

Asfalt yol kaplaması ile sanayi atık lifli reaktif pudra beton yol kaplamasının maliyet karşılaştırması

Abdulrezzak BAKIŞ^{*1}, Fatih HATTATOĞLU²,

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

² Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum

Makale Gönderme Tarihi: 27.04.2016

Makale Kabul Tarihi: 04.06.2016

Öz

Ülkemizde havaalanı pistlerinde, terminallerde, otopark sahalarında ve şehir içi yollarda, beton kaplamaların yapımı yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada kaplama kalınlık ve maliyet karşılaştırması için, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplama ve bir Reaktif Pudra Beton tipi olan Sanayi Atık Lifli Reaktif Pudra Beton (SANLİF-RPB) kaplama olmak üzere 2 tip kaplama seçilmiştir. SANLİF-RPB'un basınç ve eğilme dayanımları deneysel olarak bulunmuştur. SANLİF-RPB'un basınç ve eğilme dayanım sonuçlarıyla, beton yol kaplama kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan kaplama kalınlık değerleri ile kaplama maliyet hesapları yapılmıştır. Çalışmada kaplama kalınlıkları ve maliyet hesaplama sonuçları karşılaştırılarak, BSK ve SANLİF-RPB yol kaplamalarının ekonomik irdelemesi yapılmıştır.

Çalışmada; Eşdeğer Tek Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı ($W_{8,2}$) 10×10^6 olan yol kaplamasında, SANLİF-RPB kaplama kalınlığı 14.73 cm ve asfalt kaplama kalınlığı 19 cm olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda, maliyet olarak $W_{8,2} = 10 \times 10^6$ değerine göre 1 km yol uzunluğu için, SANLİF-RPB kaplama maliyetinin, BSK kaplama maliyetinden %20.99 daha ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asfalt kaplama; Rijit kaplama; Reaktif Pudra Beton (RPB); Atık çelik lif; Asfalt kaplama maliyeti; Rijit kaplama maliyeti;

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Abdulrezzak BAKIŞ. abakis@beu.edu.tr; Tel: (434) 222 00 00 (3416)

Giriş

Esnek üstyapı; kaplama, temel ve alttemel tabakasından oluşmaktadır. Yüksek standartlı yollarda kaplama tabakası aşınma ve bindenlerden oluşan iki tabaka şeklinde bitümlü karışımdan, düşük standartlı yollarda ise tek kat ve ya çift kat sathi kaplama olarak yapılmaktadırlar. Yüksek standartlı karayolu ve otoyolları bitümlü sıcak karışımlara sahip tabakalar ile yapılmaktadır. Rijit üstyapı, alt temel ve üzerine yapılan beton kaplamadan meydana gelmektedir. 20 yıllık proje ömrü içinde, standart dingil yükü sayısı $60-75 \times 10^6$ 'dan fazla olan yollar ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5 000'den fazla kalkış yapan havaalanlarının rijit kaplama yapılma zorunluluğu bulunmaktadır. Birçok kurum, yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari taşıt sayısının 5 000'den fazla olması halinde beton kaplama yapılmasını öngörmektedir (Tunç, 2007). Rijit üstyapı tasarımında amaç, üstyapıdaki tabaka kalınlıklarını ve üstyapıda kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemektir (Bayrak, 2007). Betona lifler katılarak geleneksel kür işlemlerinin dışında özel kürler uygulanarak Ultra Yüksek Performanslı Betonlar üretilebilmektedir. Bu beton sınıfında bulunan betonlardan birisi Reaktif Pudra Betondur (RPB).

Reaktif Pudra Beton (RPB), beton tipleri içerisinde en yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip, genellikle çimento, silis dumanı, kuvars kumu ve pudrası, çelik lif, su ve süperakışkanlaştırıcılar ile özel kürler uygulanarak oluşturulan ultra yüksek performanslı bir betondur (Bakış, 2015). RPB'da su/bağlayıcı oranı çok düşük olup 0.12-0.15 seviyesindedir (Roux vd., 1996; Bakış, 2015). Su/bağlayıcı oranı azaldıkça RPB su geçirgenliği azalmaktadır (Tam vd., 2012). RPB yüksek dayanımlı betonlara iyi bir alternatif olmakla birlikte inşaat sektöründe çelikle yarış edebilecek potansiyele sahip bir malzemedir. RPB'un sünek kırılma mekanizması, malzemeye direkt olarak etkiyen eğilme kuvvetlerinin karşılanması için herhangi bir

betonarme donatısının kullanılmasına gerek bırakmaz. RPB'da kullanılan ince kum normal betondaki kaba agreganın yerine, Portland çimentosu ince agreganın yerine ve silis dumanı da çimentonun rolünü üstlenmektedir (Topçu ve Karakurt, 2005). RPB' da kullanılan çimento miktarına göre, diğer malzeme miktarları ağırlıkça oranlandırılır. Çimento miktarına göre diğer malzemeler bu oranın ağırlıkça yüzdeleri şeklinde dilimlere ayrılır ve karışım oluşturulur (Bakış, 2015). Reaktif Pudra Betonları (RPB) çok düşük su/bağlayıcı oranına sahip, yüksek oranda bağlayıcı ve pudra içeren, kısa kesilmiş çelik teller ile süneklik iyileştirmesi yapılmış ultra yüksek dayanımlı betonlardır (Yaşınkaya ve Yazıcı, 2011). Yüksek dayanımlı betonlar her ne kadar yüksek performansla sahip olsa da aşırı gevrek davranış gösterir. RPB üretiminde betonun çekme mukavemetini artırarak sünekliğini sağlamak amacıyla beton içerisine çelik lifler katılmaktadır. Donatısız betona parçalı makro liflerin eklenmesi, yol betonlarının eğilme kapasitesini artırmaktadır (Altoubat vd., 2006). RPB'ların rijit kaplamalara uygulanmasıyla rijit yol kaplamalarında donatı kullanımına gerek kalmamaktadır. RPB'ların bu üstün özelliklerinden dolayı rijit kaplamalarda kullanılmasıyla geleneksel beton kaplamalara nazaran hem beton içerisinde donatı kullanımına gerek kalmadan hem de normal beton kaplamalara oranla çok daha az bir kaplama kalınlığında inşa edilebilir. Maliyeti düşürmek amacıyla sanayi atığı çelik liflerin, RPB üretiminde kullanılması mümkündür (Bakış, 2015). Bu şekilde rijit kaplama maliyeti düşürülebilir. Çalışma kapsamında, RPB üretim maliyetini düşürmek amacıyla, normal fabrikasyon ürünü çelik lifler yerine sanayi atığı çelik lifler kullanılmıştır.

