

ZEOLİTİK TÜF KATKI ORANI VE DENİZ SUYUNUN ÇİMENTONUN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Saniye TABAN ve Osman ŞİMŞEK

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, 06500, Ankara
sanivetaban@mynet.com, simsek@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 23.05.2008 ; Kabul/Accepted: 22.12.2008)

ÖZET

Tras olarak bilinen tüfler portland kompoze çimento imalatında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Zeolitik tüfler; zeolit minerali içeren, gözenekli, doğal, volkanik tüflerdir. Zeolit minerallerinin en önemli özelliği iyon değiştirme kabiliyetleridir. Betonun dayanıklılık problemleri, betonun geçirimsizliği ile başlamaktadır. Beton geçirimsiz olması durumunda deniz suyu ve çeşitli etkilere karşı istenen sürede dayanıklılık kazanabilir. Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında, zeolitik tüf (ZT) örneği kayaktan alınmış ve CEM I 42,5 R çimentosuna katkı maddesi olarak kullanılmak üzere tek başına öğütülmüştür. ZT örneğinin tras olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve kimyasal, fiziksel, mekanik özellikleri belirlenmiş, TS 25 (Tras) standartlarına uygunluğu kontrol edilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında ise % 0, % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında ZT CEM I 42,5 R çimentosu yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Çimento hamuru ve 40x40x160mm boyutunda harç prizmaları üretiminde karışım suyu ve olgunlaştırma suyu olarak içme ve deniz suyu iki farklı şekilde kullanılmıştır: Birinci grup; karışım suyu içme suyu, olgunlaştırma suyu içme suyu (İİ), ikinci grup; karışım suyu deniz suyu, olgunlaştırma suyu içme suyu (Dİ) olmak üzere üretim yapılmıştır. Deniz suyunun karışım suyu olarak kullanımı ve ZT'ün çimento içerisine ikame oranının çimento hamurunun priz süresi, hacim genleşmesine ve harç prizmalarının 7, 28, 90 günlük eğilme ve basınç dayanımlarına etkileri test edilmiştir. Kontrol örneklerinden sonra en yüksek eğilme ve basınç dayanım değeri % 10 ZT katkılı çimento harçlarında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler:Tras, zeolit, çimento, deniz suyu, priz süresi, hacim genleşmesi, dayanım.

THE EFFECT OF ZEOLITIC TUFF ADDITION RATIO AND SEA WATER ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ON CEMENT

ABSTRACT

Tuffs which are known as a trass are used as the additive material in the manufacture of the portland composed cement. Zeolitic tuffs (ZT) are porous, natural volcanic tuffs that contain zeolite mineral. The most important feature of zeolite mineral is the ability of changing ion. In the first stage of this study, zeolitic tuff sample was taken from rock mass and grinded alone in order to be used as additive material to portland cement of 42,5. The usability of zeolitic tuff sample as trass was investigated and chemical, physical, mechanical properties were also determined and were inspected in accordance with TS 25 standard. In subsequent stage of this study, ZT were used in the ratio % 0, % 10, % 20, % 30 and % 40 instead of Portland cement of 42,5. Tap water and sea water were used in two different ways as mixture water and mature water to produce cement paste and 40x40x160 mm mortar prisms: In the first group production tap water was used as mixture water, used tap water was used as mature water (TT), in the second group production was used sea water as mixture water, used tap water as a mature water (ST). The use of sea water as mixing water and the addition ratio of ZT into the cement effect on setting time, volume expansion of cement paste and compressive and flexural strength for 7, 28, 90 days were tested. After control samples, the highest compressive and flexural strength value of % 10 were obtained ZT additive cement mortars.

Keywords: Trass, zeolite, cement, sea water, setting time, volume expansion, strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çimentolar, su ile kimyasal reaksiyonlar vererek katılaşmış sertleşebilen, kum ve çakıl gibi katı agregaları birbirine bağlayarak masif bir yapı oluşturan malzemelerdir. Çok çeşitli malzemeler bağlayıcı özellik gösterebilir [1].

Portland çimento üretiminde ilk adım genellikle kireçtaşı ve kil gibi hammaddeleri $\sim 1400^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ısıtma işlemi tabi tutarak yapılan klinker üretimidir. Üretilen klinker az miktarda ($\sim 3-4\%$) alçı ile birlikte ince boyutlarda öğütülerek portland çimentosu elde edilmektedir [2].

