

PC VE GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU MİNERAL KATKI SINI İÇEREN HARÇ NUMUNELERİNİN BAZI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

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

ÖZET : Bu çalışmada, portland çimentosu (PÇ) ile birlikte granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) mineral katkı maddesinin ikili harç numunelerinin 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-%50 mertebesinde GYFC' nun çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilceği kanaatine varılmıştır. Harç numunelerinin aşınma değerleri genel olarak uzun dönemde daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Granüle yüksek fırın cürufu, Dayanım, Aşınma

AN INVESTIGATION OF SOME PROPERTIES OF MORTARS INCLUDED BINARY COMBINATIONS OF PC AND GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG

ABSTRACT : This study presents an experimental investigation on the effect of binary combinations of ground granulated blast furnace slag (GBFS) and portland cement (PC) on compressive strength, flexural strength and abrasion resistance of mortars. All the mixtures were prepared with 0.5 water/binder ratio. According to results of compressive, flexural and abrasion resistance, it is observed that for binary mixtures %5-%50 GBFS can be used as mineral additive for cement and concrete. The abrasion resistance of mortars was generally better at longer periods.

Key Words: Ground granulated blast furnace slag, 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. GYFC puzolanik özelliklerinden dolayı çimento veya betonda kullanılan atık malzemelerin en etkili olanlarından biridir.

GYFC birer 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 kullanılmışlardır.

Demir elde edebilmek için demir cevherleri yüksek fırınlarda çok yüksek sıcaklıklarda ısıtılmaktadır. Kok kömürünün yakıt olarak kullanıldığı bu fırınlarda, yüksek sıcaklığın etkisiyle karbon monoksit ve karbondioksit gazları oluşarak fırını terk etmektedir. Geride eriyik durumunda demir ve eriyik durumunda GYFC denilen mineral katkı malzemesi kalmaktadır.

GYFC'nun betonun hidrasyon ısısını büyük ölçüde azaltmaktadır, dolayısıyla büyük temel, istinat duvarı, baraj ve köprü gibi hidrasyon ısısı hızının az olması gereken kütle beton yapımında yüksek performans göstermektedir. Ayrıca betonun su geçirirliğini ve terlemesini azaltmakta, sülfat dayanıklılığını da arttırmaktadır.

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

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tomisawa ve ark., işlenebilirlik sabit tutulduğunda, çimento ağırlığının %50'sinin GYFC ile yer değiştirilmesi durumunda, taze betonun su ihtiyacının %1 oranında azaldığını, %85'inin GYFC ile değiştirilmesi durumunda ise su ihtiyacının %8-9 civarında azaldığını söylemektedir (1).

GYFC, betonun işlenebilirliğini ve dayanımını arttırmak için, bir miktar çimentonun yerine kullanılabilir (2).

Nawy, GYFC'un inceliği arttıkça daha yüksek basınç dayanımların elde edilebileceğini söylemektedir (3).

Eşit çimento miktarı ve eşit su-çimento oranları söz konusu olduğunda GYFC'lu çimentolar normal PÇ'larına göre, erken yaşlarda nispeten düşük, geç yaşlarda ise yüksek beton dayanım değerlerine neden olurlar. Buradan anlaşılacağı gibi, eşdeğer 28 günlük beton dayanımları söz konusu olduğunda beton karışımlarında GYFC'lu çimento miktarı normal PÇ miktarına göre biraz daha fazla olmalıdır. Bu durumda geç yaşlardaki dayanımlar GYFC'lu çimento ile yapılmış betonlarda çok daha yüksek olmaktadır (4,5).

Eren ve Yılmaz, GYFC'lu betonların 28 gün kür süresinden sonra PÇ'lu betonlar ile aynı davranışı gösterdiklerini ve aynı zamanda, GYFC'lu betonların en yüksek dayanım değerinin 20°C kür sıcaklığında kazandıklarını ifade etmişlerdir (6).

Fernandez ve Malhotra, betonda bir kısım GYFC'un kullanılmasının dayanım karakteristiklerini arttırdığını fakat aşınma dayanımının hiç GYFC içermeyen betonlara göre daha düşük olduğunu belirtmektedirler (7).

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.

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

3.1.2. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

İskenderun Demir Çelik Fabrikasında üretilen GYFC kullanılmıştır. Kimyasal analizi Oysa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuvarında yaptırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3'te verilmektedir. GYFC'nun özgül ağırlığı 2.81 g/cm³ ve özgül yüzeyi 4500 cm²/gr'dır.

