



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Mermer tozu katkılı lifli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine lif tipi ve oranının etkisi

The effect of fiber type and ratio on the physical and mechanical properties of marble powder added fiber concrete

Yazar(lar) (Author(s)): Osman ŞİMŞEK¹, Şükrü DEMİR²

ORCID¹: 0000-0003-3842-5541

ORCID²: 0000-0002-2768-9050

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek O. ve Demir Ş., "Mermer tozu katkılı lifli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine lif tipi ve oranının etkisi", *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1043-1055, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.857756

Mermer Tozu Katkılı Lifli Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Lif Tipi ve Oranının Etkisi

The Effect of Fiber Type and Ratio on the Physical and Mechanical Properties of Marble Powder Added Fiber Concrete

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Farklı oranlarda çelik ve makro sentetik liflerin betonların, eğilme, basınç dayanımlarına ve aşınma direncine olumlu etkisi vardır (Different proportions of steel and macro synthetic fibers have a positive effect on the bending, compressive strength and abrasion resistance of concretes.).
- ❖ Çelik lif oranlarının beton özelliklerine etkisi, diğer life göre daha olumlu etki etmektedir (The effect of steel fiber ratios on concrete properties has a more positive effect than other fibers).

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Farklı oranlardaki çelik ve makro sentetik liflerin taze ve sertleşmiş betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır (The effects of different proportions of steel and macro synthetic fibers on physical and mechanical properties of fresh and hardened concrete were investigated.)

	Lif Oranı (%)	Çökme (mm)	Hava (%)	Ultras Hızı (km/ sn)	Geri Sıçrama Değeri	Çatlak		Eğilme Gerilmesi (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)		Aşınma Kaybı (%)
						İlk Eğilme Gerilmesi (MPa)	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	
Referans	0	15	2,4	4,19	32	5,2	8,9	6,4	10,2	29,0	35,8	0,61
Makro Sentetik Lif Beton	0,25	13	2,7	4,10	29	7,7	10,5	9,2	13	28,1	36,1	0,45
	0,30	11	3,4	3,99	29	9,0	11,7	10,3	14,6	27,6	38,7	0,37
	0,35	10	3,6	3,81	28	9,5	12,5	12,1	16,3	27,3	37,4	0,29
Çelik Beton	0,50	12	3,1	4,26	32	10,9	15,3	15,1	18,3	29,5	42,8	0,38
	0,75	10	3,5	4,20	31	11,0	16,5	16,9	19,5	29,1	42,3	0,31
	1,00	8	4,2	3,94	30	12,5	16,7	17,7	21,8	28,8	41,3	0,22

Çizelge. Betonun teknik özellikleri / Chart. Technical characteristics of concrete

Amaç (Aim)

Farklı oranlarındaki çelik ve makro sentetik liflerin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkili olan lif tipinin ve oranının belirlenmesi / Determination of the fiber type and ratio of steel and macro synthetic fibers in different proportions that affect the physical and mechanical properties of concrete.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Betonun eğilme dayanımı TS EN 12390-5, basınç dayanımı TS EN 12390 ve aşınma kaybı ASTM C944-19 standartlarına göre özellikler belirlenmiştir./ The properties of the concrete are determined according to the bending strength TS EN 12390-5, the compressive strength TS EN 12390 and the abrasion loss ASTM C944-19 standards.

Özgünlük (Originality)

İki lif çeşidinin farklı lif oranlarıyla sabit mermer tozu katkısıyla üretilen betonun teknik özellikleri incelenmiştir./ The technical properties of concrete produced with fixed marble dust additive with different fiber ratios of two fiber types were examined.

Bulgular (Findings)

Makro sentetik lifli betona göre çelik lifli betonun fiziksel ve mekanik özellikleri lif oranına paralel olarak büyük avantaj sağlamaktadır./ Compared to macro synthetic fiber concrete, the physical and mechanical properties of steel fiber concrete provide a great advantage in parallel with the fiber ratio.

Sonuç (Conclusion)

Lif oranlarının betonun özelliklerine olumlu etkisi vardır. Çelik lifli betonlarda lif oranı %1.00 olan betonun en uygun fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamıştır/ Fiber ratios have a positive effect on the properties of concrete. Fiber ratio of 1.00% in steel fiber concrete has provided the most appropriate physical and mechanical properties of concrete.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Mermer Tozu Katkılı Lifli Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Lif Tipi ve Oranının Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Osman ŞİMŞEK^{1*}, Şükrü DEMİR²

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.01.2021 ; Kabul/Accepted : 29.04.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 07.05.2021)

ÖZ

Yapılan bu çalışmada farklı oran ve tiplerde kullanılan çelik ve makro sentetik liflerin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; Makro sentetik lif hacimce %0.25, %0.30 ve %0.35 oranında, çelik lif hacimce % 0.50, % 0.75 ve % 1.00 oranında kullanılmıştır. Çalışmada lifli betonların karışım hesabı TS 802' esas alınarak yapılmış ve su/çimento oranı 0.54 sabit alınmıştır. Bu çalışmada taze ve sertleşmiş beton özellikleri için 10 × 10 × 40 cm boyutlarında kiriş ve 15 cm'lik küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak lif tipi ve oranını etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda taze betonda lifli karışımlar da lif oranı arttıkça, işlenebilirlik ve birim hacim ağırlıklarını da azalmıştır. Sonuç olarak taze betonda lifli karışımlar da lif oranı arttıkça, işlenebilirliği olumsuz olarak etkilerken birim hacim ağırlıklarını da düşürmüştür. Sertleşmiş betonda ise; Lif oranı arttıkça ilk çatlak gerilmesi ve eğilme gerilmesi artmıştır. En yüksek mekanik ve fiziksel özellikleri %1.00 çelik lifli, %0.35 makro sentetik lifli betonlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Lifli beton, eğilme dayanımı, aşınma dayanımı.

The Effect of Fiber Type and Ratio on the Physical and Mechanical Properties of Marble Powder Added Fiber Concrete

ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine the effect of steel and macro synthetic fibers used in different ratios and types on the physical and mechanical properties of concrete. For this purpose; Macro synthetic fiber was used at 0.25%, 0.30% and 0.35% by volume, steel fiber at 0.50%, 0.75% and 1.00% by volume. Chemical additives and marble powder were used in fixed proportions. In the study, the water / cement ratio was taken as 0.54 constant according to the fiber concrete TS 802 mixture. In this research, beams of 10 × 10 × 40 cm and 15 cm cube samples were produced for fresh and hardened concrete properties. The effect of fiber type and ratio was investigated by performing physical and mechanical tests on the produced samples. As a result of the study, as the fiber ratio of fiber mixes in fresh concrete increased, workability and unit volume weights decreased. As a result, as the fiber ratio in fresh concrete increases, the fiber ratio has negatively affected the workability and the unit volume weights decreased. In hardened concrete; In hardened concrete; As the fiber ratio increased, the initial crack stress and bending stress increased. The highest mechanical and physical properties were given by 1.00% steel fiber and 0.35% macro synthetic fiber concretes.

Keywords: Fiber concrete, flexural strength, abrasion resistance.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel betonların teknik özelliklerini iyileştirmek için lif ilave edilmesi, dezavantajlarını en aza indirerek özelliklerini iyileştirmeye yönelik çimento, agrega ve çöğünlukla süresiz liflerin su ile karıştırılmasıyla üretilen betonlar lifli beton olarak tanımlanmaktadır.

Lifli betonların mekanik özelliklerini inceleyen araştırmacılar lifli betonların mekanik özellikleri yanında, durabilite özelliklerinin araştırılması gerekliliğini belirtmişlerdir[1-3]. Falkner vd. [4] yaptıkları çalışmada, lifli ve liffsiz betonların davranışlarındaki asıl farkın lifin cinsine ve özelliklerine bağlı olarak yük altında, meydana gelen çatlaklardan sonra yük taşıma özelliğinin devam etmesi, eğilme

dayanımında, tokluk, aşınma, kavitasyon ve performansında artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca liflerin aderansı iyi ise, moment kapasitesini, sünekliliği, donatının aderansını arttırdığını, çatlak kontrolünü sağladığını patlama ve kabuk atmaların önlenilebileceğini birçok araştırmacı vurgulamaktadır[3-6].

