

Makale Gönderim Tarihi:21.05.2024

Yayına Kabul Tarihi: 02.07.2024

Silis Dumanı Katkılı Farklı Betonların Mühendislik Özellikleri

Engineering Properties of various Silica Fume added Concrete Mixes

Atila Gürhan Çelik^{1*}¹Giresun Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun/Türkiye* Sorumlu Yazar: atila.celik@giresun.edu.tr

Özet

Günümüzde dayanımı yüksek beton elde etmek için puzolanik veya bağlayıcı özellikteki mineral katkıların beton karışımında kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Silis dumanı, bu amaçla kullanılan başlıca puzolan katkılardan birisidir. Bu çalışmada silis dumanı ile beton üretimi ve imal edilen betonların mühendislik özellikleri yapılan deneyler yardımıyla incelenmiştir. Referans betonla beraber farklı yüzdelerde (%5-10-15-20-25) silis dumanı ikameli 5 tip beton olmak üzere toplam 6 tip beton üretilmiştir. Her karışım tipi için 9'ar küp numune imal edilerek bu numuneler 7-14-28 günlük kür sürelerinde ayrı ayrı deneylere tabi tutulmuştur. Karışımında çimento yerine eklenen silis dumanı oranı arttıkça birim hacim ağırlık da orantılı olarak düşmektedir. Tüm beton tiplerinde basınç dayanımı arttıkça çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kesme dayanımı artmıştır. Ancak yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kesme dayanımındaki artış oranı basınç dayanımınıninkine göre daha düşük olmuştur. İmal edilen bütün betonlar arasında en yüksek dayanım değerleri, 28 günlük SD10 (%10 silis deman katkı) tip betonda görülmüştür. Karışım tiplerinin tamamında silis dumanı ilavesi %10'a kadar arttıkça basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silis Dumanı, Basınç Dayanımı, Hidrasyon, Portland Çimentosu.

Abstract

In the contemporary world, in order to obtain high strength concrete, the use of mineral additives which are pozzolonic or binder is gradually becoming widespread. Silica fume is one of the major mineral additives for that purpose. In this study; engineering properties of silica fume added concrete mixes was examined with the assist of tests. With the reference concrete, substituted silica fume variety percentages (5-10-15-20-25%) as 5 types concretes were tested. Totally 6 types of concretes were produced. For each type of mix, specimens were separately subjected to tests for (7-14-28) days during cure by produced 9 each of cubes specimen. When the proportion of silica fume which is added instead of cement in mix increases, the unit volume weight decreases economically. When compressive strength increases, splitting tensile strength, flexural strength and shear strength increase as well in all types of concretes. Nonetheless, increase rate of splitting tensile strength, flexural strength, shear strength is lower than one of compressive strength. Among the all manufactured concretes, highest strength values have been seen in the concrete type of SD10 (10% silica fume) for 28 day. It was observed that when substitution of silica fume increase up to 10%, compressive strength, tensile strength and flexural strength also increase in all types of mixes.

