



2 BETON YOLLAR

Kongresi ve Sergisi

16-17 Kasım 2022
KGM Halil Rifat Paşa Konferans Salonu, Ankara

BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS



Sürdürülebilir Beton Kaplamalarda

KALICI
VE
AKILCI
ÇÖZÜMLER

DÜZENLEME KURULU

ORGANIZING COMMITTEE

Başkan (Chair)

Abdulkadir URALOĞLU (KGM-YTMK)

Üyeler (Members)

Ahmet SAĞLAM (KGM-YTMK)

Mücahit ARMAN (KGM)

Şenol ALTIOK (KGM-YTMK)

İsmail BULUT (TÜRKÇİMENTO)

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN (ODTÜ)

Prof. Dr. M. Vefa AKPINAR (KTÜ)

Yavuz IŞIK (THBB)

Luc RENS (EUPAVE)

YÜRÜTME KURULU (STEERING COMMITTEE)

Başkan (Chair)

Ahmet SAĞLAM (KGM-YTMK)

Üyeler (Members)

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN (ODTÜ)

Şenol ALTIOK (KGM-YTMK)

Gökhan MACİT (KGM)

Emrah USLU (KGM)

Ahmet ASLAN (KGM)

Muhammet KOMUT (KGM)

Ahmet SAĞLIK (KGM)

Reşat SÖNMEZ (THBB)

KONGRE GENEL KOORDİNATÖRLÜĞÜ

(Congress General Coordinatorship)

Oğuz SEHTİYANCI (YTMK)

Bariş AKBELEN (TÜRKÇİMENTO)

BİLİM KURULU (SCIENTIFIC COMMITTEE)

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ABUT (Yalova Üni.)

Prof. Dr. Emine AĞAR (E-İTÜ)

Prof. Dr. M. Vefa AKPINAR (KTÜ)

Doç. Dr. Can Baran AKTAŞ (TEDÜ)

Şenol ALTIOK (KGM-YTMK)

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN (İTÜ)

Dr. Anne BEELDENS (KU Leuven - Belçika)

Prof. Dr. Halil CEYLAN (Iowa State University - ABD)

Ayhan CÖMERT (KGM)

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ÇELİK (Yalova Üni.)

Dr. Öğr. Üyesi ELİF ÇİÇEK (Hacettepe Üni.)

Prof. Dr. İlhami DEMİR (KÜ)

Doç. Dr. Kemal ERDEM (MÜ)

Prof. Dr. Murat GÜLER (ODTÜ)

Nilgün GÜNGÖR (KGM)

Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN (PAÜ)

Prof. Dr. Mustafa KARASHAHİN (İGÜ)

Serdar KAŞAK (KGM)

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Bahadır KESKİN (MSKÜ)

Muhammet KOMUT (KGM)

Dr. James MACK (CEMEX - ABD)

Doç. Dr. Hande Işık ÖZTÜRK (ODTÜ)

Luc RENS (EUPAVE)

Ahmet SAĞLIK (KGM)

Mark SNYDER (PERC)

Dr. Öğr. Üyesi Emin ŞENGÜN (AYBÜ)

Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN (HÜ)

Dr. Shiraz TAYABJI (ACPC - ABD)

Dr. Peter TAYLOR (CP Tech Center - ABD)

Dr. E. Nazan ÜNAL (KGM)

Ali ÜNSAL (KGM)

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN (ODTÜ)

Prof. Dr. Nilüfer ÖZYURT ZİHNİOĞLU (Boğaziçi Üni.)

Corey Zollinger (CEMEX)

Kaynaklar

- Atahan, A.O., (2018). "Development of a heavy containment level bridge rail for Istanbul" Latin American Journal of Solids and Structures, 15(6), 1-14.
- Beaton, J. L. (1956). "Full Scale Tests of Concrete Bridge Rails Subjected to Automobile Impacts", in Proceedings of the 35th Annual Meeting of Highway Research Board, 1956. p. 251-267.
- Diamandouros K., (2014). "Otokorkuluk Güvenlik Standartları, Sınıflandırılması ve Avrupa'da Gelişimi", Beton Otokorkuluklar ve Karayolu Güvenliği Çalıştayı, 2014
- FEMA (2000). "Final Report of the Motorcyclists & Crash Barriers Project", The Federation of European Motorcyclists Associations, Brussels, Belgium, 2000.
- Kadıoğlu H., (2014). "Beton Otokorkulukların Kullanılması", Beton Otokorkuluklar ve Karayolu Güvenliği Çalıştayı, 2014.
- LSTC, LS-DYNA Kullanıcı El Kitabı, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA, 2017.
- Marzougui D. Zaouk, A., and Kan, C.D. (2002). "Evaluation of Portable Concrete Barriers Using Finite Element Simulation" The National Crash Analysis Center (NCAC).
- Marzougui, D., Zaouk, A., and Kan, C.D., (1996). "Development of a C-1500 Pick-up Truck Model for Roadside Hardware Impact", Transportation Research Board Annual Conference, Computer Simulation of Impact with Roadside Safety Features, Washington, DC.
- Michie, J D. "NCHRP Report 115, (1971): Guardrail Performance and Design", Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1971.
- NCAC, (2008). National Crash Analysis Center, George Washington Üniversitesi, Araç Modelleri, <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>, Washington, D.C.
- Ray, M H and McGinnis, R G. "NCHRP Synthesis 244, (1997): Guardrail and Median Barrier Crashworthiness - A Synthesis of Highway Practice", Transportation Research Board/ National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 1997.
- Şengün E., Kıran E., Yaman İ.Ö., (2017). "Türkiye'de Beton Yol ve Beton Bariyer Fırsatları", Hazır Beton, Mayıs – Haziran, 2017, s. 80-81.
- TS EN 1317-2 Yol Güvenlik Sistemleri - Bölüm 2 (2011): Taşıt Parapetleri Dâhil Güvenlik Bariyerleri İçin Performans Sınıfları, Çarpma Deneyi Kabul Kriterleri ve Deney Yöntemleri, 2011.
- TÜİK, (2022). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2021-45658>

