

Effects of Micro Steel Fiber and Quartz Sand on the Compressive Failure of High Performance Concrete

Abdussamet ARSLAN, Duygu DEMİRTÜRK*

¹ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE

^{2*} Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE

ARTICLE INFO

Received: November:17.2016

Reviewed: November:30.2016

Accepted: April: 07.2017

Keywords:

High Performance Concrete

Quartz Sand

Micro Steel Fiber

Strength

Corresponding Author:

*E-mail: duygudmtrk@gmail.com

ABSTRACT

Developments in materials and production technology have made it possible to produce high performance concrete with high durability as well as high strength. Silica fume, new generation superplasticizer, fine grained aggregates which are used for high performance concrete improve the particle packing density because of the homogeneous particle packing of the mixtures. High compressive strength is obtained thanks to high particle packing density, in other words, the dense matrix. In accordance with this purpose of the study, CEM I 52,5 R white cement, silica fume, quartz sand, silica sand, new generation superplasticizer, micro steel fiber and water have been used to produce high performance concrete. In the prepared samples, %10, %15 and %20 quartz sand and %0, %1, %2 and %3 micro steel fiber contents were used while the amounts of other materials were kept constant. As a result of this study, the effects of different rates of micro steel fiber on the compressive failure with different quartz sand contents were investigated.

Mikro Çelik Lif ve Kuvars Kumunun Yüksek Performanslı Betonların Basınç Kırılmasına Etkileri

ÖZET

Anahtar Kelimeler:

Yüksek Performanslı Beton

Kuvars Kumu

Mikro Çelik

Dayanım

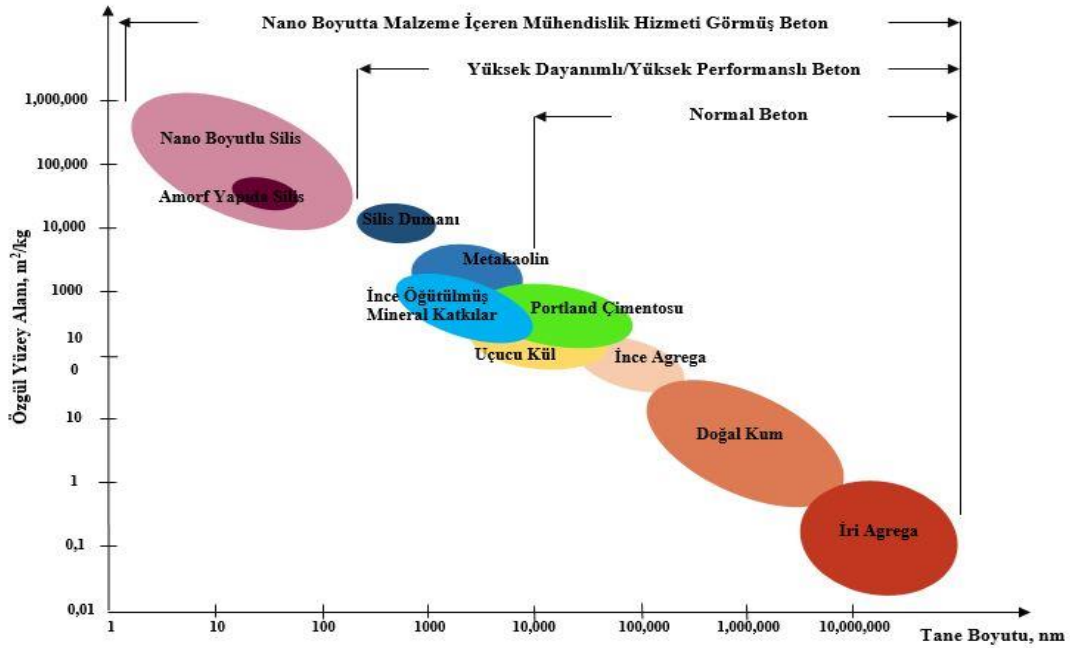
Malzeme ve üretim teknolojisinde yaşanan gelişmeler, yüksek dayanımın yanında yüksek durabilite özelliğine sahip yüksek performanslı betonların üretilmesine imkân sağlamıştır. Yüksek performanslı betonlarda kullanılan silis dumanı, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı, ince taneli agregalar homojen tane dizilime sahip karışımları oluşturarak tane dizilim yoğunluğunu iyileştirmektedir. Yüksek tane dizilim yoğunluğu bir başka deyişle yoğun matris sayesinde yüksek basınç dayanımı elde edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda çalışmada yüksek performanslı beton üretmek için CEM I 52,5 R Beyaz çimento, silis dumanı, kuvars kumu, silis kumu, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı, mikro çelik lif ve su kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde %10, %15 ve %20 oranlarında kuvars kum içeriği ile %0, %1, %2 ve %3 oranlarında mikro çelik lif kullanılırken diğer malzemelerin miktarları sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda farklı kuvars içeriğine bağlı olarak değişen farklı oranlardaki mikro çelik lifin basınç kırılması üzerindeki etkisi incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin kullanılmasıyla üretilen kompozit bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde beton, yapı sektörünün

