

ÇELİK VE SENTETİK LİFLERİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN TAZE VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Fuat KORKUT (ORCID: 0000-0002-8419-7204)^{1*}
Zehra Funda TÜRKMEÑOĞLU (ORCID: 0000-0003-3055-3450)²
Refik Burak TAYMUŞ (ORCID: 0000-0002-5181-4472)¹
Soner GÜLER (ORCID: 0000-0002-9470-8557)¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

²Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

Geliş / Received: 11.02.2017

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 23.03.2017

Kabul / Accepted: 24.03.2017

ÖZ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi ağırlığı ile herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin, ayrışmaya uğramadan kalıbı doldurabilen özel bir beton türüdür. Bu çalışmada, beton içerisine katılan çelik ve sentetik liflerin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, biri kontrol olmak üzere toplam 13 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Beton karışımlarının tamamında su/bağlayıcı oranı 0,40 olarak alınmıştır. Çelik ve sentetik lifler beton karışımına hacimce %0,25, 0,50 ve 0,75 oranlarında katılmışlardır. Kontrol betonunun hedef basınç dayanımı 40 MPa olarak belirlenmiştir. Lif katkısının taze beton özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek için ise, basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, lif oranı arttıkça KYB'lerin işlenebilirlik özelliklerinin oldukça olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir. Buna ilave olarak, betonun basınç dayanımında sınırlı artışlar olmasına rağmen, betonun yarmada çekme ve eğilme dayanımlarında önemli artışlar meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, çelik lif, sentetik lif

EFFECT OF STEEL AND SYNTHETIC FIBERS ON FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC) is a special kind of concrete that can fill the mold with its own weight without any segregation and requiring any vibration. In this study, the effects of steel and synthetic fibers on fresh and hardened concrete properties of self-compacting concretes were investigated. To this end, one control mix, a total of 13 different concrete mixes were prepared. The water/binder ratio was taken as 0.40 for all mixes. The steel and synthetic fibers were added to the concrete mixes as 0.25, 0.50 and 0.75% by volume. The target compressive strength of the control concrete was determined as 40 MPa. In order to investigate the fresh concrete characteristics, slump flow, V funnel and L box tests were performed. To determine hardened concrete properties, the compressive, splitting tensile and flexural strength tests were performed. It was determined that as the fiber ratio increased, the workability properties of the SCC were adversely affected. In addition to this, although there was a limited increase in the compressive strength of the concrete, significant increases in the tensile and bending strengths of the concrete were obtained.

Keywords: Self compacting concrete, steel fiber, synthetic fiber

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 444 5 065 (28170); e-mail / e-posta: fuatkorkut@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Topraklarının yaklaşık olarak %95'i deprem bölgesindedir. Deprem bölgelerinde yapılacak olan binalarda, kullanılacak betonun kalitesinin yüksek olması gerekmektedir. Bir betonun kalitesini ise dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik gibi faktörler belirler. Özellikle deprem bölgesinde inşa edilen yapıların kolon, kiriş, döşeme gibi yapı elemanlarında konstrüktif esaslardan dolayı yoğun donatı kullanılmaktadır. Yoğun donatı kullanılan kesitlerdeki betonların yerleşme ve sıkışmasının yeterli düzeyde yapılamaması betonun dayanımını olumsuz etkileyecektir [1, 2]. Betondaki bu olumsuzlara çözüm getirmek amacıyla yeni bir beton türü olan kendiliğinden yerleşen betonu (KYB) ortaya çıkarmıştır. KYB kendi ağırlığı ve cazibesıyla kalıplara yerleştirildiği için vibrasyon işlemi yapılmamaktadır. Bundan dolayı, geleneksel betona göre beton dökümü esnasında daha az bir enerji harcanarak daha gürültüsüz bir döküm işlemi yapılabilir. Bu nedenle, gürültü probleminin ortadan kalkması nedeniyle gece beton dökümlerinde tercih edilmektedir. KYB prefabrik yapı elemanlarının üretiminde, yoğun ve sık donatılı kesitlerde, vibratör kullanımının mümkün olmadığı kesitlerde ve güçlendirme uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3]. KYB homojen bir şekilde ayrışma olmadan yerleştirilmesi ve boşluksuz bir yapı oluşturması nedeniyle dayanım ve durabilite özellikleri oldukça yüksektir. Özellikle, depremde zarar görmüş binaların güçlendirilmesinde, tek bir noktadan döküm yapılması zorunlu olan kalıplarda, kendiliğinden yerleşmesi ve yükselmesi güçlendirme projeleri için çok iyi bir çözüm yöntemidir. Böylece, yerleştirme sırasında işçilikten kaynaklanan uygulama hatalarını en aza indirmektedir. Bilindiği gibi geleneksel betonların işlenebilirliğini arttırmak için karışıma su eklenmesi betonların dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, KYB ayrışma olmadan kolay yerleşebilen bir beton olduğu için beton karışımına herhangi bir su ilavesi yapılmadan istenen dayanım ve işlenebilirlik sağlanabilmektedir. Ayrıca ayrışma olmadan hava kabarcıksız ve düzgün yüzeyli homojen beton elde edilir [4, 5]. Özellikle, deprem bölgelerinde kullanılacak betondan istenilen bir diğer özellik ise sünek davranış gösterebilmesidir. Betonun bu özelliğini geliştirmek amacıyla beton içerisine çeşitli türlerde lif katılmaktadır [6]. Beton içerisine genelde çelik, sentetik, karbon ve cam lifler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan lifler çelik ve sentetik lifler olup, çelik lifler betonda hacimce %1-2 arasında kullanılmaktadır [7]. Sentetik lifler ise çelik liflere oranla daha az dozajda kullanılmakta olup, betonda genellikle hacimce %0,-0,5 arasında kullanılmaktadır [8-11]. Betona katılan lifin tipi, lifin boyutu, miktarı, narinlik oranı, çekme dayanımı ve lif matris aderansı gibi pek çok parametre, betonun dayanımı, çatlak gelişim mekanizması ve durabilite özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [12].

