

## Türkiye'deki Belediyelerin Sorumluluk Sahasındaki Yollar İçin Bir Derzli Donatısız Beton Yol Dizayn Kataloğu ve Modeli Önerisi

Orhan KAYA<sup>1\*</sup>, Abdullah İGİT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

<sup>2</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6072-3882>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4483-1178>

\*Sorumlu yazar: okaya@atu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Online Yayınlanma: 05.07.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Beton yollar

JPCP

Yol dizaynı

Çoklu regresyon modelleri

### ÖZ

Beton yollar yapısal ömürlerinin fazla oluşu, ekonomik, dayanıklı ve çevre dostu oluşları, her mevsimde uygulanabilir oluşları ve gece görüşünü olumlu yönde etkilemeleri gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca ülkemizde yerli imkanlarla üretimi gerçekleşen çimentonun beton yolların en pahalı bileşeni olduğu göz önüne alınırsa maliyet açısından da ön plana çıkan bir yol üstyapısı tipi denilebilir. Belediyelerin sorumluluk sahasındaki düşük hacimli yollarda kullanılacak Derzli Donatısız Beton Yollar (JPCP) için bir dizayn kataloğu ve model geliştirilmesinin birçok pratik faydası olacaktır. Bu çalışmanın amacı ülkemizde belediyelerin sorumluluk sahasındaki düşük hacimli JPCP yolların (hem sokak ve cadde gibi yollar (residential roads) hem de bulvar gibi daha yüksek hacimli yolların (collector roads)) tasarımında kullanılmak üzere: (1) farklı tasarım senaryoları ve parametreleri için PavementDesigner web programı kullanılarak beton yol plaka kalınlıklarını belirleyerek bir "Beton Yol Dizayn Kataloğu" oluşturmak ve (2) bu katalog kullanılarak çoklu regresyon modelleri geliştirerek alternatif senaryolar için hızlı bir beton plaka kalınlığı tahmin modeli geliştirmektir. Çalışmada 432 tasarım senaryosu belirlenmiş ve her bir senaryo için ilgili tasarım değerleri PavementDesigner'a girilerek beton plaka kalınlıkları elde edilmiştir. Farklı dizayn parametrelerinin beton plaka kalınlıklarına etkileri detaylı olarak sunulmuştur. Bununla birlikte bu 432 tasarım senaryosu için PavementDesigner çıktılarına başarılı bir şekilde benzer sonuçlar veren iki çoklu regresyon modeli geliştirilmiştir. İlerleyen zamanlarda bu modeller kullanılarak belediyelerin sorumluluk sahasındaki yollar JPCP ile hızlı bir şekilde tasarlanıp vakit ve kaynak verimliliği sağlanabilir.

## A Jointed Plain Concrete Pavement Design Catalog and Model Proposal for Roads within the Jurisdiction of Municipalities in Turkey

### Research Article

#### Article History:

Received: 17.05.2022

Accepted: 27.12.2022

Published online: 05.07.2023

#### Keywords:

Concrete roads

JPCP

Pavement design

Multiple linear regression

### ABSTRACT

Concrete pavements, or rigid pavements, have several advantages such as their long structural lives, being economical, durable and environmentally friendly, being applicable in all seasons and having a positive effect on night vision. Being locally-produced cement is the most expensive component, concrete pavements have also economical advantages. Developing a design catalog and model for Joint-Reinforced Concrete Pavements (JPCP) that can be used on the roads within the jurisdiction of municipalities will have many practical benefits. The aim of this study is to develop (1) a design catalog based on pavement design runs using PavementDesigner web-based program

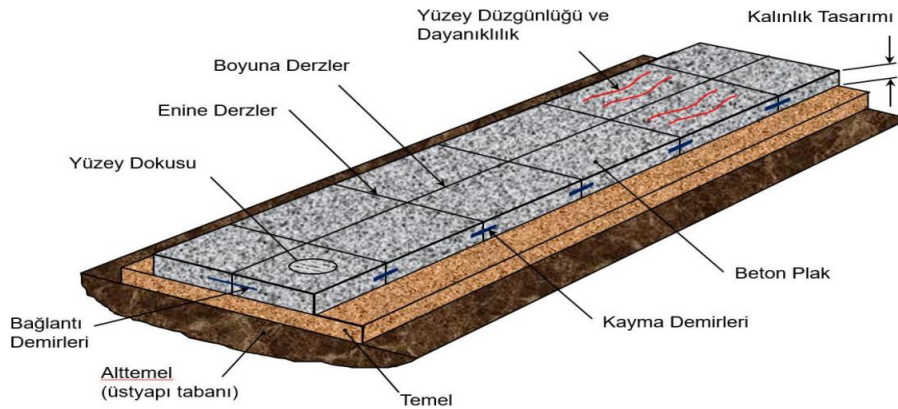
for various design scenarios and parameters, and (2) a rapid concrete slab thickness estimation model for alternative design scenarios by developing multiple linear regression models using this design catalog, which could be used in the design of JPCPs within the jurisdiction of municipalities in Turkey. In this study, 432 JPCP design scenarios were determined and concrete slab thicknesses were obtained by entering the relevant design values for each scenario into PavementDesigner. The effects of different design parameters on concrete slab thicknesses are presented in detail. In addition, using these 432 design scenarios, two multiple linear regression models have been developed that can be used in the thickness design of both residential and collector roads and successfully give similar results to PavementDesigner outputs. By using these models, the roads within the jurisdiction of municipalities can be designed as JPCP quickly, and time and resource efficiency can be achieved.

**To Cite:** Kaya O., İğit A. Türkiye'deki Belediyelerin Sorumluluk Sahasındaki Yollar İçin Bir Derzli Donatısız Beton Yol Dizayn Kataloğu ve Modeli Önerisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(2): 1296-1309.