vazgeçilmez yapı malzemesi olma özelliğini dayanıklı, ekonomik, kolay şekil verilebilir olması gibi avantajları sebebiyle korumaktadır. Beton teknolojisinin ilk yıllarında 15-25 MPa aralığında dayanıma sahip betonlar üretilirken son zamanlarda malzeme ve üretim teknolojisinin de katkılarıyla 200 MPa dayanıma ulaşan hatta bu değerlerin üzerine çıkan beton türleri üretilmektedir(Özalp, 2006). İlerleyen beton teknolojisi betonun sadece basınç dayanımını arttırmakla kalmamış aynı zamanda durabilite ve süneklik gibi performans yönünden de iyileşmesine imkân sağlamıştır. Bu durum yüksek dayanımının yanı sıra yüksek durabilite özelliğine de sahip, yeni nesil beton türü olarak da bilinen yüksek performanslı betonların üretilmesine imkân sağlamıştır.

Yapılan çalışmalar yüksek performanslı beton tasarımının yüksek dayanımlı beton tasarımına göre daha zor olduğunu ortaya koymaktadır(Sobolev, 2004). Bu sebeple gün geçtikçe yüksek performanslı betonların karışım tasarımında yeni gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmelerin başında homojen dağılı ultra incelikte taneler(DSP) içeren sistemler gelmektedir(Sobolev, 2004). DSP sisteminde sıkıştırılmış taneli yapıya sahip beton; çimento, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı, silis dumanı ve kalsine olmuş boksit veya granit gibi ultra sert agregalar kullanılarak üretilmektedir(Taşdemir ve Bayramov, 2002). Bu sistem sayesinde, özellikle yeni nesil süperakışkanlaştırıcıların da kullanımıyla düşük su/çimento oranına sahip, homojen tane dizilimi gösteren, yeterli işlenebilirlikte, yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonlar üretilmektedir. DSP sistemi başta olmak üzere yüksek performanslı beton üretmek için hazırlanan karışımlarda malzemelerin iyi seçilmesi ve malzemelerin yoğun bir matris oluşturacak şekilde yerleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Aşağıda Grafik.1'de normal betondan sırasıyla yüksek dayanımlı/yüksek performanslı ve nano boyutta malzeme içeren mühendislik hizmeti görmüş betonlara gidildikçe kullanılan malzemelerin tane boyutlarının azaldığını özgül yüzey alanlarının ise arttığını görülmektedir(Sanchez ve Sobolev, 2010). Grafikten de anlaşılacağı üzere yüksek performanslı betonların karışım tasarımında ince taneli ve ultra incelikteki malzemeler, yoğun matris elde etmek için kullanılmaktadır.

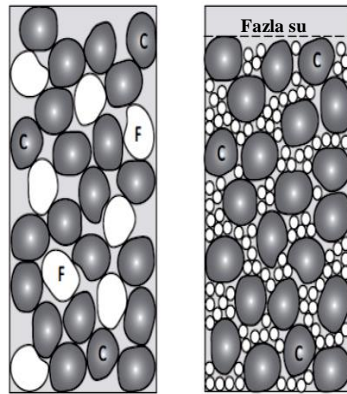


Grafik.1 Farklı beton türleri için kullanılan malzemelerin tane boyutları ve özgül yüzey alanları (Sanchez ve Sobolev, 2010).

Yüksek performanslı betonların karışımında kullanılan ultra incelikteki malzemeler ile yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar karışımın homojen tane dizilimi göstermesini sağlamaktadır(Fennis, 2011). Homojen tane dizilimi sayesinde yüksek tane dizilim yoğunluğu bir başka deyişle yoğun bir matris elde edilmektedir. Öyle ki yüksek performanslı betonlarda tane dizilim yoğunluğunun artması basınç dayanımını da arttırmaktadır(Fennis, 2011). Yüksek tane dizilim yoğunluğu elde etmek ise çimento ile agrega ara yüzeyinin iyileştirilmesine bağlıdır. Silis dumanı, uçucu kül ya da yüksek fırın cürufu gibi bağlayıcılık özelliğine sahip ve çimento ile ikame edilebilen ultra incelikteki malzemelerin ara yüzeyin iyileşmesinde önemli rolü bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar karışımında bu tür malzemeler kullanmanın boşluksuz bir yapı sağlayarak tane dizilim yoğunluğunu dolayısıyla betonun basınç dayanımını arttırdığını ortaya koymaktadır(Isaia ve ark., 2001).

