

HAZIR BETONDA CÜRUFLU ÇİMENTO KULLANIMI

USING SLAG CEMENT IN READY MIXED CONCRETE

Nevzat Uluöz

OYAK Beton San. Tic. A.Ş.,
Adana

Halil Sarıcaoğlu

OYAK Beton San. Tic. A.Ş.,
Ankara

Hakan Özbebek

OYAK Beton San. Tic. A.Ş.,
Adana

Hasan Açık

OYAK Beton San. Tic. A.Ş.,
Adana

Özet

Avrupa kıtasında yılda yaklaşık 18 milyon ton cüruflu çimento kullanılmakta olup, bu alanda Hollanda başı çekmektedir. Bu ülkede cüruflu çimento kullanımı % 54, Belçika'da %25, İtalya'da %27, Almanya'da %14 civarındadır. Ülkemizde ise bu oran 2006 yılı TÇMB verilerine göre %5 in altında seyretmektedir. Demir-çelik endüstrisinin bulunduğu bu ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de yüksek fırın cürufları, çimento ve hazır beton üretiminde gittikçe artan bir oranda kullanım alanı bulmaktadır.

% 55'e varan oranlarda yüksek fırın cürufu (YFC) içeren çimentolar hazır betonlarda kullanılabilir. Bu sayede yaz aylarında beton başlangıç sıcaklıkları ve hidrasyon ısıları düşürülebilmekte, buna karşın betonda kıvam koruma süreleri artırılabilir.

Bu çalışmada, %55'e varan oranlarda YFC içeren cüruflu çimentolar, %35'e varan oranlarda YFC içeren portland cüruflu çimentoları ile portland çimentosu kullanılan betonlar arasında erken ve ileriki yaşlardaki basınç dayanımları incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Genel olarak, cüruflu çimento kullanılan betonlarda erken dayanım kazanım hızı yavaş ilerlerken ileriki yaşlarda dayanım performansı belirgin şekilde artmıştır. Cüruflu çimentolarda erken dayanım kazanım hızı çimento karışımındaki cüruf oranıyla ters orantılı olmuştur. Erken dayanımın ön plana çıktığı durumlarda cüruf oranı ve erken mukavemet sınıfı ayarlanmış portland cüruflu çimentolar (Cem IIBS 42,5R) ile istenen erken basınç dayanımlarına ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler : Granüle yüksek fırın cürufu, cürufu çimento, basınç dayanımı.

Abstract

About 18 million tons of slag cement is used in Europe yearly. In this area the leader is Netherlands. The usage of slag cement in Netherlands is about 54% ,in Belgium 25% , in Italy 27% , and in Germany 14%. In our country ,depending on the data from TÇMB ,2006,this percentage is below 5%. As in these countries which iron-steel industry takes place , blast furnace slag have been used increasingly in the production of cement and ready mixed concrete.

Cement containig blast furnace slag in the rates of about 55% have been able to be used in ready mixed concrete. Therefore ,in hot weather the initial heat of concrete and the heat of hydration can be reduced ,however the duration of maintaining the stable consistency can be increased.

In this study, compressive strengths at early and advanced ages were compared between the concrete mixes made with; slag cements consisting of BFS to the rate of 55%, Portland slag cements consisting of BFS to the rate of 35% and Portland cement. In general, with concretes using slag cements while the rate of early strength gain continuous slowly, strength performance increases significantly at advanced ages. The rate of early strength gain of slag cements is generally contrary with the proportion of slag. In the cases where early strength becomes important, the desired early strengths can be achieved by using Portland slag cements(CEM II BS 42.5R) which have specified slag ratio and early strength class.

1. GİRİŞ

Yüksek fırın cürufu, demir-çelik üretiminin yan ürünü olup, portland çimentosu klinkeri ve alçı taşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütölüp karıştırılmasıyla mükemmel bağlayıcılık özelliği göstermektedir.Yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olma potansiyeli 1862 yılında Almanya’da Emil Langen tarafından keşfedilmiştir. Kireçle aktifleştirilen öğütölmüş yüksek fırın cürufunun ticari üretimine 1865 yılında Almanya’da başlanmış olup 1880 yıllarında yüksek fırın cürufu portland çimentosu üretmek üzere portland çimentosu ile birlikte öğütölmüştür. Bu birleşimin potansiyeli, özellikle aşındırıcı koşullara direnç göstermesiyle hızla farkına varılmıştır. 1889 yılı gibi erken bir sürede yüksek fırın cürufu portland çimentosu, Fransız Yer altı Metrosunun yapımında kullanılmıştır [1].