Lifli beton üretiminde çöğünlukla çelik, sentetik, karbon, plastik ve cam lifler kullanılmaktadır. Bunun nedeni lifin kullanım amacına bağlı olarak hedeflenen veya beklenen bazı özelliklerin sağlanmasıdır. Mekanik özelliklerin iyileştirmesi istenen yerlerde çelik ve sentetik lifler tercih edilmektedir. Betona çelik lif katılması ile bazı fiziksel ve teknolojik özellikleri yanında eğilme dayanımında ilk çatlak oluşuran yükü gibi mekanik özellikler değişik oranlarda ve miktarlarda artmaktadır.

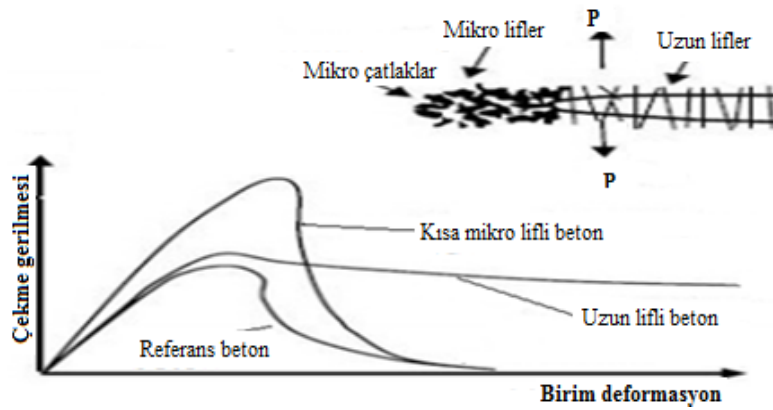
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: simsek@gazi.edu.tr

Genel olarak lifler beton içine hacimce katılmaktadır. Bundan dolayı çelik lif oranlarının %1-2 arasında, sentetik liflerin ise %0-0.5 arasında olması istenmektedir[5-8]. Betona katılan lifin tipi, lifin boyutu, miktarı, çekme dayanımı ve lif matris aderansı gibi pek çok parametre, betonun dayanımı, çatlak gelişim mekanizması ve durabilite özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca beton tokluğunu ve enerji yutma kapasitesi, darbe, aşınma direncini, yorulma direncini, kimyasallara karşı direnci, parçalanma direnci ve donma – çözünme çevrimine dirençlerini artırmaktadır [8-11].

Beton içindeki liflerle, yük altındaki davranışı betonun kırılma mekanizmasını üzerine etkili olduğu, gerilme –

Lifli betonlarda çatlaklar genel olarak dış yükler yanında durabilite etkilerinden dolayı meydana gelmektedir. Dış yüklerin olduğu yerlerde kullanılacak betonlarda, yüksek dayanımlı makro lifler, büyük çatlakları, zayıf dayanımlı mikro lifler ise mikro çatlakların başlangıcını ve gelişimini kontrol eder[18].

Makro ve mikro lifler, mikro çatlakları kritik çatlak haline gelmeden durdururlar. Mikro lifler çimento hamurunu, mezo lifler harç fazını ve uzun çelik lifler ise betonu durabilite ve mekanik etkilere karşı daha güçlü hale getirmektedir [19-22].



Şekil 1. Çatlakların köprülenmesinde lif boyunun ilişkisi(The relationship of fiber length in bridging cracks) [19]

deformasyon özelliğine bağlı olarak elastisite, tokluk, birim deformasyon, vs. gibi özelliklerin performansı da değişir. Betonda kullanılan farklı boy ve çaptaki lifler, beton bünyesinde meydana gelen makro ve mikro çatlakları oluşturan gerilmeyi sağlam bölgeye aktarırlar. Lifli betonun özelliği; artırılmış elastikiyet ve enerji tutma özelliğidir. Lifler çatlakların ilk oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üzerinden, sağlam alanlara transfer ederek göçmeyi geciktirmek işlevlerini yerine getirirler [11-12].

Liflerle güçlendirilmiş betonlarda liflerin matriste çatlak oluşuktan sonraki etkinliği daha fazladır. Çatlama sonrası dayanım ise lif uzunluğu, şekil ve boyutları ile gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır. Lifleri düzgün dağılım ve boşluğu az bir lifli betonun ilk çatlak dayanımı da yüksektir. Beton içinde homojen olarak dağılım bulunan, kısa kesilmiş lifler, betonda çatlak oluşmasını, çatlak yayılımını ve ilerlemesini geciktirir. Aşamalı olarak matristen sıyrılma ve kopma mekanizması ile betonun enerji yutma kapasitesini önemli oranda geliştirir[13].

Çelik lifli beton, özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir duktilite gösterir. Bu nedenle lif oranı arttıkça, kırılma enerjisi de artış kaydetmektedir. Bununla birlikte birçok araştırmacı beton üretiminde kullanılan liflerin taze betona kazandırdığı özellikler; rötre, büzülme, plastik çatlaklarını, segregasyonu, geçirimsizliği ve kıvamı azalttığını vurgulamaktadır[14-17].

Liflerin miktarları ve geometrik şekillerine bağlı olarak karşılaştıkları gerilmelerin bir kısmını kendi taşır, bir kısmını da matrisin sağlam bölgelerine transfer ettiği, yani köprü oluşturduğu Şekil 1. de gösterilmiştir. Özellikle kritik yüklemelerde, beton iç gerilmeleri çökme sınırına geldiğinde çelik liflerin beton içerisindeki davranışı ile daha iyi açıklanır [19, 20, 22].

Betonda ilk çatlaklar maksimum gerilmeye ulaşmadan daha önce meydana gelmektedir. Bu durum gerilme-birim deformasyon eğrilerinin yükselen kısmındaki doğrusallıktan sapma noktasında olduğu gözlenmektedir. 7 günlük numunelerde ilk çatlakın oluşması maksimum gerilmenin %50'sine karşı gelen gerilmeler civarında iken 28 günlük numuneler de ise bu değer yaklaşık %75'e yükselmiştir [18].

İlk çatlakın oluşumu sırasındaki deformasyonlar kontrol ve çelik lifli numunelerde hemen hemen aynı olmakla birlikte polipropilen lifli numunelerde %10-20 civarında daha düşük değerler verdiği belirtilmiştir. Çelik lifli betonlarda, yükleme eksenine dik olan lifler yanal deformasyonları, yüksek çekme dayanımları ve beton matrisle aralarındaki sürtünme ile oluşan aderans nedeniyle, azalttıklarından tokluk artmaktadır [19,20, 23].

Polipropilen liflerle yapılan çalışmalarda genellikle polipropilen lifli numunelerin lifsiz numunelerin eğilme değerleri birbirine çok yakın çıktığını belirtmişlerdir. Bu çalışmalarda polipropilen lifler yüksek dayanımlı betonun tokluğuna önemli bir etki yapmamaktadır. Oysa

bir çalışmada çelik lifler 7 günde %90, 28 günde ise %80 artış sağlamakta olduğunu görülmektedir. Gerek polipropilen gerekse çelik lifler yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını önemli ölçüde etkilememektedir. Diğer taraftan maksimum gerilmeye karşı gelen tokluk değerleri açısından ele alındığında polipropilen liflerin bu özelliğe herhangi bir etkileri yoktur. Buna karşılık çelik lifler %80 civarında bir artışa neden olmaktadır [16,19, 24].

Beton içerisindeki 25 µm boyutundan küçük filler malzeme miktarı 0-4 mm (kum) agreganın belirli oranında olması istenmektedir. Kum miktarı toplam agrega kütlelerinin en az %40-45'i olmalıdır. Kum içinde 25 µm boyutundan küçük filler malzeme ise en büyük tane (D_{max}) büyüklüğüne göre farklılık göstermektedir. D_{max} 16 mm için 0.25 mm filler malzeme 450 kg/m³ veya 150-155 dm³/m³ olması önerilmektedir. Genel olarak en uygun karışım için lif miktarı hacimce %0,5 ile %1,5 arasında olmaktadır. Bu oran en fazla %2' olması etkili bir fayda sağlayabilmek için hiçbir zaman %0,5 in altına düşürülmemesi önerilmektedir [16,18, 25, 26].

Bu çalışmada, mermer toz ikameli, farklı oranlarda makro sentetik ve çelik liflerle üretilen betonun taze ve sertleşmiş beton özelliklerinden, kırış numuneleri üzerinde ilk çatlakları oluşturan gerilmeler, eğilme dayanımı yanında en uygun fiziksel ve mekanik özellikleri sağlayan optimum lif oranı ve lif tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL And METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada beton üretiminde 0-4, 4-11 ve 11-22 mm aralıklarında kırma agrega grupları, hiper akışkanlaştırıcı, mermer tozu, makro sentetik ve çelik lif ile CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır.

