



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Taban külü ikame edilmiş kompoze çimentolarda süperakışkanlaştırıcı etkisinin araştırılması

Investigation of superplasticiser effect on blended cements replaced by bottom ash

Yazar(lar) (Author(s)): İlker TEKİN¹, Duygu TEKİN²

ORCID¹: 0000-0001-7400-4790

ORCID²: 0000-0003-0533-2699

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tekin İ. ve Tekin D., “Taban külü ikame edilmiş kompoze çimentolarda süperakışkanlaştırıcı etkisinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(1): 39-46, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.389581

Taban Külü İkame Edilmiş Kompoze Çimentolarda Süperakışkanlaştırıcı Etkisinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

İlker TEKİN^{1*}, Duygu TEKİN²

¹ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Bayburt Üniversitesi, Türkiye

² Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.03.2017 ; Kabul/Accepted : 09.04.2017)

ÖZ

Çalışmada SA'ların kompoze çimentolara etkisi ve mineral katkıların inceliğinin kimyasal katkı ile uyumu konusu amaçlanmıştır. Bu kapsamda üretilen çimento hamurları üzerinde standart kıvam, priz süreleri ve hacim genleşme deneyleri, çimento harçları üzerinde yayılma ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda Yatağan Termik Santralinden temin edilmiş 2 mm boyutlu taban külü 120 mikron ve 60 mikron olmak üzere iki farklı incelikte öğütüldükten sonra CEM I (PÇ 42,5R) tipi çimentoya ağırlıkça %0, 10%, 20% ve 30% oranlarında ikame edilmiştir. Deneyler sırasında A ve B firmalarına ait polinaftalin sülfonat (PNS) içerikli aynı özelliklere sahip süperakışkanlaştırıcı (SA) katkıları ayrı ayrı denenmiştir. Sonuçlara göre mineral katkının inceliği basınç dayanımını artırırken priz sürelerini de hızlandırmıştır. PNS esaslı SA'lar taze hamur davranışlarında özellikle priz başlangıcında kısılma ve priz bitişinde uzama gibi etkiler gösterirken harç karışımlarında önemli derecede etki oluşturmuştur. Bir diğer sonuç PNS esaslı kimyasal katkılarda firma farkı ile çimento uyumu önemli bir parametredir ve bu parametrenin özellikle çimento hamuru üzerinde önemli etkiler oluşturduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Taban külü, kompoze çimento, polinaftalin sülfonat, akışkanlaştırıcı, katkı.

Investigation of Superplasticiser Effect on Blended Cements Replaced By Bottom Ash

ABSTRACT

In the study, the main aim was determined conformity between blended cements and superplasticizer (SP) with fineness of mineral additives. Within this scope, compressive strength test and flow table test were performed on the cement mortars and standard consistency, setting times and soundness tests were performed on cement pastes which prepared with blended cements. In the experimental studies, bottom ash from Yatagan thermal power plant which was used after grinded size from 2 mm to 120 µm and 60 µm sizes was replaced with CEM I 42.5R type cement by weight 0%, 10%, 20% and 30%. Moreover superplasticizer additives which contained poly naphthalene sulfonate (PNS) from different companies were tried in blended cements. According to the results, fineness of mineral additives increased the compressive strength of the mortars and accelerated setting times. PNS based SP's affects fresh paste behaviors such as reducing initial setting times and retarding finish setting times. Another result is that company differences in PNS based chemical additives is significant parameter with cement conformity and this parameter makes up significant effects on fresh cement paste.

Keywords: Bottom ash, blended cement, polynaphthalene sulfonate, superplasticizer, admixture

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mineral katkıların çimentoda üretiminde klinker yerine kullanılması sonucunda enerji sarfiyatlarında ve zararlı gaz oluşumunda önemli azalmalar meydana gelmektedir [1]. Doğal ve yapay mineral katkıları çimentonun dayanım ve dayanıklılığını da olumlu yönde etkilemektedir. En yaygın kullanılan mineral katkıları uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, taban külü (TK), tras, pirinç kapçığı külü, mermer tozudur. Mineral katkıların en önemli etkileri çimentonun özgül ağırlıklarını ve hidrasyon ısılarını azaltmak, priz sürelerini uzatmak, erken dayanımları azaltırken geç dayanımları artırmak olarak söylenebilir [2].

Mineral katkıları puzolan ve dolgu katkısı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu katkıların çimentoda kullanılabilmesi için en az çimento inceliğinde olmalıdır. Çimentodaki bileşenlerin incelikleri ile mekanik mukavemet ve taze hamur özellikleri arasında ilişki olduğu bilinmektedir. Mineral katkıların öğütme miktarındaki artış özgül yüzey alanının artmasına sebep olur, böylece katkının kullanıldığı çimentonun hem fiziksel hem de mekanik mukavemetlerini etkiler [3,4]. Çimentoda 3-30 µm boyutlu taneler mekanik mukavemetleri önemli derecede etkilerken, 60 µm'den büyük tanelerin sadece "doldurma etkisi" olduğu belirtilmiştir [3]. Taban külü (TK) termik santrallerde atık olarak elde edilen, ağır ve büyük taneli yapıya sahip olduğu için tabana çökelen malzemelerin bütünüdür. Termik santrallerde taş kömürü yakıldığında yaklaşık

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : itekin@bayburt.edu.tr

%15, linyit kömürü yakıldığında yaklaşık %40 kül olarak çökeltmektedir [4,5].

