

FARKLI PUZZOLANİK KATKILARIN ÇİMENTO HARÇLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF DIFFERENT PUZZOLANIC ADDITIVES ON MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT MORTARS

Özlem ÇELİK

İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Güler YURTER

Bursa Çimento A.Ş Kalite Kontrol Müdürü

Sabiha KAN

Bursa Çimento A.Ş Kalite Kontrol Şefi

H. Aygül YEPREM

Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

ÖZET: Bu çalışmada, Soma termik santralinden elde edilen uçucu kül, iki farklı tras (Yenişehir, Bilecik) ve silis dumanı, çimento klinkerinin bir kısmı yerine katılmış ve elde edilen harçların basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Ağırlıkça %5 silis dumanı içeren çimentoya %10 uçucu kül katılmıştır ve tras oranları ise %30, %35 ve %40 olarak değiştirilmiştir. Bu karışımların her birinin kimyasal analizleri yapılarak Blaine özgül yüzey alanı değerleri ölçülmüştür. Bu bulgular ışığında basınç dayanım sonuçları irdelenmiştir. Yapılan denemelerde en yüksek dayanım değerlerinin Bilecik trası ile hazırlanan ve yüksek inceliğe sahip olan puzolan içeren harçlarda elde edildiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, silis dumanı, tras, tane boyutu, çimento

ABSTRACT: In this study, cement mortar samples containing fly ash obtained from Soma Power Plant, two different types of natural pozzolan supplied from Yenişehir and Bilecik and silica fume from Antalya Ferrocrom Industry partial replacement of cement clinker. The strength of the mortars prepared by these mixtures were investigated. The mixtures were prepared by using 10% fly ash and 5% silica fume and the trass contents varied as 30%, 35%, and 40%. Chemical analyses of these mixtures were carried out and Blaine specific surface area values were measured. In performed tests, the highest strength values were noticed in mortars containing natural pozzolan from Bilecik which has high fineness.

Keywords: Fly ash, silica fume, natural pozzolan, particle size, cement

Giriş

Uçucu kül ve silis dumanının çimento ve betonun özelliklerine olan etkileri ile ilgili olarak pek çok araştırma mevcuttur.

Uçucu kül, silis dumanı gibi puzolanik bir malzemedir. Alüminli ve silisli yapıya sahip, ince taneli durumdaki bütün puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksit ile karıştırılarak su ile birleştirildiğinde, oluşan hidrasyon sonucu Portland

çimentosunda olduğu gibi C-S-H jellerinin oluşmasını sağlarlar ve bağlayıcı özellik kazanırlar (Erdoğan, 1993).

Silis dumanının çok ince taneli olması ve yüksek oranda SiO₂ içermesi nedeni ile puzolanik reaksiyonların çok erken yaşlarda başlamasına neden olmaktadır. Puzolanik reaksiyonların çimentonun hidratasyonunun başlangıcından 1 gün sonra başladığını, 3. günden sonra belirgin hale geldiğini ve 28. günde büyük ölçüde tamamlandığını araştırmalar göstermiştir (Çark ve Sümer, 1996).

Silis dumanı- uçucu kül-çimento üçlü sisteminde ise, beton basınç dayanımının gelişimi üzerindeki etki mekanizmaları farklı olan bu iki mineral katkı maddesinin birbirlerinin eksiklerini giderecekleri ve hem erken dayanımların hem de 28 gün ve sonrası dayanımların yüksek olduğu betonlar üretmenin mümkün olduğu tespit edilmiştir (Özturan, Özel ve Şigaher, 1996).

Hem doğal hem de yapay puzolanları ihtiva eden çimentolarda oluşan bileşenlerin yapısıyla ilgili olarak, farklı oranlarda olmasına rağmen Portland çimentosu hidratasyonundaki oluşum ile aynı olduğu söylenebilir. Hidratlı pastalar genellikle, klinkerin hidratasyonu sırasında oluşan primer CSH'den ve puzolanik reaksiyonun etkisi ile başarılı bir şekilde oluşan CSH'den meydana gelmiştir. Oluşan diğer hidratlı fazlar, sertleşmiş Portland çimento pastalarında bulunan fazlara çok benzer. Puzolan ilavesi erken dönemlerde çimento ve beton dayanımını düşürür, ilave edilen puzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak nihai basınç dayanım değeri Portland çimentosunun nihai değerini aşabilir. Puzolan ilavesi belli yüzdeleri aştığı zaman dayanım değerleri hızla düşmektedir. Çünkü tam bir reaksiyon için kireç miktarının yetersiz olması nedeniyle puzolan fazlası sertleşmeye katkıda bulunmaz (Massazza, 1989).

