

PC VE SİLİS DUMANI MİNERAL KATKISINI İÇEREN HARÇ NUMUNELERİNİN BAZI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İsmail H. ÇAĞATAY ve Edibe ÖZDEMİR
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada, portland çimentosu (PC) ile birlikte silis dumanı (SD) mineral katkı maddesinin ikili harç numunelerinin işlenebilirlik, basınç, eğilme ve aşınma özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Tüm karışımlar için su/bağlayıcı oranı 0.5 alınmıştır. Basınç, eğilme, aşınma dayanımı sonuçlarına göre tekli mineral karışımlarda %5-%20 mertebesinde SD'nin çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilceği kanaatine varılmıştır. Harç numunelerinin aşınma değerleri genel olarak uzun dönemde daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silis dumanı, Dayanım, Aşınma

AN INVESTIGATION OF SOME PROPERTIES OF MORTARS INCLUDED BINARY COMBINATIONS OF PC AND SILICA FUME

ABSTRACT : This study presents an experimental investigation on the effect of binary combinations of silica fume (SF) and portland cement (PC) on workability, compressive strength, flexural strength, abrasion strength and shrinkage of mortars. All the mixtures were prepared with 0.5 water/binder ratio. According to results of compressive, flexural and abrasion strength, it is observed that for binary mixtures %5-%20 SF can be used as mineral additive for cement and concrete. The abrasion strength of mortars was generally better at longer periods.

Key Words: Silica fume, Strength, Abrasion

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve teknolojinin hızlı gelişmesinden dolayı, dünyadaki enerji tüketimi son yıllarda önemli derecede artmaktadır. Doğal kaynakların azalması, hava ve çevre kirliliği, endüstriyel atık malzemelerin kullanılma fikrine popülerlik kazandırmıştır. SD puzolanik özelliklerinden dolayı çimento veya betonda kullanılan atık malzemelerin en etkili olanlarından biridir.

SD mineral katkı maddesi olarak bilinmektedir. Genellikle harç ve beton üretiminde çimentonun ağırlık yüzdesi oranında, çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak bazen de çimentoya önceden karıştırılarak katkılı çimento şeklinde kullanılmıştır.

Elektronik endüstrisinde silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars (SiO_2) kumunun kömür ve yaprak haline getirilmiş odunla elektrik ark fırınlarında yüksek sıcaklıklarda indirgenmesi sonucu çok büyük miktarı SiO 'dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Fırınların soğuk kısımları olan üst bölümlerinde SiO gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf yapıya sahip SiO_2 durumuna dönüşen çok ince katı parçacıklara dönüşerek silis dumanını oluşturmaktadır. SD'nin %85 - %98'i SiO_2 'den oluşmaktadır.

Çimentodan yaklaşık 100 kat daha ince olan SD çimento hamurundaki mikro boşlukları ve ağrega-çimento ara yüzeyini doldurarak bir taraftan fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirerek betonun mukavemetini ve geçirimsizliğini artırırken diğer taraftan içerdiği aktif silis sayesinde hidrasyon üzerinden kalsiyum hidroksiti bağlayarak betonun durabilitesini arttırmaktadır. Kimyasal dayanıklılıktaki artış SD'nin puzolanik reaksiyonu sonucu kalsiyum silikat hidrat jeli (C-S-H) halinde suda çözünmez bir yapıya dönüştürmesine bağlıdır (1). SD, inceliği nedeniyle kanamayı ve poroziteyi azaltabilir. Bununla birlikte SD'nin özellikleri beton veya harç karışımlarında süperakışkanlaştırıcı kullanılarak artırılabilir (2).