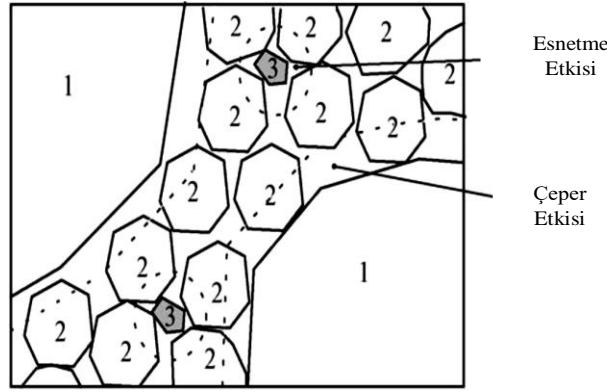
Bu malzemelerden yaygın olarak kullanılan silis dumanının, ortalama tane çapı yüksek fırın cürufu ve uçucu külden daha küçük olduğundan çimento ile agrega taneleri arasında kalan çok küçük boşlukları bile doldurarak yoğun ve yüksek dayanımlı bir matris oluşmasını sağlamaktadır. Silis dumanı ayrıca Portland çimentosunun içerisindeki kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu açığa çıkan $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek mukavemeti daha yüksek C-S-H jeli oluşturur. Bu da malzemenin daha yoğun ve daha mukavemetli olmasını sağlar. Hem dolgu vazifesi hem de puzolanik rol üstlenen silis dumanı yüksek performanslı betonlar için önemli bir malzeme olup karışımda iyi bir dağılım gösterebilmesi yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılmasıyla mümkün olmaktadır(Taşdemir ve Bayramov, 2002).

Yüksek performanslı betonların karışım tasarımıyla ilgili bir diğer husus ise kullanılan çimento dozajı normal betona göre yüksek iken en büyük agrega çapı ise düşüktür(Ghafari ve ark., 2015). Yüksek performanslı betonlarda kullanılan agregaların boyutları çimentonun tane boyutuna yakındır(Topçu ve Karakurt, . 2005). Bu durum fazla miktarda bulunan hidrate olmamış çimento tanelerinin de tane iskeletine uygun olması ve malzemenin dayanımına katkıda bulunması demektir(Taşdemir ve Bayramov, 2002). Bağlayıcılık vazifesi gören ultra incelikteki malzemeler ile tane dizilim yoğunluğunu artırmanın mümkün olduğundan yukarıda bahsedilmişti. Bu duruma ilave olarak yüksek performanslı betonlarda tane dizilim yoğunluğunu arttırmak ya da iyileştirmek için silis kumu, kuvars kumu gibi ince taneli agrega türleri de kullanılmaktadır. Karışımda kullanılan ince taneli agregaların düşük boşluk içeriği daha az çimento harcı ihtiyacına sebep olacağı gibi taneciklerin düşük boşluk içeriği sayesinde su ihtiyacı da azalacaktır. İnce tanecikler tarafından boşlukların doldurulması tane dizilim yoğunluğunu iyileştirecek ve karışımın parçacıklar arası sürtünmesine oldukça katkı sağlayacaktır. Bu durum karışımın daha dayanıklı ve daha katı olmasını sağladığından sertleşmiş beton harcı için olumlu bir etki yaratmış olacaktır. Homojen tane diziliminin beton dayanımı üzerine etkisiyle ilgili olarak Fennis(2011) tarafından yapılan bir çalışmada aynı miktar çimento içeriğine sahip iki karışımdan ilki iri agrega kullanılarak diğeri ince agrega kullanılarak üretilmiştir. İlk karışımda hidratasyon sonucu oluşan ürünlerle iri agregalar arasında kurulan bağlantı köprüsü daha uzun iken ikinci karışımda bu mesafe daha düşük çıkmıştır. Kurulan bağlantı mesafesi uzadıkça ara yüzey de bir o kadar zayıflamakta dolayısıyla beton dayanımını olumsuz yönde etkilenmektedir. Yapılan çalışmayla ilgili görsel Şekil.2'de yer almaktadır. Ayrıca çalışma ince agrega kullanımı sayesinde karışımdaki fazla su miktarının azaltılabileceğini de göstermektedir(Fennis, 2011).



