



ELAZIĞ YÖRESİNE AİT ATIK TUĞLA VE KİREÇ TAŞI TOZUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARCIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECTS OF ELAZIG REGION WASTE BRICK AND LIMESTONE POWDER ON ENGINEERING PROPERTIES OF SELF COMPACTING MORTAR

Merve AÇIKGENÇ^{1*}, Mehmet KARATAŞ¹, Zülfü Çınar ULUCAN¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ.
merveacikgenc@firat.edu.tr, mkaratas@firat.edu.tr, zculucan@firat.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.09.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 21.12.2012

doi: 10.5505/pajes.2013.24633

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

Bu çalışmanın amacı, kendiliğinden yerleşen harçta (KYH) mineral katkı kullanımının harcın dayanım ve viskozite özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), geleneksel betona göre daha az iri agrega içerdiğinden KYB tasarımının temelini harç oluşturur. Bu nedenle bu çalışmada harç kullanmak uygun bulunmuştur. Bunun yanı sıra KYB' da gerekli dayanım, dayanıklılık ve uygun bir işlenebilirlik gibi özellikler, iyi bir beton üretimini kaçınılmaz kılmaktadır. Bu özelliklerin sağlanmasında mineral katkı maddelerinin (Silis dumanı, Uçucu kul, kireçtaşı tozu, yüksek fırın cürufu vb.) gerekliliği ve belirli miktarda toz malzemenin sağlanmasının, özellikle KYB' da işlenebilirlik ve kıvam açısından şart olduğu yapılan birçok çalışmada ortaya konulmuştur. Ayrıca, düzensiz bir biçimde çevreye bırakılan atıkların çevre sağlığını tehdit etmesini önlemek ve KYB' da kullanılacak toz maddelere yöresel anlamda yenilerini ekleyerek, böylece hem nakliye maliyetinin hem de kireç taşı ve tuğla tozunun çimento azaltılarak kullanımıyla malzeme maliyetin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çimento yerine ikame yöntemiyle Elazığ Yöresi Kireçtaşı Tozu ve Atık Tuğla Tozu birlikte ve ayrı ayrı kullanılarak, toplamda 23 adet harç karışımı oluşturulmuştur. Bu harçların, işlenebilirlik özelliklerini belirlemek ve kendiliğinden yerleşebilirliklerini incelemek amacıyla, mini çökme-yayıma ve mini V-hunisi deneyleri yapılmış, ayrıca harçların viskoziteleri saptanmıştır. Mekani özellikler için numunelerin 3, 7, 28 ve 91 günlük periyotlarında üç noktalı eğilme ve basınç deneyi yapılmıştır. Ayrıca numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmış ve daha sonra numunelerin toplam su emme, porozite oranları ve yoğunlukları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen harç; Kireçtaşı tozu; Atık tuğla tozu; Viskozite; Mekanik özellikler.

Abstract

The aim of this study is to investigate the effects of using mineral additives on Self compacting Mortar's (SCM) strength and viscosity properties. As Self-compacting concrete (SCC) contains less coarse aggregate than conventional concrete, mortar forms the basis of the design of SCC. Therefore, this study was found to be appropriate to use mortar. In addition, the properties of SCC such as required strength, durability and workability makes a good production of concrete inevitable. While Providing this properties, it has been presented in many studies that mineral additive (silica fume, fly ash, limestone powder, blast furnace slag etc.) and certain amount of powder material requirement is essential especially in terms of workability and consistency of SCC. Furthermore, it was aimed to prevent environmental health threats by wastes released disorderly and to add new powder material to be used in SCC and finally to reduce the cost of both transport and cement by using limestone and waste brick powder. For this purpose, 23 types of mortars, in which cement was partially replaced of limestone and waste brick powder, were produced. The mini slump flow and V-funnel tests were used to assess the workability and the self compactivity properties of the fresh mortars, and the viscosity of mortars were also measured. The hardened properties of SCM specimens including the compressive strength and tensile strength in bending were investigated and all tests were performed for 3, 7, 28 and 91 days. Moreover, capillary water absorption test were performed and, total water absorption and porosity rates of all specimens were measured.

Keywords: Self compacting mortar; Limestone powder; Waste brick powder; Viscosity; Mechanical properties.

1 Giriş

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), 1986 yılında Japonya'da betonun işlenebilirliğini, durabilitesini ve kalitesini arttırmayı amaçlayan bir grup bilim adamı tarafından keşfedilmiştir. KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı, dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç ve dış vibrasyon gerektirmeksizin, kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliğini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [1].