Keywords: Silica Fume, Compressive Strength, Hydration, Portland Cement

1. Giriş

Silis dumanının beton karışımında kullanılması, yüksek dayanımlı beton elde edilmesinin yanında, çevreye zararlı endüstriyel yan ürünlerin değerlendirilmesi ve beton karışımında gerekli olan çimento miktarını azaltarak daha ekonomik yoldan beton üretimini sağlamaktadır. Genel olarak, atık malzemelerin ya da endüstriyel yan ürünlerin diğer alanlarda kullanılmasına en iyi örnek inşaat uygulamalarıdır. Silis dumanı katkısı diğer puzolanlar gibi yeni C-S-H jelleri oluşmasını sağlamaları yanı sıra ince silis dumanı taneleri agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını arttırmalarıdır. Buna karşın belli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını artırmaları gibi olumsuz etkileri de vardır. Dolayısı ile betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olacak ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi klasik faktörlerden de etkilenecektir. Silika dumanı yapısı gereği genellikle pürüzsüz bir yüzeye, küresel ve camsı özelliklere sahiptir. Bu fonksiyonları sayesinde betondaki hava boşluklarını rahatlıkla doldurabilir (ASTM C 618; Cohen vd., 1990). Silis dumanı katkısı, diğer puzolanlar gibi yeni C-S-H jellerinin oluşumunu sağlarken, ince silika dumanı taneleri agrega-macun ara yüzeyini sıkılaştırarak ve güçlendirerek betonun mukavemetini artırır (Doğan, Ü. A ve ark.). Öte yandan, belirli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını artırmak gibi olumsuz etkileri de vardır. Silis dumanı ilavesi ile 28 günlük basınç dayanımında %20-50'ye varan bir artış elde edilebilir (Erdoğan, 2003). Beton üretiminde kullanılan silis dumanı, çimento taneleri arasındaki karışım suyunun yerini alır, granülometriyi iyileştirir ve serbest su miktarını artırarak olumlu etki yapar (Malhotra, 1997). Silis dumanının betonun işlenebilirliği ve basınç dayanımı üzerindeki etkisi farklı çimentolar kullanılarak araştırılmıştır (Goldman vd., 1989). Silis dumanının işlenebilirlik üzerindeki etkisi belirgindir (Topçu ve Canbaz, 2002). Ayrıca çimento sektöründe katkı malzemesi olarak uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik malzemeler de kullanılmaktadır (Kömürlü ve Kesimal, 2015). Yapılan bir çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak PC (CEM I 42,5R), Yüksek Fırın Cürufu kullanılarak üretilen betonların performansları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda puzolan katkılı harçların mukavemetleri 180 günlük kür sonunda PC harçlarından %48 daha yüksek, hidrasyon ısısı ise %88 daha düşük bulunmuştur (Çelik, 2022).

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzeme

2.1.1. Silis Dumanı

Silis dumanı, 920U formunda bulunan şekilsiz SiO₂ partiküllerinden oluşan, yapı kimyasalları, refrakter ve inşaat endüstrilerinde kullanılan, ASTM C-1240 (9) standartlarını sağlayan bir üründür. Firma verilerine göre teknik özellikler Çizelge. 1’de verilmiştir. Silis dumanda şekilsiz SiO₂ miktarı minimum %90, hacim yoğunluğu 0,25-0,35 kg/dm³, kızdırma kaybı maksimum %3.5 ve nemi maksimum %3 olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Mikrosilika 920U teknik özellikler

Şekilsiz SiO ₂	min %90
H ₂ O (nem)	max %3
Kızdırma Kaybı	max %3.5
+45 mikron üzeri	max %2.5
Hacim Yoğunluğu	0,25-0,35 kg/dm ³
BET	min 15-28 m ² /gr

2.1.2. Çimento

Bu çalışmada Akçansa CEM I 42.5 R portland çimento kullanılmıştır. Akçansa Çimento Sanayi Ladik Fabrikası’ndan çimento fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları temin edilmiştir. Çizelge. 2’de 1 aylık analizlerden birkaç günlük sonuçlar verilmiştir, ortalama ise 1 aylık sonuçlara göre alınmıştır.

Çizelge 2. Çimento fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

No	Kızdırma Kaybı (%)	Çöz. Kalıntı (%)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	SO ₃	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	2 gün MPa	7 Gün MPa	28 Gün MPa
1	3.40	0.33	3.10	3.42	4.032	27.6	44.1	57.3
2	3.00	0.33	3.10	3.32	4.100	29.6		57.8
3	3.68	0.34	3.10	3.38	4.119	29.3		52.9
4			3.08		3.960	28.6	44.6	56.7
Ort.	3.36	0.33	3.10	3.39	4.097	28.1	45.3	55.6

2.1.3. Agregalar

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 (10)'ye uygun olarak maksimum dane boyu 22,4 mm alınmıştır.

2.1.4. Karışım Suyu

Yapılan çalışmada karışım suyu olarak Giresun ilinde şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan suyun ilgili standartlarda yer alan özellikleri sağlamasına dikkat edilmiştir.

2.1.5. Süper Akışkanlaştırıcı Katkı

Glenium51'in geleneksel süper akışkanlık verici katkı maddesi kullanılmıştır. Bu süper akışkanlaştırıcının en önemli özelliği çimento dağılımının etkinliğini büyük ölçüde arttırmasıdır.

