



## Süper akışkanlaştırıcı ve trasın çimento hidratasyonuna etkileri The effects of super plasticizer and trass on the cement hydration

Yılmaz KOÇAK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Bölümü, Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye.  
yilmaz.kocak@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 07.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 30.03.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.80008  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

*Bu çalışmada, Süper Akışkanlaştırıcı katkılı Portland çimentosu ve tras ikameli çimentonun hidratasyon gelişimleri araştırılmıştır. Süper Akışkanlaştırıcı ve tras ikamesi ile basınç dayanımında, su ihtiyacında, hacim genişmesinde ve priz süresindeki meydana gelen değişiklikler standart çimento deneyleriyle tespit edilmiştir. Süper Akışkanlaştırıcı katkılı Portland çimentosu ve tras ikameli çimento hamularının hidratasyon sırasında faz gelişimlerini belirlemek için X-Işını kırınım yöntemi, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ve eş zamanlı yapılan termal analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çimento hamularının 28. hidratasyon gününde çekilen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ile mikro yapıları belirlenmiş ve harç numuneleri dayanım testleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak Tras ikamesi ile su ihtiyacı ve priz süreleri artmış, hacim genişme değerleri ise standartlar arasında kalmıştır. Ayrıca meydana gelen reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan  $Ca(OH)_2$  miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Tüm bu farklılıklar harç örneklerinin basınç dayanımlarını etkilemiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Çimento, Tras, Süper akışkanlaştırıcı, Hidratasyon

### Abstract

*In this study, the development of hydration of Portland cement and trass substituted cements containing super plasticizer was investigated. The effects of super plasticizer and trass substitution on the compressive strength, water demand, volume expansion and setting time was determined by the experiments the standard cement. Cement pastes were prepared with Portland cement and trass containing super plasticizer were performed using X-Ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy and Simultaneous thermal analysis in order to determine their the phases developed during the hydration. Furthermore, microstructures by scanning electron microscope 28-days of hydration of cement pastes were determined and cement mortars were examined with strength tests. As a result, with the amount of trass, water needs and setting time have increased and volume expansion values remained between the standards. Also, the amount of  $Ca(OH)_2$  which is formed during the reaction was decreased. All these differences influenced the compressive strength of mortar samples.*

**Keywords:** Cement, Trass, Super plasticizer, Hydration

## 1 Giriş

Betonun; fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, çimentolara mineraller katılmakta (katkılı çimentolar), beton üretimi sırasında kimyasal katkı maddeleri kullanılmakta ve bu durum her geçen gün artarak yaygınlaşmaktadır. Çimento ve beton içerisinde doğal (tras, diatomit, zeolit, pomza, metekaolin gibi) [1]-[10] ya da yapay (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi) [11]-[18] puzolanlar yaygınlaşarak kullanılmaktadır. Kimyasal katkılar ise, çimentonun nihai ürünü olan betonun özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek için betonun karışımı esnasında eklenmekte ve vazgeçilmez bir ürün olarak hem çimento hem de beton üretiminde değerlendirilmektedir.

Doğal puzolanlar, puzolanik özellikteki malzemelerdir ve Türkiye doğal puzolanlarca zengin bir ülke olarak dikkat çekmektedir [19],[20]. Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan, çok ince öğütüldükleri zaman normal sıcaklıklarda nemli ortamlarda kireçle bir araya geldiğinde bağlayıcılık özelliğine sahip olabilen, silis ve alümin oksitlerce zengin malzemeler olarak tanımlanmaktadır [20],[21]. Doğal puzolanlar tras olarak adlandırılmakta ve Türkiye'de çimento sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Trassın Portland çimentosuyla birlikte kullanılması sayesinde birçok avantaj sağlanabilmektedir. Trassın betonda kullanılması ile betonun mikro boşlukları dolmakta, iskelet yapısı değişmekte ve bu sayede de dayanıklılığı artmaktadır [8],[22]. Bunun yanı sıra tras kullanımı sayesinde betonda işlenebilir ve sülfat dayanıklılığı artmakta, terleme, hidratasyon ısısı, su geçirimsizliği ve alkali silika reaksiyonu azalmaktadır [20],[21],

[23]. Ayrıca tras, hacim genişmesine neden olan ( $SO_3$  ve  $MgO$  gibi) zararlı maddeler ile tepkimeye girerek meydana gelebilecek olan zararlı etkileri azaltabilmektedir [21],[24]. Ancak doğal puzolanlar ince tane boyutuna sahip olması nedeniyle su ihtiyacını artırabilmekte ve erken yaşlardaki mukavemeti düşürebilmektedir [3]. Bunların yanında, Portland çimentosu ve trasın kullanımı ile elde edilen harç ve betonlarda priz sürelerinin, tras miktarına, tane boyutuna ve reaktivitesine bağlı olarak gelişme gösterdiği belirtilmektedir [25].

Bu araştırma, kimyasal katkılar ile Portland veya mineral katkılı çimentoların uyumunu standartlara göre çözümlenmenin yetersiz olduğu düşünüldüğü için yapılmıştır. Süper Akışkanlaştırıcıların çimento ile uyumu ve çimento özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla standartlarda belirtilen deneylerle birlikte yeni tekniklerin geliştirilmesi, katkılar ve çimento üretimi açısından bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra tras ve çimento arasında meydana gelen yapısal özelliklerin belirlenebilmesi için yapılan araştırmalar sınırlı bir düzeyde kalmaktadır. Bu nedenle oluşumuna göre farklı özelliklere sahip olan tras, sadece kimyasal ve fiziksel olarak değil, aynı zamanda fiziko kimyasal olarak da ayrıntılı bir şekilde araştırılmalıdır. Bu amaçla yapılan çalışmada, Süper Akışkanlaştırıcı ve tras ikameli çimento hamur ve harçlarının hidratasyon gelişimleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri, X-Işını kırınım yöntemi (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), eş zamanlı yapılan termal analizler (DTA/TG) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi yapısal analizler ve standart çimento

deneylemleri kullanılarak incelenmiş ve elde edilen bulgular ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

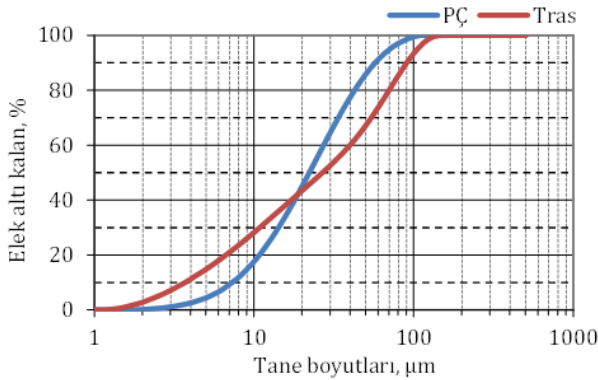
## 2 Deneysel çalışma

### 2.1 Malzemeler

Çimento harç ve hamurlarının üretilmesinde Bursa Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R standartlarına sahip olan Portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Bursa çimento fabrikası, bu çimentoyu üretirken minör ilave bileşen olarak uçucu kül kullanmıştır. Çalışmada mineral katkı olarak, Bursa çimento fabrikasından temin edilen tras kullanılmıştır. Kullanılan PÇ ve trasın kimyasal kompozisyonları Tablo 1, fiziksel yapıları ve özellikleri Tablo 2, tane boyut analizleri ise Şekil 1'de verilmektedir.

