

Düşük Hacimli Yollarda Donatısız Beton Üstyapılar için bir Dizayn Kataloğu Önerisi

Dr. Yavuz Abut¹

Özet

Yol üstyapı tasarımında iklim koşulları, trafik kompozisyonu, yoldan beklenen hizmet düzeyi, servis ömrü, güvenilirlik, üstyapı ve zeminin mekanik özellikleri gibi birçok parametre, tekrarlı yükler altında oluşacak olan yorulma, sünme, şekil değiştirme gibi sonuçlarla beraber bir veri şeklinde modellenmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü, Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi'nde eşdeğer tek dingil yükünün 3 milyonun altında olduğu yollar, düşük hacimli yollar olarak tanımlanmaktadır. AASHTO 1993 yönteminde ise düşük hacimli yollar için 1 milyon Eşdeğer Tek Dingil Yüğü'ne (ETDY) kadar rijit plak kalınlıkları verilmektedir. Türkiye ölçeğinde, rijit üstyapılar için yerel zemin ve iklim koşullarının tasarım kriterlerine adapte edildiği bir dizayn yöntemi bulunmamaktadır. Son zamanlarda özellikle yerel yönetimlerin yatırım programlarında yer alan beton yollar, yaklaşık 1.000 km'yi bulmuştur. Bu yolların büyük bir kısmında Silindire Sıkıştırılabilir Beton (SSB) yol teknolojisi kullanılmıştır. Bu çalışmada Türkiye'de kırsal kesimlerde trafik yükünün 3 milyonun altında olan yol tipleriyle alakalı AASHTO 1993 yöntemi kullanılarak, beton yollar için bir dizayn kataloğu oluşturulması hedeflenmiştir.

A Suggested Design-Chart for Non-Reinforced Concrete Pavement in Low Volume Roads

For the concept of pavement design, many parameters such as climatic conditions, traffic composition, expected of service level, service life, reliability, mechanical properties of the soil and the slab layer should be known and they can be modeled with the results of outputs such as fatigue, creep and deformation under the repetition loads. In the General Directorate of Highways of Flexible Pavement Design Guide, the roads with Equivalent Single Axle Load (ESAL) of less than 3 million are defined as low volume roads. In the AASHTO 1993 method, the rigid slab thicknesses are also given for low volume roads, which are up to 1 million ESAL. There is no design method for the rigid pavements in Turkish publications, in which local soil and climatic conditions are adapted to the design criteria. The concrete road is recently included in the investment programs of municipal authority and its length is about 1.000 km. Most of these constructions were made using the Roller Compacted Concrete (RCC) pavement technology. In this study, it was aimed to create a design-chart using the AASHTO 1993 method for concrete roads with less than 3 million ESAL at rural areas in Turkey.

1. GİRİŞ

Düşük hacimli yollar, trafik yoğunluğu açısından ETDY'nin 3 milyondan düşük olduğu yollar olarak tanımlanmaktadır. Güvenilirlik düzeyi ve yoldan beklenen hizmet seviyesinin göreceli olarak düşük seçildiği bu kaplama tiplerinde zemin direnci ve iklim koşulları önemli bir parametre olarak modele dâhil edilmektedir. Yapısal davranışının karmaşık olması nedeniyle birtakım basitleştirilmiş yaklaşımlar ile tasarım modelleri sadeleştirilmektedir. AASHTO, PCA, Belçika Yol Araştırma Merkezi ve Hollanda Yol İdaresi tarafından beton yol tasarımında ampirik ifadelerin yer aldığı birtakım dizayn prosedürleri geliştirilmiştir [1-4]. Son dönemlerde bu tasarım yöntemleri mekanistik-ampirik yaklaşımların beraber kullanıldığı daha kompleks bir yapıya bürünmüştür [5].

