

BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
İM426 - BETON TEKNOLOJİSİ

---

Rapor Başlığı Buraya Yazılacaktır.

---

Ad Soyad: Murat Şahin  
Öğrenci No: 160000000

March 12, 2018

# İçindekiler

<b>1</b>	<b>Cüruflu Çimentolar</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Üretim</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Cüruflu Çimentoların Hidratasyonu</b>	<b>2</b>
3.1	Cürufun Camsı Fazının ve Kristalinitesinin Etkileri . . . . .	3
3.2	Klinker Özellikleri ve Cüruf İnceliğinin Etkileri . . . . .	3
3.3	Isıl İşlemlerin Etkileri . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Dayanım Özellikleri</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Dayanıklılık Özellikleri</b>	<b>7</b>
6.1	Sülfat Etkisine Dayanıklılık . . . . .	7
6.2	Klor Etkisine Dayanıklılık . . . . .	8
6.3	Deniz Suyu Etkisine Karşı Dayanıklılık . . . . .	8
6.4	Karbonatlaşmaya Dayanıklılık . . . . .	9
6.5	Alkali-Agrega Reaksiyonu . . . . .	9
6.6	Donma Çözülme Direnci . . . . .	10
	<b>Kaynaklar</b>	<b>11</b>

# 1 Cürüflu Çimentolar

Bu metin L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X kullanım örneği olarak kullanılmak üzere Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nin sitesinden Prof. Dr. Mustafa TOKYAY ve İnş. Y. Müh. Korhan ERDOĞDU tarafından yazılmış olan **Cüruflar ve Cürüflu Çimentolar** adlı eserden alınmıştır.

## 2 Üretim

Cürüflu çimentolar granüle yüksek fırın cürufunun portland çimentosu klinkeri ve alçı taşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütülüp karıştırılmasıyla elde edilir. Cürüflu çimentonun üretimi şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Beton Dökümü



Cürüflu çimento üretiminde kullanılan cüruf miktarı değişik ülkelerde, çimento tipine de bağlı olarak, önemli farklılıklar göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ASTM C 595'de belirtilen Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimentoları (Portland Blast Furnace Slag Cement)nda cüruf oranı %25-65'dir. Almanya'da DIN 1164'de Eisenportland ve Hochofen çimentoları olarak iki tip cürüflu çimento tanımlanmıştır. Bunlardan birincisinde cüruf miktarı en fazla %40, ikincisinde ise %41-85'dir. Fransa'da Ciment de Fer %25-35 Ciment Métallurgique Mixte %45-55, Ciment de Haut Foumeau %65-75 ve Ciment de Laitier au Clinker %80'in üstünde granüle yüksek fırın cürufu içerir. Ülkemizde standardı bulunan üç tür cürüflu çimentodan TS 20'de belirtilen cürüflu çimentolar CÇ 32.5 ve CÇ 42.5'da %20-80, TS809'da belirtilen Süper Sülfat çimentosu SSÇ 32.5'da ise en az %65 granüle yüksek fırın cürufu bulunur.

Genel hatlarıyla, üretim enerjisi ve hammadde kullanımı değerlerine bakıldığında, 1 ton %65 cüruf (%15 rutubetli) içeren bir cürufllu çimento üretimi için 1 ton Portland Çimentosu üretiminde gerekli olan hammadde miktarında yaklaşık %65, kullanılan enerji miktarında ise yaklaşık %50 bir azalma sağlanır (1).

