

Zeolit ve Silika Dumanı Katkılı Betonların Mekanik ve Geçirimsizlik Özellikleri

Umur Korkut SEVİM^{*1} ve Necmi OKUMUŞ²

¹ Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun

² Teksöz İnşaat Taahhüt İzolasyon, Antakya

Özet

Bu çalışmada, doğal zeolit ve silika dumanının betonun geçirimsizlik ve dayanım özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, doğal zeolit olarak Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolit kullanılmıştır. Tüm karışımlarda Su –bağlayıcı oranı 0,4 olarak sabit tutulmuştur. Doğal zeolit çimentonun yerine ağırlıkça %0,%10,%20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır. Silika dumanı ise ağırlıkça %8 sabit ikame oranında kullanılmış ve 7 karışım hazırlanmıştır. Üretilen 7 farklı karışımın basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, basınçlı su geçirgenlikleri, kapilarite katsayıları ve su emmeleri 28.günde test edilmiştir. Deney sonuçları doğal zeolitin mineral katkı olarak çimentoyla ağırlıkça %20 oranında yer değiştirilerek kullanılabileceğini göstermiştir. %10 ve %20 zeolit içeren numuneler kontrol betonuna göre düşük su geçirgenliği ve yüksek dayanım değeri vermişlerdir. %10 zeolit ve %8 silis dumanı içeren numuneler ise 28 günde en yüksek basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Zeolit, Silika dumanı, Beton, Geçirimsizlik, Mukavemet

Strength and Permeability Properties of Concrete Containing Natural Zeolite and Silica Fume

Abstract

A laboratory investigation was carried out to evaluate the strength and permeability properties of concrete containing natural zeolite and silica fume. The zeolite used in this study was obtained from Manisa-Gördes region. Water-binder ratio was 0.4 for all mixtures. Natural zeolite replaced the portland cement on mass basis at the replacement ratios of 0%, 10%, 20% and 30%. For the silica fume replacement ratio with cement was 8% on mass basis. In total, 7 concrete mixtures were prepared and tested for compressive strength, splitting tensile strength, water permeability, sorptivity coefficient and water absorption at 28 days. The test results showed that natural zeolite can replace the cement 20% by mass, because concrete containing 10% and 20% zeolite developed higher strength values and lower water permeability and absorption values than control concrete. On the other hand concrete containing 10% natural zeolite and 8% silica fume had highest compressive strength value at 28 days.

Key words: Natural zeolite, silica fume, concrete, permeability, strength

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Umur Korkut Sevim, Mustafa Kemal Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İskenderun. uksevim@mku.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde, çimento endüstrisi gün geçtikçe gelişmekte ve ilerlemektedir. 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 yayılması çevreye büyük oranda zarar vermektedir [1]. Hem çevresel zararlı etkilerin azaltılabilmesi hem de çimento üretiminin daha düşük maliyetli olması için hidrolik çimentolara puzolan katılmaktadır. Zeolit yüksek oranda SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğine sahip bir mineraldir [2]. Zeolitin doğal mineral katkı olarak kullanımının sebebi; yüksek iyon değişim kapasitesi, moleküler elek olma özelliği, yüksek silis bileşimine sahip olması, düşük yoğunluğu ve kristal yapısı bozulmadan dehidratasyona uygunluğudur. Bu özellikler zeoliti diğer mineral katkılardan üstün kılmaktadır. Zeolitin moleküler elek olması zeolitin öğütülmesini kolaylaştırmakta, özgül yüzeyinin normal portland çimentosunun özgül yüzeyinden yüksek olması beton içinde boşlukların azalmasını sağlamaktadır. Zeolitin çimento'dan düşük yoğunluğa sahip olması, betonun birim ağırlığını da düşürmekte ve normal betona göre birim ağırlığı daha düşük betonlar elde edilmektedir