Ortalama incelikteki (3000-4000 cm²/g) bir puzolan ikamesiyle betonda ya da harçlarda oluşan dayanım kaybının belli bir süre sonunda kullanılan puzolan türüne ve ikame miktarına bağlı olarak yok edileceği yapılan bir çalışmada belirtilmektedir. Öğütülmüş puzolan ilavesi yapılmış harçların 1 yılda kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerlerini yakaladığı ve hatta geçtiği belirtilmiştir (Erdoğan ve ark., 2003).

İnceliğin artmasıyla çimento harçlarının basınç dayanımlarındaki artışın öğütülme süresine bağlı olarak yükseldiği yapılan diğer bir çalışmada belirtilmiştir (Shih-Cheng Pan ve ark., 2003).

Yapılan başka bir çalışmada uçucu külün miktarından çok ince partiküllü oluşundan kaynaklanan etkinin (lubrication effect) basınç dayanımlarının artışında daha önemli olduğu belirtilmektedir (Aiqin ve ark., 2003).

Bu çalışmada doğal ve yapay puzolanlar bir arada klinkere katılmış ve kullanılan malzemelerin inceliklerinin basınç dayanımları üzerine olan etkileri incelenmiştir. Soma uçucu külü 6 ay boyunca getirtilen numunelerin harmanlanmasından elde edilmiştir. Bu külün 6 ay boyunca getirtilmesinin amacı, malzeme karakterizasyonunu daha iyi oluşturabilmek içindir.

Malzeme ve Yöntem

1. Kullanılan Malzemeler

1.1 Çimento

Bu çalışmada Bursa Çimento A.Ş.'de üretilen PÇ 42.5 tip çimento kullanılmıştır.

1.2 Uçucu Kül

Bu çalışmada kimyasal bileşimleri aşağıda belirtilmiş olan ve Soma termik santralinin 4. ünitesine ait uçucu kül kullanılmıştır. Bu uçucu kül, klinkere %10 sabit oranında katılmıştır. Kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmektedir.

1.3 Silis Dumanı

Silis dumanı, Etibank Antalya Elektrometalurji tesislerinin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir ve klinkere %5 sabit oranında katılmıştır. Araştırmalarda ve pratikte kullanılan silis dumanları genellikle %75 ve yukarı oranlarda ferrosilisyum içeren alaşımlardan elde edilmiştir (Yeğinobalı, 2002). Kimyasal bileşimi ise Tablo 1.'de verilmiştir.

1.4 Tras

Denemelerde, Yenişehir ve Bilecik trası olmak üzere iki farklı tras, %30, %35, %40 değişen oranlarında klinkere katılmıştır ve kullanılan trasların kimyasal bileşimleri Tablo 1.'de belirtilmiştir.

1.5 Kum

Bu çalışmada standart kum kullanılmıştır.

Tablo 1. Tras, Uçucu Kül ve Silis Dumanının Kimyasal Analizleri

	Soma	ASTM C 618	Yenişehir trası	Bilecik trası	Silis dumanı	PÇ 42.5
SiO ₂ (S)	36.56		70.82	66.83	79.77	20.20
Fe ₂ O ₃ (F)	4.20		1.40	2.42	1.43	3.67
Al ₂ O ₃ (A)	21.08		12.35	13.41	1.25	6.55
CaO	25.72		2.42	2.21	2.06	65.23
MgO	1.21	≤ 5	0.45	1.52	3.70	1.10
Na ₂ O	0.40	≤ 1.5	4.13	1.38	1.22	0.18
K ₂ O	1.22		2.04	3.19	1.20	0.21
Çözünmeyen Kalıntı	25.57		75.89	49.10	33.74	1.44
SO ₃	3.53	≤ 5	0.00	0.00	1.54	2.33
Kızdırma Kaybı	0.40	≤ 6	5.91	10.36	5.45	1.30
S+F+A	61.84	≥ 50				