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) ve asfalt takviye tabakasından oluşan kompozit bir üstyapının saha performansının irdelenmesi

A. Gür¹, Y. Abut²

¹ Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli, Türkiye

² Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

Özet

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) yol türü, tüm dünyada önemli bir kaplama alternatifi olarak kullanılmaktadır. Özellikle kırsal kesimlerde ve ikinci derece servis yollarında yaygın olarak kullanılan SSB, kolay üretilebilirliği, erken trafiğe açma ve asfalt ekipmanları ile serme sıkıştırma yapılabilmesinin yanında, bünyesinde geri dönüşümlü malzemeler kullanılabildiği için, birçok projede ekonomi sağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra asfalt takviye tabakası (overlay), üstyapı yüzeyi için taşıma kapasitesinin artırılması veya farklı işlevsel hedefler için tasarlanabilmektedir. Bu çalışmada, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin denetiminde bulunan "Kocaeli İli Gölcük İlçesi Hisar (Asar) Deresi Yan Yolları ve Kavşakları Yapım İş'i" kapsamında 2017 yılında inşaatı biten kompozit bir üstyapının (SSB üzerine asfalt takviye tabakası) 5 yıllık performansı irdelenmiştir. 2022 yılı itibariyle yolun trafiğe açılmasının ardından geçen 5 yıllık süre içerisinde, kaplamada oluşan yüzey özelliklerinin değişimi, derz çatlağı gelişimi ve dağılımı, asfalt kaplamada meydana gelen birim hacim ağırlık ve sıkışma düzeyi kayıpları ve son olarak SSB kaplamadaki basınç dayanımı değişimleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silindirle Sıkıştırılmış Beton, Asfalt Takviye Tabakası, Kompozit Kaplama, Yansımaya Çatlakları

1. Giriş

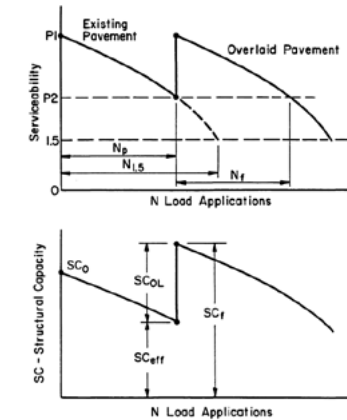
Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) yol türü, tüm dünyada önemli bir kaplama alternatifi olarak kullanılmaktadır (Rahmani v.d., 2020, Abut v.d., 2022, Sheikh v.d., 2022). Özellikle kırsal kesimlerde ve ikinci derece servis yollarında yaygın olarak kullanılan SSB, kolay üretilebilirliği, erken trafiğe açma ve asfalt ekipmanları ile serme sıkıştırma yapılabilmesinin yanında, bünyesinde geri dönüşümlü malzemeler kullanılabildiği için, birçok projede

ekonomi sağlayabilmektedir (Selvam v.d., 2022). Bununla birlikte, SSB kaplamasında, mevsim şartları ve trafik yükü etkisiyle zamanla bozulmalar gözlemlenebilmektedir. Özellikle termal genleşmeler nedeniyle yapısal bütünlük bozulabilmekte ve tekrarlı yükler altında yüzey dokusu aşınabilmektedir. Rehabilitate edilmediği takdirde ise SSB kaplama, yapısal ve işlevsel yeteneklerini hızla kaybedecek ve kullanıcılar için rahatsızlık ve hatta tehlikeye neden olacaktır. Yüzey tabakadaki bu rehabilitasyon yöntemleri arasında, rijit kaplama üzerine asfalt takviye tabakası (overlay) yapımı, yol idareleri tarafından benimsenen yaygın bir uygulamadır (Chen, 2008, Zhou v.d., 2012, Li ve Wen, 2014, Zhao v.d., 2020). Asfalt takviye tabakası, üstyapı yüzeyi için taşıma kapasitesinin artırılması veya farklı işlevsel hedefler için tasarlanabilmektedir. Örneğin yeni bir kompozit kaplama için asfalt takviye tabakasının birincil işlevi, alttaki beton kaplama için düşey sıcaklık ve nem farklılıklarını azaltmak ve bu farklılıkların neden olduğu beton plakaların kıvrılma (curling) ve eğilmesinin (warping) neden olduğu deformasyonları azaltmada bir nevi termal ve nem şiltesi görevi sağlamaktır (Manual H.D, 2020). Araştırmacılar ve yerel yönetimler, saha tecrübelerini bir araya getirirken tasarım kılavuzlarına atıfta bulunarak, vaka analizlerine dayalı asfalt takviye tabakası için tipik kaplama kalınlıkları önermişlerdir (Finn ve Monismith, 1984, Thompson, 1989, Schutzbach, 1989, Li v.d., 2011, Hajj v.d., 2019).

