



THE EFFECT OF POZZOLANIC CEMENT SPESIFICATIONS IN ADDITION TO POLIELECTROLIT ON Na-CMC

Bülent YILMAZ*

*Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Seramik Mühendisliği Bölümü
Kütahya/Türkiye

* byilmaz@dumlupinar.edu.tr

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the effects of Na-CMC on cement as an alternative chemical admixture in the production of cement with metakaolin by using standard cement experiments. The blended cement mortar which was produced by the use of these Na-CMC was affected changes in the physical (specific gravity, fineness, specific surface area, compressive strength) and the chemical (water demand, setting time, soundness) characteristics. The results of the experiments showed that the Na-CMC, can be used in the ratio of up to 20% as a blend setting retarder in cements.

Key Words: *Puzzolan, Na-CMC, Clinker, Setting retarder*

Na-CMC POLİELEKTROLİT İLAVESİNİN PUZOLANLI ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada; çimento üretiminde alternatif kimyasal katkı kaynağı olabilecek Na-CMC'nin çimento özelliklerine etkisi standart çimento deneyleri ile incelenmiştir. Na-CMC katkılı çimento harçlarının, fiziksel (özellikler, özgül ağırlık, incelik, özgül yüzey, dayanım) ve kimyasal (su ihtiyacı, priz süresi, hacim genleşmesi) özellikleri kimyasal katkıdan etkilenmiştir. Deney sonuçlarından, % 20 puzolanik katkı oranına kadar Na-CMC çimentolarda priz geciktirici katkı olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Puzolan, Na-CMC, Klinker, Priz geciktirici*

1. GİRİŞ

Çimento dünyada en fazla kullanılan bağlayıcı maddelerdendir. Yoğun enerji tüketen ve CO₂ üreten bir proses olması nedeniyle küresel ısınmada önemli bir payı bulunmaktadır. Bundan dolayı çimento endüstrisinin kullandığı, enerji ve çevresel etkileri hem bilimsel

hem de dünya gündeminin sürekli tartışılan konularındandır. Çimentolarda puzolan kullanımı enerji tasarrufu ile birlikte çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Puzolanlar; diğer avantajları ile birlikte çimentoda ekonomiklik [1], geçirgenliğinin azaltılması [2], alkali agrega gelişiminin kontrolü [3], kimyasal direnç sağlanması [4], hafiflik [5], atıkların değerlendirilmesi [6-7], betonun kuruma küçülmesini azaltması [8,9] ve mukavemetlerde artış sağlanması [10-12] gibi avantajları nedeniyle üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir alandır.

Günümüzde çimento ve beton endüstrisinde puzolanlar'la birlikte kimyasal katkılarda kullanılmaktadır. Katkılar, katı veya çözelti olarak çimento yapısında kalabilmekte yüzey ile etkileşime girebilmekte ve çimento hamuru veya çimento bileşenleri ile birleşebilmektedir. Kimyasal katkıların, çimentolarla etkileşimi oldukça karmaşıktır. Bunlar çimentoların su ihtiyacı, hidrasyon ısı, hidrasyon ürünlerinin kompozisyonu, priz süresi, mikro yapı ve durabilite gibi fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir [13]. Bunların çimento tanecikleri üzerine absorblanma kapasitesi oldukça geniş aralıklarda değişmesi [14-16] nedeniyle kimyasal katkılar TS EN 934-2 standardında 11 ana grupta toplanmıştır.

Çimento ve betonun birçok özelliğini geliştirmek amacı ile polimerler uzun yıllardır çimento ve betonda kimyasal katkı olarak kullanılmaktadır Polimerle modifiye edilmiş çimentolar konusunda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [17-19]. Kimyasal katkı olarak selülozik polimerlerin kullanımı konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Mishra [20] selülozik polimerlerden; suda çözünebilir hidrosimetil selüloz, hidrosietilselüloz ve hidroksi propil metil sülüloz kullanılabileceğini belirtmiş ve % 1 Na-CMC katkısının portland çimentoların çekme dayanımını geliştirdiği ve ayrıca korozif ortamlara dayanıklı hale getirdiği raporlanmıştır.

