

# YERLİ BOKSİTLERİN DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLERDE DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASI

H.Aygül YEPREM

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya- Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*

## 1. GİRİŞ

Refrakterler genel olarak, yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı dirençli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel dökülebilir refrakterlerin en genel tanımlaması ise, boşaltılarak yerleştirilen şekilsiz refrakterler grubu şeklinde olabilir. Çok genel bir değerlendirmeyle dökülebilir refrakterler, inşaat betonunun hazırlanışı ve dökülüşiyle birbirine benzer. Ancak kum yerine dolgu maddesi (agrega, grog) kullanılır.

Geleneksel dökülebilir refrakterler % 15-30, düşük çimentolular % 4-8, çok düşük çimentolular % 4'ten az ve çimentosuzlar % 1'den az kalsiyum alüminat içerirler. Dökülebilir refrakterler için kalsiyum alüminat (CA) refrakteri, refrakter beton gibi terimler de kullanılır. Bu refrakterler, uygun hammadde bileşimini belli sıcaklık ve sürelerde pişirilmesi ile elde edilen malzemenin (YAÇ) istenilen boyutlarına göre öğütülmesi ve daha sonra içine grog, perlit tanecikleri veya pişmiş şamot partikülleri) katılması ile elde edilirler. Oldukça küçük tane boyutlarındaki bu tür malzemeler standartlarda belirtilen (ASTM C-860) oranlarda su ile karıştırılarak değişik yöntemlerde kullanım bölgelerine uygulanır (1,2).

Kalsiyum alüminat ilk olarak 1876'da Vicat tarafından keşfedildiği halde refrakter olarak kullanılması son zamanlarda gerçekleştirilmiştir. İlk ticari alüminalı çimentoysa 1913'te Lafarge tarafından piyasaya sürülmüştür.

Bu tür malzemeler servis edildiğinde pişirilirlir yani kullanımdan önce herhangi bir şekilde ön pişirme işlemi yapılmaz. Ayrıca depolama sorunu yoktur. Bu durumlarından dolayı çok büyük avantajları vardır. Ayrıca uygulama hızlarının yüksekliği, maliyeti ve uygulama alanındaki esneklikleri nedeniyle de diğer refrakterlere göre daha caziptir. Endüstride refrakter kullanma ihtiyacı zamana bağlı gelişim ile artmış ve dünyada özellikle 1980-90 arası dökülebilir refrakterler konusunda çok büyük gelişmeler olmuştur. Tüm refrakterlerin %33'ünü dökülebilirler oluşturmaktadır. Kalsiyum alüminatlı dökülebilir refrakterlerin başlıca kullanım alanları; demir çelik endüstrisi, demir dışı metal üretimi petrol ve petrokimya sanayii, cam ve çimento sanayi yani kısaca endüstride yüksek ısı kullanımını olan tüm yerlerde kullanılmaktadır (1,2).

Yine 1980 sonrası dolgu malzemelerinin tane büyüklüğü hassasiyetinin önemine varılmıştır. Alüminalı silikat refrakterlerin dolgu maddelerini yüksek demir içeren düşük alüminalı Şamot kili, Ateş kili ve yüksek alümina içerikli Andaluzit grubu mineraller (Andaluzit, Kiyanit, Silimanit) ve Boksit içermektedir. Bu çalışmada boksit üzerinde durulacaktır. Bunun nedeni ise alüminanın en iyi dolgu malzemesi olması ve yerli boksit kaynaklarını kullanarak aynı dayanıma sahip daha ucuz dolgu malzemesi kullanmak yoluna gidilmeye çalışılmasıdır. Türkiye'de bulunan ve uzun vadeli değerlendirilmeye uygun diasporit cevheri ülke içinde yapılacak yatırımlarla dökülebilir refrakterler üretiminde kullanılabilir.

## 2. YÜKSEK ALÜMİNALI ÇİMENTONUN MİNERAL BİLEŞİMİ

### 2.1. Alümina ve Silikatlarca Zengin YAÇ'lar.

Kalsiyum alüminatların temel bileşenleri CA, CA<sub>2</sub>, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>, C<sub>2</sub>AS ve C<sub>2</sub>S 'dır (2,3).