Tablo 1: PÇ ve trasın kimyasal kompozisyonları.

Malzemeler	PÇ	Tras
Kimyasal Kompozisyonlar		
SiO <sub>2</sub> (S)	18.82	65.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (A)	5.97	15.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (F)	3.63	0.83
CaO	64.18	3.98
MgO	0.84	0.38
SO <sub>3</sub>	2.60	0.14
Na <sub>2</sub> O	0.28	4.49
K <sub>2</sub> O	0.49	1.94
Cl <sup>-</sup>	0.012	0.0002
Kızdırma kaybı	2.90	6.73
S+A+F	-	81.66



Şekil 1: PÇ ve trasın tane boyutları.

Kimyasal katkı olarak, karışımlarda toplam bağlayıcı miktarının %1'i kadar CHRYSO'dan temin edilen CHRYSOFLUID AGS yüksek oranda su azaltıcı ve Süper Akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Bu kimyasal katkının yoğunluğu  $1.210 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ , Rengi kahverengi, pH  $6.50 \pm 1$ , katı madde oranı  $\%40 \pm \%5$ , klorür içeriği ise  $<\%0.1$  olarak belirtilmiştir.

Çimento harç örneklerinin üretilmesinde TS EN 196-1'e [26] uygun SET Trakya Çimento Sanayi tarafından üretilen standart kum ve Bursa iline bağlı Kestel ilçesinin şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

### 2.2 Yöntem

Çalışmada kullanılan tras, çimento inceliğinde üretilmek için 60 dk. süre ile bilyalı değirmende öğütülmüş, PÇ'ye ağırlığının %20'si kadar tras ikame edilmiş ve üretilen çimentoya TÇ kodu verilmiştir.

Çalışmada yapılan kimyasal analizler, ARL 8680 S X-Ray spektrometresi (XRF) kullanılarak tespit edilmiştir. Tane boyut analizleri Malvern Hydro 2000 G, Blaine değerleri Toni Teknik 6565, özgül ağırlıkları Quantachrome MVP-3 cihazları ile belirlenmiştir [27]. Çimento hamurlarının mineral yapısı Rikagu miniflex XRD cihazı ile Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) ışınması kullanılarak, FT-IR analizleri Bruker Vertex 70 ile gerçekleştirilmiştir. FT-IR analizleri yapılırken örnekler 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında ölçülmüştür. DTA/TG analizlerinde, ısıtma hızı  $20 \text{ }^\circ\text{C/dk}$ , maksimum sıcaklık ise  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. DTA/TG analizlerinde azot gazından yararlanılmış ve Perkin Elmer S II cihazı kullanılmıştır. 28. gündeki mikro yapı çalışmaları JOEL marka JSM 6060LV model değişken basınçlı SEM cihazı kullanılarak izlenmiştir.

Çimento harç örneklerinin 2., 7. ve 28. günlerdeki basınç dayanımları,  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  boyutlarında her çimentodan 3 adet olmak üzere hazırlanan ve ikiye ayrılan harç numuneleri üzerinde TS-EN 196-1'e [26] uygun ve Atom-Teknik cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

## 3 Bulgular ve tartışma

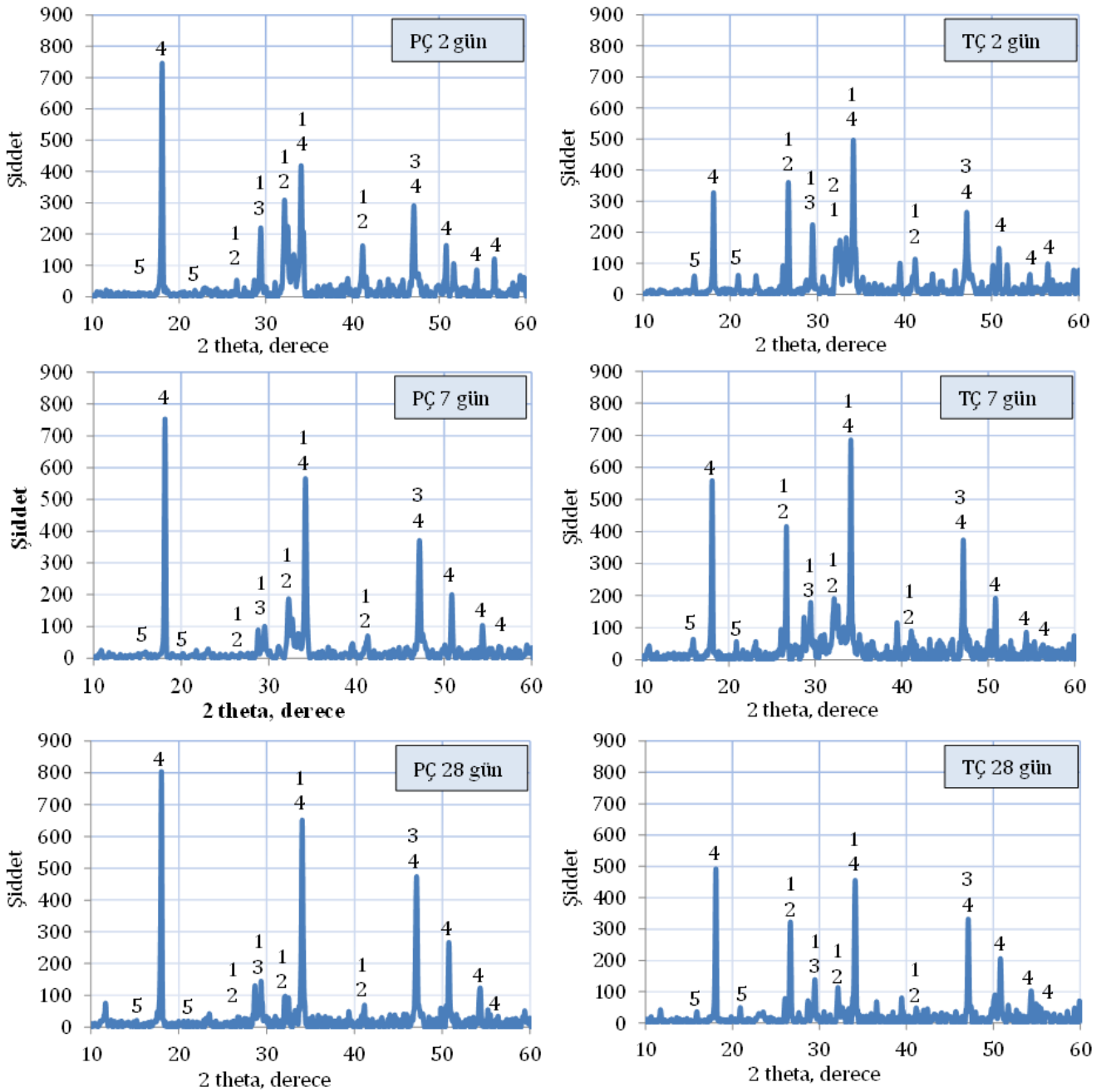
### 3.1 Çimento hamurlarının XRD ile hidrasyon gelişimi