Bu çalışmada öncelikle SD değişik oranlarda PÇ'na katılarak harç numunelerinde kullanılabilecek optimum oranlar araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Düşük dozlu betonlarda ve SD'nin çimentonun %5'i dolayında katılması durumunda su ilavesine gerek kalmayabilir. Fakat, normal olarak SD katkısı akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı katkıları ile birlikte kullanılmalıdır. Böylece SD katkısı artsa bile su miktarını arttırmadan ve hatta azaltarak aynı işlenmeyi sağlamak mümkün olmaktadır (3).

Khatri ve Sirivivatnanon (4), %100 PÇ'lu kontrol betonu, GYFC katkı ve SD katkı deneme karışımlarından ayrı olarak, PÇ'nun belli bir hacmi yerine UK + SD ve GYFC + SD içeren beton numunelerinin bazı özelliklerini incelemişlerdir. Su/bağlayıcı oranı 0.35 olarak alınmıştır. Sonuç olarak SD içeren karışımların, SD içermeyen karışımlara göre, daha yüksek dozajlı süperakışkanlaştırıcıya ihtiyaç gösterdiğini bulmuşlardır.

SD'li betonlarda kullanılan SD miktarı arttıkça, betonun belirli miktarda sürüklenmiş havaya sahip olabilmesi için, daha fazla miktarda hava sürükleyici katkıya ihtiyaç olmaktadır. Bu durum, muhtemelen, SD'nin çok ince taneli olmasından ve bir miktar karbon içermesinden kaynaklanmaktadır (5).

SD'nın çok ince taneli olması taze betonun içerisindeki suyu daha iyi tutmasına ve bu nedenle betonun daha az terleme göstermesine yol açmaktadır. Terlemenin az olması, betonun yüzeyinin düzeltilme işlemine daha erken başlanabilmesine imkan verebilmektedir. Öte yandan, terlemenin çok düşük hızla yer alması nedeniyle, plastik büzülme çatlakları daha kolay oluşabilmektedir (5).

Rao (6), harçlarda SD katkısının artmasıyla priz başlangıç sürelerinin de azaldığını ve az miktarda SD katkısının priz sürelerinde pek bir etki yapmadığını söylemektedir. Bununla birlikte yüksek miktarda SD katkısının, harçların priz başlama sürelerini önemli derecede azalttığını ve %30 SD katkısının priz başlama süresinin sadece 30 dakika olduğunu belirtmektedir. Ayrıca SD'nın, harçların priz sona erme sürelerini etkilemediğini de ifade etmektedir.

Yüksek su/bağlayıcı oranında SD, çimento hidrasyonunu hızlandırmaktadır, düşük su/bağlayıcı oranında ise yavaşlatmaktadır. UK ise çimento hidrasyonunu yüksek su/bağlayıcı oranında belirgin bir şekilde azaltmaktadır. Çimentoya SD ve UK birlikte katıldığında, SD'nın reaktivitesi engellenerek hidrasyon ısısı oldukça yavaşlamaktadır (7).

SD'li betonların basınç dayanımındaki artışı, çimento içerisindeki SD miktarından çok düşük su/bağlayıcı oranına bağlıdır. Basınç dayanımı, %20 SD katkısına kadar artmakta ve %10-%15 oranında maksimum seviyeye gelmektedir. Bununla birlikte mukavemet kazanma gücü kontrol betonunkine göre %15 daha az olmaktadır (8).

Shannag (9), yaptığı çalışmada, doğal puzolan ve SD kombinasyonunun, sade puzolan veya sade SD kullanılan betonlara kıyasla, basınç dayanımını daha çok arttırdığını açıklamıştır.

SD'nın beton içerisinde kullanılmasının en büyük iki nedeni, permeabilite ve dayanımda gösterdiği gelişmelerdir. Çimentonun %20'sinin SD ile değişmesi halinde basınç dayanımı büyük miktarda artmaktadır (10).

