

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTIOCH YÖNTEMİYLE HAZIRLANAN ALÇI KALIP
VE DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIPLARINDA
SEGREGASYON OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ**

Metalurji Müh. Öner Onur ALTIPARMAK

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÇI KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ	2
3. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ	4
3.1 Dereceli Hassas Döküm	5
4. DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ.....	7
4.1 Alçı	7
4.1.1 Jips	7
4.1.2 Anhidrit	8
4.2 Silika	9
4.2.1 Kuartz.....	11
4.2.2 Kristobalit.....	12
4.3 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar	12
4.3.1 Etil Silikat.....	12
4.3.2 Fosfat Bağlayıcılar.....	13
5. DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIBININ HAZIRLANMASI	16
5.1 Kalıplama	18
5.1.1 Elle ve Makine İle Karıştırma	19
5.1.2 Vakum Altında Makine İle Karıştırma	20
6. KALIBIN KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	22
6.1 Yarı Hidratın Etkisi.....	22
6.2 Suyun Etkisi	23
6.2.1 Suyun Saflığı	23
6.2.2 Suyun Sıcaklığı.....	23
6.2.3 Su/Toz Oranı	23
6.3 Islatmanın Etkisi.....	25
6.4 Karıştırmanın Etkisi.....	26
6.4.1 Karıştırma Hızı	26
6.4.2 Karıştırma Zamanı	27
6.5 Kurutmanın Etkisi.....	28

7.	SIZMA VE SEGREGASYON	30
7.1	Silika Dumanı.....	31
7.2	Yüksek Fırın Curufu	32
7.3	Uçucu Kül	32
8.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
8.1	Deney Programı	33
8.2	Akışkanlık Deneyi	33
8.3	Numune Dökümü ve Sertlik Taraması	35
	Numune 1	38
	Numune 2	39
	Numune 3	40
	Referans Numunesi (GSU).....	41
	Referans Numunesi (RNR)	42
	Numune 4	43
	Numune 5	44
	Numune 6	45
	Numune 7	46
	Numune 8	47
	Numune 9	48
	Numune 10	49
	Numune 11	50
	Numune 12	51
	Numune 13	52
8.4	Ultrasonik Ölçümler	53
8.5	Porozimetre Analizi	535
9.	SONUÇLAR	56
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	Dereceli hassas döküm yapılış aşamaları	5
Şekil 4.1	Silikanın polimorfik dönüşümleri.	9
Şekil 4.2	SiO ₂ 'nin sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları	10
Şekil 4.3	Silika mineralinin ısı genleşmesi.	11
Şekil 5.1	Tipik hassas döküm kalıp tozu kompozisyonu	16
Şekil 5.2	Gold Star hassas döküm kalıp tozunun ısı genleşmesi	17
Şekil 5.3	Endüstriyel ve kuyumculuk hassas döküm örnekleri	18
Şekil 5.4	Elle ve makine ile karıştırma.	19
Şekil 5.5	Hazırlanmış bir kalıbın mum alınmadan önceki kesit görüntüsü	20
Şekil 5.6	Vakum karıştırma makineleri	21
Şekil 6.1	Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi.	22
Şekil 6.2	Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamanla akışkanlığın değişimi	23
Şekil 6.3	Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, %donma genleşmesi ve %su emme kapasitesinin değişimi	24
Şekil 6.4	Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlık ve mukavemet değişimi	27
Şekil 6.5	Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi	28
Şekil 6.6	Su/toz oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi	29
Şekil 6.7	Nem oranına bağlı olarak su emme hızının değişimi	29
Şekil 6.8	Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi	29
Şekil 7.1	Yeni dökülmüş betonun üst yüzeyinde görülen su sızması	30
Şekil 8.1	Akışkanlık testinde kullanılan halka ve karışımın dökümü	34
Şekil 8.2	Çapı ölçülecek numune	35
Şekil 8.3	Deney numunelerinin döküldüğü silikon kalıp	36
Şekil 8.4	Deney numunesi	36
Şekil 8.5	Sertlik testi uygulanmış bir numuneden yakın görünüm	37
Şekil 8.6	Sertlik testi uygulanmış bir dizi numune	37
Şekil 8.7	Numune 1'in sertlik-mesafe grafiği.	38
Şekil 8.8	Numune 2'nin sertlik-mesafe grafiği.	39
Şekil 8.9	Numune 3'ün sertlik-mesafe grafiği.	40
Şekil 8.10	Referans (GSU)'nun sertlik-mesafe grafiği.	41
Şekil 8.11	Referans (RNR)'nin sertlik-mesafe grafiği.	42
Şekil 8.12	Numune 4'ün sertlik-mesafe grafiği	43
Şekil 8.13	Numune 5'in sertlik-mesafe grafiği.	44
Şekil 8.14	Numune 6'nın sertlik-mesafe grafiği.	45
Şekil 8.15	Numune 7'in sertlik-mesafe grafiği.	46
Şekil 8.16	Numune 8'un sertlik-mesafe grafiği	47
Şekil 8.17	Numune 9'un sertlik-mesafe grafiği	48
Şekil 8.18	Numune 10'in sertlik-mesafe grafiği.	49
Şekil 8.19	Numune 11'nin sertlik-mesafe grafiği	50
Şekil 8.20	Numune 12'ün sertlik-mesafe grafiği	51
Şekil 8.21	Numune 13'ün sertlik-mesafe grafiği	52
Şekil 8.22	Numune 1'de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği	53
Şekil 8.23	Numune 2'de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği	54
Şekil 8.24	Numune 3'de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği	54
Şekil 8.25	Referans (RNR)'de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği.	55

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 8.1 Numune 1'in bileşimi.	33
Çizelge 8.2 Numune 1'in bileşimi.	38
Çizelge 8.3 Numune 2'nin bileşimi.	39
Çizelge 8.4 Numune 3'ün bileşimi.	40
Çizelge 8.5 Numune 4'in bileşimi.	43
Çizelge 8.6 Numune 5'nin bileşimi.	44
Çizelge 8.7 Numune 6'nin bileşimi.	45
Çizelge 8.8 Numune 7'in bileşimi.	46
Çizelge 8.9 Numune 8'un bileşimi.	47
Çizelge 8.10 Numune 9'un bileşimi.	48
Çizelge 8.11 Numune 10'in bileşimi.	49
Çizelge 8.12 Numune 11'nin bileşimi.	50
Çizelge 8.13 Numune 12'ün bileşimi.	51
Çizelge 8.14 Numune 13'ün bileşimi.	52
Çizelge 8.15 Numune 1'de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.....	53
Çizelge 8.16 Numune 2'de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.....	54
Çizelge 8.17 Numune 3'de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.....	54
Çizelge 8.18 Referans (RNR)'de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.....	55

ÖNSÖZ

Bu çalışmamı yöneten ve çalışma süresince her türlü fedakarlığı gösteren bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim hocam Sn. Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen, Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezi'nde çalışan değerli arkadaşlarım; Kerem Altuğ GÜLER, Cihan BALABAN, Zeynep TAŞLIÇUKUR ve Gökhan ÖZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım ve çalışmalarımda bana destek olan; Aylin ALTINBAY ve Selda ÜÇÜNCÜOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Ayrıca; Ultrasonik ölçümleri bizzat yapan Sn. Prof. Dr. Cemalettin YAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Sızma ve segregasyon; dökülebilir refrakterler ve kalıpların üretiminde meydana gelen iki önemli problemdir. Bunların varlığı, dökülebilir refrakterler ve kalıpların mekanik ve termal özelliklerinin değişmesine sebebiyet verir. Sızma ve segregasyon (Çökelme) partikül boyutu ve dağılımı parametrelerinin kontrolü ve sızmayı önleyici katkıların ilavesiyle azaltılabilmektedir.

Bu çalışmada kalıplardaki sızma ve katkıların etkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler referans numuneleri ile karşılaştırılarak çalışmalara yön verilmiştir. Sertlik değerleri ile çökelme arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her bir numune için elde edilen sonuçlar grafikler haline getirilerek partikül boyutu ve katkıların etkileri ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dökülebilir refrakterler, dökülebilir kalıplar, hassas döküm

ABSTRACT

Bleeding and segregation are two main problems which come into existence in the production of castable refractories and casting moulds. This existence of bleeding and segregation causes variation of mechanical and thermal properties of castable refractories and casting moulds. Bleeding and segregation can be minimized by controlling the particle size and distribution parameters and by using anti-bleeding additive.

In this work, bleeding in the moulds and the effects of anti-bleeding additive were carefully studied. The results derived from experimental studies were compared with those of reference materials. Results were presented in two dimensional graphs to illustrate the effect of particle size and various chemical admixtures on the degree of bleeding.

Keywords: Castable refractories, castable moulds, investment casting

1. GİRİŞ

Dökümle şekillendirilen seramik malzemeler içerisinde alçı bağlayıcılı olanların önemli bir yeri vardır. Alçı bağlayıcılı seramiklerin en yaygın kullanım yeri alçı kalıp ve dereceli hassas döküm kalıplarının yapımıdır.

Hassas dökümün bir çeşidi olan dereceli hassas döküm yönteminde kalıp, mum veya benzeri bir malzemeden yapılmış bir model kullanılarak, içi boş silindirik bir derece içerisinde oluşturulur. Modelin yerleştirildiği derece içerisine hazırlanan seramik çamurunun dökülmesi ile kalıp yapılır. Dereceli hassas dökümün başlıca kullanım yerleri kuyumculuk, dişçilik ve biyomedikal sektörleridir.

Dereceli hassas döküm kalıplarının özellikleri temel olarak iki faktöre bağlıdır. Bunlardan birincisi toz karışımının bileşimi ve boyut dağılımı, ikincisi ise kalıplamada uygulanan yöntemler ve bu yöntemlerin işlem kademeleridir. Kalıp yapımında kullanılan toz karışımlarının bileşimi, kalıpta olması istenen tüm özellikleri karşılayacak şekilde optimize edilmelidir. Bu özellikler homojenlik, uygun su miktarı ile yeterli akışkanlık, yeterli dayanım, ısı kararlılık ve kolay kalıp bozulması gibi özelliklerdir. Doğru kalıp yapımı için kalıplama prosedürü de tıpkı toz bileşimleri gibi optimize edilmelidir. Takip edilen kalıplama prosedürü her şeyden önce kullanılan toz malzemeye uygun olmalıdır.

Kalıplarda en sık rastlanılan ve en önemli hata sızma ve segregasyon (çökelme) oluşumudur. Sızma ve segregasyon, homojen olması istenen kalıpların heterojen bir yapıya sahip olmasına neden olur. Heterojenlik kalıp çatlamasına, kırılmasına ve çeşitli döküm hatalarına sebebiyet vermektedir. Kalıplarda meydana gelen bölgesel refrakterlik farkları pışma ve döküm esnasındaki kalıp davranışı ile döküm parçaların mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Segregasyonun bir çok nedeni vardır, toz bileşiminden veya kalıplama yönteminden kaynaklanabilir. Kalıp tozu üreticilerinin ve dökümcülerin segregasyonu engelleyici önlemleri almaları gerekir.

Bu çalışmada kalıp üretiminde kullanılan toz malzemelerin partikül boyutunun ve çeşitli kontrol ilavelerinin segregasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı bileşimli malzemeler hazırlanarak numuneler dökülmüş ve sertlik ölçümü yoluyla segregasyon oluşumu belirlenmeye çalışılmıştır. Bir tanesi referans numunesi olmak üzere toplam on dokuz numune bu çalışmada incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler grafiklere aktarılmış ve varılan sonuçlar irdelenmiştir.

2. ALÇI KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİ

Alçı kalıp 18. yüzyılda pişmiş toprak kalıpların dökümüyle beraber yaygın biçimde kullanılmaya başlandı, fakat alçı kalıpların 3000 - 4000 yıl önceye kadar Çinliler tarafından kullanıldıkları bilinmektedir. (KÖSEOĞLU, İ.T.Ü İmalat Mühendisliği)

Alçı kalıplar büyük oranla bakır ve alüminyum alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen demir dışı malzemelerin dökümünde kullanılır. Eğer kalıp modellemesi için mum gibi düşük dayanımlı malzemeler tercih edilirse, kum gibi dövülerek sıkıştırılan kalıp malzemeleri uygun olmadığından başlangıçta sulu harç halinde olan alçı tercih edilir.

Alçı kalıplar, bir bölüm yüzeyine sahiptirler ve en az iki veya daha çok parçalı olarak dizayn edilirler. Kullanılacak kalıp malzemesi için 100 ölçü alçı ile 160 ölçü su krem kıvamına gelinceye kadar karıştırılır. Kalıp malzemesi içine, kalıbın çatlamaması için %20 oranında talk, katılaşma süresini uzatmak içinse kaolin ve magnezyum oksit gibi katkıları eklenir. Kalıbın dayanım ve genleşme gibi özelliklerini kontrol edebilmek için kireç, çimento, asbest elyaf, silis unu gibi maddelerde kullanılabilir. Eğer, kalıp hazırlanırken karıştırma hızı normalden fazla olursa harcın içine hava gireceğinden gözenekler oluşabilir; karıştırma hızı normalden yavaş olursa harç katılaşabilir.

Alçı başlangıçta yarı sulu haldedir ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). Harcın katılaşması esnasında alçı, su ile reaksiyona girerek $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ haline dönüşür. Sulu harcın model üzerine dökülmesini izleyen birkaç dakika içinde gerçekleşen ilk sertleşmeden sonra model kalıptan çıkarılır ve kalıp 200° sıcaklıkta kurutulur. Bu şekilde tüm suyu giden kalıp, Susuz kalsiyum sülfat (CaSO_4) haline dönüşür. Kurutulmuş kalıptan tekrardan nem alınması önemlidir. Nem, alçının düşük olan gaz geçirgenliğini olumsuz bir şekilde etkiler. Alçı kalıplar çok kırılgan olduklarından ötürü taşıma sırasında özen gösterilmelidir.

Bu yöntemde üretilen parçaların döküm yüzeyleri çok temiz olup, 0,008 – 0,010 mm/mm’ ye ulaşan dar toleranslar elde edilebilir. Alçının ısı iletimi düşük olduğundan, soğuma yavaş ve üniform olur. Büyük kesit farklılıklarının bulunduğu karmaşık parçaların dökümü için uygundur ve hızlı soğumanın gerektiği bölgelerde soğutma plakaları yerleştirilebilir.

Ancak; alçı kalıpların en zayıf yönü gaz geçirgenliklerinin düşük oluşudur. (Geçirgenliği arttırmak amacıyla değişik teknikler geliştirilmiştir.) Bu yöntemle 10 kg’ dan daha düşük parçalar üretilir ve kalıplar kırılgandır.

Geçirgenliği arttırmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

- Köpüklü alçı kalıplar: Bu yöntem sayesinde , karışıma bir köpükleştirici katılarak kalıp gözenekli ve daha geçirgen hale gelir.
- Antioch yöntemi: Bu yöntemde ise kalıp malzemesi; kum, alçı, asbest, talk, sodyum silikat ve su karışımıdır. Hazırlanan kalıplara önce bir otoklavlama işlemi uygulanarak kalıbın suyu giderilir. Daha sonra havada bekletilerek tekrar nem alması sağlanan kalıp, son olarak pişirilir. Bu işlemler sonunda iğne biçimli alçı taneleri küreleşir ve kalıbın gaz geçirgenliği artar.

Genel olarak alçı kalıba döküm yöntemi, kuyumcular tarafından tercih edilen bir yöntemdir. Kuyumcuların dışında, diş hekimleri de bu yöntemi kullanmaktadır. Bazı sanatçılar ise alçı kalıba döküm yöntemi ile değişik çalışmalar yapmaktadırlar. (KÖSEOĞLU, İ.T.Ü İmalat Mühendisliği)

3. 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 plastikten hazırlanan model daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine “harcanan (kaybolan) mum yöntemi” adı da verilir. (Yaman, 2002)

Hassas dökümün avantajları:

1. Geleneksel döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan imali zor veya bazen imkansız olan karmaşık şekilli parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır.
2. Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal hassasiyet, daha düzgün yüzey ve ince detay kısımların daha hassas elde edilmesi imkanı verir.
3. Yöntem ergitilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
4. 25 kg ağırlığa kadar dökümler ve bazen de (nadir olarak) 400 kg’a kadar parçalar bu yöntemle üretilebilir.
5. Hassas döküm yolu ile elde edilen parçaların hemen hemen hiç ilave işlem gerektirmemesi, “kolay işlenebilir metal seçimi” faktörünü ortadan kaldırmaktadır.
6. Bu yöntem ile tane boyutu, tane yönlenmesi ve yönlenmiş katılaşma gibi metalurjik faktörler yakından kontrol edilebilmekte ve bu sayede mekanik özellikler de kontrol altında tutulabilmektedir.
7. Vakum veya koruyucu atmosfer altında dökülmesi gerekli olan metal veya alaşımlara da yöntem kolaylıkla uygulanabilmektedir.
8. 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. (Yaman, 2002)

Kalıp hazırlama şekli açısından iki farklı hassas döküm yöntemi vardır.

