

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÇI HİDRATASYONUNDA MORFOLOJİYE ETKİ EDEN
FAKTÖRLER**

ŞÜKRAN TALAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MUSTAFA ÇİĞDEM**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÇI HİDRATASYONUNDA MORFOLOJİYE ETKİ EDEN
FAKTÖRLER

Şükran TALAY tarafından hazırlanan tez çalışması 01.02.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana ışık tutan ve her zaman destek olan, beni yönlendiren, 4 yıldır kendisiyle çalışmaktan mutluluk duyduğum Sayın Hocam Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM'e çok teşekkür ederim.

Özellikle deneysel çalışmalarım ağırlıklı olmak üzere, bu çalışmanın her aşamasında her konuda içtenlikle yardımına koşan Arş. Gör. Kerem Altuğ GÜLER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her evresinde bana inanan, yaşadığım zorluklar karşısında bana verdikleri sevgi ve destekle mücadele etme gücü bulduğum, haklarını asla ödeyemeyeceğim ailem; babam Gürsel TALAY, annem Vildan TALAY ve İnşaat Mühendisi adayı kardeşim İsmail TALAY'a canı gönülden sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ömrümün geri kalanını paylaşacağım, sevgisi ve sadakatiyle benim için hayatı güzelleştiren, ihtiyaç duyduğum her konuda herşeyiyle elinden geleni yapan sözlüm Metalurji ve Malzeme Mühendisi Mahmut KONAR'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Benim ikinci ailem olan, sevincimde benimle birlikte gülüp, yaşadığım zorluklarda bana destek ve moral veren sözlümün ailesine; bilhassa kayınvalidem Bedriye KONAR ve ablam Tuba BİNGÖL'e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Taramalı Elektron Mikroskobu incelemelerinde yardım aldığım Teknisyen Mehmet UYSAL'a teşekkür ederim.

Şubat, 2012

Şükran TALAY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	x
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ.....	3
2.1 Dereceli Hassas Döküm Yöntemi.....	5
BÖLÜM 3	
DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ	7
3.1 Alçı.....	7
3.1.1 Jips.....	8
3.1.2 Anhidrit.....	9
3.1.3 Alçıdan Yarıhidrat Üretimi.....	10
3.2 Silika	12
3.2.1 Kuartz	15
3.2.2 Kristobalit	16
3.3 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar	16
3.3.1 Etil silikat.....	16
3.3.2 Fosfat Bağlayıcılar.....	18
BÖLÜM 4	
DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIBININ HAZIRLANMASI.....	20

4.1	Kalıplama.....	23
4.1.1	Elle ve Makine ile Karıştırma.....	24
4.1.2	Vakum Altında Makine ile Karıştırma	25
BÖLÜM 5		
KALIBIN KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER		27
5.1	Yarı Hidratın Etkisi.....	27
5.2	Suyun Etkisi.....	28
5.2.1	Suyun Saflığı	28
5.2.2	Suyun Sıcaklığı.....	28
5.2.3	Su/Toz Oranı	29
5.3	Islatmanın Etkisi	31
5.4	Karıştırmanın Etkisi.....	31
5.4.1	Karıştırma Hızı	32
5.4.2	Karıştırma Zamanı.....	33
5.5	Kurutmanın Etkisi.....	34
BÖLÜM 6		
ALÇI HİDRATASYONUNDA MORFOLOJİYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....		36
6.1	Alçı Kristalizasyonu	36
6.1.1	Yarıhidratlar	37
6.1.2	Yarıhidrat Hidratasyonu Boyunca Alçının Kristal Büyümesi Üzerine Hızlandırıcıların Etkisi.....	38
6.1.3	Yarıhidrat Hidratasyonu Boyunca Alçının Kristal Büyümesi Üzerine Geciktiricilerin Etkisi.....	38
6.1.4	Yarıhidrat Hidratasyonu Boyunca Alçı Kristal Morfolojisi.....	39
6.2	Potasyum Sülfat (K_2SO_4) ve Kalsiyum Sülfat ($CaSO_4$) Dihidrat Çözeltilerinin Alçı Kristalizasyonu ve Dayanımı Üzerindeki Etkisi	39
6.2.1	Kristal Oluşumu.....	39
6.2.2	Prizlenme Zamanı.....	39
6.2.3	Prizlenme Genleşmesi	39
6.2.4	Basma Dayanımı	40
BÖLÜM 7		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....		41
7.1	Akışkanlık Deneyleri	41
7.2	Prizlenme Genleşmesi Deneyleri.....	44
7.3	Elektron Mikroskobu İncelemeleri	45
BÖLÜM 8		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		47
KAYNAKLAR		52
ÖZGEÇMİŞ		54

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Dereceli hassas döküm yapılış aşamaları.....	5
Şekil 3. 1 Silikanın polimorfik dönüşümleri	13
Şekil 3. 2 Silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları.....	14
Şekil 3. 3 Silika mineralinin ısı genleşmesi	15
Şekil 4. 1 Tipik hassas döküm kalıp tozu kompozisyonu	21
Şekil 4. 2 Gold Star hassas döküm kalıp tozunun ısı genleşmesi	22
Şekil 4. 3 Endüstriyel ve kuyumculuk hassas döküm örnekleri.....	23
Şekil 4. 4 Tipik bir elle ve makine ile karıştırma	24
Şekil 4. 5 Hazırlanmış bir kalıbın mum alınmadan önceki kesit görüntüsü	25
Şekil 4. 6 Vakum karıştırma makineleri	26
Şekil 5. 1 Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi.....	27
Şekil 5. 2 Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamanla akışkanlığın değişimi ..	28
Şekil 5. 3 Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, % donma genleşmesi ve % su emme kapasitesinin değişimi	30
Şekil 5. 4 Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlık ve mukavemetteki değişim	32
Şekil 5. 5 Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi.....	34
Şekil 5. 6 Su/toz oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi.....	35
Şekil 5. 7 Nem oranına bağlı olarak su emme hızının değişimi.....	35
Şekil 5. 8 Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi	35
Şekil 6. 1 α ve β yarıhidratlara ait SEM görüntüleri	37
Şekil 6. 2 Referans α -yarıhidrat ve %0,2 tartarik asit içeren α -yarıhidrata ait SEM görüntüleri.....	38
Şekil 7. 1 Numune hazırlamada kullanılan toz malzemeler.....	42
Şekil 7. 2 Toz malzemelerin tartıldığı hassas terazi ve karıştırma kabı.....	42
Şekil 7. 3 Karıştırma düzeneği	43
Şekil 7. 4 Çapı ölçülecek halka	44
Şekil 7. 5 Prizlenme genleşmesi numunelerinin döküldüğü kalıp	45
Şekil 7. 6 Prizlenme genleşmesi numunesi	45
Şekil 7. 7 SEM’de incelenecek numunelerin döküldüğü kalıp	46
Şekil 7. 8 SEM’de incelenen numune örnekleri.....	46
Şekil 8. 1 Referans numunesi ve kontrol ilaveleri içeren numunelere ait SEM görüntüleri.....	48
Şekil 8. 2 Farklı elektrolit oranlarındaki $Al(OH)_3$ içeren numunelere ait SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)	49

Şekil 8. 3	Çeşitli oranlarda $\text{Al}(\text{OH})_3$ içeren numunelere ait SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)	50
Şekil 8. 4	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ ve $\text{Al}(\text{OH})_3$ kontrol ilaveleri içeren numunelerin BSE ile elde edilen SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)	51

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılacak özellikler.....	12

**ALÇI HİDRATASYONUNDA MORFOLOJİYE ETKİ EDEN
FAKTÖRLER**

Şükran TALAY

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Dereceli hassas kalıba döküm yönteminde, hazırlanan kalıbın morfolojisi (mikroyapı ve gözenek dağılımı) bütün prosesi etkileyen önemli bir parametredir. Kalıp morfolojisine bağlı olarak fiziksel özellikler, mekanik özellikler ve ısı özellikler değişmekte ve bu özellikler döküm parçasının özelliklerini belirleyici bir role sahip olduğundan oldukça önem arz etmektedir.

Hassas döküm kalıplarında bileşimin temelini alçı bazlı malzemeler oluşturmakta ve çeşitli oranlarda kullanılan farklı katkı malzemeleri ile kalıp morfolojisi kontrol edilmektedir. Bu çalışmada öncelikle değişik katkı malzemeleri kullanılmış ve bu katkı malzemelerinin bileşimdeki oranları optimize edilerek morfolojinin değişimi gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hassas döküm, alçı hidratasyonu, kalıp morfolojisi

ABSTRACT

THE FACTORS THAT AFFECT MORPHOLOGY IN THE HYDRATATION OF GYPSUM

Şükran TALAY

Department of Metallurgy and Materials Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Mould morphology (microstructure and distribution of porosity) of investment block mould casting method is an important parameter that affects all process. Physical properties, mechanical properties and thermal properties are changing with morphology and these properties are very important because of having a determinant role for properties of cast products.

Composition of investment casting moulds is a constitution from the base of gypsum and additions with different ratios controls the mould morphology. In this work, different additive materials used primarily and this material's ratios in composition is optimized and evolution of morphology is observed.

Key words: Investment casting, hidratation of gypsum, mould morphology

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

1.1 Literatür Özeti

Hassas döküm yönteminde, harcanabilen bir modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen bir refrakter çamurla sarılarak hazırlanan bir kalıp kullanılır. Genellikle mum veya benzeri bir plastikten hazırlanan model daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine “harcanan (kaybolan) mum yöntemi” adı da verilir [1]. Kalıp hazırlama şekli açısından iki farklı hassas döküm yöntemi vardır:

1. Hassas kabuk kalıp yöntemi (Shell Investment-Seramik Kabuklu)
2. Dereceli kalıp yöntemi (Solid Investment-Flask Investment-Blok Kalıp Yöntemi)

Bu yöntemler hiç değilse model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır.

Dereceli kalıp yönteminde, mum modeller eritilerek model ağacına yapıştırılır. Silindirik bir derece model ağacı etrafına geçirilir. Derece ile model ağacı arasındaki boşluk alçı/seramik karışımı ile doldurulur. Ocakta veya otoklavda mum alınır. Kalıp belirli bir rejim halinde pişirilir. Sıcak kalıp ergimiş metal ile doldurulur. Vakum veya merkezkaç kuvvetiyle döküm kolaylaştırılabilir. Basınçlı su püskürterek veya kumlama makinesinde kumlanarak kalıp malzemesi temizlenir. Döküm ağacından koparılan parçalar malzeme giriş çapakları temizlenerek döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler [2].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı temelde, özellikle kuyumculuk sektöründe parça üretiminde kullanılan hassas döküm yönteminde kullanılan kalıpların özelliklerini iyileştirerek, daha kaliteli

ürünler elde edebilmektir. Kalıp özelliklerini iyileştirirken aynı zamanda kalıp maliyetini düşürmek ve böylece üretim maliyetinde verimlilik sağlamak da amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda kalıp özelliklerini iyileştirebilmek kalıp morfolojisinde tane boyutunu küçültmekle mümkündür. Bu sebeple burada gerçekleştirilen çalışmalarda amaç tane boyutunu küçültebilmek adına, öncelikle kalıp bileşiminin optimize edilmesidir. Bunun için farklı türde kalıp malzemeleri kullanılmış ve bu malzemelerin bileşimde değişik oranlarda kullanılması sonrasında, kalıp özelliklerini belirlemek amacıyla gerekli testler ve incelemeler yapılarak bileşimdeki malzemelerin ve bu malzemelerin bileşimdeki oranlarının optimizasyonu sağlanmıştır.

1.3 Hipotez

Hassas döküm yönteminde kalıp hazırlanışında kullanılan malzemeler kalıbın gözenekliliği, tane şekli ve tane boyutu gibi morfolojik özellikler üzerinde etkili olan başlıca önemli parametredir. Hassas döküm kalıpları hazırlanırken kullanılan malzemeler alçı ve silika esaslı toz malzemelerdir. Kullanılan kontrol ilaveleri ile kalıbın morfolojik özellikleri değiştirilebilmektedir. Kalıp morfolojisinde istenen temel yapı tane boyutu küçük olan yapıdır. Yapılan bu çalışmada değişik kontrol ilaveleri kullanılmış, bu ilavelerin kullanıldığı bileşimler optimize edilmiş ve tane boyutunun küçülmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kontrol ilavelerinin maliyetinin daha düşük olması, hem kalıp üretim maliyetinin düşmesini sağlamış, hem de rekabet koşulları altında fiyat-performans oranı bakımından kolaylıkla başarı sağlayabilecek kalıpların elde edilebilmesi mümkün olmuştur. .

BÖLÜM 2

HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ

Hassas döküm yönteminde, harcanabilen bir modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen bir refrakter çamurla sarılarak hazırlanan bir kalıp kullanılır. Genellikle mum veya benzeri bir plastikten hazırlanan model daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine “harcanan (kaybolan) mum yöntemi” adı da verilir [1].

Hassas dökümün avantajları:

- Geleneksel döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan imali zor veya bazen imkansız olan karmaşık şekilli parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır.
- Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal hassasiyet, daha düzgün yüzey ve ince detay kısımların daha hassas elde edilmesi imkanı verir.
- Yöntem ergitilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
- 25 kg ağırlığa kadar dökümler ve bazen de (nadir olarak) 400 kg’a kadar parçalar bu yöntemle üretilebilir.
- Hassas döküm yolu ile elde edilen parçaların hemen hemen hiç ilave işlem gerektirmemesi, “kolay işlenebilir metal seçimi” faktörünü ortadan kaldırmaktadır.
- Bu yöntem ile tane boyutu, tane yönlenmesi ve yönlenmiş katılaşma gibi metalürjik faktörler yakından kontrol edilebilmekte ve bu sayede mekanik özellikler de kontrol altında tutulabilmektedir.

- Vakum veya koruyucu atmosfer altında dökülmesi gerekli olan metal veya alaşımlara da yöntem kolaylıkla uygulanabilmektedir.
- Hassas döküm yönteminde tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi veya “mala işlem yüzeyi” yoktur. Ve parça üzerinde, diğer döküm yöntemlerinin ürünlerinde olduğu gibi bu yüzeyin izi bulunmaz [1].

Kalıp hazırlama şekli açısından iki farklı hassas döküm yöntemi vardır:

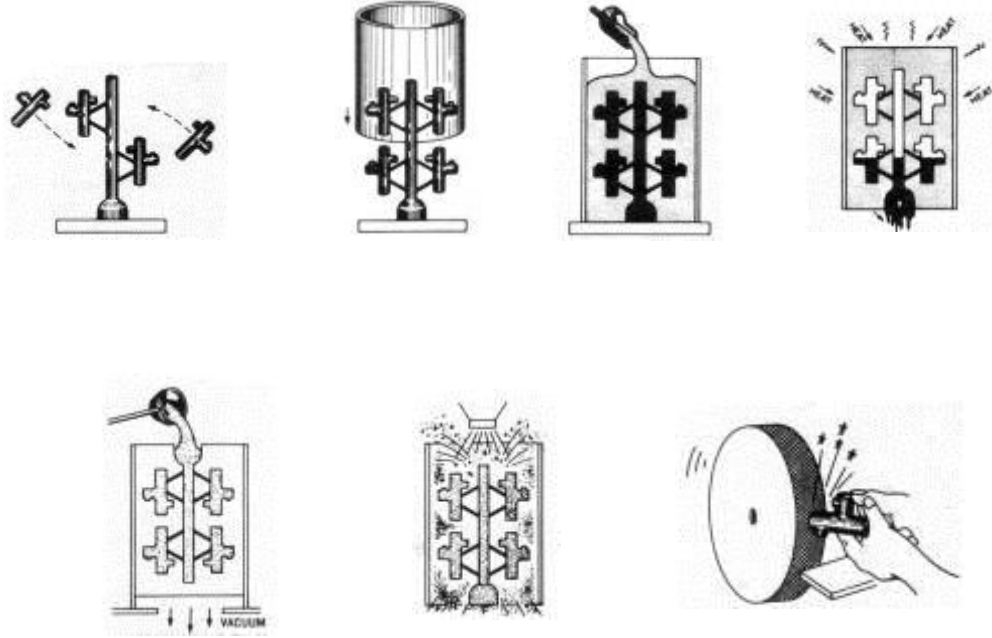
1. Hassas kabuk kalıp yöntemi (Shell Investment-Seramik Kabuklu)
2. Dereceli kalıp yöntemi (Solid Investment-Flask Investment-Blok Kalıp Yöntemi)

Bu yöntemler hiç değilse model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır. Kabuk kalıp yönteminin farklı yanı, modellerin hemen her zaman bir ön kaplama işlemine tabi tutulmasıdır. Dereceli kalıp yönteminde ise modeller ön kaplama işlemine tabi tutulabilir veya hiç ön kaplama yapılmayabilir [1].