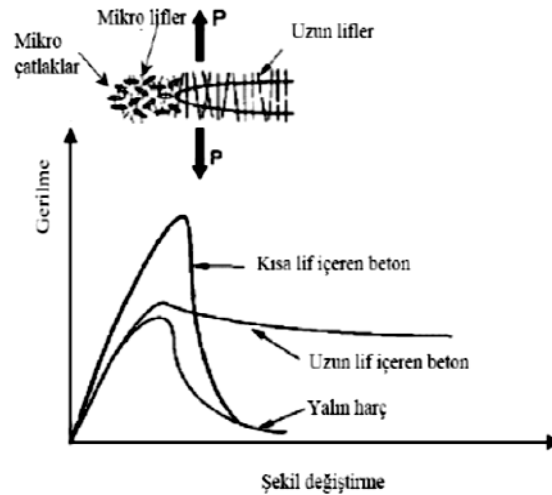
Şekil.1 İri taneli ve ince taneli agregalar içeren iki karışımın karşılaştırılması
(C: Çimento, F: Boşlukları dolduran iri taneli agregayı temsil etmektedir.)

Yukarıda bahsi geçen homojen tane dizilimi, tane dizilim yoğunluğu ya da yoğun matris kavramlarıyla ilgili ilk çalışmalar 1929 yılında Furnas adlı araştırmacı tarafından yapılmıştır. Furnas Modeli kendi aralarında etkileşim halinde olmayan sadece iki grup tek boyutlu taneler için uygun bir model iken François de Larrard ve Thierry Sedran tarafından 1992 yılında çok bileşenli tane yapısına uygun Lineer Tane Dizilim Modeli geliştirilmiştir. Bu modelde kullanılan çok bileşenli tanelerin yanı sıra bu tanelerin etkileşimleri sonucunda çeper etkisi ve esnetme etkisi olarak adlandırılan iki farklı katsayının varlığından da bahsedilmiştir. Çeper etkisi, ince tanelerin iri taneler ile karşılaştığında ya da yerleştirildiği kalıbın yüzeyine temas ettiğinde oluşan boşluğun sebebi olarak tanımlanırken esnetme etkisi ise ince tanelerin iri tanelerin arasını dolduramayacak kadar fazla olmasının iri tanelerin dizilim düzeninin bozması olarak tanımlanmaktadır. Her iki etki de tane dizilim yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmaktadır(Fennis, 2011). Tane diziliminde çeper ve esnetme etkisi şematik olarak Şekil.3'te gösterilmiştir.



Şekil.2 Tane diziliminde esnetme ve çeper etkisi

Silis dumanı, ince taneli agregalar, yüksek çimento dozajı ve yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar yüksek performanslı betonların mikro yapısı üzerinde dolayısıyla da tane dizilim yoğunluğunda oluşturduğu olumlu etki sebebiyle basınç dayanımını arttırmaktadır. Ancak yüksek performanslı betonlarda basınç dayanımı artışıyla birlikte gevrek davranış problemi ortaya çıkmaktadır. Yüksek dayanıklı betonlarda eksenel şekil değiştirme kapasiteleri yük altında artmakta ve tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve daha gevrek kırılmaktadır (Özalp, 2006). Çelik liflerin çekme dayanımları ve çekme şekil değiştirme kapasiteleri yüksek olduğundan betona ilave edilmesi durumunda elastik ve daha fazla şekil değiştirebilen bir yapıya dönüşmektedir. Mikro çelik lifler, çatlakları makro düzeye gelmeden durdurarak, elastik bölgedeki davranışı iyileştirirken makro lifler ise makro düzeydeki çatlakları kontrol ederek maksimum yük sonrası davranışı iyileştirirler (Özalp, 2006). Farklı lif boyutlarına ait gerilme şekil değiştirme grafiği Grafik 2'de verilmiştir. Homojen bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir (Ünal ve ark., 2007). Liflerin en büyük etkisi, çatlakların ilk oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ve sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirirler. Ayrıca içerisine çelik liflerin katılması ile performansında büyük artışlar görülen betonun, tokluk, kavitezyon-erozyon, yorulma, çarpma ve ilk çatlak dayanımı gibi özellikleri işlev açısından daha farklı davranış göstermektedir (Ünal ve ark., 2007).



