

Rijit Üstyapıların Köy Yollarında Uygulanabilirliği: Eskipazar Örneği

Feasibility of Rigid Pavements in Village Roads: Eskipazar Example

Halil İbrahim YUMRUTAŞ¹, İsmail YAĞTU²

¹Karabük Üniversitesi, iyumrutas@karabuk.edu.tr, 554 378 70 76

²İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, ismail.yagtu@afad.gov.tr, 538 962 29 78

Özet: Karayolları üstyapısında kullanılan kaplamalar; rijit ve esnek üstyapılar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Dünya’da her iki kaplama türü de ülkeler bazında değişik oranlarda kullanılmakta olup ülkemizde ise beton yollar olarak adlandırılan rijit üstyapılar birkaç deneme kesimi hariç Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk ağındaki yollarda henüz kullanılmamaktadır. Bu çalışma kapsamında; rijit bir üstyapı türü olan silindirle sıkıştırılabilir beton (SSB) kaplamaların köy yollarında uygulanabilirliği Karabük İli, Eskipazar İlçesi köy yolları özelinde irdelenmiş, ASSHTO 1993 tasarım esasları ve ampirik formüller kullanılarak SSB plak kalınlığı tayin edilmiş ve Streetpave yazılımı ile de hesaplanan değerler teyit edilmiştir. Ayrıca Karabük İl Özel İdaresi’nden temin edilen veriler ışığında köy yollarında hali hazırda kullanılan sathi kaplamalar ile bitümlü sıcak karışımlar (BSK) ve yerine ikame edilmesi öngörülen SSB kaplamalar arasında mukayeseli ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, Eskipazar köy yollarında hali hazırda kullanılmakta olan sathi kaplama yerine SSB kaplama tercih edilmesi durumunda birbirine çok yakın maliyetler ortaya çıkmakta, bitümlü sıcak karışım kaplama tercih edilmesi durumunda ise %38,95 oranında ekonomik kazanç elde edileceği ayrıca özellikle kış mevsiminde görülen donma-çözünme süreçleri ve orman emvali taşınmasında ağır yüklü araçların kaplamaya verdiği zararlar nedeniyle ortaya çıkan sürekli bakım onarım masraflarının ortadan kaldırılabilceği öngörülmektedir.

Abstract: The pavements used in highways are divided into two classes as rigid and flexible. Both types of pavements are used in different ratios in countries around the world and in our country. Rigid pavements called concrete roads have not been yet applied on the roads in the responsibility network of General Directorate of Highways except for a few test sections. Applicability of roller compressible concrete (RCC) pavements, a rigid type of superstructure, on village roads is evaluated. The RCC plate thickness was determined using the design principles of ASSHTO 1993 and empirical formulas and the values calculated by the Streetpave software were confirmed. In addition, in the light of the data obtained from the Special Provincial Administration of Karabük, comparative economic analyzes were conducted between the surface pavements currently used on village roads (surface treatment) and the RCC pavements which are planned to be substituted. As a result, if RCC pavement is preferred instead of surface coating used in Eskipazar village roads, costs are very close to each other. If bituminous hot mixture pavement is preferred, economic gains of 38.95% will be obtained and also continuous maintenance and repair costs due to freeze-thaw cycles especially observed in winter season and deformations caused by heavy-duty vehicles in forestry transport will be diminished.

1. Giriş

Ülkemizde 1 Mart 1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulması ile gerek yük taşımacılığı gerekse de yolcu taşımacılığına en çok hizmet sağlayan ulaşım türü karayolu olmuştur. Ülkemizde şuanda yük taşımacılığının % 89'u yolcu taşımacılığının ise %97'si halen karayolu ile gerçekleşmektedir [1]. 01.01.2019 tarihi itibari ile ülkemizde karayolu uzunlukları Tablo 1'de gösterilmekte olup bu karayolu yol ağının sadece % 0,2 rijit kaplamadır. Oysaki bu oranlar Almanya'da % 38, Avusturya 'da % 46, Belçika'da % 40 ve köy yollarında % 60, Fransa'da %15 ve yeni yapılan yollarda % 30, Amerika'da bazı eyaletlerde %90 lara ulaşırken Hollanda'da bisiklet yolları dâhil tüm yollar rijit kaplama olarak bilinmektedir.

Tablo1. 01.01.2019 tarihi itibari ile karayolu uzunlukları ve oranları [2].