Dereceli kalıp yöntemi, uygulamada demir esaslılar ve demir dışı alaşımlar için olmak üzere ikiye ayrılır. Demir esaslılarda ve döküm sıcaklığı yüksek olan demir dışı alaşımlar için kullanılabilen alçı, demir esaslılara uygun bağlayıcı veya refrakter malzeme olmayacaktır. Dereceli kalıp yönteminde demir dışı alaşımlar için (döküm sıcaklığı nispeten düşük olanlar) modelde ön kaplamaya ihtiyaç olmamakla beraber, demir esaslılarda ön kaplama yapmak standart uygulama haline gelmiştir. Ön kaplama ince taneli refrakter çamurla yapılır; bunun üzerine yapılacak kaplama ise iri tanelidir (>150 meş). Ön kaplama ve sonraki dolgu ve destek kaplamalar başlıca iki bileşenden oluşurlar (refrakter malzeme ve bağlayıcı). Refrakter malzemenin esasını ince silis kumu teşkil eder, geri kalan ise alüminyum oksit ve silikatlardır. Düşük sıcaklıkta (1100°C'nin altında) dökülen alaşımlar için en yaygın kullanılan bağlayıcı alçıdır [1].

2.1 Dereceli Hassas Döküm Yöntemi

Dereceli hassas döküm kalıbının hazırlanması ve döküm işlemi aşağıdaki Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Dereceli hassas döküm yapılış aşamaları

İşlem kademelerini kısaca şu şekilde sıralayabiliriz:

- Mum modeller model ağacına eritilerek yapıştırılır.
- Silindirik bir derece (fanus) model ağacı etrafına geçirilir.
- Derece ile model ağacı arasındaki tüm boşluklara alçı/seramik karışımı dökülür.
- Ocakta veya otoklavda mum alınır. Kalıp belirli bir rejim halinde pişirilir.
- Sıcak kalıp ergimiş metal ile doldurulur. Vakum veya merkezkaç kuvvetiyle döküm kolaylaştırılabilir.
- Basınçlı su püskürterek veya kumlama makinesinde kumlanarak kalıp malzemesi temizlenir.
- Döküm ağacından koparılan parçalar malzeme giriş çapakları temizlenerek döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler [2].

Mumun kalıptan uzaklaştırılması buharla ya da kuru olarak yapılabilir. Kuyumculuk sektöründe genellikle ergime sıcaklığı 60-70°C aralığında olan mumlar kullanılır. Bu mumlar hızlı bir şekilde kalıptan uzaklaştırılabilir. Mumun uzaklaştırılması ve kalıbın pişirilmesi işleminde kullanılacak olan fırının dizaynı mumu altından uzaklaştırabilecek şekilde olmalıdır [3].

Bazı koşullarda, dökümcüler mumun uzaklaştırılması işleminde buhar kullanırlar. Buharlı mumdan arındırılan derecelerde yapılan dökümlerde, kuru mumdan arındırılan derecelerde yapılan dökümlere kıyasla gaz gözenekliliği azdır ve yüzeyler daha pürüzsüzdür [1].

Mumdan arıtma ve kalıbın pişirilmesi işleminde kullanılacak fırında istenen en önemli özellik fırının homojen bir ısıtma sağlayabilmesidir. Fırınlarda aranan ısı iletim yöntemleri; konveksiyon ve radyasyon iletimidir. Sonuçta iletimi olan, derecenin homojen bir sıcaklığa sahip havayla sarılması ve her yönden eşit şekilde ısıtılmasıdır [4].

DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ

Demir dışı metaller için en çok kullanılan dereceli kalıp tozları; bağlayıcı olarak görev yapan kalsiyum sülfat hemihidrat (alçı) ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) ile kuartz ve kristobalit formundaki silika karışımıdır [1].

3.1 Alçı

Alçının elde edilmesinde kullanılan temel hammadde alçı taşıdır. Doğada jips, anhidrit olarak rastlanılan Ca^{+2} , SO_4^{-2} iyonlarının bileşiminden oluşan ve oluşum ortamına göre içeriğinde su bulunan mineral topluluğu ve mineral farklılığına bakılmaksızın alçı taşı denilmektedir [5].

Alçı taşı değişik yerlerde değişik saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayadır. Bu kayaç bünyesinde %20 civarında kimyasal olarak bağlanmış su içerir. Bu öğütülüp ısıtıldığında bünyesindeki suyun yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü kaybeder ve genel adıyla kalsine alçı ya da Plaster of Paris denilen bir yapıya dönüşür. Kalsine edilmiş olan bu alçı tekrar su ile karıştırıldığında plastik veya akışkan bir kütle halini alır ve isteğe göre kalıplanabilir ya da şekillendirilir. Kalsinasyon sırasında kaybettiği kristal suyunu tekrar kazanması sebebi ile de sertliğini tekrar kazanır. Sonuçta elde edilen kalıbın seramik endüstrisinde önem kazanmasının sebebi, diğer doğal minerallerden farklı olarak kullanıcının isteğine ve şartlarına göre gözenek miktarı, absorpsiyon karakteristiği ve mukavemetin bile değişebilmesidir [6].

Alçı aşağıdaki özelliklerinden dolayı kalıp yapımına uygundur:

- Karmaşık şekilli ürünler üretilebilir.
- Üretilen kalıplar kimyasal ve fiziksel olarak kararlıdır.

- Her kullanım için su emme miktarı kolayca oluşturulabilir.
- Pürüzsüz ve dayanıklı yüzey kolayca oluşturulabilir.
- Fiziksel ve kimyasal özellikler homojen olarak korunur.
- Porlar kolloidler tarafından kolayca kapatılamaz.
- Maliyeti düşüktür [5].

3.1.1 Jips

Jips doğal olarak oluşan ve iki mol su içeren bir kalsiyum sülfat mineralidir. Genellikle kireç taşı, kum, anhidrit ve organik maddeler gibi safsızlıklar içerir [5].

Jipsin genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

Kimyasal Bileşimi	:	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Kristal Sistemi	:	Monoklinik
Kristal Biçimi	:	Çoğunlukla ince-kalın levhamsı kristalli; kısa-uzun prizmatik, iğnemsî, masif , tanesîl, lifsi
Sertlik	:	2 (Mohs)
Özgül Ağırlık	:	2,32 g/cm ³
Dilinim	:	(010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	:	Renksiz-beyaz, sarımsı, yeşilimsî, kırmızımsı; şeffaf-yarı şeffaf
Çizgi Rengi	:	Beyaz
Parlaklık	:	Camsı
Ayırıcı Özellikleri	:	Düşük sertliği ve dilinimi
Bulunuşu	:	Deniz suyundaki çözünürlüğü halit ve anhidrit mineraline göre daha zayıf olan ve buharlaşmada ilk çökelen mineraldir. Karbonatlı kayalarda piritin oksidasyonundan türeyen sülfirik

	asidin bulunduğu yerlerde ve bazı volkanik alanlarda da oluşabilir.
--	---

Jipsin ince toz haline olanlarına “albatr veya albaster”, saydam ve mükemmel dilimli olanlarına “selenir”, lifli ve cam saydamlığında olanlarına ise “satenspar” denilir [5].

3.1.2 Anhidrit

Anhidrit susuz kalsiyum sülfattır. Kalsiyum sülfat yapısında kristal suyu bulunmayan, yoğun ve alçı taşına göre daha sert olup, jips yataklarında tabakalar halinde bulunur [7].

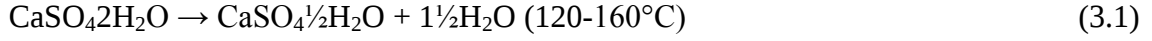
Anhidrit mineralinin özellikleri aşağıdaki gibidir:

Kimyasal Bileşimi	:	CaSO ₄
Kristal Sistemi	:	Ortorombik
Kristal Biçimi	:	Kristalleri nadir, genelde masif, taneseli, lifli
Sertlik	:	3,5 (Mohs)
Dilinim	:	(010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	:	Renksiz-beyaz, gri, mavimsi, eflatun, kırmızımsı, kahverengimsi, şeffaf
Çizgi Rengi	:	Beyaz
Parlaklık	:	Camsı
Ayırıcı Özellikleri	:	Birbirine dik üç yönlü dilinime sahip, jipsten daha sert, özgül ağırlığı kalsitten fazla
Bulunuşu	:	Jips ve halit mineralleri ile birlikte oluşan bir buharlaşma mineralidir.

Deniz suyundan direkt olarak çökelir. Jipsin dehidratasyonu ile de oluşabilir [5].

3.1.3 Alçıdan Yarıhidrat Üretimi

Jipsin yapısında bulunan suyun kısmen uzaklaştırılması sonucu yani, kalsine edilip 1,5 mol suyu uzaklaştırılmasıyla “Plaster of Paris” olarak bilinen yarı hidrat haline dönüştürülür [5].

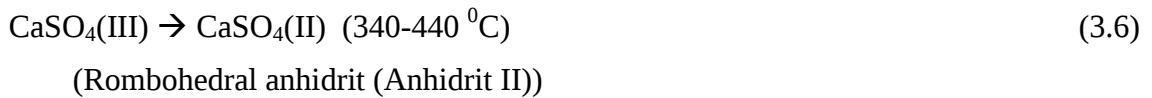
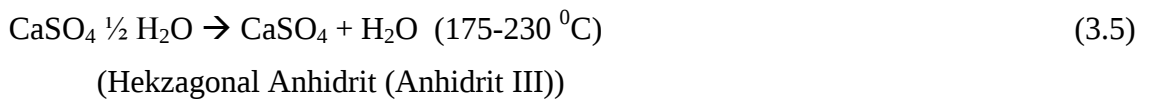
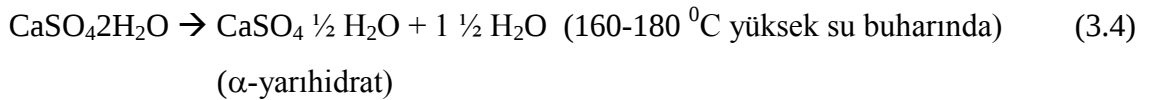
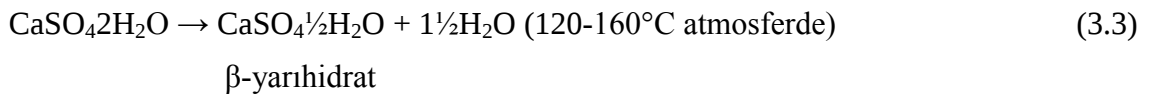


Yarı hidratın α ve β olmak üzere iki formu vardır. Yarı hidrat içerisinde bulunan α/β oranına bağlı olarak alçı kalıbı mukavemet ve su emme özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. α -yarı hidrat; iğne yapılı kristallerden oluşur, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve aşınma dayanımı, β -yarı hidrata göre çok daha iyidir. Ayrıca β -yarı hidrata göre daha az suya ihtiyaç duyar. β -yarı hidrat kristalleri pirinç tanelerine benzer, α -yarı hidrata göre daha fazla suya ihtiyaç gösterir, donma süresi uzun, yoğunluğu daha düşük, hidratasyon ve yüzey enerjisi daha yüksektir [5].

Yarı hidratlar su ile karıştırılarak kaybetmiş olduğu 1,5 mol kristal suyu tekrar bünyesine alarak sert ve “poroz alçı” özelliğini kazanır. Oluşan alçı kalıplar döküm çamurlarının şekillendirilmesinde kullanılır. Alçı kalıp, bünyesinde mevcut porozite ile döküm çamurundaki suyu emerek parçanın kalıbın şeklini almasını sağlar [5].



Dehidratasyon ve kalsinasyon işleminde ısıtma sıcaklıklarına ve koşullarına göre β -yarı hidrat (Plaster of Paris), α -yarı hidrat, anhidrit III, anhidrit II ve anhidrit I gibi ürünler elde edilir.





Mikro gözenekli yarı hidrata β -yarı hidrat ($\beta\text{-CaSO}_4\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) denir. β alçısı, kuru yanma sonucu, yani fırında su buharının uzaklaştırıldığı yanma şartında oluşur. Alçının normal atmosfer basıncında dehidratasyonu ile elde edilir. Mikroskop altında incelendiğinde; β -yarı hidratlarını, oldukça küçük ve belirsiz kristaller içeren, ince yassı tanecikli düzensiz partiküllerden meydana geldikleri görülür [7].

Kristalize yarı hidrata α -yarı hidrat ($\alpha\text{-CaSO}_4\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) denir. Jips yaş yanarsa, yani otoklavda buhar basıncı altında yanarsa α tipi alçı oluşur. Mikroskop altında incelendiğinde; kompakt, iyi gelişmiş ve yoğun, çoğunlukla saydam büyük partiküllerden meydana geldikleri görülür. İyi kristalleşmişlerdir. Üretim yöntemine göre, doygun bir buhar basıncı altında $160\text{-}180^\circ\text{C}$ 'larda alçı taşının ayrışmasıyla veya 100°C 'da doygun tuz çözeltisinden elde edilen türleri vardır. α alçısının β alçısına oranla daha az su gereksinimi vardır. β -yarı hidratın karma su yüzdesi, α formundan daha yüksektir. B formunda suyu tutacak olan yarı hidrat tanecikleri, yuvarlağa daha yakın olan α -yarı hidrat taneciklerinden daha girintili çıkıntılıdır [5].

Alçı oluşumunun arkasında yatan teori şudur; jips minerali kalsine edildiğinde ortaya gözenekli, birbirine yapışmış taneciklerden oluşmuş bir yapı çıkar. Az miktarda su bunun üzerine eklendiğinde, su molekülleri bir film halinde tanecikler arasını ıslatır ve aradaki havanın çıkmasını ve sonra da suyla dolmasını sağlar. Su eklemeye devam edildiği takdirde tanecikler birbirinden kopar ve alçı akışkan hale gelir. Alçı karıştırıldığında jips kolloidleri çöker. Oluşum zamanı esnasında, jips kristalleri büyür ve birbirlerinin hareketlerini engelleyerek sert bir yapı oluştururlar. Fazla miktarda su eklenmesi ise yapı içerisinde gözeneklerin oluşmasını sağlar [5].

α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılabilecek özellikler; yoğunluk, priz süresi, çekme dayanımı, basma dayanımı ve sudaki çözünürlüktür (Çizelge 3.1).

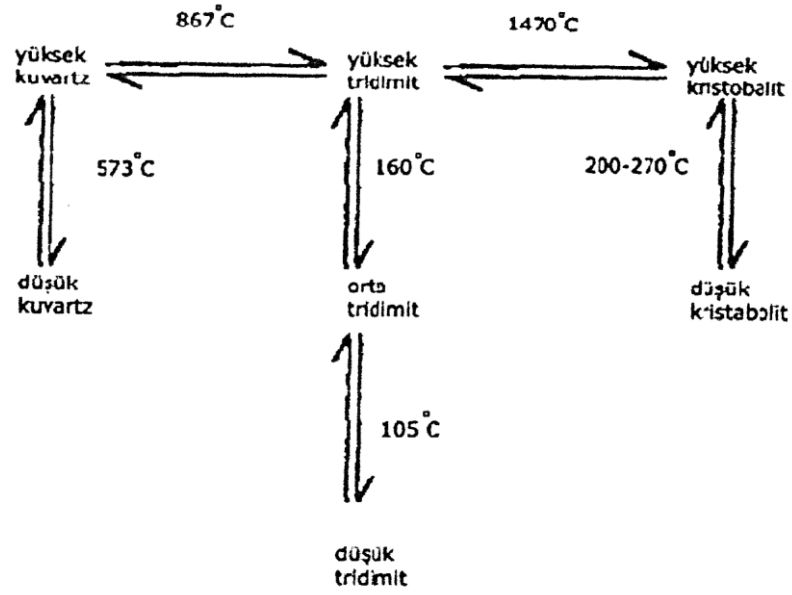
Çizelge 3. 1 α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılabilecek özellikler [7].

