

Otoyollar için Kompozit Çözümlerde Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kullanımı *

Steve Crompton **

Çeviren: İnş.Yük.Müh. Yasin Engin

Özet

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) uygulamasının birçok üstün özelliği vardır. Diğer geleneksel kaplama yöntemlerinden daha hızlı, ekonomik ve dayanıklı bir uygulamadır. İlk yapım maliyeti asfalt yol ile rekabet edebilir seviyede iken; düşük bakım, onarım maliyeti ve uzun süreli hizmet ömrü sayesinde uzun vadeli maliyeti asfalta oranla oldukça düşüktür. Bu nedenle müşteriler, uzmanlar ve uygulamacılar gittikçe artan bir şekilde SSB uygulamasına yönelmektedir.

SSB yol kaplaması, asfalt kaplamaya oranla daha gürültülü ve daha az konforlu bir sürüş kalitesine neden olduğu için büyük otoyol inşaatlarında sınırlanmıştır. Ancak, elmas taşlama gibi yüzey pürüzlendirme (dokulandırma) teknikleri, daha yüksek hız yapılan yol uygulamaları için SSB yüzeyinin önemli ölçüde iyileşmesini ve daha uygun bir kaplama olmasını sağlamaktadır.

Bu yazıda, yüksek hızlı yol inşasında ekonomik çözüm sağlayan yüksek performanslı ince asfalt aşınma tabakası ile SSB uygulamasını birleştiren kompozit (bileşik) kaplama uygulaması işlenmektedir. Yazıda, yapım teknikleri ve otoyol inşaatında kompozit kaplama yönteminin faydalarını öne çıkaran şartname gereklilikleri özetlenmektedir.

1. Giriş

SSB, basınç ve eğilme dayanımı bildiğimiz yapısal betona benzeyen hidrolik olarak bağlanmış yani çimento içeren bir malzemedir. Sıfır çökme kıvamı (slamp) olan bu malzeme, asfalt finişerleri (serici) ile yerleştirilmekte, yoğun ve rijit (gevrek) bir kaplama elde etmek için silindir ile sıkıştırılmaktadır. Bu hızlı inşaat yöntemiyle yollar asfalt kaplama ile neredeyse aynı süre içerisinde trafiğe açılabilir.

Use of Roller Compacted Concrete in Composite Solutions for Highways

Roller Compacted Concrete (RCC) has many attributes; it is a fast, economical and durable alternative to traditional methods of pavement construction. Increasingly clients and specifiers are turning to RCC as first build costs are competitive with asphalt whilst whole life costs are substantially lower thanks to reduced maintenance and greater longevity of concrete pavements.

Asfalt kaplamalar esnek kaplama olarak tasarlanırken, SSB kaplamalar rijit (gevrek) olarak tasarlanmaktadır. SSB uygulaması ve karışım tasarımı yaklaşımı asfalta benzemektedir, ancak yapısal tasarımı geleneksel beton yol ile aynıdır.

SSB yeni bir uygulama değildir. 1930'lu yıllardan beri uygulanmaktadır ve örnekleri mevcuttur. Ancak, yaygın olarak kullanımı ilk kez 1970'lerde Kanada'da tomruk endüstrisinde görülmüştür. SSB kaplamasının hızlı inşası, dayanımı ve

dayanıklılığı ulaşım yollarının yapımında çok daha ekonomik bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

SSB kaplaması kullanımı Kuzey Amerika'da artarak devam etmektedir, ancak 2010 yılına kadar Birleşik Krallık'ta baraj inşaatı dışında bu uygulama kısıtlandırılmıştır. 2010 yılı itibarı ile bazı tedarikçiler Birleşik Krallık'ta yol kaplaması pazarını

*17. ERMCO Kongresi'nde sunulmuştur.

**Britanya Hazır Beton Birliği Başkanı ve ERMCO Yönetim Kurulu Üyesi

domine eden asfalta oranla daha ekonomik ve dayanıklı bir alternatif olan SSB uygulamasının faydalarını araştırmaya başlamıştır.