YAÇ= Yüksek Alüminalı Çimento

C=CaO

F= Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

T= TiO<sub>2</sub>

f= FeO

M= MgO

H= H<sub>2</sub>O

S= SiO<sub>2</sub>

A= Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### CA

YAÇ' da en önemli bileşiktir ve malzemeye dayanç kazandırması açısından önemlidir. Bu yapının çökmesi yavaş olmasına karşın eriyik soğuması oldukça hızlıdır ve kısa sürede sertleşir.

#### CA<sub>2</sub>

Bu yapı düşük sıcaklıklarda su ile çok yavaş reaksiyona girer fakat hidrasyonu ve dayanıklılık artışı kireç-su ile yada yüksek pH'lı solüsyonlarla hızlandırılabilir. CA<sub>2</sub>'a yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaO oranlı YAÇ' larda rastlanabilmektedir. Yardımcı fazdır (4).

#### C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>

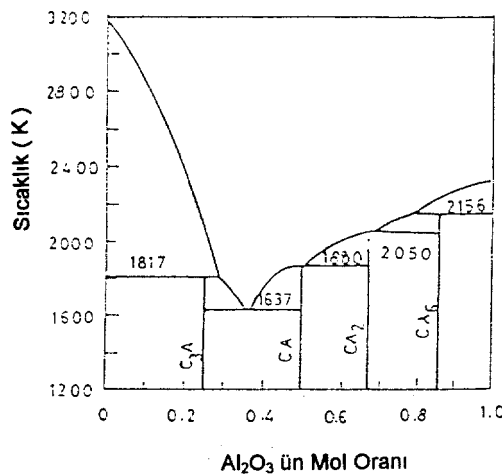
Genellikle düşük oranlarda bulunur fakat CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttıkça artma eğilimindedir. Bu bileşik çok çabuk hidrate olur ve kullanıldığı malzemenin çok çabuk çökmesine neden olur. Yapıda çok fazla olması istenmez. Ergime sıcaklığı 1415 °C olup çok düşüktür fakat katılaşıma hızını arttırmak için çimentoya katılabilir.

#### C<sub>2</sub>AS (gehlenit)

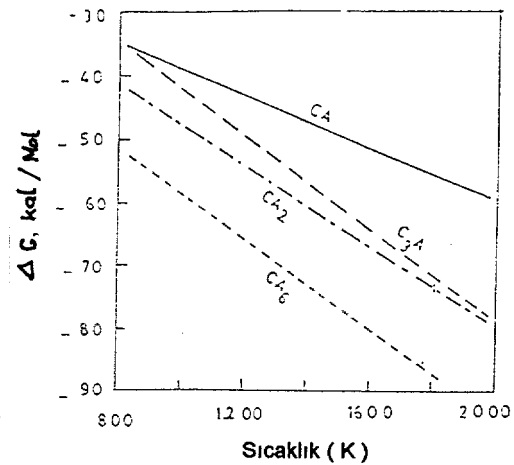
Yapı yüksek silika içeriyorsa bu bileşik ortaya çıkar. Reaksiyon girmesi çok yavaştır ve hidrasyonu yavaşlatır. Yapıda fazla olması istenmez.

#### β -C<sub>2</sub>S

Bu bileşiğe %5'in altında silika içeren ham maddelerin ötektik bileşimlerinde az miktarda rastlanmıştır. %5'in üzerinde silika içerirse gehlenit yapısının artma ihtimali vardır.



Şekil 1:CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ikili Denge Diyagramı.



Şekil 2: Bazı Bileşiklerin Gibbs Oluşum Serbest Enerjileri.

YAÇ' larda alümina oranı arttıkça ergime sıcaklığı artmaktadır. (Şekil 1).CA<sub>6</sub> anormal ergiyen bileşikler arası bileşiktir. CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sisteminin termodinamik özellikleri de çok önemlidir. Şekil 2 'den görüldüğü gibi CA<sub>6</sub>'nın oluşumu serbest enerjisi en düşük dolayısı ile en kararlıdır. CA' nın ise tam tersidir(4).