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ çimento hamurlarının 2., 7. ve 28. günlerdeki hidrasyonu XRD ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir.

Tüm çimento hamurları, tras içeriği ve hidrasyon yaşına göre hidrasyon ürünlerini belirlemek için XRD ile incelenmiştir. Hidrate olmuş çimento hamurları, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), Ca(OH)<sub>2</sub> (CH) ve Etrenjit (C<sub>6</sub>AS<sub>3</sub>H<sub>32</sub>) gibi hidrasyon ürünleri ile birlikte hidrate olamamış C<sub>3</sub>S ve C<sub>2</sub>S gibi klinker mineralleri içermektedir. Elde edilen analiz sonucuna göre TÇ hamuru, tüm hidrasyon günlerinde PÇ hamuruna kıyasla değişen miktarlarda hidrasyon ürünleri oluşturmuş ve PÇ hamurlarında hidrasyon yaşı arttıkça hidrate olmamış klinker mineralleri (C<sub>3</sub>S ve C<sub>2</sub>S) hemen hemen yok olmuştur. TÇ hamurlarında ise hidrate olmamış klinker mineralleri (C<sub>3</sub>S ve C<sub>2</sub>S) varlığını korumaktadır (Şekil 2). Bu durum, trasın puzolanik özelliğinden dolayı hala hidrasyon gelişiminin devam ettiğini düşündürmektedir. PÇ hamurlarında, TÇ hamurlarına göre nispeten daha yoğun CH oluşumu görülmektedir. 2. ve 28. hidrasyon günlerinde PÇ hamurunda görülen CH miktarının, TÇ hamuruna göre daha fazla, 7. hidrasyon gününde ise nispeten birbirine yakın seviyede olduğu gözlenmektedir. Kalsiyum hidrat ve alçı taşının ilk reaksiyon ürünü olan etrenjit oluşumu, PÇ hamurlarında belirgin olarak izlenmezken, TÇ hamurlarında görülmekte, 28. hidrasyon gününde C<sub>3</sub>A ile reaksiyona girerek kalsiyum mono sülfat hidrata dönüşmeye başladığı için hemen hemen yok olmaktadır (Şekil 2), [29].

Tablo 2: PÇ ve trasın fiziksel özellikleri.

Materyal	Blaine, $\text{cm}^2/\text{g}$	Özgül ağırlık, $\text{g/cm}^3$	Priz süresi, dk.		Basınç dayanımı, MPa		
			Priz başlama	Priz sonu	2 gün	7 gün	28 gün
PÇ	3560	3.15	130	180	23.7	43	55.4
Tras	4550	2.55	-	-	-	-	-



(1: C<sub>3</sub>S-Alite (3CaOSiO<sub>3</sub>), 2: C<sub>2</sub>S-belit (2CaOSiO<sub>3</sub>), 3: Kalsit (CaCO<sub>3</sub>), 4: CH-Portlandit (Ca(OH)<sub>2</sub>), 5: Etrenjit (Ca<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>12</sub>26H<sub>2</sub>O)).

Şekil 2: PÇ ve TÇ hamurunun XRD pikleri.

### 3.2 Çimento hamurlarının FT-IR ile hidrasyon gelişimi

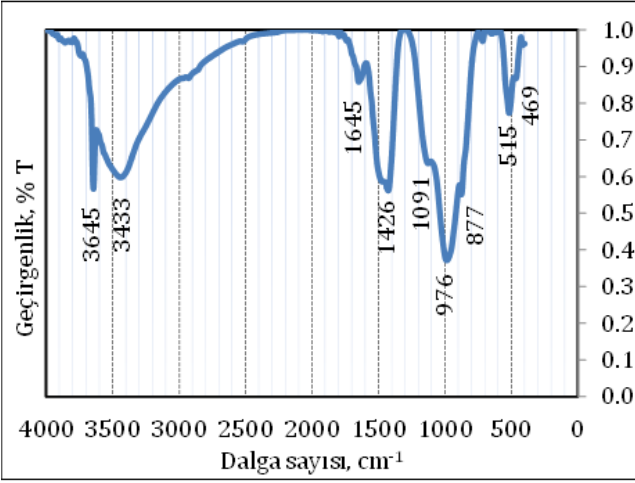
Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ hamurlarının 2., 7. ve 28. günlerdeki kafes ve molekül yapıları FT-IR ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.