KYB, özellikle deprem sonrası onarım-güçlendirme işleri ve prefabrikte sektörü başta olmak üzere inşaatın değişik alanlarında giderek daha fazla uygulanma olanağı bulmaktadır. Kolay yerleşmesi, vibrasyon gerektirmemesi, ayrışma direncinin yüksek oluşu, yüksek durabilite özelliği gibi nedenlerle yüksek performanslı beton üretimine de

olanak veren KYB' un bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir [2]. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımına uygun olarak kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, EFNARC (European Federation of National Trade Associations) tarafından yayınlanan standartlardan faydalanılmıştır [3]-[4]. EFNARC kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğiyle ilgili olarak üç özellik gerektirir. Bunlar bulunduğu hacmi boşluksuz doldurma yeteneği, akma oranıyla belirlenen uygun viskozite, dar kesitlerden geçme kabiliyeti ve ayrışma (segregasyon) direncidir [3]. KYB' da işlenebilirlik geleneksel betonda kullanılan deney metodlarıyla belirlenemez, bunun yerine EFNARC tarafından Çökme-yayıma, V-hunisi, J-halkası,

L-kutusu, U-kutusu ve Elek ayırma deneyleri önerilmiştir [3]-[4]. Ayrıca bu deneyler ve KYB' un işlenebilirliği ile ilgili olarak başka standartlar da mevcuttur. Örneğin, KYB' un, doldurma ve akışkanlık yeteneği ile ilgili ASTM C1611/C1611M [5], geçiş yeteneği ile ilgili ASTM C1621/C1621M [6], statik ayırma direnci ile ilgili ASTM C1610/C1610M [7] ve KYB' da Çökme-yayılma deneyinin tabiki ile ilgili EN 12350-8 [8].

Kendiliğinden yerleşen beton veya harçların en önemli sakıncalarından biri maliyettir. Bu durum kimyasal katkı ve yüksek miktarda çimento kullanımından kaynaklanmaktadır. Kimyasal katkının kullanımı KYB için kaçınılmaz olsa da çimento miktarı puzolanik veya toz haldeki mineral katkıları kullanılarak azaltılabilir. Böylece maliyetin düşürülmesinin yanında toz malzemenin sağlayacağı avantajlardan da yararlanılabilir. Bu toz malzemelere, uçucu kül, silis dumanı, kireçtaşı tozu, mermer tozu, yüksek fırın cürufu vb. örnek verilebilir. Bu katkıların kendiliğinden yerleşen beton ve harç üzerindeki etkilerini araştırmak üzere birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin, Şahmaran v.d., (2006) kimyasal katkılar ile uçucu kül, tuğla tozu, kaolin ve kireç taşı tozunun KYH üzerindeki etkilerini araştırırken, Türk v.d., (2006) F sınıfı uçucu kül miktarının KYB' un dayanım özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Ayrıca Felekoğlu (2007) KYB' da iki farklı kireç taşı tozu grubunu karşılaştırarak, bunların KYB üzerindeki etkilerini, Ulucan vd. (2008) farklı oranlarda silis dumanı ve uçucu kül katkısının KYB' un basınç dayanımına etkisini, Güneyisi vd. (2010) uçucu kül, silis dumanı, meta kaolin gibi mineral katkıları kullanarak bunların KYB' un mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve başarılı sonuçlara ulaşmışlardır [9]-[13].

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımı yöntemleri genellikle, hamur veya harç üzerinde ön çalışma gerektirmektedir. Domone ve Jin, (1999)'e göre KYB' da harç deneylerinin üstünlükleri, KYB, geleneksel betona göre daha az iri agrega içerdiğinden (hacimce % 30) harç karakteristiklerinin baskındır, harç tasarımın temelini oluşturur ve harçta deney yapmak daha kolaydır [14]. Bu nedenle, bu çalışmada kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımlarında mineral katkı olarak çimento yerine ikame yöntemiyle kireç taşı tozu (KTT) ve tuğla tozu (TT) kullanılmış ve bunların KYH üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2 Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, KTT ve TT çimento yerine ikame yöntemiyle kendiliğinden yerleşen harç karışımlarında kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla hiç toz malzeme içermeyen bir harç karışımı da oluşturulmuştur. Toplamda 23 tip harç karışımı ile deneysel çalışmalar iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, harçların taze özellikleri belirlenirken, mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneylerinin yanında harçların viskoziteleri de saptanmıştır. İkinci aşamada ise sertleşmiş özellikler için 3, 7, 28 ve 91 günlük numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca 28 günlük numuneler kapiler su emme deneyine tabi tutulmuş, daha sonra sadece TT ve KTT içeren numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite oranları saptanmıştır.

2.1 Malzeme Özellikleri

Çalışmada, CEM I 42,5 N tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. KYH için Elazığ Murat nehrinden temin edilen maksimum tane çapı 2 mm olan agrega kullanılmıştır. Agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2,63 g/cm³, su emmesi % 1,96' dır.

Kimyasal katkı olarak, 1,06 g/cm³ yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı polimer bir süper akışkanlaştırıcı (SA) 23 karışımda da 6 kg/m³ oranında kullanılmıştır. Mineral katkı olarak da Elazığ yöresindeki taş ocaklarından alınan kireçtaşları ve Elazığ'daki fabrikalardan elde edilen atık tuğla parçaları, öğütülerek toz haline getirilmiş ve eleme işlemine tabi tutularak 0,125 mm² göz açıklıklı elekten geçen kısmı kullanılmıştır, tuğla tozunun inceliği belirlenmemiştir. Özgül ağırlığı 2,71 g/cm³ olan kireç taşı tozu, harçlarda % 0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 2,64 g/cm³ olan tuğla tozu ise % 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Ayrıca TT ve KTT'nun birlikte kullanıldığı harç karışımları da mevcuttur. Tablo 1'de çimento, KTT ve TT'nun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri görülmektedir.