1900’lü yılların başında yüksek fırın cürufu portland çimentoları Avrupa’da kabul edilmiş ve sonuçta geniş alanda kullanılır hale gelmiştir. Özellikle İskoçya bölgesinde halen 1914 yılından beri YFC çimentolu üretimler yapılmaktadır. İskoçya’da ilk kullanımlar, deniz bentleri ve kanal inşaatlarının yapımında başlamıştır. 1950 ve 1960’lı yıllarda birçok hidroelektrik santralleri YFC çimentolu betonlarla inşa edilmiştir. Monar barajını içeren Strathfarra santrali, İngiltere’nin ilk büyük barajı olup bu barajın yapımında %60 gibi oranlarda YFC içeren 100.000 tonun üzerinde çimento kullanılmıştır. Bunu pek çok yapı ve kütle beton uygulamaları takip etmiştir.

Ülkemizde YFC içeren çimentoların kullanım oranları Avrupa kıtasındaki kullanım oranlarından çok düşüktür. Demir-çelik endüstrisinin bulunduğu bu ülkeler gibi

ülkemizde de yüksek fırın cürüfları, sağladığı avantajları ile çimento ve hazır beton üretiminde gittikçe artan bir oranda kullanılmaya devam edecektir.

Cürüflu Çimentolar

Genel olarak yüksek fırın cürüflu çimentolar, standartta belirtilen oranlarda granüle yüksek fırın cürufu ile portland çimentosu klinkeri karışımının küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmeleri sonucu elde edilirler. Granüle yüksek fırın cürufu, yüksek fırında demir cevherinin işlenmesi sırasında pik demirle aynı anda yan ürün olarak ortaya çıkan, ana bileşenleri kalsiyum ve alüminyum silikatlar olan ve ani olarak soğutulma sonucunda puzolanik aktivite kazanarak granüle hale gelen bir malzemedir. Hem puzolanik olması hem de kalsiyum oksit oranının nispeten yüksek olmasından dolayı kendi başına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahiptir.

Standartta yer alan tipler

TS EN 197-1 “Genel çimentolar – bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri” standardındaki genel çimento tiplerinde, ana bileşenlerinde yalnız başına klinker ve yüksek fırın cürufu bulunan çimentolar Portland cürüflu çimento ve Yüksek fırın cürüflu çimentolar olmak üzere 2 ana tiptir [2].

Portland cürüflu çimentolar, klinker, cüruf ve az miktarda alçı taşının ayrı ayrı öğütüldükten sonra karıştırılması ile elde edilen çimentolardır. Bu çimentolar ihtiva ettikleri katkı (cüruf) miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kütlece %6 - 20 arasında cüruf ihtiva edenler A sınıfı, kütlece %21 - 35 arasında cüruf ihtiva edenler B sınıfıdır [2].

Yüksek fırın cürüflu çimentolar; klinker, cüruf ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentolardır. Bu çimentolar ihtiva ettikleri katkı (cüruf) miktarına göre 3 sınıfa ayrılırlar. Kütlece %36 - 65 arasında cüruf ihtiva edenler A sınıfı, kütlece %66 - 80 arasında cüruf ihtiva edenler B sınıfı, kütlece %81 - 95 arasında cüruf ihtiva edenler C sınıfıdır [2].

Fiziksel özellikleri

Yüksek fırın cürüflu çimentolar portland çimentosundan daha açık renklidir ve kürelemeden sonra betonda da daha açık bir renk bırakır. Özgül ağırlığı, portland çimentolarına oranla biraz düşüktür(3.00-3.05). Priz süreleri, rötre ,sünme ve betonarmede donatı aderansı özellikleri bakımından portland yüksek fırın cürufu çimentolarıyla portland çimentoları arasında önemli farklılıklar yoktur. Cürüflu çimentoların hidrasyon ısıları kullanılan klinkerin ve granüle yüksek fırın cürufunun kompozisyonu ve miktarıyla orantılı olarak değişir. Ancak, genel olarak hidrasyon ısıları normal portland çimentolarından daha düşüktür [3].