Gerek SD'nın çok ince taneli olmasıyla beton içerisindeki boşlukları azaltması (dolgu etkisi yaratması) ve gerekse puzolanik aktivitesinin çok yüksek olması, SD katılan betonlarda çok yüksek dayanımlar elde edilebilmesine yol açmaktadır. Ancak, SD'li betonlar, belirli bir kıvam için, çok büyük miktarda suya ihtiyaç duymaktadır. O nedenle, SD'li beton üretiminde mutlaka yüksek miktarda su-azaltıcı türde kimyasal katkıların da kullanılmaları gerekmektedir. Böylece, "su/(çimento+SD)" miktarı düşük tutulabilmektedir (5).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzemelerin Tanımlanması

3.1.1. Portland Çimentosu

Bu çalışmadaki tüm harç karışımları için Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.'de üretilmiş olan TS EN 197-1 (2002) ile uyumlu PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. PÇ'na ait kimyasal bileşim Çizelge 1.'de ve fiziksel özellikler Çizelge 2.'de verilmektedir.

3.1.2. Silis Dumanı

Degussa Yapı Kimyasalları tarafından Norveç'ten getirtilen SD kullanılmıştır. SD'nın kimyasal analizi Çizelge 3'te verilmektedir. SD'nın özgül yüzeyi 210800 cm²/gr'dır.

Çizelge 1. Kullanılan PÇ'nun Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	PÇ 42.5 (%)
SiO ₂	19.45
Al ₂ O ₃	5.47
Fe ₂ O ₃	4.08
CaO	62.19
MgO	2.87
SO ₃	2.58
Çözünmeyen Kalıntı	0.56
Kızdırma Kaybı	1.92
Na ₂ O	0.24
K ₂ O	0.94

Çizelge 2. Kullanılan PÇ'nun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	PÇ 42.5
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.12
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3350
0.045 mm Elek Üstünde Kalan (%)	3.5
0.090 mm Elek Üstünde Kalan (%)	0.2
Priz Başlangıcı (Saat:Dakika)	2:37
Priz sonu (Saat:Dakika)	3:20

Çizelge 3. SD'nın Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	Silis Dumanı (%)
SiO ₂	91.97
Al ₂ O ₃	0.62
Fe ₂ O ₃	1.32
CaO	0.31
MgO	1.25
SO ₃	0.35
Cl	0.06
Na ₂ O	0.49
K ₂ O	1.49

3.1.3 Agrega

Harç numunelerin hazırlanmasında kullanılan kum yıkandıktan sonra etiv kurusu durumuna getirilmiştir. Kurutulmuş kum elenerek 4 nolu elek altı kullanılmıştır. Kuma ait elek analizi sonuçları Çizelge 4 ve Şekil 1'de verilmektedir. Kuma ait fiziksel özellikler de Çizelge 5'te sunulmaktadır. ASTM C33'e göre kullanılan kum beton ve harç üretimi için uygundur.

Çizelge 4. Kuma Ait Elek Analizi Sonuçları

Elek No (mm)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (gr)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (%)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Miktar (%)	Elekten Geçen Miktar (%)
4	0.00	0.0	0.00	100.00
2	725.00	14.5	14.50	85.50
1	840.00	16.8	31.30	68.70
0.5	850.00	17.0	48.30	51.70
0.25	1850.00	37.0	85.30	14.70
Kap	735.00	14.7	100.00	
Toplam	5000.00			

Çizelge 5. Kuma Ait Fiziksel Özellikler

Fiziksel Özellik	Değeri
γ_{kur}	2.58
γ_{dky}	2.61
$\gamma_{görünen}$	2.65
Su Emme (%)	1.8