Ülkemizde beton yolun ilk yapım maliyetinin asfalt yoldan daha fazla olduğuna dair yerleşmiş bir kanı vardır. Yapılan bazı çalışmalar bunun genellikle doğru olmadığını göstermektedir (Uçar ve Konrpa, 2002; Yeğinobalı, 2009; Sağlık vd., 2009). Yüksek trafik hacimlerinde beton kaplama daha ekonomik olmaktadır. Taban zemininin zayıf olması durumunda beton

kaplama, düşük trafik hacimlerinde bile asfalt kaplamalardan daha ekonomik olmaktadır. (Ağar vd., 1998; Türel, 2003).

Bu çalışmada, 1 km uzunluktaki bir karayolunda, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalı esnek üstyapı ile Reaktif Pudra Beton türü olarak üretilen Sanayi Atık Lifli Reaktif Pudra Beton (SANLİF-RPB) kaplamalı rijit üstyapının eşit trafik yükü altında, üstyapı maliyet hesapları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu, BSK kaplamalı esnek üstyapı ile SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapının kaplama kalınlıkları bulunmuştur. Bulunan kalınlıklara göre maliyet hesaplamaları yapılarak üstyapılar ekonomik olarak karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada SANLİF-RPB karışımlarında TS EN 197-1 standartlarına uygun CEM II/A-M (P-L) 42.5 R türü çimento kullanılmıştır. Sanayi atığı çelik lifler Bitlis Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi'nden temin edilmiştir. Lisenin makine atölyesinde endüstriyel çelik malzeme üretimleri sonucu arta kalan atıl durumdaki çelik lifler Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü laboratuvarına alınarak SANLİF-RPB numune üretimlerinde kullanılmıştır. Çelik lifler ortalama 0-1 mm çaplarında ve 0-10 mm uzunluktadırlar. SANLİF-RPB karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kalınlık ve maliyet hesaplamalarında BSK kaplama asfalt çimentosu 50/70 seçilmiştir.

Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) Üstyapı Tabaka Kalınlık ve Maliyet Hesap Yöntemi

Karayolları Genel Müdürlüğü 2008'de revize edilen, Amerikan Devlet Yolları ve Resmi Taşımacılık Birliği (ASSHTO) 1993 yöntemini esas alan Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi yayınlamıştır. Servis kabiliyeti-davranış ilişkisine dayanan bu metot; zemin taşıma gücüne, trafik yüküne, bölge ve iklim koşullarına ve üst yapı tabakalarının özelliklerine bağlı olarak üstyapı tabaka kalınlıklarını verir. Güvenilirlik; projesi yapılan

üstyapıya ait proje ölçütlerinin, belirlenen proje süresi boyunca, hâkim trafik ve çevre koşulları altında, yoldan beklenen projelendirme şartlarını karşılama olasılığı olup, geleceğe yönelik kabul edilen trafik tahminleri ve servis kabiliyetindeki sapmaların belirli bir sınır içerisinde tutulabilmesi için güvenilirliğin belirlenmesi gerekmektedir. Güvenilirlik seviyesi ve güvenilirliğin standart normal sapması (Z_R) yolun sınıfına bağlı olarak Tablo 1' den seçilmektedir (Güngör ve Sağlık, 2008).

Tablo 1. Tavsiye edilen güvenilirlik değerleri

Yolun Sınıfı	Şartname güvenilirlik değeri (%R)	Standart normal sapma Z_R
Otoyollar	95	-1.645
Devlet Yolu	85	-1.037
İl Yolu	70	-0.524

Trafik ve performans tahmininin bileşik Toplam Standart Sapma (S_o) değeri ise öngörülen güvenilirliğe bağlı olarak esnek üstyapılar için 0.40-0.50 arasında değişmekte olup, ortalama 0.45 alınır. Esnek üstyapıların projelendirilmesinde drenaj etkisi, üstyapı sayısı hesaplanırken, alttemel ve temel tabakalarına ait parametrelerin drenaj katsayısı (m_i) denilen bir sabitle çarpılmasıyla dikkate alınır. Karayolları esnek üst yapılar projelendirme rehberinde alttemel ve temel için drenaj katsayıları 1 alınarak üstyapı kalınlıkları belirlenmektedir (Güngör ve Sağlık, 2008). Esnek kaplamaların tasarımı için Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberinde Formül 1 kullanılmaktadır (Güngör ve Sağlık, 2008):

$$\log(T_{8,2}) = Z_R S_o + 9,36 \log(SN+1) - 0,20 + \log[(4,2-P_i)/(4,5-1,5)] / 0,40 + [1094/(SN+1)^{5,19}] + 2,32 \log M_R - 8,07 \quad (1)$$

Burada;

- $T_{8,2}$: P_i ' ye erişinceye kadar tekerrür edecek standart dingil (8,2 ton) sayısı
 P_i : Son servis kabiliyeti
 Z_R : Standart normal sapma
 S_o : Toplam standart sapma
 SN : Üstyapı sayısı (inç)
 M_R : Esneklik Modülü (psi)

