

FARKLI LİFLERİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE HAL VE MEKANİK ÖZELİKLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF FIBER TYPE ON THE FRESH AND MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-CONSOLIDATING CONCRETE

Ali Mardani-Aghabaglou, Murat Tuyan, Kambiz Ramyar

Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova,
İzmir

Gökhan Yılmaz

Draco Yapı Kimyasalları Ltd. Şti.

Özet

Bu çalışmada farklı liflerin, kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) taze hal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 15 mm maksimum boyutunda agrega, polikarboksilik eter esaslı kimyasal katkı ve CEM I 42.5R tipi çimento ile KYB karışımlar üretilerek taze ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, kontrol betonuna (lif içermeyen) ilaveten, 3 farklı lif (iki ucu kancalı çelik tel, pirinç kaplı düz çelik tel ve polyester tel) kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Liflerin betonda kullanım oranı, üretici firma tarafından önerilen maksimum ve minimum miktarları dikkate alınarak hacimce %0,4 olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada çeşitli liflerin kendiliğinden yerleşen betonların yayılma çapı, T_{50} süresi tayini, V-hunisi, L-kutusu deneyi ve hava içeriği gibi taze hal özelliklerine ilaveten 28 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı, direk çekme dayanımı, ultrasonik geçiş hızı ve dinamik elastik modülüne etkisi incelenmiştir. Kıyaslamalı deney sonuçlarına göre lif kullanımının KYB'nin mekanik özelliklerine olumlu etkisi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen lifli beton, mekanik özellikler, dinamik elastisite modülü

Abstract

In this study, it is aimed to investigate the effect of different types of fibers on some fresh and mechanical properties of self-consolidating concrete (SCC). In the concrete mixtures, limestone aggregate having a maximum particle size of 15 mm, one type of polycarboxilate ether-based high range water reducing admixture and CEM I 42.5R type cement were used. In addition to the control mixture without fiber addition, three different types of fibers (one type of hooked steel fiber, brass coated hooked steel fiber and a polyester fiber) were incorporated into concrete at a constant volume fraction of

0.4%. In the experimental study, slump flow, T_{50} , V-funnel, L-box tests and air content of fresh SCC measurements were conducted; compressive, center point flexural tensile and direct tensile strengths, ultrasonic pulse velocity and dynamic elastic modulus of SCC specimens were determined at the age of 28 days. Test results, analyzed comparatively, showed that the fiber addition improved some of the mechanical properties of concrete.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, mechanical properties, dynamic elastic modulus

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton, yoğun donatılı elemanlarda bile yerleştirme ve sıkıştırma işleminde vibratöre gerek kalmayan, kendi ağırlığı ile akıp kalıbı doldurabilen ve tamamen sıkışabilen çok akıcı kıvamlı özel bir betondur [1]. KYB'nin akıcı kıvamlılık ve yüksek koheziflik özeliği ile betonun kalıplara yerleşmesi ve kalıpları tamamen doldurması kolaylaşmaktadır. KYB'nin normal betona göre, inşaat süresi ve işçilik masraflarının daha az olması, beton dökümü sırasında oluşan gürültünün azalması, daha geçirimsiz bir beton olması, bununla birlikte mekanik ve durabilite özelliklerinin daha üstün olması gibi pek çok üstünlüğü bulunmaktadır [2-4]. Bununla birlikte, bağlayıcı miktarının normal betona göre fazla olması ve daha fazla kimyasal katkı kullanılması beton maliyeti açısından KYB'nin olumsuz yanı olarak öne çıkmaktadır.

Betonun eğilme dayanımı, darbe dayanımı, tokluk gibi mekanik özelliklerinin yüksek olması betona belirli oranda lif katılması ile sağlanmaktadır. Lifli betonlarda eğilme dayanımı ve tokluk değerlerinin normal betona göre sırasıyla 50-100 ve 100-1200 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, betonda lif kullanımı betonda oluşan büzülme azalttığı gözlemlenmiştir. Lifli betonların normal betona göre üstün yanları nedeniyle farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Örneğin; endüstriyel zemin, havaalanı pisti, tünel uygulamaları ve prefabrik eleman üretimi gibi çeşitli uygulama alanlarında lifli betonun kullanımı birçok üstünlük sağlamaktadır. Betonda kullanılan lif çeşitleri genel olarak metalik, doğal, sentetik ve cam lifi olarak sınıflandırılabilir. Betonda kullanılan lif miktarı lif tipine göre farklılık göstermektedir. Örneğin; çelik lifler betonda hacimce %2'ye kadar kullanılabilir [5,6]. Özgül ağırlığı daha düşük olan sentetik liflerin ise kullanım oranları hacimce %2'den çok daha azdır [7].