## 1. Giriş

Beton yollar ya da diğer bir adıyla rijit kaplamalar dünyada özellikle geçtiğimiz yüzyılın başlarında yaygınlaşmaya başlayan ve birçok avantajı olan bir kaplama türü olmakla ön plana çıkmıştır (Şekil 1). Bilinen ilk beton üstyapısı 1891 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) Ohio eyaletinde yapılmış olmakla birlikte 20. yüzyılın başından itibaren Belçika ve Almanya gibi Avrupa ülkelerinde ve ABD'de yaygınlaşmış ve 1973 yılındaki petrol krizinden sonra ise artış göstermiştir (Abut ve Çankaya, 2016; KGM, 2019). Bilhassa kayar-kalıp yönteminin geleneksel kalıp yöntemine göre imalattaki uygulama kolaylığı ve verimlilikteki artış gibi avantajları sayesinde beton yol miktarında yıllar içerisinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir (KGM, 2019). Beton yolların avantajları arasında yapısal ömrünün fazla oluşu, ekonomik, dayanıklı ve çevre dostu oluşu, her mevsimde uygulanabilirliği ve gece görüşünü olumlu yönde etkilemesi sıralanabilir (Ağar ve ark., 1998).

Ülkemiz çimento sektörü incelendiğinde dünyanın en büyük beşinci, Avrupa'nın ise en büyük çimento üreticisi olduğumuz, ihracatta ise dünyada altıncı sırada yer aldığımız görülmektedir (Yetim ve Yılmaz, 2019). En pahalı bileşeni çimento olan ve ülkemizde yerli imkanlarla üretimi gerçekleşen çimentonun kullanıldığı beton yollar maliyet açısından da ön plana çıkmaktadır (Ağar ve ark., 1998).



Şekil 1. Derzli donatısız beton yol ve tasarım elemanları

Beton yollar üç kategoriye ayrılabilir: derzli donatısız beton kaplama (JPCP), derzli donatılı beton kaplama (JRCP) ve sürekli donatılı beton kaplama (CRCP). Bu kategorilerden en yaygın kullanılanı JPCP olmakla birlikte, CRCP tipi beton yollar ABD'nin Illinois, Texas gibi eyaletlerinde kullanılmakta, JRCP'de kullanımı sınırlı olan beton yol tipi olarak bilinmektedir. CRCP ve JRCP beton yol tiplerinin JPCP'ye göre daha az yaygın kullanılmalarının sebebi olarak bu yol tiplerinde gözlemlenen uzun donemli performans problemleri belirtilmiştir (Posada, 2008). Bununla birlikte beton yolların yapım tekniğine göre farklı çeşitleri de vardır: öngermeli beton kaplama, silindirle sıkıştırılan beton kaplama (SSB) ve kompozit kaplama gibi.

Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) sorumluluk sahasındaki yollarda ilk beton yol deneme kesimi Afyon-Emirdağ Ayrımında (İşcehisar Geçişi) 2 km uzunluğunda, bölünmüş, tek yönlü, üç şeritli ve JPCP olarak 2004 yılında tamamlanmış ve trafiğe açılmıştır. Ardından da sırasıyla 2006 yılında Kemerburgaz'da 3,5 km'lik tek doğrultuda, 2007 yılında Ordu-Ulubey arasında ve 2010 yılında Karamürsel'de yine JPCP olarak deneme kesimleri yapılmıştır (Şengün ve ark., 2017). Ülkemizde KGM dışında belediyelerin sorumluluk sahasında olan ilk beton yollar 1986 yılında Adana'da JPCP olarak, daha sonra da 2012 yılında Trabzon'da 11 km'lik bir yol kesimi yine JPCP olarak yapılmıştır. Beton yolların kullanımı Trabzon'da artış göstermiş, 2017 yılı itibariyle toplam inşa edilen beton yol ağı 1.500 km'yi bulmuştur (Şengün ve ark., 2017). Kocaeli de 2016 yılı itibariyle 173 km'ye varan beton yol ağına sahiptir (Abut ve Çankaya, 2016). Bununla birlikte son yıllarda SSB teknolojisi de ülkemizde özellikle düşük hacimli kırsal yollarda yapım kolaylığı, ekonomik oluşu ve kısmen hızlı trafiğe açılması gibi avantajlarından dolayı yaygınlaşmaya başlamış ve bu konuda çalışmalar artmıştır (Yetim ve Yılmaz, 2019; Şengün ve ark., 2017). Ülkemizde beton yollarla ilgili artan talep karşısında KGM 2019 yılında kendi sorumluluk sahasındaki beton yolların tasarımında kullanılmak üzere "Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi"ni yayınlamıştır (KGM, 2019). Bu rehber temelde AASHTO 93 tasarım yöntemi esaslarına göre oluşturulmuş olup ülkemizdeki KGM sorumluluk sahasındaki beton yolların tasarımında kullanılacak parametreleri belirlemiştir. Bilindiği üzere AASHTO 93 yöntemi temelde ABD'de 1956-1961 yıllarında gerçekleşen AASHO yol testleri (AASHO Road Tests) sonucu geliştirilen bir ampirik tasarım yöntemi olup bu yol testlerinde daha çok yüksek trafikli yolların tasarım kriterleri test edilmiştir (AASHTO, 1993). Bu bağlamda KGM'nin sorumluluk sahasındaki yollar da bu çeşit yollar olduğundan "Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi"nin AASHTO 93 yöntemini baz almasının uygun olduğu düşünülmektedir. Fakat belediyelerin sorumluluk sahasındaki beton yolların tasarımında bu yöntemin kullanılmasının bazı sakıncaları mevcuttur (Delatte, 2014):

- AASHO yol testlerinde düşük hacimli yollar yeterince temsil edilmemiştir.
- Düşük hacimli yolların tasarımında yüksek hacimli yollarda kullanılan kompleks yöntemlerin kullanımına gerek yoktur.