SSB yol teknolojisi ilk olarak 1940'lı yıllarda ABD'de bir havaalanı pistinde uygulanmıştır. Türkiye'de de kullanımı bitüm fiyatlarındaki artış nedeniyle yeniden gündeme gelmiştir. Başta Antalya, Denizli, Samsun, Tekirdağ ve Kocaeli Büyükşehir Belediyeleri olmak üzere birçok yerel yönetimin ulaştırma politikalarında önemli bir yere oturan SSB yollar, işçilik ve yapım ekipmanları bakımından asfalt yol yapımı ile benzer özellikler taşımaktadır. Türkiye

¹) yavuzabut@kocaeli.bel.tr, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

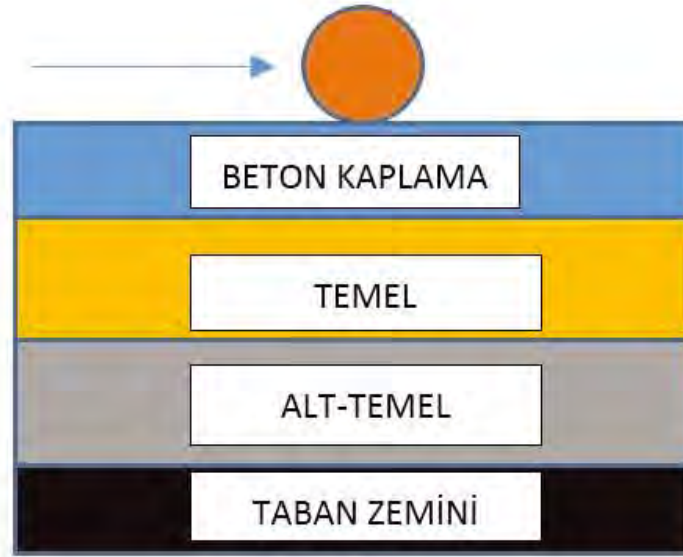
Anahtar Kelimeler: Beton Üstyapı Tasarımı, AASHTO 1993, Silindire Sıkıştırılabilir Beton, Düşük Hacimli Yollar

ölçeğinde sadece belediyeler marifetiyle yapılan SSB yol ağı 1000 km'ye ulaşmış durumdadır.

Bu çalışmada AASHTO 1993 Ampirik Tasarım Yöntemi [1] kullanılarak, belirli beton ve zemin sınıfları ile ETDY sayılarına göre özellikle derzli ve donatısız uygulanan, düşük hacimli SSB yollar için dizayn katalogları oluşturulması hedeflenmiştir. Bu sayede, şartname ve proje hazırlayıcılar söz konusu bu rijit yapı için karmaşık hesaplar yerine basitleştirilmiş bu yöntem sayesinde daha kolay ve hızlı bir şekilde üstyapı dizaynı yapabileceklerdir.

2. YÖNTEM

AASHTO 93 yol denklemi, *Denklem 1*'de [1], SSB yol kaplaması için tipik bir SSB üstyapı en kesiti ise Şekil 1'de verilmektedir. Tasarımda hedeflenen kriter, servis ömrü (20 yıl) boyunca kaplamanın emniyetli eğilme direncine ulaşmadan periyodik bakımların da yardımıyla servis sağlayabilmesidir.



Şekil 1. Tipik SSB Üstyapı En Kesiti

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

Bu denklemde;

W_{18} : Eşdeğer Tek Dingil Yüğü (ETDY)
 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_I : İlk Servis Yeteneği
 P_T : Son Servis Yeteneği
 C_d : Drenaj Katsayısı
 J : Yük Transfer Katsayısı

SSB yol kaplama tasarımı için aşağıdaki değişkenler kullanılmıştır;

*Basınç dayanımı düzeyine göre 3 farklı beton sınıfı: C25, C30 ve C35,

*% CBR taşıma kapasitesine göre 4 farklı zemin sınıfı: %20, %50, %100 ve %120,

*ETDY kapasitesine göre 3 farklı trafik kategorisi: 500 bin, 1,5 milyon ve 3 milyon.

Yüklemeler ETDY'ye göre, tekerlek iç basıncı 0,62 MPa alınarak tatbik edilmiştir. Yükleme kompozisyonunda ağır taşıt sayısı ve kıvrılma (curling) etkisi ihmal edilmiştir. Model için kullanılan bağımsız değişkenler Tablo 1'de ve modelde çalıştırılan (3 x 4 x 3) 36 farklı seçenek Tablo 2'de verilmektedir.