Genel olarak, kendiliğinden yerleşen betonda (KYB) lif katkısının betonun işlenebilirlik özelliğini olumsuz yönde etkilediği birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. [13-15]. Beton karışımlarına lif katkısının betonun işlenebilirlik özelliklerini olumsuz yönde etkilemesine rağmen, yarı gevrek bir malzeme olan betona lif ilave edilmesiyle betonun dayanım ve süneklik kapasitelerini arttırmasıyla ilgili çalışmalar sürmektedir. Lifler; tipi (çelik, sentetik, cam vb.), boyutu (makro ve mikro boyutta), narinlik oranı (boy/çap), geometrisi (düz, kıvrımlı, iki ucu kancalı), dozajı, mekanik özellikleri (çekme dayanımı, elastisite modülü vb.) gibi birçok parametreye bağlı olarak betonda dayanımı, süneklik ve tokluk kapasitesini arttırmaktadır. Son yıllarda, birçok araştırmacı tarafından farklı tipte liflerin farklı dozaj ve narinlik oranlarında kullanılmasıyla KYB'lerin basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını arttırdığı belirlenmiştir [16-20].

Bu çalışmada, çelik ve sentetik lif katkısının kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Lif katkılı KYB'lerin taze beton özelliklerini inceleyebilmek için çökme-yayıma, L kutusu ve V hunisi deneyleri yapılmıştır. Lif katkılı KYB'lerin mekanik özelliklerini belirlemek için ise basınç, yarmada çekme ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Çalışmada, bağlayıcı olarak Van Aşkale Çimento fabrikasından temin edilen, TS EN 197-1'e uygun CEM I 42.5 N tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır [21]. Çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık	Özgül Yüzeysel Alanı (cm ² /g)	Priz Başlangıcı (dk)	Priz Sonu (dk)	0,045 mm Elekte Kalıntı (%)	0,090 mm Elekte Kalıntı (%)	Hacim Genleşmesi (mm)
3,09	3728	185	235	3,2	0,1	1

2.1.2. Uçucu Kül ve Silis Dumanı

Çalışmada, TS EN 450-1 [22] standardına uygun İskan Su gözü termik santralinden temin edilen F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün özgül ağırlığı 2,30 ve özgül yüzey alanı ise 2920 cm²/g'dır. Ayrıca, çalışmada tüm beton karışımlarda silis dumanı kullanılmıştır. Kullanılan silis dumanı Dubai'den ithal olarak temin edilmiştir. Silis dumanının özgül ağırlığı 2,20 ve özgül yüzey alanı ise 23360 cm²/g'dır. Çimento, uçucu kül ve silis dumanının kimyasal kompozisyonu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimento, uçucu kül ve silis dumanının kimyasal kompozisyonu

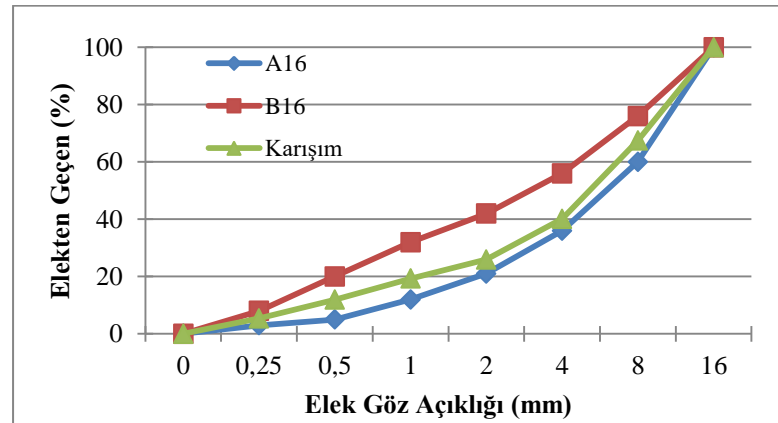
Kimyasal Özellikler	Çimento (%)	Uçucu Kül (%)	Silis Dumanı (%)
SiO ₂	18,97	60,0	96,10
Al ₂ O ₃	5,00	24,6	-
Fe ₂ O ₃	3,22	8,20	-
CaO	59,98	2,10	-
MgO	2,84	-	-
SO ₃	2,61	0,50	-
K ₂ O	0,74	2,66	-
Na ₂ O	-	-	-
Cl	0,016	-	-
Kızdırma Kaybı	3,6	-	1,81

