

Zeolit İçeren Betonların Termomekanik Özellikleri

Şemsettin KILINÇARSLAN¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü / ISPARTA
Alınış tarihi:28.09.2007, Kabul tarihi:24.01.2008

Özet: Zeolit mikro gözenekli kristal yapılı, yüksek su emme özelliğine ve geniş yüzeye sahip hafif bir malzemedir. Doğal ve yapay zeolitlerin betonların kimyasal bileşimlerini olumlu etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, Manisa-Gördes bölgesinden temin edilen Zeolit öğütülerek çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılarak betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda su, ince agrega ve iri agrega miktarları sabit tutularak çimento yerine ağırlıkça % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında zeolit kullanılmıştır. Üretilen betonların yoğunlukları, basınç dayanımları ve termal iletkenlik katsayıları belirlenmiştir. Normal beton ile çimento yerine ağırlıkça % 5, 10 ve 15 zeolit kullanılarak üretilen betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerlerinde önemli bir değişme gözlenmemiştir. Ancak, çimento yerine ağırlıkça % 5, 10 ve 15 zeolit kullanılarak üretilen betonların birim ağırlıkları azalmış ve ısı yalıtım özellikleri olumlu yönde artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zeolit, çimento, termomekanik, dayanım

Thermo-Mechanical Properties of Concrete Containing Zeolite

Abstract: Zeolite is a light material having micro porous crystalline structure, high water absorption properties and large surface. It is known that both natural and artificial pozzolanas can affect positively chemical resistance of concrete. In this study, the concrete where zeolite obtained from Manisa-Gördes area, is used in different rate in stead of cement as a building material, were produced. In the produced concrete, water, light and coarse aggregate were kept constant and zeolite were used in the rate of % 0, 5, 10 and 15 instead of cement. The unit weight, compressive strength and thermal conductivity were determined for produced concrete. It was seen that there is no significant variation between concretes where normal aggregate and different rate of zeolite used in stead of cement for 7, 28 and 90 days compressive strength. On the other hand the unit weight was decreased and thermal conductivity was increased while zeolite used in concrete in stead of cement.

Key Words: Zeolite, cement, thermo-mechanical, strength.

Giriş

Dünya nüfusunun artması nedeniyle, basit ve tek katlı yapılar yerine, karmaşık ve çok katlı yapılar son yıllarda yaygınlaşmıştır. Bina yüksekliği ve kat sayısı arttıkça, kullanılan malzemenin niteliği de önem kazanmaktadır (Erdem vd., 1997). Çok katlı yapılarda, yapısal güvenlik ve depremin etkisini azaltmak için beton performansı büyük önem taşır (Neville, 1981). Betonun ısı iletkenliği çimento dozajının artması ve agreganın ısı geçirgenliğinin artması ile artar (Uysal vd., 2004). Yapı endüstrisinde ısı ve ses yalıtımı yüksek, ısıya dayanıklı, yüksek basınç dayanımlı, elde edilişi ve kullanımı kolay malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Baradan, 2000).

Günümüzde yapılan binalarda ısısal konforun optimum koşullarda sağlanmış olması, gerek standartlar ve gerekse yönetmeliklerde kaçınılmaz bir kural olarak uygulamaya konmuştur. Binalarda ısısal konforun sağlanması, tamamıyla binada yapı elemanı veya bileşeni olarak kullanılan malzemenin ısı iletkenlik değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Malzemenin ısı iletkenlik değeri de, malzeme yapısal özelliğine ve özgül ısı kapasitesine bağlı olarak değişim gösteren bir değerdir (Gündüz, 2007).

Normal ağırlıklı beton iyi bir taşıyıcı malzeme olmasının yanı sıra birim ağırlığı yüksektir. Bu nedenle yapılarda zati ağırlıklar çok yüksek boyutlara ulaşmaktadır. Normal