3.2. Harç Karışım Oranları

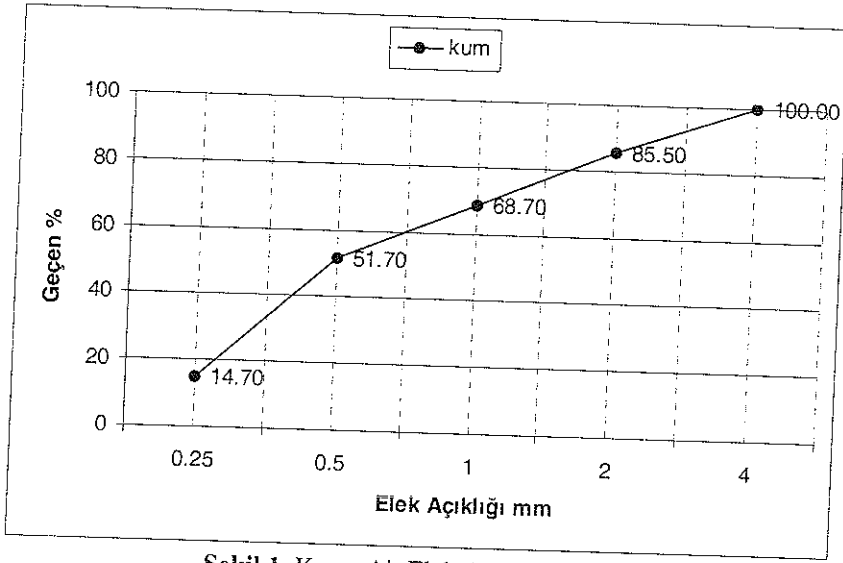
TS EN 196-1'e göre hazırlanan harç numunelerin kum/bağlayıcı oranı 3 ve su/bağlayıcı oranı 0.5'tir. Bu çalışmada PÇ, SD kullanılarak değişik oranlarda ikili karışımlar elde edilmiştir.

İkili karışımlarda PÇ'na ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30, %50 ve %75 oranlarında SD katılmıştır.

Ayrıca kıyaslama amacıyla sadece PÇ içeren kontrol harcı da dökülmüştür.

3.3. Numune Boyutları

Deney numuneleri TS EN 196-1'e uygun olarak (40 mm×40 mm×160 mm)'lik prizmalar şeklinde hazırlanmıştır.



Şekil 1. Kuma Ait Elek Analizi Grafiği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Basınç Dayanımı

SD içeren harçlara ait basınç dayanımları Çizelge 6'da verilmektedir. Basınç dayanımı zaman grafiği de Şekil 2'de verilmektedir.

S5 ve S10 bir gün sonra şahit numuneye göre daha yüksek basınç mukavemeti sergilerken S15 ve S20 üç gün sonra şahit numuneye göre daha yüksek basınç mukavemeti göstermektedir. S25 ve S30 ise üçüncü günde şahit numuneye çok yakın basınç mukavemeti vermektedirler ve sırasıyla 7. ve 28. günlerde şahit numunenin basınç değerlerini aşmaktadırlar. S50 ve S75 hiçbir günde iyi performans göstermemektedirler.

SD içeren harçlarda basınç mukavemeti artışı 28. güne kadar şahit numuneden fazla iken 28. günden 360. güne kadar basınç mukavemeti artışı şahit numuneden daha az olmaktadır.

S50 ve S75 hariç olmak üzere tüm numuneler 28. günde şahit numunenin 28 günlük dayanımını %5-%19 mertebesinde aşmışlardır. S50 360. günün sonunda şahit numunenin 28 günlük dayanımının %95'ini kazanmıştır. S75 180. ve 360. günlerde dahi çok kötü performans göstermiştir. Bunun bir sebebi akışkanlaştırıcı kullanılmadığından harcın kalıplara iyi yerleştirilememiş olmasıdır.