Özellikler	α -yarı hidrat	β -yarı hidrat
Yoğunluk (g/cm^3)	2,757	2,637
Karma suyu (ASTM.C26) (cm^3 su/100 g yarı hidrat)	35	90
Priz süresi (dakika)	15-20	25-35
Kuru halde çekme dayanımı (kg/cm^2)	66	13
20 $^{\circ}\text{C}$ 'de sudaki çözünürlük ($\text{g}/100$ g çözelti)	0,63	0,74
Kuru halde basınç dayanımı (kg/cm^2)	560	56

Yarı hidrat su alarak yeniden hidratasyona uğrar ve birbirine girmiş (bağlanmış) kristaller halinde tekrar kristalleşerek sert bir kütle formunda donarak alçı taşı haline döner. Bu kimyasal kombinasyon için gerekli su miktarı kuru alçının %18,6'sı kadardır. Fakat suyun, kuru alçı kütlesinin her tarafına homojen olarak dağılması, şekillendirmeye elverişli, plastik olması için %18,6'dan daha fazla suya gerek vardır. 100 kısım alçıyı belirli bir akıcılığa getirmek için gerekli su miktarına normal kıvam denir [5].

3.2 Silika

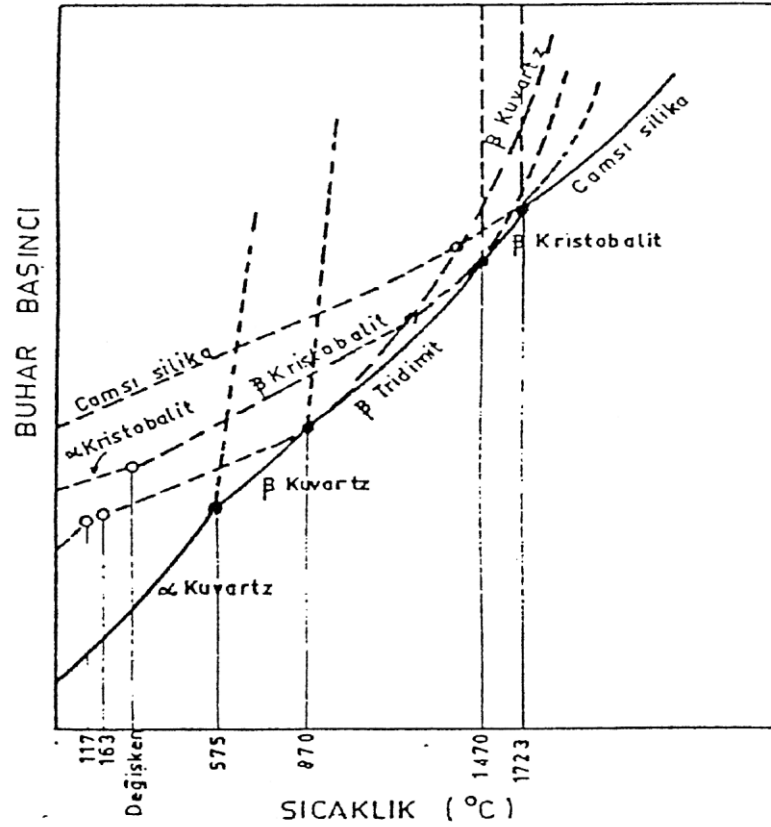
Doğada en çok bulunan oksitlerdendir. Silika; yerine geçen ve yeniden oluşan dönüşümleri olan çoklu polimorflara sahiptir. En önemlileri Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Yüksek kuartzdan düşük kuartz dönüşüm sırasında büyük hacim değişimi olmaktadır. Bu durum doğutma sırasında yüksek kalıntı gerilimlerine ve mukavemette düşüşe neden olur. Bu problemten sakınmanın en iyi yolu proses boyunca bütün kuartzın kritobalite dönüşmüş olmasından emin olunmasıdır, çünkü bu yeniden oluşum dönüşümü oda sıcaklığında yarı karardır. Yüksek kristobalitin düşük kritobalite dönüşümü sırasındaki hacim değişimi kuartz kadar yüksek değildir [8].



Şekil 3. 2 Silikanın polimorfik dönüşümleri [9]

Saf halde silis 1723°C’de ergimektedir, bu özelliği silikaya yaygın refrakter malzemesi olarak kullanım imkanı tanımaktadır. Silika esaslı refrakter tuğlaların yapımında kullanılan hammaddeler iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunların ilki ganister olup, %98’in üzerinde bünyesinde SiO₂ içeren yeryüzünde masif kayaları oluşturan yoğun kuartzdır (çakmaktaşı, kuartz kayası). Silika refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammadde ise kuartz çakıl taşları ve kayalarıdır. Özellikle çakıl kayaları uygun yapıda seçilip yıkanırse %0,5’den az alümina ve alkali içerikleri ile SiO₂ üretiminde mükemmel bir hammadde kaynağı oluşturur [9].

Şekil 3.2’de silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı-kararlı fazları görülmektedir. Ordinat eksenini SiO₂’nin buhar basıncını göstermekle birlikte rakamsal değerler verilmemiştir. Bunun sebebi ise SiO₂’nin çok kararlı bir oksit olmasından dolayı buhar basıncının normal atmosferik basıncı yanında çok düşük kalmasıdır. Diğer bir ifadeyle silika kolay kolay bozulmamaktadır. En kararlı fazlar kesiksiz, yarı-kararlı fazlar ise kesikli çizgiyle gösterilmiştir [10].

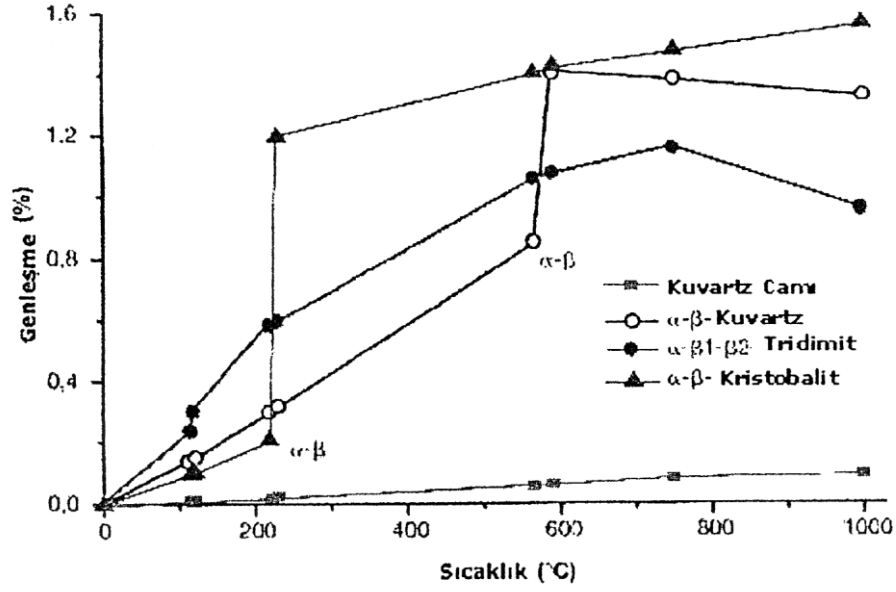


Şekil 3. 2 Silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları [10]

Silika esaslı refrakter tuğlaların yapımında şu iki önemli nokta her zaman göz önünde tutulmalıdır:

1. Kuartz hammaddesinde bulunan Al_2O_3 , TiO_2 ve alkalinler tarzındaki safsızlıkların miktarları,
2. SiO_2 'de mevcut polimorfik kristal fazların dönüşümleri.

Silika esaslı refrakterlerin ana hammaddesi olan kuartzın ısıtılmasıyla beraber α -kuartz β -kuartza döner ki bu duruma Şekil 3.3'te görülen $573^\circ C$ 'deki ani lineer genleşme eşlik etmektedir. Bu sıcaklık değerine yaklaşıldıkça ısıtma hızının yavaşlatılmasıyla beraber %0,92'yi bulabilecek hacimsel değişimin yaratabileceği çatlak oluşumlarının önüne geçilebilecektir. $1426^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda pişirme yapılan silika refrakterlerde yapıda kristobalit parçacıkları oluşurken, muhtemelen artık haldeki dönüşmemiş kuartz yapıları ile karşılaşacaktır. Kristobalit parçacıkları tridimit ile çevrelenmiş olup, ara camsı bağ fazı ise yüksek kireç, alümina, titanyum dioksit ve alkalinlerden meydana gelmiştir [9].



Şekil 3. 3 Silika mineralinin ısı genleşmesi [4]

3.2.1 Kuartz

Yeryüzünün bilinebilen kısmının %25'ini oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok rastlanan silisyumun bir bileşimidir. Kimyasal formülü SiO_2 olup, mol ağırlığı 60 g/mol'dür. Sertlik derecesi Mohs'a göre 7'dir. Doğada kristal olarak dağ kristali, ametist, kuarzit ve kristal kuartz kumu olarak, amorf olarak ise flinit ve sileks taşları, kizelgur şekillerinde bulunur. Kuartz kristali granit, gnays gibi ana kayaların içinde bulunabildiği gibi, bazen de tel başına tanecik yapısında olarak damarlar şeklinde diğer mineraller ile karışmış olarak bulunur [11].

Doğadan hem kuartzın çıkarılmasında, bilinen taş kırma yöntemleri uygulanır. Belli bir parça büyüklüğünde ön kırılması yapılan kuartz, beraberindeki yabancı maddelerden kurtarılma amacı ile yıkanır ve manyetik tutuculardan geçirilir. Ancak bu işlemlerden sonra kuartz istenen tane büyüklüğünde öğütülür [11].

Silisyum dioksitin oda sıcaklığındaki değişmez formu α -kuartzıdır. α -kuartzın 573°C 'a kadar ısıtılması ile bu sıcaklıkta β -kuartz oluşur. Bu reaksiyon geriye dönüşlü olup, bu sırada kuartz hacimce büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile β -kuartz bu kez 870°C 'de α -tridimite ve 1470°C 'de de α -kristobalite dönüşür. Bu dönüşümler dizisi, 1713°C 'da erime ile son bulur [11].

Kuartz katkısı çamurlarda şu etkileri gösterir:

- Çamurun bağlayıcı özelliği ve kuru direnci katkı oranı arttıkça azalır.
- Pişmiş çamurda gözeneklilik ve su emme artar.

Kuru ve pişme küçülmesi değerlerinde azalma ortaya çıkar. Katkı oranının çok artması ile birlikte küçülme yerine büyüme görülür [11].

3.2.2 Kristobalit

Kristobalit kuartzın bir polimorfudur; aynı bileşimdedir fakat farklı bir yapıya sahiptir. Hem kuartz hem de kristobalit, koesit ve tridimiti de içeren kuartz grubunun polimorflarıdır. Kristobalit genellikle volkanik kayalarda bulunur ve kristal yapısı petrografik mikroskopta oldukça kolay görünür. Kristobalitin daha yüksek sıcaklıklardaki formuna β -kristobalit denir. Kristobalit izometrik simetriye sahip olan β -kristobalit formunda kristalize olur ve daha sonra kristal soğutulursa α -kristobalite veya kristobalite çok kolay döner. β -kristobalitin tipik kristalleri oktahedrondur. β -kristobalit, tetragonal simetriye sahip kristobalitten daha yüksek simetriye sahiptir. Kuartz kumunun kalsinasyonundan elde edilir. Isıl genleşmesi fazldır. Hassas döküm tekniğinde kullanılan en kaliteli seramik malzemedir. Bu sebepten geniş kullanım alanına sahiptir. Kristobalitin fiziksel özellikleri; renksiz veya beyaz renktedir, kristal sistemi tetragonal, özgül ağırlığı $2,32 \text{ g/cm}^3$, sertliği 6,5'dir (Mohs) [1].

3.3 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar

3.3.1 Etil silikat

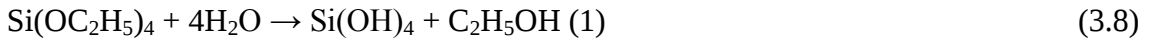
Etil silikat bağlı refrakterler mükemmel yüzey kalitesi ve döküm ürününde kurutma, pişirme esnasında düşük üniform çekmeye sahiptir. Seramik kalıba döküm temiz ve üretilecek modelin tüm detaylarını veren parça üretimini sağlar. Etil silikat bağlayıcı seramik parçalarının tercih edilmesindeki en önemli nedenler şu şekilde sıralanabilir, [12]

- Yüzey kalitelerinin mükemmel olması,
- Kurutma ve pişirme esnasında başlangıç boyutlarını koruyabilmesi,
- Üretim yönteminin basit olması ve seri üretime uygun olması,

- Uzun süreli yüksek sıcaklıktaki ortamlarda dayanımını koruyabilmesi,
- Seramik kalıba yapılan dökümün yüzey kalitesinin hassas döküme eşit olması.
- Bağlayıcının taşınması gereken özellikler şöyle sıralanabilir;
- Modeli ısıtmalı ama modelde aşınma ve tahribata sebep olmamalıdır,
- Uygun bir viskoziteye sahip olmalıdır ki seramik tozlarla karıştırılarak dökülebilir bir bulamaç elde edilebilmelidir,
- Yüksek sıcaklıklarda dahi seramik yapısında dayanımı olumsuz etilememeli ve korozyon şartlara direnç gösterebilmelidir [12].

Etil silikat bünyesinde bu özellikleri taşıyan bir malzemedir. Etil silikatın en önemli avantajı, bu malzemeden sınırsız sayıda farklı bağlayıcı çözeltilerin hazırlanabilmesi ve herbirinin farklı fiziko-kimyasal ve pratik unsurlar taşınmasıdır. İlave edilen suyun miktarı, hidroliz için kullanılan tezgah tipi ve miktarı, çözeltideki silika miktarı üzerinde yapılacak olan değişiklikler çeşitliliğin sağlanmasında kullanılabilecek hususlardır [12].

Silikanın kontrollü biçimde seramik bünyelerine katılmasının yolu organik kökenli tetraetiltortosilikatın bağlayıcı olarak hidrolize edilmesi ile silisik asit ve etil alkolün elde edilmesidir (3.8). Süreç içerisinde silisik asit suyunu yitirmekte ve silikanın amorf şeklini almaktadır (3.9) [12].



Silikanın elde edilmesi silisik asidin suyunu yitirmesiyle olmaktadır. Silisik asit çözeltileri dış görünüm olarak organik jelleşme gibi yavaş yavaş kıvamlaşmakta ve sonunda tam halini almaktadır. İşte bu noktada bağlayıcının jelleşme hızının yani jelleşme zamanının belirlenmesinde önemli bir konu olarak karşımıza çıkar. Hidroliz ve kondensasyon hızı kontrol altına alınamaz ise olacak olan bağlayıcı çözeltisinin özellikleri kontrol edilemez. Bunun için hızı kontrol eden çözücü tipi ve miktarı, ortam sıcaklığı, ortamdaki nemlilik, çözeltideki su miktarı, sisteme verilen tezgah miktar ve tipi gibi birçok etmen dikkatle irdelenmelidir [12].

Havada mevcut nem, silikat çözeltisi ile etkileşmekte ve hidroliz tepkimesi yer almaktadır. Birçok uygulamada görülmüştür ki kuramsal olarak gerekli su miktarından

çok daha az miktarda su kullanımı etil silikatın hidroliz tepkimesinin tamamlanmasında yeterlidir. Suyun kuramsal miktardan daha az kullanılması ile esterin bir kısmı yoğun reçinemsî yapışkan bir maddeye dönüşmekte, bu yapının buharlaşmadan sonra silika filmi içinde esnekliği sağladığı ileri sürülmektedir [12].