Portland çimentosu, üretim aşamaları enerji yoğun bir işlem olması nedeniyle maliyeti yüksek bir üründür [1,2]. Çimento maliyetini ve tüketimini azaltmak için bağlayıcı özelliğe sahip inorganik malzemeler katkı çimento üretmek için kullanılabilir. Bu malzemeler doğal puzolanlar (tras) ve cüruf, uçucu kül, silis dumanı gibi endüstriyel tesis atıklarıdır. Katkı çimento, portland çimentosuna göre çok daha az enerji tüketimi sağlaması ve bazı özelliklerinin getirdiği ilave katkılardan dolayı yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Beton uygulamalarında tras katkı çimentoların kullanılması; betonun işlenebilirliğini arttırmak, geçirgenliği azaltmak, sülfat etkisine karşı dayanımı arttırmak, çatlamlara karşı dayanımı iyileştirmek, uzun dönemde dayanıklılığı arttırmak gibi çeşitli teknolojik avantajlar da sağlamaktadır [3].

Tras volkanik orijinli doğal bir hammaddedir; temel olarak silis ve alüminyum oksitten oluşmakta, eser miktarda kireç içermektedir. Trasın yalnız başına hidrolik bağlayıcı özelliği yoktur. Reaksiyona girmek için kirece gereksinim duyar ve bağlayıcı özelliklere sahip ürün verir. Kireç ve silika arasında meydana gelen reaksiyon puzolanik reaksiyon olarak bilinir. Tras katkı maddesi olarak kullanıldığında, klinkerin su ile reaksiyonu sonucu açığa çıkan kireç puzolanik reaksiyonun meydana gelmesini, trasın bağlayıcı özellik kazanmasını sağlar. Doğal puzolanlar, katkı çimentoların geçirgenliğinin düşük olmasına neden olurken, portland çimentosuna göre de sülfat etkisi gibi kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmalarını sağlamaktadır [4].

Doğal puzolanların aktivitesi açısından özgül yüzeyin, kimyasal bileşiminin ve mineralojik yapının büyük rol oynadığı bilinmektedir [4]. Genel olarak, puzolan tarafından bağlanan kireç miktarındaki aktif fazların yapısı ve miktarı, SiO_2 içeriği, karışımın kireç/puzolan oranı, kür süresine bağlı olduğu bir çok araştırma tarafından doğrulanmıştır [5].

Doğal puzolan katkı çimentodan üretilen yapıların uzun dönemde dayanımı $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ içeriği ile ilişki-

lidir. Kısa dönemde ise özgül yüzey alanı dayanım açısından birinci derecede etkilidir [6]. Doğal puzolanların kimyasal özellikleri için istenen değerler Tablo 1'de verilmiştir. Sönmüş kireç ve doğal puzolanik madde karışımıyla hazırlanan örneklerin, 7 günlük eğilme dayanımı en az 1 N/mm^2 ve basınç dayanımı en az 4 N/mm^2 olması gerekmektedir [7].

Yüksek puzolanik aktiviteye sahip trasların camsı faz ($>80\%$) ve alkali feldspat içerikleri yüksek, kil içeriği ise düşüktür [8].

ZT'ler alkali ve toprak alkali metallerin sulu alümina silikatları olarak tanımlanmaktadır. Zeolitik tüfler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddeleri arasındadır. ZT'ler çok küçük gözenekli yapıya sahip malzemelerdir. Zeolitlerin kristal yapı ve kimyasal özelliklere sahip olması seçimli adsorpsiyon, moleküler elek ve katalitik kullanım alanları gibi uygulamalarda değerlendirilmesini sağlar [9].

ZT'ler, betonun yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. ZT'lerin sulu altyapılarda kullanılacak çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir [10].

ZT'lerin kullanılmasıyla elde edilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliği ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin hem ilk yatırımlarında hem de yapıların kullanımları süresince ortaya çıkan enerji harcamalarında önemli tasarruflar sağlamaktadır [11].

Deniz suyunun beton üzerindeki kimyasal etkisi çözünmüş tuzları içermesinden kaynaklanmaktadır ve tipik tuzluluk oranı $\% 3.5$ civarındadır. Deniz suyunda bulunan tuzlar arasında, sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO_4), kalsiyum sülfat (CaSO_4), potasyum klorür (KCl), Potasyum sülfat (K_2SO_4) sıralanabilir. Deniz suyu hidrati çimento bileşenleri ile reaksiyon yapabilen magnezyum ve sülfat iyonları içerir. Ayrıca, deniz suyunda çözünmüş CO_2 karbonik asit etkisi vardır [12].

