



CTP ATIKLARININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN TAMİR HARÇLARININ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECTS OF GRP WASTES ON THE PROPERTIES OF SELF-COMPACTING REPAIR MORTARS

Çağlar YALÇINKAYA^{1*}, Ali TOPAL¹, Burak ŞENGÖZ¹, Halit YAZICI¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 35160, İzmir.
cağlar.yalcinkaya@deu.edu.tr, ali.topal@deu.edu.tr, burak.sengoz@deu.edu.tr, halit.yazici@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 01.06.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 09.10.2012

doi: 10.5505/pajes.2013.77487

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

Kendiliğinden yerleşen tamir harçları (KYTH) dar kesitlerden vibrasyon gereksizdirin geçebilen ürünlerdir. Tamir ve güçlendirme işlerinde kullanılacak nitelikte olan bu harçların yüksek oranda toz içermesi atık değerlendirilmesi açısından fırsat olarak görülebilir. Çalışmada, gemi ve tekne onarımında kullanılan cam lifli takviyeli plastiklerin (CTP) uygulaması sırasında açığa çıkan tozların KYTH içerisinde kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Çimento bağlayıcı ve yüksek oranda (%50) öğütülmüş yüksek fırın cürufu (YFC) ikameli matrislere hacmen %1, %2, %3 CTP katılarak 6 farklı karışım oluşturulmuştur. CTP tozunun KYTH'nin işlenebilirliğini azalttığı, mekanik özelliklere etkisinin ise bağlayıcı matrise göre değiştiği görülmüştür. CTP dozajı arttıkça erken dönem bünyesel büzülme sürf çimentolu matriste artarken, cüruf ikameli matriste azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Cam takviyeli plastik atıkları, KYTH, YFC, Büzülme.

Abstract

Self-compacting repair mortars (SCRM) can flow through the narrow sections without vibration requirement. This study is aimed to search the utilization potential of glass reinforced plastic (GRP) waste powders occurred during repairing ship and vessel. Six mixtures have been prepared with 1%, 2% and 3% GRP waste addition by volume into two different matrices including only cement binder as well as ground granulated blast furnace slag (GGBFS) replaced 50% wt. of the cement binder. Workability of SCRM decreased as a result of GRP waste utilization. GRP wastes have exhibited different mechanical performance and early age autogenous shrinkage depending on the binder. The increment in GRP dosage caused an increase in early age autogenous shrinkage for matrix involving only cement binder while it caused a decrease in autogenous shrinkage value of GGBFS replaced matrix.

Keywords: Glass reinforced plastic waste, SCRM, GGBFS, Shrinkage.

1 Giriş

Kendiliğinden yerleşen tamir harçları (KYTH) betonarme yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılacak türden yeni teknoloji ürünü malzemelerdir. Geleneksel harç ve beton ile güçlendirme yapılması gerektiğinde dar kesitlerin vibrasyonu mümkün olmamakta, yerleştirme zorlukları tasarlanan işlemin pratiğe dökülebilmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple, kendiliğinden yerleşen betonlara ek olarak daha küçük agrega boyutlarına sahip KYTH çok dar kesitlerin dahi sorunsuzca doldurulmasına olanak tanımaktadır [1]-[3].

KYTH'nin içerisinde iri agrega bulunmadığından ve yüksek toz içeriğinden dolayı büzülme çatlakları riski geleneksel harçlara oranla yüksektir [4]. Çimento suyla temas ettiği andan itibaren hidrasyon başlamaktadır. Hidrasyonun ilerlemesiyle birlikte oluşan reaksiyon ürünlerinin hacminin ham maddelerin hacminden düşük olması, aynı zamanda mikro boşluklardaki suyun zamanla tüketilmesi ile oluşan içsel kuruma toplamda bünyesel büzülme oluşturur. Kimyasal reaksiyonlar ve içsel nem düşüşüyle ilintili büzülme davranışı özellikle düşük su/bağlayıcı oranlarında risk teşkil etmektedir. Tamir harçlarında uygun nem ve sıcaklık koşullarında kür uygulansa dahi erken dönemde bünyesel büzülme risk teşkil edebilmektedir. Çünkü erken yaşlarda dayanımını kazanmamış harç, içsel gerilme ve şekil değişimlerine oldukça hassastır. Bu yüzden tamir harçlarının erken dönem büzülmesine bağlı çatlaklar, yapının mekanik

performans ve kalıcılık özellikleri açısından son derece önemlidir.

Kendiliğinden yerleşebilirlik noktasında gereken yüksek toz hacmi inert ya da puzolanik katkılarla karşılanabilir. Çimento içeriğini düşürmek açısından kendiliğinden yerleşen çimentolu kompozitlerde en çok tercih edilen puzolanlardan birisi öğütülmüş yüksek fırın cürufu (YFC)'dur. Ülkemizde yan ürün olarak hatırı sayılır miktarda oluşan YFC, kendi başına bir miktar bağlayıcılığa da sahip olması nedeniyle çimento yerine yüksek oranda ikame edilebilmektedir. Literatürde YFC'nin çimento yerine ağırlıkça % 40-% 60 oranlarında ikame edilebildiği, kontrol karışımlarına kıyasla eş veya daha yüksek dayanımlar elde edilebildiği görülmektedir [5]-[7]. Ancak puzolanik katkıların erken dönem büzülme olumlu veya olumsuz etkileyebildiği bilinmektedir [8]-[9].