2.1.1. Çimento ve karışım suyu (Cement and mixing water)

Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Beton karışımında Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

2.1.2. Lifler(Fibers)

Bu araştırmada kullanılan, makro sentetik lif 30 mm uzunluğunda dalgalı şekillenme ve dikdörtgen kesitli alanı ise yaklaşık 0.72 mm²'dir. Kancalı çelik lifin boyu 60 mm çapı 1 mm ve daire kesitlidir. Şekil 2'de görülen liflerin teknik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri(Chemical and physical properties of CEM I 42,5 R cement)

Kimyasal Kompozisyon	(%)
SiO ₂	21.09
Al ₂ O ₃	5.32
Fe ₂ O ₃	3.25
CaO	62.22
MgO	1.96
SO ₃	3.09
Na ₂ O	0.38
K ₂ O	0.82
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (kg/dm ³)	3.12
Blaine Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3320
Kızdırma kaybı (%)	2.37



Şekil 2. Karışımında kullanılan lifler(Fibers used in the mix)

Çizelge 2. Liflere ait teknik özellikler(Technical properties of fibers) [27,28]

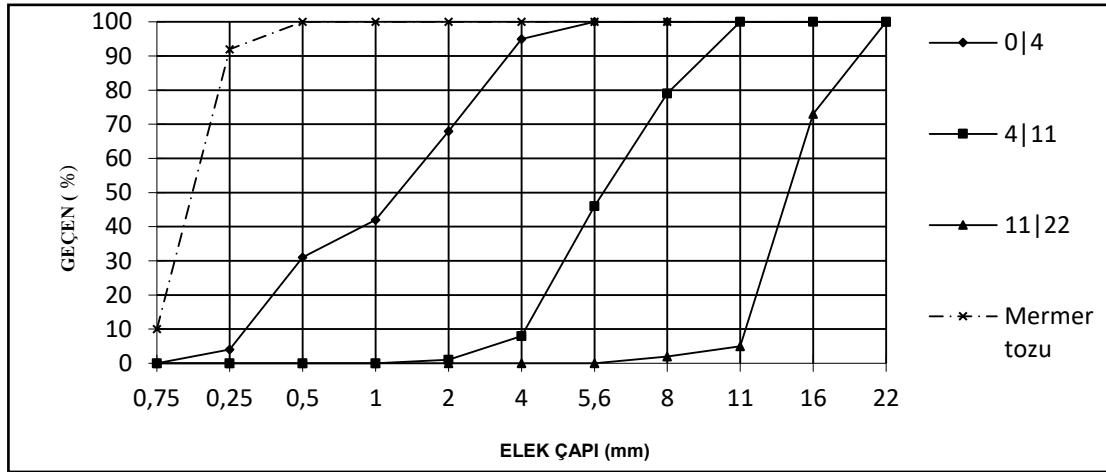
Özellikleri	Makro Sentetik	Çelik Lif
Renk	Gümüş gri	Metalik siyah
Yoğunluk(g/cm ³)	1.36	7.87
Uzunluk (mm)	30	60
Kalınlık (mm)	0.6	-
Genişlik(mm)	1.2	-
Çap (mm)	-	1
Çekme dayanımı (MPa)	400-800	1100
Akma sınırı (%)	24	-
Asit/ alkali dayanımı	900 joule	-
Erime noktası	150-170 °C	800
Elastisite modülü (MPa)	3500-6800	200000

2.1.3. Agrega ve mermer tozu(Aggregate and marble powder)

Karışım da 0-4, 4-11 ve 11-22 mm aralığında 3 grup kırma agregaya kullanılmıştır. Karışımında kullanılan 0-4

2.1.4. Katkı maddesi (Additive)

Polikarboksilat esaslı hiperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Bu katkı maddesi üretici firmanın önerisi doğrultusunda bağlayıcı miktarına ve beton tasarımına



Şekil 3. Agrega tane dağılımı eğrileri (Aggregate grain distribution curves)

kırma agregaya hacminin %46'sı mermer tozu ile ikame edilmiştir. Agregaların elek analizi sonunda tanelerin % geçen miktarları Şekil 3'de, yoğunluk ve su emmeleri Çizelge 3' de verilmiştir.

göre değişmekle beraber, genel kullanım oranı kütlece % 1-2 arasında olabileceği tavsiye edilmektedir. Kimyasal katkı maddesinin teknik özellikleri Çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 3. Agregaların fiziksel özellikleri (Physical properties of aggregates)

Agrega Tipi	Agrega grubu (mm)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Su emme (%)
Mermer tozu	0-0,5	2.63	1.15
	0-4	2.69	0.93
Kırma taş agregası	4-11	2.69	0.43
	11-22	2.69	0.23

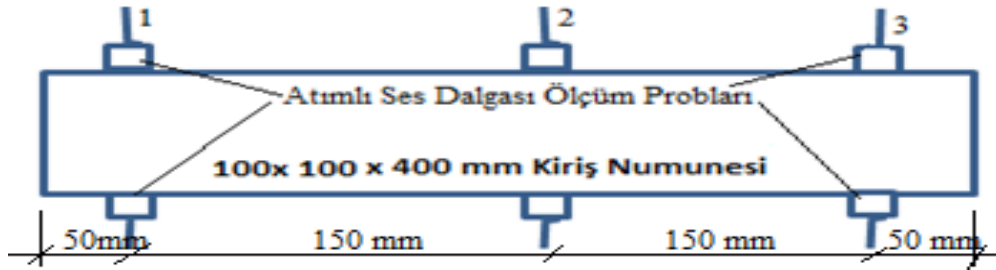
Çizelge 4. Kimyasal katkının teknik özellikleri (Technical properties of the chemical additive)[29]

Tip	Polikarboksilat
Görünüm	Açık kahve renkli sıvı
Yoğunluk (kg/dm ³)	1.06 ± 0.02
PH	5.00 ± 2
Alkali içeriği (%)	≤ 10 (EN 480-12)
Optimum dozaj (%)	% 1.2

2.2 Metot (Method)

Beton karışımı hesabı TS 802'ye göre yapılmıştır [30]. Beton karışımında; çimento, mermer tozu, kimyasal katkı ve agrega % miktarları sabit tutulmuştur. Araştırmada kullanılan lifler beton hacminin %'si olarak ilave edilmiştir. Üretilen taze betonlar üzerinde, TS EN 12350 – 2'ye [31] göre çökme (slump) deneyi, TS 3261'e [32] göre taze betonda hava miktarı belirlenir iken ve taze betonun birim ağırlığı ise ASTM C138'e [33] göre yapılmıştır.

Sertleşmiş beton üzerinde, tahribatsız testler; TS EN 12504-2'a [34] göre geri sıçrama değeri (beton test çekici) kiriş numunelerin yüzeyinde yapılmıştır. TS EN 12504-4'ye [35] göre ultrasonik atımlı dalga hızının tayini deneyinde bir kirişin üç farklı noktasında ölçüm yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Kirişin 3 farklı noktasından atımlı dalga hızı ölçümü alınması (Measuring pulsed wave velocity from 3 different points of the beam)

Tahribatlı testler; TS EN 12390-5'e [36] göre iki noktadan yükleme metoduyla betonun eğilme dayanımı 100 × 100 × 400 mm boyutundaki 7 ve 28 günlük örnekler üzerinde yapılmıştır. Deneyinin yükleme hızı, 0,04 MPa/s (N/mm².s) ve hesaplamada (1) nolu eşitlik kullanılmıştır.

İlk çatlak gerilmesi ise; iki noktadan yükleme metoduyla betonun eğilme dayanımındaki gibi 100 × 100 × 400 mm boyutundaki 7 ve 28 günlük örnekler üzerinde yapılmıştır. Burada video kamera ile ilk çatlaktaki kuvvet gözlemlenerek eğilme dayanımındaki (1) nolu eşitlik kullanılarak ilk çatlak gerilmesi bulunmuştur.

$$\sigma_e = F \cdot L / b \cdot d^2 \dots\dots\dots (1)$$

σ_e : Kiriş eğilme dayanımı, (MPa),

F : Kırılmaya neden olan yük, (N),

L : Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, (mm),

b : Deney numunesinin genişliği, (mm),

d : Deney numunesinin kalınlığı, (mm).