Grafik.2 Farklı lif boyutlarına ait gerilme şekil değiştirme grafiği (Taşdemir ve ark., 2003)

Yüksek performanslı betonlarda çimento ile birlikte bağlayıcılık vazifesi gören silis dumanı, işlenebilirlik için yeni nesil süperakışkanlaştırıcı ve karışımdaki boşlukları doldurması için ince taneli agregaların kullanılmasıyla betonun mikro yapısı iyileşirken mikro çelik lif ilavesiyle gevreklik sorunu çözülmektedir. Dolayısıyla yüksek performanslı betonların hem mekanik hem de performans anlamında birçok özelliği

iyileşmektedir. Bu durum yüksek performanslı beton karışımında kullanılan her bir malzemenin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında ise çimento, silis dumanı, silis kumu, kuvars kumu, mikro çelik lif, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı ve su kullanılarak yüksek performanslı beton elde edilmek istenmiştir. Mevcut laboratuvar koşullarında yüksek performanslı betonun üretilebilir olmasını sağlayabilmek için basınç kürü ya da yüksek ısıda buhar kürü yöntemleri kullanılmadan numuneler hazırlanmıştır. Karışımında kullanılan kuvars kumu ile mikro çelik lifin üç farklı oranı için numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılarak en uygun oran tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL

2.1. Çimento

Deneysel çalışmalar esnasında Mersin ÇİMSA fabrikasının “Çimsa Süper Beyaz - CEM I 52,5 R Beyaz Portland Çimentosu” kullanılmıştır. Çimsa Süper Beyaz - CEM I 52,5 R Beyaz Portland Çimentosuna ait kimyasal özellikler Tablo.1’de, fiziksel ve mekanik özellikler ise Tablo.2’de verilmiştir.

Tablo.1 Çimsa Süper Beyaz - CEM I 52,5 R Beyaz Portland Çimentosuna ait kimyasal özellikler

Çözünmeyen Kalıntı(%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Kızdırma Kaybı (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Klorür (%)	Serbest CaO (%)
18	21,6	4,05	0,26	65,7	1,3	3,3	3,2	0,3	0,35	0,01	1,6

Tablo.2 Çimsa Süper Beyaz - CEM I 52,5 R Beyaz Portland Çimentosuna ait fiziksel ve mekanik özellikler

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı(MPa)			Priz Başlangıcı (dakika)	Priz Sonu (dakika)	Hacim sabitliği (mm)	Özgül yüzey (cm ² /gr)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Beyazlık Y Değeri
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük						
52,5	37	50	60	100	130	1	4600	3,06	85,5

2.2. Silis Dumanı

Deney çalışması sırasında hazırlanan karışımlarda puzolanik beton katkı malzemesi olarak İKSA firmasının Lalahan fabrikasından temin edilen amorf yapıda gri renkte toz silis dumanı kullanılmıştır. Aşağıda Tablo.3’te silis dumanına ait teknik özellikler yer almaktadır.

2.3. Kuvars Kumu

Kuvars, oldukça saf silisyumdioksit(SiO₂) kristallerine verilen addır. Doğada kristal ya da amorf halde bulunabilir. İçindeki yabancı maddelerin cins ve miktarına göre saydam, renkli ya da yarı saydam durumdadır. Bu karışımında ince taneli agrega olarak 10 µm tane çapında kuvars kumu kullanılmıştır. Kuvars kumu, Esan firması tarafından temin edilmiş olup ürüne ait genel özellikler aşağıda Tablo.4’de yer almaktadır.

Tablo.3 Silis dumanına ait teknik özellikler

ANALİZLER	TEST METODU	STANDARD DEĞERLERİ	DENEY METODU İKSA	ANALİZ SONUÇLARI
Çözünürlük	Gözle	Suda Çözünmez	İksa Lab(TA-87)	Suda Çözünmez
Bağlı yoğunluk	ASTM C1240-12	2,0 – 2,2 (g/cm ³)	İksa Lab(TA-12)	2,08 (g/cm ³)
Renk	GÖZLE	Gri-Açık Gri Toz	İksa Lab	Gri-Açık Gri Toz
Nem içeriği	ASTM C1240-11	En fazla %3	İksa Lab(TA-14/15)	%2,01
Yığın yoğunluk	ASTM C1240-19	150-250 (kg/m ³)	İksa Lab(TA-82)	247 (kg/m ³)
Kimyasal yapı	Gözle	Amorf, mikron altı toz	İksa Lab	Amorf, mikron altı toz
SiO ₂ (%)	ASTM C1240-10	En az %80	İksa Lab(TA-81)	%87
Kızdırma kaybı	ASTM C1240-11	En fazla %5	İksa Lab(TA-14/15)	%2
40µm elekte kalan	ASTM C1240-13	En fazla %10	İksa Lab(TA-83)	%5
Puzolanik aktivite indeksi (7 gün)	ASTM C1240-16	En az %105	İksa Lab(TA-83)	%108

Tablo.4 Kuvars kumuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LoI (%)	Rutubet (%)
2,65	7	98,5 ± 0,20	1 ± 0,20	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,10 ± 0,05	0,02 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,2