Kimyasal etkinin genellikle gel-git ve sualtı bölgesinde kendini gösterdiği bilinmektedir. İçerdiği yüksek sülfat iyonu konsantrasyonu ile deniz suyu harç üzerinde sülfat etkisi yapar. Yapılan araştırmalar klorür iyonlarının bulunduğu ortamda oluşan etrenjitin genişlemeye yol açmadığını ve deniz suyunda çözüldüğünü göstermektedir. Deniz suyunun beton üzerindeki bir diğer kimyasal etkisi ise magnezyum iyonlarının kalsiyum iyonlarıyla yaptığı yer değiştirme reaksiyonudur. $\text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ oluşan

Tablo 1. TS 25 Standardı Tras Özellikleri [7] (TS 25 properties of trass)

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Nem Oranı (%)	7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
> 70	< 5	< 3	< 10	> 1	> 4

2.1.3. CEN standart kumu (CEN Standard Sand)

CEN Standart Kumu her tanecik büyüklüğüne göre ayrı ayrı ve önceden karıştırılmış deneye hazır halde plastik torbalar içinde, EN 196-1 CEN Standart Kumu standardına uygun temin edilmiştir.

2.1.4. Su (Water)

Bu çalışmada karışım ve olgunlaştırma suyu olarak Ankara şehir şebeke suyu ve Ege Denizi Balıkesir Edremit Körfezi suyu kullanılmıştır. Deniz suyunun kimyasal özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deniz suyunun kimyasal özellikleri
(Chemical properties of sea water)

Bileşenler	Miktar (mg/l)
Mg ⁺²	1460
SO ₄ ⁻²	2832
Cl ⁻	18671
Na ⁺	11860
Ca ⁺²	540
NH ₄	0,003
CO ₂	4,49

2.2. Metot (Method)

2.2.1. Zeolitik tüfün tras olarak kullanılabilirliği (Evolution of zeolitic tuff as a trass)

Çalışmanın ilk aşamasında, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinde yüzeylenen kayalardan alınan ZT örneğinin tras olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve kimyasal, fiziksel, mekanik özellikleri belirlenmiştir. ZT örneğinin kimyasal analizi ve fiziksel özellik testleri Ankara Set Çimento Fabrikasında yapılmıştır.

Örnek üzerinde puzolanik aktivite deneyi gerçekleştirilmiştir. Puzolanik aktivite testi Tablo 4'de verildiği gibi TS 25'e göre, TS 819'da tanımlanan standart kum kullanılarak yapılmıştır. Standart kalıplar içerisine dökülerek hazırlanan örneklerin 7 günlük kür süresi sonrasında mekanik özellikleri (eğilme ve

çekme dayanımı) belirlenmiştir.

2.2.2. Çimento priz süresi ve hacim genişmesi tayini (Determination of cement setting time and volume expansion)

Çimento priz süresi ve hacim genişmesi tayini için; % 0, % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında ZT, CEM I 42,5 R çimentosu yerine ikame edilip, karışım suyu olarak içme ve deniz suyu kullanılarak çimento hamuru hazırlanmıştır. Standard kıvam belirlenmesi, priz süreleri ve hacim genişmesi deneyleri TS EN 196-3 esas alınarak yapılmıştır. Deneylerin yapılmasında otomatik vicat aleti ve Le Chatelier aleti kullanılmıştır [18].

2.2.3. Çimento harçlarının 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanım testi (Cement mortars of 7, 28, and 90 days compressive and flexural strength test)

Çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek için, % 0, % 10, % 20, % 30, % 40 oranlarında ZT CEM I 42,5 R çimentosu yerine ikame edilmiştir. TS EN 196-1 esas alınarak 40x40x160mm boyutunda harç prizmaları üretilmiştir [19].

ZT katkılı çimento harçlarının karışım suyu olarak içme ve deniz suyu kullanılarak Tablo 5'de görüldüğü gibi üretimi yapılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULT AND DISCUSSION)

3.1. Zeolitik tüfün tras olarak kullanılabilirliği (Evolution of zeolitic tuff as a trass)

ZT örneğinin çimento üretiminde kullanılabilirliğini araştırmak üzere kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar TS 25, TS EN 196-1, TS EN 196-3 ve daha önceki yapılan çalışmalarla karşılaştırılması ayrı başlıklar altında yorumlanmıştır.

ZT örneğinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 6'da

Tablo 4. Puzolanik aktivite harçlarının karışım oranları [7] (Mixture proportion of puzolan activity mortars)

Malzeme	Miktar (g)
Sönmüş Kireç- CaOH ₂	150
Tras	T= 300*Trasın Özgül Ağırlığı/Sönmüş Kirecin Özgül Ağırlığı
Standart Kum	1350
Su	0,5*(150+T)

Tablo 5. ZT katkılı çimento harcının eğilme ve basınç dayanımı deney planı (Compressive and flexural strength experiment plan of ZT admixture cement mortars)