PÇ ve TÇ hamurlarının hidrasyon gelişiminin FT-IR ile incelenmesi esnasında piklerin değerleri ve şiddetleri dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 3642-3647 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında C-S-H'nın kalsiyum hidroksit bağları ile bağlanmış ve absorbe edilmiş su, 3425-3444 cm<sup>-1</sup> ve 1631-1652 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralıklarında yapıya tutunmamış olan su, 1421-1429, 875-879 cm<sup>-1</sup> dalga sayıları aralıklarında

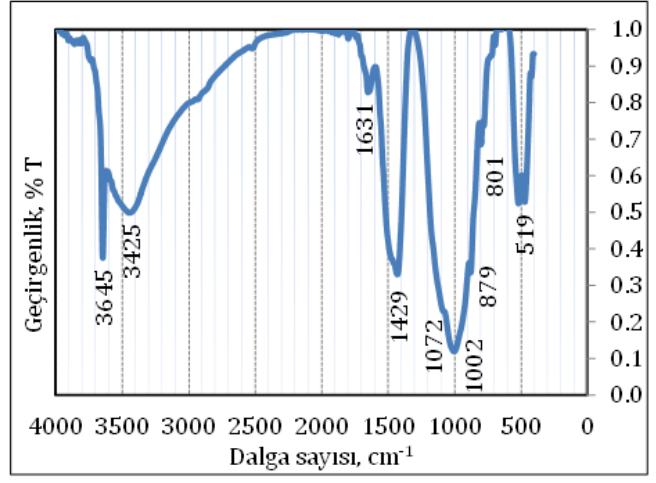
karbonat fazları, 1100 cm<sup>-1</sup> dalga sayısında ise sülfat fazları izlenmektedir (Şekil 3).

Ayrıca, 417-469 ile 512-519 cm<sup>-1</sup> dalga sayıları aralıklarında hidrate olmamış kalsiyum silikatlar, 963-1002 cm<sup>-1</sup> dalga sayıları aralıklarında hidrate olmuş kalsiyum silikatlar izlenmekte ve literatürdeki bilgilerle uyumlu olarak gelişmektedir (Şekil 3), [30]. CaCO<sub>3</sub>'ün varlığını gösteren 2500-3800 cm<sup>-1</sup> aralığındaki geniş absorpsiyon bandı hidrasyon süresi ilerledikçe zayıflamaktadır. 963-1002 cm<sup>-1</sup> aralığındaki ana pikin sağ ve sol tarafında bulunan iki küçük pik C<sub>2</sub>S'in varlığını göstermekte ve hidrasyon süresi ilerledikçe bu iki küçük pikin azalmaktadır (Şekil 3). Bu durum çimento hamurunun sertleştiği göstermektedir [31].

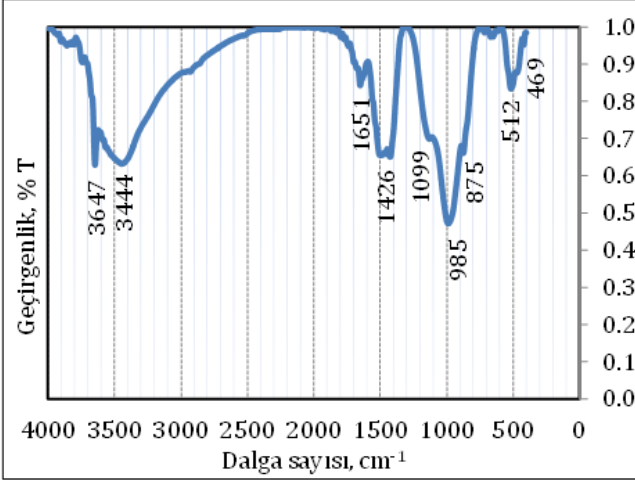
PÇ 2 gün



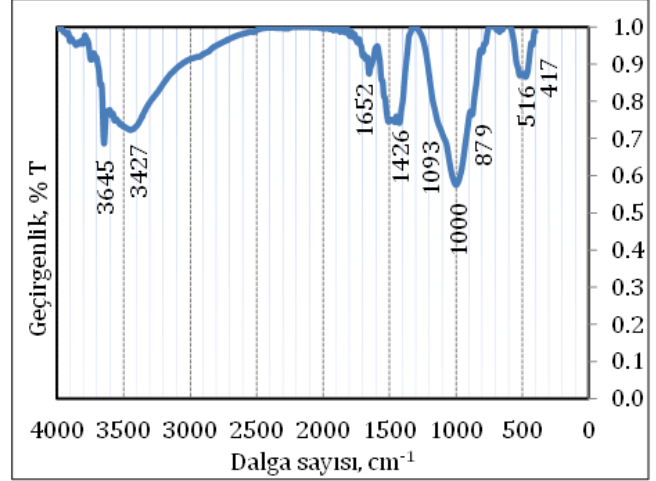
TÇ 2 gün



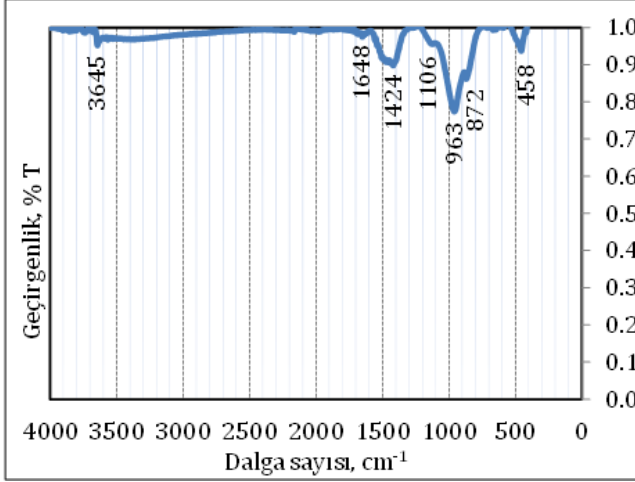
PÇ 7 gün



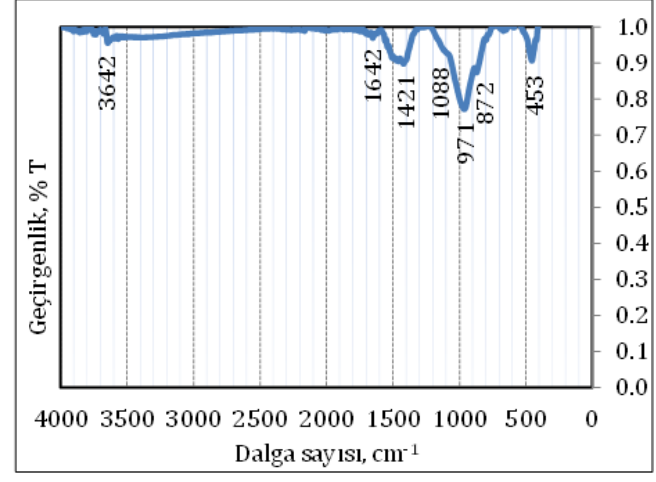
TÇ 7 gün



PÇ 28 gün



TÇ 28 gün



Şekil 3: PÇ ve TÇ hamurunun FT-IR analiz verileri.