Kendiliğinden yerleşen lifli beton (KYL B), KYB ve lifli betonun özelliklerinin bir arada bulunduğu özel bir betondur. Lifli betonlarda lif türüne bağlı olmak üzere lif miktarının artmasıyla betonun işlenebilirliğinde ciddi azalmalar olmaktadır. Bu da, lifli betonun sertleşmiş özelliklerinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. KYLB, lifli betonun bu olumsuz özeliğini ortadan kaldırabilmektedir. Bu amaçla, Grünwald ve Walraven [8] ve Ferrara vd. [9] KYLB'de lif tipi ve miktarının taze beton özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmalarda betonun taze hal özelliklerini olumsuz etkilemeyecek optimum lif miktarları araştırılmıştır. Bu çalışmada, hacimce aynı lif oranına sahip farklı liflerle üretilen KYLB'lerin taze haldeki özellikleriyle ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları verilmektedir.

Çalışmada, bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [10] standardına uygun CEM I 42.5R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.11 olup ve Blaine özgül yüzeyi 3362 cm²/g'dır. Çimentonun üretici firma tarafından verilen kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının yayılma çapı 72±3 cm olarak hedeflenmiştir ve bunu sağlamak için polikarboksilik eter esaslı bir süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

En büyük tane boyutu 15 mm olan kırma kireçtaşı agregaların elek analizi sonucu dikkate alınarak beton karışımlarında kullanılan oranları (0-5 mm) %50 ve (5-15 mm) %50 olarak belirlenmiştir. Agregaların özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi, TS EN 1097-6 [11] standardına göre belirlenmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri, agrega karışımının granülometrisi ve ilgili standart sınırları sırasıyla Çizelge 2 ve Şekil 1'de verilmiştir. Lifin betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla sabit boy ve farklı narınlığa sahip üç farklı lif kullanılmıştır. Bunlar, iki ucu kancalı çelik lif, pirinç kaplı düz çelik lif ve polyester liftir. Kullanılan liflerin üretici firma tarafından verilen özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

Oksit (%)	Çimento	Ana bileşenler	
SiO ₂	20,06	C ₃ S (%)	58,23
Al ₂ O ₃	5,68	C ₂ S (%)	13,90
Fe ₂ O ₃	2,23	C ₃ A (%)	11,28
CaO	64,09	C ₄ AF (%)	6,78
MgO	1,45	Mekaniksel özellikleri	
K ₂ O	0,93	Basınç dayanımı (MPa)	2-gün 25,4
Na ₂ O	0,29		7-gün 37,2
SO ₃	3,09		28-gün 44,6
Cl ⁻	0,0064		
Kızdırma kaybı	1,74		
Toplam	99,87		

Deneysel çalışmada, üretilen tüm kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda (KYL B), su/çimento oranı (S/Ç) 0,48'de ve lif miktarı hacimce %0,4'te sabit tutulmuştur. Ayrıca tüm karışımlarda, filler olarak (125 mikron altı) kireçtaşı tozu kullanılmıştır. 1 m³ için gerekli malzeme miktarları Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2. Agreganın fiziksel özellikleri