### 2.1.2. Demirce Zengin YAÇ'lar:

Kullanılan ham maddelerin çoğunda demir oksit bulunduğundan dolayı yapıda demir bileşiklerinin bulunması kaçınılmazdır. FeO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' in etkileri henüz tam olarak açıklanmamıştır. CF ve C<sub>2</sub>F olma ihtimali vardır. Yapıda yüksek oranda CA var ise C<sub>4</sub>AF ve C<sub>6</sub>AF<sub>2</sub> bulunabilir. Yapıda pek olması istenmez (3).

### 2.1.3. Diğer Bileşikler

Boksit içinde genellikle % 1-3 arası TiO<sub>2</sub> yapıda kalsiyum titanat şeklinde görünür fakat demir içeriği zenginse kalsiyum ferro titanat şeklinde bulunur. Yapıda % 4,4'e kadar bulunması özellikleri olumlu etkiler. Ayrıca % 1'in altında MgO, % 0.3 Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O ve % 0,15'i geçmeyen toplam sülfür vardır.

**Çizelge 1. Bazı ticari YAÇ'ların Kimyasal Bileşimleri (% Ağırlık) (2).**

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	PCE°C
Fondu	39	38	4.5	16.5	2.5	1270
Secar 50-51	50-5	36.3	6.9	3.6	1.95	1440
Secar 70-71	70-5	28.7	0.35	0.10	0.05	1700
Secar 80	80-5	18	0.2	0.15	0.03	1750
Alcoa CA25	79	18	0.1	0.3	-	1770

Lafarge (Fondu ve Secar'lar) , Alcoa ( Alcoa CA25)

Çizelge 1'de görüldüğü gibi Fondu çimentosunun demir oksiti yüksek, Secar 80'in ise alüminası yüksek dolayısıyla ergime sıcaklığı yüksektir.

**Çizelge 2: Bazı Ticari YAÇ'ların Minerolojik Bileşimleri (% Ağırlık) (2).**

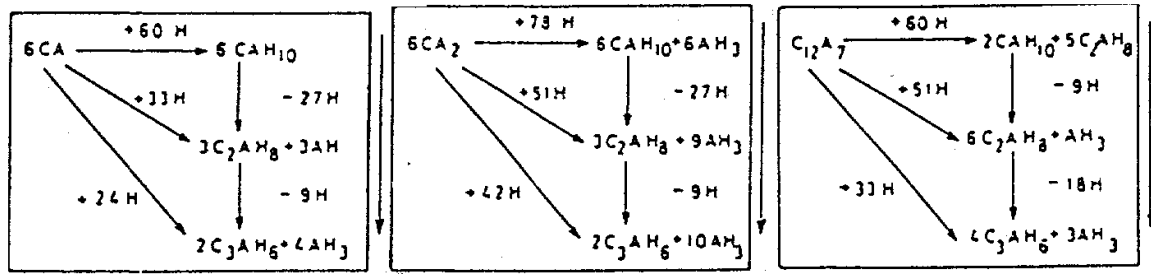
	C <sub>12</sub> A <sub>7</sub>	CA	CA <sub>2</sub>	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Secar 71	6	44	30	20
Secar 80	2	37	17	44
Alcoa CA 25	6	46	13	35

## 3. KALSİYUM ALÜMİNATLARIN HİDRATASYONU

Dökülebilir refrakterlerin bir avantajıda, istenildiği şekilde dökülüp daha sonra başka bir işleme gerek kalmadan su ile bileştiğinde çökeliş sertleşmesidir. Suyun ilavesi ile hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerinde değişme meydana gelir, bu yüzden bu malzemelerin refrakter olarak kullanılabilmesi için hidrasyon olayı çok önemlidir. Hidrasyon olayı anhidrat (susuz) olan bünyeyi hidrat olan pek çok değişik faza dönüştürür. Hidrasyonun iki önemli özelliği vardır. Birincisi, çimento öğütülmemiş iken su ile reaksiyon yapmaz İkincisi ise zamanın bir fonksiyonu olmasıdır. Bu özellik sayesinde hidrasyon yapan çimento miktarı su ile temasa geçtiği zamanla beraber artar. Bu ikinci özellik çok önemli olup, çimentodaki