2.1.3. Agregası

Çalışmada, 0-5 mm kırma kum ve 5-12 mm kırmataş olmak üzere iki farklı boyutta agregası kullanılmıştır. Karışımda kullanılan agreganın en büyük tane boyutu 12 mm'dir. Agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı tayinleri TS EN 1097-6'e göre yapılmıştır [23]. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Beton karışımlarının tamamında sabit bir tane dağılımı kullanılmış olup, agregası karışımın granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmektedir.

Beton karışımında kullanılan agreganın, elek analiz sonuçlarına göre çizilen granülometri eğrisi TS 706 EN 12620+A1 [24] de belirtilen sınır değerler arasında kalmaktadır.

**Şekil 1.** Agregası karışımının granülometri eğrisi

Tablo 3. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Boyutu (mm)	Özgül Ağırlık	Su Emme Oranı (%)
0-5	2,69	0,45
5-12	2,59	0,23

2.1.4. Sentetik ve Çelik Lif Özellikleri

Bu çalışma kapsamında sentetik ve çelik lif kullanılmış olup, liflere ait teknik özellikler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Liflerin teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Sentetik		Çelik	
Telin uzunluğu (mm)	12	54	30	60
Telin çapı (mm)	0,75	0,9	0,75	0,90
Narinlik oranı (%)	16	60	40	67
Çekme dayanımı (MPa)	970	900	1100	1100
Elastisite modülü (MPa)	3500-6800	5150	200000	200000

2.1.5. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı

Tüm beton karışımlarında çimento ağırlığının %1,6'sı oranında Draco Yapı Kimyasalları A.Ş firması tarafından üretilen Levelcon 5000 yeni nesil hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı katkının yoğunluğu 1,09 g/cm³'dür.

2.2. Metot

2.2.1. Beton Karışımlarının Hazırlanması

Lif katkısının kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkisini incelemek amacıyla biri kontrol olmak üzere 13 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda, çimento miktarı 350 kg/m³, uçucu kül miktarı 100 kg/m³, silis dumanı 30 kg/m³, su/çimento oranı 0,40 ve hiper akışkanlaştırıcı katkı oranı %1,6 olarak belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Çalışmada çelik ve sentetik olmak üzere iki farklı lif tipi ve iki farklı lif boyutu (çelik lifler; 30 ve 60 mm uzunluğunda ve sentetik lifler; 12 ve 54 mm uzunluğunda) kullanılmıştır. Ayrıca karışımlarda üç farklı hacimsel lif oranı (%0,25, 0,50 ve 0,75) kullanılmıştır. Beton karışımları 40 dm³ kapasiteli pan tipi mikserde hazırlanmıştır. Miksere, ilk olarak agregası, çimento, uçucu kül ve silis dumanı eklenerek, 1 dakika kuru olarak karıştırılmıştır. Daha sonra su ve hiper akışkanlaştırıcı katkı eklenerek 2 dakika daha karıştırılmıştır. Son olarak karışıma lifler eklenerek 2 dakika daha karıştırılmıştır [25]. Karıştırma işlemi sonunda taze betonlar üzerinde çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda, taze betonlar kalıplara konulmuş ve kalıpta 24 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler, 23±2°C sıcaklıktaki kür havuzuna konularak deney gününe kadar bekletilmiştir. Kür süresi tamamlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Lif katkılı kendiliğinden yerleşen beton numunelerine ait kodlama Tablo 5'te beton numunelerine ait kodlama ve Tablo 6'da ise çelik ve sentetik lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonların karışım oranları verilmiştir. Beton numunelerinin kodlaması yapılırken, içerdikleri lif tipi, lif boyutu ve lif miktarları esas alınmıştır.

2.2.2. Taze Beton Deneyleri

Çalışma kapsamında üretilen kendiliğinden yerleşen betonların, işlenebilirlikleri EFNARC 2005'te belirtilen test metodlarına göre belirlenmiştir [3]. Kendiliğinden yerleşen taze betonların işlenebilirliklerini belirlemek amacıyla çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5. Beton numunelerine ait kodlama

Numune Kodu	Lif Tipi	Lif Uzunluğu (mm)	Lif Miktarı (%)
Kontrol	-	-	-
Ç30_0.25	Çelik	30	0,25
Ç30_0.5	Çelik	30	0,50
Ç30_0.75	Çelik	30	0,75
Ç60_0.25	Çelik	60	0,25
Ç60_0.5	Çelik	60	0,50
Ç60_0.75	Çelik	60	0,75
S12_0.25	Sentetik	12	0,25
S12_0.5	Sentetik	12	0,50
S12_0.75	Sentetik	12	0,75
S54_0.25	Sentetik	54	0,25
S54_0.50	Sentetik	54	0,50
S54_0.75	Sentetik	54	0,75