Günümüzde ise birçoğu endüstriyel ve park alanı uygulaması olan sayısız proje SSB kaplaması uygulanarak tamamlanmıştır. Otoyollarda ise SSB uygulaması fazla gürültü, patinaj direnci ve sürüş konforu gibi konular nedeniyle sınırlandırılmaktadır. Bu yazı, kompozit bir uygulama olarak asfaltın yüzey özellikleri ile SSB kaplamasının faydalarının bu sorunlara karşı potansiyel bir çözüm olduğunu ana hatları ile açıklamaktadır.

2. Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Özellikleri

2.1 Dayanım

C28/35 üstü dayanım sınıfı düşük çimento dozajı ile (genelde $<300 \text{ kg/m}^3$) sıkıştırılmış ve kür edilmiş betonda rahatlıkla sağlanabilmektedir. Dayanımda nadiren sorun çıkmaktadır.

2.2 Donma-çözülme direnci

SSB hava sürüklenmiş bir beton değildir. Elde edilen tecrübeler sonucu donma-çö-

However the use of RCC is limited in major highway construction as the surface regularity of RCC can make for a noisier and less comfortable ride than an asphalt pavement. There are techniques such as diamond grinding that considerably improve the surface characteristics of RCC making them more suitable for higher speed highway applications. However this paper examines the use of composite pavements which combine RCC construction with high performance thin asphalt wearing surfaces to provide economical solutions for high speed road construction.

he paper outlines construction techniques and specification requirements highlighting the benefits of composite construction in highway construction.

Keywords: Concrete, RCC, asphalt, thin surfacing, highways, roads, composite construction, durability, performance

zülme riski olduğu durumlarda hava sürüklenme ihtiyacı görülmemiştir. Buna rağmen beton içeriğindeki agregaların donma-çözülme direncine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca, kapalı bir yapı oluşması için yeterli miktarda ince malzemeye de ihtiyaç vardır. Şartnamenin gerektirdiği şekilde SSB sıkıştırılmalıdır. Bu sayede potansiyel direnç pratikte sağlanmış olur.

2.3 Aşınma direnci

Yüksek aşınma direnci elde etmek için yüksek aşınma direnci değerine sahip agregaya içeren yüksek basınç dayanımında beton kullanılmalıdır.

2.4 Yüzey özellikleri

Şekil 1'de tipik yüzey bitirmeler görülmektedir. Yüzey bitirme beton karışımının içeriğine bağlıdır. Kuru karışımlarda fırçalanmış (taranmış) yüzey bitirme elde etmek mümkün değildir. Sonuç olarak SSB kaplamasında beton ve asfalt yol yüzeylerinden elde edilen patinaj direnci özellikleri sağlanamaz. SSB kaplamasında bu direnç daha düşük olmaktadır.



Şekil 1: Tipik yüzey bitirme: $D_{max} = 20 \text{ mm}$ (sol) and $D_{max} = 10 \text{ mm}$ (sağ)

Bu özellikler SSB yol kaplamasını özellikle endüstriyel zeminlerde, ağır yüke maruz park alanlarında ve düşük hız yapılan yollarda popüler bir seçenek yapmaktadır. Ancak, SSB uygulaması patinaj direnci, gürültü ve sürüş kalitesi açısından otoyollarda kısıtlandırılmıştır.

2.5 Patinaj direnci

Bu konu hakkında 1950'lerden 1970'lere kadar önemli araştırmalar yapılmıştır. Patinaj, araç lastiği ile yol arasında viraj alma ya da fren yapma gibi manevra kabiliyetinin yetersiz olma durumudur (White, 2011). Yol yüzeyi, lastik tipi, araç ve sürücü davranışı önemli etkenlerdir. Bu bölümde yol yüzeyi özellikleri üzerinde durulmaktadır.

