı zamanda mevsimsel ve kimyasal etkilerin ayrıştırıcı etkisine karşı dirençli; bağlayıcı ile güçlü bir adezyona ve uygun biçimsel (boyut, şekil ve yüzey yapısı) özelliklere sahip olması gerekmektedir [2-4]. Aşınma tabakası, gerek trafik yüklerine gerekse çevresel koşullara en fazla maruz kalan yol kaplama tabakasıdır. Bu tür tabakalarda kullanılması düşünülen agregaların, diğer yol tabakalarında kullanılabilcek agregalara oranla daha üstün özelliklere sahip olması istenir. Özellikle son yıllarda yol yapım maliyetleri yükselmesi, yol yeniden yapım, bakım ve onarım için gereken agregaya kaynakla-

rın giderek azalması araştırmacıları [5-9] daha az maliyet gerektirecek olan yeni yöntemler ve alternatif malzemeler bulmaya yönlendirmiştir. Endüstriyel üretim aşamalarında veya sonrasında büyük miktarlarda atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Üretim sonrasında çok büyük miktarlarda atığın çıktığı sektörlerinin başında, demir-çelik sektörü gelmektedir. Ülkemiz, yılda yaklaşık 35 milyon ton demir çelik üretiminin olduğu bilinmektedir. Demir-çelik sektöründe toplam üretim miktarının % 10-15'i cüruf olarak ortaya çıktığı ön görüldüğünde, her yıl 4,5 milyon ton cürufun oluştuğu görülecektir. Ülkemizde, cürufun; stabilize yol malzemesi, asfalt ve beton üretiminde agrega ve dolgu malzemesi olarak kullanılmasının uygun olacağı yapılan araştırmalarda görülmektedir. Cürufun doğal agregalara kıyasla, fiziksel ve mekanik özellikler açısından üstünlükleri, yoğunlukları, aşınmaya karşı yüksek dirençleri, drenaja uygun fiziksel yapıları sayesinde üstyapı tabakalarında kullanılması ile üstyapıda daha yüksek stabiliteye, kayma direncine ve daha düşük deformasyonlara sahip bir yapının oluşturulması mümkündür [3, 10].

Karayolu trafik güvenliği kavramı, karayolunu kullanan unsurların herhangi bir kaza ile karşılaşmadan güvenli bir şekilde erişim eylemlerini yerine getirebilmeleri için gerekli koşulların ve kuralların amaca uygun bir şekilde düzenlenmesi olarak tanımlanabilir. Trafik kazalarını etkileyen faktörler genel olarak insan, taşıt ve yol özellikleridir. İstatistikler, trafik kazalarında insan unsurunun en etkili faktör olduğunu ortaya koysa da, yol yüzey özelliklerinin (doku ve drenaj gibi) etkileri de göz ardı edilmemelidir. Bir yol kaplamasından iki temel yüzey fonksiyonunu yerine getirmesi beklenir. Bunlar, (1) taşıtlar için düzgün yüzeyler sağlayarak sürüş konforunu artırması ve taşıt işletme giderlerini azaltmasıdır; (2) tekrarlanan trafik yüklerinin ve iklim koşullarının yaratacağı aşınma ve deformasyonlara karşı yeterince dirençli, sürüş emniyeti için kayma direnci yüksek bir yüzey sağlamasıdır. Trafik kazalarına etki eden en önemli yol özelliği kaplama tabakasının kayma direncidir. Kayma direnci, lastiğin yol yüzeyinde dönmesini engelleyen kaymaya karşı direnç kuvveti olarak tanımlanır. Farklı hava koşullarında, tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında yeterli aderans sağlanmalı, yol yüzeyi sürücünün fren tedbirine baş-

vurduğu zamanlarda güvenle durmasını mümkün kılmalıdır. Çok uzun yıllardan beri kaplama kayma direnci ile kaza oluşumu arasındaki ilişkiye odaklanmış araştırmalar yürütülmektedir. Yapılan çalışmalar kaza oluşumunu azaltmak ve trafik güvenliğinin artırılması için en önemli yol yüzey özelliğinin kaplama kayma direnci olduğunu doğrulamaktadır [11-13].

