

Hiper Akışkanlaştırıcı ve Mineral Katkılı Harçların Performans Özellikleri

Performance characteristics of hyper plasticizer and mineral additive mortars

Atila Gürhan Celik*¹

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun/Türkiye

* e-posta: atila.celik@giresun.edu.tr

Özet

Bu çalışmada hiper akışkanlaştırıcı (HA) ve mineral katkı olarak silis dumanı (SD) ile beton üretimi ve imal edilen betonların mühendislik özellikleri yapılan deneyler yardımıyla incelenmiştir. Referans betonla beraber farklı yüzdelerce (1,0-1,2-1,4-1,6) silis dumanı ve akışkanlaştırıcı katkı 4 tip küp beton(15x15x15) üretilmiştir. Her karışım tipi için numune imal edilerek bu numuneler 7-28-60 günlük kür sürelerince mekanik ve fiziksel deneylere tabi tutulmuştur. Karışım da hiper akışkanlaştırıcı(%1) ve mineral katkı(%1-1.6) kullanılmıştır. Böylece katkı oranı arttıkça yüksek dayanımlı betonlar daha ekonomik olarak imal edilebilmektedir. Karışım da mineral katkı miktarı arttıkça normal betona göre kür süresine bağlı olarak dayanım değerlerinin orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Konvansiyonel (RFR) betona göre kullanılan katkılar sayesinde su ihtiyacı %10 civarında azalmıştır. Akışkanlaştırıcı katkısı ile düşük SD ilave edildiğinde bile daha düşük birim hacim ağırlığa sahip daha yüksek dayanımlı betonlar ekonomik olarak imal edilebilmektedir. Farklı beton tiplerinde katkı oranı arttıkça basınç, çekme ve darbe dayanımı artmaktadır. Basınç deneyi uygulanan mineral katkı 1 numune tiplerine en iyi sonucu SD1,6 silis dumanı katkı 1 numune tipi göstermiş ve 60 günlük kür süresi sonunda RFR betona göre %37 daha fazla dayanıma sahip olmuştur.

Anahtar kelimeler: Beton, Çimento, Hacim ağırlık, Kompasite, Schmidt darbe dayanımı, Hiper akışkanlaştırıcı

Abstract

In this study, the production of concrete using hyperplasticizer (HA) and silica fume (SD) as a mineral admixture and the engineering properties of the produced concrete were investigated through experiments. Four types of concrete cubes (15x15x15) were produced, along with a reference concrete, containing varying percentages of silica fume and plasticizer (1.0, 1.2, 1.4, and 1.6). Samples were produced for each mixture type and subjected to mechanical and physical tests for 7, 28, and 60 days of curing. Hyperplasticizer (1%) and mineral admixture (1-1.6%) were used in the mixture. Thus, as the admixture ratio increases, high-strength concrete can be produced more economically. It has been observed that as the amount of mineral additives in the mix increases, strength values increase proportionally with the curing time compared to conventional concrete. Water requirements have been reduced by approximately 10% compared to conventional (RFR) concrete thanks to the additives used. Even with the addition of a plasticizer and low SD, higher strength concrete with lower unit weight can be produced economically. Compressive, tensile, and impact strengths increase with increasing additive ratios in different concrete types. The best result among the mineral added sample types subjected to compression testing was shown by the SD1.6 silica fume added sample type and had 37% more strength than RFR concrete at the end of the 60-day curing period.

Keywords: Cement, Concrete, Bulk weight, Compactness, Schmidt impact strength, Hyperplasticizer

1.GİRİŞ

Beton; çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Baraj, kanal gibi su yapıların yanında yol, bina, köprü ve diğer yapıların inşaatında kullanılır (Celik, 2024). Hamurdaki dayanım çimento