Suda çözünen bir polielektrolit olan Na-CMC katyonlarla reaksiyona girerek emülsiyonları stabilize etmektedir. Sulu ortamda katıları süspansiyon halinde tutarak nem oranını dengelemekte ve çözelti viskozitelerini ayarlayarak yağ gres ve organik çözücülere karşı dayanıklı film oluşturması gibi özellikleri bulunmaktadır. Bu çalışma Na-CMC polimerinin puzolanlı çimentolarda kimyasal katkı olarak kullanımının araştırılması amacıyla yapılmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Malzeme

Bu çalışmada; klinker, puzolan, alçı, sodyum karboksimetil selüloz (Na-CMC), standart kum ve su kullanılmıştır. Klinker Nuh Çimento A.Ş.'nin III nolu döner fırınında üretilmiştir. Puzolan ve alçı yine aynı fabrika tarafından üretimde kullanılmaktadır. Sodyum karboksimetil selüloz Aciselsan A.Ş. temin edilmiş ASEL-LV 2 markadır.

Deneylerde kullanılan klinker alçı ve puzolan numunelerinin kimyasal ve fiziksel analizi için bu numunelerden 1000 g alınarak 105 °C da 2 saat süre ile etüvde kurutulmuştur. Daha sonra diskli bir öğütücüde öğütülerek 100 µm elek altına elenerek hazırlanmıştır.

Kimyasal analizler TS EN 196-2'ye göre Flux metodu kullanılarak ARL marka Sequantion model X-Ray spektrofotometresi (XRF) ile tespit edilmiştir. Reaktif SiO₂ ve çözünmeyen kalıntı deneyi HCl ve Na₂CO₃ metodu ile yapılmıştır. Ayrıca numuneler 975±25°C bir fırına koyularak kızdırma kaybı tayini yapılmıştır (Çizelge 1). Klinkerin kimyasal analiz sonuçlarına göre mineral içeriği Bogue formüllerinden hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1 Kullanılan Hammaddelerin Kimyasal Bileşimi (wt. %)

Oksitler	Klinker	Alçı	Puzolan
SiO ₂	22,00	0,45	67,01
Al ₂ O ₃	4,23	0,15	10,3
Fe ₂ O ₃	4,17	0,11	4,02
CaO	66,07	33,78	5,2
MgO	0,94	0,14	1,63
Na ₂ O	0,17	0,09	1,28
K ₂ O	0,54	0,01	2,35
SO ₃	0,47	46,02	0,53
L.O.I.	0,44	19,02	7,57
Çözünmeyen kalıntı			75,02
Reaktif SiO ₂			42,12

Çizelge 2 Klinkerin Minerolojik Bileşimi (Bogue hesabına göre) (wt. %)

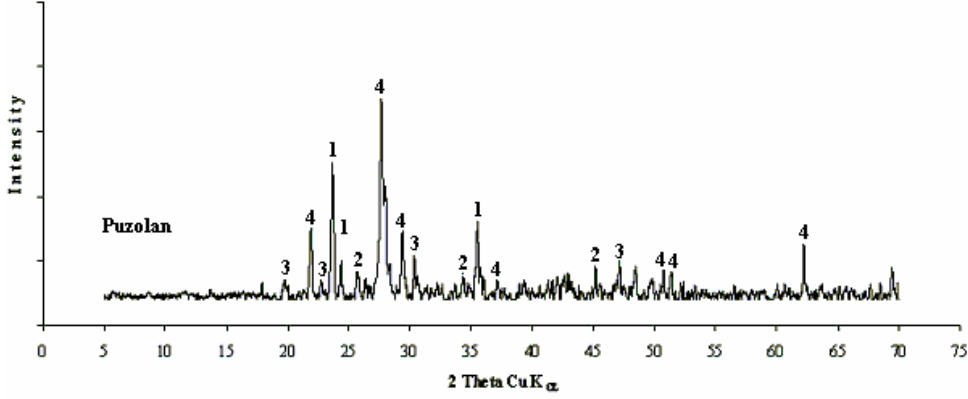
Minerolojik bileşen	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Klinker	66,05	13,44	4,15	12,69

Deneylerde kullanılan puzolanın ve çimento karışımlarının fiziksel özellikleri TS EN 196-6 ya göre tespit edilmiştir. Numunelerin özgül yüzeyleri Atomsan marka blain cihazı ile ölçülmüştür. Elek üstü değerleri Alpine marka LS-200 model cihazla 45, 90 ve 200 µm elekler kullanılarak tespit edilmiştir. Özgül ağırlıklar ise Quantachrome marka piknometre ile belirlenmiştir (Çizelge 3) .