2. Metod

Basınç dayanımı deneylerinde her bir karışım için üç adet harç numunesi üretilmiş ve ortalama değerleri alınmıştır. Kontrol çimentosu %95 klinker ve %5 alçı taşından oluşmaktadır. Tüm karışımlarda alçı taşı oranı, uçucu kül ve silis dumanlı karışımlarda ise bu iki puzolanın oranları sabit tutulmuştur. Dolayısıyla klinker, ve tras (Yenişehir ve Bilecik trası) yüzdeleri değiştirilmiştir. Bütün çimentoların priz süreleri, incelik ölçümleri (Blaine ve 90-200µm elek boyutunda) ve özgül ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.'de verilmiştir.

Hazırlanan çimento numunelerinin tras, uçucu kül, silis dumanı, klinker ve alçı taşı içeren karışım oranları Tablo 2.'de belirtilmiştir. TS 640'a göre, uçucu kül katkılı çimentolara %70-90 oranında, Portland çimentosu ile %10-30 oranında katılabilmektedir. Türk standardı olarak kabul ettiğimiz Avrupa standardı TS EN 197-1 Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de genel çimentolar içinde %6-10 arasında silis dumanı içeren Portland Silis Dumanlı Çimento'ya yer vermektedir.

Harçların hazırlanmasında su/toplam bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit alınmış ve 1350g standart kum kullanılmıştır. Harçlar 4x4x16cm boyutlarındaki kalıplarda üretilmiştir. Üretilen harçlar kür havuzlarında 1, 2, 7, 28 ve 60 gün boyunca kürleme işlemine tabi tutulmuştur. Kür havuzunun sıcaklığı $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulmuştur. Üretilen harçların basınç dayanımları Çimento Fiziksel Muayene Metodları Standardı TS 24'e göre ölçülmüş, sonuçlar ise Tablo 5.'de sunulmuştur.

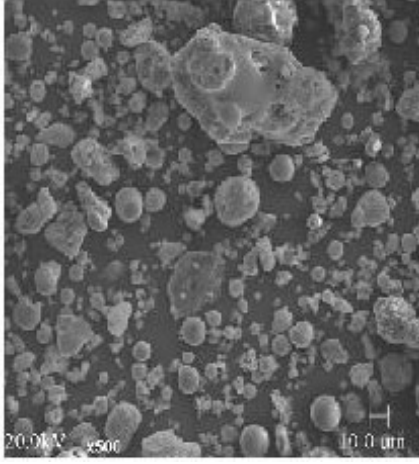
Tablo 2. Çimento Numunelerinin Karışım Oranları

Numune No	Klinker (%)	Alçı taşı (%)	Yenişehir trası (%)	Bilecik trası (%)	Soma (%)	Silis dumanı (%)
Kontrol	95	5	-	-	-	-
1	65	5	30	-	-	-
2	55	5	30	-	10	-
3	50	5	30	-	10	5
4	45	5	35	-	10	5
5	40	5	40	-	10	5
6	65	5	-	30	-	-
7	55	5	-	30	10	-
8	50	5	-	30	10	5
9	45	5	-	35	10	5
10	40	5	-	40	10	5

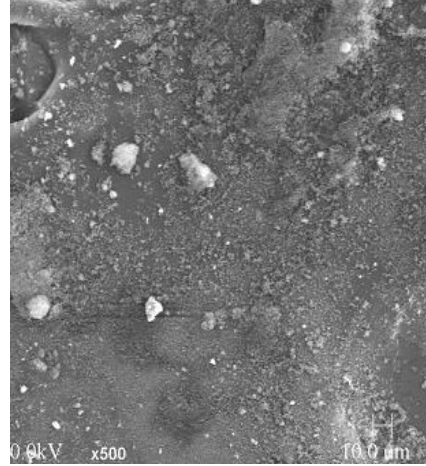
Bulgular

Uçucu Kül ve Silis Dumanının Morfolojisi

Bu çalışmada kullanılan Soma uçucu külüne ait tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Şekil 1.'de verilmiştir. Çalışma daha iyi kontrast oluşturması nedeniyle geri saçılmış elektronlar (BSE) ile yapılmıştır. SEM görüntüsünde Soma uçucu külünün küresel formda olduğu, yer yer kümeleşmelerin olmasına karşın dağılımın homojen olduğu görülmektedir. Şekil 2.'de ise daha önce yapılan bir çalışmada Antalya Elektrometalurji tesislerinden getirilen silis dumanının SEM görüntüsü verilmiştir. Silis dumanının çok ince tane boyutuna sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Soma uçucu külünün SEM görüntüsü