Düşük hacimli yollar (light duty pavements ya da low volume roads) günlük ortalama araç sayısının maksimum 400 araç olduğu ya da yolun dizayn hayatı boyunca maruz kalacağı Eşdeğer Tek Dingil

Yükünün (ESAL) 3 milyondan daha az olduğu yollar olarak tanımlanabilir (Abut, 2017; Douglas, 2017). Portland Çimento Birliği'nin 1984 yılında yayınladığı tasarım yöntemini (PCA, 1984) AASHTO 93 (AASHTO, 1993) yönteminden farklı olarak mekanistik bir tasarım yöntemi olarak ortaya çıktı. PCA tasarım yönteminde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanan gerilme ve şekil değiştirmeler vasıtasıyla farklı kalınlık durumları için performans analizleri yapılmaktadır (Bulusu ve ark., 2020; Kici ve Tigdemir, 2017; Titus-Glover ve ark., 2005).Tasarım aşamasında birçok farklı kalınlık senaryoları için gerilme ve şekil değiştirmelerin hesaplanması ve en uygununun seçilmesi uzun ve çok vakit alan bir yöntem olduğundan düşük hacimli beton yolların tabaka kalınlık tasarımında kullanılmak üzere Amerikan Beton Enstitüsü'nün (ACI) 325 numaralı komitesi PCA dizayn yöntemi (PCA, 1984) baz alarak basitleştirilmiş tasarım tabloları oluşturdu (ACI, 2002). Benzer bir yaklaşımla Amerikan Beton Yollar Birliği de (ACPA) beton yolların tabaka kalınlık tasarımında kullanılmak üzere yine PCA 1984 tasarım yöntemini kullanan StreetPave isimli bir bilgisayar programı geliştirdi (StreetPave, 2022). En son olarak da ACPA, PCA, Amerikan Hazır Beton Birliği (NRMCA) ve Silindire Sıkıştırılmış Beton Birliği bir araya gelerek StreetPave programını web tabanlı ücretsiz bir program haline getirip belediyelerin sorumluluk sahasındaki beton yollar ile beton otopark alanları ve endüstriyel/lojistik alanların saha betonlarının tabaka kalınlıklarının tasarımında kullanılmak üzere “www.pavementdesigner.org” uzantılı ve “PavementDesigner” isimli bir web programını kullanıcıların hizmetine sunmuşlardır (PavementDesigner, 2022).

Bu çalışmanın amacı ülkemizde belediyelerin sorumluluk sahasındaki düşük hacimli derzli donatısız beton yolların (JPCP) (hem sokak ve cadde gibi yollar (residential roads) hem de bulvar gibi daha yüksek hacimli yolların (collector roads)) tasarımında kullanılmak üzere: (1) farklı tasarım senaryoları ve parametreleri için PavementDesigner kullanılarak her bir senaryo için beton yol plaka kalınlıklarını belirleyerek bir “Beton Yol Dizayn Kataloğu” oluşturmak ve (2) bu katalog kullanılarak çoklu regresyon modelleri geliştirerek alternatif senaryolar için hızlı bir beton plaka kalınlık tahmin modeli geliştirmektir.

## **2. Materyal ve Yöntem**

Yukarıda bahsedildiği gibi bu çalışmada PavementDesigner kullanılarak farklı tasarım senaryoları için JPCP beton plak kalınlık tasarımları gerçekleştirilmiştir. Kategorik olarak kalınlık tasarımları sokak/cadde (residential) ve yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için tasarlanan JPCP yollar olmak üzere iki farklı kategoride gerçekleştirilmiştir. Bu iki kategorideki kalınlık tasarım yöntemleri aynı olmakla birlikte her bir kategoride yolu kullanacak araçların trafik spektrumunda (yolu kullanacak farklı aks sayısı ve sınıftaki araçların yüzde dağılımında) bazı farklar mevcuttur. PavementDesigner'ın tasarımda kullandığı her bir parametre ve söz konusu parametreler için bu çalışmada kullanılan tüm alternatif değerler Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi, bazı parametreler için alternatif değerler kullanılmamış olup her bir tasarım senaryosunda o parametre için sabit bir değer kullanılmıştır. Tasarım senaryolarında kullanılan değerlerin seçimiyle ilgili:

- Tasarım ömrü için iki farklı senaryo düşünülmüştür: 20 ve 30 yıl. Bunun sebebi KGM Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi'nde analiz periyodu olarak ülkemiz otoyol, devlet yolları ve il yolları için 30 yıl kullanılması gerektiğinin belirtilmesi ve daha düşük hacimli yollarda alternatif olarak ancak 20 yılın kullanılması sebebiyle bu iki değer seçilmiştir.
- Günlük ağır vasıta sayısı olarak da sokak/cadde (residential) ile yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) dağılımları geniş bir aralığı kapsayacak ve ACI 325.12R-11 (ACI, 2002)'de önerilen aralıkta olacak şekilde seçilmiştir. ACI 325.12R-11 (ACI, 2002)'de sokak/cadde (residential) ile yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) yollar için günlük ağır vasıta sayısı olarak sırasıyla 2-4 ve 50-500 aralığının kullanılması önerilmiştir.
- Yıllık trafik artışı değerlendirilmemiştir. Bununla birlikte yol üstyapı tasarımcısı yıllık trafik artışı öngörüyorsa bunu günlük ağır vasıta sayısı parametresine yansıtılabilecektir.
- Tasarımda tek yön ve tek şeritli bir yol için tasarım yapıldığından yön ve şerit dağıtma faktörleri "100" olarak kullanılmıştır. Eğer çok şeritli veya yönlü bir yol tasarlanacaksa yolu kullanacak toplam ağır vasıta sayısı yolun öngörülen şerit ve yön sayısı dikkate alınarak dağıtılabilecektir.
- Güvenilirlik yüzdesi (%) olarak 50, 65 ve 80 değerleri kullanılmıştır. Bunun sebebi AASHTO 93 yönteminde mahalli ve tali yollarda güvenilirlik değerleri için 50-80 arası değerlerin kullanılabileceğinin önerilmesidir.
- Tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi için sokak/cadde (residential) için 15 ve 25, yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) içinse 5, 10 ve 15 değerleri kullanılmıştır. AASHTO 93'te (AASHTO, 1993) bu değer için sokak/cadde (residential) yollar için "25" değerinin kullanılması, yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) içinse "15" değerinin kullanılması önerilmektedir. Bu değerlerin yanında alternatif değerler de değerlendirilmiştir.
- Kalifornia Taşıma Oranı (CBR) değerleri olarak farklı dayanım sınıflarına sahip zeminleri kapsayacak şekilde 10 ile 50 arasında değerler kullanılmıştır. Minimum 10 değerinin kullanılması Karayolları Teknik Şartnamesinde zayıf zeminler için 10'dan küçük CBR değerinin belirtilmesinden dolayıdır (KGM, 2013).
- Betonun 28 günlük esneklik mukavemeti değeri C35/45 beton sınıfı için tipik bir değer olan "4,5" MPa değeri kullanılmıştır.
- Plent Miks Temel (PMT) değerleri olarak da KGM Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi'nde (KGM, 2019) beton plak altında sırasıyla il yolları için minimum 15 cm, devlet ve otoyollar için de minimum 20 cm PMT teşkil edilmesi gerektiği belirtildiği için bu değerler kullanılmıştır.

