

Farklı Su/Bağlayıcı ve Kimyasal Katkı Oranlarına Sahip Yüksek Dayanımlı Betonların İşlenebilirlik ve Dayanım Özellikleri

Tuba DEMİR^{1*}, Bahar DEMİREL¹, Ali DEMİRBİLEK¹

¹ İnşaat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{*1} t.demir@firat.edu.tr, ¹ bdemirel@firat.edu.tr, ¹ alidemirbilek062@gmail.com

(Geliş/Received: 02/09/2021;

Kabul/Accepted: 13/02/2022)

Öz: Bu çalışmanın amacı, farklı su/bağlayıcı ve kimyasal katkı oranına sahip yüksek dayanımlı betonların dayanım ve işlenebilirlik özelliklerini incelemektir. Bu kapsamda çimento dozajı 400 ve 600 kg/m³, su/bağlayıcı (S/B) oranları 0.20 ve 0.30 olarak seçilmiştir. Bu beton karışımlarında mineral katkı olarak puzolanik aktivitesi yüksek olan silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı %5 ve %20 oranlarında çimento ile hacimce yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kimyasal katkı ise çimentonun ağırlıkça %2 ve %3'ü oranında kullanılmıştır. Bu şekilde 16 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Bu karışım oranları ile hazırlanan, yüksek dayanım elde edilmiş serilerin taze ve sertleşmiş beton (mekanik) özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda serilerin çökme ve Ve-be değerleri ile f_{c-7} , f_{c-28} ve f_{c-90} günlük sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda yüksek dayanımlı betonlarda (YDB) kimyasal katkı kullanımının işlenebilirlik üzerinde önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte düşük S/B oranında, yeterli miktarda kimyasal katkı ve uygun oranda silis dumanı miktarı ile yüksek dayanıma sahip betonların elde edilebildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Su/Bağlayıcı Oranı, Dayanım, Kimyasal Katkı, Silis Dumanı, Yüksek Dayanımlı Beton.

Workability and Strength Properties of High Strength Concrete with Different Water/Binder and Chemical Additives Ratios

Abstract: The aim of this study is to examine the strength and workability properties of high-strength concretes with different water-to-binder and chemical additive ratios. In this context, 16 series of concrete mixtures with cement dosage of 400 and 600 kg/m³, water/binder (W/B) ratios of 0.20 and 0.30 were prepared. Silica fume, which has high pozzolanic activity, was used as a mineral additive in these concrete mixtures by replacing 5% and 20% cement by volume. Chemical additives were added at the rate of 2% and 3% by weight of the cement. The fresh and hardened concrete properties of the series, which were prepared with these mixing ratios and obtained high strength, were investigated. As a result of this research, the Ve-be and slump values of the series and the results of f_{c-7} , f_{c-28} and f_{c-90} days were compared with each other. As a result of this comparison, it has been determined that the use of chemical additives in high strength concrete (HSC) is an important factor on workability. However, it has been observed that concrete with high strength can be obtained with low W/B ratio, sufficient amount of chemical additives and silica fume content.

Key words: Water/Binder Ratio, Strength, Chemical Admixture, Silica Fume, High Strength Concrete.

1. Giriş

İnşaat sektöründe, malzeme teknolojisinin gelişimi ile birlikte beton endüstrisinde gelişmeler yaşanmaktadır. Malzeme teknolojisindeki gelişme ile özel beton türlerinin üretimi popülerlik kazanmıştır. Yüksek dayanımlı betonlar (YDB)'ler de özel tasarımla üretilen beton türlerindedir [1, 2]. YDB'lerde basınç dayanım değeri bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu değer ACI standardında 55 MPa ve üzeridir. Ancak bu standardın ilk versiyonunda bu değer 41 MPa ve üzeri tanımlanmaktadır [3]. YDB'nin üretiminde endüstriyel atıklar (silis dumanı, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu vb.) kullanılarak, çimento miktarında azaltma yoluna gidilmektedir [4]. Ayrıca yüksek dayanımı sağlamak için su/çimento oranı düşük seviyelerde tutulmaktadır. Bu oranın düşük olması ile ortaya çıkan işlenebilirlik sorununun çözümü için de kimyasal katkı kullanılmaktadır [5, 6].

Günümüzde hazır beton sektöründe kimyasal katkı olarak süperakışkanlaştırıcı katkıları (SAK) kullanılmaktadır. Bu akışkanlaştırıcılar betonun taze ve sertleşmiş durumdaki özelliklerini geliştirmek ya da istenilen amaca uygun şekilde değiştirmek için kullanılmaktadır. TS EN 934-2 standardı, katkıları özelliklerine ve kullanım yerlerine göre gruplara ayırmaktadır. Ayrıca ilgili standartta kimyasal katkıların çimentonun ağırlıkça %5'ini geçmemek suretiyle kullanımı belirtilmiştir [7]. Farklı özelliklere sahip olan SAK'ların, taze betonun

