

SODYUM SÜLFAT İLE AKTİFLEŞTİRİLEN UÇUCU KÜL KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

**Cengiz Duran ATIŞ¹, Okan KARAHAN¹, Cahit BİLİM^{*2}, Fatih ÖZCAN³,
Umur Korkut SEVİM⁴**

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi Kayseri, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

³İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye

⁴İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

Geliş / Received: 12.10.2015

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 18.12.2015

Kabul / Accepted: 06.01.2016

ÖZ

Portland çimentosunun icadından önce mineral katkıları sönmüş kireçle karıştırılarak harç imalinde bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Günümüzde de mineral katkıları, ekonomik olduklarından ve özellikle taze ve sertleşmiş beton ile harcın bazı özelliklerinde faydalı değişiklikler sağladıklarından, çimentoyla birlikte kullanılmaktadır. Çalışmada, Portland çimentosuna yüksek oranda kalsiyum içeren uçucu kül ve aktifleştirici susuz sodyum sülfat (Na_2SO_4) ilaveleriyle üretilmiş harç numunelerinin dayanımları incelenmiştir. Uçucu kül, çimento ile ağırlıkça % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında ikame edilerek kullanılırken, sodyum sülfat ise toplam bağlayıcı miktarının % 0, % 2 ve % 4 oranlarında kullanılarak kum/çimento oranı 2,75 ve su/çimento oranı ise 0,485 olan harç numuneleri üretilmiştir. Uçucu kül katkıları harç numunelerine susuz sodyum sülfatın aktivatör olarak ilavesinin, harç numunelerinin boşluk oranlarına ve basınç ile eğilmede çekme dayanımlarına etkileri 3, 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tespit edilmiştir. Bulgular, uçucu külün % 20 ikame oranına kadar kullanılabilirliğini, erken yaş dayanım kayıplarının ise bağlayıcı miktarının en fazla % 2'si kadar Na_2SO_4 kullanılarak telafi edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, harç, basınç dayanımı, eğilme dayanımı

THE PROPERTIES OF SODIUM SULFATE-ACTIVATED CEMENT MORTARS CONTAINING FLY ASH

ABSTRACT

Prior to the invention of Portland cement, mineral admixtures had been used by blending with calcium hydroxide in the production of mortar mixtures. Today, since the mineral admixtures are economic and ensure useful alterations in some properties of fresh and hardened concrete and mortar, they have been used with Portland cement. In this study, the strengths of cement mortars containing high calcium fly ash and sodium sulfate (Na_2SO_4) as activator were examined. While fly ash was used at 10%, 20%, 30% and 40% replacement by weight of cement, sodium sulfate was used 2% and 4% by mass of binder. The mortar mixture proportions were 1:2.75:0.485 by weight of cement, sand and water, respectively. The effects of addition of sodium sulfate into cement mortars were investigated through the porosity, compressive and flexural strength tests at 3, 7, 28 and 90 days. The findings showed that fly ash could be used in the cement mortars up to 20% replacement ratio, and that the early term strength losses could be compensated by using 2% sodium sulfate in the mixture.

Keywords: Fly ash, mortar, compressive strength, flexural strength

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 324 361 00 01; e-mail/e-posta: cbilim@mersin.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde beton üretiminde, maliyetin azaltılması ve daha iyi bir performansın elde edilmesi için pek çok araştırmalar yapılmaktadır. Diğer taraftan çağımızda hızlı bir endüstrileşme olmakta ve buna paralel olarak gerek malzeme ve gerekse enerji tasarrufuna verilen değer de artmaktadır. Endüstrileşmeyle birlikte atık olarak doğaya terk edilen ve gündün güne doğanın daha çok kirlenmesine neden olan birçok yan ürün oluşmaktadır. Atık olarak doğaya terk edilen bu ürünlerin çoğunun malzeme özellikleri açısından inşaat sektöründe değerlendirilebileceği yapılan araştırmalarla [1] belirlenmiştir. Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip olmasını önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması sonucu çevrede oluşacak problemleri en aza indirmektedir.