- Hassas kabuk kalıp yöntemi (Shell Investment-Seramik kabuklu)
- Dereceli kalıp yöntemi (Solid Investment-Flask Investment-Blok kalıp yöntemi)

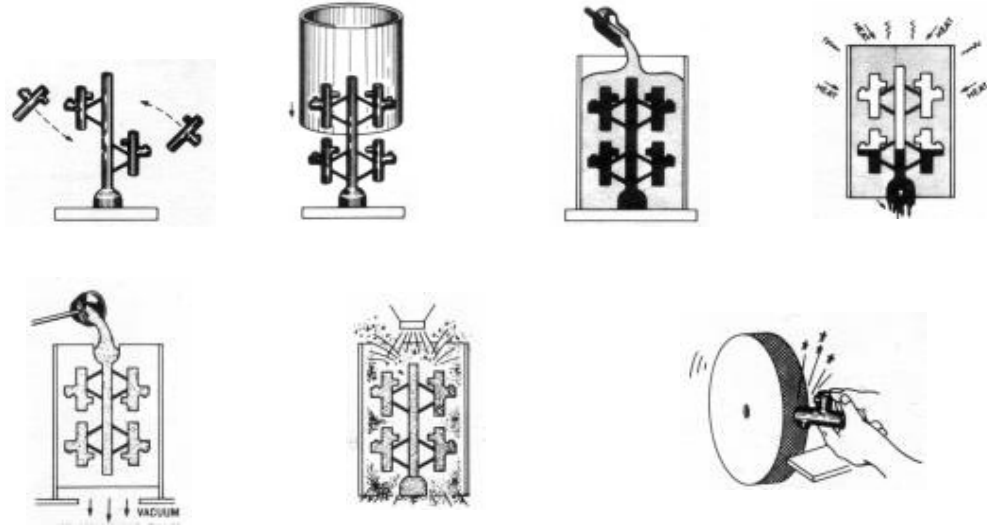
Bu yöntemler, hiç değilse model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır. Kabuk kalıp yönteminin farklı yanı, modellerin hemen her zaman bir ön kaplama işlemine tabi

tutulmasıdır. Dereceli kalıp yönteminde ise modeller ön kaplama işlemine tabi tutulabilir veya hiç ön kaplama yapılmayabilir. (Yaman, 2002)

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 nisbeten düşük olanlar) modelde ön kaplamaya ihtiyaç olmamakla beraber, demir esaslılarda ön kaplama yapmak standart uygulamaya haline gelmiştir. Ön kaplama ince taneli refrakter çamurla yapılır; bunu 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'ın altında) dökülen alaşımlar için en yaygın kullanılan bağlayıcı alçıdır. (Yaman, 2002)

3.1 Dereceli Hassas Döküm

Dereceli hassas döküm kalıbının hazırlanması ve döküm işlemi aşağıdaki şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Dereceli hassas döküm yapılış aşamaları. [1]

İşlem kademelerini şu şekilde kısaca 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.
- Basıncılı su püskürterek veya kumlama makinesinde kumlanarak kalıp malzemesi temizlenir.
- Döküm ağacından koparılan parçalar malzeme giriş çapakları temizlenerek döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler. [1]

Mumun kalıptan uzaklaştırılması buharla yada 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. (Horton, 2000)

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. (Yaman, 2002)

Tipik bir derecenin pişme işlemi genellikle 12 ila 14 saat sürer; fakat bazı hassas kalıp tozları 6 saat gibi daha kısa bir zamanda hazır hale gelir. Bu tozlar termal şok dayanımına sahiptir. (Horton, 2000)

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 önemli olan, derecenin homojen bir sıcaklığa sahip havayla sarılması ve her yönden eşit şekilde ısıtılmasıdır. (Faccenda ve Ingo, 2000)

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. (Yaman, 2002)

4.1 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. (Ünlüer, 2001)

Alçı taşı değişik yerlerde değişik saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayadır. Bu kayacın bünyesinde %20 civarında kimyasal olarak bağlanmış su içerir. Bu öğütülüp ısıtıldığında bünyesindeki suyun yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü kaybeder ve genel adıyla kalsine alçı yada 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 yada 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. (Kaya, 2000)

Alçı aşağıdaki özelliklerinden dolayı kalıp yapımına uygundur.

1. Karmaşık şekilli ürünler üretilebilir.
2. Üretilen kalıplar kimyasal ve fiziksel olarak karalıdır.
3. Her kullanım için su emme miktarı kolayca oluşturulabilir.
4. Pürüzsüz ve dayanıklı yüzey kolayca oluşturulabilir.
5. Fiziksel ve kimyasal özellikler homojen olarak korunur.
6. Porlar kolloidler tarafından kolayca kapatılamaz.
7. Maliyeti düşüktür. (Ünlüer, 2001)

4.1.1 Jips

Jips doğal olarak oluşan ve iki mol su içeren bir kalsiyum sülfat mineralidir. Genellikle kireç taşı, kum, kul, anhidrit ve organik maddeler gibi safsızlıklar içerir. (Ünlüer, 2001)

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, iğnemi, masif, taneseli, lifsi
Sertlik	: 2 (Mohs)
Özgül Ağırlık	: 2,32 g/cm ³
Dilinim	: (010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	: Renksiz-beyaz, sarımsı, yeşilimsi, kırmızımsı; şeffaf-yarı şeffaf
Çizgi Rengi	: Beyaz
Parlaklık	: Camsı
Ayrıcı 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 halinde olanlarına “albatr veya albaster”, saydam ve mükemmel dilimli olanlarına “selenit”, lifli ve cam saydamlığında olanlarına ise “satenspar” denilir. (Ünlüer, 2001)

4.1.2 Anhidrit

Anhidrit susuz kalsiyum sülfattır. Kalsiyum sülfat yapısında kristal suyu bulunmayan, yoğun ve alçı taşına göre daha sert olup, jips yataklarında tabakalar halinde bulunur. (Subaşı, 1999)

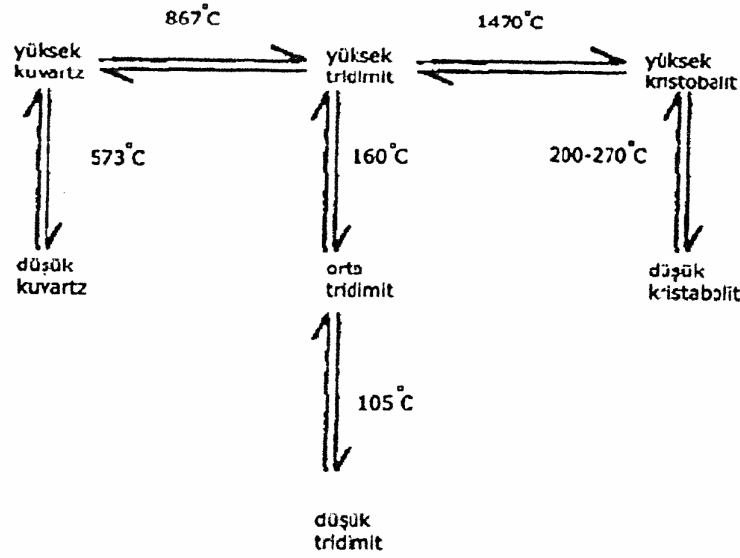
Anhidrit mineralinin özellikleri aşağıdaki gibidir:

Kimyasal Bileşimi	: CaSO ₄
Kristal Sistemi	: Ortorombik
Kristal Biçimi	: Kristalleri nadir, genelde masif, taneseli, lifsi
Sertlik	: 3,5 (Mohs)
Dilinim	: (010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	: Renksiz-beyaz, gri, mavimsi, eflatun, kırmızımsı, kahverengimsi, şeffaf
Çizgi Rengi	: Beyaz
Parlaklık	: Camsı
Ayrıcı 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 çöker. Jipsin dehidratasyonu ile de oluşabilir. (Ünlüer, 2001)

4.2 Silika

Doğada en çok bulunan oksitlerdendir. Silika; yerine geçen ve yeniden oluşan dönüşümleri olan çoklu polimorflara sahiptir. En önemlileri şekil 4.1’de gösterilmektedir. Yüksek kuartzdan düşük kuartz dönüşümü sırasında büyük hacim değişimi olmaktadır. Bu durum soğutma sırasında yüksek kalıntı gerilimlerine ve mukavemette düşüğe neden olur. Bu problemden sakınmanın en iyi yolu proses boyunca bütün kuartzın kristobalite dönüşmüş olmasından emin olunmasıdır, çünkü bu yeniden oluşum dönüşümü oda sıcaklığında yarı karardır. Yüksek kristobalitin düşük kristobalite dönüşümü sırasındaki hacim değişimi kuartz kadar yüksek değildir. (Barsoum, 1997)

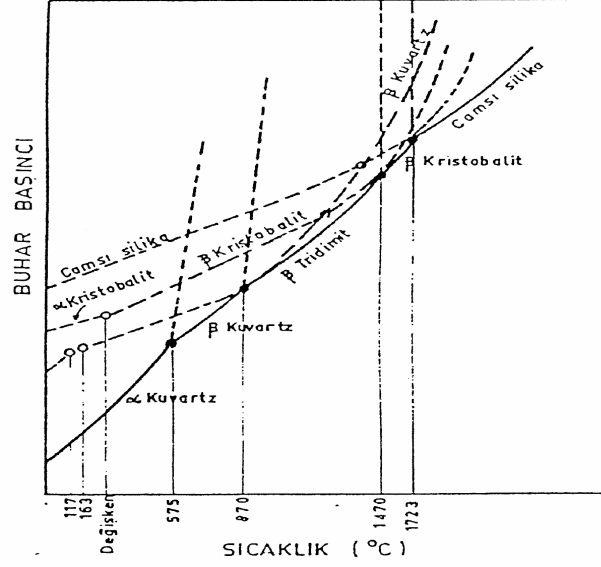


Şekil 4.1 Silikanın polimorfik dönüşümleri. (Barsoum, 1997)

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 yer yüzünde masif kayaları oluşturan yoğun kuartzdır (çakmak taşı, 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. (Sammer vd.,1989)

Şekil 4.2.’de silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı-kararlı fazları göstermektedir. Ordinat eksenini SiO₂’in buhar basıncını göstermekle birlikte rakamsal değerler verilmemiş

bunun sebebi ise SiO_2 'in çok kararlı bir oksit olmasından dolayı buhar basıncının normal atmosferik basıncı yanında çok küçük kalmasıdır. Diğer bir ifadeyle silika kolay kolay bozulmamaktadır. En kararlı fazlar kesiksiz, yarı kararlı fazlar ise kesikli çizgiyle gösterilmiştir. (Eriç, 1985).

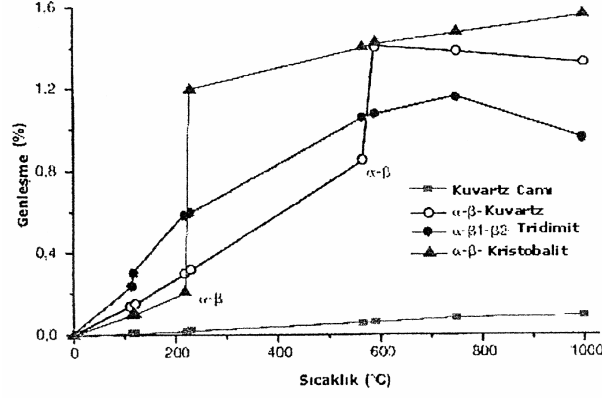


Şekil 4.2 SiO_2 'nin sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları. (Eriç, 1985)

Silika esaslı refrakter tuğlaların yapımında ve kullanımı sırasında şu iki önemli nokta her zaman göz önünde tutulmalıdır.

- Kuartz hammaddesinde bulunan Al_2O_3 , TiO_2 ve alkalinler tarzındaki safsızlıkların miktarları,
- SiO_2 'da mevcut polimorfik kristal fazların dönüşümleri.

Silika esaslı refrakterlerin ana hammaddesi olan kuartzın ısıtılmasıyla beraber α -kuartz β kuartzla döner ki bu duruma Şekil 4.3'de görülen 573°C 'daki ani lineer genişleme eşlik etmektedir. Bu sıcaklık değerine yaklaşıldıkça ısıtma hızının yavaşlatılmasıyla beraber %0,92'yi bulabilecek hacimsel değişimin yaratabileceği çatlak oluşumlarının önüne geçilebilecektir. 1426°C 'in üzerindeki sıcaklıklarda pişirme yapılan silika refrakterlerde yapıda kristobalit parçacıkları oluşurken, muhtemelen artık haldeki dönüşmemiş kuartz yapıları ile karşılaşılacaktır. Kristobalit parçacıkları tridimit ile çevrelenmiş olup, ara camlı bağ fazı ise yüksek kireç, alümina titanyum dioksit ve alkalinlerden meydana gelmiştir. (Sammer vd.,1989)



Şekil 4.3 Silika mineralinin ısı genleşmesi. (Faccenda ve Ingo, 2000)

4.2.1 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 tek başına tanecik yapısında olarak damarlar şeklinde diğer mineraller ile karışmış olarak bulunur. (Arcasoy, 1983)

Doğadan ham kuartzın çıkarılmasında, bilinen taş kırma yöntemleri uygulanır. Belli bir parça büyüklüğünde ön kırılması yapılan kuartz, beraberindeki yabancı maddelerden kurtarılacak amacı ile yıkanır ve manyetik tutuculardan geçirilir. Ancak bu işlemlerden sonra kuartz istenen tane büyüklüğünde öğütülür. (Arcasoy, 1983)

Silisyum dioksitin oda sıcaklığındaki değişmez formu α -kuartzdır. 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'da da α -kristobalite dönüşür. Bu dönüşümler dizisi, 1713 °C'da erime ile son bulur. (Arcasoy, 1983)

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. (Arcasoy, 1983)

4.2.2 Kristobalit

Kristobalit kuartzın bir polimorfudur; aynı bileşimdedir fakat farklı yapıya sahiptir. Hem kuartz hem de kristobalit, koesit ve tridimit 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 fazladır. 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 $2,32 \text{ g/cm}^3$ serliği 6,5'dir (Mohs). (Yaman, 2002)

4.3 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar

4.3.1 Etil Silikat

Etil silikat bağlı refrakterler mükemmel yüzey kalitesi ve döküm ürününde kurutma, pişirme esnasında düşük üniform çekmeye sahiptir. Seramik kalıba döküm temiz ve üretilcek modelin tüm detaylarını veren parça üretimini sağlar. Etil silikat bağlayıcı seramik parçalarının tercih edilmesindeki en önemli nedenler şu şekilde sıralanabilir; (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000)

1. Yüzey kalitelerinin mükemmel olması,
2. Kurutma ve pişirme esnasında başlangıç boyutlarını koruyabilmesi,
3. Üretim yönteminin basit olması ve seri üretime uygun olması,
4. Uzun süreli yüksek sıcaklıktaki ortamlarda dayanımını koruyabilmesi,
5. Seramik kalıba yapılan dökümün yüzey kalitesinin hassas döküme eşit olması.

