



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çelik Lif Katkılı Beton Yol Kaplamalarının Özellikleri

Hasan BOZKURT*, Cenk KARAKURT

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE
* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hasan.bozkurt@bilecik.edu.tr

ÖZET

Beton yol teknolojilerinde lif katkılarının kullanılması birçok araştırmanın konusu olmuştur. Çelik liflerle donatılmış betonun zayıf olan özelliklerini güçlendirerek, tokluk, darbe, kavitasyon ve ilk çatlak dayanımlarında önemli artışlar sağlamaktadır. Çelik lif katkılı beton kaplamalar normal kaplamalara göre ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve teknik avantajlarından dolayı, günümüzde, yol ve köprü kaplamalarında da uygulama alanı bulmuştur. Bu çalışmada, çelik tel donatılı betonların (ÇTDB) özellikleri, uygulama alanları ve dizayn kriterleri anlatılmakta hazırlanan referans beton yol kaplamasının özelliklerinden bahsedilmektedir. Bu çalışmamızda TS 802 beton karışım hesaplarına ve TS 10515 çelik tel katkılı beton kaplama tasarımına göre Beton serilerinin üretiminde, en büyük tane çapı 22 mm olan 3 farklı agrega grubu kullanılmıştır. Çimento dozajı 390 kg/m³, su/çimento oranı 0.45 ve 0.53 olarak 2 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımlarda iki farklı karışım dizaynına ve su/çimento oranına göre (kontrol) numunesi, 15, 30 kg/m³ olarak 3 farklı lif içeriğinde olmak üzere toplam 6 farklı seri beton kaplama dizayn numunesi üretilmiştir. Hazırlanan bu karışımlara taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak karşılaştırmaları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik lif, Beton yol, Kaplama tasarımı

Road Pavement Characteristics On Steel Fiber Mixed Concrete

ABSTRACT

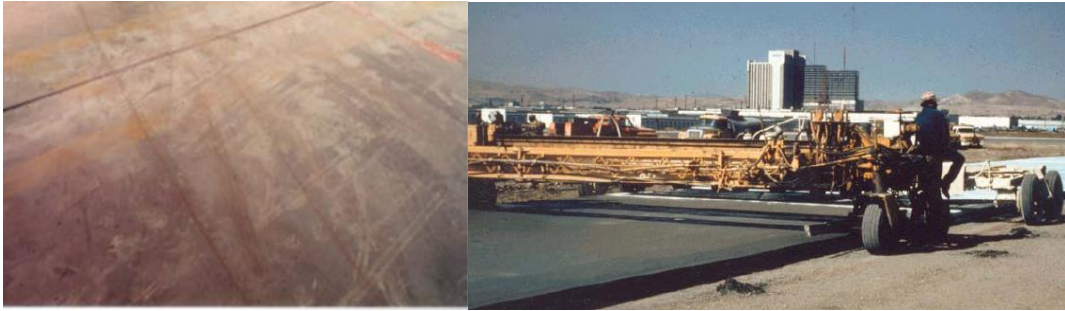
Many research has been the subject about in use of fiber additives rigid pavement technology. It was strengthened the weak properties of concrete with steel fibers, toughness, impact, cavitation and provides a significant increase in the strength of the first cracks. Steel fiber reinforced concrete pavement economically formed than the normal coating, due to easy processability and technical advantages, nowadays, it is found in applications in road and bridge coating. In this study, steel fiber concrete pavement properties is mentioned about concrete pavement applications and design criteria of pavement design. Production of steel fiber reinforced concrete pavement design were done according to TS 802 and TS 10515, which has used three different aggregate group, maximum grain size of 22 mm. In mixture design cement content of 390 kg / m³, water / cement ratio of 0.45 and 0.53 were prepared two different mixtures. The mixture of two different mix design and water / cement ratio (control) sample, 15, 30 kg / m³ as three different series concrete design including a total of 6 samples were produced with different fiber contents and water/cement ratio. Steel fiber concrete pavement samples are performed fresh and hardened concrete tests and its compared with each other results.