Etil silikat kullanılarak hazırlanmış bir bağlayıcının çözeltisinin hava açık biçimde depolanması durumunda oda sıcaklığında 10 gün zarfında pelteleşmekte ve pelte halindeki bağlayıcı zamanla sertleşerel kullanılabilirliğini yitirmektedir [12].

3.3.2 Fosfat Bağlayıcılar

Fosfat bağının ilk kullanım alanlarından biri dişçiliktir. Kalsine çinko oksit fosforik asitle karıştırılarak diş çimentosu hazırlanmıştır. Silikat-fosforik asit bağları da çok sayıda araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Alümina-kireç-silika camının tozları fosforik asitle karıştırılırsa sert, beyaz, yarı saydam çimento oluşur [13].

Kingeri fosfat bağı şöyle özetlenmiştir, refrakter uygulamalarında üç büyük grup vardır:

1. Fosforik asitle silikalı malzemelerin kullanılması. Bu uygulamada fosforik asidin silikatla çözünmesi ve silika jel oluşturması beklenir. 260°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda silisil metafosfat, $\text{SiO}(\text{PO}_3)_2$ oluşur.
2. Metal oksitlerin fosforik asitle, sıcakta veya soğukta sertleşen bağlar yapması. Al, Cr, Mg, Be, Fe, Zr gibi maddelerin oksitleri 200°C'da fosforik asitle reaksiyona girdiği zaman bağ malzemesi oluşturur. Bu metal-fosfat bağı güçlü ve kararlı olduğu ispatlanmıştır.
3. Asit fosfatların doğrudan ilavesi veya oluşturulması [13].

Fosfat bağı monolitik refrakterlerde bağlayıcı olarak genellikle fosforik asit veya mono alüminyum fosfat (MAP) kullanılır. Normal plastik refrakterlerde kullanılan suyun yerine bu bağlayıcılar kullanılır. Üretim ve uygulama, plastik refrakterlerde aynıdır. Fosfat bağı plastik refrakterlerde normal plastik refrakterlere göre şu avantajlara sahiptir: [14].

- Birkaçı hariç genellikle ısı ile sertleşirler.
- Katılaştıktan sonra soğuk mukavemetleri yüksektir.
- Aşınmaya karşı dirençleri iyidir.

- Hem sıcak hem soğuk uygulamalarda iyi yapışma özelliğine sahiptir.

Kullanılan bağlayıcılar, çok az miktarda bulunan yabancı maddelerle veya kille yavaşça reaksiyona girer, bu nedenle bağlayıcı içeren plastik refrakterler, işlenebilirliğini normal plastik refrakterlerden daha hızlı kaybederler. Yaz aylarında ortam sıcaklığı yükseldiği zaman işlenebilirlik ve depolama ömrü hızla düşer [14].

Sıcakta sertleşen fosfat bağlı refrakterlerde sıcakta ve soğukta eğme dayanımları ve kimyasal olarak sertleşen fosfat bağlı refrakterlerin soğukta eğme dayanımları karşılaştırma yapıldığı zaman, sıcakta sertleşen fosfat bağlı plastik refrakterlerin soğukta eğme dayanımları, kimyasal olarak sertleşenlerden daha çok yüksektir [14].

Fosfat bağlı refrakterlerin yüksek dayanımlı olması, aşınma dayanımının iyi olmasını da beraberinde getirir. Fosfat bağlı refrakterler, 1300°C'ye kadar, ateş tuğlasına göre süper üstünlük sağlar. Fosfat bağlı refrakterlerin yapışma özelliği, normal plastik refrakterlerden daha iyidir. Bu nedenle hasarlı refrakterleri yamamada terchen kullanılır. Fosforik asidin ve mono alüminyum fosfatın buhar basıncı suyunkinden düşüktür. Bu nedenle olgunlaşma döneminde dökülebilir refrakterlerde görülen patlama çok az olur. Fosfatların konsantrasyonu fosfat bağlı refrakterlerin donma noktasını tayin eder. Bunlar kolay kolay donmaz, örneğin %25 mono alüminyum fosfat çözeltisi 7°C'a kadar donmaz. Fosfat bağlayıcılar suda çözündüğü için ısıtma sırasında suyla birlikte bir miktar fosfat yüzeye doğru gelir ve yüzeyde fosfat konsantrasyonu artar. Bu, bağ göçü olarak adlandırılır. Bağ göçü fazla olduğu zaman refrakter kesitinde mukavemet yüzeyden içeri doğru değişmektedir. Bu olay, pişirme sırasında kabuklanmaya yol açabilir, ısıtmanın yavaş yapılması gerekir. Rutubetin azaltılması veya jelleşmenin çabuklaşması bağ gücünü azaltır [14].

Fosfat bağlı plastik refrakterler, normal plastik refrakterlerle aynı ortamda pişirme küçülmesi, aynı derecede korozyon direnci gösterdiği halde, mukavemet ve aşınma direnci gibi bazı özelliklerde yerine göre üstünlük sağlar; fakat kurutulamaz, katılaştırıcılar bazen soğuk sertleşmeye neden olur. MgO, katılaştırıcı olarak sık sık kullanılır. Fakat onun oluşturduğu bazı bileşikler arası bileşiklerin ergime sıcaklığı düşük olduğu için 1000°C'nin üzerinde mukavemet azalır [14].

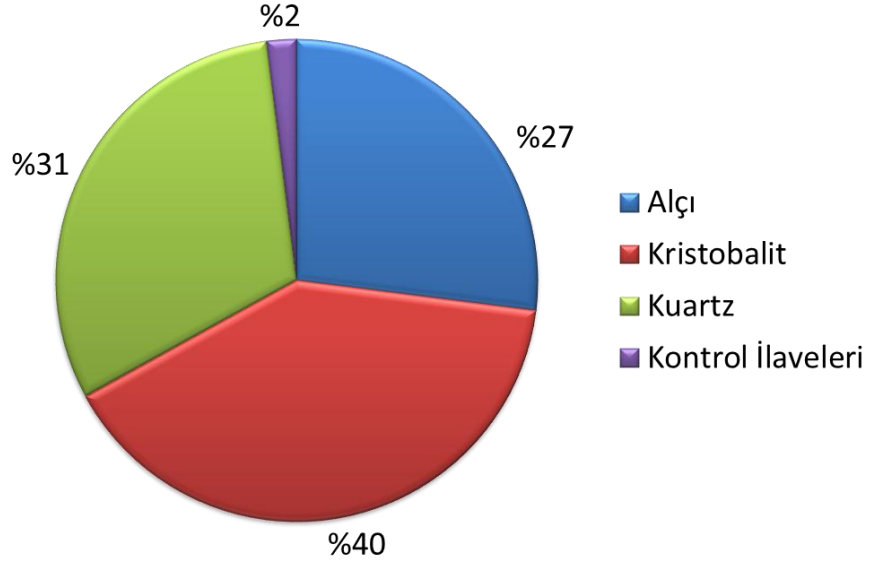
DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIBININ HAZIRLANMASI

Dereceli hassas dökümde kullanılan toz malzemelerin temel kompozisyonu son elli yıldır nispeten hiç değişmeden kalmıştır ve bütün toz malzemeler çıkış noktalarına göre gelişmeler göstermektedir. Tipik bir kompozisyon Şekil 4.1’de görülmektedir [3].

Hassas döküm tozlarını birarada tutan bağlayıcı alçı taşından üretilen alçıdır. Alçı taşı jeolojik olarak oldukça yaşlı sedimenter bir kayadır ve prizmatik kristaller şeklinde su molekülleri ile birlikte yataklanır. Alçı taşı bağlayıcı olarak kullanılmadan önce otoklavda yarı hidrat durumuna dönüştürülmelidir [3].

Alçı taşı atmosfere açık bir ortamda 120°C’da ısıtılırsa (kalsine edilirse) içerdiği suyun bir kısmını kaybederek yarı hidrat durumuna dönüşür. Bu işlem buhar basıncı altında otoklavda gerçekleştirilirse meydana gelen yarı hidrat kristalleri daha düzgün bir forma sahip olur [15].

Yarı hidrat formu kararsızdır ve daha kararlı orijinal dihidrat formuna dönüşebilmek için suya gereksinimi vardır. Kalıp hazırlanması işlemlerinde tozlar su ile karıştırıldığı zaman alçı kristalleri değişime uğrar ve kalıbı birarada tutar. Sertleşme prosesinin ilerlemesiyle toz karışımının dayanım ve özellikleri kristal modifiyesi için yapılan az miktardaki ilavelerin etkisi altında kalır. Bu ilaveler orijinal çekirdekten meydana gelen kristallerin boyu ve şekli üzerinde etkilidir [3].



Şekil 4. 1 Tipik hassas döküm kalıp tozu kompozisyonu [3]

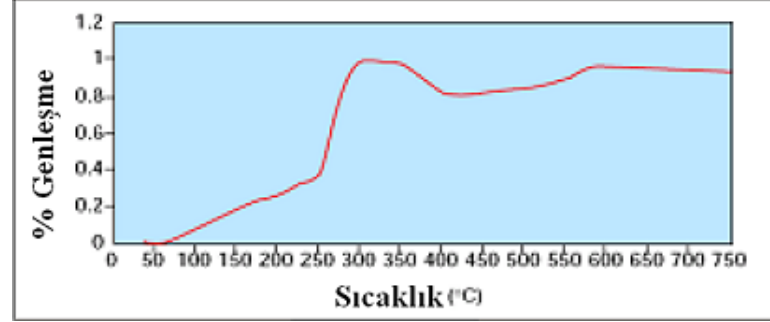
Alçının sertleşmesi iki kademede meydana gelir. İlk kademede alçı çözeltiye alınır, ikinci kademede de kristalleşme gerçekleşir [15].



Hassas döküm tozlarının üreticileri kristal büyüme oranını yavaşlatıcılar veya hızlandırıcılar kullanarak kontrol ederler. Yavaşlatıcılar kristal büyümesini engeller, hızlandırıcılar ise yarı hidratın çözeltiye alınma oranını veya dihidrat oluşum oranını artırır. Tozların kullanıcıları katılaşma hızı ve derecesini, toz/su oranını, karışım sıcaklığını, karıştırma tekniğini değiştirmek ve kullanılmış (bulaşık) ekipman veya su kullanmak sureti ile etkileyebilirler [3].

Hassas döküm kalıbı ısıtıldığı zaman alçı bağlayıcı, kristalleşme suyunun uzaklaştığı noktanın üzerinde doğal olarak oldukça büzülür. Bu olay 300-450°C arasında dihidratın anhidrite dönüşmesiyle meydana gelir. Kaybolan mum tekniği ile dökümde eğer alçı, kalıp yapımında tek başına kullanılsaydı, kalıp çok kötü bir şekilde kırılır veya döküm parçalar orijinal modelden daha küçük çıkardı. Silika, alçının büzülmesini karşılamak ve ısıl genleşmeyi düzenlemek için kullanılır. Hassas döküm tozlarının üretilmesinde kullanılan silika çeşitli kristal formlarda bulunur. Kuartz en uygun formdur ve α 'dan β 'ya dönüşüm 570°C civarında hacim artışına eşlik eder. Kristobalit bir diğer önemli hassas döküm tozu bileşenidir. Silikanın bu formu 270°C civarında α 'dan β 'ya dönüşen

kristal yapısıyla önemli bir hacim artışı sağlar. Silikanın bu iki allotropik formu alçı bağlayıcının büzülme etkisini gidermek için kullanılır. Şekil 4.2 bir kuyumculuk hassas döküm tozunun tipik ısı genleşmesini, 300°C üzerinde kristobalitin genleşmeyi nasıl sağladığını ve alçının büzülmesinin en etkili olduğu 570°C üzerinde de kuartzın karışımının ısı profilini nasıl üzerine aldığını göstermektedir [3].



Şekil 4. 2 Gold Star hassas döküm kalıp tozunun ısı genleşmesi [3]

Unutmamak gerekir ki dereceli hassas döküm kalıpları soğurken silika esaslı malzemeler orijinal boyutlarına büzülür, bir de buna alçının sabit büzülmesi eklendiğinde meydana gelen toplam büzülme döküm parçaların boyutlarını değiştirebilir. Dökümden sonra soğuma sırasında alçı çok zayıf bir hale gelir ve silika ilavelerin soğuma büzülmesinin neden olduğu bozulma buna eşlik ederek döküm parçaların, kalıbın su içerisine sokulmasıyla çıkarılmasına olanak sağlar [3].

Hassas döküm kalıp tozu üreticileri daha fazla dökümcüye hitap edebilecek basit kompozisyonlar yapmaya çabalamaktadırlar. Karmaşık varyasyonlar, hammadde saflığı, oranlar, tane boyutu ve kontrol ilaveleri gibi çeşitli faktörler bugün çok çeşitli tozların seçilebilmesini mümkün kılmıştır. Bazı hassas dökümler özeldir ve diğer ürünlerle kolay kolay kategorize edilemezler. Camın hassas dökümünde kalıp, geleneksel kuyumculuk dökümlerine göre çok daha yüksek sıcaklıklara daha uzun süre maruz kalır. Sonuç olarak bu kalıplar uygulama sırasında kırılmayacak özel refrakterlerden yapılır. Kıymetli taşlar içeren kalıplara dökümde sıcaklık normalin altındadır. Ancak taşların kırılmadan muhafazası için özel ilaveler yapılır. Endüstriyel uygulamalarda ise hassas döküm kalıpları çok güçlüdür ve büyük alüminyum ve pirinç parçaların dökümünde kullanılır. Bu uygulamalarda, kalıp malzemeleri çok düşük döküm sıcaklıklarına kırılmadan soğuyabilmeleri amacıyla özel olarak geliştirilmişlerdir. Şekil 4.3'te iki ayrı uygulama örneği görülmektedir [3].



Şekil 4. 3 Endüstriyel ve kuyumculuk hassas döküm örnekleri [3]

4.1 Kalıplama

Her tür hassas döküm tozu ve her teknik için izlenmesi gereken temel kurallar vardır.

Bu kurallar aşağıdaki gibidir:

- Toz malzemeler bozulmaya yönelik temiz, rutubetsiz koşullarda ve ideal olarak 20-22°C’da depolanmalıdır.
- Tüm ekipmanlar ve ortam temiz tutulmalıdır. Bulaşık karıştırma ekipmanları, kirli kaplar sertleşme süresini kısaltır. Bu olay karışımın daha vakum odasındaiken katılaşmasına neden olabilir.
- Kullanılacak su temiz olmalıdır. İçilebilecek kadar temiz su kalıplamaya uygundur. Kirli su genel olarak çalışma süresini uzatır ve bazı sıra dışı hallerde bütün olarak sertleşmeyi engeller.
- Ölçüm ve tartım ekipmanları düzgün çalışmalı ve düzenli olarak kalibre edilmelidir. Bu şekilde doğru toz/su oranı sürdürülebilir.
- Tozların içinde bulunduğu torba ve kutular havadan nem kapmaması için sürekli kapalı tutulmalıdır. Hassas döküm tozları zamanla bozulur, bu neden stok döngüsü dikkatli ayarlanmalıdır. Her torba ve kutunun özel numara ve tarihi vardır. Eski tarihliler önce kullanılmalı, yeni gelenler sonraya saklanmalıdır.

En genel karıştırma yöntemleri; elle karıştırma, makine ile karıştırma veya vakum altında makine ile karıştırmadır. Hatırlanması gereken en önemli kurallar şunlardır:

- Toz/su oranı doğru olmalıdır.
- Karışım sıcaklığı doğru olmalıdır.
- Çalışma döngüsü tozun çalışma süresine uygun olmalıdır.

- Hassas döküm kalıp tozu solunmamalıdır [3].

4.1.1 Elle ve Makine ile Karıştırma

Aşağıdaki prosedür alçı bağlayıcılı hassas döküm tozlarının elle veya makine ile karıştırılmasındaki tavsiyelerdir.