01.01.2019 tarihi itibariyle						
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar
Otoyol	2 159	-	-	-	-	-
Devlet Yolları	17 520	13 115	58	27	-	301
İl Yolları	4 403	26 218	232	537	443	2 320
TOPLAM	24 082	39 333	290	564	443	2 621
01.01.2019 Tarihi İtibari ile Bölünmüş Yol Uzunlukları (km)						
Otoyollar	Devlet Yolu	İl Yolu	Toplam			
2159	20.475	1796	24.430			

Dünya'da her iki kaplama türü de görüldüğü üzere değişik oranlarda kullanılmakta olup ülkemizde ise beton yollar olarak adlandırılan rijit üstyapılar birkaç deneme kesimi hariç Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk ağındaki yollarda henüz kullanılmamaktadır. Son yıllarda bazı belediye ve özel alanlarda (üniversite kampüsleri, konut siteleri, sanayi bölgeleri vb.) kısıtlı olarak kullanılsa da henüz kullanım alanları yeterince yaygın değildir. Her iki kaplama türünün de birbirlerine karşı birtakım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Ülkemiz petrol açısından dışa bağımlılığı bulunan buna mukabil çimento sektöründe dünyada ilk sıralarda yer alan bir ülkedir. Bu çalışma ile petrol türevli bir kaplama türü olan esnek üstyapılar yerine, çimento esaslı rijit (beton) kaplamaların kullanım alanlarının arttırılması ve rijit kaplamaların deformasyonlara karşı direnci, uzun süre bakım/onarım gerektirmemesi, hizmet ömrünün uzun olması, yüksek ısı farklarına karşı dayanımlı olması gibi üstünlüklerinden faydalanılması amaçlanmıştır.

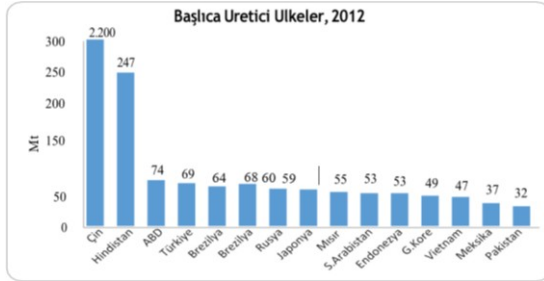
2. Esnek ve Rijit Üstyapıların Mukayese Edilmesi

Tüm dünyada her yıl serilip sıkıştırılması yapılarak üretilen binlerce km asfalt beton veya çimento beton kaplamalı yol uygulamaları yapılmakta olup her iki üstyapının da birbirlerine karşı birtakım avantajları veya dezavantajları bulunmaktadır. Aşağıda Tablo 2'de her iki kaplama türünün birbirlerine olan üstünlükleri özet halinde sunulmuştur.

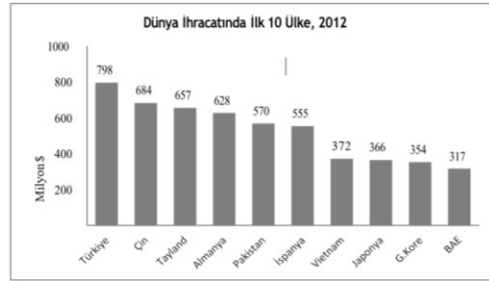
Tablo 2. Esnek ve Rijit Üstyapıların Mukayasesi [2].

Parametreler	Esnek Üstyapı	Rijit Üstyapı
- Trafikçe çabuk açılabilme	++	-
- Demir donatı kullanabilme	-	+
- Onarım süklüğü	-	++
- Dayanıklılık	+	++
- Islak halde kayma sürtünme katsayısı	-	+
- Zayıf taban zemininin bulunması	--	+
- Yapım sırasında ısı kaybının yol açacağı sorunlar	--	+
- Kaliteli agregaya gereksinimi	-	+
- Derz yapma zorunluluğu	+	-
- Sevir konforu	++	+
- Gece sevirde görüş olanakları	-	++
- Enerji azlığından etkilenme	-	+
- Taban zeminindeki ıslaklık	-	+
- İklim koşullarına bağımlılık	--	++
- Trafikte yüksek yıllık artış oranı	-	++
- Trafikte düşük yıllık artış oranı	+	-
- Yaşlanma ve kimyasal maddelerden etkilenme	--	+
- Yapım sırasında çevre kirliliğini artırıcı etki	-	+
- Trafikte yüksek ağır taşıt oranı	-	++
- Üstyapı kaplama takviyesi	+	-
- Üstyapı temel-kaplama değişimi	+	+
- Yüksek iskonto oranı ve sınırlı yatırım kaynakları	+	-
++: çok avantajlı, çok uygun; +: avantajlı, uygun; -: sakınca yaratır, uygun değil; --: çok sakıncalı, hiç uygun değil		

Ülkemizin çimento üretimi yönünden 2011 ve 2012 yılında 798 milyon \$ ihracat ile dünya çimento sektörü ihracatında ilk sırada yer alması, aynı zamanda senede yaklaşık 69 milyonton çimento üretimine sahip olması, beton yolların ülkemizde de alternatif bir uygulama olarak tercih edilebileceğinin bir göstergesidir [3]. Ülkemizin çimento üretiminde Dünyadaki yeri ve çimento ihracat oranları Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1a. 2012 yılında başlıca çimento üreten ülkeler.



Şekil 1b. Ülkemizin dünya ihracatındaki yeri [4].