Dayanım özellikleri

42,5 dayanıma sahip yüksek fırın cürüflu çimentolar portland çimentosuna göre daha yavaş dayanım kazanırken, 28 günlük dayanımlarda daha yüksek bir dayanım değerine sahip olabilirler. Erken yaş dayanımları göz önüne alındığında dayanım kazanım hızı genellikle çimento karışımındaki cüruf oranıyla ters orantılıdır. Karışımındaki cüruf

kullanım yüzdesi arttıkça ilk dayanımlar düşmektedir. Betonun kürlenme sıcaklığının özellikle erken yaşlarda dayanım üzerinde büyük etkisi vardır. Cürufllu çimento içeren betonlar normal sıcaklık kürlenme koşullarına iyi yanıt verirler. Ancak düşük sıcaklıklarda kürlenmiş, cürufllu çimento içeren betonlar için daha düşük erken dayanımlar beklenmektedir. Ancak soğuk iklimlerde daha iyi erken mukavemet elde etmek için cüruf oranı ve erken mukavemet sınıfı ayarlanmış portland cürufllu çimentolar (Cem IIBS 42,5R vs.) ile yeterli seviyede erken dayanımlara ulaşılabilir. mümkünür.

Dayanıklılık özellikleri

Betonarme yapıların dayanıklılığını etkileyen kimyasal ve fiziksel olayların hemen hepsinde iki ana faktör vardır ;

- Su ve beton bünyesindeki boşluklar ile çatlaklar içindeki taşınımı,
- Gazların, suyun ve zararlı maddelerin beton bünyesine taşınımı.

Bunların beton ile etkileşimi, bozulma sürecinin gelişimi açısından çok önemlidir. Bu sebeple betonun geçirimsizliği, dayanıklılığı etkileyen en önemli parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Sülfatlı sular, deniz suları, klorlu ve karbonatlı sular, termal sular, buz çözücü maddeler vb. ile yapılan uzun süreli deneyler sonucunda cürufllu çimentoların zararlı kimyasal etkiler altında performanslarının yüksek olduğu belirlenmiştir [3]. Yüksek fırın cürufunun karışımındaki miktarlarıyla orantılı olarak sülfat direnci artar. Sülfat saldırılarına karşı direnç, betonun veya çimento pastasının geçirimsizliğine büyük ölçüde bağlıdır. Cürufun inceliğinin artmasıyla betonun porozitesi azalır, böylece agresif sülfatların içeri sızması engellenir.

Klorür etkisine dayanıklılık konusunda cürufun diğer mineral katkılara göre daha etkin olduğu saptanmıştır. Yüksek fırın cürufu kullanımı klorür geçirimsizliğini azaltır ve kullanılan cüruf miktarı arttıkça bu etki daha belirginleşir. Betonda cüruf kullanımının geçirimsizliği azaltmasıyla birlikte, klorür iyonu penetrasyonu ve donatının korozyonunu ilerleten karbonatlaşma derinliği de azalır [4].

Amorf yapıdaki silisli agregaların çimentonun içerdiği alkali oksitlerle yaptığı reaksiyon sonucunda oluşan ve alkali-silika jeli adı verilen ürünün rutubet alarak aşırı genleşme göstermesi, betonda çatlama ve bozulmalara neden olur. Cürufllu çimento kullanıldığında cüruf miktarının artmasıyla alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu genleşmeler de azalır [4].

Cürufllu çimento içeren betonların donma-çözülme direnci ile ilgili olarak birçok çalışma yapılmıştır. Tüm hidrolik çimentolu betonlarda olduğu gibi, donma-çözülme koşullarına karşı koruma için uygun hava içeriği ve hava-boşluk sistemi gereklidir. Cürufllu çimento içeren betonlar donma-çözölmeye karşı dirençli bulunmuştur [4].

Türkiye’de kullanımı

TÇMB verilerine göre 2006 yılı yurtiçi toplam çimento satışı 47.247.935 ton olmuştur. Bunun 180.810 tonu Portland cürufllu çimentosu (Cem II/B-S 42,5), 703.267 tonu Yüksek fırın cürufllu çimentosu (Cem III/A 32,5 ve Cem III/A 42,5) olmuştur. Cürufllu çimento toplam satışı 954.647 ton olup toplam yurtiçi çimento satışının yaklaşık % 2 sini oluşturmaktadır. Cürufllu çimentoların betonun nihai dayanım ve dayanıklılık özelliklerindeki olumlu katkıları, üretimi esnasında çevreye duyarlılığı ve üretim

maliyetlerinin düşürülmesi gibi avantajları ile ileriki yıllarda hem yurtiçi kullanım oranlarında hem de ihracat oranlarında hızlı bir artış beklenmektedir.