Çizelge 3 Puzolanın elek üstü, özgül yüzey ve özgül ağırlık sonuçları (wt.%)

Malzeme	Partikül Boyutu			Blain (cm ² /g)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
	> 45 µm	> 90 µm	> 200 µm		
Puzolan	32,06	3,01	0,2	5541	2,54

Deneylerde kullanılan puzolanın mineral yapısının belirlenmesi için XRD analizleri, Rikagu Miniflex marka ZD13113 serisi X-ışınları difraktometresi yardımıyla Cu K_α (λ= 1,54056 Å) ışınması kullanılarak yapılmıştır ve Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Puzolan örneğinin XRD sonuçları (1: Albit 2: Analsim 3: Kalsit 4: Kuvars)

2.2. Yöntem

2.2.1. Puzolanik Aktivite

Puzolanik aktivite için önerilen çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Puzolanik aktivite testi TS EN 196-5'e göre yapılmıştır. Bu amaçla 150 g analitik kalitede kalsiyum hidroksit kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak puzolan ve su miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Puzolan miktarı (g)} = 300 \times (\text{Puzolanın özgül ağırlığı}) / (\text{Kalsiyum hidroksitin özgül ağırlığı})$$
$$\text{Su miktarı (mL)} = 0,5 \times (150 + \text{Puzolan miktarı})$$

Bu şekilde hazırlanan karışım harç mikserinde 1350 g CEN standart kumu ile karıştırılarak kalıplara dökülmüştür. Bu kalıplar laboratuvar ortamında 1 gün bekletildikten sonra $55 \pm 2^\circ\text{C}$ lik bir etüvde bekletilerek Atomteknik marka basınç dayanımı cihazı ile ölçülmüş $10,2 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

2.2.2. Puzolan katkılı çimentoların hazırlanması

Portland çimentosu klinkerinden alınan ağırlıkça %5 alçı taşı ilave edilerek referans çimentosu oluşturulmuştur (OPC). Aynı klinker % 20 oranında azaltılarak aynı miktarda puzolan ilave edilmiştir. Bu şekilde 4 farklı puzolanlı çimento karışımı hazırlanmıştır. Bu karışımlara sırasıyla kütlece % olacak şekilde 0, 0,05, 0,1 ve 0,5 oranlarında Na-CMC ilave edilmiştir. % 40 puzolan katkılı çimentolarda aynı şekilde hazırlanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4 Çimento numunelerinin karışım oranları (wt. %)

Karışım	Klinker	Alçı	Puzolan	Na-CMC
<i>Klinker-alçı</i>				
OPC	95	5	0	0
<i>Klinker-alçı-(% 20 puzolan)</i>				
20PKÇ1	75	5	20	0
20PKÇ2	75	5	20	0,05
20PKÇ3	75	5	20	0,1
20PKÇ4	75	5	20	0,5
<i>Klinker-alçı-(% 40 puzolan)</i>				
40PKÇ5	55	5	40	0
40PKÇ6	55	5	40	0,05
40PKÇ7	55	5	40	0,1
40PKÇ8	55	5	40	0,5

Hazırlanan bu numuneler 4 kg kapasiteli laboratuvar tipi bilyalı değirmende 4500-4700 cm²/g olacak şekilde öğütülmüşlerdir. Üretilen bu çimentoların kimyasal analizi TS EN 196-2 ye göre belirlenmiştir. (Çizelge 5) fiziksel özellikleri ise TS EN 196-6 ya göre belirlenmiştir. (Çizelge 6).