ve silis dumanı vb. katkı miktarları ile su/bağlayıcı malzeme (S/B) oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Khayat ve Aitcin, 1991). Araştırmalara göre çimentonun %5'i kadar katılan silis dumanı su ihtiyacını fazla değiştirmemekte ve kaku miktarı arttıkça su ihtiyacı artmaktadır. Silis dumanı teçhizatlı kullanımlarının erken dönemindeki sıcak hava koşullarından faydalanılması mekanik avantajlarından ve kazanımından elde edilecek bir rol hedefe işaret etmektedir (Khayat ve Aitcin, 1992). Frantisek ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, silis dumanı ilavesi ve kullanılan polikarboksilat süperakışkanlaştırıcı türü açısından reaktif toz beton karışımlarının optimizasyonunu ele almışlardır. Silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı içeriğinin özgül ağırlık, eğilme ve basınç dayanımları ve mikro yapı üzerinde önemli etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Optimum reaktif toz beton karışımının bileşimi %3,5-4,0 süperakışkanlaştırıcı ve %15-25 silis dumanı olmalıdır (Frantisek ve ark., 2023). Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcının birlikte sistemli olarak kullanımı, beton teknolojisinde yüksek dayanımlı ve kaliteli beton üretimine imkan vermektedir (Özturan ve ark., 1996). Akışkanlaştırıcı kullanımı özellikle ince taneli betonlarda aşırı su kullanımının önüne geçebilmektedir (Komurlu ve Kesimal, 2015). Madhanasree ve ark. (2016) çalışmalarında, sertleştirilmiş betonun nihai basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarılmada çekme dayanımı, farklı malzeme karışım kombinasyonları için belirlenmiş ve bu değerler geleneksel betonun değerleriyle karşılaştırılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı ile %13 oranında silis dumanı ikamesinin optimum olduğunu bulmuşlardır (Madhanasree ve ark.2016). Ramesh ve ark, (2024) çalışmalarında, betonun dayanımının %15'lik bir ikame dozunda arttığı ve bu sınırın ötesinde kademeli olarak azaldığı gösterilmiştir. Beton karışımı, silis dumanı eklendikçe daha az işlenebilir hale gelmektedir (Ramesh ve ark, 2024). S/B oranı 0,27 olan SD'li betonlarda 28 günde 93,91 MPa dayanımlar elde edilmiştir (Uygunoğlu, 2014). Bu çalışmada; hiper akışkanlaştırıcı (HA) ve mineral katkı olarak silis dumanı (SD) ile beton üretimi ve imal edilen betonların mühendislik özellikleri yapılan deneyler yardımıyla incelenmiştir.

2.MALZEME ve YÖNTEM

2.1.Malzeme

2.1.1.Agrega

Bu çalışmada kullanılan agregalar 0-2mm, 2-4mm, 4-8mm 8-16 16-22,4 ve 22,4-32 tane boyutuna sahip olacak şekilde gruplandırılmışlardır. TS 802'ye uygun olarak maksimum dane boyu 22,4 mm alınmış ve granülometri eğrisine uygun olarak karışıma eklenmiştir. Agrega Giresun Tirebolu ilçesinde yer alan Süleymanoğlu kum-çakıl ocağından temin edilmiştir.

2.1.2. Çimento

Araştırmada Gümüştaş beton santralinden temin edilen CEM I 42.5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. TS EN 197-1 standardına göre sadece portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşıdan oluşmaktadır. Genel kullanıma uygundur. Erken kalıp alınması gerektiği durumlarda kullanılması uygundur. Soğuk havada beton dökümünde tercih edilir. Çimento fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento fiziksel ve kimyasal analizi

No	Kızdırma Kaybı(%)	Çöz. Kalıntı(%)	Özgül Ağırlık(g/cm ³)	SO ₃	Özgül Yüzey (cm ² /gr)
1	3,40	0,33	3,10	3,42	4,032
2	3,00	0,33	3,10	3,32	4,100
3	3,68	0,34	3,10	3,38	4,119
4			3,08		3,960
Ort.	3,36	0,33	3,10	3,39	4,097

2.1.3. Kimyasal katkı

Deneylerde kullanılan kimyasal katkı çeşitleri; silis dumanı ve hiper katkıdır. Silis dumanı Türkiye’de TS EN 13263-1 standartlarına uygundur. SD katkı malzemesinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Hiper Akışkanlaştırıcı kimyasal analizi Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 2. SD kimyasal analizi

	Yoğunlaştırılmış	Yoğunlaştırılmamış
% Cr ₂ O ₃	0,32	0,27
% SiO ₂	91,57	79,13
% Fe ₂ O ₃	0,15	0,33
% Al ₂ O ₃	0,38	0,71
% CaO	0,32	0,21
% MgO	4,05	7,73
% C	0,217	1,350
% S	0,075	0,965
% LOI	-	3,11