çeşitli özelliklerin ve dayanımın zamana bağlı olarak artmasına neden olur. Hidratasyon hızı arttıkça dayanım artışı hızlanır. Ayrıca sıcaklığın yükselmesi ile bu hidratlar bozunur, böylece aşırı reaktiflik özelliği taşıyan ürünler oluşur ki bu ürünler rekristalize olarak anhidrat kalsiyum alüminatlara dönüşür. Buradaki tekrar kristalleşme olayı, anhidrat kalsiyum alüminat tozlarının sinterlenmesi için gerek duyulan sıcaklığın daha altında bir sıcaklıkta oluşan, sinterlenmiş bir malzeme çatısı oluşturur. Kalsiyum alüminat hidratların yapısı ve bozunmalarına bağlı olarak refrakterlerin özelliklerini belirlemede hidratasyonun ve ayrıca her fazın vermiş olduğu hidratasyon özellikleri çok önemlidir (5,6).

Kalsiyum alüminat refrakterlerinde en reaktif yapı  $C_{12}A_7$ 'dir. Saf  $C_2A_7$  hemen donabilir. CA ise  $C_2$  ise  $C_{12}A_7$  'tan daha az reaktif. Fakat  $CA_2$  'tan daha reaktif olacak şekilde dönüşür.  $CA_6$  ve  $\alpha$ - $Al_2O_3$  'nın su ile reaksiyon verdiği ise bulunamamıştır.



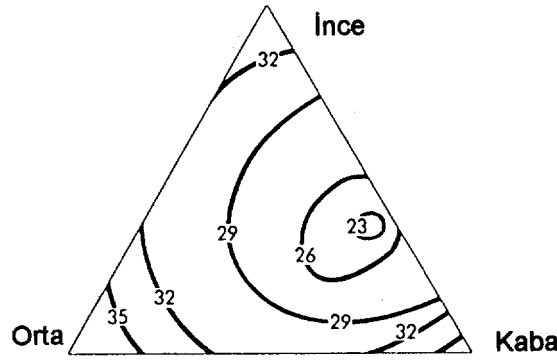
Şekil 3: (a) CA, (b) CA<sub>2</sub>, (c) C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>'in Hidratasyon Reaksiyonları (2)

Şekil 3'deki hidratasyon reaksiyonunda her üç reaksiyonda ürünü olduğundan AH<sub>3</sub> (gibsit) formunda yazılmıştır. CA'nın hidratasyonu çok karmaşıktır çünkü ilk olarak üç hidratta (CA, CA<sub>2</sub>, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>) hepsi veya herhangi biri oluşabilir. 20°C' de hegzagonal hidrat CAH<sub>10</sub> oluşur. Fakat 30°C' nin üstünde hızlı bir şekilde kübik ve kararlı bir faz olan C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> ve AH<sub>3</sub> şeklinde rekristalize olabilmektedir. Bu olaya konversiyon denir. Bu iki sıcaklık arasında ise yine hegzagonal yarı kararlı bir hidrat olan C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub> oluşur ve o da C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> 'a dönüşür. CA<sub>2</sub> fazı ise CA ile aynı hidratasyon ürünlerini oluşturur fakat stokiyometrisi farklı olduğundan daha fazla AH<sub>3</sub> üretilir. CA ve CA<sub>2</sub> arasındaki önemli bir farkta aktiviteleri arasındaki farktır. CA<sub>2</sub>'in inert olmadığı ispatlanmış olmasına karşın, refrakter bünyesinde reaktif olarak etki eden bir bileşen olduğu söylenebilir. C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>'a gelince, bu fazın stokiyometrisi ve kararlılığı günümüzde tamamıyla ortaya konmamıştır. Çok yüksek hızla su ile reaksiyona girdiğinden hızla çökme olur ve düşük sıcaklıklarda C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub> ve az miktarda CAH<sub>10</sub> oluşur. Yüksek sıcaklıklarda ise yine C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> kararlı fazı ve AH<sub>3</sub> oluşur. 50°C' nin üzerinde 1 gün sonra ise çamur tamamen dönüşmüş olur (2). Demir bileşiklerinin hidratasyonunda ise, oluşan demir hidroksit jeli alüminat kristallerini örtebilir ve bu da hidratasyon hızını yavaşlatır. Hidratasyon sonucunda C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> kararlı fazı ve CFH<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>FH<sub>6</sub> gibi hidrate ürünler oluşur.