2.2.Yöntem

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. Deneysel çalışmalar Giresun Üniversitesi İnşaat mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu deney çalışmasında 1m³ beton imalinde kullanılması planlanan malzeme karışımları Çizelge. 3'te verilmiştir. Karışım hesaplarında S/B oranı 0.55 olarak belirlenmiştir. S/B oranı %15 SD ikameli karışımdan itibaren uygun işlenebilirlik için yeterlilik düzeyinde belirli bir miktarda artırılmıştır. Tüm karışımlarda kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı kullanılmış olup bu oran tüm karışımlarda çimento miktarının %1'i oranında sabit tutulmuştur. Bağlayıcı miktarı 300 kg/m³ olarak kullanılmıştır. Şahit betonu tasarımından sonra çimento yerine kütlece %5-10-15-20-25 oranlarında silis dumanı katılarak diğer beton karışımları imal edilmiştir.

Çizelge 3. Silis dumanı katkısı ve beton karışım oranları

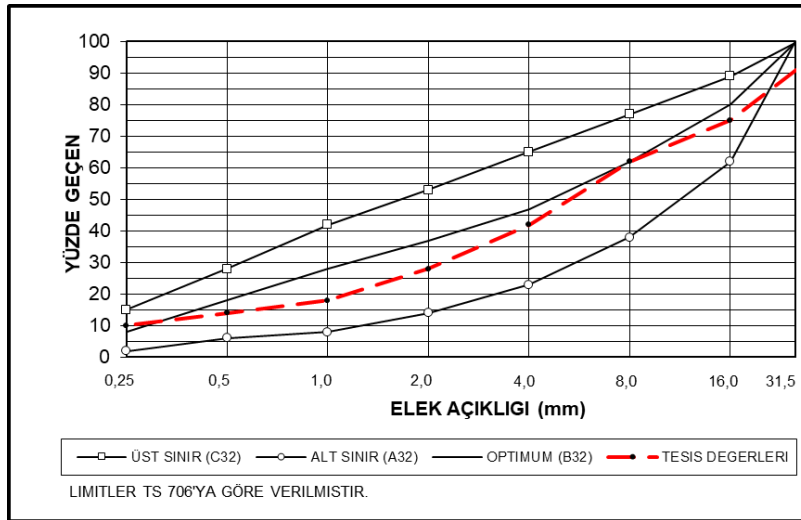
Bileşenler	Miktar (kg/m ³)					
	%0 SD	%5 SD	%10 SD	%15 SD	%20 SD	%25 SD
Çimento	300	285	270	255	240	215
Su	165	165	165	180	192	219
Kırma kum	1037	1037	1037	1037	1037	1037
Kırma taş 1	290	290	290	290	290	290
Kırma taş 2	584	584	584	584	584	584

Mineral katkı	0	15	30	45	60	75
S/B oranı	0.55	0.55	0.55	0.60	0.64	0.73
Kimyasal katkı	3.00 kg	3.00 kg	3.00 kg	3.00 kg	3.00 kg	3.00 kg

3. Deneysel Sonuçlar

3.1. Agrega 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. Daha sonra elekler sarsılarak her bir eleğin üstünde kalan malzemeler tartılır ve kayıtlanır. Elek üzerinde biriken yığışlı malzeme miktarı belirlenir. Numune kütlesinden yığışlı biriken miktar çıkarılıp başlangıç numunesinin kütlesine bölüldüğünde her elek açıklığı için % geçen miktarı belirlenir ve elek açıklığına göre grafik üzerine dökülür. Bu çalışma için yapılan elek analizi sonuçları Şekil. 1’de verilmiş olup beton üretimi için standartlara uygun bulunmuştur.



Şekil 1. Agrega Granülometri eğrisi

3.2. Çökme (slump) Deneyi

Hazırlanan tüm karışımların çökme deneyleri ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir karışımın çökme (slump) değerleri Çizelge. 4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Karışımların çökme değerleri

Numune Tipi	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Slump Değerleri (cm)
RFR	2383	14
SD5	2372	11
SD10	2367	11
SD15	2339	14
SD20	2292	16
SD25	2270	17

Çökme değerleri incelendiğinde; karışıma çimento yerine belirli oranlarda silis dumanı eklenmesi çökme değerlerinde düşüşe neden olmuştur. Silis dumanı ilavesi taze betonun işlenebilirliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada %15SD karışımından itibaren işlenebilirlik yeterli olmadığından %15-20-25SD karışımlarına su ilave edilmiştir. Yüzdece SD miktarı arttıkça işlenebilirlik için gereken ilave su miktarı da artmıştır. Su ilavesi yapılması %15SD karışımından itibaren çökme değerlerinde artışa sebep olmuştur.

