



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 2A0071

TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: August 2011

Accepted: October 2011

Series : 2A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Metin İpek

Sakarya University

metini@sakarya.edu.tr

Sakarya-Turkey

BAZALT AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ REAKTİF PUDRA BETONUNA FARKLI BOYUTLARDAKİ ÇELİK LİFİN VE SIKIŞTIRMA BASINCININ ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, iri agrega (bazalt agrega) kullanılarak üretilmiş reaktif pudra betonuna (RPB) farklı lif boyutu ve içeriği ile sıkıştırma basıncının etkisi araştırılmıştır. İlk olarak farklı karışım oranları teknikleri kullanılarak lifsiz olarak RPB oluşturulmuştur. Oluşturulan bu karışımda, farklı boyuttaki çelik lifler, farklı oranlarda kullanılmıştır. Eğilme deneyi ve kırılma tokluğu deneyi sonucu en yüksek değeri veren lif tipi ve oranı seçilmiştir. Seçilen lif tipi ve oranı kullanılarak hazırlanan taze haldeki RPB'ye altı farklı oranda (0, 5, 10, 15, 20, 25 MPa) sıkıştırma basıncı uygulanmıştır. Sıkıştırma basıncı uygulamasında en yüksek değere 25 MPa sıkıştırma basıncı ile ulaşılmış ve sıkıştırma basıncı uygulanmamış numune ile arasında %244 eğilme dayanımı artarak 40,91 MPa değerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Reaktif Pudra Betonu, Sıkıştırma Basıncı, Lif, Eğilme Dayanımı, Tokluk

THE EFFECT OF DIFFERENT STEEL FIBERS SIZE WITH PRE-SETTING PRESSURE ON BASALT AGGREGATE CREATED USING THE REACTIVE POWDER CONCRETE

ABSTRACT

In this study, the coarse aggregate (basalt aggregate) is created using the reactive powder concrete (RPB) with different fiber content, size and cost of compression pressure was investigated. The mixture composition, which would present the best performance during the flexural tests, was determined. Pre-setting pressure tests at six different magnitudes (0, 5, 10, 15, 20, 25 MPa) were conducted on the freshly prepared RPB having the determined mixture composition. The 30 mm long steel fibers mixed ratio of 4.5% provided the highest flexure strength and the fracture toughness. The highest pre-setting pressure was attained at 25 MPa and the flexural strength of the sample increased by 244% reaching 40.91 MPa at that pre-setting pressure.

Keywords: Reactive Powder Concrete, Pre-Setting Pressure, Fibre, Flexural Strength, Toughness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Reaktif pudra betonu (RPB), basınç dayanımı 150 ile 800 MPa arasında, çekme dayanımı 25 ile 150 MPa arasında, kırılma enerjisi yaklaşık 30000 J/m^2 , elastisite modüllü 50000 ile 75000 MPa arasında ve birim ağırlığı $2500\text{-}3000 \text{ kg/m}^3$ değerleri arasında olan bir beton türüdür. Bu özellikleri ile RPB'ler üstün mekanik ve fiziksel özelliklere, mükemmel sünekliğe ve çok düşük geçirimsizliğe sahip ultra yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozit olmuştur [1 ve 5]. Reaktif pudra betonu (RPB), normal betondan farklı olarak, homojenliğin arttırılması için mikro boyuttaki tanelerin kullanımı, tane dağılımın betonda minimum boşluk oluşturacak şekilde düzenlenmesi, puzolanik aktivitenin en üst düzeyde gerçekleşmesi için silis dumanı kullanılması ve sıcak kür uygulanmasıyla üretilmiştir [1].

Betonun çekme dayanımı, çatlak direnci, aşınma ve darbe dayanımı, tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmek için genellikle çelik, cam ve polipropilen lifler katılmaktadır [6 ve 10]. RPB'de, gevreklik problemi karışıma lif katılarak çözülmektedir. RPB'ye lif katılması ile ilgili çok sayıda çalışma vardır [1, 5, 11, 12 ve 14]. Bu çalışmalarda lif oranları denenmiş olmasına rağmen tek bir lif boyutu ve çapı kullanılmıştır. Ayrıca bu lifler genellikle mikro boyutta olan 0,2 mm çapında ve 13 mm uzunluğundadır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda genellikle tek tip lif kullanılmış ve farklı lif denemeleri gerçekleştirilmemiştir. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için bu çalışmada hem mikro hem de makro lifler farklı oranlarda kullanılmıştır. Reaktif pudra betonu, aktif olmayan pudra inceliğindeki malzemelerden oluşan beton anlamına gelmektedir. Pudra inceliğindeki malzemeler genellikle mikron boyutundadır. Pudra malzemeler, kayaçların kırılması sonucu elde edildiği için üretimleri zor ve maliyetlidir. Bu nedenle RPB'de farklı boyutta agrega denemeleri yapılan çalışmalar mevcuttur [3, 15 ve 16]. Bu çalışmalarda genellikle RPB için iri agrega olarak kabul edilen ama normal betonlar için kum olarak nitelendirilen ve dane çapı 4 mm'nin altında olan agregalar kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan iri agrega ülkemizde kaliteli ve bol miktarda bulunan bazalt agregası olmuştur. Çalışmanın diğer kısmını RPB'nin boşluksuz olarak yerleştirilmesi için sıkıştırma basıncı uygulaması oluşturmaktadır.

Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması mekanik ve durabilite özelliklerini doğrudan etkilemektedir [6]. RPB düşük su çimento oranına rağmen, akışkanlaştırıcı sayesinde akıcı bir kıvamdadır ve kendiliğinden yerleşebilmektedir [11 ve 12]. Ancak buna rağmen kullanılan katkı dozajından dolayı içyapıda istenmeyen boşluklar oluşmaktadır. Bu boşluklar hem pastanın hem de lif ile pasta arasındaki aderansı olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle numunenin yüzey kısımlarındaki boşluklar eğilme numunelerinde çentik etkisine neden olmakta buda ilk çatlak dayanımını düşürmektedir. Bu olumsuzlukları minimuma indirmek için optimum lif içeriği kullanılarak hazırlanmış taze haldeki karışıma özel olarak tasarlanmış kalıp sistemi ile 6 farklı miktarda (0 (Ctrl), 5, 10, 15, 20, 25 MPa) sıkıştırma basıncı uygulanmış ve numunelerin bu basınç altında prizini alana kadar tutulması sağlanmıştır. Sıkıştırma basıncının eğilme dayanımı parametrelerine etkisi incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

3.1. Malzeme (Material)

Bu çalışma için yüksek performanslı PC 52,5 CEM I R tipi çimento tercih edilmiştir. RPB, mikron boyuttaki taneler ile bağlayıcı pastadaki boşlukları dolduracak ve çimento hidratasyonu sonucu ortaya

çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek puzolanik aktivite gerçekleştirerek dayanıma katkı sağlayacak bir puzolan malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır [1, 3, 5, 11 ve 12]. Bu ihtiyaç, en iyi şekilde silis dumanı (SD) tarafından karşılanmaktadır [13]. Çalışmada, SD olarak Norveç'te bulunan Elkem firmasının 968-U kodlu yoğunlaştırılmamış SD kullanılmıştır. Portland çimentosu ve SD'nin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. RPB'de istenilen dayanımlara ulaşılabilmesi için dayanım ve yüksek hem de aşınma direnci yüksek agregalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple karışımda kuvars kumu tercih edilmiştir. Kuvars kumu elde edilmiş şekli ve mineralojik bakımdan kuvars pudrası ile aynı özelliklere sahiptir. Deneylerde kullanılan kuvars kumu, 100-300 µm ve 300-600 µm aralıktaki iki farklı sınıfta bulunmaktadır. RPB'de kullanılan taneli malzemelerin toplu olarak granülometri eğrisi Şekil 1'de ve kuvars kumu ve bazalt agresinin fiziksel özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.

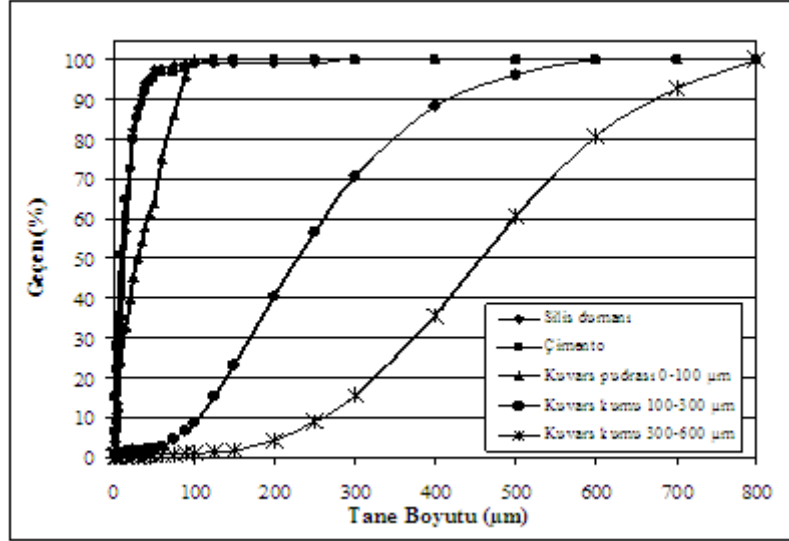
Ayrıca çalışmada çapı 0.16 mm, uzunluğu 6 mm yüzeyi prinç kaplı kancasız mikro çelik lif, çapı 0.75 mm uzunluğu 30 mm ve çapı 1.0 mm, 50 mm uzunluğunda olmak üzere iki adet kancalı makro boyutta çelik lif kullanılmıştır. Makro ve mikro çelik liflerin çekme dayanımı sırasıyla 1150 MPa ve 2250 MPa, özgül ağırlıkları 7,850 gr/cm³ ve 7,181 gr/cm³'tür. RPB karışımlarında katkı olarak yeni jenerasyon bir polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı süperakiskanlaştırıcı (SP) kullanılmıştır.

Tablo 1. Çimento ve silis dumanının özellikleri [14]
(Table 1. Properties of cement and silica fume [14])

Kimyasal Bileşenler (%)			Fiziksel Özellikler		
Bileşenler	Çimento	Silis Dumanı		Çimento	Silis Dumanı
CaO	64,47	0,50	Blaine özgül yüzey	5162 cm ² /gr	200000 cm ² /gr
SiO ₂	20,09	96	Birim hakim ağırlık	-	0,650 gr/cm ³
C	-	1,50	Özgül ağırlık	3,14	2,26
Al ₂ O ₃	5,01	0,70	Priz başlama	154 dak.	-
Fe ₂ O ₃	2,73	0,25	Priz bitiş	191 dak.	-
MgO	1,72	0,60	Hakim genleşmesi	0.8 mm	-
K ₂ O	0,66	0,85	Çimentonun Basınç Dayanımı (MPa)		
Cl	0,01	0,10	2 günlük	39.8 MPa	-
Na ₂ O	0,21	0,25	7 günlük	54.2 MPa	-
P ₂ O ₅	-	0,10	28 günlük	61.8 MPa	-
SO ₃	3,03	0,50			
H ₂ O	-	0,80			
Kızdırma kaybı	2,11	1,50			
pH değeri	-	5,0-8,0			
C ₃ S	60,7	-			
C ₂ S	11,8	-			
C ₃ A	8,6	-			
C ₄ AF	8,3	-			
Silicate Modulus	2,6	-			
Alumina Modulus	1,8	-			
Hydraulic Modulus	2,3	-			
Toplam alkali	0,58	-			

Tablo 2. Kuvars kumu ve bazaltın agregasının fiziksel özellikleri
Table 2. Physical properties of quartz sand and basalt aggregate

Özellik	Kuvars Kumu	Bazalt
Birim hacim ağırlığı	1,603 gr/cm ³	1,595 gr/cm ³
Özgül ağırlığı	2,676	2,680
Özgül yüzeyi	219 cm ² /gr	81 cm ² /gr
Nem İçeriği	%0,067	%0,036



Şekil 1. Taneli malzemelerin granülometri eğrisi [2]
(Figure 1. Particle size analysis of granule materials [2])

3.2. Metot (Method)

Karışım oranlama tekniği, karıştırma işlemi prosedürü ve kür tipi daha önce yapılan çalışmadan alınmıştır [2 ve 14]. RPB karışımının tüm hacmi dikkate alınarak lif hacmi belirlenmiştir. Lif karışım miktarı kadar, RPB lifsiz karışımı azaltılarak lifli karışımlar hazırlanmıştır. Karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir. 50 mm uzunluğunda olan makro lifler, işlenebilirliği olumsuz etkilediği için en fazla %1,5 oranında kullanılabilmiştir. Daha yüksek oranlarda işlenebilirlik mümkün olmamıştır.