Bu fazların görünür oranları, zaman, hidratasyon sıcaklığı ve su/refrakter oranı gibi faktörlere bağlıdır. Bu hidratların çoğu zayıf kristalliklerinden dolayı X-ışını difraktometresi ile belirlenemez. Bu nedenle DTA (Diferansiyel Termik Analiz) cihazından faydalanılır.

#### 4. DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLERDE KULLANILAN DOLGU MADDELERİ

Refrakter betonun özelliklerini agregalar çok ciddi şekilde etkiler. Kaba ve ince taneli agregalar uygun oranda YAÇ ile karıştırılır. Sınıflandırılmış agregalar arasında yaklaşık % 45 boşluk vardır. % 80 kaba, % 20 ince tane karıştırılırsa gözenek oranı en aza düşer. Fakat uygulamada orta taneleri tüketebilmek için üçlü karışımlar tercih edilir (7).



**Şekil 4: Porozite Oranlarının Agrega Oranlarına Göre Değişimi (7).**

Şekil 4.' de görüldüğü gibi % 50 kaba, % 40 ince, % 10 orta agregaya karışımında gözenek % 22 olup pek azdır. Bu nokta merkez ise uzaklaştıkça gözenek oranı artmaktadır. Yoğun karışımlarda gözenek oranı düşük olacağından bunları dolduracak YAÇ tüketimi az olacaktır.

Eğer agregaya serbest rutubet içerirse, YAÇ ile karıştırıldığında hidrasyon hemen başlar ve refrakter beton hazırlanmadan önce kalitesini bozar. Bu yüzden kuru agregaya kullanma zorunluluğu vardır. Ayrıca sığağa dayanıklı olmalıdır. Alümina en ideal agregadır, çünkü yüksek sıcaklıkta YAÇ ile reaksiyona girerek daha yüksek sıcaklıkta eriyen fazlar meydana getirir. Fakat diğerlerine göre pahalı olduğundan yerine ateş kili ve curuflar kullanılır. Sıvı metalle temasta olan refrakterlerde gözenek oranı az olsun istenir, bunun için % 80 agregaya, % 20 kil ile üretim yapılır. Termal şok söz konusu ise gözenek fazla olsun istenir ve % 50 kil, % 50 agregaya kullanılır.

Alümina en yaygın boksitte bulunur. Boksit bir mineral ismi olmayıp korund, gibsit,diasporit ve böhmit minerallerinin bir karışımıdır ve  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$  formülü ile gösterilir. Bazı kaynaklarda  $n=2$  ile gösterilir. Boksit cevheri terimi halen ekonomik olarak değerlendirilebilen ve değerlendirilebilecek en az % 45-50  $Al_2O_3$ , en fazla % 20-25  $Fe_2O_3$  ve % 3-5  $SiO_2$  içeren boksitler için kullanılır. Türkiye dünya boksit rezervlerinin % 1,23'üne sahiptir.

**Çizelge 3: Türkiye Boksitleri Rezerv Durumu (RezervX1000 Ton)**

Bölgeler	Görünür	Muhtemel	Toplam	İşletilebilir Rezerv	Boksit Tipi
1-Seydişehir-Akseki	39.200	2.500	41.700	33.600	Böhmit
2-Zonguldak-Kokaksu	5.900	3.400	9.300	5.000	"
3-Yalvaç-Şarkikaraağaç	-	115.600	115.600	-	Fe'li-Dias.
4-Payas-İslahiye	-	215.500	215.500	-	"
5-Tufanbeyli-Saimbeyli	5.500	6.000	11.500	9.800	Diasporit
6-Muğla-Milas-Yatağan	9.400	11.200	20.600	17.500	"
7-Bolkardağı	-	3.900	3.900	-	"
8-Alanya	1.300	7.700	9.000	-	"
TOPLAM	61.300	365.800	427.100	65.900	

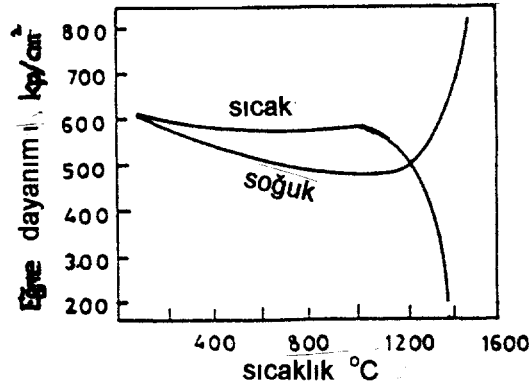
Çizelge 3' de görüldüğü gibi Muğla-Milas-Yatağan boksitleri hem işletilebilir hem de toplam rezerv bakımından büyük öneme sahip boksit yataklarıdır (8).