Tablo 1: Çimentonun, KTT ve TT'nun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.

	CEM I 42,5 N	Kireçtaşı Tozu (KTT)	Tuğla Tozu (TT)
SiO ₂ (%)	21,12	8,00	41,61
Al ₂ O ₃ (%)	5,62	0,51	14,76
Fe ₂ O ₃ (%)	3,24	0,62	11,47
CaO (%)	62,94	52,34	14,34
MgO (%)	-	1,62	6,04
SO ₃ (%)	2,66	-	-
Kızdırma kayı (%)	3,52	42,86	2,33
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,1	2,711	2,64
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3490	5193	% 92'si 0,125 mm ² 'nin altında

2.2 Karışım Oranları ve Taze Harç Deneyleri

Kullanılan karışım oranları Tablo 2'de görülmektedir. Karışımlar içerdikleri toz malzeme oranına göre isimlendirilmişlerdir. Örneğin TT10, haçta çimentonun ağırlıkça % 10'unun azaltılarak yerine TT kullanıldığı anlamına gelmektedir. Hiç toz malzeme içermeyen harç, kontrol olarak adlandırılmıştır.

Kimyasal katkı oranı sabit tutularak, karışım suyu miktarı, çökme yayılma çapını, EFNARC (2002) [3]'de önerilen mini çökme-yayılma (Şekil 1) deneyinden faydalanılarak, 240-260 mm arasında tutacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca harçların su/toz oranları 0.40 civarında tutulmuştur.

Kullanılan harçlar, ASTM C109/C 109M-01 [15]'e uygun bir mikser kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 1: Mini çökme-yayılma ve V-hunisi testi.

Tablo 2: Kendiliğinden yerleşen harç karışım oranları.

Karışım Kodu	Miktar (kg/m ³)					
	Çimento	KTT	TT	Kum	Su	SA
Kontrol	640	0	0	1273	294	6,00
TT5	608	0	32	1268	294	6,00
TT10	576	0	64	1270	291	6,00
TT15	544	0	96	1257	294	6,00
TT20	512	0	128	1246	296	6,00
TT25	480	0	160	1236	298	6,00
TT30	448	0	192	1223	301	6,00
KTT10	576	64	0	1265	294	6,00
KTT20	512	128	0	1272	288	6,00
KTT30	448	192	0	1280	282	6,00
KTT40	384	256	0	1290	275	6,00
TT5+KTT10	544	32	64	1267	291	6,00
TT5+KTT20	480	32	128	1275	285	6,00
TT5+KTT30	416	32	192	1286	278	6,00
TT10+KTT10	512	64	64	1262	291	6,00
TT10+KTT20	448	64	128	1270	285	6,00
TT10+KTT30	384	64	192	1270	282	6,00
TT15+KTT10	480	96	64	1257	291	6,00
TT15+KTT20	416	96	128	1257	288	6,00
TT20+KTT10	448	128	64	1244	294	6,00
TT20+KTT20	384	128	128	1243	291	6,00
TT25+KTT10	416	160	64	1228	298	6,00
TT30+KTT10	384	192	64	1214	301	6,00

Harçların çökme yayılma değerleri, EFNARC [3]'de verilen sınırlar olan çökme yayılma çapı 240~260 mm arasında tutulmuştur. Mini V-hunisi deneyinde ise; Şekil 1'deki gibi bir V-hunisinden faydalanarak V-hunisi akma zamanı elde edilmiştir. Kontrol harcı da dahil olmak üzere bütün harçların V-hunisi akma zamanı değerleri 10~11 s. arasında ölçülmüştür. EFNARC [3]'a göre bu zaman 7~11 s. Arasında olmalıdır. Çökme-yayılma ve V-hunisi akma zamanı değerlerine bakılarak TT ve KTT'nin, harçların kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini değiştirmedeğini söyleyebiliriz.

Mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyleri EFNARC (2002)'de tanımlandığı üzere yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar bağıl çökme-yayılma ve bağıl huni hızı formülleri kullanılarak dönüştürülmüştür. Bağıl çökme yayılma formülü Denklem (1)'de verilmiştir.

$$\Gamma_m = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 - 1 \quad (1)$$

Burada, d, test sonucu elde edilen ortalama yayılma çapı olup, do ise mini çökme-yayılma konisinin alt çapıdır (100 mm). Bağıl huni hızı ise Denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (2)$$

Burada, t, deney sonucunda tespit edilen akma zamanıdır. Ayrıca harçların viskozite ölçümleri Brookfield DV-E model bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Harçların viskozitesi 1, 2.5, 5, 10, 20, 50 ve 100 devir/dk açısız hızlarda ve karıştırma işleminden hemen sonra ölçülmüştür. Böylece, her bir KYH karışımı için farklı açısız hızlardaki viskozite değerleri (cP) elde edilmiş ve viskozite-açısız hız grafikleri çizilmiştir.

