

Beton Yol Kaplamalarının Yüzey Sıcaklıklarının Düşürülmesi için Çözümler

Erhan Burak PANCAR¹, [▲]

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Samsun/TÜRKİYE

Başvuru: 28/07/2016

Kabul: 06/10/2016

ÖZ

Beton plak yüzey sıcaklık farkındaki artış, beton yollarda yüksek oranda çatlakları tetiklemektedir. Bu çalışmanın öncelikli amacı, ince agrega yerine cam, çimento yerine de zeolit kullanarak plak yüzey sıcaklığını düşürmektir. Bu amaçla 10 değişik beton karışım hazırlanmıştır. Numunelerin mekanik özellikleri ve alkali-silika reaksiyonları (ASR) incelenerek en uygun karışım oranları belirlenmiştir. 3 farklı karışımındaki beton plakların yazın gün içindeki yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Betonda, cam ve zeolitinin birlikte kullanımının kaplama üst yüzey sıcaklığını düşürdüğü tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Beton yol, cam, zeolit, ısı çatlak

Solutions for Reducing the Surface Temperatures of Concrete Pavements

ABSTRACT

The increased concrete slab surface temperature difference induces a high possibility of cracking in concrete roads. The prime aim of this study was to reduce the slab surface temperature by using glass as a fine aggregate and zeolite as a cement in concrete. 10 different concrete mixtures were prepared for this purpose. Optimum mixture proportions were determined by examining mechanical properties and alkali-silica reactions (ASR) of samples. The surface temperatures of 3 concrete slabs with different mixtures were measured during the day in summer. It was noticed that using glass and zeolite together in concrete reduces pavement surface temperature.

Keywords: Concrete road, glass, zeolite, thermal cracking

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yorulma analizleri dikkate alınarak yapılan beton yol tasarımında, beton plağın alt ve üst yüzey sıcaklık farklarının önemli bir etkisi vardır. Söz konusu sıcaklık farkı gün içinde ne kadar fazla olursa, betonda ısı çatlaklarının oluşma riski de o kadar artmaktadır. Özellikle yaz döneminde yüksek sıcaklık altında beton plakta gözlenecek olan bu ek gerilmelerden kaynaklı ısı çatlakları azaltmak için betonun üst yüzey sıcaklığını düşük tutacak bir

uygulama yapmak gerekmektedir. Bu amaçla farklı çalışmalarda betonun üst yüzeyine açık renkli kaplama uygulaması yapılmıştır [1-4]. Richardson ve Armaghani [5] ve Shoukry ve Fahmy [6], çalışmalarında 225 mm kalınlığındaki beton plakta üst ve alt yüzey sıcaklık farkını 10°C olarak ele almışlardır. Almanya’da beton yol tasarımlarında yazın ve gündüz vaktinde oluşacak olan yüzey

[▲]İletişim yazarı, e-mail: erhanpancar@hotmail.com

sıcaklıkları dikkate alınmaktadır; çünkü beton plakta en fazla gerilmeler bu zamanda olmaktadır [7].

Isı iletkenliği beton kaplamadaki sıcaklık gradyanlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır [8]. Betonun ısı iletkenliğinin azaltılması ayrıca beton yolda oluşacak olan sıcaklık gradyanlarını düşürmekte ve bu sayede ısıl çatlakları azaltmaktadır. Betonun ısı iletkenliğini etkileyen faktörler arasında kullanılan agreganın tipi, ince ve iri agrega oranları, çimento ve su oranı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı oranları sayılabilir [9-12]. Beton yüzeyine uygulanacak açık renkli kaplamalar zamanla trafik altında işlevini kaybedecektir. Betonun ısı iletkenliğinin azaltılarak ısıl çatlaklara çözüm aranması daha uzun ömürlü bir uygulama olacaktır.