PavementDesigner'a tasarımda kullanılan her bir parametrenin verisinin nasıl girileceği basamak basamak sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te sunulmuştur.

Project Type: Street Concrete GLOBAL

TRAFFIC

Residential a

Design Life 20 (Years) b

User Defined Traffic Info

Trucks/Day 2 c

Traffic Growth Rate 0 (% per year) d

Directional Distribution 100 (%) e

Design Lane Distribution 100 (%) f

GLOBAL

Reliability 50 (%) g

% of Slabs Cracked at End of Design Life 15 (%) h

CALCULATED TRAFFIC RESULTS

Avg Trucks/Day in Design Lane over the Design Life 2

Total Trucks in Design Lane over the Design Life 14,610

Şekil 2. PavementDesigner'a a) trafik kategorisi, b) tasarım ömrü, c) günlük ağır vasıta sayısı, d) yıllık trafik artışı oranı, e) yön dağıtma faktörü, f) şerit dağıtma faktörü, g) güvenilirlik yüzdesi ve h) tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi verilerinin girilmesi

SUBGRADE

CBR (California Bearing Ratio) 10 % a

Calculated MRSG Value 65 MPa

CONCRETE

28-Day Flex Strength 4.5 MPa b

3rd Point Loading 28-Day Flex Strength

Modulus of Elasticity 27,500 MPa

Macrobefibers in Concrete Yes No

Edge Support Yes No

Şekil 3. PavementDesigner'a a) CBR ve b) Betonun 28 günlük esneklik mukavemeti verilerinin girilmesi

STRUCTURE

Subbase Layers 1

Layer Type	Resilient Modulus	Layer Thickness
JOINTED PLAIN CONCRETE SURFACE		
Granular Base	172 MPa	150 mm
SUBGRADE		

Calculated Composite K-Value of Substructure 126.9 MPa/m

Override

Şekil 4. PavementDesigner'a Granüler/Plent Miks Temel katman kalınlığı verisinin girilmesi

Tablo 1'de belirtilen tüm alternatif tasarım senaryolarını kapsayacak şekilde sokak/cadde (residential) için 108, yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) içinse 324 farklı tasarım senaryosu (toplamda 432 tasarım senaryosu) belirlenmiş ve her bir senaryo için ilgili tasarım değerleri PavementDesigner'a girilerek beton plaka kalınlıkları elde edilmiştir. Şekil 5'te PavementDesigner'a girilen verilerin sonucu elde edilen beton plaka kalınlığı ve farklı parametrelerin (tasarım ömrü, güvenilirlik yüzdesi, betonun 28 günlük esneklik mukavemeti, tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi vb.)

hesaplanan beton plaka kalınlığı üzerindeki etkisinin gösterildiği duyarlılık (sensitivity) grafikleri sunulmuştur.

**Tablo 1.** Tasarım senaryolarında kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler	
	Sokak/Cadde (Residential)	Yüksek hacimli cadde/bulvar (Collector)
Tasarım ömrü	20; 30	20; 30
Günlük ağır vasıta sayısı	2; 3; 4	50; 150; 250
Yıllık trafik artış oranı	0	0
Yön dağıtma faktörü	100	100
Şerit dağıtma faktörü	100	100
Güvenilirlik (%)	50; 65; 80	50; 65; 80
Tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi	15; 25	5; 10; 15
CBR değeri	10; 30; 50	10; 30; 50
Betonun 28 günlük esneklik mukavemeti (MPa)	4,5	4,5
Granüler/Plent Miks Temel katman kalınlığı (mm)	150	150; 200



**Şekil 5.** PavementDesigner'a girilen verilerin sonucu elde edilen kaplama kalınlığı ve duyarlılık (sensitivity) grafiklerinin gösterimi

Bir sonraki aşamada da 108 tasarım senaryosunun parametrik değerleri ve ilgili tasarım senaryosu için elde edilen beton plaka kalınlıkları kullanılarak sokak/cadde (residential) yollar için bir çoklu regresyon modeli geliştirilmiştir. Benzer şekilde yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) içinse 324 farklı tasarım senaryosu kullanılarak bir çoklu regresyon modeli geliştirilmiştir.

Çoklu regresyon analizi Microsoft Excel programında gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizinde kullanılan değişkenler ve örneklem sayısı Tablo 2'de sunulmuştur. Regresyon analizinde kullanılan değişkenler belirlenirken Tablo 1'de sunulan parametrelerin birden fazla değere sahip olup olmadığına göre karar verilmiştir. Örneğin, Tablo 1'de sunulduğu gibi, PMT kalınlığı yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için geliştirilen modelde bir değişken olarak yer alırken (150 ve 200 değerlerine sahip olduğu için), sokak/cadde (residential) yollar için geliştirilen modelde bir değişken olarak yer almamıştır (sadece 150 değerine sahip olduğu için).