2.2.2.1. Çökme - Yayılma Deneyi

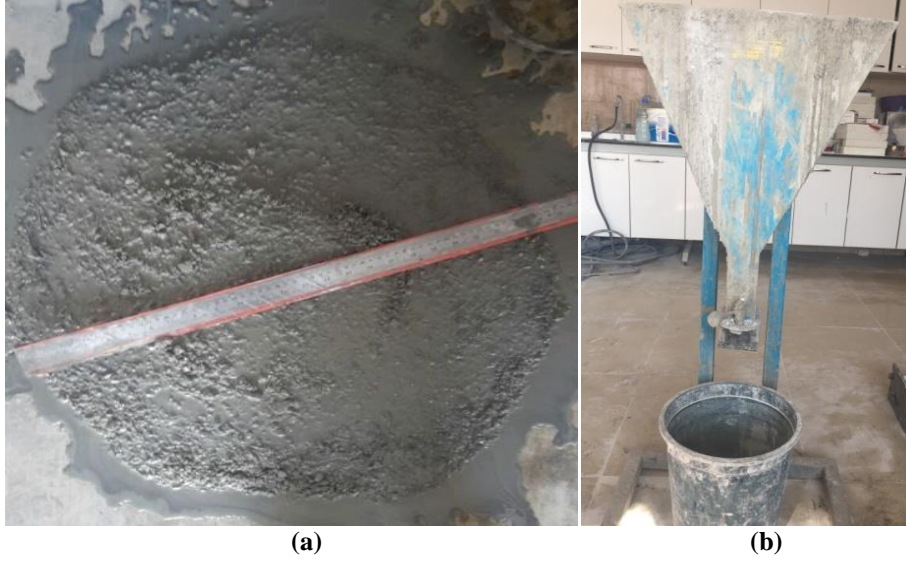
Bu deneyde yayılma tablası üzerine çizilen 50 cm çaplı bir dairenin merkezine slump hunisi yerleştirilir. Huni betonla doldurulduktan sonra yukarıya doğru çekilir. Betonun kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. Deney sonucunda betonun 50 cm çaplı daireye yayılma süresi (T_{50}) ve maksimum yayılma çapı ölçülür [3]. Şekil 2'(a) da çökme yayılma deneyi gösterilmektedir.

Tablo 6. Çelik ve sentetik lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonların karışım oranları (kg/m^3)

Numune Kodu	S/B	Çimento	Lif	Uçucu Kül	Silis Dumanı	Agrega Boyutu 0-5 mm	Agrega Boyutu 5-12 mm	SA (%)
Kontrol	0,4	350	-	100	30	870	750	1,6
Ç30_0.25	0,4	350	19,6	100	30	870	750	1,6
Ç30_0.5	0,4	350	39,2	100	30	870	750	1,6
Ç30_0.75	0,4	350	58,8	100	30	870	750	1,6
Ç60_0.25	0,4	350	19,6	100	30	870	750	1,6
Ç60_0.5	0,4	350	39,2	100	30	870	750	1,6
Ç60_0.75	0,4	350	58,8	100	30	870	750	1,6
S12_0.25	0,4	350	2,8	100	30	870	750	1,6
S12_0.5	0,4	350	5,7	100	30	870	750	1,6
S12_0.75	0,4	350	11,5	100	30	870	750	1,6
S54_0.25	0,4	350	2,8	100	30	870	750	1,6
S54_0.5	0,4	350	5,7	100	30	870	750	1,6
S54_0.75	0,4	350	11,5	100	30	870	750	1,6

2.2.2.2. V Hunisi Deneyi

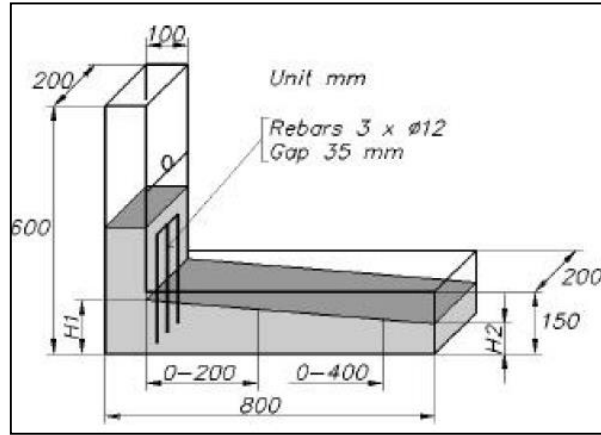
Kendiliğinden yerleşen taze betonun viskozite ve geçiş yeteneğini ölçmek amacıyla yapılan deneylerden bir tanesi de V hunisi deneyidir. Taze beton, özel tasarlanmış bir huni içerisine doldurulur ve huninin altında bulunan sürgülü kapak açılır ve huninin içindeki tüm betonun, V hunisinden boşalma süresi ölçülür. V hunisi deneyi, EFNARC 2005 [3] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş, olup V hunisi deney düzeneği Şekil 2 (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Ç60_0.75 karışımına ait çökme yayılma deneyi, (b) V hunisi deneyi