### 3 Cürufllu Çimentoların Hidratasyonu

Yüksek fırın cüruflarının kendi başlarına veya bazı aktivatörlerle birlikte suyla reaksiyonlarına bölüm 2.5'de değinilmiştir. GYFClerin hidratasyonlarının hızlandırılması için gereken iki kutup aktivatör çimentolu sistemlerde zaten bulunmaktadır: (1) alçı ve (2) çimentonun silikat bileşenlerinin hidratasyonu ile elde edilen  $\text{Ca(OH)}_2$ . Bütün ticari cürufllu çimentolarda klinker kısmı cüruftan daha hızlı olarak hidrate olur. Ancak, cüruf da, aşağıdaki kalorimetre eğrilerinde de (Şekil 3.2) görüleceği gibi, çok erken yaşlarda suyla reaksiyona girmektedir (1, 16). %70 cüruf ve %30 portland çimentosu içeren bu karışımlarda 1. cürufun ikincisine göre daha reaktif olduğu anlaşılmaktadır. Açığa çıkan hidratasyon ısılarının piklerine bakıldığında, birinci cürufllu çimento ile Portland çimentosunun yaklaşık aynı sürede (6 saat) maksimum hidratasyon ısısına ulaştıkları görülür. Ayrıca, bu süre zarfında yalnızca %30 portland çimentosundan elde edilecek hidratasyon ısısı 15.6 J/gh olacakken 70/30'luk cürufllu çimentolardan, birinci cüruf için, 29 J/gh, ikinci cüruf için de 18 J/gh ısı açığa çıkmıştır. Bu durum da cürufların daha çok erken yaşlardan itibaren hidrate olmaya başladığını göstermektedir.

Cürufllu çimentolarda cüruf ve klinker fazlarının hidratasyonu ile meydana gelen C-S-H jelleri Tarayıcı Elektron Mikroskop ve EDAX'la incelendiğinde cüruf taneciklerinin yüzeylerinin klinkerin hidratasyonu ile oluşan C-S-H'nin kompozisyonuna göre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve MgO bakımından daha zengin olan bir C-S-H tabakası ile kaplandığı saptanmıştır. Sülfat iyonları bu tabakayı eriterek daha pürüzlü bir yapıya sahip ve dolayısıyla suyun penetrasyonunu engellemeyen ikinci bir jel oluşturmasına neden olur (16, 17, 18).

$\text{Ca(OH)}_2$  aktivasyonu ile ilk olarak etringit oluşur. Daha ileri yaşlarda, alçı tamamıyla tüketildikten sonra, etringit monosülfat formuna dönüşür ve tetrakalsiyum alüminat hidratı ( $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ ) katı eriyik haline gelir (1, 16).

Düşük MgO içeren cürufllu çimentolarda  $\text{C}_3\text{ASH}_{14}$ , yüksek MgO içerenlerde ise  $\text{C}_4\text{AHX}$

ve bunun magnezyum analogu olan  $M_4AHX$ , diğer hidratasyon ürünleri olarak gözlenmiştir (19, 20, 21). Bunların dışında, cürüflü çimentoların hidratasyonu sonucunda afwillit ( $C_3SH_3$ ) ve tobermorit ( $C_3S_2H_3$ ) oluşumu da söz konusudur (22).

Şekil 2: Beton Dökümü



### 3.1 Cürufun Camsı Fazının ve Kristalinitesinin Etkileri

GYFCnin hidratasyonuna Bölüm 2.5’de değinilmiştir. Demoulian ve ekibine göre (6) cürufun mükemmel bir camsı yapıya sahip olması cürüflü çimentolarda optimum reaktiviteye sahip olduklarının bir göstergesi değildir. Bu araştırmacılar %3-5 merwinit ( $C_3MS_2$ ) içeren cürufların kullanıldığı çimentolarla en yüksek dayanımları elde etmişlerdir. Satarin’e göre de, Bu bölüm 2.2’de sözü edilen, silika tetrahedronları cürufun camsı fazı içinde bir tür polimer halinde bulunurlar. Eğer bu moleküllerin polimerleşme derecesi çok yüksekse cürufun hidrolik aktivitesinde azalma söz konusu olur (23). Aynı portland çimentosu ve yedi değişik GYFC kullanılarak üretilen cürüflü çimentolar üzerine yapılan bir mikro yapı araştırmasında cürufun hidratasyon hızıyla, rekristalize hale geldikten sonra, içerdiği akermanit ( $C_2MS_2$ ) miktarı arasında 0.98 korelasyon katsayısına sahip bir bağıntı saptanmıştır. Buna göre, rekristalize cüruf içindeki akermanit miktarı ne kadar yüksekse cüruf o kadar yavaş hidrate olmaktadır (16).

