



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

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

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



# Lifli betonlarda optimum silis dumanı ikame oranının belirlenmesi

## *Determination of optimum substitute rate for silica fume in fiber concrete*

Yazar(lar) (Author(s)): Osman ŞİMŞEK

ORCID: 0000-0003-3842-5541

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Şimşek O., “Lifli betonlarda optimum silis dumanı ikame oranının belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 729-735, (2020).

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

**DOI:** 10.2339/politeknik.574516

# Lifli Betonlarda Optimum Silis Dumanı İkame Oranının Belirlenmesi

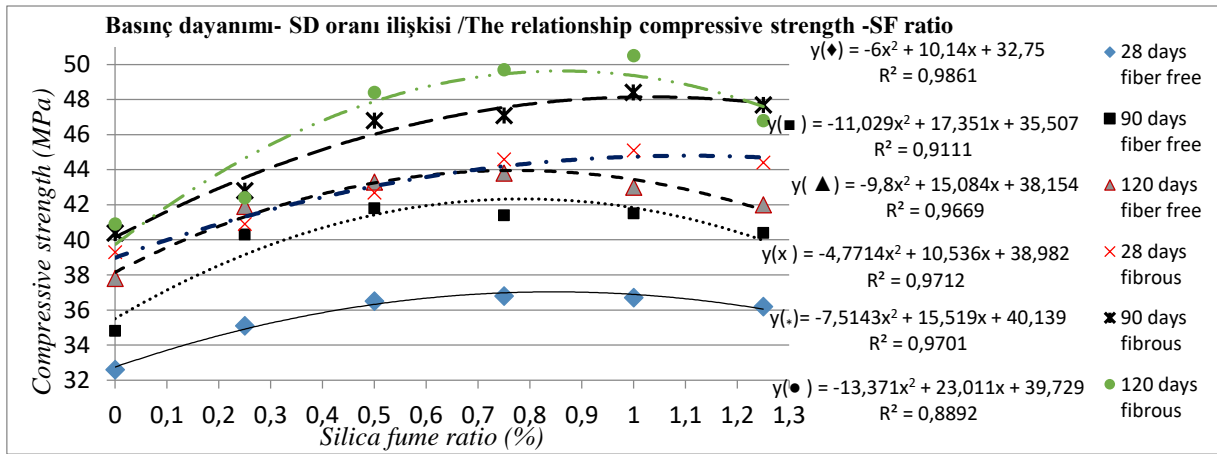
## Determination of Optimum Substitute Rate for Silica Fume in Fiber Concrete

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Silis dumanı ikame oranlarının lifli ve lifsiz beton taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi/ (Effect of silica fume substitution rates on fresh and hardened properties of fibrous and fiber free concrete)
- ❖ Karışımlarda kullanılan silis dumanın optimum oranın belirlenmesi/( Determination of the optimum ratio of silica fume used in mixtures)

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, silis dumanı ikame oranlarının lifli ve lifsiz beton üretilmiştir. Betonların 28, 90 ve 120 gün basınç dayanım özellikleri incelenmiştir. En uygun özellikler,% 10 silis duman ikameli örnekler vermiştir./ (In this study, fiber and fiber-free concrete of silica fume substitution rates were produced.. 28, 90 and 120 days compressive strength properties of concretes were investigated. The most favorable properties gave examples of 10% silica fume replacement.)



### Amaç (Aim)

Silis dumanı ikameli betonlarda en uygun taze ve sertleşmiş beton özelliklerini sağlayan optimum silis dumanı oranının belirlenmesi / ( Determination of the optimum ratio of silica fume, which provides the most suitable fresh and hardened concrete properties in concrete with silica fume substitution)

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Araştırmada beton sınıfı C 25 hedeflenen SD oranları ile karışımlar tasarlanmıştır. Taze betonların işlenebilirlik testi yanında sertleşmiş betonların 28, 90 ve 120 günlük basınç testleri yapılmıştır. / (In the research, mixtures with SF ratios were designed with the aim of concrete class C 25. Besides the workability test of fresh concrete, 28, 90 and 120 day pressure tests of hardened concrete were performed).

### Özgünlük (Originality)

Silis dumanının farklı ikame oranına bağlı olarak lifli ve lifsiz beton üretiminde, taze beton işlenebilirliklerinin ve basınç dayanımlarının belirlenmesi / (Determination of fresh concrete workability and compressive strengths in the production of fibrous and fiber free concrete depending on the different substitution rate of silica fume)

### Bulgular (Findings)

Taze betonun slump ve Vebe değerleri ile SD oranı ters ilişki göstermiştir. Beton basınç dayanımı silika duman ikame oranı% 10'a kadar doğrusal bir ilişki gösterirken, % 10'dan sonra bir azalma meydana gelmiştir./ (Slump and Vebe values and SF ratio of fresh concrete showed inverse relationship. While the concrete compressive strength silica fume substitution rate showed a linear relationship up to 10%, a decrease occurred after 10%).

### Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada, lifsiz betonda optimum silis dumanı % 7.5, lifli betonda optimum silis dumanı % 10 bulunmuştur. / (In this study, optimum silica fume was found 7.5% in fiber-free concrete and optimum silica fume in fibrous concrete was 10%.)