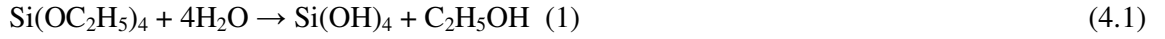
Bağlayıcının taşınması gereken özellikler şöyle sıralanabilir;

1. Modeli ıslatmalı ama modelde aşınma ve tahribata sebep olmamalıdır,
2. Uygun bir viskoziteye sahip olmalıdır ki seramik tozlarla karıştırılarak dökülebilir bir bulamaç elde edilebilmelidir,
3. Yüksek sıcaklıklarda dahi seramik yapısında dayanımı olumsuz etkilememeli ve korozyon şartlara direnç gösterebilmelidir. (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000)

Etil silikat bünyesinde bu özellikleri taşıyan bir malzemedir. Etil silikatın en önemli avantajı,

bu malzemeden sınırsız sayıda farklı bağlayıcı çözeltilerin hazırlanabilmesi ve her birinin farklı fiziko-kimyasal ve pratik unsurlar taşımasıdır. İlave edilen suyun miktarı, hidroliz için kullanılan tezgen tipi ve miktarı, çözeltideki silika miktarı üzerinde yapılacak olan değişiklikler çeşitliğin sağlanmasında kullanılabilecek hususlardır. (Saridikmen ve Kuşkonmaz, 2000)

Silikanın kontrollü biçimde seramik bünyelerine katılmasının yolu organik kökenli tetraetilortosilikatın bağlayıcı olarak hidrolize edilmesi ile silisik asit ve etil alkolün elde edilmesidir. (Tepkime 1). Süreç içerisinde silisik asit suyunu yitirmekte ve silikanın amorf şeklini almaktadır. (Tepkime 2). (Saridikmen ve Kuşkonmaz, 2000).



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 alınmaz ise olacak olan bağlayıcı çözeltisinin özellikleri kontrol edilemez. Bunun için hızı kontrol eden çözücü tipi ve miktarı, tam ortam sıcaklığı, ortamdaki nemlilik, çözeltideki su miktarı, sisteme verilen tezgen miktar ve tipi gibi birçok etmen dikkatle irdelenmelidir. (Saridikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

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 reçinemsi yapışkan bir maddeye dönüşmekte, bu yapının buharlaşmadan sonra silika filmi içinde esnekliği sağladığı ileri sürülmektedir. (Saridikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

Etil silikat kullanılarak hazırlanmış bir bağlayıcının çözeltisinin havaya açık biçimde depolanması durumunda oda sıcaklığında 10 gün zarfında pelteleşmekte ve pelte halindeki bağlayıcı zamanla sertleşerek kullanılabilirliğini yitirmektedir. (Saridikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

4.3.2 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. (Yaman, 1996)

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'ın 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. (Yaman, 1996)

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. (Yaman, 1998)

- Bir kaçı 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. (Yaman, 1998)

Sıcakta sertleşen fosfat bağı refrakterlerde sıcakta ve soğukta eğme dayanımlarını ve kimyasal olarak sertleşen fosfat bağı refrakterlerin soğukta eğme dayanımları karşılaştırma yapıldığı zaman, sıcakta sertleşen fosfat bağı plastik refrakterlerin soğukta eğme dayanımları, kimyasal olarak sertleşenlerden daha çok yüksektir. (Yaman, 1998)

Fosfat bağı refrakterlerin yüksek dayanımlı olması, aşınma dayanımının iyi olmasını da beraberinde getirir. Fosfat bağı refrakterler, 1300 °C'a kadar, ateş tuğlasına göre süper üstünlük sağlar. Fosfat bağı plastik refrakterlerin yapışma özelliği, normal plastik refrakterlerden daha iyidir. Bu nedenle hasarlı refrakterleri yamamada tercihen kullanılır. Fosforik asidin ve mono alüminyum fosfatın buhar basıncı suyunkinden daha 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. (Yaman, 1998)

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'ın üzerinde mukavemet azalır. (Yaman, 1998)

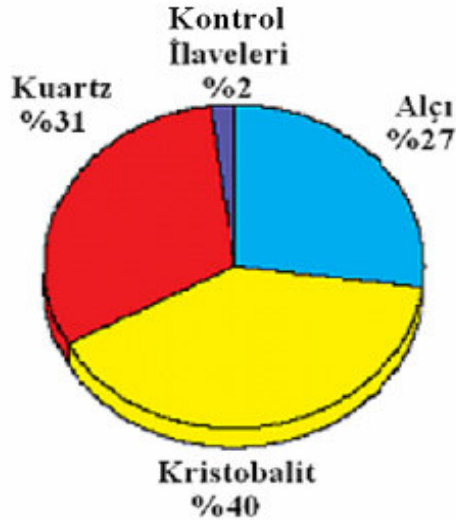
5. DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIBININ HAZIRLANMASI

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 5.1’de görülmektedir. (Horton, 2000)

Hassas döküm tozlarını bir arada 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. (Horton, 2000)

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. (Ray, 1998)

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 bir arada 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. (Horton, 2000)



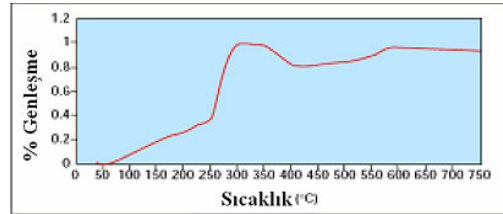
Şekil 5.1 Tipik hassas döküm kalıp tozu kompozisyonu. (Horton, 2000)

Alçının sertleşmesi iki kademedeyne meydana gelir. İlk kademedeyne alçı çözeltiyeyne alınır, ikinci kademedeyne de kristalleşmeye gerçekleşir. (Ray, 1998)



Hassas döküm tozlarının üreticileri kristal büyüme oranını yavaşlatıcılar veya hızlandırıcılar kullanarak kontrol ederler. Yavaşlatıcılar kristal büyümesini engeller, hızlandırıcılar ise yarı hidratın çözeltiyeyne 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. (Horton, 2000)

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 ısı 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 5.2 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 karışımın ısı profilini nasıl üzerine aldığını göstermektedir. (Horton, 2000)



Şekil 5.2 Gold Star hassas döküm kalıp tozunun ısı genleşmesi. (Horton, 2000)

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. (Horton, 2000)

Hassas döküm kalıp tozu üreticileri daha fazla d k mc ye 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 5.3’de iki ayrı uygulama  rneği görülmektedir. (Horton, 2000)



şekil 5.3 Endüstriyel ve kuyumculuk hassas döküm  rne leri. (Horton 2000)

5.1 Kalıplama

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

- Toz malzemeler bozulmayı önlemeye 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 odasındayken katılaşmasına neden olabilir.
- Kullanılacak su temiz olmalıdır. İ ilebilecek 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 kapmamamsı için sürekli kapalı tutulmalıdır. Hassas döküm tozları zamanla bozulur, bu nedenle 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. (Horton, 2000)

5.1.1 Elle ve Makine İle Karıştırma

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



Şekil 5.4 Elle ve makine ile karıştırma. (Horton, 2000) [2]

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'dır.
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. (Horton, 2000)



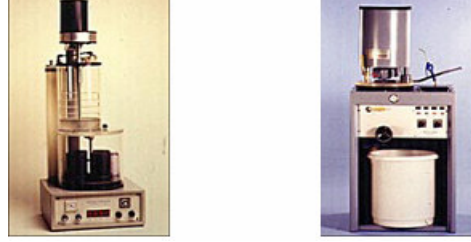
Şekil 5.5 Hazırlanmış bir kalıbın mum alınmadan önceki kesit görüntüsü [2]

Derecelerin doldurulma süresinin yaklaşık 1 dakika olduğu varsayılırsa, toplam çalışma süresi yaklaşık 8,5 dakikadır. Karışımdan 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. (Horton, 2000)

5.1.2 Vakum Altında Makine İle 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 dakika yapılmalıdır. Şekil 5.6'da iki tip vakum karıştırma makinesi görülmektedir. (Horton, 2000)



Şekil 5.6 Vakum karıştırma makineleri. (Cart, 1998)

Vakum altında karıştırmanın prosedürü şöyledir:

1. Yeterli miktarda toz tartılır ve sıcaklığı ölçülür.
2. Su miktarı ölçülür ve sıcaklığı 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. (Horton, 2000)

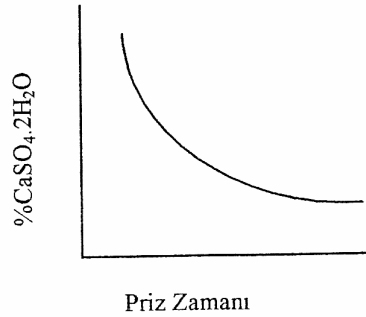
6. KALIBIN KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

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 kontrol altına alınmalıdır. (Işıtman ve Işıkcı, 1985)

6.1 Yarı Hidratın Etkisi

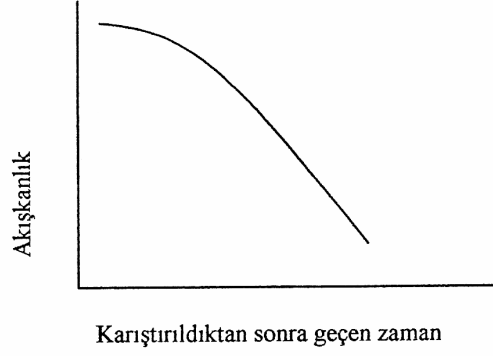
Yarı hidrat doğal olarak oluşan yüksek saflıktaki jips mineralinin kalsinasyonu sonucunda elde edilmektedir. Farklı başlangıç mineralinin kalsinasyonu farklı yarı hidrat oluşumuna neden olabilir ve bu olay da kalıp özelliklerinde belirgin farklılıklar meydana gelmesine neden olur. (Işıtman ve Işıkcı, 1985).

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 kısaltıldığı görülmektedir. (Işıtman ve Işıkcı, 1985).



Şekil 6.1 Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi. (Işıtman, 1985)

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. (Işıtman ve Işıkcı, 1985)



Şekil 6.2 Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamanla akışkanlığın değişimi (İşıtman,1985)

6.2 Suyun Etkisi

Kalıp performansını etkileyen suyun kullanımı ile ilgili dikkat edilmesi gereken üç faktör vardır. Bunlar; suyun saflığı, sıcaklığı ve su/toz oranıdır. (Kaya, 2000)

6.2.1 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. (Ünlüer, 2001)

6.2.2 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 katılaşma zamanını 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 su kontrollü bir donma ile çok iyi kalıplar üretebilir. (Kaya, 2000)

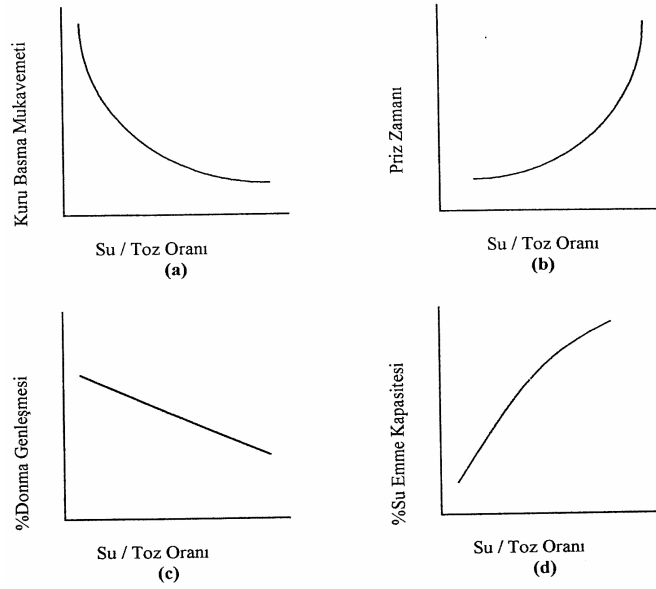
6.2.3 Su/Toz Oranı

Kalsine jipsten hazırlanan kalıp alçısının kalitesini etkileyen en önemli faktör karışımın hazırlanma sırasında kullanılan su/alçı oranıdır. Su/alçı oranındaki farklılıklar mukavemeti, absorpsiyonu, uygulama sırasındaki görülen genleşmeyi ve kalıbın iç yapısını etkiler. (İşıtman

ve Işıkcı, 1985).

- 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 (Işıtman ve Işıkcı, 1985).

Karışımında kullanılan su miktarı değiştikçe mukavemet ve absorbsiyon 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 absorbsiyon miktarı da bununla orantılı olarak değişir. Boşluk hacmi arttıkça alçı kalıbın görünen yoğunluğu azalır. (Ünlüer, 2001)



Şekil 6.3 Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, %donma genleşmesi ve %su emme kapasitesinin değişimi (Işıtman, 1985)

Aynı şekilde basma ve çekme mukavemeti de bu oranda azalacaktır. Çünkü verilen herhangi bir kesitteki alçı kristalleri bu oranda azalmış olacaktır. Benzer biçimde kullanılan su miktarı arttıkça kalıbın verilen bir yüzeyindeki veya kesitindeki alçı kristallerinin azalacağından

alçının karşı karşıya kalacağı aktif yüzey azalacak ve böylece kalıbın çarpma ve şok direnci düşerken aşınma oranı artacaktır (Ünlüer, 2001).

Alçı kalıptaki gözeneklilik çamurun şekillendirilmesi için gerekli emicilik özelliğini sağlar. Ancak bu oran belli bir miktarda olmalıdır. Fazla su ile hazırlanan alçının sertliği ve dayaklılığı azalır ve kalıp kolayca kırılır. (Ünlüer, 2001)

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 çaplarında 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. (Mahir, 1996)

6.3 Islatmanın Etkisi

Yarı hidrat partikülleri bir hava tabakası ile sarılmıştır. Bu hava tabakası ıslatma boyunca uzaklaştırılır. Islatma işlemi alçının su içerisine serpilmesi ile yapılır. (Ünlüer, 2001).

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 çökelmeyi hızlandıran ince partiküllü yarı hidratın varlığıdır. Bu partiküllerin iri taneli olması istenir. (Ünlüer, 2001)

En iyi karıştırma için bütün yarı hidrat partiküllerinin su içinde tamamen dağıtılması gerekir. Islatma süresinin kısaltılması, karıştırma süresinin etkisine negatif yönde etki eder. Eğer her durum için uygulanabilirse toz ile iyi ıslatma özellikleri su içerisinde yavaşça çökme

meydana gelecektir. Genellikle ıslatma özellikleri su içerisinde yavaşça çökelme meydana gelecektir. Çoğunlukla ıslatma işlemi tozun dökümünden 3-4 dakika sonra tamamlanır. (Ünlüer, 2001)

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 dağıtılması zordur. Ters durumda yani ıslatılması zor olan alçıda bütün partiküllerin ıslatılması için ıslatma süresinin uzatılması gerekir. Bu da kalıp üretim hızını düşürür. (Kaya, 2000)

6.4 Karıştırmanın Etkisi

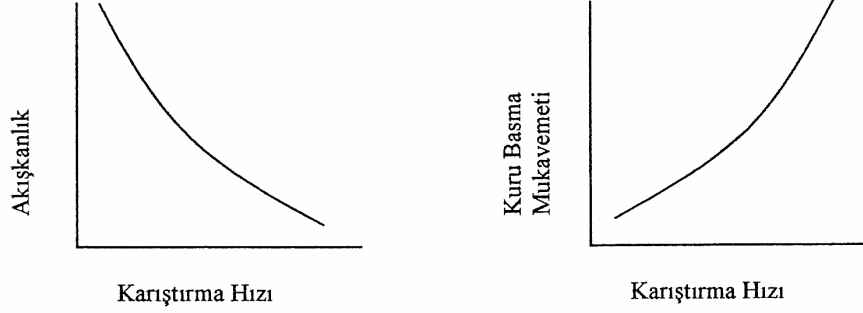
Karıştırma işlemi boyunca toz, su içinde dağıtılmalıdır. Uygun karıştırma, su içindeki yarı hidrat partiküllerini dağıtır ve çözeltide kalmış havayı uzaklaştırır. Alçı kalıpların mukavemeti kısmi olarak karıştırma işlemi tarafından belirlenir. (Ünlüer, 2001)

6.4.1 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 ulaşılacak en yüksek değeri vermeyecektir. Çok hızlı karışırmalarda 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. (Ünlüer, 2001)

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. (Ünlüer, 2001)



Şekil 6.4 Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlık ve mukavemet değişimi. (Işıtman, 1985)

Toz/su karışımı çok iyi karıştırılmalıdır. Alçının farklı bölgelerde farklı hızla emici olması kalıba döküm yapılarak elde edilen ürünün her yerinin farklı kalınlıkta olmasına sebebiyet verir. Bu da ürünün deforme olmasına ve çatlamasına neden olmaktadır. (Işıtman ve Işıkcı, 1985)