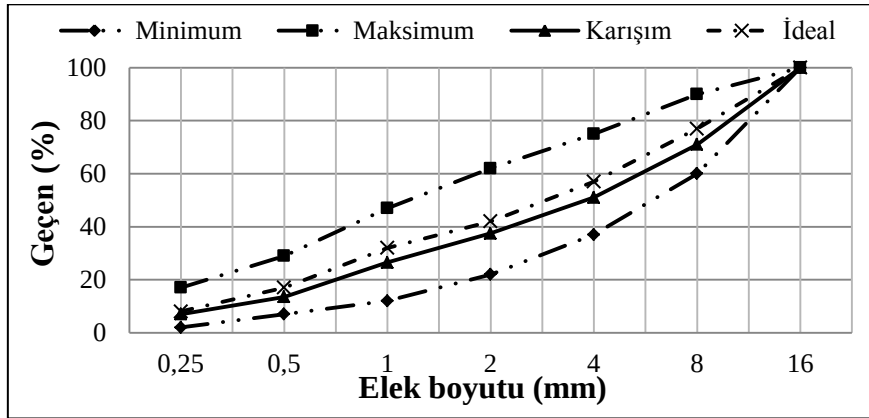
	0-5 mm	5-15 mm
Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı	2,60	2,65
Su emme kapasitesi (%)	0,21	0,67
Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m ³)	1740	1505

Çizelge 3. Kullanılan liflerin özellikleri

Tip	Uzunluk(L) (mm)	Çap (d) (mm)	Narinlik (L/d)	Çekme dayanımı (N/mm ²)
İki ucu kancalı çelik tel (Fibermix)	30	0.5	60	1100
Pirinç kaplı düz çelik tel (Goldmix)	15	0.5	30	2200
Polyester tel (Graminflex)	30	0.54*	55	700

* 0.5×1.2×30 prizma şeklinde olduğu için sözde çap hesaplanmıştır.

Üretilen KYLB'ler üzerinde sırasıyla yayılma çapı deneyi, T₅₀ süresi tayini, V-hunisi ve L-kutusu deneyi, EFNARC [1] kriterine uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca her karışımın içerdiği hava yüzdesi basınç yöntemiyle ASTM C 231 [12] standardına göre belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için 28 gün kürlenme sonunda, her karışımdan üçer adet 150 mm küp numune üzerinde TS EN 12390-3 [13] standardına göre basınç dayanımı ve Şekil 2'de görüldüğü gibi 100x100x600 mm'lik prizmatik numuneler üzerinde TS EN 12390-5 [14] standardına göre orta noktadan yükleme eğilme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Bu deneyde kullanılan pres deformasyon kontrollü olduğundan, tokluk değerleri de hesaplanmıştır. Ayrıca, her karışımdan üçer adet numune üzerinde, Şekil 3'te gösterildiği gibi, direk çekme deneyi uygulanmıştır. Eğilme ve direk çekme deneyinde deformasyon hızı sırasıyla 0.5 ve 0.05 mm/dakika olarak ayarlanmıştır.

**Şekil 1. Kullanılan agreganın gradasyonu ve TS 802 standardı sınırları****Çizelge 4. 1 m³ KYB üretiminde kullanılan gerçek malzeme miktarları**

Karışım	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (mm)			Lif (kg)	S.A* (kg)	Birim hacim ağırlık(kg/m ³)	
			0-0.125 (kg)	0-5 (kg)	5-15 (kg)			Teorik	Gerçek
Kontrol	506	202	138	747	757	0	5,9	2328	2355
Fibermix	512	205	139	751	759	31	6,7	2347	2405
Goldmix	503	201	137	740	748	30	5	2349	2365
Graminflex	512	205	139	753	761	5,1	5,4	2324	2380

* Polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcı

28 günlük 150 mm küp numuneler üzerinde ASTM C597 [15] standardına uygun olarak ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır. Ek olarak, aynı numunelerin dinamik elastik modülü aşağıdaki formülden elde edilmiştir [16,17].

$$E_{dn} = \rho c^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (1)$$

Burada, E_{dn} = Betonun dinamik elastisite modülü (MPa), ρ = Sertleşmiş betonun yoğunluğu (kg/m^3), c = Ultrases geçiş hızı (km/s) ve ν = Poisson oranıdır. Tüm karışımlarda betonun Poisson oranı 0,22 olarak alınmıştır.