Yapılan araştırmalarda termik santral atıkları ile ilgili sayısız çalışma bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu uçucu külü konu almaktadır. Bir kısım çalışma ise TK'yı hedef almıştır. Hopkins ve diğerleri [6] 45µm'nin altında TK'nın çimentonun özelliklerini arttırdığını belirtmiştir. Cherief ve diğerleri [7] %25 TK ikameli harç çubukları üzerinde dayanım etki indeksinin 28 günde 0,88, 90 günde de 0,97'e ulaştığını belirlemiştir. Uygun öğütme işlemiyle puzolanik aktivitenin geliştiği, 28. günde TK'nın dayanım indeksinin %27 arttığı belirtilmiştir. Jaturapitakkul ve Cheerarat [8] TK ikame oranı arttıkça su ihtiyacının da arttığı, öğütülmüş taban küllü harcın öğütülmemiş taban küllü olandan ve çimento harcından daha az su ihtiyacına sahip olduğu belirtmiştir. %30'a kadar çimento yerine ikame edilen öğütülmüş TK ile hazırlanmış harç numunelerinin 28 günden itibaren basınç dayanımlarının PÇ dayanımından daha yüksek çıktığı görülmüştür. Kaya [9] TK katkılı çimentolarda daha düşük hacim genleşme değeri gösterdiği, priz sürelerinin uzadığı, erken basınç dayanımının daha düşük olduğu, kütlece %10-20 ikameli çimentoların 28 günlük dayanım sonucunun, kontrol numunesine yakın sonuçlar

SA ile üretilen çimentoların taze hamur ve sertleşmiş harç davranışlarını araştırmak ve çimento-katkı uyumunun olup olmadığını belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada EN 197-1'e [17] uygun Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilmiş CEM I 42,5 (PÇ 42,5 R) tipi çimento, EN 196-1'e [18] uygun standart CEN kumu, mineral katkı olarak Yatağan Termik Santral taban külü (TK) kullanılmıştır. Ayrıca hamur ve harç numunelerin üretiminde kimyasal katkı olarak 2 farklı firmanın (Amerika Menşei: A ve Almanya Menşei:B) polinaftalin sülfonat esaslı SA katkıları kullanılmıştır. A katkısının katı madde içeriği %39,1, pH değeri 9,5, yoğunluğu 1,2 g/cm³'tür. B katkısının katı madde içeriği %39,3, pH değeri 7,5, yoğunluğu 1,2 g/cm³'tür. Deneylede kullanılan çimento ve mineral katkıların kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de verilen TKi terimi ile 63 mikron incelikte öğütülmüş olan TK, TKk terimi ile 125 mikron incelikte olan TK tanımlanmıştır. TK'nın mikroskobik ve mineralojik özellikleri Şekil 1'de verilmiştir. SA'ların FTIR spektroskopileri Şekil 2'de gösterilmiştir.

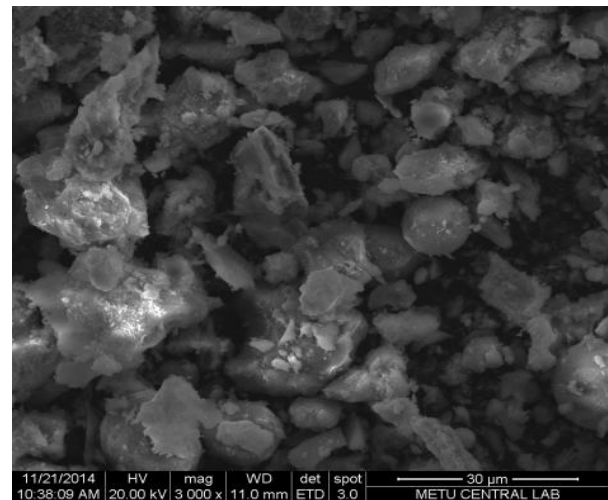
Çizelge 1. Kullanılan malzemelerin teknik özellikleri (Technical specifications of materials)

Kimyasal Özellikler			Fiziksel Özellikler		
Oksitler (%)	CEM I	TK	CEM I	TKi	TKk
SiO ₂	18,21	48,95	İncelik (45µm üstü %)	7,17	78,50 45,32
Al ₂ O ₃	4,54	16,97	Yoğunluk (g/cm ³)	3,12	2,30 2,22
Fe ₂ O ₃	3,1	5,82	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3616	2362 1665
CaO	63,5	15,84	Priz Başlangıcı (dk)	146	-
MgO	2,57	2,04	Priz Bitişi (dk)	189	-
SO ₃	2,82	1,69	Hacim Genleşmesi (mm)	1	-
Na ₂ O	0,22	5,78	Standart kıvam (%)	29,5	-
K ₂ O	0,65	0,52	Basınç Dayanımı 2 gün (MPa)	27,72	-
LOI	3,87	1,59	Basınç Dayanımı 28 gün (MPa)	58,81	-

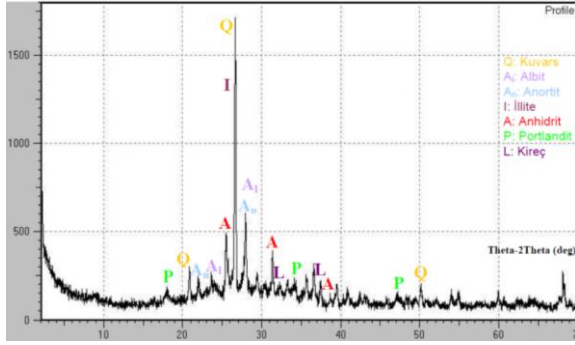
verdiği ve TK katkılı çimentoların öğütülebilirliğinin PÇ'den daha kolay olduğu görülmüştür.

