

Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri

Ömer ÖZKAN*

ÖZ

Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ve çelikhane cürufu (ÇC) demir çelik endüstrisi bir yan üründür. Bu ürünlerden yılda 50 milyon tona yakın üretim yapılmaktadır. Ülkemizde ise sadece bir fabrikanın 7 milyon tona yakın stoku bulunmaktadır. Çalışmamızda, GYFC ve ÇC, klinker-alçı karışımı ile ayrı ayrı ve birlikte yer değiştirmiş ve 22 farklı kombinasyonda çimento elde edilmiştir. Üretilen 22 farklı çimento üzerinde, incelik, özgül ağırlık, hacim sabitliği, priz süreleri, basınç ve eğilme dayanımı, sülfatlara ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Beton üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla da 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, % 50 GYFC ve % GYFC-ÇC katkıli harç ve betonların en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Bu betonlar özellikle sülfatlara ve yüksek sıcaklığa Portland çimentosuna göre daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çelikhane cürufu, Yüksek fırın cürufu, Kompozit portland çimentosu, mekanik özellikler, Fiziksel özellikler, Sülfatlara dayanıklılık.

ABSTRACT

Properties of Composite Portland Cement Produced With Steel and Blast Furnace Slags

During iron production granulated blast furnace slag (GYFC) and steel slag (ÇC) are produced as a by-product. These products, which are produced approximately 50 million tones per year, pose a great threat to environment. In this study, GYFC and ÇC were exchanged with Clinker-gypsum mixture and 22 different combinations were produced. Specific surface, specific gravity, volume expansion, Vicat setting time, compressive and flexural strengths, sulfate resistance and durability to high temperature tests were conducted on 22 different cements that were produced. In case of replacement 50 % Clinker with mixtures of ÇC and GYFC has given best result.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 13.04.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2006 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Alaplı MYO, Zonguldak – ozkan@karaelmas.edu.tr

1. GİRİŞ

Granüle yüksek fırın cürufu demir çelik fabrikalarının, beton ve çimento endüstrisinde kullanılan bir yan üründür [1]. GYFC' nin performansı ve hidrolik bağlayıcılık özelliği üzerine bir çok çalışma yapılmıştır [2, 3, 4]. GYFC sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak, ya da ince öğütülerek ve Portland çimentosunun hidratasyonu ile ortaya çıkan $Ca(OH)_2$ ' i kullanmak suretiyle, hidrolik özelliğe sahip olur. Aktivasyon sonunda kalsiyum silika hidratlar meydana gelir [5]. Sürtünme, donma-çözülme, sülfatlara dayanıklılık ve diğer durabilite özellikleri gibi bir çok avantajları sebebiyle GYFC çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır [6, 7, 8]. GYFC' lerin öğütme teknikleri geometrik karakteristiğini, dolayısı ile fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir [9].

Çelik parçalarının oksitlenmesi sırasında elektrik ark fırınlarının içinde ortaya çıkan bir atık malzemedir. Çelikhane cürufu (ÇÇ), çelik kimyasal özelliklerinin oksitlerini ve silikatlarını içeren bir atık malzemedir. ÇÇ diğer puzolanik özelliği olan atık malzemelerden farklı özelliğe sahiptir [10]. Kalsiyum karbonattan oluşan bu ürün küçük boyularda agrega olarak beton ve asfaltta kullanılmaktadır [11]. İçeriğinde bulunan serbest CaO ve MgO hacim sabitliği konusunda önemli rol oynamaktadır Her iki oksit su ile reaksiyona girer ve bu reaksiyon genleşme ile hacim sabitliğine etki etmektedir [12, 13].