Çizelge 3. GYFC'nun Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	Yüksek Fırın Cürufu (%)
SiO ₂	36.92
Al ₂ O ₃	14.38
Fe ₂ O ₃	0.72
CaO	32.09
MgO	8.68
SO ₃	0.79
K ₂ O	0.00

3.1.3. Agrega

Harç numunelerin hazırlanmasında kullanılan kum yıkandıktan sonra ettiv kurusu duruma getirilmiştir. Kurutulmuş kum elenerek 4 nolu elek altı kullanılmıştır. Kuma ait elek analizi sonuçları Çizelge 5 ve Şekil 1’de verilmektedir. Kuma ait fiziksel özellikler de Çizelge 6’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_{kuru}	2.58
γ_{dky}	2.61
$\gamma_{görünen}$	2.65
Su Emme (%)	1.8

3.2. Harç Karışım Oranları

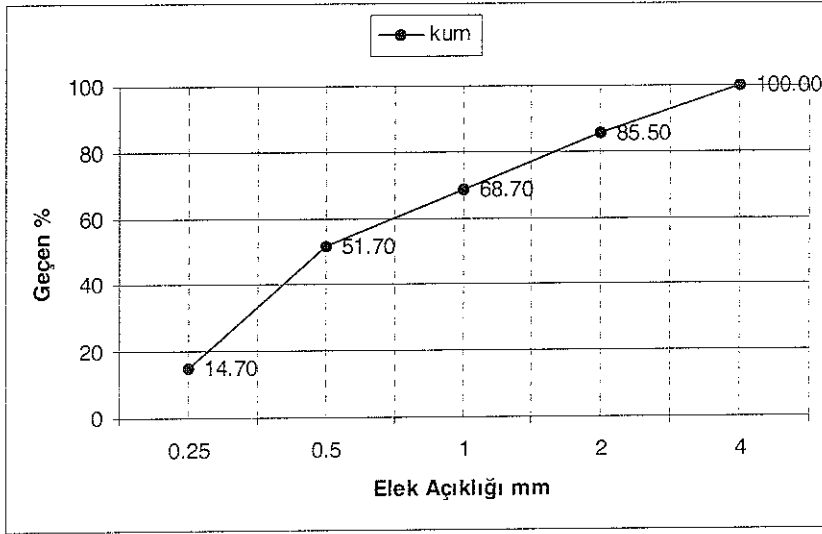
TS EN 196-1’e göre hazırlanan harç numunelerin kum/bağlayıcı oranı 3 ve su/bağlayıcı oranı 0.5’tir. Bu çalışmada PÇ, UK kullanılarak değişik oranlarda ikili karışımlar elde edilmiştir.

İkili karışımlarda PÇ’na ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30, %50 ve %75 oranlarında GYFC 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

GYFC içeren harçların basınç dayanımları Çizelge 6'da, basınç dayanımı zaman grafiği de Şekil 2'de verilmektedir.

Çizelge 6'dan görüldüğü gibi GYFC yüzdesi arttıkça erken yaşlardaki mukavemetlerde düşüş gözlenmektedir. Bunun nedeni C₃A (trikalsiyum alüminat)'ın PÇ'na göre daha düşük olmasıdır. Çünkü çimentoya ilk yaşlardaki mukavemetini trikalsiyum alüminat sağlamaktadır (8).

%50'ye kadar GYFC içeren harç numuneleri 28. günde şahit numuneyi yakaladığı veya geçtiği görülmektedir. %75 GYFC içeren harç numuneleri ise şahit numuneyi hiçbir günde yakalayamamaktadır fakat 360. günde şahit numunenin basınç dayanımının %78'ini kazanabilmiştir.

360. günde C20 ve C50 şahit numunenin basınç değerini %12 aşarak maksimum dayanımı vermişlerdir. Bu çalışmadaki 180 ve 360 günlük mukavemetler göz önünde bulundurularak, %50 GYFC yüzdesi kullanımı maksimum olarak tespit edilebilir.

C50 ve C75 hariç olmak üzere tüm numuneler 28. günde şahit numunenin 28 günlük dayanımını %3-%7 mertebesinde aşmışlardır. C50, 28. günde şahit numunenin 28 günlük basınç değeriyle kıyaslanabilir seviyede mukavemet göstermiştir. C75 ise 360. günün sonunda şahit numunenin 28 günlük dayanımının %98'ini kazanabilmiştir.