2.2.2.3. L Kutusu Deneyi

Kendiliğinden yerleşen taze betonun yerleşme, doldurma yeteneği ve ayrışmaya karşı direncinin belirlenmesi amacıyla L kutusu deneyi yapılmaktadır. Bu deney, L şeklinde dizayn edilmiş ortasında sürgülü bir kapak bulunan ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunan bir kutuda gerçekleştirilir. Taze beton, L kutusuna doldurulduktan sonra sürgülü kapak çekilir ve harç donatılar arasından geçerek yatay prizmayı doldurmaya başlar. Hareket durduğunda donatıların başında ve yatay kalıp ucundaki beton yükseklikleri ölçülür. Bu yükseklikler arası oran (h_2/h_1) hesaplanır [3]. Şekil 3'te L kutusu gösterilmiştir.



Şekil 3. L Kutusu deney düzeneği

2.2.3. KYB'ler için Genel Kabul Kriterleri

Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik davranışlarını tespit etmek amacıyla, EFNARC (Beton üreticileri birliği federasyonu) tarafından bir klavuz yayımlanmıştır. Bu klavuzda KYB genel kabul kriterleri belirtilmiş olup Tablo 7'de verilmiştir. EFNARC [3]'a göre, kendiliğinden yerleşen taze betonların minimum yayılma çapı 50 cm ve maksimum yayılma çapı 85 cm aralığında olması önerilmektedir. Yine, KYB'lerin 50 cm'ye yayılma süresinin (T50) için ≤ 2 sn veya > 2 sn aralığında olması, V hunisi akış süreleri ≤ 8 sn veya 9-27sn aralığında, L kutusunda ölçülen geçiş yeteneği oranı $\geq 0,80$ olması tavsiye edilmektedir. KYB genel kabul kriterlerine göre, KYB'nin kullanım alanlarına göre yayılma çapı ve 50 cm'ye yayılma süresi, V hunisinden geçiş süresi gibi

F. KORKUT, Z.F. TÜRKMEÑOĞLU, R.B. TAYMUŞ, S. GÜLER

parametreleri kullanarak, bir sınıflama yapmıştır. Kullanım alanlarına göre önerilen KYB sınırları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7. KYB için genel kabul kriterleri [3]

Deney Yöntemi	KYB Sınıfları ve Standart Değerler		
	En Düşük Değer		En Yüksek Değer
Yayımla (mm)	500-650 (SF1)	651-750 (SF2)	751-850 (SF3)
L kutusu (h_2/h_1)	$\geq 0,80$ (2 donatı çubuğu ile) (PA1)		$\geq 0,80$ (3 donatı çubuğu ile) (PA2)
V hunisi (sn)	≤ 8 (VF1)		9-27 (VF2)
T_{50} (sn)	≤ 2 (VS1)		> 2 (VS2)

Tablo 8. Kullanım alanlarına göre önerilen KYB sınırları [3]

Viskozite	Önerilen uygulama alanı		Ayrışma direnci
VS2 VF2	Rampalar		SF1 ve SF2 için geçiş yeteneği şartı (PA1 veya PA2)
VS1 ya da 2 VF1 ya da 2	Duvarlar ve kazıklar	Uzun dar kesitler	SF3 için ayrışma direnci şartı önerin (SR)
VS1 VF1	Döşemeler ve plakalar		SF2 ve SF3 için ayrışma direnci şartı önerin (SR)
	SF1	SF2	SF3

Bu sınıflamaya göre; döşeme gibi yatay yapı elemanlarında kullanılacak KYB’lerin daha akıcı özelliğe sahip olması, taşıyıcı elemanlarda kullanılacak KYB’lerin ise daha viskoz yapıya sahip olması önerilmektedir. Ayrıca, betonun donatılar arasından geçiş yeteneği ile ilgilide limit değerler önerilmiştir.

