

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/357279944>

Yogun Trafik Altındaki SSB Kaplamanın Mekanistik Tasarımı Ve Tasarım Parametrelerinin Duyarlilik Analizi

Conference Paper · December 2021

CITATIONS

0

READS

27

2 authors:



Gizem Çelik

Yalova Üniversitesi

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Yavuz Abut

Yalova Üniversitesi

16 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

SEE PROFILE

YOĞUN TRAFİK ALTINDAKİ SSB KAPLAMANIN MEKANİSTİK TASARIMI VE TASARIM PARAMETRELERİNİN DUYARLILIK ANALİZİ

Gizem Çelik

Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği
celikgizem58@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8050-2531

Yavuz Abut

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü
yavuz.abut@yalova.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4249-7791

Özet

Silindirele sıkıştırılmış Beton (SSB) yollar son yıllarda özellikle belediyeler ve il özel idareleri tarafından kent içi ve kırsal alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. SSB yollar düşük ilk yapım maliyeti, uzun servis ömrü, asfalt ekipmanlarıyla hızlı bir şekilde inşa edilebilmesi ve erken trafiğe açılabilmesi gibi önemli avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, Yalova ili özelinde 1412 m uzunluğunda ve 7 m genişliğindeki bir asfalt yol kesiminde, kaplamanın SSB olarak inşa edilmesi durumunda ortaya çıkacak olan ilk yapım ve bakım-onarım maliyetleri irdelenmiş, asfalt kaplama ile karşılaştırmalı bir mukayese yapılmıştır. İkinci aşamada ise, SSB yol tasarım girdileri olan betonun eğilme dayanımı, çatlamış plak oranı, zemin reaksiyon modülü (k-value), güvenilirlik düzeyi ve servis ömrünün beton yol enkesiti üzerindeki duyarlılık etkileri mekanistik-ampirik bir yöntem ile irdelenmiştir. SSB yolun asfalt yola kıyasla, ilk yapım maliyeti açısından yaklaşık %25, bakım-onarım maliyetleri açısından ise yaklaşık %34 daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Doğrusal duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, betonun eğilme dayanımı, çatlamış plak oranı veya zemin reaksiyon modülünden herhangi birisinin %25 azaltılması durumunda, kaplama kalınlığının sırasıyla %25, %4 ve %3 oranında arttığı, güvenilirlik düzeyi veya servis ömrü parametrelerinden herhangi birisinin %25 azaltılması durumunda ise, kaplama kalınlığının sırasıyla %44 ve %3 oranında azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, inşaat maliyetini etkileyen en baskın tasarım parametrelerinin betonun eğilme dayanımı ve güvenilirlik düzeyi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silindirele sıkıştırılmış Beton, Duyarlılık Analizi, Mekanistik-ampirik Tasarım.

MECHANISTIC DESIGN OF RCC PAVEMENT UNDER THE HEAVY TRAFFIC AND SENSITIVITY ANALYSIS OF DESIGN PARAMETERS

Abstract

Roller Compacted Concrete (RCC) roads have been widely used in urban and rural areas in recent years, especially by municipalities and special provincial administrations. RCC roads stand out with their important advantages such as low initial construction cost, long service life, rapid construction with asphalt equipment and early opening to traffic. In this study, if the pavement is preferred as RCC, the possible initial construction and maintenance-repair costs of road section (1412 m x 7 m) in Yalova were examined and a comparative comparison was made with asphalt pavement. In the second stage, the sensitivity analysis of RCC road design inputs, which are the flexural strength of concrete, slab cracked ratio, soil reaction modulus (k-value), reliability level and design life, on the cross-section of the concrete road were examined with a mechanistic-empirical method. It has been determined that the RCC road is approximately 25% more economical in terms of initial construction costs and approximately 34% more economical in terms of maintenance-repair costs compared to the asphalt road. According to the results of the linear sensitivity analysis, if any of the flexural strength of concrete, slab cracked ratio or soil reaction modulus is decreased by 25%, the slab thickness increases by 25%, 4% and 3%, respectively, and if any of the reliability level or design life parameters is decreased by 25%, the slab thickness decreases by 44% and 3%, respectively. The sensitivity analysis showed that the most dominant design parameters affecting the construction cost were the flexural strength of concrete and reliability level.