Kaplama kalınlıkları *Denklem 1* yardımıyla belirlendikten sonra, Minitab yazılımı ile doğrusal bir denklem elde edilerek 3 farklı trafik durumuna göre tasarım katalogları oluşturulmuştur. Bu

katalogların oluşturulmasında, betonun Elastisite Modülü ve 28 günlük Eğilme Dayanımı değerlerinin yerine o numuneye ait 28 günlük karakteristik Basınç Dayanımı, Efektif Zemin Reaksiyon Modülü değeri yerine de H.M. Westergaard denklemlerinden [6] elde edilen %CBR değerleri kullanılarak oluşturulan bir dönüşüm matrisinden faydalanılmıştır (Tablo 3). Bu sayede ETDY, beton sınıfı ve % CBR taşıma değerine göre üst yapı kalınlıkları pratik bir şekilde kataloglardan okunabilecektir.

Tablo 1. Bağımsız Değişkenler

PARAMETRE	SEÇİLEN DEĞERLER
Analiz Süresi (Yıl)	20
8,2 ton Eşdeğer Tek Dingil Yüğü (ETDY)	500 bin, 1,5 milyon, 3 milyon
28-günlük Betonun Eğilme Dayanımı (psi, MPa)	C25 (604, 4,17), C30 (725, 5,00), C35 (846, 5,83)
Betonun Elastisite Modülü (psi, GPa)	C25 (4.350.000, 30), C30 (4.640.000, 32), C35 (4.785.000, 33)
Efektif Zemin Reaksiyon Modülü (lb/inc ³ , % CBR)	Z1 (250, 20), Z2 (500, 50), Z3 (800, 100), Z4 (1.000, 120)
Güvenilirlik (%)	95
Normal Standart Sapma	-1,645
Toplam Standart Sapma	0,29
Servis Yeteneği Kaybı	1,7
İlk Servis Yeteneği	4,2
Son Servis Yeteneği	2,5
Drenaj Katsayısı	1,0
Yük Transfer Katsayısı	3,2

Tablo 2. Veri Seti

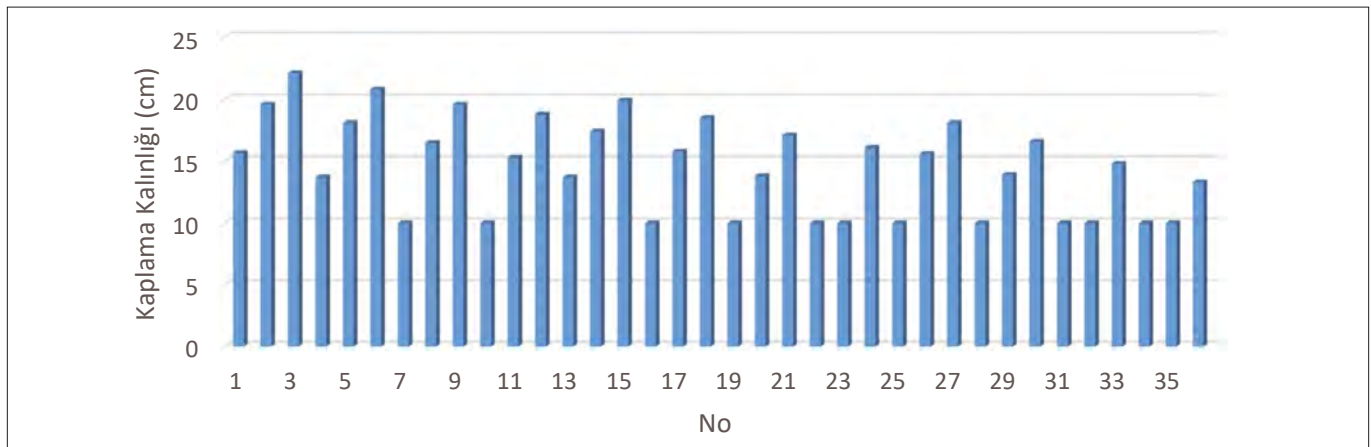
No	(E _c , psi) (S _c , psi)	k (pci)	ETDY (milyon)	No	(E _c , psi) (S _c , psi)	k (pci)	ETDY (milyon)
1	(4.350.000) (604)	250	0,5	19	(4.640.000) (725)	800	0,5
2	(4.350.000) (604)	250	1,5	20	(4.640.000) (725)	800	1,5
3	(4.350.000) (604)	250	3	21	(4.640.000) (725)	800	3
4	(4.350.000) (604)	500	0,5	22	(4.640.000) (725)	1.000	0,5
5	(4.350.000) (604)	500	1,5	23	(4.640.000) (725)	1.000	1,5
6	(4.350.000) (604)	500	3	24	(4.640.000) (725)	1.000	3
7	(4.350.000) (604)	800	0,5	25	(4.785.000) (846)	250	0,5
8	(4.350.000) (604)	800	1,5	26	(4.785.000) (846)	250	1,5
9	(4.350.000) (604)	800	3	27	(4.785.000) (846)	250	3
10	(4.350.000) (604)	1.000	0,5	28	(4.785.000) (846)	500	0,5
11	(4.350.000) (604)	1.000	1,5	29	(4.785.000) (846)	500	1,5
12	(4.350.000) (604)	1.000	3	30	(4.785.000) (846)	500	3
13	(4.640.000) (725)	250	0,5	31	(4.785.000) (846)	800	0,5
14	(4.640.000) (725)	250	1,5	32	(4.785.000) (846)	800	1,5
15	(4.640.000) (725)	250	3	33	(4.785.000) (846)	800	3
16	(4.640.000) (725)	500	0,5	34	(4.785.000) (846)	1.000	0,5
17	(4.640.000) (725)	500	1,5	35	(4.785.000) (846)	1.000	1,5
18	(4.640.000) (725)	500	3	36	(4.785.000) (846)	1.000	3