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

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

# Lifli Betonlarda Optimum Silis Dumanı İkame Oranının Belirlenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Osman ŞİMŞEK\***

Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 10.06.2019 ; Kabul/Accepted : 06.08.2019)

## ÖZ

Bu araştırmada, lifli beton üretiminde maksimum kompasiteyi sağlamak için, lif ve süper akışkanlaştırıcı (SA) miktarı sabit tutularak farklı oranlarda silis dumanı(SD) ikame edilmiştir. Çimento miktarı sırasıyla ağırlıkça % 0(KB): %2.5, %5, %7.5, %10 ve %12.5 oranlarında SD ikame edilmiştir. Bu karışımlarla 100x100x100 mm boyutunda küp deney numuneleri üretilmiştir. Taze beton üzerinde işlenebilirlik testlerinden çökme ve Ve-Be deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde 28, 90 ve 120 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır.

Bütün karışımlarda, SD oranı ile işlenebilirlik arasında ters ilişki olduğu görülmüştür. Taze betonun işlenebilirlik özelliği üzerinde SD oranı etkili olmuştur. Karışımlardaki SD oranı arttıkça çökme azalmış ve Ve-Be süresi uzamıştır.

Bütün karışımlarda, beton yaşına bağlı olarak basınç dayanımında doğal olarak belirli oranda artış görülmüştür. Lifsiz numunelerde KB'ye göre SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Bütün yaşlarda en büyük basınç dayanımı %7.5 SD oranı ile üretilen numunelerde elde edilmiştir. Lifli numunelerde LB 'ye göre SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Bütün yaşlarda en büyük basınç dayanımı artışı %10 SD oranı ile üretilen numunelerde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Silis dumanı, çelik lif, lifli beton.

## Determination of Optimum Substitute Rate for Silica Fume in Fiber Concrete

### ABSTRACT

In this study, in order to ensure maximum complexity in fiber concrete production, different amounts of silica fume (SF) were substituted by keeping the amount of fiber and super plasticizer (SP) constant. The amount of cement was replaced by SF at 0% (RC): 2.5%, 5%, 7.5%, 10% and 12.5% by weight, respectively. Six 100 x 100 x 100 mm cube test samples were produced with these mixtures. Slump and Ve-Be tests were carried out on processability tests on fresh concrete. 28, 90 and 120 days compressive strength tests were performed on hardened concrete samples.

In all mixtures, it was found that there was an inverse relationship between SF ratio and workability. SF ratio was effective on the processability of fresh concrete. As the SF content of the mixtures increased, the precipitation decreased and the Ve-Be duration was extended time.

In all mixtures, there was a certain increase in compressive strength naturally depending on the age of the concrete. In fiberless samples, the compressive strength increased as the ratio of SF to RC' increased. The highest compressive strength of all ages was obtained with 7.5% SF. In fiber samples (FC): compressive strength increased as SF ratio increased. The highest compressive strength increase at all ages was obtained in samples produced with 10% SF ratio.

**Keywords:** Silica fume, steel fiber, fiber concrete .

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton, dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Bu yaygın olarak kullanılan malzemenin üretiminde, son yıllarda beton kimyasallarındaki hızlı gelişmeye bağlı olarak, beton üretiminde yüksek performansının yanında düşük maliyetini de beraber getirmiştir.

Beton üretimindeki kalite artışına, beton bileşenlerin optimum oranlanması, beton tasarımı, malzeme seçimi, katkı maddeleri yanında betonun taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve korunması gibi etkenler önemli katkı sağlamıştır. Söz konusu etkenlerden dolayı

beton basınç dayanımı geçmiş yıllara göre yaklaşık 1.5-2 katı artmıştır [1-3]. Katkı maddesi ile sağlanan dayanım artışları yüksek dayanımlı betonların üretimine ve kullanılmasına neden olmuştur. Yüksek dayanımlı beton üretimindeki temel mantık ise agrega çimento hamuru ara yüzey bölgesindeki boşluğun azaltılmasıdır. Boşluğun azaltılması kompasiteyi artırmak anlamına gelir. Ayrıca agrega-çimento ara yüzeyinde homojenliği sağlamak ve kompasiteyi artırmakla, beton içyapısındaki mikro çatlakların oluşmasını en aza indirmek mümkündür. Yüksek performanslı ve dayanımlı beton üretiminde süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla birlikte puzolanik malzeme olan silis dumanı(SD): yüksek fırın cürufu(YFC) ve uçucu kül (UK) kullanılmaktadır. Betonda kullanılan puzolanik katkı

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

betonun birçok özelliklerini de olumlu yönde etkilemektedir. Bu olumlu özellikler şu şekilde özetlenebilir; i) Dayanıklılığın artması, ii) Basınç dayanımının artması, iii) İç boşluğu en aza indirmesi (doluluğu artması): iv) Terleme ve su emmesinin azaltılması, v) Ekonomiye ve çevreye olumlu katkı sağlamaktadır[1, 3-5]. Bu puzolanik katkı madde içinde SD en ince(küçük) taneli olanlardır. Bu özeliğinden dolayı SD taze betonda iç kohezyonu artırır. Böylece iri agregatanelerinin altında oluşan terleme kanalları ve boşlukları ortadan kalkar. Taze betonda terlemenin azalması, hamur-agrega ara yüzeyinin yoğunluğunun artmasına, ayrışmanın azalmasına, oturma çatlaklarının azalması ve sertleşmiş beton beklenen özelliklerinin artmasına yol açar. Ayrıca çelik lifli beton üretiminde SD kullanımının büyük avantaj sağladığı birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır [1, 6-7].

