

# Farklı Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

**Ali Mardani-Aghabaglou<sup>1</sup>**

**Murat Tuyan<sup>1</sup>**

**Gökhan Yılmaz<sup>2</sup>**

**Özge Andiç Çakır<sup>1</sup>**

**Kambiz Ramyar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

<sup>2</sup>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, polikarboksil eter esaslı kimyasal katkı ve CEM I 42.5R tipi çimento ile KYB karışımlar üretilerek taze ve sertleşmiş hal özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, kontrol betonuna (lif içermeyen) ilaveten, 3 farklı lif (iki ucu kancalı çelik tel, pirinç kaplı iki ucu kancalı 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 elastik modülü

# 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 (EFNARC, 2005). KYB'nin akıcı kıvamlılık ve yüksek koheziflik özeliği ile betonun kalıplara yerleşmesi ve kalıpları tamamen doldurması oldukça 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 avantajı bulunmaktadır (Khayat vd., 1999; Ozawa ve Ouchi, 1999; Skarendahl, 2005). 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 büzölmeleri azalttığı gözlemlenmiştir. Lifli betonların normal betona göre üstün yanları sebebiyle lifli betonların farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Örneğin; endüstriyel zemin, havaalanı pisti, tünel uygulamaları ve prefabrik eleman üretimi gibi çeşitli uygulama alanlarında lifli betonun kullanımı birçok avantaj sağlamaktadır. Betonda kullanılan lif çeşitleri genel olarak metalik, doğal, sentetik ve cam lif olarak sınıflandırılabilir. Betonda kullanılan lif miktarı lif tipine göre farklılık göstermektedir. Örneğin; çelik lifler betonda hacimce %2'ye kadar kullanılabilir (Yardımcı, 2007; Yalçınkaya, 2009). Özgül ağırlığı daha düşük olan sentetik liflerin ise kullanım oranları hacimce %2'den çok daha azdır (Sertbaş, 2006).

Kendiliğinden yerleşen lifli beton (KYL B), KYB ve lifli betonun özelliklerinin bir arada bulunduğu özel bir betondur. Lifli betonlarda lif miktarının artmasıyla betonun işlenebilirliğinde ciddi azalmalar olmaktadır. Bu da, lifli betonun sertleşmiş özelliklerinin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. KYLB, lifli betonun bu olumsuz özeliğini ortadan kaldırabilmektedir. Bu amaçla, Grünwald ve Walraven (2001) ve Ferrara vd. (2007) 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 hal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

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

Çalışmada, bağlayıcı olarak TS EN standardına uygun CEM I 42.5R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.11 olup ve Blaine özgül yüzeyi 3362 cm<sup>2</sup>/g'dır. Çimentonun üretici firma tarafından verilen kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının yayılma çapı 72±3 cm olarak hedeflenmiştir ve bunu sağlamak için polikarboksil eter esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

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

**Çizelge 1.** Çimentonun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri

Oksit (%)	Çimento	Ana bileşenler	
SiO <sub>2</sub>	20.06	C <sub>3</sub> S (%)	58.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.68	C <sub>2</sub> S (%)	13.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.23	C <sub>3</sub> A (%)	11.28
CaO	64.09	C <sub>4</sub> AF (%)	6.78
MgO	1.45	Mekaniksel özellikleri	
K <sub>2</sub> O	0.93	Basınç dayanımı (MPa)	2-gün 25.4
Na <sub>2</sub> O	0.29		7-dün 37.2
SO <sub>3</sub>	3.09		28-gün 44.6
Cl	0.0064		
Kızdırma kaybı	1.74		
Toplam	99.87		

Deneyisel çalışmada, üretilen tüm kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda (KYLb), su/çimento oranı (S/C) 0.48 olarak ve lif miktarı hacimce %0.4 olarak sabit tutulmuştur. Ayrıca tüm karışımlarda, filler olarak (125 mikron altı) kireçtaşı tozu kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> için gerekli malzeme miktarları Çizelge 4’te gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Agreganın fiziksel özellikleri