Cam lifli takviyeli plastikler (CTP) hafiflik ve kalıcılık özellikleri açısından bilinen en iyi kompozit malzemelerden biridir. CTP üretimi sırasında polyester reçine cam lifleriyle güçlendirilerek rijitlik, dayanım ve geçirimsizlik gibi özellikleri geliştirilmektedir [10]. Üretimi sırasında önemli miktarda atık malzeme oluşmaktadır. Bunlara ilaveten yapı, otomobil, lokomotif ve havacılık endüstrisi CTP ürünlerinin servis ömrü sonrasında geri dönüştürme zorunluluğu söz konusudur. Cam ve polimer birleşimi olan bu malzemelerin doğaya katı atık olarak bırakılması önemli sorunlara sebep olmaktadır. Örneğin sadece Britanya'da yılda 55000 ton CTP atığı oluşmakta ve bu değer her geçen gün artmaktadır. Bu atıkların yaklaşık %90'ı arazi dolgusunda kullanılmaktadır. CTP

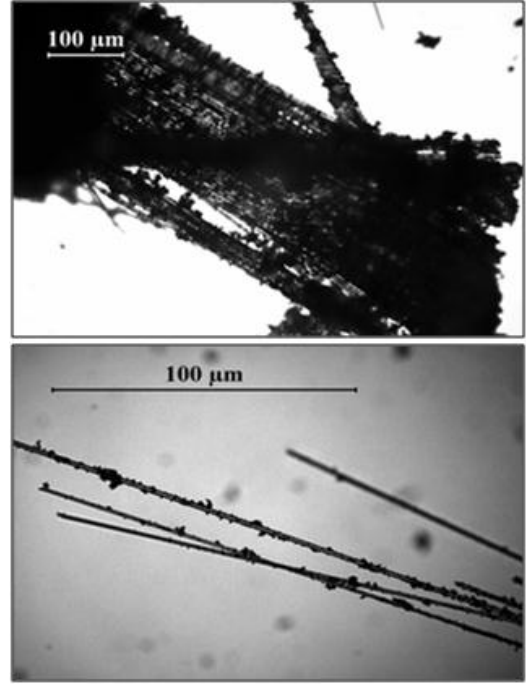
atıklarının geri kazanılması üzerine yapılan çalışmalar sürse de yapı sektöründe değerlendirilmesi ile ilgili az sayıda çalışma mevcuttur [11]. Bu çalışmalarda, öğütme ile elde edilen veya imalatta oluşan toz atıkların beton ve asfalt içersinde değerlendirilmesi incelenmiştir.

Jones v.d., [12] tarafından CTP atıklarının köpük betonda ince agrega yerine ikamesinin değerlendirildiği araştırmada, malzeme hafifletilebilirken dayanımların arttırılabildiği görülmüştür. Ayrıca üretilen malzemenin yangın dayanıklılığı açısından yapısal ya da duvar-döşeme panelleri gibi yarı yapısal uygulamalarda kullanıma uygun olduğu saptanmıştır. Asokan v.d., [10] toz ve lif geometrisindeki CTP atıklarının, prekast beton ve mimari panel ürünlerinin özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada, beton ince agregasına CTP atığı ağırlıkça % 5-% 50 oranlarında ikame edilmiş, su/çimento (S/Ç) oranı 0,50 (% 5 CTP) ila 0,71 (% 50 CTP) aralığında değiştirilmiştir. Çalışma sonucunda, su kuru altında basınç dayanımlarının CTP hacmindeki artış ile keskin biçimde düştüğü, ancak uzatılmış su kürlerinde (180 güne kadar) basınç dayanımı kayıplarının azaldığı belirlenmiştir. Üç gün su kürü sonrası kurutulmuş etüv kuru uygulanan panel örneklerde ise % 5 ve % 15 CTP ikamelerinde basınç dayanımları artmış, bu artış kürün uzatılmasıyla güçlenmiştir. Çalışmada, sıcaklık etkisiyle dayanım artışı: polimerik bileşenlerin hidrasyon ürünlerine destek vererek bağlayıcı film tabakası oluşturmasıyla açıklanmıştır. Asokan v.d., [11] diğer bir çalışmalarında, cam lifli takviyeli betonda CTP atığı tozların süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile mekanik performansı geliştirebildiğini ve homojen karışımlar elde edilebildiğini belirlemiştir.

KYTH betonarme yapıların (özellikle çok dar kesitler içeren) güçlendirilmesi için ideal malzemelerdir [1]. Arzu edilen mekanik özelliklerin ve kalıcılık performansının sağlanabilmesi için uygun yerleştirme ve kür koşulları sağlansa bile erken dönem bünyesel büzülme eğiliminin kontrol altına alınarak çatlakların minimize edilmesi gerekmektedir. CTP atıklarının çimentolu kompozitlere olan etkisi ise yeterince araştırılmış bir konu değildir [10]-[11]. Çalışma kapsamında atık CTP tozlarının KYTH'nin işlenebilirliğine, mekanik özelliklerine ve erken dönem (<24 saat) bünyesel büzülmesine etkisi araştırılmıştır. Toz ve lifli geometrilerin harmanı şeklindeki bu atıkların, eğilme yükleri altında yük - sehim eğrileri ve kırılma enerjileri elde edilerek lif etkisi potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca, yüksek oranda YFC ikamesinin etkileri belirlenmiştir.

2 Malzemeler ve Yöntem

İzmir'de faaliyet gösteren Tacar firması tekne atölyelerinde tekne üretimi için panel kesimleri sırasında oluşan CTP atıkları KYTH karışımlarında kullanılmıştır. Bu atıklar 63 mikron altı toz malzemeden, 15 mm yapraksı tanelere kadar değişik geometride parçaların karışımından oluşmaktadır. Kesilen panellerde çok yönlü, dikişli E-cam kumaşlar kullanılmıştır. Reçine ise tekne yapımında kullanımı yaygın olan ortoftalik polyesterdir. Panel üretimi, el yatırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Atık malzemedeki cam içeriği % 35, atığın özgül ağırlığı 0,67'dir. Kullanılan polyesterin çekme dayanımı 55 MPa, su emmesi % 0,15'dir. E-cam malzemesinin çekme dayanımı ise 2000 MPa'dır. Çalışmada kullanılan CTP atıklarının optik mikroskop fotoğrafları Şekil 1'de sunulmaktadır. Şekil 1'den görüleceği üzere toz formdaki reçine taneleri, yapraksı formda reçine içersindeki lifler ve serbest halde lifler düzensiz karışımı oluşturmaktadır.



Şekil 1: CTP atıklarının optik mikroskop görüntüleri: Reçine içindeki rastgele dağılmış lifler (büyütme 100x) - üst ve bağlanmamış lifler (büyütme 400x) - alt.