1756 yılında Cronstedt tarafından, ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyu dışarı çıkartırken köpürmelerinden dolayı "kaynayan taş" olarak isimlendirilen zeolitler, alkali ve toprak alkali, kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlar olarak tanımlanır [3]. Dünya nüfusunun artması, basit ve tek katlı yapılar yerine, karmaşık ve çok katlı yapıların kullanımının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bina yüksekliği ve kat sayısı arttıkça, kullanılan malzemenin niteliği de önem kazanmaktadır [4]. Aynı zamanda klinker üretiminde çok fazla miktarda enerji tüketilmektedir. 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 [5]. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzolanik çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini

sağlayabilmektedir [4]. 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 [6]. Çimento üretiminde harmanlama veya yüksek miktarda mineral katkı kullanımı çimento üretimini ekolojik açıdan daha kabul edilebilir bir seviyeye getirmektedir [7]. Bu amaçla yapılan çalışmalarda beton ve betonu oluşturan malzemelerin niteliğinde değişkenlikler yaparak olası gaz salınımlarını azaltmak, zati ağırlığı düşürmek, ekonomi sağlamak gibi çimento üretimini daha uygun şartlara getirmek için yeni malzemeler kullanılmaktadır. Zeolit te bu malzemelerden bir tanesidir. Frontera ve arkadaşları zeolit katkıli kendiliğinden yerleşen betonları inceledikleri çalışmalarında zeolitin betonun viskozitesine etki ettiğini belirtmişlerdir [8].

Bu çalışmada, zeolit ve zeolit + silika dumanı katkısının betonun dayanım ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, zeolit ve zeolit + silika dumanı içeren beton karışımlarının basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, basınçlı su geçirgenlikleri, kapilarite katsayıları ve su emmeleri 28.günde test edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri ile beton karışımlarında kullanılan malzeme oranlarına yer verilmiştir.

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Bu çalışmada çimento olarak CEM I 42.5 N Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir

2.1.2. Zeolit

Bu çalışmada, doğal zeolit olarak Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolit kullanılmıştır. Kullanılan zeolitin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

2.1.3. Silis Dumanı

Çalışmalarda kullanılan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalurji fabrikasından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan silis dumanının

özgül ağırlığı $2,32 \text{ gr/cm}^3$ ve birim ağırlığı 245 kg/m^3 tür. Silis dumanının $45 \text{ } \mu\text{m}$ elek üzerinde kalıntısı %4.8 dir. Silis dumanının kimyasal ve fiziksel analizi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Zeolit, Silis Dumanı ve CEM I Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

	Çimento Tipi	PÇ 42.5	Zeolit	Silis dumanı
Fiziksel Özellikleri	Özgül ağırlık, g/cm^3	3,12	2,39	2,32
	200 μ elekte kalan %	0.00	-	-
	90 μ elekte kalan %	0.40	0,45	-
	Özgül yüzey (Blaine), (cm^2/g)	2919	16080	21080
Kimyasal Bileşim (%)	Alüminyum oksit (Al_2O_3)	6,11	11,3	0,71
	Silisyum dioksit (SiO_2)	21,52	64,35	90,36
	Kalsiyum oksit (CaO)	59	1,51	0,45
	Demir oksit (Fe_2O_3)	3,81	1,41	1,31
	Kükürt trioksit (SO_3)	2,7	-	0,41
	Potasyum oksit (K_2O)	0,11	-	1,52
	Sodyum oksit (Na_2O)	0,27	-	0,45
	Magnezyum oksit (MgO)	3,56	1,7	-
	Kızdırma kaybı	1,23	15,39	3,11
	Serbest kireç (CaO)	1,18	4,34	-
	Çözünmeyen kalıntı	0,51	-	2,2

2.1.4 Agregası

Beton üretiminde, Hatay İskenderun sınırları içerisinde yer alan taş ocakları tesislerinden elde edilen agrega kullanılmıştır. Karışımlarda, % 40 ince agrega (tane çapı 0–4 mm) , % 30 iri agrega (4–11 mm) ve % 30 iri agrega (11–22 mm) kullanılmıştır. Kullanılan agregalara ait doymun yüzey kuru birim ağırlıklar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan agregalara ait doymun yüzey kuru birim ağırlıklar

	0-4 mm kırma kum	4-11 mm kırma taş	11-22 mm kırma taş
Y_{dyk} (g/cm^3)	2.60	2.55	2.70

2.1.5. Karışım Suyu

İskenderun su şebekesine bağlı içme suyu şebekesinden alınan su karışım suyu olarak kullanılmıştır.