Üstyapı kalınlıklarının hesaplanması için bilinen $T_{8,2}$, P_t , Z_R , S_o değerleri yardımıyla Formül 1'den SN değeri bulunur. Hesaplanan SN, üstyapı tabakalarının izafi mukavemet sayıları ile bağlantılı olarak üstyapı kalınlıklarına dönüştürülür. Üstyapı sayısı (SN) ve Servis Kabiliyetindeki Azalma Miktarı (Δ PSI) Formül 2 ve Formül 3' deki şekilde hesaplanmaktadır (Güngör ve Sağlık, 2008):

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2)$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (3)$$

Burada;

a_1, a_2, a_3 : Kaplama, temel, alttemel tabakalarının izafi mukavemet katsayıları

D_1, D_2, D_3 : Sırasıyla kaplama, temel, alttemel tabaka kalınlıkları (cm)

m_2, m_3 : Temel, alttemel tabakalarının drenaj katsayısı

P_o : Yolun ilk servis kabiliyeti

P_t : Yolun son servis kabiliyeti

Üstyapı yeni yapıldığında yolun ilk servis kabiliyeti (P_o) değeri esnek üstyapı projelendirmelerinde genellikle 4.2 olarak alınmaktadır. Üstyapının proje süresi sonunda ulaşması gereken hizmet kabiliyeti, son servis kabiliyeti (P_t) ile tanımlanır. Bu değer Otoyol ve Devlet Yolları için 2.5, İl Yolları için ise 2.0 olarak alınır. Esnek üstyapı kalınlık ve maliyet hesaplamasında; esnek üstyapı kaplama tabakasının aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarından oluştuğu göz önüne alınmıştır. Temel ve alttemelde kırmataş agregası

kullanıldığı varsayılmıştır. Hesaplamalar yapılarak $W_{8,2}=10 \times 10^6$ değerine göre esnek üstyapı kalınlıkları oluşturulmuştur. Maliyet hesaplamalarında, Taşıma bedeli formülü Karayolları Genel Müdürlüğünden (KGM) alınmıştır:

$$F=1.25AK(0.0007M+0.01)-0.00260K \quad (4)$$

Burada;

A: 1.00 (KGM tarafından genellikle 1.00 alınır)

K: Taşıma Katsayısı (2014 yılı için $K=196$)

M: Taşıma mesafesi (km)

F: Taşıma Bedeli (TL/Ton)

Sanayi Atık Lifli RPB Üstyapı Tabaka Kalınlık ve Maliyet Hesap Yöntemi

Bu çalışmada, Reaktif Pudra Betonların karışım tasarımı için yerli ve yabancı herhangi bir standarta rastlanılmamıştır. Karışımı oluşturan taneli malzemelerin sıkı bir yapı oluşturacak şekilde oranlanması için farklı karışım teorileri kullanılmıştır (İpek, 2009; Bakış, 2015). Bu teoriler, Mooney'in süspansiyon viskozite modelinden türemiştir (Larrard and Sedran, 1994; İpek, 2009; Bakış, 2015). Betonda sıkı bir karışım oluşturmak için tasarlanan Mooney modelinden ortaya çıkan farklı karışım tasarımlarından genel olarak kullanılan oranlar 1 birim cinsinden Tablo 2'de görülmektedir (Richard and Cheyrezy, 1995). Çalışmada RPB' lu tüm karışımlarda Mooney'in model oranlaması göz önüne alınmıştır.

Tablo 2. Tipik RPB betonların çimentoya göre karışımın oranları

Malzemeler	RPB200				RPB800	
	Lifsiz		Lifli		Silis Agregalar	Çelik Agregalar
Portland Çimentosu	1	1	1	1	1	1
Silis Dumanı	0.25	0.23	0.25	0.23	0.23	0.23
Kum (150-600 μ m)	1.1	1.1	1.1	1.1	0.5	-
Kırılmış Kuvars ($d_{50}=10 \mu$ m)	-	0.39	-	0.39	0.39	0.39
Süperakışkanlaştırıcı	0.016	0.019	0.016	0.019	0.019	0.019
Çelik Tel (L=12 mm)	-	-	0.175	0.175	-	-
Çelik Tel (L=3 mm)	-	-	-	-	0.63	0.63
Çelik agregalar (< 800 μ m)	-	-	-	-	-	1.49
Su	0.15	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19

Çalışmada, SANLİF-RPB üretiminde karışım miktarları için, Mooney'in süspansiyon viskozite model oranlaması göz önüne alınmıştır. SANLİF-RPB karışım miktarları Tablo 3'de görülmektedir. Numune kalıpları basınç numuneleri için 50x50x50 mm, eğilme numuneleri için 50x50x300 mm.dir. Tüm üretimlerde priz süresince herhangi bir sıkıştırma basıncı uygulanmamıştır. Numuneler kalıplara şişlenerek yerleştirilmiştir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan SANLİF-RPB' lar, 28 günlük 20°C standart su kürüne alınmıştır. SANLİF-RPB numunelere 28 günlük 20°C standart su kürü sonrası basınç ve eğilme deneyleri uygulanmıştır (TS EN 12390-3, 2010; TS EN 12390-5, 2010).