3.3. Fiziksel Deneyler

Kürden çıkarılan numunelerin ıslak ağırlıkları tartılıp veriler kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler 24 saat boyunca etüvde kurutulup tartılarak numunelerin kuru ağırlıkları da belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre %5 ve %10 oranında silis dumanı katılan numunelerde referans numuneye göre su emme miktarında azalma görülmüştür. %15-20-25 silis katkılı numunelerde ise su emme miktarlarında artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi %15 SD ikamesi ve sonraki karışımlarda su ilavesi yapılması olarak değerlendirilir. Su/bağlayıcı oranı sabit tutulan silis dumanı katkılı numunelerde silis dumanı miktarı arttıkça su emme miktarının azaldığı, bu sebeple gözenekliliğin de azaldığı söylenebilir. Gözeneklilikle doğru orantılı olarak geçirgenlik de azalmıştır.

Elde edilen bulgular incelendiğinde su/bağlayıcı oranı sabit tutulan silis dumanı katkılı numunelerin porozite değerlerinde azalma görülürken kompasite değerlerinde artış gözlenmektedir. %15-20-25 silis dumanı katkılı numunelerin su/bağlayıcı oranının arttırılması ile birlikte porozitede artış görülürken kompozitede ise azalma gözlenmiştir. Deneylerden elde edilen veriler Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Numunelerin birim hacim ağırlık, porozite ve kompasite değerleri

Numune	B.H.A (kg/m ³)	Kuru ağırlık (g)	Islak ağırlık (g)	Boşluk Hacmi (dm ³)	Porozite (%)	Kompasite (%)
RFR	2383	8042.6	8068.1	0.025	0.75	99.25
SD5	2372	8005.5	8024.4	0.019	0.66	99.44
SD10	2367	7988.6	8006.2	0.018	0.52	99.48
SD15	2339	7894.1	7920.0	0.026	0.77	99.23
SD20	2292	7735.5	7769.3	0.034	1.00	99.00
SD25	2270	7661.25	7697.6	0.036	1.08	98.92

3.4. Mekanik Deneyler

3.4.1. Basınç Dayanımı

Beton karışımlarında çimento yerine kütlece %5-10-15-20-25 silis dumanı ilave edilerek hazırlanan numunelerin 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil. 3'te gösterilmiştir. Şekil. 3'te görüldüğü üzere üretilen beton numunelerin zaman içerisinde dayanımları artmaktadır. Elde edilen verilere göre referans betonun erken yaşlardaki (7 günlük) basınç dayanımı diğer numune tiplerinden daha yüksek iken referans betonun 28 günlük dayanımı diğer karışımlardan daha düşüktür. Silis dumanı ilave edilen betonların 28 günlük dayanımlarında belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir. %10 SD katkılı beton numunesi işlenebilirlik ve dayanım göz önünde bulundurulduğunda optimum seviye olarak gözlenmiştir.