2.1.6. Akışkanlaştırıcı ve Özellikleri

Deney çalışmalarında hazırlanan karışımların çökme değerleri $20 \pm 2 \text{ cm}$ olacak şekilde ASTM C 494 standardına uygun süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

2.2 Metod

2.2.1. Beton Karışım Oranları

Bir metreküp beton için karışım dizaynları Çizelge 3’te verilmektedir. Karışım miktarları TS 802 (2009) yönetmeliğine uygun olarak mutlak hacim metoduna göre hesaplanmıştır. Hesaplarda bağlayıcı miktarı (450 kg/m^3) ve su-bağlayıcı oranı (0.4) sabit olarak seçilmiştir. Hapsolmuş hava miktarları TS 802’ den alınmış olup gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra ağırlıklar bulunmuştur.

Zeolit ve zeolit+silis dumanı içeren betonlar normal Portland çimentosu içeren kontrol (şahit) betonlarının değişimiyle üretilmiştir. Şahit betonlarındaki zeolit ve zeolit+silis dumanı değişimi, zeolitin %10, %20 ve %30 oranında, zeolit+silis dumanının ise %10, %20 ve %30zeolit

ve +%8 silis dumanı kısmen çimento ikamesi şeklinde yapılmıştır. Taze betonların işlenebilirliklerini düzenlemek amacıyla süper akışkanlaştırıcı bir katkı kullanılmış olup, her beton numunesi için farklı süper akışkanlaştırıcı miktarları kullanılmıştır.

Çizelge 3. 1 m³ beton için malzeme miktarları (kg)

Karışımlar	Su	Çimento	Zeolit	Silis dumanı	Süper akışkanlaştırıcı	Agrega 0-4	Agrega 4-11	Agrega 11-22
M1 (ŞAHİT)	180,0	450,0	0,0	0,0	5,6	700,9	474,7	502,6
M2 (%10 ZEOLİT)	180,0	405,0	45,0	0,0	5,6	694,2	470,1	497,8
M3 (%20 ZEOLİT)	180,0	360,0	90,0	0,0	5,6	687,5	465,6	492,9
M4 (%30 ZEOLİT)	180,0	315,0	135,0	0,0	5,6	680,7	461,0	488,1
M5 (%10 ZEOLİT-%8 SILİS DUMANI)	180,0	369,0	45,0	36,0	5,6	688,8	466,5	493,9
M6 (%20 ZEOLİT-%8 SILİS DUMANI)	180,0	324,0	90,0	36,0	5,6	682,1	461,9	489,1
M7 (%30 ZEOLİT-%8 SILİS DUMANI)	180,0	279,0	135,0	36,0	5,6	675,3	457,3	484,3



Şekil 1. Deneylerde kullanılan beton numuneler

karışımlarının altında basınç dayanımı değeri vermişlerdir. M6 ve M7 karışımlarında silika dumanının basınç dayanımına olumlu bir etkisi görülmemektedir.