Ülkemizde GYFC çimento üretiminde kısıtlı miktarda, ÇÇ ise hiçbir şekilde kullanılmamaktadır. Sadece Ereğli Demir Çelik Fabrikalarında 4 milyon ton GYFC, 3 milyon ton ÇÇ depolanmış olarak bekletilmektedir. Çalışmamızda GYFC ve ÇÇ' in ayrı ayrı ve birlikte Klinker-Alçı taşı karışımı ile yer değiştirmesi ile elde edilen çimentoların fiziksel mekanik ve sülfatlara dayanıklılık özellikleri incelenecektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan, klinker ve alçı taşı Lafarge-Ereğli (Kdz. Ereğli, Türkiye) Çimento Fabrikasından, ÇÇ ve GYFC ise Ereğli Demir Çelik Fabrikalarından (Kdz. Ereğli, Türkiye) temin edilmiştir. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonu tablo 1' de verilmektedir. Kullanılan klinker, alçı taşı, ÇÇ ve GYFC üretimden çıktığı boyutlarda granüle halde temin edilmiştir

Table 1. Klinker, Alçı Taşı, GYFC ve ÇÇ Kimyasal Analizi

Malzemeler	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	LOI
Klinker	66.11	21.57	3.17	5.09	1.74	1.35	0.77
Alçı taşı	32.57	0.67	0.24	0.21	2.2	46.56	22.98
GYFC	37.8	35.1	0.7	17.54	5.5	0.70	1.08
ÇÇ	58.53	10.72	15.30	1.71	4.27	0.04	1.11

2.2. Metot

ÇÇ ve GYFC ayrı ayrı ve birlikte klinker-alçı taşı karışımı ile yer değiştirmiştir. Bu amaçla dört ana grup çimento karışımı belirlenmiştir. Gruplardan birincisi referans (M0), ikincisi Klinker-alçı taşı karışımının GYFC ile yer değiştirdiği (M1), Üçüncüsü Klinker-alçı taşı karışımının ÇÇ ile yer değiştirdiği (M2), sonuncusu ise Klinker-alçı taşı karışımının GYFC (%60), ÇÇ (%40) oranında birlikte yer değiştirdiği (M3) karışımlardır. Çalışmamızda kullanılan karışım oranları Tablo 2’ de verilmektedir.

Tablo 2. Çimento Karışım Miktarları

Seriler	Malzeme	Klinker %	Gyps. %	GYFC %	ÇÇ %
Mo	% 100 Klinker	95.0	5.0	0	0
M1a	% 90 Klinker-Alçı T + % 10 GYFC	85.5	4.5	10	0
M1b	% 80 Klinker-Alçı T + % 20 GYFC	76.0	4.0	20	0
M1c	% 70 Klinker-Alçı T + % 30 GYFC	66.5	3.5	30	0
M1d	% 60 Klinker-Alçı T + % 40 GYFC	57.0	3.0	40	0
M1e	% 50 Klinker-Alçı T + % 50 GYFC	47.5	2.5	50	0
M1f	% 40 Klinker-Alçı T + % 60 GYFC	38.0	2.0	60	0
M1g	% 30 Klinker-Alçı T + % 70 GYFC	28.5	1.5	70	0
M2a	% 90 Klinker-Alçı T + % 10 ÇÇ	85.5	4.5	0	10
M2b	% 80 Klinker-Alçı T + % 20 ÇÇ	76.0	4.0	0	20
M2c	% 70 Klinker-Alçı T + % 30 ÇÇ	66.5	3.5	0	30
M2d	% 60 Klinker-Alçı T + % 40 ÇÇ	57.0	3.0	0	40
M2e	% 50 Klinker-Alçı T + % 50 ÇÇ	47.5	2.5	0	50
M2f	% 40 Klinker-Alçı T + % 60 ÇÇ	38.0	2.0	0	60
M2g	% 30 Klinker-Alçı T + % 70 ÇÇ	28.5	1.5	0	70
M3a	% 90 Klinker-Alçı T + % 6 GYFC + % 4 ÇÇ	85.5	4.5	6	4
M3b	% 80 Klinker-Alçı T + % 12 GYFC + % 8 ÇÇ	76.0	4.0	12	8
M3c	% 70 Klinker-Alçı T + % 18 GYFC + % 12 ÇÇ	66.5	3.5	18	12
M3d	% 60 Klinker-Alçı T + % 24 GYFC + % 16 ÇÇ	57.0	3.0	24	16
M3e	% 50 Klinker-Alçı T + % 30 GYFC + % 20 ÇÇ	47.5	2.5	30	20
M3f	% 40 Klinker-Alçı T + % 36 GYFC + % 24 ÇÇ	38.0	2.0	36	24
M3g	% 30 Klinker-Alçı T + % 42 GYFC + % 28 ÇÇ	28.5	1.5	42	28