Bu çalışmada, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin denetiminde bulunan "Kocaeli İli Gölcük İlçesi Hisar (Asar) Deresi Yan Yolları ve Kavşakları Yapım İş'i" kapsamında 2017 yılında inşaatı biten kompozit bir üstyapının (SSB üzerine asfalt takviye tabakası) beş yıllık performansı irdelenmiştir. Projenin başlangıç aşamasında soğuk iklim şartları nedeniyle, esnek üstyapı inşaatı mümkün olamamış, bölge içerisinde hizmet veren sanayi kurum ve kuruluşlarından üstyapının öncelikli olarak tamamlanmasına dair ciddi talepler oluşmuştur. Ayrıca bölge içerisinde ilgili kurumlar tarafından yapılan alt yapı hatlarının kırmızı kota yakın olması (Plentmiks Alttemel kotunda), hem esnek üstyapı hem de alt yapıların inşaat esnasında zarar görme ihtimalinin yüksek olması ve yeni kurulacak organize sanayi bölgesinden gelecek ağır trafik yükü ile yeni imar planı nedeniyle iptal edilecek mevcut arterlerden aktarılacak olan trafik yükü toplamının, proje ömrü sürecinde hesaplanandan daha fazla olması nedeniyle esnek üstyapı tasarımı revize edilerek kompozit üstyapı şeklinde yeniden analiz edilmiştir. Tasarım ve yapım aşamalarının Gür ve Abut (2017)'de verilen bu projede, kompozit üstyapı tasarımı kısmında taban zemini SSB olarak çözülmüş ve kesit tahkikinde AASHTO, 1993 metodu kullanılmıştır. Bu tarz yapılarda rijit kaplamada derz bölgelerinden üste doğru zamanla "yansımaya çatlağı" denilen bir çatlak hareketinin geliştiği ve bu çatlak oluşumunun engellenmesi için de geotekstiller, geogridler, geokompozitler, çelik gridler veya ara tabaka inşaatı yöntemlerinin kullanılabilmesi bildirilmiştir (Güngör ve Sağlık, 2009). Bu çalışmada ayrıca yansımaya çatlaklarının gelişiminin gözlemlenebilmesi için derz bölgelerinde geogrid uygulaması yapılmıştır. Bu sayede zamana bağlı çatlak gelişiminin gözlenmesi hedeflenmiş, ülkemiz koşullarında bitümlü sıcak karışımların rijit üstyapılarla beraber kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek performans göstergeleri irdelenmiştir.

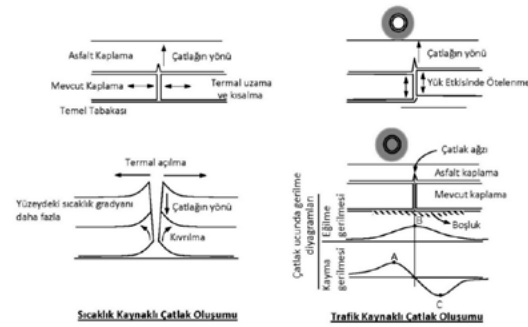
2. Asfalt Takviye Tabakası için Yansımaya Çatlağının Modellenmesi

Rijit kaplamalarda yüzeyel bozulmalar inşaat tamamlandıktan hemen sonra başlar ve döngüsel dingil yükleri, kaplamanın göçme anına kadar taşıyabileceği yük kapasitesini azaltırlar. Rijit bir kaplamanın iyi hizmet veremeyecek kadar hasar gördüğü bir noktada, mevcut kaplamayı rehabilitate etmek için, esnek bir kaplama yapılması performansı iyileştirebilmektedir. Şekil 1'de, tipik bir yol kaplamasında takviye tabakası kullanılması durumunda, servis kabiliyeti ve yapısal kapasite bağlamında oluşacak iyileşmeler gösterilmektedir (AASHTO, 1993).



Şekil 1. Takviye tabakası ile ortaya çıkan iyileşmeler (AASHTO, 1993).

Yansımaya çatlakları, büyük ölçüde asfalt kaplama altındaki süreksizliklerden (çatlak veya derzler) kaynaklanmaktadır. Çatlak gelişimi, katmanlar arasındaki termal genleşme farklılıkları ve trafik yükleri ile aşağıdan yukarı doğru ilerler. Yoğun çatlakların olduğu eski bir kaplama üzerine yapılacak olan yeni bir asfalt kaplamada ara yüzeyde çatlak sönmüleyici bir yapı (geosentetik, geogrid, çelik tel, vb.) kullanılmamış ise mevcut kaplamadaki çatlaklar, genellikle kaplama kalınlığının bir fonksiyonu olan bir sürenin sonunda yüzeye doğru hareket eder. Lytton, 1989'a göre, tekerlek yükünün mevcut kaplamada bir çatlaktan geçmesi o kesitte bir maksimum eğilme ve iki maksimum kayma gerilmesi olmak üzere üç kritik kesit tesirine neden olur. Çatlak hareketi arttıkça, çatlağın yüzeye doğru ilerlemesi hızlanır. Katmanlar arasındaki sıcaklık farklılıklarının rijit kaplamalarda meydana getireceği büzülme (contraction) veya kıvrılma (curling) hareketi ise, asfalt kaplamada ekstra yatay gerilmelere neden olur ve mevcut çatlakların açılma süreci hızlanır. Dolayısı ile bir yansımaya çatlağının doğru bir şekilde modellenmesi için trafik yükleri ve sıcaklık etkileri bir arada düşünülmelidir (Abut, 2019). Yansımaya çatlağı mekanizması sırasında kesitlerde oluşan kesit tesirleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir (Nunn, 1989 ve Lytton, 1989).