Keywords: Steel fiber, Concrete pavement, Pavement design

I. GİRİŞ

TRAFİK yükleri altında beton yollar esnek üstyapı elemanlarına göre yük dağılımını eşit bir şekilde taban zeminine aktardığı bilinmektedir. Çelik lif katkılı beton kaplamalarda trafik yükleri altında geleneksel beton kaplamalı yollara göre daha farklı özellikler göstermektedir. Trafik yükleri altında beton içinde ortaya çıkan gerilmeler, malzeme içindeki mikro çatlakların oluşması nedeniyle düzensiz bir şekilde gerçekleşmektedir. Beton karışımına katılan çelik tel donatıları agregaların arasını dolduran harç fazı matrisinin içinde gerilmelerin aktarılmasına yardımcı olana küçük köprüler gibi çalışma göstermektedirler. Çatlak sonrası betonun kazanmış olduğu bu davranış, elastik zemine oturan beton yol döşemelerinde çatlak oluşumunu azaltmaktadır[2].

Betonların statik hesaplamalarında çelik teller, sadece eğilme momentini karşılayan donatı olarak görülmemelidir. Tellerin en önemli özelliği, betona sağladığı süneklik, diğer bir deyişle, enerji yutma kapasitesindeki büyük artıştır. Araç trafiğine açık yol betonlarında ve köprü kaplamalarında, betonun darbe tesirlerine, tekrarlı yüklere ve çevre koşullarına karşı yeterli dayanıma sahip olması istenir. Çelik tel donatılı betonun darbe mukavemeti, normal betona oranla 15-20 kat artmaktadır. Betonun deformasyon yapma özelliği arttığından, ani kırılmalar meydana gelmemektedir. Sıcaklık farklarının yüksek olduğu yerlerde, betonun yüzeyi ve tabanı arasındaki sıcaklık farklarından dolayı, kısa sürede çatlaması ve tozuması önlenmektedir [1].



Şekil 1 (a):Çelik Lif Beton kaplama, (b)Beton yol kaplama inşaatı [1]

Çelik tel donatılı beton kaplamalar özellikle ağır trafiğin büyük sorunlara yol açtığı otoyollarda, geleneksel asfalt yollara gerçek bir alternatif kabul edilmektedir. Ülkemizde Çelik lif katkılı betonlar ile tamir edilen köprü derzlerinden mükemmel sonuçlar alınmıştır. Örnek çalışmalar Resim 1'de görülmektedir. Bakım masraflarını, araçlarda oluşan hasarları ve trafik güvenliğini göz önüne alındığında, Çelik lif katkılı betonların daha ekonomik olduğu görülmektedir[2].

Lif katkılı betonlar; endüstriyel yapılar, yaya kaldırımları, köprüler, tünel ve kanal kaplamaları, hidrolik yapılar, borular, patlamaya karşı dirençli yapılarda, güvenlik odaları, ince kaplamalarda ve beton silindir gibi çok değişik yapıları kapsayan uygulamalarda kullanılmaktadır[3,4]. Lif katkılı beton yollarda bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik beton içerisinde liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da korunmasıdır. Beton borularda ve kaplama elemanları içerisinde sağlanan bu homojen karışım içinde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve beton içerisinde çatlakların ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir [5,6]. Bu çalışma kapsamında iki farklı s/ç oranına sahip karışımlarda

farklı çelik lif oranlarının betona ilave edilmesiyle elde edilen lifli betonların basınç ve eğilme altındaki mekanik özellikleri araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. AGREGA ÖZELLİKLERİ

Çalışmada beton kaplama tasarımında kullanılacak agregalar Dağ iş Madencilikten temin edilen 3 grup altında toplanmış 0-4mm, 4- 11,2mm ve 11,2- 22,4 mm gruplarına sahip kırma taş agregalar kullanılmıştır. Lif katkılı betonun üretimi, karışımı ve yerleştirme zorluklarını azaltmak ve liflerin karışım içerisinde topaklaşmaması için karışımın en büyük agrega tane boyutu 22 mm olarak seçilmiştir. Agregaların elek analizi ve karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Agregaların fiziksel özellikleri