Şekil 4. 4 Tipik Elle ve makine ile karıştırma [3]

1. Yeterli miktarda toz tartılır ve sıcaklığı ölçülür.
2. Yeterli hacimde su ölçülür ve sıcaklığı karışım sıcaklığı 20-22°C olacak şekilde ayarlanır. Toz sıcaklığı 40°C'dan çıkartılır, sonuç suyun olması gereken sıcaklığını verir. Örnek olarak toz sıcaklığı 25°C ise tavsiye edilen su sıcaklığı 15°C'dir.
3. Su karıştırma kabına koyulur.
4. Toz yavaşça suya ilave edilir ve ıslanması için 30 saniye beklenir.
5. Topaklar dağılana kadar 30 saniye elle karıştırılır.
6. Karıştırmaya 3 dakika elle veya makine ile devam edilir.
7. Karışım karıştırma kabı içinde en fazla 2 dakika vakumlanır. Bu aşamada karışım içinde kalan havanın çıkması için titreşim uygulanabilir.
8. Derece yavaşça doldurulur. Karışımın, kırılmaların olmaması için doğrudan mum modelin üzerine dökülmesinden kaçınılmalıdır.
9. Derece en fazla 2 dakika vakumlanır. Bu aşamada titreşim kullanılmamalıdır.
10. Derece en az 1 saat hareketsiz bekletilir [3].



Şekil 4. 5 Hazırlanmış bir kalıbın mum alınmadan önceki kesit görüntüsü [16]

Derecelerin doldurulma süresinin yaklaşık 1 dakika olduğu varsayılırsa, toplam çalışma süresi yaklaşık 8,5 dakikadır. Karşıdan optimum sonuçların alınabilmesi için alçının dihidrat kristalleri, derece doldurulduktan sonra beklemeye bırakıldığı anda büyümeye başlamalıdır. Derece doldurulduktan sonra karışım koyulaşır ve 3 dakika içinde parlaklığını kaybeder. Bu anda yüzey parlaktan mata geçer ve su büyüyen alçı kristallerine yönelir. Bundan sonraki bir saat içinde kalıp, kristal yapının gelişmesiyle maksimum dayanımının büyük bir kısmını kazanır. Ardından derece elle tutulacak kadar güçlü hale gelir. Eğer sıcaklığa, su kalitesine veya başka bir sebebe bağlı olarak yüzey parlaklığının kaybolması erken veya geç oluyorsa karıştırma süresi uzatılabilir veya kısaltılabilir [3].

4.1.2 Vakum Altında Makine ile Karıştırma

Vakum altında karıştırma ve döküm makineleri tamamen gözeneksiz dökümlerin yapılabilmesini sağlar ancak bu çok farklı bir tekniktir. Toz üreticilerinin çoğunluğu vakum altında karıştırma için düşük toz/su oranı tavsiye eder. Bu önerilen oranlara uyulması gerekir. Vakumlu karıştırıcı ve düşük toz/su oranı kullanılmasıyla çalışma süresi kısalır. Bu nedenle bir kap içerisinde deneme yapılarak parlaklığın kaybolma süresinin belirlenmesi tavsiye edilir. Bu süre 3 dakika kısaltılarak toplam çalışma süresi bulunur. Bu süreden yararlanılarak vakum altında karıştırmanın ne kadar sürmesi gerektiği hesaplanabilir. Örneğin parlaklığın kaybolması 11,5 dakika aldıysa, mümkün olan çalışma süresi 8,5 dakikadır. Eğer karışımın dökülmesi 2,5 dakika sürüyorsa vakum altında karıştırma 6 daika yapılmalıdır. Şekil 4.6'da iki tip vakum karıştırma makinesi görülmektedir [3].



Şekil 4. 6 Vakum karıştırma makineleri [17]

Vakum altında karıştırmanın prosedürü şöyledir:

1. Yeterli miktarda toz tartılır ve sıcaklığı ölçülür.
2. Su miktarı ölçülür ve karışım sıcaklığı 20-22°C olacak şekilde ayarlanır.
3. Karıştırma kabına su koyulur.
4. Toz karıştırma kabına eklenir ve ıslanmanın olması için 30 saniye beklenir.
5. Karıştırıcı ve vakum çalıştırılır, 6 dakika karıştırılır.
6. Derece yavaşça doldurulur, titreşim yapılmamalıdır.
7. Derece doldurulduğunda vakum serbest bırakılır.
8. Derece titreşimsiz bir yüzeyde en az 1 saat bekletilir.

Vakum karıştırma makinelerinde titreşimin kullanılması bazı problemlere yol açabilir. Genel olarak toz üreticileri tarafından gereksiz olarak görülür [3].

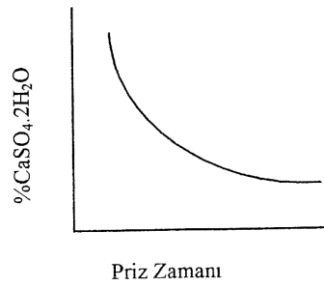
KALIBIN KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Uygun bir karışım; tozun suyun içine iyice serpilmesi sonucu tamamen ıslanması ve homojen bir karışım haline gelmesi demektir. Böyle bir karışım temel amaç olmalı ve böyle bir karışımın elde edilmesi için bütün değişkenler çok iyi control altına alınmalıdır [18].

5.1 Yarı Hidratın Etkisi

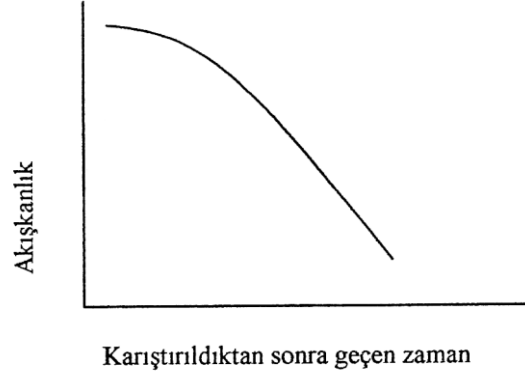
Yarı hidrat doğal olarak oluşan yüksek saflıktaki jips mineralinin kalsinasyonu sonucunda elde edilmektedir. Farklı başlangıç mineralinin kalsinasyonu farklı yarı hidrat oluşuma neden olabilir ve bu olay da kalıp özelliklerinde belirgin farklılıklar meydana gelmesine neden olur [18].

Sabit su/toz oranlarında döküm kalıplarının mukavemet değerleri artan alçı miktarı ile doğru orantı gösterir. Priz almış alçı parçacıklarının priz zamanlarını kısalttığı görülür. Yapılan karışımlara değişik miktarda hidrate olmuş alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tanecikleri katıldığı zaman priz başlangıç ve bitiminin katılan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ miktarına bağlı olarak kısaldığı görülmektedir [18].



Şekil 5. 3 Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi [19]

Gereğinden kısa priz zamanına sahip alçı kullanıldığında kalıba döküm sırasında akışkanlığın çok azalarak hava boşluklu hatalı kalıp üretimine sebep olduğu, bu durumun önüne geçmek için fazla su kullanılması yolu seçildiğinde de kalıpların mukavemetinin düştüğü, gereğinden uzun priz zamanına sahip alçı ile çalışıldığında ise verimin azaldığı gözlenir [18].



Şekil 5. 2 Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamanla akışkanlığın değişimi [19]

5.2 Suyun Etkisi

Kalıp performansını etkileyen suyun kullanımı ile ilgili dikkat edilmesi gereken üç faktör vardır. Bunlar; suyun saflığı, sıcaklığı ve su/toz oranıdır [6].

5.2.1 Suyun Saflığı

Suyun içindeki safsızlıklar alçı verimini etkiledikleri için alçı kalıp yapımında kullanılan su, içilebilecek kadar temiz olmalıdır. Karıştırma suyunun içindeki organikler uzun donma zamanına sebep olurken, metalik tuzların varlığı donma zamanını kısaltır. Yüksek miktarda sodyum, klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi çözünebilir tuzlar kalıbın kurutulması sırasında yüzeye çıkarak tuzlanmaya neden olurlar. Bunlar, yüzeye döküm çamurunun yapıştığı ya da diğer kalıp problemleri olarak görülen küçük sert noktalar yaratırlar [5].

5.2.2 Suyun Sıcaklığı

Alçı maksimum çözünürlüğe 21-35°C arasında ulaştığı için, suyun sıcaklığındaki değişimler donma zamanını etkiler ve karıştırma kıvamının kontrolünde zorluklara sebep olur. Sıcaklık 39°C'a kadar arttıkça katılma zamanı azalmakta, bu sıcaklığın

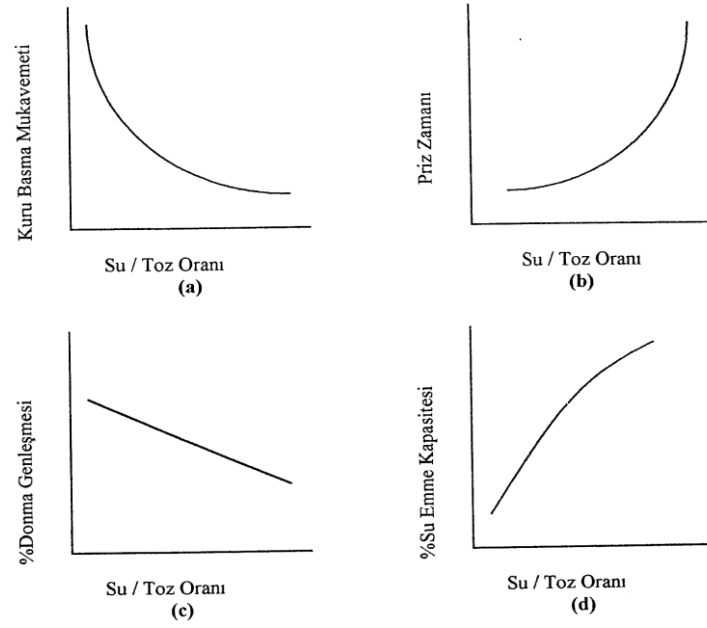
üzerinde tekrar artmaya başlamaktadır. Kullanılan suyun sıcaklığı alçının genleşmesini de etkiler. Sıcaklık arttıkça net genleşme miktarı azalır. Donma zamanı düştükçe malzemelerin basma mukavemetleri arttığı için uygun bir sıcaklıkta kontrollü bir donma ile çok iyi kalıplar üretilir [6].

5.2.3 Su/Toz Oranı

Kalsine jipsten hazırlanan kalıp alçısının kalitesini etkileyen en önemli faktör karışımın hazırlanması sırasında kullanılan su/alçı oranıdır. Su/alçı oranındaki farklılıklar mukavemeti, absorpsiyonu, uygulama sırasındaki görülen genleşmeyi ve kalıbın içyapısını etkiler [18].

- Kalıp mukavemetleri kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.
- Priz başlangıcı ve bitimi için gerekli zaman su miktarı ile doğru orantılıdır.
- Donma genleşmesi kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.
- Su emme kapasitesi ve hızı kullanılan su miktarı ile doğru orantılıdır [18].

Karışım da kullanılan su miktarı değiştikçe mukavemet ve absorpsiyon değişir. Kullanılan suyun belli bir miktarı kimyasal olarak kalsine alçıyı jipse çevirmekte ve geri kalan miktarı ise karışıma yeterli miktarda plastiklik ve akışkanlık vermekte kullanılır. Böylelikle kalıba sıvı gibi dökülerek plastik olarak şekillendirilmesinin gerekliliği rahatlıkla anlaşılır. Katılaşma prosesi bittiğinde karışımda bulunan fazla su kalıpta kalır ve bu su kurutma yoluyla uzaklaştırıldığında kapladığı hacmi hava tarafından doldurulur. Su miktarı değiştikçe suyun yerine geçecek hava miktarı da değişir ve alçı kalıbın toplam absorpsiyon miktarı da bununla orantılı olarak değişir. Boşluk hacmi arttıkça alçı kalıbın görünen yoğunluğu azalır [5].



Şekil 5. 3 Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, % donma genleşmesi ve % su emme kapasitesinin değişimi [19]

Aynı şekilde basma ve çekme mukavemeti de bu oranda azalacaktır. Çünkü verilen herhangi bir kesitteki alçı kristalleri bu oranda azalmış olacaktır. Benzer bir biçimde kullanılan su miktarı arttıkça kalıbın verilen bir yüzeyindeki veya kesitindeki alçı kristalleri azalacağından alçının karşı karşıya kalacağı aktif yüzey azalacak ve böylece kalıbın çarpma ve şok direnci düşerken aşınma oranı artacaktır [5].

Alçı kalıptaki gözeneklilik çamurun şekillendirilmesi için gerekli emicilik özelliğini sağlar. Ancak bu oran belli bir miktarda olmalıdır. Fazla su ile hazırlanan alçının sertliği ve dayanıklılığı azalır ve kalıp kolayca kırılır [5].

Alçı/su oranındaki değişiklikler sonucu:

1. Alçı/su oranındaki değişiklikler yayılma çapında değişikliklere neden olmaktadır. Yani artan alçı/su oranları ve karıştırma süreleri için yayılma çaplarının da azaldığı görülmektedir.
2. Alçı kalıpların donma başlama ve bitim sürelerinin artışı alçı/su oranı ve karıştırma süreleri ile ters orantılıdır.
3. Doğrusal genleşme, hem alçı/su oranı hem de zamana bağlı olarak artmaktadır. Doğrusal genleşme başlangıcı kıvam ile azalmakta fakat tamamlanması değişmemektedir.

4. Alçı kalıplarda absorblanan su miktarı alçı/su oranı ve karıştırma süresi ile ters orantılıdır.
5. Alçı kalıpların alçı/su oranının ve karıştırma süresinin artması ile dayanımı da doğru orantılı olarak artmaktadır.
6. Alçı kalıplarda alçı/su oranının artması ile maksimum su absorpsiyonu azalırken kuru dayanımı artmaktadır [20].

5.3 Islatmanın Etkisi

Yarı hidrat partikülleri bir hava tabakası ile sarılmıştır. Bu hava tabakası ıslatma boyunca uzaklaştırılır. Islatma işlemi alçının su içerisine serpilmesi ile yapılır [5].

Islatma işleminin süresi önemlidir. Islatma süresinin, kalıptaki hataların, pinhollerin oluşumuna etkisi azdır. Oldukça uzun ıslatma süresi donma süresini hızlandırır ve çözeltinin daha çabuk sertleşmesine yol açar. Bu olayın sebebi çözeltideki çökmeyi hızlandıran ince partiküllü yarı hidratın varlığıdır. Bu partiküllerin iri taneli olması istenir [5].

En iyi karıştırma için bütün yarı hidrat partiküllerinin su içinde tamamen dağılması gerekir. Islatma süresinin kısaltılması, karıştırma süresinin etkisine negatif yönde etki eder. Eğer her durum için uygulanabilirse toz ile iyi ıslatma özellikleri su içerisinde yavaşça çökelme meydana gelecektir. Çoğunlukla ıslatma işlemi tozun dökümünden 3-4 dakika sonra tamamlanır [5].

Su içinde hızla çöken toz yüksek miktarda olduğunda ıslatma sürecinden sonra bile partiküller ıslatılmayabilir. Karıştırma işlemi boyunca bu kuru partiküllerin dağıtılması zordur. Ters durumda yani ıslatılması zor olan alçıda bütün partiküllerin ıslatılması için ıslatma süresinin uzatılması gerekir. Bu da kalıp üretim hızını düşürür [6].

5.4 Karıştırmanın Etkisi

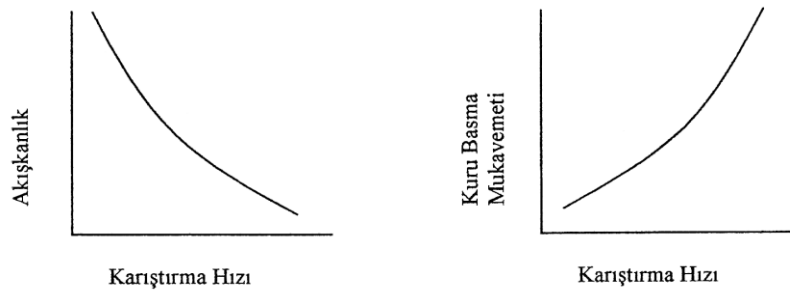
Karıştırma işlemi boyunca toz, su içinde dağıtılmalıdır. Uygun karıştırma, su içindeki yarı hidrat partiküllerini dağıtır ve çözeltide kalmış havayı uzaklaştırır. Alçı kalıpların mukavemeti kısmi olarak karıştırma işlemi tarafından belirlenir [5].