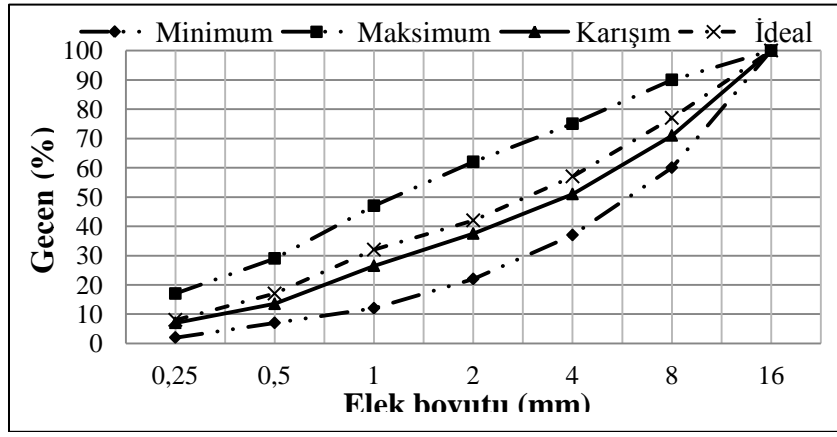
	0-5 mm	5-15 mm
Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı	2.60	2.65
Su emme kapasitesi (%)	0.21	0.67
Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	1740	1505

**Çizelge 3.** Kullanılan liflerin özellikleri

Tip	Uzunluk(L) (mm)	Çap (d) (mm)	Narinlik (L/d)	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
İki ucu kancalı çelik tel (Fibermix)	30	0.5	60	1100
Pirinç kaplı iki ucu kancalı 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, T<sub>50</sub> süresi tayini V-hunisi ve L-kutusu deneyi, EFNARC (2005) kriterine uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca her karışımın içerdiği hava yüzdesi ASTM C 231 standardına göre belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için 28 gün kürleme sonunda, her karışımdan üçer adet 150 mm küp numune üzerinde TS EN 12390-3 standardına göre basınç dayanımı ve Şekil 2’de görüldüğü gibi 100x100x600 mm prizmatik numuneler üzerinde TS EN 12390-5 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/dak. olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. Kullanılan agreganın gradasyonu ve TS 802 standardı sınırları

Çizelge 4. 1 m<sup>3</sup> KYB üretiminde kullanılan malzeme miktarları

Karışım	Çimento (kg)	Su (kg)	Filler (kg)	Agrega (mm)		Lif (kg)	S.A* (kg)	Teorik birim hacim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
				0-5 (kg)	5-15 (kg)			
Kontrol	500	200	136	739	748	0	5.8	2328
Fibermix	500	200	136	733	741	30	6.5	2347
Goldmix	500	200	136	735	743	30	5	2349
Graminflex	500	200	136	735	743	5	5.3	2324

\* Polikarboksil eter esaslı süper akışkanlaştırıcı

28 günlük 150 mm küp numuneler üzerinde ASTM C597 standardına uygun olarak ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır. Ek olarak, aynı numunelerin dinamik elastik modülü aşağıdaki formülden elde edilmiştir (Neville, 2010; Philleo, 1955).

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

Burada,  $E_{dn}$  = Betonun dinamik elastik modülü (MPa),  $\rho$  = Sertleşmiş betonun yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),  $c$  = Ultrases geçiş hızı (km/s) ve  $\nu$  = Poisson oranıdır. Tüm karışımlarda betonun Poisson oranı 0.2 olarak alınmıştır.