Şekil 2. Sıcaklık farklılıkları ve trafik yükünün neden olduğu kesit tesirleri (Nunn, 1989 ve Lytton, 1989).

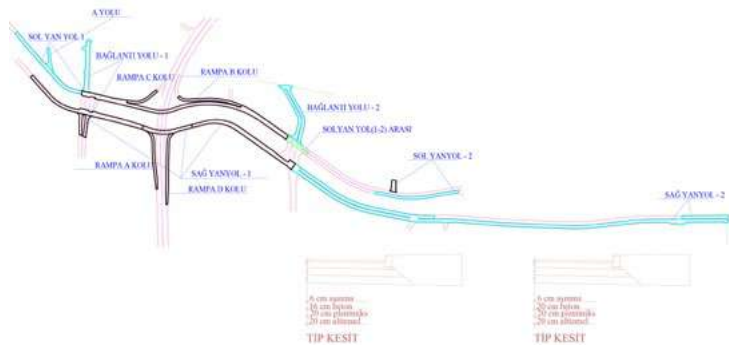
Paris'in çatlak büyüme yasası, asfalt gibi doğrusal olmayan visko-elastik malzemelerdeki çatlak yayılımı ve gerilme yoğunluğu faktörleri ile malzeme yorulma özelliklerini arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılabilir. Paris'in yasası matematiksel olarak şöyle ifade edilir (Anderson, 1995):

$$\frac{dc}{dN} = AK^n \quad (1)$$

Burada,
 dc/dN : Yük döngüsü başına çatlak ilerlemesi
 K : Gerilme yoğunluğu faktörü
 A, n : Deneysel olarak tespit edilen malzeme sabitleri

3. Kompozit Kaplama için Saha Uygulaması

Saha uygulaması, Şekil 3'te planı verilen ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin denetiminde bulunan "Kocaeli İli Gölcük İlçesi Hisar (Asar) Deresi Yan Yolları ve Kavşakları Yapım İşii" kapsamında 2017 yılında inşaatı biten kompozit bir üstyapıyı (SSB üzerine asfalt takviye tabakası) kapsamaktadır.



Şekil 3. Kompozit kaplama plan görüntüsü

3.1 Kaplamanın Yapısal Tasarımı

Kompozit üstyapı tasarımı, Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2019) direktifleri doğrultusunda, %85 güvenilirlik düzeyinde ve 20 yıl hizmet ömrü dikkate alınarak yapılmıştır. Proje için hesap şeridine düşen günlük standart dingil yükü tekrür sayısı 3073 olarak öngörülmüştür. 20 yıllık süreç içerisinde ise yaklaşık 22,5 milyon tekrür sayısı beklenmektedir. Bölge için yapılan standart dingil yükü analizi Tablo 1'de verilmiştir. Projede taban zemini taşıma kapasitesi deneysel yolla tespit edilmiştir (CBR = %7). Taban zemininin zayıf olduğu bölgelerde yer yer kaya dolgu ve bu tabakanın üzerine de 20 cm kalınlığında ariyet ocağından temin edilen Seçme Malzeme tabakası yapılmıştır. Zemin ve dingil yükü parametrelerinin projesinden alındığı tasarımda 20 cm kalınlığındaki Kırmataş Alttemel ve 20 cm kalınlığındaki PMT üzerine serilecek olan SSB plak kalınlığı, aşağıdaki AASHTO 1993 deney yolu denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \log_{10} (d+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(d+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_T) \log_{10} \left[\frac{S_c C_d (d^{0,75} - 1,132)}{215,63 J \left[d^{0,75} - \frac{18,42}{\left[\frac{E_c}{k} \right]^{0,25}} \right]} \right] \quad (2)$$

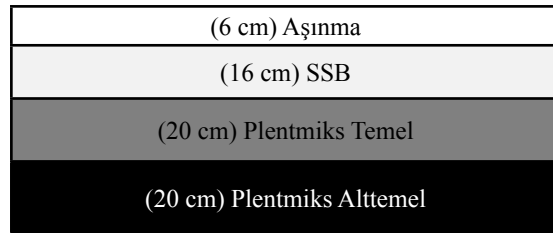
Burada,

W_{18} : Eşdeğer Dingil Yükü Tekerrür Sayısı (EDYTS)
 d : Kaplama Kalınlığı (inc)
 S_c : Beton Eğilme Dayanımı (psi)
 E_c : Betonun Elastisite Modülü (psi)
 k : Zemin Reaksiyon Modülü (lb/inc³)
 R : Güvenilirlik (%)
 Z_R : Normal Standart Sapma
 S_0 : Toplam Standart Sapma
 ΔPSI : Servis Yeteneği Kaybı
 P_1 : İlk Servis Yeteneği
 P_T : Son Servis Yeteneği
 C_d : Drenaj Katsayısı
 J : Yük Transfer Katsayısı