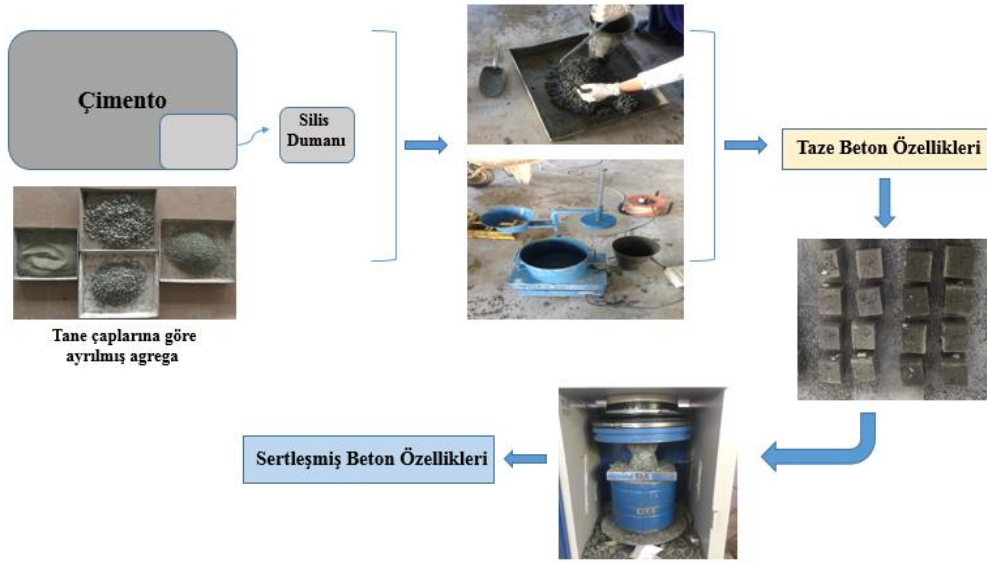
* Sorumlu yazar: t.demir@firat.edu.tr. ¹ 0000-0003-2092-1029, ¹ 0000-0001-7483-2668, ¹ 0000-0003-0327-8924

karılma ve yerleştirme işleminde uygun işlenebilirlik sağlanması, betonun yerleşiminin düzgün yapılmasıyla geçirimsizliği ve kompasitesi yüksek beton elde edilmesi gibi avantajları bulunmaktadır [7, 8].

Bu çalışmada, yüksek dayanımlı betonlarda farklı oranda SAK kullanımının, betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Bunun için çimento dozajı 400 ve 600 kg/m³, su/bağlayıcı (S/B) oranları 0.20 ve 0.30 olan 16 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Bu beton karışımlarında mineral katkı olarak puzolanik aktivitesi yüksek olan silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı %5 ve %20 oranlarında çimento ile hacimce yer değiştirilerek kullanılmıştır. SAK ise çimentonun ağırlıkça %2 ve %3'ü oranında kullanılmıştır. Bu karışım oranları ile hazırlanıp yüksek dayanım elde edilmiş serilerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda serilerin Ve-be ve çökme değerleri ile f_c-7 , f_c-28 ve f_c-90 günlük sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda yüksek dayanımlı betonlarda (YDB) SAK kullanımının işlenebilirlik üzerinde önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte düşük S/B oranında, yeterli miktarda SAK ve uygun oranda silis dumanı miktarı ile yüksek dayanıma sahip betonların elde edildiği görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42.5 R - Portland çimentosu kullanılmıştır [10]. Mineral katkı malzemesi olarak Dost Kimya Endüstrisinden temin edilen silis dumanı kullanılmıştır. Çalışmaya ait akış şeması Şekil 1'de özetlenmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

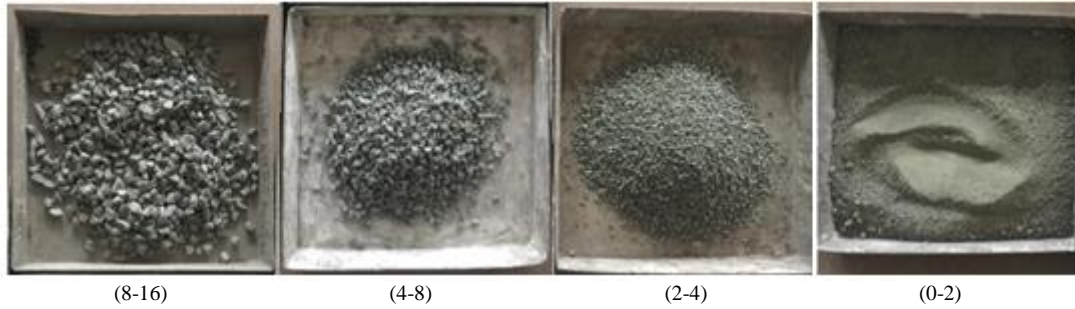


Şekil 1. Çalışmayı özetleyen akış şeması

Tablo 1. Deneysel malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri (%)

Kimyasal Özellikler	Çimento	Silis Dumanı
CaO	63.19	0.42
SiO ₂	19.07	92.10
Fe ₂ O ₃	3.72	1.50
Al ₂ O ₃	4.82	0.90
SiO ₃	2.94	93.10
Na ₂ O	0.39	0.40
K ₂ O	0.62	0.90
MgO	1.83	0.10
Cl	0.0101	-
Çözünmeyen kalıntı	0.56	-
Kızdırma kaybı	3.43	-
Fiziksel Özellikler		
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3838	
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.13	2.20
Priz başlangıcı (dk)	135	-
Priz sonu (dk)	215	-
Hacim sabitliği (mm)	1	-

YDB'lerde bazalt, kuvars, andezit vb. gibi dayanımı yüksek agregalar kullanılmaktadır [11]. Bu çalışmada yüksek dayanıma sahip agrega türlerinden andezit agregası kullanılmıştır. Bu agrega türü, koyu renkli, emici olmayan, dağılmayan ve yüksek kompaktitesi nedeniyle yüksek dayanımlı betonlar için uygundur. Aynı zamanda andezit agregası % 52-63 oranında kuvars içermektedir [10, 11]. Deneysel çalışmalarda kullanılan maksimum agrega tane çapı (D_{max}) 16 mm'dir. Agregalar 0-2, 2-4, 4-8, 8-16 mm olarak 4 farklı gruba ayrılmıştır. Elek sınıflarına göre ayrılmış agregalar Şekil 2'de verilmiştir.