Tablo 3. SANLİF-RPB Karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	769
Silis Dumanı	177
Kuvars Kum (0.15-0.6 mm)	845
Kuvars Pudra (0-0.045 mm)	300
Süperakışkanlaştırıcı	15
Sanayi Atığı Çelik Lifler (L=0-10 mm) (Çap=0-1 mm)	135
Su	147
TOPLAM	2388

DeneySEL çalışmalarından sonra SANLİF-RPB kaplama kalınlık ve üstyapı maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Rijit kaplamanın performansı için AASHTO yol testinden Formül 5 elde edilmiştir (AASHTO, 1993):

$$\log W_{8,2} = Z_R \cdot S_o + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \log [\Delta PSI / (4,5 - 1,5)] / 1 + [1,624 \cdot 10^7 / (D+1)^{8,46}] + (4,22 - 0,32 P_t) \log (S_c' \cdot C_d [D^{0,75} - 1,132] / 215,63 J [D^{0,75} - [18,42 / (E_c / k^{0,25})]]) \quad (5)$$

Tablo 4. Tavsiye edilen yük transfer katsayıları (AASHTO, 1993)

Banket	Asfalt		Beton Kaplama	
	Var	Yok	Var	Yok
Yük Transferi				
Kaplama Tipi	J	J	J	J
Donatsız Derzli	3.2	3.8-4.4	2.5 -3.1	3.8-4.2
Donatılı Derzli	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
Sürekli Donatılı Derzsiz	2.9-3.2	-	2.3-2.9	-

Burada;

$W_{8,2}$: 8.2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı

Z_R : Standart normal sapma

S_o : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası

D : Rijit plak kalınlığı, inç

ΔPSI : $P_o - P_t$ (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)

P_o : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi

P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi

S_c' : Betonun Kopma Modülü (Eğilmede çekme mukavemeti), psi

J : Yük transfer katsayısı

C_d : Drenaj katsayısı

E_c : Betonun Elastisite Modülü, psi

k : Yatak katsayısı, psi

SANLİF-RPB kaplama kalınlık hesaplamalarında $W_{8,2} = 10 \times 10^6$ alınmıştır. SANLİF-RPB kaplama Kopma Modülü (S_c') (Eğilmede çekme mukavemeti), eğilme deneyleri sonucu hesaplanan eğilme dayanım değerleridir. Bu değerler eğilme deney cihazında MPa cinsinden hesaplanmıştır.

Kalınlık hesaplamalarında MPa birimi Formül 5 gereği psi birimine dönüştürülmüştür. Beton kaplamanın derzlerde veya çatlaklarda yükü dağıtabilme yeteneği için yük transfer katsayısı (J), bir parametre olarak göz önüne alınmaktadır (AASHTO, 1993).

Tablo 4'de yük transfer katsayıları verilmiştir. J değeri tüm hesaplamalarda 2.9 alınmıştır.

Betonun karakteristik silindir basınç mukavemeti, küp basınç mukavemetinin 0.8 katı alınabilir (TS500, 2000). SANLİF-RPB kaplama kalınlık hesaplamalarında, MPa birimi psi birimine dönüştürülerek hesaplama yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu bulunan

küp basınç dayanımlarının 0.8 katı alınarak, numunelerin karakteristik silindir basınç mukavemetleri hesaplanmıştır. Beton kaplamalarda drenaj katsayısı (C_d) için tavsiye edilen değerler, Tablo 5’de gösterilmiştir. Tüm hesaplamalarda C_d değeri 1 olarak alınmıştır.

Tablo 5. Tavsiye edilen drenaj katsayıları (AASHTO, 1993)

Drenaj kalitesi	Suyun uzaklaştırma süresi	Kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yüzdesi			
		<%1	%1-5	%5-25	>%25
Çok iyi	2 saat	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
İyi	1 gün	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Vasat	1 hafta	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Kötü	1 ay	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Çok Kötü	Dren yok	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Esnek kaplamalarda zemin taşıma gücü Efektif Esneklik Modülü (M_R) ile tanımlanırken beton kaplamalarda ise zeminin taşıma gücü Efektif Yatak Katsayısı (Zemin Reaksiyon Modülü) ile tanımlanmaktadır. Zemin yatak katsayısı (k) ile Esneklik Modülü (M_R) arasında Formül 6’da belirtilen ilişki vardır (Tunç, 2007):

$$k = M_R / 19.4 \quad (6)$$

Burada;

k : Yatak Katsayısı (Plaka yükleme deneyi ile) (psi)

M_R : Esneklik Modülü (Üç eksenli deney ile) (psi)

SANLİF-RPB kaplama üstyapı kalınlık hesaplamalarında, esnek üstyapıda olduğu gibi M_R değeri 7500 psi alınmıştır. Zemin yatak katsayısı (k), M_R değeri 7500 psi alınarak, Formül 6 ile hesaplanmıştır. Hesaplama için gerekli tüm değerler Formül 5’de yerine konularak SANLİF-RPB kaplama kalınlığı (D) hesaplanmıştır.

Formül 5 ile kaplama kalınlığı (D) inç olarak bulunmuş ve cm^3 ’ye çevrilmiştir. Rijit alttemel kalınlığı, esnek üstyapıdaki gibi 20 cm alınmıştır. Toplam platform genişliği 24 metre

olan bölünmüş bir beton yolun 1 km maliyeti $W_{8,2}=10 \times 10^6$ değerine göre hesaplanmıştır.

Çalışmada, SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapı maliyet hesabı için, 1 m^3 karışımında Tablo 3’de miktarları belirtilen malzemeler kullanılmıştır. Yolun toplam yüzey alanı 24 000 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Araştırma Bulguları

Esnek üstyapı maliyet hesaplamalarında taban Esneklik Modülü (M_R) 7500 psi alınmıştır. Aşınma, binder ve bitümlü temel esnek üstyapıda kaplama tabakası olarak uygulanmıştır. Temel ve alttemelde kırmataş agrega kullanıldığı varsayılmıştır. Hesaplamalar yapılarak $W_{8,2}=10 \times 10^6$ değerine göre esnek üstyapı kalınlığı oluşturulmuş ve Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. BSK Üstyapı kalınlığı

Aşınma (cm)	Binder (cm)	Bitümlü temel (cm)	Kırmataş temel (cm)	Kırmataş alttemel (cm)
5	6	8	15	20

Maliyet hesaplamalarında aşınma tabakasının birim hacim ağırlığı 2.4 t/m^3 alınmış ve içerisindeki Asfalt Çimentosu (AC) oranı, %6 kabul edilmiştir. Aşınma tabakasındaki karışımında 1 m^3 karışım içerisindeki AC miktarı yaklaşık 0.144 tondur. 1 metre kalınlıkta ve 1 m^2 aşınma tabakası yüzey alanında kullanılan AC miktarı 0.144 ton ise kalınlık değişiminde 1

Asfalt yol kaplaması ile sanayi atık lifli reaktif pudra beton yol kaplamasının maliyet karşılaştırması

m^2 aşınma tabakasında kullanılan AC miktarı $0.05 \times 0.144 = 0.0072$ ton olmaktadır.