Yüzey dokusu, kaplamanın işlevsel kalitesi ve trafik güvenliği üzerinde önemli etkiye sahip karakteristik bir yol özelliğidir. Kaplama yüzey dokusu üstyapının fonksiyonel kalitesi ve trafik güvenliği üzerinde oldukça etkili bir parametredir. Kaplama yüzey dokusu, agrega mineralojisi, agrega boyutu ve gradasyonu, yüzey boşlukları, yol kaplaması inşa teknikleri ve yüzey aşınmasına bağlıdır [4, 14-17]. Yeni imal edilmiş AB ve TMA tipi kaplamalarda yüzey doku derinliği 0,6 ile 1,2 mm aralığında değişirken, sathi ve harç tipi kaplamalarda bu değişim 0,6 ile 10,5 mm aralığında olmaktadır. Poroz (açık gradasyona sahip sıcak karışım) asfalt aşınma tabakasında ise yüzey doku derinliği 1,5 ile 3,5 mm arasında değişmektedir [14, 16]. Türkiye KTŞ'sinde kalite kontrol çalışmalarında, yeni imal edilmiş AB ve TMA tipi sıcak asfalt karışımlarının yüzey makro dokularının en az 1 mm olması şart koşulmuştur. Kaplama yüzey dokusu, periyodik ve tekrarlanan düşey sapmalar arasındaki minimum mesafeye bağlı olarak mikro, makro, mega doku ve düzgünlük olmak üzere dört ana kategoriye ayrılır. Mikro doku, yatay yönde dalga boyu (frekans) 0,5 mm'den küçük ve düşey büyüklüğü (şiddet) 0,2 mm'den az olan sapmaları ifade eder ve agrega tanelerinin yüzey dokusu tarafından kontrol edilir. Makro doku, frekansı 0,5 mm ile 50 mm ve şiddeti 0,1 mm ile 20 mm arasında değişen dokudur ve agrega boyutları ve aralarındaki boşluklar tarafından kontrol edilir. Mega doku, 50 mm ile 5000 mm frekansa ve 0,1 mm ile 50 mm arasında değişen şiddete sahip sapmalardır ve yol yüzeyindeki büyük ölçekli bozulmaların ve kusurların oluşturduğu dokudur. Düzgünlük ise 500 mm'den büyük dalga boylarını belirtmek için kullanılır [15, 18, 19].

Yol yüzey dokularından olan makro doku, agrega tanelerinin yerleşimi sırasında oluşan agregalar arası boşlukların meydana getirdiği doku olarak bilinmektedir. Makro doku azaldıkça tekerleğin altındaki

sular drene olmayıp sürtünme kuvveti azalmakta ve hidroplan etkisi artmaktadır [18, 20-23]. Ağır taşıt trafiğinin etkisi ile kaplamalarda kalıcı deformasyonların oluşması [24-26], agrega gradasyonunun yanlış seçilmesi, bağlayıcı miktarının gerekenden fazla kullanılması makro dokunun azalmasına neden olmaktadır [15, 27]. Agrega tanelerinin gözenek yapısı ve pürüzlülüğü ise mikro dokuyu oluşturur [20, 28].

Özellikle kaplama tabakasında kullanılan agregaların trafiğin aşındırma etkisi ile dane yüzey pürüzlülüğü giderek cilalı bir hal almakta ve kaplamanın kayma direnci azalarak sürüş emniyetini tehlikeye sokmaktadır. Kaplama yüzey makro-dokusu ölçümünde kullanılan metotları üç ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar hacimsel test metotları, profil metreler ve görüntüleme metotlarıdır. Bu çalışma kapsamında makro doku ölçümleri hacimsel test metotları ile yapılmıştır. Makro doku ölçümünde iki farklı testten yararlanılmıştır. Bunlar; kum yama ve akış-zaman ölçer testleridir. Kum yama yönteminde hacmi bilinen ve belli gradasyondaki kum veya cam dairesel olarak kaplama üzerine yayılır ve yayılma çapı ölçülür daha sonra hesaplama ile kaplama yüzeyinin ortalama doku derinliği tayin edilir. Akış-zaman ölçer metodunda belirli bir hacimdeki suyun özelleştirilmiş silindir içerisinden kaplama yüzeyi üzerinde akması için geçen süre ölçülmekte ve bu süreden yola çıkılarak kaplamanın ortalama doku derinliği tahmin edilmektedir. Hacimsel test metotları kullanımlarının basit, düşük maliyetleri ve taşınabilir olmalarından dolayı en çok tercih edilen metotlardır [15, 16, 18, 22, 27-29].

### 3 Materyal ve Metot

#### 3.1 Materyal

Laboratuvar ortamında üretilen kaplamalar, agrega ve bitümlü bağlayıcılardan meydana gelmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, kullanılan agregalar ve bitümlü bağlayıcılar anlatılacaktır.

Bu çalışma kapsamında doğal kayalar ve endüstriyel yan ürünlerden oluşan toplam beş çeşit agrega kullanılmıştır. Agregalar, Türkiye'nin Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde hizmet veren agrega ocakları, demir çelik işletmeleri veya cüruf depolama sahalarından temin edilmiştir. KTŞ'de pürüzlendirme uygulaması için sadece cilalanma

değeri yüksek olan magmatik kökenli kayaların kullanılması şart koşulmuştur. Yüksek cilalanma değerine sahip bir dere agregası ve metal cürufları bu çalışma kapsamında geniş bir spektrumda sonuç elde etmek için kullanılmıştır. Yol üst yapısında kullanılacak olan agregalarda bir takım özellikler aranmaktadır. Aranılan bu özelliklerin tayin edilebilmesi için agregalara bir dizi test uygulanmaktadır. Bunlar; aşınma direnci tayini için Micro-Deval testi (A) parçalanma direnci tayini için Los-Angeles testi (B) ısıl bozulma direnci tayini için MgSO<sub>4</sub> solüsyonu çevrimi (C) cilalanma direnci tayini için hızlandırılmış parlatma testi (D), kuru birim hacim ağırlık (E) ve su emme yüzdesi tayini (F) testleridir. Belirtilen tüm testler, KTŞ tanımlanan TS EN standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan agregaların malzeme özelliklerini tam olarak ortaya koyabilmek için kimyasal bileşenlerini tanımlamak önemlidir. Bu nedenle, X-ray floresan (XRF) kimyasal element analizi yapılmıştır. İki tekrar olarak yapılan testlerden elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Agregaların fiziksel, mekanik özellikleri