ağırlıklı betonun birim ağırlığının azaltılmasıyla, yapı veya yapı elemanının ağırlığını azaltarak, ekonomi ve emniyet avantajları sağlamak olanaklıdır (Taşdemir, 1981). Hızla büyüyen dünya nüfusu ve teknolojik gelişmeler son yüzyılda enerjiye olan ihtiyacı bir kat daha arttırmıştır. Bu ihtiyacın artışı karşısında enerji kaynaklarının sınırlı ve üretiminin masraflı oluşu insanları mevcut enerjiyi optimum kullanımı konusunda arayışlara yönlendirmiştir (Sarıkaya, 2006). Çimento klinkeri üretim teknolojisi ekolojik olarak zararlı ve enerji tüketimi yüksektir. Doğaya zararlı olan CO₂, NO₂ ve SO₃ gibi gazların portland klinkeri üretiminde yüksek miktarda ortaya çıkması ve havaya yayılması çevreye büyük oranda zarar vermektedir (Yeğinobalı vd., 2000). Çimento üretiminde harmanlama veya yüksek miktarda mineral katkı kullanımı çimento üretimini ekolojik açıdan daha kabul edilebilir bir seviyeye getirmektedir (Kim, 1996).

Ülkemiz her ne kadar enerji kaynakları yönünden sınırlı kaynaklara sahipse de yalıtım malzemeleri yönünden oldukça zengin kaynaklara sahiptir. Yapılarda bu kaynakların değerlendirilmesi ile ülke, bölge ve aile ekonomilerine fayda sağlanacağı gibi konfor şartlarının kontrolü sağlanacak ve yapı formunda ısı ve rutubetten kaynaklanan arızalar önlenecektir (Dağsöz, 1995).

Zeolitler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddeleri arasındadır. Zeolit çok küçük gözenekli yapıya sahip malzemedir. Zeolitler, gerek doğal zeolitler gerekse sentetik zeolitler olarak çok geniş bilimsel ve teknolojik tabana sahiptir. Kristal yapı ve kimyasal özellikleri dolayısıyla moleküler elek, iyon değiştirici ve absorban alanlarda geniş kullanıma sahiptirler (Breck, 1974). Zeolitik tüf yatakları birçok ülkede puzzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzzolanlar, beton ürünün yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu yapılarında kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir (Erdem vd., 1997). Zeolitler volkanik kayalıklarda ve kil tabakalarında bulunur. Zeolit su arıtma-petrol kimya endüstri-nükleer endüstri-tarım-insan ve hayvan sağlığı-ısıtma ve soğutma-temizlik malzemeleri - inşaat sanayinde kullanılır (Özdemir, 1998). Doğal zeolitlerin kullanılmasıyla elde edilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliği ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin hem ilk yatırımlarında hem de yapıların kullanımları süresince ortaya çıkan enerji harcamalarında önemli tasarruflar sağlayacaktır (Bektaş vd.,2003).

Bu çalışmada, normal dayanımlı beton üretmek için çimento yerine ağırlıkça % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında zeolit kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Zeolit öğütüldükten sonra ve 50 mikron elekten elenerek beton üretiminde, çimento yerine ağırlıkça kullanılmıştır. Bu şekilde çimento yerine ağırlıkça kullanılan zeolit; betonun birim ağırlık, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ve ısı yalıtımını nasıl etkilediği belirlenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyaller

Çalışmada; normal beton (NB) üretiminde, Isparta Atabey sınırları içerisinde yer alan taş ocakları tesisinden elde edilen agrega kullanılmıştır. Karışımlarda, % 40 ince agrega (tane çapı 0–4 mm) ve % 60 iri agrega (4–16 mm) kullanılmıştır. NB karışım hesapları, üretilecek betonun plastik kıvamda ve en büyük tane çapı 16 mm olacak şekilde TS 802 yöntemine göre yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda su yerine % 3 ASTM C 494 standardına uygun süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Çimento yerine ağırlıkça % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında zeolit kullanılmıştır. Çimento yerine kullanılan zeolit, Manisa-Gördes bölgesinden elde edilmiştir. Zeolit malzeme laboratuvarında 50 mikron boyutuna kadar

öğütülmüş ve 50 mikron elekten elenmiştir. Çimento olarak CEM I 42.5 N Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve zeolitin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1 ve 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimento ve Zeolitin kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim	CEM I 42.5 N	Zeolit
CaO	61	1.91
MgO	3.56	1.10
K ₂ O	0.11	3.40
Fe ₂ O ₃	3.81	1.84
SiO ₂	22.56	68.82
Al ₂ O ₃	7.11	14.16
SO ₂	2.70	0.13
H ₂ O		7.38

Çizelge 2. CEM I 42.5 N çimentosunun fiziksel özellikleri

İncelik 90 µ	0.1
Özgül yüzey, cm ² /gr	2919
Yoğunluk, gr/cm ³	3.12
28 günlük eğilme dayanımı (MPa)	7.88
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	55.8

