



**Makale / Research Paper**

**Beton Yol Uygulamalarında Derz Türlerine Göre Düşey Deplasman Oluşumlarının İncelenmesi ve Maliyet Analizi: Trabzon-Rize Örneği**

Muhammet ÇELİK<sup>1</sup>, Mehmet Tevfik SEFEROĞLU<sup>2\*</sup>, Muhammet Vefa AKPINAR<sup>2</sup>,  
Ayşegül GÜNEŞ SEFEROĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Trabzon/Türkiye

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye

<sup>3</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Gümüşhane/Türkiye, <sup>b</sup>[mtseferoglu@gmail.com](mailto:mtseferoglu@gmail.com)

**Received/Geliş:** 06.12.2019

**Accepted/Kabul:** 21.02.2020

**Öz:** Türkiye'de beton yolların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde 10.000 km'nin üzerinde beton yol bulunmaktadır. Bu çalışmada, Trabzon ve Rize İllerinde yapılan beton yol uygulamaları incelenerek yaygın olarak kullanılan kaplama kalınlığı ve beton basınç dayanımı belirlenmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Hızlandırılmış Yol Tesisinde örnek kaplama modeli hazırlanmış ve gerçek trafik yüklemeleri altında beton kaplamaların düşey deplasman değişimleri incelenmiştir. Farklı derz türleri (hasır donatılı yarım derz, donatısız yarım derz, dolgulu tam derz ve dolgusuz tam derz) kullanılarak fayda ve maliyet analizi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, derzlerin yarım derz olması ve kaplamada donatı kullanılması, donatısız yarım derzlere göre 1.3 kat, dolgulu tam derze göre yaklaşık 4 kat, dolgusuz tam derzlere göre ise yaklaşık 9 kat daha az düşey deplasman oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca yapılan maliyet analizlerine göre kaplamalarda hasır donatının bulunması, beton kaplama maliyetine km'de 38.002,76 TL (%11,6) fiyat farkı oluşturmaktadır. Bu bilgiler ışığında, beton kaplamalarda yarım derz yapılmasının ve hasır donatının kullanılmasının kaplama derz bölgelerindeki faydasına oranla maliyetinin oldukça düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca mevcut tam derzli beton yollarda %7'lik ilave bir maliyet ile derzlerin içinin bitüm esaslı dolgu malzemesi ve kauçuk levhalarla kaplanmasının, düşey deplasman değerlerini en az yarı yarıya azaltılabileceği ve bu sayede kaplama ömrünün uzatılabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Beton plaklar; düşey deplasmanlar; hızlandırılmış yol testi; maliyet analizi.

**An Investigation on Vertical Displacement Formations with Respect to The Types of Joints in Concrete Road Applications and Cost Analysis: An Example From Trabzon-Rize**

**Abstract:** The use of concrete road in Turkey is rising with each passing day. Especially in the Eastern Black Sea Region, there are over 10,000 km of concrete roads. In this study, widely used pavement thickness and concrete compressive strength are determined by examining the concrete road applications in Trabzon and Rize Provinces. A sample pavement model is prepared in Accelerated Pavement Facility at Karadeniz Technical University and the vertical displacement changes of concrete pavement were examined under the real traffic assignments. Benefit and cost analysis are performed by using different types of joints (mesh reinforced half-joint, half-joint without reinforcement, filled full-joint and open full-joint). According to the acquired data, the use of half-joint and reinforced pavement provides 1.3 times less vertical displacement than the half-joint without reinforcement, approximately 4 times less vertical displacement than the filled full-joint, and approximately 9 times less vertical displacement than the open full-joint. Additionally, according to the cost analysis, the presence of reinforcement mesh in the pavement brings a price difference of 38,002.76 Turkish Lira (11.6%) per km to the cost of the concrete pavement. In the light of these, it is concluded that the cost of using

*Bu makaleye atf yapmak için*

Çelik, M., Seferoğlu, M.T., Akpınar, M.V., Seferoğlu, A.G., "Beton Yol Uygulamalarında Derz Türlerine Göre Düşey Deplasman Oluşumlarının İncelenmesi ve Maliyet Analizi: Trabzon-Rize Örneği" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(2); 474-486.

*How to cite this article*

Çelik, M., Seferoğlu, M.T., Akpınar, M.V., Seferoğlu, A.G., "An Investigation on Vertical Displacement Formations with Respect to The Types of Joints in Concrete Road Applications and Cost Analysis: An Example From Trabzon-Rize" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(2); 474-486.

half-joints and mesh reinforcement in concrete pavements is quite low compared to its benefit in pavements joints. Furthermore, it is detected that covering the joints with bitumen based filler and rubber sheets with an additional cost of 7% for the existing full-joint concrete roads can reduce the vertical displacement values at least by half, and thus pavement life can be extended.

**Keywords:** Concrete pavement; vertical displacement; accelerated pavement test; cost analysis

## 1. Giriş

Türkiye genelinde en uzun beton yol ağı Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Bu yollar, yapıldıkları dönemin asgari ihtiyaçlarını giderecek şekilde yapılmıştır. Bununla beraber genel bir teknik şartname bulunmadığından ötürü belediyeler, orman müdürlükleri ve özel idareler tarafından birbirinden farklı şekillerde (derz, kalınlık, çimento dozajı, donatı vb.) beton yol uygulamaları yapılmıştır. Bugün bölgede 10 bin km'nin üzerinde beton yol ağı bulunmaktadır [1]. Rize ili yüzölçümüne oranla Trabzon ili ise nüfus sayısına oranla Türkiye'nin en uzun beton yol ağına sahip yerleşim yerleridir. Bölgedeki beton yolların bir kısmı 35 yılı aşkın süredir hizmet vermektedir. Genellikle şehir içi ve köy yollarında yapılmış olan bu yollar zamanla çeşitli deformasyonlara maruz kalmaktadır. Farklı derz türlerinde, iklimsel (sıcaklık/nem) ve trafik yükleri nedeniyle oluşan düşey deplasmanların plaklarda önemli hasarlara neden olduğu bilinmektedir [2]. Oluşan hasarlar nedeniyle derze yakın bölgelerde çatlaklar hatta kopmalar oluşarak yolun sürüş konforu azalmakta ve sürüş güvenliğini etkileyecek tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Özellikle kaplamaların serilmesinden 5 ila 15 yıl sonrasında derz bölgelerinin kenarlarında oluşan mikro çatlaklar çevresel koşullar nedeniyle genişlemekte ve kaplamanın bozulmasına yol açmaktadır [3]. Trafik tekerrür sayısı ve bölgesel koşullara göre uygun derz türünün seçilmemesi durumunda derz bölgesindeki düşey deplasmanlara bağlı olarak kaplamalardaki hasar oluşumu hızlanmaktadır [4]. Beton kaplamalarda düşey deplasman ölçüm yönteminin derz bölgelerinde oluşan hasarların incelenmesinde yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir [5]. Kaplamalar içerisine yerleştirilen donatılar, temel tabakasına yaklaştıkça düşey deplasman oluşumunu azaltmaktadır [6]. Ayrıca beton yolların yüksek elastisite modülüne sahip olması durumunda plak köşelerinde meydana gelen gerilemeler artmakta buna karşılık derzlerde düşey deplasmanlar azalmaktadır [7].