CEM I 42,5 R çimentosu ve ASTM C989-99 [13]'a göre "Grade 120" puzolanik özellikte öğütülmüş yüksek fırın çürufu (YFC) bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Çimentonun ve YFC'nin özgül ağırlıkları sırasıyla 3,12 ve 2,9'dur. Agrega olarak 5 mm maksimum tane çapına sahip kırma kireçtaşı kullanılmıştır. Agrega elek analizi Tablo 1'de verilmektedir. Agreganın su emmesi % 1, özgül ağırlığı 2,62'dir. Kimyasal katkı olarak polikarboksilat esaslı yeni nesil bir süperakışkanlaştırıcı tercih edilmiştir. Kullanılan çimento, YFC ve CTP lif fazını oluşturan E-Cam kumaşların bazı özellikleri Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 1: Agreganın elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	8	4	2	1	0,5	0,25
Geçen (%)	100	96	77	56	40	25

Tablo 2: Çimento, YFC ve E-Cam'ın bazı özellikleri.

Bileşen/özellik	Çimento	YFC	E-Cam
SiO ₂ (%)	19,65	35,71	53 - 57
Al ₂ O ₃ (%)	4,38	14,52	12 - 15
CaO+MgO (%)	64,89	41,52	22 - 26
Blaine İnceliği (cm ² /g)	3717	4250	-

2.1 Karışım Oranları ve Taze Hal Deneyleri

Çalışmada sadece çimento bağlayıcısı içeren ve ağırlıkça % 50 YFC ikamesi içeren iki KYTH içersine hacmen % 1, 2 ve 3 oranında CTP atığı katılmıştır. Tasarımda, CTP ilavesi için gereken hacim agregadan düşülmüştür. Çimentodan daha düşük özgül ağırlığa sahip olan YFC'nin ikamesinden dolayı oluşan ek hacim de agregadan kesilerek sağlanmıştır. CTP atığı içermeyen karışımlarla birlikte toplam 8 seri üretilmiştir. Çalışmada karışımların kısaltmaları: çimento bağlayıcılı serilerde "C", YFC ikameli serilerde "S" ilk harfi, içerdikleri CTP %'sine göre de "0, 1, 2 veya 3" şeklinde ikinci kod numarası yan yana getirilerek yapılmıştır. Örneğin "C3" karışımı sadece çimento bağlayıcısı ve % 3 CTP atığı içeren seriyi temsil etmektedir. Karışım oranları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3: Karışım oranları ve tasarım özellikleri.

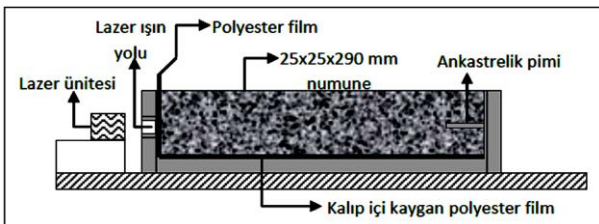
Bileşen (kg/m ³)	C0	C1	C2	C3	S0	S1	S2	S3
Su	221	221	221	221	221	221	221	221
Çimento (CEM I 42,5 R)	497	497	497	497	248	248	248	248
YFC	-	-	-	-	248	248	248	248
Kırma kum (0 – 5 mm)*	1544	1517	1492	1465	1534	1508	1481	1453
CTP atığı	-	6,7	13,4	20,1	-	6,7	13,4	20,1
Süperakışkanlaştırıcı	10	10	10	10	10	10	10	10
Tasarım Özellikleri								
CTP atığı hacmi	-	%1	%2	%3	-	%1	%2	%3
Su/Çimento	0,45	0,45	0,45	0,45	0,90	0,90	0,90	0,90
Su/Bağlayıcı	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Su/Toz**	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

*Agreganın kuru yüzey doygun ağırlığıdır; ** Toz: agreganın 0,125 mm'den ince malzemesi (%16) ve bağlayıcıların toplamıdır.

Su/bağlayıcı ve YFC ikame oranı, kontrol karışımlarından alınacak harç numunesi boyutunda örnekler için 60±5 MPa basınç dayanımı hedeflenerek seçilmiştir. CTP atığı üst dozajı (% 3), sırf çimento içeren kontrol karışımı (C0) basınç dayanımının % 30'unu aşmayacak şekilde dayanım kaybına müsaade edilerek belirlenmiştir. Karışımların akışkanlaştırıcı miktarı, CTP içermeyen kontrol karışımlarında yayılma çapı 270±5 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Sabit bir karıştırma yöntemi uygulanmıştır. Düşük devirde tüm katı maddeler karıştırılmış, ardından karışım suyu ilave edilmiştir. Islak karışıma süperakışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. 5 dakika yüksek devirde karıştırma sonrasında kendiliğinden yayılma çapı ve V-kutusu akış süreleri bulunmuştur. Bu deneyler mini çökme hunisi ve mini V-kutusu aparatları ile EFNARC [14]'e göre gerçekleştirilmiştir.

2.2 Erken Dönem Büzülme Ölçümleri

Erken dönem bünyesel büzülme, iklimlendirilmiş bir kabin içerisinde bulunan 5 adet 25x25x290 mm örneğin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Harç malzemeleri (agrega, çimento v.b.) dökümden bir gün önce klimalı odada bekletilmiş ve sıcaklıklarının 22±2 °C olması sağlanmıştır. Taze harçların karıştırma sonrası sıcaklıklarının 24 °C'yi aşmadıkları görülmüştür. İnce en kesitli (25x25 mm) olan deney numunelerinde içsel sıcaklık artışı kaydedilmemiştir. Bu sebeple okunan bünyesel büzülme, minör olması beklenen termal genişlemeyi de içermektedir. Karıştırma sonrasında numuneler kalıba vibrasyon uygulanmadan yerleştirilmiştir. Kalıpların üstü naylonla kaplanmış ve deney kabine konulmuşlardır. Kabin içi bünyesel büzülme koşulları 22±1 °C ve %98±2 BN (bağıl nem)'dir. Dökümden sonraki ilk 24 saat iklimlendirilmiş kabin içerisinde bünyesel büzülme – zaman grafikleri elde edilmiştir. Lazer sensörlerden gelen veriler, ayarlanan iklim koşulları veri aktarıcı bir sistemle eş zamanlı olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Lazer kalıp sistemi Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2: Erken dönem büzülme deney düzeneği.