Kimyasal katkıların en yaygın kullanılanları akışkanlaştırıcılardır. Bunlar çimentolu sistemlerin öncelikle fiziksel özelliklerini bazen de mekanik özellikleri etkilerler [10-12]. Akışkanlaştırıcı kimyasal maddelerin farklı çimentolarla davranışı üzerine sayısız çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda çimento-akışkanlaştırıcı uyumunun beton bileşenlerinin özellikle kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki değişime bağlı olduğu belirlenmiştir [13-16]. Ancak katkı-çimento uyumu konusu halen bir bilinmeyen olarak görülmektedir.

Bu çalışmada iki farklı incelikte Yatağan Termik Santral taban külü çimentoya farklı oranlarda ikame edilmiş ve ardından üretilen kompoze çimentolar üzerinde farklı firmalara ait polinaftalin sülfonat esaslı SA'nın etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın amacı farklı firmalar tarafından üretilen polinaftalin sülfonat esaslı

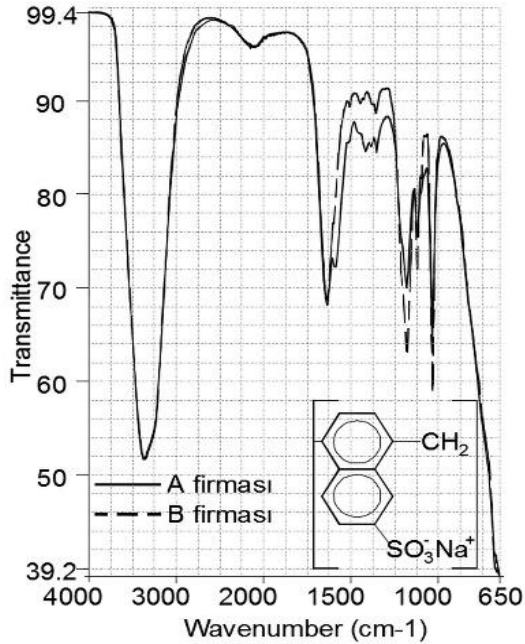


Şekil 1a. Taban külünün mikroskobik yapısı (Microscobical structure of TK)



Şekil 1b. Taban külünün mineralojik yapısı (Mineralogic structure of TK)

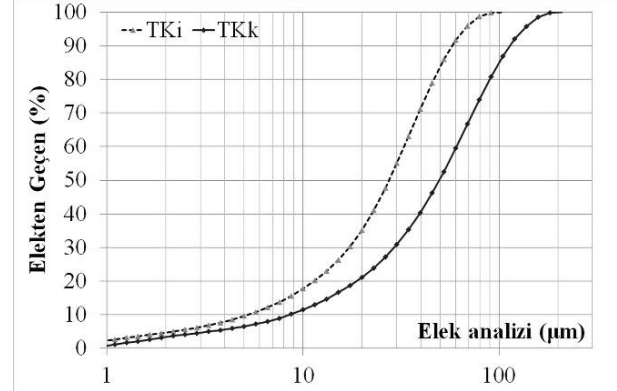
Çizelge 1'e göre TK'da $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3=71,74\%$ tür. TK'nin mineralojik yapısı Şekil 1a'da mikroskopik yapısı ve Şekil 1b'de mineralojik yapısı gösterilmiştir. Şekil 1a'da yuvarlak yapılarla monoklinik ve rombohedral kristal yapılar görülmektedir. Bu yapılar Şekil 1b'de açıklanabilir hale gelmiştir. Buna göre göre TK'de kils, amorf ve kireç içerikli yapılar vardır. Şekil 2'de iki firmaya ait SA'nın fonksiyonel ve yapısal grupları Fourier Transform Infrared Spectrum (FTIR) ile belirlenmiştir. SA örnekleri FTIR analizinde geniş bir aralık göstermiştir. Bu aralıkta 3300 cm^{-1} spektrumu genellikle keskin ve sağlam C-H bağlarını, $1500-1600\text{ cm}^{-1}$ halka içinde zayıf ve orta C=C bağlarını, $1350-1450\text{ cm}^{-1}$ yoğun bir pik olmasa da güçlü sülfat S=O bağlarını, $1050-1200\text{ cm}^{-1}$ güçlü C=S tiokarbonil bağlarını, $700-100\text{ cm}^{-1}$ ise güçlü S-O-R bağlarını göstermektedir [19]. Analize göre B firmasına ait SA'nın S=O ve C=S bağ yoğunluğu A firmasına ait SA'ya göre daha azdır.



Şekil 2. SA'ların FTIR analizi (FTIR analysis of SP)

Çalışmada TK öncelikle 24 saat süreyle $105\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta etüvde bekletilmiş ve diskli öğütücüde iki

farklı incelikte öğütülmüştür. İnce TK'nın (TKi) öğütme sonuçları: $D_{90}: 60\text{ }\mu\text{m}$, $D_{50}: 27,5\text{ }\mu\text{m}$ ve $D_{10}: 5,75\text{ }\mu\text{m}$ iken kaba TK'nın (TKk) öğütme sonuçları: $D_{90}: 120\text{ }\mu\text{m}$, $D_{50}: 50\text{ }\mu\text{m}$ ve $D_{10}: 8,6\text{ }\mu\text{m}$ 'dir. Öğütme sonrasında toz haldeki malzemeler hava sızdırmayan kaplarda saklanmıştır. Öğütülmüş malzemelerin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de, tane elek analizleri Şekil 3'te verilmiştir. Çizelge 1'e göre her iki öğütülmüş TK'nın özgül yüzey değeri CEM I'e göre daha küçüktür.