Tablo 1. YOGT verileri

YOGT (YILLIK ORTALAMA GÜNLÜK TRAFİK)	Treyler	Kamyon	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Otobüs	Otomobil	TOPLAM
	470	500	600	150	2000	
Trafik Artış Katsayısı r (%)	4	4	5	5	5	
İlk Trafik t_0	489	520	630	158	2100	
Son Trafik $T_s = t_0 \times (1+r)^t$	1071	1139	1672	418	5572	
Proje Trafik $T_p = 0,434(T_s - T_0) / \log(T_s / T_0)$	742	790	1067	267	3558	
Taşıt Eşdeğerlik Faktörü (TEF)	4,1	2,9	0,6	3,2	0,0006	
Hesap Şeridine Düşen Günlük Ortalama Standart Dingil Yüklü Tekerrür Sayısı $(W_g) = (T_p / i) \times (TEF) \times (n)$	1369	1030	288	384	1	3073
W_{18} : Eşdeğer Dingil Yüklü Tekerrür Sayısı (EDYTS) $T_{8,2} = W_g \times 365 \times 20$						22.435.361

SSB karışım tasarımında PCA (2004) metodu kullanılmıştır. Beton için maksimum dane çapı 19 mm, s/ç oranı 0,38-0,40 aralığında ve minimum 300 kg/m³ düzeyinde çimento dozajı belirlenerek, C30 düzeyinde bir beton sınıfı hedeflenmiştir. Proje tip kesiti Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kompozit üstyapı proje kesiti

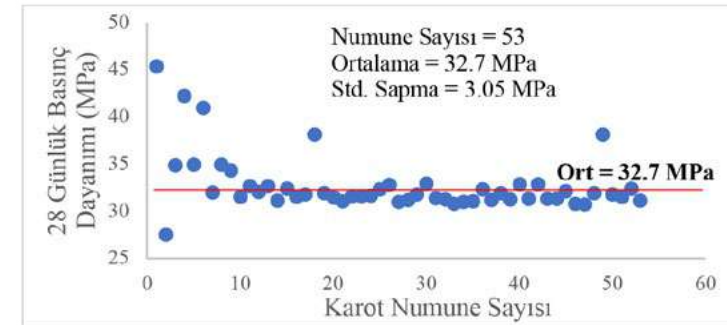
3.2 Kaplamanın Yapımı ve İzlenmesi

Kaplama yapımına başlamadan önce yükleniciden KGM, Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi (BYŞ, 2016) 'ne uygun üretim yapabilecek bir beton santrali ile anlaşması istenmiştir. Beton santrali önerilerinden proje sahasına en yakın (13 km) ve SSB imalatı tecrübesi olan bir firma tercih edilmiştir. Santral tespitinden sonra, firmadan uygun bir

dizayn raporu ve bu dizayna uygun test üretimi yapılması istenmiş, dayanım testlerinin uygunluğundan sonra üretime onay verilmiştir. Uygun malzeme üretiminin ardından Ocak 2017 itibarıyla proje kapsamındaki yol imalatlarına başlanılmıştır.

Yüzey konforunun yanında proje kot ve kalınlıklarına uygun imalat yapılabilmesi için Plentmiks Alttemel serimi dâhil bütün tabakalar multipleks duyarğaya sahip finişer ile teşkil edilmiştir. Finişerin tek seferde serim yapmadığı kısımlarda ek yeri veya soğuk derz oluşmaması için iki finişer ile aynı anda serim yapılmıştır. Kamyonlar ile şantiye sahasına gelen SSB irsaliyeleri kontrol edilerek, nakliye süresinin yarım saati aşması durumunda malzemelerin kullanılması engellenmiştir. Örneğin, finişerdeki arızadan dolayı yaklaşık bir saat bekleyen üç tır SSB mamulü, deneme amacıyla şantiye sahasında uygun bir kesime serilmiş, 24 saat sonra bu kısımlar kontrol edildiğinde kaplamanın istenilen dayanıma ulaşmadığı tespit edilmiş ve akabinde bu kısımlar kaldırılarak sahadan uzaklaştırılmıştır. İmalatın bütün aşamalarında finişer ile serimin ardından 30 dk içerisinde silindirajın bitirilmesi sağlanmıştır. Saha gözlemlenmeleri ve sıkışma testleri ile (nükleer test cihazıyla) uygun silindir tipi ve pas sayısı tespit edilmiştir.