Tablo 3. Hiper akışkanlaştırıcı kimyasal özellikleri

Kimyasal İçeriği	Polikarboksilat esaslı
Görünüm-Renk	Kahverengi sıvı
Yoğunluk	1.04 ± 0.02 kg/l.
pH Değeri	4.0 ± 1
Klor İçeriği	< % 0.1
Alkali İçeriği	< % 4
Donma Noktası	-4 °C

2.1.4. Su

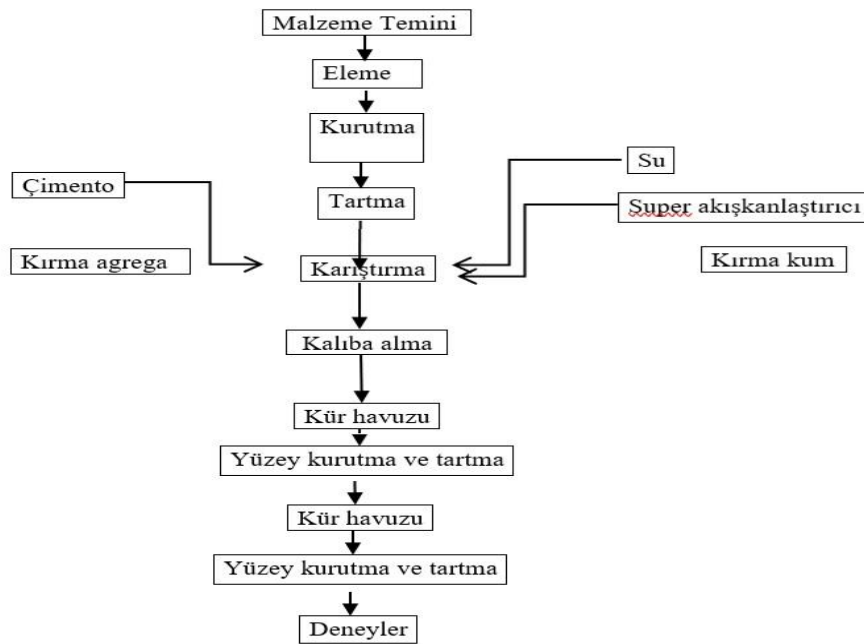
Deneylerde santralde bulunan şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Çalışmalar Giresun Üniversitesi Yapı ve Yapı malzemeleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numuneler belirlenen reçetelerde karıştırılmış (tablo 4), kalıplara dökülmüş, kür havuzuna konulmuş ve kür sürelerine bağlı olarak kalıplardan alınmıştır (Şekil 1). Beton numunelerinin basınç dayanım değerlerini belirlemek amacıyla, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak beton presinde kırılmıştır. Her numune grubundan 7, 28, ve 60.gün kür süresi için 3'er adet olmak üzere toplam 36 adet numune deneye tabi tutulmuştur (Şekil 2). Deneyler TS 699, TS, EN, 1744-1, TS 1114 EN 13055-1, TS 3529, ASTM-C 127-42 ve TS EN 12390-4 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Kalıba alma ve kırma



Şekil 2. Beton üretim aşamaları

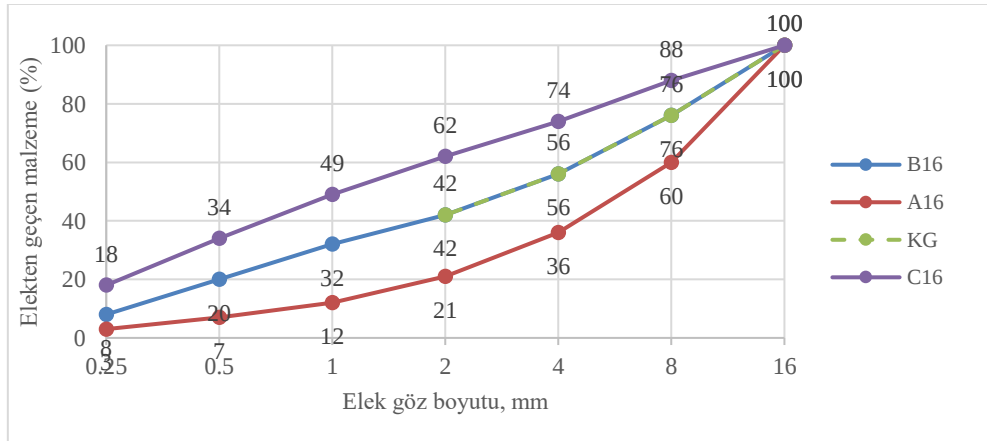
Tablo 4. Beton üretim reçetesi

Bileşenler	Miktar (kg/m ³)			
	SD1,0	SD1,2	SD1,4	SD1,6
Çimento	350	350	350	350
Su	155	155	155	155
Doğal Kum	305	305	305	305
Kırma Kum	713	713	713	713
Kırmataş1	317	317	317	317
Kırmataş2	513	513	513	513
Mineral Katkı	3,10	3,72	4,34	4,96
S/B Oranı	0,50	0,50	0,50	0,50
Hiper Akış.	3,10	3,10	3,10	3,10