Çizelge 6. GYFC İçeren Harçlara Ait Basınc Dayanımları

Numune	Basınc Dayanımları (MPa)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
C0	11.58	26.41	38.85	53.50	60.38	61.42	67.29
C5	7.88	24.75	36.47	56.38	62.38	63.19	69.63
C10	7.29	24.06	35.44	55.53	63.16	66.19	73.41
C15	7.31	22.75	34.81	53.50	62.50	65.59	72.50
C20	7.08	22.69	34.06	57.23	66.71	69.25	75.38
C25	6.52	19.52	33.75	56.25	64.54	65.13	70.97
C30	6.23	19.31	33.25	54.84	66.63	66.72	74.50
C50	4.00	14.40	26.22	51.91	65.44	67.35	75.47
C75	0.96	8.06	20.78	35.00	43.94	48.63	52.66

4.2. Eğilme Dayanımı

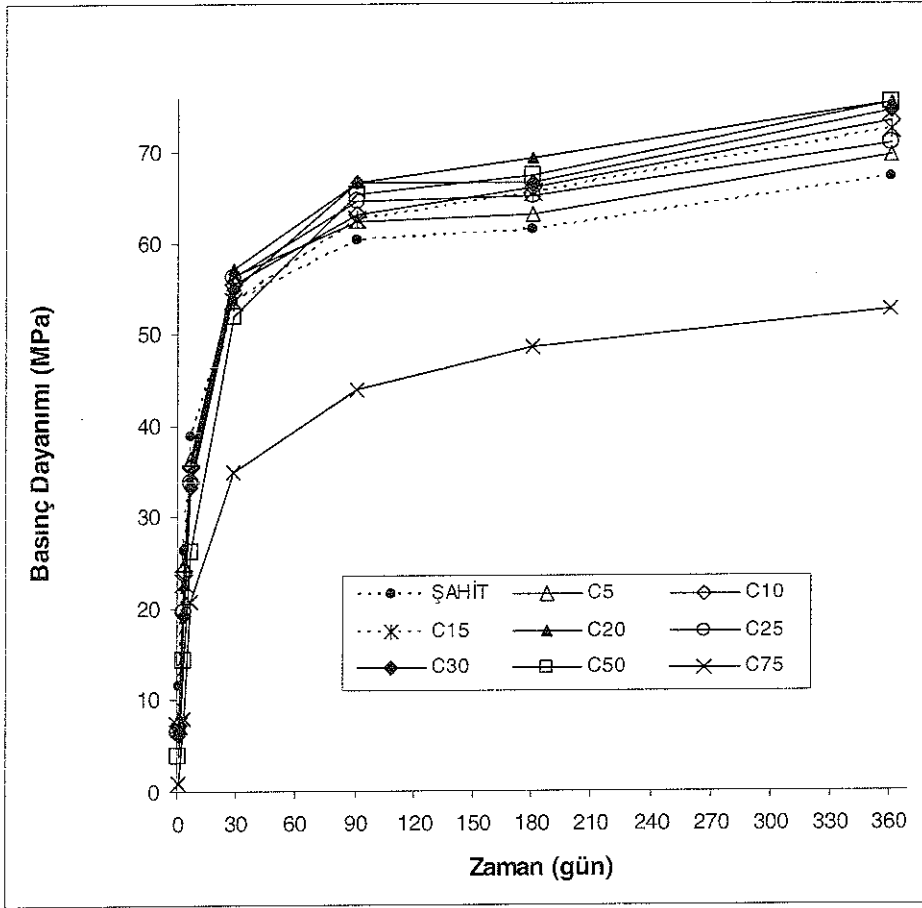
GYFC içeren harçların eğilme dayanımları Çizelge 7'de verilmektedir. Eğilme dayanımı zaman grafiği de Şekil 3'de verilmektedir.

GYFC içeren harçların eğilme mukavemetleri 7. güne kadar şahit numunelerinin eğilme mukavemetlerine ulaşamamaktadırlar. 28. günde C5 şahit numunenin eğilme mukavemetini %3 aşarken diğer tüm numuneler şahit numunenin eğilme mukavemeti ile eşdeğer veya kıyaslanabilir eğilme mukavemetleri geliştirmektedirler. 90. günde %50'ye kadar GYFC içeren tüm numuneler şahit numunenin eğilme mukavemetini geçmektedirler. Bu durum 180. ve 360. günler için de geçerlidir. C75 360. günde şahit numunenin %91'ine ulaşmaktadır.