## 5. DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLERİN ÖZELLİKLERİ

Dökülebilir refrakterlerin su ile karıştırıldığından sonraki yumuşaklığına kıvam denir. Su oranının az yada fazla oluşumu dayanımı olumsuz yönde etkiler. Az oluşu hidrasyon tamamlanmadığından, fazla oluşu ise gözenek oranı artacağından dayanım düşer. Çoğu ticari dökülebilir refrakterlerde YAÇ'nun hidrasyon suyu % 3-10'dur. Fakat gerçekte bunun 2 katı kadar su katılır. Eğer gereğinden fazla su katılırsa agregalar dibe çökerek ayrılır ve fazla su tepede toplanır ki buna sulanma denir. Dökülebilir refrakterlerin dayanımı su ilavesinden 6-10 saat sonra gelişmeye başlar (9).

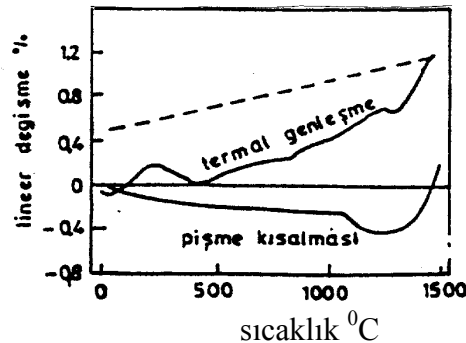
YAÇ'lar kristal bağlı sularını 100-550 °C' de kaybederler, soğuk mevsimde ise 100-200°C' dedir . Kurutma sıcaklığına bağlı olarak iç buhar basıncı yükselir. Eğer kurutma sıcaklığı hızlı yükselirse su buharı basıncı yüzeyde yükselir ve patlamaya yol açar. Katılma sıcaklığı ve patlama sıcaklığı birbirine bağlıdır. 15°C 'nin altında katılanlar için patlama sıcaklığı 540°C, 20°C'nin üstündekiler içinse 1300°C'a kadar çıkabilir.

Belirli bir sıcaklığa ısıttıktan sonra oda sıcaklığında deney yapılıyorsa bulunan dayanım değerine soğuk dayanım, sıcakta yapılıyorsa sıcak dayanım denir. 100-500°C 'de kristal bağlı su atıldığı ve bunun hemen üzerinde C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> fazı sıcaklığa olarak kaybolduğu için soğuk dayanım düşer. Bu faz azalırken CA, CA<sub>2</sub> artar. 1000°C' nin üzerinde de sinterlenme başlar, buna bağlı olarak dayanım artar. Sıcakta 1000 °C' nin üzerinde sıvı faz oluşmaya başladığında sıcakta dayanım düşer (Şekil 5). Yüksek sıcaklıklarda dökülebilir refrakterlerin dayanımı plastik refrakterlerden daha yüksektir. Bu refrakterler yüksek sıcaklıklara çatlama ve dökülme olmaksızın ısıtılabilirler (10).



Şekil 5: Dökülebilir Refrakterlerin Soğuk ve Sıcak Dayanımı.

Dökülebilir refrakterlerde pişirme kısalması çok önemlidir ve kalite kontrol kriteri olarak kullanılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6: Dökülebilir Refrakterlerin Termal Genleşme ve Pişme Kısalması Eğrileri.

Yaklaşık 200°C' den sonra kristal bağlı suyun atılması ile büzülme başlar. Hemen hemen ilk boyutlarına eriştikten sonra genişlemeye devam eder. Yaklaşık 1250°C' de görülen geçici büzülmenin nedeni anortit ve gehlenitin ergime sıcaklığının düşük olması olabilir. Meydana gelen cam fazın gözenekleri doldurmasıyla genişleme geçici olarak durmuş olabilir. Sonra tekrar artmaktadır. Yaklaşık 1480°C' ye kadar pişme kısalması negatiftir yani büzülme meydana gelmektedir. Bu büzülme diğer refrakterlerde görülen genişleme probleminin bu refrakterlerde görülmemesine neden olmaktadır. (10).