Şekil 3. TK'nın tane incelik analizi (Fineness analysis of TK)

Deneyel çalışmalarda TKi ve TKk'nın her biri %0, %10, %20 ve %30 oranlarında CEM I tipi çimento ile ikame edilerek toplam 6 tip kompoze çimento elde edilmiştir. Çizelge 2'de TKk ikame edilen çimentolar PKC, TKi ikame edilen çimentolar PkC olarak adlandırılmış ve yoğunlukları ile özgül yüzey değerleri verilmiştir. Çizelge 2'ye göre yoğunluğu en düşük olan çimento PKC6, inceliği en yüksek olan çimento PkC3'tür. Buna göre TK ikameli tüm çimentolar CEM I'e göre daha ince ve daha düşük yoğunluğa sahiptir. Üretilen çimentolarla öncelikle TS EN 196-3'e [20] göre çimento hamur numuneleri ve sonrasında TS EN 196-1'e göre standart harç numuneleri hazırlanmıştır. Çimento hamur ve harçlarının hazırlığında karışım sularına üretici firmaların katalog önerilerinde belirtilen en yüksek oran olan 0,02 oranında A ve B firmasına ait SA'lar ayrı ayrı eklenmiştir. Ardından taze haldeki çimento hamurları üzerinde TS EN 196-3'e göre kıvam tayini, priz süreleri, hacim genleşme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taze harç numuneler üzerinde öncelikle ASTM C230'a göre [21] yayılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yayılma deneyi sonrasında harç malzeme TS EN 196-1'e göre $40\times 40\times 160\text{ mm}$ boyutlu kalıplara yerleştirilmiş ve düşey eksenli vibrasyon tablasında 2 kademede toplam 2 dakika süre ile sıkıştırılmıştır. Harç numuneler kalıplarda 24 saat süreyle $22\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\pm 5\%$ bağıl neme sahip laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Sertleşen harç numuneler $22\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip bir kür tankında kirece doymun su içine konulmuş ve 2, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Kompoze çimentoların fiziksel özellikleri (Physical properties of blended cements)

İncelik (Elek açıklıkları)	Çimento Tipi	Ağırlıkça TK oranı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Özgül Yüze (Blaine cm ² /g)
Referans	R0	0	3,12	3616
63 µm mineral katkı	PkC1	10	3,04	3491
	PkC2	20	2,96	3365
	PkC3	30	2,87	3240
125 µm mineral katkı	PKC1	10	3,03	3421
	PKC2	20	2,94	3226
	PKC3	30	2,85	3031

Çizelge 3. TK ikameli kompoze çimentoların taze haldeki deney sonuçları (Results of the fresh cements pastes replaced by TK)

No	TK ikame (%)	SA Firma Kodu	Standart kıvam (%)	Priz başlangıcı (dk)	Priz bitişi (dk)	Hacim genişleme (mm)
R0	0	-	30,5	170	310	1,48
R1	0	A	23,6	45	385	0,44
R2	0	B	22,6	150	315	0,26
PKC1	10	A	23,7	50	380	1,42
PKC2	20	A	23,9	115	410	1,19
PKC3	30	A	24,2	140	460	0,99
PKC1	10	B	22,7	215	375	1,28
PKC2	20	B	23,3	260	400	1,12
PKC3	30	B	23,7	285	420	0,24
PkC1	10	A	24,5	45	350	1,45
PkC2	20	A	25,2	65	400	1,25
PkC3	30	A	26,3	100	450	1,01
PkC1	10	B	23,9	200	330	1,39
PkC2	20	B	24,5	240	350	0,89
PkC3	30	B	25,8	265	415	0,53

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

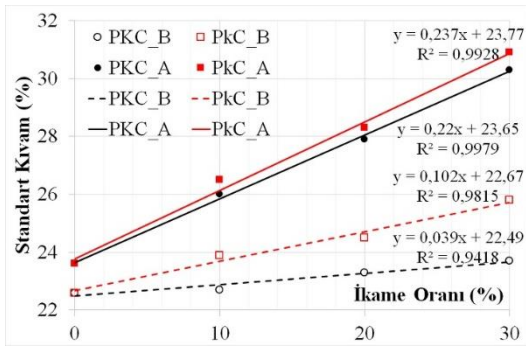
TK ikameli çimentoların taze hamur deney sonuçları Çizelge 3'te ve sertleşmiş harç deney sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 3 ve 4'te R0 kimyasal ve mineral katkısız referans numuneyi, R1: A firmasına ait SA kimyasal katkılı mineral katkısız referans harç numunelerini ve R2: B firmasına ait SA kimyasal katkılı mineral katkısız referans harç numunelerini göstermektedir. Bundan dolayı R0, R1 ve R2 ikame oranları %0 olarak ifade edilmiştir. Çalışmada 1) çimento tipi – SP katkı, 2) çimento – mineral katkı inceliği ve 3) mineral katkı inceliği – SP katkı aralarındaki ilişki ve etkileşimler incelenmiştir.