**Şekil 2.** Çalışmada kullanılan agregaların elek sınıfları (mm)

Beton karışımlarında kullanılan agregaların tane yoğunlukları Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca bu karışımlarda ilk aşamada deneme karışımlarında çimentonun ağırlıkça %1, %1.5, %2, %2.5 ve %3 oranlarında kimyasal katkı olarak Master Glenium ACE 450 SAK kullanılmıştır. Deneme karışımlarından sonra alınan sonuçlar paralelinde referans karışımlarda uygun değer olarak çimentonun ağırlıkça %2 ve %3'ü oranında kimyasal katkı kullanılmıştır.

Tablo 2. Agregalara ait özgül ağırlıklar ve karışımda kullanım oranları

Agrega Sınıfı	Özgül Ağırlık (DKY) (gr/cm ³)	Karışım Oranı (%)
0-2 mm	2.74	30
2-4 mm	2.71	20
4-8 mm	2.69	20
8-16 mm	2.69	30

2.1. Numunelerin Hazırlanması

Beton karışım oranları, işlenebilirlik ve dayanım esas alınarak belirlenmiştir. Deneylerde 16 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Bu serilerin hazırlanması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle agregalar, daha sonra bağlayıcılar karıştırıcı içerisine eklenmiştir. Karıştırıcı 3 dakika çalıştırdıktan sonra durdurularak kuru karışıma dikkatli bir şekilde karma suyu ve SAK eklenmiştir. Bu aşamadan sonra karıştırıcı 5 dakika daha çalıştırılarak beton karışımı elde edilmiş ve taze beton deneyleri zaman kaybetmeden yapılmıştır. Beton karışım miktarlarına ait veriler Tablo 3'te verilmiştir [13].

Tablo 3. Beton karışım miktarları (kg/m³)

Seri Adı	Çimento	Su	Silis Dumani	(0-2 mm) Agregası	(2-4mm) Agregası	(4-8mm) Agregası	(8-16mm) Agregası	SAK
A.5.2/20	380	80	14.1	550	360	360	540	8
A.5.3/20	380	80	14.1	550	360	360	540	12
A.5.2/30	380	140	14.1	550	360	360	540	8
A.5.3/30	380	140	14.1	550	360	360	540	12
A.20.2/20	320	80	56.2	550	360	360	540	8
A.20.3/20	320	80	56.2	550	360	360	540	12
A.20.2/30	320	140	56.2	550	360	360	540	8
A.20.3/30	320	140	56.2	550	360	360	540	12
B.5.2/20	570	120	21.3	550	360	360	540	12
B.5.3/20	570	120	21.3	550	360	360	540	18
B.5.2/30	570	210	21.3	550	360	360	540	12
B.5.3/30	570	210	21.3	550	360	360	540	18
B.20.2/20	480	120	84.3	550	360	360	540	12
B.20.3/20	480	120	84.3	550	360	360	540	18
B.20.2/30	480	210	84.3	550	360	360	540	12
B.20.3/30	480	210	84.3	550	360	360	540	18

Taze beton deneylerinden sonra sarsma tablası kullanılarak numunelerin 100x100x100 mm'lik kalıplara yerleşimi sağlanmıştır. 24 saat laboratuvar ortamında bekletilerek prizini almış olan numuneler kalıplardan çıkarılarak kür havuzuna bırakılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerini tespit etmek amacıyla numuneler 7., 28. ve 90. günlerde kür havuzundan çıkarılarak standart basınç dayanımı testine tabi tutulmuş ve basınç dayanımları tespit edilmiştir.

2.2. Numunelerin Kodlanması

Bu deneysel çalışmada 16 farklı karışım bulunmaktadır. Bu karışımların 8 tanesi 400 dozlu [A], geri kalan 8 tanesi ise 600 dozlu [B] kodu ile belirtilmiştir. Beton karışımına eklenen silis dumani, SAK miktarı ve S/B oranı için Bağlantı 1'de gösterilen kodlama yapılmıştır.



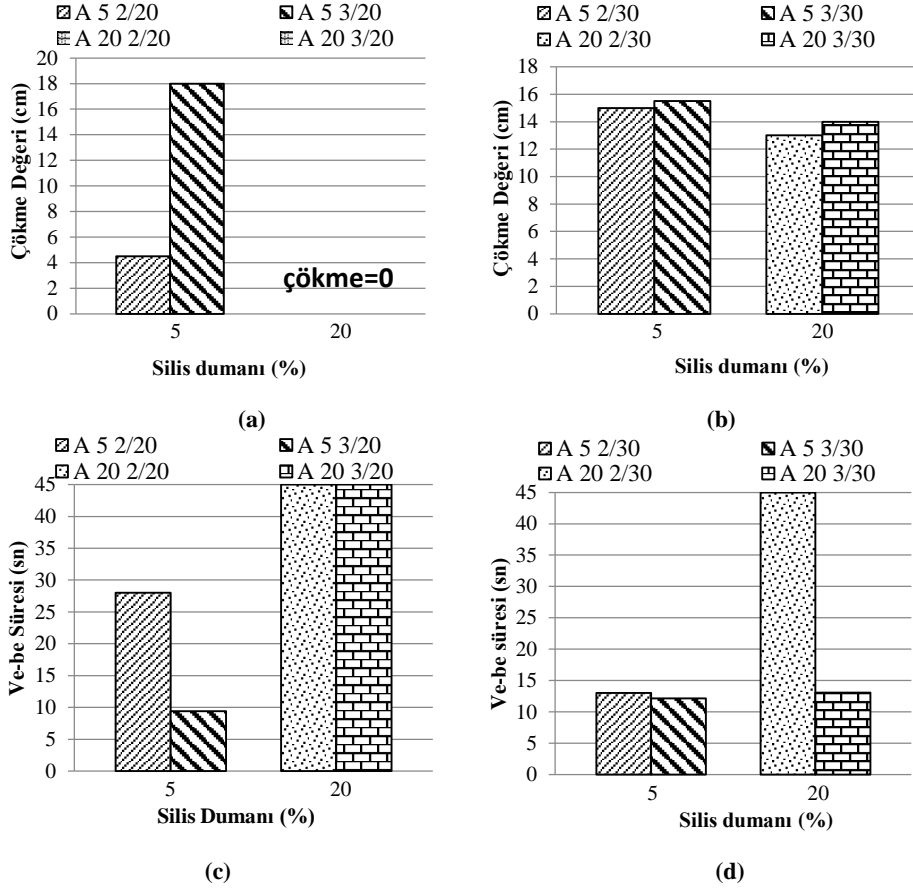
Burada;