Camın su emme kapasitesi neredeyse sıfırdır ve betonda agrega olarak kullanıldığında betonun su emmesini ve kuruma rötre değerini azaltır. Bu da beton için istenilen bir özelliktir. Beton içindeki çimentodaki alkalinin agregadaki serbest silika ile reaksiyona girmesiyle alkali-silika reaksiyonu (ASR) meydana gelmekte ve sonunda alkali-silika jelleri oluşmaktadır [13]. Bu durum da yapının hizmet süresini azaltmaktadır. Cam yüksek oranda SiO₂ içermektedir ve Lam et al. [14] yaptıkları çalışmada, beton içerisindeki cam oranının toplam agrega oranının 25% inden daha az olması durumunda ASR gelişmelerinin gerçekleşmediğini görmüşlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada, parçacık boyutunun 1-2 mm den daha büyük olması durumunda cam parçalarının reaktivitesinin arttığı tespit edilmiştir [15]. Atık camın beton içerisinde ince agrega yerine kullanılması, betonun ısı iletkenliğini azaltmaktadır [16].

Yapısındaki boşluklardan iyonların ve moleküllerin rahatça geçebilmesi ile moleküler elek olarak da adlandırılan zeolitlerin doğal yapılarında alüminyum, silikon ve oksijen içeren sulu alümino silikat bulunmaktadır. Doğal ve yapay çeşitleri vardır. Zeolit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanına göre çok daha az araştırmada incelenmiş bir malzemedir. Zeolitin beton içerisinde çimento yerine kullanılmasının en büyük etkisi, alkali-silika reaksiyonları sonucu oluşan gelişmeleri azaltması, asit ve sülfata karşı gösterdiği dirençtir. Beton harcındaki doğal zeolitin performansı diğer pozolan malzemelerin performanslarıyla karşılaştırılmış ve yüksek oranda doğal zeolitin çimento yerine kullanılmasıyla alkali-silika reaksiyonlarının daha fazla düştüğü tespit edilmiştir [17,18]. Zeolitin portland çimentosu yerine kullanılmasının, betonun ısı iletkenliğini azalttığı gözlemlenmiştir [19].

Bu çalışmada, ısıl çatlaklara sebep olan sıcaklık gradyanlarının düşürülmesi için beton yolda kullanılan betonun ısı iletkenliğinin azaltılması planlanmıştır. Bu amaçla, C30/37 dayanım sınıfındaki betonda ince agrega yerine toplam agrega ağırlığının 10%, 20% ve 30% oranlarında cam, çimento yerine çimentonun 10% ve 30% oranında zeolit katılmış, ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüştür. Söz konusu karışımların 28 günlük basınç

dayanımlarına bakılmış, alkali-silika deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yazın üç farklı karışımdaki beton plağın üst yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmış, en düşük üst yüzey sıcaklığı veren karışım tespit edilmiştir.

2. KAPLAMA YÜZEY SICAKLIĞI

Isı iletkenlikleri aynı kabul edilen, üst yüzey renkleri farklı olan üç değişik beton kaplamanın aynı ortamda yüzey sıcaklıkları 44°C, 50°C, 59°C olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi olarak da yüzeyin yansıtma gücü olarak da adlandırılabilen ve birimsiz bir değer olan yüzey albedolarının farklı olması gösterilmiştir [20]. Qin ve Hiller [21] kaplama yüzeyindeki 0.20 değerindeki bir albedo farkının, beton plakta oluşacak çekme değerini 0.3 MPa değiştireceğini belirtmiştir. Bu değer normalde çok küçük ve önemsizmiş gibi görülsede, beton yol tasarımında çok önemli bir yer teşkil eden yorulma analizleri dikkate alındığında, kaplamanın servis ömrünün azalmasında ciddi şekilde etkili olacağı bilinmektedir.

Beton yüzeyin albedo değeri büyük (yansıtma yüksek) ve betonun ısı iletkenliği düşük olduğunda gün içinde yüzey sıcaklık değerlerindeki farklar az olacaktır. Bu sayede sıcaklık gradyanları düşecek ve beton yol yüzeyinde oluşabilecek ısıl çatlakların önüne geçilebilecektir. İnce agrega olarak kullanılan kumun ısı iletkenliği yüksek olup, eğer kum yerine ASR gelişmelerine sebebiyet vermeyecek ve ısı iletkenliği daha düşük olan bir malzeme kullanılırsa beton yoldaki ısıl çatlaklar azalacaktır. Bunun yanında benzer azalış çimento yerine ısı iletkenliği daha düşük bir malzeme kullanılmasıyla da sağlanabilecektir. İnce agrega ve çimento yerine kullanılacak söz konusu malzemelerin açık renkli olması durumunda betonun yansıtma özelliği de artmış olacak ve bu durumda çok daha düşük değerlerde yüzey sıcaklıkları elde edilebilecektir.