Numune Kodu (NK)	Fiziksel ve Mekanik Özellikler					
	A (%)	B (%)	C (%)	D (PSV)	E (g/cm <sup>3</sup> )	F (%)
KT	10,6	24,4	2,4	41,2	2,67	0,44
BZ	10,4	12,0	6,9	61,0	2,61	2,00
DR	11,3	17,5	6,2	57,9	2,73	0,90
EAF	8,8	25,3	8,3	59,0	3,39	2,46
FER	7,6	16,5	6,1	61,7	2,93	1,10

KT: Kireç Taşı, BZ: Bazalt, DR: Dere Malzemesi, EAF: Elektrik Ark Fırın Cürufu, FER: Ferrokrom Cürufu

Harç tipi kaplamaların üretilmesinde, genellikle, emülsiyon kullanılır. Bu çalışma kapsamında üretilen her bir harç tipi kaplamada bağlayıcı olarak CRS-2 ile kodlanan, çabuk kesilen katyonik emülsiyon kullanılmıştır. Emülsiyonun reçetesi Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 2.** Agregaların kimyasal bileşenleri

NK	Kimyasal Birleşenler (mg/kg)					
	CaO	CO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
KT	47,6	47,0	0,4	1,4	0,6	0,5
BZ	8,5	5,6	7,4	49,9	18,1	3,3

DR	31,0	28,9	4,7	22,7	5,6	4,0
EAF	21,8	37,9	15,4	10,3	4,5	2,5
FER	4,5	22,0	1,4	23,8	14,9	28,3
KT: Kireç Taşı, BZ: Bazalt, DR: Dere Malzemesi, EAF: Elektrik Ark Fırın Cürufu, FER: Ferrokrom Cürufu						

**Çizelge 3.** Emülsiyon Reçetesi

Malzemeler	Tür	Miktar (kg)
Bitüm	50/70	710
Su	Su	290
Çözelti	Emülgator (Redicote Em 22/44)	1
	Emülgator (RC-406)	2
	HCl	2
	CaCl <sub>2</sub>	1
	Katı	2

**3.2 Harç tipi kaplama üretim metodu**

Harç tipi kaplamalar, asfalt emülsiyonunun, gradasyonlu ince agreganın, mineral fillerin, suyun ve diğer katkı maddelerinin karışımı ile imal edilir. Harç tipi kaplama numunelerinin tasarımında, ASTM D 3910 standardı kullanılmıştır. Çizelge 4'te harç tipi kaplama için kullanılan agrega gradasyonları ve oranları verilmiştir. Harç tipi kaplamalar için kullanılması önerilen agrega miktarları Tip-II ve Tip-III için sırasıyla 8±1, 10±1,5 kg/m<sup>2</sup> dir ve 0,025 m<sup>2</sup> plaka için Tip-II ve Tip-III gradasyonlarda toplamda 200 ve 250 g doğal agrega kullanılmıştır.

**Çizelge 4.** Agrega gradasyonları

Elek Çapı (mm)	Harç Tipi Kaplamalar	
	Geçen %	
	Tip-II	Tip-III
9,50	100	100
4,75	95	80
2,36	77,5	57,5
1,18	57,5	39
0,60	40	26,5
0,30	24	18,5
0,15	15,5	10,5
0,075	10	10

Emülsiyon uygulama oranı, kuru agrega ağırlık yüzdesi ile harç tipi kaplama türüne bağlı olarak ASTM

D 3910 standardında tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak, her bir harç tipi kaplama türü için tavsiye edilen miktarlar kuru agrega miktarı yüzdesi oranı olarak belirlenmiştir. Bu oranlar; Tip-II için %7,5-13,5 ve Tip-III için %6,5-12 olarak standartta tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında tüm harç tipi kaplama örnekleri için agrega karışımına eklenen emülsiyon miktarı üst limit değerinden uygulanmıştır. Harç tipi kaplama numuneleri üretebilmek için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- 1) Herhangi bir yapışma problemini önlemek için plaka astarlanır,
- 2) Agrega ve bitüm miktarı tartılır,
- 3) Emülsiyonun 60 °C' de 1 saat su havuzunda şartlandırılır,
- 4) Agregalar metal bir kutu içinde püskürtücü (sprey) ile ıslatılır,
- 5) Agrega ve bitüm metal bir kutu içinde karıştırılır,
- 6) Hazırlanan karışım astarlanmış plaka üzerine yayılır,
- 7) Numune her iki yönden (Kuzey-Güney ve Batı-Doğu yönünde) üç pas olacak şekilde silindirler,
- 8) Numuneler 24 saat oda sıcaklığında kür edilir.