### 3.2 Klinker Özellikleri ve Cüruf İnceliğinin Etkileri

GYFCnin hidratasyonuna Bölüm 2.5’de değinilmiştir. Demoulian ve ekibine göre (6) cürufun mükemmel bir camsı yapıya sahip olması cürüflü çimentolarda optimum reaktiviteye

sahip olduklarının bir göstergesi değildir. Bu araştırmacılar %3-5 merwinite ( $C_3MS_2$ ) içeren cürüflerin kullanıldığı çimentolarla en yüksek dayanımları elde etmişlerdir. Satarin'e göre de, Bu bölüm 2.2'de sözü edilen, silika tetrahedronları cürufun camı fazı içinde bir tür polimer halinde bulunurlar. Eğer bu moleküllerin polimerleşme derecesi çok yüksekse cürufun hidrolik aktivitesinde azalma söz konusu olur (23). Aynı portland çimentosu ve yedi değişik GYFC kullanılarak üretilen cürüflü çimentolar üzerine yapılan bir mikro yapı araştırmasında cürufun hidratasyon hızıyla, rekristalize hale geldikten sonra, içerdiği akermanit ( $C_2MS_2$ ) miktarı arasında 0.98 korelasyon katsayısına sahip bir bağıntı saptanmıştır. Buna göre, rekristalize cüruf içindeki akermanit miktarı ne kadar yüksekse cüruf o kadar yavaş hidrate olmaktadır (16).

Cürüflü çimento üretiminde cüruf ve klinkerin birlikte öğütülmesi klinkerin daha ince buna karşılık cürufun daha kaba kalmasına yol açar. Aynı öğütme sonucunda daha ince cüruf elde etmek mümkün olur. X-ışınları Diffraksiyonu ve Tarayıcı Elektron Mikroskop analizleri ile aynı klinkerden üretilen bir portland çimentosunun ve %85 cüruf içeren bir cürüflü çimentonun hidrasyonlarının takibinden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (16): 1. İki günlük hidratasyon sonucunda, cürüflü çimentoda meydana gelen etringit miktarı portland çimentosuna oranla daha fazladır. Bu fazlalığın nedeni alçımın hem klinkerdeki  $C_3A$  hem de cürufun alumina fazıyla reaksiyona girmesi ile açıklanmıştır. Öte yandan, cürüflü çimentonun X-ışınları difraktogramında C-S-H'a tekabül eden yaygın ve geniş pikin altındaki alanın portland çimentosundakine göre %30 daha fazla olması, cürufun hidratasyonu ile erken yaşlarda C-S-H jeli meydana geldiğinin göstergesidir. 2. Hidratasyonun yedinci gününde etringitin kısmen monosülfat formuna transformasyonun başladığı gözlemlenmiştir. Cürüflü çimentonun X-ışınları difraktogramlarında C-S-H jeli yansımalarında artış olmuştur. Etringit, cürüflü çimentoda, portland çimentosuna göre, hala daha fazladır. 3. Yedi ve yirmi sekizinci günler arasında C-S-H oluşumu devam etmiştir. Cüruf inceliğinin etkisine hızlandırılmış deneylerle bakılmış olan bir araştırmada aynı cüruf  $6310 \text{ cm}^2/g$  (Blaine) ve  $3500 \text{ cm}^2/g$  inceliklerde öğütülmüş ve 6 ve 24 saat sonunda çimentoların dayanımları belirlenmiştir (16). Bu çalışmada portland çimentosunun inceliği sabit ( $3500 \text{ cm}^2/g$ ) tutulmuş, cürufun aktivasyonu soda kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan cürüflü çimentolar %85 GYFC, %13 portland çimentosu ve %2 alçı içermektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Rakamlar	2	3	4	5
Rakamlar	2	3	4	5
Rakamlar	2	3	4	5
Rakamlar	2	3	4	5