3.BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Elek analizi

Agrega için elek analizi, eleklerin en geniş açıklığa sahip olanı en üste konulacak şekilde başlanıp en dar açıklığa sahip olan eleğe doğru üst üste dizilir. Elek üzerinde biriken yığışlı malzeme miktarı belirlenir. Numune kütlesinden yığışlı biriken miktar çıkarılıp başlangıç numunesinin kütlesine bölündüğünde her elek açıklığı için % geçen miktarı belirlenir ve elek açıklığına göre grafik üzerine yazılır. Bu çalışma için yapılan elek analizi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Agreg granülometri eğrisi

3.2. Çökme (slump) deneyi

Hazırlanan tüm karışımlar için slump deneyleri ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir karışımın slump değerleri Tablo 5'de gösterilmiştir. Çökme değerleri incelendiğinde; karışıma belirli oranlarda

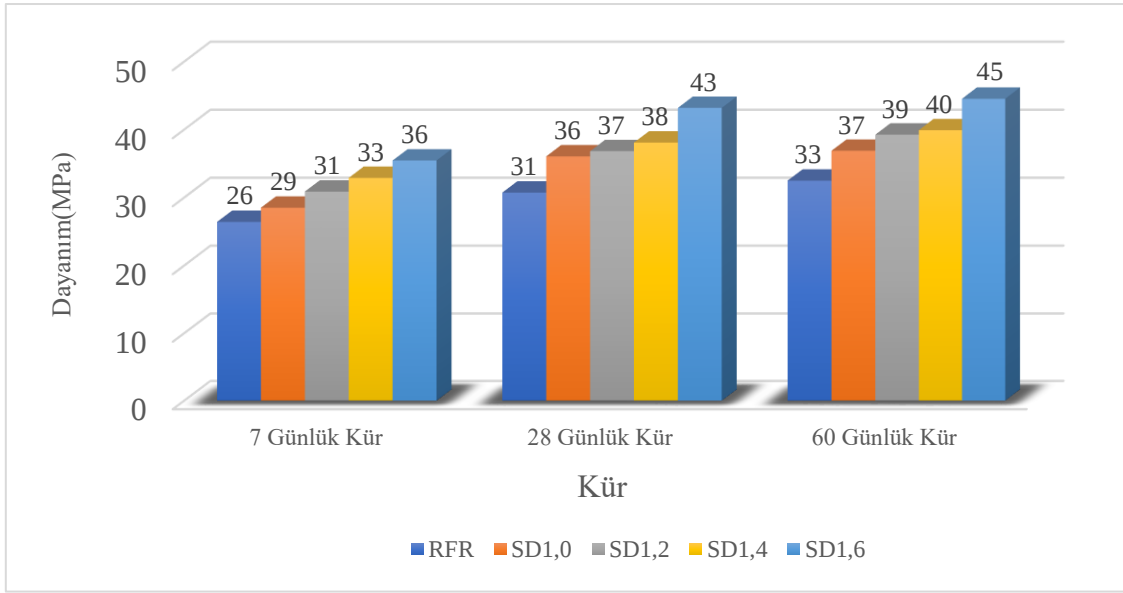
mineral katkı eklenmesi çökme değerlerinde düşüşe neden olmuştur. Mineral katkı ilavesi taze betonun işlenebilirliğini azalttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Karışımların slump (çökme) değerleri