Yöntem

Çalışmada beton üretiminde su/bağlayıcı (s/b), 0.50 alınarak çimento yerine ağırlıkça % 0, 5, 10 ve 15 oranında zeolit kullanılmıştır. Çimento yerine kullanılan zeolit oranına göre üretilen beton numuneler isimlendirilmiştir. Normal betonlar NB ve zeolit içeren betonlar CZ5, CZ10 ve CZ15 olarak isimlendirilmiştir. Üretilen beton numunelerin karışım miktarları Çizelge 3’te verilmiştir. Beton numunelerin ısı iletkenlik özelliklerini belirlemek için 10 cm boyutlarındaki küp numuneler ve basınç dayanımının belirlenmesi için φ15x30 cm’lik silindir numuneler kullanılarak beton numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 20±3 °C ve 90±5 bağıl nem ortamında deneylerin yapılacağı zamana kadar küre edilmiştir. Hazırlanan beton numunelerin ısı iletkenlik katsayılarının ölçümü “Hot Wire” yönteminden yararlanılarak geliştirilen Shotherm QTM-D2 cihazı ile yapılmıştır. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları hidrolik yük kontrollü beton basınç dayanım presinde, TS EN 12390–3 standardına göre 3 kN/sn yükleme hızı uygulanarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Karışım miktarları (kg/m³)

Beton Kodu	Su	Çimento	Zeolit	İnce agrega	İri agrega
NB	175	350	0	704.91	1128.97
CZ5		332.5	17.5		
CZ10		315	35		
CZ15		297.5	52.5		

Betonların üretimi ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bulgular

Zeolit içeren beton numunelerden elde edilen birim ağırlık, basınç dayanımı, ısı iletkenlik katsayısı ve ultrases geçiş hızı değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Üretilen beton numunelerde çimento yerine kullanılan zeolit miktarı artıkça birim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır.

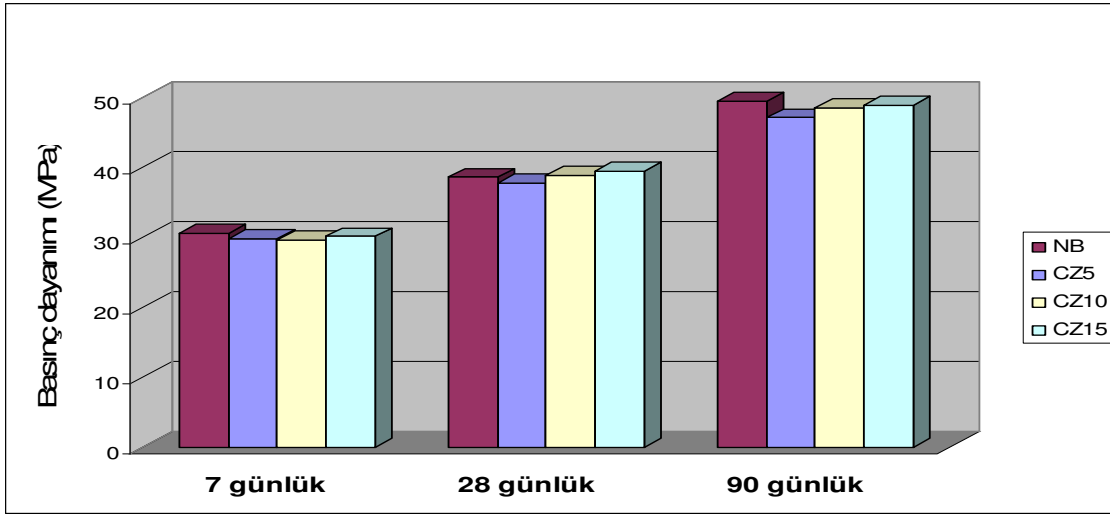
Ultrases geçiş hızı değerleri ise çimento yerine kullanılan % 10 ve 15 zeolit oranlarında artarken, % 5 zeolit oranında azalmıştır. Çimento yerine ağırlıkça % 15 zeolit kullanıldığı zaman birim ağırlık değeri yaklaşık % 3 azalmıştır. Zeolit içeren beton numunelerin 7, 28 ve 90 günlük silindir basınç dayanım değerleri Şekil 1 ve Çizelge 4'te verilmiştir. Farklı oranlarda zeolit içeren beton serilerinin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 4 ve Şekil 1'de görüldüğü gibi birbirine çok yakın olduğu ve bütün serilerin yaşa bağlı dayanım artışlarının paralel olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4. Zeolit içeren betonların fiziksel ve mekanik özellikleri