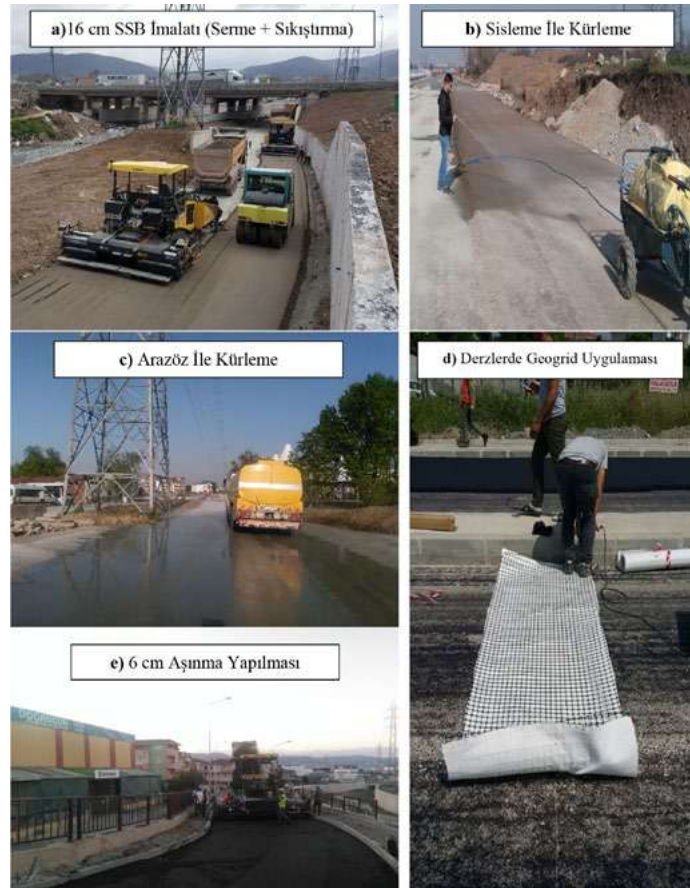
Nükleer test cihazıyla yapılan testlerde; birinci silindirajdan sonra %88-90, ikinci silindirajdan sonra %92-94, üçüncü silindirajdan sonra %95-97 ve dördüncü silindirajdan sonra da %97-100 düzeyinde sıkışma seviyeleri elde edilmiş, sıkışma düzeyinin %98 ve yukarısını sağlamasının ardından silindiraja son verilmiştir. Silindiraj işleminin tamamlanmasının ardından sisleme yöntemi ile yol yüzeyi kürlenmiş, 24 saat sonra 30 m aralıklar ile derz kesimi yapılmış, altı gün süreyle kaplama trafiğe kapatılarak kürlenme işlemine devam edilmiştir. Altıncı günün sonunda kaplama gövdesinden her 50 m'de 1 ve şaşırtmalı olacak şekilde karot numuneler (90 x 90 mm) alınmış, alınan numunelerin tek sayılı olanları 7. günde, çift sayılı olanları 28. günde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin normal dağılım grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Numune sayısının 53 olduğu bu deney setinin ortalaması 32,7 MPa ve standart sapması 3,05 MPa olarak tespit edilmiştir. 28 günlük hedef dayanımların elde edilmesinin ardından tretuvar ve diğer imalatlara başlanılmıştır.



Şekil 5. SSB karotlar için basınç dayanımı değişimi (2017)

Derz bölgelerinde yansıma çatlaklarının yukarıya doğru ilerlemesini engellemek adına, bazı bölgelerde geogrid uygulaması yapılmıştır. Ayrıca aynı trafik yükünde kompozit ve esnek üstyapı tabakalarının performanslarını gözlemleyebilmek için, Sol Yan Yol-2 sol şerit km:0+000 ile 0+600 arası kompozit üstyapı, km: 0+600 ile 1+000 arası esnek üstyapı, km:1+000 ile 1+150 arası kompozit üstyapı olarak inşa edilmiştir. Yine Sol Yan Yol-2 sağ şerit ve köprülülük kavşak kollarının tamamı (5800 m x 7 m boyutundaki güzergâh) kompozit üstyapı olarak inşa edilmiştir.

Son aşamada ise beton yol yüzeyindeki imalat hatalarının giderilmesi, güvenli ve konforlu bir sürüşün sağlanabilmesi için 6 cm kalınlığında Aşınma tabakası yapılmıştır. Bu tabakanın yapımından önce yüzeye CRS-1 (su bazlı bitüm emülsiyonu) tatbik edilmiştir. Uygulamalara ait görseller Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. Kompozit kaplama yapım aşamaları (2017)



Şekil 7. Kaplamanın bitmiş hali (2017)

3.3 Kaplama Performansının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, 2022 yılı itibariyle yolun trafiğe açılmasının ardından geçen 5 yıllık süre içerisinde, kaplamada oluşan yüzey özelliklerinin değişimi, derz çatlakları gelişimi ve dağılımı, asfalt kaplamada meydana gelen birim hacim ağırlık ve sıkıştırma düzeyi kayıpları ve son olarak SSB kaplamadaki basınç dayanımı değişimleri irdelenmiştir.

İlk etapta projede detaylı bir saha incelemesi yapılmıştır. Asfalt kaplama yüzeyinde yoğun trafik altında zamanla gelişen pürüzlülük kayıpları dışında ciddi bir problem gözlemlenmemiştir. SSB kaplamada yapım esnasında oluşturulan yarım derz bölgelerinde Bölüm 2’de detayları verilen yansıma çatlakları irdelenerek yönelim, doğrultu ve genişlikleri belirlenmiştir (Şekil 8, Tablo 2).



Şekil 8. Yansıma çatlaklarının yerinde incelenmesi (2022)

Tablo 2. Yansıma çatlaklarının belirlenen özellikleri (2022)

Derz No	km (veya koordinatlar)	Çatlak Önleyici Kullanıldı mı? (Rabis teli, geotekstil, çelik gabion vb.)	Çatlak Düzgün mü?	Çatlak tam derz noktasında mı?	Çatlak genişliği (mm)
1	1+195	Kullanılmadı	Evet	Evet	4-6
2	1+200	Kullanılmadı	Evet	Evet	2-3
3	1+300	Kullanılmadı	Evet	Evet	5-6
4	1+500	Kullanılmadı	Evet	Evet	3-4
5	0+100	Kullanılmadı	Evet	Evet	3-4
6	0+950	Kullanılmadı	Evet	Evet	1-2
7	0+100	Kullanılmadı	Evet	Evet	2-3
8	0+200	Kullanılmadı	Evet	Evet	2-3
9	Bağlantı yolu-1 0+150	Rabis Teli	Evet	Evet	4-5
10	Bağlantı yolu-1 0+180	Geotekstil	Yol eksenine kadar	Evet	2-4