2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş betonlar üzerinde basınç dayanımı, eğime dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyleri TS EN 12390-3 [26] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde 3000 kN yükleme kapasitesine sahip, otomatik kontrollü basınç presi kullanılmıştır. Yarmada çekme deneyleri TS EN 12390-6 [27] standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyde, yükleme hızı 0,06 MPa/sn olarak ayarlanmıştır. Kırılma yükünün %20’ni aşamayacak şekilde başlangıç yükü uygulandıktan sonra, yük sabit hızda artırılarak kırılma gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı deneyleri TS EN 12390-4 [28] standardına göre gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri, 150x150x150 mm ebatlarındaki standart boyutlu küp numuneler kullanılmıştır. Her bir deney için üç numune kullanılmış ve kırılan üç numunenin kırılma yükünün aritmetik ortalaması alınmıştır. Eğilme dayanımı deneylerinde 100x100x400 mm ebatlarındaki prizmatik numuneler kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, çelik ve sentetik lif katkısının kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği taşıyıp taşımadığı, taze haldeki işlenebilirlik deneyleri ile belirlenmiştir. Lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonlara ait taze beton deney sonuçları Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 9. Taze beton deney sonuçları

Numune Kodu	T ₅₀ çapı (cm)	T ₅₀ süre (sn)	V hunisi (sn)	L kutusu h ₂ /h ₁
Kontrol	71	1,6	4,9	0,89
Ç30_0.25	68	2,1	6,1	0,7
Ç30_0.5	64	2,6	8,2	0,61
Ç30_0.75	61	5,0	13,4	Bloke
Ç60_0.25	65	1,9	10,0	0,64
Ç60_0.5	63	4,2	12,4	0,57
Ç60_0.75	59	5,1	18,1	Bloke
S12_0.25	57	2,8	12	0,68
S12_0.5	56	4,3	16,8	0,51
S12_0.75	54	5,2	20,3	Bloke
S54_0.25	53	3	17,2	0,4
S54_0.5	51	4	21,4	Bloke
S54_0.75	47	6	24,6	Bloke

Taze beton deney sonuçları incelendiğinde, KYB karışımlarının yayılma çaplarının 71 ile 47 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. EFNARC 2005'te [3] verilen KYB genel kabul kriterleri sınıflama tablosuna göre, yayılma çapları 50-85 cm arasında olmalıdır. S54_0.75 kodlu numune hariç tüm karışımlar istenilen şartı sağlamaktadır.

KYB'lerin 50 cm yayılma süresi sonuçları incelendiğinde, T₅₀ süresinin 1,6 ile 6 sn arasında olduğu tespit edilmiştir. EFNARC, 2005'e göre KYB'lerin 50 cm'ye yayılma süresi (T₅₀) için ≤2 sn veya >2sn aralığında olması gerekmektedir. Buna göre tüm KYB'lerin yayılma süreleri sınır değerleri sağlamaktadır. KYB karışımlarının viskozite özellikleri V hunisi deneyi ile belirlenmiş olup, karışımların V hunisi geçiş sürelerinin 6 ile 24,6 sn arasında olduğu tespit edilmiştir. EFNARC 2005 [3] limit değerleri ile karşılaştırıldığında tüm karışımların sınır değerler arasında kaldığı belirlenmiştir. L kutusu deney sonuçları incelendiğinde; beton karışımında hacimsel olarak yüzde 0,75 oranında çelik ve sentetik lif kullanılan betonların bloke olduğu belirlenmiştir.

Çelik lif katkılı betonların çökme yayılma deney sonuçları incelendiğinde, yayılma çaplarının 59-68 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. KYB karışımlarında çelik lif katkısı kullanımının betonun yayılma çapını azalttığı, T₅₀ süresini ise uzattığı belirlenmiştir.

Sentetik lif katkılı betonların çökme yayılma deney sonuçları incelendiğinde, 47-57 cm arasında olduğu ve çelik lif katkılı betonların çökme yayılma deney sonuçlarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Karışımlarda sentetik lif katkısı kullanımının her iki lif boyu içinde betonun yayılma çapını önemli oranda azalttığı, T₅₀ süresini ise uzattığı belirlenmiştir. KYB genel kabul kriterlerine göre, taze beton deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 7'de verilen sınır değer aralıklarında kalmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen betonlar, genel kabul kriterlerine göre sınıflandırıldığında; yayılma çapları sınıflamasında kontrol, Ç30_0.25 ve Ç30_0.50 kodlu numunelerin SF1 sınıfında olduğu ve diğer karışımların tamamının ise SF2 sınıfında olduğu belirlenmiştir. KYB karışımları V hunisinden akma sürelerine göre sınıflandırıldığında; kontrol ve Ç30_0.25 kodlu numunenin VF1 sınıfında olduğu, diğer karışımların ise VF2 sınıfında olduğu belirlenmiştir. KYB karışımları yayılma sürelerine göre sınıflandırıldığında; kontrol betonunun VS1 sınıfında olduğu ve diğer tüm karışımların ise VS2 sınıfında olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda üretilen lif katkılı KYB'ler endüstriyel zeminlerde (fabrika, depo ve hangar zemini vb.), yol döşemelerinde ve prefabrik beton uygulamalarında kullanılabilir.