Beton serisi	Birim ağırlık (kg/dm ³)	Basınç dayanımı (MPa)			Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Ultrases geçiş hızı (m/sn)
		7 günlük	28 günlük	90 günlük		
NB	2.440	30.5	38.6	49.5	2.07	3175
CZ5	2.412	29.9	37.8	47.1	1.92	3160
CZ10	2.387	29.6	38.8	48.6	1.72	3220
CZ15	2.369	30.1	39.4	48.9	1.51	3250

Farklı oranlarda zeolit içeren betonlarda 7 günlük basınç dayanımları yaklaşık 30 MPa, 28 günlük basınç dayanımları yaklaşık 38 MPa ve 90 günlük basınç dayanımları yaklaşık 48 MPa olarak elde edilmiştir.

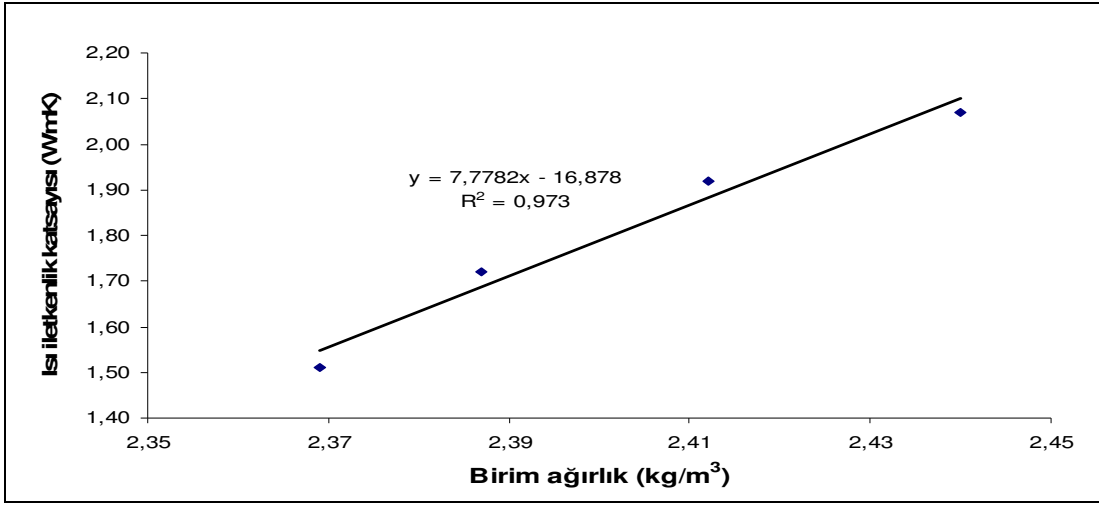
Basınç dayanımı sonuçlarında da görüldüğü gibi çimento yerine ağırlıkça kullanılan zeolit basınç dayanımı değerlerini fazla etkilememiştir.



Şekil 1. Beton serilerinin basınç dayanımları

Zeolit içeren betonların ısı iletkenlik katsayısı ile birim ağırlık arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir. Zeolit içeren betonlarda en yüksek ısı iletkenlik katsayısı, birim ağırlığı en yüksek olan normal betonda gözlenmiştir. Zeolit içeren betonlarda en düşük ısı iletkenlik katsayısı ise birim ağırlığı en düşük ve çimento içindeki zeolit miktarı en fazla olan CZ15 serisinde gözlenmiştir. Zeolit içeren beton numunelerinde birim ağırlık değerlerinin