Çizelge 5 Çimento karışımlarının kimyasal bileşimi (wt. %)

Karışım	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	L.O.I.	Çözünmeyen kalıntı
OPC	22,00	4,23	4,17	66,07	0,94	0,17	0,54	0,47	0,44	-
20PKÇ1	27,47	5,04	4,53	57,15	1,04	0,48	0,80	2,32	2,52	12,17
20PKÇ2	28,14	5,18	4,57	54,69	0,88	0,48	0,76	2,41	2,93	13,88
20PKÇ3	28,38	5,92	4,38	49,35	0,94	0,45	0,83	2,61	2,89	13,8
20PKÇ4	28,41	7,51	4,25	39,51	1,08	0,51	0,83	2,35	3,05	13,97
40PKÇ5	30,82	4,70	4,67	56,87	1,28	0,45	0,76	1,77	2,73	16,46
40PKÇ6	37,15	4,99	4,40	55,16	0,43	0,58	0,92	2,4	4,46	28,96
40PKÇ7	35,37	5,77	4,10	48,52	0,85	0,58	0,89	2,43	4,14	26,82
40PKÇ8	35,35	6,34	3,63	39,89	0,89	0,61	0,92	2,31	4,39	27,52

Çizelge 6 Çimento harçlarının tanecik boyutu, özgül yüzey ve özgül ağırlık sonuçları

Harçlar	Tanecik boyutu			Blain (cm ² /g)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
	> 45 µm	> 90 µm	> 200 µm		
<i>Klinker-alçı</i>					
OPC	12,6	3,1	2,1	3915	3,03
<i>Klinker-alçı-(% 20 puzolan)</i>					
20PKÇ1	10,9	2,4	0,6	4594	3,03
20PKÇ2	13,2	1,5	0,5	4574	3,01
20PKÇ3	14,9	3,8	1,0	4512	3,02
20PKÇ4	11,3	2,1	0,7	4543	3,05
<i>Klinker-alçı-(% 40 puzolan)</i>					
40PKÇ5	15,5	1,8	0,4	4542	2,92
40PKÇ6	16,2	4,4	1,3	4678	2,88
40PKÇ7	10,8	3,1	0,8	4662	2,89
40PKÇ8	19,4	4,6	1,5	4658	2,89

2.2.3. Harçların Hazırlanması

Biri referans diğerleri katkılı olarak üretilen çimento karışımları TS EN 196-1'e göre hazırlanmıştır. Her bir karışımda 450 gram çimento, 1350 gram CEN standart kumu ve 225 mL su kullanılarak harçlar hazırlanmıştır. Bu aşamada taze harç örneklerine TS EN 196-3'e göre kıvam suyu, hacim genleşmesi ve priz süresi deneyleri yapılmıştır. Priz süresi ve kıvam suyu tayininde RMU 24100 Bergamo Viq Gremello 57 marka Vicat cihazı, silindirik şekilde sonda ve vicat iğnesi kullanılarak yapılmıştır. Hacim genleşme değerleri, pirinçten yapılmış Atom teknik marka Le-Chatelier halkası ile belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar; Çizelge 7 de gösterilmiştir.

Çizelge 7 Çimento harçlarının su ihtiyacı, priz süresi ve hacim genleşmesi sonuçları

Harçlar	Su ihtiyacı (wt. %)	Priz süresi (dakika)		Hacim genleşmesi (mm)		
		Başlama	Bitiş	Sıcak	Soğuk	Toplam
<i>Klinker-alçı</i>						
OPC	24,0	172	235	2	1	3
<i>Klinker-alçı-(% 20 puzolan)</i>						
20PKÇ1	26,5	196	259	1	2	3
20PKÇ2	26,5	236	288	2	1	3
20PKÇ3	27,0	226	298	1	1	2
20PKÇ4	32	399	538	1	2	3
<i>Klinker-alçı-(% 40 puzolan)</i>						
40PKÇ5	27,0	210	242	1	1	2
40PKÇ6	32,0	185	265	1	1	2
40PKÇ7	32,0	190	275	2	1	3
40PKÇ8	35,5	295	475	2	2	4