Ülkemizde bu duruma, enerji üretimi için yaygın olarak kullanılan termik santraller en iyi örnektir. Uçucu küller, kömürle çalışan termik santrallerin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir. Kömürün içinde bulunan inorganik malzemeler fırında erimekte ve bacadan atılma esnasında soğuyarak küresel tanecikler oluşturmaktadır. Bu tanecikler hava kirliliğini önlemek amacıyla çeşitli yöntemlerle toplanmaktadır. Uçucu kül adı verilen bu tanecikler, kömürle çalışan termik santrallerin baca çıkışlarından elektrostatik filtrelerle tutulması ile elde edilen çok ince toz şeklinde ve puzolanik niteliğe sahip bir malzemedir [2].

Uçucu küllerin kullanım alanları günümüzde oldukça fazladır. Bunlar arasında; çimento üretiminde puzolanik katkı maddesi ve beton içinde ikincil bağlayıcı madde olarak çimentoyla birlikte, tuğla ve yapı bloğu üretiminde, suni agrega üretiminde, zemin iyileştirme enjeksiyon uygulamalarında, dolgu malzemesi olarak, yol inşaatlarında temel ve temel altı tabakası olarak ve zirai amaçlarla kullanım sayılabilir [3].

Uçucu külün gerek normal betonda gerekse de yüksek dayanımlı betonlarda kullanımını üzerinde yapılan araştırmalara göre, uçucu kül taze betonda; işlenebilmeyi kolaylaştırmakta, hidrasyon ısısını düşürmekte, terleme olayını azaltmakta, sertleşmiş betonda; ileriki yaşlarda beton dayanımını artırmakta, permabiliteyi düşürmekte, alkali-agrega reaksiyonunu ve hacim değişimini azaltmakta, sülfat etkilerine karşı dayanıklılığı artırmakta ve ekonomi sağlamaktadır [4]. Bunun yanı sıra uçucu külün betonda kullanımını; priz süresini geciktirmekte, plastik rötre riskini artırmakta, erken dayanım kazanmayı geciktirmektedir [5].

Uçucu külün olumlu katkılarının yanı sıra, olumsuz etkilerinden biri olan ilk günlerdeki dayanım kaybını azaltmak amacıyla aktivatör kullanımını üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Erken dayanım kaybını telafi etmek amacıyla birçok kimyasal aktivatör betonların hidrasyonunu da kullanılmaktadır. Sodyum sülfat da çok etkili ve ekonomik kimyasal aktivatörlerden birisidir. Bu kimyasal katkılar betonun hidrasyonunu hızlandırarak, erken dayanım kazanmalarını sağlamaktadırlar [6]. Uçucu kül katkı oranının % 20 ve % 40 olarak belirlendiği bir çalışmada, uçucu kül katkılı çimento pastalarına enjeksiyon yöntemi ile aktivatör olarak NaOH enjekte edilmesi sonucu Ca(OH)_2 miktarında ve boşluk yapısında azalma olduğu ifade edilmiştir [7]. NaOH ve sodyum silikat türü alkalilerle aktive edilmiş uçucu kül/cüruf katkılı çimento pastalarının farklı süperakışkanlaştırıcı oranlarında taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri araştırılmış ve priz süresi ile basınç dayanımlarının özellikle cüruf oranından etkilendiği belirtilmiştir. Uçucu kül/cüruf karışımı pastalarda cüruf oranının artışı ile birlikte priz süresi azalmış basınç dayanımları ise artmıştır [8].

Bu çalışmada, uçucu kül, çimento ile ağırlıkça % 0, % 10, % 20, % 30 ve % 40 ikame oranlarında yer değiştirilerek ve kimyasal aktifleştirici sodyum sülfat ise toplam bağlayıcı miktarının % 0, % 2 ve % 4 oranlarında kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Uçucu kül katkılı harç numunelerine susuz sodyum sülfatın kimyasal aktivatör olarak ilavesinin, harç numunelerinin basınç dayanımları, eğilmede çekme dayanımları ve boşluk oranları tayini deneylerine etkileri 3, 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Çalışmada Adana Çimento Sanayi tarafından üretilen standart CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmektedir. Priz süresi ise ilk ve son priz için 3,5 ve 4,5 saattir. Çimento özgül ağırlığı $3,16 \text{ g/cm}^3$ olup Blaine özgül yüzeyi $3100 \text{ cm}^2/\text{g}$ 'dir.