Keywords: Roller Compacted Concrete, Sensitivity Analysis, Mechanistic-empirical Design.

1. GİRİŞ

SSB yollar içeriğindeki malzemeler ve yapısal performans olarak, geleneksel beton yollara benzer olup agrega gradasyonu ve sıkıştırma işlemleri ile de asfalt yollara benzer şekilde inşa edilmektedir. SSB yol, iri ve ince agregaların iyi gradasyon verecek şekilde uygun su ve çimento ile karıştırılarak oluşturulan karışımın asfalt sericilerle serilip, silindirler ile sıkıştırılması ile oluşan bir rijit üstyapı tipidir (Harrington vd., 2010). SSB kaplamalar, düşük ilk yapım maliyetleri, minimum düzeyde bakım-onarım gereklilikleri, uzun servis ömürleri, yüksek taşıma kapasitesi gibi sahip olduğu özelliklerle ciddi bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Günümüzde kentlerdeki nüfus artışı ve ticari faaliyetlerdeki gelişmeler ile birlikte ulaşım ihtiyaçları da artış göstermektedir. Dünyada kullanımı en fazla olan karayolu ulaşımında, yol ağı sürekli genişlemekte, bununla birlikte bakım-onarım miktarları ve harcamaları artmaktadır. Ülkemizdeki yol kaplamalarının büyük kısmı esnek yol kaplamalarından oluşmaktadır. Asfalt kaplamaların bağlayıcı malzemesi olan bitüm dışarıdan temin ettiğimiz ve maliyeti yüksek olan bir malzemedir. Maliyetleri düşürmek ve çok daha uzun sürelerde servis hizmeti almak için bağlayıcı malzemesi olarak çimento kullanılan beton yolların kullanımı artırılabilir. Geleneksel beton ve asfalt yolların birtakım özelliklerinden yararlanılarak elde edilen SSB yollar, alternatif bir kaplama türü olarak karşımıza çıkmaktadır. SSB kaplamalar son yıllarda yerel yönetimler tarafından benimsenmiş ve yaygın bir şekilde tercih edilmeye başlamıştır. Ülkemizde ilk SSB uygulaması, 1982-1983 yılları arasında yapılan Karakaya Barajı inşasıdır. Türkiye'deki ilk SSB yol uygulaması Denizli Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmıştır (Yaman & Ceylan, 2013). Daha sonra Kocaeli, Samsun, Tekirdağ, Edirne, Ordu, Manisa, Bursa, Kırklareli, Artvin, Sakarya, Ağrı gibi birçok ilimizde SSB yol uygulaması yapılmıştır (TÇMB, 2019). Bu çalışmada, Yalova ili özelinde 1412 m uzunluğunda ve 7 m genişliğindeki bir asfalt yol kesiminde, kaplamanın SSB olarak inşa edilmesi durumunda ortaya çıkacak olan ilk yapım ve bakım onarım maliyetleri irdelenmiş, asfalt kaplama ile karşılaştırmalı bir mukayese yapılmıştır. İkinci aşamada ise, SSB yol tasarım girdileri olan betonun eğilme dayanımı, çatlamış plak oranı, zemin reaksiyon modülü, güvenilirlik düzeyi ve servis ömrünün beton yol enkesiti üzerindeki duyarlılıkları, mekanistik-ampirik bir yöntem ile irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Güzergâh Seçimi

Çalışma kapsamında, Yalova İli Termal Yolu Caddesi üzerinde art arda konumlanmış üç adet kavşak ve bunları bağlayan bir yol geçkisi üzerinde tasarım yapılmıştır. Belirlenen güzergâh için yapılan trafik sayımı verilerine göre, yoldan bir günde geçen ortalama kamyon sayısı 73 olarak verilmiştir (Kara, 2020). Güvenli yönde kalmak adına bu sayı %25 artırılarak 91 alınmıştır. Güzergahın uydu görüntüsü Şekil 1'de, yola ait sokak resimleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yolun uydu görüntüsü