3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen betonların sertleşmiş beton deney sonuçları Tablo10'da verilmiştir. KYB'lerin basınç dayanımları incelendiğinde kontrol betonuna göre dayanım artışlarının sınırlı olduğu görülmektedir. Çelik lif katkılı KYB'lerin hepsinde dayanım artışı görülmüştür. En büyük dayanım artışı %0,75 hacimsel orana sahip 60 mm uzunluğunda olan makro çelik lif katkılı karışımlarda %18,5 olmuştur. Sentetik lif katkılı KYB karışımlarında ise artış çelik lif katkılı KYB'lere göre daha az olmuştur. Hatta, 12 mm uzunluğuna sahip mikro lif katkılı KYB'lerde herhangi bir artış elde edilmemiştir. 60 mm uzunluğuna sahip makro sentetik lif katkılı KYB'lerde ise en büyük artış sadece %2,1 olmuştur. Çelik ve sentetik lif katkılı KYB'lerin basınç dayanımlarında sınırlı artışlar olmasına rağmen, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarında önemli oranda

F. KORKUT, Z.F. TÜRKMEÑOĞLU, R.B. TAYMUŞ, S. GÜLER

artışlar meydana gelmiştir. Hacimce %0,75 oranında çelik lif katkısı yapılan betonların yarmada çekme dayanımları incelendiğinde, 30 ve 60 mm uzunluğuna sahip çelik lif katkılı KYB'lerin yarmada çekme dayanımlarındaki en büyük artışların sırasıyla %51,9 ve %63,8 olduğu belirlenmiştir. Bu oran 12 ve 54 mm uzunluğundaki sentetik lif katkılı KYB'lerde ise sırasıyla %31,7 ve %47,5 olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde 30 ve 60 mm uzunluğuna sahip çelik lif katkılı betonlarda eğilme dayanımlarındaki en büyük artışlar sırasıyla %36,3 ve %55,3 olmuştur. Bu artış 12 ve 54 mm sentetik lif katkılı betonlarda ise %22,8 ve %34,5 olmuştur.

Tablo 10. KYB'lere ait sertleşmiş beton deney sonuçları

Kod	Lif Miktar (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
Kontrol	-	37,8	8,28	3,43
Ç30_0.25	0,25	38,2	9,14	3,86
Ç30_0.5	0,50	39,7	10,16	4,65
Ç30_0.75	0,75	41,4	11,29	5,21
Ç60_0.25	0,25	38,9	10,26	4,67
Ç60_0.5	0,50	42,2	11,46	5,14
Ç60_0.75	0,75	44,8	12,86	5,62
S12_0.25	0,25	35,7	8,64	3,27
S12_0.5	0,50	36,4	9,23	3,92
S12_0.75	0,75	37,6	10,17	4,52
S54_0.25	0,25	36,3	9,02	3,63
S54_0.5	0,50	37,4	9,84	4,38
S54_0.75	0,75	38,6	11,14	5,06