Yeğınobalı [8]'nin belirttiğine göre, *Ezeldin ve Balaguru*'nun yaptıkları çalışma sonucu silis dumanının %20 oranına kadar betona ikamesi ile betonun çelikle olan aderansını, betonun basınç dayanımının karekökü ile orantılı olarak *arttırdığını* saptamışlardır. Ayrıca, çimento hamurundaki gözeneklerin azalması, yapışma özelliğinin artması daha homojen ve geçirimsiz bir yapı meydana getirmektedir [8-10].

Beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak betonun bazı özelliklerini iyileştirmek için farklı şekillerdeki çelik, cam, karbon fiber, polietilen ve polipropilen liflerin, kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır [11, 12].

Çelik liflerin betona ilavesi ile elde edilen lifli beton, normal betona göre daha esnek/ sünek bir davranış sergilemekte ve çatlak büyümesi için gerekli enerji artmaktadır. Karışım sırasında liflerin topaklaşmasının engellenmesine yönelik tedbirlerin alınmalıdır. Liflerin topaklaşması engellendiğinde, bu çelik liflerin, çatlak genişliklerini, çatlak sayısını ve giriş deformasyonunu önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. Bununla birlikte, yükün tekrar kaldırılması ile erken yaştaki kırışte bulunan çatlakların kapanma oranının artması, deprem yükleri gibi tekrarlı yüklere maruz kalan yapılar için önemli bir avantaj sağladığını vurgulamaktadır [13- 15]. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla, liflerin beton iç yapısından ayrılması ve uzamaları nedeniyle emilen enerji, lifli betonlarda oldukça fazladır. Lifli betonların sünekliği ve tokluğunda lifsiz betonlara göre önemli artışlar sağlanmaktadır [14, 16]. Beton üretiminde kullanılan çelik lifler; değişik kesit ve boyutlarda olmaktadır. Lifleri tanımlayan öğeler, lifin sahip olduğu mekanik ve biçimsel özelliklerdir. Bu özellikler; lif uzunluğu/lif çapı, geometrik yapı ve lifin çekme gerilmesi olarak söylenebilir. Şimdiye kadar yapılmış

tüm çalışmalarda betona lif ilave edilmesiyle işlenebilirlikte, önemli miktarlarda azalma, boşluk miktarında ise artış tespit edilmiştir. İşlenebilirlik, lifin geometrik yapısına ( kıvrımlı, düz, çift kenarlı ve çengelli) göre değişkenlik gösterdiği birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir [7, 13, 14, 16]. Çelik lifli betonların performansının hava meydanlarında, kavitasyon ve eğilme etkisine maruz yerlerde, lifsiz betona göre oldukça yüksek olduğu saptanmıştır [17, 18]. Günümüzde yüksek dayanımlı beton üretiminde tane inceliği ve kimyasal özelliğinden dolayı SD katkısı kullanımı tercih edilmektedir [9, 13, 19]. SD, çok yüksek özgül yüzeyi sayesinde serbest suyun bir kısmını absorbe etmekte ve dolayısı ile terleme azalmakta ve taze betonda viskoziteyi, kohezyonu artırmakta ve dolayısı ile ayrışmayı azaltmaktadır. SD'nın çimento yerine kullanılması durumunda, betonda, hidrasyon ısısı azalmakta ve bundan dolayı da priz süresi gecikmektedir. SD kullanımıyla; geçirimsizlik artarken, terleme azaldığı artmaktadır. SD'nın bu olumlu etkisinden dolayı lifli betonlarda basınç ve eğilme dayanımlarını artırmasına neden olmaktadır [19- 21]. Çimentonun % 15'i yerine ikame edilen SD ile sülfata dayanıklı çimento özellikleri elde edilebilmektedir. Yapılan testlerde % 5 oranında SD içeren betonların % 20-30 oranında SD içeren betonlara göre daha yüksek don direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. Hem filler hem de puzolan rolü üstlenen SD tanecikleri çimento hamuru ve agregayı yoğun bir yapıya kavuşturmuştur [22, 23].