Çalışmada kullanılan malzemeler fabrikadan çıktığı gibi granüle olarak temin edilmiştir. Malzemelerin her biri farklı zaman (Klinker-alçıtaşı 3, GYFC 4, ÇÇ 3 saat) miktarınca öğütülerek 2400-2500 cm²/g inceliğe getirilmiştir. Malzemeler belirtilen karışım miktarlarında karıştırıldıktan sonra bir miktar daha öğütülerek 3100-3300 cm²/gr inceliğe getirilmiş ve çimentolar elde edilmiştir.

Karışım oranları verilen çimentoların harç numuneleri Türk Standardı TS-EN 196-1’ e göre üretilmiştir. Deneyde kullanılan harç kalıpları (4x4x16 cm) boyutlarında ve karışıma giren çimento, kum ve su oranları (1:3:0.5) oranlarındadır [14]. Numuneler 20 °C oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra 20 ± 3 °C sıcaklığında istenen zaman miktarınca kür havuzunda bekletilmiştir.

Üretilen harç numuneleri üzerinde 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanım deneyleri TS-EN 196-1’ e göre [14], priz süresi ve genleşme miktarı tayini deneyleri de TS-EN 196-3’ e göre yapılmıştır [15]. Harç numunelerin sülfatlara dayanıklılıkları incelenmiştir. Harç örnekleri bir gün boyunca kür odasında bekletilmiş ve kalıpları söküldükten sonra 7. güne kadar 20 ± 3 °C suda bekletilmiştir. 7. günün sonunda üç numune %4 Na₂SO₄, üç numune

Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri

%4 MgSO₄ çözeltisinde 28. gün sonuna kadar bekletilmiştir. Çözelti içerisinde bekletilen numunelerin 28. gün sonunda basınç dayanımları ölçülmüştür. Harç numunelerin yüksek sıcaklığa dayanıklılıkları da incelenmiştir. 28 gün boyunca suda kür edilen harç numuneler 800 °C sıcaklıkta fırınlanmış ve neticesinde dayanım kayıpları incelenmiştir.

Beton özelliklerinin incelenmesi amacıyla 15x15x15 cm boyutlarında beton numuneler üretilmiştir. Üretilen çimentoların beton mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Üretilen betonlarda, çimento olarak tablo 2’de belirtilen seriler kullanılmıştır. Karışımda 1 m³ beton için 350 kg çimento, 190 kg su, 835 kg 0-4 boyutlarında ince agreg, 927 kg 4-16 boyutlarında kaba agreg kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Çimento Fiziksel Özellikleri

Üretilen 22 farklı çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 3’ de, priz başlangıç, bitiş ve hacim genleşme değerleri Tablo 4’ de verilmektedir.

Table 3. Çimentoların Fiziksel özellikleri

Seriler	Elek Analizi (%)		İncelik Modülü cm ² /g	Özgül Ağırlık g/cm ³
	>32 µm	>90 µm		
Mo	21.00	0.90	3330	3.12
M1a	21.20	1.10	3250	3.09
M1b	21.20	1.10	3115	3.05
M1c	22.10	1.40	3100	3.02
M1d	21.90	1.15	3108	3.01
M1e	22.30	1.22	3105	2.99
M1f	21.80	1.15	3090	2.95
M1g	22.50	1.27	3057	2.93
M2a	21.60	1.25	3220	3.10
M2b	21.15	1.18	3214	3.06
M2c	21.05	0.95	3225	3.04
M2d	22.10	1.00	3213	3.02
M2e	21.50	1.16	3178	3.00
M2f	22.15	1.25	3152	2.97
M2g	22.30	1.20	3145	2.96
M3a	22.10	1.30	3160	3.10
M3b	22.25	1.25	3138	3.05
M3c	21.90	1.20	3098	3.03
M3d	22.50	1.45	3028	3.01
M3e	22.35	1.20	3066	2.99
M3f	22.55	1.55	3055	2.96
M3g	22.40	1.45	3077	2.93