Betonun basınç dayanımı TS EN 12390-3'e [37] göre 150 mm'lik 7 ve 28 günlük küp örnekler üzerinde yapılmıştır. Deneyinin yükleme hızı, 0,6 MPa/s dir.

Betonun aşınma kaybı, ASTM C944 [38] standardına göre 150 mm'lik 28 günlük küp örnekler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 200 devir/dakika hızında dönen aşındırıcıyla her bir yüzeye 2 dakika boyunca maruz bırakılmıştır.

2.2.1. Beton karışım hesapları (Concrete mix calculations)

Çalışmada su/çimento oranı 0.54 sabit olarak alınmıştır. Kimyasal katkı maddesi, üretici firma önerisi doğrultusunda çimento ağırlığının %1.2 ve lifli beton standardına (TS 10514) [25]) göre < 0.25 mm boyutundaki mermer tozu 0-4 mm agrega grubu hacim %'sinin %46 olarak sabit alınmıştır (Çizelge 5).

Makro sentetik lif beton hacminin % 0.25, % 0.30 ve %0.35 oranlarında kullanılmıştır. Çelik lif beton hacminin % 0.50, % 0.75 ve %1.00 oranlarında kullanılmıştır. Bu karışım oranlarının her biriyle 7 ve 28 günlerde test edilmek için kiriş ve küp deney örnekleri hazırlanmıştır.

Çizelge 5. Beton karışım tasarımı ve bileşenlerinin miktarları (Concrete mix design and quantities of components)

Beton tipleri	Su	Çimento	Hava (%)	Kimyasal Katkı (%1.2)	Makro Sentetik Lif (%)	Çelik Lif (%)	Agrega grupları					
							0-4 (%48)		4-11 (%19)	11-22 (%33)		
							Mermer Tozu (%46)	0-4 (%54)				
Referans	kg	165	303	-	3.6	-	-	416	500	367	637	
Karışım (RB)	dm ³	165	97	18	3.4	-	-	158	186	136	237	
Makro Sentetik Lifli Karışım (MSLB)	% 0.25	kg	165	303	-	3.6	3.4	-	416	498	366	634
		dm ³	165	97	18	3.4	2.5	-	158	185	136	236
	% 0.30	kg	165	303	-	3.6	4.1	-	416	498	367	634
		dm ³	165	97	18	3.4	3.0	-	158	185	136	236
	% 0.35	kg	165	303	-	3.6	4.8	-	413	498	365	632
		dm ³	165	97	18	3.4	3.5	-	157	185	135	235
Çelik Lifli Karışım (CLB)	% 0.5	kg	165	303	-	3.6	-	39	513	498	365	632
		dm ³	165	97	18	3.4	-	5	157	185	135	235
	% 0.75	kg	165	303	-	3.6	-	59	410	495	365	629
		dm ³	165	97	18	3.4	-	7.5	156	184	135	234
	% 1.0	kg	165	303	-	3.6	-	79	410	492	362	627
		dm ³	165	97	18	3.4	-	10	156	183	134	233

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR (RESEARCH-FINDINGS and DISCUSSION)

Bu çalışmada 7 farklı karışımla üretilen beton tasarımı üzerinde taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir.

3.1. Taze Beton Özellikleri (Fresh Concrete Properties)

Çizelge 6'ya göre; taze beton işlenebilirliğini belirleyebilmek için çökme değeri Referans betonda 15 cm olarak ölçülmüştür. Hava miktarı %2,4 iken birim hacim ağırlığı 2427 kg/m³ olarak bulunmuştur

MSL karışımlarda lif oranı %0,25, %0,30 ve %0,35 katıldığında, çökme miktarı sırasıyla 13, 11 ve 10 cm,

%'si ise artmaktadır. Lif miktarı işlenebilirliği olumsuz olarak etkilerken sıkışma ve yerleşmeden kaynaklanan bir hava miktarında artma söz konusudur. Lif oranı arttıkça birim hacim ağırlık miktarı azalmakta olduğu Çizelge 6' da görülmektedir. Bütün taze beton karışımlarında lif oranı arttıkça taze betonun, hava % miktarı artmakta, çökme değeri ve birim hacim ağırlığı ise azalmaktadır. Taze beton deney sonuçlarının literatürle paralellik göstermektedir [1,3,4,7-11].

CL karışımlarda lif oranı %5,0, %7,5 ve %10,0 katıldığında çökmesi sırasıyla 12, 10 ve 8 cm hava miktarı %'si 3.1, 3.5 ve 4.2 olarak bulunken birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 2430, 2428 ve 2427 kg/m³ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6. Taze beton özellikleri (Fresh concrete properties)

Beton tipleri	Lif oranı (%)	Çökme miktarı (mm)	Hapsolmuş hava (%)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)
RB	-	15	2,4	2427
MSLB1	0,25	13	2,7	2424
MSLB2	0,30	11	3,4	2420
MSLB3	0,35	10	3,6	2418
CLB1	0,50	12	3,1	2430
CLB2	0,75	10	3,5	2428
CLB3	1,00	8	4,2	2427

hava miktarı %'si 2.7, 3.4 ve 3.6 olarak bulunurken birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 2424, 2420 ve 2418 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu karışımlar da lif oranı arttıkça, çökme ve birim hacim ağırlığı azalmakta hava miktarı

Her iki lif ilavesi ile üretilen betonlarda lif oranı arttıkça taze betonun çökme miktarı azalırken, hapsolmuş hava miktarı artmaktadır. Taze betonun birim hacim ağırlıkları lif oranı arttıkça azalmaktadır.

3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri (Hardened Concrete Properties)

3.2.1. Tahribatsız yöntemle beton özellikleri (Concrete properties with non-destructive method)

Tahribatsız testlerden ultrases ve beton test çekici ile lif cinsini ve lif % oranına bağlı bulunan dalga hızı ve beton test çekici geri sıçrama değerleri Çizelge 7’de verilmiştir.

tepme sayısı en düşük 28 çıkarken en yüksek 32 çıkmıştır. Karışımlara göre analiz edilecek olursa Referans betonun çekici geri sıçrama değer 32 çıkarken, Makro sentetik lifli betonun çekici geri sıçrama değer 28 ile 29 arasındadır. Çelik lifli betonun çekici geri sıçrama değer 30 ve 32 arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 7’e göre geri sıçrama değerlerinde MSL ilaveli

Çizelge 7. Sertleşmiş betonun tahribatsız test sonuçları(Non-destructive test results of hardened concrete)

Beton Tipleri	Lif Oranı	Ultrases Hızı km/ s	Geri Sıçrama Değeri
RB	-	4,19	32
MSLB1	0,25	4,10	29
MSLB2	0,30	3,99	29
MSLB3	0,35	3,81	28
CLB1	0,50	4,26	32
CLB2	0,75	4,20	31
CLB3	1,00	3,94	30

Araştırma sonucu elde edilen ultra ses hızının literatürde belirtilen kalite sınır aralığı (Çizelge 8) ile karşılaştırılarak betonun kalitesi hakkında değerlendirmeler yapılabilir.