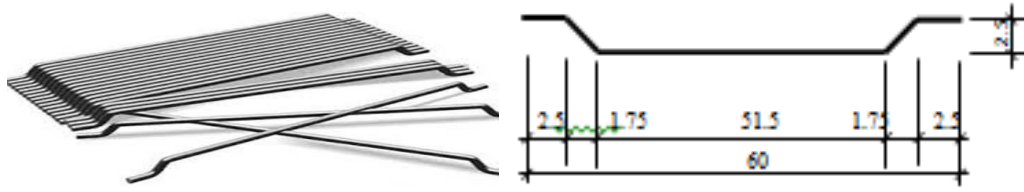
Bu çalışmada, SD'nın çelik liflerle güçlendirilmiş ve %2 süperakışkanlaştırıcı (SA) kimyasal katkı maddesinin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS and METHODS)

### 2.1. Materyaller(Materials)

Beton karışımlarında kullanılan malzemeler; kalker esaslı kırma agregası, 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm tane sınıflarında kullanılmıştır [24]. Bu agregaların yoğunlukları sırası ile 2.58, 2.60 ve 2.63 gr/cm<sup>3</sup> olurken su emmeleri % 2.10, 1.78 ve 1.65 dir. Bağlayıcı olarak, CEM II/ B-M (Portland Kompoze Çimento 32.5 R) tipi kullanırken puzolan olarak da SD kullanılmıştır.

TS 10514 'de önerilen; uzunluğu 60 mm, çapı 1 mm ve uzunluk/çap oranı 60 olan iki ucu kıvrılmış kancalı çelik lif ( Şekil 1) kullanılmıştır[25]. Karışımda SA olarak ASTM C 494-81 tip F'e uygun melamin sülfonat polimeri esaslı, kahverengi sıvı katkı maddesi ve karışım suyu olarak musluk suyu kullanılmıştır[26]. Portland Kompoze Çimento ile SD'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil.1. Karışımda kullanılan çelik lif (Steel fiber used in the mixture)

Çizelge 1. Çimento ile SD'nın kimyasal ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of cement and SF)

Kimyasal Bileşim	Portland Kompoze Çimento	Silis Dumanı (FeSi)
SiO <sub>2</sub>	30.11	94.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.96	0.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.22	0.20
CaO	47.36	1.40
MgO	2.54	---
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50-1.75	---
SO <sub>3</sub>	2.69	0.21
Kızdırma Kaybı	2.36	---
Çözünemez Kalıntı	1.76	2.16
<b>Fiziksel Özellikler</b>		
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.96	2.36
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3940	200000

## 2.2. Metot (Methods)

Araştırmada kullanılan beton karışımlarında TS 802 esas alınarak beton sınıfı C 25/30 seçilmiştir[24]. Bu karışımda su/çimento oranı 0.53 olarak alınmıştır ve katkısız betonlarda işlenebilirlik için çökmenin  $7\pm 1$  cm olmasına dikkat edilmiştir [24, 27]. Ağırlıkça %0, 2.5, 5, 7.5, 10 ve 12.5 oranlarında çimento ile SD yer değiştirilmiştir. Ayrıca taze betonun işlenebilirliği sağlamak için karışımlara çimento ağırlığının % 2'si oranında SA katılmıştır. Beton karışımında, TS 10514'e göre her karışımda, miksera önce kuru karışım, daha sonra çelik lif ilave edilerek, 1.5 dakika kuru karışım yapılarak, çelik lifin homojen bir şekilde dağılımı sağlandıktan sonra su ilave edilmiştir[25]. SD ve SA karışım suyu ile bulamaç haline getirilerek eklenmiştir. Taze betonun işlenebilirliğini belirlemek için TS EN 12350-2'ye göre çökme ve TS EN 12350-3'e göre de Ve-Be deneyleri yapılmıştır[27, 28]. Her bir karışımdan, her bir yaş için 6'şar adet olmak üzere 100x100x100 mm ebadında toplam 216 adet küp numune üretilmiştir. Bu örneklerin kodlamasında bazı kısaltmalar kullanılmıştır. Kontrol betonu (KB): silis dumanı ile üretilen beton (SDB): çelik lifli beton (LB) ve Silis dumanlı çelik lifli beton ise (SDLB) olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan küp numuneleri 28, 90 ve 120 günlük kür sonrasında TS EN 12390-3'e göre basınç deneyine tabii tutulmuştur[29].

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

### 3.1. Taze betonun işlenebilirlik özellikleri (Fresh concrete workability properties)

Hazırlanan beton serilerin elde edilen Çökme ve Ve-Be değerleri ile 1 m<sup>3</sup> betonu oluşturan malzeme miktarları da Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. incelendiğinde SD oranı arttıkça çökme miktarında 3-4 mm arasında bir azalma görülmektedir. Diğer bir deyişle, SD oranı ile işlenebilirlik arasında ters ilişki olduğu açık bir şekilde görülmektedir. SD, betonun karışım suyu ihtiyacını artırmaktadır. Bunun nedeni silis dumanının çimentoya göre yoğunluğunun küçük olması, daha ince taneli ve yüzey alanının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç [7-9] numaralı literatüre uyumluluk göstermektedir. Karışımda kullanılan çelik lifin taze betonun işlenebilirliğini azaltığı söylenebilir. Ve- Be testinde süre SD oranına bağlı olarak yaklaşık 2 sn. uzarken, çelik lifli karışımlarda her SD oranında 3-5 sn. arasında değişerek uzamaktadır. Bunun nedeninin ise çelik lifli yüzey alanının olabileceği söylenebilir.