Çimentoların incelik değerleri incelendiğinde GYFC’ nin ÇÇ’ye göre daha sert bir yapıya sahip olduğu ve zor öğütüldüğü görülmektedir. Portland çimentosu olarak üretilen referans çimento (M0), diğerlerine göre daha ince yapıya sahiptir. Bu nedenle ayrı ayrı öğütme esnasında GYFC ve ÇÇ daha fazla süre öğütülürse aynı inceliğe sahip olabilir. Çimentoların özgül ağırlık sonuçlarına bakıldığında da klinker ile yer değiştiren atık malzemeler (GYFC ve ÇÇ) daha düşük özgül ağırlığa sahiptirler.

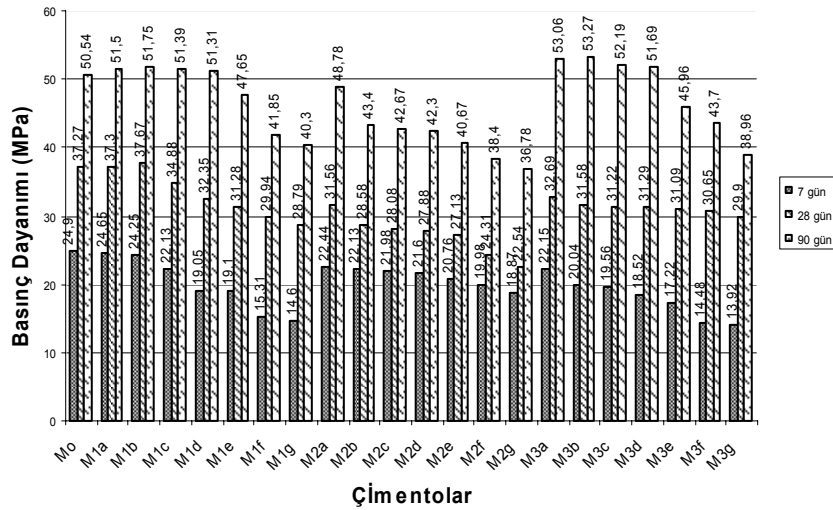
Table 4. Çimentoların Pirzi Süreleri ve Hacim Sabitliği Değerleri

Seriler	Priz Süreleri (sa:dak.)		Hacim Sabitliği mm	Seriler	Priz Süreleri (sa:dak.)		Hacim Sabitliği mm	Seriler	Priz Süreleri (sa:dak.)		Hacim Sabitliği mm
	Başl.	Bitiş			Başl.	Bitiş			Başl.	Bitiş	
Mo	03:15	04:10	0,5								
M1a	04:00	05:10	0,5	M2a	03:50	04:30	0,5	M3a	04:10	05:20	0,5
M1b	04:10	05:40	1,0	M2b	04:00	04:50	1,0	M3b	04:10	05:30	0,5
M1c	04:00	05:40	1,0	M2c	04:10	05:00	1,0	M3c	04:20	05:30	1,0
M1d	04:20	05:30	1,0	M2d	04:20	05:30	1,0	M3d	04:30	05:20	1,0
M1e	04:10	05:40	1,0	M2e	04:10	05:20	2,0	M3e	04:10	05:30	1,5
M1f	04:30	06:00	1,0	M2f	04:30	05:40	2,0	M3f	04:40	05:40	1,5
M1g	04:20	05:50	1,0	M2g	04:30	05:50	2,0	M3g	04:20	05:40	1,5
TS-EN 196-3	01:00	10:00	max, 10	TS-EN 196-3	01:00	10:00	max, 10	TS-EN 196-3	01:00	10:00	max, 10