Test günleri	Karışım Suyu	Olgunlaşma Suyu	Zeolitik Tüf Katkı Oranları (%)				
			0	10	20	30	40
7	İ	İ	3	3	3	3	3
28	İ	İ	3	3	3	3	3
90	İ	İ	3	3	3	3	3
7	D	İ	3	3	3	3	3
28	D	İ	3	3	3	3	3
90	D	İ	3	3	3	3	3
İ:	İçme suyu		D:	Deniz suyu			

Tablo 6. ZT örneğinin kimyasal analiz sonuçları (Chemical analysis of ZT)

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Kızdırma kaybı (%)	Toplam (%)
64,56	11,09	1,40	3,59	2,94	0,15	0,00	3,45	12,94	100,1
TS 25				Zeolitik tüf örneği					
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)				>70	77,08				
MgO (%)				<5	2,94				
SO ₃ (%)				<3	0,15				

verilmiştir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler TS 25'te belirtilen kimyasal özellikler ile karşılaştırıldığında; ZT örneğinin SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ içeriğinin % 77,08 değerine ulaştığı ve standart değerlerin üzerinde olduğu ve SO₃, MgO içeriğinin standart değerlerin altında kaldığı Tablo 6'da görülmektedir.

ZT örneğinin fiziksel özelliklerini belirlemek için özgül ağırlık, özgül yüzey deneyleri, mekanik özelliklerini belirlemek için de puzolanik aktivite deneyi (7 günlük eğilme ve çekme dayanımı) yapılmıştır. ZT örneğinin fiziksel özellikleri ve puzolanik aktivite deneyi sonuçları Tablo 7'de TS 25'te belirtilen standart değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. TS 25'e göre trasların eğilme dayanımının 1 MPa'dan büyük ve basınç dayanımının 4 MPa'dan büyük olması istenmektedir. ZT örneğinin puzolanik aktivite özelliğine sahip olduğu Tablo 7'de görülmektedir. Harç örneğinin eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin, TS 25'de istenen minimum değerlerin sırası ile 2.1 ve 2.2 katı olduğu görülmektedir.

Zeolitik tüf örneğinin özgül yüzeyinin, TS 25'de istenen minimum değer 2.1 katı olduğu belirlenmiştir. Örneğin yüksek yüzey alanına sahip olması, yüzey alanı ile artma eğiliminde olan basınç dayanımı üzerine olumlu etki yapabilir [20].

3.2. Çimento priz süresi ve hacim genleşmesi deneyi (Cement setting time and volume expansion test)

Çimento hamuru karışımında içme ve deniz suyu

kullanılmıştır. Ayrıca ikame olarak 4 farklı oranda ZT içeren örneklerin ZT ikame miktarı, kıvam suyu miktarları, çimento hamuru priz başlama ve sona erme süreleri ve hacim genleşmesi değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Çimento hamurunun priz süresi ve hacim genleşmesi özelliklerinin belirlenmesinde, kıvam 12-14 mm aralığında esas alınmıştır.

Tablo 8 analiz edildiğinde, hacim genleşmesi değerlerinin % 20 ve üzeri zeolitik tüf karışım oranlarında arttığı, bu artışın Dİ gruplarda İİ gruplara göre biraz daha fazla olduğu görülmektedir.

Zeolitik tüf % 20 ikameli Dİ grup çimento harçlarında hacim genleşmesinin 3mm, zeolitik tüf % 40 ikameli Dİ grup çimento harçlarında hacim genleşmesinin 4mm olmasına rağmen TS EN 196-3'de önerilen sınırın oldukça altındadır.

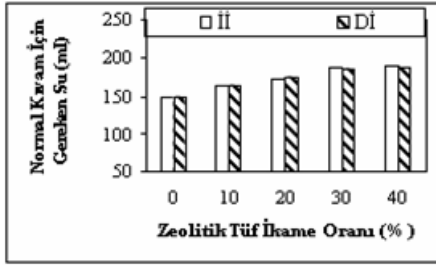
Şekil 4'de çimento hamurlarının kıvam suyu analiz edildiğinde; ZT'ün çimento içerisine % 10 oranında ikame edilmesi ile normal kıvam için gereken içme suyunun % 9.3 oranında, % 20 oranında ikame edilmesi ile % 5.5 oranında, % 30 oranında ikame edilmesi ile % 4.0 oranında, % 40 oranında ikame edilmesi ile % 1.1 oranında arttığı görülmektedir. Buna göre çimento içerisindeki ZT ikame oranı arttıkça, normal kıvam için gereken su miktarı da artmaktadır. Burada olduğu gibi % 30 ZT miktarından sonra su ihtiyacı önemli derecede değişim göstermemektedir. Deniz suyu ile üretilen çimento hamurlarında da buna yakın bir durum gözlemlenmektedir.