Kısacası, SD ve çelik lifli betonun işlenebilirliği olumsuz olarak etkilemektedir.

**Çizelge 2.** Malzeme miktarları ve taze beton bazı özellikleri (Material quantities and some properties of fresh concrete)

Beton Tipi	SD Oranı	SD (%)	Çimento (kg)	SA (lt)	Su (lt)	Çelik Lif (kg)	AGREGA (kg)			Çökme (mm)	Ve-Be	
							Tane Sınıfları (mm)				Yükseklik (mm)	Süresi (sn)
							0-4	4-11	11-22			
KB	0	0	411	-	218	---	743	358	527	90	83	26
SDB-2.5	2.5	8	312	6.4	138	---	743	358	527	87	120	28
SDB-5	5	16	304	6.4	138	---	743	358	527	54	131	30
SDB-7,5	7.5	24	296	6.4	138	---	743	358	527	50	138	34
SDB-10	10	32	288	6.4	138	---	743	358	527	44	144	35
SDB-12.5	12.5	40	280	6.4	138	---	743	358	527	34	148	38
LB	0	0	320	-	160	50	735	354	521	85	159	30
SDLB-2.5	2.5	8	312	6.4	138	50	735	354	521	72	133	35
SDLB-5	5	16	304	6.4	138	50	735	354	521	48	136	38
SDLB-7.5	5	24	296	6.4	138	50	735	354	521	36	147	40
SDLB-10	10	32	288	6.4	138	50	735	354	521	30	156	44
SDB-12.5	12.5	40	280	6.4	138	50	735	354	521	26	168	47

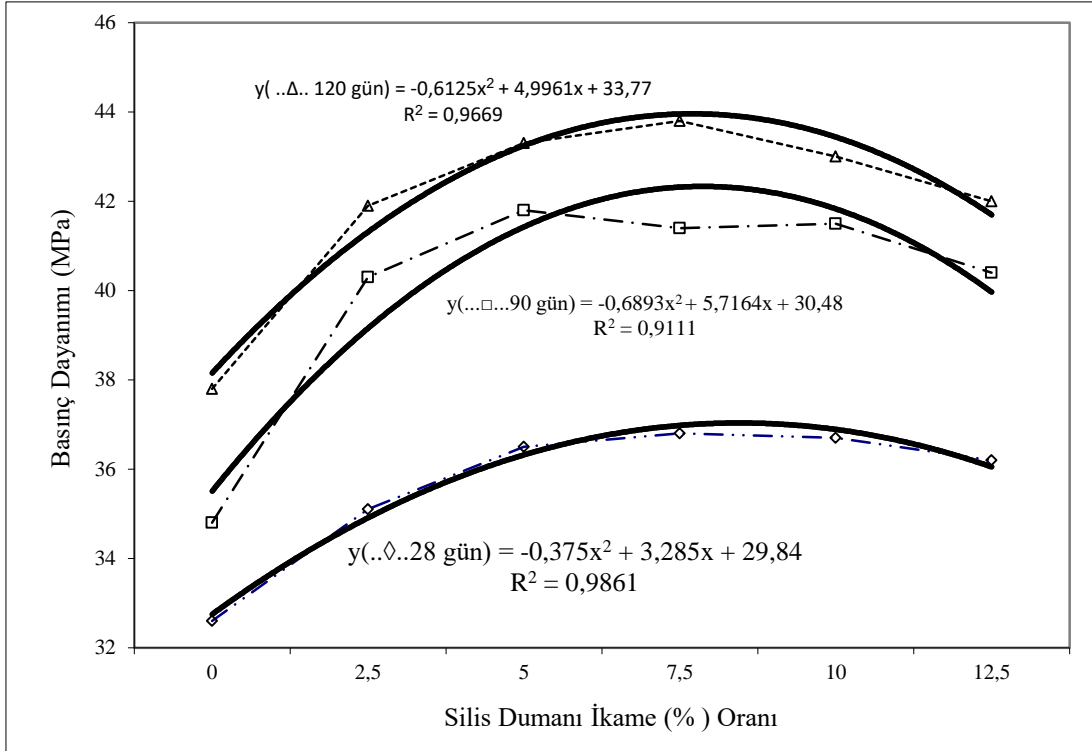
**3.2. Basınç dayanım özellikleri** (Compressive strength properties)

Silis dumanı karışımlarıyla üretilen betonların basınç dayanımı deneyi sonuçlarının max, min ve ortalaması yanında standart sapmaları Çizelge 3’de verilmiştir.

Basınç dayanımı arasındaki farklılığı daha net görebilmek için KB ortalaması 100 kabul edilerek SD oranı artışları % olarak parantez içinde gösterilmiştir.