Çizelge 3'e göre SA kullanımı su ihtiyacını önemli derecede azaltmıştır. R0'a göre B firmasına ait SA su ihtiyacını %8,3 azaltırken, A firmasına ait SA %6,9 oranında azaltmıştır. B firmasına ait katkının su azaltmadaki etkisi A firmasına ait katkıya göre daha fazla olmuştur. Bunun sebebi B firmasına ait katkının FTIR analizinde S=O ve C=S bağ yoğunluğu A firmasına ait katkıya göre daha az olması ya da B firmasına ait katkının katı madde oranının %0,2 daha fazla olması sebebiyledir [22]. B firmasına ait katkı, kompoze çimentolarda da benzer davranış göstermiştir. Buna göre PKC kompoze çimentolarında B firmasına ait katkı ile üretilen

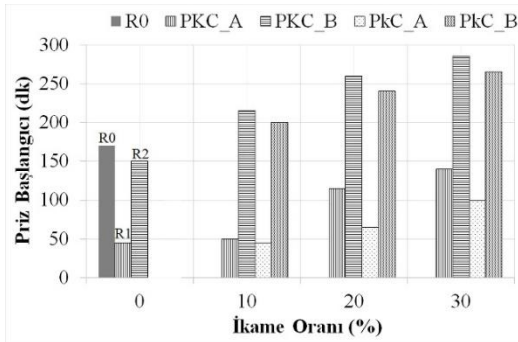
hamurlarda A firmasına ait katkı ile üretilen hamurlara göre %10, %20 ve %30 ikame için sırasıyla %1, %0,6, %0,5 daha az su kullanılarak standart kıvam elde edilmiştir. PkC kompoze çimentolarında B firmasına ait katkı ile üretilmiş hamurlarda A firmasına ait katkı ile üretilen hamurlara göre %10, %20 ve %30 ikame için sırasıyla %0,6, %0,7, %0,5 daha az suyla standart kıvam elde edilmiştir. Böylece çimentoda TK mineral katkı oranı arttıkça SA katkıların çimentoyla etkileşiminin azaldığı söylenebilir [3]. Bunun sebebi kompoze çimentolardaki C₃S ve C₃A miktarındaki azalma ile de açıklanabilir [23].

A firmasına ait SA özellikle referans çimento hamurunda (R1) priz sürelerini önemli derecede etkilemiştir. Üretilen tüm çimentolarda ve referans çimentoda priz başlangıcı hızlanırken priz bitişi gecikmiştir. Bu davranış A firmasına ait SA kimyasal katkısının hidratasyon başlangıcında C₃A ve C₃S ile etkileşiminin, B firmasına ait SA'ya göre daha az olduğunun bir göstergesi olabilir [22]. Bu durum su azaltma davranışında da açıkça görülmektedir. B firmasına ait SA, A firmasına ait SA kimyasal katkısına göre daha fazla su azaltmıştır. Böylece mineral katkının inceliği ve ikame oranı arttıkça katkıların etki mekanizmaları arasındaki fark azalarak her ikisinin de aynı oranda çalıştığı görülmüştür. Çalışmanın bir diğer bulgusu her iki incelikteki TK ikameli çimentolarda, mineral katkı oranı arttıkça su

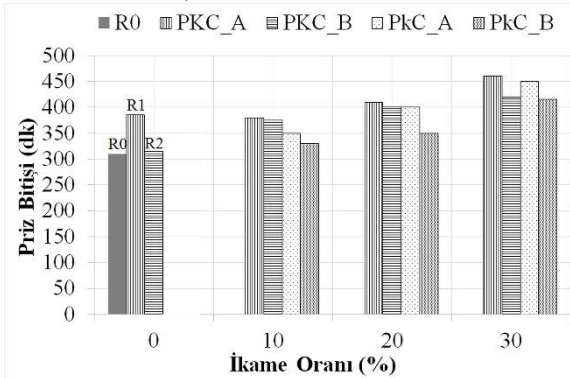
ihtiyacı artmıştır. Malzemenin su ihtiyacındaki bu artışın sebebi, TK'nın su bağlama ve absorpsiyon kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Bu artış katkı oranına bağlı olarak Şekil 4'te görüldüğü gibi doğrusal bir ilişki oluşturmuştur. Şekil 4 - 7'de verilen kısaltmaların açıklamaları şöyledir: PKC_A: A firmasına ait SA kimyasal katkı ile üretilen 125 mikron inceliğe sahip mineral katkıli Portland kompoze çimento hamur veya harcı, PKC_B: B firmasına ait SA kimyasal katkı ile üretilen 125 mikron inceliğe sahip mineral katkıli Portland kompoze çimento hamur veya harcı, PkC_A: A firmasına ait SA kimyasal katkı ile üretilen 63 mikron inceliğe sahip mineral katkıli Portland kompoze çimento hamur veya harcı, PkC_B: B firmasına ait SA kimyasal katkı ile üretilen 63 mikron inceliğe sahip mineral katkıli Portland kompoze çimento hamur veya harcı.



Şekil 4. Çimentoların su ihtiyacına ilişkin korelasyon diyagramı (Correlation between w/c and TK replacement ratio)

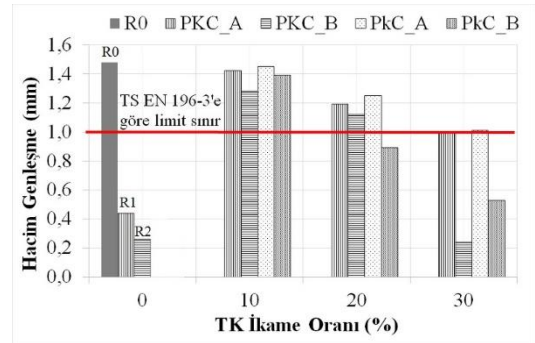


Şekil 5a. Çimentoların priz başlangıcı (Initial setting time of cements)



Şekil 5b. Çimentoların priz bitişi (Final setting time of cements)