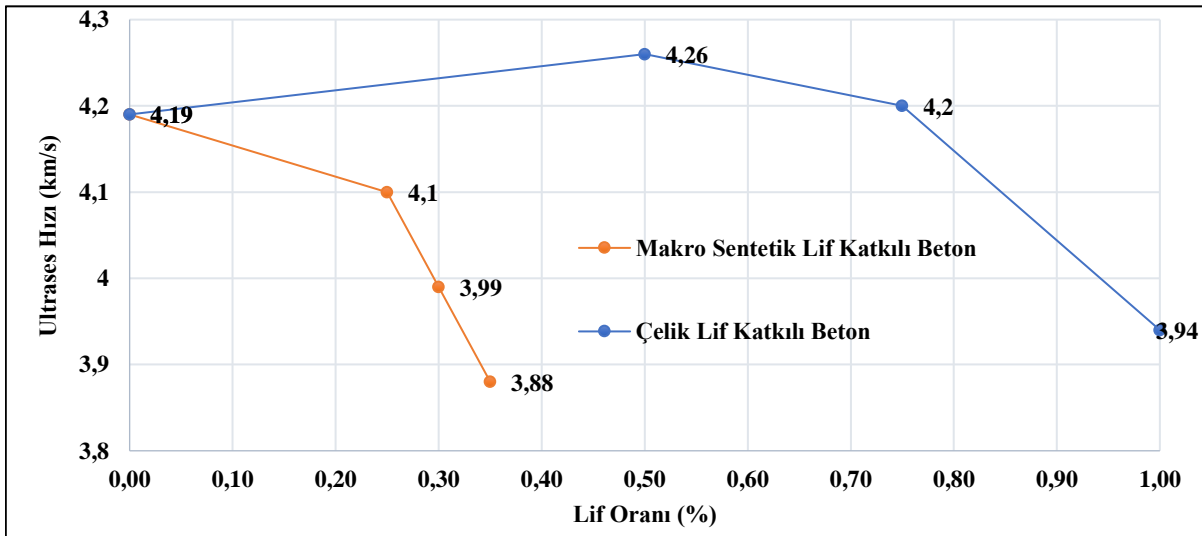
betonlarda RB’ye göre MSLB1 ve MSLB2’de %9.38, MSLB3’de %12.5 oranlarında azalma görülmüştür. CL ilaveli betonlarda ise RB ile kıyaslandığından geri sıçrama değerleri CLB1 için değişim göstermezken

Çizelge 8. Beton kalitesi ses hızı ilişkisi(Concrete quality sound velocity relationship)[24]

Ses hızı (V) km/s	> 4.5	3.5-4.5	3.0-3.5	2.0-3.0	<2.0
Beton kalitesi	Mükemmel	İyi	Şüpheli	Zayıf	Çok zayıf

Bütün karışımlardan üretilen numunelerin ses hızı 3.81-4.26 km/sn arasındadır (Çizelge 7). Elde edilen bu ses hızı değerlerine göre betonun kalitesi iyi olarak nitelendirilmektedir. Karışımların tamamından elde edilen numunelerin geri sıçrama değerleri ile ultrases hızına bağlı olarak beton kalitesi bakımından hiçbir fark yoktur.

CLB2 için %3.125, CLB3 için % 6.25 oranlarında azalma göstermiştir. Çizelge 7 ve Şekil 5’ de verilen Makro sentetik lifli betonların, RB’ye göre 28 günlük ultrases geçiş hızı karşılaştırıldığında MSLB1’de %2.15, MSBL2’de %4.77, MSLB3’de %7,4 oranlarında azalmaya neden olmuştur. CL’li 28 günlük numunelerde ise lif kullanılan bütün numunelerin ultrases geçiş hızı



Şekil 5. Makro sentetik ve çelik lif ilaveli betonların lif oranı-ultrases hızı ilişkisi (Relationship between fiber ratio and ultrasound velocity of concrete with macro synthetic and steel fiber added)

Çizelge 7’de verilen betonların geri sıçrama değeri 28 günlük kırışlar üzerinde yapılmıştır. Genel olarak geri

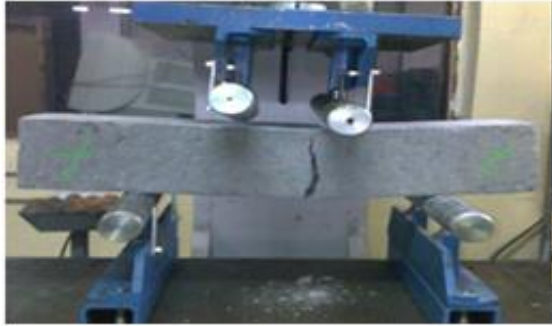
artan lif miktarına göre azalmış fakat SB ile kıyaslandığında değişim oranları ihmal edilebilir

düzeyde kalmıştır. RB'na göre ultrases geçiş hızında CLB1'de %1.67 ve CLB2'de %0.23 artış, CLB3'de %5.96 oranlarında azalma olmuştur.

Bu bölümde sonuç olarak; Elde edilen verilere göre makro sentetik ve çelik lif kullanımı ultrases geçiş hızını düşürmüştür. Bunun nedenini taze betonun çökmesi ve hava miktarı ilişkilendirdiğinde lif oranı artıkça taze beton içinde boşluk olduğu açıkça görülmektedir. Beton boşluk oranı ile ultrases geçiş hızı ters orantılıdır.

3.2.2. Kirişlerin ilk çatlak ve eğilme gerilmeleri (Initial cracking and bending stresses of beams)

Kirişlerin eğilme deneyinin yapılışı Şekil 6'da lif oranına bağlı kirişlerin eğilmede ilk çatlak gerilmesi (İÇG) ve eğilme gerilmesi (EG) ise Çizelge 9'da, ilk çatlak gerilmesi-Zaman grafiği Şekil 7'de Eğilme gerilmesi-Zaman grafiği ise Şekil 8'de görülmektedir.



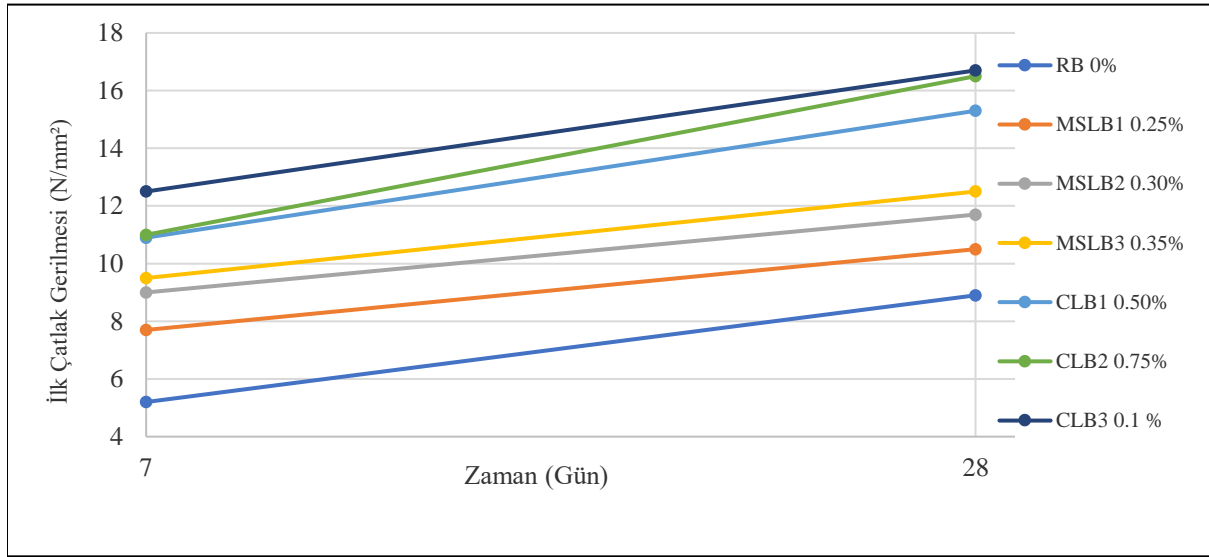
Şekil 6. Kiriş eğilme deneyi (Flexural test for beam)

Kirişlerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım deneylerinde ilk çatlak meydana getiren kuvvet tespit edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 9, Şekil 7 ve Şekil 8'e göre 7 günlük eğilme dayanımında ilk ve eğilme çatlaklarında; Makro