HYT tesisleri kısa sürelerde onlarca yılda oluşabilecek gerilme ve deplasmanların takip edildiği ve trafik tekrar sayısına göre yorumlarının yapılabildiği tesislerdir [8, 9]. HYT tesislerinde birçok kaplama tipi gibi beton yollarda test edilmektedir. Melhem ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada beton yollarda oluşan düşey deplasman değerlerinin araştırıldığı benzer bir çalışmada elde edilen en yüksek düşey deplasman değeri 0,11 mm çıkmıştır [10]. Roesler ve arkadaşları 2012 yılında HYT tesisinde kısa beton plakların performansları hakkında yaptıkları çalışmada birçok farklı beton plak tipini incelemiş elde ettikleri sonuçların 0,08-0,19 mm aralığında çıktığını görmüşlerdir [11].

Bu çalışmanın ilk aşamasında, Trabzon ve Rize ilindeki beton yol örnekleri incelenmiştir. Yapılan gözlem ve araştırmalar sonucunda yaygın olarak kullanılan beton yol kaplama kalınlığı, basınç dayanımı, derz türü ve donatı tipleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, Karadeniz Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan Hızlandırılmış Yol Testi (HYT) tesisinde beton kaplamalar üretilerek gerçek yük koşulları altında test edilmiştir. Test sırasında beton kaplamaların derz bölgelerinde oluşan düşey deplasman değişimleri takip edilerek farklı derz türleri kıyaslanmıştır. Düşey deplasman ilişkileri ve yapım maliyetinden yola çıkılarak, uzun ömürlü ve güvenli yol tasarımı için uygun derz türü belirlenmiştir.

Bu çalışmada bahsi geçen ve irdelenen beton yolların neredeyse tamamı Beton Yollar Teknik Şartnamesi (BYTŞ) yayınlanmadan önce yapılmış beton yollardır. BYTŞ öncesi yollarda yapılacak iyileştirme çalışmalarında düşey yönde oluşan deplasmanlar oldukça önem arz etmekte olup, çalışmanın tamamlanması, bu konuda bir eksikliğin giderilmesine yardımcı olacaktır. Bunun

yanısıra BYTŞ yayımlandıktan sonra şartnamenin içinde derz bölgesinde oluşan düşey deplasmanlar hakkında bilgi verilmemektedir. Bu çalışma ile ileride bu hususta teknik şartnamelere eklenecek bilgilere rehber oluşturulması da hedeflenmiştir [12].

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma, üç kısım olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda Rize ve Trabzon ilinde en az 20 yıldır hizmet veren beton yollar incelenmiş, basınç dayanımı, derz türü, kalınlık ve donatı tipi gibi bilgiler elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise HYT tesisi içerisine inşa edilen beton kaplamalar gerçek trafik yüklerinin uygulandığı tekerlekler vasıtasıyla yorulmaya maruz bırakılmıştır. Yorulma işlemleri sırasında beton kaplama derz bölgelerinde düşey deplasmanlar ölçülmüş ve gözlemsel çatlak takibi yapılmıştır. Son kısımda ise incelemesi yapılan derz türlerinin maliyet analizleri yapılmıştır.

### 2.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma kapsamında ilk önce arazide Rize ve Trabzon illerinde bulunan mahalle veya köy yerleşim alanlarındaki beton yollar hakkında bilgiler toplanmış ve hasar türleri incelenmiştir (Şekil 1 ve 2). Beton yollar hakkında dayanım açısından bilgi sahibi olmak için karot numuneler alınmıştır. Beton numuneler basınç testine tabi tutulup, beton sınıfı belirlenmiş ve kırılma şekilleri incelenmiştir. Arazi çalışmalarında ölçülen beton kaplama kalınlıkları 13 cm ile 21 cm arasında çıkmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen beton sınıflarının C16/20 seviyelerinde olduğu ve son yıllarda yapılan yol imalatlarında C20/25 dayanıma sahip beton yolların kullanıldığı görülmüştür. Alınan karot numuneler incelenerek, beton yollara ait basınç dayanımı, derz türü, kalınlık ve donatı tipi gibi bilgiler Tablo 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Trabzon İli Ortahisar İlçesi Çilekli-Dolaylı-Bulak grup yolundan alınan numuneler



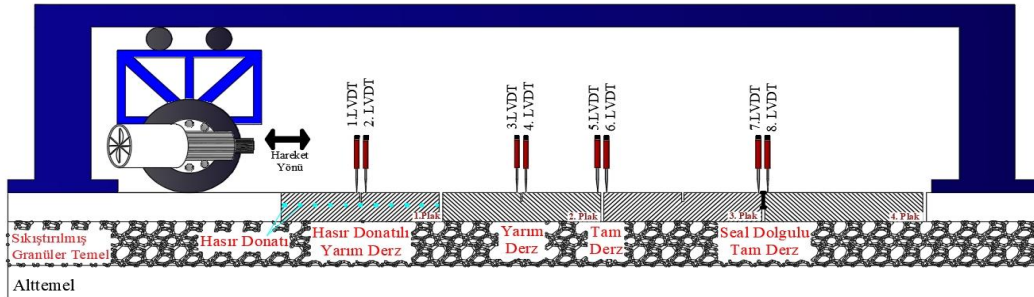
Şekil 2. Rize İli İyidere İlçesi Denizgören köyünden alınan numuneler

Tablo 1. Beton yol karotlarından elde edilen veriler.