Şekil 5'te görüldüğü gibi A firmasına ait kimyasal katkı, katkısız çimentoda priz başlangıcı süresini 125 dk kadar önemli derecede azaltırken, B firmasına ait katkı başlangıç priz süresini aynı çimentoda 20 dk azaltmıştır. Priz bitiş süreleri katkısız çimentolarda A firmasına ait kimyasal katkı ile (R1) 75 dk artarken, B firmasına ait kimyasal katkı ile (R2) 5 dk artmıştır. PNS'lerdeki sülfatlar C₃S ve C₃A'nın hidratasyonunu geciktirir ve böylece etrenjit monosülfatlara dönüşümü de gecikmiş olur [22]. Bundan dolayı PNS esaslı kimyasal katkıların priz sürelerini etkilediği ve hatta priz bitiş sürelerini uzattığı bilinmektedir [13]. Bu çalışmada aynı kimyasal bileşime sahip ayrı iki firmanın kimyasal katkıları referans ve kompoze çimentoların priz sürelerini farklı derecede etkilemiştir. Böylece çimento- kimyasal katkı uyumu priz süreleri konusunda önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Çimentoya mineral katkı ikame edildiğinde, mineral katkı oranı ve inceliğine bakılmaksızın priz süreleri uzamıştır. A firmasına ait kimyasal katkı ile üretilen hamurlarda mineral katkı inceliği arttıkça priz başlangıcı hızlanmış, mineral katkı oranı arttıkça priz başlangıcı süresi uzamıştır. PKC çimentolarda %0, 10, 20 ve %30 TK ikame oranları için R0'a göre A firmasının kimyasal katkı ile prize başlangıcı sırasıyla 125, 120, 55 ve 30 dk daha kısalmış, priz bitiş süresi 75, 70, 100, 150 dk uzamıştır. PkC çimentolarda %0, 10, 20 ve %30 TK ikame oranları için R0'a göre A firmasının kimyasal katkı ile prize başlangıcı sırasıyla 125, 125, 105 ve 70 dk daha kısalmış, sırasıyla priz bitiş süresi 75, 40, 90, 140 dk uzamıştır. Böylece hem mineral katkı inceliği hem de farklı firmalara ait SA kimyasal katkıların priz süreleri üzerindeki etkisinin önemli olduğu söylenebilir. B firmasına ait olan kimyasal katkı priz başlangıç ve bitiş süreleri bakımından işlenebilirlik düşünüldüğünde daha uygun olduğu söylenebilir. Mineral katkı inceliği priz bitiş sürelerini etkilerken, kimyasal katkının firma farkı priz bitiş sürelerine önemli etkiler oluşturmamıştır.



Şekil 6. Çimentoların hacim genleşmeleri (Soundness of the cements)

Çizelge 4. Kompoze çimento harçlarının deney sonuçları (Results of the blended cement mortars)

No	SA Tipi	BT ikame (%)	Yayılma (cm)	Basınç Dayanımı (MPa)		
				2 gün	7 gün	28 gün
R0	Katkısız	0	22,0	26,8	39,4	50,6
R1	A	0	24,5	22,1	41,5	53,7
R2	B	0	25,2	23,8	44,5	52,3
PKC1	A	10	22,2	21,9	37,8	46,2
PKC2	A	20	21,7	19,5	36,1	41,9
PKC3	A	30	21,5	17,0	28,3	38,1
PKC1	B	10	23,8	23,1	36,9	43,2
PKC2	B	20	23,0	19,9	30,7	41,7
PKC3	B	30	22,0	14,1	24,1	34,3
PkC1	A	10	22,5	22,6	40,8	49,9
PkC2	A	20	22,4	20,0	39,2	48,0
PkC3	A	30	22,3	15,1	31,9	40,9
PkC1	B	10	24,0	24,6	38,1	45,9
PkC2	B	20	23,5	20,3	36,9	43,4
PkC3	B	30	23,0	16,8	26,2	36,5

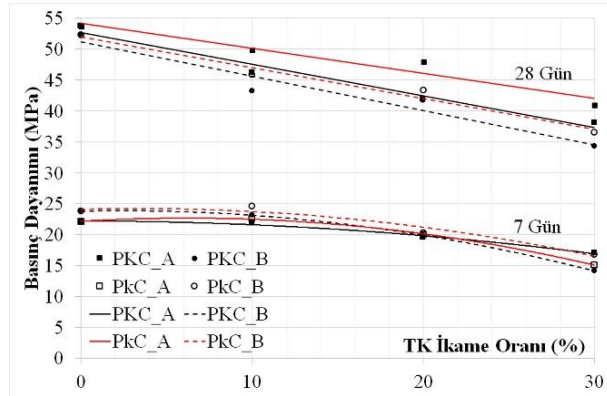
Şekil 6'da SA kimyasallar etkisinde kompozit çimentoların hacim genleşme sonuçları gösterilmiştir. Hacim genleşmeye firma farkı gözetmeksizin kimyasal katkıların etkisi olumlu olmuştur. Burada hidrasyon kinetiğinin yavaşlaması sebebiyle hacim genleşmenin de azaldığı söylenebilir [15]. R0 hem kimyasal hem de mineral katkısız referans numunede 1,48 mm genleşme gözlenirken, SA katkılı hamurlarda genleşme R1 için yaklaşık %70 ve R2 için %82 oranında azalmıştır. Böylece B firmasına ait SA kimyasal katkısının hacim genleşmeyi en fazla oranda azalttığı belirlenmiştir. S=O bağ sayısındaki farklılık bunun bir sebebidir [22]. Ancak PNS katkılı kompoze çimento hamurlarında hacim genleşmeleri referanslara göre yüksek çıkmıştır. İkame oranı arttıkça hacim genleşme azalma eğrisi oluştururken mineral katkının inceliği ile hacim genleşmenin çok bağımlı olmadığı gözlemlenmiştir. Mineral katkıdaki inceliğin artması SO₃, CaO ve MgO yapılarının artmasına sebep olmadığı için genleşmede önemli bir değişim oluşturmamıştır.