5.4.1 Karıştırma Hızı

İyi bir homojen kalıp üretiminde karıştırma hızı çok önemli bir faktördür. Karıştırma miktarına ve karıştırıcının formuna en uygun karıştırma hızı seçilmelidir. Gereğinden düşük hızlarda taneciklerin etrafındaki hava tahliye edilemeyeceğinden hava kabarcığı meydana gelecek, karıştırma süresi uzatılsa bile kalıp mukavemeti ulaşılabilecek en yüksek değer vermeyecektir. Çok hızlı karışırtmalarda ise reaksiyon hızı artacağından priz zamanları kısılacak dolayısıyla yayılma çapı azalarak karışım koyulaşacak, döküm sırasında hava tahliye edilemeyeceği için kalıp içinde hava boşlukları kalacaktır. İyi bir karıştırma sonucu tanecikler sürekli dağılarak ince, sıkı bir kristal yapı oluşturacağından mukavemet artacaktır. Sıkı bir kristal yapı elde edilmesiyle su emme kapasitesi de azalacaktır [5].

Karıştırma zamanı sabit tutularak değişik karıştırma hızları ile yapılan laboratuvar deneylerinde hız artışının;

- Priz başlangıç zamanını kısalttığı,
- Yayılma çapını azalttığı,
- Mukavemeti artırdığı,
- Su emme kapasitesini azalttığı görülür [5].



Şekil 5. 4 Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlık ve mukavemetteki değişim [19].

Toz/su karışımı çok iyi karıştırılmalıdır. Alçının farklı bölgelerde farklı hızlarda emici olması kalıba döküm yapılarak elde edilen ürünün her yerinin farklı kalınlıkta olmasına sebebiyet verir. Bu da ürünün deforme olmasına ve çatlamasına neden olmaktadır [18].

5.4.2 Karıştırma Zamanı

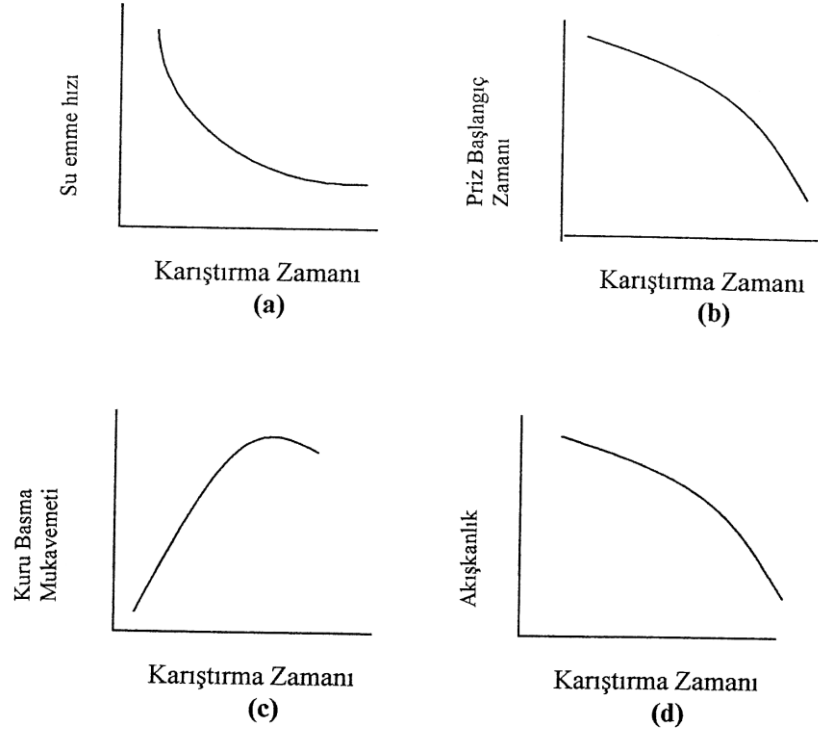
Karıştırma hızı ve zamanı iç içe iki kavram olmasına rağmen, karıştırma zamanının etkisi ayrı olarak ve daha derinlemesine incelenmiştir. Bu seçime işletmelerdeki mevcut sistemlerin yenilenmesine göre karıştırma zamanının değiştirilmesinin daha kolay olması neden olmuştur. Yapılan bazı araştırmalarda karıştırma zamanının ne kadar arttırılabileceği ve bunun harcın ve kalıpların özelliklerini nasıl etkileyeceği tespit edilmiştir [6].

Karıştırma zamanı arttırıldığında;

- Su emme hızının azaldığı,
- Priz başlangıç zamanının kısaldığı,
- Mukavemetin artarak bir maksimuma ulaştıktan sonra priz almaya başlamış alçının karıştırılmaya devam edilmesi durumunda mukavemetin azalmaya başladığı,
- Yayılma çapının düştüğü görülür [5].

Toz, su ile karıştırıldığında karışım sıvı gibidir. Bu karakter zamanla önce jelimsi daha sonra da sertleşerek katı hal alır. Karıştırmanın kremi aşamaya kadar devam etmesi karıştırma homojenliğini sağlar ve sıvı durumdan katılaşmasını önleyerek karışım içinde oluşacak istenmeyen mukavemet artışını engeller. Bu aynı zamanda birçok kalıbın kırılmasına sebep olan hava kabarcıklarının oluşmasını da önler. Güçlü mekanik karıştırıcılarla yapılan karıştırma işlemlerinde karışım içinde bulunan hava kabarcıkları uzaklaştırılarak elde yapılan karışımdan 10-15 kat daha verimli bir yapı oluşturulur [5].

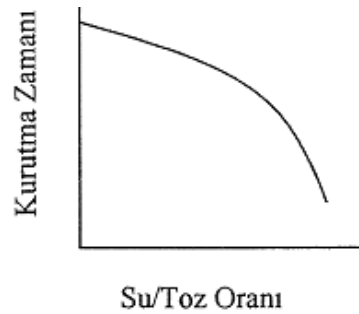
Eğer karıştırma, karışım katılaşmaya başladığı noktaya kadar sürerse elde edilen kalıbın mukavemeti düşebilir. Çünkü bu noktada hızlı kristal oluşumları başlar ve devam eden karıştırma bu kristalleri kırarak mukavemeti azaltabilir. Verilen toz/su oranındaki karışımdan elde edilebilecek olası en büyük mukavemet değeri harmanlanmış karışımındaki kristal oluşumlarının engellenmediği durumlarda söz konusudur. Aşırı tahrik durumunda kristaller tamamen kırılabilir ve kurutulduktan sonra yalnız kendisini taşımaya yetecek macuna benzer bir yapı elde edilir [5].



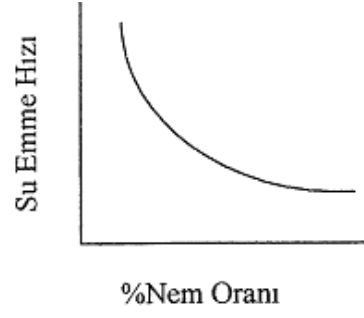
Şekil 5. 5 Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi [18].

5.5 Kurutmanın Etkisi

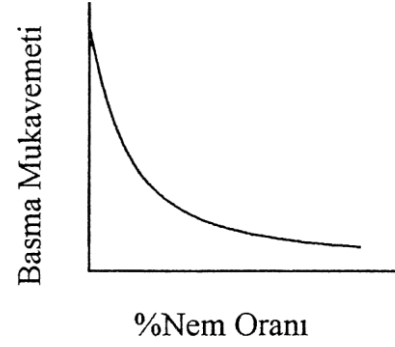
Bütün kalıplardan aynı sonuçları fiziksel özellikleri elde etmek için kalıplar uygun bir şekilde kurutulmalıdır. Kurutma, kalıptan fazla suyun uzaklaştırılması için yapılır. Bu da döküm çamurundan suyun etkili bir biçimde uzaklaşmasını sağlar. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma kalıbın kalsinasyonuna, düşük ısılar ise alçı kalıp veriminin azalmasına neden olur. Kurutma işlemi gereğince yapılmaz ise kalıbın yumuşaması ve işlemede yavaş çekim problemleri ile karşılaşılır. Sabit bir sıcaklıkta toz/su oranı azaldıkça kurutmanın zorlaştığı görülmüştür (Şekil 5.6). Kalıpların içerdikleri nem oranı azaldıkça su emme hızlarının ve kalıp mukavemetinin arttığı bulunmuştur (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8) [5].



Şekil 5. 6 Su/toz oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi [18]



Şekil 5. 7 Nem oranına bağlı olarak su emme hızının değişimi [18]



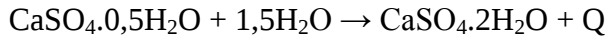
Şekil 5. 8 Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi [18]

ALÇI HİDRATASYONUNDA MORFOLOJİYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Alçı hidratasyonunda morfolojiye etki eden faktörler iki ana başlıkta incelenecektir. Bunlar; alçı kristalizasyonu ve potasyum sülfat (K_2SO_4) ve kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) dihidrat çözeltilerinin alçı kristalizasyonu ve dayanımı üzerindeki etkisidir.

6.1 Alçı Kristalizasyonu

Kalsiyum sülfat yarıhidrat yaygın olarak plaster of Paris olarak bilinir ve genellikle inşaatlarda, seramiklerde ve medikal endüstrisinde kullanılır. Yarıhidrat hidratasyonu yüksek oranda ekzotermik bir reaksiyondur ve aşağıdaki şekilde gerçekleşir: [19]



Hidratasyon boyunca alçı kristalizasyonu meydana gelir. Karışımda hidratasyon meydana gelirken plaster dayanımı belirler ve geliştirir. Sertleştirilmiş alçı karışımının mikroyapısı birçok fiziksel özelliği ve rijitlik gibi mekanik özellikleri etkiler. Yapıdaki bağlanmayı sağlamak için günümüzde kimyasal ilavelerin kullanılması bir gereklilik haline gelmiştir. Kullanılan kimyasal ilaveler geciktiriciler, hızlandırıcılar, koyulaştırıcılar, plastikleştiriciler ya da hava tutucular ve deflokülan ajanlar olarak rol alırlar [19].

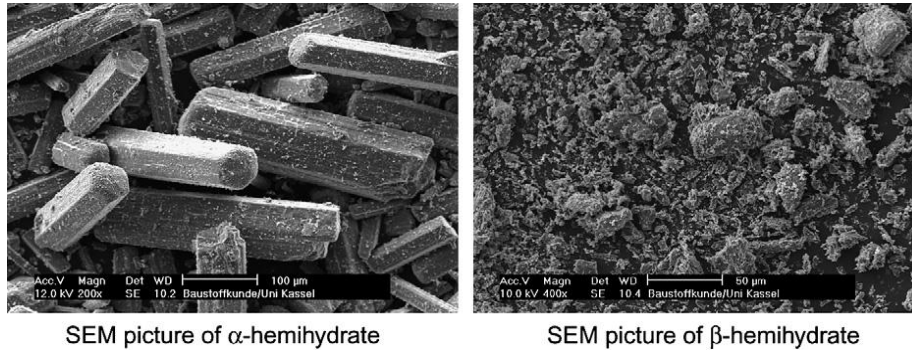
Kalsiyum sülfat dihidrat kristallerinin morfolojisi daha çok kontrol ilavelerinin cinsine ve oranına bağlıdır. Endüstriyel ve jeokimyasal ilgi, değişik türlerdeki kimyasal ilavelerin varlığında ve yokluğunda kalsiyum sülfat dihidrat kristal büyümesinin mekanizması konusundaki önemli araştırmalarla sonuçlanmıştır. Bununla birlikte

geçmiş yıllar boyunca yapılan yoğun araştırmalara rağmen mekanizma hakkında hala düşündürücü tartışmalar ve belirsizlikler bulunmaktadır [19].

Standart yoğunluk için daha kaba plasterler daha su gerektirirken, daha dar bir partikül boyutu ve dağılımına sahip plasterler daha fazla su gerektirir. Daha küçük plasterler de daha hızlı hidrate ederken, kaba plasterler daha yavaş hidrate ederler [21].

6.1.1 Yarıhidratlar

Endüstriyel prosese bağlı olarak yarıhidratlar 2 şekilde oluşur; α yapısı kalsiyum sülfat dihidrattan ıslak metodla ve β yapısı ise kuru metodla hazırlanır. Yarıhidratın bu 2 şekli suyla reaktiviteleri ve hidrate ürünün dayanımı açısından birbirinden farklıdır. X-Ray difraksiyonu ile yapılan çalışmalarda yapısal bir farklılık gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte Bushuev ve Borisov'a göre α modifiye kristalleri monoklinik yapıda iken, β -yarıhidrat kristalleri trigonal yapıdadır. Kuzel ve Hauner'a göre kristalografik bir farklılık yoktur ve α ve β yapıları sadece kristallerin boyutu ve düzeni konusunda farklıdır. α ve β yarıhidratlarını ayarlamak için aynı oranda alçı-su kullanıldığında, α -yarıhidratları alçıya biraz daha fazla dayanım sağlamaktadır [19].



Şekil 6. 1 α ve β yarıhidratlara ait SEM görüntüleri [19]

SEM incelemelerine göre α -yarıhidratları iyi şekillenmiş keskin kenarlara sahip kristaller içerirken, β -yarıhidratları lapa lapa duran küçük kristaller içermektedir. β -yarıhidratları α -yarıhidratlarına oranla, daha yüksek spesifik yüzey alanına sahip olduklarından daha fazla su gerektirmektedir [19].

6.1.2 Yarıhidrat Hidratasyonu Boyunca Alçının Kristal Büyümesi Üzerine Hızlandırıcıların Etkisi

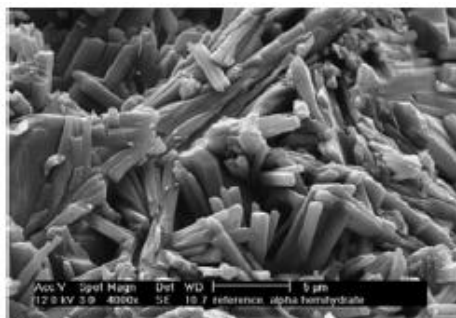
Genellikle inorganik asitler ve organik asitlerin tuzları hızlandırıcı olarak kullanılırlar. Hızlandırıcı olarak dihidrat varlığı kristal morfolojisini değiştirir. Prizlenme için birbirine bağlanmış iğneler ($15\mu\text{m} \times 1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$) ya da katılaşmış α -yarıhidrat daha ince ve daha kısa olur. İğneler %2 ilave varlığında tipik olarak $10\mu\text{m} \times 0,5\mu\text{m} \times 0,5\mu\text{m}$ boyutundadırlar. Morfolojideki bu değişim, kristaller arası bağlanmada önemli oranda azalışa sebep olur, dolayısıyla da dayanım düşer. Ridge'in yaptığı değişik anyon ve katyonların yarıhidratın hidratasyonunu hızlandırması konusundaki çalışmalarda K_2SO_4 'ün en etkili hızlandırıcı olduğu bulunmuştur. Lewry ve Williamson ise %2'ye kadar K_2SO_4 ilavesinin hızlandırıcı etkisi olduğunu ancak daha sonra net bir değişiklik olmadığını tespit etmişlerdir. K_2SO_4 , yarıhidratın çözünme oranını artırarak hidratasyona hız kazandırır [19].