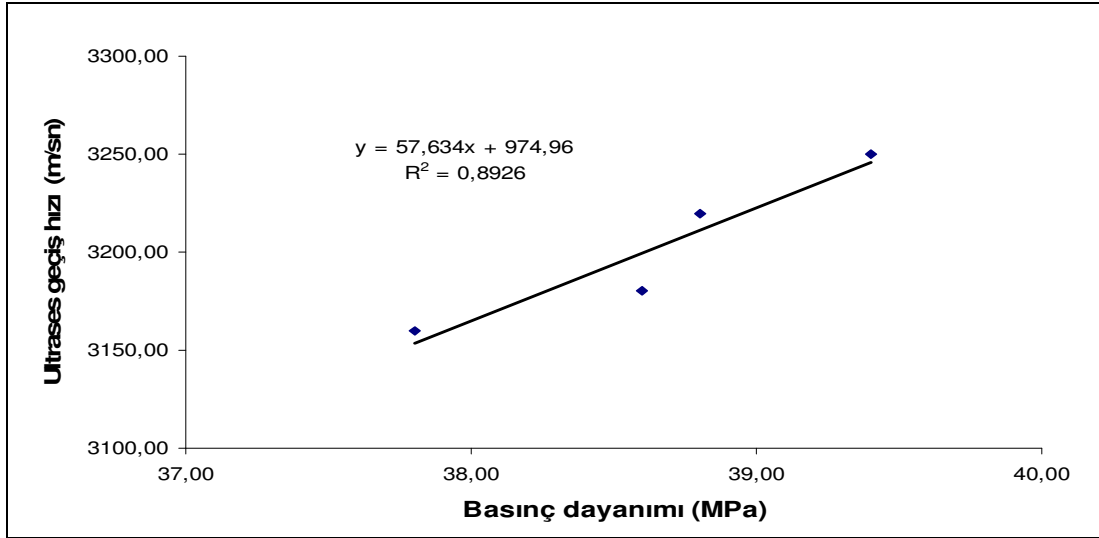
düşmesi ile ısı iletkenlik katsayısının düşmesi arasında bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon denklemi ve düzeltilmiş korelasyon katsayısı Şekil 2'de verilmiştir. Düzeltilmiş regresyon katsayısının 0.973 çıkması ısı iletkenlik katsayısı ile birim ağırlık arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Isı iletkenlik ile birim ağırlık arasındaki ilişki

Zeolit içeren betonların 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişki Şekil 3'te verilmiştir. Zeolit içeren beton numunelerde basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasında doğrusal

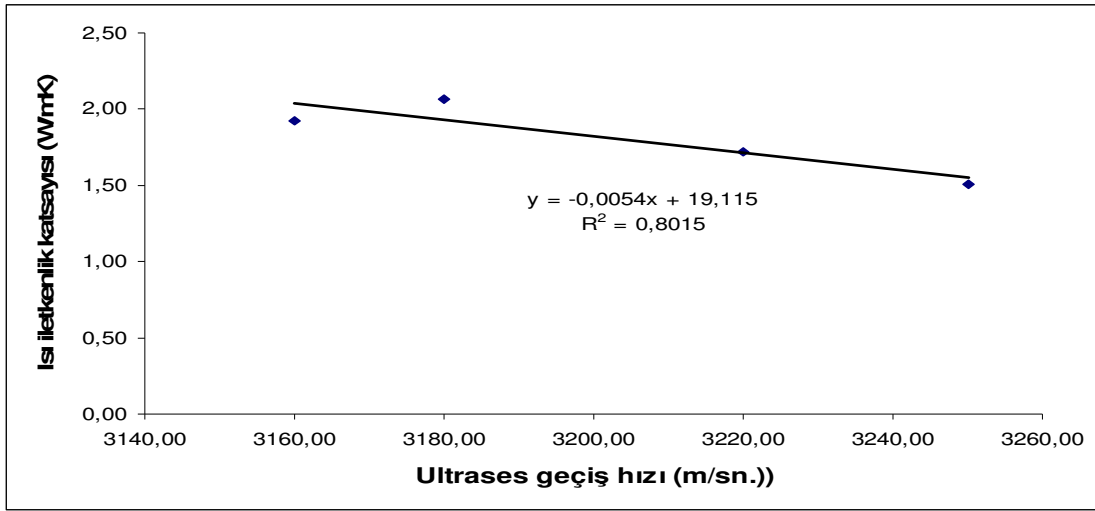
bir ilişki gözlenmiştir. Bu ilişkiyi Şekil 3 üzerinde verilen regresyon denklemi ve düzeltilmiş korelasyon katsayısı göstermektedir.



Şekil 3. 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki

Ayrıca zeolit içeren betonların ultrases geçiş hızı ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi ultrases geçiş hızı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Bu durum da ultrases geçiş hızı ile ısı iletkenlik katsayısı arasında

ters bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Ultrases geçiş hızı ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon denklemi ve düzeltilmiş korelasyon katsayısı Şekil 4 üzerinde verilmiştir.