Şekil 2. Tek noktalı eğilme deneyi



Şekil 3. Direk çekme deneyi

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

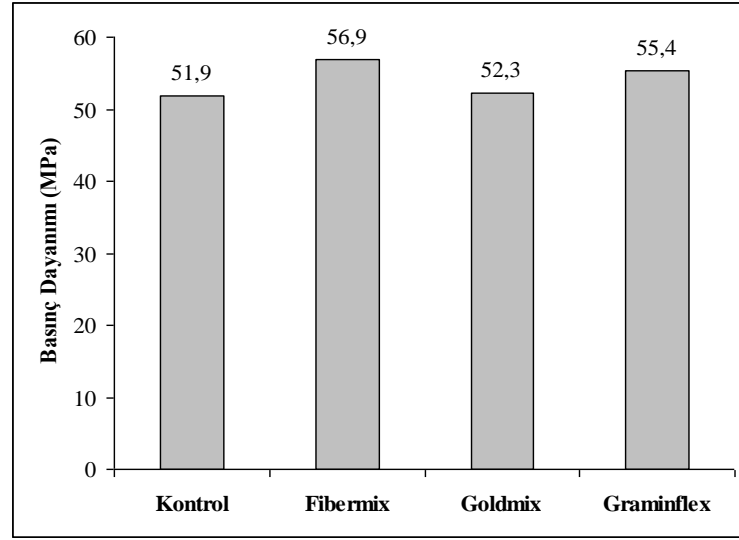
KYB karışımlarının taze hal özellikleri Çizelge 5’te gösterilmektedir. Tüm karışımların taze hal özellikleri göz önüne alındığında, farklı liflerin kullanılmasıyla, betonlarda ayrışma gibi olumsuzluğa rastlanmamıştır. Ayrıca lif kullanımı KYB karışımlarının taze hal özelliklerini olumsuz bir şekilde etkilememiştir. Ancak lif içeren karışımlarda katkı miktarının artışıyla beraber V-hunisi akış süresi, T<sub>50</sub> süresi ve L-kutusu oranı (H2/H1) artmaktadır. Bunun nedeni, bu karışımlarda katkı miktarının artmasıyla beraber betonun viskozitesi artmaktadır. Başka bir deyişle, beton daha kohezif hale gelmektedir.

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 önemli ölçüde olumlu veya olumsuz bir değişikliğe rastlanmamıştır. Bunun nedeni lif kullanım oranının az olması ve KYB’nin daha kohezif bir beton olmasından ve lifin kullanımıyla beraber oluşan boşlukların kapanmasından dolayı düşünülebilir. Ancak Craig vd., (1986) 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 görülmemektedir. Lif uzunluğu arttıkça, boşluk miktarını arttırmadığı takdirde, yanal deformasyonlar azaldığı için basınç dayanımı bir miktar artabilir.

Çizelge 5. KYB karışımlarının taze hal özellikleri

Taze hal özellikleri	Kontrol	Fibermix	Goldmix	Graminflex
Yayılma çapı (mm)	705	725	740	745
T <sub>50</sub> 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 <sup>3</sup> )	2395	2537	2455	2440
Akışkanlaştırıcı (çimento dozajının %’si)	1.10	1.24	0.95	1.00

Betonda lif kullanımının her zaman basınç dayanımına olumlu veya olumsuz bir etki gösterdiğini söylemek mümkün değildir. Lifin miktarı arttıkça betonun işlenebilirliği azalmadığı sürece basınç dayanımını olumlu bir şekilde etkilemektedir (Yalçınkaya, 2009). Hâlbuki lif miktarının artışı işlenebilirliği, dolayısıyla, boşluk miktarını olumsuz etkilediğinden basınç dayanımında düşüşler gözlemlenebilir (Song ve Hwank; 2004). 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.



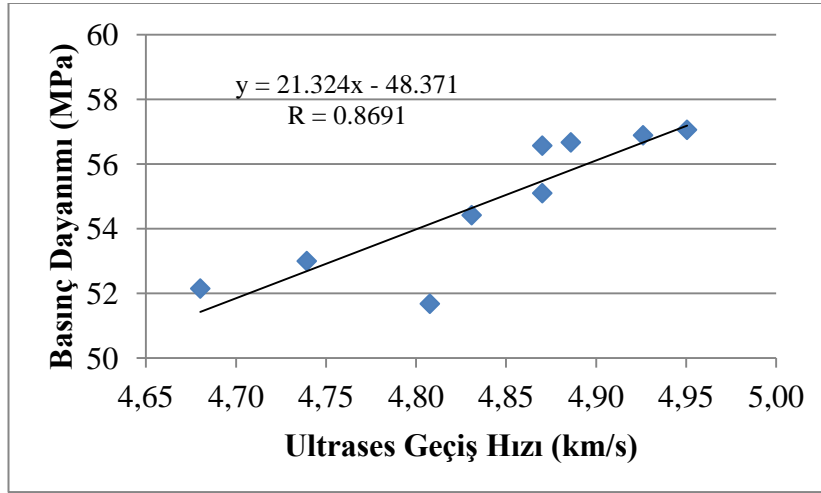
**Şekil 4.** KYB numunelerin basınç dayanımı

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 elastik modülüne olumsuz bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bilindiği gibi numunenin yoğunluğu arttıkça ultrases geçiş hızı ve ona bağlı olarak dinamik elastik modülü artmaktadır. Ancak 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 karışımın birim hacim ağırlığındaki artış, o karışımın yoğunluğunun arttığı anlamına gelmemektedir. İki ucu kancalı pirinç kaplı 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.