**Tablo 2.** Çoklu regresyon modellerinde kullanılan değişkenler ve örneklem sayısı

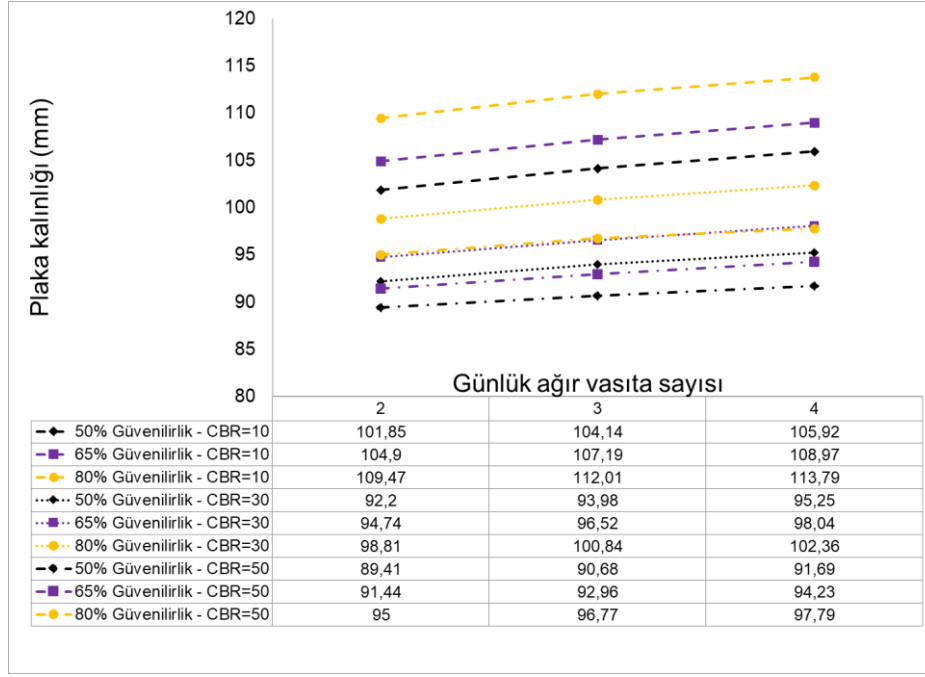
Model	Değişkenler	Örneklem sayısı
Sokak/cadde (residential)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasarım ömrü</li><li>• Günlük ağır vasıta sayısı</li><li>• Güvenilirlik (%)</li><li>• Tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi</li><li>• CBR değeri</li></ul>	108
Yüksek hacimli cadde/bulvar (collector)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasarım ömrü</li><li>• Günlük ağır vasıta sayısı</li><li>• Güvenilirlik (%)</li><li>• Tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi</li><li>• CBR değeri</li><li>• PMT kalınlığı</li></ul>	324

### 3. Bulgular

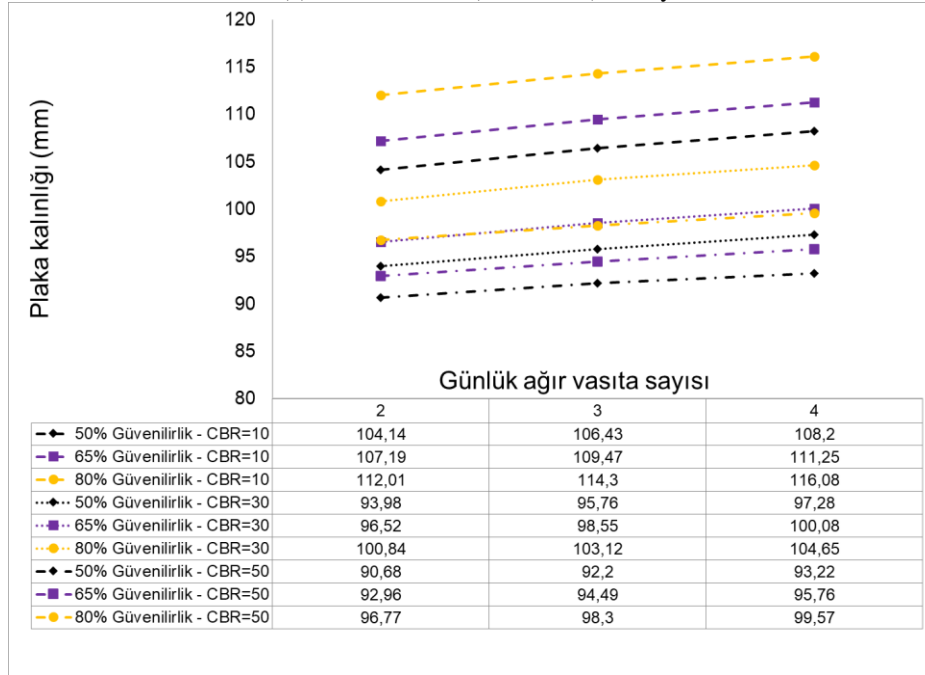
#### 3.1. PavementDesigner Tasarım Sonuçları

Tablo 2’de yer alan ilgili değişkenler baz alınarak hem sokak/cadde (residential) hem de yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) JPCP yollar için PavementDesigner kullanılarak 20 ve 30 yıllık tasarım ömrü senaryoları için beton plaka kalınlıkları belirlenmiştir. Şekil 6a’da ve Şekil 6b’de sırasıyla 20 ve 30 yıllık tasarım ömrü değerleri ile farklı CBR, güvenilirlik yüzdesi ve günlük ağır vasıta sayısı senaryolarına göre sokak/cadde (residential) JPCP yollar için PavementDesigner tarafından belirlenen beton plaka kalınlık sonuçları sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi hem 20 hem de 30 yıllık tasarım ömrü senaryoları için güvenilirlik yüzdesi ve günlük ağır vasıta sayısı değerleri arttıkça belirlenen beton plaka kalınlıkları artarken, CBR değeri arttıkça ise belirlenen beton plaka kalınlığı azalmaktadır. Bu da beklenen bir durumdur. Çünkü CBR değerinin artması beton yolun oturacağı zeminin taşıma kapasitesinin artmasını dolayısıyla da daha düşük taşıma kapasiteli zemine göre daha ince beton plaka kullanılmış olsa dahi beton üstyapısından gelen gerilmelerin zemin taşıma kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır. Güvenilirlik yüzdesi değerinin artması da istatistiksel olarak daha güvenli bir tasarım yapılmasını gerektirmiş ve dolayısıyla belirlenen beton plaka kalınlığı artmıştır. Trafik miktarı ise en önemli yol tasarım parametrelerinden biridir. Trafik miktarının artması ile belirlenen beton plaka kalınlığı arasında pozitif bir ilişki mevcuttur. Şekil 6’da görüldüğü gibi 30 yıllık tasarım sonucu belirlenen beton plaka kalınlık değerleri 20 yıllık tasarım sonucu belirlenen beton plaka kalınlık değerlerine göre az miktarda (ortalama 2,5 mm) fazla çıkmıştır. Bir diğer önemli nokta ise PavementDesigner tasarım sonuçlarına göre sokak/cadde (residential) için tasarlanan tüm senaryolarda JPCP yolların tasarımında kayma donatısı (dowel bars) gerekmediği, donatılı ve donatısız durumlarda aynı plaka kalınlıkları belirlenmiştir.