Tablo 1: Deneme Tablosu

### 3.3 Isıl İşlemlerin Etkileri

Bütün kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, ortam sıcaklığının artması hidrasyon hızının artmasına neden olur. Hidrasyon sırasında meydana gelen reaksiyonlar için gerekli alan aktivasyon enerjisi cürüflü çimentolarda, eşdeğer portland çimentolarına göre yaklaşık %8 daha yüksektir (16, 24, 25). Bu nedenle, cürüflü çimento içeren sistemlere ısı işlem uygulanması, dışarıdan ilave bir enerji kaynağı sağlayarak hidrasyonu kolaylaştırıcı ve hızlandırıcı bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, çok yüksek sıcaklıklar ve basınç altında otoklavlama yöntemi uygulanarak yaptırılan hidrasyon cürüflü çimentoların dayanımlarını çok artırmaktadır (16).

## 4 Fiziksel Özellikler

Portland Yüksek Cürüflü Çimentoları Portland Çimentosundan daha açık renklidir. Özgül ağırlığı, Portland Çimentolarına oranla biraz düşüktür (3.00- 3.05). Priz süreleri, rötre, sünme, betonarmede donatı aderansı özellikleri bakımından portland yüksek fırın cürufu çimentolarıyla portland çimentoları arasında önemli farklılıklar yoktur (4). Portland Yüksek Fırın Cürufu çimentolarının hidrasyon ısıları kullanılan klinkerin ve GYFC nin kompozisyonu ve miktarıyla orantılı olarak değişir ancak, genel olarak, normal portland çimentolarınınkinden daha düşüktür (4,7).

## 5 Dayanım Özellikleri

Cürüflü çimentolar hidrasyon mekanizması ve hidrasyon ürünleri bakımından portland çimentolarıyla benzer nitelikler göstermekle birlikte, normal incelikte öğütülmüş durumda dayanım kazanma hızı, özellikle erken yaşlarda, portland çimentolarından daha düşüktür. Aynı 28 günlük dayanımın elde edildiği, birbirine çok yakın inceliklerdeki (3000

$cm^2/g$ ) bir portland çimentosuyla %65 cüruf içeren bir cürüflü çimento karşılaştırıldığında, erken yaşlarda portland çimentosunun geç yaşlarda ise cürüflü çimentonun daha yüksek dayanıma sahip olduğu bilinmektedir (1,5). Durum betonda incelendiğinde, eğilme dayanımlarının %25-45 cüruf içeren çimentolarla yapılan betonlarda, normal portland çimentosuyla yapılanlara göre, ya eşit ya daha yüksek olduğu saptanmıştır (26). Cürüflü çimentoların uygun erken dayanımlara sahip olabilmesi için özgül yüzeylerinin ve cüruf miktarlarının ayarlanması gerekir. Erken yaşlarda dayanımın yükseltilmesi için uygulanan bir başka yöntem de ağırlıkça %0.5 miktarında trietanolamin kullanılmasıdır (27). Cüruf inceliğinin etkilerine bölüm 3.2.2'de değinilmiştir. Cürufun klinkere oranla daha zor öğütülebilir bir malzeme olması, birlikte öğütme koşullarında, klinkerin ince cürufun ise daha kaba kalması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı öğütme koşullarında elde edilmiş, %30-50 cüruf içeren çimentolarla yapılan betonlarda gerek işlenebilirlik gerekse erişen dayanım bakımından önemli artışlar sağlanmıştır (28). Cürüflü çimentoların dayanımlarının tahmini için önerilen çeşitli Hidrolik İndeksler Bölüm 2.4'de verilmiştir. Bunların yanısıra, iki Japon araştırmacı tarafından önerilen bir çoklu regresyon denkleminde cürüflü çimentoyla aynı klinkerden elde edilmiş olan bir normal portland çimentosunun 28 günlük dayanımlarının oranı (Y) cürufun alkalinitesine (X1), camsız faz miktarına (X2) Cürüflü çimentolar hidratasyon mekanizması ve hidratasyon ürünleri bakımından portland çimentolarıyla benzer nitelikler göstermekle birlikte, normal incelelikte öğütülmüş durumda dayanım kazanma hızı, özellikle erken yaşlarda, portland çimentolarından daha düşüktür. Aynı 28 günlük dayanımın elde edildiği, birbirine çok yakın inceliklerdeki ( $3000 cm^2/g$ ) bir portland çimentosuyla %65 cüruf içeren bir cürüflü çimento karşılaştırıldığında, erken yaşlarda portland çimentosunun geç yaşlarda ise cürüflü çimentonun daha yüksek dayanıma sahip olduğu bilinmektedir (1,5). Durum betonda incelendiğinde, eğilme dayanımlarının %25-45 cüruf içeren çimentolarla yapılan betonlarda, normal portland çimentosuyla yapılanlara göre, ya eşit ya daha yüksek olduğu saptanmıştır (26). Cürüflü çimentoların uygun erken dayanımlara sahip olabilmesi için özgül yüzeylerinin ve cüruf miktarlarının ayarlanması gerekir. Erken yaşlarda dayanımın yükseltilmesi için uygulanan bir başka yöntem de ağırlıkça %0.5 miktarında trietanolamin kullanılmasıdır (27). Cüruf inceliğinin etkilerine bölüm 3.2.2'de değinilmiştir. Cürufun klinkere oranla daha zor öğütülebilir bir malzeme olması, birlikte öğütme koşullarında, klinkerin ince cürufun ise daha kaba kalması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı



öğütme koşullarında elde edilmiş, %30-50 cüruf içeren çimentolarla yapılan betonlarda gerek işlenebilirlik gerekse erişen dayanım bakımından önemli artışlar sağlanmıştır (28). Cürufllu çimentoların dayanımlarının tahmini için önerilen çeşitli Hidrolik İndeksler Bölüm 2.4'de verilmiştir. Bunların yanısıra, iki Japon araştırmacı tarafından önerilen bir çoklu regresyon denkleminde cürufllu çimentoyla aynı klinkerden elde edilmiş olan bir normal portland çimentosunun 28 günlük dayanımlarının oranı (Y) cürufun alkalinitesine ( $X_1$ ), camsı faz miktarına ( $X_2$ )ve Cürufllu çimentonun pikrik asit-metanol karışımında eritildikten sonraki kalıntı miktarına ( $X_3$ ) bağlı olarak verilmiştir (29):

$$Y = -73,33 + 74,06X_1 + 0,482X_2 - 2,41X_3 \quad (1)$$

## 6 Dayanıklılık Özellikleri

Sülfatlı sular, deniz suları, klorlu sular, karbonatlı sular, termal sular, buz çözücü maddeler vb. ile yapılan uzun süreli deneyler sonucunda cürufllu çimentoların zararlı kimyasal etkiler altında performanslarının yüksek olduğu belirlenmiştir (1).

### 6.1 Sülfat Etkisine Dayanıklılık

Regourd (16) tarafından yapılmış olan bir çalışmada sentetik olarak hazırlanmış, %50  $C_3S$ +%15  $C_3A$ +%5 alçı+%30 kuartz içeren numuneler  $MgSO_4$  eriyiğine batırılmıştır. İlk günden başlayarak, numunelerde genleşme gözlenmiş ve yedinci günde tüm numuneler dağılmıştır. daha sonra bu numuneler X-Işınları Difraksiyonu ve Tarayıcı Elektron Mikroskop kullanılarak incelendiğinde,  $Mg(OH)_2$ ,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , etringit ve C-M-S-H olduğu saptanmıştır. Aynı araştırmada, ikinci seri numuneler kuartz yerine GYFC kullanılarak hazırlanmış ve aynı koşullara tabi tutulmuştur. Sonuçta, GYFC içeren numunelerde hiçbir bozulma görülmemiştir. X-Işınları Difraksiyonu ve Tarayıcı Elektron mikroskop analizleri bu numunelerde yoğun bir CSH, bir miktar  $Ca(OH)_2$ , monosülfat formu ve çok az etringit oluştuğunu göstermiştir. Benzer sonuçlar %60 cüruf içeren çimentolarla yapılan beton numuneler üzerinde de elde edilmiştir (30). Aynı araştırmadan çıkan bir başka sonuç ise kullanılan cürufun inceliğinin artmasıyla, betonun porozitesini azalttığından dolayı, kimyasal etkilere karşı direncin yükselmesidir.  $MgSO_4$ ,  $CaSO_4$  ve  $Na_2SO_4$  eriyiklerinin kullanıldığı benzeri bir başka araştırmada da 130 değişik çimento kullanılmış ve yüksek fırın cürufllarının, miktarlarıyla orantılı olarak, sülfat direncini artırdığı saptanmıştır (31).