3. Eskipazar Köy Yolları Sathi Kaplama İlk Yapım ve Bakım/Onarım Maliyetlerinin İncelenemesi

Eskipazar İlçesinde yer alan 49 adet köy için Karabük İl Özel İdaresi, her yıl yatırım programına alınan muhtelif köy yollarına gerek bakım/onarım gerekse köy yollarını yeniden yapmak suretiyle hizmet vermektedir. Karabük İl Özel İdaresi’nin 2013-2018 yılları arasında hem köy yolları bakım onarımına hem de ilk yapıma harcadığı tutarlar Tablo 3’de özetlenmiş olup elde edilen veriler Karabük İl Özel İdaresi Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü’nden temin edilmiştir.

Tablo 3. Eskipazar İlçesinde yer alan köy yollarına 2013-2018 yılları arasında yapılan harcamalar.

YAPIM YILI	YAPILAN YOL MİKTARI	YOLDA UYGULANAN BAKIM-ROADMİX (3 YIL)			1 TON ROADMİX MALİYETİ	İLK YAPIM MALİYETİ	BAKIM MALİYETİ	TOPLAM MALİYETİ
		1.YIL	2.YIL	3. YIL				
2013	2,6 km tek kat sathi kaplama	5 ton	10 ton	16 ton	144,90 ₺	144.405,14 ₺	31 ton x144,90 ₺/ton=4.491,90 ₺	148.897,04 ₺
2014	3,1 km çift kat emisyon kaplama	6 ton	12 ton	19 ton	160,44 ₺	178.547,00 ₺	37 ton x 160,44 ₺/ton =5936,60 ₺	184.483,60 ₺
2015	13 km sathi kaplama	25 ton	50 ton	80 ton	165,70 ₺	602.649,45 ₺	155 ton x 165,70 ₺/ton =25.683,50 ₺	628.332,95 ₺
2016	24,2 km 1. kat sathi kaplama	46,5 ton	93 ton	149,9 ton	175,55 ₺	1.210.000,00 ₺	289,4 ton x 175,55 ₺/ton=50.804,17 ₺	1.511.742,20 ₺
	11,9 km 2. kat sathi kaplama	0 ton	27,2 ton	46,5 ton		238.000,00 ₺	73,7 ton x 175,55 ₺/ton =12.938,03 ₺	
2017	18,6 km sathi kaplama	35,7 ton	71,53 ton	114,46 ton	199,59 ₺	1.023.000,00 ₺	221.69 ton x 199,59 ₺/ton=44.247,10 ₺	1.067.247,10 ₺
2018	4,5 km 1. kat sathi kaplama	8,65 ton	17,3 ton	27,69 ton	223,83 ₺	360.000,00 ₺	27,69 ton x 223,83 ₺/ton = 6.197,85 ₺	579.970,11 ₺
	10 km 2. kat sathi kaplama	19,23 ton	38,46 ton	61,53 ton		200.000,00 ₺	61,53 ton x 223,83 ₺/ ton = 13.772,26 ₺	
6 yıllık toplam maliyet								4.120.673,00 ₺
1 yıllık toplam maliyet								686.778,83 ₺

Yapılan hesaplamalara göre Karabük İl Özel İdaresi tarafından 2013-2018 yılları arasında yapılan harcamalar (ilk yapım+bakım/onarım) **4.120.673,00 ₺** ve yıllık ortalama **686.778,83 ₺** olarak belirlenmiştir. Ancak elde edilen veriler 2013-2018 yıllarındaki rakamları yansıtmakta olup sağlıklı bir mukayese yapılabilmesi için maliyetlerin belirli bir yıla (2018) çevrilmesi (aktüalizasyon) gereklidir. Bu kapsamda Eskipazar köy yollarında sathi kaplama ilk yapım ve bakım/ onarımına ilişkin harcamalar TÜİK ten elde edilen “Yurt İçi Üretici Fiyat Endeksi” verileri ışığında (2018 yılına) dönüştürülmüş olup dönüşüm sonucunda elde edilen değerler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Eskipazar İlçesi köy yollarına harcanan 6 yıllık bakım- onarım tutarının TÜİK verileri yardımıyla 2018 yılına güncelleştirilmesi.