Tablo 3. Karışım Kompozisyonu ve mekanik özellikleri (lifsiz)
(Table 3. Compositions of mixture (without fiber))

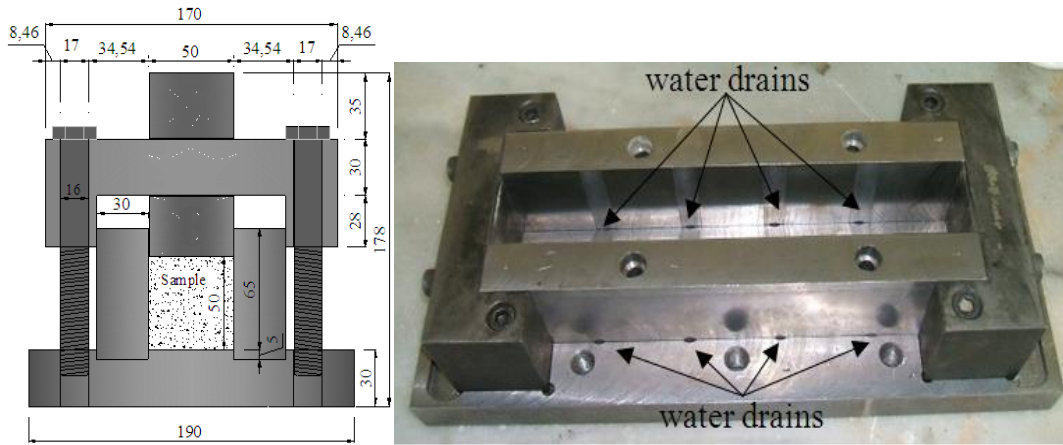
Malzeme	Çimento	Silis Dumanı	K. Pudrası (0-100µ)	K. Kumu (100-300µ)	K. Kumu (300-600µ)	Bazalt (0.5-2 mm)	Su	SP	Hava
Ağırlık (kg/m ³)	1000	230	300	130	130	260	250	30	%1,6
7 günlük basınç dayanımı						165,51 (MPa)			
28 günlük basınç dayanımı						192,93 (MPa)			

Numuneler lif içeriğine göre kodlanmıştır. Kodlama yapılırken, bileşimdeki lifin cinsi kodun ilk ifadesini ve miktarı da ikinci ifadesini oluşturmaktadır. 6 mm uzunluğunda mikro lif "K" harfi ile 30 mm orta boy lif "O" harfi ile 50 mm uzun lif ise "U" harfi ile kodlanmıştır. Kodun ikinci kısmı hacimce lif oranını belirtmektedir. Buna göre, "A" harfi %1,5 lif hacim oranını, "B" harfi %3 lif hacim oranını, "C" harfi %4,5 lif hacim oranını ve "Z" harfi ise lifsiz referans numuneyi göstermektedir.

Optimum lif miktarı ve lif tipinin belirlenmesi için hazırlanan numuneler, lif boyutları dikkate alınarak 75x75x500 mm boyutlarında üretilmiştir. Bu numunelere 28 gün boyunca 20 °C su kürü uygulanmış ve eğilme testi uygulanmıştır.

Eğilme numunelerindeki sıkışmış hava miktarını ve suyu dışarı atmak ve böylece daha yoğun bir beton elde ederek betonun, hem kendi içindeki hem de lifler ile olan aderansını arttırmak için kiriş numunelerine belirli bir basınç ile sıkıştırma uygulanmıştır. Uygulanan basınç aynı zamanda rötreye olumlu katkı yapmakta, betonun yoğunluğunu arttırmakta ve bunlara paralel olarak dayanıklılık özelliklerine önemli katkılar sağlamaktadır [1, 5, 2 ve 14].

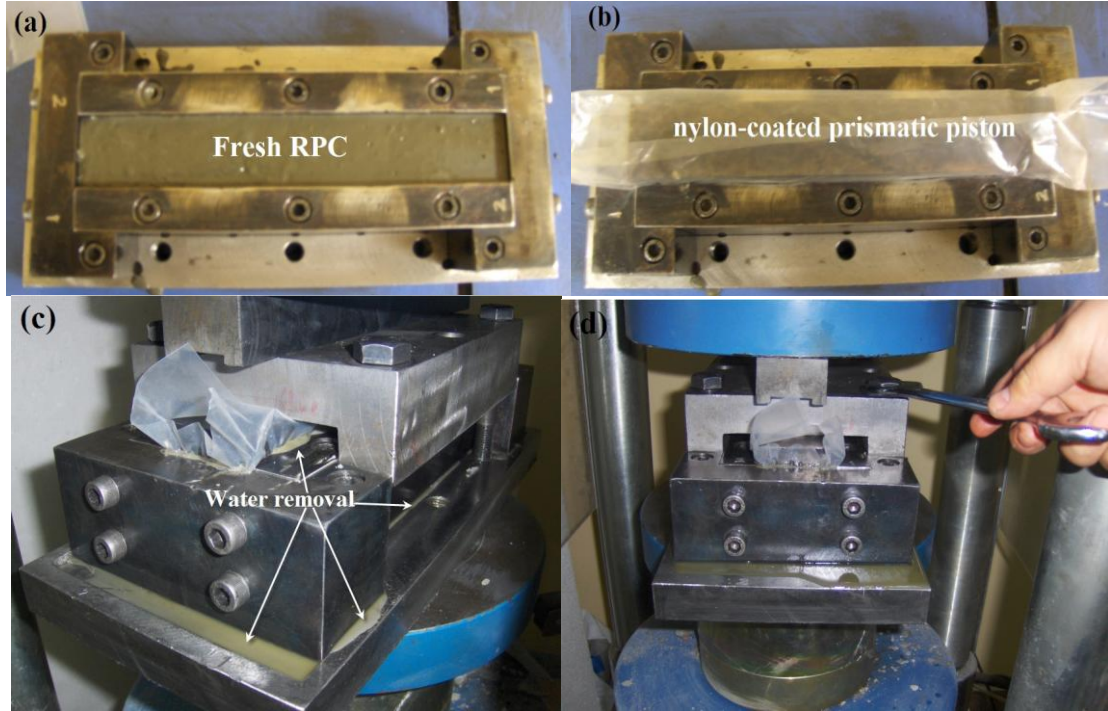
Basınç numunelerinin üretilmesinde kullanılan kalıbın malzeme özellikleri dikkate alınarak, dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanan kalıpların ölçüsü, 65x50x300 mm'dir (Şekil 2). Kalıp, betona uygulanan basınç altında, her hangi bir şekil değişimine uğramaması için kalıbı oluşturan metal (1040 çeliği) malzemelere ısıl işlem uygulanarak malzeme sertliği arttırılmıştır [17].