Şekil 2'den görüleceği üzere kalıbın bir tarafındaki ankastrilik pimi sayesinde büzülme ölçümlerinin tek yönden toplam olarak

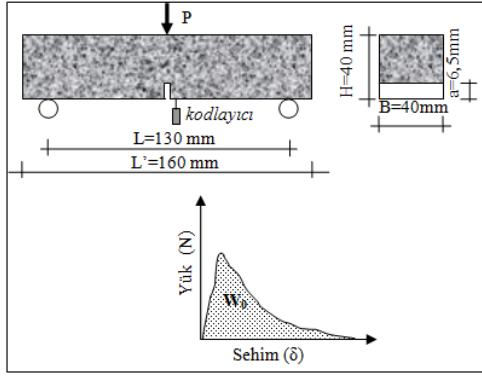
ölçülmesi sağlanmıştır. Kalıbın diğer tarafında lazer ünitesi, lazer ışın yolu ve yolu kapatan kaldırılabilir engel mevcuttur. KYTH priz başlangıcı TS EN 480-2 [15]'göre belirlenmiştir. Priz başlangıcına kadar beklenerek beton içerisinde kendini taşıyabilen bir iskelet oluşmuş, böylelikle engel kaldırıldığında yalancı genişlemelerin okunmaması sağlanmıştır. Numunenin altına çarparak geri yansıyan lazer ışınları ile büzülme değeri anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Lazer ışınları numune yüzeyine belirli bir açıyla çarpmakta, geri yansıyan ışının lazer alıcısına dönüş noktasındaki sapmadan hareketle büzülme miktarı cihaz tarafından hesaplanmaktadır. Çelik kalıp içerisinde sürtünmeleri minimize etmek için pürüzsüz polyester kaplama ve kalıp yağı mevcuttur. Lazer sensörlerin diğer temaslı ölçüm yöntemlerine göre daha güvenilir olduğu literatürde vurgulanmıştır [16]-[17].

2.3 Mekanik Deneyler

Deneylerde TS EN 196-1 [18]'de önerildiği üzere 40x40x160 mm prizmatik numuneler üretilmiş, 28 günlük standart su kürü sonrasında üç noktalı eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Her bir seri için 3 adet prizmatik numuneye eğilme ve çıkan 6 adet çarpaya basınç deneyi yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Eğilme deneyi elektromekanik kapalı devre test sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 0,01 mm/dakika orta nokta sehimi olacak şekilde kapalı devre olarak kodlayıcı kontrollü kırım yapılmıştır. Prizmatik numunelerin ortasında giriş yüksekliğinin (40 mm) 1/6'sı oranında (6,5 mm) çentik açılmıştır. Yükleme, numune yük taşıyamayınca kadar sürmüştür. Elde edilen yük – sehim grafiğinin alt alanı ve numune ağırlığının yaptığı iş eğilmeye çalışan aktif kesit alanına bölünerek Denklem (1)'deki yaklaşımla kırılma enerjileri ($G_f - N/mm$) bulunmuştur. Eğilme dayanımı hesabında da aktif alan kullanılmıştır. Harç numunelerinde kırılma enerjisi tespitine yönelik benzer yaklaşım Xu ve Zhu, [19] tarafından da kullanılmıştır. Deney numunesi ve elde edilen yük-sehim eğrisi şematik olarak Şekil 3'te gösterilmektedir.

$$G_f = \frac{W_0 + m \frac{L}{L'} g \delta_0}{B(H-a)} \quad (1)$$

Denklem (1)'de G_f : kırılma enerjisini, W_0 : yük – sehim eğrisi alt alanını, m : numune ağırlığını, g : yer çekimi ivmesini, L : mesnetler arası mesafeyi, L' : numune uzunluğunu, δ_0 : nihai orta nokta sehimini, B : numune genişliğini, H : numune yüksekliğini, a : çentik derinliğini temsil etmektedir.



Şekil 3: Üç noktalı eğilme deneyi ve kırılma enerjisi tespiti.

2.4 Alkali-Silika Reaksiyonu Riski

Araştırmaya konu olan her bir karışımdan alınan 2'şer adet 25x25x285 mm harç çubuğunda ASTM C 1260 standardında önerilen hızlandırılmış koşullarda (80 °C NaOH çözeltisinde) CTP kullanımından kaynaklı potansiyel alkali-silika reaktivitesi (ASR) araştırılmıştır.

3 Bulgular ve Tartışma

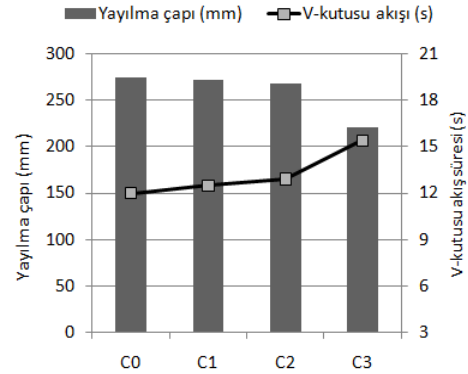
3.1 Taze Hal Özellikleri

Kendiliğinden yayılma çapı ve V-kutusu akış süreleri Şekil 4 ve 5'te verilmektedir. Şekil 4'ten görüleceği üzere çimentolu karışımda (C serisi) % 2 CTP atığı miktarına kadar işlenebilirlik kaybı neredeyse yokken, C3 karışımında yayılma çapı 200 mm'ye düşmüş, V-kutusu akışı ise 15 s'ye yükselmiştir. C3 karışımının yayılma çapı (221 mm) C0 karışımından (275 mm) % 20 daha azdır. Ağırlıkça % 50 cüruf ikameli atık içermeyen karışımda (S) yayılma çapı 268 mm bulunmuştur (Şekil 5). Ancak CTP içeriğinin artması ile yayılma çapı kayıpları ve akış süresindeki uzamalar YFC içeren matriste daha keskindir. Her % 1 CTP artışı ile yaklaşık % 10'luk yayılma çapı kaybı görülürken, akış süreleri uzamaktadır. S2 ve S3 karışımları için akış süreleri sırasıyla 16 ve 20 s gibi uzun değerlerde elde edilmiştir. Akışın kesikli şekilde olduğu gözlenmiştir. S0 karışımının akış süresi 10 s iken C0 karışımının akış süresi 12 s'dir. C0 ve S0 karışımlarının benzer mertebedeki işlenebilirliğine rağmen CTP ilavesi YFC ile birlikte daha olumsuz bir etki yaratmıştır. Kullanılan YFC'nin çimentodan daha ince öğütülmüş oluşunun CTP atıklarının akıcılığı engelleyici etkisini arttırdığı söylenebilir. İnce öğütülmüş YFC hamurunun düşük viskozitesi, CTP atıklarının düzensiz geometrisinden daha çok etkilenmektedir. Bunun sebebi, boşluklu CTP demetleri (Şekil 1) arasında tutulan karışım suyunun ve akışkanlaştırıcı katkının yüksek özgül yüzeyli YFC tanelerinin ıslatılmasını ve dispersiyonunu güçleştirme olabilir. Ayrıca polimer veya çelik lifli harçlarda görülen işlenebilirlik kaybının benzerinin CTP atıkları ile yaşandığı görülmektedir. Pürüzlü, lifsi CTP atıklarının akışa karşı direnci arttırdığı gözlenmektedir.