YAPIM YILI	YAPILAN YOL MİKTARI	YOL İLK YAPIM VE BAKIM/ ONARIM MALİYETİ	1 KM'LİK YOL YAPIM-BAKIM- ONARIM MALİYETİ	2018 YILI AKTÜALİZASYON KATSAYISI	2018 YILI MALİYETİ (km)
2013	2,6 km tek kat sathi kaplama	148.897,04 ₺	57.268,00 ₺	1,5260	87.390,97 ₺
2014	3,1 km çift kat emisyon kaplama	184.483,60 ₺	59.510,83 ₺	1,4162	84.279,23 ₺
2015	13 km satih kaplama	628.332,95 ₺	48.333,30 ₺	1,3206	63.828,95 ₺
2016	24,2 km 1. Kat sathi kapalama	1.511.742,20 ₺	52.099,34 ₺	1,2051	88.197,13 ₺
	11,9 km 2. Kat sathi kaplama		21.087,23 ₺ =73.186,57 ₺		
2017	18,6 km satih kaplama	1.067.247,10 ₺	57.378,87 ₺	1,1034	63.311,84 ₺
2018	4,5 km 1. Kat sathi kapalama	579.970,11 ₺	81.377,30 ₺	1,0000	102.754,52 ₺
	10 km 2. Kat sathi kaplama		21.377,22 ₺ =102.754,52 ₺		
6 YIL İÇİN HARCANAN TOPLAM TUTAR					489.762,64 ₺
2018 yılı için Eskipazar köy yollarının 1 km' si için yıllık ortalama yapım ve bakım/onarım bedeli					81.627,10 ₺/km

Km bazında elde edilen bu tutar 49 adet köy yollarının toplam uzunluğu olan yaklaşık 375,00 km ile çarpıldığında 375,00 km x 81.627,10 ₺/km =**30.610.165,00 ₺** olarak hesaplanmaktadır. Bu maliyet, sathi kaplamanın literatür ve uygulamadan elde edilen gözlemler neticesindeki ömrüne (5 yıl) bölünecek olursa sathi kaplama ilk yapım ile bakım+onarım bedelinin **6.122.033,00 ₺** olacağı görülmektedir. Şayet Eskipazar İlçesinde 49 adet köyü içeren toplam yaklaşık 375,00 km yol ağı için sathi kaplama yerine BSK uygulaması yapılacak olursa oluşacak maliyetlendirme Tablo 5’de yer almaktadır.

Tablo 5. 2018 yılı itibari ile BSK üstyapı uygulaması maliyeti

Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapı İmalatı (8 cm bindör) Esal Birim Fiyat Tutar hesapları (Kgm 2018 Yılı Birim Fiyatları ile) (PG=7,00 m., L=1000 m.)						
Sıra No	Poz No	İMALATIN CİNSİ	Ölçü Birimi	İmalat Miktarı	Birim Fiyatı	TUTAR (TL)
1	KGM/6040	Temel yapılması (Kırılmış ve elelenmiş ocak taşı ile (1''))	m ³	700,00	36,15 ₺	25.305,00 ₺
2	07.005 / K-1	Temel malzemesinin konkasörden serim yerine nakli. F=1,25xKx(0,0007Mx+0,01)xYxA K=225, M=15 Km, Y=1,60 ton/m ³	m ³	700,00	11,40 ₺	7.980,00 ₺
3	07.005 / K-1	Su nakli. F=1,25x0,00017xKxOMxA K=225, M=10 Km,	ton	70,00	5,91 ₺	413,70 ₺
4	KGM/6208	8 cm. sıkıştırılmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu BSK temel tabakası yapılması.	m ²	7.000,00	12,50 ₺	87.500,00 ₺
5	KGM 4300/A	Bitüm zati bedeli, B 50/70 (İzmit)	ton	50,78	1.852,50 ₺	94.069,95 ₺
6	KGM 4300/C	Yapıştırıcı zati bedeli, C60 B2-3, C60 B2-4 (İzmit)	ton	9,00	3.425,00 ₺	30.825,00 ₺
7	4358	Katı Bitümün emis derecesine kadar ısıtılması	ton	59,78	42,54 ₺	2.543,04 ₺
13	07.006/K	Bitümlü sıcak karışımın asfalt plantinden serim yerine nakli. F=1,25xKx(0,0007Mx+0,01)xYxA K=225, M=300 Km, (İzmit)	ton	59,78	76,45 ₺	4.570,18 ₺
14	07.006/K	Bitümlü sıcak karışımın asfalt plantinden serim yerine nakli. F=1,25xKx(0,0007Mx+0,01)xYxA K=225, M=50 Km,	ton	1.104,00	15,64 ₺	17.266,56 ₺
İlk Yapım Bedeli						270.478,48 ₺
"Bakım/ Onarım Maliyeti						67.618,35 ₺
İlk yapım ve hizmet ömrü boyunca bakım onarım bedeli						338.091,78 ₺

* % 75 Güvenilirlik seviyesine göre hizmet ömrü boyunca yıpranma payı %25

Km bazında elde edilen bu tutar 49 adet köy yollarının toplam uzunluğu olan yaklaşık 375,00 km ile çarpıldığında 375,00 km x 338.091,78 ₺/km = **126.784.420,3 ₺** olarak hesaplanmakta ve bu maliyetin köy yollarına uygulanacak olan BSK üstyapı imalatının literatür ve uygulamadan elde edilen gözlemler neticesindeki hizmet ömrüne (10 yıl) bölünmesi ile; **126.784.420,3 ₺ / 10 = 12.678.442,03 ₺** olarak hesaplanabilmektedir.