6.4.2 Karıştırma Zamanı

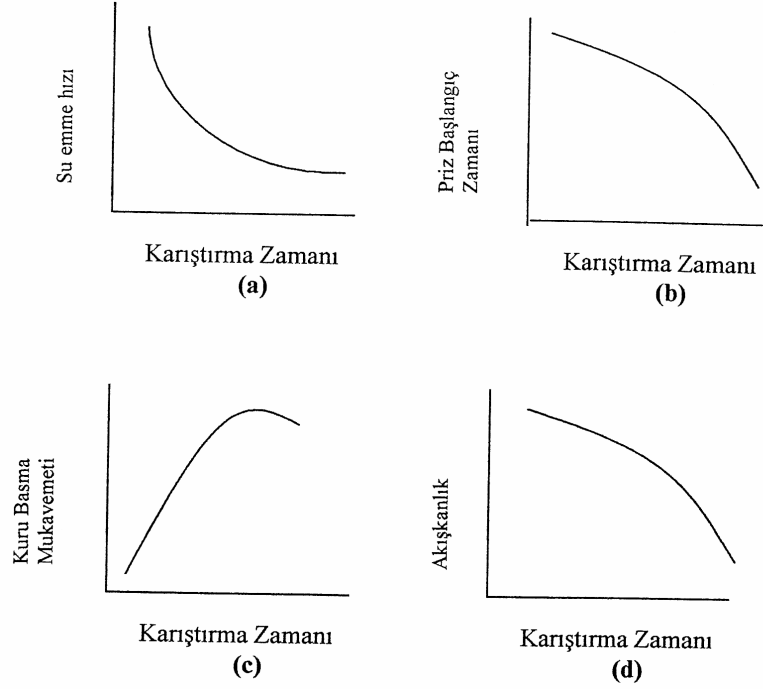
Karıştırma hızı ve zamanı iç içe iki kavram olmasına rağmen, karıştırma zamanının etkisi ayrı olarak ve daha derinlemesine incelenmiştir. Bu seçime işletmelerdeki mevcut sistemlerin yenilenmesine göre karıştırma zamanının değiştirilmesinin daha kolay olması neden olmuştur. Yapılan bazı araştırmalarda karıştırma zamanının ne kadar arttırılabileceği ve bunun harcın ve kalıpların özelliklerini nasıl etkileyeceği tespit edilmiştir. (Kaya, 2000)

Karıştırma zamanı artırıldığında;

- Su emme hızının azaldığı,
- Priz başlangıç zamanın kısaldığı,
- Mukavemetin artarak bir maksimuma ulaştıktan sonra priz almaya başlamış alçının karıştırılmaya devam edilmesi durumunda mukavemetin azalmaya başladığı,
- Yayılma çapını düştüğü görülür. (Ünlüer, 2001)

Toz su ile karıştırıldığında, karışım sıvı gibidir. Bu karakter zamanla önce jelimsi daha sonra da sertleşerek katı hal alır. Karıştırmanın kremsi 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 karıştırmadan 10-15 kat daha verimli bir yapı oluşturulur. (Ünlüer, 2001)

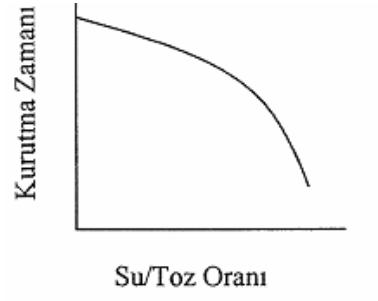
Eğer karıştırma, karışım katılaşmaya başladığı noktaya kadar sürerse elde edilen kalıbın mukavemeti düşebilir. Çünkü bu noktada hızlı kristal oluşumları başlar ve devam eden karıştırma bu kristalleri kırarak mukavemeti azaltabilir. Verilen su/toz oranındaki karışımdan elde edilebilecek olası en büyük mukavemet değeri harmanlanmış karışımdaki 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. (Ünlüer, 2001)



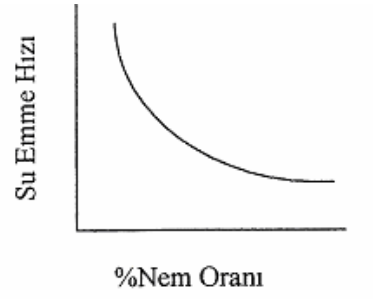
Şekil 6.5 Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi. (Işıtman, 1985)

6.5 Kurutmanın Etkisi

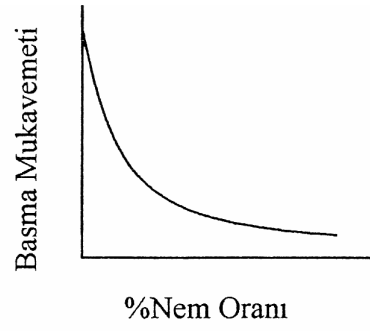
Bütün kalıplardan aynı sonuçları fiziksel özellikleri elde etmek için kalıplar uygun bir şekilde kurutulmalıdır. Kurutma, kalıptan fazla suyun uzaklaştırılması için yapılır. Bu da döküm çamurundan suyun etkili bir biçimde uzaklaşmasını sağlar. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma kalıbın kalsinasyonuna, 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 su/toz oranı azaldıkça kurutmanın zorlaştığı görülmüştür (Şekil 6.6). Kalıpların içerdikleri nem oranı azaldıkça su emme hızlarının ve kalıp mukavemetinin arttığı bulunmuştur (Şekil 6,7 ve Şekil 6.8). (Ünlüer, 2001)



Şekil 6.6 Su/toz oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi. (Işıtman, 1985)



Şekil 6.7 Nem oranına bağlı olarak su emme hızının değişimi. (Işıtman, 1985)



Şekil 6.8 Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi. (Işıtman, 1985)

7. SIZMA VE SEGREGASYON

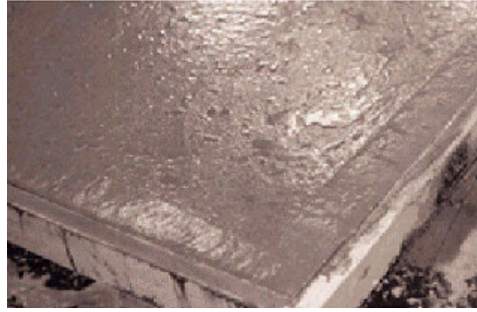
Dökülebilir seramiklerde segregasyon oluşumu, dökümden sertleşmeye kadar olan süre içerisinde, kullanılan malzemelerin farklı partikül boyutu ve yoğunluklarının neden olduğu farklı çökme eğilimlerinden kaynaklanır. Çökme oranı Stoken Kanunu (eşitliği) ile açıklanır.

$$V = \frac{2gr^2(\rho - \sigma)}{9\eta} \quad (7.1)$$

V batma hızı, r küresel partikülün yarı çapı, g yer çekimi ivmesi, η sıvının viskozitesi ρ akışkanın yoğunluğu, σ katının yoğunluğudur.

Dereceli hassas döküm kalıpları bir çok özellikleri bakımından betonlara benzemektedir. Bu nedenle sızma ve segregasyon oluşumu davranışının anlaşılabilmesi için betonların incelenmesinde fayda vardır.

Beton döküldüğü zaman su yüzeye yükselir veya sızar. Bu durum sızma olarak adlandırılır. Bu fenomenin sebebi karışımdaki katı partiküllerin çökerken tüm suyu tutamamasıdır. Sızma, yeni dökülmüş betonun üst yüzeyinde bir su tabakasının oluşmasıdır. Bu olay, katı partiküllerin (çimento ve agrega) çökmesi ve suyun üst tarafa doğru yükselmesi ile meydana gelir. Sızma normaldir ve çoğu zaman betonun kalitesinin azalmasına neden olmaz. Bazı durumlarda sızma plastik büzülme kırılmalarının kontrolüne yardımcı olur. Ancak aşırı miktarda sızma plastik büzülmelere ve kırılmalara yol açar. (Topçu ve Elgün, 2004)



Şekil 7.1 Yeni dökülmüş betonun üst yüzeyinde görülen su sızması. [3]

Araştırmalar sırasında yüksek çimento içeriğine sahip betonlarda sızmanın azaldığı görülmüştür. Ayrıca silika dumanı, yüksek fırın curufu ve uçucu kül kullanımı sızmayı azaltmaktadır. Taze (yeni) dökülmüş betonda çok fazla sızma meydana gelirse yüzeyde çeşitli sızma kanalları ve gözenekleri oluşur. Az miktarda sızma ile güçlü yüzeyler elde edildiği bir gerçektir. Agrega tipi ve boyutu da sızma üzerinde etkilidir. Yüksek miktarda ince boyutlu malzeme kullanmak beton karışımının kararlılığını azaltmaktadır. Ancak gerekli çalışabilirliği

sağlamak için kullanılan su miktarının arttırılması ise sızmayı arttırmaktadır. (Topçu ve Elgün, 2004)

Aşırı derecede sızma betonun üst yüzey bölgesinde su/çimento oranının artmasına neden olur. Bazı nihai işlemler söz konusu olduğunda sızan su bulunduğu sürece üst yüzey çok zayıf ve dayanıksızdır. Erken bitirilmiş yüzey altında bir su cebi meydana gelir. Sızan suyun tamamı buharlaştıktan sonra sertleşen yüzey, yeni dökülmüş yüzeyden daha düşük seviyededir (yüzey çökmesi). Dökümden ilk sertleşmeye kadar olan bu hacimde veya dikey boyutta olan düşüş sertleşme büzülmesi olarak adlandırılır. [3]

Sızma oranı ve kapasitesi ilk su içeriği, beton yüksekliği ve basıncı ile artar. Özel agregatlar, kimyasal katkılar, destek çimento malzemeleri ve ince öğütülmüş çimento kullanılması sızmayı azaltır. Beton boşlukları doldurur, destek sağlar ve iyi bağlanma gerçekleşirse sızma az olur ve su cepleri oluşmaz. (Ravindarajah, 2003)

Betonlarda görülen sızma ve segregasyon benzer şekilde dereceli hassas döküm kalıplarında da görülmektedir. Meydana gelen sızma ve segregasyon kalıpların refrakterlik özelliğini etkilemektedir. Segregasyon nedeniyle homojen bir refrakterliğe sahip olamayan kalıplar, çeşitli döküm hatalarına neden olmaktadır.

7.1 Silika Dumanı

Silika dumanı betonlarda kısmen portland çimentosu yerine kullanılır ve faydalı bir ilave malzeme olduğu kanıtlanmıştır. Silika dumanı ferrosilis alaşımlarının üretimi esnasında elektrik ark ocağında yüksek saflıktaki kuartzın kömür veya kok ve odun parçacıkları ile indirgenmesiyle elde edilir. Silika dumanı ocaktan çıkan gazlardan yoğunlaşır ve yüksek oranda amorf silisyum dioksit içerir ve çok ince küresel parçacıklardan oluşur. Bu malzemenin betonlardaki görünen etkisi genişleme sağlayan silika alkali reaksiyonlarını azaltmasıdır. (Ansari vd., 2000)

Yapılan testlerin sonuçlarına göre artan silika dumanı oranıyla genişleme azalmaktadır. Maksimum %0,1 genişleme için %10 silika dumanı yeterlidir. Yeni (taze) betonun özellikleri üzerindeki esas etkisi sızmayı azaltmasıdır. Kohezyonu artırır ve segregasyon eğilimini azaltır. Bununla beraber silika dumanı kullanımı betonun birim ağırlığını değiştirmez. Silika dumanı sertleşmiş betonun özellikleri üzerinde düşük geçirgenlik sağlaması ve uzun periyotlu dayanıklılığı arttırması şeklinde etkilidir. %10-20 arasında değişen silika dumanı oranlarıyla yapılan testlerde oldukça iyi mekanik özellikler elde edilmiştir. (Ansari vd., 2000)

7.2 Yüksek Fırın Curufu

Yüksek fırın curufu yüksek fırında pik demir üretimi sırasında elde edilir. Eriyik curufun hızlı soğuması gizli hidrolik bir özelliğe sahip camsı granül bir malzemenin oluşmasıyla sonuçlanır. Yüksek fırın curufu betonlarda bir yapı elemanı veya agregat olarak kullanılır. Granüller portlant çimentosu inceliğinde öğütüldüğü zaman bu malzemeye öğütülmüş granül yüksek fırın curufu denilir. (Ground Granulated Blast Furnace Slag, GGBS)

Araştırmaların belirttiğine göre normal sıcaklıkta portland çimentosu ile yüksek fırın curufundan oluşan karışımın hidratasyonu iki aşamada gerçekleşen bir reaksiyondur. İlk olarak etkili reaksiyon alkali hidroksit ile olanıdır. Daha sonra ise kalsiyum hidroksit ile olan reaksiyon baskın hale gelir. Portland çimentosu yerine kısmen yüksek fırın curufu kullanılması betonun genişleme potansiyelini alkali-silika reaktivitesine bağlı olarak azaltır. Curuf içeriği %40-65 olduğu durumlarda genişleme tamamen ortadan kaldırılabilir. Bir çok durumda yüksek fırın curufu %25-70 arasında kullanılır. (Ansari vd., 2000)

7.3 Uçucu Kül

Uçucu kül kömürle çalışan enerji santrallerinde elde edilir ve faydalı bazı özellikleri nedeniyle betonlarda kullanılır. Bu özellikler ile uçucu kül portland çimentosuyla birlikte kullanıldığında betonun mukavemet ve dayanıklılık değerlerini artırır. Uçucu kül kullanmanın diğer önemli bir sebebi ise ekonomik olması ve yeni dökülmüş ve sertleşmiş betonun özelliklerinde faydalı modifikasyonlar yapılabilmesini sağlamasıdır. Uçucu kül ilk ve son sertleşmenin her ikisinin de süresini uzatır. Uçucu külün ince ve yuvarlak taneli olması betonun kohezyonunu artırır. (Ansari vd., 2000)

Uçucu külün F ve C olmak üzere iki tipi vardır. F tipi uçucu kül düşük kalsiyumludur, yüksek oranda silikat camı ve kristalin fazda mullit, manyezit ve kuartz içerir, düşük reaktiviteye sahiptir. C tipi ise aktif bir bileşiktir. Kalsiyum alümina-silikat camı içerir. Optimum bir ekonomi için F tipi uçucu kül %15-20 arası C tipi uçucu kül de %15-35 arası kullanılır. Uçucu külün şekli inceliği, tane boyutu dağılımı, yoğunluğu ve bileşimi yeni (taze), sertleşmemiş ve sertleşmiş betonun özellikleri üzerinde çok etkilidir. Uçucu kül kullanımı geçirgenliği azaltır. Yeterli miktarda uçucu kül ilavesi agrega reaksiyonlarını ve zararlı genişlemeyi azaltır. (Ansari vd., 2000)

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Deney Programı

Antioch yöntemiyle hazırlanan alçı ve dereceli hassas kalıp döküm kalıplarında, olası sızma ve segregasyonun azaltılmasına yönelik deneysel çalışmalarımız şunlardır;

- Akışkanlık Deneyi
- Numune Dökümü
- Sertlik Taraması
- Ultrasonik Ölçüm

8.2 Akışkanlık Deneyi

Akışkanlık deneyinde halka çapı testi yapılmıştır. Bu deney sayesinde kalıp malzemelerinin akışkanlıkları hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Akışkanlık deneyinde; öncelikle 100 gr. toz karışımı için uygun oranlara sahip bir toz kompozisyonu seçilir. Bu kompozisyon genel olarak %25-27 alçı, % 30-32 kuartz ve % 40 kristobalit içermektedir. Bu temel kalıp malzemelerinin yanında, uygun bileşimi sağlamak için kontrol ilaveleri de belirli oranlarda seçilir. Deneylerde kullandığımız silika esaslı kuartz ve kristobalit kodları ve ortalama tane boyutları çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Silika esaslı malzemelerin ortalama tane boyutları.