6.1.3 Yarıhidrat Hidratasyonu Boyunca Alçının Kristal Büyümesi Üzerine Geciktiricilerin Etkisi

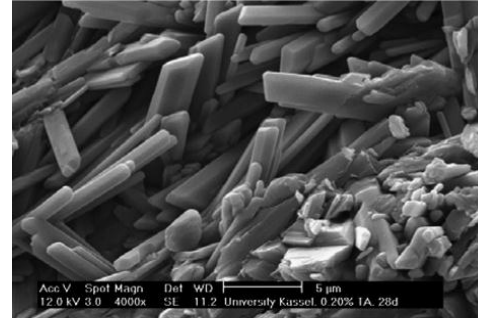
Zayıf organik asitler ya da bunların tuzları genellikle geciktirici olarak kullanılırlar. Fosforik asit, borik asit, karboksilik asit buna örnek olarak verilebilir. Sıklıkla kullanılan geciktiricilerin geciktirme oranları sıralaması aşağıdaki gibidir: [19]

Sitrik asit > Malik Asit > Saksinik asit > Tartarik asit

Geciktiriciler kristal yüzeyleri tarafından adsorbe edilirler. Gecikme oranı, asit konsantrasyonundaki artışla birlikte artar [19].



(a) α -hemihydrate-reference



(d) α -hemihydrate (0.2 wt% tartaric acid)

Şekil 6. 2 Referans α -yarıhidrat ve %0,2 tartarik asit içeren α -yarıhidrata ait SEM görüntüleri [19]

6.1.4 Yarıhidrat Hidratasyonu Boyunca Alçı Kristal Morfolojisi

Geciktiriciler genellikle kademe kademe tutunurlar ve alçı kristalinin yüzeyine dolanarak morfolojiyi değiştirirler. İlaveler, çekirdeklerin doymuşluk oranını ve yüzey topografisini değiştirerek çekirdeklenmeyi modifiye eder [19].

Çekirdek kristalleri kristalizasyon oranını artırır ve kristal büyümesi oranından ayrı olaral kristal morfolojisini modifiye eder. 2 farklı tohumdan kaynaklanan büyüme morfolojisi karşılaştırıldığında, arayüzey açıları arasındaki büyük fark, kristal morfolojileri arasındaki en büyük farklılık olarak görülür. Kristal oluşumunda kristal geometrisi anahtar rol oynamaktadır. Çekirdek yüzeylerinin morfolojiye etkisi büyüme zamanına da bağlıdır [22].

6.2 Potasyum Sülfat (K_2SO_4) ve Kalsiyum Sülfat ($CaSO_4$) Dihidrat Çözeltilerinin Alçı Kristalizasyonu ve Dayanımı Üzerindeki Etkisi

6.2.1 Kristal Oluşumu

Doymuş $CaSO_4$ dihidrat çözeltisi kısa ve dikdörtgen şeklinde kristaller sağlar. Doymuş K_2SO_4 çözeltisinin sağladığı kristaller çok daha büyüktür [22].

Karıştırma sık merkezli gül benzeri yapıların oluşumuna sebep olur. Gül benzeri kristal kollarının uzunluğu 50-100 μm 'ye ulaşır. Karıştırmadan 24 saat sonraki çökeltme incelendiğinde, çok uzun şerit şeklinde kristallerin gül benzeri düzenin yerini aldığı görülür [22].

6.2.2 Prizlenme Zamanı

Prizlenme zamanı, çözeltideki K_2SO_4 oranı %0'dan %5'e artınca, 15 dakikadan 4,5 dakikaya düşmüştür. Çökeltme oranındaki inceleme açık olarak çökeltme oranı ve çökelti boyutunun K_2SO_4 çözeltisi konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. Karıştırma sıvısı olarak doymuş $CaSO_4$ dihidrat çözeltisi kullanımı prizlenme zamanı üzerinde pek bir etki göstermemiştir [22].

6.2.3 Prizlenme Genleşmesi

Kontrol numunesi %0,20 genleşme sergilerken %1 ve %5'lik K_2SO_4 çözeltilerinde prizlenme genleşmesi %0,14'ten %0,08'e düşmüştür. Doymuş $CaSO_4$ dihidrat

karıştırma sıvısı olarak kullanıldığında ise prizlenme genleşmesi küçük bir düşüşle %0,17 olmuştur [22].

6.2.4 Basma Dayanımı

Kontrol numunelerinde karışım sıvısı olarak K_2SO_4 çözeltisi kullanımı 1 saat sonra ve 24 saat sonrasında aynı etkiyi göstermiş olup, bu etki oldukça düşüktür. Doymuş $CaSO_4$ dihidrat çözeltisi kullanımı 24 saat sonraki dayanımı 311 kg/cm^2 'den 479 kg/cm^2 'ye yükseltmiştir. Ayrıca toza %10 oranında prizlenmiş taş ve $K_2Ca(SO_4)_2$ ilavesi 24 saat sonraki dayanımı düşürür [22].

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaları genel olarak akışkanlık deneyleri, prizlenme genleşmesi ve elektron mikroskobu incelemeleri olarak üç ana kısma ayırabiliriz.

7.1 Akışkanlık Deneyleri

Deneysel çalışmaların büyük kısmında akışkanlık deneyleri yapılmıştır. Akışkanlık deneyleri sonuçlarına göre numune dökümü gerçekleştirilmiştir. Akışkanlık deneyi ise halka çapı testi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Halka çapı testi yapılışı şöyledir: Öncelikle halka çapı testi için hazırlanacak bileşim belirlenir. Belirlenen bileşime göre istenen miktarlardaki tozlar hassas terazide tartılarak bir kabın içine koyulur. Kontrol ilaveleri de uygun miktarlarda kabın içine eklenir. Bu tozların homojen olarak birbirine karışması için kabın içerisine 4 adet seramik bilya koyulur ve kap ağzı sıkıca kapatıldıktan sonra değirmene yerleştirilir. 100 gr toz malzeme değirmende 50 dakika karıştırılır. Numuneleri değirmenden çıkarmadan önce kullanılacak diğer malzemeler hazırlanır. Tozun koyulacağı cam beher, suyun tartılacağı ve toz ile suyun birleşeceği plastik beher ve son olarak karışımın içine döküleceği halka.



Şekil 7. 4 Numune hazırlamada kullanılan toz malzemeler



Şekil 7. 2 Toz malzemelerin tartıldığı hassas terazi ve karıştırma kabı

Numune değirmenden çıkarıldıktan sonra ilk iş olarak kabın içinde toza gömülmüş olan bilyalar çıkartılır. Geriye kalan toz karışımı cam beherin içerisine koyularak ağırlığı kontrol edilir. Toz numunenin miktarı önemlidir çünkü 100 gr karışım için 38 ml su kullanılmaktadır ve testin doğru şekilde gerçekleşebilmesi için bu önemli bir orandır.

Toz numunenin ağırlığının 0,38 katı ağırlığında su plastik beherde hassas terazide tartılarak hazırlanır. Testin yapılacağı halka ve halkanın zeminini oluşturan cam iyice temizlenir ve kuruluğundan emin olunur. Karıştırma işleminin gerçekleşeceği karıştırıcının hızının uygun değerde olup olmadığı kontrol edilir. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra karıştırıcı çalışılır, toz numune suyun içine boşaltılırken kronometre başlatılır. Numunenin tamamı yaklaşık 1 dakika içinde behere boşaltılmış olmalıdır. Tozun su ile tamamen buluşması sağlandıktan sonra 2 dakika daha karıştırma işlemine devam edilir. Toplam karıştırma süresi 3 dakikadır.



Şekil 7. 3 Karıştırma düzeneği

Üç dakika bitiminde karıştırıcı durdurulur. Hassas terazinin üzerine yerleştirilmiş olan cam zemin üzerindeki halkanın içerisine karışım doldurulur. Halka çapı yaklaşık 35 mm ve yüksekliği 60 mm'dir. Tüm deneylerde bu halka kullanılmakta ve halkanın doldurulması terazi üzerinde gerçekleştirilerek halkanın içini bütün deneylerde aynı miktarda karışım ile doldurmaktır. Yapılan deneylerde halka 94 gr karışım ile doldurulmuştur. Bu esnada kronometre çalışmaya devam etmektedir ve tozun suyla temas ettiği ilk andan itibaren 5 dakika süre sonunda halka yukarı kaldırılır. Halka yukarı kaldırıldığında halkayı dolduran karışım kendiliğinden cam üzerine yayılır.



Şekil 7. 4 Çapı ölçülecek halka

Belirli bir süre sonra halka şeklinde yayılmış olan bu karışım sertleşmeye başlar. Sertleşme zamanı yapılan tüm deneylerde muhakkak tespit edilir. Sertleşmenin başladığı bu süreye set time adı verilmektedir. Standartlarda belirlenen set time 15 dakikadır. Bu çalışmada set time genellikle 12-13 dakika arasında olmuştur.

Numune tamamen sertleştikten sonra kuruyan karışımın çapı ölçülerek test tamamlanmaktadır. Standartlara göre belirlenen ideal halka çapı 12-12,7 cm olarak kabul edilmektedir. Bu halka çapını belirlemek üzere bileşimde değişiklikler yapılmıştır ve bu oran yakalanmıştır.

7.2 Prizlenme Genleşmesi Deneyleri

Prizlenme genleşmesi deneyleri, bileşimin döküldükten 1 saat ve 2 saat sonraki boylarının ölçülerek meydana gelen genleşmenin tespit edilebilmesi için yapılır. Bunun için akışkanlık deneylerinde olduğu gibi hazırlanan 100 gramlık numune, bu kez halka içine değil, silikon bir kalıp içerisine dökülür. Numune katılaştıktan sonra derhal ve numunenin bozulmamasına dikkat ederek kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkarılan numunenin boyu l_0 , ilk boy olarak kumpas yardımı ile ölçülerek kaydedilir. Bu ölçümden 1 saat ve 2 saat sonra da numunenin boyu ölçülerek l_1 ve l_2 olarak kaydedilir. Daha sonraki saatlerde ölçüm yapmak gereksizdir, çünkü yapılan çalışmalarda 2 saatten sonra numunenin boyunda pek fazla değişim olmadığı gözlemlenmiştir. En fazla değişim yani genleşme 2 saate kadar olan süre içerisinde gerçekleşmektedir. Şekil 7.5'te prizlenme genleşmesi numunelerinin hazırlandığı kalıp görülmektedir. İşlemin hassasiyeti açısından daha doğru sonuçlar elde edebilmek amacıyla, kalıbın içerisine vidalar yerleştirilmiştir. Prizlenme genleşmesi numuneleri

kumpasla ölçüm yapılırken aşınmaya karşı hassas olduğundan, vidalar üzerinden yapılan ölçümlerde daha doğru sonuçlar elde edildiği görülmüştür.



Şekil 7. 5 Prizlenme genleşmesi numunelerinin döküldüğü kalıp



Şekil 7. 6 Prizlenme genleşmesi numunesi

7.3 Elektron Mikroskobu İncelemeleri

Yapılan çalışmalarda akışkanlık testinde ve prizlenme genleşmesinde ideal ya da ideale yakın sonuçlar elde edilen numunelerin elektron mikroskobunda tane yapısı incelenmiştir. Burada amaç numunenin tane boyutunu ve şeklini inceleyerek sonuçları irdeleyebilmektir. Hedeflenen tane yapısı küçük taneli yapıdır. Ayrıca tanelerin iğne şekilli olması da başarı kriteridir. Bu sebeple elektron mikroskobu incelemesi yapabilmek için bileşimi uygun görülen numunelerden 50 gramlık bileşimler hazırlanarak, bu bileşimler SEM mikroskobunda incelenebilecek boyutlara sahip silikon bir kalıp içerisine dökülmüştür. Burada diğer numune dökümlerinden farklı olarak silikon kalıp cam bir zemin üzerine yerleştirilmiş ve numuneyi dökmeden önce, pürüzsüz bir yüzey elde edebilmek ve dolayısıyla daha kaliteli bir görüntü ve sonuç elde edebilmek için, kalıp içerisine belli bir yüksekliğe kadar önceden eritilen mum dökülmüştür. Mum donduktan sonra üzerine hazırlanan numune dökülmüş ve katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılarak, numune mumdan dikkatlice ayrılmıştır.

Hazırlanan numuneler altın kaplandıktan sonra incelemeler gerçekleştirilmiştir. İncelemeler 500x, 1000x ve 1500x büyütme ile yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan kontrol ilavelerinin tane boyutunu küçültmede önemli bir role sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çeşitli numunelerden alınan görüntüler aşağıda görülmektedir.



Şekil 7. 7 SEM’de incelenecek numunelerinin döküldüğü kalıp



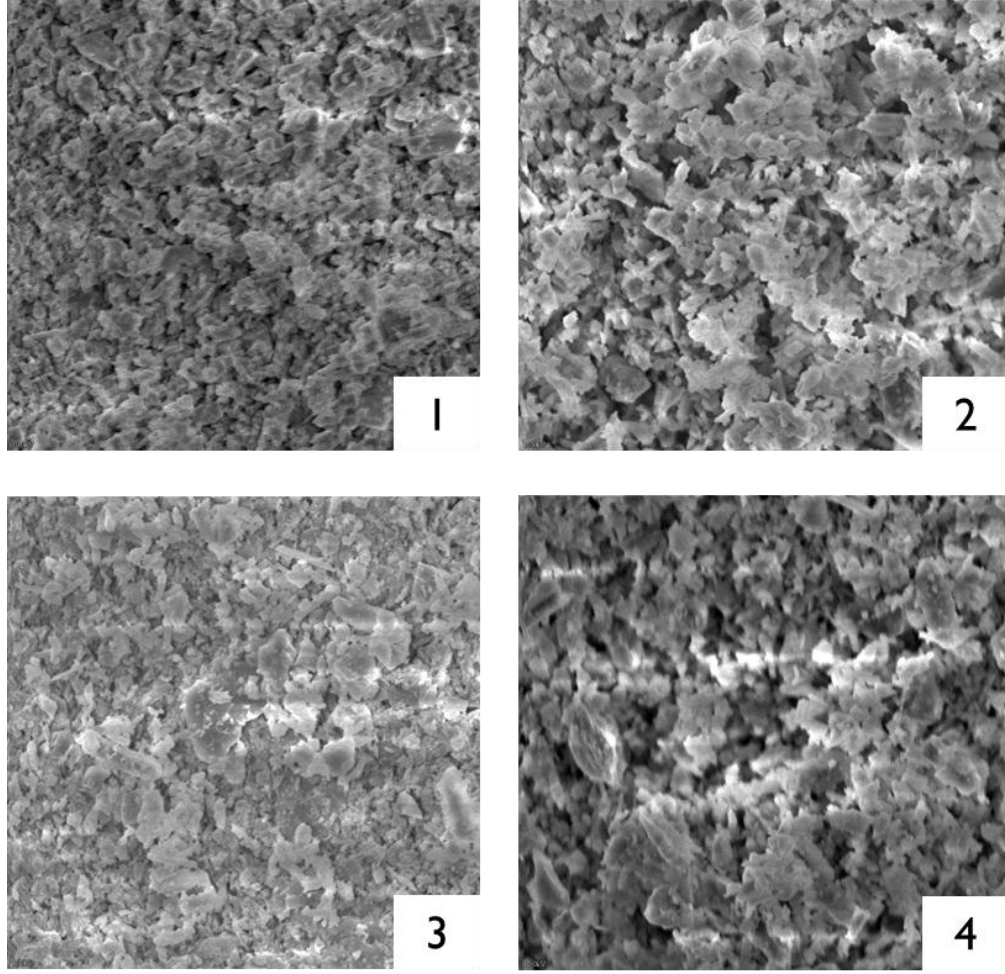
Şekil 7. 8 SEM’de incelenen numune örnekleri

SEM’de yapılan incelemeler sonucunda tane boyutunda küçülme olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 8