GYFC içeren tüm numuneler 28. günde şahit numunenin 28 günlük dayanımına eşdeğer veya kıyaslanabilir eğilme mukavemetleri göstermektedirler. Daha sonraki günlerde %50'ye kadar GYFC içeren tüm numuneler şahit numunenin eğilme dayanımlarını geçmektedirler. C75 ise 180. günde şahit numunenin 28 günlük eğilme dayanımı ile eşdeğerken 360. günde geçmektedir.

Çizelge 7. GYFC İçeren Harçlara Ait Eğilme Dayanımları

Numune	Eğilme Dayanımları (MPa)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
C0	2.95	4.91	5.93	6.94	7.40	7.55	7.73
C5	1.91	4.53	5.79	7.13	7.79	7.71	8.05
C10	1.77	4.35	5.88	6.89	7.43	7.68	8.05
C15	1.58	4.23	5.70	6.84	7.76	7.73	7.78
C20	1.69	4.20	5.75	6.94	7.57	7.71	8.13
C25	1.54	3.97	5.52	6.88	7.80	7.91	8.18
C30	1.53	4.01	5.44	6.60	7.66	7.61	7.83
C50	0.97	3.08	4.74	6.47	7.59	7.77	7.98
C75	0.53	2.14	4.05	6.52	6.89	6.91	7.05

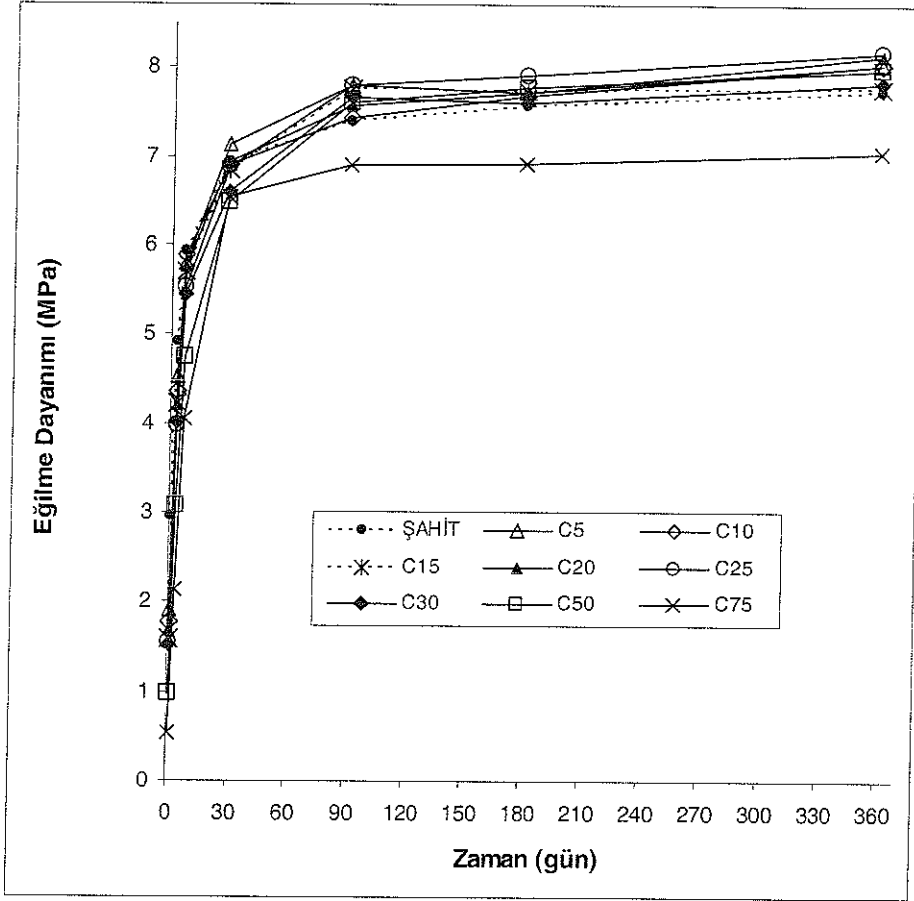


Şekil 2. GYFC İçeren Numunelere Ait Basınç Dayanımı -Zaman Grafiği

4.3. Aşınma Direnci

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

1. günde tüm numuneler şahit numuneden daha fazla aşınmaktadır. C5, C10 ve C15 7. günden, C20 ise 90. günden itibaren şahit numuneden daha az aşınmaktadır. %25-%50 GYFC içeren numuneler ancak 180. ve 360. günlerde şahit numune ile eşit veya kıyaslanabilir aşınma değerleri göstermişlerdir. %75 GYFC içeren numuneler ise tüm günlerde şahit numuneden daha fazla aşınmışlardır.