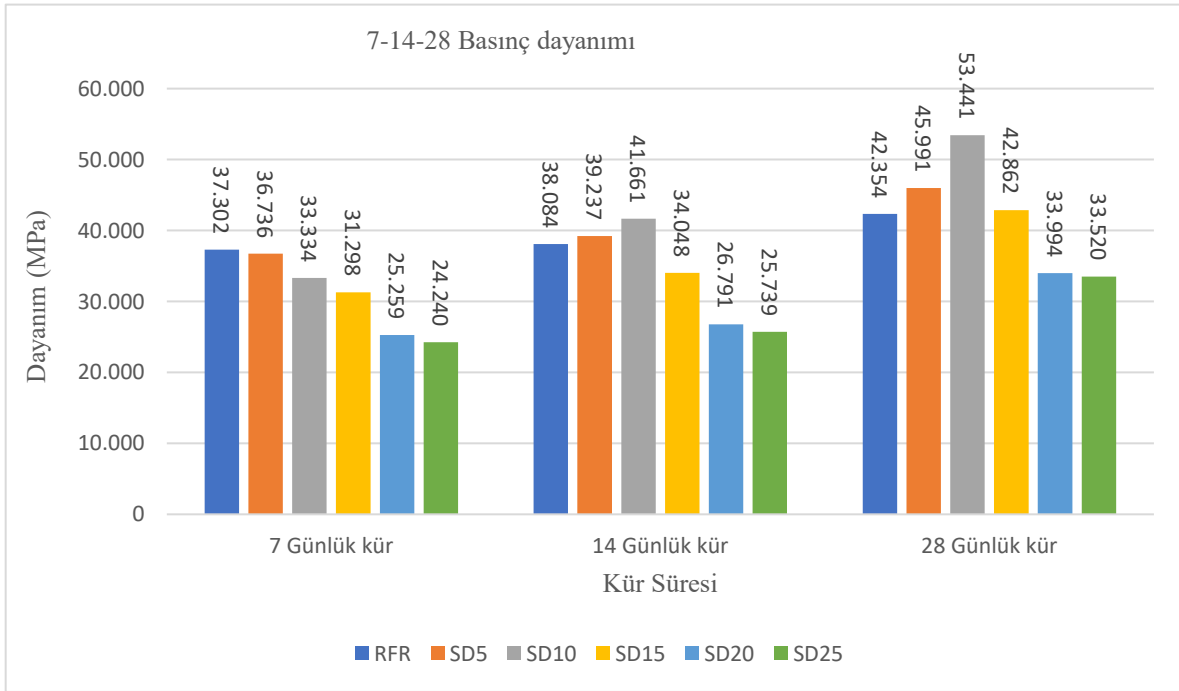


Şekil 2. Deneysel çalışmalardan bazı görseller

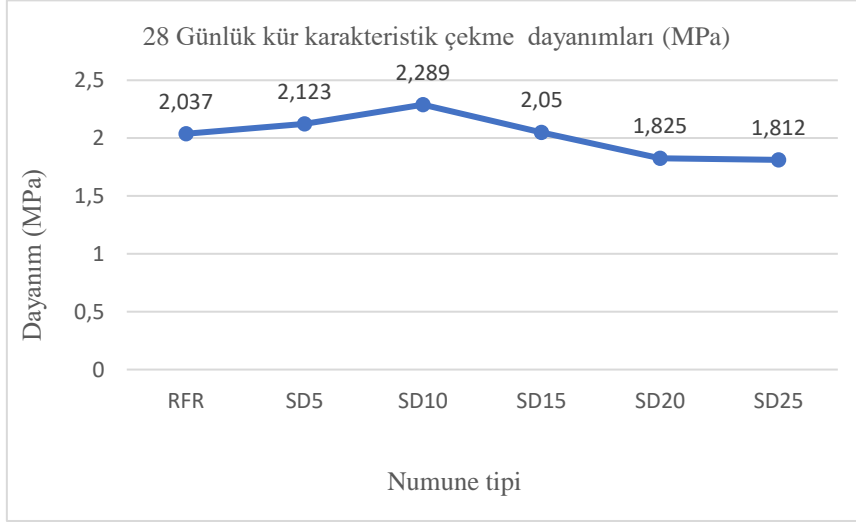
3.4.2. Çekme Dayanımı

Şekil. 4'te verilere göre 28 günlük kür süresince indirekt (dolaylı) çekme dayanım sonuçları incelendiğinde SD10 nolu karışım 2.289 MPa, RFR karışımı 2.037 MPa, SD5 karışımı 2.123 MPa, SD15 karışımı 2.050 MPa, SD20 karışımı 1.825 MPa ve SD25 karışımı 1.812 MPa dayanım değerini vermiştir. Tüm numune tiplerinde 14 günlük küre göre indirekt çekme dayanımlarında artış gözlenmiştir. SD5, SD10 ve SD15 numune tiplerinin çekme dayanımları referans numunesi çekme dayanımından yüksek olduğu gözlemlenirken, SD20 ve SD25 numunelerinin çekme dayanımları referans numunesi çekme dayanımından düşük çıkmıştır.