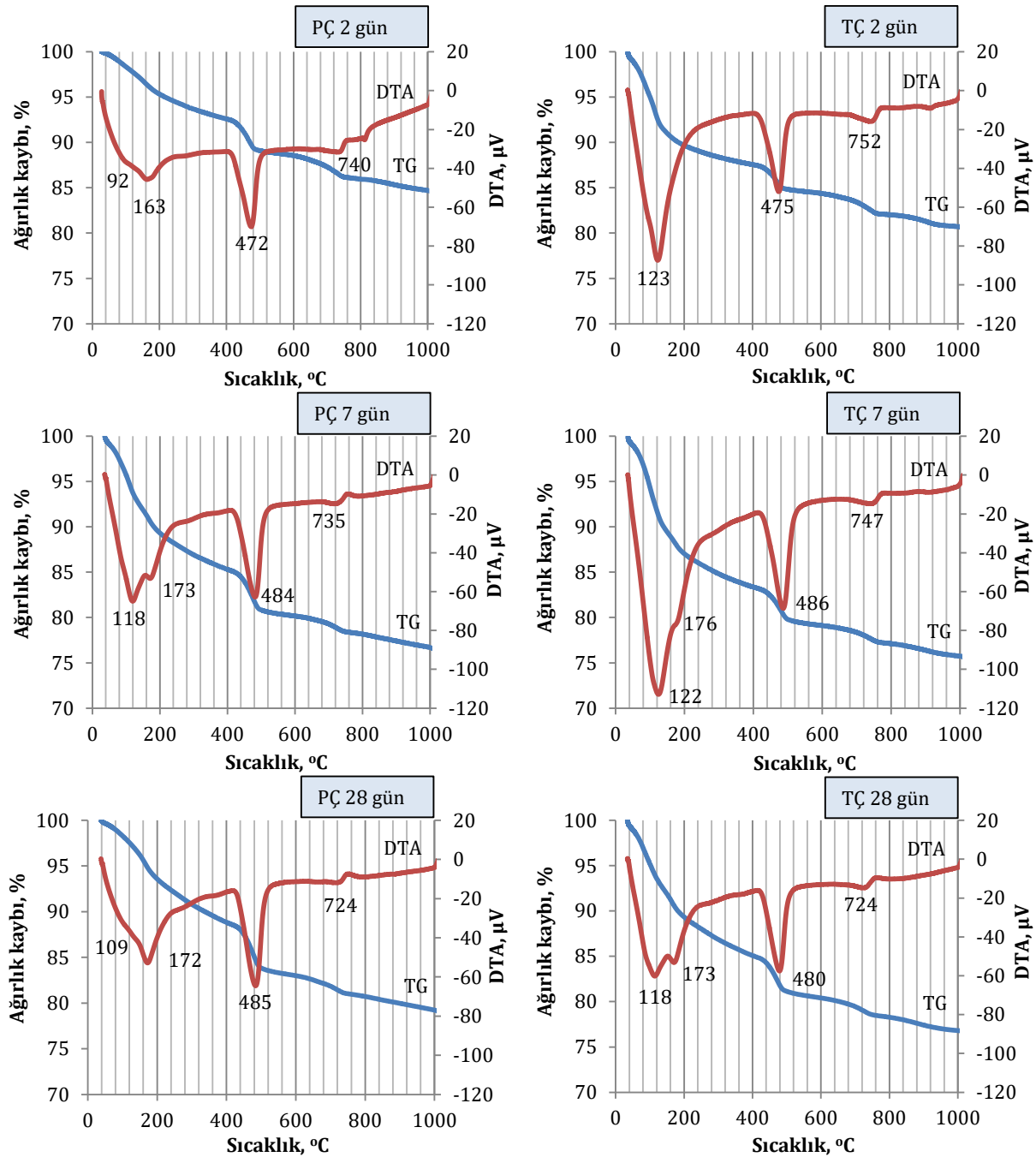
### 3.3 Çimento hamurlarının DTA-TG ile hidrasyon gelişimi

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ hamurlarının 2., 7. ve 28. günlerdeki DTA (fark taramalı termal) ve TG (termogravimetrik) analizlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir.

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ hamurlarının kapiler boşluklardaki suyun dehidratasyonu yaklaşık 100 °C'de, C-S-H jellerinin farklı aşamalarındaki dehidratasyonu 100-200 °C'lerde endotermik etkileri olarak, CH'nin dehidratasyonu 478 ve 498 °C sıcaklık aralığında, CaCO<sub>3</sub>'ün kalsinasyonu 757 ve 773 °C aralığında gelişmiştir (Şekil 4) [32]-[34].

Hidrasyona tabi tutulmuş olan çimento hamurlarının farklı sıcaklık aralıklarında kütle kayıpları Tablo 3'de verilmiştir.

TG analiz verilerine göre belirlenen kütle kayıplarında tras miktarı ve hidrasyon günlerine göre farklı değerler elde edilmiştir. 0 ile 1000 °C aralığındaki toplam kütle kaybının TÇ hamurlarında daha fazla olduğu izlenmektedir. TÇ hamurlarında, 0-200 °C sıcaklık aralığında tüm hidrasyon günlerinde yapıda bulunan su, kristal su ve C-S-H'nin daha fazla, 400-500 °C sıcaklık aralığındaki CH'nin ise daha az dehidratasyona uğradığı (Tablo 3) ve sonuçların XRD sonuçlarıyla uyumlu olarak geliştiği tespit edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 4: PÇ ve TÇ hamurunun DTA ve TG analiz verileri.

### 3.4 Çimento hamurlarının mikro yapı analizleri

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ hamurlarının 2., 7. ve 28. günlerdeki mikro yapılarının belirlenmesi için SEM resimleri çekilmiş ve Şekil 5'te verilmiştir.

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ hamurlarının 28 hidrasyon günündeki SEM görüntüleri incelendiğinde; PÇ hamurunda CH'ların üstünde tabakalanmış veya iğnemi şekilde kristallenmiş C-S-H varlığı, TÇ hamurunda ise CH'ların üstünün bulutumsu C-S-H ile kaplanmış olduğu izlenmektedir. Çekimi yapılan SEM resmine göre bu iki çimento hamurunda da hidrate taneçiklerinin üzerinde C-S-H tabakalarının olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, TÇ'nin puzolanik özelliğinin iyi olmasının yanı sıra PÇ'ye göre tane boyutunun da daha küçük olması nedeniyle, TÇ hamurundaki boşlukların hidrasyon ürünleriyle dolduğu ve nispeten daha boşluksuz bir yapının olduğu görülmektedir (Şekil 5).