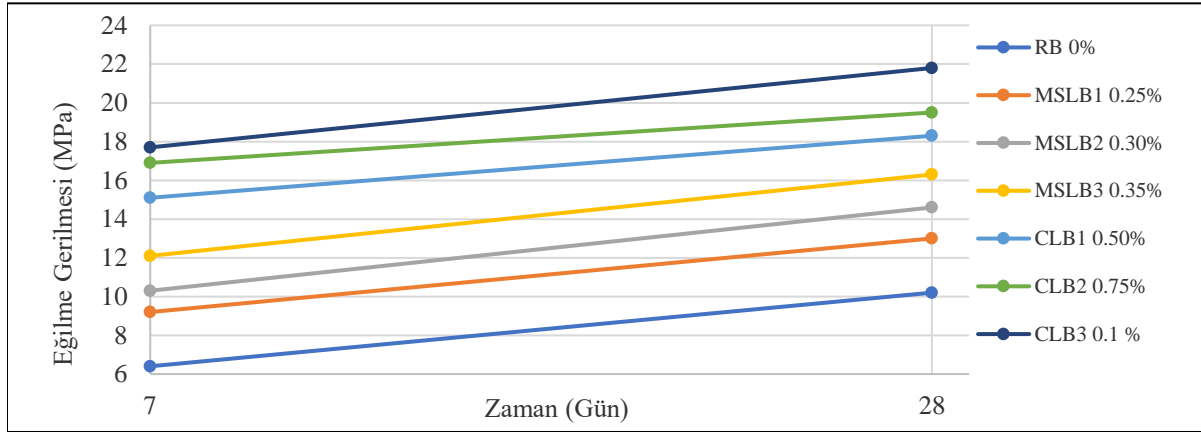
sentetik lifli beton kirişlerde lif artışı ilk çatlak gerilmesini de arttırmıştır. Aynı şekilde lif oranı artışı eğilme gerilmesi ile ilk çatlak gerilmesi arasındaki gerilmeyi de arttırmıştır. Referans kirişte (RB) ilk çatlak gerilmesi 5.2 MPa eğilme gerilmesi ise 6.4 MPa'dır. Burada ilk çatlakla eğilme gerilmesi arasında 1.2 MPa fark olduğu görülmektedir. Makro sentetik lif ilavesi %0,25, 0,30 ve 0,35 lif oran artışına göre ilk çatlak ve eğilme gerilmeleri artmıştır. En büyük ilk çatlak ve eğilme gerilmesi de %0,35 lif ilaveli betonda olmuştur. %0,35 lif ilaveli MSLB3 de ilk çatlak gerilmesi 9.5 MPa Eğilme gerilmesi ise 12.1 MPa'dır. Burada ilk çatlakla eğilme gerilmesi arasında 2.6 MPa fark olduğu görülmektedir. Çizelge 9 Şekil 7 ve Şekil 8'e göre 28 günlük eğilme dayanımında ilk ve eğilme çatlaklarında makro sentetik lifli beton kirişlerde; Lif oranı artışı eğilme gerilmesi ile ilk çatlak gerilmesi arasındaki gerilmeyi de arttırmıştır. Referans kirişte (RB) ilk çatlak gerilmesi 8.9 MPa eğilme gerilmesi ise 10.2 MPa'dır. Burada ilk çatlakla eğilme gerilmesi arasında 1.3 MPa fark olduğu görülmektedir. Makro sentetik lif ilavesi %0,25, 0,30 ve 0.35 lif artışına göre ilk çatlak ve eğilme gerilmeleri artmıştır. En büyük ilk çatlak ve eğilme gerilmesi de %0,35 lifli betonda olmuştur. %0.35 lif ilaveli MSLB3 de ilk çatlak gerilmesi 12.5 MPa eğilme gerilmesi ise 16.3 MPa'dır. Burada ilk çatlakla eğilme gerilmesi arasında 3,8 MPa fark olduğu görülmektedir. Makro sentetik lif kirişlerin eğilme dayanımlarının ilk çatlak oluştuğu gerilmeden sonra lif oranına ve beton yaşına göre farklılık göstermektedir. Açık olarak Çizelge 8 incelenip analiz edildiğinde lif oranı artıkça eğilme gerilmesi artmaktadır. Eğilme gerilmesindeki lif oranına bağlı artışlar 7 ve 28 günler birbirine paralellik göstermektedir.

Çizelge 9. Kirişlerin ilk çatlak ve eğilme gerilmeleri (Initial cracking and bending stresses of beams)

Beton Tipleri	Lif Oranı (%)	İlk Çatlak Gerilmesi (MPa)		Eğilme Gerilmesi (MPa)	
		7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
RB	0	5,2	8,9	6,4 (İÇG+1,2)	10,2 (İÇG +1,3)
MSLB1	0,25	7,7	10,5	9,2 (İÇG +1,5)	13 (İÇG +2,5)
MSLB2	0,30	9,0	11,7	10,3 (İÇG +1,3)	14,6 (İÇG +2,9)
MSLB3	0,35	9,5	12,5	12,1 (İÇG +2,6)	16,3 (İÇG +3,8)
CLB1	0,50	10,9	15,3	15,1 (İÇG +4,2)	18,3 (İÇG +3,0)
CLB2	0,75	11,0	16,5	16,9 (İÇG +5,9)	19,5 (İÇG +3,0)
CLB3	1,00	12,5	16,7	17,7 (İÇG +5,2)	21,8 (İÇG+5,1)



Şekil 7. İlk çatlak gerilmesi-zaman ilişkisi (Initial crack stress-time relationship)



Şekil 8. Eğilme gerilmesi-zaman ilişkisi (Flexural stress-time relationship)

Çizelge 9 Şekil 7 ve Şekil 8'e göre 7 günlük eğilme dayanımında ilk ve eğilme çatlaklarında Çelik lifli beton kırımlarında; Çelik lifli betonlar, çelik lifsiz Referans betona göre daha yüksek ilk çatlak ve eğilme gerilmesi oluşturmuşlardır. En yüksek ilk çatlak ve eğilme gerilmesi de %1 lifli betonda olmuştur. %1 lifli CLB3 de ilk çatlak gerilmesi 12.5 MPa Eğilme gerilmesi ise 17.7 MPa' dır. Burada ilk çatlakla eğilme gerilmesi arasında 5,2 MPa fark olduğu görülmektedir.

Çizelge 9 Şekil 7 ve Şekil 8'e göre 28 günlük eğilme dayanımında ilk ve eğilme çatlaklarında Çelik lifli beton kırımlarında; Çelik lifli betonların lif oranı artışına bağlı olarak ilk çatlak ve eğilme gerilmesi de artmıştır. Çelik lifli kırımların, çelik lifsiz Referans beton kırımlarına göre daha yüksek ilk çatlak ve eğilme gerilmesi oluşturmuşlardır. En büyük ilk çatlak ve eğilme gerilmesi de %1 lifli betonda olmuştur. %1 lif ilaveli CLB3 de ilk çatlak gerilmesi 16,7 MPa eğilme gerilmesi ise 21,8 MPa'dır. Burada ilk çatlakla eğilme gerilmesi arasında 5,1 MPa fark olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 9'da elde edilen veriler neticesinde; Genel olarak incelendiğinde lif oranı arttıkça ilk çatlak gerilmeleri ve eğilme gerilmelerinde, numunelerin eğilme dayanımlarında artış görülmüş, bu lif oranı-eğilme dayanımı ilişkisi literatüre paralellik göstermektedir [7-19]. Makro sentetik lifli beton numunelerinde lif oranı %0,25'den %0,30'a artırıldığında çatlak gerilmelerinde %15 artma görülürken, lif oranı %0,30 dan %0,35'e artırıldığında yaklaşık %5 oranında artma görülmüştür. Çelik lifli beton numunelerinde ise 28 günlük sonuçlar incelendiğinde her %0,25 oranında çelik lif ilave edilmesi eğilme gerilmesinde yaklaşık 1 MPa dayanım artışı sağlarken, ilk çatlak gerilmesinde 0,50 ve 0,75 çelik lif ilavelide 7 günde hemen hemen aynı dayanımları vermiş, 28 gün sonunda çelik lif oranı 0,75 olan numunede yaklaşık 1,2 MPa dayanım farkı oluşmuştur. 1,00 oranında çelik lif içeren betonda ise Referans numuneye göre 7. günde yaklaşık %58, 28 günde yaklaşık %47 eğilme dayanımı artışı görülmüştür.

7 ve 28 günlük kırış numuneler de kullanılan her iki tip lif oranı arttıkça ilk çatlak gerilmesi ve eğilme gerilmesi doğal olarak artmaktadır. Lif tipine göre

değerlendirilecek olursa çelik lifler daha yüksek ilk çatlak ve eğilme gerilmelere sahip olduğu Çizelge 9'da görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak, çelik lif içeren betonun eğilme dayanımında daha iyi olduğu görülmüştür.

Genel olarak lifli betonların ilk çatlak gerilmesi ve eğilme gerilmesi davranışları, lif % oranı ile çatlak ilişkisi Tokyay ve ark.[18] ile Qian et al. [19] yaptıkları çalışmaya paralellik göstermektedir.

3.2.3. Beton basınç dayanımı (Concrete compressive strength)

Makro sentetik ve Çelik lifli betonların basınç dayanımı-zaman ilişkisi ise Şekil 9'de, verilmiştir. Şekil 9'e göre makro sentetik lif kullanılan betonların 7 günlük basınç dayanımlarında düşüşler görülmüş, 28 günlük basınç dayanımlarında ise artışlar görülmüştür. RB'ye göre makro sentetik lifli betonların 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında MSLB1 %3.10, MSLB2 %4.83, MSLB3 %5.86 oranlarında azalmıştır. 28 günlük basınç dayanımlarında ise MSLB1 %0.84, MSLB2 %8.10, MSLB3 %4.47 oranlarında artış görülmüştür.