Yukarıda belirtilen basamaklar takip edilerek sekiz adet Tip II ve sekiz adet Tip III olmak üzere KT kodlu kireç taşı kullanılarak toplamda 16 adet harç tipi kaplama numunesi hazırlanmıştır.

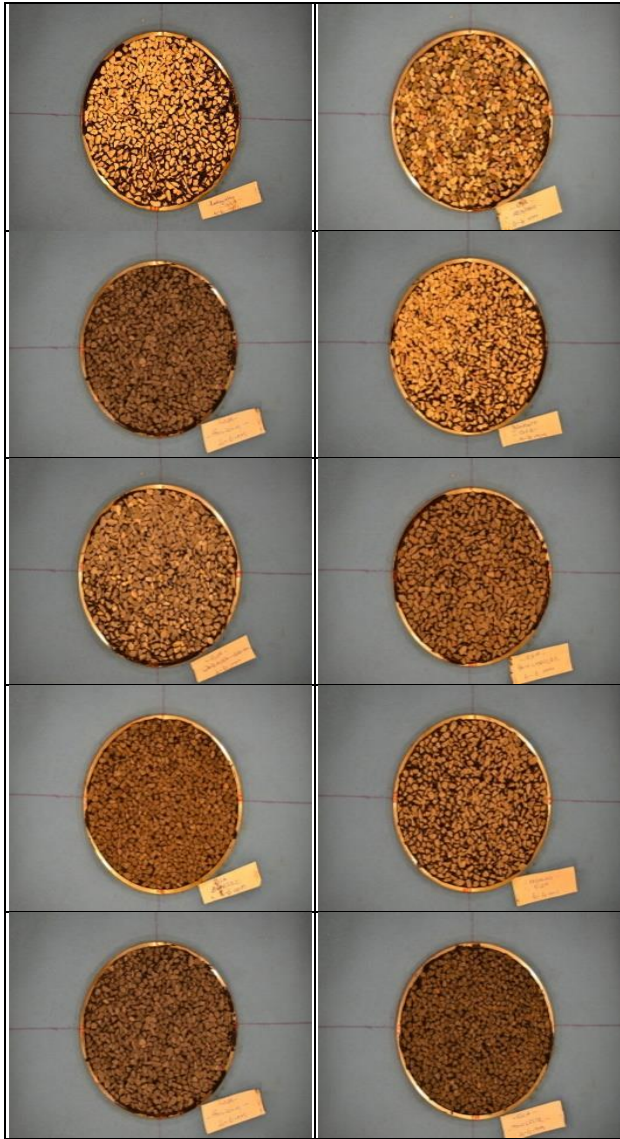
**3.3 Pürüzlendirme uygulaması metodu**

Çalışma kapsamında kullanılacak değişkenler ve seviyeleri Çizelge 5'te verilmiştir. Temin edilen agregalar 1-3 mm ve 2-5 mm aralığında olmak üzere farklı boyutlarda ayrıştırılmıştır. Üretimi tamamlanmış harç tipi kaplama numuneleri üzerinde yapılan pürüzlendirme uygulaması için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir. Pürüzlendirme yapılmış deney numunelerine ait bazı görseller Şekil 1'de verilmiştir.

- 1) Makro doku ölçümüne tabi tutulan numuneler, üzerinde herhangi bir kum taneciği ve su kalmayacak şekilde temizlenir ve kurutulur.
- 2) Kurutulan ve temizlenen numuneler, 140 °C'de bitüm etüvünde ısıtılmaya bırakılır.
- 3) Eş zamanlı olarak, pürüzlendirme için ayrıştır-

rılmış ve tartılmış malzemeler, agrega etivünde 110 °C'de ısıtılır.

- 4) Bitüm etivünde çıkarılan sıcak numuneler üzerinde, pürüzlendirme işleminde kullanılan sıcak agregalar homojen ve tüm numune yüzeyini kaplayacak şekilde serpilir.
- 5) Pürüzlendirme numunelerinin serpilmesinden sonra kauçuk bantlı silindir ile Kuzey-Güney ve Batı-Doğu yönünde üçer pas yapılır.
- 6) Kürünü alması için oda sıcaklığında 1 gün süre ile bekletilir. Kür işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde, makro doku ölçümleri yapılır.



Şekil 1. Pürüzlendirilmiş harç tipi kaplama numuneleri

Çizelge 5. Pürüzlendirme malzemesi değişken ve seviyeleri

Değişken	Seviye
Agrega Türü	Bazalt, Dere malzemesi, EAF ve FER çürüfları
Agrega Boyutu (mm)	1-3; 2-5
Uygulama Miktarı, UM (kg/m <sup>2</sup> )	1,75; 2,50

### 3.4 Kaplama doku derinliği ölçüm metotları

Deney numunelerinin makro doku derinliklerinin belirlenmesi için iki standart test yöntemi kullanılmıştır. Bunlar; Kum yama ve akış-zaman ölçer test metotlarıdır.