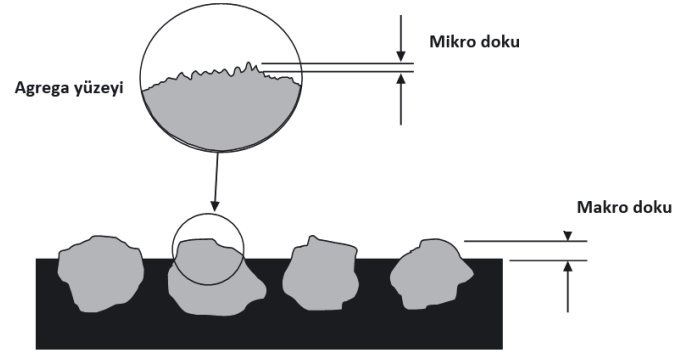
Araştırmalar sonucu yol yüzeyinde patinaj direncini etkileyen iki önemli etkenin olduğu bulunmuştur. İlk olarak, yüksek hız yapılan yollarda yüzeyin makro dokusu ya da görünür pürüzlülüğü ana etkindir. Yeterli yüzey dokusu ile suyun büyük çoğunluğu yol yüzeyinden ve lastik ara yüzeyinden uzağa drenaj edilebilir. Yetersiz yüzey dokusu olduğunda su yüzeyde kalın bir tabaka oluşturur. Hızlı hareket eden araçlar yol yüzeyi yerine, yüzeyde biriken bu su tabakasının üzerinde hareket ederler. Buna da kızaklama denir. Aracın yüzey ile temas etmediği bu durumda patinaj direnci ve manevra kabiliyeti ihmal edilebilir düzeydedir.



Şekil 2: Düşük yüzey dokusu ve şiddetli yağmur sonucu Lewis Hamilton çakıl yola doğru kızaklamış (kaymış) (2007 European Grand Prix)

İkinci olarak, daha düşük hızlarda yol yüzeyinin mikro dokusu önemli bir etkindir. Makro doku suyun büyük bir çoğunluğunun drenajını sağlasa da ince bir su tabakası yüzeyde kalmaktadır. Yeterli mikro doku ile araç lastiği bu su tabakasını kırmakta (yarmakta) ve yol yüzeyi ile kuru temas yapılabilmektedir. Diğer taraftan, yetersiz mikro doku olduğunda ise lastik ile yol yüzeyi arasında kuru temas oluşmamakta ve patinaj direnci önemli ölçüde azalmaktadır.

Yol yüzeyi yeterli makro ve mikro dokuyu sağlamak zorundadır. Şekil 3'te makro ve mikro doku gösterilmiştir.



Şekil 3: Yol yüzeyinde makro ve mikro dokuyu gösteren diyagram

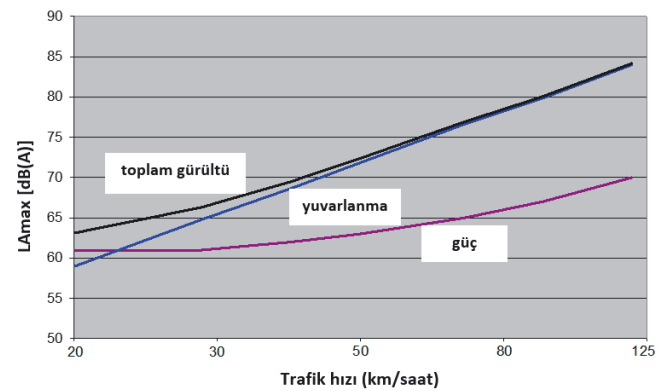
Yüzey sürtünmesi hız arttıkça azalır. Yüzey makro dokusu sürtünme kaybı büyüklüğünü sınırlandırır ve bu yüzden makro doku yüksek hızlı patinaj direnci için vekil olarak tanımlanır.