2.4. Silis Kumu

Çalışmada hazırlanan numunelerde ince taneli agrega olarak İstanbul/Şile’de ÇELİKTAŞ A.Ş. tarafından üretilen AFS 40-45 kodlu silis kumu kullanılmıştır. Kullanılan silis kumunun kimyasal ve elek analizleri Tablo.5 ve Tablo.6’da yer almaktadır

Tablo.5 Silis kumuna ait kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Analiz	SiO ₂	FeO ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃ ve diğerleri
% Mak.	98,85	0,32	0,015	0,03	0,054	0,771	1,187
% Min.	98,02	0,11	0,01	0,018	0,03	0,048	0,39

Tablo.6 Silis kumuna ait elek analizi sonuçları

Elek Boyutu (μm)	Analiz Sonucu (%)
1000	0,1
710-1000	1,7
500-710	9,7
355-500	28,2
250-355	41,5
180-250	16,7
125-180	1,7
90-125	0,3
0-90	0

2.5. Kimyasal Katkı Malzemesi

Bu çalışmada kullanılan kimyasal katkı malzemesi Chryso firmasına ait polikarboksilat destekli yeni nesil süperakışkanlaştırıcı olan Optima 284 no'lu üründür. Optima 284 yaz-kış kıvam korumasının yanı sıra erken ve nihai dayanımı yüksek olması istenen betonlar için özel olarak üretilmiş bir süperakışkanlaştırıcı olması sebebiyle tercih edilmiştir. Düşük su/çimento oranlarında beton üretiminin gerçekleşmesini sağlar. Bu sayede betonun su geçirimsizliğini artırır. Ürüne ait teknik özellikler aşağıda Tablo.7'de yer almaktadır.

Tablo.7 Yeni nesil süperakışkanlaştırıcıya ait teknik özellikler

Teknik Özellikler					
Görünüm	Yoğunluk (gr/cm^3)	Renk	pH	Katı Madde	Klorür İçeriği
Sıvı	$1,080 \pm 0,02$	Kahverengi	$6,00 \pm 1$	$30,50 \pm \%5$	$<\%0,1$

2.6. Mikro Çelik Lif

Çalışmada kullanılan mikro çelik lifler, düz kısa kesilmiş, 6 mm uzunluğa, 0,16 mm çapa ve 2250 MPa çekme dayanımına sahip Bekaert firmasına ait OL 6/16 lifleri olup karışımda %1, %2 ve %3 olmak üzere üç farklı oranda kullanılmıştır.

2.7. Karışım Suyu

Deneysel çalışmaların tamamında Ankara ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3. METOD

Çalışmada öncelikli olarak mikro çelik lif içermeyen %10, %15 ve %20 oranlarında kuvars kumu içeren referans numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan referans numunelere ilave olarak %1, %2 ve %3 oranlarında mikro çelik lif ile %10, %15 ve %20 oranlarında kuvars kumuna sahip numuneler hazırlanmıştır. Referans numunelerde kullanılan malzeme miktarları Tablo.8'de yer almaktadır. Referans numunelere ilave olarak

hazırlanan üç farklı mikro çelik lif ve kuvars kumu oranlarına sahip numunelere ait karışım oranları Tablo.9'de belirtildiği gibidir. Karışımda homojen bir dağılım elde edebilmek için bağlayıcı malzemelerle birlikte silis kumu ve kuvars kumu kuru olarak 5 dakika boyunca düşük hızda karıştırılmıştır. Kuru karışıma ilk olarak suyun %70 ile süperakışkanlaştırıcınının %50'si eklenerek 2 dakika, son olarak da kalan su ve süperakışkanlaştırıcı ilave edilip 5 dakika karıştırılmıştır. Elde edilen karışım 10cmx10cmx10cm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiş ve bir gün sonra kalıptan çıkarılarak oda sıcaklığında bulunan su havuzunda 28 gün boyunca kür edilmiştir. Numunelerin basınç dayanım testi için 2000 KN kapasiteli yükleme cihazı kullanılmıştır.