| Numune cinsi | 31,5 (%) <i>geçen</i> | 16 (%) <i>geçen</i> | 8 (%) <i>geçen</i> | 4 (%) <i>geçen</i> | 2 (%) <i>geçen</i> | 1 (%) <i>geçen</i> | Karışı m oranı (%) | Özgül Ağırlık (gr/cm ³) | Su emme oranı (%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|---|----------------------|
| 0-4 mm | 100 | 100 | 100 | 99,5 | 75 | 25 | 30 | 2,69 | 0,8 |
| 4-12mm | 100 | 100 | 75 | 25 | 13 | 3 | 35 | 2,70 | 0,4 |
| 12-22mm | 100 | 53,6 | 2 | 0,5 | 0 | 0 | 35 | 2,71 | 0,3 |

B. ÇİMENTO ÖZELLİKLERİ

Beton karışımlarında Sançim Bilecik çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5R çimentosu kullanılmıştır. TS EN 196-1’e ve TS EN 197-2’ye göre çimentonun fiziki ve mekanik özellikleri yapılmış ve sonuçların belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. CEM I 42.5R portland kompoze çimentosu fiziksel mekanik özellikleri

| Dayanım sınıfı | 2 gün (Mpa) | 7gün (Mpa) | 28gün (Mpa) | Priz başlama (s) | Priz sonu (s) | Özgül yüzey alanı (cm ² /gr) | Özgül Ağırlık (gr/cm ³) |
|-------------------|----------------|---------------|----------------|------------------------|---------------------|--|---|
| 42,5 | 29,8 | 39,5 | 52 | 2,3 | 4,8 | 3172 | 3,07 |

C. ÇELİK LİF KATKISI ÖZELLİKLERİ

Beton bileşimine giren lif tipi pilye şeklinde iki ucu bükülü lif tipinden kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma kapsamında narinlik oranı 60 olan çelik lif kullanılmıştır. Bu liflerin en belirgin özelliği çekme sırasında kopmadan direnç göstermeleridir [5]. Lif katkısının genel özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Çelik lif katkısının özellikleri

| Lif Tipi | Boy (mm) | Çap (mm) | Narinlik Oranı | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (MPa) | Özgül ağırlık | Kg daki lif sayısı (Adet) |
|---------------|-------------|-------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|
| KZP 30/0.5 | 30 | 0,5 | 60 | 1250 | 200000 | 7,48 | 21500 |

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

A. BETON ÜRETİMİ VE DENEYLERİ

Deney çalışması kapsamında hazırlanan beton tasarımının 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımlarının 35 MPa’dan az olmaması hedeflenmiştir. Bütün beton bileşimlerinde çimento dozajı 390 kg/m³, işlenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla çimento miktarının ağırlıkça % 1’i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak etkin su/çimento oranı 0.45 ve 0,53 olarak belirlenmiştir. Çalışmada TS 802 ve TS 10514’e göre beton karışımları tasarlanmıştır. ÇTB ve beton yol üretim kriterlerine uygun olarak tasarlanan karışım oranları Tablo 4’de gösterilmiştir. TS 10514’e göre ÇTB’larda 0-4 mm grubundaki agregaların en az %55’i 0,25 mm’den küçük olmalıdır. Karışıma katılacak lif miktarları 0 (kontrol), 15, 30 kg/m³ olarak seçilmiştir ve sırasıyla 0,45 s/ç oranlı LB0a, LB15a, LB30a ve 0,53 s/ç LB0b, LB15b, LB30b Su/çimento oranı 0,45 olan karışımlara (a); Su/çimento oranı 0,53 olan karışımlara ifade edilmesi amacıyla (b) simgeleri ile karışımlar adlandırılmıştır.

Bileşenler 50 dm³ hacmindeki betonyerde karıştırıldıktan sonra lif miktarının ve su/çimento oranının taze beton üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla çökme ve Ve-Be deneyleri yapılmıştır. Özellikle lifli betonların işlenebilmesinin belirlenmesinde Ve-Be deneyi kullanılmaktadır [10]. Taze beton kalıplara yerleştirilerek ve sarsma tablası ile üzerinde harici vibrasyona tabi tutulmuşlardır. 24 saat sonra kalıplardan alınan numuneler, sıcaklığı 20 ± 2°C olan su içerisinde 28. güne kadar kür edilmişlerdir. Lifli betonların basınç ve eğilme altında mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 12390-1’de anma boyutları verilen 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler ile 100 x 100 x 500 mm kiriş numuneler kullanılmıştır.