(a) Sokak/cadde (residential) – 20 yıl



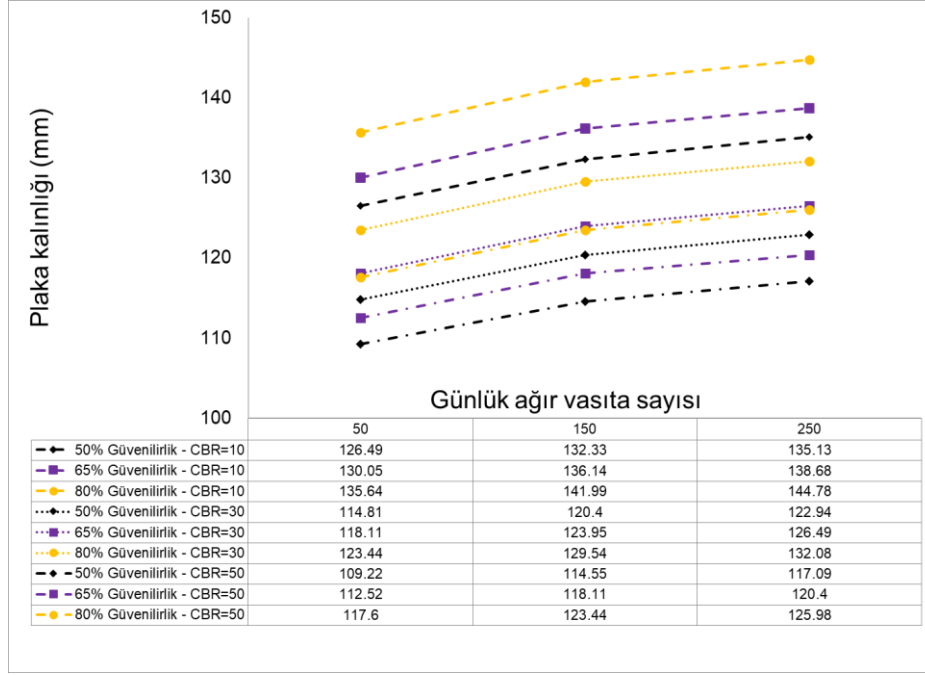
(b) Sokak/cadde (residential) – 30 yıl

Şekil 6. Sokak/cadde (residential) yollarda (a) 20 ve (b) 30 yıl tasarım ömrü senaryoları için PavementDesigner beton plaka kalınlık tasarım sonuçları karşılaştırması

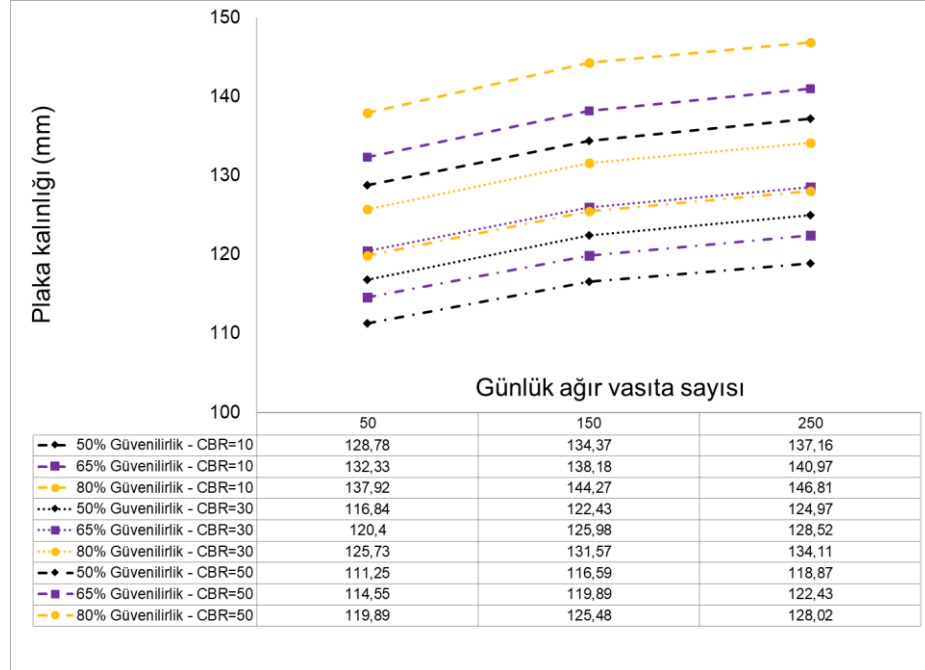
Şekil 7a’da ve Şekil 7b’de sırasıyla 20 ve 30 yıllık tasarım ömrü değerleri ile farklı CBR, güvenilirlik ve günlük ağır vasıta sayısı senaryolarına göre yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) yollar için PavementDesigner tarafından belirlenen JPCP plaka kalınlık tasarım sonuçları sunulmuştur. Yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) yollar için kalınlık tasarımlarında hem 150 hem de 200 mm PMT için kalınlık tasarımları yapılmakla birlikte Şekil 7’de sadece PMT=200 mm tasarım senaryosu için

sonuçlar sunulmaktadır. PMT=150 olması durumunda PMT=200 durumuna göre belirlenen beton plaka kalınlıklarında az miktarda (ortalama 0,5 mm) bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi sokak/cadde (residential) tasarım sonuçlarına benzer şekilde yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) yollar için de güvenilirlik ve günlük ağır vasıta sayısı değerleri arttıkça belirlenen JPCP plaka kalınlıkları artarken, CBR değeri arttıkça ise belirlenen beton plaka kalınlığı azalmaktadır. Yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) yollar için belirlenen beton plaka kalınlıklarının sokak/cadde (residential) için belirlenen beton plaka kalınlıklarından fazla olduğu gözlemlenmiştir.