Tablo 3. Dönüşüm Matrisi

No	f_{ck} : Karakteristik Basınç Dayanımı - 28 günlük (MPa)	%CBR	ETDY (milyon)	No	f_{ck} : Karakteristik Basınç Dayanımı - 28 günlük (MPa)	%CBR	ETDY (milyon)
1	25	20	0,5	19	30	100	0,5
2	25	20	1,5	20	30	100	1,5
3	25	20	3	21	30	100	3
4	25	50	0,5	22	30	120	0,5
5	25	50	1,5	23	30	120	1,5
6	25	50	3	24	30	120	3
7	25	100	0,5	25	35	20	0,5
8	25	100	1,5	26	35	20	1,5
9	25	100	3	27	35	20	3
10	25	120	0,5	28	35	50	0,5
11	25	120	1,5	29	35	50	1,5
12	25	120	3	30	35	50	3
13	30	20	0,5	31	35	100	0,5
14	30	20	1,5	32	35	100	1,5
15	30	20	3	33	35	100	3
16	30	50	0,5	34	35	120	0,5
17	30	50	1,5	35	35	120	1,5
18	30	50	3	36	35	120	3

3. SONUÇLAR

Denklemlere göre tespit edilen rijit plak kaplama kalınlıkları Şekil 2’de gösterilmektedir ve minimum kaplama kalınlığı 10 cm olarak alınmıştır.

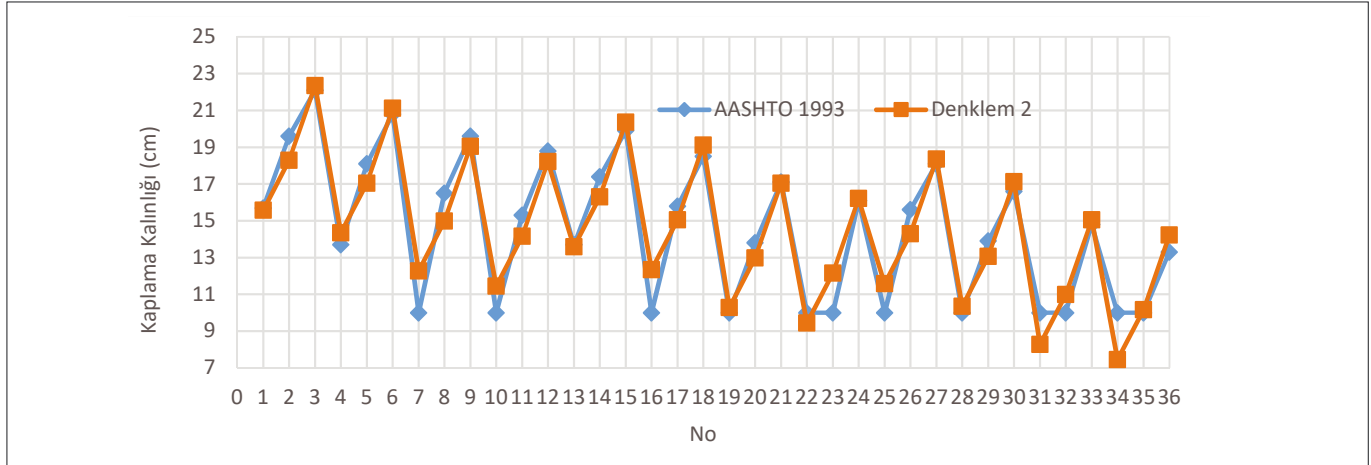


Şekil 2. Rijit Plak Kaplama Kalınlığının Farklı Seçeneklere Göre Değişimi

28 günlük karakteristik Basınç Dayanımı ve % CBR değerlerinin kullanıldığı yeni modelin eşitliği ise *Denklemler* 2’de verilmektedir. Bu denklem ile AASHTO 1993’ten elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 3’de gösterilmektedir.