Şekil 2. Sıkıştırma basıncı uygulayabilmek için özel olarak tasarlanmış kalıp [14]
(Figure 2. Specially designed for pre-setting pressure mould [14])

Kalıba ilk olarak taze haldeki RPB doldurulmuştur (Şekil 3-a). Daha sonra dikdörtgen prizma şeklindeki piston naylon ile kaplanarak pistonun rahat hareket etmesi ve kalıbın istenmeyen yerlerinden su, hava ve RPB pastasının çıkması engellenmiştir (Şekil 3-b). Kalıba istenilen basınç kuvveti uygulandıktan sonra bu basıncı kalıp sökülünceye kadar muhafaza edecek parça monte edilmiştir. Betona uygulanmak istenilen basınç, suyun dar kanallardan ($h=0,10$ mm) çıkmasına zaman tanıyacak şekilde oldukça düşük bir yükleme hızında olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu nedenle kalıba doldurulan taze haldeki RPB'ye pres altında 0,13 MPa/sn'lik bir yükleme hızı ile istenilen yüke kadar kontrollü bir şekilde yüklenmiştir (Şekil 3-c).

Bu yük altında deformasyonu sabitleninceye ve su ve hava çıkışı durana kadar (yaklaşık 1 saat) beklenerek pistonu geri gitmesini engelleyen 6 adet 16 mm çapındaki ısıl işlem gören sertleştirilmiş vidalar sıkıştırılarak beton presinin yükü boşaltılmıştır (Şekil 3-d).



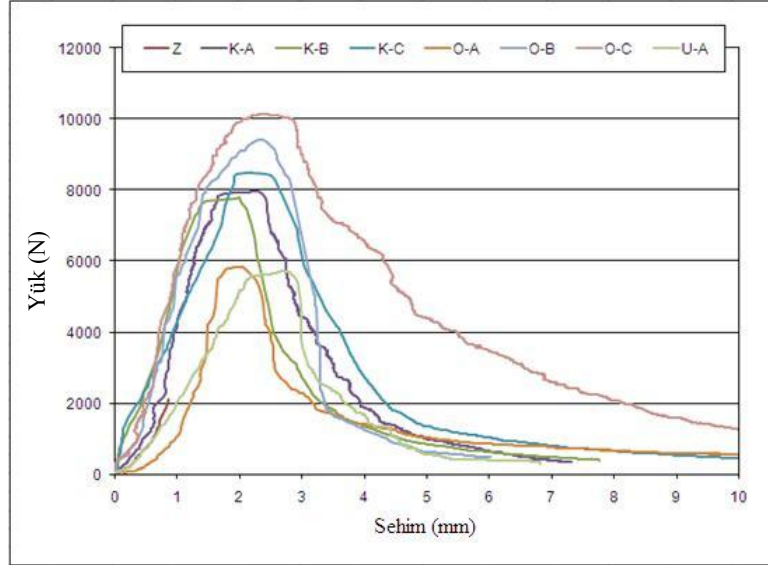
Şekil 3. a) RPB'nin kalıba doldurulması b) Dikdörtgen prizma pistonun yerleştirilmesi c) Sıkıştırma basıncının uygulanması d) Pistonun geri gitmesini engelleyen vidaların sıkılması [14]
(Figure 3. Filling the fresh RPB into the mould, b) placing the piston in rectangular prism form, c) performing pre-setting pressure under the concrete press, d) tightening the screws which prevent the pressure within the mould from bleeding off) [14]

Kalıp içerisindeki basınç 24 saat muhafaza edilmiştir. Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 3 gün 90 °C buhar kürü uygulanmış, sonrasında 25 gün 20 °C su kürü uygulanmaya devam edilmiştir.