Şekil 4. Ultrases geçiş hızı ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki

Tartışma

Bu çalışmada zeolitin çimento ikame malzemesi olarak değişik oranlarda kullanılması ile kullanılan zeolit oranı arttıkça betonların ısı iletkenlik katsayısının ve birim ağırlıkların düştüğü görülmekte, betonun basınç dayanımı değerinde ise bir azalma görülmemekte hatta artırdığı görülmektedir. Yine ultrases geçiş hızında çimento yerine %5 zeolit kullanılan (CZ5) seri hariç diğer serilerde ultrases geçiş hızı da artmaktadır. Zeolit katkılı çimentoların incelenmesi çalışmasında (Canpolat vd., 2005), doğal zeolit %5, 10 ve 20 oranlarında klinkerle birlikte öğütülmüş ve elde edilen çimentolarla hazırlanan harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımları tespit etmiş ve tamamı çimento ile üretilen kontrol harcı ile karşılaştırılmıştır. Eğilmede çekme dayanımları değeri en yüksek %5 zeolit katkılı harçta elde edilmiştir. Basınç dayanımı değerlerinde zeolit miktarı arttıkça basınç dayanım değerinin de arttığı görülmüştür. En yüksek değer %20 zeolit oranına sahip harçta elde edilmiştir. Başka bir çalışmada (Erdem vd., 1997) %10, 20, 30 ve 40 oranlarında çimento yerine zeolit kullanarak elde edilen harç numunelerin hidrasyon ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 90 günlük eğilme dayanımları tamamı portland çimentosu ile elde edilen kontrol numunesi, %10 ve %20 çimento yerine zeolit kullanılan harç numunelerinin değerleri birbirine çok yakın (7 N/cm^2), %30 ve %40 çimento yerine zeolit kullanılan harç numunelerinin eğilme dayanımlarının düştüğü saptanmıştır. 90 günlük basınç dayanım değerlerinde ise tamamı portland çimentosu ile elde edilen harç numunesinin basınç dayanım değerinin 45 MPa elde edilirken, en yüksek değer %10 çimento yerine zeolit kullanılan harç numunesine ait olduğu bu değerden sonra %20 çimento yerine zeolit kullanılan harç numunesine ait olduğu saptanmıştır. Bu çalışmalardan %20 oranına kadar çimento yerine zeolit kullanılması betonların eğilme ve basınç dayanım değerlerini artırdığı görülür. Yapılan bu çalışmaların sonuçları bizim çalışma sonuçlarımızı desteklemektedir.

Zeolitin doğal mineral olarak kullanımının amacı yüksek iyon değişim kapasitesi, moleküler elek olma özelliği,

yüksek silis bileşimine sahip olması, düşük yoğunluğu ve kristal yapısı bozulmadan dehidrasyona uygunluğudur. Bu özellikler zeoliti diğer mineral katkılardan üstün kılmaktadır. Zeolitin moleküler elek olması zeolitin öğütülmesini kolaylaştırmakta, özgül yüzeyin normal çimento değerinden yüksek olması beton içinde boşlukların azalmasına ve ultrases geçiş hızının artmasını sağlamaktadır. Bu artış Şekil 4'de görülmektedir. Yüksek silis bileşimi sayesinde bağlayıcılık özelliğini artırmakta ve betonların basınç dayanım değerlerini Şekil 1'de görüldüğü gibi bir miktar artırmaktadır. Zeolitin çimento'dan düşük yoğunluğa sahip olması, betonun birim ağırlığını da düşürmekte ve normal betona göre birim ağırlığı daha düşük betonlar elde edilmektedir. Birim ağırlıkta meydana gelen azalma Çizelge 1'de görülmektedir. Zeolitin kristal yapısı bozulmadan dehidrasyon olması ve yüzey soğurma özelliği sayesinde, beton numunelerin ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğü Şekil 2 ve 4'te de görülmektedir. Bütün bu özellikleri sayesinde çimento yerine zeolit kullanılması, betonun basınç dayanım değeri ve ultrases geçiş hızı artmış, birim ağırlığı ve ısı iletkenlik katsayısı düşmüştür.