Malzeme	Ortalama Tane Boyutu (µm)
Kuartz P	5,64
Kuartz K	4.95
M10	22
M006	35
M0010	29
M3000	10
M6000	3

Belirli oranlarda seçilen kompozisyonu oluşturan her malzeme hassas terazi ile tartılır ve bir kap içerisine konur. Bileşim tamamlandığında kabın içine 4 adet Ø1.5 x 1.5 cm. ebadında küçük alümina bilyeler koyulur. Bileşimin homojen olarak karışımı için kap değirmene yerleştirilir. Bir saat süreyle karıştırılan toz bileşiminden bilyeler ayıklanır. Daha sonra elimizdeki 100 gr.lık toz bileşimi için standart olarak 38 ml. su hazırlanır ve içi kuru, temiz bir plastik behere alınır. Bunun yanında bir terazi üzerine temiz bir cam konulur ve camın üzerine de pirinçten yapılmış çapı yaklaşık 35 mm, yüksekliği ise 60 mm olan bir halka konur. Karıştırıcı çalıştırılıp kronometre başlatılır. Su içine yavaş yavaş toz bileşimi ilave edilir. Toz bileşimi yaklaşık olarak bir dakika içinde behere boşaltılır ve daha sonra iki dakika daha karıştırma işlemine devam edilir. Üç dakikalık karıştırma süresi tüm çalışmalarda sabit tutulmuştur.



Şekil 8.1 Akışkanlık testinde kullanılan halka ve karışımın dökümü.

Üç dakika sonunda hazırladığımız karışım; pirinç halkanın içine, terazide 94 gr. okunana kadar taşırmadan dökülür. Tüm çalışmalarda bu miktar sabit tutulmuştur. Kronometre beşinci dakikayı gösterdiğinde halka belli bir yükseklikte kaldırılır. Karışım cam üzerinde belli bir çapta yayılır. Süre ilerledikçe cam üzerindeki karışım kenarlardan merkeze doğru sertleşmeye başlar. Sertleşme süresi yapılan tüm deneylerde kaydedilmiştir ve bu süre genellikle 13-20 dakika arasında olmuştur. Set time olarak adlandırılan bu sertleşme süresi standart olarak 15 dakika kabul edilmektedir.



Şekil 8.2 Çapı ölçülecek numune.

Sertleşmiş karışımın halka çapı ölçülerek deney sonlandırılır. Deney standartlarına göre ideal halka çapı 11,5 cm kabul edilmektedir. Deneylerde bu çapa ulaşmak için toz bileşiminde birçok optimizasyon yapılmıştır.

8.3 Numune Dökümü ve Sertlik Taraması

Optimize edilerek hazırlanmış karışımlardan 210 x 30 x 30 ebatlarında numuneler dökülmüş ve bu numunelerin sertlikleri belirli mesafelerle ölçülerek, sertlik değişimleri incelenmiştir. Bu değişimler malzeme bünyesinde sızma ve segregasyon oluşumunun ispatı niteliğindedir.

Kullanılan toz malzemelerin ana yapısını alçı, kuartz, kristobalit, oluşturmaktadır. Bunların yanında bağlayıcı özelliği olan ve çökmeyi engelleyen bazı kontrol ilaveleri kullanılmıştır. Kontrol ilaveleri çok küçük miktarda kullanılmasına rağmen karışımın özellikleri üzerinde çok etkilidir. Bu ilaveler genel olarak karışımın özelliklerini şu şekilde değiştirmektedir :

- Su oranını değiştirmeden işlenebilirliği arttırmak
- İşlenebilirliği değiştirmeden su oranını azaltmak
- Bileşimi etkilemek
- Katılaşma (sertleşme) süresini ayarlamak
- Segregasyon ve/veya sızıntıyı azaltmak
- Suyun çekilme özelliğini arttırmak
- Dayanım gelişim süresini hızlandırmak
- Mukavemeti arttırmak ve geçirgenliği azaltmak
- Kalıbın toplam maliyetini azaltmak
- Zayıf agrega özelliklerini dengelemek.

Deneyleerde kullanılan numuneler silikon bir kalıba dökölerek elde edilmiştir. Bu kalıp şekil 8.3’de ve bu kalıba dökölmiş bir numune şekil 8.4’de görölmeğtedir.



Şekil 8.3 Deney numunelerinin dökölldüğü silikon kalıp.



Şekil 8.4 Deney numunesi.

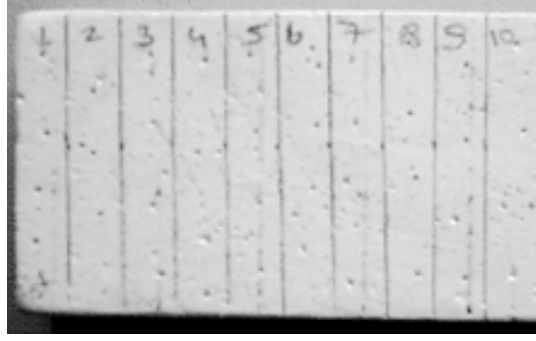
Numune hazırlarken ilk olarak daha önce akma çapı deneyleleri ile akışkanlığı ve sertleşme süresi optimize edilen bir karışımđan 260g tartılır. Bu karışım plastik bir kaba 10 adet alümina bilye ile birlikte doldurulur. Değirmende 1 saat karıştırılır. Toz malzeme değirmende karışırken silikon kalıp döküme hazırlanır. Kalıp bir cam üstünde titreşim makinesinin üzerine yerleştirilir. Destek tahtaları iki yanda kalıba bağlanır. Sızmayı engellemek için kalıbın tabanına silikon veya benzeri bir malzeme konur. Kalıbın tabanı açık olduğundan başarılı bir döküm yapabilmek için sızdırmazlık mutlaka sağlanmalıdır.

Toz karışımı seramik bilyeler çıkartılarak tartılır ve buna göre kullanılacak su miktarı belirlenir ve su plastik bir behere alınır. Yapılan bütün deneylelerde su oranı 38 ml. olarak sabit tutulmuştur.

Daha sonra toz karışımı yavaşça suya ilave edilerek karıştırıcıda üç dakika karıştırılır.

Hazırlanan karışım silikon kalıba yavaşça üstten doldurulur ve titreşim uygulanır. Titreşim karışım içinde oluşan gözenekleri dışarıya çıkarmak için uygulanır.

Sertleşen numune bir süre sonra kalıptan çıkartılır ve 24 saat oda koşullarında bekletilir. Numune boyunca 5mm aralıklarla enine çizgiler çizilir ve bu çizgiler üzerinde Shore-D sertlik cihazı ile sertlik ölçülür. Her çizgi üzerinde dört ölçüm yapılır ve ortalaması alınır.



Şekil 8.5 Sertlik testi uygulanmış bir numuneden yakın görünüm.



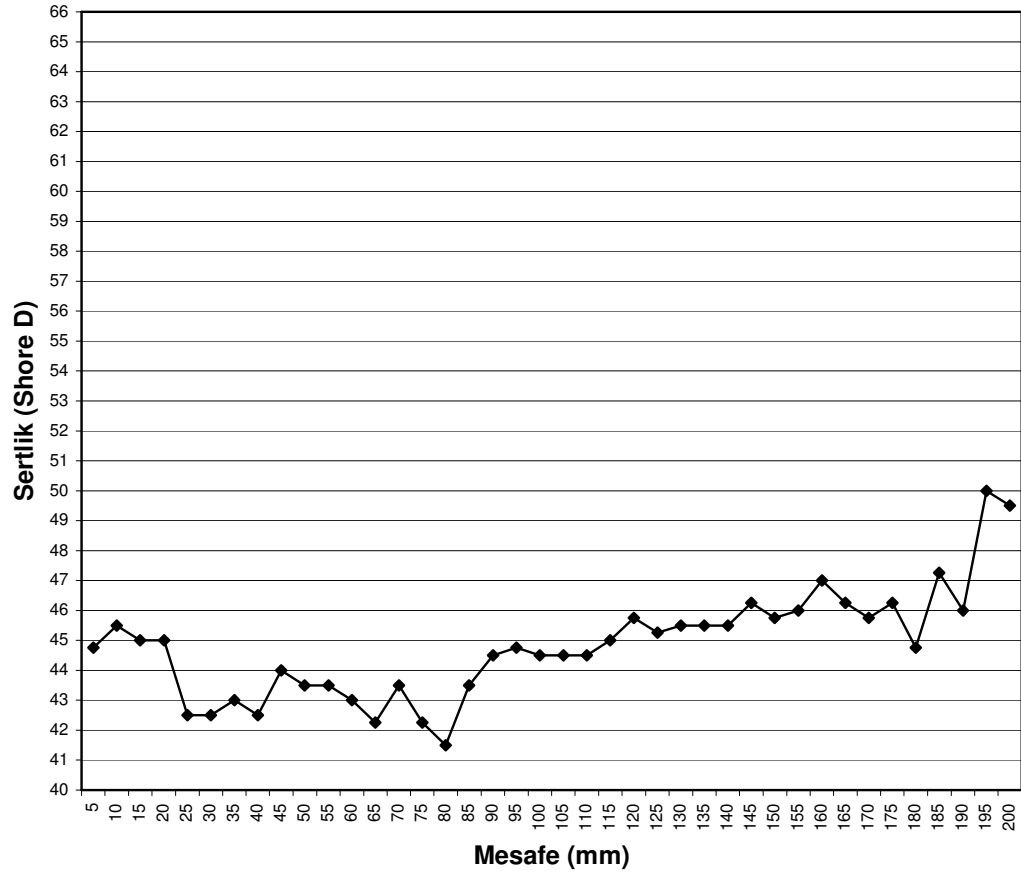
Şekil 8.6 Sertlik testi uygulanmış bir dizi numune.

Elde edilen sertlik değerleri ile numunelerin sertlik-mesafe grafikleri çizilmiştir. Sertlik değişimleri ile segregasyon ve çökelmenin olup olmadığı, olmuş ise hangi bölgelerde olduğu tespit edilmiştir.

Numune 1

Çizelge 8.2 Numune 1'in bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	21
M10	33
M0010	35
M400/500	5
M6000	5

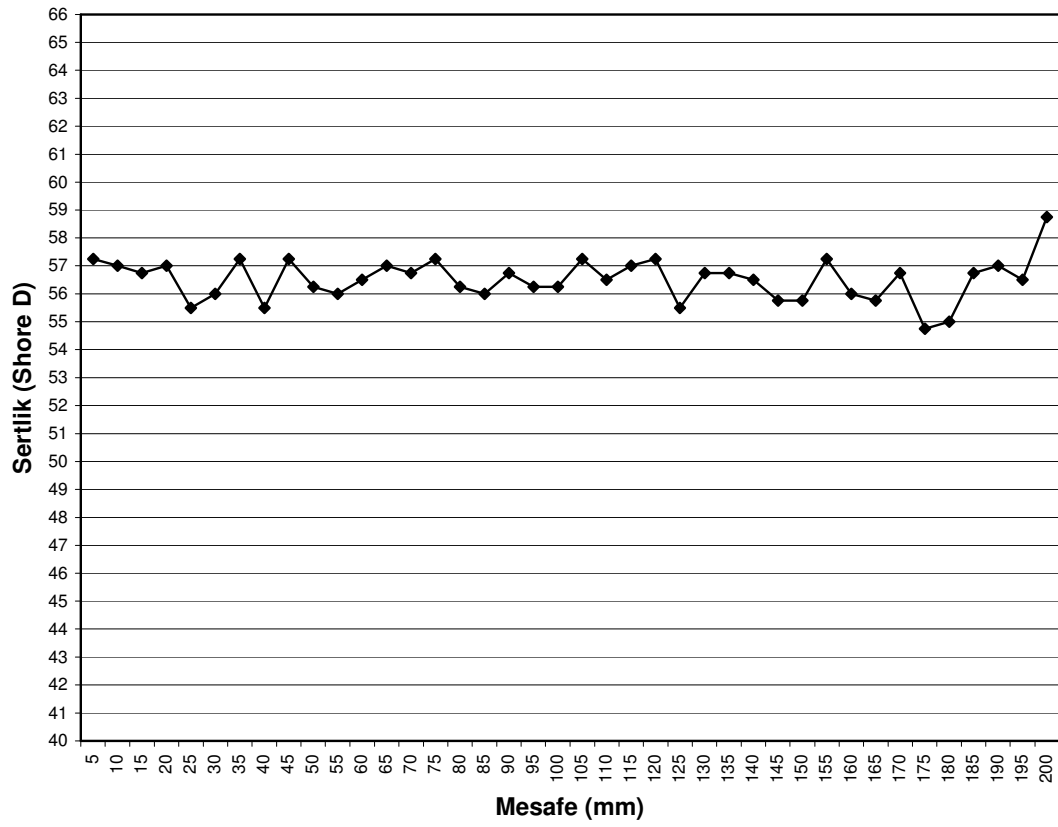


Şekil 8.7 Numune 1'in sertlik-mesafe grafiği.

Numune 2

Çizelge 8.3 Numune 2'nin bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	25
Kuartz K	36
M0010	18
M6000	18
Kurutucu	0.75

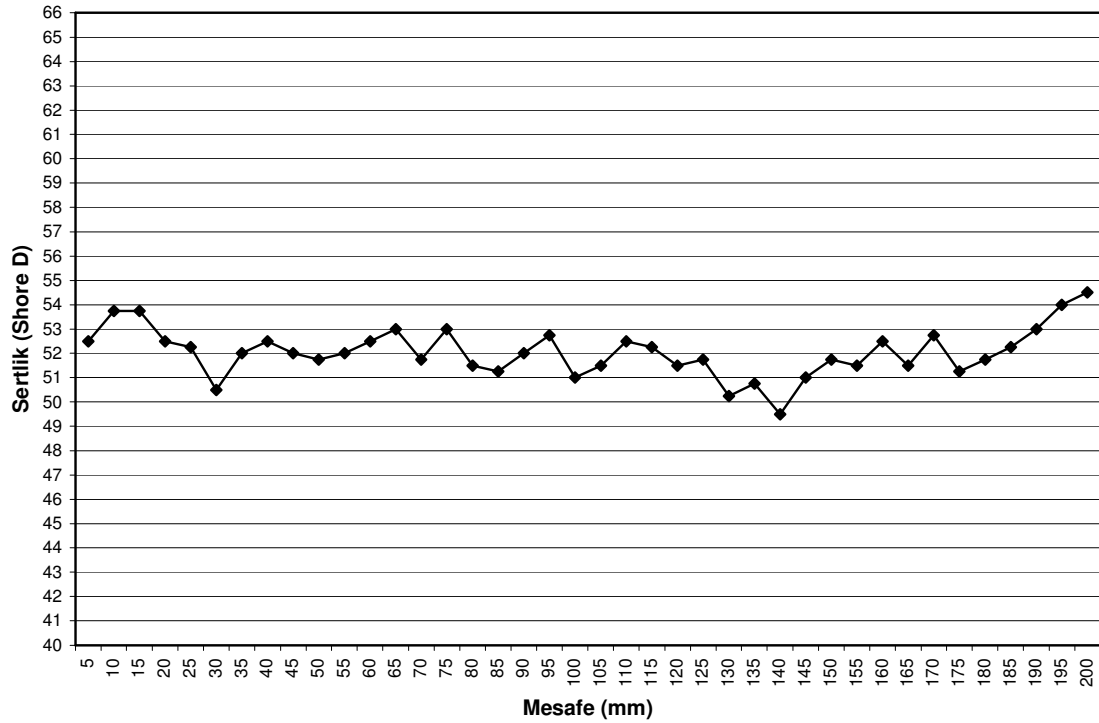


Şekil 8.8 Numune 2'nin sertlik-mesafe grafiği.