Tablo 7. ZT'ün fiziksel ve mekanik özellikleri (Physical and mechanical properties of ZT)

	Puzolanik aktivite			
	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Özgül yüzey (cm ² /g)	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilme dayanımı (MPa)
ZT	2,30	6333	2,1	8,5
TS 25		>3000	>1	>4

Tablo 8. ZT ikameli çimento hamuru fiziksel özellikleri (Physical properties of cement pastes added ZT)

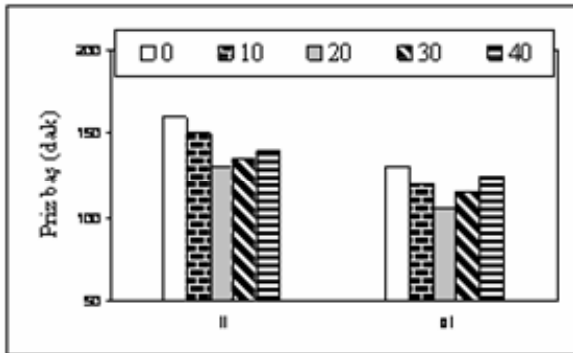
Karışım ve Olgunlaştırma Suyu Grupları	ZT İkame Oranı (%)	ZT İkame Miktarı (g)	Çimento Miktarı (g)	Su Miktarı (ml)	Su / Bağlayıcı (%)	Priz Başlama Süresi (dak.)	Priz Sona Erme Süresi (dak.)	Katılma Süresi (dak.)	Hacim Genleşmesi (mm)
İİ	0	0	500	150	0,30	160	215	55	1
	10	50	450	164	0,33	150	210	60	1
	20	100	400	173	0,35	130	160	30	2
	30	150	350	180	0,37	135	165	30	2
	40	200	300	182	0,39	140	170	30	3
Dİ	0	0	500	150	0,30	130	180	50	1
	10	50	450	165	0,33	120	175	55	2
	20	100	400	174	0,35	105	145	40	3
	30	150	350	181	0,37	115	160	45	3
	40	200	300	183	0,38	125	165	40	4



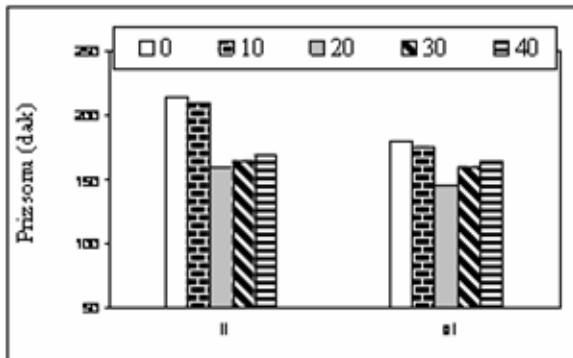
Şekil 4. Normal kıvam suyu miktarı - ZT ikame oranı ilişkisi (Relation of normal consistency water and additive ratio)

ZT'ün özgül ağırlığının 2.30 ve özgül yüzeyinin 6333 cm²/g olması yani çimentoya göre daha hafif ve ince olması, çimento hamurunun normal kıvam suyu gereksinimini arttırmıştır.

Priz süreleri, normal kıvam suyundaki artışla ters orantılı olarak azalmaktadır. ZT'ün özgül yüzeyinin çimentodan fazla olması ve taneler incelidikçe aynı sürede hidratasyona giren tane miktarının artması nedeni ile ZT katkı oranının yükseltilmesi priz başlangıcı ve sonu sürelerini kısaltmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde priz başlangıcı ve sonu sürelerinde benzerlikler görülmektedir. % 20 ZT ikameli çimento hamurunda daha kısa sürede priz başlamış ve daha kısa sürede priz sona ermiştir. Deniz suyunun karışım suyu olarak kullanılması durumunda da (Dİ gruplarda) benzerlik gözlemlenmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, deniz suyunun karışım suyu



Şekil 5. ZT ikameli çimento hamurları priz başlangıcı süresi - karışım suyu ilişkisi (Relation of initial setting time of cement pastes added ZT and mixture water)



Şekil 6. ZT ikameli çimento hamurları priz sonu süresi - karışım suyu ilişkisi (Relation of final setting time of cement pastes added ZT and mixture water)

olarak kullanılmasının priz hızlandırıcı etki yaptığı görülmektedir.

3.3. Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Cement Mortars)

Çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek için 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımları incelenmiştir. Eğilme dayanım sonuçları alınan aynı örneklerin parçaları üzerinde basınç dayanım değerleri saptanmıştır.