4. Eskipazar Köy Yollarında SSB Uygulanabilirliği

4.1. AASHTO 1993 Tasarım Metodu ve Göre SSB Kalınlık Tayini

Bu çalışma kapsamında Karabük İli Eskipazar İlçesine silindirele sıkıştırılmış beton yol tasarımı, uygulanması, maliyetlendirilmesi detaylandırılmış olup sathi kaplama ile maliyet bakımından mukayesesi yapılmıştır. Bu mukayese yapılırken tayin edilen SSB yol tabaka kalınlığı aşağıda yer alan eşitlik 3.1 aracılığıyla belirlenmektedir.

$$\log(W_{18}) = (Z_R \cdot S_0) + 7.35 \cdot \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \cdot p_t) \cdot \log\left[\frac{S_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}}\right]}\right]$$

Eskipazar İlçesine ait tüm köy yollarında aynı kaplama kalınlığı yerine farklı parametrelerin (zemin vb.) farklı kalınlık değerleri çıkarması muhtemeldir. Ancak bu durumun teorikte geçerliliği bulunurken pratikte hayata geçirilmesi özellikle standardı düşük olan bu gibi köy yollarında güç olacağından çalışmamızda yapılan mukayeselerde güvenli tarafta kalmak için en kötü duruma göre değerlendirilme yapılmıştır. Rijit yapıların hesap yönteminde elastik zemine oturan rijit plak davranışı göz önüne alınarak AASHTO (1993) tasarım metodu kullanılmaktadır. AASHTO (1993) tasarım metodunda SSB yolların tasarımı yer almadığından "AASHTO Deney Yolu Denklemi" ampirik metodunda, SSB yollara tasarım

bakımından en yakın olan rijit üst yapı çeşidinin derzli donatısız beton kaplama olduğu kabulü ile SSB, derzli donatısız beton kaplama (JPCP, Jointed plain concrete pavements) olarak düşünülmüş ve bu yaklaşımla SSB kalınlık tayini yapılmıştır.

Formül içerisinde yer alan parametreler;

W_{18} : Eşdeğer Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı (EDYTS)

d : Kaplama Kalınlığı (inc)

S_c : Beton Eğilme Dayanımı (psi)

E_c : Betonun Elastisite Modülü (psi)

k : Zemin Reaksiyon Modülü (lb/inc^3) R : Güvenilirlik (%)

Z_R : Normal Standart Sapma

S_O : Toplam Standart Sapma

O PSI: Servis Yeteneği Kaybı

P_i : İlk Servis Yeteneği

P_T : Son Servis Yeteneği

C_d : Drenaj Katsayısı

J : Yük Transfer Katsayısı

Tasarım için aşağıdaki işlem algoritması takip edildiğinde;

- Son servis yeteneği indeksi (PT) seçilir,
- Trafik analiz süresi (T) seçilir,
- Proje trafiği hesaplanır,
- Betonun eğilmede çekme emniyet gerilmesi (S_c) seçilir,
- Taban zeminin reaksiyon modülü (k) belirlenir,
- PT, T, S_c , k , ve proje trafiği değerlerine göre beton plak kalınlığı tayin edilir.

Bu çalışma kapsamında seçilen değerler Tablo 6'de verilmiş olup seçilen değerler neticesinde bulunan tabaka kalınlıkları Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 6. Tasarımda kullanılan veriler.

Parametre	Alınan Değer
Üstyapı Proje Süresi (yıl)	20
EDYTS	4.336.665
Güvenilirlik (R %)	75
Normal Standart Sapma (Z_R)	-0,674
Toplam Standart Sapma (S_O)	0,35
İlk Servis Yeteneği (p_i)	4,2
Son Servis Yeteneği (P_T)	2,0
Servis Yeteneği Kaybı (P_T-p_i)	2,2
Drenaj Katsayısı (C_d)	0,9
Yük Transfer Katsayısı (J)	3,2
28 Günlük Beton Eğilme Dayanımı (Mpa-psi)	4,20 mpa 609 psi
Beton Elastisite Modülü (E_c , Mpa-psi)	32000 mpa 4.640.000 psi
Efektif Zemin Reaksiyon Modülü (k , lb/inc^3 , psi)	560

Alttemel Kalınlığı	15 cm
SSB KALINLIĞI	16,5 cm



Şekil 2. Silindirle sıkıştırılmış beton yol tabaka kalınlıkları.

4.2. Street Pave Yazılımı ile SSB Kalınlık Tayini

Street Pave 12 yazılımı, derzli/derzsiz beton kaplama kalınlığı tasarımlarında kullanılan bir yazılım programıdır. Street Pave yazılım programı; şehir, belediye, ilçe ve eyalet yollarına yönelik optimize edilmiş tasarımlar üretmek için yeni mühendislik analizlerinden faydalanmakta olan bir program olup mevcut beton kaplamalar için, kullanım ömrü ve/veya deformasyon kriterlerini tahmin etmek için kullanılabilir.