İnce yüzey tabakalı sistemler için Karayolları Şartnamesi (Karayolları Kurumu 2009a), yüksek hız yapılan yollarda yüzey makro dokusunun başlangıçta 1,3 mm'den az olmamasını ve makro dokunun en az iki yıl boyunca 1,0 mm'nin üstünde olacak şekilde korunmasını şart koşar. SSB kaplaması, tam değeri yüzeydeki agrega boyutuna bağlı olmakla birlikte genelde 0.6 mm'den fazla bir makro dokuya sahiptir.

SSB karışımında kullanılan agrega düşük hızda fren için gerekli mikro dokuyu sağlayacak şekilde seçilebilir, ancak yüzey elmas taşlama tekniği ile pürüzlendirilmediyse makro doku yüksek hızda fren performansı için yeterli olmayabilir.

2.6 Gürültü

Birleşik Krallık'ın çoğu yeri yoğun nüfusludur ve nüfusun önemli bir bölümü ana yollara yakın yaşamaktadır. Bu nedenle gürültü önemli bir sorundur. Düşük hızlarda trafik gürültüsü motor, şanzıman ve egzoz kaynaklıdır. Yüksek hızlarda ise gürültü Şekil 4'te gösterildiği gibi esas olarak yol yüzeyi ve araç lastiği arasındaki etkileşim tarafından oluşmaktadır.



Şekil 4: Çeşitli hızlarda hafif araçlar tarafından oluşan gürültü (F. Besnard et al, 2003)

Yol yüzeyinin gürültü oluşumuna katkısı makro doku ile ilgilidir. Makro doku, 50 mm ile 500 mm arasında dalga boyuna sahip yüzeyin "yüzey düzgünlük derecesi"ni gösteren görünürlük pürüzlülüktür.

Gürültü lastik ve yol arasında havanın sıkışması sonucu oluşmaktadır. Havanın kaçış yolunun kısılması daha düşük gürültünün meydana gelmesine neden olur. Genelde, daha büyük makro doku daha kısa kaçış yolu sağlar ve sonuçta daha az gürültü meydana gelir. Makro doku, pozitif veya negatif olsun, gürültü de önemli bir etkiye sahiptir.

Pozitif doku olduğunda lastik sürekli olarak yüzeyde çıkıntılı olan agregalara çarpar ve bu da lastik duvarında titreşime ve ilave gürültü oluşumuna neden olur. Öte yandan, negatif doku olduğunda lastik ve yol etkileşim alanında hava basıncı azalır. Yüzeydeki boşluklar bir miktar sesi soğurabilir (absorbe edebilir) ve ses kaçıışı düşük frekansta olur.

SSB kaplamasında düşük makro doku, asfalta oranla yüksek hızlarda daha fazla lastik gürültüsü meydana geleceğini gösterir. Gürültü seviyesi elmas taşlama tekniği ve kanal açma ile azaltılabilir. Ancak, yine de bu teknoloji yüksek performanslı asfalt çözümlerinin performansını yakalayamaz.

2.7 Sürüş kalitesi

Sürüş kalitesi, yol yüzeyinin sürücüye sağladığı sürüş konforunun derecesi olarak tanımlanabilir. Bu özellik; yüzey düzgünlüğü, araç hızı ve aracın araç içindeki insanları yol yüzeyindeki pürüzlülükten koruma yeteneğinden oluşan bir kombinasyondur. Düzlük, 500 mm'den büyük dalga boylarında yüzey düzenliliği derecesidir.

Otomobil tasarımı ve süspansiyon sistemleri genellikle, yüksek ağırlık merkezi ve yumuşak süspansiyon gerektiren "konfor" ile düşük ağırlık merkezi ve sıkı süspansiyon gerektiren "tutuş" arasında uygun bir yer arar. Kamyon tasarımı ve süspansiyon sistemleri ayrıca yük taşımaya da yöneliktir. Bu da sürüş konforunu azaltmaktadır.