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

Çizelge 8. 100 Döndüş Sonunda GYFC İçeren Numunelere Ait Aşınma Değerleri

Numune	Aşınma Direnci (%)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
C0	16.54	5.53	3.45	3.14	3.11	2.99	2.61
C5	21.70	5.62	3.33	2.98	2.87	2.64	2.04
C10	25.97	5.88	2.95	2.86	2.60	2.50	2.33
C15	24.36	5.94	3.24	3.11	2.91	2.71	2.56
C20	28.21	7.41	4.92	3.49	2.94	2.79	2.57
C25	31.26	7.68	4.73	4.34	3.36	3.03	2.61
C30	37.46	7.92	4.42	3.99	3.65	2.83	2.56
C50	83.24	10.46	5.84	4.02	3.89	3.17	2.59
C75	100.00	21.80	8.83	6.22	5.69	4.10	4.05

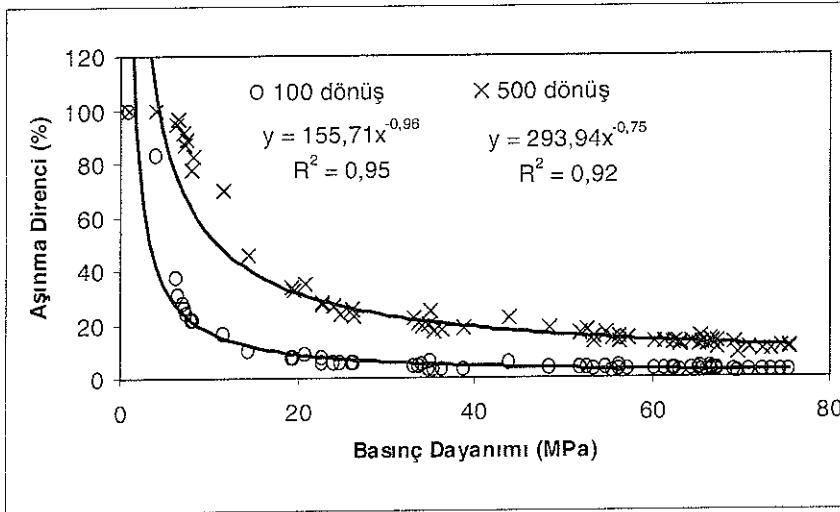
500 dönüş sonunda C5 ve C10 7. günden itibaren şahit numuneden daha az aşınmakta iken C15, C20 ve C25 ise 90. günden itibaren şahit numuneden daha az aşınmaktadır. %30-%50 GYFC içeren numuneler 100 dönüşte olduğu gibi ancak 180. ve 360. günlerde şahit numuneye yakın değerler vermektedirler. %75 GYFC içeren numuneler ise yine tüm günlerde şahit numuneden daha fazla aşınmışlardır.

C5, C10 ve C15 sırasıyla 100 dönüş sonunda %22, %11 ve %2, 500 dönüş sonunda ise %22, %8 ve %7 oranlarında şahit numuneden daha az aşınmışlardır.

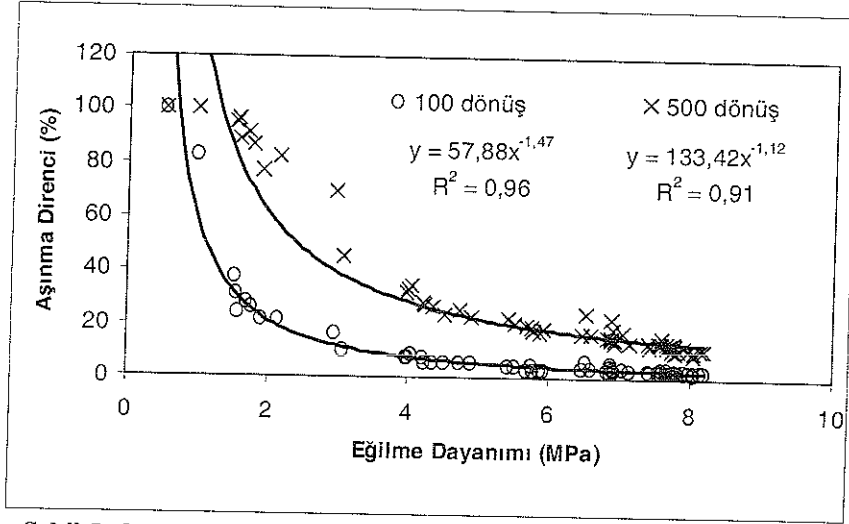
Çizelge 9. 500 Dönüş Sonunda GYFC İçeren numunelere Ait Aşınma Değerleri