#### 3.4.1 Kum yama testi

Kum yama testi, kaplama yüzeylerinin makro doku larını belirlemede en çok bilinen ve kullanılan metottur. Bu testin uygulaması, farklı kurumlar ve enstitüler tarafından yayımlanan standartlara göre değişmektedir. Bu test metodu, ASTM E 965-96 standardı takip edilerek yapılmıştır. Kum yama deney yönteminde standart dane boyutuna (300 µm elekten geçen ve 150µm eleğin üzerinde kalan) sahip ve belirli hacimdeki kum, silindir şeklindeki kauçuk bir tokmak yardımıyla kaplama yüzeyine daire oluşturacak şekilde yayılır ve bir pergel ile bir cetvel yardımıyla farklı açılarda daire çapı okunur ve ortalamaları alınır. Kum hacmi daire alanına bölünerek kaplamanın ortalama doku derinliği hesaplanır.

Testin, laboratuvarında hazırlanan numuneler üzerinde uygulanma sırası şu şekildedir: İlk olarak temiz yüzey üzerine önceden belirlenen miktarda kum dökülür ve kum yayıcı tokmak ile dairesel hareketlerle dağıtılır. Bu dağıtma hareketleri dairenin çapı sabitleninceye ve kum tanecikleri boşlukları tamamen doldurana kadar devam eder ve yüzeyde en yüksek noktalar görünene kadar yayıma devam edilir. Bu süreçten sonra dairenin çapı eşit aralıklı olacak şekilde dört yönden ölçülür. En sonunda dört okumanın ortalaması belirlenir ve ortalama doku derinliği aşağıdaki eşitlik (3.1) kullanılarak hesaplanır.

$$H = \frac{(4V)}{nD^2} \quad (3.1)$$

Burada, H: Ortalama doku derinliği; D: Ortalama yama çapı; V: Kum hacmidir.

### 3.4.2 Akış-Zaman Ölçer Testi

Bu test metodu, ASTM E 2380 standardı takip edilerek yapılmıştır. Bu test, yer çekimi kuvveti altında bilinen bir miktarda suyun, yapının kaplama dokusu içindeki boşluklar boyunca ne kadar sürede kaçacağını gösteren özel bir cihaz ile uygulanır. Cihazın ana gövdesi su ihtiva eden dikey bir cam silindiridir. Silindirin üstü açıktır tabanda ise çevresi kauçuk bir conta ile kaplanmış tahliye kapağı vardır. Kapak yaylı bir düzenek ile operatör tarafından kontrol edilir. Üst ve alt şamandıra kapakta asılı şekilde silindirin içine dikey olarak monte edilmiştir. Cihazda şamandıralar tarafından tetiklenen 0,01 hassasiyetli elektronik zamanlayıcı bulunmaktadır. Cihazın bu özelliği daha doğru ve hassas sonuçlar almaya yarar.

Bu metod ile doku derinliği tahmin etme yöntemi özetle şöyledir: Cihaz su deşarj kapağı kapalı bir şekilde ile numunenin üzerine yerleştirilir; Üst şamandıra seviyesinin üzerine çıkacak miktarda su, akış ölçere koyulur; Zamanlayıcı sıfırlanır ve suyun deşarj olması için piston kaldırılır; Su kaplama boşluklarından aktıkça, silindirdeki su seviyesi üst şamandırayı geçerek elektronik zamanlayıcıyı tetikler ve sayaç çalışır. Su seviyesi alt şamandıra seviyesini geçtiğinde alt şamandıra zamanlayıcıyı tetikler ve sayaç durur. Su seviyesinin üst şamandıra anahtarı seviyesinden alt şamandıra anahtarı seviyesine düşmesi için gereken zaman, zamanlayıcının üzerinde belirir.

Testin tekrarlı uygulanması daha doğru sonuçların alınmasını sağlar. Testler minimum dört kez tekrar edilerek uygulanmış ve test sonucu ölçümlerin aritmetik ortalaması, olarak alınmıştır. Sonuç olarak, ortalama doku derinliği aşağıdaki eşitliğe (3.2) göre hesaplanır.

$$H = (3,114/OFT) + 0.636 \quad (3.2)$$

Burada, OFT Ortalama akış süresidir.