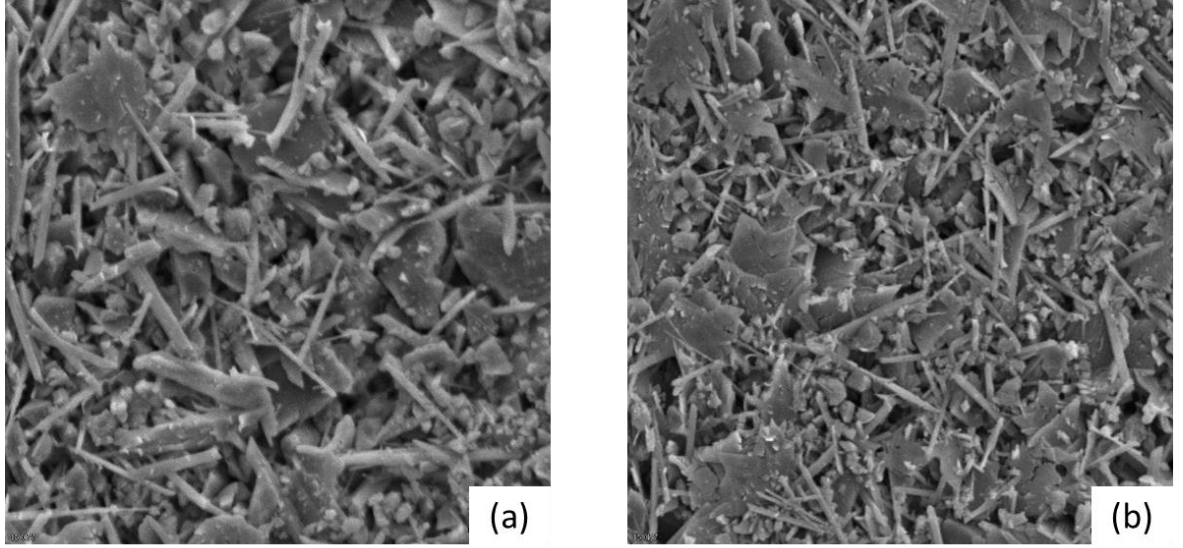
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneylerde birçok farklı bileşimli numune dökülmüş ve bu numunelerde morfolojiyi etkileyen özellikler incelenmiştir. Kullanılan kontrol ilavelerinin akışkanlık ve prizlenme genleşmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Prizlenme zamanına bakılarak ve halka çapı testi yapılarak elde edilen veriler değerlendirilmiş ve buna bağlı olarak optimum bileşim oranları belirlenmiştir. Ulaşılmak istenen halka çapı 12-12,7 cm'dir ve hazırlanan değişik bileşimlerde bu oran elde edilmiştir. Prizlenme zamanı için 15 dakika yeterli bir süredir ve halka çapında istenen sonucu veren bileşimlerde prizlenme zamanında da istenen sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Yapılan optimizasyon çalışmalarında alüminyum hidroksit, hidrate alçı ve magnezyum oksit kontrol ilaveleri ile çalışılan bileşimler optimize edilmiştir. SEM mikroskobunda yapılan incelemelerde referans numunesi ile diğer numuneler karşılaştırılmıştır. Referans numunesi hiç kontrol ilavesi içermeyen numunedir. SEM mikroskobunda yapılan incelemeler sonucunda kullanılan kontrol ilavelerinin tane boyutunu küçülttüğü, taneleri incelttiği görülmüştür. Bu şekilde bir yapıda iğnemsî taneler ağırlıktadır ve ulaşmak istenen görüntü de iğnemsî tanelerin sayıca fazla ve mümkün mertebe homojen olduğu yapıdır.



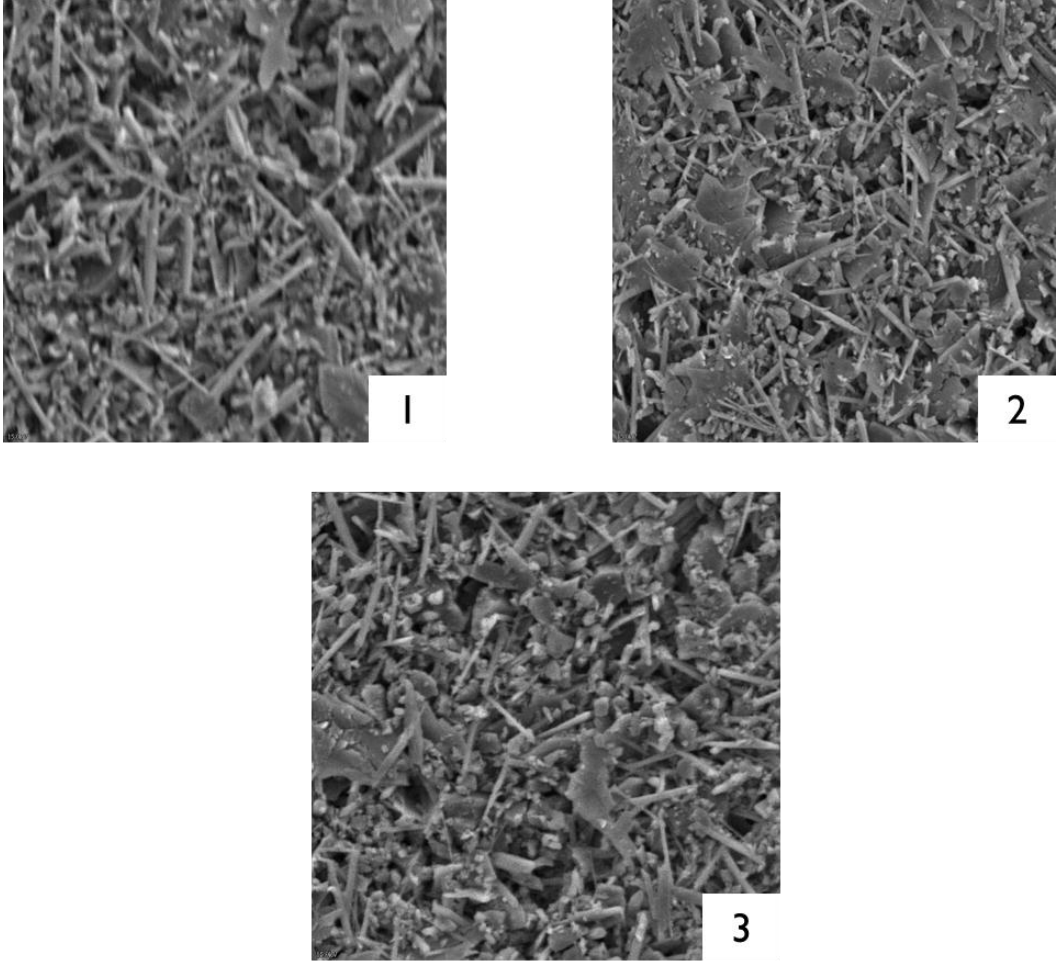
Şekil 8. 1 Referans numunesi ve kontrol ilaveleri içeren numunelere ait SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)

Şekil 8.1’de referans numunesi ve çeşitli katkı ilaveleri içeren bileşimlerle hazırlanan numunelerin SEM görüntüleri mevcuttur. “1” numaralı görüntü hiçbir katkı ilavesi içermeyen numuneye aittir ve referans numunesi olarak kullanılmıştır. “2” numaralı görüntü %0,3 Jel-6 ilavesi içeren numuneye aittir. Bu numunede tanelerin daha düzgün şekillendiğini görmek mümkündür. “3” numaralı görüntü %2 $\text{Al}(\text{OH})_3$ içeren numunenin görüntüsüdür. “4” numaralı görüntü ise %0,4 hidrate alçı içeren numunedir.



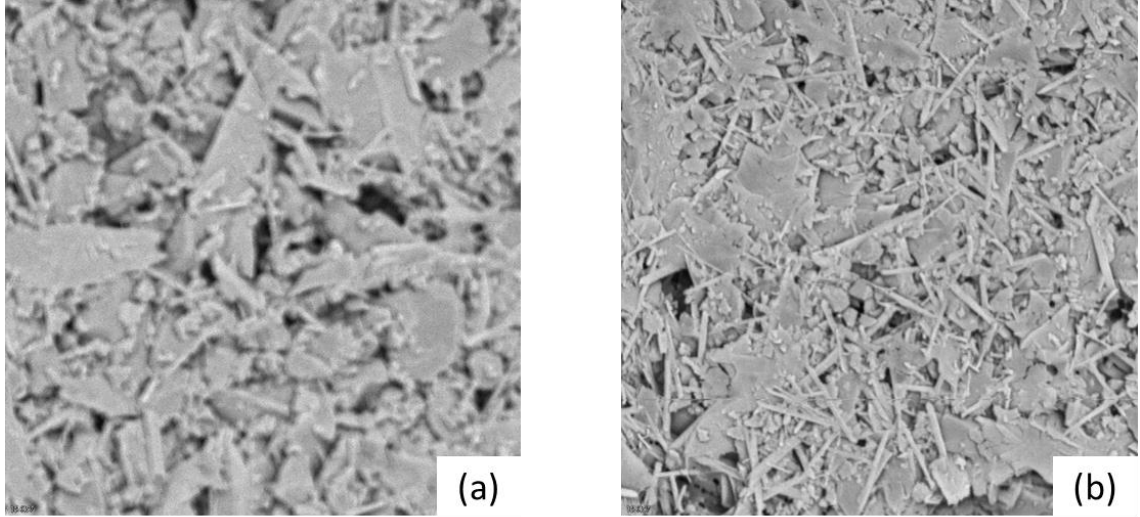
Şekil 8. 2 Farklı elektrolit oranlarındaki $\text{Al}(\text{OH})_3$ içeren numunelere ait SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)

Şekil 8.2’de (a) ile gösterilen soldaki numune %0,06 elektrolit içeren, soldaki (b) ile gösterilen numune ise %0,045 elektrolit içeren numuneye ait SEM görüntüleridir. Bu numunelerde $\text{Al}(\text{OH})_3$ oranı %0,575’tir. İki numuneye ait SEM görüntüleri incelendiğinde (b) numunesinde alçı tanelerinin daha düzgün şekillendiği, iğnesellik oranının arttığı ve iğnelerin daha ince olduğu açıkça görülmektedir. Bu durumda $\text{Al}(\text{OH})_3$ içeren numuneler için doğru elektrolit oranı %0,045 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. 3 Çeşitli oranlarda $\text{Al}(\text{OH})_3$ içeren numunelere ait SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)

Şekil 8.3'te “1” numaralı numunede %0,4 $\text{Al}(\text{OH})_3$, “2” numaralı numunede %0,575 $\text{Al}(\text{OH})_3$ kullanılmıştır. Bu iki görüntü karşılaştırıldığında “1” numaralı görüntüde iğnesellik oranının düşük olduğu ve kalın iğnelerin olduğu görülmektedir. “2” numaralı görüntüde ise iğneler aşırı incedir ve iğnesellik oranı yeterli değildir. Ancak “3” numaralı görüntü incelendiğinde hem iğnesellik oranının fazla olduğu, hem de iğnelerin optimum bir incelik sağladığı görülmektedir. Buna göre yapılan çeşitli deneyler sonucunda burada minimum ve maksimum kullanım miktarları verilen $\text{Al}(\text{OH})_3$ ilavesi için belirlenen optimum çalışma oranı %0,525 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 8. 4 $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ ve $\text{Al}(\text{OH})_3$ kontrol ilaveleri içeren numunelerin BSE ile elde edilen SEM görüntüleri (x1500 büyütmede)

Şekil 8.4'te sol tarafta görülen (a) numunesi $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ katkı ilavesi içeren ve sağ tarafta görülen (b) numunesi $\text{Al}(\text{OH})_3$ katkı ilavesi içeren numunelerdir. Yapılan incelemelere göre $\text{Al}(\text{OH})_3$ kontrol ilavesinin morfoloji üzerindeki etkisi aşikardır. Sol taraftaki (a) numunesinde alçı taneleri oldukça kaba ve düzensiz şekilli olup, iğnesel yapı yok denecek kadar azdır. Oysa sağdaki (b) yapısında alçı tanelerinin çok daha düzgün şekilli olduğu, iğnesellik oranının oldukça yüksek olduğu ve iğnelerin ince yapıda oluştuğu açıkça görülmektedir. Buna dayanarak $\text{Al}(\text{OH})_3$ kontrol ilavesinin morfoloji açısından, $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ ilavesinden çok daha iyi sonuçlar sağladığını söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Yaman, B., (2002). “Demir Dışı Alaşımların Dereceli Hassas Dökümünde Kullanılan Kalıp Malzemeleri”, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Ataçelik Dökümhanesi, <http://www.atacelik.com/hassas.html>, 20.01.2011.
- [3] Horton, P.J., (2000). “Investment Powders and Casting”, Gold Technology, 28:12-17.
- [4] Facenda M. Ve Ingo, G.M., (2000). “Advances in Investment and Burnout Furnace Design”, Gold Technology, 28:12-17.
- [5] Ümlüer, Ö., (2001). “Alçı Kalıplar ve Alçı Kalıplarda Mikro Yapı Dizaynı”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [6] Kaya, D., (2000). “Anhidrit ve Kalsiyum Karbonatın Döküm Alçısına Etkisi”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [7] Subaşı, R., (1999). Alçı Kalıp Yapımında Kullanılan Yarı Hidratların Karakterizasyonu”, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- [8] Borsoum M. ve W., (1997). “Fundamentals of Ceramics”, McGrawHill Companies, Inc., 270, Singapore.
- [9] Sammer, A.R., Parmesee, D., Lamngfold, C.F. ve Stark R.A., (1989). Refractories Manual, A.F.S. Inc., Des Plaines, Illinois.
- [10] Eriç, H., (1985). “Faz Diyagramları ve Refrakterler”, Seramik Teknik Kongresi, 15-19 Nisan 1985, Ankara.
- [11] Arcasoy, A., (1983). “Seramik Teknolojisi”, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, 42-46.
- [12] Sarıdikmen, H. Ve Kuşkonmaz, N., (2000). “Etil Silikat Bağlayıcı Refrakterlerde Bağlayıcı Bileşiminin Refrakterlerin Özelliklerine Etkisi”, 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 20-24 Mayıs 2000, İstanbul.
- [13] Yaman, C., (1996). “Fosfat Bağlı Alümina Refrakterler”, Metal Dünyası, Sayı 44.
- [14] Yaman, C., (1998). “Refrakter Malzemeler için Kimyasal Bağlayıcılar”, Metal Dünyası, Sayı 59: 38-39.
- [15] Ray, N., (1998). “Dental Plaster & Stone”, Dental Materials Science, 18-27.

- [16] Tasarım ve İmalat Teknolojileri Portalı, <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/tek-toz-baglama-yapistiriciyla.html>, 15.11.2010
- [17] Piramit Teknik Malzeme San. Ve Tic. A.Ş., http://www.piramtek.com/index.php?option=com_content&view=article&catid=214%3Acimo-alci-karistirma-makineleri&id=1042%3A2000-cimo-alci-karistirma-makinesi&Itemid=251&lang=tr, 19.02.2012.
- [18] Işıtman, O. ve Işıkcı, C., (1985). “Alçı Kalıp Problemlerinin Çözümü ve Maksimum Verimlilikte Kalıp Üretimi”, Seramik Teknik Kongresi, 15-19 Nisan 1985, 289-306, Ankara.
- [19] Singh, N.B. ve Middendorf B., (2007). “Calcium Sulphate Hemihydrate Hydration Leading to Gypsum Crystallization”, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 53:57-77.
- [20] Mahir, H., (1996). “Alçı/Su Oranının Alçı Kalıp ve Dökümüne Olan Etkilerinin Araştırılması”, III. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, 22-25 Ekim 1996, 107-115, Ankara.
- [21] Qingqing, Y., Baohong, G., Wenbin, L., Yang, L. Ve Kong, B., (2011). “Effect of Particle Size Distribution on the Hydration and Compressive Strength Development of α -Calcium Sulphate Hemihydrate Paste”, Powder Technology 207: 208-214.
- [22] Shen, C., Mohammed, H. Ve Kamar, A., (1981). “Effect of K_2SO_4 and $CaSO_4$ Dihydrate Solutions on Crystallization and Strength of Gypsum”, J Dent Res 60(8): 1410-1417.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şükran TALAY
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.06.1987 ESKİŞEHİR
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sukran_talay@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Malzeme	YTÜ	2012
Lisans	Metalurji ve Malz.Müh	YTÜ	2010
Lise	Fen	Süleyman Çakır Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Yıldız Teknik Üniversitesi	Proje Teknoloji Uzmanı