Hazır betonda cürufllu çimento kullanımı

Oyak Beton Akdeniz bölgesi hazır beton tesislerinde, Adana Çimento tarafından üretilen Portland Cürufllu Çimento (CEM II/B-S 42,5 R) ve yüksek fırın cürufllu çimentolar (CEM III/A 42,5 N) çeşitli projelerde kullanılmaktadır. Bu projeler; her türlü betonarme yapılar, prefabrik betonarme elemanlar, köprüler, viyadükler, kıyı ve liman inşaatları, açık deniz yapıları, barajlar, sülfat etkisindeki endüstriyel zeminler, arıtma tesisleri, genel amaçlı inşaatlarda düşük hidratasyon ısısına gerek duyulan kütle betonları olarak sıralanabilirler.

Özellikle deniz yapıları projelerinde, cürufllu çimentoların sülfatlı sular, deniz suları, klorürlü suların etkisinde kalacak olan betonarme yapılarda performanslarının yüksek olmasından dolayı, yüksek fırın cürufllu çimentolar sülfata dayanıklı çimentonun (SDÇ) alternatifi olarak tercih edilmektedir.

Cürufllu çimentolarda hidratasyon ısısı ve bunun çıkış hızı düşüktür. Bu bakımdan bu çimentolarla kütle beton üretimi ve sıcak havada beton dökümü daha uygundur. Yüksek fırın cürufllu çimento ile üretim yapılan betonlar portland çimentolu betona göre daha yavaş dayanım kazanırlar. Dayanım gelişimi nispeten yavaş olduğundan bu çimento ile yapılan betonların kütle ve kalıpta bekletme süreleri biraz daha uzun olmalıdır. Hidratasyon ısısı yavaş seyir ettiğinden soğuk iklimlerde kullanılması halinde betonun korunması nispeten daha çok önem kazanmaktadır. Cürufllu çimentoların erken dayanımlarının artırılabilmesi için özgül yüzeylerinin ve cüruf miktarlarının ayarlanması gerekir. Özellikle soğuk hava koşullarında cüruf oranı fazla olan (%55) yüksek fırın cürufllu çimentolar (Cem IIIA) ile üretilen betonlarda alınan ilave önlemlere rağmen erken dayanımlar beklenen seviyede gerçekleşmezse, daha iyi erken dayanımlar elde etmek için daha düşük cüruf ihtiva eden (%30) ve erken mukavemet sınıfı ayarlanmış portland cürufllu çimentolar (Cem IIBS 42,5R vs.) ile istenilen dayanımlara ulaşılabilir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Amaç

Bu çalışmada, farklı oranlarda cüruf ihtiva eden cürufllu çimentolu betonlar ile hazır betonda kullanılan diğer tip çimentolu betonların erken ve ileri yaş dayanımları karşılaştırılmıştır.

Deney şartları

Laboratuvarda yapılan deneysel çalışmalarda aşağıda belirtilen kriterler doğrultusunda hazırlanan beton karışımlarının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine, erken ve ilerleyen yaşlardaki basınç dayanımlarına bakılmıştır.

- Deneylerde kullanılan tüm malzemelerden yeterli miktarlar temin edilmiş ve hep bu malzemeler kullanılmıştır.
- Çalışmalarda kullanılan çimentoların kimyasal ve fiziksel analizleri yapılmıştır.
- Uçucu külün k eşdeğerlik katsayısı 0,4 alınmıştır.
- Kimyasal katkı oranı % 1,1 olarak sabitlenmiştir.

- Çalışmalar 300, 325 ve 350 kg/m³ çimento eşdeğeri gruplarında yapılmıştır.
- Su/çimento oranları 300 kg/m³ grubunda 0,61 , 325 kg/m³ grubunda 0,57 ve 350 kg/m³ grubu için de 0,52 olarak alınmıştır.
- Beton karışımları 17 ± 1 cm hedef slumpda yapılmış olup bu kıvamda 15x15x15 cm küp kalıplarda numuneler alınmış ve standart kür koşullarında muhafaza edilmiştir.
- Çalışma grupları bazında agrega kullanım oranları sabit tutulmuştur.
- Taze betonda sıcaklık, kıvam ve yoğunluk, sertleşmiş betonlarda ise 16 saat, 1, 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür.

Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çimento

Çalışmalarda kullanılan çimentolar TS EN 197-1'e uygun olarak Adana Çimento San. ve Tic. A.Ş. Adana tesisinde üretilen; Cem I 42,5R Portland , Cem II/B-M 42,5R Portland kompoze çimentosu ile İskenderun tesisinde üretilen Cem II/B-S 42,5R Portland Cürufu ve Cem IIIA 42,5N Yüksek fırın cürufu çimentolardır. Kullanılan çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 - Deneysel çalışmalarda kullanılan çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellikler	Çimento Cinsleri / Analiz Sonuçları			
	CemI 42,5R	CemII/B-M 42,5R	CemII/B-S 42,5R	Cem IIIA 42,5N
Kızdırma Kaybı (%)	2,31	1,76		2,35
SO ₃ (%)	2,71	1,67	2,89	2,21
Cl (%)	0,0131	0,016	0,14	0,013
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,3	5,69		0,29
2 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	26,1	20,6	21,7	14,7
28 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	48,1	45,3	50,8	48,4
Priz Başlangıcı (Dak)	147	147	191	197
Priz Sonu (Dak)	198	197	230	245
Hacim Genleşmesi (mm)	1	1	1	0
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,12	3,03	3,02	2,97
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3270	3770	4690	4770

Mineral Katkı

Çalışmalarda Cem I 42,5R çimentosu ile birlikte Tip II Mineral katkı sınıfında Yumurtalık Sugözü İşken Termik santralinden temin edilen, TS EN 450'ye uygun uçucu kül (UÇK) kullanılmıştır.

Agregalar

Çalışmaların tamamında aynı kaynaktan elde edilen doğal-dere kırma agregalar kullanılmıştır. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Agregaların kullanım oranları, işlenebilir ve pompalanabilir beton esas alınarak tespit edilmiş ve çimento grubu bazında sabit tutulmuştur.

Çizelge 2 - Deneysel çalışmalarda kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Tip ve Boyutları	Yoğunluk DKY (gr/cm ³)	Su emme oranı (%)	İncelik Modülü
Doğal Kum (0-6 mm)	2,60	2,00	3,30
Kırma Kum (0-6 mm)	2,65	2,20	3,90
1 No (6-16 mm)	2,70	1,30	6,40
2 No (16-22 mm)	2,70	1,00	7,30

Kimyasal katkı

TS EN 934-2 standardına uygun lignosülfonat esaslı polimer tipte yüksek oranda su azaltıcı, süperplastikleştirici beton katkısı kullanılmıştır.

Yapılan Deneyler

Çalışmalarda elde edilen taze beton kıvam değerleri 17 ± 1 cm, taze beton sıcaklığı 20-22 °C arasında olmuştur. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen erken yaş ve ilerleyen yaş basınç dayanım sonuçları çimento eşdeğeri miktarına göre Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 3 –0.61 su/çimento oranı ve 300 kg/m³ çimento eşdeğeri için basınç dayanımları

No	Çimento Tipi	Çim. Mik. (Kg/m ³)	UÇK Mik. (Kg/m ³)	16 Saat (Mpa)	1.Gün (Mpa)	2.Gün (Mpa)	7.Gün (Mpa)	28.Gün (Mpa)	90.Gün (Mpa)
1-	CemI 42,5R	300	-	5,52	8,02	15,36	22,70	30,65	32,95
2-	CemIIIA 42,5N	300	-	3,12	4,52	9,65	17,80	31,45	39,75
3-	CemII/B-M 42,5R	300	-	4,75	7,42	15,46	21,00	29,35	37,40
4-	CemI 42,5R+MK	265	88	4,70	7,17	14,11	20,40	32,05	39,20
5-	CemII B-S 42,5R	300	-	6,29	7,93	14,73	21,90	29,40	40,55