3.3.1. Çimento harçlarının 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları (Result of cement mortars of 7, 28, and 90 days flexural strenght)

ZT katkılı çimento harç prizmalarının 7, 28 ve 90 günlük eğilme test sonuçları Tablo 9'da, verilmiştir. Sonuçların ZT'ün çimento içerisine ikame oranı, karışım suyu bakımından değerlendirilmesi yapılmış ve çimento harcının mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Tablo 9. Harç prizmalarının 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım değerleri (Value of mortar prism of 7, 28, and 90 days flexural strenght)

Karışımlar	Zeolitik Tüf İkame Miktarı (%)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)	90 Günlük (MPa)
İİ	0	5,64	6,83	7,28
	10	4,77	5,87	6,70
	20	3,70	5,25	6,48
	30	3,17	4,69	5,72
	40	2,30	3,81	5,40
Dİ	0	5,83	6,92	7,01
	10	5,31	6,04	6,08
	20	4,76	5,66	5,70
	30	3,89	4,74	4,99
	40	2,79	4,49	4,70

Tablo 9 incelendiğinde İİ grup örneklerde ikame oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmaktadır. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarında en yüksek dayanımı kontrol örnekleri verirken, en düşük dayanımı % 40 ikameli karışım örnekleri vermiştir. En yüksek ve en düşük örnek dayanım farkının sırasıyla 7 günlükte 3,34 MPa, 28 günlükte 3,02 MPa ve 90 günlükte 1,88 MPa olduğu saptanmıştır. Bu farklar analiz edildiğinde, harç örneklerinin test yaşları arttıkça aradaki farkın azaldığı söylenebilir. ZT'ün 90 gün daha sonraki yaşlarda eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkisi görülmüştür. Bu durum da daha önceki çalışmalara paralellik göstermektedir.

Tablo 9'a göre Dİ grup örneklerde 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarında en yüksek dayanımı kontrol örnekleri vermiştir. En yüksek ve en düşük örnek dayanım farkının sırasıyla 7 günlükte 3,04 MPa, 28 günlükte 2,43 MPa ve 90 günlükte 2,31 MPa olduğu saptanmıştır

Bu farklar analiz edildiğinde, harç örneklerinin test yaşları arttıkça aradaki farkın azaldığı söylenebilir. İkame oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmaktadır. 7 günlük kontrol örnekleri 28 günlük dayanımın % 84,24'ünü kazanırken 90 günde % 83,16'sını kazanmıştır. Burada görüldüğü gibi deniz suyu 28 günden sonra eğilme dayanımına olumsuz etkide bulunmuştur. % 10 ikame oranı analiz edildiğinde 7 günlük kontrol örnekleri 28 günlük dayanımın % 87,91'ini kazanırken 90 günde % 87,33'ünü kazanmıştır. % 20 ikame oranı analiz edildiğinde 7 günlük kontrol örnekleri 28 günlük dayanımın % 84,09'unu kazanırken 90 günde % 83,50'sini kazanmıştır. % 30 ikame oranı analiz edildiğinde 7 günlük kontrol örnekleri 28 günlük dayanımın % 82,06'sını kazanırken 90 günde % 77,95'ini kazanmıştır. % 40 ikame oranı analiz edildiğinde 7 günlük kontrol örnekleri 28 günlük dayanımın % 62,13'ünü kazanırken 90 günde % 59,36'sını kazanmıştır.

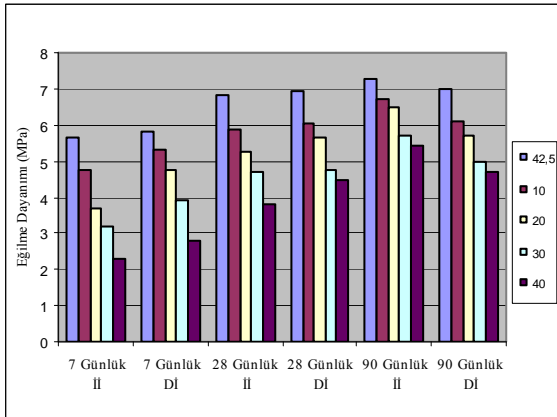
Şekil 7 incelendiğinde ZT oranı arttıkça eğilme dayanımlarında düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Şekil 7'de 7 ve 28 günlük Dİ grup örneklerinin daha yüksek dayanıma sahip olmasına rağmen 90 günlük İİ grup örneklerin Dİ grup örneklere göre daha yüksek dayanım verdiği görülmektedir. Bunun nedeni 7 ve 28 günde deniz suyunun eğilme dayanımını artırıcı etkisinden kaynaklanmaktadır.

3.3. Çimento Harçlarının 7, 28 ve 90 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları (Result of Cement Mortars of 7, 28, and 90 days Compressive Strength)

ZT katkılı çimento harç prizmalarının 7, 28 ve 90 günlük basınç test sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10 incelendiğinde İİ ve Dİ grup örneklerde test günü arttıkça basınç dayanımının bütün ikame oranlarında arttığı görülmektedir.