Şekil 2. Kavşak kesişim noktaları ve yol geçkisi (Google Street View)

2.2. Yolun Yapısal Tasarımı

Kaplama tasarımı genel olarak, plak kalınlığının ve enine-boyuna derz mesafelerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Bu çalışmada, büyük ölçüde Packard, R. G., & Canadian PCA (1984) ve ACI 330.2R (2017) dizayn prosedürlerini kullanan Pavement Designer internet sitesi üzerinden bir tasarım yapılacaktır (Link-1). Pavement Designer arayüzü, Şekil 3'te ve tasarımda kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Pavement Designer arayüzü (Link-1)

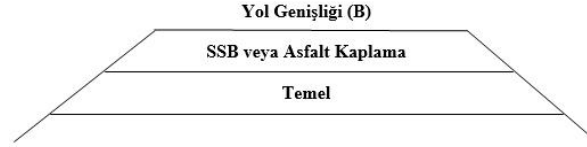
Tablo 1. Kaplama tasarımında kullanılan parametreler

PARAMETRE	DEĞER
Proje Süresi (Yıl)	20
1991 İl Yolu, Güvenilirlik (%)	70
Günlük Ortalama Kamyon Sayısı (Major Arterial)	91
Yıllık Ağır Taşıt Trafığı Artış Oranı (%)	2
1991 Yön Dağılımı (%)	50
Tasarım Şeridi Dağılımı (%)	100
Standart Dingil Yüğü (kN)	80
Betonun Esneklik Modülü (MPa)	27500
Betonun Üç Nokta Eğilme Dayanımı (MPa)	4,5
Servis Ömrü Sonundaki Çatlamış Plak Oranı (%)	5
Taban Zemini CBR Değeri (%)	15
Granüler Temel M_R (Esneklik Modülü) Değeri (MPa)	172
Granüler Temel Kalınlığı (mm)	150

Tasarım çıktılarına göre, hesaplanan minimum kaplama kalınlığı 142,24 mm olmakla birlikte tavsiye edilen tasarım kalınlığı 140,00 mm'dir. Enine derz aralıkları ise 2,36 m olarak belirlenmiştir.

2.3. Maliyet Analizi

SSB ve asfalt kaplama maliyetleri, Şekli 4'te verilen en kesite göre, L (Uzunluk) =1412 m ve B (Genişlik) = 7 m olacak şekilde hesaplanmıştır (Aşınma ve Binder Yoğunluğu = 2,4 t/m³, PMT Yoğunluğu = 2,3 t/m³).



Şekil 4. Yol üstü yapısı tabaka kesitleri (Akbelen & Yaman, 2019)

Birim fiyat analizlerinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen, 2019 yılı birim fiyatları baz alınmıştır (Akbelen & Yaman, 2019). Bu çalışmada, 2021 yılı perspektifi için birim fiyatlar %60 oranında artırılarak kullanılmıştır. Tablo 2'de SSB ve asfalt kaplamaların ilk yapım maliyetleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre, SSB yolun ilk yapım maliyetinin asfalt yola göre yaklaşık %25 daha ekonomik olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2. SSB ve asfalt kaplama için ilk yapım maliyeti analizi