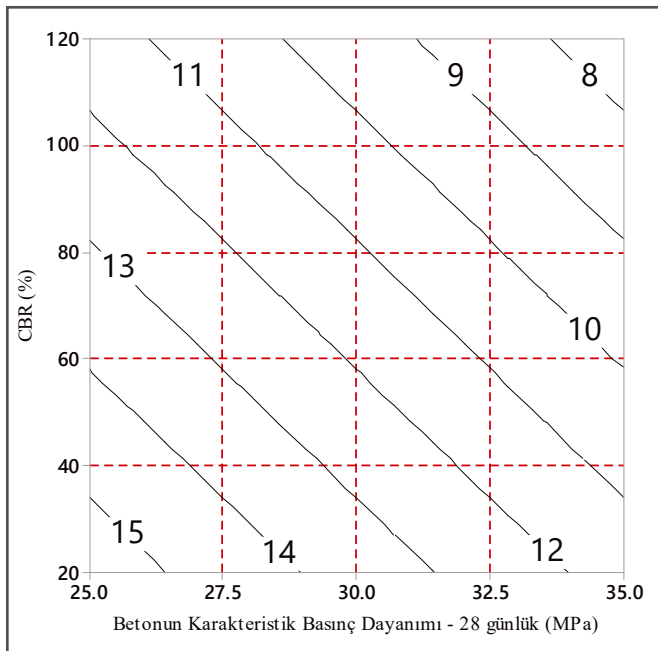
$$d = 25,03 - 0,3992xA - 0,04136xB + 2,710xC \quad (R^2=91,2, R^2_{adj}=90,4, S=1,190) \quad (2)$$

d: Kaplama Kalınlığı (cm)
A: Betonun 28 günlük Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)
B: CBR (%)
C: ETDY/10⁶