SODYUM SÜLFAT İLE AKTİFLEŞTİRİLEN UÇUCU KÜL KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ**Tablo 1.** Çimento ve uçucu kül kimyasal kompozisyonu (%)

| Oksit | Portland çimentosu | Uçucu kül |
|--------------------------------|--------------------|-----------|
| SiO ₂ | 20,65 | 18,95 |
| Al ₂ O ₃ | 5,60 | 7,53 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,13 | 3,82 |
| CaO | 61,87 | 51,29 |
| MgO | 2,60 | 1,58 |
| SO ₃ | 2,79 | 12,06 |
| K ₂ O | 0,14 | 1,51 |
| Na ₂ O | 0,83 | 0,32 |
| KK | 0,50 | 2,94 |

2.1.2. Uçucu Kül

Kahramanmaraş ilinin Afşin ve Elbistan ilçeleri sınırları içinde 120 km²'lik bir alanda çıkartılan linyit kömürü yakılarak enerji üretilmektedir. Uçucu kül döküm sahasına taşınıp üzeri toprakla kapatılmaktadır [1].

Afşin-Elbistan uçucu külü, reaktif kireç miktarının % 10'un üzerinde olması nedeniyle TS EN 197-1 [9]'e göre W sınıfına (kalkersi uçucu kül) girmektedir. ASTM C 618 [10]'e göre SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ değerinin % 50'nin altında kalması ve CaO > % 10 olması nedeniyle C sınıfı (yüksek kireçli) uçucu kül sınıfına uymaktadır. Bu külün TS EN 197-1'deki W sınıfı kül için istenen % 10-15 arası reaktif CaO miktarını içerdiği; ancak bu değere karşılık reaktif silis için istenen % 25'den az olmama koşulunu sağlayamamaktadır. SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (S+A+F) için ASTM C 618'de C sınıfında belirtilen S+F+A > % 50 ve TS 639 [11]'de S+F+A > % 70 şartlarını sağlayamamıştır. TS EN 450 [12] standardına göre en fazla % 3, diğer üç standarda göre en fazla % 5 ile sınırlandırılan SO₃ miktarı da % 12,06 olmak üzere sınır dışındadır. Yine, TS EN 450 standardında serbest kireç için en fazla % 1 koşulu, yüksek kireçli uçucu kül olduğu için sağlanamamıştır. Kızdırma kaybı, MgO ve Cl içerikleri standartlarda verilen sınır değerler içinde kalmıştır. Afşin-Elbistan Termik santralinden elde edilen uçucu külün kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. Standartlara göre Afşin-Elbistan külü standart dışı bir küldür [1]. Uçucu kül özgül ağırlığı 2,7 g/cm³ olup Blaine özgül yüzeyi ise 2900 cm²/g'dır.

2.1.3. Kum

Maksimum tane çapı 4 mm olan, yıkanmış temiz haldeki doğal ince agrega etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. İnce agrega su emme kapasitesi ve kuru yüzey doygun özgül ağırlık değerleri TS 3526 [13]'ya göre bulunmuştur. İnce agreganın kuru yüzey doygun özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi sırasıyla 2,67 g/cm³ ve % 1,5 olarak bulunmuştur. İnce agrega elek analizi Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. İnce agrega elek analizi sonuçları

| Elek Açıklığı (mm) | Elek Üzerinde Kalan (g) | Elek Üzerinde Kalan (%) | Yığılımlı Kalan (%) | Elekten Geçen (%) |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
| 4 | 5 | 0,1 | 0,1 | 99,90 |
| 2 | 720 | 14,4 | 14,5 | 85,5 |
| 1 | 840 | 16,8 | 31,3 | 68,7 |
| 0,5 | 850 | 17,0 | 48,3 | 51,7 |
| 0,25 | 1850 | 37,0 | 85,3 | 14,7 |
| Tava | 735 | 14,7 | 100,0 | 0,0 |

2.2. Metot**2.2.1. Karışım Oranları**

Yapılan bu çalışmada hazırlanan harç karışımları için kum/bağlayıcı oranı 2,75 ve su/bağlayıcı oranı ise 0,485 olarak alınmıştır. Uçucu kül içeren harç karışımlarında uçucu kül çimento ile % 0, % 10, % 20, % 30 ve % 40