4.2. Eğilme Dayanımı

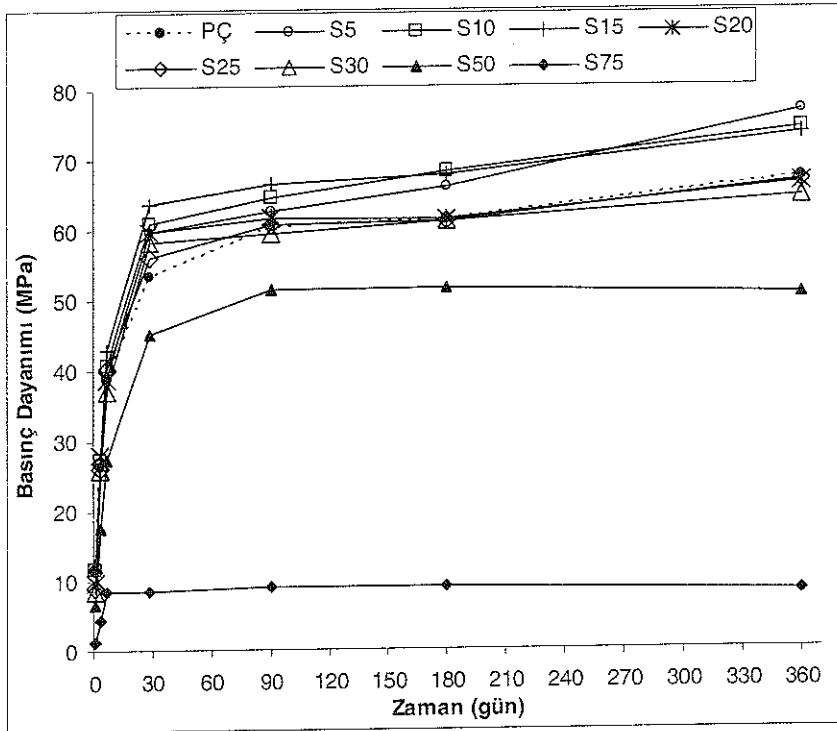
SD içeren harçlara ait eğilme dayanımları Çizelge 7'de verilmektedir. Eğilme dayanımı zaman grafiği de Şekil 3'te verilmektedir.

7. günde %30'a kadar SD içeren tüm numuneler şahit numunenin eğilme değeri ile kıyaslanabilir veya daha yüksek olurken 28. günde hepsi şahit numunenin eğilme değerini aşmaktadırlar.

Basınç dayanımında olduğu gibi mukavemet artışı 28. güne kadar şahit numuneden fazla iken 28. günden 360. güne kadar olan mukavemet artışı şahit numuneden daha az olmaktadır. S50 360. günde şahit numunenin eğilme mukavemetinin %86'sını elde ederken S75 şahit numunenin eğilme değerini hiçbir günde yakalayamamaktadır.

Çizelge 6. SD İçeren Harçlara Ait Basınç Dayanımları

Numune	Basınç Dayanımları (MPa)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180. Gün	360. Gün
S0	11.58	26.41	38.85	53.50	60.38	61.42	67.29
S5	11.75	26.88	39.13	59.66	62.65	66.03	76.92
S10	11.78	27.38	40.75	60.94	64.69	68.21	74.48
S15	11.38	27.50	42.81	63.63	66.50	67.84	73.54
S20	9.88	27.94	38.84	59.88	61.69	61.50	66.65
S25	9.04	26.16	40.27	56.00	60.75	61.16	66.88
S30	8.47	25.88	36.98	58.19	59.56	61.13	64.59
S50	6.63	17.63	27.21	45.16	51.56	51.75	50.84
S75	1.25	4.31	8.65	8.52	9.13	9.09	8.41