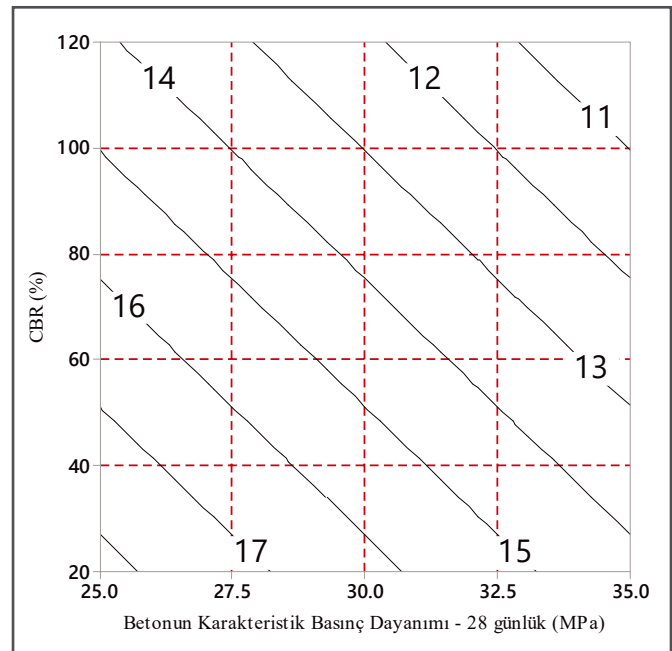


Şekil 3. Denklem 2 ve AASHTO 1993'e Göre Kaplama Kalınlığı Değişimi

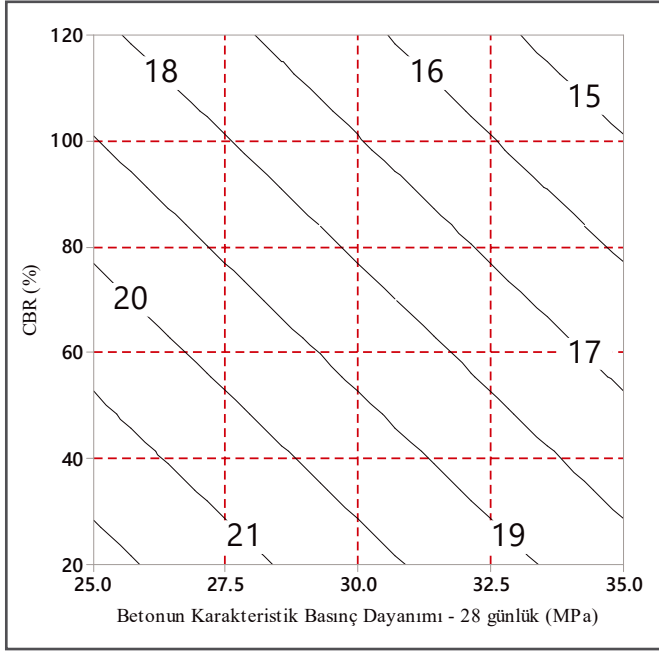
Son olarak, farklı ETDY değerlerine göre dizayn katalogları oluşturulmuştur (Şekil 4-a-b-c). Bu kataloglar yardımıyla rijit plak tabaka kalınlıkları pratik bir şekilde tespit edilebilmektedir.



Şekil 4-a. Kaplama Kalınlığı (cm) (ETDY: 500 bin)



Şekil 4-b. Kaplama Kalınlığı (cm) (ETDY: 1,5 milyon)



Şekil 4-c. Kaplama Kalınlığı (cm) (ETDY: 3 milyon)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada düşük hacimli yollarda beton kaplama kalınlığının tespiti için basitleştirilmiş bir tasarım önerisi sunulmuştur.

Çalışmadan çıkan sonuçlara göre;

1. Laboratuvar şartlarında tespit edilmesi daha kolay, hızlı ve ekonomik olan testlerin, AASHTO yol denklemine adaptasyonu sağlanarak kuvvetli bir ilişki sağlanmıştır. %90 güvenilirlik düzeyinde istenilen tabaka kalınlıklarının sağlandığı görülmüştür. Çalışmanın ilerleyen kısmında, betonun durabilite özellikleri, sıcaklık gradyanı ile kıvrılma (curling) ve ağır taşıt etkisi gibi parametrelerin de kurulacak modele dâhil edilip daha güçlü (robust) bir model kurulması hedeflenmektedir.
2. Türkiye ölçeğinde, yol yapımı üzerine faaliyet gösteren Ar-Ge otoriteleri (özellikle KGM Araştırma Laboratuvarları, Belediye ve işbirlikçi laboratuvarları) asfalt deneyleri üzerinde uzmanlaşmış durumdadır. Beton kalite prosesleri, büyük bir ölçeği basınç deneyleri olmak üzere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı denetimi altında bina, sosyal donatı, köprü vb. düzeyinde ilerlemektedir. Rijit üstyapıların tasarımında Taban Zemini Reaksiyon Modülü, Betonun Elastisite Modülü ve Eğilme Direnci gibi testlerin yapılması zorunludur. Bu deneyler, asfalt deneylerine göre daha fazla bütçe, zaman,

ekipman ve özel uzmanlık gerektiren süreçler içerdiğinden birtakım yaklaşık metotlarla güncel tasarımların yapılabilmesi gerekmektedir.

3. 2016 yılı sonunda Beton Yollar Teknik Şartnamesi'nin çıkması bu konudaki olumlu gelişmelerden biridir. Bunun yanında, rijit üstyapı tiplerinin tamamının ele alındığı "Rijit Üstyapı Projelendirme Rehberi" şeklinde bir ulusal yayına ihtiyacın olduğu açıktır.

Kaynaklar

1. AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1993.
2. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 1984
3. Veverka, V. The Belgian Road Research Center's Design Procedure for Concrete Pavements Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements, 5 - 6 June 1986, Epen, The Netherlands Record 1, CROW, Ede, 1987
4. Manual for Road Construction - Pavement Design (in Dutch), 4th edition Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Institute, Delft, The Netherlands, 1998
5. NCHRP, Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Project 1-37A, National Research Council, Washington, DC, 2004.
6. Huang, Y.H., 1993, Pavement Analysis And Design. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.