Numune Tipi	Slump Değerleri (cm)
SD1,0	18
SD1,2	17
SD1,4	15
SD1,6	13

3.3. Basınç dayanımı

Her bir karışım tipi için basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4’de verilmiştir. 7-28-60 gün kür süresince incelenmiştir. 7 günlük kür süresince basınç dayanım sonuçları incelendiğinde SD1,6 beton 35,45 MPa değeri ile en yüksek dayanıma sahip olurken, SD1,4 karışımı 32,89 MPa, SD1,2 karışımı 30,88 MPa, SD1,0 karışımı 28,51 MPa ve RFR(referans) karışımı 26,42 MPa basınç dayanım değerini vermiştir. 28 günlük kür süresince basınç dayanım sonuçları incelendiğinde SD1,6 beton 43,20 MPa değeri ile en yüksek dayanıma sahip olurken, SD1,4 karışımı 38,09 MPa, SD1,2 karışımı 36,83 MPa, SD1,0 karışımı 36,06 MPa ve RFR karışımı 30,74 MPa basınç dayanım değerini vermiştir. SD katkılı karışımlarda SD miktarı arttıkça 28 günlük kür süresinde basınç dayanım değerlerinin doğru orantıda arttığı gözlemlenmiştir. Tüm numune tiplerinde 7 günlük küre göre basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Burada en büyük artış SD1,0 ve SD1,6’ da görülmektedir. SD1,2 ve SD1,4 daha az oranda artış göstermiştir. 60 günlük kür süresince basınç dayanım sonuçları incelendiğinde SD1,6 beton 44,53 MPa değeri ile en yüksek dayanıma sahip olurken, SD1,4 karışımı 39,91 MPa, SD1,2 karışımı 39,26 MPa, SD1,0 karışımı 36,88 MPa ve RFR karışımı 32,49 MPa basınç dayanım değerini vermiştir. SD katkılı karışımlarda SD miktarı arttıkça 60 günlük kür süresinde basınç dayanım değerlerinin doğru orantıda arttığı gözlemlenmiştir. Tüm numune tiplerinde 28 günlük küre göre basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. En fazla artış %6,6 (2,43 MPa) ile SD1,2 numune tipinde görülmüştür. En az artış ise %3,1(1,33 MPa) ile SD1,6 numune tipinde görülmüştür.



Şekil 4. Kür sürelerine göre basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması

3.4. Darbe dayanımı (Schmidt çekici değerleri)

Her numune için 10 ayrı noktada vuruş yapılır ve geri tepme sayısı (R) okunur. Deney ASTM C 805'e göre, R değerine karşılık gelen silindirik basınç dayanımı okunarak yapılmıştır. Yapılan vuruşların aritmetik ortalaması Tablo 6'da görülmektedir. Deney sonuçlarına göre mineral katkı oranı arttıkça schmidt çekici dayanım değerlerinin de doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Numunelerin Schmidt darbe dayanım değerleri

Schmidt darbe	SD1,0	SD1,2	SD1,4	SD1,6
7 gün	15,5	15,9	16,4	17,5
28 gün	19,2	19,4	20,2	21,6
60 gün	20,5	20,8	21,3	22,2

3.5. Yoğunluk, porozite ve su emme tayini

Kürden çıkarılan numunelerin ıslak ağırlıkları tartılıp veriler kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler 24 saat boyunca etüvde kurutulup tartılarak numunelerin kuru ağırlıkları da belirlenmiştir. Numunelerin porozite ve su emme değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Mineral katkısı arttıkça ağırlık azalmaktadır. Katkı oranı artırıldıkça, artış oranı çok küçük miktarlarda olsa bile su emme ve porozite değerleri doğru orantılı olarak düşmektedir.

Tablo 7. Numunelerin yoğunluk, su emme ve porozite değerleri

No	Yoğunluk (g/cm ³)	Kuru ağırlık (g)	Islak ağırlık (g)	Su emme (g)
SD1,0	2359,2	7926,0	7952,0	26
SD1,2	2359,8	7892,0	7916,0	24
SD1,4	2360,4	7942,0	7965,0	23
SD1,6	2361,1	8084,5	8103,5	19

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mineral (silis dumanı) ve hiper akışkanlaştırıcı katkılı beton üretilip mühendislik özellikleri yapılan deneyler ile araştırılmıştır. Betona düşük miktarlarda mineral ve hiper akışkanlaştırıcı ilave edilmesinin beton numuneleri üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur;