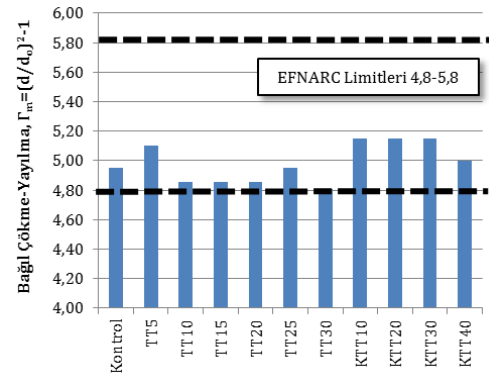
2.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri

İşlenebilirlik ve reoloji testlerinden sonra harçlar 40x40x160 mm boyutlarında kalıplara sıkıştırma ve vibrasyon olmaksızın dökülmüştür. Kalıplardan 24±2 saat sonunda kalıptan alınan numuneler 23±2°C sıcaklığındaki suyun içerisinde küre bırakılmıştır. 3, 7, 28 ve 91 günlük kür sürelerinin sonunda her numune, üç noktalı eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca 28 günlük 50x50x50 mm boyutlu numuneler, kapiler su emme deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelerin etüv kurusu, doymun kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları da saptanarak toplam su emme kapasitesi, porozite oranları ve yoğunlukları bulunmuştur.

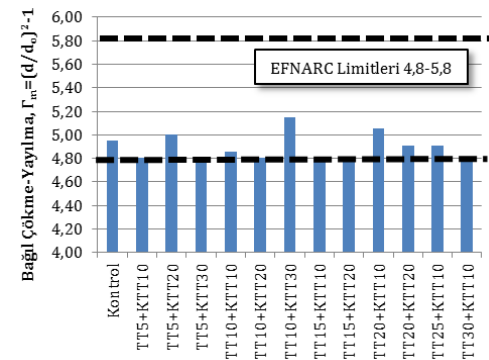
3 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

3.1 İşlenebilirlik ve Kıvam

Harçlar üzerinde yapılan çökme-yayılma deneyi sonucunda elde edilen sonuçlarla bağıl çökme-yayılma değerleri hesaplanmış ve Şekil 2 ve 3'deki grafikler çizdirilmiştir. Şekil 2'de TT ve KTT malzemelerinden sadece birini içeren harçların, Şekil 3'de TT ve KTT malzemelerinin ikisini birlikte içeren harçların bağıl çökme yayılma değerleri görülmektedir. Ayrıca harçların V-hunisi deneyinden elde edilen, bağıl huni hızı değerleri de Şekil 4 ve 5'de çizdirilmiştir.

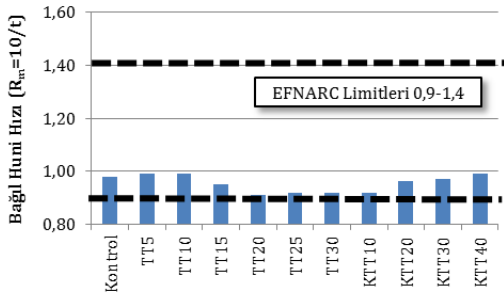


Şekil 2: Tek tip toz içeren karışımların bağıl çökme-yayılma grafiği.

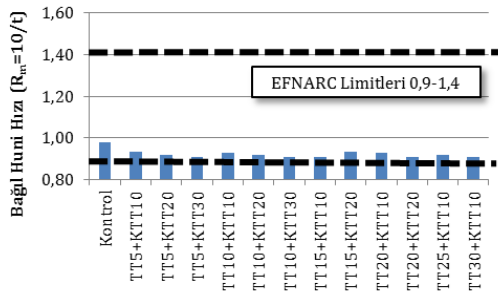


Şekil 3: İki tip toz içeren karışımların bağıl çökme-yayılma grafiği.

Grafikler incelendiğinde işlenebilirliğin TT ve KTT'nin artmasıyla önce artıp sonra azaldığı görülür. Özellikle de tek tip toz malzeme içeren karışımlarda bu durum daha iyi görülebilir. Bunun sebebi artan toz malzemenin harçların viskozitelerini arttırmasıdır. Kontrol harcının işlenebilirlik değerleri baz alındığında görülür ki; TT'nin yüzey alanı çimentoya göre daha küçük olduğundan % 5 ve 10 oranlarında kullanımı su ihtiyacını arttırmamıştır fakat artan oranlarda pismiş kil esaslı bir malzeme olan tuğla tozu akışkanlık için gerekli su miktarını bünyesinde absorbe etmeye başlamıştır. Bu açıdan çalışma literatüre uygunluk göstermektedir. Örneğin, Topcu v.d., [16] çalışmalarında uçucu kül, kireçtaşı tozu, tuğla tozu ve mermer tozunun ince malzeme olarak kullanımı durumunda katkı gereksinimini incelemişler ve su/toz oranı en yüksek olan ince malzemenin tuğla tozu olduğunu böylece işlenebilirliği büyük ölçüde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca pismiş kil içeren bir malzeme olarak tuğla tozunun su emme değerinin yüksek olduğunu ve bu nedenle ince malzemeler içerisinde en çok su gereksinimine sahip olan malzeme olduğunu belirtmişlerdir. Gerek TT gerekse KTT malzemeleri, viskoziteyi arttırdığından artan oranlarında özellikle de birlikte kullanıldıklarında işlenebilirliği bir miktar düşürseler de hiçbir harç karışımına ait değerler EFNARC'ın belirttiği sınır değerler dışına çıkmamıştır.