Çimentoların Hacim genişleme değerleri TS-EN 196-3’ de belirlenen sınırlar içinde kalmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde ise ÇÇ katkılı çimentoların genişmesi diğer çimentolara göre yüksek seviyededir. Priz başlangıç ve bitiş zamanları incelendiğinde, katkılı çimentoların (M1, M2, M3), referans (M0) çimentoya göre daha yavaş reaksiyona girdiği görülmektedir. Bu yavaş reaksiyona, katkıların kimyasal özellikleri ve incelik miktarları etkili olmaktadır.

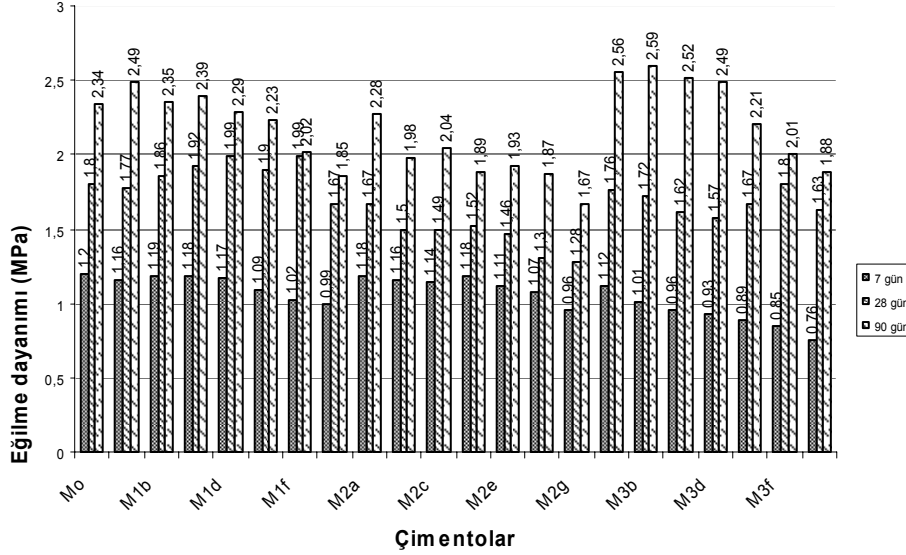
3.2. Harç Mekanik Özellikleri

Çimento harç numunelerinin basınç dayanım değerleri şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 7, 28 ve 90 günlük harç basınç dayanımları

Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri

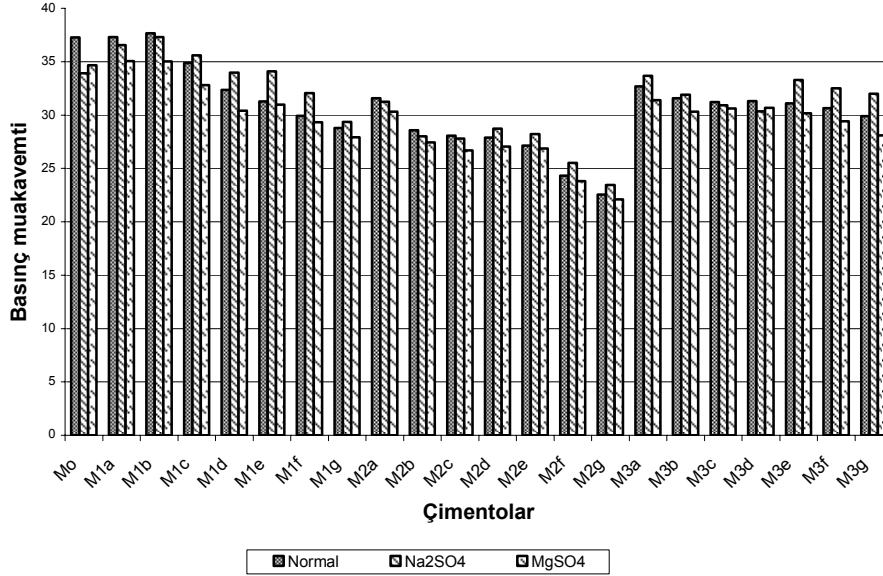


Şekil 2. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımları

7 günlük dayanım sonuçları incelendiğinde katkı miktarı arttıkça, dayanım kaybı da artmaktadır. 28 ve 90 günlerde de bu kayıp % 50 katkı miktarından sonra açıkça görülmektedir. Ancak M1 ve M3 tip gruplarda 7. günde gözlenen kayıp miktarları 28. günlerde azalmaktadır. 90 günlük dayanım değerlerinde ise kayıp oranları 7 ve 28 güne nazaran daha düşük seviyededir. M1 ve M3 gruplarda % 50 karışıma kadar olan çimentoların 28 ve 90 günlük dayanımları incelendiğinde, bir miktar artış gerçekleşmekte ve bu artış % 5 düzeyindedir. Bu da GYFC' nin reaksiyona geçirmesinden kaynaklanmaktadır. M2 karışımında ise 28 ve 90 günlerde azalma miktarı 7 günlük dayanım değerleri ile benzerlik göstermektedir.

3.3. Sülfatlara ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklılık

Sülfat içinde ve suda kür edilen harç numunelerinin basınç dayanımları ve basınç dayanım değişimleri şekil 3' de verilmektedir.



Şekil 3. Sülfat solüsyonuna maruz bırakılan harç numunelerinin basınç dayanımları

Aşındırıcı solüsyonlar içinde saklanan referans çimentonun (M0) dayanım kaybı diğer çimento serilerine göre daha fazla ölçülmüştür. Na₂SO₄ solüsyonunda % 9, MgSO₄ de ise % 7 dayanım kaybı görülmüştür. M1e, M2e ve M3e çimentoları ise en iyi sonuçları vermiştir. Na₂SO₄ solüsyonunda bu serilerde sırasıyla % 9, %4 ve %7 artış görülmüştür. MgSO₄ de ise sırasıyla, % 1, %3 ve %3 azalma görülmüştür. Bu sonuçlardan da ÇC ve GYFC katkılı çimentoların sülfatlara dayanıklılık kabiliyetinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

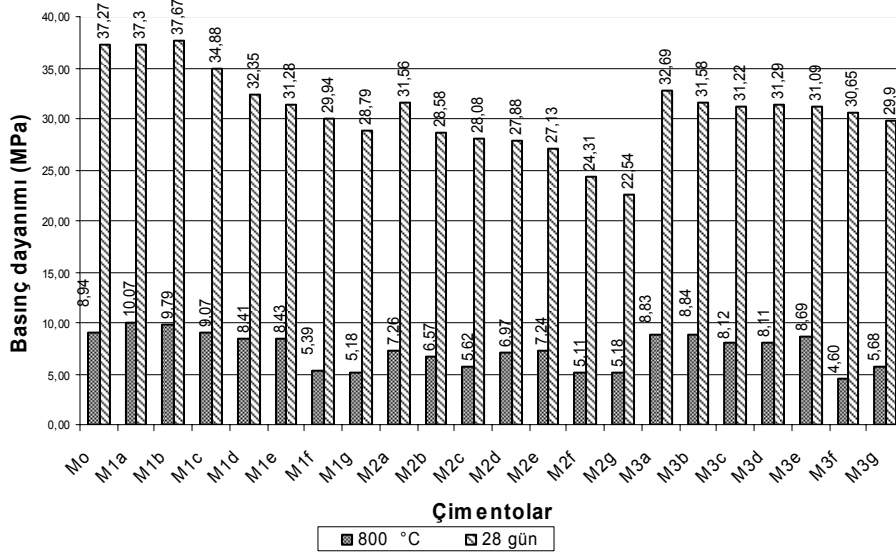
Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan harç numunelerinin basınç dayanımları şekil 4' de verilmektedir.