Binder tabakasının birim hacim ağırlığı $2.4 t/m^3$ alınmış ve içerisindeki AC oranı %5 kabul edilmiştir. Binder tabakasındaki karışımda $1 m^3$ karışım içerisindeki AC miktarı yaklaşık 0.12 tondur. 1 metre kalınlıkta ve $1 m^2$ binder tabakası yüzey alanında kullanılan AC miktarı 0.12 ton ise kalınlık değişimde $1 m^2$ binder tabakasında kullanılan AC miktarı $0.06 \times 0.12 = 0.0072$ ton olmaktadır. Bitümlü temel tabakasının birim hacim ağırlığı $2.3 t/m^3$ alınmış ve içerisindeki AC oranı %3.5 kabul edilmiştir.

Bitümlü temel tabakasındaki karışımda $1 m^3$ karışım içerisindeki AC miktarı yaklaşık 0.081 tondur. 1 metre kalınlıkta ve $1 m^2$ bitümlü temel tabakası yüzey alanında kullanılan AC miktarı 0.081 ton ise kalınlık değişimde $1 m^2$ bitümlü temel tabakasında kullanılan AC miktarı $0.081 \times 0.08 = 0.0065$ ton olmaktadır.

Toplam platform genişliği 24 metre, uzunluğu 1 km. olan bölünmüş bir asfalt yolun toplam yüzey alanı $24\,000 m^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler AC zati bedeli, AC nakil bedeli ve taşıma dolayısıyla soğuyan bitümlü malzemenin emiş derecesine kadar ısıtılma bedelinin hesaplanmasında göz önüne alınmıştır. 2014 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) Batman Rafinerisi Asfalt çimentosunun (AC) birim

fiyatı 1310 TL/ton' dur. Birim fiyat açıklamasında AC zati bedeli, AC' nin rafineriden nakliye bedeli ve taşıma dolayısıyla soğuyan bitümlü malzemenin emiş derecesine kadar ısıtılması hariç denilmektedir. Bu nedenle hesaplamalarda AC zati bedelleri, AC nakliye bedelleri ve taşıma dolayısıyla soğuyan bitümlü malzemenin emiş derecesine kadar ısıtılma bedeli ayrı hesaplanmıştır. Aşınma, binder ve bitümlü temel tabakasında AC kullanılmış olup, temel ve alttemelde AC bulunmamaktadır. Temel ve alttemelerde sadece Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından verilen 2014 yılı birim fiyatları esas alınmıştır. Karışımda kullanılan agregalar KGM tarafından birim fiyata dâhil edilmiştir. $W_{8,2} = 10 \times 10^6$ ve diğer değerlerde, tabaka cinslerine göre 2014 yılı birim fiyatlar KGM ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyat listesinden alınmıştır (KGM, 2014; ÇŞB, 2014).

Tabaka cinslerine göre birim fiyatlar Tablo 7' de gösterilmiştir. Rafineri ile esnek üstyapılı yolun yapıldığı konum birbirinden uzaklaştıkça taşıma mesafesinin artmasından dolayı taşıma bedellerinin artacağı unutulmamalıdır.

Hesaplamalarda Bitlis-Üçyol ile Tatvan arası (0+000)-(1+000) km karayolu göz önüne alınmıştır. Bitlis-Batman rafineri arası mesafe ortalama 138 km alınmıştır.

Tablo 7. Esnek üstyapı tabaka cinslerine göre birim fiyatlar

Poz No	Tanım	Birim	Maliyet (TL)
KGM/6405	5 cm sıkışmış kalınlıkta $1 m^2$ asfalt betonu aşınma tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m^2	6.15
KGM/6306	6 cm sıkışmış kalınlıkta $1 m^2$ asfalt betonu binder tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m^2	7.22
KGM/6208	8 cm sıkışmış kalınlıkta $1 m^2$ asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m^2	9.08
KGM/6040	Temel yapılması (1 inç kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m^3	24.57
KGM/6000	Ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ile alttemel yapılması	m^3	22.76
04.610/1C	Asfalt çimentosu (50/70)	Ton	1 310
KGM/4355	Bitümün emiş derecesine kadar ısıtılması	Ton	21.54

5 cm aşınma tabakasında 1 m² de kullanılan AC miktarı 0.05x0.144=0.0072 ton, 6 cm binder tabakasında 1 m² de kullanılan AC miktarı 0.06x0.12=0.0072 ton, 8 cm bitümlü temelde 1 m² de kullanılan AC miktarı 0.08x0.081=0.0065 tondur. 1 m² de kullanılan toplam AC miktarı 0.021 tondur. Toplam platform genişliği 24

miktarı 0.021 x 24 000 = 504 tondur. Taşıma bedeli Formül 4'den hesaplanmıştır:

$$F=1.25 \times 1 \times 196 \times (0.0007 \times 138 + 0.01) - 0.00260 \times 196 = 25.61 \text{ TL/ton}$$

AC Nakliye Bedeli = 25.61 x 504 = 12 907 TL

metre, uzunluğu 1 km. olan bölünmüş bir asfalt yolun toplam yüzey alanı 24 000 m² olarak hesaplanmıştır. 24 000 m², de aşınma, binder ve bitümlü temel tabakasında kullanılan toplam AC

W_{8,2}=10x10⁶ değerinde, toplam platform genişliği 24 metre olan bölünmüş bir asfalt yolun 1 km maliyeti Tablo 8' de gösterilmiştir.