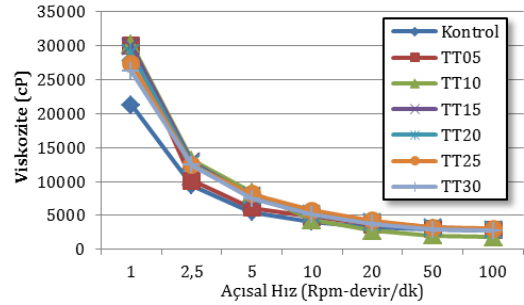
Şekil 4: Tek tip toz içeren karışımların bağıl huni hızı grafiği.



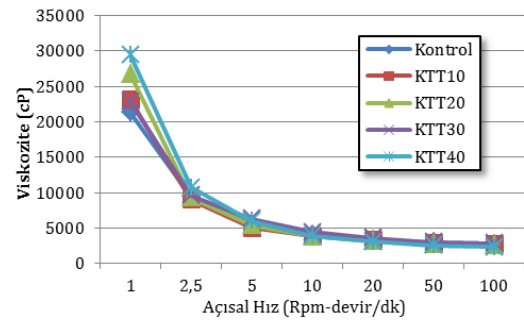
Şekil 5: İki tip toz içeren karışımların bağıl huni hızı grafiği.

Bir taze beton karışımının kendiliğinden yerleşebilme özelliğine sahip olması için düşük eşik kayma gerilmesine ve optimum viskoziteye sahip olması gerekir. Viskozite, bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Viskozitenin artması ayrışma (segregasyon) olayını önlediğinden önemlidir. İşlenebilirlik ve kıvam hakkında bilgi vermesi amacıyla harçların viskoziteleri de ölçülmüştür. Aşağıdaki şekillerde harçların viskozite-açısal hız grafikleri verilmiştir. Bütün harçlarda açısal hızın artmasıyla viskozite değeri azalmış ve eğriler X eksenine doğru asimptotik bir yaklaşım göstermişlerdir. Şekil 6'da Kontrol harcı ile birlikte, sadece TT içeren harçların viskozite grafikleri görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde TT içeren bütün harçların viskozite eğrilerinin

Kontrol harcınınkinden yukarıda olduğu görülür. Aynı durum Şekil 7'de KTT içeren harçlar için de geçerlidir. Bu durumda hem TT hem de KTT'nin viskoziteyi arttırdığı ispatlanmış olur.

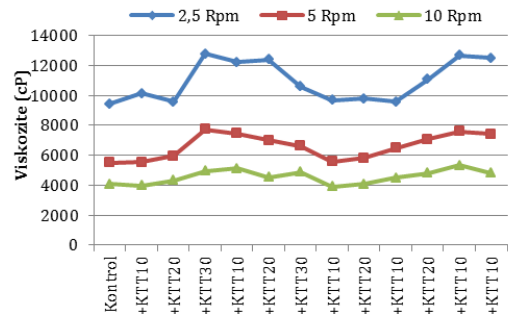


Şekil 6: Tuğla tozu içeren harçların viskozite değişim grafikleri.



Şekil 7: Kireç taşı tozu içeren harçların viskozite değişim grafikleri.

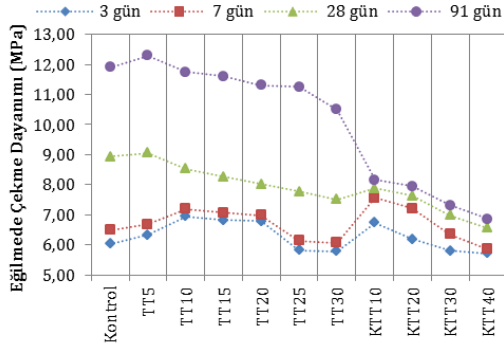
İkili kullanımda ise bu malzemeler yine Kontrol harcının viskozitesinden yüksek viskoziteye sahiptirler. Bütün bu harçların hepsinin viskozite eğrilerini çizdirmek için bir görüntüye sebep olacağından sadece belirli açısal hızlar için aşağıdaki grafik çizdirilmiştir (Şekil 8). Açısal hızın artmasıyla harcın kaymaya gösterdiği direnç azaldığından grafikte, viskozite eğrileri giderek daha düşük konumlanmışlardır. Bu grafik incelendiğinde TT ve KTT içeren bütün harçların viskoziteleri Kontrol harcınınkinden yüksektir. TT'nin viskoziteyi arttırması özellikle %20 oranından sonra belirginleşirken, KTT'nin artışı viskoziteyi daha fazla etkilemiştir. Özellikle TT5+KTT30 harcında viskozite en yüksek değerine ulaşmıştır. Daha sonra TT ve KTT oranları birbirine yaklaştıkça viskozite düşerken TT oranının artması viskoziteyi tekrar arttırmıştır. Her ne kadar TT ve KTT viskoziteyi arttırarak akışkanlığı bir miktar düşürse de, bu özellik, harçların kohezyonunu arttırmaya yardımcı olacaktır. Böylece ayrışma (segregasyon) olayına karşı gösterilen direnç artacaktır.