800 °C sıcaklığa maruz bırakılan çimento numuneleri sonuçları incelendiğinde tüm gruplarda (M1-M2-M3) % 50-60 katkı miktarındaki çimentoların dayanım kayıpları referans (M0) karışıma göre daha az seviyede olduğu görülmektedir. M0 grupta % 76 dayanım kaybı görülürken, M1e, M2e ve M3e gruplarında %73, % 74 ve % 72 dayanım kaybı görülmüştür. Katkı miktarının % 50 düzeylerinde olması neticesinde yüksek sıcaklığa daha dayanıklı çimentoların elde edilebilirliği gözlenmektedir.

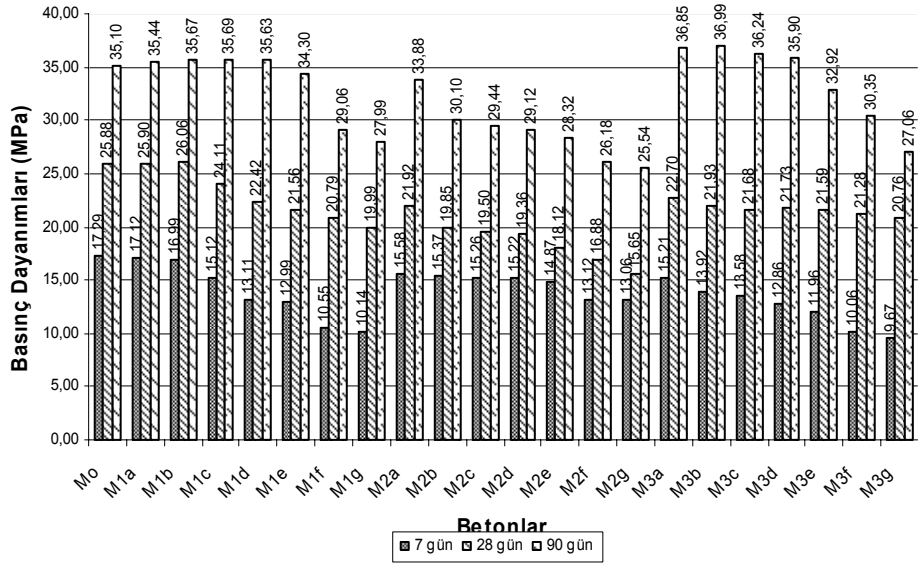
3.3. Beton Mekanik Özellikleri

Üretilen çimentoların beton mekanik özelliklerinin etkisini incelemek amacıyla 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Deney sonuçları şekil 5' de verilmektedir.

Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri



ekil 4. Harçların yüksek sıcaklık dayanımları



Şekil 5. 7, 28 ve 90 günlük beton basınç dayanımları

Beton basınç dayanımları harç dayanımlar ile benzer özellikler sergilemektedir. Katkılı çimento ile hazırlanan betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları referans çimento ile üretilen betona göre daha az çıkmasına karşılık, M1 ve M3 serili betonlarda 90 günlük dayanımlarda artış görülmektedir. M0 referans betona göre, M1e serisinin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri sırasıyla % 23, % 16 ve %6, M2 e serisinde %17, %27, %20, M3 e serisinde ise %31, %17, %9 basınç dayanım kaybı görülmektedir. M1 ve M3 serileri beton basınç dayanımlarında % 40 (d grubu) katkıli serilerin 90 günlük değerleri ise referans betonlardan % 2 daha fazla basınç dayanım vermiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada GYFC ve ÇC birlikte ve ayrı ayrı çimento katkısı olarak kullanılmıştır. GYFC ve ÇC birlikte çimento katkısı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla fiziksel, mekanik, sülfatlara ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık ve beton mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- GYFC ve ÇC birlikte veya ayrı ayrı kullanıldıklarında priz süreleri gecikmiştir. GYFC ve ÇC geç reaksiyona girmektedir.
- GYFC, harç yaşı arttıkça çimentolara daha fazla dayanım kazandırmaktadır.
- ÇC, diğer katkıların aksine harç yaşı arttıkça dayanım kaybını arttırmaktadır.
- GYFC ve ÇC sülfatlara daha dayanıklıdır.
- % 50 karışimli çimentolar 800 °C sıcaklığa diğer gruplara göre daha dayanıklı olduğu görülmüştür.
- GYFC karışimli çimento gruplarında (M1), % 50 katkı miktarı en iyi sonucu vermiştir.
- GYFC ve ÇC'nin birlikte kullanıldığı çimento gruplarında (M3), % 50 katkı miktarı en iyi sonucu vermiştir.
- Beton basınç dayanımları da harç numuneleri ile benzer özellik göstermektedir.