Numunelerin eğilme dayanımını belirleyebilmek için 4 nokta eğilme deneyi kullanılmıştır. Deney cihazının yükleme hızı kiriş orta noktasında, 0,05-0,10 mm/dak. sehim yapacak şekilde ayarlanmıştır [18 ve 23]. Numuneler bu hızda tamamen kırılıncaya kadar yüklenecek yük sehim grafikleri elde edilmiştir. Yük-sehim grafikleri kullanılarak, çatlak dayanımları, eğilme dayanımları, eşdeğer eğilme dayanımları ve kırılma tokluğu hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Eğilme deneyi sonucu numunelerin yük sehim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4). Bu grafikler kullanılarak eğilme deney sonuçları hesaplanmış ve Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Lif tipi ve miktarına göre yük-sehim grafiği
(Figure 4. The load-deflection graphics of the fiber type and content)

Tablo 4. Farklı tip ve oranda lif içeren RPB'lerin eğilme deneyi sonuçları

(Table 4. Flexural test results of the RPC containing different fiber and content)

Numune	Çatlak Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu (Nm)	Eşdeğer Eğilme Dayanımı (Mpa)
Z	2,35	2,35	0,70	0,22
K-A	7,02	7,56	20,30	6,42
K-B	7,19	7,89	22,70	7,17
K-C	7,69	8,06	24,08	7,61
O-A	4,91	5,02	12,02	3,80
O-B	7,59	8,93	22,74	7,19
O-C	9,39	9,61	37,62	11,89
U-A	5,29	5,41	13,74	4,34

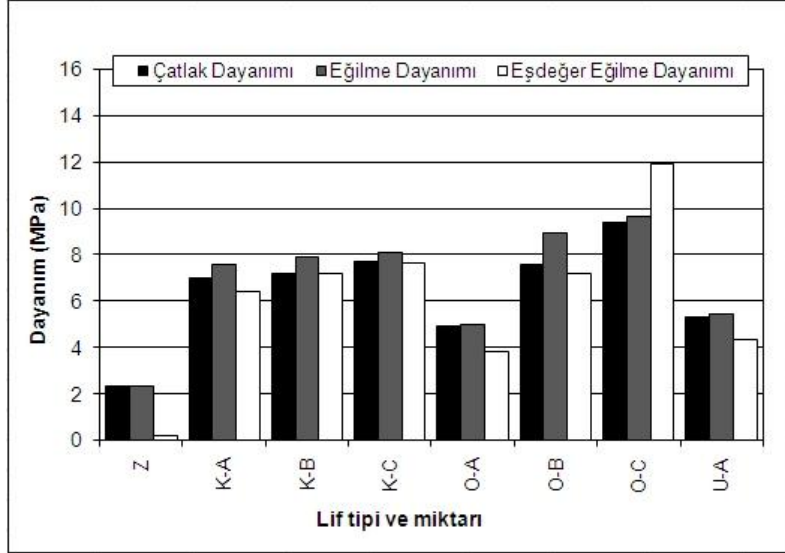
RPB'nin mikro tanelerden oluşması homojenliğin artmasına ve boşluk miktarının azalmasına neden olmaktadır. Ancak bu olumlu özellikler lifsiz RPB'nin eğilme dayanımını, basınç dayanımı kadar etkilememiştir. Tablo 4 incelendiğinde, lifsiz numunelerin eğilme dayanımı normal betonlardan çokta farklı olmadığı görülmektedir. Lifsiz numunelerde çatlak oluşumu ile kırılma ani olmaktadır. Bu da, JSF-14 standardına göre kırılma tokluğu değeri dikkate alınarak eğilme dayanımı hesaplandığında çok küçük bir değer elde edilmektedir [22]. %1,5 mikro lif (6 mm) içeren numunelerin, lifsiz numunelere göre eğilme dayanımları yaklaşık 3 kat artarken, kırılma tokluğu 20 kattan fazla artmıştır. Kısa kesilmiş liflerin aynı ağırlıktaki diğer uzun liflerden sayıca çok daha fazla olması, sebebiyle betona daha iyi dağılmış ve iki lif arasındaki mesafenin azalmasına neden olmuştur.

Böylece kiriş alt bölgesinde çentik etkisi yapacak durum azalmakta ve çatlak ilerlemesi sürekli lifli bir yapıda daha zor olmaktadır [21-27]. Bu deney sonuçlarına göre kısa kesilmiş lif kullanılan numunelerin genellikle ilk çatlak dayanımı yüksek olmuştur. %1,5 lif içeren numuneler arasında en yüksek çatlak dayanımına mikro lif içeren numunelerde gözlenmiştir.

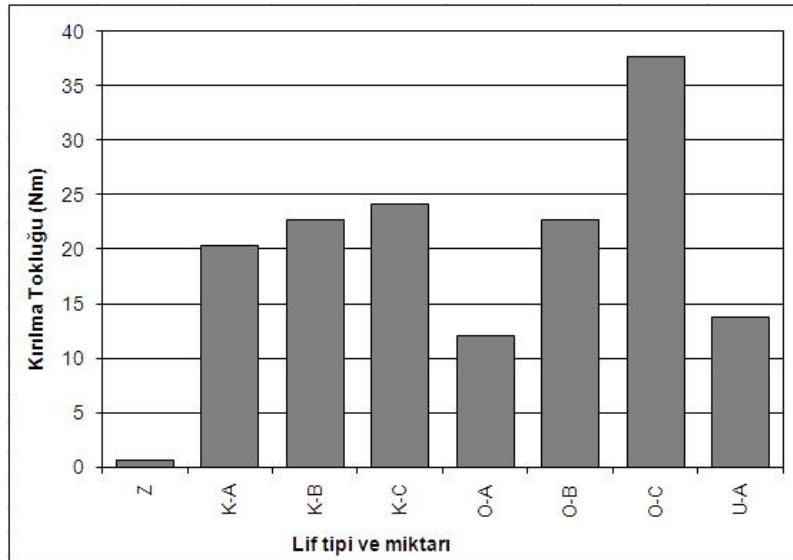
Mikro lif oranı %1,5 ile %3 arasında kullanıldığında eğilme ve çatlak dayanımı belirgin bir şekilde değişmemişken, kırılma tokluğu

değerleri artmıştır (Şekil 5 ve 6). Bu oran %4,5 olduğunda, yaklaşık %10 oranında gerçekleşmiştir. Aynı zamanda kırılma tokluğu, ilk çatlak dayanımı ve eğilme dayanımına göre daha az bir artış göstermiştir. Lif boylarının kısa olması, sehim miktarını azaltmıştır. Aynı şekilde mikro liflerin uçlarının kancasız olması da bu etkiye eşlik etmiştir.

Kırılma tokluğu değeri kullanılarak Japon standardına göre hesaplanan eşdeğer eğilme dayanım değerleri kısa kesilmiş lif için, TS ve ASTM'ye göre hesaplanan eğilme dayanımından bir miktar fazladır.