Numune 3

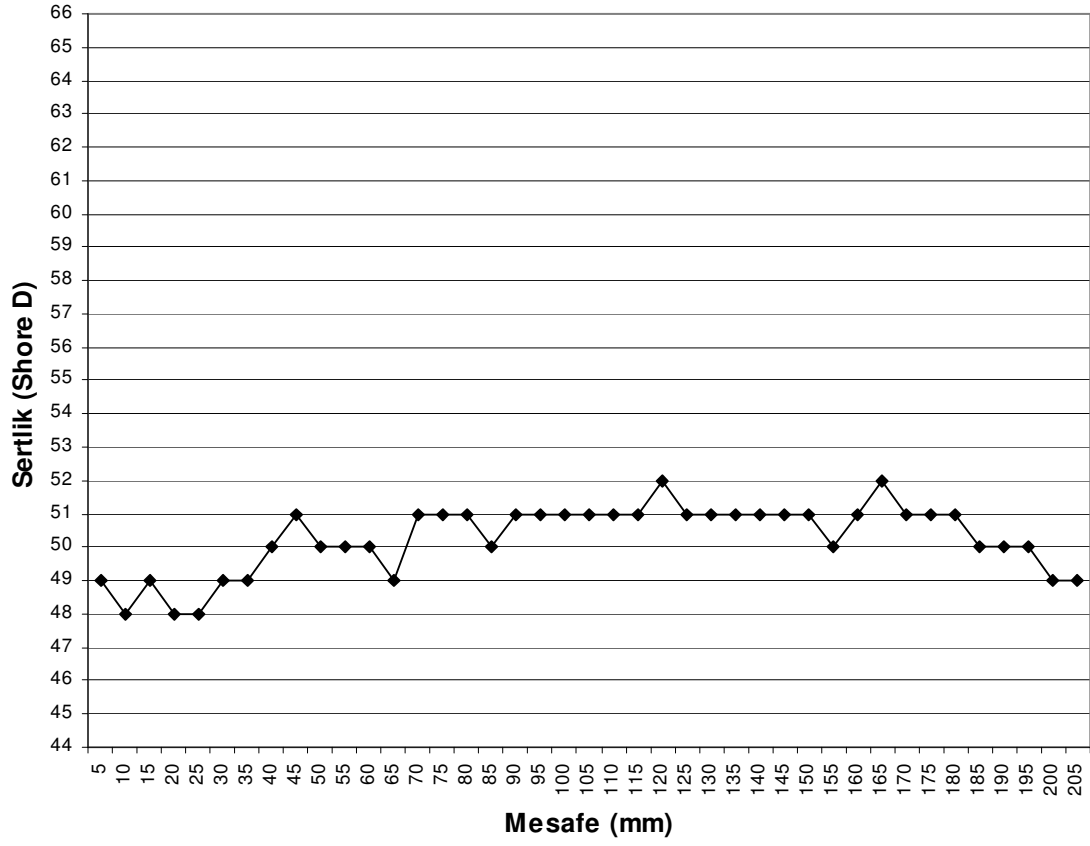
Çizelge 8.4 Numune 3'ün bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	21
M10	31
M0010	35
M400/500	5
M6000	5
Kurutucu	3



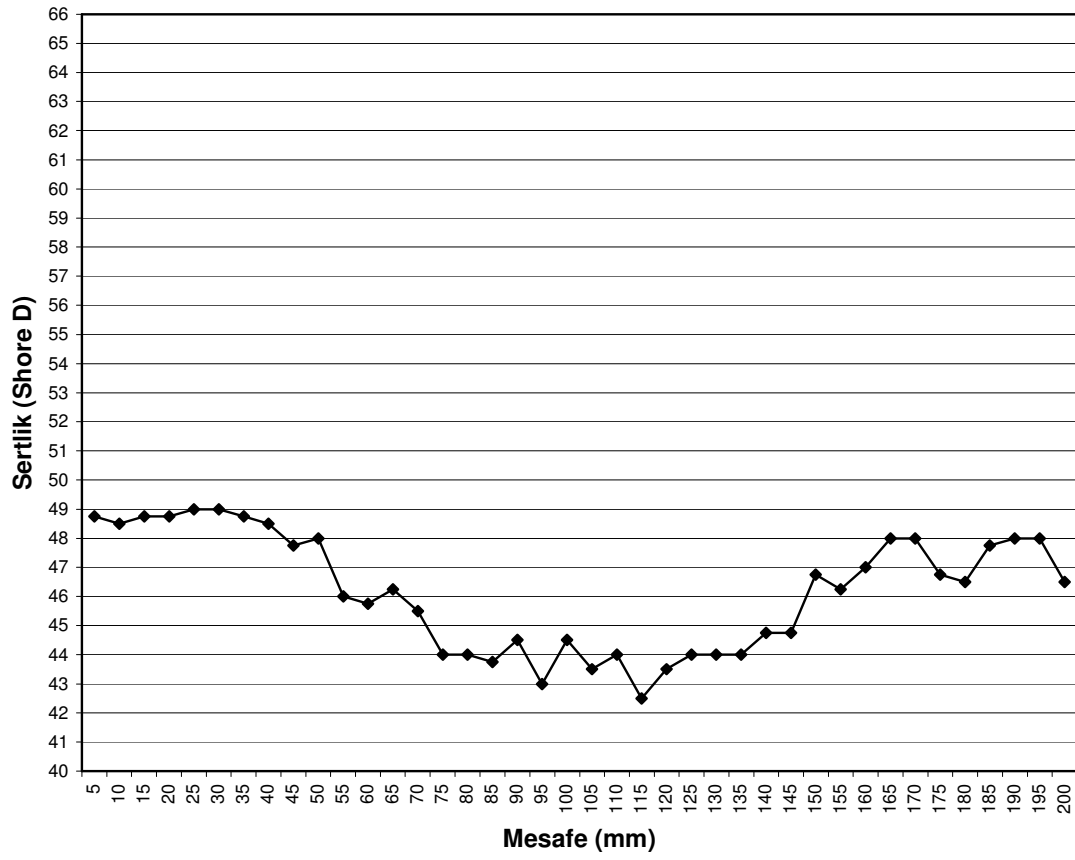
Şekil 8.9 Numune 3'ün sertlik-mesafe grafiği.

Referans numunesi (GSU)



Şekil 8.10 Referans GSU'nun sertlik-mesafe grafiği.

Referans numunesi (RNR)

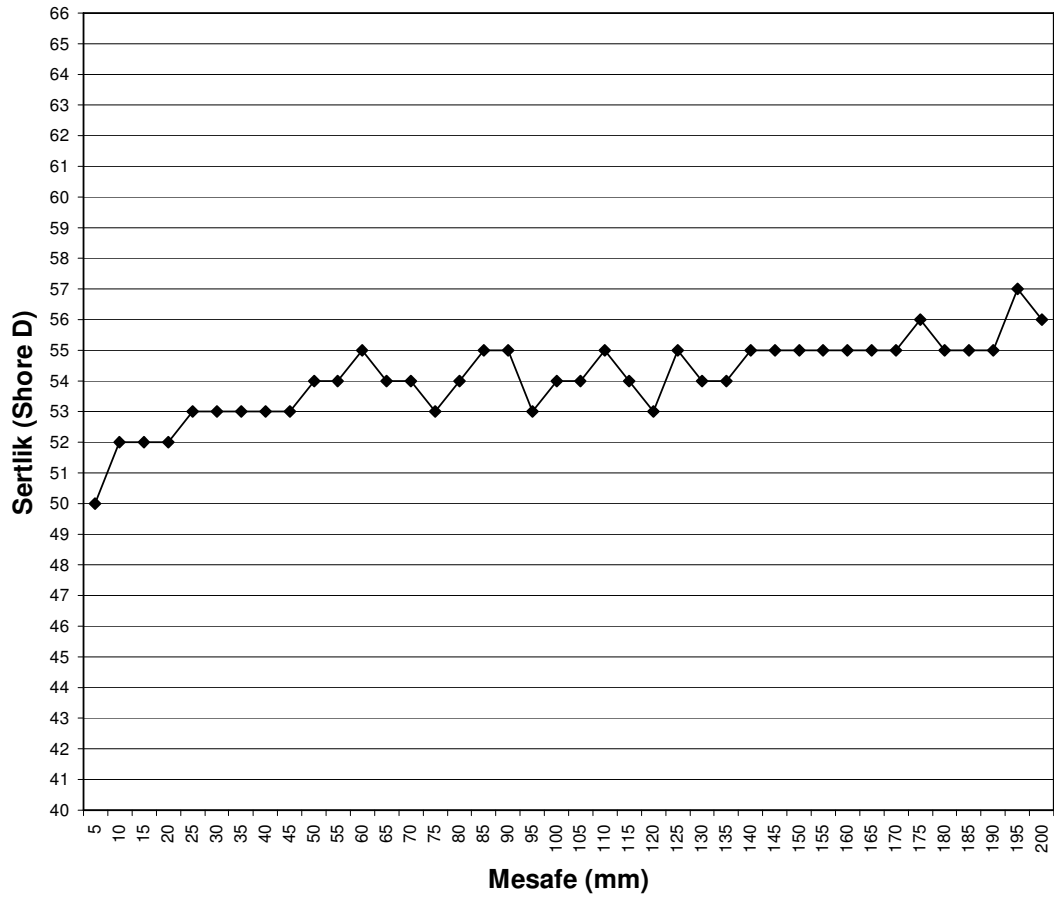


Şekil 8.11 Referans RNR'nin sertlik-mesafe grafiği.

Numune 4

Çizelge 8.5 Numune 4'ün bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	27
Kuartz P	32
M006	40

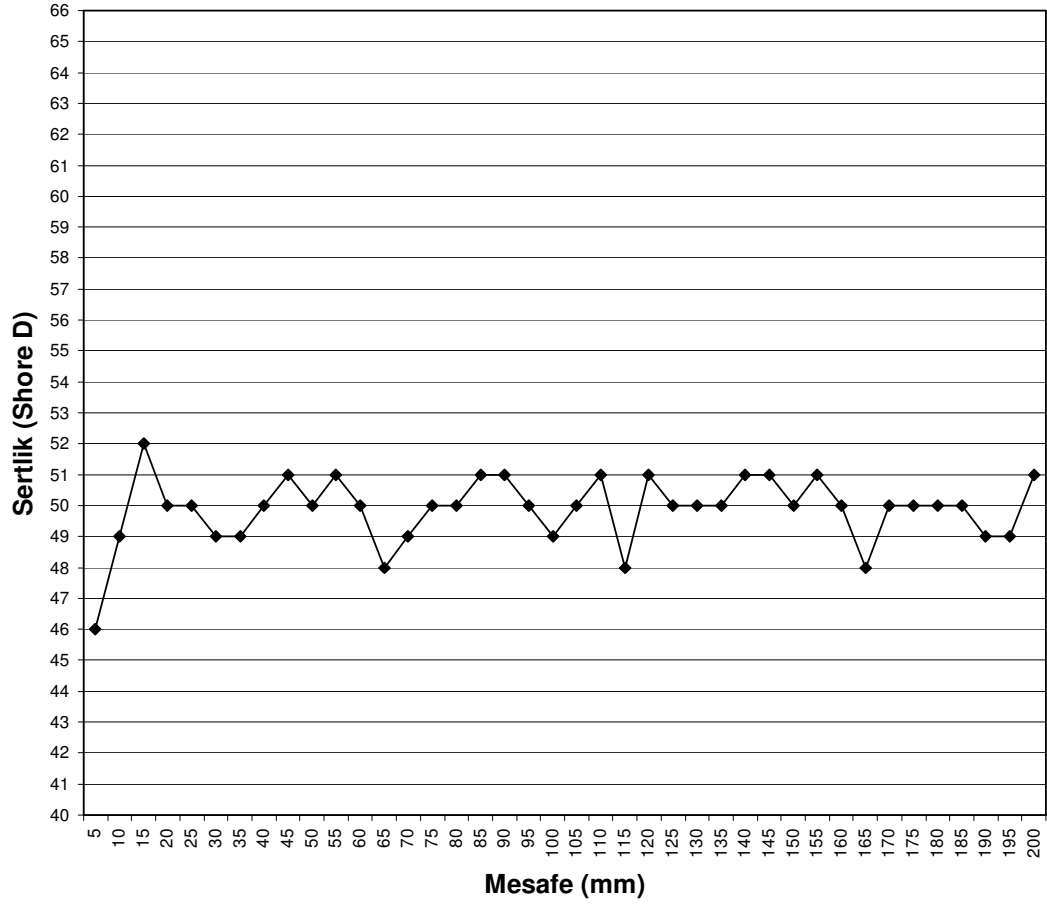


Şekil 8.12 Numune 4'ün sertlik-mesafe grafiği.

Numune 5

Çizelge 8.6 Numune 5'in bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	27
M10	31
M0010	40

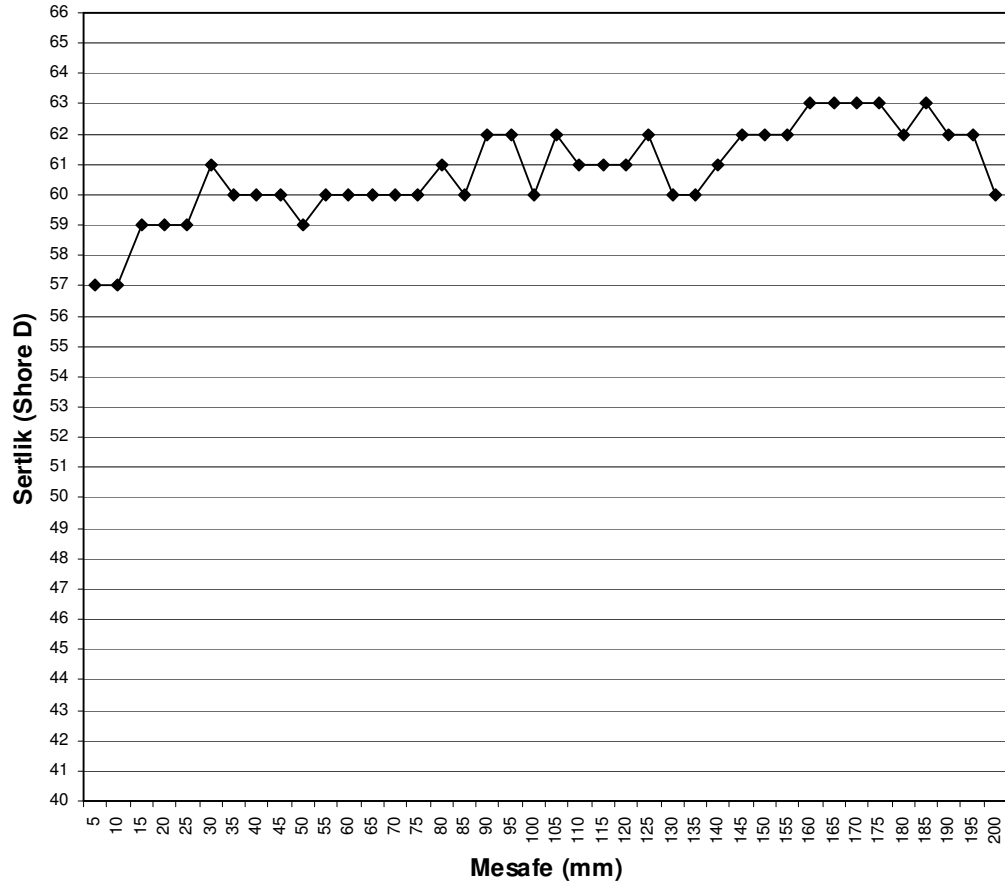


Şekil 8.13 Numune 5'in sertlik-mesafe grafiği.

Numune 6

Çizelge 8.7 Numune 6'nın bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	27
M400/500	34
M6000	40

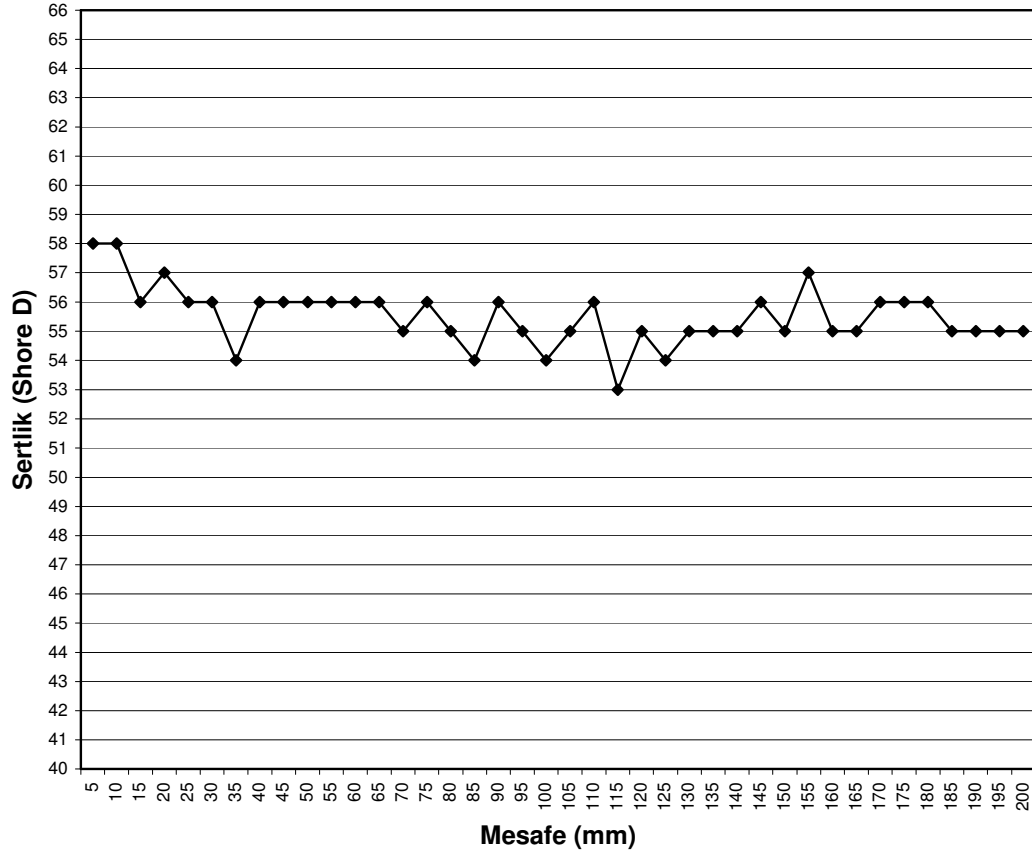


Şekil 8.14 Numune 6'nın sertlik-mesafe grafiği.