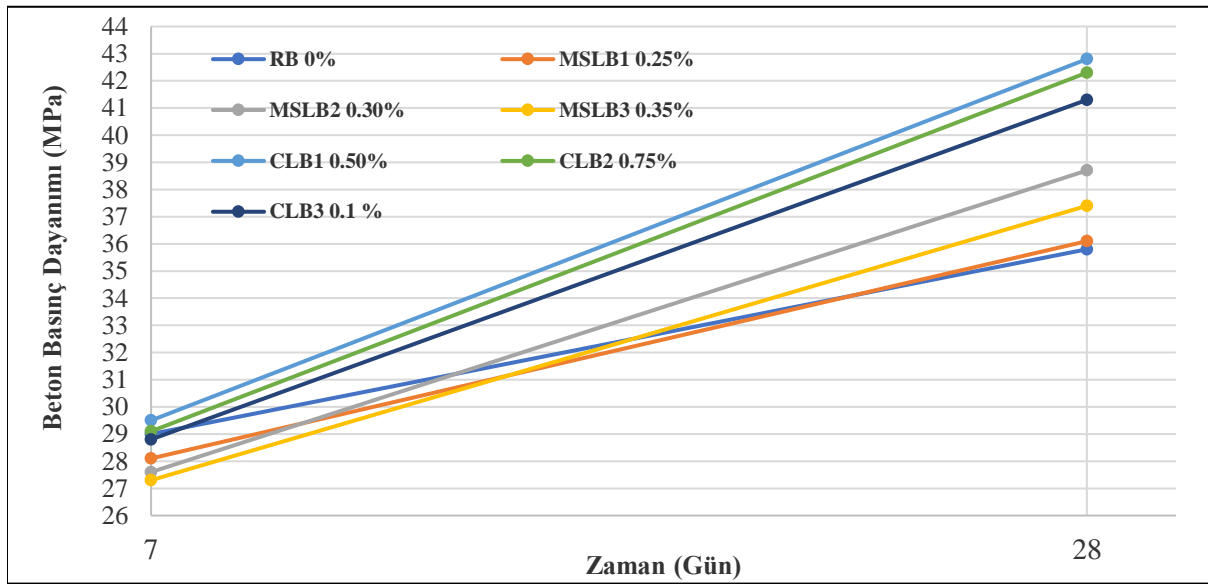
oranlarında değişimler olurken, 28 günlük numunelerde ise bu oranlar CLB1 %19.55, CLB2 %18.16, CLB3 %15.36 oranlarında artışa neden olmuştur.

Her iki lif tipinin de 7 günlük numunelerin basınç dayanımları üzerine çok fazla etkisi olmadığı görülmüştür. Buna karşılık 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarında artışlar gözlenmiştir. 28 günlük Çelik lifli numunelerin basınç dayanımındaki artış, makro sentetik lif kullanılan numunelere göre daha yüksektir.

Lifli betonların basınç dayanımları lif oranına bağlı olarak sistematik bir azalma yada artma söz konusu değildir. Bu konuda yapılan lif cinsi, boyutu ve miktarına göre bazı çalışmalarda arttığı, bazılarında ise azaldığı belirtilmelidir[10, 18, 24]

3.2.4. Betonun aşınma direnci (abrasion resistance of concrete)

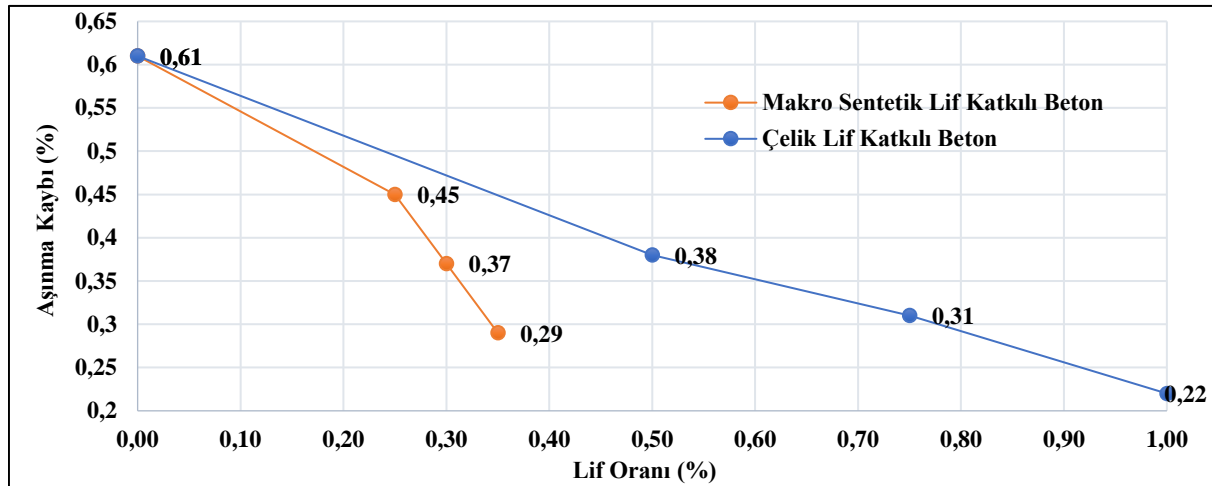
Lifli beton numunelerinin lif oranı-aşınma kaybı ilişkisi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'de görüldüğü gibi makro sentetik ve çelik lifli oranı arttıkça, aşınma kaybı % oranına azalmaktadır. Yani lif oranı ile aşınma kaybı



Şekil 9. Beton basınç dayanımı-zaman ilişkisi (Concrete compressive strength-time relationship)

Şekil 9'a göre çelik lifli 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımları RB'ye göre karşılaştırıldığında 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında ihmal edilebilecek kadar küçük farklar gözlenmiştir. Buna karşılık 28 günlük numunelerde basınç dayanımında büyük artışlar elde edilmiştir. 7 günlük numunelerde RB'ye göre CLB1 %1.72, CLB2 %0.35, CLB3 %0.69

arasında ters orantı söz konusu ve bu ters orantı literatüre paralellik göstermektedir. Şekil 10 incelenip analiz edildiğinde; referans (lif oranı %0,00) betonun aşınma kaybı en yüksek iken, en düşük aşınma kaybı ise en yüksek lif oranıyla üretilen numunelerde meydana gelmiştir.



Şekil 10. Lifli betonların lif oranı-aşınma kaybı ilişkisi (Fiber ratio-wear loss relationship of fibrous concrete)

Makro sentetik lif numunelerin aşınma oranı incelenip analiz edildiğinde lif oranı %0.25 iken aşınma kaybı %0.45 olarak hesaplanmıştır. Lif oran %0.30'a artırıldığında aşınma kaybı %17.78 azalarak %0.37'ye, lif oranı %0.30'dan %0.35'e artırıldığında ise aşınma kaybı %21.62 azalarak %0.29'a düşmüştür.

Şekil 10'e göre çelik lifli betonların aşınma kaybı incelendiğinde, çelik lif oranı %0.50 iken aşınma kaybı 0.38 olarak ölçülmüş, lif oranı %0.75'e artırıldığında aşınma kaybı değişimi %18.42 azalarak %0.31'e düşmüştür. Lif oranı %0.75'ten %1.0'a artırıldığında ise değişim %29.03 olarak ölçülüp aşınma kaybı yüzdesi %0.22 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak literatürlerde lif oranı ile aşınma kaybı arasında ters orantı olduğu bilinmektedir.