Tablo.8 Referans numunelerde kullanılan malzeme miktarları

Numune Kodu	Kullanılan Malzemeler(kg/m ³)						Su
	Çimento	Silis Dumanı	Kuvars Kumu	Silis Kumu	Süper Akışkanlaştırıcı	Mikro Çelik Lif	
BK10	900	135	90	1400	45	0	180
BK15	900	135	135	1400	45	0	180
BK20	900	135	180	1400	45	0	180

Tablo.9 Üç farklı mikro çelik lif ve kuvars kumu oranlarına sahip numunelere ait karışım oranları

Numune Kodu	Su/Çimento Oranı	Su/ Bağlayıcı Oranı	Kuvars Kumu/ Çimento Oranı	Mikro Çelik Lif Oranı	Süper Akışkanlaştırıcı/Çimento Oranı
BK10	0,2	0,17	0,10	0,00	0,05
BK15	0,2	0,17	0,15	0,00	0,05
BK20	0,2	0,17	0,20	0,00	0,05
B01K10	0,2	0,17	0,10	0,01	0,05
B01K15	0,2	0,17	0,15	0,01	0,05
B01K20	0,2	0,17	0,20	0,01	0,05
B02K10	0,2	0,17	0,10	0,02	0,05
B02K15	0,2	0,17	0,15	0,02	0,05
B02K20	0,2	0,17	0,20	0,02	0,05
B03K10	0,2	0,17	0,10	0,03	0,05
B03K15	0,2	0,17	0,15	0,03	0,05
B03K20	0,2	0,17	0,20	0,03	0,05

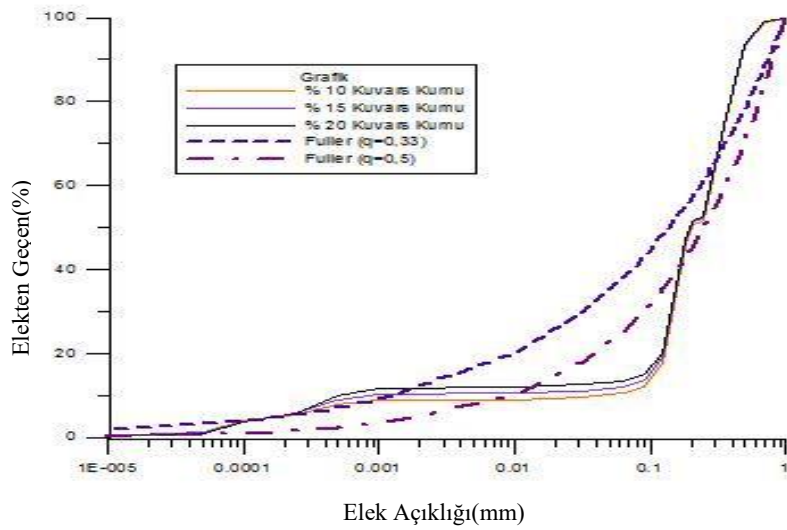
4. BULGULAR VE SONUÇLAR

Çimento, silis dumanı, silis kumu, kuvars kumu, mikro çelik lif, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı ve su kullanılarak numuneler hazırlanmış sonrasında yükleme cihazı altında basınç dayanımları test edilmiştir. Numunelere ait basınç dayanımları Tablo.10'da belirtildiği gibidir. Elde edilen veriler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Hazırlanan referans numunelerin basınç dayanımlarının mikro çelik lif içeren numunelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca artan mikro çelik lif oranıyla birlikte üç farklı kuvars kumu oranı için de

basınç dayanımları referans numunelere göre artış göstermiştir. Bu durum mikro çelik lif kullanımının basınç dayanımını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

- Mikro çelik lif içermeyen numuneler daha gevrek bir davranış sergilerken karışıma lif ilave edilmesiyle ani kırılmalar nispeten engellenmiştir. Numunelerin lif oranlarındaki artışlarına bağlı olarak boyutsal kararlılık açısından iyileşme gözlemlenmiştir.
- Elde edilen numunelerde %15 kuvars kum içeriğine kadar basınç dayanımları artış gösterirken %20 kuvars kum içeriğindeki numunelerin dayanımlarında düşme eğilimi tespit edilmiştir. Bu durum ince agregaların esnetme etkisinin bir sonucu olup fazla miktarda ince agrega kullanımının iri tanelerin tane dizilim düzenini bozması, çimento ile iri tanelerin arasındaki aderansı zayıflatması gibi etkilerinden dolayı basınç dayanımındaki artışı olumsuz yönde etkilemiştir. Aşağıda Grafik.3'te üç farklı kuvars kum içeriğine sahip karışımlar ile ideal Fuller tane dağılım eğrileri($q=0,33$ ve $q=0,5$ değerleri için) gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere ince taneli malzeme oranının fazla olması sebebiyle Fuller tarafından önerilen ideal tane dağılım eğrilerinden sapmalar görülmektedir. (Fuller eğrisi için önerilen denklem; $P(\%)=(d/d_{max})^q$).