Ancak, süspansiyon sistemleri aracı sadece yüzeydeki mikro, makro ve mega doku kaynaklı düzensizliklerden yalıtır. Uzun dalga boylu düzgünlük süspansiyon tarafından güçlendirilebilir. Bu durumun asıl sonucu artan sürücü yorgunluğudur. Ayrıca, bu durum sırt ağrısı ve sürüş kontrolünde azalma ile de sonuçlanabilmektedir (Granlund ve Lindström, 2004).

Yüzey düzgünlüğü, iyi bir yüzey uygulaması kullanılarak uygun kaplama türünün doğru bir şekilde uygulanması ile sağlanır.

Karayolları Şartnamesi (Karayolları Kurumu 2009b) yeni inşa edilen yolların yüzey derecesi için toleranslar belirtmiştir. Buna ek olarak, boyuna yüzey düzgünlüğü 3 metre uzunluğunda her iki tarafında küçük sabit tekerlekler olan bir kafes ile belirlenir. Bu donanımın ortasında bir çift sabit olmayan aşağı yukarı hareket edebilen tekerlek vardır. Bu tekerlekler çukur ve tümseklere göre hareket etmektedir.

SSB kaplamasında boyuna yüzey düzgünlüğü şartlarını sağlamak oldukça zordur ve bu durum asfalt ve beton yol gibi geleneksel yol kaplamalarına nazaran daha az konforlu sürüşün nedenidir.

3. Kompozit (Bileşik) Yöntem

SSB bir yol kaplaması malzemesi olarak uygulama hızı, ekonomiklik, yakıt sarfiyatını azaltan yüksek sertlik, düşük ömür maliyeti ve çevresel faydalar gibi birçok avantaja sahiptir.

Öte yandan asfalt kaplamalar patinaj direnci, düşük gürültü ve gelişmiş sürüş kalitesi gibi avantajlara sahiptir.

Kompozit (bileşik) bir çözüm olan SSB kaplaması üzerinde yüksek performanslı ince asfalt aşınma tabakası uygulaması sayesinde her iki malzemenin güçlü yanlarından faydalanılmakta ve bu malzemelerin olumsuz taraflarının üstesinden gelinebilmektedir.

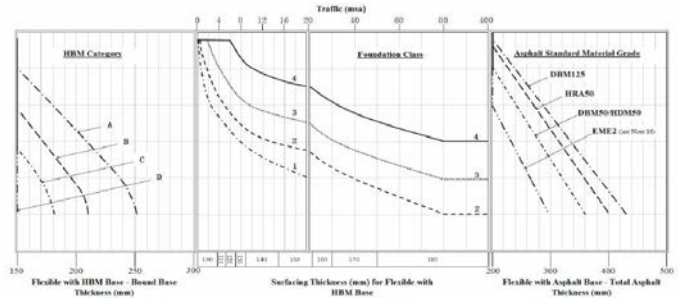
4. SSB Kompozit Kaplama Yapımı için Tasarım

SSB ve ince asfalt yüzey kaplamalı kompozit tasarım; trafik hacminden, maksimum hızdan ve zemin koşullarından etkilenmektedir. Yolun toplam kalınlığı, beton basınç dayanımı, asfalt kaplamanın tipi ve kalınlığı ve SSB kaplamasının altındaki alt temel malzemeler dikkate alınması gereken faktörlerdir.

Birleşik Krallık'ta SSB kaplaması tasarımı için özel bir kılavuz mevcut değildir, ancak Karayolları Kurumu'nun tasarım modeli trafik hacmine dayalı kaplama kalınlığı hesaplamasında kullanılabilir.

Şekil 5'te gösterilen tasarım çizelgesi kullanılabilir, ancak bu çizelge SSB'den daha düşük dayanımlı çimento bağlayıcı taneli malzemelere yöneliktir. Bu yüzden asfalt kaplama için tavsiyeler aşırı kalın olmaktadır.