Kaplama gövdesindeki yansıma çatlakları değişimi 2 mm ile 6 mm arasında seyretmektedir. Çatlak genişliği ortalaması 4 mm civarında (Ortalama = 3,8 mm, Standart Sapma = 1,2 mm) tespit edilmiştir. Yansıma çatlaklarının tamamının tam derinlikli ve düzgün yönelimli oldukları, yer yer çok geniş olmamakla birlikte dallanma yaptıkları ve Geotekstil kullanılan 10 numaralı derzde çatlakın sadece yol eksenine kadar ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Çalışmanın ikinci etabında ise derz bölgesine yakın noktalardan 100 mm çapında karotlar alınarak, asfalt kaplama için birim hacim ağırlık ve sıkışma düzeyi, SSB kaplama için ise basınç dayanımı ve çatlak içerikleri tayin edilmiştir. Ayrıca yarım derzlerin zamanla tam derze dönüşüp dönüşmedikleri karotlar üzerinde yapılan görsel muayeneler ile irdelenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Kaplama gövdesinden alınan karot numuneler (2022)

Numune sayısının 8 olduğu SSB karotlarda basınç dayanımı değişimi 30,1 MPa ile 46,9 MPa arasında seyretmektedir. Ortalama basınç dayanımı 39,4 MPa (Standart Sapma = 6,5 MPa) olarak tespit edilmiştir. Bölüm 3.2’de verilen 28 günlük basınç dayanımı ortalaması 32,7 MPa (Standart Sapma = 3,05 MPa) olduğu düşünüldüğünde, geçen 5 yıllık sürede SSB kaplamanın taşıma kapasitesinde %20 ‘lik bir artış olduğu söylenebilir. Numune sayısının 7 olduğu asfalt karotlarda ise sıkışma düzeyi değişimi %97 ile %100 arasında seyretmektedir. Ortalama sıkışma düzeyi %98,1 (Standart Sapma = %1,2) olarak belirlenmiştir. Karayolları Teknik Şartnamesi, Bitümlü Sıcak Karışımlar (Aşınma Tabakası) kriterlerine göre tek değer ve ortalama ilgili kaplamanın sıkışma düzeyinin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi’nin denetiminde bulunan “Kocaeli İli Gölcük İlçesi Hisar (Asar) Deresi Yan Yolları ve Kavşakları Yapım İşİ” kapsamında 2017 yılında inşaatı biten kompozit bir üstyapının (SSB üzerine asfalt takviye tabakası) beş yıllık performansı irdelenmiştir. Bu çalışma sonucunda;

- Kaplama gövdesindeki yansımaya çatlağı değişimi 2 mm ile 6 mm arasında seyretmektedir. Yansımaya çatlaklarının tamamının tam derinlikli ve düzgün yönelimli oldukları, yer yer çok geniş olmamakla birlikte dallanma yaptıkları gözlenmiştir.
- 5 yıl sonra alınan SSB karotlarda basınç dayanımı değişimi 30,1 MPa ile 46,9 MPa arasında seyretmektedir. Ortalama basınç dayanımı 39,4 MPa (Standart Sapma = 6,5 MPa) olarak tespit edilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı ortalaması 32,7 MPa (Standart Sapma = 3,05 MPa) olduğu düşünüldüğünde, geçen 5 yıllık sürede SSB kaplamanın taşıma kapasitesinde %20 ‘lik bir artış olduğu söylenebilir.
- Asfalt karotlarda ise sıkışma düzeyi değişimi %97 ile %100 arasında seyretmektedir. Ortalama sıkışma düzeyi %98,1 (Standart Sapma = %1,2) olarak belirlenmiştir. Karayolları Teknik Şartnamesi, Bitümlü Sıcak Karışımlar (Aşınma Tabakası) kriterlerine göre tek değer ve ortalama ilgili kaplamanın sıkışma düzeyinin yeterli olduğu tespit edilmiştir
- Mevsim şartlarından ötürü bitümlü sıcak karışım imalatlarının yapılamadığı dönemlerde, yol inşaatlarına devam edilebilmesi taahhüt işlerinin süresini kısaltabilmektedir. Bu çalışma ile SSB kaplama üzerine yapılacak bitümlü sıcak karışım uygulamalarının bu tarz problemleri ortadan kaldırdığı gözlenmiştir.
- Ülkemizde kompozit üstyapılarla ilgili tecrübe düzeyi sınırlıdır. Yansımaya çatlaklarına karşı koruyucu önlemlerin alınması, takviye tabakası ile alternatif çözümlerin geliştirilmesi, kaplamalarda yaşam döngüsü maliyet analizlerinin yapılması gibi konularda teknik şartname ve yapım esaslarını içerir saha çalışmalarının yapılması, bu konudaki tecrübe havuzunu genişletecektir. Yapılan bu saha uygulamasıyla bu alandaki çalışmalara katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, saha uygulaması ve deneysel çalışmalar için verdiği desteğinden ötürü Kocaeli Büyükşehir Belediyesi’ne teşekkür eder.