## 6.2 Klor Etkisine Dayanıklılık

Cürüflu çimentoların klor direnci konusunda çok sayıda değişik deney yöntemlerinin uygulandığı araştırma yapılmıştır. Bunlardan bazıları burada özetlenmiştir. Hızlandırılmış Klor Permeabilite deneyi uygulanarak yapılan bir araştırmada değişik inceliklerde ve değişik cüruf miktarı içeren çimentolar kullanılarak 102mm çap ve 52mm boyda silindir harç numuneleri hazırlanmış ve 14 günlük standard bakımdan sonra numunelerin bir yüzü sodyum klorür diğer yüzü sodyum hidroksit eriyiklerine batırılarak 60 V sabit potansiyel farkı uygulanmış ve bir yüzden öbürüne geçen elektriksel akım ölçülerek klor permeabilitesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu araştırmalarda kullanılan kontrol çimentosu (portland çimentosu)  $0.865 \text{ m}^2/g$  (BET) kaba cürüflu çimentolar  $0.866 \text{ m}^2/g$  (BET), orta cürüflu çimentolar  $1.083 \text{ m}^2/g$  (BET) ve ince cürüflu çimentolar  $1.337 \text{ m}^2/g$  (BET) inceliktedir. İnce cürüflu çimentolarda ağırlıkça %70 ve %85, orta cürüflu çimentoda %50 ve kaba cürüflu çimentolarda %50, %70 ve %85 cüruf kullanılmıştır. elde edilen sonuçlar grafik olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir (32).

Benzer bir araştırma da %8 silis dumanı, %25 uçucu kül, %50 GYFC içeren numuneler üzerinde yapılmış ve cürufun diğer mineral katkılara göre daha etkin olduğu saptanmıştır (33). Klor permeabilitesinin tayini ile ilgili ilginç bir başka yöntemde ise 100x200x300mm boyutlarındaki 28 günlük beton plakaların üst yüzeyine %5 NaCl eriyiği göllendirme suretiyle 4 gün uygulanmakta, bunu takip eden 3 günde ise saf su uygulanmaktadır. Söz konusu çevrim 48 hafta sürdürülmekte ve daha sonra yüzeyden 10, 20, 30, 40 ve 50 mm derinliklerden numuneler alınıp klor analizi yapılmaktadır. Bu deney yönteminin uygulandığı bir araştırmada bir sülfata dayanıklı çimento, bir normal portland çimentosu ve %40, 50 ve 70 GYFC içeren üç cürüflu çimento kullanılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda yüksek fırın cürufu kullanımının klor permeabilitesini azalttığı ve kullanılan cüruf miktarı arttıkça bu etkinin daha belirginleştiği saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar 3.4'de gösterilmiştir (34).

## 6.3 Deniz Suyu Etkisine Karşı Dayanıklılık

Cürüflu çimentoların deniz suyu etkisine maruz betonlardaki yüksek performansı yıllardır bilinmektedir. Deniz suyuna tamamıyla batırılmış 40x40x160mm harç numunelerle yapılan deneylerde kullanılan cüruf miktarının etkisi araştırılmış ve çimento içindeki

GYFC miktarının artmasıyla genişlemenin azaldığı saptanmıştır (1, 16). Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2 ve 3.3'de özetlenmiştir.

Diğer bir araştırmada ise 100x50x50 mm beton numuneler yarı boylarına kadar deniz suyuna batırılarak deneyler yapılmıştır (31). Bu araştırmada ASTM Tip V'ye tekabül eden 24, Tip II'ye tekabül eden 16, Tip I'e tekabül eden 17, %15 GYFC, uçucu kül ve trasier 5'er %30 cüruf içeren 12 ve %70'in üstünde cüruf içeren 35 çimento kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek performans %70'in üstünde cüruf içeren çimentolarla elde edilmiştir.