3. DENEY

Camın ve doğal zeolitin, betonun basınç dayanımına, eğilmede çekme dayanımına ve ASR gelişmelerine etkisini incelemek için 10 değişik beton karışımı tasarlanmıştır. Söz konusu karışımlardan bir tanesi kontrol numunesi, 3 tanesi içeriğinde toplam agrega ağırlığının 10, 20, 30% oranlarında 1 mm den daha küçük cam içeren numunelerdir. Geri kalan 6 numune de, söz konusu cam oranlarını içeren numunelerdeki çimento yerine 10% ve 30% oranlarında zeolit katılmasıyla elde edilen numunelerdir. Kontrol numunesindeki iri ve ince agregaların hepsi kalkerdir ve çimento olarak da portland 42.5 R kullanılmıştır. Isı iletkenliğinde, ince agregaların iri agregalara oranla daha etkili olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, ısı iletkenliğinin düşürülmesinin hedeflendiği bu çalışmada ince agrega yerine ısı iletkenliği daha düşük bir malzeme seçilmiştir. Bunun yanında, seçilen malzeme olan agreganın da 1-2 mm den daha büyük olması durumunda ASR gelişmelerinin

yaşanması olasılığının arttığı da literatür çalışmalarında tespit edilmiştir. Numuneler, içeriğindeki cam ve zeolit oranına göre adlandırılmıştır. Örneğin C10Z30, içeriğinde 10% oranında cam ve 30% oranında zeolit içeren numuneyi temsil etmektedir. Çalışmada, C30/37 dayanım sınıflarında numuneler hazırlanmıştır. Beton

numunelerin karışım tasarımları Tablo 1 de verilmiştir. İnce agrega yerine kullanılan camın ve ince agreganın elek analizleri ise Tablo 2 ve Tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Beton numunelerin karışım tasarımı

Karışım	Çimento PC 42.5 (Kg)	Su (lt)	Cam (Kg)	Zeolit (Kg)	0-5 mm ince agrega (Kg)	5-12 mm iri agrega (Kg)	13-22 iri agrega (Kg)	Katkı (gr)
Standart Karışım	7.70	3.85	0	0	20.22	8.80	12.32	80
C10Z0	7.70	3.85	4.13	0	16.09	8.80	12.32	80
C10Z10	6.93	3.85	4.13	0.77	16.09	8.80	12.32	80
C10Z30	5.39	3.85	4.13	2.31	16.09	8.80	12.32	80
C20Z0	7.70	3.85	8.27	0	11.95	8.80	12.32	80
C20Z10	6.93	3.85	8.27	0.77	11.95	8.80	12.32	80
C20Z30	5.39	3.85	8.27	2.31	11.95	8.80	12.32	80
C30Z0	7.70	3.85	12.40	0	7.82	8.80	12.32	80
C30Z10	6.93	3.85	12.40	0.77	7.82	8.80	12.32	80
C30Z30	5.39	3.85	12.40	2.31	7.82	8.80	12.32	80

Tablo 2. İnce agrega olarak kullanılan camın elek analizi

Elek açıklığı (mm)	Ağırlıkça geçen (%)
<0.125	0.0
0.125	1.7
0.160	3.8
0.250	14.7
0.315	23.1
0.500	63.0
0.630	86.6
1.000	100.0

Tablo 3. İnce agrega elek analizi

Elek açıklığı (mm)	Ağırlıkça geçen (%)
<0.063	0.0
0.063	11.5
0.250	32.6
0.500	41.0
1.000	52.8
2.000	72.7
4.000	100.0

Su/çimento oranı 0.47 olan, 25x25x285 mm boyutlarındaki harç çubukları ASR genleşmeleri açısından ASTM C1260 [22] a göre incelenmiştir. Toplamda 10 adet harç çubuğu hazırlanmıştır.

Çubukların 3 tanesi 10%, 20% ve 30% oranlarında ince agrega yerine cam içermekte, 6 tanesi ise söz konusu cam oranlarına ilaveten içeriğinde çimento yerine 10% ve 30% oranlarında zeolit içermektedir.