Şekil 2. SD İçeren Numunelere Ait Basınç Dayanımı -Zaman Grafiği

Çizelge 7. SD İçeren Harçlara Ait Eğilme Dayanımları

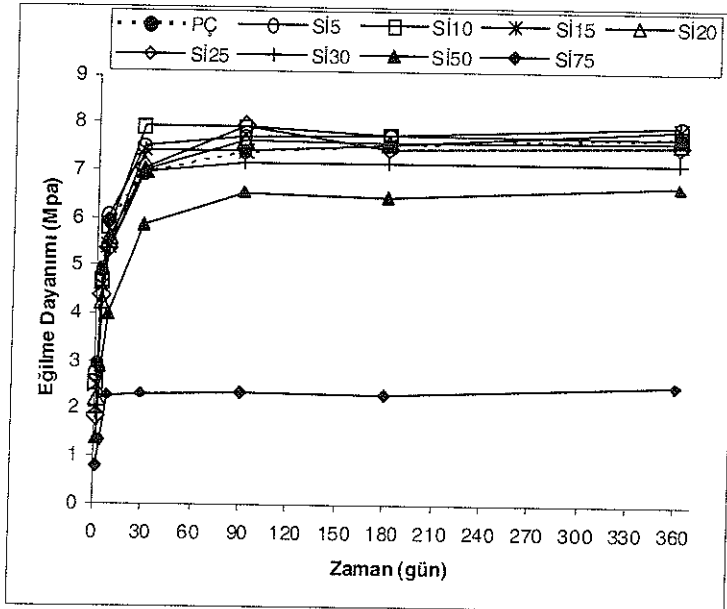
Numune	Eğilme Dayanımları (MPa)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
S0	2.95	4.91	5.93	6.94	7.40	7.55	7.73
S5	2.74	4.80	6.05	7.50	7.70	7.75	7.97
S10	2.56	4.67	5.82	7.91	7.91	7.76	7.72
S15	2.48	4.57	5.41	7.42	7.40	7.56	7.90
S20	2.23	4.27	5.60	6.98	7.62	7.59	7.64
S25	1.84	4.37	5.36	7.04	7.93	7.48	7.55
S30	1.89	4.56	5.34	6.96	7.18	7.16	7.18
S50	1.38	2.91	3.98	5.86	6.55	6.43	6.68
S75	0.77	1.35	2.28	2.32	2.36	2.30	2.50

S50 ve S75 hariç olmak üzere tüm numuneler 28. günde şahit numunenin 28 günlük dayanımına eşit veya daha fazla olmaktadır. S50 90. günden sonra 1 yıla kadar şahit numuneye yakın eğilme dayanımları geliştirmiştir. S75 de basınç dayanımında olduğu gibi iyi performans gösterememiştir.

4.3. Aşınma Direnci

Çizelge 8'de SD içeren harçların 100 döndüş sonundaki aşınma değerleri ve Çizelge 9'da 500 döndüş sonundaki aşınma değerleri sunulmaktadır.

S5 ve S10 90. günden itibaren. S15 ise 180. günden itibaren şahit numuneden daha az aşınmaktadır.



Şekil 3. SD İçeren Numunelere Ait Eğilme Dayanımı - Zaman Grafiği

100 dönüş sonunda %25 SD ve 500 dönüş sonunda ise %20 SD içeriğinden sonra numuneler tüm günlerde şahit numuneden daha fazla aşınmakta ve SD miktarı arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır.

1 yılın sonunda en düşük aşınma değerlerini %5 ve %10 SD içeren numuneler vermiştir. S5 ve S10 100 dönüş sonunda sırasıyla %22, %18 ve 500 dönüş sonunda da %14, %7 oranında şahit numuneden daha az aşınmışlardır.