Beton Yol/ (Numune Sayısı)	Derz Türü	Ortalama Kalınlık	Donatı Tipi	Ort. Basınç Dayanımı (MPa)
Dolaylı / 6	Tam	15	Donatı Yok	C16/20
Bulak / 3	Yarım	13	Donatı Yok	C16/20
Çilekli /6	Yarım	17	Hasır Donatı	C16/20
Çağlayan /6	Tam	18	Donatı Yok	C20/25
Denizgören /6	Yarım	20	Donatı Yok	C20/25
Büyükçiftlik /6	Yarım	19	Donatı Yok	C20/25

## 2.2. HYT Deneyleri

HYT tesisleri, yol üstyapısı hakkında uzun vadede elde edilebilecek verilerin (gerilme, şekil değiştirme, deplasman) kısa sürede alınmasını sağlayan sistemlerdir. Türkiye’de ilk ve tek olarak KTÜ bünyesinde kurulan HYT tesisinde, Rize ve Trabzon İllerinde en az 20 yıldır hizmet veren beton yollara benzer özelliklere sahip kaplamalar inşa edilmiştir. Beton kaplamalar 180 mm kalınlığında C20/25 basınç dayanımına sahip olacak şekilde yapılmıştır. Beton plaklar 400 mm×250 mm boyutlarındadır. Beton plakların altına 300 mm kalınlığında üniform %98 sıkışma oranına sahip ve %80 Yaş-CBR değerine sahip temel tabakası serilmiştir. 1. ve 2. plaklar yarım derzli (hasır donatılı ve donatısız) olarak, 2-3. plaklar arasında dolgusuz tam derz ve 3-4. plaklar arasında dolgulu tam derz modelleri hazırlanmıştır (Şekil 3).



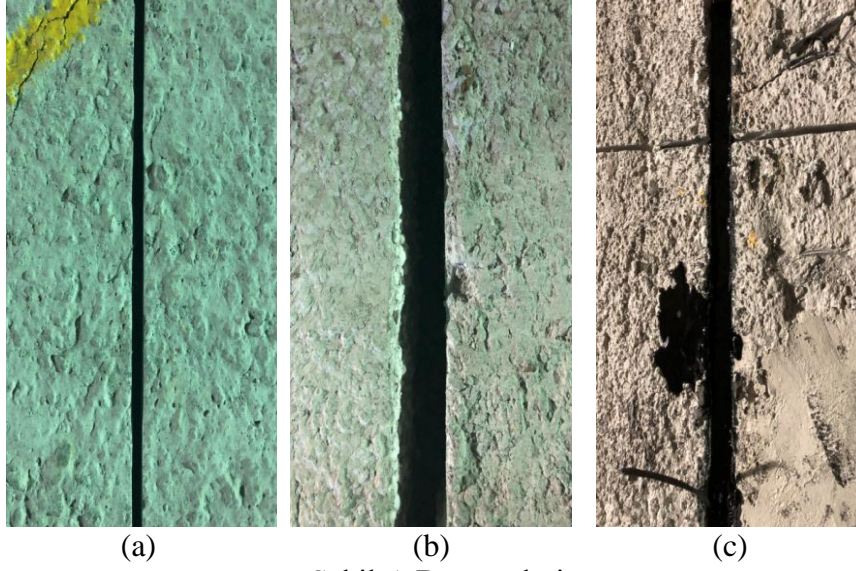
Şekil 3. HYT tesisindeki beton kaplamaların boykesiti

Hasır donatılı beton plağın içine tek sıra halinde 150×150 mm. açıklığında ve Ø6 mm. çapa sahip donatılar serilmiştir. Hasır donatı temel tabakasından 60 mm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Böylelikle hem temelde 60 mm pas payı ile uzaklaşmış hem de yarım derzlerin kesilmesi sırasında hasar görmesi engellenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Hasır donatı ve derz kesimi

Ayrıca beton plakların ortasından 60 mm derinliğinde (kaplama kalınlığının 1/3'i kadar) ve 5 mm genişliğinde yarım derzler kesilmiştir (Şekil 5a). Böylelikle 2 m'de bir yarım derz veya 20 mm genişliğinde tam derz (Şekil 5b) olacak şekilde tasarım tamamlanmıştır. Tam derz boşluğunu oluşturan 3. ve 4. beton plakların derz içine bakan yüzeyleri önce 3 mm kalınlığında kauçuk ile kaplanılmıştır. Daha sonra bitüm esaslı dolgu malzemesi ile derzler doldurulmuştur (Şekil 5c).



Şekil 5. Derz türleri

Tesis içerisinde inşa edilen beton kaplamalar 25.000 geçiş yapılarak yorulmuştur. Tesisin yükleme ile ilgili genel özellikleri aşağıda Tablo 2'de verilmiştir. Yükleme 3 km/saat sabit hız ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle tek bir geçiş sırasında yolun daha uzun süreyle yüke maruz kalması sağlanmıştır. Yükleme her bir tekerlekte 32 kN olmak üzere toplam 64 kN yükte tek bir doğrultuda yapılmıştır. Yükleme sırasında uygulanan yük, basınç hücreleriyle sürekli kontrol altına alınmıştır (Şekil 6).