**Çizelge 3.** Lifsiz beton basınç dayanım değerleri (Non-fiber concrete compressive strength values)

Beton yaşı (gün)	Beton Tipi	SD Oranı (%)	Örnek sayısı (n)	Basınç Dayanımı (MPa)			Standart Sapma
				Max	Min	Ortalama	
28	KB	0	6	33.8	30.7	32.6(100)	2.65
	SDB-2.5 SDB-5.0	2.5	6	39.1	33.8	35.1(108)	4.32
	SDB-7.5	5	6	32.32	29.15	36.5(112)	3.26
	SDB-10.0	7.5	6	39.2	35.2	36.8(112)	5.52
	SDB-12.5	10	6	39.8	34.0	36.7(112)	4.79
			12.5	6	40.3	32.9	36.2(111)
90	KB	0	6	39.1	32.7	34.8(107)	5.45
	SDB-2.5 SDB-5.0	2.5	6	42.5	37.3	40.3(124)	4.11
	SDB-7.5	5	6	44.2	36.4	41.8(127)	6.02
	SDB-10.0	7.5	6	43.7	37.0	41.4(127)	5.86
	SDB-12.5	10	6	42.8	38.3	41.5(127)	3.97
			12.5	6	43.1	36.7	40.4(124)
120	KB	0	6	42.7	35.2	37.8(116)	4.71
	SDB-2.5 SDB-5.0	2.5	6	43.6	38.3	41.9(128)	5.01
	SDB-7.5	5	6	45.6	40.3	43.3(133)	5.25
	SDB-10.0	7.5	6	45.9	41.6	43.8(134)	3.56
	SDB-12.5	10	6	46.8	38.6	43.0(132)	6.12
			12.5	6	43.5	38.3	42.0(128)



**Şekil 2.** Lifsiz beton basınç dayanımı -SD oranı ilişkisi (The relationship between compressive strength and SF ratio of fiberless concrete )

Şekil 2 ve Çizelge 3 incelendiğinde, KB 'ye göre 28 günlüklerde en yüksek basınç dayanımı SDB-5, 7,5 ve 10 numuneleri vermiştir ve ayrıca basınç dayanımında %12 artış meydana gelmiştir. KB numunelerin 90 ve 120 günlüklerde sırasıyla basınç dayanımı %7 ve %16 oranlarında artış göstermiştir. SDB numunelerinin 90 günlük beton basınç dayanımında SD oranları arasında ciddi bir artış farkı olmamakla beraber en yüksek basınç dayanımı %10 SD oranında %27 olmuştur. 120 günlük beton basınç dayanımında en yüksek basınç dayanımı %7,5 SD oranıyla üretilen numunelerde %34 olarak belirlenmiştir.

Bu karışımlarda en uygun SD oranı %7,5 olduğu söylenebilir. Literatür genel olarak en uygun %10 SD olduğu belirtse de kullanılan çimentonun inceliği ve agrega granülometrisi önemli bir etkindir.

Şekil 2 incelendiğinde basınç dayanımı SD oranı ilişkisinde doğal olarak yaşa bağlı bir artış görülmektedir. Ayrıca SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmakta fakat artış oranı belirli bir orandan sonra basınç dayanımı azalmaktadır. Regresyon analizinde en yüksek R² değeri 0,9861' dir. Bu değere göre iyi bir ilişki vardır.

Bazı araştırmalara göre SD'nın, beton basınç dayanımına ilk yaşlarda daha etkili olduğu vurgulanırken, karışım suyu miktarına bağlı olarak optimum SD oranının beton basınç dayanımına etkisinin değiştiği belirtilmektedir [1,10, 22].

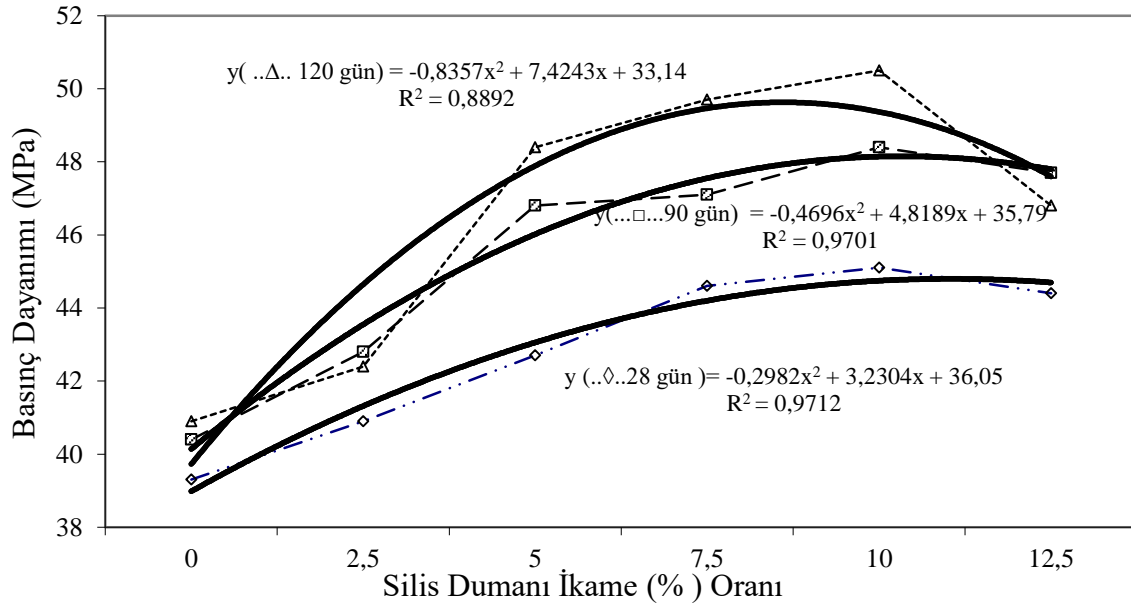
Çelik lifli betonlarda çelik lifin KB'ye göre beton basınç dayanımına 6.7 MPa bir artış sağlamıştır. Bu da yaklaşık % 20' ye tekabül etmektedir. Lifli betona (LB) SD oranlarının etki incelendiğinde Çizelge 4' de SDLB karışımlarıyla üretilen betonların basınç dayanımı sonuçlarının max, min, ve ortalama basınç dayanımı yanında standart sapmaları verilmiştir.