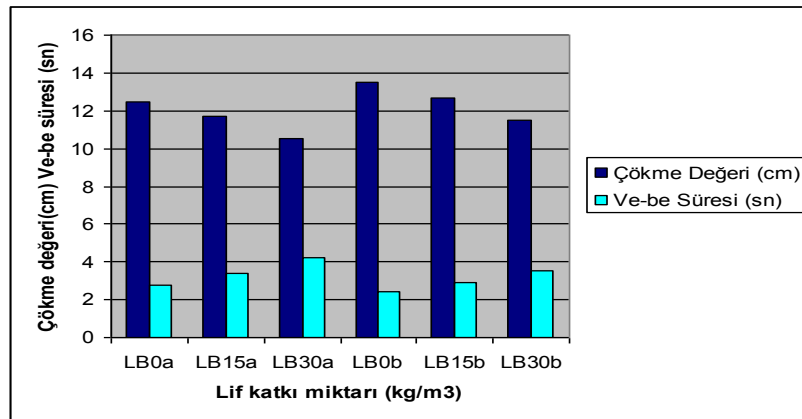
Tablo 4. 1m³ için tasarlanan beton karışım oranları

| Beton Türü | Çimento (kg) | Su (kg) | Katkı (kg) | Lif Miktarı (kg) | 0-4 mm Agregası (kg) | 4-12 mm Agregası (kg) | 12-22mm Agregası (kg) |
|------------|--------------|---------|------------|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| LB0a | 390 | 175 | 4 | 0 | 380 | 690 | 740 |
| LB15a | 390 | 175 | 4 | 15 | 378 | 685 | 730 |
| LB30a | 390 | 175 | 4 | 30 | 376 | 683 | 725 |
| LB0b | 390 | 206 | 4 | 0 | 379 | 688 | 735 |
| LB15b | 390 | 206 | 4 | 15 | 377 | 684 | 728 |
| LB30b | 390 | 206 | 4 | 30 | 376 | 682 | 723 |

B. DENEY SONUÇLARI

DeneySEL çalışmamızda farklı su/çimento oranlarına sahip lif oranlarının değişiminin basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında, üretilen taze betonlar üzerinde lif içeriğinin taze betona etkisinin belirlenmesi amacıyla çökme, Ve-Be süresi ölçümü gibi bir takım testler yapılmış olup, bu test sonuçları Şekil 2 de grafik ortamında verilmiştir.