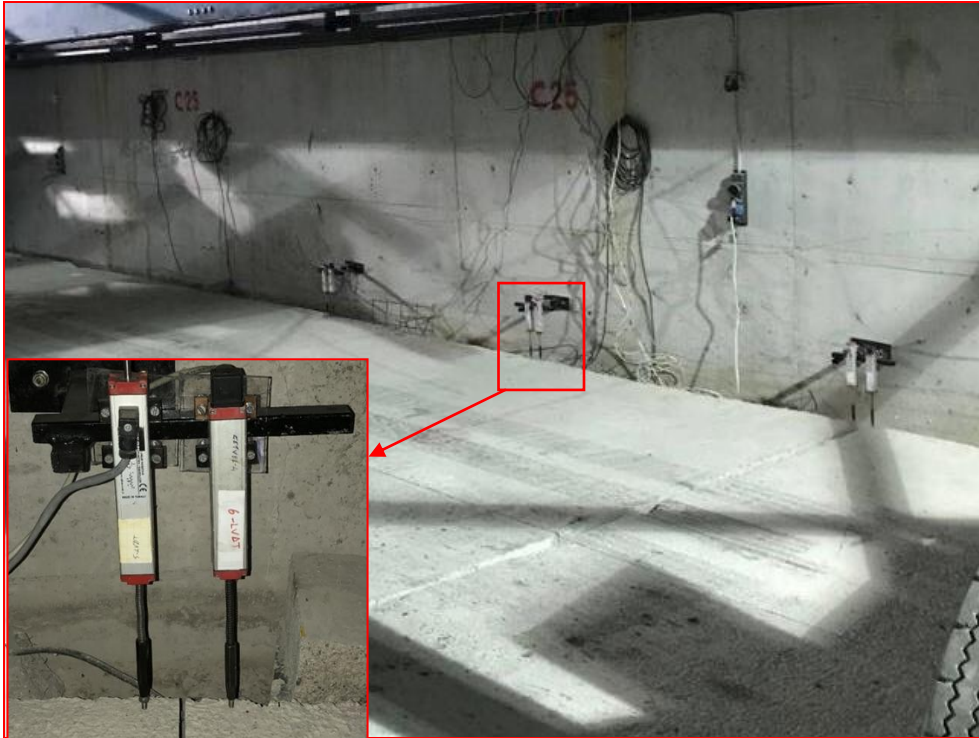
Tablo 2. HYT tesisinin genel özellikleri.

Tesisin Adı	Max. Yük (kN)	Tekerlek Özellikleri	Yük Tekrar Sayısı Max.	Yükleme Şekli	Yükleme Yönü	Hız (Km/h)
KTÜ-HYT	127	295/80R 22,5	400 Yük/Saat	Doğrusal	İki Yönlü	2-15



Şekil 6. Basınç hücresi ile yük kontrolü

AASHTO dingil eşdeğerlik formüllerine göre HYT tesisinde yapılan bir yükleme yaklaşık 5,93 ESAL etki etmektedir [13]. Ayrıca hızlandırılmış yol tesislerinde yükleme ile ilgili verilen literatür bilgilerine göre; HYT tesislerinde yollar çok sık yorulmaya tabi tutulduğundan her bir yüklemenin arazi şartlarında 1,5-3 kat yüklemeye karşılık geldiği belirtilmektedir [14, 15, 16]. Bu çalışma kapsamında sistemin hızının yavaş olması, ağır tonaj olarak seçilmesi ve günde 1.000 yükleme yapılmasından dolayı yük tekrar sayısının gerçek arazi koşullarına göre de değerlendirildiğinde 1 yüklemenin karşılığı yaklaşık 12 ESAL olarak belirlenmiştir. 25.000 HYT yüklemesi gerçek arazi koşullarına göre 300.000 ESAL'e (eşdeğer tek dingil yükü) denk gelmiştir. HYT tesisi içerisinde beton yollar yorulmaya tabi tutulurken çatlak oluşumu ve LVDT (linear variable differential transducer) ile düşey deplasman değerleri takip edilmiştir. LVDT'ler gibi beton plağın derze yakın yerlerine yerleştirilmiş ve düşey deplasmanları milimetrenin 100'de biri hassasiyetle ölçmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Düşey deplasmanların LVDT'ler vasıtasıyla ölçülmesi

### 2.3. Maliyet Analizleri

Farklı derz türleri için yapılan maliyet analizleri, deneylerin gerçekleştirildiği 2018 yılındaki birim fiyatlara göre yapılmıştır. Maliyet hesaplarında kullanılan pozlar KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü), MSB (Milli Savunma Bakanlığı) ve ÇŞB'na (Çevre Şehircilik Bakanlığı) aittir. Ayrıca gerek görülen yerlerde özel pozlar oluşturulmuştur. Maliyet hesaplarının tamamı 7 m yol platform genişliğine sahip 1 km yol için yapılmıştır. Fiyatlarda yüklenici kârı ve diğer giderler eklenmiş, KDV eklenmemiştir. Aksi belirtilmedikçe nakliye bedelleri ilgili poz içerisinde bulunmaktadır. Maliyet analizleri AASHTO'nun 3 milyon ESAL'e denk gelen üstyapı tasarımına göre yapılmıştır [17]. Beton yol kalınlığı 180 mm, temel tabakası 200 mm olarak alınmıştır. Nakliyeler 15 km'ye göre hesaplanmıştır. Donatılı betonda, fazladan hasır donatı ve nakliyesi eklenmiştir. Hasır donatı olarak Ø6 150×150 açıklıklara sahip birim ağırlığı 1,48 kg/m<sup>2</sup> olan donatı seçilmiştir. Nakliye mesafesi Kardemir Karabük Demir Çelik fabrikasına göre hesaplanmıştır. Derz dolguları sadece 5 m'de bir bırakılan enine derzlerde yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Arazi Çalışmaları

Rize ve Trabzon illerinde bulunan beton yollar hakkında bilgiler toplanmıştır. İncelemeler sırasında yolların geometrik özellikleri, rastlanan hasar tipleri ve alınan karotlar ile basınç dayanımları belirlenmiştir. En sık rastlananlar hasarlar; boyuna ve enine çatlaklar, köşe çatlakları, parçalanmış döşeme çatlakları, yüzeydeki sökülme ve çukurlardır. İncelenen yolların geneli en az 20 yıldır hizmet veren ve halen daha trafiğe açık yollardır (Şekil 8).