C.D. ATİŞ, O. KARAHAN, C. BİLİM, F. ÖZCAN, U.K. SEVİM

oranlarında ağırlıkça ikame edilmiş ve kimyasal aktivatör sodyum sülfat ise toplam bağlayıcı miktarının % 0, %2 ve % 4 oranlarında kullanılmıştır. Hazırlanan harç karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Harç karışım oranları

| Karışım Kodu | Çimento (g) | Uçucu Kül (g) | Kum (g) | Su (mL) | Na ₂ SO ₄ (g) |
|--------------|-------------|---------------|---------|---------|-------------------------------------|
| A1 | 3000 | 0 | 8250 | 1455 | 0 |
| A2 | 3000 | 0 | 8250 | 1455 | 60 |
| A3 | 3000 | 0 | 8250 | 1455 | 120 |
| B1 | 2700 | 300 | 8250 | 1455 | 0 |
| B2 | 2700 | 300 | 8250 | 1455 | 60 |
| B3 | 2700 | 300 | 8250 | 1455 | 120 |
| C1 | 2400 | 600 | 8250 | 1455 | 0 |
| C2 | 2400 | 600 | 8250 | 1455 | 60 |
| C3 | 2400 | 600 | 8250 | 1455 | 120 |
| D1 | 2100 | 900 | 8250 | 1455 | 0 |
| D2 | 2100 | 900 | 8250 | 1455 | 60 |
| D3 | 2100 | 900 | 8250 | 1455 | 120 |
| E1 | 1800 | 1200 | 8250 | 1455 | 0 |
| E2 | 1800 | 1200 | 8250 | 1455 | 60 |
| E3 | 1800 | 1200 | 8250 | 1455 | 120 |

2.2.2. Numune Hazırlama

Şahit ve uçucu küllü harç karışımlarından TS EN 196-1 [14]'e göre 40×40×160 mm prizma numuneler hazırlanmış ve bir gün sonra kalıplardan alınarak, 23±2°C deki kür tankına konulmuştur. Prizma numuneler yardımıyla önce dört nokta eğilme yüklemesi ile eğilme dayanımları tespit edilmiş olup ikiye bölünen prizma parçaları üzerinde de basınç dayanımları tespit edilmiştir. Dayanım ölçümleri TS EN 1015-11 [15]'e göre 3, 7, 28 ve 90 günlük zaman dilimlerinde yapılmıştır. Diğer taraftan, prizma numunelerin boşluk oranı ve su emme değerleri ise TS 3624 [16]'e göre 3, 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tespit edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Eğilmede Çekme Dayanımı

Çalışmada üretilen harç karışımlarından elde edilen eğilmede çekme dayanımları Tablo 4'te verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Na₂SO₄ ilavesinin sadece 3 günlük dayanımlarda çok az artım etkisi gösterdiği, diğer zamanlarda ise dayanımları düşürme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca kül ikamesinin etkisi incelenirse, kül ikamesi artıkça eğilme dayanımlarında düşüş gözlenmektedir. % 10, % 20, % 30 ve % 40 kül ikamelerinde 90 günlük eğilme dayanımındaki düşüş şahit betona kıyasla sırasıyla % 13, % 13, % 24 ve % 25'tir.

3.2. Basınç Dayanımları

Çalışma sonucunda üretilen harç karışımlarından elde edilen basınç dayanımları Tablo 5'te verilmektedir. Tüm karışımlarda, genel olarak Na₂SO₄ kimyasal aktivatör ilavesinin harç numunelerinin 3 ve 7 günlük dayanımlarında artış sağladığı, yani dayanım kazanmalarını hızlandırdığı, ancak kazanılan bu dayanımların sonraki günlerde ve özellikle de 90 günlük dayanımlarını azalttığı görülmüştür. Uçucu kül oranı yüksek olan %30 ve %40 harç numunelerinde aktivatör ilavesinin etkisi daha açık ve fazla görülmektedir. Uçucu kül ikamesi artıkça dayanımlarda düşmeler gözlenmiştir. Özellikle erken dayanımdaki düşüş daha anlamlıdır. Ancak % 10 ve % 20 ikame oranlarında 90 günlük basınç dayanımları şahit beton dayanımına eşdeğer veya daha yüksek bulunmuştur.