Bu çalışmada, ÇC ve GYFC' nin birlikte çimento sanayinde kullanılabileceği görülmüştür. Bu iki katkı daha ince öğütüldüğünde % 70 miktarına kadar klinker ile yer değiştirebilir. Bu şekilde sülfatlara ve yangın direncine daha dayanıklı çimentolar üretilebilir.

Teşekkür

Bu çalışmada malzeme ve teknik desteğini esirgemeyen Ereğli Demir Çelik Fabrikaları ve Lafarge-Ereğli Çimento fabrikasına çok teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Moranville-Regourd, M., Cements Made from Blast-Furnace Slag, Lea's Chemistry of Cement and Concrete Ed. P.C, 633–674, 1998.
- [2] Jau, W.C., Tsay, D.S., A Study of The Basic Engineering Properties of Slag Cement Concrete and Its Resistance to Seawater Corrosion, Cement Concrete Research 28, 1363– 1371, 1998.

Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri

- [3] Tan, K., and Pu, X., Strengthening Effects Of Finely Ground Fly Ash, Granulated Blast Furnace Slag, And Their Combination, *Cement Concrete Research* 28, 1819– 1826, 1998.
- [4] Zhang, Y., Zhang, X., Dou, J., Grey Connection Analysis Between Particle Size Distribution Of Slag Powder And Its Activity Coefficient, *Journal of Building Materials* 4, 44– 48, 2001.
- [5] Tokyay M., Erdoğan K., Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar”, TÇMB AR-GE Enstitüsü, Yayın No:Y97-2, 3. Baskı, Ankara, 2001.
- [6] Sakai, K. Watanabe, H., Suzuki, M., and Hamazaki, K., Properties of Granulated Blast-Furnace Slag Cement Concrete, *ACI Spec. Publ. SP-132*, 1367– 1383, 1993.
- [7] Fultron, F.S., The Properties of Portland Cement Containing Milled Granulated Blast-Furnace Slag, *Portland Cem. Inst. Memogr*, 4-66, 1998.
- [8] Hogan, F.J., Muesel, J.W., The Evaluation for Durability and Strength Development of Ground Granulated Blast-Furnace Slag, *Cement Concrete Aggregate* 3 (1), 40– 52, 1981.
- [9] Wan, H., Shui, Z., Lin, Z., Analysis of Geometric Characteristics of GGBS Particles and Their Influences on Cement Properties, *Cement and Concrete Research* 34, 133– 137, 2004.
- [10] Xuequan, W., Hong, Z., Xinkai, H., Husen, L., Study on Steel Slag and Fly Ash Composite Portland Cement, *Cement Concrete Research*, 29, 983– 987, 1999.
- [11] Maslehuddin, M., Sharif, M.A., Shameem, M., Ibrahim, M., Barry, M.S., Comparison of Properties of Steel Slag and Crushed Limestone Aggregate Concretes, *Construction and Building Materials*, 17, 105–112, 2003.
- [12] Geiseler, J., Stahlwerksschlacken und ihre wirkung auf euerfestzustellungen, 39 th. International Colloquium on Refractories, Aachen, Germany; *Stahl und Eisen Speciall*, 16– 21, 1996.
- [13] Altun, I.A., Yılmaz, I., Study on Steel Furnace Slag with High MgO as Additive in Portland Cement, *Cement and Concrete Research*, 32, 1247–1249, 2002.
- [14] TS-EN 196-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [15] TS-EN 196-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.