Şekil 5. Lif tipi ve miktarına göre eğilme dayanımı değişim grafiği
(Figure 5. Graphics of the change in flexural strength in response to the fiber type and content)



Şekil 6. Lif tipi ve miktarına göre kırılma tokluğu değişim grafiği
Figure 6. Graphics of the change in fatigue toughness in response to the fiber type and content

Orta boy olarak adlandırılan 30 mm uzunluğundaki lif, %1,5 oranında kullanıldığında dayanım değerleri, aynı orandaki kısa liften daha düşüktür. Bu durum yukarıda bahsedildiği gibi birim alana düşen lif sayısının az olmasından kaynaklanabilir. Lif miktarı artıkça birim alana düşünen lif sayısı da artmış ve özellikle %4,5'lik lif oranında

diğer lif türü ve miktarlarına göre en yüksek değeri vermiştir. Makro boyuttaki lifler akıcı RPB'ni yerleştirilmesi sırasında ağırlıklarından dolayı kalıbın alt tarafına doğru çökme eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu homojenlik açısından sakıncalı bir durum olmasına rağmen kirişlerde çekme bölgesindeki lif miktarının artması eğilme parametrelerinde olumlu etkiye sebep olmuş ve en yüksek eğilme dayanımını 30 mm uzunluğundaki lif tipinin vermesine neden olmuştur.

50 mm uzunluğunda olan lifler, işlenebilirliği olumsuz etkilediği için en fazla %1,5 oranında kullanılabilmiştir. Bu liflerde düşük oranda 30 mm'lik lifler ile eğilme parametreleri açısından benzerlik göstermiştir. Bu lifler ile kısa liflerin beraber kullanılması dayanımları olumsuz yönde etkilemiştir. Uzun liflerin işlenebilirliği olumsuz etkilemesi ve kısa liflerle beraber kullanılması kalıba yerleştirmede zorluklar yaşanmıştır.

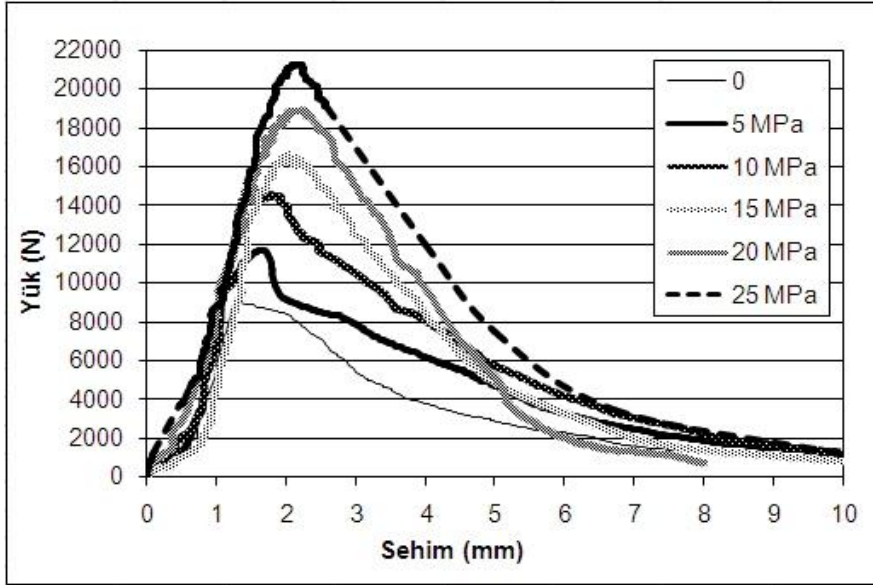
Sonuç olarak 30 mm uzunluğundaki lifler yalnız başına %4,5 oranında kullanıldıklarında en yüksek eğilme dayanımını ve kırılma tokluğu değerini vermektedir. Bu lif tipi ve %4,5 oranlı RPB karışıma, (diğer karışımlara göre daha avantajlı olacağı düşünülerek) sıkıştırma basıncı uygulanmıştır.

Eğilme numuneleri üzerine uygulanan ve priz sonuna kadar devam eden basıncın ilk çatlak dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu gibi özellikleri nasıl etkilediği araştırılmıştır. Sıkıştırma basıncı etkisi ile kalıp içerisinden suyun ve havanın çıkması ve tanelerin birbirine yaklaşması, birim hacim ağırlık değerinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca numunelerin birim hacim değerlerindeki artış, sıkıştırma basıncının etkili olarak uygulanıp uygulanmadığının da bir göstergesidir. Bu nedenle ilk olarak numunelerin özgül ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5). Birim ağırlık değerleri beklenildiği gibi sıkıştırma basıncı artmasına paralel olarak artmıştır. Eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafikleri Şekil 7'de verilmiştir. Yük-sehim grafikleri kullanılarak, çatlak dayanımları, eğilme dayanımları, kırılma tokluğu grafikleri Şekil 8'de verilmiştir.

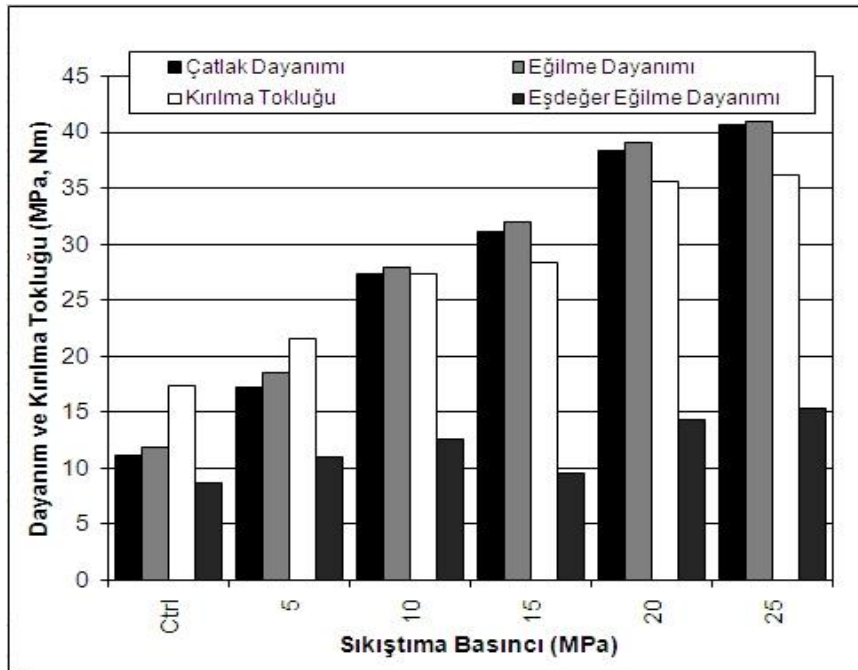
Tablo 5. Sıkıştırma basıncının birim ağırlık ve eğilmenin mekanik özelliklerine etkisi