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Basınç dayanımının belirlenmesinde her deney için 3 adet örnek hazırlanmıştır. Deney yapılan ortamın bağıl nem içeriği % 50-60, sıcaklık ise 22 °C'dır. Üretilen taze harçlar 40x40x160 mm boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde kalıplara dökülerek sarsma cihazında sarsılmış ve harcın kalıplara yerleşmesi sağlanmıştır. Hazırlanan bu örnekler 24 saat %90 bağıl rutubetli 20±2C° de rutubet dolabında bekletilmiş ve bu sürenin sonunda kalıplardan çıkarılarak ilgili mukavemet testleri yapılıncaya dek 20±2C° da tutulan bir odada kür amacıyla musluk suyu bulunan havuzlarda sabit sıcaklık ve nem koşullarında bekletilmişlerdir. Deney gününde bu havuzlardan alınan örnekler TS EN 196-1'e uygun Toni Teknik marka mukavemet test cihazı ile basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerin sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8 Çimento harçlarının Basınç dayanımları

Harçlar	Basınç dayanımı (N/mm ²)		
	2 gün	7 gün	28 gün
<i>Klinker-alçı</i>			
OPC	23,7	39,2	58,2
<i>Klinker-alçı-(% 20 puzolan)</i>			
20PKÇ1	20,7	38,8	57,4
20PKÇ2	19,4	35,5	55,2
20PKÇ3	17,8	32,7	51,4
20PKÇ4	12,6	26,8	42,9
<i>Klinker-alçı-(% 40 puzolan)</i>			
40PKÇ5	15,8	32,2	42,6
40PKÇ6	8,9	17	30
40PKÇ7	9,9	19	34,3
40PKÇ8	6,5	12,7	23,5
Pozzolanik aktivite		10,2	-

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. İncelik

Bütün çimento örnekleri öğütülme zamanı kontrol edilerek sabit blain değerlerinde hazırlanmıştır. % 20 puzolan katkılı çimentolarda % 0,5 Na-CMC ilavesinin % 40 puzolan katkılı çimentolarda ise % 0,1 Na-CMC katkısının özellikle ince parçacıklar üzerinde öğütmeyi kolaylaştırıcı etkisi olduğu görülmüştür (Çizelge 6)

4.2. Özgül ağırlık

% 20 ve 40 puzolan katkılı çimentoların her ikisinde de özgül ağırlık değerleri Na-CMC katkılılara göre daha düşük bir değer almıştır (Çizelge 6). Bunun nedeni Na-CMC'nin çimento partikülleri ile içinde hava boşluğu bulunduracak şekilde granül oluşturmamasıdır.

4.3. Su ihtiyacı

Mineral ve kimyasal katkılar çimentoya ilave edildiğinde; çimento partikülleri tarafından adsorbe edilir. Çimento partikülleri elektrostatik kuvvetlerle birbirlerini iterler. Böylece çimento tanelerinin hareketi kolaylaşır ve betonun akışkanlık özelliği daha düşük su miktarı ile sağlanır. Karışım suyunun azalması ile orantılı olarak erken ve nihai mukavemetlerde yüksek oranda artış sağlanır. Kıvam suyu deney sonuçlarına göre % 20 katkılı çimentolarda % 0,5 Na-CMC, % 40 katkılı çimentolarda ise artan katkı oranına bağlı olarak su ihtiyacı artmıştır aynı zamanda yine % 0,5 Na-CMC katkısında da su ihtiyacı artmıştır (Çizelge 7)

4.4. Priz süresi

Çimentonun priz süresi; taneciklerin partikül boyutu, blain ve mineralojik yapısı ile yakından ilişkilidir. % 20 puzolan katkılı çimentolarda priz süresi doğrusal olarak artarken % 40 katkılılarda priz süresi % 0,05 ve 0,1 Na-CMC katkısında azalmıştır. Priz süresinin artmasının nedeni kimyasal katkının, klinker taneciklerinin üzerine bir film tabakası oluşturarak bunların reaksiyona girmesini önlemesidir. % 40 katkılı çimentolarda ise ortamda asidik yapı (SiO₂, Al₂O₃) bileşiklerin ortamda çoğalması sonucunda pH değişimi nedeni ile film tabakası oluşturamamış ve Na-CMC bu anyonları elektriksel olarak iterek Ca²⁺ nın çözeltiye geçişini hızlandırmıştır. Dolayısı ile priz süresi kısalmıştır (Çizelge 7)