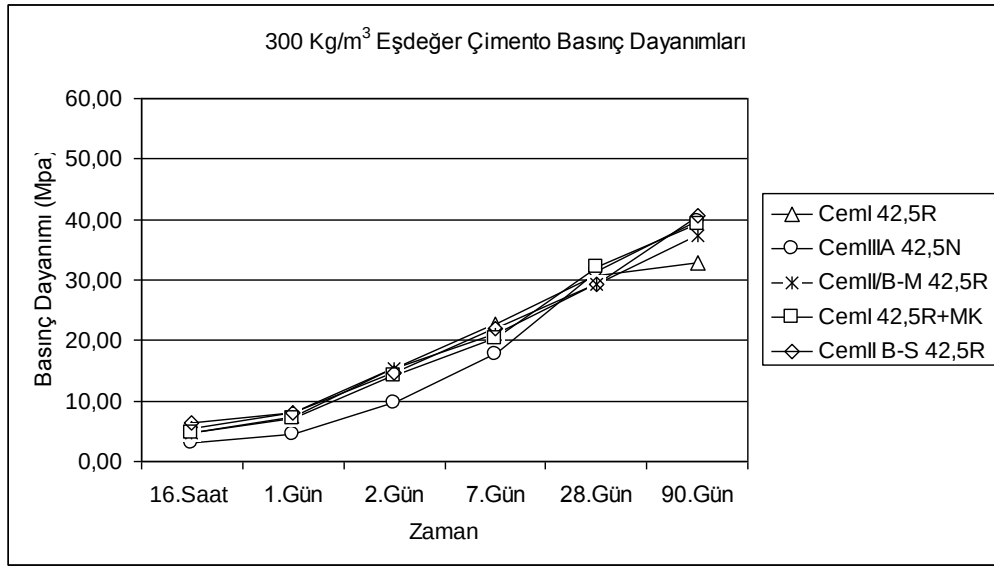
Çizelge 4 –0.57 su/çimento oranı ve 325 kg/m³ çimento eşdeğeri için basınç dayanımları

No	Çimento Tipi	Çim. Mik. (Kg/m ³)	UÇK Mik. (Kg/m ³)	16 Saat (Mpa)	1.Gün (Mpa)	2.Gün (Mpa)	7.Gün (Mpa)	28.Gün (Mpa)	90.Gün (Mpa)
1-	CemI 42,5R	325	-	6,80	8,64	15,30	25,40	34,15	36,50
2-	CemIIIA 42,5N	325	-	3,21	4,27	8,45	20,30	35,80	45,40
3-	CemII/B-M 42,5R	325	-	5,07	7,29	16,52	25,60	32,30	39,15
4-	CemI 42,5R+MK	287	95	4,95	7,54	14,69	24,20	39,05	46,20
5-	CemII B-S 42,5R	325	-	6,21	8,20	15,41	24,70	37,65	46,65

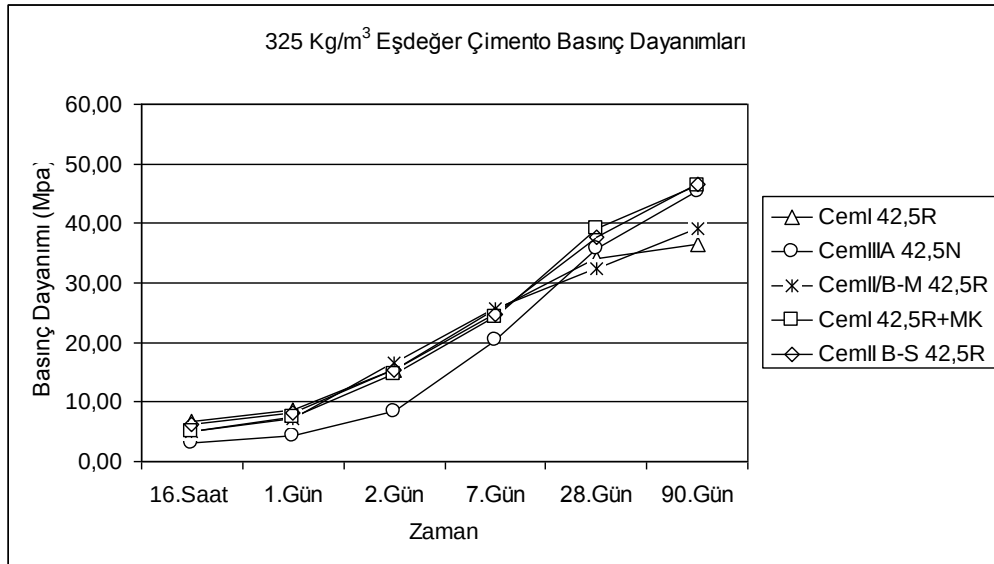
Çizelge 5 –0.52 su/çimento oranı ve 350 kg/m³ çimento eşdeğeri için basınç dayanımları