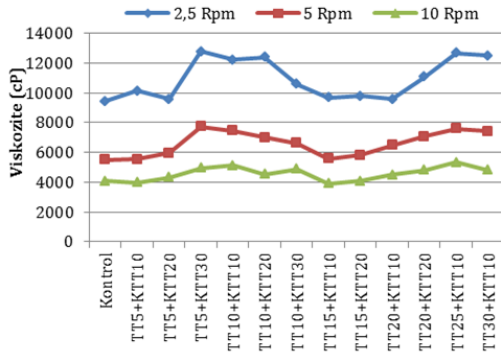
Şekil 8: İki tip toz malzeme içeren karışımların viskozite değişimleri.

3.2 Eğilmede Çekme Dayanımı

Sertleşmiş özellikleri araştırmak amacıyla 3, 7, 28 ve 91 günlük kür sürelerinin sonunda numuneler üzerinde ASTM C348 (2002) [17]'e uygun olarak üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Elde edilen eğilmede çekme dayanımları aşağıda görülmektedir (Şekil 9 ve 10).



Şekil 9: Tek tip toz malzeme içeren KYH'ların eğilmede çekme dayanımları.



Şekil 10: İki tip toz malzeme içeren KYH'ların eğilmede çekme dayanımları.

Şekil 9'da tek başına TT veya KTT içeren numunelerin eğilmede çekme dayanımları görülmektedir. Buna göre Kontrol numunesinin dayanımları ile karşılaştırıldıklarında TT, % 20 oranına kadar ilk 7 günde eğilmede çekme dayanımını olumsuz etkilememiştir. Ancak TT daha sonraki kür periyotlarında % 5'den oranından sonra dayanımı düşürmüştür. KTT ise % 20 oranına kadar kullanıldığında ilk 7 gün içinde dayanımı olumsuz etkilememiştir. Fakat bu oranlardan daha fazla kullanıldığında KTT eğilmede çekme dayanımını düşürmüştür. Ayrıca bu grafikte TT'nin dayanım kazanma hızının KTT'ye göre daha yüksek olduğu görülür.

Şekil 9 ve Şekil 10'a bakıldığında TT ve KTT'nin 3 ve 7 günlük eğilmede çekme dayanımlarında daha etkili olduğunu söyleyebiliriz. Yine de ikisinin bir arada kullanıldığı sistemlerde artan toz oranı eğilmede çekme dayanımını, ayrı ayrı kullanıma göre daha olumsuz etkilemiştir. TT ve KTT, her iki grafikte de 28 ve 91 günlük eğilmede çekme dayanımlarında ise bir düşüşe yol açmıştır.

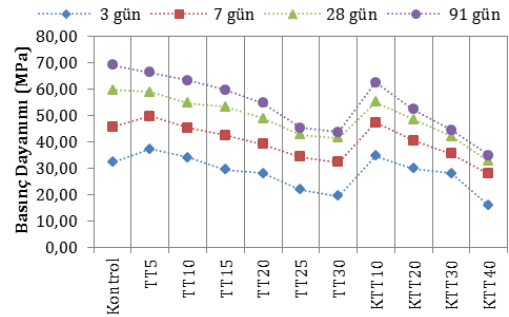
3.3 Basınç Dayanımı

Basınç deneyi ASTM C349 (2002) [18]'a uygun olarak yapılmış, elde edilen 3, 7, 28 ve 91 günlük dayanımlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir (Şekil 11 ve 12).

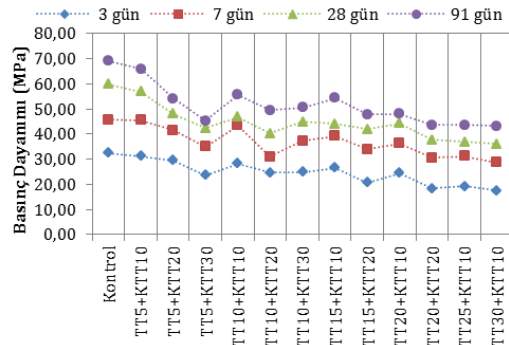
Şekil 11 incelendiğinde, ilk 3 günlük numunelerde TT5, TT10 ve KTT10 Kontrol numunesinin basınç dayanımlarını aşmışlardır. 7. günde ise TT5 ve KTT10 numuneleri Kontrol

numunesinin basınç dayanımına ulaşırken diğer numuneler bu dayanımı sağlayamamışlardır. Daha sonraki kür periyotlarında ise ne TT ne de KTT basınç dayanımı üzerinde etkili olamamışlardır. Şekil 12'de ise hiçbir numune hiçbir kür periyodu için Kontrol'ün basınç dayanımına erişememiştir. Bunu sebebi çok fazla toz malzemenin çimento ile yer değiştirmesi sonucu bağlayıcı miktarının azalmasıdır.