- (1) : Beton karışımındaki dozaj miktarının gösterimi
- (2): Beton karışımındaki silis dumani miktarı (%)
- (3): Beton karışımındaki SAK miktarı (%)
- (4): Beton karışımının S/B oranı

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Taze beton özellikleri

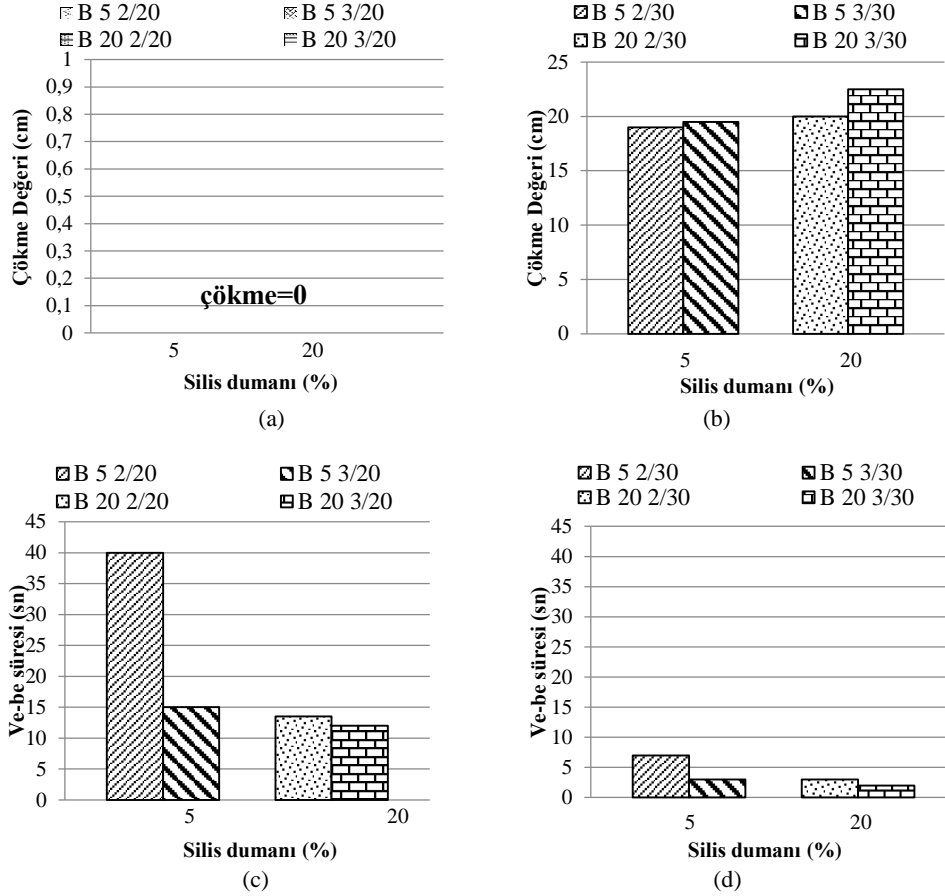
DeneySEL çalışmada üretilen 16 seri karışımın çökme değerleri ve Ve-be süreleri belirlenmiştir. A ve B dozlu numune gruplarının sayısal sonuçları grafikler halinde gösterilerek kıyaslanmıştır. Şekil 3'te 400 dozlu seri grubuna ait çökme değerleri ve Ve-be sürelerine ait grafik verilmiştir.



Şekil 3. 400 dozlu numunelere ait a) S/B oranı %20 olan serilerin çökme değeri, b) S/B oranı %30 olan serilerin çökme değeri, c) S/B oranı %20 olan serilerin Ve-be süreleri, d) S/B oranı %30 olan serilerin Ve-be süreleri

Şekil 3'teki grafik çökme değerleri açısından incelendiğinde; Şekil 3.(a)'da silis dumanının %20 ve S/B oranının %20 sabit olması durumunda SAK miktarındaki artışın numunelerin çökme değeri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Bu durumun karışımın kıvamının düşük olması sebebiyle, karışımında kullanılan malzemelerin homojen olarak karıştırılamayıp kalıplara iyi yerleştirilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3.(b)'de S/B oranının %30 olması durumunda ise SAK miktarındaki artışla çökme değeri bir miktar artmaktadır. Örneğin; A20.2/30 ile A20.3/30 numuneleri kıyaslandığında çökme değeri 13 cm'den 14 cm'ye yükselmiştir.