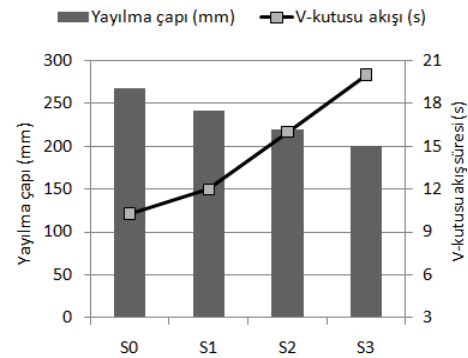
3.2 Mekanik Performans

28 günlük su kürü sonrası üç noktalı eğilme deneyinden elde edilen yük-sehim eğrileri Şekil 6 ve 7'de sunulmaktadır. Şekil 6'dan görüleceği üzere çimentolu karışımlarda CTP atığı oranı arttıkça pik yükü düşmektedir. % 2 ve % 3 atık içeriğinde düşüş belirgindir. CTP atıkları içerisindeki cam lifleri çatlak köprülleme kabiliyeti sergileyememiştir. Bu yüzden pik yükü sonrası C0 karışımına benzer olarak taşınabilen yük hızla azalmakta, deformasyon sertleşmesi davranışı gözlenmemektedir. Pik yüke ulaşıldığında sehim değeri

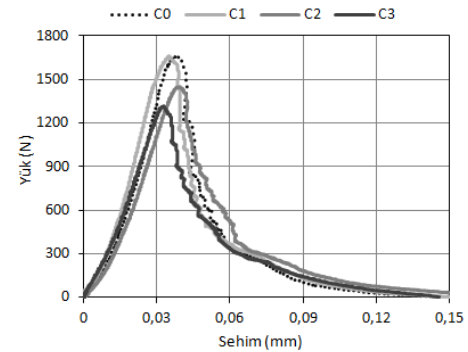
0,03-0,04 mm dolayında bulunmuştur. Yükün artık taşınmadığı sehim değeri ise 0,15 mm gibi düşük bir değerdedir.



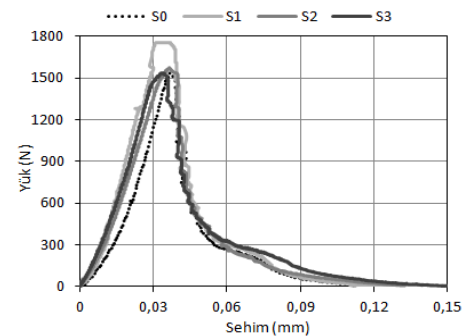
Şekil 4: CTP atığının çimento bağlayıcılı KYTH'lerin taze hal özelliklerine etkisi.



Şekil 5: CTP atığının YFC ikameli KYTH'lerin taze hal özelliklerine etkisi.



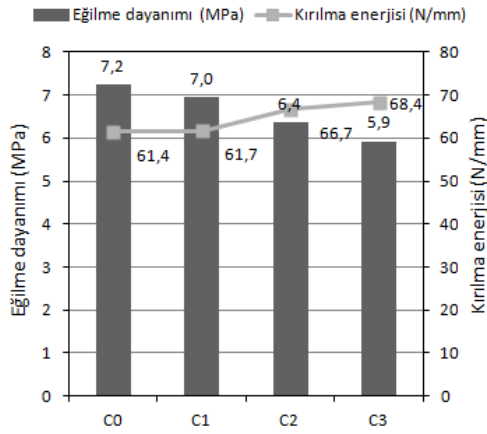
Şekil 6: Sadece çimento bağlayıcılı karışımların eğilme yükü - sehim grafiği.



Şekil 7: YFC ikameli karışımların eğilme yükü-sehim grafiği.

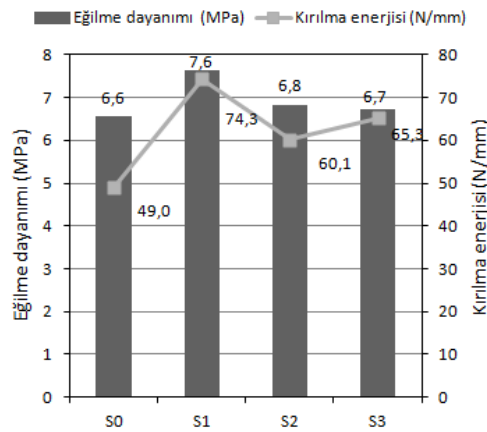
Şekil 7'den CTP atığı içeren YFC ikameli matrislerin eğilme yük-sehim grafiği incelendiğinde S0 matrisine kıyasla pik yüklerde artış olduğu ve maksimum yüke kadar olan yüklerde daha az sehim gerçekleştiği, kuyruk bölgesinin ise benzer davranışta olduğu görülmektedir. Şekil 6 ve 7'den atıkların gerilme köprüleme özelliği sergilemediği ve yalnız harçların (C0, S0) yük-sehim eğrilerinin önemli mertebede değişmediği söylenebilir. Çimentolu matriste CTP atıkları olumsuz etki yaratırken, YFC ikameli matriste bir miktar pik yük ve tokluk artışı yaratmıştır. Maksimum sehim değeri ise matris türüne ve CTP atığı dozajına göre önemli bir değişiklik göstermemiştir.