Geri kalan 1 çubuk da standart kontrol çubuğu olarak hazırlanmıştır. 14 günlük ölçümler yapılmıştır. Harç çubukları için yapılan ASR test sonuçları Şekil 1 de gösterilmektedir. Harç çubuklarının karışım

miktarları Tablo 4 de verilmektedir. ASTM C1260 a göre ASR genleşmesi 14 gün sonunda 0.1% i geçmemelidir. Bu bilgi ışığında test sonuçları incelenmiştir

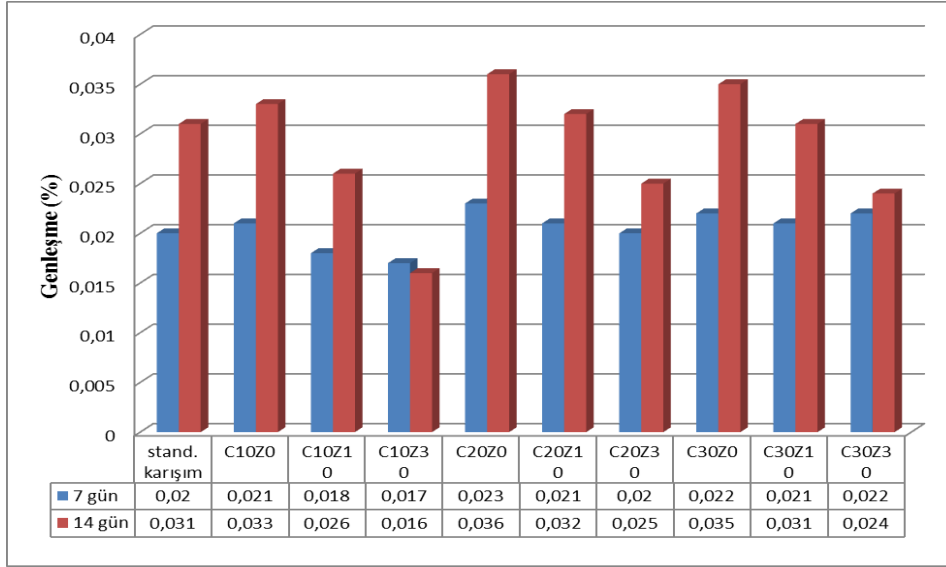
Tablo 4. ASR testi için harç çubuklarının karışım miktarları

Karışım	Çimento (gr)	Su (gr)	İnce agrega (gr)	Zeolit (gr)	Cam (gr)
Standart karışım	440	207	990	-	-
C10Z0	440	207	900	-	90
C10Z10	396	207	900	44	90
C10Z30	308	207	900	132	90
C20Z0	440	207	800	-	200
C20Z10	396	207	800	44	200
C20Z30	308	207	800	132	200
C30Z0	440	207	600	-	300
C30Z10	396	207	600	44	300
C30Z30	308	207	600	132	300

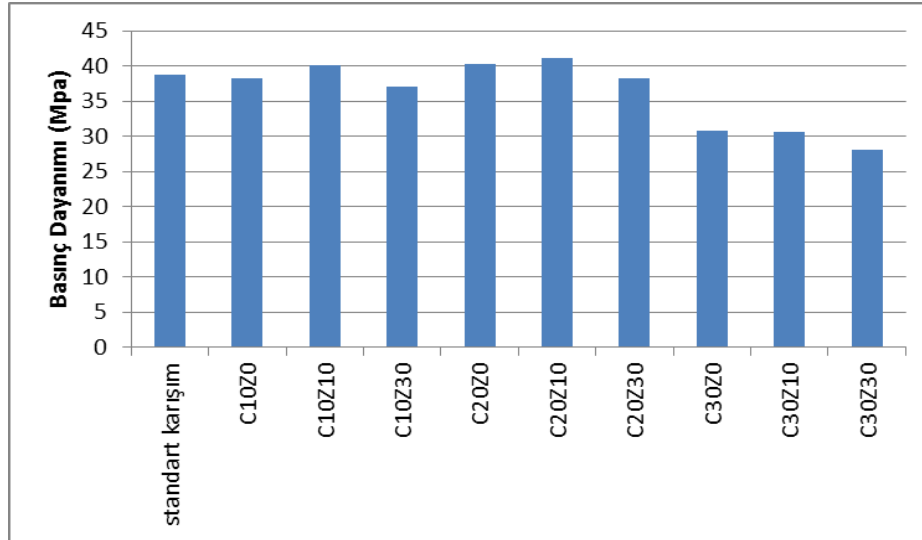
Söz konusu 10 değişik karışım için 28 günlük basınç dayanımları da incelenmiştir. Bu değerler Şekil 2 de verilmektedir. C30/37 sınıfı beton olarak hazırlanan bu numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının en az 37 MPa olması beklenmektedir. ASR ve basınç dayanım sonuçlarına göre bazı karışımlar elenmiş ve beton yoldaki sıcaklık ölçümleri için en uygun karışımlar yapılmıştır. Sıcaklık ölçümü için 1.5 m boyunda, 1 m eninde ve 25 cm kalınlığında beton plaklar hazırlanmış, ölçümler bu plakların tam ortasında plak üstünde yapılmıştır.

4. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada incelenen bütün karışım oranlarının ASR genleşme limitlerini geçmediği görülmüştür. 1 mm den daha küçük boyutlardaki camların ince agrega yerine kullanılmasının 14 günden sonra betondaki genleşmeleri artırdığı, çimento yerine zeolitin kullanılmasının da cam içerikli karışımların genleşmelerini önemli bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, C30Z0, C30Z10 ve C30Z30 numunelerinin C30/37 sınıfı beton numunenin basınç dayanım değerlerini karşılamadığı görülmüştür.



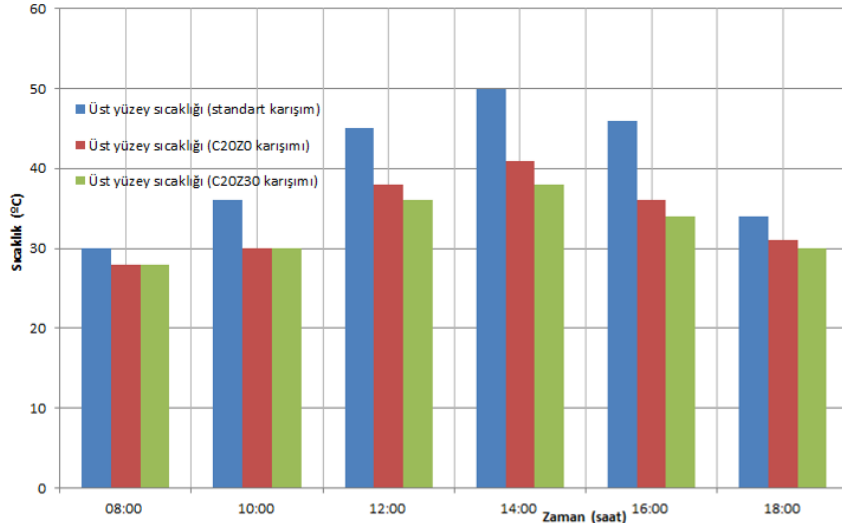
Şekil 1. Harç çubuklarının ASR genleşmeleri



Şekil 2. Beton karışımların 28 günlük basınç dayanımları

ASR ve basınç dayanım ölçümleri neticesinde, sıcaklık ölçümlerinin yapılması için en uygun karışımların standart karışım, C20Z0 karışımı ve C20Z30 karışımı olduğuna karar verilmiştir. Sıcaklık ölçümleri yapılmadan önce Testo-635 cihazı kullanılarak söz konusu 3 farklı karışımdan elde edilen betonların ısı iletkenliklerine bakılmıştır. Standart karışımın ısı iletkenliği 2.57 W/m.K, C20Z0 karışımının ısı iletkenliği 2.2 W/m.K ve C20Z30 karışımının ısı iletkenliği 2.08 W/m.K olarak bulunmuştur. Sıcaklık ölçümleri Samsun ilinde, Ağustos ayında 08:00-18:00 saatleri arasında yapılmıştır. Şekil 3 de görüldüğü üzere söz konusu