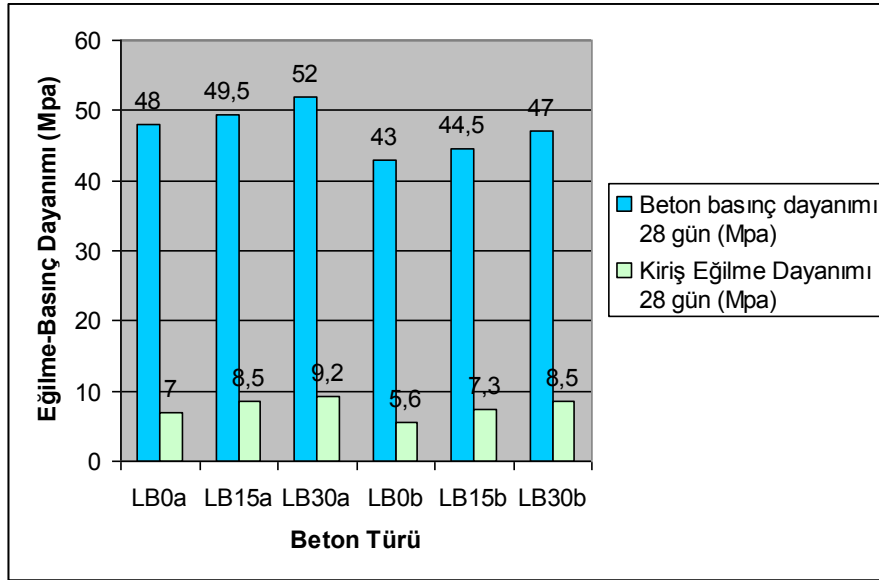
Grafik üzerinden de görüldüğü gibi betona katılan lifler, betonun çökmesini azaltmakta Ve-Be süresini az da olsa arttırmaktadır. Liflerin betona ilave edilmesiyle betonun karıştırılması ve yerleştirilmesi güçleşmektedir. Diğer bir deyişle betonun işlenebilirliği güçleşmektedir. Su/çimento oranı 0,45 olan serilerde yapılan çökme deneylerinde daha düşük işlenebilirlik değerleri ortaya çıkmıştır. Bu karışım oranlarında lif katkısı miktarı artmasıyla 12,5 cm olan çökme değerleri 10cm'ye düştüğü görülürken Su/çimento oranı 0,53 olan serilerde bu değer 13,5 cm'den 11,5 cm'ye kadar azaldığı görülmüştür. Yine lifli betonların işlenebilirliğinin bir ölçüsü olan Ve-Be sürelerine bakıldığında, Su/çimento oranı 0,45 olan serilerde lif miktarının artmasıyla Ve-Be süresinin 2.8 sn'den 4.2 sn'ye arttığı görülürken, bu değer Su/çimento oranı 0,53 olan serilerde 2.4 sn'den 3.5 sn'ye ulaştığı görülmüştür. Artan lif miktarıyla işlenebilirliğin önemli ölçüde azaldığı görülen lif katkılı taze betonlar üzerinde, akışkanlaştırıcı katkı kullanımı dolayısıyla Su/çimento oranının taze beton özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamakla birlikte lif miktarının artmasıyla işlenebilirliğin daha fazla azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Lif katkısı ve su/çimento oranının taze beton özellikleri üzerindeki etkisi

Betonun içerisine ilave edilen liflerin betonun eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde Şekil 3'te, lif miktarının artmasıyla eğilme dayanımının da belirgin bir biçimde arttığı görülmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan numuneler kiriş eğilme testlerinde TS 10515'e uygun olarak önce en yüksek gerilmeye iken (çatlama) "en büyük eğilme gerilmesi" tespit edilmiştir. Ayrıca hazırlanan 15x15 cm'lik küp beton numuneler üzerinde %100 dayanım kazandığı kabul edilen 28 günlük basınç dayanımlarını tespit etmek amacıyla Şekil 4'te görülen beton basınç deneyi uygulanmıştır. Deney sonucu elde edilen beton basınç dayanımı değerleri ve kiriş eğilme değerleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

Deney programına göre hazırlanan numunelere yapılan deneyler sonucunda şu veriler elde edilmiştir. Betonun içerisine ilave edilen liflerin betonun basınç ve eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde lif miktarının artmasıyla basınç ve eğilme dayanımının da belirgin bir biçimde arttığı grafikten görülmektedir. LB0a Lifsiz betonun eğilme dayanımı 7 MPa civarında iken, LB15a serilerinin eğilme dayanımı 8,5MPa değerine ulaşmış ve LB30a serilerinde bu değer yaklaşık olarak 9.3 MPa değerine ulaşmıştır (Şekil 3). Lif katkısı olmayan referans beton LB0b serilerinde eğilme dayanımının 5.6 MPa değerine ulaştığı görülürken LB30B serilerinde ise 8,5 MPa değerine ulaşmıştır (Şekil 3). Betona ilave edilen lif miktarıyla doğrudan ilişkili olan eğilme dayanımının, su/çimento oranı ile doğrudan ilişkili olduğu deney sonuçlarının karşılaştırılmasıyla belirtilebilir. Basınç dayanımları içinde eğilme deneyine benzer sonuçlar çıkmıştır. 28 günlük küp numuneler için yapılan LB0a Lifsiz betonun basınç dayanımı 48 MPa civarında iken, LB15a serilerinin basınç dayanımı 49,5MPa değerine ulaşmış ve LB30a serilerinde bu değer yaklaşık olarak 52 MPa değerine ulaşmıştır (Şekil 3). Lif katkısı olmayan referans beton LB0b serilerinde basınç dayanımı 43 MPa değerine ulaştığı görülürken LB30B serilerinde ise 47 MPa değerine ulaşmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Beton numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı sonuçları