"C" serisi KYTH'lerde kırılma enerjisi ve eğilme dayanımları Şekil 8'de sunulmaktadır. C0 matrisinin 7,2 MPa olan eğilme dayanımı % 1, % 2 ve % 3 CTP atığı ile sırasıyla % 4, % 12 ve % 18 oranında azalmıştır. Kırılma enerjileri ise 61-68 N/mm aralığında olup birbirine yakın değerlerdedir. Az da olsa eğilme dayanımındaki düşüşle doğru orantılı olarak kırılma enerjilerinde artış mevcuttur (en çok % 10).



Şekil 8: Sadece çimento bağlayıcılı karışımların kırılma enerjisi ve eğilme dayanımları.

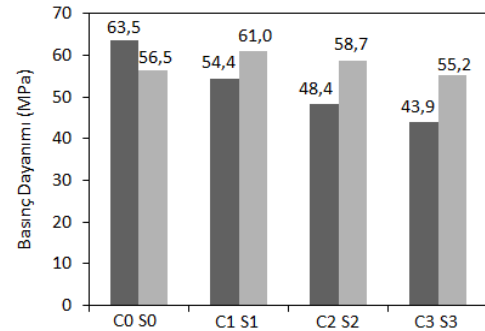
"S" serisi YFC ikameli tamir harçlarında ise durum biraz daha farklıdır (Şekil 9). C0'ın 6,6 MPa olan eğilme dayanımı % 1, % 2 ve % 3 CTP atığı ilavesi ile sırasıyla %16, %4 ve %2 oranında artmıştır. S0 matrisinin 49 N/mm olan kırılma enerjisi değeri % 1, % 2 ve % 3 atık kullanımıyla % 52, % 23 ve % 33 oranında artış sağlamıştır. Belirgin olarak % 1 CTP atığı değerinin kırılma enerjisini ve eğilme dayanımını geliştirdiği görülmektedir.



Şekil 9: YFC ikameli karışımların kırılma enerjisi ve eğilme dayanımları.

"S0" ve "C0" harçları karşılaştırıldığında YFC ikamesinin eğilme dayanımını %9 oranında azalttığı görülürken, YFC ile birlikte CTP atığı kullanımı sonucu dayanımlar çimentolu matristeki eşleniklerine kıyasla % 10 mertebesinde yükselmiştir. Benzer şekilde S0'ın kırılma enerjisi C0'dan % 20 azken, % 1 atık kullanımı ile % 20 artış elde edilmiştir. % 2 ve % 3 oranlarında ise C serilerine kıyasla kırılma enerjisi sırasıyla % 10 ve % 5 düşük kalmıştır. Eğilme performansı açısından YFC ikameli KYTH'lerde CTP atığı kullanımının daha verimli olduğu söylenebilir. Kullanılan YFC'nin atık içerisinde bulunan yetersiz narinlik ve uzunluğa sahip cam lifleri ile matris arayüzeyini geliştirerek eğilme performansına katkıda bulunmaya teşvik ettiği söylenebilir. Benzer bir etki gerçekleştirilen diğer bir çalışmada da gözlenmiştir [5].

28 günlük su kürü sonrası basınç dayanımları incelendiğinde özellikle çimentolu serilerde CTP atığı kullanımının önemli kayıplar yarattığı görülmektedir (Şekil 10). C0 atıksız karışımının basınç dayanımı 63,5 MPa iken, % 1, % 2 ve % 3 CTP atığı kullanımıyla sırasıyla % 14, % 24 ve % 31 oranında basınç dayanımı kaybı görülmektedir. YFC ikameli durumda ise S0 matrisinin basınç dayanımı 56,5 MPa iken % 1 ve % 2 CTP atığı içeriğinde sırasıyla % 8 ve % 4'lük basınç dayanımı artışı sağlanmıştır. % 3 atık içeriğinde ise % 2 gibi düşük bir kayıp söz konusudur. S0 matrisinin C0 matrisinden % 11 düşük olan basınç dayanımına rağmen YFC ikameli serilerde atık kullanımı ile % 8'e ulaşan kazanımlar elde edilmiştir. Tittarelli ve Moriconi [20] sadece çimento bağlayıcılı kendiliğinden yerleşen beton (KYB) içerisinde ince agrega yerine konulan % 10'luk CTP atığı sonucu 28 gün su kürü sonucu % 25'e varan basınç dayanımı kaybı rapor etmiştir.



Şekil 10: Basınç dayanımları.

CTP tozlarının SiO₂, Al₂O₃, CaO ve diğer polimerik bileşenleri ile çimento pastasının bağlayıcılığını ve adezyonunu arttırabilen bir katkı potansiyeli taşıdığı bazı çalışmalarda ifade edilmiştir [10]-[21]. Bazı çalışmalarda ise mekanik performansta düşüşler not edilmiş, kayıp nedeni olarak ince agrega yerine konulan CTP parçaları - çimento pastası arayüzeyinin, ince agrega-çimento pastası arayüzeyinden zayıf oluşu gösterilmiştir [20]-[22]-[23]. Çalışmada kullanılan yüksek bağlayıcılıktaki YFC'nin puzolanik reaksiyonuna CTP tozlarından gelen SiO₂'nin (Tablo 2) destek olması sonucu C-S-H yapısının güçlendiği söylenebilir. Atığın düşük dozajlarda (< % 10), uzatılmış su kürü ile dayanım kazandırıcı etki yapabildiği Asokan v.d., [10] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da gözlenmiştir. Bu etki, atık içerisinde çimentodan daha ince öğütülmüş halde bulunan cam tozu varlığının puzolanik etkisine dayandırılmıştır. Ayrıca çimentodan daha ince olan ve arayüzey geliştirici etkisi olan YFC'nin, tekne tamiri sırasında doğranarak narinliği çok fazla azalmamış cam lifleri-matris arayüzeyini geliştireceği düşünülebilir. YFC ikamesi ile eğilme performansında görülen az orandaki artış

bu görüşü desteklemektedir. Bu sebeplerle, YFC ikameli matrislerde atık kullanımı sonucu basınç ve eğilme dayanımlarının sırf çimentolu matrislerden daha olumlu etkilendiği düşünülmektedir.