Çizelge 4'te basınç dayanımı ve yayılma deneyinin toplu sonuçları, Şekil 7'de ise basınç dayanımı sonuçlarının korelasyon eğrileri verilmiştir. Buna göre mineral katkısız çimentoda her iki kimyasal katkı erken dayanımları olumsuz etkilerken, sonraki yaşlarda basınç dayanımına etkileri olumlu olmuştur. A firmasına ait kimyasal katkı ile üretilen R1 numunesinin basınç dayanımı R0'a göre 2 gün yaşında %17,5 azalırken, 7 ve 28 gün yaşlarında sırasıyla %5,3 ve %6,1 artmıştır. B firmasına ait kimyasal katkı ile üretilen R2 numunesinin basınç dayanımı referans numuneye göre 2 gün yaşında %11,2 azalırken, 7 ve 28 gün yaşları için sırasıyla %12,9 ve %3,4 artmıştır. Kimyasal katkıda firma farkının etkisi CEM I'de erken dayanımı olumsuz etkilemiş ancak sonraki yaşlarda etkisi önemsiz olmuştur. Bu durum çimento hidrasyonunun ileri yaşlarında SA kimyasal katkısının firma farkı gözetmeksizin erken reaksiyonları etkileyip sonrasında katalizör gibi davrandığının bir göstergesidir. Bunun sebebi aynı zamanda priz sürelerine bağlı olan hidrasyon kinetiğinin etkilenmesidir. Priz sürelerinin uzaması erken dayanımları olumsuz etkileyen

bir sonuçtur [23]. SA kullanılan çimentolarda priz sürelerinde bir miktar gecikme olsa da C₃S hidrasyon ürünlerinin 28 gün sonunda SA katkısız sistemlerle aynı miktarda olduğu belirtilmiştir. Ancak C₃A ile alçı arasındaki reaksiyon ürünleri morfolojik olarak hegzagonal formdan ziyade kübik forma dönüşebilir. Bu durum erken dayanımı düşürülen bir faktör olarak bilinmektedir [22].

TK katkılı çimentolarda B firmasına ait SA kimyasal katkıyla üretilen PKC grubu harçların basınç dayanımları erken ve geç süreçlerde B firmasına ait SA kimyasal katkıyla üretilen PKC grubu harçlara göre daha düşük olmuştur. Ancak %10 ve %20 TK ikameli PKC ve PkC'li harç numunelerin basınç dayanımları kimyasal katkı etkisinde önemli oranda değişmezken, %30 TK ikamesiyle üretilen PKC ve PkC'li harç numunelerde A ve B katkılarının basınç dayanımlarına etkileri %10'dan yüksek olmuştur. Bu durum TK'nin kimyasal içeriğinin kimyasal katkıların içeriğiyle bir uyuma sahip olduğunu göstermektedir.

Kimyasal katkının etkisinde CEM I tip çimentoya TK ikamesi basınç dayanımlarını önemli derecede etkilemiştir. PKC_A'nın erken basınç dayanımları %10, 20 ve %30 ikame oranları için R0'a göre sırasıyla yaklaşık %18, %27 ve %37, nihai basınç dayanımlarında sırasıyla yaklaşık %9, %17 ve %25 daha düşüktür. Basınç dayanımlarındaki bu azalma oranları B firmasına ait kimyasal katkı ile üretilen harçlarda ve ince mineral katkıyla üretilmiş çimentolar için benzerlik göstermektedir. Ancak mineral katkının inceliği arttıkça basınç dayanımlarındaki azalmanın oranı da azalmaktadır. Dahası TK ve uçucu kül ikamesi katkısız çimentolara göre basınç dayanımlarını 28 günlük süreçte olumsuz etkilemektedir [13, 23]. TK ikame oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Çimentodaki TK'nin inceliği arttıkça erken basınç dayanımlarında %10'dan daha düşük artışlar oluşmuş, ancak nihai basınç dayanımındaki artışın %10'dan daha fazla oranlarda olduğu görülmüştür. Özellikle ikame oranı arttıkça bu oran daha belirgin hale gelmektedir.



Şekil 7. Çimentoların basınç dayanımları ile zaman arasındaki korelasyon (Correlation between cements and age)

A firmasına ait SA kimyasal katkıli PKC'li harçların nihai basınç dayanımları, yine A firmasına ait SA kimyasal katkıli PKC'li harçların nihai basınç dayanımına göre, ikame oranları %10, 20 ve %30 için, sırasıyla %7,4, %12,7 ve %6,8 daha düşüktür. Katkının firma farkına bakılmaksızın TK inceliği arttıkça basınç dayanımları her ikame oranında artmıştır. Bu durumda A firmasına ait kimyasal katkı ile üretilen kompoze çimento harçlarının basınç dayanımları B firmasına ait kimyasal katkı ile üretilenlere göre daha yüksek olduğu için çimento – kimyasal katkı (firma bakımından) arasında uyum açıkça görülmektedir. Ayrıca PNS içerikli SA katkı ile üretilmiş harçlarda 45 µ incelikli TK ikamesinin %20'ye kadar kullanımının nihai basınç dayanımının 42,5 MPa'dan daha yüksek elde edildiği için diğerlerine göre uygun olduğu düşünülmüştür.