Kaynaklar

- AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington DC., 1993.
- Abut, Y., Yansımaya Çatlağı Oluşumu Açısından Kompozit Bir Üstyapının Performansının Belirlenmesi., *1. Ulusal Beton Yollar Kongresi ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 13 Kasım 2019.
- Abut, Y., Yildirim, S. T., Ozturk, O., & Ozyurt, N. (2022). A comparative study on the performance of RCC for pavements casted in laboratory and field. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(6), 1777-1790.
- Anderson, T. L. Fracture Mechanics, Fundamentals and Applications. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1995.
- BYŞ-2016, Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara, 2016.
- Chen, D. H. (2008). Field experiences with RDD and overlay tester for concrete pavement rehabilitation. *Journal of Transportation Engineering*, 134(1), 24-33.
- Finn, F. N., & Monismith, C. L. (1984). NCHRP synthesis of highway practice 116: Asphalt overlay design procedures. *TRB, National Research Council, Washington, DC*, 66.
- Güngör A.G., Sağlık A., Çalışkol A., Yansımaya Çatlaklarının Önlenmesinde Ara Tabakaların Kullanımı, *5. Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 18-19 Kasım 2009.
- Gür, A., Abut, Y., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üzerine BSK Aşınma Uygulaması ve Derz Bölgelerinde Geogrid Kullanılmasına Yönelik Bir Saha Çalışması, *7. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 29-30 Kasım 2017.
- Hajj, R., Filonzi, A., Smit, A., & Bhasin, A. (2019). Design and performance of mixes for use as ultrathin overlay. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 145(3), 04019026.
- Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi (2019). *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Li, S., Liu, Z. H., & Chen, X. C. (2011). Application Technology of Thin Asphalt Concrete Overlay on Old Pavement. In *Advanced Materials Research* (Vol. 282, pp. 124-128). Trans Tech Publications Ltd.
- Li, X., & Wen, H. (2014). Effects of preoverlay pavement conditions and preoverlay repair methods on the performance of asphaltic concrete overlays. *Journal of Transportation Engineering*, 140(1), 42-49.
- Lytton, R. L. Use of Geotextiles for Reinforcement and Strain Relief in Asphalt Concrete. In *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 8, 1989, pp. 217-237.
- Manual, H. D. (2020). State of California Department of Transportation Chief, Division of Design P.O. Box 942874, Ms 28 Sacramento, California 94274 – 0001

- Nunn, M., An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, *Proceedings of 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control*, Liege, Belgium, 1989, pp. 146-153.
- Portland Cement Association (PCA), Guide Specification for Construction of Roller Compacted Concrete Pavements, *Portland Cement Association*, IS009, 1-14, 2004.
- Rahmani, E., Sharbatdar, M. K., & Beygi, M. H. A. (2020). A comprehensive investigation into the effect of water to cement ratios and cement contents on the physical and mechanical properties of Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP). *Construction and Building Materials*, 253, 119177.
- Schutzbach, A. M. (1989). *Crack and seat method of pavement rehabilitation* (No. 1215).
- Selvam, M., Debbarma, S., Singh, S., & Shi, X. (2022). Utilization of alternative aggregates for roller compacted concrete pavements—A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 317, 125838.
- Sheikh, E., Mousavi, S. R., & Afshoon, I. (2022). Producing green Roller Compacted Concrete (RCC) using fine copper slag aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 133005.
- Thompson, M. R. (1989). *Breaking/cracking and seating concrete pavements* (No. 144).
- Zhao, Z., Guan, X., Xiao, F., Xie, Z., Xia, P., & Zhou, Q. (2020). Applications of asphalt concrete overlay on Portland cement concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 264, 120045.
- Zhou, F., Hu, S., Chen, D. H., & Scullion, T. (2012). RDD data interpretation and its application on evaluating concrete pavements for asphalt overlays. *Journal of performance of constructed facilities*, 26(5), 657-667.

Recent Advances in Rcc Roadway Construction in the USA

C. Zollinger

2nd Concrete Roads Congress and Exhibition in Ankara, Turkey

Abstract

Roller Compacted Concrete (RCC) is a no slump concrete that is placed by an asphalt paver and compacted with vibratory rollers similar to asphalt pavement construction. RCC has long history of good performance as a pavement for ports, container yards, and manufacturing plants. This paper will summarize a recent survey of uses of RCC, types of paving equipment and final surface through 2021 with a focus on the past 3 years in the United States as well as provide a few case studies on recent projects. The paper documents many of the benefits of using RCC on these types of projects such as speed of installation and traffic opening. Recent advances in mix design with admixtures, aggregate selection, as well as utilization of trowelling for a more aesthetically pleasing finish are also documented.

Key Words: Roller Compacted Concrete / High Density Asphalt Paving Machine / Pavement / Construction / Admixtures / Trowelled Rcc.

1. Introduction

Roller Compacted Concrete (RCC) is defined as a negative slump concrete mix which usually has been made up of aggregate, sand, cement, and water. The material has traditionally been produced in twin shaft horizontal pug mills located on the jobsite and delivered to the paver in dump trucks. The paving machines are large asphalt pavers which are equipped with high density screeds that compact the RCC material with tamper bars, pressure bars and vibration typically achieving greater than 90% compaction behind the screed. An average density achieved behind the screed is usually greater than 95% and while recently many projects have achieved near or greater than 98% behind the screed, we still recommend using rollers for at least 1 pass for additional compaction to ensure uniform compaction across the pavement surface. The material is then compacted to 98% density using dual steel drum rollers, pneumatic rollers or combination rollers, and final compaction is provided with a smaller dual steel drum roller or combination roller. While the RCC Pavement is still fresh, the surface is