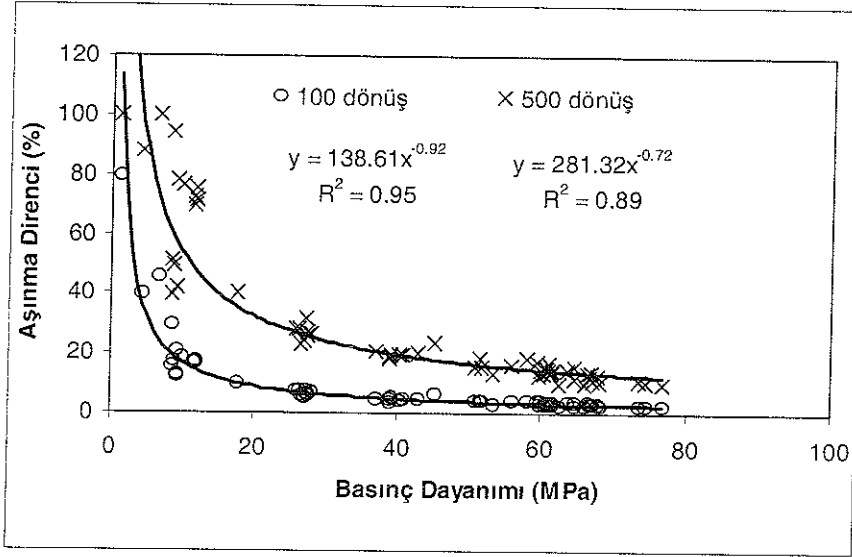
Çizelge 8. 100 Dönüş Sonunda SD İçeren Numunelere Ait Aşınma Değerleri

Numune	Aşınma Direnci (%)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
S0	16.54	5.53	3.45	3.14	3.11	2.99	2.61
S5	16.71	5.26	5.05	3.15	2.32	2.18	2.04
S10	17.00	6.28	4.88	3.42	2.28	2.24	2.14
S15	16.76	5.60	4.64	3.30	3.17	2.72	2.53
S20	18.26	6.84	4.73	3.79	3.61	3.07	2.70
S25	20.72	7.56	4.08	3.96	3.17	3.11	3.00
S30	29.16	7.69	4.66	4.03	3.90	3.67	3.38
S50	45.52	9.87	7.63	6.35	4.10	3.88	3.75
S75	79.05	39.49	17.02	15.51	12.56	12.32	15.70

Çizelge 9. 500 Dönüş Sonunda SD İçeren Numunelere Ait Aşınma Değerleri

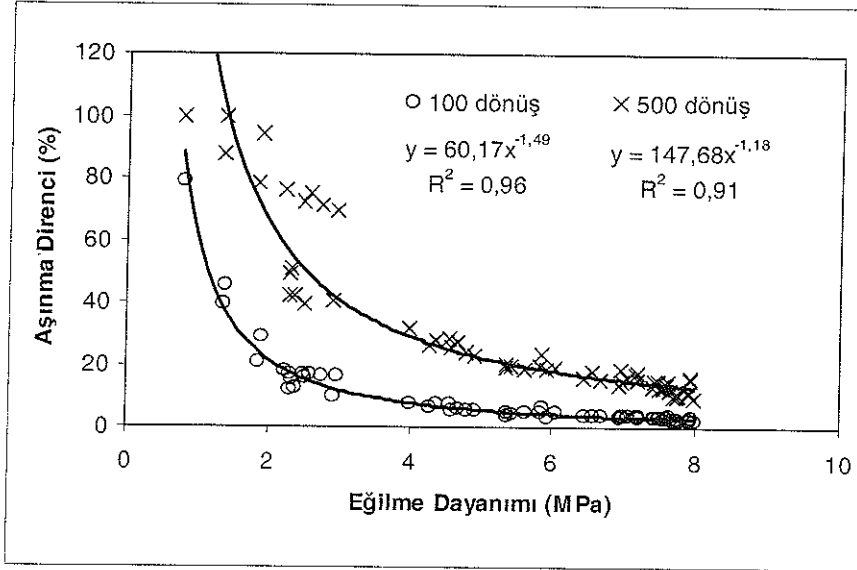
Numune	Aşınma Direnci (%)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
S0	69.57	22.76	18.39	13.43	13.38	13.31	11.11
S5	71.40	24.19	19.30	12.79	9.71	9.70	9.52
S10	74.93	27.22	19.66	15.09	11.70	10.44	10.33
S15	72.32	25.96	19.95	14.56	13.29	12.43	11.05
S20	76.27	26.14	18.87	14.60	14.57	13.64	12.05
S25	78.25	28.12	19.43	16.05	15.78	14.63	13.52
S30	94.02	28.42	20.42	18.42	17.34	16.74	15.39
S50	100.00	40.34	31.84	23.65	18.19	15.67	15.32
S75	100.00	87.86	49.10	51.17	42.13	42.10	39.51