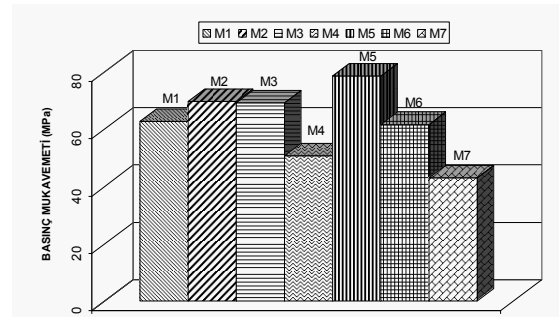
Çizelge 4. Basınç deneyi sonuçları

Karışımlar	Basınç dayanımları (Mpa)
M1	62,92
M2	69,85
M3	69,43
M4	50,91
M5	78,69
M6	61,75
M7	43,15

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.Basınç Deneyi

Çizelge 4 ve Şekil 2’de verilen 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; sadece zeolit katkılı numunelerde %20 ‘ye kadar zeolit katkısının basınç dayanımını arttırdığı daha yüksek miktarda zeolit katkısının ise dayanımı şahit numuneye göre düşürdüğü görülmektedir. Silis dumanının basınç dayanımına olumlu etkisi %10 zeolit içeren numunelerde oldukça belirgindir. Bu numuneler 78,69 MPa ile 62,92 MPa basınç dayanımına sahip şahit numunelerden oldukça yüksek basınç dayanımı değeri vermişlerdir. %20 zeolit + %8 silika dumanına sahip M6 karışımları şahit numuneye yakın dayanımı değerleri vermelerine rağmen %20 zeolit içeren M3



Şekil 2. Basınç deneyi sonuç grafiği

3.2.Yarma Deneyi

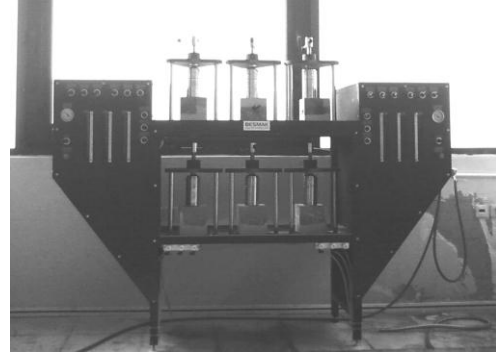
Yarma deneyi sonuçları Çizelge 5’te verilmektedir. %10 zeolit içeren M2 ve M5 karışımlarının yarma dayanımları şahit numuneden daha yüksektir. %20 zeolit içeren M3 ve M6 karışımları şahit numuneye oldukça yakın yarma dayanımı değerleri verirken, daha fazla zeolit ikamesinde yarma dayanımı düşmektedir. Silis dumanı içeren ve içermeyen her iki seride de (M2, M3, M4 ve M5, M6, M7) aynı eğilim göze çarpmaktadır. Buda kullanılan %8 oranındaki silika dumanı katkısının yarma önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5. Yarma Deneyi Sonuçları

Karışımlar	Yarma Değerleri(MPA)
M1	4,047
M2	4,314
M3	3,987
M4	3,416
M5	4,076
M6	3,877
M7	3,446

3.3.Basınçlı Su Geçirgenliği

Kürden alınan 15*15*15 cm lik numuneler, 105 C° de standart kuruluğa ulaştırıldıktan sonra, tabandan iletilen basınçlı su yüksekliğinin bulunabilmesi için tabandan 5-8 cm yüksekliğe kadar parafinle kenar yüzeyleri kaplanmış, tabandan iletilen basınçlı suyun numune içerisinde yükseldikten sonra kenarlardan çıkışı engellenmiştir. Şekil 2’ de görülen; basınçlı su geçirgenliği deney aletine yerleştirilen numuneler 5 bar basınç altında 72 saat süresince basınçlı suya maruz bırakılmıştır. 72 saat sonunda deney düzeneğinden alınan numuneler yarma deneyi yapılarak ikiye bölünmüş ve tabandan itibaren su işleme derinliği dijital kumpas yardımıyla 10’ar adet farklı noktada ölçülmüştür. Deney sonunda her bir numune için alınan bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları bulunup su işleme derinliği belirlenmiştir.