Grafik.3 Farklı kuvars kum içeriklerine sahip karışımın tane dağılım eğrisi ile Fuller eğrileri($q=0,33$ ve $q=0,5$ değerleri için)

Tablo.10 Farklı mikro çelik lif ve kuvars kumu içeriğinde hazırlanan numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Kuvars Kumu/ Çimento Oranı	Mikro Çelik Lif Oranı	Ortalama Basınç Dayanımı(MPa)
BK10	0,10	0,00	111
BK15	0,15	0,00	125
BK20	0,20	0,00	113
B01K10	0,10	0,01	128
B01K15	0,15	0,01	134
B01K20	0,20	0,01	130
B02K10	0,10	0,02	126
B02K15	0,15	0,02	143
B02K20	0,20	0,02	134
B03K10	0,10	0,03	131
B03K15	0,15	0,03	147

B03K20

0,20

0,03

138



Fotoğraf.1 BK10 numunesi



Fotoğraf.2 BK15 numunesi



Fotoğraf.3 BK20 numunesi

- Yukarıdaki fotoğraflar BK10, BK15 VE BK20 kodlu numunelere ait olup basınç testi sonrası kırılma şekilleri fotoğraflanmıştır. Fotoğraflardan da anlaşılacağı üzere artan kuvars içeriği betonun ani ve gevrek kırılmasına sebep olmuştur. Kuvars kumu içeriğindeki artışlara göre numuneler karşılaştırıldığında boyutsal kararlılık açısından ciddi bir fark gözlemlenmiştir. Bu üç numune seti içerisinde en yüksek basınç dayanımı %15 kuvars kumu içeriği ile BK15 kodlu numuneye aittir.



Fotoğraf.4 B01K10 numunesi



Fotoğraf.5 B01K15 numunesi



Fotoğraf.6 B01K20 numunesi

- Yukarıdaki fotoğraflar %1 mikro çelik lif içeriğine sahip B01K10, B01K15, B01K20 kodlu numunelere aittir. Bu numune setinde artan kuvars kumu oranı ile birlikte %1 oranındaki mikro çelik lif ilavesinin basınç dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. Lif içermeyen referans numunelerle kıyaslandığında boyutsal kararlılıkta az da olsa bir iyileşme gözlemlenmiştir.



Fotoğraf.7 B02K10 numunesi



Fotoğraf.8 B02K15 numunesi



Fotoğraf.9 B02K20 numunesi

- Yukarıdaki fotoğraflar %2 mikro çelik lif içeriğine sahip B02K10, B02K15, B02K20 kodlu numunelere aittir. Yukarıdaki fotoğraflarda yer alan %1 mikro çelik lif içeren numuneler ile %2 mikro çelik lif içeren numuneler kıyaslandığında basınç testi sonrası boyutsal kararlılık açısından iyileşme dikkat çekmektedir.



Fotoğraf.10 B03K10 numunesi



Fotoğraf.11 B03K15 numunesi



Fotoğraf.12 B03K20 numunesi

- Yukarıdaki fotoğraflar %3 mikro çelik lif içeriğine sahip B03K10, B03K15, B03K20 kodlu numunelere aittir. Bu numune setinde artan kuvars kum içeriği ile mikro çelik lif oranının betonun boyutsal kararlılığı üzerindeki etkisi daha iyi ortaya konmuştur. Özellikle B03K20 kodlu numune yükleme sonrası 138 MPa dayanıma ulaşmış olup boyutsal bütünlüğünü korumaya devam etmiştir.

KAYNAKLAR

- Fennis, S.A.A.M. (2011). Design of Ecological Concrete by Particle Packing Optimization. Netherlands: Glideprint, 9-65.
- Ghafari, E., Costa, H ve Julio, E. (2015). Critical Review on Eco-Efficient Ultra High Performance Concrete Enhanced With Nano-materials. *Construction and Building Materials*, 101, 201-208.

- Isaia, G.C., Gastaldini, A.L.G. ve Moraes, R. (2001). Physical and Pozzolanic Action of mineral Additions on the Mechanical Strength of High-Performance Concrete. *Construction and Building Materials*, 25, 2060-2071.
- Özalp, F. (2006). Ultra Yüksek Performanslı Betonların Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 12-34.
- Sanchez, F. ve Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in Concrete – A Review. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2060-2071.
- Sobolev, K. (2004). The Development of A New Method for the Proportioning of High Performance Concrete Mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 26, 901-907.
- Taşdemir, M. A. ve Bayramov, F. (2002). Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı. *İTÜ Dergisi*, 1(2), 125-144.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F. ve Yerlikaya, M. (2003). Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 426, 76-84.
- Topçu, İ. B. ve Karakurt, C. (2005). Reaktif Pudra Betonları. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 437, 25-30.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gençel, O. (2007). Lif Tipinin Betonun Tokluğu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *V. GAP Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 2, 941-942.