Numune 7

Çizelge 8.8 Numune 7'nin bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	27
M400/500	31
M3000	31
M6000	10
XG(K)	0.02

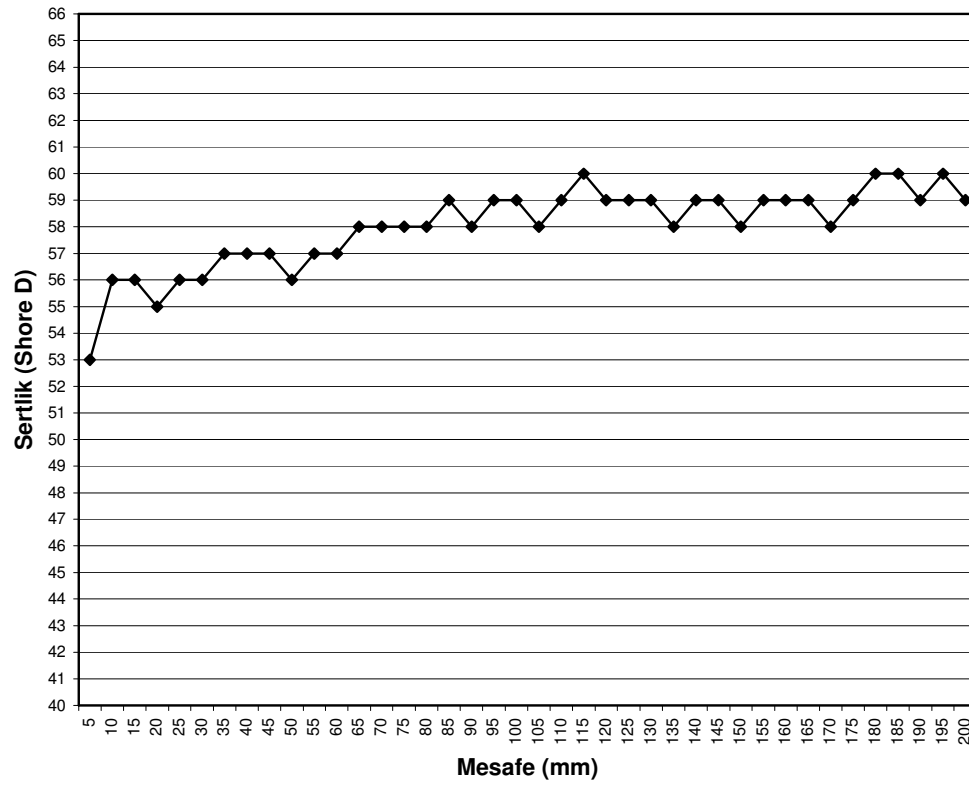


Şekil 8.15 Numune 7'nin sertlik-mesafe grafiği.

Numune 8

Çizelge 8.9 Numune 8'in bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	27
M300	26
M400/500	5
M3000	35
M6000	5
L-XLS	0.07

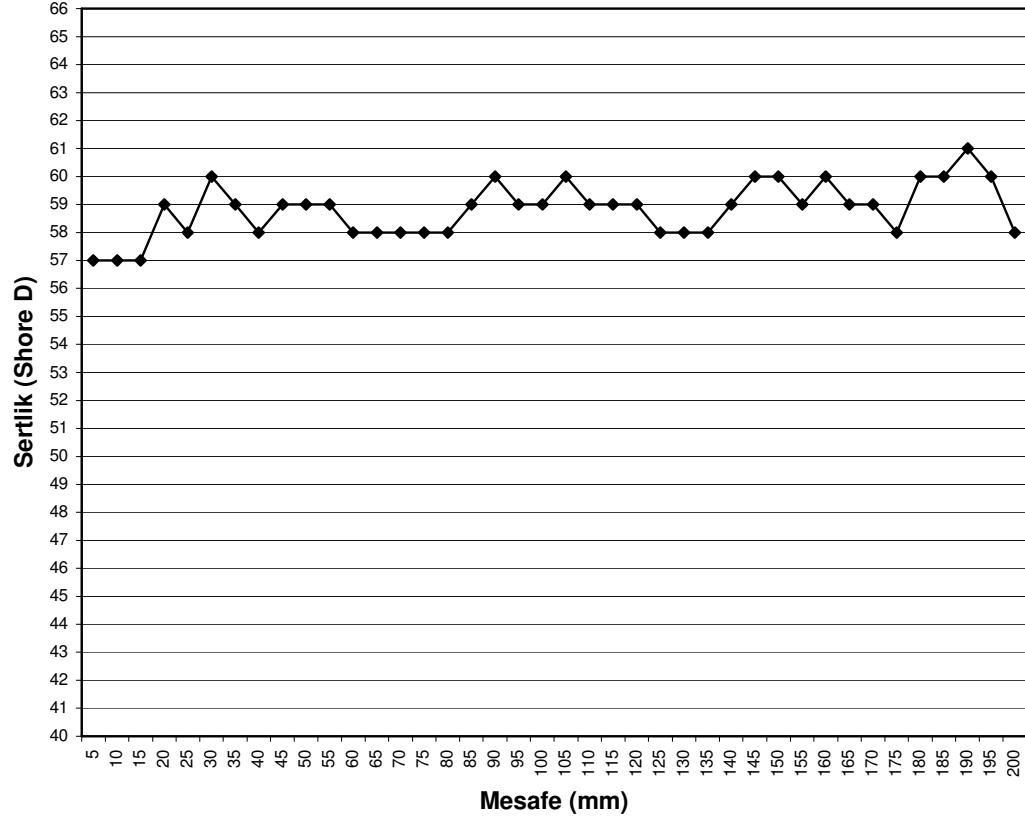


Şekil 8.16 Numune 8'in sertlik-mesafe grafiği.

Numune 9

Çizelge 8.10 Numune 9'un bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	27
M300	26
M400/500	5
M3000	35
M6000	5
L-XLG	0.07

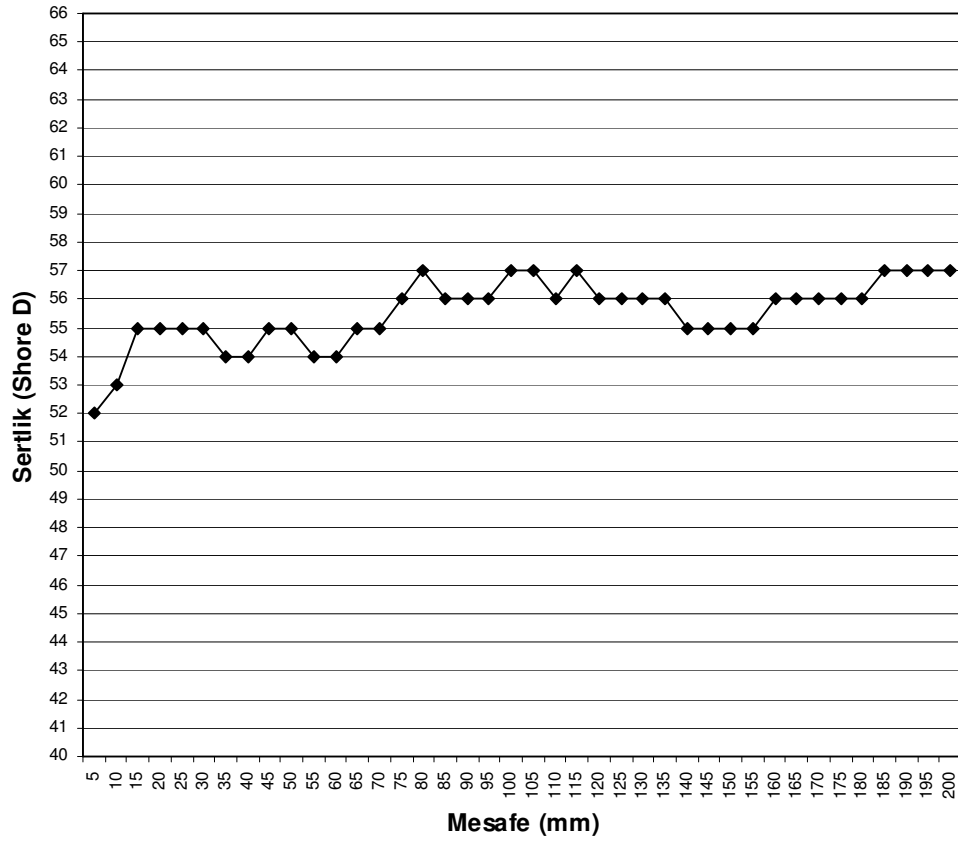


Şekil 8.17 Numune 9'un sertlik-mesafe grafiği.

Numune 10

Çizelge 8.11 Numune 10'un bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	25
M300	24
M400/500	5
M3000	35
M6000	5
M-S	4

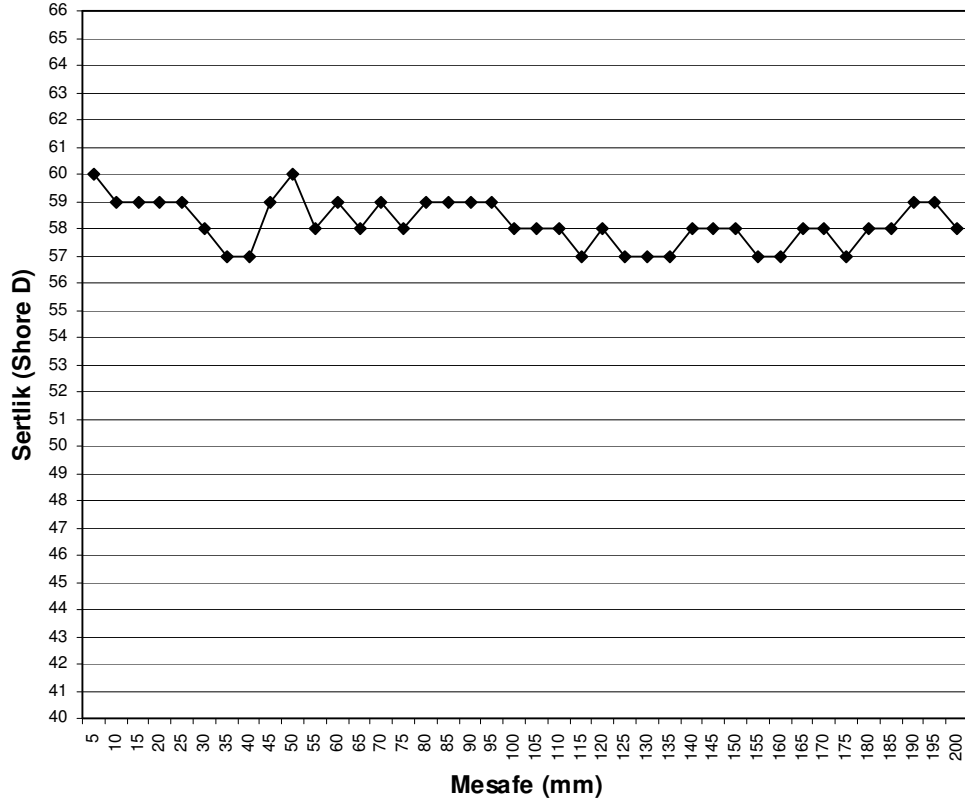


Şekil 8.18 Numune 10'un sertlik-mesafe grafiği.

Numune 11

Çizelge 8.12 Numune 11'in bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	25
M300	28
M400/500	5
M3000	35
M6000	5
Kurutucu	0.5

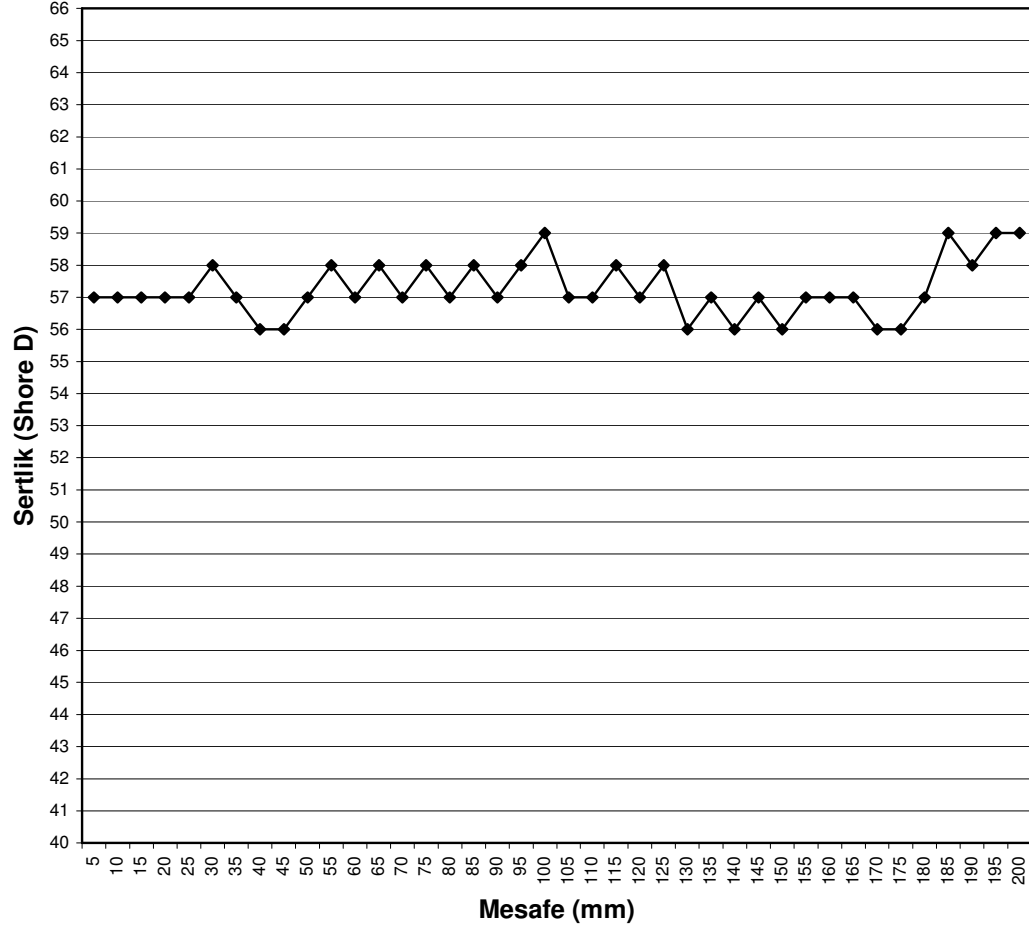


Şekil 8.19 Numune 11'in sertlik-mesafe grafiği.