Harçların yayılma davranışlarında R0 referans numunesine göre, çarpma sayısına bağlı olarak, A firmasına ait SA katkısının yayılmada (işlenebilirlikte) %11,4 daha etkili olduğu, B firmasına ait SA katkısının yayılmada %14,5 daha etkili olduğu belirlenmiştir. Böylece mineral katkısız çimentolarda işlenebilirlik aynı tip SA katkısının firma farkında %3 farkla etkili olduğu söylenebilir. Bu durum işlenebilirlik için çimento-kimyasal katkı uyumunun olduğunu göstermiştir. Kompoze çimentolarda mineral katkının inceliğinin işlenebilirliğe etkisinin önemsiz derecede olduğu söylenebilir. Ancak kimyasal katkıdaki firma farkı inceliğe bakılmaksızın işlenebilirliği etkilemiştir. İkame oranı arttıkça işlenebilirlik artmıştır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. PNS esaslı farklı firmalara ait kimyasal katkı CEM I 42.5R ve TK ikameli kompoze çimentoların taze hamur özelliklerini ve davranışlarını önemli derecede etkilemiştir. Böylece aynı tip katkının farklı firmalarına ait PNS esaslı kimyasal akışkanlaştırıcılarla taze çimento hamuru arasında bir uyum olduğu belirlenmiştir.

2. PNS esaslı farklı firmalara ait kimyasal katkı erken dayanımları etkilememiş, ancak geç dayanımları %10'na kadar etkilemiştir.
3. PNS esaslı farklı firmalara ait kimyasal katkı yayılma davranışını önemli derecede etkilememiştir.
4. TK'nın inceliği arttıkça standart kıvam için gerekli su ihtiyacı, hacim genleşme, yayılma ve basınç dayanımları artmış, ancak priz başlangıcı ve bitiş süreleri azalmıştır.
5. TK ikame oranı arttıkça basınç dayanımları, hacim genleşme ve yayılma azalmış, ancak su ihtiyacı ve priz süreleri artmıştır..

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada XRF analizlerinin yapılmasında ve çimento temininde göstermiş oldukları destekleyici tutumlarından dolayı Aşkale Çimento Fabrikası kalite kontrol yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Roskovic R, Bjegovic D, "Role of mineral additions in reducing CO₂ emission", *Cem. Concr. Res.*, 35: 974-978 (2005).
2. Kocak Y, "Termik Santral Atığı Uçucu Külün Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi". *Politeknik Dergisi*, 14 (2): 135-140 (2011).
3. Celik IB, "The effects of particle size distribution and surface area upon cement strength development", *Powder Technology*, 188: 272-276 (2008).
4. Wel, L., Naik, T.R., Golden, D.M., "Construction Materials Made with Coal Combustion By-Products", *Cement, Concrete and Aggregates*, 16 (1): 36-42 (1994).
5. Yılmaz K., Canpolat F., Arman H., "Taban külü ve doğal zeolitin puzolanik çimentoda katkı olarak kullanımı", *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 10-12 (2004).
6. Hopkins, D. S., Oates, D.B. (1998) *U.S Patent No. 5,849,075*. Washington, D.C.: U.S. Patent and Trademark Office.
7. Cheriaf M., Cavalcante R.J., Pérab, J. "Pozolanic Properties of Pulverized Coal Combustion Bottom Ash", *Cem. Concr. Res.*, 29: 1387-1391 (1999).
8. Jaturapitakkul, C., Cheerarot, R. "Development of bottom ash as pozzolanic material", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15: 48-53 (2003).
9. Kaya, A.İ., "A Study on Blended Bottom Ash Cements", MS Thesis, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, ODTÜ (2010).
10. Hanehara S., Yamada K. "Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology" *Cem. Concr. Res.*, 29: 1159-1165 (1998).
11. Zhang MH, Sisomphon K, Ng TS, Sun DJ. "Effect of superplasticizers on workability retention and initial setting time of cement pastes" *Construction and Building Materials*, 24: 1700-1707 (2010).
12. Şimşek O., Dur A., Yaprak H., "Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkıli Harçların Özellikleri" *Politeknik Dergisi*, 7(2):169-178 (2004).

13. Erdođdu S. "Compatibility of superplasticizers with cements different in composition". *Cem. Concr. Res*, 30: 767- 773 (2000).
14. Simard MA, Nkinamubanzi PC, Jolicoeur C. "Calorimetry, rheology and compressive strength of superplasticized cement pastes". *Cem. Concr. Res*, 23: 939-950 (1993).
15. Jolicoeur C, Simard MA. "Chemical admixture-cement interactions: Phenomenology and physico-chemical concepts". *Cement and Concrete Composites* 20: 87-101 (1998).
16. Papo A, Piani L. "Effect of various superplasticizers on the rheological properties of Portland cement pastes". *Cem. Concr. Res.*, 34: 2097-210 (2004).
17. TS EN 197-1, "**Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri**", Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Türkiye, p.29 (2012).
18. TS EN 196-1, "**Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini**", Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Türkiye, p.31 (2009).
19. Reusch W., *Infrared Spectroscopy lecture notes*, Michigan State University, Department Of Chemistry, USA, (2013).
20. TS EN 196-3, "**Çimento deney metotları- Bölüm 3: Priz süresi ve hacim genleşme tayini**", Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Türkiye, p.16 (2014).
21. ASTM C230, "**Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement**", American Society of Testing Materials, USA, p.6 (2012)
22. Rixom R, Mailvaganam N. *Chemical Admixtures for Concrete*. 3rd ed. London UK, E. & F.N. Spon Ltd, (1999).
23. Mehta PK, Monteiro PJM. *Concrete Microstructure Properties and Materials*, 3rd ed. Newyork USA, McGraw-Hill, (2006).