saatler arasında standart karışımdaki beton plak yüzey sıcaklığı C20Z0 karışımındaki beton plaktan daha fazladır. Bunun yanında, C20Z30 karışımındaki beton plağın yüzey sıcaklığı da diğer iki plak yüzey sıcaklığından daha azdır. İnce agrega yerine beton karışımına 20% oranında cam katılması, en yüksek sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü saat 14:00 de beton yüzey sıcaklığını 50°C den 41 °C ye düşürmüştür. Bu orandaki cam katkılı karışımda çimento yerine 30% oranında zeolit de katıldığında en yüksek beton yüzey sıcaklığı C20Z0 karışımındaki beton plağın yüzey sıcaklığından 3 °C daha azalmıştır.



Şekil 3. Gün içinde beton plak üst yüzey sıcaklıkları

Bu çalışmada albedo değerleri ölçülmemiştir. Yine de görsel olarak incelendiğinde C20Z0 karışımı ile üretilen betonun yüzey rengi ile standart karışımla üretilen beton yüzey rengi birbirine çok yakın olup, C20Z30 karışımı ile üretilen beton yüzey rengi her iki karışımdakinden biraz daha açıktır. Çalışmanın sonucunda, 50 °C değerindeki bir beton yüzey sıcaklığı C20Z30 karışımı kullanılarak 38 °C ye kadar düşürülebilmektedir.

5.SONUÇ

Beton yolların gün içerisinde ölçülen yüzey sıcaklıklarındaki yüksek orandaki değişimler ile alt ve üst yüzey sıcaklıklarındaki farklar, betonda ısıl çatlakların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu çatlakların önüne geçebilmek için beton yüzeyine betonun yansıtıcı özelliğini artıracak farklı kaplama işlemleri uygulanabilmektedir. Trafik altında bu kaplama malzemeleri özelliğini zamanla yitirmektedir. Bu sebeple daha kalıcı çözümler üretilmesinde fayda vardır. Bu çalışmada, betonun ısı iletkenliğini düşürerek söz konusu sıcaklık farklarının düşürülmesi planlanmıştır. Bu amaçla, atık malzeme olarak da değerlendirilebilecek camlar (1mm den küçük) beton içerisinde ince agrega yerine kullanılmıştır. Çimento üretiminde ortaya çıkan karbondioksitin önüne geçilebilmesi için de doğal bir malzeme olan zeolit beton içerisinde çimento yerine kullanılmıştır. Camın 30% oranında katılmasının C30/37 sınıfı olarak üretilen betonun basınç dayanımını karşılamadığı tespit edilmiş olup, çalışmada incelenen 10 değişik karışım numunesinin de ASR genleşme sınır değerlerini aşmadığı, cam katılmasının genleşmeleri bir miktar artırdığı, çimento yerine zeolit kullanılmasının da bu genleşmeleri önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Beton plak yüzey sıcaklık ölçümlerinin yapılabilmesi için en uygun karışım olarak standart karışım, 20% cam katkılı karışım (C20Z0), 20% cam katkılı ve 30% zeolit katkılı karışım (C20Z30) seçilmiştir. C20Z0 numunesinin standart numunenin ısı

iletkenliğini 2.57 W/m.K den 2.2 W/m.K ya, C20Z30 numunesinin de 2.08 W/m.K ya düşürdüğü tespit edilmiştir.Yazın gün içerisinde yapılan beton üst yüzey sıcaklık ölçümleri neticesinde, en yüksek yüzey sıcaklıklarının saat 14:00 de olduğu görülmüştür. Bu saatte standart numunenin yüzey sıcaklığı 50°C, C20Z0 karışımındaki beton yüzey sıcaklığı 41°C, C20Z30 karışımındaki beton yüzey sıcaklığı ise 38°C olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde, beton içerisinde ince agrega yerine camın ve çimento yerine zeolitin kullanılmasının betonun ısı iletkenliğini azalttığı ve bunun da betonda ısıl çatlaklara sebep olan yüzey sıcaklık farklarını düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmada, beton yol tasarımında ülkemizin farklı bölgelerindeki iklim koşullarının da dikkate alınması gerektiği, beton tasarımında daha çevreci malzemeler kullanılarak ısıl çatlakların önüne geçilebileceği sonucuna da varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D.N. ve Papakatsikas, C., "Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate", **Building and Environment**, Cilt 46, No 1, 38-44, 2011.
- [2] Santamouris, M., Synnefa, A. ve Karlessi, T., "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions", **Solar Energy**, Cilt 85, No 12, 3085-3102, 2011.
- [3] Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Papantoniou, S., Vangeloglou, E., Saliari, M., Karlessi, T. ve Santamouris, M., "Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures", **Solar Energy**, Cilt 86, No 5, 1648-1659, 2012.