(Table 5. Effect of pre-setting pressure on unit weight and flexural mechanical properties)

Sıkıştırma Basıncı (MPa)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Birim Ağırlık Artışı (%)	Çatlak Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu (Nm)	Eşdeğer Eğilme Dayanımı (Mpa)
Ctrl	2528,43	-	11.17	11.89	17.27	8.72
5	2564,68	1,43	17.2	18.47	21.46	11.00
10	2584,32	2,21	27.32	27.95	27.34	12.61
15	2631,37	4,07	31.08	31.95	28.26	9.56
20	2676,21	5,85	38.26	38.97	35.54	14.24
25	2685,43	6,21	40.56	40.91	36.05	15.32



Şekil 7. Farklı sıkıştırma basıncı uygulamalarının yük-sehim grafiği
(Figure 7. The load-deflection graphics of different pre-setting pressure)



Şekil 8. Sıkıştırma basıncının eşilme dayanımı ve kırılma tokluğuna etkisi

(Figure 8. The effect in flexure strength and fatigue toughness based on pre-setting pressure)

Şekil 8 incelendiğinde, sıkıştırma basıncı arttıkça ilk çatlak dayanımı ve eşilme dayanımı artmaktadır. Tamamı ince malzemelerden ($D_{max}=600 \mu m$) oluşan karışım ile içerisinde bulunan lif arasındaki aderans, sıkıştırma basıncı sayesinde daha sıkı bir yapı oluşturarak liflerin sıyrılmasını zorlaştırmış ve eşilme dayanımının olumlu yönde artmasına neden olmuştur. Bu artış kontrol numuneye göre 5, 10, 15, 20, 25 MPa'da sırasıyla %55,3 - 135 - 168,7 - 227,8 - 244 oranlarında olmuştur. Sıkıştırma basıncındaki artış, birim ağırlık ile eşilme

dayanımı değerleri arasında bir paralellik göstermiştir. 5 MPa sıkıştırma basıncı büyük hava boşluklarını ve serbest haldeki suyun büyük ölçüde dışarı çıkmasını sağlamıştır. Sıkıştırma basıncı, aynı zamanda RPB'deki lifin bulunmadığı pasta kısımlarında da aderans artışına neden olarak eğilme parametrelerine olumlu katkı sağlamıştır.

ASTM ve TS standartlarına göre bulunan eğilme dayanım sonuçları ile Japon standardına göre bulunan eğilme dayanım sonuçları arasında çok büyük fark vardır. Bu farkın sebebi, numune uzunluğunun normal Standard boyuttan küçük olmasına bağlıdır. Japon standardı maksimum yük yerine yük-sehim eğrisi altında kalan alanı dikkate alarak hesap yapmaktadır [22]. 15 MPa sıkıştırma basıncı uygulanmış numunenin tepe yükten sonra ani sehim yaparak kırılması (Şekil 7) eşdeğer eğilme dayanımı değeri düşmüştür.

Bu çalışma sonuçları daha önce tarafımdan yapılan ve iri agregası (bazalt) kullanılmayan çalışmanın (Ref. 28) değerleri (Tablo 6 ile karşılaştırıldığında eğilme parametrelerinde Sıkıştırma basıncı uygulanmamış numunelerin eğilme parametreleri arasında benzerlik görülmektedir [28]. Sıkıştırma basıncı uygulanmış numuneler karşılaştırıldığında bazalt agregası için RPB'lerin eğilme mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Özellikle 15 MPa sıkıştırma basıncından sonra eğilme dayanımında belirgin bir artış görülmüştür. Bunun nedeni olarak sıkıştırma basıncının pasta, iri agregası ve lif arasındaki aderansı arttırması gösterilebilmektedir.

Tablo 6. Sıkıştırma basıncının birim ağırlık ve eğilmenin mekanik özelliklerine etkisi [28]

(Table 6. Effect of pre-setting pressure on unit weight and flexural mechanical properties)

Sıkıştırma Basıncı (MPa)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Birim Ağırlık Artışı (%)	Çatlak Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu (Nm)	Eşdeğer Eğilme Dayanımı (Mpa)
Ctrl	2551,99	-	11,81	12,94	14,53	0,31
5	2625,74	2,89	12,87	13,12	16,78	5,95
10	2636,97	3,33	13,03	14,04	18,22	6,44
15	2641,56	3,51	17,47	18,08	21,41	6,92
20	2679,59	5	26,18	27,14	35,09	3,74
25	2680,61	5,04	26,10	28,07	36,85	7,48

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

İri agregası olarak RPB'de bazalt kullanılması işlenebilirlik özelliklerini değiştirmediği görülmüştür. Sıkıştırma basıncı sayesinde normal betonlarda problem olan zayıf ara yüzey elimine edilerek iri agregası ile pasta arasındaki aderans problemi en aza indirilmiştir. İri agregası kullanımı homojenliği olumsuz yönde etkilese de sıkıştırma basıncı sayesinde birim ağırlık değeri artarak bu olumsuz etkiyi azaltmıştır. Bu nedenle tane boyut sorunu olmayan elemanların üretiminde kullanılan RPB'lerde iri agregası kullanılabilir.