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

Karışım	$c$ (km/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	Ortalama E (MPa)
Kontrol 1	4.91	2371.7	51460	50388
Kontrol 2	4.85	2357.2	49832	
Kontrol 3	4.86	2343.9	49871	
Fibermix 1	4.89	2417.7	51946	52558
Fibermix 2	4.93	2431.1	53094	
Fibermix 3	4.95	2386.3	52634	
Goldmix 1	4.81	2398.6	49896	47900
Goldmix 2	4.74	2352.4	47553	
Goldmix 3	4.68	2346.1	46251	
Graminflex 1	4.87	2395.1	51127	50626
Graminflex 2	4.83	2376.4	49914	
Graminflex 3	4.87	2381.5	50837	

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.

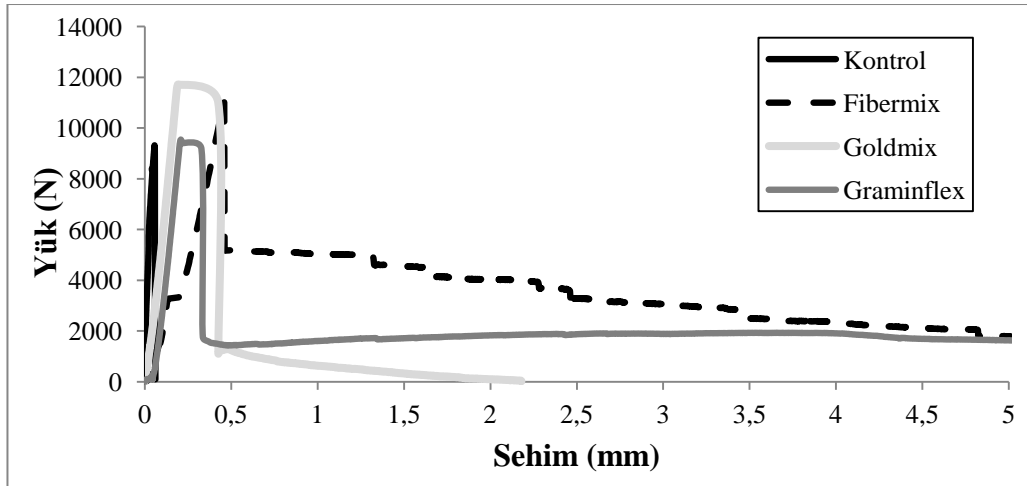


Şekil 4. KYLB numunelerin basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi

KYB numunelerin tek noktali eğilme yükü altında ve direk çekme etkisinde yük-sehim eğrileri sırasıyla Şekil 5 ve 6'da sunulmaktadır. Ayrıca, tüm numunelerin eğilme dayanımı, direk çekme dayanımı, eğilme ve direk çekme etkisinde tokluk değerleri Çizelge 7'de özetlenmiştir. 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 kıyaslamak istersek, 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 gözlemlenmiştir.** KYB numunelerinin eğilme etkisinde yük-sehim eğrilerini dikkate aldığımızda, iki ucu kancalı çelik lif (Fibermix) içeren karışım daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahiptir. Lif uzunluğu ne kadar fazla olursa, liflerin sıyırılmasından dolayı numunenin enerji yutma kapasitesi artmaktadır.