Numune 12

Çizelge 8.13 Numune 12'nin bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	25
M300	29
M400/500	5
M3000	35
M6000	5

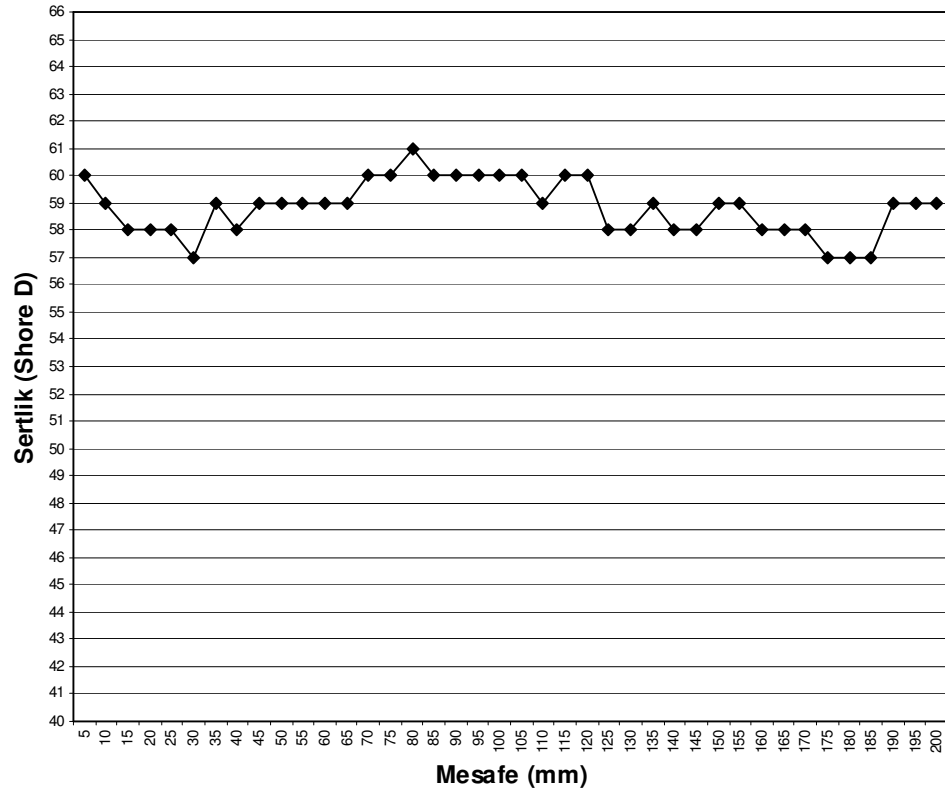


Şekil 8.20 Numune 12'nin sertlik-mesafe grafiği.

Numune 13

Çizelge 8.14 Numune 13'ün bileşimi.

Malzeme	Miktar (g) 100 g için
Alçı	23
M300	17
M400/500	15
M3000	20
M6000	20
Jel 8	4



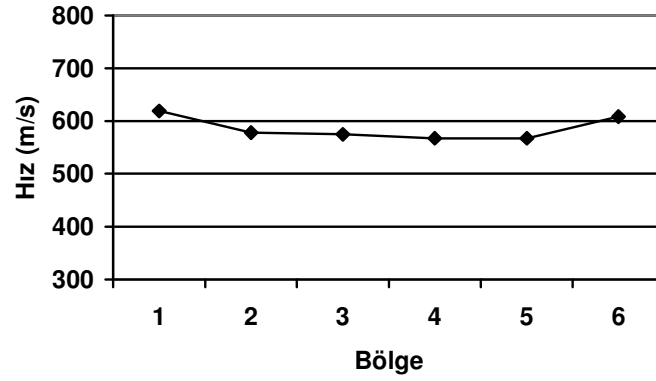
Şekil 8.21 Numune 13'ün sertlik-mesafe grafiği.

8.4 Ultrasonik Ölçümler

Sertlik ölçümleri sonucu yoğun şekilde segregasyon görülen numunelerden biri olan 1. numune ve nispeten homojen olan 2. numune üzerinde Pundit ultrasonik ölçüm cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Numunelerin en üstünden tabanına kadar eşit aralıklı altı bölgede cihaz ile süreler ölçülmüş ve her bölge için ultrasonik ses dalgasının hızı hesaplanmıştır. Elde edilen veriler çizelge 8.15 ve 8.16'da, grafikler ise şekil 8.22 ve 8.23'de görülmektedir.

Çizelge 8.15 Numune 1'de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.

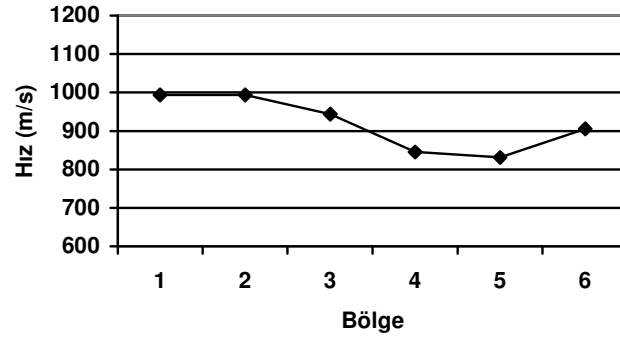
Bölge:	1 (en üst)	2	3	4	5	6 (en alt)
Hız (m/s):	619	578	574,7	567,1	567,1	608,5



Şekil 8.22 Numune 1'de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği.

Çizelge 8.16 Numune 2’de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.

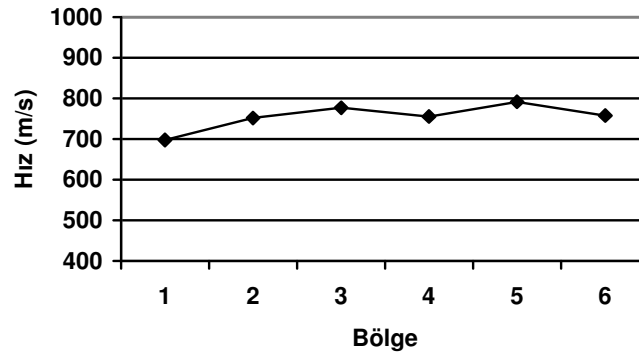
Bölge:	1 (en üst)	2	3	4	5	6 (en alt)
Hız (m/s):	993,4	993,4	943,4	845	831	905,6



Şekil 8.23 Numune 2’de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği.

Çizelge 8.17 Numune 3’de mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.

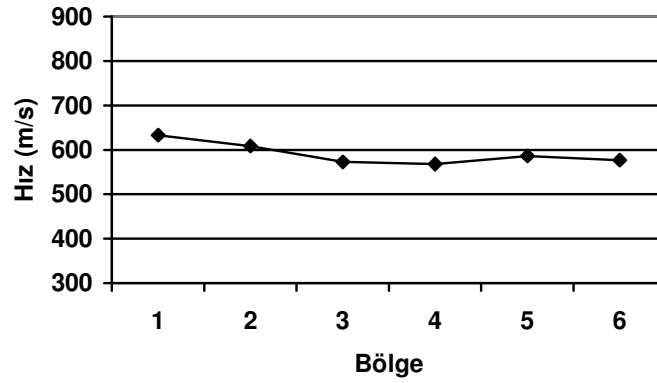
Bölge:	1 (en üst)	2	3	4	5	6 (en alt)
Hız (m/s):	697,67	751,8	777,2	755,66	791,55	757,57



Şekil 8.24 Numune 3’de mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği.

Çizelge 8.18 Referans RNR’da mesafeyle ultrasonik hızdaki değişim.

Bölge:	1 (en üst)	2	3	4	5	6 (en alt)
Hız (m/s):	632,9	608,5	572,5	568,2	585,9	576,9



Şekil 8.25 Referans RNR’da mesafeyle ultrasonik hız değişiminin grafiği.

8.5 Porozimetre Analizi

Porozite analizi, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi’nde yapılmıştır. Porozite analizi Quantachrome Pore Master cihazında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

<u>Numune</u>	<u>Toplam Porozite</u>	<u>Gözenek Çap Aralığı</u>
2	% 54,9601	0.003564 μm – 227.814377
3	% 55,2397	0.003566 μm – 228.219696
1	% 56,5474	0.003573 μm – 214.660172
RNR	% 60,5876	0.003557 μm – 211.300674

9. SONUÇLAR

Farklı kompozisyonlar seçerek hazırladığımız toz bileşimlerinden elde ettiğimiz numunelerde segregasyon oluşumu araştırılmıştır. Kalıp malzemesini oluşturan malzemelerin partikül boyut farkının ve çökmeyi engelleyici kontrol ilavesi kullanımının segregasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bazı numunelerde segregasyonu engelleyici yüzdürücü olarak nitelendirilen kontrol ilaveleri kullanılırken, bazılarında kıyaslama yapabilmek için hiçbir kontrol ilavesi kullanılmamıştır.

Kullanılan kontrol ilavelerinden M-S; magnezyum silikat, kurutucu; alümina-silikat, XG(K); organik sakız, L-XLS; ince silikat, jel 8 ise çimento esaslı malzemelerdir.

Deney numunelerinden elde edilen sertlik-mesafe grafikleri, numunelerin homojenlik ve heterojenlik durumları ile çökelme ve segregasyon oluşumunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Grafiklerden de görüldüğü üzere önemli oranda segregasyonun meydana geldiği numuneler 1, 4, 5, 8 ve 10 numaralı numunelerdir. Bu numunelerden 1, 4 ve 5 numaralı numunelerde hiçbir kontrol ilavesi kullanılmamıştır. 4 no.lu numune bileşiminde M006 ve 5 no.lu numune bileşiminde de M0010 bulunmaktadır. Bu iki silikat kaba tane yapısına sahip olduğundan ötürü segregasyon oluşumu açıkça gözlenmiştir. 8 ve 10 no.lu numunelerde ihtiva eden L-XLS ve M-S kontrol malzemelerinin, etkisi yeterli olmadığından ve/veya yanlış seçilmesinden ötürü segregasyon oluşumunu önleyemediği açıkça görülmüştür.

1 ve 5 numaralı numunelerde kaba partikül boyutuna sahip M10 ve M0010 yüksek oranda kullanılmış olduğundan yoğun bir segregasyon meydana gelmiştir. Aksine 2 numaralı numunede, ince partikül boyutuna sahip Kuartz K ve M6000'nin yüksek oranda olması segregasyon oluşumunu engellemiştir. Bu durum, ince partiküllü malzeme kullanmanın sızma ve segregasyonu engellediğini doğrulanmaktadır.

Referans numunesi olarak iki farklı bileşimdeki tozdan numune dökülmüştür. Bu referans tozlar, kuyumcuların kalıp yapımında kullandığı tozlardan seçilmiştir. Bileşimi patentli olduğu için içeriği gizilidir. Bu malzeme her hangi bir işleminden geçirilmemiştir ve hiç bir ilave yapılmamıştır. Referans (GSU) numunesinden elde edilen sertlik değerleri birbirine çok yakındır. Bu numunenin de homojen bir yapıda olduğu görülmektedir. Hassas döküm kalıbı malzemesi üreticileri kalıplarda meydana gelebilecek segregasyonun bir çok hataya neden olacağını bilincindedirler. Bu nedenle ürettikleri toz karışımlarında segregasyona neden olmamak için gerekli önlemleri almaktadırlar. Referans (RNR) numunesinden genel olarak elde edilen sertlik değerleri birbirine çok yakın olmasa da numunenin yüzeyinde oluşan sertlik değeri ve çökelmenin olduğu dip kısmındaki sertlik değeri birbirine yakındır. Önemli bir

husus; dökülen numunelerde yüzeyde yani sızmanın maksimum seviyede olduğu bu bölgede sertlik değerlerinin aynı seviyede kalmasıdır. Ani çökelme sonucu sertliğin yüzeyde düşük kalması istenmeyen bir sonuçtur. Bunun için toz partiküllerinin homojen dağılımı için uygun yüzdürücü kontrol ilavelerinin yanı sıra kullanılan silikat ve alçının da ince taneli olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Ultrasonik ölçümlerde 1, 2, 3 ve referans (RNR) numunelerine uygulanmıştır. Ultrasonik hızın düşük olduğu malzeme bünyesinde gözenek miktarının yüksek olduğu bilinmektedir. Buna göre 1. numunede ölçülen ultrasonik hız diğer numunelere kıyasla düşük olması gözenek miktarının yüksek olduğunun göstergesidir. Aynı şekilde referans numunesindeki hızın da düşük olduğu ve haliyle gözenekli bir yapının olduğu görülmektedir. Malzeme bünyesinde gözenegin fazla olması kötü olarak sonuçlanmamalıdır. Asıl bakılması gereken gözeneklerin çap aralığıdır.

Porozimetre analizi ile numunelerdeki porozite tayin edilmiş ve çıkan sonuçlara göre referans numunesinde görülen toplam gözenek miktarı diğer numunelere kıyasla fazla gözüксе de gözenek çapı aralığı düşük çıkmıştır. Bunun sebebi; malzeme bünyesindeki toz partiküllerinin havada asılı kalmasıdır. Bu da segregasyonun azaltıcı etkisine sebebiyet vermektedir.

KAYNAKLAR

- Ansari, F., Maher, A., Luke, A., Zhang, G.Y., Szary, P., (2000), "Recycled Materials in Portland Cement Concrete", Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Final Report, Washington D.C.
- Arcasoy, A., (1983), "Seramik Teknolojisi", Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, 42-46.
- Barsoum, M., W., (1997), "Fundamentals of Ceramics", McGrawHill Companies, Inc., 270, Singapore.
- Cart, C., J., (1998), "Advances in Investment Casting Materials", Gold Technology, Sayı 23, 18-20
- Eriç, H., (1985), "Faz Diyagramları ve Refrakterler", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 15-19 Nisan 1985, Ankara
- Faccenda, V., Ingo, G. M., (2000), "Advances in Investment and Burnout Furnace Design", Gold Technology, Sayı 31, 22-28.
- Horton, P., J., (2000), "Investment Powders and Casting", Gold Technology, Sayı 28, 12-17.
- Işıtman, O., Işıkcı, C., (1985), "Alçı Kalıp Problemlerinin Çözümü ve Maksimum Verimlilikte Kalıp Üretimi", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı II, 15-19 Nisan 1985, 289-306, Ankara.
- Kaya, D., (2000), "Anhidrit ve Kalsiyum Karbonatın Döküm Alçısına Etkisi", Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, 10-30, Eskişehir.
- Mahir, H., (1996), "Alçı/Su Oranının Alçı Kalıp ve Dökümüne Olan Etkilerinin Araştırılması", III. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt I, 22-25 Ekim 1996, 107-115, Ankara.
- Ravindrarajah, R., (2003), "Bleeding of Fresh Concrete Containing Cement Supplementary Materials", 9th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction 16-18 December 2003, Bali, Indenesia.
- Ray, N., (1998), "Dental Plaster & Stone", Dental Materials Science, 18-27.
- Sammer, A.R., Parmelee, D., Lamngfold, C.F. ve Stark, R.A., (1989), Refractories Manual, A. F.S. Inc., Des Plaines, Illinois.
- Sarıdikmen, H., Kuşkonmaz, N., (2000), "Etil Silikat Bağlayıcılı Refrakterlerde Bağlayıcı Bileşiminin Refrakterlerin Özelliklerine Etkisi", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi 20-24 Mayıs 2000 İstanbul.
- Subaşı, R., (1999), "Alçı Kalıp Yapımında Kullanılan Yarı Hidratların Karakterizasyonu", Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, 8-32, Eskişehir.
- Topçu, İ.B., Elgün, V.B., (2004), Influence of Concrete Properties on Bleeding and Evaporation", Cement and Concrete Research, Sayı 34 275-281.

Ünlüer, Ö., (2001), “Alçı Kalıplar ve Alçı Kalıplarda MikroYapı Dizaynı”, Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Dönem Projesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2001, 7-33, Eskişehir.

Yaman, B., (2002), “Demir Dışı Alaşımların Dereceli Hassas Dökümünde Kullanılan Kalıp Malzemeleri”, Yüksek Lisans Tezi. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.

Yaman, C., (1996). “Fosfat Bağlı Alümina Refrakterler”, Metal Dünyası, Sayı 44

Yaman, C. (1998), “Refrakter Malzemeler İçin Kimyasal Bağlayıcılar”, Metal Dünyası, Sayı 59, 38-39.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.turkcadcam.net

[2] www.ganoskin.com

[3] www.cement.ca

[4] www.mkn.itu.edu.tr/bolumler/imalat/baglanti/dokum/index.htm

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Öner Onur

Soyadı: ALTIPARMAK

Doğum yeri ve Tarihi: İstanbul, 06.11.1980

1999 – 2003 Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

2004 – 2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği

Anabilim Dalı, Malzeme Programı