Tablo 8. 1 km uzunluktaki esnek üstyapı toplam maliyeti

W _{8,2} =10x10 ⁶ , R=%85, Pt= 2.5, Aşınma=5 cm, Binder= 6 cm, Bitümlü Temel=8 cm, Temel=15 cm, Alttemel=20 cm					
S.No	İşin cinsi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	Alttemel Yapılması	4 800	m ³	22.76	109 248
2	Temel Yapılması	3 600	m ³	24.57	88 452
3	Bitümlü Temel Yapılması	24 000	m ²	9.08	217 920
4	Binder Yapılması	24 000	m ²	7.22	173 280
5	Aşınma Yapılması	24 000	m ²	6.15	147 600
6	AC zati bedeli	504	ton	1 310	660 240
7	AC Nakli (M _{ort} =138 km)	504	ton	25.61	12 907
8	Taşıma dolayısıyla soğuyan bitümün emiş derecesine kadar ısıtılması	504	ton	21.54	10 856
				Toplam Maliyet	1 420 503

SANLİF-RPB Kaplamalı Üstyapı Kalınlık Ve Maliyet Hesaplama Sonuçları

Kaplama kalınlıkları Formül 5' den hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 9'da görülmektedir.

Kaplama kalınlığı hesaplamalarında Formül 5'de istenen tüm değerler yazılmış, hesaplama yapılarak kaplama kalınlıkları (D) inç olarak bulunmuştur. İnç birimi cm' ye çevrilerek Tablo 9'da cm cinsinden yazılmıştır.

Tablo 9. SANLİF-RPB deney ve hesaplama sonuçları

Beton Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Karakteristik Silindirik Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kaplama Kalınlığı (cm)
SANLİF-RPB	84.76	9.06	67.81	40 762	14.73

Rijit alttemel kalınlığı esnek üstyapı alttemel kalınlığına eşit kabul edilerek 20 cm alınmıştır.

Hesaplamalarda W_{8,2}=10x10⁶, Z_R=-1.037, S_o=0.45, P_o=4.5, P_t=2.5, ΔPSI=2, C_d=1, J=2.9 ve k=387 psi alınmıştır.

Tabaka cinslerine göre 2014 yılı birim fiyatlar KGM ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyat listesinden alınmıştır (KGM, 2014; ÇŞB, 2014). Birim fiyat açıklamasında Çimento bedeli hariç denilmektedir. SANLİF-RPB için 1 m³ karışımında 769 kg CEM II/A-M (P-L) 42.5 R

Aşfalt yol kaplaması ile sanayi atık lifli reaktif pudra beton yol kaplamasının maliyet karşılaştırması

türü çimento kullanılmıştır. Yolun toplam yüzey alanı 24 000 m² olarak hesaplanmıştır. Çimento her yerde kolaylıkla temin edildiğinden nakliye bedeli dikkate alınmamıştır. Karışımında kullanılan agregalar KGM tarafından birim fiyata dâhil edilmiştir.

Tabaka cinslerine göre birim fiyatlar Tablo 10' da oluşturulmuştur. 2014 yılı çelik talaş hurdanın ton fiyatı 490 TL'dir (Bimel Metal, 2014).

Tablo 10. SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapıda birim fiyatlar

Poz No	Tanım	Birim	Maliyet (TL)
KGM/6000	Ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ile alttemel yapılması	m ³	22.76
KGM/16.002/K-1	Her dozda demirsiz beton	m ³	55.11
04.009/53C	Çimento zati bedeli	Ton	138
04.379/B02	Yüksek oranda su azaltıcı (süper akışkanlaştırıcı)	Ton	1 584
04.007/A	Silis agrega	Ton	200
Özel Poz	Sanayi atığı çelik lifler	Ton	490

$W_{8,2}=10 \times 10^6$ değerinde, toplam platform genişliği 24 metre olan bölünmüş bir SANLİF-RPB kaplamalı yolun 1 km maliyeti Tablo 11' de görülmektedir. Tablo 11'deki miktarlar sütununda bulunan değerler aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

20 cm alttemel tabaka hacmi:
 $0.20 \times 24\ 000 = 4\ 800\ m^3$

14.73 cm kalınlıkta SANLİF-RPB kaplama hacmi: $0.1473 \times 24\ 000 = 3\ 535.20\ m^3$

Çimento miktarı (769 kg/m³):
 $0.1473 \times 24\ 000 \times 0.769 = 2\ 718.57\ ton$

Süper akışkanlaştırıcı miktarı (15kg/m³):
 $0.1473 \times 24\ 000 \times 0.015 = 53.03\ ton$

Silis dumanı miktarı (177 kg/m³):
 $0.1473 \times 24\ 000 \times 0.177 = 625.73\ ton$

Sanayi atığı çelik lif miktarı (135 kg/m³):
 $0.1473 \times 24\ 000 \times 0.135 = 477.25\ ton$

Tablo 11. SANLİF-RPB kaplamalı üstyapı toplam maliyeti

$W_{8,2}=10 \times 10^6$, R=%85, Pt= 2.5, SANLİF-RPB kaplama kalınlığı=14.73 cm, Alttemel=20 cm, Çimento=769 kg/m ³ , Çelik lif=135 kg/m ³					
S.No	İşin cinsi	Miktarı	Birimi	Birim fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	Alttemel yapılması	4 800	m ³	22.76	109 248
2	SANLİF-RPB kaplama dökümü	3 535.20	m ³	55.11	194 825
3	Çimento zati bedeli	2 718.57	Ton	138	375 308
4	Süperakışkanlaştırıcı	53.03	Ton	1 584	84 000
5	Silis dumanı bedeli	625.73	Ton	200	125 146
6	Sanayi atığı çelik lif bedeli	477.25	Ton	490	233 853
Toplam Maliyet					1 122 380