No	Çimento Tipi	Çim. Mik. (Kg/m ³)	UÇK Mik. (Kg/m ³)	16 Saat (Mpa)	1.Gün (Mpa)	2.Gün (Mpa)	7.Gün (Mpa)	28.Gün (Mpa)	90.Gün (Mpa)
1-	CemI 42,5R	350	-	7,77	11,80	18,35	29,33	40,80	43,90
2-	CemIIIA 42,5N	350	-	3,52	5,86	9,27	24,05	40,40	49,60
3-	CemII/B-M 42,5R	350	-	6,41	10,75	16,44	28,83	35,75	42,90
4-	CemI 42,5R+MK	309	103	5,26	10,46	15,96	30,28	40,50	50,65
5-	CemII B-S 42,5R	350	-	8,10	12,20	17,92	28,65	43,60	53,30

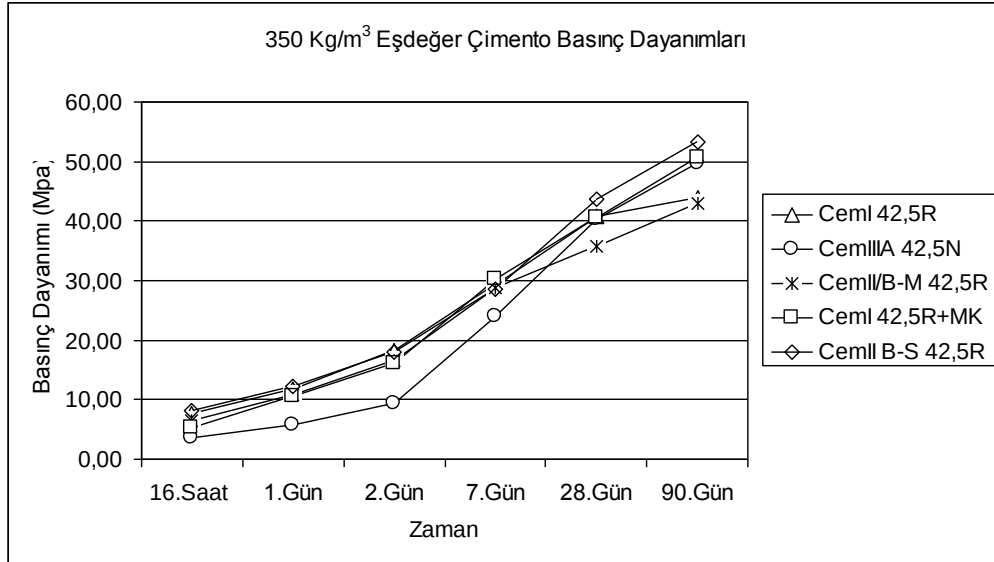
Grup bazında basınç dayanımları Şekil 1,Şekil 2 ve Şekil 3’de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 1 – 0.61 su/çimento oranı ve 300 kg/m³ çimento eşdeğeri için basınç dayanımları



Şekil 2 – 0.57 su/çimento oranı ve 325 kg/m³ çimento eşdeğeri için basınç dayanımları



Şekil 3 – 0.52 su/çimento oranı ve 350 kg/m³ çimento eşdeğeri için basınç dayanımları

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şantiye koşullarında beton dökümü sonrası kalıp hazırlıkları genelde 12 – 16 saat sonra başlamaktadır. Bu nedenle, yapılan çalışmalarda 1 günlük ve 2 günlük basınç dayanımlarının yanında 16 saatlik dayanımlarda ölçülmüştür. Genelde, hazır beton müşterisinin erken dayanımlarda bir sıkıntı hissetmediği değer, 16 saatte en az 2,5 - 3 MPa basınç dayanımı seviyesindedir. Bu dayanımdaki beton için bir sonraki kalıp hazırlıkları başlatılabilmekte ve betona bir miktar zorlukla çivi çakılabilmektedir. 16 saatte CEM IIIA 42,5N Cürufu çimentolarla üretilen betonlardan elde edilen basınç dayanımları diğer çimentolarla elde edilenlerden düşük kalmıştır. Ancak bu değerlerin projelerdeki kalıp alma süresi bazında ciddi rahatsızlık verecek mertebede olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, 20 °C'dan daha düşük beton sıcaklıklarında bazı önlemler alınması gerekebilir. 16 saatlik basınç dayanımı açısından müşteriye tatmin eden sonuçlardan sonra 1 ve 2 gün mukavemetler özel talepler haricinde aslında önemsiz kalmaktadır.