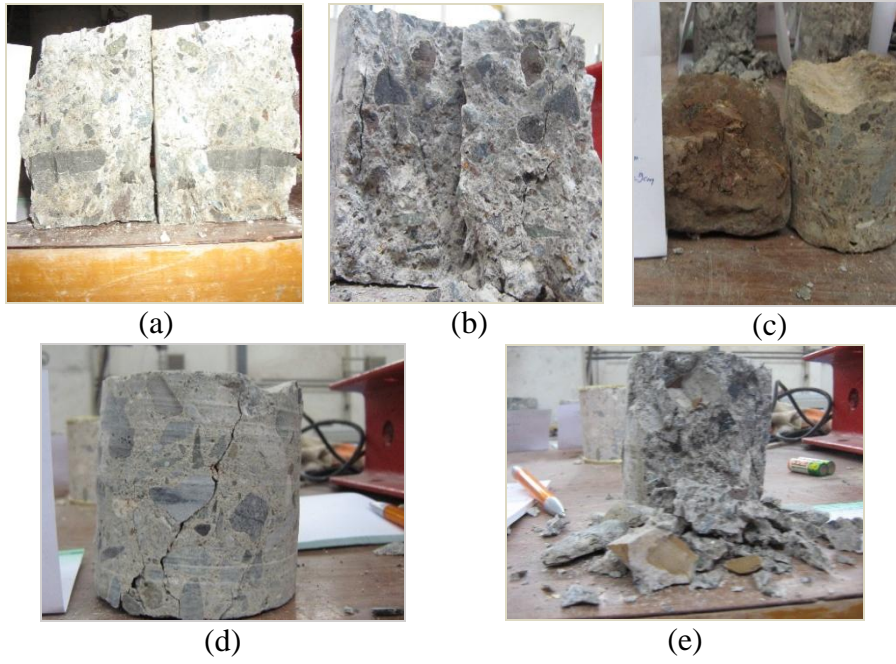
Şekil 8. Trabzon Ortahisar Kavala, Çilekli ve Dolaylı Mahalleleri'nde sökülme ve çatlaklar

Yollarda yapılan incelemelerde beton kalınlıklarının 130 mm'ye kadar düştüğü, ancak ortalama 180 mm civarında olduğu, yarım derz ve tam derz yaklaşık aynı oradan inşa edildiği, donatının az kullanıldığı ve genellikle donatı olarak tek sıra hasır demir seçildiği tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Trabzon İlinde farklı beton yollar

Trabzon ve Rize illerinde trafiğe açık yollardan alınan karot numuneler incelendiğinde ortalama kaplama kalınlığının 170-180 mm olduğu ve basınç dayanımlarının C16/20 ve C20/25 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle HYT tesisinde yapılan beton yol C20/25 basınç dayanımına sahip seçilmiştir. Basınç testi ile kırılan numunelerde çeşitli bozukluklar bulunmaktadır (Şekil 10). Buna göre; yassı agrega (Şekil 10a), ince agrega (Şekil 10b), beton içine nüfuz etmiş killi malzeme (Şekil 10c), agrega etrafında kırılma (Şekil 10d), kil taşı (Şekil 10e), gibi mukavemet değeri olmayan malzemelerin kullanıldıkları tespit edilmiştir.



Şekil 10. Alınan numuneler laboratuarda kırılması ve kırılan numunelerin incelenmesi

### 3.2. HYT Tesisi Bulguları

#### 3.2.1 Derz ilerleme Çatlaklarının Tespiti

Arazi gözlemleri sırasında yarım derzlerin bulunduğu bölgelerde derz sonrası oluşan çatlaklar bulunmaktadır (Şekil 11). Bu çalışmada bu tür çatlaklara derz ilerleme çatlağı denilmiştir.



Şekil 11. Yarım derzlerde görülen derz ilerleme çatlağı

HYT tesisinde hazırlanmış plaklarda derz ilerleme çatlaklarının oluşumu her bin geçişte bir takip edilmiş ve sonuçları Şekil 12'de ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Derz ilerleme çatlaklarının oluştuğu yüklemeye sayıları.

Derz türü	Yük tekrar sayısı	ESAL karşılığı
Donatılı Yarım Derz	10.000-11.000	120.000-132.000
Donatısız Yarım Derz	4.000-5.000	48.000-60.000