4.5. Hacim Genleşmesi

Çimentolarda hacim genleşmesini etkileyen faktör içeriklerindeki CaO, MgO ve SO₃ dür. Çimento örneklerinde bu bileşenlerin artan katkı ile azaldığı görülmektedir. Na-CMC hem sıcak hemde soğuk ortamda çözünebilir bir bileşik olması nedeni ile bu durum hacim genleşmesi değerlerini de etkilemiştir. Na-CMC genleşme yapan bileşikler üzerinde bir film tabakası oluşturarak bunların reaksiyon vermelerini önlemiştir (Çizelge 7)

4.6. Basınç Dayanımı

Blain değerleri sabit olduğu halde ilk mukavemetler Na-CMC ye bağlı olarak değişmiştir. Puzolanın aktivitesi oldukça yüksek olması nedeniyle % 20 puzolan katkılı çimentonun değerleri OPC ye benzer çıkmıştır. Artan Na-CMC katkısı ile mukavemetler azalmıştır. Benzer durum % 40 katkılı çimentolarda da gözlenmiştir. % 20 puzolan katkılı çimentolarda % 0,05 Na-CMC ilavesi referans katkılı çimentoya göre yakın değerler alırken % 40 puzolan katkılılarda ise oldukça farklı değerler gelişmiştir. Bu durum diğer çimento testlerinde gözlenmiştir. Bunun temel nedeni artan puzolan katkısı ile SiO₂ ve Al₂O₃ gibi asidik bileşenlerin artışına bağlı olarak Na-CMC nin olumsuz etkisi olarak değerlendirilmiştir. Bazı ortamlarda düşük oranlarda Na-CMC çimentonun özelliklerine olumlu etkilerde bulunurken asidik ortamlarda olumsuz etkisi söz konusudur. Basınç dayanımları ile priz süresi sonuçları karşılaştırıldığında Na-CMC nin Ca(OH)₂ oluşum hızına etkili olmadığı görülmektedir. % 20 puzolanlı ortamlarda Na-CMC katkısız çimento örneğine yakın mukavemet değerleri vermesi ortamdaki suyu Na-CMC'nin absorbe ederek ortamdaki su miktarı azaldığında bunu tekrar ortama vermesi olarak düşünülmüştür.

Na-CMC aynı zamanda anyonik bir polimer olması nedeni ile ortamda bulunan puzolan kaynaklı anyonları (SiO_2 , Al_2O_3) elektriksel olarak iterek hidrasyon reaksiyonunu yavaşlatmaktadır.

Sonuçlar

- % 20 puzolan katkıli çimentolarda % 0,05 oranında Na-CMC küçük parçacıkların (45 ve 90 μm) daha kolay öğütülmesini sağlamıştır. Aynı zamanda özgül ağırlığı düşük çimento üretimini sağlamıştır.
- % 20 puzolan katkıli çimentolarda % 0,05 ve 0,1 Na-CMC ilavesi su ihtiyacını artırmış olmasına rağmen % 0,5 ilave durumunda önemli ölçüde artmıştır. % 40 puzolan katkılılarda ise su ihtiyacı artan Na-CMC ile artmıştır.
- % 20 puzolan katkıli çimentolarda artan Na-CMC ile priz başlama süresi artmıştır. % 40 puzolan katkıli çimentolarda % 0,05 ve 0,1 Na-CMC katkısında ise priz süresi azalmıştır.
- % 20 ve % 40 puzolan katkıli çimentolarda % 0,05 ve 0,1 Na-CMC katkısı minimum genleşme değerleri vermiştir.
- % 20 ve % 40 katkıli çimentolarda basınç dayanımları azalmıştır.
- Na-CMC ortam pH'ından etkilenmektedir.
- Bütün özellikler göz önüne alındığında Na-CMC katkısı % 0,1 oranına kadar % 20 puzolan katkıli çimentolarda priz geciktirici olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Öneri