Şekil 3. Ve-be süreleri açısından incelendiğinde; Şekil 3.(c).de A5.2/20 ile A5.3/20 numuneleri kıyaslandığında Ve-be süresi 28 sn'den 9 sn'ye azalmış olup karışımın akışkanlığı artmıştır. Yine aynı grafikte; A20.2/20 ile A20.3/20 kıyaslandığında, çökme görülmeyen bu numunelerde Ve-be süreleri 45 sn üstü (>45) çıktığı için değerlendirmeye tabii tutulmamıştır. Şekil 3.(d).de S/B oranının %30 sabit olması durumunda SAK miktarındaki artış A5.2/30 ile A5.3/30 numunelerinde Ve-be süresini 13 sn'den 12 sn'ye; A20.2/30 ile A20.3/30 numunelerinde ise bu süre >45 sn'den 13 sn'ye düşmüş olup karışımın akışkanlığı artmıştır. SAK miktarındaki artış ile literatüre uygun olarak, betonun akıcılığının arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. 600 dozlu numunelere ait a) S/B oranı %20 olan serilerin çökme değeri, b) S/B oranı %30 olan serilerin çökme değeri, c) S/B oranı %20 olan serilerin Ve-be süreleri, d) S/B oranı %30 olan serilerin Ve-be süreleri

Şekil 4'te ise 600 dozlu seri grubunun çökme değerleri ve Ve-be sürelerine ait grafikler toplu olarak verilmiştir. Şekil 4.(b) de, silis dumanının %5 ve S/B oranının %30 olması halinde B5.2/30 ile B5.3/30 numuneleri karşılaştırıldığında SAK miktarındaki artış çökme değerini 19 cm'den 19,5 cm'ye yükseltmiştir. Aynı grafikte silis dumanının %20 ve S/B oranının %30 olması halinde B20.2/30 ile B20.3/30 numuneleri karşılaştırıldığında çökme değeri 20 cm'den 22,5 cm'ye yükselmiştir. SAK katkıları, çimento ile diğer puzolanik mineral parçacıklarının su içerisinde topaklanmasını önler ve fazla miktarda su ile elde edilebilecek olan işlenebilirliği sağlarlar [14]. SAK miktarındaki artış ile literatüre uygun olarak, betonun akıcılığının arttığı gözlenmiştir.

Şekil 4.(c)'de B5.2/20 ile B5.3/20 numuneleri kıyaslandığında Ve-be süresi 40 sn'den 15 sn'ye; B20.2/20 ile B20.3/20 numunelerinde ise 14 sn'den 12 sn'ye azalmıştır. Şekil 4.(d)'de ise SAK miktarındaki artışın bir sonucu olarak B5.2/30 ile B5.3/30 numunelerinde Ve-be süresi 7 sn'den 3 sn'ye; B20.2/30 ile B20.3/30 numunelerinde ise 3 sn'den 2 sn'ye düşmüş olup karışımın akışkanlığı artmıştır.

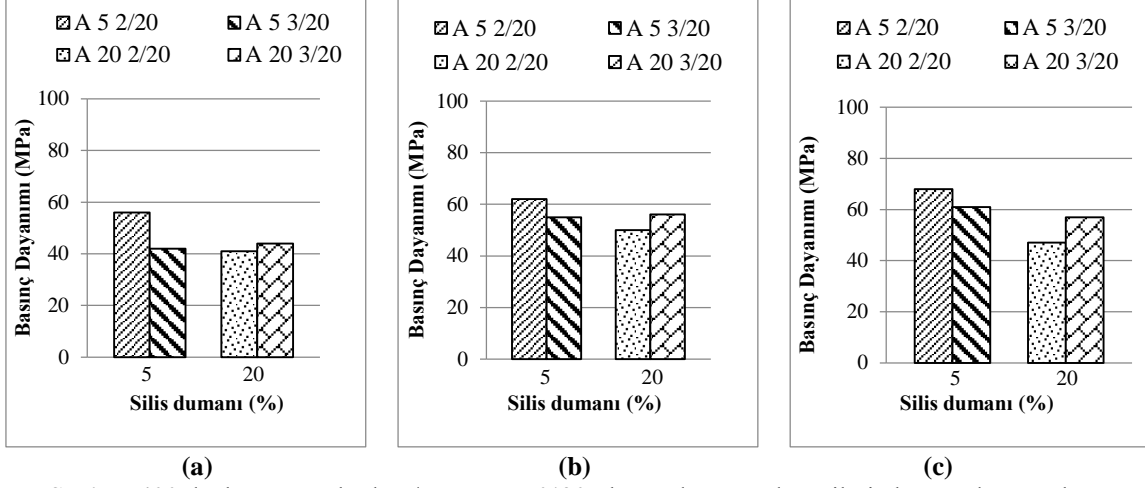
A ve B dozlu numuneler üzerinde S/B oranının çökme değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; karışımın S/B oranı artması ile; Şekil 3.(a)'daki A5.3/20 ile Şekil 3.(b)'deki A5.3/30 numuneleri karşılaştırıldığında çökme değerinde azalma meydana gelirken, diğer A ve B dozlu numunelerde ise literatüre uygun olarak çökme değerinde artış olduğu gözlenmiştir. Bu kıvam azalmasına; A5.3/30 numunesinin karışımında kullanılan malzemelerinin, homojen olarak karıştırılmamasının neden olduğu düşünülmektedir.