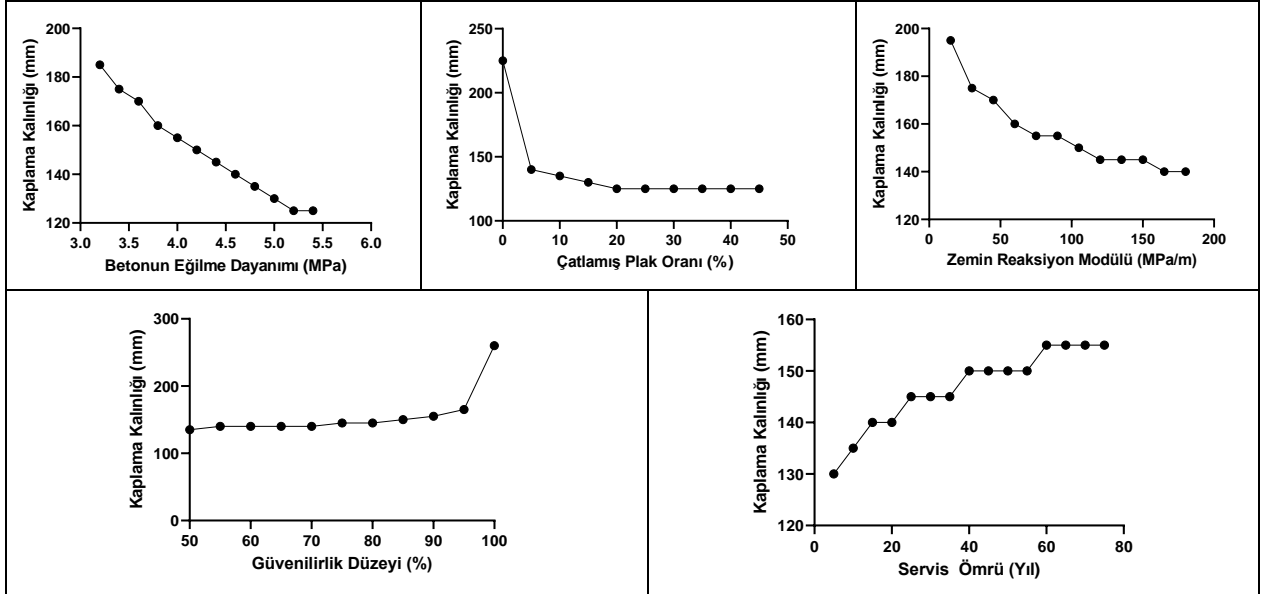
SSB KAPLAMA				
İŞİN ADI	ÖLÇÜ BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYATI (TL)	MALİYET (TL)
Kazı Yapılması (15 cm)	m ³	1482,60	30	44478
PMT (15 cm)	ton	3409,98	95,90	327017,08
Karışımın Hazırlanması, Finişerle Serilmesi ve Silindirlerle Sıkıştırılması	m ³	1383,76	413,68	572433,84
Tesisten Sahaya Taşınma	m ³	1383,76	26,93	37264,66
Derz Kesimi	m	1412	3,38	4772,56
Kimyasal Kür	m ²	9884	5,97	59007,48
TOPLAM				1.044.973,62
ASFALT KAPLAMA				
İŞİN ADI	ÖLÇÜ BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYATI (TL)	MALİYET (TL)
Kazı Yapılması (15 cm)	m ³	1482,60	30	44478
PMT (15 cm)	ton	3409,98	95,90	327017,08
Binder (9 cm)	ton	2134,94	290	619132,60
Aşınma (6 cm)	ton	1423,30	290	412757
TOPLAM				1.403.384,68

SSB yolun servis ömrü boyunca göreceği bakım-onarım faaliyetleri (Abut, 2017)'a göre belirlenmiş, maliyetler 2021 birim fiyatlarını yansıtmaları için %60 oranında artırılmıştır. Sırasıyla SSB yol ve asfalt yol olmak üzere bakım-onarım maliyetleri 161,88 TL/m² ve 243,20 TL/m² olarak tespit edilmiştir. Bu verilere göre SSB yolun bakım-onarım maliyetlerinin asfalt yola göre yaklaşık %34 daha ekonomik olduğu sonucu çıkmaktadır.