4.2.1. Project (Proje)

Street Pave 12 yazılım programının bu sekmesinde projenin adı, projenin yapılacağı lokasyon gibi ön bilgiler istenmektedir.

4.2.2. Traffic (Trafik Girdileri)

Street Pave 12 yazılım programının bu sekmesinde; öncelikle rijit üstyapı uygulamasının yapılacağı trafik kategorisi belirlenmeli ve 1 günde yapılması düşünülen bu üstyapıdan geçecek günlük kamyon sayısı istenmektedir. ASSHTO 93 tasarım metodunda olduğu gibi taşıt eşdeğerlik faktörleri tablosu aracılığı ile bu sayı belirlenmekte ayrıca üstyapı üzerinden geçecek taşıt trafiğinin yıllık bazda gelişim yüzdesi, yapılacak üstyapının hizmet ömrü, hesap şerit faktörü ve yön dağıtma faktörü gibi parametrelerin girdileri istenilmekte olup trafik bilgi girdileri arayüzü Şekil 3’de gösterilmektedir.

Şekil 3. Street Pave yazılım programı trafik bilgi girdileri.

4.2.3. Design Details (Dizayn Detayları)

Street Pave 12 yazılım programının bu sekmesinde; son servis yeteneği, güvenilirlik, alttemelin resilient modülü gibi parametreler girilmesi istenilmekte ayrıca rijit üstyapının hizmet ömrü sonunca plakta en fazla ne kadar yüzde cinsinden çatlak olmalı sorusuna yanıt aranmakta ve seçilen zeminin esneklik modülü, elastisite modülü, betonun 28 günlük eğilme dayanımı ile betonun elastisite modül bilgileri istenilmekte olup Şekil 4’de gösterilmektedir.

Şekil 4. Street Pave yazılım programı dizayn detay bilgi girdileri.

4.2.4. New Pavement Design (Yeni Üstyapı Dizaynı)

İstenen veriler ışığında kayma donatılı veya kayma donatısız şekillerde rijit üstyapı tabaka kalınlıkları verilmekte olup Şekil 5’de gösterilmektedir.

Şekil 5. Street Pave yazılım aracılığı ile belirlenen SSB kalınlığı bilgileri.

Ampirik yöntemler aracılığı ile 15 cm alttemel üzerine yapılacak olan 16,5 cm kalınlığındaki SSB tabaka, Street Pave yazılım programı ile tekrar hesaplanmış ve bu kalınlığın 14,5 cm olduğu görülmekte olup güvenli tarafta kalınması adına uygulamada 15 cm alttemel üzerine 16,5 cm kalınlığında SSB plak yapılmasının daha sağlıklı olacağı değerlendirilmiştir.

4.3. SSB Maliyet Analizi

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yol, iri ve ince agreganın, uygun oranda su ve çimento ile beton santralinde karıştırılmasıyla üretilen betonun, hazırlanmış yüzey üzerine, projesine uygun olarak finişerle serilip, silindirlerle sıkıştırılmasıyla oluşan yol üstyapı

tabakasıdır. Gerek teknik gerek ekonomik açıdan avantajlı çözümler sunan ve Ülkemizde hızla yaygınlaşan silindirle sıkıştırılmış beton yollar için TÇMB tarafından hazırlanarak kullanıma sunulan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Birim Fiyat Analiz ve Tarifleri”nde yer alan poz kalemleri aşağıda yer almakta olup bu tez kapsamında oluşturulan SSB yollar maliyet analizi bu pozlar aracılığı ile oluşturulmuştur.

Tablo 7. SSB karışımının hazırlanması, finişerle serilmesi, silindirle sıkıştırılması, kür yapım işi birim fiyatları.