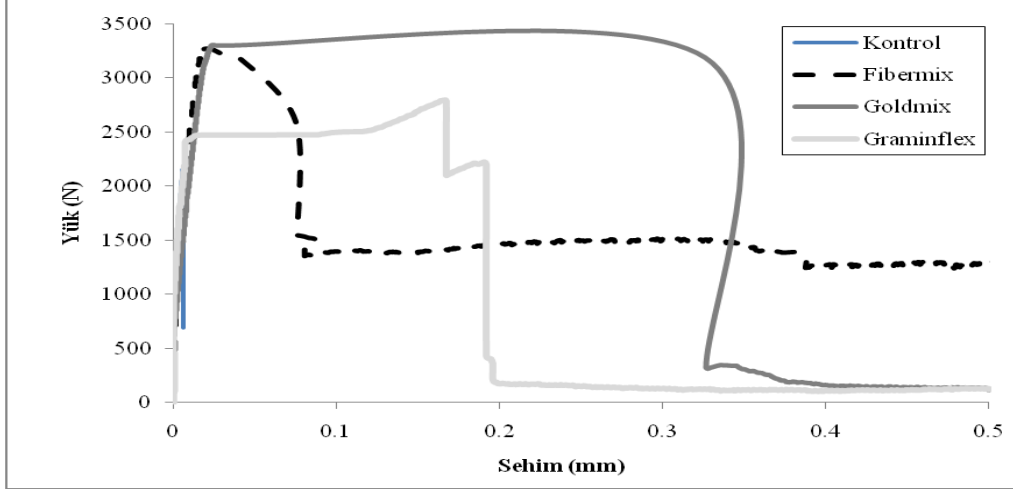
Çizelge 7. KYB numunelerin eğilme dayanımı ve tokluk değerleri

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 5. KYB numunelerin eğilme etkisinde yük-sehim eğrileri

KYB numunelerin direk çekme etkisinde yük - sehim eğrilerini dikkate aldığımızda, iki ucu kancalı pirinç kaplı lif (Goldmix) içeren karışımın, Goldmix lifinin diğer liflere göre daha kısa olmasına rağmen, maksimum enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu olay kullanılan direk çekme kalıbını kesit alanının dar olduğundan ve Goldmix lifinin daha kısa olduğundan, maksimum direk çekme yükünün uygulandığı kesit alanında daha fazla Goldmix lifinin yer aldığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6. KYB numunelerin direk çekme etkisinde yük-sehim 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 elastik modülüne etkisi incelenmiş ve aşağıda özetlenen bulgular elde edilmiştir:

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

Hacimce 0.4 oranında lif kullanımı 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<sub>50</sub> süresi ve L-kutusu oranı artmaktadır.

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

İki ucu kancalı pirinç kaplı çelik lif içeren KYB en yüksek eğilme ve direk çekme dayanımı göstermiştir.

Direk çekme altında, kullanılan kalıbın kesiti, dar olduğundan iki ucu kancalı pirinç kaplı çelik lifi diğer liflere göre kısa olduğundan ve dar kesit alanında fazla bulunabilmesinden, bu lifi içeren karışım en yüksek enerji yutma kapasitesine sahiptir.

İki ucu kancalı çelik lifinin uzunluğu iki ucu kancalı pirinç kaplı çelik life göre daha fazla olduğu için eğilme etkisi altında daha yüksek tokluğa sahiptir.

Polyster ve iki ucu kancalı çelik liflerin uzunluğu aynı olmasına rağmen iki ucu kancalı çelik lif içeren numune daha yüksek eğilme dayanımı ve tokluk değerine sahiptir.



## 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

ASTM C 597, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, 2003.

ASTM C 231, *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method*, Annual Book of ASTM Standards, 2003.

Craig, R.J., vd. "Fiber Reinforced Beams in Torsion", *ACI Structural Journal*, Title No 83-81, pp. 934-942, November-December, 1986.

EFNARC, *Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, 2005, [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)

Ferrara, L., Park, Y.D., Shah, S.P., "A method for mix-design of fiber-reinforced self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research*, No. 37, Sayı 6, pp. 957-971, 2007.

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*, No. 31, Sayı 12, pp.1793-1798, 2001.

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.

Neville, A., *Concrete Technology*, 2nd ed., Longman, UK, 2010.

Ozawa, K., Ouchi, M., (editor) *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*, Kochi, 1999.

Philleo, R., "Comparison of results of three methods for determining young's modulus of elasticity of concrete", *Journal of American Concrete Institute*, No. 51 Sayı 1, pp. 461– 470, 1955.

Sertbaş, B., *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

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.

Song, P.S., Hwang, S., "Mechanical properties of high strength steel fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, No. 18, Sayı 9, pp. 669 – 673, 2004.

TS EN 197-1, *Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

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.

TS EN 12390-3, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

TS EN 12390-5, *Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

Yalçınkaya, Ç., *Mineral katkı kendiliğinden yerleşen lifli betonun mekanik, durabilite ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.

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.