Laboratuvar ortamında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan kum yama ve akış ölçer testlerine ait görseller Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Akış-zaman ölçer ve Kum yama testi

## 4 Bulgular ve Tartışma

### 4.1 Pürüzlendirme İşlemi Uygulanmamış Harç Tipi Kaplamaların Yüzey Makro Doku Ölçümleri

Bu çalışmada, KTS'ye yeni giren "Pürüzlendirme Uygulamasında" kullanılacak olan agreganın tane boyutu dağılımı ve uygulama miktarı ile yüzey doku derinliğinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuvar ortamında standart boyutlara sahip kaplarda, AB ve TMA yüzey dokusunu derinlik bakımından temsil eden harç tipi kaplama numuneleri (Tip-II ve Tip-III) üretilmiş ve bu temsili numuneler üzerinde pürüzlendirme uygulamaları yapılmıştır. Kaplamaların makro doku ölçümleri iki farklı yöntemle (Kum yama, KY ve Akış zaman ölçer, AÖ), hem harç tipi kaplamalar üzerinde hem de pürüzlendirme yapılmış harç tipi kaplamalar üzerinde tayin edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, üretilen harç tipi kaplama numuneleri üzerinde yapılan makro doku ölçümler sonuçları, ortalama değerleri (Ort.) ve standart sapmaları (δ) Çizelge 6'da verilmiştir.

### 4.2 Pürüzlendirme İşlemi Uygulanmış Harç Tipi Kaplamaların Yüzey Makro Doku Ölçümleri

Makro doku ölçümleri yapılan Tip-II ve Tip-III harç tipi kaplama numuneleri üzerinde 4 çeşit (BZ, FER, DM ve EAF) pürüzlendirme malzemesi (PM) olarak agrega kullanılarak, pürüzlendirme uygulaması yapılmıştır. Harç tipi kaplamalarda Tip II için 1-3 mm malzeme pürüzlendirme için kullanılırken, Tip

III için bu malzeme boyutu 2-5 mm olan malzeme kullanılmıştır. Pürüzlendirme uygulaması yapılmış harç tipi kaplama numuneleri üzerinde yapılan makro doku ölçüm sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

**Çizelge 6.** Pürüzlendirme uygulanmamış yüzeylerin makro doku ölçümleri (mm)

No	Tip-II		No	Tip-III	
	KY	AÖ		KY	AÖ
1	0,86	1,08	9	1,06	1,37
2	0,64	0,82	10	0,76	1,06
3	0,70	0,81	11	0,92	1,05
4	0,77	0,84	12	1,03	0,94
5	0,82	1,11	13	0,97	1,24
6	0,74	1,07	14	1,45	1,51
7	1,02	1,31	15	2,18	2,07
8	0,97	0,91	16	1,59	1,71
<b>Ort.</b>	<b>0,82</b>	<b>0,99</b>	<b>Ort.</b>	<b>1,25</b>	<b>1,37</b>
<b>δ</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>δ</b>	<b>0,47</b>	<b>0,38</b>

**Çizelge 7.** Pürüzlendirme uygulanmış yüzeylerin makro doku ölçümleri (mm)

No	Tip-II		No	Tip-III		PM
	KY	AÖ		KY	AÖ	
1	1,01	0,94	9	1,51	1,41	BZ <sup>1</sup>
2	1,56	1,19	10	2,18	1,68	BZ <sup>2</sup>
3	0,99	0,87	11	1,33	1,26	FER <sup>1</sup>
4	1,80	1,35	12	2,38	1,54	FER <sup>2</sup>
5	1,56	1,34	13	2,51	1,87	EAF <sup>1</sup>
6	1,13	1,32	14	1,91	1,31	EAF <sup>2</sup>
7	1,37	1,50	15	2,21	2,07	DR <sup>1</sup>
8	1,05	1,09	16	1,73	1,56	DR <sup>2</sup>
<b>Ort.</b>	<b>1,31</b>	<b>1,20</b>	<b>Ort.</b>	<b>1,97</b>	<b>1,59</b>	-
<b>δ</b>	<b>0,31</b>	<b>0,22</b>	<b>δ</b>	<b>0,42</b>	<b>0,28</b>	-

<sup>1</sup>1,75; <sup>2</sup> 2,5 (kg/m<sup>2</sup>)

Laboratuvar ortamında üretilen harç tipi kaplamalar ile bu kaplamaların pürüzlendirilmiş durumları arasında ortaya çıkan yüzey makro doku farklılıklarını yüzdesel olarak ortaya koymak amacıyla Çizelge 8 hazırlanmıştır.

**Çizelge 8.** Makro doku ölçümleri yüzdesel fark sonuçları

No	Tip-II		No	Tip-III		PM
	KY	AÖ		KY	AÖ	
1	17,2	13,2	9	42,8	3,1	BZ <sup>1</sup>
2	143,7	44,8	10	187,6	59,5	BZ <sup>2</sup>
3	42,0	7,7	11	44,7	19,9	FER <sup>1</sup>
4	135,8	62,0	12	131,4	64,4	FER <sup>2</sup>
5	90,6	20,3	13	159,5	51,3	EAF <sup>1</sup>

6	53,5	23,2	14	31,0	13,2	EAF <sup>2</sup>
7	34,6	15,1	15	1,4	0,1	DR <sup>1</sup>
8	8,9	19,4	16	8,6	8,8	DR <sup>2</sup>

<sup>1</sup>1,75; <sup>2</sup> 2,5 (kg/m<sup>2</sup>)