*SODYUM SÜLFAT İLE AKTİFLEŞTİRİLEN UÇUCU KÜL KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ***Tablo 4.** Harç numune eğilmede çekme dayanımları

| Karışım No | 3. Gün (MPa) | 7. Gün (MPa) | 28. Gün (MPa) | 90. Gün (MPa) |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| A1 | 5,0 | 5,8 | 6,6 | 9,7 |
| A2 | 5,5 | 5,6 | 5,9 | 9,2 |
| A3 | 5,0 | 5,4 | 5,2 | 9,1 |
| B1 | 4,8 | 5,4 | 6,0 | 8,4 |
| B2 | 4,0 | 5,4 | 5,5 | 8,1 |
| B3 | 4,0 | 4,9 | 5,6 | 7,0 |
| C1 | 3,0 | 4,2 | 6,8 | 8,4 |
| C2 | 3,6 | 4,0 | 6,2 | 8,1 |
| C3 | 3,4 | 3,4 | 5,0 | 6,0 |
| D1 | 2,0 | 2,8 | 5,6 | 7,3 |
| D2 | 2,7 | 3,3 | 4,1 | 7,0 |
| D3 | 2,9 | 2,9 | 3,6 | 4,6 |
| E1 | 1,9 | 2,4 | 3,1 | 7,2 |
| E2 | 1,8 | 2,5 | 2,9 | 4,1 |
| E3 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 |

Tablo 5. Harç numune basınç dayanımları

| Karışım No | 3. Gün (MPa) | 7. Gün (MPa) | 28. Gün (MPa) | 90. Gün (MPa) |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| A1 | 30.5 | 45.2 | 57.1 | 64.1 |
| A2 | 34.0 | 45.7 | 60.6 | 60.8 |
| A3 | 36.8 | 40.1 | 56.4 | 58.1 |
| B1 | 29.5 | 37.9 | 61.3 | 71.8 |
| B2 | 30.2 | 45.2 | 60.2 | 68.7 |
| B3 | 30.3 | 39.2 | 58.7 | 65.7 |
| C1 | 16.9 | 29.7 | 53.0 | 65.6 |
| C2 | 20.3 | 30.1 | 50.4 | 63.3 |
| C3 | 19.0 | 30.5 | 46.2 | 62.1 |
| D1 | 10.1 | 18.7 | 39.9 | 56.5 |
| D2 | 20.4 | 24.7 | 31.3 | 54.2 |
| D3 | 20.4 | 23.3 | 31.6 | 47.7 |
| E1 | 9.5 | 16.7 | 23.3 | 44.3 |
| E2 | 10.0 | 18.7 | 20.7 | 33.6 |
| E3 | 15.9 | 18.8 | 23.2 | 26.1 |

3.3. Boşluk Oranı ve Su Emme Değerleri

Laboratuvar çalışması sonucunda üretilen harç karışımlarından elde edilen boşluk ve su emme oranları Tablo 6'da verilmektedir. Su emme oranlarının parantez içerisinde verildiği Tablo 6'ya göre, karışımlardaki artan uçucu kül oranının aynı günler içerisinde boşluk oranını arttırdığı görülmektedir. Aynı şekilde uçucu kül oranı arttıkça harçların su emme değerleri de artmaktadır. Kimyasal aktivatör olarak Na₂SO₄ ilavesinin ise harçların ileriki yaşlarında bir miktar boşluk ve su emme değerlerini artırma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Harç numunelerin boşluk ve su emme oranları (parantez içerisinde verilmiştir)

| Karışım No | 3. Gün (%) | 7. Gün (%) | 28. Gün (%) | 90. Gün (%) |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A1 | 18,1 (8,6) | 16,8 (7,8) | 15,2 (7,6) | 12,5 (5,7) |
| A2 | 18,3 (8,7) | 17,8 (8,4) | 16,0 (7,4) | 13,6 (6,3) |
| A3 | 17,9 (8,5) | 16,6 (7,8) | 16,0 (7,5) | 13,9 (6,5) |
| B1 | 18,7 (9,0) | 17,3 (8,1) | 15,8 (7,3) | 13,7 (6,3) |
| B2 | 18,4 (8,8) | 17,3 (8,2) | 15,8 (7,4) | 13,3 (6,2) |
| B3 | 18,2 (8,7) | 17,8 (8,4) | 16,6 (7,8) | 14,1 (6,6) |
| C1 | 20,9 (10,1) | 18,8 (9,0) | 16,4 (7,7) | 14,9 (6,9) |
| C2 | 20,0 (9,7) | 19,1 (9,1) | 17,1 (8,1) | 14,9 (7,0) |
| C3 | 18,8 (8,9) | 18,7 (8,9) | 17,1 (8,0) | 15,6 (7,4) |
| D1 | 20,8 (10,0) | 19,8 (9,5) | 17,4 (8,2) | 16,2 (7,6) |
| D2 | 19,9 (9,6) | 19,4 (9,3) | 17,2 (8,2) | 15,5 (7,2) |
| D3 | 19,7 (9,4) | 19,5 (9,4) | 17,6 (8,4) | 17,2 (8,2) |
| E1 | 20,9 (10,2) | 19,4 (9,4) | 16,7 (8,0) | 17,0 (8,1) |
| E2 | 21,2 (10,4) | 20,2 (9,9) | 17,6 (8,4) | 18,3 (8,9) |
| E3 | 20,7 (10,1) | 20,5 (10,0) | 17,6 (8,5) | 19,1 (9,3) |