Hem eğilmede çekme hem de basınç dayanımlarının özellikle de nihai dayanımların bu şekilde düşmesini şu şekilde açıklayabiliriz. Eğilmede çekme ve Basınç dayanımının bu şekilde düşmesine toz malzemelerin içeriğindeki silis azlığı sebep olmuştur. Yani toz malzemeler puzolanik özellikte değildir. Toz malzemeler bağlayıcı özellikte olmadıkları gibi artan oranlarda kullanımı harç içindeki bağlayıcı miktarını azalttığından özellikle nihai dayanımlar gitgide düşmüştür. Ayrıca toz malzemeler harçların viskozitelerini optimum değerinin üstüne çektiklerinden numunelerde yerleşme boşlukları meydana gelmiştir. Özellikle % 20 oranından daha fazla kullanılan toz malzemeler, numunelerde oluşturdukları yerleşme boşlukları nedeniyle numunelerin dayanımlarını düşürmüştür. Ayrıca bu durum dolayısıyla plastik ve erken rötre çatlaklarında artış gözlemlenmiştir. Öte yandan kullanılan tuğla tozunun MgO oranının da yüksek olması çatlamlara yol açmış olabilir.



Şekil 11: Tek tip toz malzeme içeren KYH'ların basınç dayanımları.



Şekil 12: İki tip toz malzeme içeren KYH'ların basınç dayanımları.

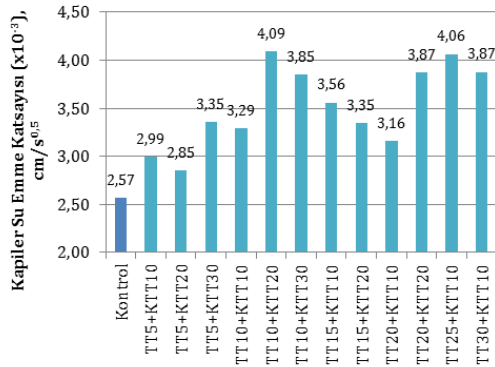
3.4 Kapiler Su Emme

28 günlük numuneler üzerinde yapılan Kapiler Su Emme Deneyi sonucunda Şekil 13 ve 14'deki grafikler elde edilmiştir. Buna göre TT ve KTT, numunelerin geçirimsizliğini bir miktar arttırmıştır. Sadece % 5 oranında TT, geçirimsizliği azaltmış ve % 10 oranında geçirimsizliği etkilememiştir. Ancak TT, % 15 ve daha fazla kullanımında numunelerin geçirimsizliğini arttırmıştır. Buna sebep olarak, işlenebilirliği düşük, viskoziteleri yüksek olan TT ve KTT içeren harçlarda oluşan yerleşme boşlukları ve kullanılan toz malzemelerin içerdiği

yüksek MgO oranı gösterilebilir. Yine de grafiklerin 10^{-3} mertebesinde çizdirildiği göz önünde bulundurulduğunda kapiler su emme katsayısındaki bu artışın ihmal edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülür.



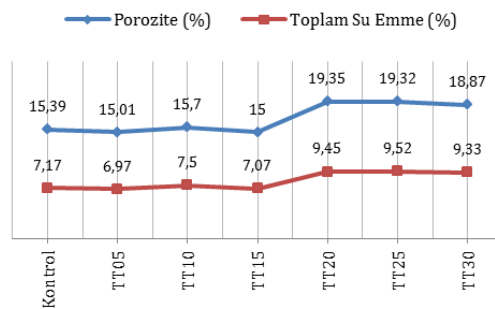
Şekil 13: Tek tip toz malzeme içeren numunelerin kapiler su emme katsayıları.



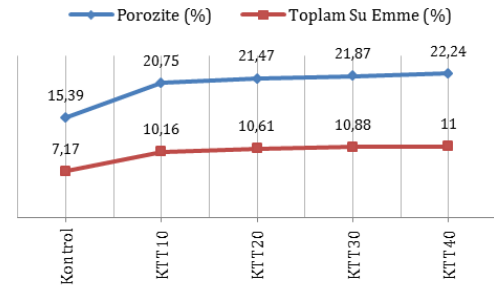
Şekil 14: İki tip toz malzeme içeren numunelerin kapiler su emme katsayıları.

3.5 Toplam Su Emme ve Porozite

Burada sadece TT ve KTT içeren numuneler için yapılan toplam su emme ve porozite oranı tayinleri aşağıdaki grafiklerde görülmektedir. Şekil 15 incelendiğinde, % 5, 10 ve 15 TT ikamesinin toplam su emme ve porozite oranlarında önemli bir değişiklik yapmadığı görülür. Ancak, TT'nun artan oranları ve KTT'nun numunelerin boşluk oranını Kontrol numunesine göre artırdığı açıkça görülmektedir (Şekil 15 ve 16). Numunelerin boşluk oranları (porozite) arttıkça, toplam su emme oranları da buna paralel olarak artmıştır. Böylece bu deneylerin sonucunda ispatlanmıştır ki, çalışmada kullanılan KTT, numunelerin geçirgenliğini artırırken, TT ikamesi % 15 oranından sonra numuneleri daha geçirimli hale getirmiştir.