Sonuçlar ve Tartışma

$W_{8,2}$ değeri 10×10^6 olan yol üstyapısında; esnek üstyapıda BSK kaplama kalınlığı (Aşınma+Binder+Bitümlü Temel) 19 cm, BSK kırmataş temel kalınlığı 15 cm, BSK kırmataş

alttemel kalınlığı 20 cm olarak hesaplanmıştır. Rijit üstyapıda ise SANLİF-RPB kaplama kalınlığı 14.73 cm olarak hesaplanmış ve alttemel kalınlığı BSK kaplamalı esnek üstyapıda olduğu gibi 20 cm alınmıştır.

Kaplama, temel ve alttemel dâhil BSK kaplamalı esnek üstyapı toplam kalınlığı 54 cm bulunmuştur. Beton kaplama ve alttemel dâhil SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapı toplam kalınlığı ise 34.73 cm olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, eşit trafik yükü altında

SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapının, BSK kaplamalı esnek üstyapıya nazaran %35,68 oranında daha düşük kalınlıkta inşa edilebileceği ortaya çıkmıştır.

Tablo 12. Esnek ve rijit üstyapı kalınlıkları (cm)

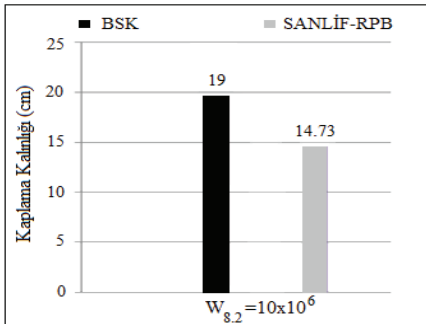
BSK		SANLİF-RPB		
Kaplama tabakası (Aşınma+binder+bitümlü temel)	Kırma taş temel	Kırma taş alttemel	Beton kaplama	Kırma taş alttemel
19	15	20	14.73	20

$W_{8,2}$ değeri 10×10^6 olan 1 km uzunluktaki yol üstyapısında; BSK kaplamalı esnek üstyapı maliyeti 1 420 503 TL, SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapı maliyeti ise 1 122 380 TL olarak hesaplanarak Tablo 13’de gösterilmiştir. Tablo 13’ e göre, SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapı ilk yapım maliyetinin, BSK kaplamalı esnek üstyapı ilk yapım maliyetinden %20.99 daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 13. 1 km Uzunluktaki Esnek ve Rijit Üstyapı Toplam Maliyetleri (TL)

$W_{8,2}$ ($\times 10^6$)	BSK	SANLİF-RPB
10	1 420 503	1 122 380

BSK kaplama ve SANLİF-RPB kaplama kalınlık karşılaştırması Şekil 3’de görülmektedir.

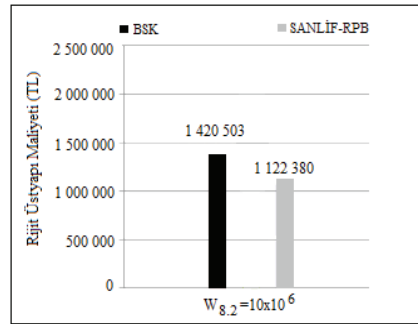


Şekil 3. Üstyapı kaplama kalınlık karşılaştırması

Şekil 3’de eşit trafik yükü altında SANLİF-RPB kaplamasının, BSK kaplamaya nazaran daha

düşük bir kalınlıkta inşa edilebileceği anlaşılmaktadır.

Şekil 4’de BSK kaplamalı esnek üstyapı ile SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapı maliyet karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 4. Üstyapı maliyet karşılaştırması

Şekil 4’de eşit trafik yükü altında SANLİF-RPB kaplamalı rijit üstyapı ilk yapım maliyetinin, BSK kaplamalı esnek üstyapı ilk yapım maliyetinden daha düşük olduğu söylenebilir. SANLİF-RPB kaplama maliyetinin BSK kaplama maliyetinden düşük çıkması, ülkemizde ve dünyada beton yol kaplama inşasının daha ekonomik olarak uygulanmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca atıl durumdaki sanayi atık liflerin değerlendirilmesiyle, ülke ekonomisine olumlu yönde katkı sağlanmaktadır.