Karışımlarda SD10 numune tipi referans numuneye göre %12.4 fark ile en yüksek dayanımı vermiştir ve %10 SD ikamesinden sonra dayanım değerleri tekrar düşmeye başlamıştır. SD25 numune tipinin dayanım değeri referans numuneye göre %11 fark ile en düşük dayanımı vermiştir.



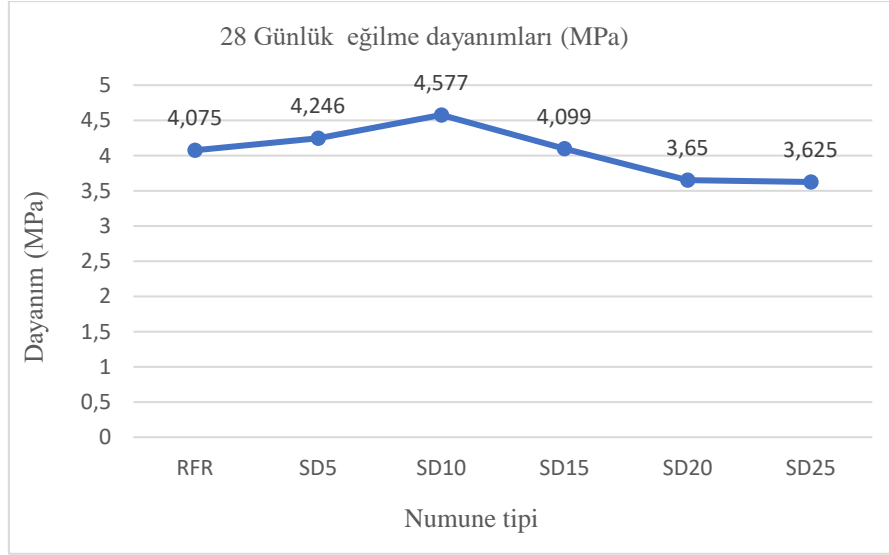
Şekil 3. Numunelerin kür sürelerine göre basınç dayanımı sonuçları



Şekil 4. Karışımların 28 günlük çekme dayanımları

3.4.3. Eğilme Dayanımı

Kiriş numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Şekil. 5'teki verilere göre 28 günlük kür süresince eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde SD10 nolu karışım 2.289 MPa değeri ile en yüksek eğilme dayanımına sahip olurken, RFR karışımı 2.037 MPa, SD5 karışımı 2.123 MPa, SD15 karışımı 2.050 MPa, SD20 karışımı 1.825 MPa ve SD25 karışımı 1.812 MPa eğilme dayanım değerini vermiştir. Tüm numune tiplerinde 14 günlük küre göre eğilme dayanımlarında artış gözlenmiştir. SD5, SD10 ve SD15 numune tiplerinin eğilme dayanımları referans numunesi eğilme dayanımından yüksek olduğu gözlemlenirken, SD20 ve SD25 numunelerinin eğilme dayanımları referans numunesi eğilme dayanımından düşük çıkmıştır. Karışımlarda SD10 numune tipi referans numuneye göre %12.3 fark ile en yüksek dayanımı vermiştir ve %10 SD ikamesinden sonra dayanım değerleri tekrar düşmeye başlamıştır. SD25 numune tipinin dayanım değeri referans numuneye göre en düşük dayanımı vermiştir.



Şekil 5. Karışımların 28 günlük eğilme dayanımları

4.Sonuç ve Öneriler

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir;

- Karışımında çimento yerine eklenen silis dumanı oranı arttıkça birim hacim ağırlık da orantılı olarak düşmektedir. Bunun sebebi silis dumanının yoğunluğunun çimentodan düşük olmasıdır. Böylece silis dumanı ilave edildiğinde aynı bağlayıcı miktarı ile daha düşük birim hacim ağırlığa sahip daha yüksek dayanımlı betonlar ekonomik olarak imal edilebilir.

- Basınç deneyi sonuçları ele alındığında; çimento harcına eklenen silis dumanı betonun erken yaştaki dayanımını olumsuz etkilerken, ileri yaştaki dayanımını ise olumlu etkilediği görülmüştür. Bunun sebebi ileri yaşta silis dumanının hidratasyon sonucu ortaya çıkan serbest kireçle etkileşime girerek puzolanik aktivite göstermesidir. Basınç deneyi uygulanan sırasıyla %5-10-15-20-25 silis dumanı katkılı numune tiplerine en iyi sonucu %10 silis dumanı katkılı numune tipi göstermiştir. SD10 olarak isimlendirilen numune tipi, 28 günlük kür süresi sonunda RFR betona göre %26 daha fazla dayanıma sahip olmuştur.