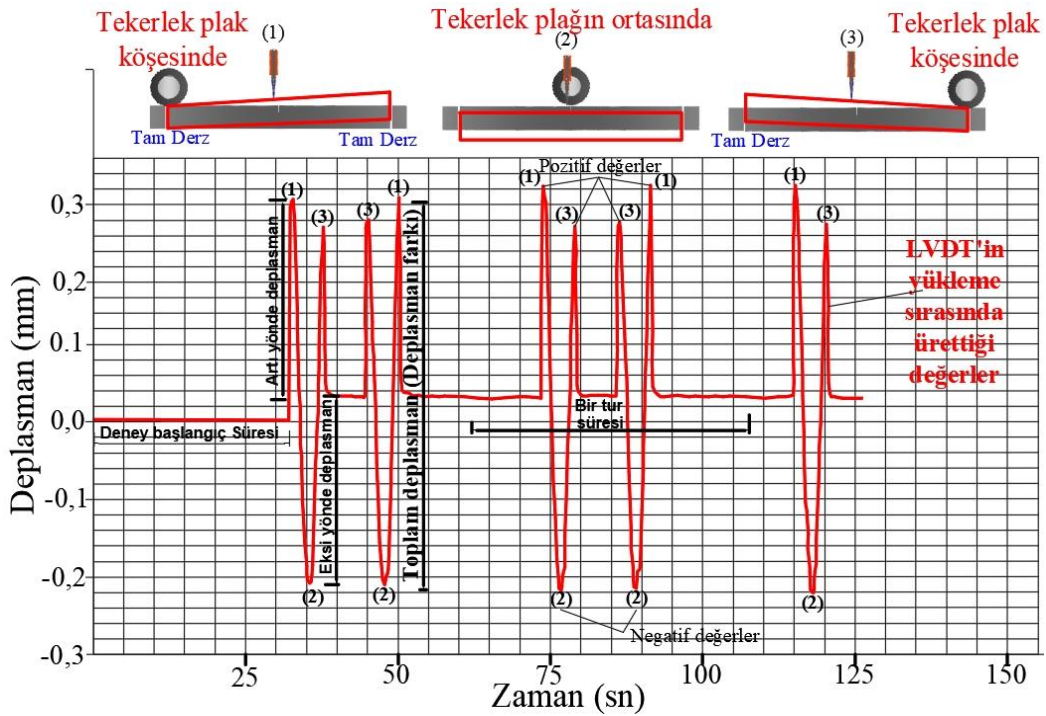




Şekil 12. HYT tesisinde görülen derz ilerleme çatlakları

### 3.2.2 Derzlerde Oluşan Düşey Deplasmanlar

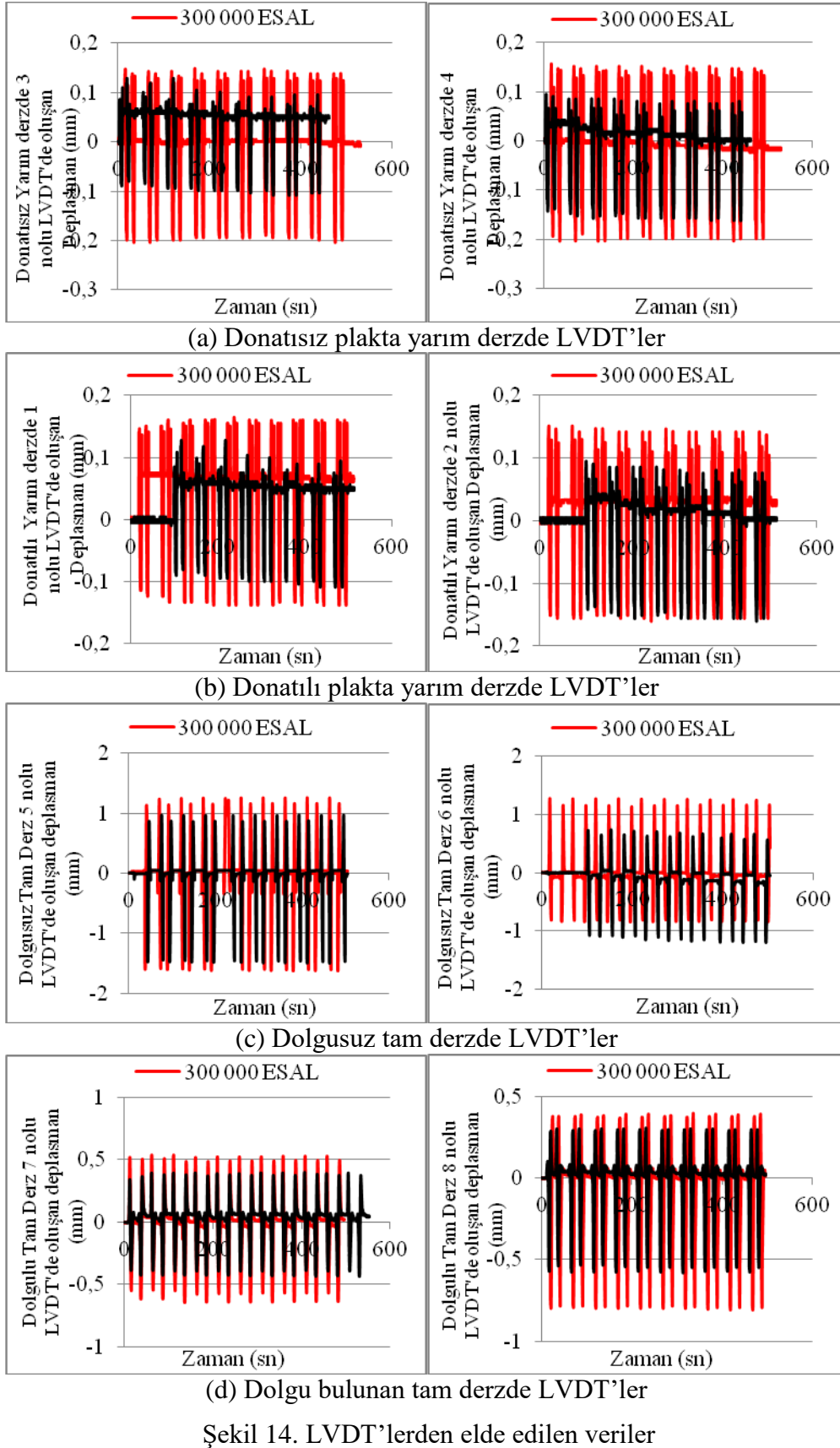
Derzlerde oluşan deplasmanlar ile ilgili veriler incelendiğinde tekerleğin bulunduğu pozisyona göre plakların hareket ettiği görülmüştür. Verilerin tamamında plak hareketleri yaklaşık olarak benzer şekildedir. Aşağıda örnek bir grafik incelemesi verilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Örnek LVDT değerlerinin oluşturduğu grafik

Şekil 13'te görüldüğü gibi tekerlek tam derzlerin üzerinde olduğunda plağın diğer köşesi tahterevalli gibi kalkmakta ve bu köşede bulunan LVDT'ler artı değer okumaktadır. Tekerleğin bulunduğu derzdeki LVDT ise eksi değer okumaktadır. Tekerlek yarım derze geldiğinde plak tüm şekilde eksi deplasman yapmakta dolayısıyla plak üzerindeki bütün LVDT'ler eksi değer okumaktadır.

LVDT'lerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde siyah çizgiler ilk yüklemeleri kırmızı çizgiler ise 300.000 ESAL sonraki yüklemeleri göstermektedir. Grafiklerde donatısız yarım derz (Şekil 14a), donatılı yarım derz (Şekil 14b), dolgusuz tam derz (Şekil 14c) ve dolgulu tam derzde (Şekil 14d) bulunan ikişer LVDT verileri de verilmiştir. Her bir grafik 20 yükleme için hazırlanmıştır.