## 6. DÜŞÜK ÇİMENTOLU DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLER

Geleneksel dökülebilir refrakterlerin çimento oranı düşürülürse kalıba yerleşme iyi olmaz gözeneklilik artar ve dayanım düşer. Eğer yerleştirmeyi kolaylaştıracak tiksotropik madde katılırsa ve vibrasyon veya pnömatik tabanca ile yerleştirme yapılırsa çimento oranı düşebilir. Fakat vibrasyon hızını iyi ayarlamak gerekir çünkü agrega ve çimento birbirinden ayrılabilir. Buna bağlı olarak;

Katılacak su oranı ve porozite düşer, yoğunluk ve dayanım artar.

Anortit ve gehlenit fazları azalır. Yüksek sıcaklıklarda dayanım ve korozyon direnci artar (11).

## 7. TARTIŞMA

Dökülebilir refrakterler konusunda 1980'lerden sonra çok büyük gelişmeler oldu. Araştırmalar geliştirilmiş dökülebilir malzemeler (düşük, çok düşük çimentolu, çimentosuz), dolgu maddeleri (yeni ve geliştirilmiş), ilaveler ve yerleştirme teknikleri konularında yoğunlaştırılmıştır. % 44 alümina içeren agrega yerine % 2 daha fazla alümina, % 3 daha düşük silika, % 0.7 daha az alkali içeren agrega kullanılarak pişme kısalması % 8.2' den, % 1-2'ye düşürülerek hem düşük hem de yüksek sıcaklık dayanımı arttırılmıştır. Dolgu maddesi olarak kalsine veya reaktif alümina kullanılırsa soğukta dayanımı bile 4 katına çıkarır. Bu üstünlük yüksek sıcaklıkta da devam eder (1).

Fazla alüminaya olan bu ihtiyaç takdir edilir ki ekonomik artışı da beraberinde getirecektir. Yerli boksiti dolgu maddesi olarak kullanarak daha ucuza uygun özelliklerde dökülebilir refrakter üretilebilir. Böylece son 10 yılda araştırılan düşük çimentolu dökülebilir refrakterler konusunda da daha ucuza araştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- 1- KRIETZ P.L., FISHER R.E., BEETZ J.G., "Evolution and Status of Refractory Castable Technology Entering the 1990s", Ceramic Bulletin 69,10,1690-1693,1990.
- 2- PARKER K.M.(Mrs), SHARP J.H., "Refractory Calcium Aluminate Cements", Review Paper, Dept.of Ceramics, Glasses and Polymers, University of Sheffield, 35-42.
- 3- SOURIE A., GLASSER F.P., "Studies of the Mineralogy of High Alumina Cement Clinkers", Br.Ceram. Trans.,90,71-76,1991.
- 4- HALLSTEDT B., "Assessment of the CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System", J.Am.Ceram.Soc. 73,1,15-23,1991.
- 5- SCIAN A.N., LOPEZ P., PEREIRA E., "Mechanochemical Activation of High Alumina Cements - Hydration Behaviour. I", Cement and Concrete Research", 21,51-60,1991.
- 6- YEPREM H.A., "Portland Çimentosunun Sülfatlı Sulara Karşı Dayanıklılığının Arttırılması", Yüksek Lisans Tezi, Y.Ü., 1988.
- 7- NORTON F.H., "Elements of Ceramics", Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Canada, 89-91, 1974.

- 8- ALP A., “Muğla Boksitlerinden Alumina Üretiminde Verimlilik Koşullarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1996.
- 9- YAMAN C., TOPUZ A., “Yerli olarak Üretilen Dökülebilir Refrakterlerin Özelliklerini Etkileyen Parametreler”, Metalurji Dergisi, 72-73,1991.
- 10- YAMAN C., Refrakterler Ders Notları, 1998.
- 11- JAIN D.C., “Comparision of Various High-Alumina Aggregates in 90% Ultra-Low-Cement Castable and Blast Furnace Trough and Runner Castable” Ceram.Eng.Sci.Proc., 16,1,169-177,1995.