- Çimento harcına çimentonun kütlece %10'u kadar miktarlarda ilave edilen silis dumanı katkısı çimento harcının kıvamını ve taze betonun işlenebilirliğini tolere edilecek kadar etkilerken daha yüksek silis dumanı oranlarında yeterli bir işlenebilirlik düzeyi için kullanılacak su miktarı ilave edilen silis dumanı oranı ile birlikte arttırılmalıdır. İlave edilen betonda dayanımı düşüreceğinden silis dumanı kullanılan betonlarda istenen su/bağlayıcı oranı korunması için süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi dozajı arttırılmalıdır. Silis dumanı katkılı betonların

yapışkanlığı normal betonlara göre fazla olduğu için içlerinde yüksek miktarda havaya sahip olabilir. Bu sebeple etkili bir sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Gereken homojenlikte bir karışım sağlamak için betoniyerde karıştırma süresinin arttırılması önerilmiştir.

•28 günlük kür süresinde silis dumanı katkılı betonlarda çekme dayanımı ve eğilme dayanımlarında silis dumanı oranı belirli bir yüzdeye kadar arttıkça dayanımı da artırdığı gözlenmiştir. Silis dumanı oranı %10'a kadar olan betonlarda dayanım artışı gözlenirken, %10 ve fazla oranlarda ise dayanımlarda düşme gözlenmiştir.

•İmal edilen bütün betonlar arasında en yüksek dayanım değerleri, 28 günlük SD10 tip betonda görülmüştür. Karışım tiplerinin tamamında silis dumanı ilavesi %10'a kadar arttıkça basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir.

Kaynaklar

ASTM C 618-78, (1978), "Specification for fly ash & raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete, American Society For Testing and Materials, USA.

ASTM-C 127-42. Özgül ağırlık ve emilim için standart test yöntemi kaba agregalar.

Celik, A.G., "Investigation of microstructure and physicommechanical properties of boron belit cement mortars containing blast furnace slag as alternative to portland cement" Sâdhanâ, 47:233 2022.

Cohen, M.D., Olek, J., Dolch, W.L., 1990, Mechanism of Plastic Shrinkage Cracking in Portland Cement and Portland Cement-Silica Fume Paste and Mortar. Cement and Concrete Research, 103-119. ABD.

Doğan, Ü. A., ÖZKUL, M. H., Mineral katkılı betonlarda bileşimin basınç dayanımı ve geçirimsizliğe etkisi, itüdergisi/d mühendislik Cilt:8, Sayı:6, 121-132 Aralık 2009

Erdoğan, T. Y., , Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara,741s , 2003.

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, pp. 195-205.

Komurlu, E., Kesimal, A., Aksoy, C.O., 2017. Use of Polyamide-6 type Engineering Polymer as Grouted Rock Bolt Material. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, Vol. 3, Paper no: 37, <https://doi.org/10.1007/s40891-017-0114-6>

Malhotra, V. M., Mineral Admixtures. *Concrete Construction Engineering Handbook*, Nawy Edward G. CRC Press, New York, pp.27-36, 1997.

Goldman, A., Bentur, A., "Bond effects in high strength silica fume concretes", *ACI Materials Journal*, v.86, n.5, 440-447, 1989.

Topçu, İ. B., Canbaz, M., "Silis Dumanlı Betonların Ara Yüzlerinin İncelenmesi", *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, 469-476 (2002).

Yeğınobalı, A., 2002. Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı. TÇMB. Ankara, 64s.

TS 699. Türk standardı. doğal yapı taşları için test yöntemleri; 1987.

TS, EN, 1744-1. Türk standardı. Agregaların kimyasal özelliklerine yönelik testler –Bölüm 1. Kimyasal analiz; 2000.

TS 1114 EN 13055-1. Türk standardı. 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.

TS EN 12390-4; Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı - Deney makinelerinin özellikleri, 2019.