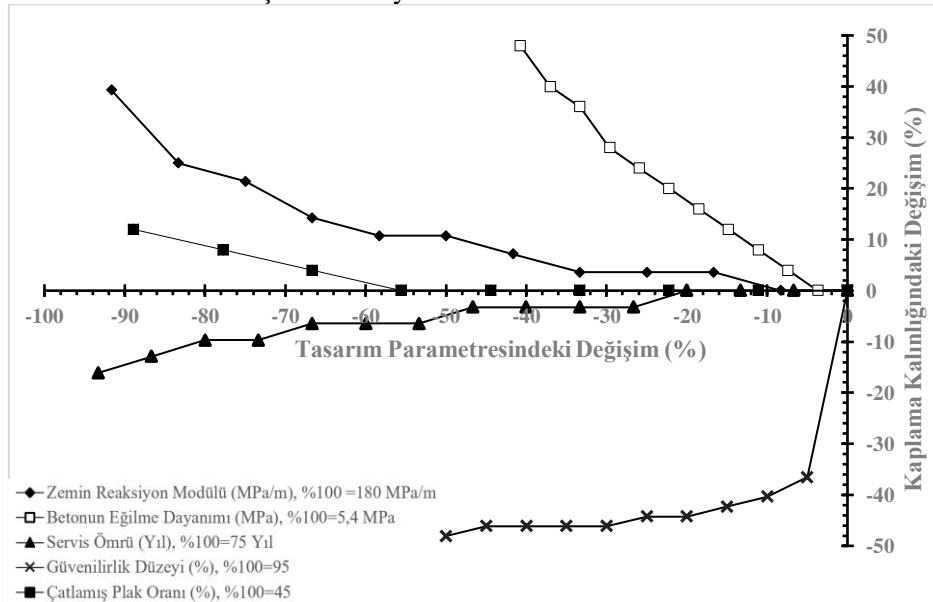
2.4. Duyarlılık Analizi

Birden fazla değişkenin olduğu duyarlılık analizleri, bir girdi parametresinin değerinin, bu girdi değişkeninin tahmin edilen performans üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığını belirlemek için

yapılmaktadır. Bu sayede değişkenlerin modeldeki etkileri belirlenebilmektedir. Aynı zamanda, girdi parametrelerinin farklı varyasyonlarında kaplama kalınlığının tespitine imkân tanımaktadır. Pavement Designer ile elde edilen duyarlılık analizi grafikleri Şekil 5'te verilmektedir. Bu grafikler Şekil 6'daki gibi normalize edildiği takdirde, girdi parametrelerinin kaplama kalınlığı üzerindeki etkisi görece olarak değerlendirilebilmektedir. Şekil 6'da her bir girdi parametresindeki yüzde azalma miktarının, kaplama kalınlığına olan görece etkisi (yüzde artış veya azalış) görülmektedir. Bu grafiğe göre, betonun eğilme dayanımı, çatlamış plak oranı veya zemin reaksiyon modülünden herhangi birisinin %25 azaltılması durumunda, kaplama kalınlığının sırasıyla %25, %4 ve %3 oranında arttığı, güvenilirlik düzeyi veya servis ömrü parametrelerinden herhangi birisinin %25 azaltılması durumunda ise, kaplama kalınlığının sırasıyla %44 ve %3 oranında azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, maliyeti etkileyen en baskın tasarım parametrelerinin betonun eğilme dayanımı ve güvenilirlik düzeyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Duyarlılık Analizi Grafikleri



Şekil 6. Tasarım Parametrelerinin Kaplama Kalınlığı Üzerindeki Etkisi

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yalova ili özelinde 1412 m uzunluğunda ve 7 m genişliğindeki bir asfalt yol kesiminde, kaplamanın SSB olarak inşa edilmesi durumunda ortaya çıkacak olan ilk yapım ve bakım onarım maliyetleri irdelenmiş, asfalt kaplama ile karşılaştırmalı bir mukayese yapılmıştır. Aynı zamanda, SSB

yol tasarım girdileri olan betonun eğilme dayanımı, çatlamış plak oranı, zemin reaksiyon modülü, güvenilirlik düzeyi ve servis ömrü'nün beton yol enkesiti üzerindeki duyarlılıkları, mekanistik-ampirik bir yöntem ile irdelenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre;