- [4] Deluka-Tibljajš, A., Šurdonja, S., Babić, S. ve Cuculić, M., “Analyses of urban pavement surface temperatures”, **The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, Cilt 10, No 3, 239-246, , 2015.
- [5] Richardson, J.M. ve Armaghani, J.M., “Stress caused by temperature gradient in portland cement concrete pavements”, **Transportation Research Record**, Cilt 1121, 7-13, 1988.
- [6] Shoukry, S.N. ve Fahmy, M.R., “**Optimization of concrete slab geometry for enhanced rigid pavement performance and service life**”, Research Project, No. 140, National Technical Information Service, Alexandria, USA, 2002.
- [7] **VENCON 2.0** - Software package for structural design of concrete pavements (in Dutch), CROW, Ede., Netherlands, 2004.
- [8] Heydinger, A. G., “**Monitoring seasonal instrumentation and modelling climatic effects on pavements at the Ohio/SHRP test road**”, ODOT Project No. 14704(0), FHWA/OH Report 2003/018, The University of Toledo, Toledo, Ohio, USA, 2003.
- [9] Huang, Y. H., “**Pavement Analysis and Design**”, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2nd edition, 2004.
- [10] Kim, K.H., Jeon, S.E., Kim, J.K. ve Yang, S., “An experimental study on thermal conductivity of concrete”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 33, No 3, 363–371, 2003.
- [11] Uysal, H., Demirboga, R., Şahin, R. ve Gül, R., “The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 34, No 5, 845–848, 2004.
- [12] Demirboğa, R. ve Gül, R., “The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 33, No. 5, 723–727, 2003.
- [13] Meyer, C. ve Baxter, S., “**Use of Recycled Glass for Concrete Masonry Blocks**”, Final Report 97-15, New York State Energy Research and Development Authority, Albany, NY., 1997.
- [14] Lam, C.S., Poon, C.S. ve Chan, D., “Enhancing the performance of pre-cast concrete blocks by incorporating waste glass – ASR consideration”, **Cement and Concrete Composites**, Cilt 29, No 8, 616–625, 2007.
- [15] Byars, E.A., Morales-Hernandez, B. ve Zhu, H.Y., “Waste Glass as Concrete Aggregate and Pozzolan – Laboratory and Industrial Projects”, **Concrete**, Cilt 38, No 1, 41–44, 2004.
- [16] Krishnamoorthy, R.R. ve Zujip, J.A., “Thermal conductivity and microstructure of concrete using recycle glass as a fine aggregate replacement”, **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, Cilt 3, No 8, 463-471, 2013.
- [17] Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B. ve Shekarchi, M., “An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan”, **Construction and Building Materials**, Cilt 35, 1023-1033, 2012.
- [18] Poon, C.S., Lam, L., Kou, S.C. ve Lin, Z.S., “A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes”, **Construction and Building Materials**, Cilt 13, No 8, 427-432, 1999.
- [19] Kılınçarslan, Ş., “Thermo-Mechanical properties of concrete containing zeolite”, **Suleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt 11, No 3, 262-267, 2007.
- [20] Li, H., Harvey, J.T., Holland, T.J. ve Kayhanian, M., “Corrigendum: The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management”, **Environmental Research Letters**, Cilt 8, 1-14, 2013.
- [21] Qin, Y. ve Hiller, J.E., “Modeling the temperature and stress distributions in rigid pavements: Impact of solar radiation absorption and heat history development”, **KSCE Journal of Civil Engineering**, Cilt 15, No 8, 1361-1371, 2011.
- [22] ASTM C1260, “**Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)**”, Annual Books of ASTM Standards, 2001.