Basınç dayanımı arasındaki farklılığı daha net görebilmek için LB ortalaması 100 kabul edilerek SD oranı artışları (%) olarak parantez içinde gösterilmiştir. Çizelge 4 ve Şekil 3 incelendiğinde bütün yaşlarda LB' ye göre, % 10 SD katkılı numunelerin basınç dayanımı en yüksek olduğu söylenebilir. Bu artışlar 28 günlük betonlarda % 14, iken 90 günlük betonlarda % 23 ve 120 günlük betonlarda %28 olduğu söylenebilir.

Çelik lif ve agrega ara yüzeyine SD harç fazının dolması çelik lifin aderansını artırmasına ve basınç dayanımına olumlu etkide bulunmaktadır. Khayat ve Aitcin yaptıkları araştırma sonucu silis dumanlı çimento harçların daha sıkı ve yapışkan olmasından dolayı, çelik liflere olan aderansının çok kuvvetli olduğu sonucuna varmışlardır [8, 9].

Çizelge 4. Lifli beton basınç dayanım değerleri ( Fiber concrete compressive strength values)

Beton yaşı (gün)	Beton Tipi	SD Oranı (%)	Örnek sayısı (n)	Basınç Dayanımı(MPa)			Standart Sapma
				Max	Min	Ortalama	
28	LB	0	6	41.3	37.4	39.3(100 )	3.81
	SDLB-2.5	2.5	6	40.4	38.3	40.9(104 )	2.18
	SDLB-5.0	5	6	44.1	40.2	42.7(108 )	4.55
	SDLB-7.5	7.5	6	45.0	41.9	44.6(113 )	2.68
	SDLB-10.0	10	6	47.2	44.4	45.1(114 )	2.24
	SDLB-12.5	12.5	6	45.1	42.1	44.4(113 )	3.28
90	LB	0	6	41.5	38.6	40.4(103 )	4.05
	SDLB-2.5	2.5	6	44.0	40.5	42.8 (109)	2.90
	SDLB-5.0	5	6	49.2	45.6	46.8(119 )	3.39
	SDLB-7.5	7.5	6	48.1	41.8	47.1(120)	5.86
	SDLB-10.0	10	6	48.4	48.4	48.4 (123)	3.66
	SDLB-12.5	12.5	6	48.6	44.5	47.7( 121)	5.14
120	LB	0	6	44.5	40.1	40.9(104)	3.14
	SDLB-2.5	2.5	6	43.5	39.3	42.4( 108)	3.37
	SDLB-5.0	5	6	50.8	47.6	48.4( 123)	1.24
	SDLB-7.5	7.5	6	52.3	48.7	49.7(126 )	2.87
	SDLB-10.0	10	6	52.7	46.2	50.5(128 )	5.77
	SDLB-12.5	12.5	6	48.0	45.4	46.8(119 )	6.21



Şekil 3. Lifli beton basınç dayanım-SD oranı ilişkisi (The relationship between compressive strength and SF ratio of fibrous concrete)

Şekil 3 incelendiğinde SD oranı arttıkça lifli beton basınç dayanımı artmakta fakat artış oranı belirli bir orandan sonra azalmaktadır. 28 günlük beton basınç dayanımı İkinci derece polinom eğilim çizgisinden elde edilen Regresyon analizine göre en yüksek R<sup>2</sup> değeri 0,9712' dir. Bu değere göre basınç dayanımı ile SD oranı arasında

bir ilişkinin var olduğu görülmektedir. Çizelge 4 ve Şekil 3 incelendiğinde optimum SD oranının %10 olarak kullanılabileceği açıkça gözlemlenebilir.



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION and RECOMMENDATIONS)

1. Betona SD ve çelik lif katılması, yani beton bileşenlerinin yüzey alanının artmasından dolayı, taze betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır.
2. SD ve SA birlikte kullanıldığında basınç dayanımına olumlu katkı sağlamaktadır.
3. Karışımda kullanılan SA'dan dolayı SD lifin çevresini iyice sararak aderansı arttırdığı söylenebilir.
4. SD katkılı karışımlar elde edilen betonların basınç dayanımı KB'ye göre önemli artış olduğu söylenebilir. SD'nın oranları kendi aralarında karşılaştırıldığında arasındaki artış oranı daha azdır.
5. Çelik lifin beton basınç dayanımına olumlu etkisi olduğu görülmüştür.
6. Bütün karışımlarında beton yaşına bağlı olarak artış yanında lifsiz betonda %7.5 lifli betonda ise %10 SD kullanımını en yüksek dayanımı vermiştir.
7. Optimum SD oranı %10 olarak belirlenmiştir.