Yüksek performanslı modifiye polimer yüzeyli SSB kaplama uygulaması genel performansı muhafaza ederken daha düşük kalınlığa müsaade etmektedir.



Şekil 5: Kompozit kaplama için tasarım çizelgesi

5. Asfalt Yüzeyin Özellikleri

Taş mastik asfalt (SMA), yüksek PSV (polished stone value) değeri olan kaba agregalar ile bu agregaların arasındaki boşlukları dolduran mastik bitüm, dolgu (filler), kum ve selülöz liflerin oluşturduğu iç içe geçmiş bir sistemdir. Yerleştirildiğinde ve sıkıştırıldığında birçok katmanda yoğun olan bir yüzey oluşur. Ancak, bu yüzey açık ve negatif dokuludur. Bu sayede

patinaj direnci ve deformasyon direnci sağlanır. Daha sessiz bir yüzey elde edilir.

İnce yüzeyli sistemler, dayanıklılık ve eğilme özelliklerini geliştiren polimer modifiyeli bitüm esaslı asfalt karışımlardır. Taş mastik asfalta ve çok ince açık asfalt betonuna benzemektedir. Patinaj direnci, düşük gürültü ve deformasyon direnci gibi özellikleri de benzerdir. İnce yüzeyler bir sistem olarak temin edilir. Tasarımları, üretimleri ve uygulanmaları istenilen yüzey özelliklerinin başarı ile sağlanmasında oldukça önemlidir.

Kompozit SSB kaplaması uygulamasında bakım ve onarım adına sadece aşınmış yüzeyin yer değiştirmesi gerekir. Yüzeyin altındaki tabakalar için dayanıklılık sorunu olmaz. İnce yüzeyli sistemler çok hızlı değiştirilebilir. Bu sayede trafiğin engellenme süresi azalır. Ayrıca, yol yapım işi ile ilgili diğer kullanıcıların da maliyetleri azalır.

İnce yüzey sistemlerinin kullanımı yüzey kalınlığının 50 mm'den daha az olmasına izin vermektedir.

6. SSB Kompozit Kaplama Uygulaması

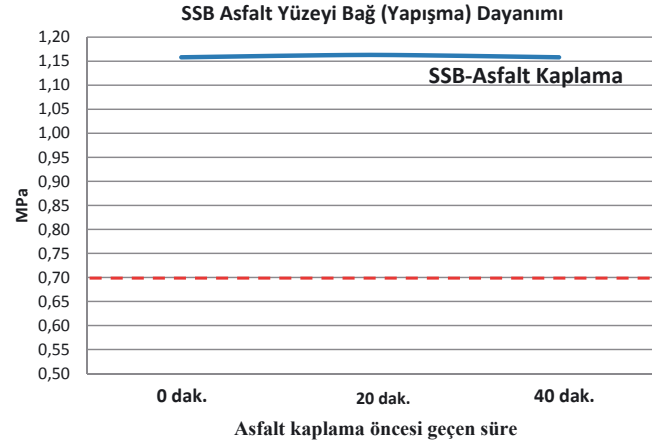
SSB, sulu bir yüzeye yerleştirilmemelidir ve şiddetli yağış durumunda uygulanmamalıdır. Erken yaşta donma riskini azaltmak için SSB uygulaması hava sıcaklığı 5°C'den düşük ise yapılmamalıdır.

SSB genellikle asfalt finişeri ile yerleştirilir. Geleneksel asfalt finişerleri betonu tokmaklayarak ya da titreştirerek sıkıştırır. Daha donanımlı makineler ise hem tokmaklayarak hem de titreştirerek sıkıştırma işlemi yapar. Geleneksel finişerler ile istenilen yoğunluğun %80-85'i sağlanırken daha donanımlı finişerlerde bu oran %90'ın üzerine çıkmaktadır. Sıkıştırmanın geri kalanı silindir ile yapılmaktadır.