(a) Yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) – 20 yıl

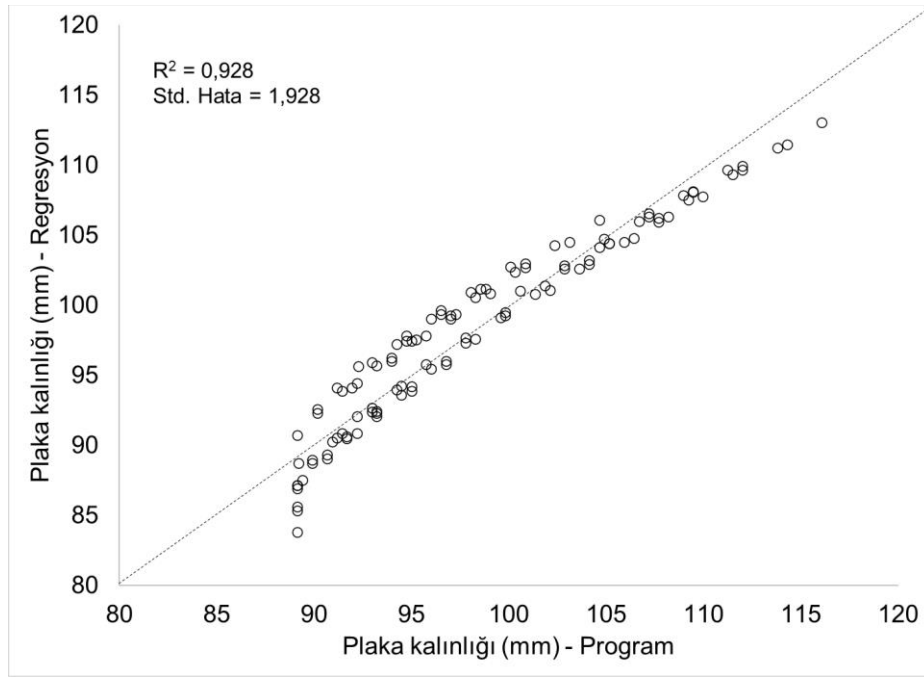


(b) Yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) – 30 yıl

Şekil 7. Yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) yollarda (a) 20 ve (b) 30 yıl tasarım ömrü senaryoları için PavementDesigner beton plaka kalınlık tasarım sonuçları karşılaştırması

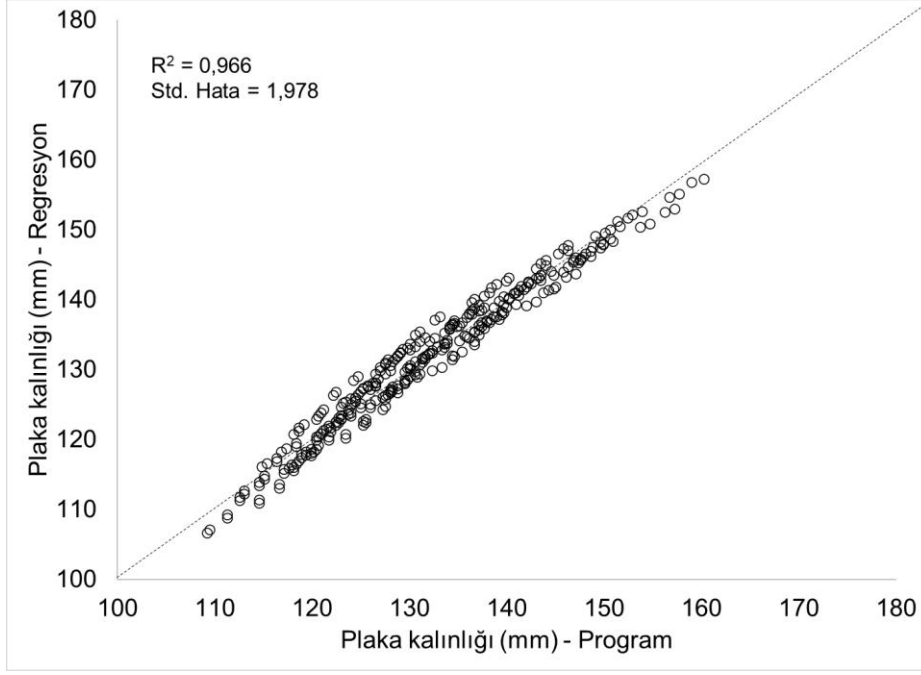
### 3.2. Çoklu Regresyon Modeli Sonuçları

Şekil 8 (a) sokak/cadde (residential) ile (b) yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için geliştirilen çoklu regresyon model sonuçları ile aynı tasarım senaryoları için PavementDesigner'ın verdiği sonuçlar arasındaki korelasyonları göstermektedir. Modelin başarısı  $R^2$  belirlilik katsayısı ve standart hata (standard error) değerleriyle sunulmuştur. Bununla birlikte hem sokak/cadde (residential) ile hem de yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için geliştirilen çoklu regresyon modelleri de Şekil 8'de sunulmuştur. Şekil 8'de gösterildiği gibi hem sokak/cadde (residential) için hem de yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için geliştirilen çoklu regresyon modelleri PavementDesigner çıktılarına benzer sonuçlar vermiş olup yüksek  $R^2$  ile düşük standart hata değerleri bunun bir kanıtıdır. Bununla birlikte yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için geliştirilen modelin başarısının ( $R^2=0,966$ ) sokak/cadde (residential) için geliştirilen modelin başarısına ( $R^2=0,928$ ) göre biraz da olsa daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



(a) Sokak/Cadde (Residential)

$$\begin{aligned} \text{Plaka kalınlığı - mm (residential)} &= 92,50 + 0,18x(\text{Tasarım ömrü}) + 1,56x(\text{Günlük ağır vasıta sayısı}) \\ &+ 0,22x(\text{Güvenilirlik}) - 0,37x(\text{Tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi}) \\ &- 0,34x(\text{CBR değeri}) \end{aligned}$$



(b) Yüksek hacimli cadde/bulvar (Collector)

$$\begin{aligned}
 \text{Plaka kalınlığı - mm (collector)} &= 127,03 + 0,22x(\text{Tasarım ömrü}) + 0,04x(\text{Günlük ağır vasıta sayısı}) \\
 &+ 0,31x(\text{Güvenilirlik}) - 1,12x(\text{Tasarım ömrünün sonunda kırılan plaka yüzdesi}) \\
 &- 0,47x(\text{CBR değeri}) - 0,009x(\text{PMT kalınlığı})
 \end{aligned}$$

Şekil 8. Çoklu regresyon model sonuçları ile program çıktılarının korelasyon sonuçları