3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

3.2.1. Basınç Dayanımı

Betonun kalitesini belirlemek için en etkin yöntem, standart basınç dayanımını belirlemektir [12, 14]. Bu bölümde S/B oranı, SAK miktarı ve silis dumanının, beton basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. A ve B dozlu

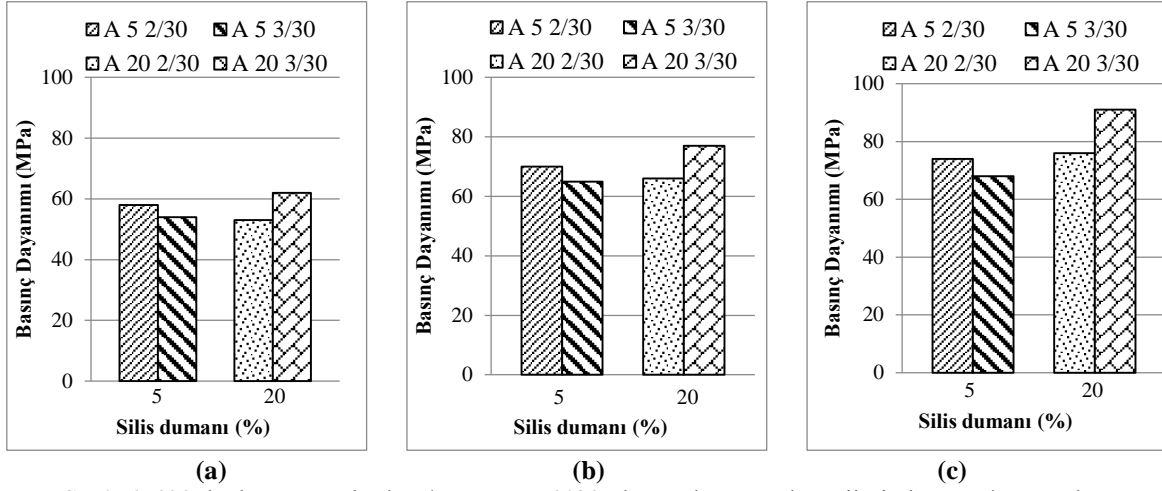
numune grubunun 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarının kendi aralarında kıyaslanması için sayısal sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. A dozlu numunelerin basınç dayanımlarına ait grafikler, S/B oranlarının %20 olması durumu için Şekil 5 'te, S/B oranlarının %30 olması durumu için Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. 400 dozlu numunelerde S/B oranının %20 olması durumunda serilerin basınç dayanımları
a) 7 günlük, b) 28 günlük, c) 90 günlük

Şekil 5.(a) incelendiğinde, silis dumanının %5 ve S/B oranının %20 sabit olması durumunda SAK miktarındaki artışla A5.2/20 ve A5.3/20 numuneleri karşılaştırıldığında; 7 günlük basınç dayanımları 56 MPa'dan 42 MPa'ya, 28 günlük basınç dayanımları 62 MPa'dan 55 MPa'ya (Şekil 5.(b)) ve 90 günlük basınç dayanımları ise 68 MPa'dan 61 MPa'ya düşmüştür (Şekil 5.(c)). Literatürde de olduğu gibi karışımda mineral katkı miktarının SAK miktarından daha az olması durumunda, çimento taneciklerinin yüzeyi tamamen mineral katkı ile sarılacağından bir miktar SAK açıkta kalacaktır [14, 15]. Artan bu akışkanlaştırıcının olumlu bir etkisi olmayacağı gibi, betonun kıvamını yükselterek basınç dayanımında azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir.

Silis dumanının %20 ve S/B oranının %20 sabit olması durumunda SAK miktarındaki artış ile A20.2/20 ve A20.3/20 numunelerini karşılaştırıldığında; 7 günlük basınç dayanımları 41 MPa'dan 44 MPa'ya (Şekil 5.(a)), 28 günlük basınç dayanımları 50 MPa'dan 56 MPa'ya (Şekil 5.(b)) ve 90 günlük basınç dayanımları ise 47 MPa'dan 57 MPa'ya yükselmiştir (Şekil 5.(c)). Katkı maddesinin, karışımda optimum miktarda kullanılmasıyla, literatüre uygun olarak beton basınç dayanımında artış sağlandığı görülmüştür [19].

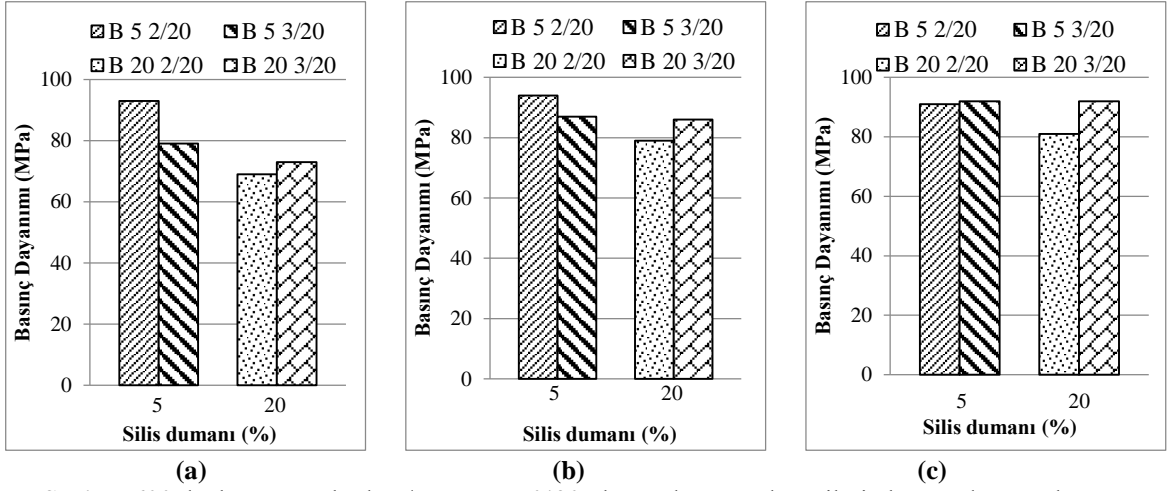


Şekil 6. 400 dozlu numunelerde S/B oranının %30 olması durumunda serilerin basınç dayanımları
a) 7 günlük, b) 28 günlük, c) 90 günlük