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre Afşin-Elbistan uçucu külünü çimento ile % 10 - % 20 mertebesinde ikame etmek mümkün görülmektedir. Erken yaşta oluşan dayanım kayıplarının ise Na_2SO_4 kullanımı ile telafi edilebileceği düşünülmektedir. 28 gün sonunda ve özellikle 90 gün sonundaki dayanımlarının Na_2SO_4 kimyasal aktivatör ilave edilmesi kendi içlerindeki şahit numunelere göre dayanımlarında azalmalara yol açmıştır. Özellikle Na_2SO_4 'ün % 4 oranında kimyasal aktifleştirici olarak kullanımı uzun dönemde dayanım kayıplarını arttırmıştır. Uçucu kül oranı arttıkça Na_2SO_4 ilavesinin kimyasal aktivatör etkisi erken dayanımlarda daha belirgin olarak görülebilmektedir. Karışımlarda % 2'lik Na_2SO_4 kimyasal aktivatör ilavesinin daha uygun olacağı görülmüş, böylece puzolan katkısının sebep olduğu erken dayanım sorunu bir miktar telafi edilebilecektir. Ayrıca Na_2SO_4 ilaveleri harçların ileriki yaşlarında bir miktar boşlukluluğu ve su emme değerlerini artırma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak mevcut uçucu külün % 20 ikame oranına kadar kullanılabilceği, erken yaş dayanım kayıplarının ise en fazla bağlayıcı miktarının % 2 si kadar Na_2SO_4 kullanılarak telafi edilebileceği yargısına varılmakla birlikte, mevcut külün kullanımıyla ilgili kapsamlı ilave durabilite çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAŞ F., YEGİNOBALI, A., Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Ar-Ge Enstitüsü TÇMB, Ankara, 2003.
- [2] ATİŞ, C.D., "Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Çimento Tabanlı Malzemeler İçinde Kullanılabilirliğinin Rötre ve Dayanım Ölçümleri ile Araştırılması", Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, 18, 2003.
- [3] SEVİM, U.K., Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçları Üzerinde Yapılacak Deneylerle Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2003.
- [4] ATİŞ, C. D., BİLİM, C., ÖZCAN, F., AKÇAÖZOĞLU, K., SEVİM, U.K., "The Use of a Non-Standard High Calcium Fly Ash in Concrete and Its Response to Accelerated Curing", *Materiales de Construcción*, 52/267, 5-17, 2002.
- [5] ERDOĞAN, T. Y., *Admixtures for Concrete*, The Middle East Technical University Press, Ankara, 1997.
- [6] ZICHAO, W., TARUN, R.N., "Properties of Concrete Produced from Multicomponent Blended Cements", *Cement and Concrete Research*, 32, 1937-1942, 2002.

SODYUM SÜLFAT İLE AKTİFLEŞTİRİLEN UÇUCU KÜL KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

- [7] PHUONG, T.B., YUKO, O., KENICHIRO, N., KENJI, K., “A Study on Pozzolanic Reaction of Fly Ash Cement Paste Activated by an Injection of Alkali Solution”, *Construction and Building Materials*, 94, 28–34, 2015.
- [8] JANG, J.G., LEE, N.K., LEE, H.K., “Fresh and Hardened Properties of Alkali-Activated Fly Ash/Slag Pastes with Superplasticizers”, *Construction and Building Materials*, 50, 169-176, 2014.
- [9] TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [10] ASTM C-618, Standard Specification for Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, *Annual Book of ASTM Standard*, 1991.
- [11] TS 639, Uçucu Küller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
- [12] TS EN 450, Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 1998.
- [13] TS 3526, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [14] TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [15] TS EN 1015-11, Kâğır Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [16] TS 3624, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1981.