Şekil 3. Basınçlı Su Geçirgenliği Deney Düzeneği

Basınçlı su geçirgenliği deneyinden elde edilen su işleme derinliği sonuçları incelendiğinde %10 zeolit içeren M2 ve %20 zeolit içeren M3 karışımının şahit numuneden daha düşük su işleme derinliğine sahip olduğu görülmektedir. %30 zeolit içeren M4 karışımları da şahit numunenin bir altında bir su işleme derinliğine sahiptirler. Bunun yanında zeolit ile beraber kullanılan silis dumanı su işleme derinliğini dolayısıyla geçirgenliği arttırmıştır.

Çizelge 6. Basınçlı Su Geçirgenliği Deney Sonuçları

Karışımlar	Su işleme derinliği (mm)
M1	23,2
M2	19,8
M3	20,5
M4	22,2
M5	29,3
M6	25,4
M7	23,3

3.4.Su Emme Deneyi

Tüm zeolit ve silis dumanı katkılı numuneler şahit numuneden daha az su emme değeri gösterirken, en düşük su emme değerini %20 zeolit ve %8 silis dumanına sahip M6 karışımındaki numuneler göstermiştir.%20 zeolit katkısına kadar hem silis dumanı olan hem de silis dumanı olmayan numunelerde su emme değeri düşerken, %30 zeolit katkısı su emme değerini bir miktar arttırmasına karşın yinede şahit numuneden daha düşük su emme değeri göstermiştir.

Çizelge 7. Su emme deneyi sonuçları

Karışımlar	Su Emme Değerleri (%)
M1	3,216
M2	2,893
M3	2,841
M4	3,018
M5	2,791
M6	2,482
M7	3,137



Şekil 3. Kapiler Su Emme Deneyi

3.5.Kapiler Su Emme Deneyi

Kapiler su emme deneyi, Taşdemir [9]'in tarif ettiği şekilde yürütülmüştür. Bu amaçla, kür havuzundan alınan 10*10*10 cm lik numuneleri 105 C° de 24 saat bekletip standart kuruluğa ulaştıktan sonra, numunelerin 3-4 cm lik taban çevresinde ki kenarları parafinle su geçirmez hale getirilerek, numunelerin sadece tabandan su emmeleri sağlanmıştır. Bu yolla numunelerin aşağıdaki (1) nolu bağıntı kullanılarak numunelerin kapiler su emme katsayıları belirlenmiştir. Numuneler belirli zamanlarda (1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121, 144 dk.) tartılarak kapiler su emme katsayıları (1) nolu bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (1)$$

Formülde;

Q = numunenin kapilarite yoluyla emdiği su miktarı (cm³),

A= suya temas eden yüzeyin alanı (cm²),

k= kapiler su emme katsayısı (cm/s^{1/2})

t= zaman (s)

parametrelerini belirtmektedir.

Kapiler su emme katsayıları incelendiğinde bütün katkılı numunelerin şahit numuneden daha yüksek kapiler geçirgenliğe sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanında sadece zeolit içeren M2, M3 ve M4 karışımlarında artan zeolit miktarı kapilariteyi düşürürken, zeolitle beraber silis dumanı içeren numuneler de tam tersi bir durum söz konusu olmuştur.

Çizelge 8. Kapilarite Katsayıları

Karışımlar	k (cm/s ^{1/2})
M1	0,284
M2	0,445
M3	0,400
M4	0,366
M5	0,362
M6	0,389
M7	0,396

4. SONUÇLAR

Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; sadece zeolit katkılı numunelerde %20'ye kadar zeolit katkısının basınç dayanımı arttırdığı daha yüksek miktarda zeolit katkısının ise dayanımında şahit numuneye göre düşmelere neden olduğu görülmektedir. Silis dumanının basınç dayanımına olumlu etkisi ise %10 zeolit + silika dumanı içeren M5 karışımlarında açık bir şekilde görülmektedir.

%10 zeolit katkılı numunelerin yarma dayanımları şahit numuneden yüksek çıkmıştır. Buna karşılık bu numunelerde zeolit ile beraber kullanılan silika dumanı sadece %10 zeolit içeren numuneye göre yarma dayanımını düşürmüştür. %20 zeolit katkısı yarma dayanımını bir miktar düşürse de bu numuneler şahit numuneye yakın yarma dayanımlarına ulaşmışlardır.

Basınçlı su geçirgenliği deneyinden elde edilen su işleme derinliği sonuçları incelendiğinde %10 ve %20 zeolit katkısı şahit numuneye göre su işleme derinliklerini düşürmüş, dolayısıyla su geçirgenliğini azaltmıştır. %30 zeolit içeren M4 karışımları da şahit numunenin biraz altında bir su işleme derinliği değeri göstermişlerdir. Bunun

yanında zeolit ile beraber kullanılan silis dumanı su işleme derinliğini dolayısıyla su geçirgenliğini arttırmıştır.

Tüm zeolit ve silis dumanı katkılı numuneler şahit numuneden daha az su emme değeri gösterirken, en düşük su emme değerini %20 zeolit ve %8 silis dumanına sahip M6 karışımındaki numuneler göstermiştir. %20 zeolit katkısına kadar hem silis dumanı olan hem de silis dumanı olmayan numunelerde su emme değeri düşerken, %30 zeolit katkısı su emme değerini bir miktar arttırmasına karşın yinede şahit numuneden daha düşük su emme değeri göstermiştir.

Zeolitin çimentodan daha ince bir malzeme olmasından dolayı zeolit katkısı betonun mikro yapısını iyileştirmiş, bunun sonucunda da betonun boşluk oranı azalmıştır. Bu azalma özellikle basınçlı su geçirgenliği ve su emme deneyi sonuçlarına göze çarpmaktadır.

Kapiler su emme katsayıları incelendiğinde bütün katkılı numunelerin şahit numuneden daha yüksek kapiler geçirgenliğe sahip olduğu görülmektedir. Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolitin betonda %10-%20 mertebesinde kullanılması durumunda betonun geçirgenliğini azaltacağı ve dayanım değerlerini yükselteceği belirlenmiştir. Bu bulguların ışığı altında bu zeolitin betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilceği kanaatine varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. YEGİNOBALI, A., SOBOLEV, K.G., SOBOLEVA, S.V., KIYICI, B., “Yüksek Fırın Cürüflü Yüksek Dayanımlı Çimentonun Isıl Direnci”, TÇMB Çimento ve Beton Dünyası, 5, 31-47 2000.
2. CANPOLAT, F., YILMAZ, K., KÖSE, M. M., SÜMERM., YURDUSEVM. A., Use of Zeolite, Coal Bottom Ash and Fly Ash as Replacement Materials in Cement Production. Cement and Concrete Research, Vol 34, pp. 731-735, 2004.
3. DPT, “Diğer Endüstri mineralleri”,V11. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu Cilt 1/ANKARA, 1996.
4. ERDEM,E., DONAT, R., ÇETİŞLİ,H., “Hydration and Mechanical Properties of Cement Containing Zeolite”, Cement and Concrete World, Vol. 3, No. 18, pp 22-28, 1999.
5. SARIKAYA, H. Zeolit Katkılı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 73s 2006.
6. BEKTAŞ F.,UZAL B., TURANLI L. 2003. Öğütülmüş Doğal Zeolitin Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin incelenmesi. . 5. UlusalBeton Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Subesi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, 403-409
7. KİM, J.H. 1996. The Economic Viability of Portland Blast Furnace Slag Cement. Proceedings of the International Cement Conference, İstanbul, 191-204
8. FRONTERA, P., CREA, F., BALDİNO, N., GABRIELE, D., CANDAMANO ,S., Properties of Self Compacting Concrete Using a Fine Synthetic Zeolite. Fifth International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, pp.863-868, 2007.
9. TAŞDEMİR C,2003 Combined Effects of Mineral Admixtures and Curing Conditions on The Sorptivity Coefficient of Concrete. Cement and Concrete Research (2371 pp.1-6)