Sonuçlar

Çimento yerine ağırlıkça kullanılan zeolit, numunelerin basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerleri arasında dikkate değer bir farklılık gerçekleşmemiş, bir miktar artırmıştır. Buna göre çimento ağırlığının %15'ine kadar zeolit ikamesi ile beton üretiminde ekonomiklik sağlanabilecektir. Çimento yerine ağırlıkça kullanılan zeolit miktarı arttıkça beton numunelerinin birim ağırlık ve buna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısı ve ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir. Ultrases geçiş hızı ile ısı iletkenlik katsayısı arasında ise ters bir ilişki gözlenmiştir. Sonuç olarak, zeolit çimento yerine belirli oranlarda kullanılırsa basınç dayanımı değerlerini fazla etkilememekle birlikte betonun birim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısını azaltarak ısı yalıtımına katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Baradan, B. 2000. Yapı Malzemesi II. DEÜ. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 221 s.
- Bektaş, F., Uzal, B., Turanlı, L. 2003. Öğütülmüş Doğal Zeolit'in Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi. 5. Ulusal Beton Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, 403-409.
- Breck, D.W. 1974. Zeolite Molecular Sieve; Structure, Chemistry and Use. John Wiley and Sons, New York, 771 pp.
- Campbell, D., Thorne, C.P. 1963. The Thermal Conductivity of Concrete. Magazine of Concrete Research, 15, 39-48.
- Canpolat, F., Yılmaz, K., Sümer, M., Uysal, M. 2005. Zeolit Katkılı Çimentoların Özelliklerinin İncelenmesi. 6. Ulusal Beton Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 16-18 Kasım 2005, İstanbul, 63-71.
- Dağsöz, A. K. 1995. Türkiye'de Derece-Gün Sayıları Ulusal Enerji Tasarruf Politikası, Yapılarda Isı Yalıtımı. İTÜ Makine Fakültesi Isı Geçişi ve Ekonomisi Birimi, Alp Teknik Yayınları, İstanbul, 270 s.
- Dondi, M.P., Cappelletti, G.C., Gennaro, R.M., Gennaro, L.A. 2004. Zeolitic Tuffs as Raw Materials for Lightweight Aggregates. Applied Clay Science, 25, 71-81.
- Erdem, E., Donat R., Çetişli, H. 1997. Hydration and Mechanical Properties of Cement Containing Zeolite. 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, 6-9 November 1997, İstanbul-Turkey, 216-220.
- Gül, R., Uysal, H. 1997. Investigation of the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete Made with Kocapınar's Pumice Aggregate. Advanced in Civil Eng.: III. Technical Congress, Vol. 2, METU, Ankara, Turkey, 553-562.
- Gündüz, L. 2007. Bimsblok ve Binalarda Isı Yalıtımı Değerlendirmesi. Yapı Malzeme İhtisas Dergisi, 115, 36-38.
- Kılınçarslan, Ş., Akkurt, I., Başığit, C. 2006. The Effect of Barite Rate on Some Physical and Mechanical Properties of Concrete. Materials Science and Engineering A, 424, 83-86.
- Kılınçarslan, Ş., Akkurt, I., Başığit, C. 2007. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 22, 393-400.
- Kim, J.H. 1996. The Economic Viability of Portland Blast Furnace Slag Cement. Proceedings of the International Cement Conference, İstanbul, 191-204.
- Neville, A.M. 1981. Properties of Concrete. Longman Scientific, New York, 843 pp.
- Özdemir, N. 1998. Radyoaktif Atıkların Saklanması Zeolit ve Bentonitin Kullanılması. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 100s.
- Sarıkaya, H. 2006. Zeolit Katkılı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 73s.
- Shacklock, B.W. 1974. Concrete Constituents and Mix Proportions. Cement and Concrete Association, London, United Kingdom, 178 pp.
- Taşdemir, M.A. 1981. Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışı. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 193s.
- Topçu, İ.B., Uğurlu, A. 2003. Effect of the Use of Mineral Filler on the Properties of Concrete. Cement and Concrete Research, 33, 1071-1075.
- TS 802. 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 2006-1. 2002. Beton Bölüm-1 Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. 2003. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., Gül, R. 2004. The Effects of Different Cement Dosages, Slumps, and Pumice Aggregate Ratios on the Thermal Conductivity and Density of Concrete. Cement and Concrete Research, 34, 845-848.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Yıldız, A. 2007. Investigation of Low-Strength Lightweight Concrete for Thermal Insulation. Building and Environment, 42, 584-590.
- Yeğinobalı, A., Sobolev, K.G., Soboleva, S.V., Kıyıcı, B. 2000. Yüksek Fırın Cürüflü Yüksek Dayanımlı Çimentonun Isıl Direnci. TÇMB Çimento ve Beton Dünyası, 5, 31-47.