Kaynaklar

- AASHTO, (1993). Guide for the Design of Pavement Structures, Washington, USA.
- Ağar, E., Öztaş, G. ve Sütaş, İ., eds., (1998). "Esnek yol üst yapıları ile rijit yol üst yapılarının teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması", Teknik Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Altoubat, S. A., Roesler, J. R., Lange, D. A. ve Rieder, K. A., (2006). "Simplified method for concrete pavement design with discrete structural fibers", Construction and Building Materials.
- Bakış, A., (2015). "Rijit yol üst yapı inşasında reaktif pudra betonun (RPB) kullanılabilirliğinin araştırılması", Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bayrak O. Ü., (2007). "Rijit üst yapı tasarımına yeni bir yaklaşım", Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bimel Metal, "Çelik talaş hurda fiyatı", <http://www.bimelmetal.com>, Son erişim tarihi: 26 Ekim 2014.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Birim fiyatlar" <http://www.csb.gov.tr>, Son erişim tarihi: 26 Ekim 2014.
- Güngör, A. G. ve Sağlık, A., (2008). "Karayolları esnek üst yapılar projelendirme rehberi", Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- İpek, M., (2009). "Reaktif pudra betonların mekanik davranışına katılma süresince uygulanan sıkıştırma basıncının etkileri", Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, "Birim fiyatlar" <http://www.kgm.gov.tr>, Son erişim tarihi: 26 Ekim 2014.
- Larrard, F. ve Sedran, T., (1994). "Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model", Cement and Concrete Research, 24, 6, 997-1009.
- Richard, P. ve Cheyreyzy, M., (1995). "Composition of reactive powder concretes", Cement and Concrete Research, 25, 1501-1511.
- Roux, N., Andrade, C. ve Sanjuan, M. A., (1996). "Experimental study of durability of reactive powder concretes", Journal of Materials in Civil Engineering, 1, 6.
- Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., Kocabeyleyler, M. F. ve Çelik, R.S., (2009). "Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği", DSİ Teknik Bülteni, Sayı 105, sayfa 13, Ankara.
- Tam, C. M., Vivian W. Y. ve Tam, K. M., (2012). "Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong". Construction and Building Materials, 26, 1, 79-89.
- Topçu, İ. B. ve Karakurt, C., (2005). "Reaktif pudra betonu ve uygulamaları", Akdeniz İnşaat Haber, 2, 32-33.
- TS EN 12390-3, (2010). "Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deneysel numunelerinin basınç dayanımının tayini", Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 12390-5, (2010). "Beton-sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 5: Deneysel numunelerinin eğilme dayanımının tayini", Türk Standartları, Ankara.
- TS500, (2000). "Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları", Türk Standartları, Ankara.
- Tunç, A. (2007). "Yol malzemeleri ve uygulamaları", 840, 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Türel, Ö. (2003). "Antalya çevre illerdeki bölgesel devlet yollarının mevcut üst yapı uygulamalarının incelenmesi, rijit üst yapı formunda yeniden çözülmesi, maliyet karşılaştırmalarının yapılabilirliğinin araştırılması", Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Uçar, S. ve Konrapa, U., (2002). "Yol üst yapıları yapım maliyetleri araştırması", Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Yalçınkaya, Ç. ve Yazıcı, H., (2011). "Agrega hacminin reaktif pudra betonunun mekanik ve bütümlü özelliklerine etkileri", THBB, Beton 2011 kongresi, 150-159, İstanbul.
- Yeğinoğlu, A., (2009). Niçin Beton Yol. TÇMM-ARGE Enstitüsü, 1.Baskı, Sayfa 13, Ankara.

Cost Comparison of Asphalt pavement and Industrial Waste Steel Fibrous Reactive Powder Concrete Pavement

Extended abstract

Flexible pavement; surfacing consists of basis and sub-basis layers. High-standards highway and motorways are made of layers which have got bituminous hot mixtures. Rigid pavement occurs from sub-basis and concrete surfacing which are made on it.

Construction of concrete pavement has become widespread in places such as airports, parking lots, terminals and urban roads in our country.

In this study, 2 types of pavement as Hot Mixture Asphalt (HMA) pavement and Industrial Waste Steel Fibrous Reactive Powder Concrete (IWFIB-RPC) pavement were compared for pavement thickness and cost comparison.

On this study, CEM II/A-M (P-L) 42.5 R type concrete has been used on the production of IWFIB-RPC. Steel fibers as industrial waste have been procured from Bitlis Industrial Vocational and Technical High School. Steel fibers which are waste from industrial steel material production in machine atelier at the high school have been used on the production of IWFIB-RPC samples as getting to the laboratory of the construction department in Bitlis Eren University, Technical Sciences Vocational School.

Steel fibers have got 0-1 mm diameter and 0-10 mm length meanly. IWFIB-RPC has been used in city-water as mixture water. HMA surfacing asphalt concrete 50/70 has been chosen for the calculation of thickness and cost.

On the study, Mooney's suspension viscosity model rating has been considered for mixture amount of IWFIB-RPC production. Sample patterns are 50x50x50 mm for pressure samples and 50x50x300 mm for flexure samples.

Any compaction pressure has not been applied during the socket on the production of IWFIB-RPC. Samples have been placed as being skewered in patterns. IWFIB-RPC's which have been taken from pattern after 24 hours have been taken 28-days 20°C standard water cure.

Unit prices for 2014 have been taken from the list of unit price of GDH and the Ministry of Environment and Urban Planning, by types of layer. For IWFIB-RPC, 769 kg CEM II/A-M (P-L) 42.5 R type concrete have been used on 1 m³ mixture. Total surface area of road has been calculated as 24 000 m².

Compressive and flexural strength of IWFIB-RPC were obtained experimentally. IWFIB-RPC pavement thickness was calculated according to the compressive and flexural strength results. Besides, pavement costs were calculated.

In the study, economical evaluation of HMA pavement and IWFIB-RPC pavement was performed by comparison of pavement thickness and cost results.

IWFIB-RPC and HMA pavement thicknesses were calculated as 14.73 cm and 19 cm, respectively, according to the Equivalent Single-Axe Load Absolute Frequency ($W_{8.2}$) 10×10^6 .

For flexible pavement, the thicknesses of wearing layer (surface + binder + asphalt pavement base course), base course and sub-base course were calculated as 19 cm, 15 cm and 20 cm, respectively. For rigid pavement, the thicknesses of IWFIB-RPC and sub-base course were calculated as 14.73 cm and 20 cm, respectively.

As a result of study, it was found that IWFIB-RPC rigid pavement can be constructed as 35.68% lower thickness compared to BSK flexible pavement for equal traffic loading.

IWFIB-RPC pavement cost was calculated as 1 122 380 TL and HMA pavement cost was calculated as 1 420 503 TL under the 8.2 Tones Equivalent Single-Axe Load Absolute Frequency ($W_{8.2}$) 10×10^6 .

it was obtained that cost of IWFIB-RPC pavement is 20.99% more economic than the cost of HMA pavement for 1 km road distance.

Keywords: Asphalt pavement, Rigid pavement, Reactive Powder Concrete (RPC), Waste steel fiber, Asphalt pavement cost, Rigid pavement cost