BİRİM FİYAT NO	BİRİM FİYAT ADI				BİRİMİ
POZ NO	POZ TANIMI	BİRİM	MİKTAR	BİRİM FİYAT	TUTAR
Y.SSB-01	SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON KARIŞIMININ HAZIRLANMASI				M ³
MALZEME					
04.042/06	C 30/37 beton harcı gri renkte, normal hazır beton harçları	m ³	1	141,00 ₺	141,00 ₺
SERME VE SIKIŞTIRMA					
KGM/4466	Büyük plent ünitesi ile hazırlanmış olan çimento karışımının büyük finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	ton	2,4	16,94 ₺	40,66 ₺
TOPLAM					181,66 ₺
GENEL GİDERLER+ KAR(% 25)					45,42 ₺
1 M ³ SSB KARIŞIMI HAZIRLAMA, FİNİŞERLE SERME VE SIKIŞTIRMA BEDELİ					227,07 ₺
Y.SSB-03	SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI				M ²
Poz No	Malzeme	Ölçü	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
04.043/1	Su (iş başında)	m ³	3	6,62 ₺	19,86 ₺
İşçilik					
03.538		Sa.	0,39	53,93 ₺	21,032 ₺
TOPLAM					40,892 ₺
GENEL MASRAFLAR % 25 KAR					10,223 ₺
1 DEKAR SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI BEDELİ					51,115 ₺
KGM/6040	ALT TEMEL YAPILMASI [KIRILMIŞ VE ELENMİŞ OCAK TAŞI İLE (1 ^{nci})]				M ²
KGM/15.113/K	Ocak taşından konkasıyla kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 ^{nci})'lik temel malzemesi temini.	m ²	1	30,85 ₺	30,85 ₺
KGM/15.140	Makina ile serme (kurmatör, kum, çakıl vb. malzeme)	m ²	1	1,33 ₺	1,33 ₺
KGM/15.047	Arazöz ile sulama	ton	0.1	9,94 ₺	0,994 ₺
KGM/15.052/3	Titreşimli silindirle sıkıştırma yapımı (56-76 hp)	Sa.	0.01	169,69 ₺	1,69 ₺
KGM/15.058/1	Lastik tekerlekli silindir ile sıkıştırma yapımı	Sa.	0.01	127,80 ₺	1,27 ₺
TOPLAM					36,15 ₺
GENEL MASRAFLAR % 25 KAR					9,03 ₺
TEMEL YAPIM BEDELİ					45,18 ₺
1 M ³ SSB KARIŞIMIN HAZIRLANMASI, FİNİŞERLE SERİLMESİ VE SIKIŞTIRILMA BEDELİ					227,07 ₺
1 DEKAR SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI BEDELİ					51,115 ₺
TEMEL YAPILMASI [KIRILMIŞ VE ELENMİŞ OCAK TAŞI İLE (1 ^{nci})] BEDELİ					45,18 ₺

Karabük İli 49 adet köy için genişliğe, 375,00 cm beton plak yolu ağı için SSB hazırlanması, silindirle derz yapım verilmiştir.

Eskipazar İlçesi'nde, 7,00 m platform km uzunluğa ve 16,5 kalınlığına sahip köy karışımının finişerle serilmesi ve sıkıştırılması, kür ve maliyeti Tablo 7'de

Eşitlik 3.1'de yer alan “AASHTO Deney Yolu Denklemi” yardımıyla Eskipazar Köy yollarına uygulanması öngörülen SSB yol tasarımı yapılmış bulunmakta ve bu tasarım dahilinde bulunan tabaka kalınlıkları doğrultusunda 2018 yılında TÇMB tarafından hazırlanan “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar Birim Fiyat Analiz ve Tarifleri” ne göre; 49 adet köy sınırları dahilinde ve yaklaşık 375 km uzunluğa sahip yol ağına SSB uygulanması durumundaki maliyetlendirme Tablo 8'deki gibi yapılmıştır.

Tablo 8. SSB karışımının hazırlanması, finişerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması, kür ve derz yapım maliyeti.

SSB karışımının hazırlanması, finişlerle serilmesi ve silindirle sıkıştırılması, kür ve derz yapım maliyeti. (375,00 km uzunluk, 7,00 m genişlik ve 16,5 cm plak kalınlığı ile 15 cm alt temel kalınlığı için)					
Poz Tanımı	Poz No	Birim	Birim Fiyat (₺)	Miktar	Tutar (₺)
SSB KARIŞIMIN HAZIRLANMASI, FİNİŞLERLE SERİLMESİ VE SIKIŞTIRILMA BEDELİ	Y.SSB/01	M³	227,07 ₺	375x1000x7x0,165 =433.125	98.349.693,80 ₺
1 DEKAR SSB YOL YÜZEYİNE SU İLE KÜR YAPILMASI BEDELİ	Y.SSB/03	DA.	51,11 ₺	(375x1000x7)/1000 =1.875.000	134.163,75 ₺
TEMEL YAPILMASI [KIRILMIŞ VE ELENNMİŞ OCAK TAŞI İLE (1'') BEDELİ	KGM/6040	M³	45,18 ₺	375x1000x7x0,15 =393.750	17.789.625,00 ₺
İlk Yapım Bedeli					116.273.482,60 ₺
Bakım/ Onarım Maliyeti					29.068.370,65 ₺
İlk yapım ve hizmet ömrü boyunca bakım onarım bedeli					145.341.853,30 ₺

* % 75 Güvenilirlik seviyesine göre hizmet ömrü boyunca yıpranma payı %25

Görüldüğü üzere Eskipazar İlçesi sınırlarında yer alan 375 km uzunluğa sahip köy yollarına silindirle sıkıştırılmış beton yol üstyapı imalatı yapılması ve 20 yıl üzerinden tasarımı yapılarak hizmet ömrü 20 yıl seçilen üstyapıya yapılan bakım onarım bedeli toplandığında **145.341.853,30 ₺** gibi bir maliyeti söz konusu olmaktadır. Yıllık bazda düşünüldüğünde bu rakam $145.341.853,30\text{₺}/20=7.267.092,66\text{ ₺/yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