Çelik lifli beton numuneleri ile makro sentetik lifli beton numuneleri karşılaştırıldığında ise çelik lifli betonun aşınma kaybının lif oranının artışına ters orantılı olarak azalmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (CONCLUSIONS and RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Makro sentetik lifli ve çelik lifli karışımlarda lif oranı arttıkça, mermer tozu katkılı betonda işlenebilirliği olumsuz etkilerken sıkışma ve yerleşmeden kaynaklanan az bir oranda hava boşluğunun oluştuğu görülmüştür. Lif oranı arttıkça birim hacim ağırlığında azalmakta olduğu belirlenmiştir.
- Makro sentetik lifli beton kirişlerde; Lif oranı arttıkça ilk çatlak ve eğilme gerilmeleri arttırmıştır. Makro sentetik lif kirişlerde ilk çatlak oluşuran gerilme ile eğilme dayanımları beton yaşına göre farklılık göstermektedir.
- Çelik lifli mermer tozlu beton kirişlerde; Kirişlerdeki lif oranı artışına bağlı olarak ilk çatlak ve eğilme

gerilmesi de artmıştır. Çelik lifli kirişlerin, çelik liffsiz Referans kirişe göre daha yüksek ilk çatlak ve eğilme gerilmesi oluşturmuşlardır. Genel olarak incelendiğinde beton kirişlerde lif oranı arttıkça ilk çatlak gerilmeleri ve eğilme gerilmelerinde artış görülmüştür.

- Lif oranları birbiriyle karşılaştırıldığında 7 ve 28 günlük kiriş numuneleri her iki tip lif için lif oranı arttıkça ilk çatlak gerilmesi ve eğilme gerilmesi doğal olarak artmaktadır. Lif tipine göre değerlendirilecek olursa çelik lifler daha yüksek ilk çatlak ve eğilme gerilmelere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak, çelik lif içeren betonların eğilme dayanımının daha iyi olduğu görülmüştür.
- Makro sentetik lif kullanılan mermer tozlu betonların 7 günlük basınç dayanımlarında azalmalar görülmüş, 28 günlük basınç dayanımlarında ise artışlar görülmüştür.
- Çelik lifli mermer tozlu betonların 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımları RB'ye göre karşılaştırıldığında 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarında ihmal edilebilecek kadar küçük farklar gözlenmiştir. Buna karşılık 28 günlük numunelerde basınç dayanımında büyük artışlar elde edilmiştir.
- Çelik lifli mermer tozlu betonların basınç dayanımındaki artış, makro sentetik lifli betonların basınç dayanımlarına göre daha yüksektir. Lif kullanılan numunelerin 28 günlük basınç dayanımı artışları lifin erken çatlak oluşumunu önlemesiyle açıklanabilir.
- Makro sentetik ve çelik lifli betonların aşınma kaybı verileri incelendiğinde, artan lif oranına bağlı olarak aşınma kayıpları azalmıştır.
- Çelik lifli betonlar ile makro sentetik lifli betonların aşınma kaybı karşılaştırıldığında ise çelik lifli betonların aşınma kaybı daha azdır.

Sonuç olarak; mermer tozlu taze betonda lifli karışımlar da lif oranı arttıkça, işlenebilirliği olumsuz olarak etkilerken birim hacim ağırlıklarını da düşürmüştür. Lif tipine göre değerlendirilecek olursa çelik lifler eğilme dayanımında, ilk çatlak ve eğilme gerilmelerinde, basınç ve aşınma dayanımında daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda agresif ortamlarda farklı lif çeşitleri ve mineral katkılarla üretilen betonların mekanik fiziksel ve durabilite özellikleri incelenmelidir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (STATEMENT OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Osman ŞİMŞEK: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Şükrü DEMİR: Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Rossi, P., "Steel fiber reinforced concrete an example of french research", *Materials Journal*, 91, 3, (1994).
- [2] Barr, B.I.G., Evans, G., J., "Fracture characteristics of fibre reinforced lightweight concrete", *Rilem Technical Committee* 49 TFR 17, 401-407, (1986).
- [3] 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).
- [4] Falkner, H., Huang, Z., Teutsch, M., "Comparative study of plain and steel fibre reinforced concrete ground slabs", *Concrete International*, 45-51, (1995).
- [5] Folliard, 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).
- [6] Yılmaz, Ü.S., "Eksenel yük etkisindeki çelik tel fiber takviyeli etriyeli betonarme kolonların davranışı", *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2001).
- [7] Richardson, A.E., Coventry, K. Landless, S., "Synthetic and steel fibers in concrete with regard

to equal toughness", *Structural Survey*, 28, 355-369, (2010).

- [8] Yehia, 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).
- [9] Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F. Taymuş, R.B., Güler, S., "Çelik ve sentetik liflerin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özellikleri üzerine etkisi" *ÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi* 6(2), 560-570, (2017).
- [10] Şimşek O., Toklu K. ve Ünal M.T., "Çelik liflerin geometrik şeklinin ve oranının beton özelliklerine etkisinin araştırılması ", *Politeknik Dergisi*, (24), 409-415, (2021).
- [11] Şimşek O., "Lifli betonlarda optimum silis dumanı ikame oranının belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 23(3), 729-735, (2020).
- [12] Yıldırım, S.T., Ekinci, C.E., "Çelik, cam ve polipropilen lifli betonlarda donma-çözülme etkilerinin araştırılması", *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 18(3), 359-366, (2006).
- [13] Shah, S.P., Rangan, B.V., "Fiber reinforced concrete properties", *Journal Proceedings*, 68(2), 126-137, (1971).
- [14] Barr, B.I.G., Liu, K., "Fracture of GRC materials", *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 4(3), 163-171, (1982).
- [15] Gökçe M. "Determining the physical properties of polymer in different admixtures used for self-compacting cement paste by ESEM". *Micron*. Volume 139, Dec; (2020):102953.
- [16] ACI Committee 544, "State-of-the-art report on fiber reinforced concrete", *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan, USA, (2009).
- [17] Şimşek, O., Erdal, M., Sancak, E., "Silis dumanının çelik lifli betonun eğilme dayanımına etkisi" *GÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 211-216, (2005).
- [18] Tokyay, M., Ramyar, K. ve Turanlı, L., "Polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Ulusal Beton Kongresi Bildireler Kitabı, 303 – 311, (1991).
- [19] Qian, C., Stroven, P., Dalhuisen, D. H. and Moczko, A., "Fracture properties and acoustic emission response of hybrid polypropylene-steel fibre reinforced concrete", *Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes* (FRC), 491-500, (2000).
- [20] Taşdemir, M.A., Bayramov, F. ve Yerlikaya, M., "Geleneksel ve yüksek performanslı çelik donatılı

- betonlar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, 76-84, (2003).
- [21] Nelson, P.K., Li, V.C. ve Kamada, T., “Fracture toughness of microfiber reinforced cement composites”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14, 5. 384-391, (2002).
- [22] Eyyubov, C., Köksal, F. ve Ünal, B., “Polipropilen ve çelik liflerin donma çözülme ve aşınma dirençlerine ortak etkisi”, *5. Ulusal Beton Kongresi*. Betonun Dayanıklılığı Bildiriler Kitabı, 345-354, (2003).
- [23] Çivici, F., Eren, İ., “Lifli betonun direkt çekme dayanımının ölçülmesi üzerine deneysel bir çalışma”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 434, (2004).
- [24] Şimşek, O. “Beton ve Beton Teknolojisi”. 6. Baskı, **Seçkin Yayınevi**, Ankara, (2020).
- [25] TS 10514 “Lif takviyeli betonun karışım oranları ve imalatı için kurallar”, (2015).
- [26] Gökçe, M., Dalmış K., Şimşek, O., “Farklı tip akışkanlaştırıcı katkı ile değişik oranlarda mermer tozu taze ikame edilen betonların performansı ”, *Uluslararası Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, (2008).
- [27] <http://www.lamatassina.it/catalogo/macro-fibra-polimerica-strutturale-graminflex/> erişim tarihi 12.10.2020.
- [28] Dramix beton için çelik teller el kitabı”, *Beksa Çelik Kord. San. ve Tic. AŞ., İzmit*, 1-21 (2008).
- [29] <https://www.yumpu.com/en/document/read/39416940/sika-viscocrete-hi-tech-33>. (2008) erişim tarihi 12.10.2020.
- [30] TS 802, “Beton karışım hesap esasları”, (2016).
- [31] TS EN 12350 – 2 “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi”, (2019).
- [32] TS 3261 “Taze betonda hava miktarının hacim yöntemi ile tayini”, (2019).
- [33] ASTM C 138 “Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete”, (2017).
- [34] TS EN 12504-2 “Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene - Geri sıçrama sayısının belirlenmesi”, (2013).
- [35] TS EN 12504-4 “Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini”, (2012).
- [36] TS EN 12390-5 “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri -Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini”, (2019).
- [37] TS EN 12390-3 “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini”, (2019).
- [38] ASTM C944 “Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method”, (2019).