Çizelge 8'de verilen yüzdesel değişimler incelendiğinde, en yüksek makro doku farkı % 187,6 ile 10 numaralı Tip III harç tipi kaplamanın pürüzlendirilmesinin bazalt ile 2,5 kg/m<sup>2</sup> uygulama miktarında KY testi yapılmasıyla elde edildiği görülecektir. Bu kaplama üzerindeki akış ölçer test yönteminde var olan farklılık yüzdesi ise % 59,5 olarak belirlemiştir. Diğer yandan, en düşük makro doku derinlik farkı ise % 1,4 ile EAF cürufundan üretilmiş Tip III harç tipi kaplamanın DR kodlu dere malzemesi ile 2,5 kg/m<sup>2</sup> uygulama miktarında yapılmasıyla elde edildiği görülecektir. Bu numunedeki akış ölçer test yönteminde var olan farklılık yüzdesi ise % 0,1 olarak belirlemiştir. Yine Çizelge 8'de verilen Tip II harç tipi kaplamalarına ait sonuçlara bakıldığında ise, en yüksek makro doku farklılık yüzdesi DR kodlu dere malzemesinin pürüzlendirilmesi ile (Kum yama: %135,8, Akış-ölçer: %62,0), en düşük makro doku farklılık yüzdesi FER kodlu Ferrokrom cürufunun pürüzlendirilmesi ile (Kum yama: %8,9, Akış ölçer: 19,4) elde edilmiştir.

Özet olarak, makro doku derinliklerinde önemli miktarda farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu farklılıkların kullanılan pürüzlendirme malzemesi türüne ve malzeme kullanım miktarına bağlı olduğu görülmektedir.

## 5 Sonuçlar

Bu çalışma, KTS'ye yeni giren pürüzlendirme uygulamasının kaplama makro dokusuna olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, düşük cilalanma değerine sahip (PSV≤50) olan kireçtaşı kullanılarak, AB ve TMA yüzey makro doku özelliklerini gösteren sathi kaplama numuneleri (Tip-II ve Tip-III) üretilmiştir. Pürüzlendirme için, KTS'de tanımlanan ve cilalanma değeri kriterini sağlayan magmatik kayaç türünden bazalt ve buna alternatif olabilecek yüksek cilalanma değerine sahip (PSV≥50) olan dere malzemesi ve EAF çeliği ve ferrokrom üretim sonrası atığı olan cürufur kullanılmıştır. Belirlenen bu pürüzlendirme malzemeleri farklı tane boyutu dağılımı ve uygulama miktarı ile kaplama yüzey yüzeylerine uygulan-



muş, yüzey doku derinlikleri standart hacimsel yöntemlerden olan kum yama ve akış ölçer deneyleri ile belirlenmiştir. Pürüzlendirme çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1) Yüzey dokusu, pürüzlendirme uygulamasında kullanılacak agrega türüne göre farklılık göstermekte ve bu farklılık, daha gözenekli bir yüzey yapısına sahip olan cüruf ve bazaltta daha fazla gözlenmektedir.
- 2) Yüzey dokusu, pürüzlendirme uygulamasında kullanılacak agrega boyutuna göre farklılık göstermekte, bu farklılık 2-5 mm boyutuna sahip pürüzlendirme malzemelerinde daha fazla gözlenmektedir.
- 3) Pürüzlendirme uygulamasında kullanılacak agrega serim miktarına göre yüzey makro dokusunun değişkenlik gösterdiği de görülmüştür. Bu farklılık genel olarak, 1,75 kg/m<sup>2</sup> serim oranına sahip pürüzlendirme yapılmış yüzey doku ölçümlerde, 2,50 kg/m<sup>2</sup> serim oranına sahip pürüzlendirme yapılmış yüzey doku ölçümlerine kıyasla daha az gözlenmiştir.
- 4) Farklı makro doku ölçüm yöntemleri sonuçları karşılaştırıldığında, akış ölçer test yöntemlerinde farklılıkların daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum, akış ölçer test yönteminin kum yama test yöntemine oranla daha az operatöre bağlı olması ile açıklanabilir.

## 6 Teşekkür

Bu çalışma, Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından MÜHDBF.İM.2014-14 numaralı proje ile desteklenmiştir. Destek ve yardımlardan dolayı BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz. Ayrıca, Karayolları Genel Müdürlüğü, 5. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliğine ve personellerine agregaların temininde sağladıkları desteklerden dolayı teşekkürü borç biliriz.

## 7 Kaynaklar

- [1] Karayolları Teknik Şirnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2013, 525,
- [2] Tutumluer, E., Pan, T. Aggregate morphology affecting strength and permanent deformation behavior of unbound

aggregate materials. Journal of materials in civil engineering, 2008; 20(9), 617-627.