SD içeren numunelerin basınç dayanımlarına karşılık gelen aşınma değerleri 100 dönüş ve 500 dönüş için ayrı olarak Şekil 4'te bir grafik üzerinde gösterilmiştir. UK'lerde olduğu gibi burada da aşınma direnci ve basınç dayanımı arasında doğrusal olmayan bir ilişki mevcuttur. Elde edilen ilişkinin korelasyon katsayısı 100 dönüş için 0.95 ve 500 dönüş için 0.89'dır.



Şekil 4. SD İçeren Numunelere Ait Aşınma Direnci-Basınç Dayanımı İlişkisi

SD içeren numunelerin eğilme dayanımlarına karşılık gelen aşınma değerleri 100 dönuş ve 500 dönuş için ayrı olarak Şekil 4' te verilmektedir. Korelasyon katsayıları da 100 ve 500 dönuş için 0.96 ve 0.91 olmaktadır.



Şekil 5. SD İçeren Numunelere Ait Aşınma Direnci-Eğilme Dayanımı İlişkisi

5. SONUÇLAR

PÇ ve SD ikili kombinasyonları olarak hazırlanan tüm numunelerin, basınç ve eğilme mukavemetleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmüştür.

Sadece PÇ ve SD içeren numunelerde ilk 28 günde mukavemet artış hızı çok fazla iken 28. günden sonra bu artış giderek azalmıştır.

Tüm numunelerde aşınma mukavemeti ile basınç ve eğilme mukavemetleri arasında kurulan ilişkilerin kuvvetli olduğu görülmüştür.

Sadece PÇ ve SD içeren numunelerde 1 yılın sonunda %15 SD ikamesine kadar SD içeren numuneler şahit numuneden daha az aşınmıştır ve %20 SD içeriğinden sonra SD miktarı arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımı sonuçlarına göre ikili karışımlarda %5-%20 mertebesinde SD'nun çimento katkı malzemesi olarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Güvercin,T., "Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Balayıcı Olarak Çimento Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2002.

2. Toutanji,H., Delatte,N., Aggoun,S., Duval,R., Danson,A., "Effect of supplementary cementitious materials on the compressive strength and durability of short-term cured concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp. 311-319, 2004.

3. Khayat,K.H., Aitcin,P.C., "Silica Fume in Concrete- An Overview", *Proceedings Fourth International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete. ACI-SP132, İstanbul, Turkey*, pp. 835-872, 1992.

4. Khatri,R.P., Sirivivatnanon,V., "Effect of Different Supplementary Cementitious Materials on Mechanical Properties of High Performance Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 1, pp. 209-220, 1995.

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

6. Rao,G.A., "Investigations on the Performance of Silica Fume-Incorporated Cement Pastes and Mortars", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 1765-1770, 2003.

7. Langan,B.W., Weng, K., Ward,M.A., "Effect of Silica Fume and Fly Ash on Heat of Hydration of Portland Cement. *Cement and Concrete Research*", Vol. 32, No. 7, pp. 1045-1051, 2002.

8. Duval,R., Kadri,E.H., "Influence of Silica Fume on the Workability and the Compressive Strength of High-Performance Concretes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 4, pp. 533-547, 1998.

9. Shannag,M.J., "High Strength Concrete Containing Natural Pozzolan and Silica Fume", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 22, pp. 399-406, 2000.

10. Nawy,E.G., "Fundamentals of High-Performance Concrete", John Wiley and Sons, Canada, 441p., 2001.



.....