Şekil 2. Tek noktalı eğilme deneyi



Şekil 3. Direk çekme deneyi

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

KYB karışımlarının taze hal özellikleri Çizelge 5'te gösterilmektedir. Tüm karışımların taze hal özellikleri göz önüne alındığında, farklı liflerin kullanılmasıyla, betonlarda ayrışma gibi olumsuzluğa rastlanmamıştır. Ayrıca, kullanılan oranda lifler KYB karışımlarının taze hal özelliklerini olumsuz bir şekilde etkilememiştir. Ancak lif içeren karışımlarda katkı miktarının artışıyla beraber V-hunisi akış süresi, T_{50} süresi ve L-kutusu oranı ($H2/H1$) artmaktadır. Bunun nedeni, bu karışımlarda katkı miktarının artmasıyla beraber betonun viskozitesinin artmasıdır. Başka bir deyişle, betonun daha kohezif hale gelmesidir.

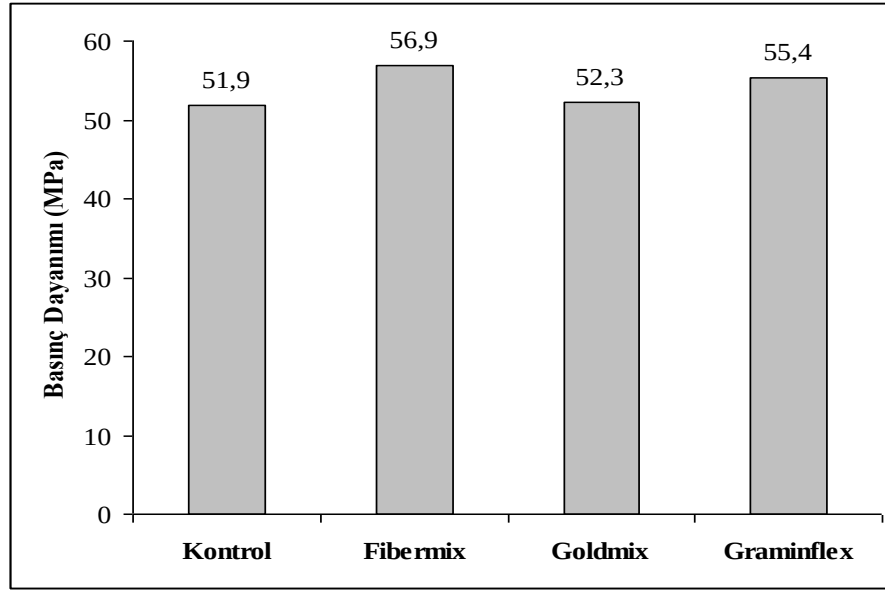
Çizelge 5. KYB karışımlarının taze hal özellikleri

Taze hal özellikleri	Kontrol	Fibermix	Goldmix	Graminflex
Yayılma çapı (mm)	705	725	740	745
T_{50} süresi (s)	1.5	3.8	2.2	2.5
V-hunisi akış süresi (s)	12	21	15	17
L-kutusu ($H2/H1$)	0.90	0.95	0.80	0.85
Hava içeriği (%)	1.00	0.05	1.6	1.2
Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	2355	2405	2365	2380
Akışkanlaştırıcı (çimento dozajının %'si)	1.10	1.24	0.95	1.00

Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları Şekil 4'te gösterilmektedir. Her karışım için deney sonuçları üç numunenin ortalaması olarak alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi, lifin kullanımıyla beraber KYB numunelerinin basınç dayanımında beklendiği gibi olumlu veya olumsuz bir değişikliğe rastlanmamıştır. Bunun nedeni lif kullanım oranının az olması ve KYB'nin daha kohezif bir beton olması ve genelde liflerin basınç dayanımına kayda değer etkisi olmamasıdır. Ancak Craig vd. [18] lif uzunluğunun basınç dayanımına etkisini incelediği bir çalışmada, lif uzunluğunun artışıyla betonun basınç dayanımının arttığını ifade etmiştir. Benzer etki bu çalışmada da rastlanmıştır. Fakat lif kullanım oranı bahsedilen çalışmaya göre az olmasından dolayı bu etki belirgin bir şekilde görülmemiştir. Lif uzunluğu arttıkça, boşluk miktarını arttırmadığı takdirde,

yanal deformasyonlar azaldığı için basınç dayanımı bir miktar artabilir. Bu olay bu araştırmada da gözlemlenmiştir. Goldmix lifi daha kısa olduğundan az da olsa lifli karışımlar arasında en düşük dayanımı vermiştir.