Tablo 10'a göre İİ grup örneklerde bütün yaşlarda ikame oranı arttıkça basınç dayanımı düşmektedir. Bu grupta en yüksek dayanım kontrol örneklerinde, en



Şekil 7. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı - ZT ikame oranı ilişkisi (Relation of additive portion and 7,28 and 90 days flexural strength)

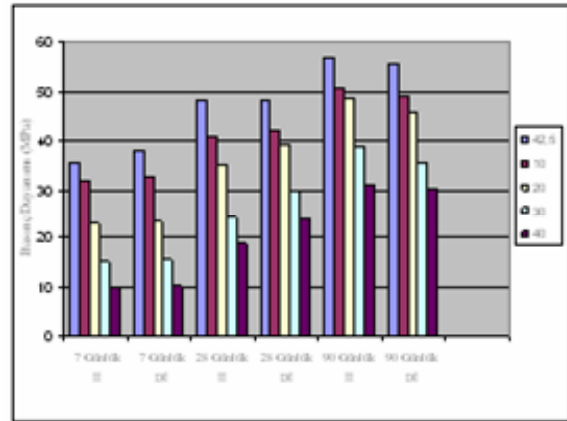
Tablo 10. Harç prizmalarının 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri (Value of mortar prism of 7, 28, and 90 days compressive strength)

Karışımlar	Zeolitik Tüf İkame Miktarı (%)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)	90 Günlük (MPa)
İİ	0	35,37	47,97	56,71
	10	31,78	40,62	50,61
	20	22,88	35,19	48,64
	30	15,21	24,21	38,91
	40	9,66	18,91	30,96
Dİ	0	37,96	48,32	55,47
	10	32,82	42,08	49,07
	20	23,25	39,00	45,68
	30	15,38	29,85	35,58
	40	10,12	23,69	30,40

düşük dayanımı ise % 40 ikameli karışımlarda saptanmıştır. 7 günlük basınç dayanımında en yüksek ve en düşük arasındaki farkın 25,71 MPa, 28 günlük örneklerde 29,06 MPa, 90 günlük örneklerde ise 25,75 MPa olduğu belirlenmiştir.

Dİ grup örnekler analiz edildiğinde (Tablo 10) bütün yaşlarda ikame oranı ile basınç dayanımı arasında ters ilişki olduğu görülmektedir. Bu grubun en yüksek dayanımı kontrol örneklerinde, en düşük dayanımı ise % 40 ikameli karışımlarda saptanmıştır. 7 günlük basınç dayanımında en yüksek ve en düşük arasındaki farkın 27,84 MPa, 28 günlük örneklerde 24,63 MPa, 90 günlük örneklerde ise 25,07 MPa olduğu belirlenmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde ZT oranı arttıkça basınç dayanımlarında düşüş meydana geldiği belirlenmiştir ve Dİ grup örneklerin daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8'e göre 7 ve 28 günde deniz suyunun basınç dayanımını artırıcı etkisinden dolayı İİ grup örneklerin Dİ örneklere göre daha yüksek dayanım verdiği görülmektedir. Deniz suyu 28 günden sonra basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 8. 7,28 ve 90 günlük basınç dayanımı - ZT ikame oranı ilişkisi (Relation of additive portion and 7,28 and 90days compressive strength)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

• Zeolitin doğal mineral olarak kullanımının amacı yüksek iyon değişim kapasitesi, moleküler elek olma özelliği, yüksek silis bileşimine sahip olması, düşük yoğunluğu ve kristal yapısı bozulmadan dehidrasyona uygunluğudur. Bu özellikler zeoliti diğer mineral katkılardan üstün kılmaktadır. Zeolitin moleküler elek olması zeolitin öğütülmesini kolaylaştırmakta, özgül yüzeyin normal çimento değerinden yüksek olması boşlukların azalmasına sağlamaktadır.

• Çimento üretiminde enerji harcamalarının büyük bir kısmının hammadde ve klinker öğütme prosesinde harcandığı bilinmektedir. Harcanan bu enerjinin azaltılması ve klasik çimento hammaddelerine alternatif olarak değişik katkı malzemelerinin denenmesi açısından zeolit kullanımı uygun görülmektedir.

• ZT örneğinin tras olarak kullanılabilirliği araştırmak için kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler TS 25'te belirtilen kimyasal özellikler ile karşılaştırıldığında; ZT örneğinin $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriğinin % 77,08 değerine ulaştığı ve standart değerlerin üzerinde olduğu ve SO_3 , MgO içeriğinin standart değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Pozolanik aktivite deneyi sonuçlarına göre harç örneğinin eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin, TS 25'de istenen minimum değerlerin sırası ile 2.1 ve 2.2 katı olduğu görülmektedir. Zeolitik tüf örneğinin özgül yüzeyinin, TS 25'de istenen minimum değer 2.1 katı olduğu belirlenmiştir.