Na-CMC endüstride kullanım amaçlarına göre çimento süspansiyonlarına etkisi ayrıntılı olarak araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Ernst Worrell, Nathan Martin and Lynn Price “Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry” *Energy, Volume 25, Issue 12, December 2000, Pages 1189-1214*
- [2] Shiqun Li and Della M. Roy “Investigation of relations between porosity, pore structure, and Cl^- diffusion of fly ash and blended cement pastes” *Cement and Concrete Research, Volume 16, Issue 5, September 1986, Pages 749-759*
- [3] Sersale G. Prigione “Portland-zeolite-cement for minimizing alkali-aggregate expansion” *Cement and Concrete Research, Volume 17, Issue 3, May 1987, Pages 404-410R.*
- [4] V. Saraswathy, S. Muralidharan, K. Thangavel and S. Srinivasan “Influence of activated fly ash on corrosion-resistance and strength of concrete” *Cement and Concrete Composites, Volume 25, Issue 7, October 2003, Pages 673-680*
- [5] Khandaker M. Anwar Hossain “Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete” *Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 2, February 2004, Pages 283-291*
- [6] X. Fu, Y. Wang, S. Huang, X. Hou and W. Hou “The influences of siliceous waste on blended cement properties” *Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 6, June 2003, Pages 851-856*
- [7] Xinghua Fu, Zhi Wang, Wenhong Tao, Chunxia Yang, Wenping Hou, Youjun Dong and Xuequan Wu “Studies on blended cement with a large amount of fly ash” *Cement and Concrete Research, Volume 32, Issue 7, July 2002, Pages 1153-1159*
- [8] Chindapasirt, S. Homwuttivong and V. Sirivivatnanon “Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar” *Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 7, July 2004, pages 1087-1092P.*
- [9] V. Kanna, R. A. Olson and H. M. Jennings “Effect of shrinkage and moisture content on the physical characteristics of blended cement mortars” *Cement and Concrete Research, Volume 28, Issue 10, October 1998, Pages 1467-1477*
- [10] Ş. Erdoğan and Ş. Kurbetci “Influence of cement composition on the early age flexural strength of heat-treated mortar prisms” *Cement and Concrete Composites, Volume 27, Issues 7-8, August-September 2005, Pages 818-822*
- [11] B.Y. Pekmezci and S.Akyüz “Optimum usage of a natural pozzolan for the maximum compressive strength of concrete” *Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 12, December 2004, Pages 2175-2179*

- [12] L. Turanlı, B. Uzal and F. Bektas “Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans” *Cement and Concrete Research*, Volume 34, Issue 12, December 2004, Pages 2277-2282
- [13] Ramachadran V.S. (Ed) “Concrete Admixtures Handbook” Noyes Publications, New Jersey, USA, 1995
- [14] M.S. Akman “ Yüksek performanslı betonların taze haldeki özellikleri üzerine katkı maddelerinin etkisi” Sika Teknik Bülteni, 2000
- [15] N.Parlak, M.S. Akman, “Lignosülfanatların üretimi, özellikleri ve süper akışkanlaştırıcı olarak geliştirilmesi” Sika Teknik Bülteni, 2002
- [16] A.R. Sağlam, M.S. Akman, “ Yüksek performanslı betonlarda işlenebilme açısından çimento ile süperakışkanlaştırıcı katkının uyumu” Sika Teknik Bülteni, 2002
- [17] Birchall, A.J. Howard, K. Kendall, Nature 289 (5769) (1981) 388.
- [18] Moriyoshi, I. Fukai, M.A. Takeuchi, Nature 344 (6263) (1990) 203.
- [19] M. Darbik, R.C.T. Slade, Br. Ceram. Trans. 94 (1995) 224.
- [20] P. C. Mishra, V. K. Singh, K. K. Narang and N. K. Singh Effect of carboxymethyl-cellulose on the properties of cement *Materials Science and Engineering A*, Volume 357, Issues 1-2, 25 September 2003, Pages 13-19
- TS EN 196-1 Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım
- TS EN 196-2 Çimento Deney Metotları- Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi
- TS EN 196-3 Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini
- TS ENV 196-4 Çimento - Deney Metodları - Bölüm 4: Katkı Miktarı Tayini
- TS EN 196-5 Çimento Deney Metotları- Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini
- TS EN 196-6 Çimento Deney Metotları-Bölüm 6 :İncelik Tayini
- TS EN 934-2 Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme