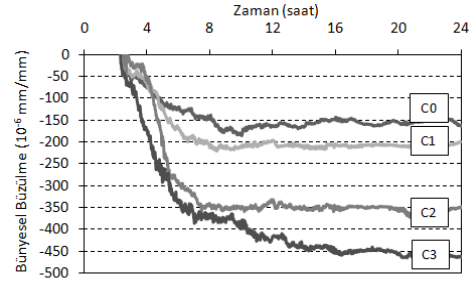
YFC'li matriste CTP dozajının artışıyla işlenebilirlik önemli derecede düşmüştür (Şekil 5). Bu sebeple "S" serisi KYTH'lerde artan sıkışık hava boşlukları nedeniyle atığın mekanik özelliklere olan faydasının dozajıyla doğru orantılı olmadığı söylenebilir. CTP atığının hacmen % 1 kullanımının gerek sırf çimentolu gerekse YFC'li kullanım için mekanik performans açısından uygun değer olduğu görülmektedir. Ayrıca azalan işlenebilirlik, CTP yüzeylerini ıslatmada harcanan veya CTP arasında hapsolan su nedeniyle olabilir. Bu durumda matriste az da olsa efektif su/bağlayıcı oranının azalması, mekanik özelliklerin gelişimine katkı sağlamış olabilir.

3.3 Erken Dönem Büzülme Eğilimi

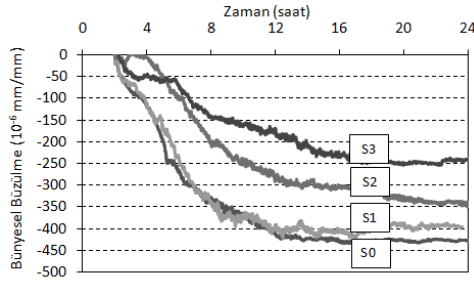
Şekil 11'de "C" serisi, Şekil 12'de "S" serisi KYTH'lerin erken dönem bünyesel büzülmeleri verilmektedir. Ölçümler "C" serisi harçlarda priz başlangıcı olan 2,5. saatte, "S" serisi harçlarda 2. saatte başlatılmıştır. C serisi KYTH'lerin karıştırılmasından 8 saat sonra bünyesel büzülme eğilimlerinin duraksadığı görülmektedir. Hidratasyon reaksiyonlarının şiddetli olduğu bu evrede içsel sıcaklık artışının harç numunesinde termal genişleme yaratacağı söylenebilir. Ayrıca erken yaşta oluşan etrenjit de büzülme eğilimini yavaşlatabilmektedir. Çalışma kapsamında erken yaş (<24 saat) ölçümlerine odaklanılmıştır. Uzun dönemde bünyesel büzülmelerin içsel kurumayla birlikte artacağı düşünülebilir. CTP atığı dozajı arttıkça maksimum bünyesel büzülme değerlerinin arttığı görülmektedir. % 2 ve % 3 atık içeriğinde büzülme, atık içermeyen karışımın büzülme mertebesinin (180×10^{-6} mm/mm) sırasıyla 2 ve 2,5 katıdır. "S" serisi harçlarda ise ters eğilim söz konusudur (Şekil 12). S0 karışımının maksimum büzülme değeri 430×10^{-6} mm/mm iken, % 1, % 2 ve % 3 atık içeriklerinde bu değer sırasıyla %4, % 19 ve % 42 oranında azalmıştır. Ayrıca cürufu matriste bünyesel büzülmelerin 18. saate kadar artışını sürdürdüğü görülmektedir.

S0 matrisi bünyesel büzülmesinin C0'ın 2,4 katı mertebesinde olduğu dikkati çekmektedir. Bu durum, YFC'nin çimentodan fazla oranda kimyasal büzülmesinden ve daha ince boşluk yapısı oluşturmasından kaynaklanabilir. Ayrıca YFC'nin partiküler yapısının da etkisi söz konusudur. YFC'nin bu etkisi Lee v.d., [9] tarafından yapılan çalışmada da görülmüştür. Sırf çimento bağlayıcılı matriste (C0) CTP atıklarının erken dönem bünyesel büzülmeyi arttırırken, YFC ikameli matriste (S0) azaltmasının sebebi bu atıkların YFC'li matriste kapiler su kaçışlarını kısıtlaması olabilir. Atık kullanımı sonucu "S" serisi KYTH'lerde V-kutusu sürelerinin önemli derecede uzaması, matris boşluk yapısını değiştirerek büzülme açısından pozitif yönde etki yapmış olabilir.

YFC kullanımının büzülme üzerine iki farklı etkisi söz konusudur. Puzolanik reaksiyonun çimento reaksiyonuna kıyasla daha yavaş gelişmesi erken yaştaki büzülmeleri azaltabilir. Diğer yandan YFC ile gözeneklerin daraldığı bilinmektedir. Bu ise büzülme mertebelerinin çimentolu kontrol karışımına kıyasla artması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada ikinci etkinin büzülme açısından baskın olduğu görülmektedir.



Şekil 11: Çimento bağlayıcılı karışımların erken dönem bünyesel büzülmeleri.



Şekil 12: YFC ikameli karışımların erken dönem bünyesel büzülmeleri.

3.4 Alkali-Silika Reaksiyonu

CTP atıkları çalışmaya konu olan dozajlarda ve kullanıldığı matrislerde ASR genişmesi yaratmamıştır. Çimentolu kompozitlerde kullanımı mümkün görülmektedir.

4 Sonuçlar

CTP atığı tozların KYTH'nin işlenebilirlik, mekanik ve büzülme özelliklerine etkisi üzerine yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- CTP atıkları işlenebilirliği olumsuz etkilemiş, bu olumsuz etki YFC ikameli matriste daha belirgin olmuştur. Ancak tüm karışımlar kalıbını vibrasyon gerekmeden doldurabilmiştir. CTP atıkları tamir harçlarında ASR genişmesi yaratmamıştır.
- Atıklar faydalı derecede gerilme köprülemesi gerçekleştirememiş, eğilme yükleri altında yalın matristen çok da farklı bir davranış gözlenmemiştir. KYTH'lerde YFC ikamesi sonucu lifsi atıklar ile matris arasında daha gelişkin arayüzey oluşmuş olabilir. Eğilme dayanımı ve kırılma enerjilerinin artışı bu duruma işaretlerdir.
- %50 (ağırlıkça) YFC ikamesi sonucu yalın matriste %11 basınç dayanımı kaybı oluşmuştur. CTP atığı kullanımından dolayı YFC ikameli KYTH'lerin basınç dayanımı az da olsa artarken, sırf çimento bağlayıcılı KYTH'lerin %31'e varan basınç dayanımı kaybı söz konusudur.
- KYTH'nin erken dönem bünyesel büzülmesi, çatlak riski açısından tehlikeli mertebelere (150 ila 460×10^{-6} mm/mm). CTP atığı kullanılan matriste YFC ikamesi büzülmeyi tetiklemiştir. Ancak CTP atıklarının kullanımı sırf çimento bağlayıcılı matriste bünyesel büzülmeleri arttırırken, YFC'li matriste büzülmeyi önemli oranda azaltmıştır.
- S3 karışımı, CTP atıkları ile serbest büzülmenin düşürülebildiği, tatminkar dayanımı beraberinde getiren karışımdır. YFC ikamesi ile çimento dozajının

% 50 oranında azaltılması çevreci bir çözümken, CTP atığına büzülme kısıtlayıcılık katması bakımından da faydalıdır. Söz konusu etki sayesinde daha yeşil, ekonomik ve erken yaş bünyesel büzülmesi azaltılmış bir tamir harcı üretilmiştir.

- Yapılan çalışma, yüksek oranda YFC ikamesinin kendiliğinden yerleşen tamir harcı üretimine uygun olduğunu göstermektedir. CTP atıkları YFC'nin bünyesel büzülme arttırıcı etkisini kısıtlamıştır. Mekanik performans da dikkate alındığında daha yüksek oranda CTP atığı değerlendirilmesi açısından YFC ikamesi önerilebilir. CTP atığının yarattığı ıyapı değişiklikleri ve daha yüksek oranlarda kullanımının araştırılması gerekmektedir.

5 Teşekkür

Yazarlar malzeme desteklerinden ötürü Adana Çimento, BASF, Denizli Çimento ve Tacar firmalarına teşekkür eder.

6 Kaynaklar

- [1] Felekoğlu, B., Türkel, S., Altuntaş, Y., "Fiber Reinforcement on Surface Wear Resistance of Self-Compacting Repair Mortars", *Cement and Concrete Composites*, 29, 391-396, 2007.
- [2] Courard, L., Darimont, A., Willem, X., Geers, C., Degeimbre R., "Repairing Concretes with Self-Compacting Concrete: Testing Methodology Assessment", *First North American Conference on The Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, Chicago, USA, November 12-13, 2002, 267-274.
- [3] Khayat, K.H. ve Morin, R., "Performance of Self-Consolidating Concrete Used to Repair Parapet Wall in Montreal", *First North American Conference on The Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, Chicago, USA, November 12-13, 2002, 475-481.
- [4] Felekoğlu, B., Yüksek Performanslı Mikro Beton Tasarımı, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [5] Yalçınkaya, Ç. ve Yazıcı, H., "The Effect of High Volume GGBFS Replacement on Mechanical Performance of Self-Compacting Steel Fiber Reinforced Concrete", *9th International Congress on Advances in Civil Engineering*, KTÜ, Trabzon, TURKEY, September 27-30, 2010.
- [6] Chang, P.K., "An Approach to Optimizing Mix Design for Properties of High Performance Concrete", *Cement and Concrete Research*, 34, 623-629, 2004.
- [7] Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Yiğiter, H., Aydın, S., Türkel, S., "Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete Containing High Volumes of Ground Granulated Blast Furnace Slag", *Cement and Concrete Composites*, 32, 639-648, 2010.
- [8] Akkaya, Y., Ouyang, C., Shah, S. P., "Effect of Supplementary Cementitious Materials on Shrinkage and Crack Development in Concrete", *Cement Concrete Composites*, 29, 2, 117-123, 2007.
- [9] Lee, K.M., Lee, H.K., Lee, S.H., Kim, G.Y., "Autogenous Shrinkage of Concrete Containing Granulated Blast-Furnace Slag", *Cement and Concrete Research*, 36, 1279-1285, 2006.
- [10] Asokan, P., Osmani, M., Price, A.D.F., "Assessing the Recycling Potential of Glass Fibre Reinforced Plastic Waste in Concrete and Cement Composites", *Journal of Cleaner Production*, 17, 821-829, 2009.
- [11] Khan, R., *Industry Survey on Production Availability and Cost of GRP Waste in the UK*, Hambleside Danelaw Rooflights and Cladding Limited, Inverness, Scotland, 2007.
- [12] Jones, M., McCarthy, A., Dhir, R., *Recycled and Secondary Aggregates in Foamed Concrete*, DTI/WRAP Agregates Research Programme STBF13/13C; ISBN: 1-84405-184-6, 2005.
- [13] ASTM C989-99, *Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2001.
- [14] EFNARC, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, 2005.
- [15] TS EN 480-2, *Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için-Deney metotları-Bölüm 2: Priz süresi tayini*, Türk Standardı, 2008.
- [16] Newlands, M.D., Paine, K.A., Vemuri, N.A. ve Dhir, R.K., A "Linear Test Method for Determining Early-age Shrinkage of Concrete", *Magazine of Concrete Research*, 60, 10, 747-757, 2008.
- [17] Pease, B. J., *The Role of Shrinkage Reducing Admixtures on Shrinkage, Stress Development, and Cracking*, MSC Thesis, Purdue University, 2005.
- [18] TS EN 196-1, *Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini*, Türk Standardı, 2009.
- [19] Xu, S. ve Zhu, Y., "Experimental Determination of Fracture Parameters for Crack Propagation in Hardening Cement Paste and Mortar", *International Journal of Fracture*, 157, 33-43, 2009.
- [20] Tittarelli, F. ve Moriconi, G., "Use of GRP Industrial by-Products in Cement Based Composites", *Cement and Concrete Composites*, 32, 219-225, 2010.
- [21] Asokan, P., Osmani, M., Price, A.D.F., "Improvement of the Mechanical Properties of Glass Fibre Reinforced Plastic Waste Powder Filled Concrete", *Construction and Building Materials*, 24, 448-460, 2010.
- [22] Siddiquea, R., Khatibb, J., Kaura, I., "Use of Recycled Plastic in Concrete: A Review", *Waste Management*, 28, 10, 1835-1852, 2008.
- [23] Batayneh, M. ve Marie, I., Asi, I., "Use of Selected Waste Materials in Concrete Mixes", *Waste Management*, 27, 1870-1876, 2007.