• Çimento içerisindeki ZT ikame oranı arttıkça, normal kıvam için gereken su miktarı da artmaktadır. % 30 ZT miktarından sonra su ihtiyacı önemli derecede değişim göstermemektedir.

• Hacim genişmesi değerlerinin % 20 ve üzeri zeolitik tüf karışım oranlarında arttığı, bu artışın Dİ gruplarda İİ gruplara göre biraz daha fazla olduğu görülmektedir fakat TS EN 196-3'de önerilen sınırın oldukça altındadır.

• Priz süreleri, normal kıvam suyundaki artışla ters orantılı olarak azalmaktadır. ZT katkı oranının yükseltilmesi priz başlangıcı ve sonu sürelerini kısaltmaktadır. % 20 ZT ikameli çimento hamurunda daha kısa sürede priz başlamış ve daha kısa sürede priz sona ermiştir. Deniz suyunun karışım suyu olarak kullanıldığı Dİ gruplarda priz hızlandırıcı etki yaptığı görülmektedir.

• İİ grup örneklerde ikame oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımı azalmaktadır. 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımlarında en yüksek dayanımı kontrol örnekleri verirken, en düşük dayanımı % 40 ikameli karışım örnekleri vermiştir. ZT'ün 90 gün daha sonraki yaşlarda eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkisi görülmüştür. Dİ grup örnekler

incelendiğinde de ikame oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımı azalmaktadır. Deniz suyunun 28 günden sonra eğilme ve basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmektedir.

• İİ ve Dİ gruplarda kontrol örneklerinden sonra en yüksek eğilme ve basınç dayanım değerini % 10 ZT katkı oranındaki çimento harçları vermiştir.

KAYNAKLAR

1. Neville, A.M., "Properties of Concrete, Prentice Hall, London" England, (2000).
2. Taşkın, C, "Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları", Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, (1984).
3. Camacho, R.E.R., Afif, R.U., "Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability", **Cement and Concrete Research**, Elsevier, 32: 1851-1858, (2002).
4. Massazza, F., "Pozzolanas and Durability of Concrete", **Çimento ve Beton Dünyası, Journal of TCMB**, Ankara, (1999).
5. Hewlett, P.C., "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", John Wiley and Sons Inc, Fourth Edition, New York, USA, (1998).
6. Costa, U., Massazza, F., "Factors Affecting the Reaction with Lime of Italian Pozzolanas", **II Cemento**, pp. 131-139, Italy.(1981).
7. TS 25, "Tras", TSE, Ankara, (1975).
8. Terzibaşoğlu, N., "Andezitin Traslı Çimento Üretiminde Kullanımı", **Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, (1995).
9. Breck, D.W., "Zeolite Molecular Sieve; Structure, Chemistry and Use", John Wiley and Sons, New York, pp. 771, (1974).
10. Erdem, E., Donat R., Çetisli, H. "Hydration and Mechanical Properties of Cement Containing Zeolite", **I. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement**, 6-9 November, Istanbul-Turkey, 216-220, (1997).
11. Bektas, F., Uzal, B., Turanlı, L. "Öğütülmüş Doğal Zeolitin Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi" **5. Ulusal Beton Kongresi**, İMO İstanbul Şubesi, İstanbul, 403-409, (2003).
12. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., "Betonarme Yapılarda Kalıcılık", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, (2002).
13. Akman, M.S., "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi", İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul, (1992).
14. Yeğınobalı, A., "Betonun Dayanıklılığı II, Kimyasal Etkenler", TCMB Çimento
15. Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara, (1999).
16. Helvacı, C., Alaca, O., "Bigadiç Borat Yatakları ve Çevresinin Jeolojisi ve Mineralojisi", **MTA Dergisi**, 113: 61- 92, (1991).

17. Baysal, O., Gündoğdu, A., Temel, Ö.F., “Bigadiç Zeolit Oluşumlarının Ekonomik Jeolojik İncelenmesi Projesi”, **H.Ü. Yuvam**, 85 - 2 (Basılmamış), (1988).
18. Göktekin, A., “Bigadiç Tülü Ovası Zeolitlerinin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması” (Rapor, basılmamış) İ.T.Ü. Yer Bilimleri ve Yeraltı Kaynakları UYGAR, (1989).
19. TS EN 196-3, “Çimento Deney Metotları-Bölüm 13: Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini”, (2002).
20. TS EN 196-1 “Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım”, Mart, (2002).
21. Erdoğan, K., Tokyay, M., Turker, P., “Traslar ve Traslı Çimentolar”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, (1999).