Şekil 2. Silis dumanının SEM görüntüsü (Çelik, 2004)

Uçucu Kül ve Silis Dumanının Tane Boyut Dağılımı

Soma uçucu külünün tane boyutu dağılımları Mastersizer-X cihazı ile ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda Soma uçucu külünün %10, 50 ve 90'ının geçtiği boyut değerleri ile ortalama tane boyutu değeri tespit edilmiştir ve sonuçlar Tablo 3.'de sunulmuştur.

Tablo 3. Uçucu kül ve silis dumanı katkılarının %10, 50 ve 90'ının geçtiği boyutlar

Numune Adı	d (10) (µm)	d (50) (µm)	d (90) (µm)	Ortalama tane boyutu (µm)
Soma	5.95	28.43	85.83	40.6
Silis dumanı	-	-	-	0.1 µm (Yeğınobalı, 2002)

Çimento Numunelerinin Fiziksel Özellikleri

Çimento numunelerin ölçülen fiziksel özellikleri Tablo 4.'de verilmiştir. Numunelerin priz süreleri ile özgül ağırlık ve incelikleri de tespit edilmiştir. Çimento numunelerinin Blaine değerleri 2991-7263 cm²/g arasında, özgül ağırlıkları ise 2.50-3.01 g/cm³ arasında değişmektedir.

Tablo 4. Çimento numunelerinin fiziksel özellikleri

Numune No	Priz Başlangıcı		Priz Sonu		İncelik		Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
	Saat	Dak	Saat	Dak	90 µm	200µm		
					Elek üstü %	Elek üstü %		
Kontrol	2	00	3	15	3.6	0.4	3.01*	2991
1	2	45	3	55	5.0	0.8	2.88	4131
2	2	55	4	05	5.0	0.8	2.84	4276
3	3	40	5	10	7.2	1.6	2.74	5541
4	3	35	4	55	8.8	1.2	2.60	5127
5	3	00	4	50	9.6	1.6	2.67	6083
6	1	45	3	05	5.6	1.8	2.70	4817
7	1	45	3	40	4.8	1.2	2.65	5031
8	1	35	3	30	7.6	2.6	2.61	6760
9	1	50	3	20	7.8	2.2	2.55	7038
10	1	50	3	25	11.0	4.0	2.50	7263

Basınç Dayanımı

Tablo 5.'de verilen 1, 2, 7, 28, 60 günlük harç basınç dayanım testinin sonuçlarından da görüleceği üzere, uçucu kül katılmasıyla harçların ilk dayanımlarında (28. gün de dahil) düşüş gözlemlenmiştir. 60 günlük dayanımlardaki en yüksek değer %30 Bilecik trası, Soma uçucu külü ve silis dumanı katkısıyla elde edilmiş ve kontrol numunesi değerinin üzerine çıkmıştır. Genel olarak, Bilecik trası ile hazırlanan karışımların basınç dayanımları Yenişehir trasına göre daha yüksek elde edilmiştir ve bu durum önceki trasın daha büyük Blaine incelik değerine sahip olması ile açıklanabilir.

Tablo 5. Çimento Harçlarının Basınç Dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımları (MPa)				
	1.gün	2.gün	7.gün	28.gün	60.gün
Kontrol	10,5	20,2	39,8	50,0	53,6
1	10,3	17,8	31,5	37,3	43,6
2	8,3	14,3	25,3	37,3	44,2
3	6,7	12,0	23,1	39,7	49,5
4	5,0	10,6	20,0	35,5	43,0
5	3,5	8,6	15,6	32,0	41,7
6	5,6	10,0	24,3	46,3	48,9
7	5,6	9,5	22,2	42,2	52,3
8	5,8	9,3	23,6	44,4	53,7
9	5,6	10,5	21,7	44,7	54,6
10	5,0	9,0	20,6	39,1	49,9