Şekil 15: Tuğla tozu içeren harçların toplam su emme ve porozite oranları.



Şekil 16: Kireç taşı tozu içeren harçların toplam su emme ve porozite oranları.

4 Sonuçlar

Deneyler sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Çalışmada kullanılan toz malzemeler TT ve KTT, sabit kimyasal katkı oranında, harçların viskozitelerini arttırmış fakat kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini olumsuz etkilememişlerdir.
- Her iki toz malzeme de ayrı ayrı düşük oranlarda kullanıldığında dayanımı özellikle erken yaş için olumsuz etkilememişlerdir.
- Artan toz malzeme miktarı hem TT hem de KTT için özellikle nihai dayanımı olumsuz etkilemiştir. Bu malzemelerin birlikte kullanıldıkları durumda ise dayanımlar çok düşmüştür. Bunun en büyük sebebi artan toz malzeme oranı ile dayanımda önemli rol oynayan bağlayıcı oranının düşmesidir.
- Gerek TT gerekse KTT malzemeleri puzolanik özellik gösterememişlerdir.
- % 5 ve 10 TT ikamesi, harçların kapiler ve toplam su emme kapasitelerini olumsuz etkilememiştir. Ancak TT'nun artan oranları geçirimlilik ve dolayısıyla dayanımı olumsuz etkilemiştir. KTT ise tüm ikame oranlarında harçların geçirimliliğini arttırmıştır.
- Kullanılan toz malzemeler, birlikte kullanıldığında numunelerin daha boşluklu bir yapıya sahip olmasına sebep olduklarından numuneler hem daha geçirimli hem de dayanımsız hale gelmişlerdir.
- Son olarak, Elazığ yöresine ait atık TT malzemesi, harçların gerek taze gerek sertleşmiş özellikleri bakımından değerlendirildiğinde, düşük ikame oranlarında harç içerisinde mineral bir katkı olarak değerlendirilebilir.

5 Kaynaklar

- [1] Felekoğlu, B., "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2003.
- [2] Açıkgenç, M., "Tuğla ve Kiremit Atıklarının Kendiliğinden Yerleşen Harcın Mühendislik Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2009.
- [3] EFNARC, 2002. "Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete". EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32 p, February 2002.
- [4] EFNARC, 2005. "European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use", EFNARC,

- May 2005, Association House, UK, (www.efnarc.org), 68p, May 2005.
- [5] ASTM C1611/C1611M, 2009. "Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete", Annual book of ASTM standards, USA.
- [6] ASTM C1621/C1621M, 2009. "Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring", Annual book of ASTM standards, USA.
- [7] ASTM C1610/C1610M, 2010. "Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique", Annual book of ASTM standards, USA.
- [8] EN 12350-8, 2010. "Testing Fresh Concrete - Part 8: Self-Compacting Concrete - Slump-Flow Test", European Committee For Standardization (CEN), ICS 91.100.30, Austrian Standards Institute.
- [9] Şahmaran, M., Christianto, H.A. and Yaman, İ.Ö., "The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on The Properties of Self-Compacting Mortars", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28, pp. 432-440, 2006.
- [10] Turk K., Karatas, M. ve Ulucan, ZC., "Farklı Oranlarda Silis Dumanı İkameli Kendiliginden Sıkısan Betonun Mühendislik Özellikleri", *Science and Engineering Journal of Fırat University*, Cilt No. 20, s. 165-174, 2008.
- [11] Felekoğlu, B., "Utilisation of High Volumes of Limestone Quarry Wastes In Concrete Industry (Self-Compacting Concrete Case)", *Resources, Conversation and Recycling*, Vol. 51, p. 770-791, 2007.
- [12] Ulucan, ZC., Turk, K., and Karatas, M., "Effect of mineral admixtures on correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete", *Russian Journal of Non-Destructive Testing*, Vol. 44, pp. 367-374, 2008.
- [13] Güneyisi, E., Gesoğlu, M. and Özbay, E., "Strength and Drying Shrinkage Properties of Self-Compacting Concretes Incorporating Multi-System Blended Mineral Admixtures", *Construction and Building Materials*, Vol. 24, p. 1878-1887, 2010.
- [14] Domone, P.L., and Jin, J., "Properties of Mortar for Self-Compacting Concrete. In: Skarendahl A, Petersson O, editors", *Proceedings of the 1st international RILEM symposium on self-compacting concrete*, 109-120, 1999.
- [15] ASTM C109/C 109M-99 (1999) "Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar", Annual book of ASTM standards, 04.01 Cement, Lime, Gypsum, USA.
- [16] Topcu, İ.B., Unal, O. ve Uygunoğlu, T., "Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması", *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 2007, s. 181-193.
- [17] ASTM C348, (2002) "Standard test method for flexural strength of hydraulic cement mortars", Annual book of ASTM standards, USA.
- [18] ASTM C349, 2002. "Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (Using portions of prisms broken in flexure)", Annual book of ASTM standards, USA.