5. Sonuç

Hali hazırda Eskipazar köy yollarında kullanılmakta olan mevcut esnek kaplama (sathi kaplama) için Karabük İl Özel İdaresi'nden temin edilen 2013-2018 yılları arasındaki ilk yapım ve bakım/onarım maliyetleri irdelenmiştir. Ancak sağlıklı bir ekonomik mukayese yapılabilmesi için fayda ve maliyetlerin belirli bir yıla ve belirli bir birime çevrilmesi esas olup yıllara sari bu rakamlar TÜİK verileri yardımıyla aktüalize edilerek her biri 2018 yılına dönüştürülmüş ve km bazında dikkate alınmıştır. Ancak yine sağlıklı bir mukayese yapılabilmesi için kaplamaların hizmet ömürlerinin de dikkate alınması gerekmekte olup literatür çalışmaları, uygulamadan elde edilen gözlemler ve Karabük İl özel İdaresi verileri ışığında mevcut sathi kaplamaların hizmet ömürleri 5 yıl olarak dikkate alınmıştır. Elde edilen rakamın 5 yıl hizmet ömrüne bölünmesiyle **6.122.033,00 ₺** yıllık ortalama ilk yapım ve bakım/onarım maliyeti elde edilmiştir.

Buradan hareketle 375 km uzunluğa ve 7 m yol platform genişliğine sahip Eskipazar köy yollarında SSB yol uygulanması sathi kaplamalara göre yıllık **%15,75** daha maliyetli olmasına karşın SSB yol uygulanması BSK kaplamalara göre ise **%38,95** daha ekonomik olduğu değerlendirilmiştir. Görüleceği üzere Ülkemizde rijit üstyapıların kullanımı henüz diğer ülkelerle mukayese edildiğinde çok düşük seviyelerde olmakla birlikte bu ve buna benzer çalışmaların artmasının rijit üstyapıların kullanımının artışına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2019 yılı TÜİK verilerine göre Ülkemizdeki motorlu kara taşıtı sayısı 22.940.636 olup bu rakam son yıllarda çok daha hızlı artış göstermektedir. Bu sebeple yükü zemine daha geniş bir şekilde ileterek hızla artan taşıt trafiğine ve karayolu taşıma miktarlarına karşı daha az deformasyona sebep olması bakımından rijit kaplamaların tercih edilebileceği düşünülmektedir.

Bir diğer bakış açısıyla Ülkemizin iklimsel koşulları irdelendiğinde bölgeler arasında oldukça farklı iklimlerin olduğu, aynı bölgede dahi bir yıl içerisinde çok değişik sıcaklık

farklarının ve yağış durumlarının ortaya çıktığı hatta bir günde dört mevsimin yaşanabildiği ancak Ülkemizin birçok açıdan avantajlı olan bu iklimsel yapısının karayolu kaplamaları açısından deformasyona sebep olabilecek parametreler arasında yer aldığı bilinen bir gerçektir. Bu sebeple özellikle donma-çözünme süreçlerinin sık olduğu, yağış koşullarının (kar+yağmur) yoğun olduğu, sıcaklık değerlerinin asfalt kaplamada kismaya sebebiyet verecek oranda yüksek olduğu bölgelerde beton (rijit) kaplama kullanımının iyi bir alternatif olabileceği değerlendirilmelidir.

Özellikle kış dönemlerindeki donma-çözünme süreçlerinin sıklığı, yoğun kar ve yağmur yağışına bağlı deformasyonlar ile orman emvali taşınması esnasında ağır yüklü araçların yola bıraktığı etki ve neticesinde ortaya çıkan deformasyonlar sebebiyle köy yollarında beton bir kaplama türü olan SSB'nin kullanımı önerilmeli ve teşvik edilmelidir.

Özetle dünyanın çeşitli ülkelerindeki gibi ülkemizde de kaplama türünün seçiminde bölgesel iklim şartları, ekonomik kriterler, trafik miktarı, hizmet ömrü, bakım/onarım ihtiyaçları vb. gibi birtakım parametreler ile her bir kaplama türünün üstünlükleri dikkate alınmalı ve gerçekleştirilecek optimizasyon çalışmaları ile ihtiyaca uygun kaplama türü seçilmelidir.

Kaynaklar

1. Çetin, B., Barış, S. ve Saroğlu, S., “Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi” Cilt-1 Sayı-1, 123-150 (2011).
2. Çetin, O., “Beton Yollarda Yeni Teknolojiler Silindirle Sıkıştırılan Beton Yol”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 26-28 (2009).
3. İnternet: South African National Roads Agency Soc. Ltd., “Rijit ve Esnek Üstyapılarda Meydana Gelen Yük Dağılımları”, https://www.nra.co.za/live/content.php?Item_ID=65 (2017).
4. Yalçın, H. ve Koç, T., “Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi”, CMS Ltd. yayını, Ankara, 85-101 (2004).