Şekil 4: Beton basınç ve kiriş eğilme dayanımı test düzeneği

IV. SONUÇ

Su/çimento oranının ve lif katkı miktarının basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özelliklerine etkisi üzerine gerçekleştirilmiş olan bu deneysel çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Beton içerisine lif ilave edilmesiyle lif miktarının artmasıyla birlikte betonun çökmesi azalmış ve V_e - B_e süresi artmıştır. Dolayısıyla betonun işlenebilirliği azalmıştır. İşlenebilirliğin azalması Su/çimento oranının 0,45 olduğu beton karışımlarında daha fazladır.
- Betonda kullanılan çelik lifler, lifsiz eğilme ve basınç dayanımı özelliklerini önemli derecede arttırmıştır. Bu artış 1 m³ betona 30 kg lif ilave edilmesiyle elde edilen serilerde lifsiz betonun eğilme dayanımında %130 basınç dayanımında %108 oranında artış sağladığı görülmüştür.
- Betona ilave edilen lifler eğilme dayanımını önemli derecede arttırmışlardır. Bu artış her iki Su/çimento oranında da görülmüştür. Eğilme dayanımındaki artış miktarının Su/çimento oranının azalmasıyla birlikte arttığı görülmüştür.
- Eğilme halinde ani kırılma görülen lifsiz betona katılan lifler sayesinde betonda ilk çatlak oluşumu gözlenmiştir.
- Betonun ilk çatlak genişliğinde, beton içerisindeki lif miktarının artışıyla birlikte azalma görülmüştür. Yapılan çalışmadan da görüldüğü gibi normal beton içerisine ilave edilen çelik lifler sayesinde lif miktarına bağlı olarak betonun basınç ve eğilme altındaki dayanım artışına bağlı şekil değiştirme yeteneği ve tokluğu; eğilme dayanımı ve eğilme altındaki davranışı lifsiz betonun özelliklerinden daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Çelik lif katkıları ile betona kazandırılan bu özellikler sayesinde rijit üstyapı tasarımında kullanılacak malzemenin özellikleri iyileştirilmiştir. Bu sayede yol kaplamasının daha uzun ömürlü olması hedeflenmektedir.

Çelik lif katkılı beton yol kaplamasında trafik yükleri karşısında yüksek enerji yuttuğu, bu durumun beton yol kaplamaları için istenen bir özellik olduğu, buna karşılık beton yollarda çelik tellerin açık hava koşulları ve ağır yükler nedeni ile zamana bağlı korozyona ve aşınma kaybına uğramasıyla özelliğini yitirebileceği daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir. Buna bağlı olarak betonun kalıcılığını belirleyen önemli özelliklerden biri de geçirimsizliğidir. Açık hava şartları ve ağır yüklere maruz beton yollarda çatlama sonrasında yağmur ve kar suları betona daha kolay sızacak ve betonun servis ömrünün kısılmasına neden olacaktır. Bu nedenle çelik tellerin beton içinde korozyona uğramasını engelleyici yeni tekniklerin kullanılması ve beton kaplamaların kalıcılık problemlerine karşı çalışmalar yapılması hedeflenmektedir

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2015.BŞEÜ.03.07)

V. KAYNAKLAR

- [1] C. Johnston, P.Carter *Transportation research Record* (1226) (1989) 7.
- [2] N. Krstulovic-Opara, A.R.Haghyeghi et.al. *Materials Journal* **92(6)** 669.
- [3] P. Song, S.Hwang *Construction and Building Materials* (18) (2004) 669.
- [4] P. Sorooshian, Z. Bayasi *ACI Materials Journal* **88(2)** (1991) 53.
- [5] İ.B. Topçu, A.R. Boğa *Beton Prefabrikasyon Derg.* (73) (2004) 13.
- [6] İ. Topçu, A.R. Boğa *Osmangazi Müh.-Mim.Fak.Dergisi* **18(2)** (2005) 14.