- Pavement Designer ile elde edilen minimum SSB kalınlığı 142,24 mm, tavsiye edilen tasarım kalınlığı 140,00 mm olarak tespit edilmiştir. Enine derz aralıkları ise 2,36 m olarak hesaplanmıştır. Tasarım parametrelerine göre derz mesafelerinde fazla açılmaya müsaade edilmemektedir.
- Tabaka kalınlıkları belirlenen yolun ilk yapım maliyetleri ve bakım/onarım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama asfalt kaplamalar için de yapılarak karşılaştırmalı bir maliyet analizi yapılmıştır. SSB yolun ilk yapım maliyeti 1.044.973,62 TL olarak belirlenmiştir. Aynı miktarda asfalt yolun ilk yapım maliyeti ise 1.403.384,68 TL'dir. Bu hesaplamalar doğrultusunda, SSB yolun ilk yapım maliyetinin asfalt yoldan yaklaşık %25 daha ekonomik olduğu belirlenmiştir. Bakım onarım maliyetleri açısından yapılan kıyaslamada, SSB yolun asfalt yoldan yaklaşık %34 oranında daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Yapılan maliyet analizlerinden de anlaşılacağı üzere, SSB kaplamanın uzun hizmet ömrü ve minimum düzeyde bakım ihtiyaçları dikkate alındığında, düşük ilk yapım maliyeti olan ekonomik bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır.
- Normalize edilmiş duyarlılık analizlerine göre, betonun eğilme dayanımı, çatlamış plak oranı veya zemin reaksiyon modülünden herhangi birisinin %25 azaltılması durumunda, kaplama kalınlığının sırasıyla %25, %4 ve %3 oranında arttığı, güvenilirlik düzeyi veya servis ömrü parametrelerinden herhangi birisinin %25 azaltılması durumunda ise, kaplama kalınlığının sırasıyla %44 ve %3 oranında azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, maliyeti etkileyen en baskın tasarım parametrelerinin betonun eğilme dayanımı ve güvenilirlik düzeyi olduğu belirlenmiştir. Yeni yapılması hedeflenen yollar için bu iki parametre ekonomiklik yönünden daha ayrıcalıklı ve öncelikli olarak irdelenmelidir.
- Yalova İlinde henüz beton yol yapımının gerçekleşmediği bilinmektedir. Bu bağlamda özellikle sathi kaplamanın yapıldığı alanlarda (Belediye sorumluluğundaki yolların %5'i, İl Özel İdaresi sorumluluğundaki yolların %25'i) SSB yol uygulanması ekonomiklik ve uzun süre kullanım gibi birçok açıdan getiri sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abut, Y. (2017). Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol: Kocaeli İlinde Bir Durum Çalışması. Doktora Tezi. ACI 330.2R-2017, Guide for the Design and Construction of Concrete Site Paving for Industrial and Trucking Facilities Reported by ACI Committee 330
- Akbelen, B., & Yaman, İ. Ö. (2019). Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) ve Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) Yolların Teknik ve Ekonomik Analizi. 1. Beton Yollar Kongresi ve Sergisi, (s. 261-273). Ankara.
- Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., & Ceylan, H. (2010). Guide for Roller Compacted Concrete Pavements. National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University.
- Kara, H. (2020). Yeşil Dalga ile İşletilen Kavşaklarda Işıklı Kılavuz Uygulama Projesi. Lisans Tezi. Yalova. LİNK-1: <https://www.pavementdesigner.org/projectTypes/street/concrete/> (Erişim Tarihi: 11.05.21)
- Packard, R. G., & Canadian PCA. (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements: Canadian edition/metric. Ottawa, Ont.: Canadian Portland Cement Association.
- TÇMB. (2019, Ekim). Silindirle sıkıştırılmış beton: Beton kaplamaları ulaştırma sektörünün kullanımına sunan bir yöntem. Ankara: TÇMB.
- Yaman, İ. Ö., & Ceylan, H. (2013). Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar. Hazır Beton, 69-82.