Şekil 14. LVDT'lerden elde edilen veriler

Grafiklerden elde edilen veriler aşağıda tablo haline getirilmiştir (Tablo 4). Tablo, LVDT verilerinde en sık tekrar eden değerler kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışmada birçok veri mm'nin onda biri mertebesinde değişmektedir. Bu nedenle en sık tekrar eden veriler doğru veri olarak kabul edilmiştir. Tabloda aynı derzde bulunan iki LVDT'nin de hem artı hem eksi yönde değerleri

verilmiştir. Artı ve eksi değerlerin ortalamaları alınarak derzde oluşan ortalama deplasmanlar bulunmuş olup en son olarak artı ve eksi yönde oluşan ortalama deplasmanların mutlak değerlerinin toplamı toplam düşey deplasman farkı olarak verilmiştir.

Tablo 4. Grafiklerden elde edilen verilerin özeti.

	İlk Yüklemeler (0-300 ESAL)				Son Yükleme (300 000 ESAL)			
	LVDT Değerleri (mm)		Ortalama	Fark	LVDT Değerleri (mm)		Ortalama	Fark
Yarım Derz	0,1183	0,085	0,10165	0,2318	0,1467	0,1515	0,1491	0,35025
Donatısız Yarım Derz	-0,1041	-0,1562	-0,13015		-0,1988	-0,2035	-0,20115	
Donatılı Yarım Derz	0,0805	0,0757	0,0781	0,20115	0,1562	0,1325	0,14435	0,28625
Donatılı Tam Derz	-0,0994	-0,1467	-0,12305		-0,1323	-0,1515	-0,1419	
Dolgusuz Tam Derz	0,961	0,7009	0,83095	2,14935	1,2181	1,2486	1,23335	2,4732
Dolgunlu Tam Derz	-1,481	-1,1558	-1,3184		-1,607	-0,8727	-1,23985	
Dolgunlu Dolgulu	0,3891	0,2949	0,342	0,84085	0,5219	0,3947	0,4583	1,1758
	-0,427	-0,5707	-0,49885		-0,6358	-0,7992	-0,7175	

### 3.3. Maliyet Analizleri

Tablo 5'te donatısız derzli beton yolun maliyeti verilmiştir, Yarım derz ile tam derz aynı maliyete sahip kabul edilmiştir (yarım derzlerde beton tam priz almadan önce kesme işlemi yapılırken tam derzlerde derz bölgelerinde kalıplar kullanılmakta işçilik artmaktadır).

Tablo 5. 1 km donatısız beton yol 2018 birim fiyatlarına göre yaklaşık maliyeti.

Kurum	Poz No	Poz Açıklaması	Birim	B. Fiyat	Miktarı	Tutarı
MSB	MSB 322	Saha, tretuvar, yol, otopark, hangar ve atölye içi beton kaplama yapılması	m <sup>3</sup>	218,31	1.260	275.070,60 ₺
KGM	KGM/6000	Ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ile alttemel yapılması	m <sup>3</sup>	33,6	1.400	47.040,00 ₺
ÇŞB	NYF/03	Konkasörden yola alttemel nakli (15 km)	m <sup>3</sup>	2,98	1.540	4.589,20 ₺
AASHTO'ya göre 3 milyon ESAL yük tekrarına sahip beton yol (KDV hariç)					<b>TOPLAM:</b>	<b>326.699,80 ₺</b>

Bu iki maliyet, beton yolun kendi maliyeti yanında az miktarda olduğundan yarım derz ve tam derz için ayrı ayrı maliyet hesaplanmamıştır. Tablo 6'da donatılı beton yolun maliyeti verilmiş, Tablo 7'de ise özel pozlar ile ince kauçuk (EPDM) malzemesi ve yapıştırıcısı ile seal dolgu malzemelerinin pozları ile beton yolun maliyeti verilmiştir.

Tablo 6. 1 km hasır donatılı beton yol 2018 birim fiyatlarına göre yaklaşık maliyeti.

Kurum	Poz No	Poz Açıklaması	Birim	B. Fiyat	Miktarı	Tutarı
MSB	MSB 322	Saha, tretuvar, yol, otopark, hangar ve atölye içi beton kaplama yapılması	m <sup>3</sup>	218,31	1.260	275.070,60 ₺
KGM	KGM/6000	Ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ile alttemel yapılması	m <sup>3</sup>	33,6	1.400	47.040,00 ₺
ÇŞB	Y,23,010	Nervürlü çelik hasırın yerine konulması (Ø6 150 mm açıklıkta) bindirme ve zaiyat dahil edilmiştir.	Ton	3.616,56	10,36	37.467,56 ₺
ÇŞB	NYF/03	Konkasörden yola alttemel nakli (15 km)	m <sup>3</sup>	2,98	1.540	4.589,20 ₺
ÇŞB	NYF/07	Demir Nakliyesi	Ton	51,66	10,36	535,20 ₺
AASHTO'ya göre 3 milyon ESAL yük tekrarına sahip Doğu Karadeniz tipi donatılı beton yol (KDV hariç)					<b>TOPLAM:</b>	<b>364.702,56 ₺</b>

Tablo 7. 1 km dolgulu tam derzli beton yol 2018 birim fiyatlarına göre yaklaşık maliyeti.

Kurum	Poz No	Poz Açıklaması	Birim	B. Fiyat	Miktarı	Tutarı
MSB	MSB 322	Saha, tretuvar, yol, otopark, hangar ve atölye içi beton kaplama yapılması	m <sup>3</sup>	218,31	1.260	275.070,60 ₺
KGM	KGM/6000	Ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ile alttemel yapılması	m <sup>3</sup>	33,6	1.400	47.040,00 ₺
ÇŞB	NYF/03	Konkasörden yola alttemel nakli (15 km) EPDM ince kauçuk ile kalıp yapılması	m <sup>3</sup>	2,98	1.540	4.589,20 ₺
Özel Poz	Dolgu ve EPDM	yapıştırılması ve içine bitüm esaslı dolgu malzemesinin dökülmesi	m	16,65	1.400	23.310,00 ₺
AASHTO'ya göre 3 milyon ESAL yük tekrarına sahip beton yol derz dolgulu (KDV hariç)			<b>TOPLAM:</b>			<b>350.009,80 ₺</b>

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yarım derzli beton plaklarda bir sıra hasır donatı bulunması, derz ilerleme çatlaklarının oluşumunu yaklaşık 2 kat geciktirmektedir. Çatlak oluşum sürecinde, kaplamanın düşey deplasman hareketliliğinin geciktirilmesi derz hasarlarını da geciktirecektir.