### 3.5 Çimento hamurlarının su ihtiyacı, genleşme ve priz süreleri

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı çimento hamuru örneklerinin su ihtiyacı, genleşme ve priz süreleri TS EN 196-3'e göre [28] belirlenmiş ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: PÇ ve TÇ hamuru örneklerinin su ihtiyacı, genleşme ve priz süreleri.

Çimento hamurları	Su ihtiyacı, %	Genleşme, mm	Priz süresi, dk.	
			Başlama	Pr. Sonu
PÇ	27.75	1	285	340
TÇ	30.50	2	360	450

Tablo 3: Çimento hamurlarının TG analizleri sonucundaki kütle kayıpları.

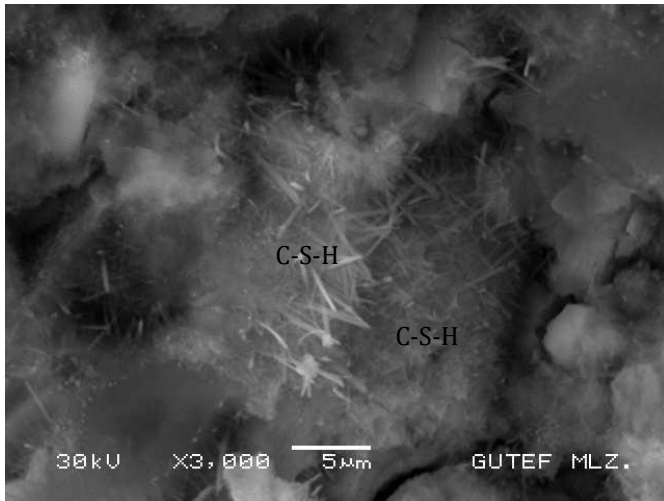
Çimento	0-200 °C (%)	200-400 °C (%)	400-500 °C (%)	500-700 °C (%)	700-850 °C (%)	Toplam
PÇ (2 gün)	4.7	2.7	3.5	1.8	1.6	15.3
TÇ (2 gün)	10.3	2.1	2.7	1.4	1.7	19.3
PÇ (7 gün)	10.7	4.0	4.5	1.5	1.5	23.3
TÇ (7 gün)	13.0	3.7	3.6	1.4	1.5	24.3
PÇ (28 gün)	6.4	4.7	5.0	2.0	1.5	20.8
TÇ (28 gün)	10.7	4.3	3.9	1.7	1.5	23.2

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı TÇ hamurunun, PÇ hamuruna göre su ihtiyacı Blaine değerlerine bağlı olarak %9 oranında bir artış göstermektedir (Tablo 4).

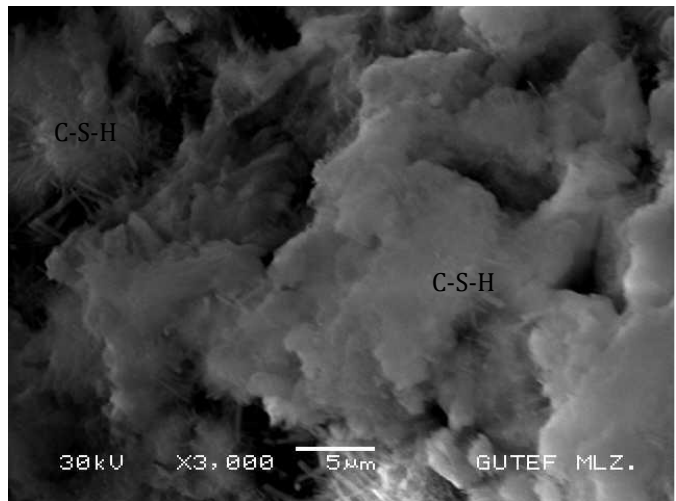
Çimentolarda MgO ve CaO'nun fazla miktarda bulunması, zamanla çimento hamurunda genişlemeye neden olmakta, bu genişmelerden dolayı da beton içerisinde çatlama ve çeşitli hasarlar meydana gelebilmektedir. Yapılan deney sonucunda elde edilen verilere göre genleşme değerleri, Süper Akışkanlaştırıcı katkılı TÇ hamurunda 1 mm, PÇ hamurunda ise 2 mm olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Elde edilen bu genleşme değerlerin TS EN 196-3'te [28] belirtilen 10 mm sınır değerinden düşük olduğu ve genleşme yönünden herhangi bir problemin olmadığı tespit edilmiştir.

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı TÇ hamurunun priz süreleri, PÇ hamuruna nazaran daha uzundur (Tablo 4). Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ hamurunun priz başlama ve sonu süresi sırasıyla, referans çimento hamuruna göre %119 ve %88 artmıştır (Tablo 2, 4). Süper Akışkanlaştırıcı katkılı TÇ hamurunun priz başlama ve sonu süresi ise sırasıyla, referans çimento hamuruna göre %176 ve %150 artarken, Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ hamuruna göre %26 ve %32 artmıştır. Elde edilen sonuçlardan, TS EN 197-1'e [35] göre minimum priz başlama süresi olan 60 dk'nın üzerinde, maksimum priz sonu süreleri olan 600 dk'nın altında olduğu görülmektedir. Böylelikle priz sürelerinin belirtilen sınır değerlerin aralığında olmasından dolayı da taze betonun taşınması ve yerleştirilmesinde zorluklarla karşılaşılacağı, dayanımın istenilen sürelerde sağlanabileceği ifade edilebilir [36].

PÇ



TÇ

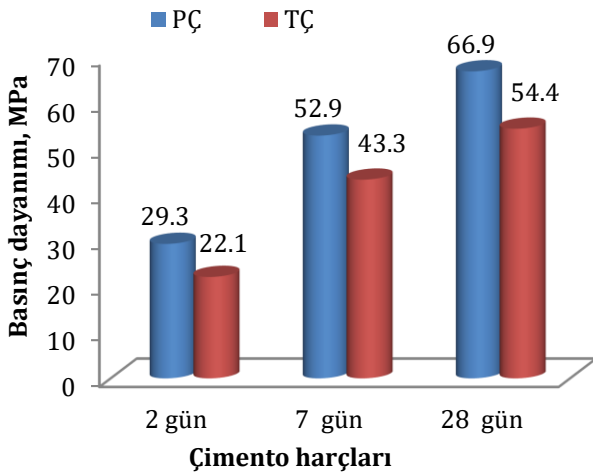


Şekil 5: PÇ ve TÇ hamurunun SEM resimleri.