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı hacimsel oranlarda çelik ve sentetik lif katkılı KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Lif tipi, lif miktarı ve narınlığın kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri üzerinde önemli derecede olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir.
- %0,75 hacimsel oranında çelik ve sentetik lif katkısı kullanılan tüm KYB'lerin, donatılar arasından geçiş yeteneği özelliğini olumsuz etkilediği ve L kutusu deneylerinde bloklanma olduğu görülmüştür.
- Aynı hacimsel orana sahip çelik ve sentetik lif katkılı KYB'ler karşılaştırıldığında, çelik liflere nazaran sentetik liflerin taze beton özelliklerini daha olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bunun nedeni sentetik liflerin çelik liflerden daha yüksek su emme kapasitesine sahip olması ve dolayısıyla karışımdaki su oranını önemli oranda azaltması olarak açıklanabilir.
- KYB'lerin basınç dayanımları incelendiğinde tüm hacimsel oranlarda çelik liflerin betonun basınç dayanımını sınırlı miktarda da olsa arttırdığı belirlenmiştir. Bu artış 30 mm uzunluğa sahip çelik liflere nazaran 60 mm uzunluğa sahip çelik liflerde daha fazla olmuştur. En büyük dayanım artışı %0,75 hacimsel oranda 60 mm uzunluğunda çelik lif katkılı KYB'lerde %18,5 olarak ölçülmüştür. 12 mm uzunluğuna sahip sentetik lif katkılı KYB'lerin hiçbirinde dayanım artışı olmamasına rağmen, %0,75 oranında 54 mm uzunluğuna sahip sentetik lif katkılı KYB'lerde bu artış sadece %2,1 olmuştur.
- Çelik ve sentetik lif katkılı KYB'lerin basınç dayanımlarındaki artış sınırlı olmasına rağmen, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarında önemli oranda artış meydana gelmiştir. Çelik ve sentetik lif katkılı KYB'lerin yarmada çekme ve eğilme dayanımlarındaki en büyük artışlar sırasıyla %63,8 ve %47,5, %55,3 ve %34,5 olmuştur. Görüldüğü gibi, KYB'lerin eğilme ve yarmada çekme dayanımlarını arttırmada çelik lifler kadar sentetik liflerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FBA-2016-5425 numaralı proje olarak, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] GENÇEL, O., BROSTOW, W., DATASHVILI, T., THEDFORD, M., “Workability and Mechanical Performance of Steel Fiber Reinforced Self Compacting Concrete with Fly Ash”, *Composite Interfaces* 18, 169-184, 2011.
- [2] ŞAHMARAN, M., YURTSEVEN, A., YAMAN, O., “Workability of Hybrid Fiber Reinforced Self Compacting Concrete”, *Building and Environment*, 40, 1672-1677, 2005.
- [3] EFNARC, The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use The Self Compacting Concrete European Project Group, Warrington, 68, 2005.
- [4] AYDIN, A.C., “Self Compactibility of High Volume Hybrid Fiber Reinforced Concrete”, *Construction and Building Materials*, 21, 1149-1154, 2007.
- [5] MEHDIPOUR, I., LIBRE, N.I., SHEKARCHI, M., “Development of Fiber Reinforced SCM for Sustainable Construction”, *Journal of Structural Engineering and Geotechnics*, 1, 19,2011.
- [6] ACI Committee 544, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2009.
- [7] FOLLARD, K., SUTFIN, D., TURNER, R., WHITNEY, D.P., Fiber in Continuously Reinforced Concrete Pavements, Final Report Submitted to the Texas Department of Transportation, Report No.0-4392-2, 2006.
- [8] HASAN, M.J., AFROZ, M., AND MAHMUD, H.M.I., “An Experimental Investigation on Mechanical Behavior of Macro Synthetic Fiber Reinforced Concrete”, *International Journal of Civil Environmental Engineering*, 11, 121-12, 2011.
- [9] JÓZSA Z., FENYVESI, O., “Early Age Shrinkage Cracking of Fibre Reinforced Concrete,” *Concrete Structures*, 11, 61-66, 2010.
- [10] RICHARDSON, A.E., COVENTRY, K. LANDLESS, S., “Synthetic and Steel Fibers in Concrete with Regard to Equal Toughness”, *Structural Survey*, 28, 355-369, 2010.
- [11] ROESLER, J.R., ALTOUBAT, S.A., LANGE, D. A., RIEDER, K.-A., ULREICH, G.R., “Effect of Synthetic Fibers on Structural Behavior of Concrete Slabs on Ground”, *ACI Materials Journal*, 103, 3-10, 2006.
- [12] YEHA, S., DOUBA, A., ABDULLAHI, O., FARRAG, S., “Mechanical and Durability Evaluation of Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete”, *Construction and Building Materials*, 121, 120-133, 2016.
- [13] GENÇEL, O., OZEL, C., BROSTOW, C., MARTÍNEZ-BARRERA, G., “Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete Reinforced with Polypropylene Fibres”, *Materials Research Innovations*, 15, 216–225, 2011.
- [14] AKCAY, B., TASDEMİR, M.A., “Mechanical Behaviour and Fibre Dispersion of Hybrid Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete”, *Construction and Building Materials*, 28, 287–293,2012.
- [15] HOSSAIN, K., LACHEMI, M., SAMMOUR, M., SONEBI, M., “Influence of Polyvinyl Alcohol, Steel, and Hybrid Fibers on Fresh and Rheological Properties of Self Consolidating Concrete”, *ASCE Journal of Civil Engineering*, 24, 1211–122, 2012.
- [16] AL-AMEERI, A., “The Effect of Steel Fiber on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete”, *American Journal of Civil Engineering*, 1, 102-110, 2013.
- [17] ANAND, S., KHAN, M.A., KUMAR, A., “Effect of Steel Fiber on Self Compacting Concrete: A Review”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3, 507-510, 2016.
- [18] KHALOO, A., RAISI, E.M., HOSSEINI, P., TAHSIRI, H., “Mechanical Performance of Self Compacting Concrete Reinforced with Steel Fibers”, *Construction and Building Materials*, 51, 179-186, 2014.
- [19] EL-DIEB, AS., “Mechanical, Durability and Microstructural Characteristics of Ultra High Strength Self Compacting Concrete Incorporating Steel Fiber”, *Materials and Design*, 30, 4286-4292, 2009.
- [20] EDUARDO, N.B.P., JOAQUIM, A.O.B., CAMOES, A., “Steel Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete: Experimental Research and Numerical Simulation”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 134, 1310-1315, 2008.
- [21] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS EN 197-1 Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara, Türkiye, 2002.
- [22] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS EN 450-1 Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara, Türkiye, 2013
- [23] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS EN 1097-6 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara, Türkiye, 2013.
- [24] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS 706 EN 12620+A1 Beton Agregaları, TSE, Ankara, Türkiye, 2009.
- [25] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS 10514 Lif Takviyeli Betonun Karışım Oranları ve İmalatı İçin Kuralları, TSE, Ankara, Türkiye, 2015.

F. KORKUT, Z.F. TÜRKMENOĞLU, R.B. TAYMUŞ, S. GÜLER

- [26] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS EN 12390-3 Sertleşmiş Beton Deneyleri. Bölüm 3:Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, Türkiye, 2010.
- [27] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS EN 12390-6 Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, TSE, Ankara, Türkiye, 2010.
- [28] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ., TS EN 12390-4 Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, Türkiye, 2010.