Donatılı plaklardaki yarım derzlerde, donatısız plaklara göre başlangıç yüklemelerinde yukarı yönde %29, aşağı yönde ise %5,7 ve toplam deplasman değerinde ise %15 daha az deplasman olduğu görülmektedir. Yükleme başlangıcında eksi yönde deplasman farkının %5,7 (0,007 m) mertebelerinde yani birbirine yakın olması plakta derz ilerleme çatlaklarının oluşmamasından kaynaklanmaktadır. Yüklemeler bittiğinde yarım derzlerde donatılı derz, donatısız derzden %22 daha az deplasman yapmaktadır.

Yüklemelerin bitişinden sonraki deplasman farkları incelendiğinde, donatısız yarım derzde %51, donatılı yarım derzde %42, dolgusuz tam derzde %15 ve dolgulu tam derzde ise %39'luk artış olmuştur. Dolgusuz tam derzde olması başlangıç ve bitiş yüklemelerinde önemli bir artış oluşmamıştır. Deplasman mertebesini engelleyen bir güçlendirmenin bulunmaması, en yüksek deplasmanın dolgusuz tam derzde oluşmasına neden olmuştur.

Derzlerin yarım derz olması ve kaplamada donatı bulunması, donatısız yarım derzlere göre %22, dolgulu tam derze göre yaklaşık 4 kat, dolgusuz tam derzlere göre ise yaklaşık 9 kat daha az deformasyon oluşmasını sağlamaktadır.

Tam derzli beton yollarda düşey deplasman oluşumunun azaltılması için derz dolgusu yapılmalıdır. Zira dolgulu tam derzlerde dolgusuz derzlere göre en az 2 kat daha az düşey deplasman oluşmaktadır.

Maliyetler incelendiğinde, yarım derzli veya tam derzli beton plak yapımı yaklaşık aynı maliyette olduğu bu nedenle ağır iklim koşullarının veya çok yüksek trafik tekrar sayılarının olmadığı yollarda yarım derz yapmanın maliyet açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca hasır donatının bulunması, beton kaplama maliyetine km'de 38.002,76 TL (%11,6) fiyat farkı oluşturmaktadır. Oluşan fiyat farkına oranla hasır donatının katkısı oldukça yüksektir. Tam derzlerde kauçuk dolgu yapılması deplasman oluşumunu 2 kat azalttığı buna karşılık maliyete sadece km'de 23.310,00 TL (%7,1) fiyat farkı oluşturduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışmaların hayata geçirilmesinde gerekli maddi destek 217M481 numaralı TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından sağlanmıştır. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1]. İçişleri Bakanlığı, Özel İdareler, İllerin Köy Yolu Envanteri, <https://www.icisleri.gov.tr/illeridaresi/istatistiki-bilgiler1>, 31 Aralık 2012.
- [2]. Amerika Ulaştırma Bakanlığı Federal Karayolu İdaresi, Beton Yollar İçin Bütünleşik Malzeme ve Yapım Uygulamaları, Washington D,C, 2007.
- [3]. Taylor, Peter C., "Preventing Joint Deterioration in Concrete Pavements A Summary of Current Knowledge"; *MAP Brief 6-1*, National Concrete Pavement Technology Center, Ames, Iowa, 2011.
- [4]. Açar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, G., Beton Yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1998.
- [5]. Iija Březina, Jiří Grošek, Michal Janků, "Measurement of Deflections and Determination of Jointed Plain Concrete Pavements Stiffness by Falling Weight Deflectometer", *Procedia Engineering*, Volume 190, 2017, Pages 162-169.
- [6]. Darestani, M, Y, David P, Thambiratnam and A, Nataatmadja, "Experimental Study on Structural Response Of Rigid Pavements Under Moving Truck Load" 22nd ARRB Conference – Research into Practice, Canberra Australia, 2006.
- [7]. Parjoko Y, H, "Sensitivity Analysis Of Concrete Performance Using Finite Element Approach" *Civil Engineering Forum* Volume XXI/1 - January 2012.
- [8]. Jones D., Harvey J., Mateos A., Al-Qadi I., *Advances in Pavement Design through Full-scale Accelerated Pavement Testing*, 4th International Conference on Accelerated Pavement Testing, Davis, Ca, ABD, 2012
- [9]. McNermey, M., T., Hugo, F., McCullough, B., F., *The Development of an Accelerated Pavement Test Facility for Florida Department of Transportation*, CTR Research Report 997-3F, Center for Transportation Research, University of Texas, 1994.
- [10]. Melhem H., G., Swart, R., Walker S., *Accelerated Testing for Studying Pavement Design and Performance*, Kansas Department of Transportation, Report No. FHWA-KS-02-7, 2003.
- [11]. Roesler, J., R., Cervantes, V., G., Amirkhanian, A., N., *Accelerated performance testing of concrete pavement with short slabs*, *International Journal of Pavement Engineering*, 13 (6), 494–507, 2012.
- [12]. Beton Yollar Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2016
- [13]. Çelik, M., İşlevsel hasarlı beton yollarda asfalt takviye tabakası kullanımının mekanistik ampirik yöntemlerle araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2019.
- [14]. Perez, S., A., Balay, J., M., Tamagny, P. ve Pelit, Ch., *Accelerated Pavement Testing and Modelling of Reflective Cracking in Pavements*, *Engineering Failure Analysis*, 14 (8), 1526-1537, 2007.
- [15]. Metcalf, J., B., *The Application of Full Scale Accelerated Pavement Testing*, NCHRP Synthesis 235, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, 1996.
- [16]. Romanoschi, S., A., Metcalf, J., B., Li, Y., ve Rasoulia, M., *Assessment of Pavement Life at the First Full-scale Accelerated Pavement Test in Louisiana*, Paper presented at the 1998 TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, 1998.
- [17]. American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, Washington, 1993.