- [3] Gökalp, İ., Uz, V.E., Saltan, M. Testing the abrasion resistance of aggregates including by-products by using Micro Deval apparatus with different standard test methods. Construction and Building Materials, 2016; 123, 1-7.
- [4] Uz, V.E., Gökalp, İ. The effect of aggregate type, size and polishing levels to skid resistance of chip seals. Materials and Structures, 2017; 50(2), 126.
- [5] Lim, J., Chew, L., Choong, T., Tezara, C., Yazdi, M. Utilizing steel slag in environmental application-An overview. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2016; 30(1), 012067.
- [6] Buzatu, T., Talpoş, E., Petrescu, M.I., Ghica, V.G., Iacob, G., Buzatu, M. Utilization of granulated lead slag as a structural material in roads constructions. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2015; 17(4), 707-717.
- [7] Krayushkina, K., Prentkovskis, O., Bieliatynskiy, A., Junevičius, R. Use of steel slags in automobile road construction. Transport, 2012; 27(2), 129-137.
- [8] Asi, I.M., Qasrawi, H.Y., Shalabi, F.I. Use of steel slag aggregate in asphalt concrete mixes. Canadian Journal of Civil Engineering, 2007; 34(8), 902-911.
- [9] Sahu, N., Biswas, A., Kapure, G.U. A short review on utilisation of Ferrochromium slag. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review 2016; 37(4), 211-219.
- [10] Yonar, F., Cokgor, E.U., Dikbas, H.A., Demir, B., Ergun, M. Environmental Effects and Possible Highway Applications of Electric Arc Furnace Slag in Turkey. In Proceedings of the World Congress on New Technologies, Barcelona, Spain pp. 228-221/228-210, 2015.
- [11] Saykin, V.V., Zhang, Y., Cao, Y., Wang, M.L., McDaniel, J.G. Pavement Macrotecture Monitoring through Sound Generated by a Tire-Pavement Interaction. Journal of Engineering Mechanics, 2012; 139(3), 264-271.
- [12] Ech, M., Morel, S., Yotte, S., Breyse, D., Pouteau, B. An Original Evaluation of the Wearing Course Macrotecture Evolution using the Abbot Curve. Road Materials and Pavement Design, 2009; 10(3), 471-494.
- [13] Uz, V.E., Gökalp, İ., Epsileli, S.E., Tepe, M. 2014 Karayolları teknik şartnamesinde (KTŞ ) yer alan pürüzlendirme uygulaması ve bu uygulamada endüstriyel atıkların

kullanılabilirliği Karayolları 3 Ulusal Kongresi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey, 123-135, 2014

[14] Flintsch, G., de León, E., McGhee, K., Al-Qadi, I. Pavement surface macrotexture measurement and applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2003, p:1860), 168-177.

[15] Sengoz, B., Topal, A., Tanyel, S. Comparison of pavement surface texture determination by sand patch test and 3D laser scanning. *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 2012; 56(1), 73.

[16] Uz, V.E., Gökalp, İ. Comparative laboratory evaluation of macro texture depth of surface coatings with standard volumetric test methods. *Construction and Building Materials*, 2017; 139, 267-276.

[17] Ahammed, M., Tighe, S. Early-Life, Long-Term, and Seasonal Variations in Skid Resistance in Flexible and Rigid Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2009 p:2094, 112-120.

[18] Bitelli, G., Simone, A., Girardi, F., Lantieri, C. Laser Scanning on Road Pavements: A New Approach for Characterizing Surface Texture. *Sensors*, 2012; 12(7), 9110-9128.

[19] Kogbara, R.B., Masad, E.A., Kassem, E., Scarpas, A.T., Anupam, K. A state-of-the-art review of parameters influencing measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 2016; 114, 602-617.

[20] Cafiso, S., Taormina, S. Texture analysis of aggregates for wearing courses in asphalt pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 2007; 8(1), 45-54.

[21] Luce, A., Mahmoud, E., Masad, E., Chowdhury, A. Relationship of aggregate microtexture to asphalt pavement skid resistance. *Journal of Testing and Evaluation*, 2007; 35(6), 1-12.

[22] Khasawneh, M., Smadi, M., Zelelew, H. Investigation of the factors influencing wavelet-based macrotexture values for HMA pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 2016; 17(3), 779-791.

[23] Sezen, H., Fisco, N. Evaluation and comparison of surface macrotexture and friction measurement methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2013; 19(3), 387-399.

[24] Sousa, J.B., Craus, J., Monismith, C.L. Summary report on permanent deformation in asphalt concrete, Project No. SHTP-A-318, Washington (DC), National Research Council, 1991.

[25] Carvalho, R.L. Prediction of permanent deformation in asphalt concrete, Doctora Tezi, University of Maryland, College Park, 2012.

[26] Uzan, J. Permanent deformation in flexible pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 2004, 130 (1), 6-13.

[27] Fisco, N., Sezen, H. Comparison of surface macrotexture measurement methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2013,19 (sup1), 153-160.

[28] Huang, C. Texture characteristics of unpolished and polished aggregate surfaces. *Tribology International*, 2010; 43(1), 188-196.

[29] Prowell, B., Hanson, D. Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2005; P:1929, 88-96.