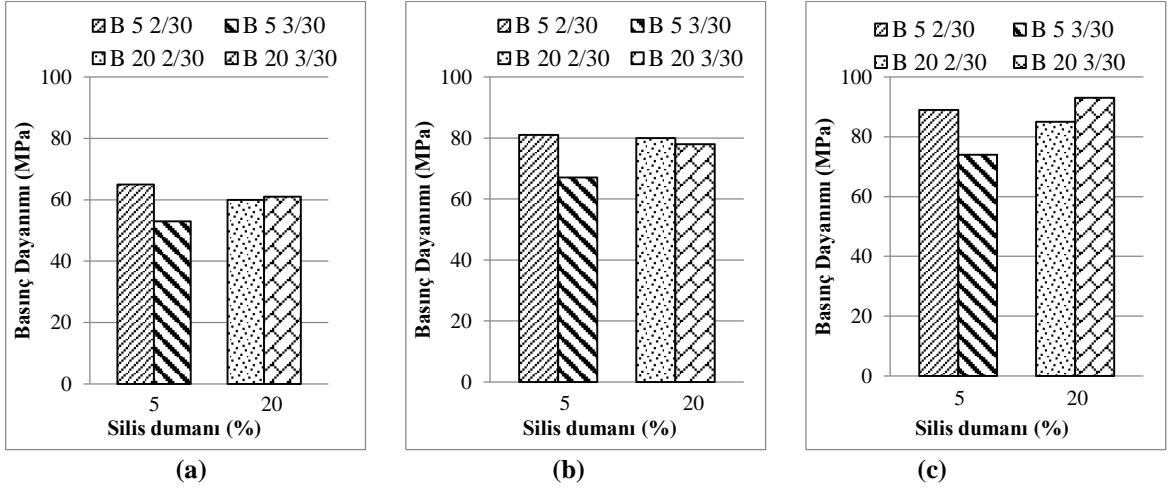
Şekil 6'da 400 dozlu (A) numunelerde S/B oranının %30 sabit olması durumunda; karışımın silis dumanı ve SAK miktarındaki değişimin, basınç dayanımı üzerine etkisi incelenmiş ve grafiklerde gösterilmiştir. Silis dumanının %5 ve S/B oranının %30 sabit olması durumunda SAK miktarındaki artış ile A5.2/30 ve A5.3/30 numunelerini karşılaştırıldığında; 7 günlük basınç dayanımları 58 MPa'dan 54 MPa'ya (Şekil 6.(a)), 28 günlük basınç dayanımları 70 MPa'dan 65 MPa'ya (Şekil 6.(b)) ve 90 günlük basınç dayanımları ise 74 MPa'dan 68 MPa'ya düşmüştür (Şekil 6.(c)). S/B oranının artması, yukarıda bahsedilen fazla SAK miktarının meydana getirdiği dayanım düşmesi kanaatini değiştirmemiştir. Silis dumanının %20 ve S/B oranının %30 sabit olması durumunda SAK miktarındaki artış ile A20.2/30 ve A20.3/30 numunelerini karşılaştırıldığında; 7 günlük basınç dayanımları 53 MPa'dan 62 MPa'ya (Şekil 6.(a)), 28 günlük basınç dayanımları 66 MPa'dan 77 MPa'ya (Şekil 6.(b)) ve 90 günlük basınç dayanımları ise 76 MPa'dan 91 MPa'ya yükselmiştir (Şekil 6.(c)). Katkı maddesinin, karışımında optimum miktarda kullanılmasıyla, literatüre uygun olarak beton basınç dayanımında artış sağlandığı görülmüştür.

Şekil 5 ve Şekil 6 karşılaştırıldığı zaman; SAK ve silis dumanı miktarının sabit olması durumunda, S/B oranının %20' den %30' a yükselmesi ile A numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; literatüre göre, su/bağlayıcı oranının yükselmesiyle, dayanımın düşmesi gerekirken, %20 S/B oranına sahip karışımların dayanımının literatüre göre ters bir şekilde daha düşüktür. literatüre ters olan bu durumun, %20 su/bağlayıcı oranlı karışımların kıvamının düşük olması sebebiyle, karışımında kullanılan malzemelerin, homojen olarak karıştırılmayıp topaklanarak, kalıplara iyi yerleştirilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [18].

600 dozlu (B) numunelerin basınç dayanımlarına ait grafikler, S/B oranlarının %20 olması durumu için Şekil 7'de, S/B oranlarının %30 olması durumu için Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. 600 dozlu numunelerde S/B oranının %20 olması durumunda serilerin basınç dayanımları
a) 7 günlük, b) 28 günlük, c) 90 günlük



Şekil 8. 600 dozlu numunelerde S/B oranının %30 olması durumunda serilerin basınç dayanımları
a) 7 günlük, b) 28 günlük, c) 90 günlük