Tokmaklama ve titreştirme kombinasyonu yapan donanımlı finişerler ile kalın tabakalı SSB uygulaması yapılabilmektedir. Geleneksel asfalt finişerler ile kalın tabakalar, 100 mm - 150 mm arasında iki farklı tabaka olarak elde edilebilir. SSB'nin serilmesi, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması gibi detaylı bilgiler ERMCO SSB Rehberi'nden temin edilebilir.

Kompozit yöntemin tüm faydalarından yararlanmak için SSB ile asfalt arasındaki bağın (yapışmanın) çok iyi olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için son silindir uygulamasından hemen sonra taze SSB yüzeyine katyonik bitümlü emülsiyon sürülmelidir. Bu uygulamayı takiben ince asfalt kaplaması uygulamasından hemen önce sıcak polimer modifiyeli katyonik bitümlü emülsiyon uygulanmalıdır. Bu uygulama bir makine vasıtası ile 0.35 kg/m² oranında yapılmaktadır.

SSB ve asfalt arasındaki bağın dayanımı ölçülebilir. Şekil 6'da bu konuda yapılmış bir çalışmanın verileri görülmektedir. Bu çalışmanın sonucunda 0.7 MPa olması gereken en düşük bağ dayanımının aşıldığı teyit edilmiştir.



Şekil 6: Asfalt yüzey bağ dayanımı

Zamanla SSB kaplamasının derzleri doğrultusunda asfalt yüzeyde çatlaklar oluşabilmektedir. Bu nedenle asfalt tabakada SSB kaplamasındaki derzler ile aynı doğrultuda kapalı derz yapılması tavsiye edilmektedir.

7. Sonuç

Yüksek hız yapılan otoyollarda ince asfalt aşınma tabakalı SSB kompozit uygulaması sadece SSB ya da sadece esnek kaplama uygulaması kaynaklı kısıtlamaların üstesinden gelebilmektedir. Bu kompozit yöntem; beton yolun rijitlik, dayanıklılık ve düşük maliyet özellikleri ile ince asfalt tabakanın düşük gürültü ve yüksek patinaj direnci gibi özelliklerini birleştirmekte ve sonuçta üstün bir yol kaplaması ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Ashfield, M.J., (2014). Road Surface Properties and Treatment. CEMEX UK Materials
- [2] ERMCO (2013) Guide to Roller Compacted Concrete for Pavements
- [3] Besnard, F., Bérengier, M., Doisy, S., Fürst, N., Hamet, J.F., Lelong, J. and Pallas, M.A. (2003). **The procedure for updating the vehicle noise emission values of the French "Guide du Bruit"**. Paper ID: 146, Euronoise, Naples.
- [4] Granlund, N.O.J. and Lindström, F., (2004). **Reducing Whole-body Vibration by Geometric Repair of Pavements**. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol 23, No. 2. Multi-Science Publishing Co Ltd, Brentwood.
- [5] Highways Agency, (2008). **Design Manual for Roads and Bridges**. Volume 7 - Pavement Design and Maintenance. HD 29/08, Pavement Maintenance Assessment. The Stationery Office, London.
- [6] Highways Agency, (1999). **Design Manual for Roads and Bridges**. Volume 7 - Pavement Design and Maintenance. HD 37/99, Bituminous Surfacing Materials and Techniques. The Stationery Office, London.
- [7] Highways Agency, (2006). **Design Manual for Roads and Bridges**. Volume 7 - Pavement Design and Maintenance. HD 36/06, Surfacing Materials for New and Maintenance Construction. The Stationery Office, London.
- [8] Highways Agency, (2009a). **Manual of Contract Documents for Highway Works**. Volume 1 - Specification for Highway Works. Series 900, Road Pavements - Bituminous Bound Materials. The Stationery Office, London.
- [9] Highways Agency, (2009b). **Manual of Contract Documents for Highway Works**. Volume 1 - Specification for Highway Works. Series 700, Road Pavements - General. The Stationery Office, London.