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı ülkemizde belediyelerin sorumluluk sahasındaki düşük hacimli JPCP yolların (hem sokak ve cadde gibi yollar (residential roads) hem de bulvar gibi daha yüksek hacimli yolların (collector roads)) tasarımında kullanılmak üzere: (1) farklı tasarım senaryoları ve parametreleri için PavementDesigner web programı kullanılarak beton yol plaka kalınlıklarını belirleyerek bir “Beton Yol Dizayn Kataloğu” oluşturmak ve (2) bu katalog kullanılarak çoklu regresyon modelleri geliştirerek alternatif senaryolar için hızlı bir beton plaka kalınlığı tahmin modeli geliştirmektir. Bu kapsamda, toplamda 432 tasarım senaryosu belirlenmiş ve her bir senaryo için ilgili tasarım değerleri PavementDesigner’a girilerek beton plaka kalınlıkları elde edilmiştir. Kategorik olarak kalınlık tasarımları sokak/cadde (residential) ve yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için tasarlanan JPCP yollar olmak üzere iki farklı kategoride gerçekleştirilmiştir. Hem sokak/cadde (residential) ve hem de yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) tasarım senaryoları için güvenilirlik ve günlük ağır vasıta sayısı değerleri arttıkça belirlenen beton plaka kalınlıklarının arttığı, CBR değeri arttıkça ise belirlenen beton plaka kalınlıklarının azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte bu 432 tasarım senaryosu kullanılarak hem sokak ve cadde gibi yollar (residential roads) hem de bulvar gibi daha yüksek hacimli yolların (collector roads) kalınlık tasarımında kullanılabilecek ve PavementDesigner çıktılarına başarılı bir şekilde benzer sonuçlar veren iki çoklu regresyon modeli geliştirilmiştir.

Bununla birlikte yüksek hacimli cadde/bulvar (collector) için geliştirilen modelin başarısının sokak/cadde (residential) için geliştirilen modele göre biraz da olsa daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu modeller kullanılarak belediyelerin sorumluluk sahasındaki yollar JPCP olarak hızlı bir şekilde tasarlanıp vakit ve kaynak verimliliği sağlanılabilir.

Bu çalışmanın literatüre bir diğer katkısı ise düşük hacimli beton yolların tasarımında kullanılmak üzere geliştirilen PavementDesigner web programı kullanılarak tasarımların gerçekleştirilmesidir. Daha önceki çalışmalarda belediyeler için geliştirilen dizayn katalogları, düşük hacimli yolların yeterince temsil edilmediği AASHTO 93 yöntemi kullanılarak yapılmıştır. KGM'nin "Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi"ndeki tasarım yönteminde de benzer şekilde AASHTO 93 yöntemi temelde baz alınmıştır. Bilindiği üzere AASHTO 93 yöntemi temelde ABD'de 1956-1961 yıllarında gerçekleşen AASHO yol testleri (AASHO Road Tests) sonucu geliştirilen bir ampirik tasarım yöntemi olup bu yol testlerinde daha çok yüksek trafikli yolların tasarım kriterleri test edilmiştir. Bu bağlamda KGM'nin sorumluluk sahasındaki yollar da bu çeşit yollar olduğundan "Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi"nin AASHTO 93 yöntemini baz almasının yerinde bir düşünce olacağı öngörülmektedir. Ancak belediyelerin sorumluluk sahasındaki beton yolların tasarımında söz konusu yöntemin kullanılmasının bazı dezavantajları beraberinde getirebileceği gerçeği göz ardı edilmemelidir.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

#### **Kaynakça**

- AASHTO. AASHTO guide for design of pavement structures. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials; 1993.
- Abut Y., Çankaya T. Beton yollar – Kocaeli Büyükşehir Belediyesi örneği. Hazır Beton 2016, sayfa no:77-83. <https://www.thbb.org/media/146462/makale133.pdf> (Accessed May 8, 2022).
- Abut Y. Düşük hacimli yollarda donatısız beton üstyapılar için bir dizayn katalogu önerisi. Hazır Beton 2017, sayfa no:81-86, İstanbul. [https://www.thbb.org/media/230592/makale2\\_144.pdf](https://www.thbb.org/media/230592/makale2_144.pdf) (Accessed May 8, 2022).
- ACI. ACI 325.12R-02. Guide for design of jointed concrete pavements for streets and local road. MI: American Concrete Institute; 2002.
- Ağar E., Süttaş İ., Öztaş G. Beton yollar. İTÜ; 1998.
- Kici A., Tigdemir MA. User friendly software for rigid pavement design. International Journal of Engineering and Applied Sciences 2017; 9(4): 1-6.

- Bulusu, VJ., Kusam, SR., Muppireddy, AR. A critical review of the PCA and IRC methods of thin white topping pavement design. *Transportation Research Procedia* 2020; 48: 3764-376.
- Delatte NJ. *Concrete pavement design, construction, and performance*. 2nd ed. FL: CRC Press; 2014.
- Douglas RA. *Low-volume road engineering: design, construction, and maintenance*. 1st ed. FL: CRC Press; 2017.
- KGM. *Karayolları teknik şartnamesi*. 2013.
- KGM. *Karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberi*. 2019.
- PavementDesigner. [www.pavementdesigner.org](http://www.pavementdesigner.org). 2002 (Accessed May 8, 2022).
- PCA. *Thickness design for concrete highway and street pavements*. 1984.
- Posada, CAV. Long term performance of existing AC and PCC pavements in Ohio. [https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws\\_etd/send\\_file/send?accession=ohiou1218551107&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=ohiou1218551107&disposition=inline) (Accessed May 8, 2022).
- StreetPave. <https://www.acpa.org/stretpave/> (Accessed May 8, 2022).
- Titus-Glover L, Mallela J, Darter MI, Voigt G, Waalkes S. Enhanced Portland cement concrete fatigue model for StreetPave. *Transportation research record* 2005; 1919(1):29-37.
- Şengün E., Kıran E., Yaman İÖ. Türkiye’de beton yol ve beton bariyer fırsatları. *Hazır Beton* 2017, sayfa no:77-82, İstanbul. <https://www.thbb.org/media/198632/makale141.pdf> (Accessed May 8, 2022).
- Yetim E., Yılmaz D. Beton yollar ve silindirle sıkıştırılmış betonun Türkiye’deki yeni uygulama alanı. 2019. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/makale---beton-yollar-9-eylul-2019-20191220130448.pdf> (Accessed May 8, 2022).