Sonuçlar ve Değerlendirme

- Bilecik trası ile 60. gün için yapılan denemelerde elde edilen basınç dayanım değerleri Yenişehir trası ile yapılanlardan daha yüksektir. Tablo 4.'deki Blaine değerlerinden de anlaşılacağı gibi Bilecik trası Yenişehir trasından daha incedir ve dayanımlar arasındaki fark bu nedenden kaynaklanabilir.
- Bütün denemelerde en yüksek basınç dayanım sonuçları 60. gün için %30-35 Bilecik trası katkılı harçlarda ölçülmüştür. Bu harçlarda ölçülen basınç dayanım değerleri bütün kür süreleri boyunca birbirine kıyasla çok yakın basınç dayanım değerleri vermişlerdir. Bu değerler kontrol harç numunesinin 60. gün basınç dayanım değerinden daha yüksektir. Diğer kür süreleri için ise kontrol harç numunesinin ölçülen basınç dayanım değerleri puzolanlı karışımlardan daha yüksektir. Bu sonuçtan da anlaşılacağı gibi tras katkılı numunelerin ilk yaşlardaki dayanımları kontrol harcının dayanımlarından düşük nihai dayanımlarda ise yüksektir.
- 1 ve 6 nolu harçlarda olduğu gibi yalnızca tras katkılı harçlardan ölçülen basınç dayanım değerleri, bütün kür süreleri için, kontrol harç numunesinin basınç dayanım değerlerinin altında kalmışlardır.
- Yenişehir trası, silis dumanı katkılı ve katkısız 3 ve 2 nolu harçlar kıyaslandığında; 60. gün basınç dayanımında silis dumanı katkısı ile 5.3 N/mm²' lik bir basınç dayanım artışı sağlandığı sonucu bulunmuştur. Bunun yanında Bilecik trası, silis dumanı katkılı ve katkısız 8 ve 7 nolu harçlar kıyaslandığında ise; 60. gün basınç dayanımında silis dumanı katkısı ile 1.4 N/mm² 'lik bir basınç dayanım artışı sağlandığı tespit edilmiştir. 8 nolu çimentonun Blaine değeri 6760 cm²/g, 3 nolu çimentonun Blaine değeri ise 5541 cm²/g'dır.
- Bütün bu sonuçlar göstermektedir ki uygun karışım oranlarında kullanıldığında endüstriyel atık olan uçucu kül ve silis dumanı Bilecik ve Yenişehir trasları ile birlikte çimentoya ikame maddeler olarak katılabilir.

Referanslar

- AIQIN, W., CHENGZHI, Z. ve WEI, S. (2003) Fly ash effects: I. The morphological effect of fly ash. *Cement and Concrete Research*, vol 33., pp.2023–2029.
- ÇARK, A.İ. ve SÜMER, M. (1996) Değişik Kür Şartlarında Silis Dumanı Kullanımının Betonun Mukavemetine Etkisi. Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar. 4. *Ulusal Beton Kongresi*, 30 Ekim-1 Kasım, İstanbul, 267-277.ss.
- ÇELİK, Ö. (2004) *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.
- ERDOĞAN, Y.T. (1993) Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, 18-19 Kasım, 1-8.ss.
- ERDOĞDU, K., TOKYA, M. ve TÜRKER, P. (2003) Traslar ve Traslı Çimentolar. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, AR-GE*, Y99-2, Ekim, 32.ss.

- MASSAZZA, F. (1989) Puzolanlar. *Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri*, 11-12 Mayıs, Ankara.
- ÖZTURAN, T., ÖZEL, M. ve ŞİGAHER, A.N. (1996) Süper akışkanlaştırıcı dozajının uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlarda işlenebilme ve dayanıma etkisi. *Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar. 4. Ulusal Beton Kongresi*, 30 Ekim-1 Kasım, İstanbul, 121-131.ss.
- SHIH-CHENG, P., DYI-HWA, T., CHIH-CHIANG, L. ve CHAU, L. (2003) Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. *Cement and Concrete Research*, vol 33, pp.1749–1754.
- YEĞİNOBALI, A. (2002) Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, AR-GE*, Y01.01, Ocak, 9.ss.