### 3.6 Çimento harçlarının basınç dayanımları

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı çimento harcı örneklerinin TS-EN 196-1'e [26] uygun olarak elde edilen basınç dayanım sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

PÇ harç örneklerinin basınç dayanımlarının Bursa Çimento Fabrikası'nda yapılan deney sonuçlarına göre 2., 7. ve 28. hidrasyon günlerinde sırasıyla 23.7, 43 ve 55.4 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 2). Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ harcı örneklerinde elde edilen sonuçlar, referans çimentoya göre 2., 7. ve 28. hidrasyon günlerinde sırasıyla %24, %23 ve %21 oranında bir artış olarak gerçekleşmiştir. Bu durum %1 oranında Süper Akışkanlaştırıcı kullanımı ile daha yüksek basınç dayanımı elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu katkı oranı ile CEM I 52.5 R çimentosu sınırlarının da gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 6: Süper Akışkanlaştırıcı katkılı çimento harcı örneklerinin basınç dayanımları.

Elde edilen sonuçlara göre %20 tras oranı ile referans alınan çimentonun 2. ve 28. hidrasyon günlerinde sırasıyla %7 ve %2 oranında bir dayanım düşüklüğü olduğu, 7. hidrasyon gününde ise %1 oranında bir artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca TÇ harç örneğinin Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ harç örneğine göre basınç dayanımının 2., 7. ve 28. gününde sırasıyla %75, %82 ve %81'ine ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 6). Elde edilen sonuçlardan %20 oranında tras ikamesi ile üretilen çimentoların, CEM I 42.5 R Portland çimentosunun basınç dayanımını ve diğer özelliklerini TS EN 197'ye göre sağladığı tespit edilmiştir [35].

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı çimento harcı örneklerinin basınç dayanımları, tane boyutu, Blaine değerleri ve hidrasyon aşamalarındaki farklılıklardan dolayı değişiklikler göstermiştir. Ayrıca tras ikameli çimento hamurlarında puzolanın ortama girmesi ile C<sub>3</sub>S ve C<sub>3</sub>A'nın azaldığı, daha az CH'nin oluştuğu ve bu nedenle erken yaştaki dayanımın azaldığı düşünülmektedir (Şekil 2). Ancak puzolanik özelliği iyi olan tras sayesinde kalan CH'nin zamanla yeni C-S-H jeline dönüştüğü ve boşlukların azaldığı, dolayısıyla da zamana bağlı olarak dayanım değerlerinde bir artış olduğu düşünülmektedir (Şekil 5).

## 4 Sonuçlar

Süper Akışkanlaştırıcı katkılı PÇ ve TÇ üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve analizler sonucunda elde edilen bulgular maddeler halinde sunulmuştur.

- XRD ile belirlenen analizlerine göre TÇ hamurunun, PÇ'ye göre farklı oranlarda hidrasyon ürünleri oluşturduğu ve PÇ hamurlarında, TÇ hamurlarına göre nispeten daha yoğun CH oluşumu görüldüğü,
- Hidrasyon gelişimlerinin FT-IR ile incelenmesi sonucunda elde edilen piklerin değeri ve şiddetlerine göre C-S-H'nin kalsiyum hidroksit bağlarının, bağlanmış ve absorbe edilmiş suyun, yapıya tutunmamış suyun, karbonat fazlarının, sülfat fazlarının, hidrate olmamış kalsiyum silikatların, hidrate olmuş kalsiyum silikatların ve CaCO<sub>3</sub>'ün varlığının tespit edildiği,
- TG analizleri sonucunda elde edilen verilere göre belirlenen kütle kayıplarında toplam kütle kaybının TÇ'de daha fazla olduğu, TÇ hamurlarında, tüm yaşlarda yapıda bulunan su, kristal su ve C-S-H'nin daha fazla, CH'nin ise daha az dehidrasyona uğradığı,
- PÇ ve TÇ hamurlarının 28. hidrasyon günündeki SEM görüntülerine göre; iki çimento hamurunda da hidrate taneciklerinin üzerinde C-S-H tabakalarının oluştuğu, TÇ hamurundaki boşlukların PÇ hamuruna nazaran azaldığı ve hidrasyon ürünleriyle daha yoğun olarak dolduğu,
- TÇ hamurundaki su ihtiyacının, PÇ hamuruna nazaran Blaine değerlerine bağlı olarak nispeten bir artış gösterdiği,
- Genleşme değerlerinin 10 mm olan sınır değerinden düşük olduğu ve genleşme yönünden herhangi bir problemin olmadığı,
- Priz sürelerinin minimum ve maksimum sürelerin arasında gerçekleştiği,
- PÇ ve TÇ harç örneklerinin basınç dayanımlarının tane boyutu, Blaine değerleri ve hidrasyon aşamalarındaki farklılıklardan dolayı değişiklikler gösterdiği,
- Tras ikameli çimento hamurlarında puzolanın ortama girmesi ile C<sub>3</sub>S ve C<sub>3</sub>A'nın azaldığı ve daha az CH'nin açığa çıkmış olduğu, erken yaştaki dayanımın azaldığı, ancak ileriki yaşlarda puzolanik özelliği iyi olan trasın kalan CH'yı zamanla C-S-H jeline dönüştürdüğü ve boşlukları tıkadığı ve bu nedenle zamana bağlı olarak dayanımda bir artış olduğu,
- %20 oranında tras ikamesi ile üretilen Süper Akışkanlaştırıcı katkılı çimentonun CEM I 42.5 R Portland çimentosunun, Süper Akışkanlaştırıcı katkısı ile üretilen PÇ çimentosunun da basınç dayanımı değerinin CEM I 52.5 R çimentosunun basınç dayanımını ve diğer özelliklerini sağladığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, yapılan çalışmadaki elde edilen veriler sonucunda Süper Akışkanlaştırıcı katkının PÇ ve TÇ'nin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumlu rol oynadığı tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmalarda standart çimento deneyleri yanında, meydana gelen yapısal değişikliklerin izlenebileceği XRD, STA, FT-IR ve SEM gibi modern tekniklerin kullanılmasının da faydalı olacağı düşünülmektedir.

## 5 Teşekkür

Yazar, bu çalışmadaki standart çimento deneylerinin yapılmasında özveride bulunan Bursa Çimento Fabrikası yetkililerine ve Kalite Kontrol Şefi Sabiha KAN'a teşekkür eder.