Çelik lif kullanımı beton basınç dayanımına olumlu veya olumsuz etki gösterebilir. Çelik lifin miktarı arttıkça betonun işlenebilirliği azalmadığı sürece basınç dayanımını olumlu bir şekilde etkileyebilir [6]. Hâlbuki lif miktarının artışı işlenebilirliği, dolayısıyla, boşluk miktarını olumsuz etkilediğinden basınç dayanımında düşüşler gözlemlenebilir [19]. Ancak, bu çalışmada liflerin kullanım oranı düşük olmasından dolayı ayrıca, KYB daha kohezif bir beton olduğu için lif içeren karışımlarda basınç dayanımı açısından olumsuz bir etki tespit edilmemiştir.



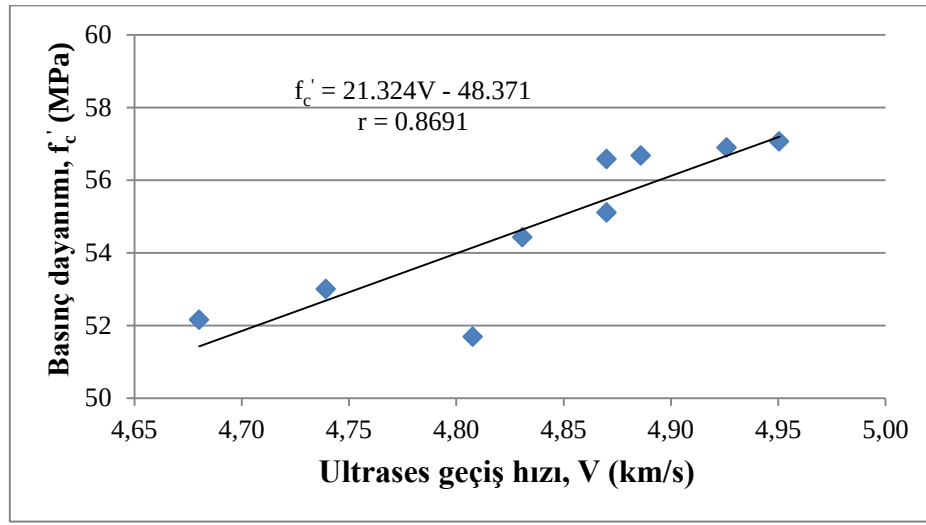
Şekil 4. KYB numunelerin basınç dayanımı

Beton karışımlarının ultrases geçiş hızı, yoğunluk ve dinamik elastik modülü sonuçları Çizelge 6'da özetlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, lif kullanımının ultrases geçiş hızı ve ona bağlı olarak dinamik elastisite modülüne olumsuz bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bilindiği gibi numunenin yoğunluğu arttıkça ultrases geçiş hızı ve ona bağlı olarak dinamik elastisite modülü artmaktadır. Bu çalışmada çelik lif kullanımıyla beraber karışımların birim hacim ağırlığı bir miktar artmıştır. Çelik lifin birim hacim ağırlığı KYB'yi oluşturan malzemelerin birim hacim ağırlığından fazla olduğu için, çelik lif içeren karışımının birim hacim ağırlığındaki artışı, o karışımın yoğunluğunun arttığı anlamına gelmemektedir. Pirinç kaplı düz lif (Goldmix) içeren karışım dikkate alınırsa, Çizelge 5 ve 6'dan görüldüğü üzere, karışımın birim hacim ağırlığı artmasına rağmen, hava boşluğundaki artış bu ifadeyi desteklemektedir. Bu nedenle bu konuda kesin bir neden söylemek mümkün değildir.

Lif içeren KYB numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki Şekil 5'te sunulmaktadır. Beklendiği gibi genelde betonların ultrases geçiş hızı arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. Ancak, basınç dayanımı sonuçları ve ultrases geçiş hızı değerleri arasında kuvvetli doğrusal bir ilişki mevcut değildir. Bu bir ölçüde lifin türünden bir ölçüde de lifin matris içindeki dağılımından kaynaklanabilir.