Makro boyuttaki lifler akıcı RPB'nin yerleştirilmesi sırasında ağırlıklarından dolayı kalıbın alt tarafına doğru çökmüştür. Bu nedenle çekme bölgesindeki lif miktarının artması eğilme parametrelerinde olumlu etkiye sebep olmuş ve en yüksek eğilme dayanımını 30 mm uzunluğundaki makro lif ile ulaşılmıştır.

RPB'ye uygulanan sıkıştırma basıncı, hava boşluklarını ve serbest haldeki suyun dışarı çıkması ve tanelerin birbirine yaklaşması sonucu birim hacim ağırlık, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerlerini arttırmıştır. Sonuç olarak 25 MPa'lık bir sıkıştırma basıncı ile 40,91 MPa eğilme dayanımına ve 36,05 Nm'lik kırılma

tokluğu değerine ulaşılmıştır. Bu değer şu ana kadar lifli beton çalışmaları ile karşılaştırıldığında kayda değer bir eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değeridir [4,14].

Sıkıştırma basıncı uygulanarak RPB'ler ile uygulamada daha ince cidarlı prefabrik elemanlar üretilebilir. Bu RPB elemanlar endüstride sadece beton malzemelerin değil aynı zamanda diğer malzemelere de alternatif olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Richard, P. and Cheyrezy, M.H., (1995). Composition of Reactive Powder Concrete. Cement and Concrete Research, Volume: 25, Number: 7, pp: 1501-11.
2. İpek, M., Yılmaz, K., Sumer, M., and Sarıbiyik, M., (2011). Effect of Pre-Setting Pressure Applied to Mechanical Behaviours of Reactive Powder Concrete During Setting Phase. Construction and Building Materials, Volume: 25, Number: 1, pp: 61-68.
3. Yazıcı, H., (2007). The Effect of Curing Conditions on Compressive Strength of Ultra High Strength Concrete With High Volume Mineral Admixtures. Building and Environment, Volume: 42, Number: 5, pp: 2083-2089.
4. Dugat, J., Roux, N., and Bernier, G., (1996). Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes. Materials and Structures, Volume: 29, Number: 4, pp: 233-240.
5. Topçu, İ.B. ve Karakurt, C., (2005). Reaktif Pudra Betonları. İMO, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi (TMH), Sayı: 437, ss: 25-30.
6. Neville, A.M., (1995). Properties of Concrete. London: Longman Scientific & Technical.
7. Aitcin, P.C., (2000). Cement of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow. Cement and Concrete Research, Volume: 30, Number: 9, pp: 1349-1359.
8. Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., (2004). Optimisation of Steel Fibre Reinforced Concretes By Means of Statistical Response Surface Method. Cement and Concrete Composites, Volume: 26, Number: 6, pp: 665-675.
9. Kang, S.T., Lee, Y., Park, Y.D., and Kim, J.K., (2010). Tensile Fracture Properties of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) With Steel Fiber. Composite Structures, Volume: 92, Number: 1, pp: 61-71.
10. Çivici, F., (2006). Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 12, Sayı: 2, ss: 183-188.
11. Chan, Y. and Chu, S., (2004). Effect of Silica Fume on Steel Fiber Bond Characteristics in Reactive Powder Concrete. Cement and Concrete Research, Volume: 34, Number: 7, pp: 1167-1172.
12. Cavill, B. and Chirgwin, G., (2004). The World's First RPC (Ductal) Road Bridge at Shepherds Creek. NSW, Austroads 5th Bridge Conference, Hobart, Australia, pp: 1-13.
13. Yeğınobalı, A., (2002). Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliđi /AR-GE Enstitüsü, Ankara 2. Baskı, ss: 18-46.
14. İpek, M., Yılmaz, K., and Uysal, M., (2011). The Effect of Pre-Setting Pressure Applied Flexural Strength and Fracture Toughness of Reactive Powder Concrete During the Setting Phase. Construction and Building Materials, Volume: 26, Number: 1, pp: 459-465.

15. Ma, J., Orgass, M., Dehn, F., Schmidt, D., and Tue, N.V., (2004). Comparative Investigations on Ultra-High Performance Concrete With and Without Coarse Aggregates. International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany, pp: 205-212.
16. Coppola, L., Troli, R., Cerulli, T., and Colleparidi, M., (1996). the Influence of Materials on the Performance of Reactive Powder Concrete. Proceedings of the International Congress on High-Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures, Florianopolis, Brazil, pp: 502-513.
17. Uzkut, M. ve Özdemir, İ., (2001). Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 3, ss: 65-73.
18. Türk Standartları Enstitüsü: TSE, (1992). TS 10514: Beton - Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları. Ankara.
19. Türk Standartları Enstitüsü: TSE, (1992). TS 10515: Çelik Tel Takviyeli Betonun Eğilme Mukavemeti Deney Metodu. Ankara.
20. Türk Standartları Enstitüsü: TSE, (1992). TS 10513: Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan. Ankara.
21. British Standard: BS, (2000) BS-EN 12390 Testing Hardened Concrete - Part 5: Flexural Strength of Test Specimens. London.
22. Japan Society of Civil Engineers Standard: JSCE, (1984). Standard SF-4: Method Of Test For Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete. Japan.
23. American Society for Testing and Materials: ASTM (1989). ASTM C 1018: Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading). Philadelphia.
24. Sukontasukkul, P., (2004). Toughness Valuation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending. Thammasa Int. J. Sc. Tech., Volume: 9, Number: 3, pp: 35-41.
25. Adeline, R. and Behloul, M., (1996). High Ductile Beams Without Passive Reinforcement. 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High Performance Concrete. Paris, pp: 1383-90.
26. Adeline, R., Behloul, M., and Bernier, G., (1996). High Ductile Beams Without Passive Reinforcement. FIP Symposium on Post-Tensioned Concrete Structures. London, pp: 592-606.
27. Betterman, L.R., Ouyang, C., and Shah., S.P., (1995). Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar. Advanced Cement Based Materials, Volume: 2, Number: 2, pp: 53-61.
28. İpek, M., (2011) The Flexural Strength and Fracture Toughness of Reactive Powder Concrete in Response to Changing Fiber Size and Pre-Setting Pressure. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Article in press.