Numune	Aşınma Direnci (%)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
C0	69.57	22.76	18.39	13.43	13.38	13.31	11.11
C5	77.18	23.51	17.78	13.30	12.59	12.47	8.69
C10	87.05	26.64	17.14	14.43	12.27	11.88	10.25
C15	88.84	27.31	19.99	15.20	13.13	12.83	10.39
C20	91.29	28.08	19.31	14.78	12.85	12.79	11.02
C25	96.32	32.17	20.32	15.48	13.06	12.34	11.08
C30	94.91	33.45	22.18	16.72	13.71	13.40	11.13
C50	100.00	45.49	25.22	16.45	15.14	13.28	11.12
C75	100.00	82.63	34.79	24.49	22.21	18.27	17.51

GYFC içeren numunelerin basınç dayanımlarına karşılık gelen aşınma değerleri 100 dönüş ve 500 dönüş için ayrı olarak Şekil 4'te bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Doğrusal olmayan bu ilişkide elde edilen korelasyon katsayıları 100 dönüş için 0.95 ve 500 dönüş için 0.92'dir.



GYFC içeren numunelerin eğilme dayanımlarına karşılık gelen aşınma değerleri 100 dönüş ve 500 dönüş için ayrı olarak Şekil 5'de verilmektedir. Aşınmanın basınçla olan ilişkisine benzer eğrisel bir ilişki ortaya çıkmıştır. Korelasyon katsayıları da 100 ve 500 dönüş için 0.96 ve 0.91 olmaktadır.



Şekil 5. GYFC Numunelere Ait Aşınma Direnci-Eğilme Dayanımı İlişkisi

5. SONUÇLAR

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

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

Sadece PÇ ve GYFC içeren numunelerde 1 yılın sonunda %20 GYFC ikamesine kadar aşınma değerleri kontrol numuneden daha az olmaktadır, %25-%50 GYFC içeren numuneler ise 1 yılın sonunda şahit numune ile eşdeğer aşınma mukavemetleri göstermektedirler.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımı sonuçlarına göre ikili karışımlarda %5-%50 mertebesinde GYFC'nun çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilceği kanaatine varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Tomisawa, T., Chikada, T., Nagao, Y., "Properties of Super Low Heat Cement Incorporating Large Amount of Ground Granulated Blast Furnace Slag of High Fineness", ACI SP-132, Vol. 2, 1992.

2. Jianyoung, L., Pei, T., "Effect of Slag and Silica Fume on Mechanical Properties of High Strength Concrete", Cement and Concret Research, Vol. 27, No6, pp. 833-837, 1997.

3. Nawy,E.G., “*Fundamentals of High-Performance Concrete*”, John Wiley and Sons, Canada, 441p., 2001.
4. Wainwright,P.J., Ait-Aider,H., “*The Influence of Cement Source and Slag Additions on the Bleeding of Concrete*”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 1445-1456, 1995.
5. Tokyay,M., Erdoğan,K., “*Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar*”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ankara*, 48s., 2003.
6. Eren,Ö., Yılmaz,Z., “*Değişik Sıcaklıklarda Kür Edilen Salt Portland Çimentolu, Yüksek Fırın Cürufu veya Uçucu Kül Katkılı Betonlarda Dayanım Gelişimi*”, *İMO Teknik Dergi*, Cilt15, Sayı 4, s: 3311-3322, 2004.
7. Fernandez,L., Malhotra,V.M., “*Mechanical Properties, Abrasion Resistance, and Chloride Permeability of Concrete Incorporating Granulated Blast Furnace Slag*”, *Cement and Concrete Aggregates*, Vol. 12, No. 2, pp. 87-100, 1990.
8. Onat,O.B., “*Türkiyede Üretilen Yüksek Fırın Cürüflarının Çimento Özelliklerine Etkisi*”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*, 1998.

.....