Çizelge 6. KYB numunelerin ultrases geçiş hızı ve dinamik elastik modülü

Karışım	c (km/s)	ρ (kg/m ³)	E (MPa)	Ortalama E (MPa)
Kontrol 1	4,91	2371,7	50076	49033
Kontrol 2	4,85	2357,2	48492	
Kontrol 3	4,86	2343,9	48530	
Fibermix 1	4,89	2417,7	50549	51145
Fibermix 2	4,93	2431,1	51666	
Fibermix 3	4,95	2386,3	51219	
Goldmix 1	4,81	2398,6	48555	46612
Goldmix 2	4,74	2352,4	46275	
Goldmix 3	4,68	2346,1	45007	
Graminflex 1	4,87	2395,1	49752	49265
Graminflex 2	4,83	2376,4	48572	
Graminflex 3	4,87	2381,5	49470	



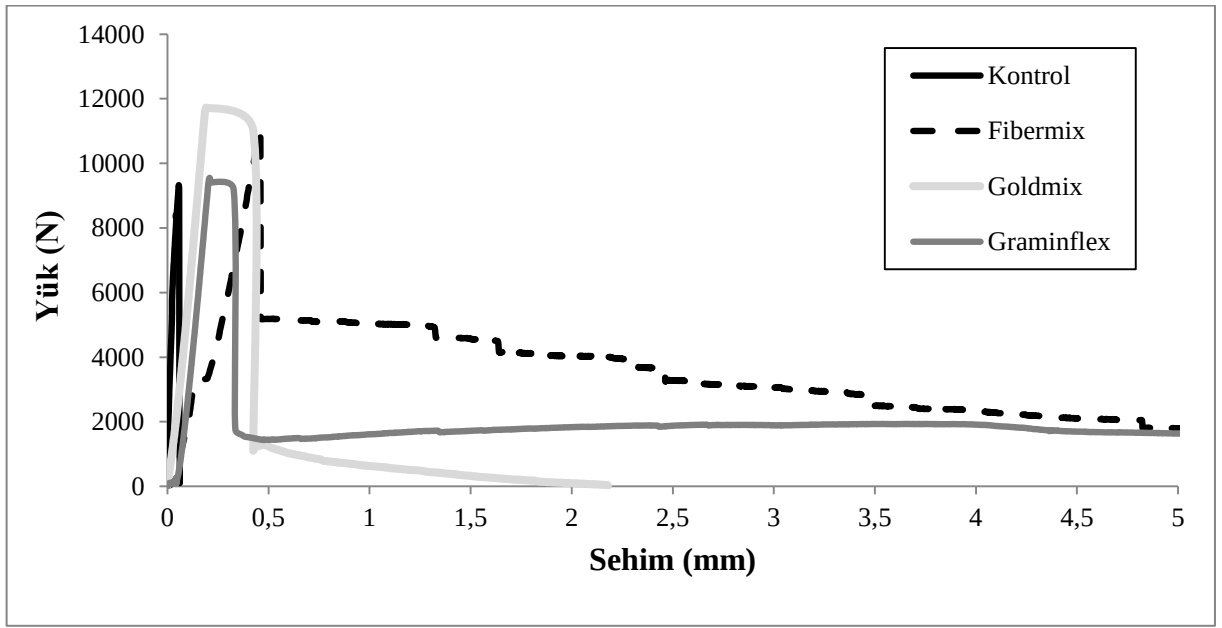
Şekil 5. KYLB numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi

KYB numunelerin orta noktalı eğilme yükü altında yük-sehim ve direk çekme etkisinde yük-uzama eğrileri sırasıyla Şekil 6 ve 7’de sunulmaktadır. Ayrıca, tüm numunelerin eğilme dayanımı, direk çekme dayanımı, eğilme ve direk çekme etkisinde tokluk değerleri Çizelge 7’de özetlenmiştir. Tokluk değerleri yük-sehim ve yük uzama eğrileri altındaki alan olarak hesaplanmıştır. Beklendiği gibi lif içeren numunelerin eğilme ve direk çekme dayanımı lifsiz numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Tüm numuneler kıyaslandığında en yüksek eğilme ve direk çekme dayanımı Goldmix lif içeren numuneye ait olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, lifli karışımlarda eğilme ve direk çekme dayanımları kullanılan lifin türüne, uzunluğuna ve karışımda hangi yönde ve nasıl dağıldığına bağlıdır. Fibermix ve Goldmix liflerini kıyaslanmak istendiğinden, karışımlarda her ikisi de aynı ağırlıkta kullanılmıştır. Ancak Goldmix lifi daha kısa olduğundan, daha yüksek toplam yüzeye sahip olmaktadır. Dolayısıyla, birim alanda daha fazla sayıda Goldmix lifinin yer aldığı çekme deneyi sonunda numunenin kopan kesit alanından gözlemlenmiştir. KYB numunelerinin eğilme etkisinde yük-sehim eğrilerini dikkate aldığımızda, 30 mm uzunluğunda iki ucu kancalı çelik lif (Fibermix) içeren karışım daha yüksek tokluğa sahiptir. Lif uzunluğu ne kadar fazla olursa, liflerin sıyrılmamasından dolayı numunenin tokluğu artmaktadır.