Şekil 7 ve Şekil 8'deki grafik sonuçları değerlendirildiğinde, 400 dozlu (A) serilerinden elde edilen sonuçlar ile 600 dozlu (B) serilerinden elde edilen sonuçların aynı seyri izlediği görülmüştür. Çalışmanın geneli itibarıyla, S/B oranının artmasıyla, dayanımın düşmesi gerekirken, %20 S/B oranına sahip karışımların dayanım değerlerinin literatüre göre ters bir şekilde düşük çıktığı görülmüştür. Literatüre ters olan bu durumun, %20 S/B oranlı karışımların kıvamının düşük olması sebebiyle, karışımda kullanılan malzemelerin, homojen olarak karıştırılmayıp topaklanarak, kalıplara iyi yerleştirilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada; farklı oranlarda S/B, silis dumanı ve SAK kullanılarak, yüksek dayanımlı betonların dayanım değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Numuneler hazırlanırken 400 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olmak üzere 2 farklı dozaj değerleri kullanılmıştır. Bu incelemeler için belirlenen deneysel çalışma planına uygun olarak, 16 grupta toplam 96 adet $100 \times 100 \times 100$ mm boyutlarında küp numune üretilmiştir. Üretilen beton serileri: çökme deneyi, Ve-be deneyi ve basınç dayanımı testi deneyine tabi tutularak birbiriyle mukayese edilmişlerdir. Bu deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Düşük işlenebilirliğe sahip bir betonu, SAK ile akıcı hale getirmek mümkündür.
- %5 silis dumanı katkılı serilerde akışkanlaştırıcının fazla kullanımı işlenebilirliği olumsuz etkilediğinden dayanımı da olumsuz etkilemiştir.
- Silis dumanının, betonun karışım suyu ihtiyacını arttırdığı ve betonda kullanılan miktarının iyi ayarlanması halinde beton basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür.
- S/B oranının artmasıyla, literatüre uygun şekilde betonun kıvamında artış sağlanmıştır.
- S/B oranının artışı; 400 dozlu (A) numunelerde literatüre ters şekilde basınç dayanımında artışa, 600 dozlu (B) numunelerde ise literatüre uygun olarak basınç dayanımında azalmaya sebep olmuştur.
- 400 dozlu (A) ve 600 dozlu (B) numunelerde en yüksek dayanıma; silis dumanı miktarı %20, SAK miktarı %3 ve S/B oranı %30 olduğu seride ulaşılmıştır. 90 günlük basınç dayanımları 400 dozlu (A) numunede 91 MPa, 600 dozlu (B) numunede ise 93 MPa'ya kadar yükselmiştir.

Teşekkür

Yazarlardan, B.D., fikir sahibi, T.D. ve A.D. deneyleri gerçekleştirdi. B.D, T.D. ve A.D. sonuçları yorumladı, T.D., makaleyi yazdı.

Kaynaklar

- [1] T. Erdogan, Beton. Ankara: METU Press, 2003.
- [2] F. Kocataşkın, "Yüksek Dayanımlı Betonun Bileşimi, 2," Ulus. Bet. Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası,(TMMOB) İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 211–226, 1991.
- [3] A. C. I. C. 363, Report on High-Strength Concrete (ACI 363R-10). ACI, 2010.
- [4] B. S. Thomas and R. C. Gupta, "Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber," J. Clean. Prod., vol. 113, pp. 86–92, 2016.
- [5] H. T. N. Le, L. H. Poh, S. Wang, and M.-H. Zhang, "Critical parameters for the compressive strength of high-strength concrete," Cem. Concr. Compos., vol. 82, pp. 202–216, 2017.
- [6] H.-O. Shin, D.-Y. Yoo, J.-H. Lee, S.-H. Lee, and Y.-S. Yoon, "Optimized mix design for 180 MPa ultra-high-strength concrete," J. Mater. Res. Technol., 2019.
- [7] T. S. EN, "934-2+ A1," Kimyasal katkılar-Beton, harç ve şerbet için-Bölüm, vol. 2, 2013.
- [8] B. Y. Pekmezci and H. N. Atahan, "Kimyasal ve nano katkılar: betonda kullanımı ve beton performansına etkileri," Hazır Bet. Dergisi, Mayıs-Haziran, pp. 69–82, 2014.
- [9] N. M. Azmee and N. Shafiq, "Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications," Case Stud. Constr. Mater., vol. 9, 2018.
- [10] P. and C. C. Cement - Part 1: General Cements, Composition, "TS EN 197-1," Turkey, 2012.
- [11] O. Soykan, Ö. Cengiz, and Ö. Cenk, "Investigation of the Usability of Slate and Andesite as Concrete Aggregate," J. Suleyman Demirel Univ. Grad. Sch. Nat. Appl. Sci., vol. 19, no. 1, 2015.
- [12] M. Sümer And B. Söyler, "Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Çimento Ve Superakışkanlaştırıcı Beton Katkı Maddelerinin Etkinliği," Sak. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 6, no. 3, pp. 3–15, 2002.
- [13] A. Demirbilek, "Yüksek Dayanımlı Betonda Su/Bağlayıcı Oranı Ve Kimyasal Katkı Oranı İlişkisinin Dayanım ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisi," Fırat university, 2019.
- [14] H. Paiva, A. S. Silva, A. Velosa, P. Cachim, and V. M. Ferreira, "Microstructure and hardened state properties on pozzolan-containing concrete," Constr. Build. Mater., vol. 140, 2017.
- [15] A. V. Özden, "Betonun basınç ve çekme dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler üzerine bir araştırma." Namık Kemal Üniversitesi, 2010.
- [16] Türk Standardları Enstitüsü, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, "TS EN 12390-3," Turkey, 2019.
- [17] R. Palla, S. R. Karade, G. Mishra, U. Sharma, and L. P. Singh, "High strength sustainable concrete using silica nanoparticles," Constr. Build. Mater., vol. 138, pp. 285–295, 2017.
- [18] B. Demirel ve S. Yazıcıoğlu, "Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi," Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 11, no. 1, pp. 103–109, 2007.
- [19] Y. Shi, G. Long, C. Ma, Y. Xie, and J. He, "Design and preparation of ultra-high performance concrete with low environmental impact," J. Clean. Prod., vol. 214, 2019.