#### **6.4 Karbonatlaşmaya Dayanıklılık**

Betonda karbonatlaşma açısından, beton yeterince yoğun ve ortamda yeterli rutubet var olduğu sürece, portland çimentosuyla cürufllu çimento arasında bir fark yoktur (1, 5, 16). Longuet (35) tarafından yapılan bir araştırmada %80'in üstünde cüruf içeren çimentoların, karbonatlaşmanın neden olduğu deposivasyon sonucunda betonarme donatıların paslanmasını portland çimentoları kadar etkin bir şekilde önlediği saptanmıştır. Öte yandan, bir başka araştırmada, daha kısa sürelerle bakımı yapılan (1, 3 ve 7 gün) harç numunelerde yukarıda belirtilenen tam tersi sonuçlar alınmıştır. Sözü edilen bu araştırmada, karbonatlaşma direncinin artırılabilmesi için bakım süresinin uzatılması gerektiği belirtilmiştir (36).

#### **6.5 Alkali-Agrega Reaksiyonu**

Betonda karbonatlaşma açısından, beton yeterince yoğun ve ortamda yeterli rutubet var olduğu sürece, portland çimentosuyla cürufllu çimento arasında bir fark yoktur (1, 5, 16). Longuet (35) tarafından yapılan bir araştırmada %80'in üstünde cüruf içeren çimentoların, karbonatlaşmanın neden olduğu deposivasyon sonucunda betonarme donatıların paslanmasını portland çimentoları kadar etkin bir şekilde önlediği saptanmıştır. Öte yandan, bir başka araştırmada, daha kısa sürelerle bakımı yapılan (1, 3 ve 7 gün) harç numunelerde yukarıda belirtilenen tam tersi sonuçlar alınmıştır. Sözü edilen bu araştırmada, karbonatlaşma direncinin artırılabilmesi için bakım süresinin uzatılması gerektiği belirtilmiştir (36).

Cürufllu çimentolar kullanılarak yapılan çok sayıda araştırma cüruf miktarının artmasıyla

alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu genleşmelerin azaldığını göstermiştir (1, 16, 37). Yüksek miktarda alkali içeren bir portland çimentosunu %24 ve %50 oranlarıyla GYFC ile ikame edilmesi sonucunda ulaşılan alkali-agrega reaksiyonu genleşmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.5’de verilmiştir (1).

## 6.6 Donma Çözülme Direnci

Yüksek Fırın Cürufu çimentoların betonların donma-çözülme direncine etkileri, dayanım ve betonun hava miktarı sabit tutulduğu sürece, portland çimentolarınınkinden farklı değildir. Ancak, cüruf miktarı çok yüksek olduğu takdirde, az bir miktar düşüş görülebilir (38).

Öte yandan, yüksek fırın cürufu kullanımının beton içindeki gözenek boyutlarında, gerek fiziksel gerekse hidrasyon sonucunda, azalmaya neden olması betonun donma çözülme direncini yükselttiği görüşü de öne sürülmektedir (39).

Yapılan tüm araştırmalarda hemfikir olunan bir sonuç cürufu çimentoların, betonda sabit bir hava miktarı sağlamak için, portland çimentolarına göre daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç gösterdikleri hususudur (1, 38, 39, 40).

## Kaynaklar

1. Tokyay, M. (2016). *Cement and concrete mineral admixtures*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. Straub, C., Quercia, G., Florea, M. V. A., Brouwers,
2. Straub, C., Quercia, G., Florea, M. V. A., Brouwers, H. J. H. (2014). Slump flow of Autoclaved Aerated Concrete slurries. *International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete*, Brno, Czech Republic.
3. Rashad, A. M., Bai, Y., Basheer, P. A. M., Milestone, N. B., Collier, N. C. (2013). Hydration and properties of sodium sulfate activated slag. *Cement and Concrete Composites*, 37, 20-29.