Bu çalışmada deplasman kontrollü pres kullanılmasına rağmen, numunelerin eğilme etkisinde yük-sehim grafiklerinde meydana gelen ani düşüşün nedeni yükleme hızının nispeten fazla olması ve lif kullanım oranının az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

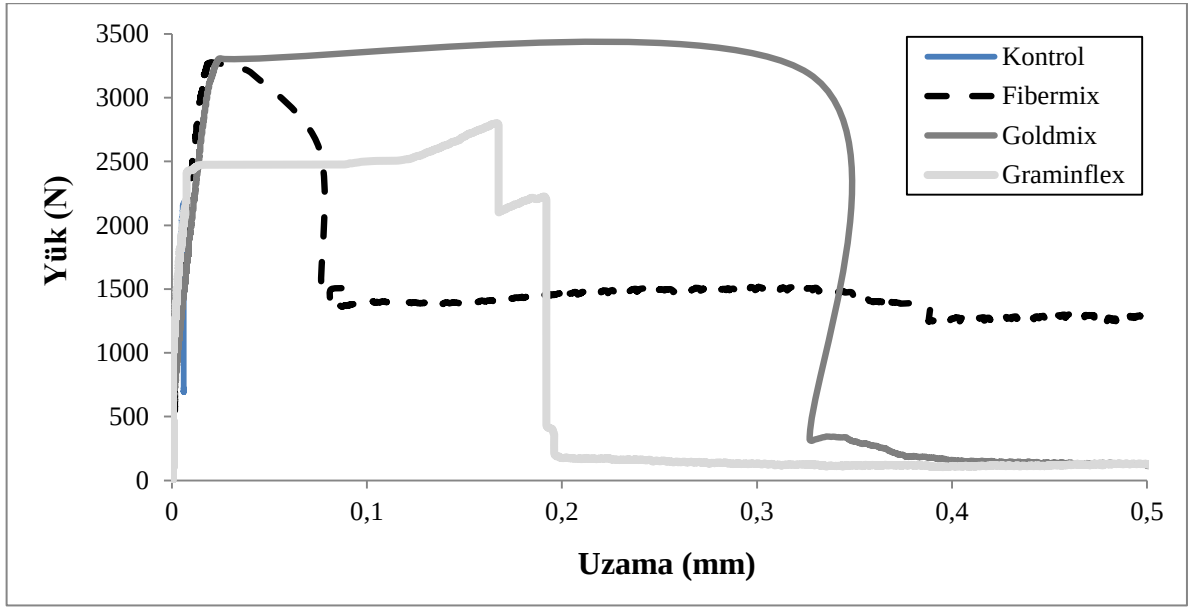
Çizelge 7. KYB numunelerin eğilme dayanımı ve tokluk değerleri

Karışım	Dayanım (MPa)		Tokluk değerleri (N.mm)	
	Eğilme	Direk çekme	Eğilme etkisinde	Direk çekme etkisinde
Kontrol	6,99	2,17	281	7,3
Fibermix	8,32	3,23	19760	920,4
Goldmix	9,65	3,26	6045	1141,6
Graminflex	7,16	2,71	12155	610,1