Erken yaş basınç dayanımlarından sonra dikkat edilecek konu, kalıpta yapısal yükü betona aktaracak söküm için gereken dayanımların kontrol edildiği 7 günlük dayanımlar olmalıdır. Yapılan çalışmada CEM IIIA 42,5N cürufu çimentolarla üretilen betonların 7 günlük dayanımlarında ortalama yaklaşık %20 seviyelerinde azalmalar gözlenmiştir. Dayanımdaki bu azalmalar özellikle soğuk hava koşullarında kullanıcı için yeterli olmazsa ilk olarak betonu daha düşük kıvamda yerleştirme, kalıp sökme süresinin bir miktar artırılması veya daha düşük oranda cüruf içeren cürufu çimentoların kullanıldığı betonlar önerilmektedir.

28. gün sonrası 90 günlük basınç dayanımlarında, cürufu çimentoların performansları belirgin bir şekilde artarak, dayanım kazanmaya devam etmiştir. Benzer artışlar uçucu kül ve kompoze çimento kullanılan betonlarda da gerçekleşmiştir. Ancak sadece portland çimento kullanılan betonlarda bu artışlar nispeten düşük kalmıştır.

4. SONUÇLAR

Hazır beton sektöründe cürüflu çimentoların kullanılması ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır.

- Cürüflu çimentolarda erken yaş basınç dayanım kazanım hızı genellikle çimento karışımındaki cüruf oranıyla ters orantılıdır. %55 oranında cüruf ihtiva eden Yüksek fırın cürüflu çimentolarla yapılan betonların 16 saatlik basınç dayanımları, %30 cüruf ihtiva eden Portland cürüflu çimentolarla yapılan betonlara göre düşük kalmıştır.
- Projelerde, erken basınç dayanımın ön plana çıktığı durumlarda, özellikle taze beton sıcaklığının 20 °C'nin altına düştüğü soğuk iklimlerde daha iyi erken dayanım elde etmek için bazı önlemlerin alınması gerekebilir veya cüruf oranı ve erken mukavemet sınıfı ayarlanmış portland cürüflu çimentolar (Cem IIBS 42,5R vs.) ile istenen erken basınç dayanımları elde edilmektedir.
- Betonda kalıp alma sürelerinin kontrol edildiği 7 günlük dayanımlarda CEM IIIA 42,5N cürüflu çimentolarla üretilen betonların, CEMII BS 42,5R (Portland cürüflu çimento), CEM I 42,5 R (Portland çimentosu), CEM II/B-M 42,5 R (Portland kompoze çimentosu) ve uçucu külle üretilen betonlara göre ortalama yaklaşık %20 seviyelerinde azalmalar gözlenmiştir. Dayanımdaki azalmalar özellikle soğuk hava şartlarında kullanıcı için yeterli olmazsa, betonu daha düşük kıvamda yerleştirme, kalıp sökme süresinin bir miktar artırılması veya daha düşük oranda cüruf içeren cürüflu çimentoların kullanıldığı betonlar önerilmektedir.
- 42,5 dayanıma sahip yüksek fırın cürüflu çimentolar ile yapılan betonlar, portland çimentosu ile yapılan betonlara göre daha yavaş dayanım kazanırken 28 günlük dayanımlarda birbirine yakın değerler görülmektedir. İlerleyen yaşlarda cürüflu çimentolu betonların dayanımları portland çimentolu betonlara göre çok daha fazla olmaktadır.
- Cürüflu çimentolarla üretilen betonların performansında görülen zamanla artışlar daha dayanıklı betonların üretilmesine olanak vermektedir. Cürüflu çimentolarla üretilen betonlar dayanıklılık, çevreye saygı ve ekonomik anlamda avantajları dolayısıyla gelecekte hazır beton sektöründe daha da yaygınlaşacaktır.

Kaynaklar

1. D.Higgins, D., “Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu”, *World Cement*, Sayı.73, 1995.
2. Türk Standardı, “Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriteri” *TS EN 197-1*, 2002.
3. Tokyay, M., Erdoğan, K., “Cürüflar ve Cürüflu Çimentolar”, *TÇMB*, AR-GE/Y97-2, 2005.
4. ACI Committee 233R-03 “Slag Cement in Concrete and Mortar”, 2003.