- Slump deneyleri incelendiğinde silis dumanının aynı su/bağlayıcı oranındaki taze betonların çökme değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir. Dolayısı ile silis dumanının taze betonda işlenebilirliği olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Su/bağlayıcı oranı sabit tutularak işlenebilirliği korumak için hiper akışkanlaştırıcı miktarının ilave edilen silis dumanı miktarıyla orantılı olarak artırılması önerilmektedir.
- Mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı sertleşmiş betonda boşlukları azalttığı, betonun mikro boşluklarını doldurduğu ve durabiliteyi iyileştirerek dış faktörlere karşı direnç sağladığını fiziksel deney sonuçları göstermiştir. Katkı oranı arttırıldıkça, artış oranı çok küçük miktarlarda olsa bile su emme ve porozite değerleri olarak düşmektedir. Karışımda eklenen katkı oranı arttıkça birim hacim ağırlık oranı da artmaktadır.
- Basınç deneyi sonuçları ele alındığında; su/çimento oranı sabit tutulduğunda dayanımın katkı oranına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Çimento harcına hiper akışkanlaştırıcı katkı ile birlikte eklenen silis dumanı betonun 7, 28 ve 60 günlük dayanımı olumlu etkilediği görülmüştür. Bunun sebebi silis dumanının hidrasyon sonucu ortaya çıkan serbest kireçle etkileşime girerek puzolanik aktivite göstermesidir. Basınç deneyi uygulanan mineral katkılı numune tiplerine en iyi sonucu SD1,6 silis dumanı katkılı numune tipi göstermiştir. SD1,6 olarak isimlendirilen numune tipi, 60 günlük kür süresi sonunda RFR betona göre %37 daha fazla dayanıma sahip olmuştur. Bu artış dikkate alındığında hiper akışkanlaştırıcı katkı ile birlikte kullanılan silis dumanı mineral katkısının yüksek dayanım sağladığını söylemek mümkündür.

- Schmidt deney sonuçları da tek eksenli basınç dayanım sonuçları gibi incelenen oranlarda SD katkı artışı ile orantılı olarak artmıştır.

Kaynaklar

- Celik, A.G., “Silis Dumanı Katkılı Farklı Betonların Mühendislik Özellikleri’ MT Bilimsel Sayı: 26, 47 - 58, 2024.
- Celik, A.G., “Investigation of microstructure and physicomechanical properties of boron belit cement mortars containing blast furnace slag as alternative to portland cement” Sadhana, 47:233 2022.
- Frantisek S., Lubos B., Radoslav N., Lucie D., Nikola S., Jan H., Ondrej K and Martina D. “The effects of silica fume and superplasticizer type on the properties and microstructure of reactive powder concrete” Materials 16(20), 6670, 2023.
- Khayat, K. H., Aıtcın, P.C., “Silica Fume in Concrete: An Overview. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete”, Proceedings Fourth International Conference, 835-872. İstanbul, Türkiye, 1992.
- Klieger P., Effect of mixing and curing temperature on concrete strength. Journal of the American Concrete Institute, 54 (6), 1063–1081, 1958.
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2015. Sulfide-rich mine tailings usage for short-term support purposes: An experimental study on paste backfill barricades. Geomechanics and Engineering, Vol. 9, 195-205.
- Madhanasree R. M., A. Joe Paulson and R. Angeline Prabhavathy.“ Study on silica fume replaced concrete with super plasticizer” Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 11, no. 9, 2016.
- Özturan, T., Özel, M., Şigaher, A.N., “Süperakışkanlaştırıcı dozajının uçucu kül ve silis dumanı katkıli betonlarda işlenebilme ve dayanıma etkisi”, TMMOB. İMO. 4. Ulusal Beton Kongresi ‘Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar’, İstanbul, (1996).
- Ramesh R., Mithun B M, “Performance of silica fume as a partial replacement on cement concrete strength” International Journal for Multidisciplinary Research Vol. 6, Issue 3, 2024.
- T. Uygunoglu, İ.B. Topçu, A.G. Çelik, Use of waste marble and recycled aggregates in self-compacting concrete for environmental sustainability, Journal of Cleaner Production, 84, 691-700, 2014
- TS 699. “Doğal yapı taşları için test yöntemleri’ 1987.
- TS, EN, 1744-1. Agregaların kimyasal özelliklerine yönelik testler –Bölüm 1. Kimyasal analiz; 2000.
- TS 1114 EN 13055-1. ‘Hafif agregalar’ – Bölüm 1: beton, harç ve harç için hafif agregalar, 2004.
- TS 3529. Türk standardı. Birim ağırlığının belirlenmesi için test yöntemi beton için agregalar; 1980.
- EN 12390-4; Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı - Deney makinelerinin özellikleri, 2019.
- ASTM C 805. “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”, 2013.