#### ÖNERİLER (RECOMMENDATIONS)

Bundan sonraki çalışmalarda, SD ve çelik lifli beton karışımlarında beton mikro yapısı, rötire, su emme, aşınma ve donma-çözülme özellikleri incelenmelidir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi", *Seçkin Basım ve Dağıtım*, Ankara, 40-128, (2016).
- [2] Su Y., Li J., Wu C., Wu P., Tao M., Li X., Mesoscale study of steel fibre-reinforced ultra-high performance concrete under static and dynamic loads, *Mater. Des.*, 116: 340-351, (2017).
- [3] Yazıcı Ş., İnan G., Tabak V., Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC, *Constr. Build. Mater.*, 21(6): 1250-1253, (2007).
- [4] Bentur A, Mindess S., Fibre reinforced cementitious composites, Second Edition, *Taylor&Francis*, USA and Canada, (2007).
- [5] Wille, K., Naaman, A. E., El-Tawil, S. Ve Parra-Montesinos, G. J., Ultra-high performance concrete and fiber reinforced concrete: achieving strength and ductility without heat curing, *Materials and Structures*, 45, 309-324, (2012)
- [6] JSCE, Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple *Fine Cracks*, *Concrete Engineering Series*, 82, Japan Society of Civil Engineers (2008).
- [7] Evcin ve ark. "Farklı mineral katkıların epoksi zemin kaplama malzemesinin ıslanmazlığına ve yüzey enerjisine etkisi" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(2): 581-590, (2018)
- [8] Yeğinoğlu, A., "Silis dumanı ve çimento ile betonda katkı maddesi olarak kullanılması", *TÇMB/AR-GE/Y01.01* 3.Baskı , Ankara, (2003).
- [9] Khayat, K.H. and Aitcin P.C., "Silica fume in concrete: an overview", *ACI SP-132*, 835-865, ACI , Detroit, (1992).
- [10] Sümer, B , Sarıbyık, M . "Betonda Silis Dumanı ve Polipropilen Lif Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi". *Sakarya University Journal of Science* 17: 217-224, (2013).
- [11] Ünal, B., "Çelik Tel ve Polipropilen Lif İçerikli Beton Yolların Mekaniksel özelliklerinin Araştırılması". *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 71s. (2003).
- [12] ACI 234R-96 "Guide for the use of silica fume in concrete", *American Concrete Institute*, 51, (1996).
- [13] ACI 544.2R-89. "Measurement of properties of fiber reinforced concrete". *American Concrete Institute*. P.O. Box 19150 Detroit, MI 48219-0150, (1999).
- [14] Kozak, M. . "Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması". *Teknik Bilimler Dergisi* 3(1) : 26-35, (2013).
- [15] Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., "Polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları", *2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton*, İstanbul, 303-320, (1991).
- [16] Arıoğlu, E., Arıoğlu, B., Girgin, C., "Tünellerde çelik lifli püskürtme beton kaplama tasarımı mekanik büyüklükler ve kalite kontrol ilkeleri", *Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu*, Sabancı Center, İstanbul, (1999).
- [17] Yerlikaya, M., "Çelik tel donatılı yol betonları", *THBB Hazır Beton Dergisi*, 51, 93-95, (2002).
- [18] TS EN 14889-1 "Lifler – Betonda kullanım için – Bölüm 1: Çelik lifler – Tarifler, özellikler ve uygunluk". *TSE*, Ankara, (2016).
- [19] Yaprak, H , Şimşek, O , Öneş, A . "Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 7 : 353-358, (2004).
- [20] Şimşek, O., Erdal, M., Sancak, E., "Silis dumanının çelik lifli betonun eğilme dayanımına etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20(2): 211-215, (2005).
- [21] Halilov, S. 2003. "Silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkılı lifli betonların özellikleri. *Doktra Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
- [22] Dancygier A.N. and Savir Z., "Flexural behavior of HSFRC with low reinforcement ratios". *Engineering Structures*, 28, 1503–1512. (2006).
- [23] Ünal, O , Uygunoğlu, T , Gençel, O . "Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1): 23-30. (2007)
- [24] TS 802, Beton karışımı hesap esasları, *TSE*, Ankara, 2016.
- [25] TS 10514, Lif takviyeli betonun karışım oranları ve imalatı için kurallar *TSE*, Ankara, (2015).
- [26] ASTM C-81 "Standard specification for chemical admixtures for concrete". *ASTM International*, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States . (1981).
- [27] TS EN 12350-2, "Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi", *TSE*, Ankara, (2010).
- [28] TS EN 12350-3, "Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 3: Vebe deneyi" *TSE*, Ankara, (2010).
- [29] TS EN 12390-3, "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini", *TSE*, Ankara, 112s. (2012)