## 6 Kaynaklar

- [1] Jasienko J, Logon D, Misztal W. "Trass-lime reinforced mortars in strengthening and reconstruction of historical masonry walls". *Construction and Building Materials*, 102, 884-892, 2016.
- [2] Koçak Y, Dorum A, Yılmaz B, Uçar A. "Trasın çimento yüzey özelliğine, hidrasyona ve basınç dayanımına etkisi". *E-Journal of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 5(1), 1-14, 2010.
- [3] Koçak Y. "Tras ikame oranının portland çimentosunun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi". *E-Journal Of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 5(3), 564-572, 2010.
- [4] Xu S, Wang J, Jiang Q, Zhang S. "Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures". *Journal of Cleaner Production*, 119, 118-127, 2016.
- [5] Gerengi H, Kocak Y, Jazdzewska A, Kurtay M, Durgun H. "Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite-and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid". *Construction and Building Materials*, 49, 471-477, 2013.
- [6] Pavlik V, Uzakova M. "Effect of curing conditions on the properties of lime, lime-metakaolin and lime-zeolite mortars". *Construction and Building Materials*, 102, 14-25, 2016.
- [7] Kocak Y, Tasci E, Kaya U. "The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements". *Construction and Building Materials*, 47, 720-727, 2013.
- [8] Yıldız K, Dorum A, Koçak Y. "The investigation of the effect of mineralogical molecular electrokinetic and thermal compliance of pumice, zeolite and CEM I cement on high strength concrete". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(4), 867-879, 2010.
- [9] Shoukry H, Kotkata MF, Abo-EL-Enein SA, Morsy MS, Shebl SS. "Enhanced physical, mechanical and microstructural properties of lightweight vermiculite cement composites modified with nano metakaolin". *Construction and Building Materials*, 112, 276-283, 2016.
- [10] Subaşı A, Emiroğlu M. "Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of white Portland cement". *Construction and Building Materials*, 95, 257-268, 2015.
- [11] Helmy AH. "Intermittent curing of fly ash geopolymer mortar". *Construction and Building Materials*, 110, 54-64, 2016.
- [12] Subasi S, Emiroglu M, Kocak Y. "Effect of fly ash on rebars bond strength in the expanded clay aggregate lightweight concrete". *Cement Wapno Beton*, 1, 1-13, 2012.
- [13] Kocak Y, Nas S. "The effect of using fly ash on the strength and hydration characteristics of blended cements". *Construction and Building Materials*, 73, 25-32, 2014.
- [14] Kocak Y, Subaşı S, Emiroğlu M. "Uçucu külün betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi". *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 14-27, 2011.
- [15] Kocak Y. "A study on the effect of fly ash and silica fume substituted cement paste and mortars". *Scientific Research and Essays*, 5(9), 990-998, 2010.
- [16] Zhang Z, Zhang B, Yan P. "Comparative study of effect of raw and densified silica fume in the paste, mortar and concrete". *Construction and Building Materials*, 105, 82-93, 2016.
- [17] Dorum A, Koçak Y, Yılmaz B, Uçar A. "Yüksek fırın cürufunun çimento yüzey özelliklerine ve hidrasyona etkileri". *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19, 47-58, 2009.
- [18] Kürklü G. "The effect of high temperature on the design of blast furnace slag and coarsefly ash-based geopolymer mortar". *Composites Part B*, 92, 9-18, 2016.
- [19] Erdoğan K, Tokyay M, Türker P. *Traslar ve Trasl Çimentolar*. Ankara, Türkiye, TÇMB/AR-GE/Y99.2, 1999.
- [20] Türkmenoğlu AG, Tankut A. "Use of tuffs from central Turkey as admixture in pozzolanic cements Assessment of their petrographical properties". *Cement and Concrete Research*, 32(4), 629-637, 2002.
- [21] Yetkin Ş, Çavdar A. "Doğal puzolan katkı oranının çimentonun dayanım, işlenebilirlik, katılma ve hacim genişmesi özelliklerine etkisi". *Fırat Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 687-692, 2005.
- [22] Shannag MJ. "High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume". *Cement & Concrete Composites*, 22(6), 399-406, 2000.
- [23] Erdoğan TY. *Beton*. Ankara, Türkiye, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ, 2003.
- [24] Canpolat F, Yılmaz K, Kose MM, Sumer M, Yurdusev MA. "Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production". *Cement & Concrete Composites*, 34(5), 731-735, 2004.
- [25] Targan S, Olgun A, Erdogan Y, Sevinc V. "Influence of natural pozzolan, coemanite ore waste, bottom ash and fly ash on the properties of portland cement". *Cement and Concrete Research*, 33(8), 1175-1182, 2003.
- [26] Türk Standartları Enstitüsü. "Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini". Ankara, Türkiye, TS EN 196-1, 2009.
- [27] Türk Standartları Enstitüsü. "Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm 6: İncelik Tayini". Ankara, Türkiye, TS EN 196-6, 2010.
- [28] Türk Standartları Enstitüsü. "Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini". TS EN 196-3, Ankara, Türkiye, 2010.
- [29] Perraki Th, Kakali G, Kontoleon F. "The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement". *Microporous and Mesoporous Materials*, 61(1-3), 205-212, 2003.
- [30] Gomes CEM, Ferreira OP, Fernandes MR. "Influence of vinyl acetate-versatic vinylester copolymer on the microstructural characteristics of cement pastes". *Material Research*, 8(1), 51-56, 2005.
- [31] Pan Z, Cheng L, Lu Y, Yang N. "Hydration products of alkali-activated slag-red mud cementitious material". *Cement and Concrete Research*, 32(3), 357-362, 2002.
- [32] Zhang T, Shang S, Yin F, Aishah A, Salmiah A, Ooi TL. "Adsorptive behavior of surfactants on surface of portland cement". *Cement and Concrete Research*, 31(7), 1009-1015, 2001.



- [33] Prince W, Espagnea M, Aitcin PC. "Etrenjit formation: A crucial step in cement superplasticizer compatibility". *Cement and Concrete Research*, 33(5), 635-641, 2003.
- [34] Skripkuonas G, Sasnauskas V, Dauksys M, Palubinskaite D. "Peculiarities of hydration of cement paste with addition of hydrosodalite". *Materials Science*, 25(3), 627-635, 2007.
- [35] Türk Standartları Enstitüsü. "Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri". Ankara, Türkiye, TS EN 197-1, 2012.
- [36] Rytwo G, Trop D, Serban C. "Adsorption of diquat, paraquat and methyl green on sepiolite: experimental results and model calculations". *Applied Clay Science*, 20(6), 273-282, 2002.