Şekil 6. KYB numunelerin eğilme etkisinde yük-sehim eğrileri

KYB numunelerin direk çekme etkisinde yük - uzama eğrilerini dikkate aldığımızda pirinç kaplı düz çelik lif (Goldmix) içeren karışımın, bu lifinin diğer liflere göre daha kısa olmasına rağmen, maksimum tokluğa sahip olduğu görülmektedir. Bu olay kullanılan direk çekme kalıbı kesit alanının dar olduğundan ve kısa olan Goldmix lifinin bu dar alanda daha fazla sayıda yer aldığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. KYB numunelerin direk çekme etkisinde yük-uzama eğrileri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada çeşitli liflerin kendiliğinden yerleşen betonların taze hal özelliklerine ilaveten 28 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı, direk çekme dayanımı, ultrasonik geçiş hızı ve dinamik elastisite modülüne etkisi incelenmiştir. Kullanılan malzeme, üretilen beton karışımları ve uygulanan deney koşullarına göre aşağıda özetlenen bulgular elde edilmiştir:

Lifin kullanım oranı, narinliği ve çekme dayanımı KYLB'in taze ve sertleşmiş özeliğini etkilemektedir.

Hacimce %0.4 oranında lif kullanımı betonun basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve ona bağlı olarak dinamik elastik modülüne olumsuz bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Lif içeren karışımlarda kullanılan katkı miktarının artışıyla beraber, betonun viskozitesi arttığı için V-hunisi akış süresi, T_{50} süresi ve L-kutusu oranı artmaktadır.

Lif içeren numunelerin eğilme ve direk çekme dayanımı lifsiz numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.

15 mm uzunluğunda düz pirinç kaplı çelik lif içeren KYB numuneleri en yüksek eğilme ve direk çekme dayanımı göstermiştir.

Direk çekme deneyi numunesinin dar olan kopma kesitinde kısa ve düz çelik lif daha fazla sayıda bulunduğundan, bu lifi içeren karışım direk çekmede en fazla tokluğu göstermiştir.

İki ucu kancalı çelik lifinin uzunluğu düz pirinç kaplı çelik life göre daha fazla olduğu için bu lifi içeren karışımın eğilme etkisi altında daha yüksek tokluğa sahip olduğu saptanmıştır.

Polyster ve iki ucu kancalı çelik lifin uzunluğu aynı olmasına rağmen çelik lif içeren numune daha yüksek eğilme dayanımı ve tokluk değeri göstermiştir.

Teşekkür

Yazarlar, lif temini için Draco Yapı Kimyasalları Ltd. Şti. ve laboratuvar katkılarından dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı personeline teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] EFNARC, *Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, 2005, www.efnarc.org
- [2] Khayat, K.H., Hu, C., Monty, H., “Stability of self compacting concrete, advantages, and potential applications”, *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, Stockholm, Sweden pp. 143 – 152, 1999.
- [3] Ozawa, K., Ouchi, M., (editors) *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*, Kochi, 1999.
- [4] Skarendahl A., “Changing construction technologies through the use of self-compacting Concrete”, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete*, pp. 17 – 24, 2005.
- [5] Yardımcı, M.Y., *Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
- [6] Yalçınkaya, Ç., *Mineral katkılı kendiliğinden yerleşen lifli betonun mekanik, durabilite ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
- [7] Sertbaş, B., *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [8] Grünewald, S., Walraven, J.C, “Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, Issue 12, pp.1793-1798, 2001.
- [9] Ferrara, L., Park, Y.D., Shah, S.P., “A method for mix-design of fiber-reinforced self-compacting concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, Issue 6, pp. 957-971, 2007.

- [10] TS EN 197-1, *Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [11] TS EN 1097-6, *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [12] ASTM C 231, *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method*, Annual Book of ASTM Standards, 2003.
- [13] TS EN 12390-3, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [14] TS EN 12390-5, *Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [15] ASTM C 597, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, 2003.
- [16] Neville, A., *Concrete Technology*, 2nd ed., Longman, UK, 2010.
- [17] Philleo, R., “Comparison of results of three methods for determining young’s modulus of elasticity of concrete”, *Journal of American Concrete Institute*, Vol. 51, Issue 1, pp. 461– 470, 1955.
- [18] Craig, R.J., vd. “Fiber Reinforced Beams in Torsion”, *ACI Structural Journal*, Title No 83-81, pp. 934-942, November-December, 1986.
- [19] Song, P.S., Hwang, S., “Mechanical properties of high strength steel fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 18, Issue 9, pp. 669 – 673, 2004.