

POMZANIN VİTRİFİYE SERAMİK
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
Kaan ÖZMEN
Yüksek Lisans Tezi
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı
Şubat - 2007

POMZANIN VİTRİFİYE SERAMİK
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Kaan ÖZMEN

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent YILMAZ

Şubat – 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Kaan ÖZMEN' nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Pomzanın Vitrikiye Seramik Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2007

Üye : Prof. Dr. İskender IŞIK

Üye : Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent YILMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

POMZANIN VİTRİFİYE SERAMİK ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Kaan ÖZMEN

Seramik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bülent Yılmaz

ÖZET

Bu çalışmada pomzanın vitrifiye seramik üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Vitrifiye seramik çamuruna sodyum ve potasyum feldspata alternatif ergitici olarak düşük ergime sıcaklığına sahip pomza ilave edilerek yeni reçetelerden elde edilen çamur, yarı mamul ve mamullerin özellikleri incelenerek pomzanın mamule etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda pomza ilavesi ile bünyelerin mekanik özelliklerinin olumlu yönde geliştiği, sinterleme sıcaklığının düşürülebileceği ve daha az ergitici kullanarak hammadde tasarrufu sağlanacağı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pomza, vitrifiye seramik.

AN INVESTIGATION OF PUMICE FOR USE IN WHITEWARE PRODUCTION

Kaan ÖZMEN

Ceramics Engineering, M.S.Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Bülent YILMAZ

SUMMARY

In this study, pumice taken from Nevşehir and Isparta districts were studied for their potential use in whiteware manufacturing. Fourteen recipes of whiteware body were prepared by using the pumices. The prepared specimens were compared to standardized recipe utilized in the production of Esvit whitewares.

It is concluded that the prepared specimens display positive mechanical properties, sintered at relatively low temperature, thus indicating possible raw materials.

Keywords: Pumice, sanitaryware.

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmam süresince değerli yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Bülent YILMAZ' a, gerek lisans gerekse yüksek lisans öğrenciliğim boyunca benimle her türlü ilgi ve alakada bulunan değerli hocam Prof. Dr. İskender IŞIK' a ve diğer bölüm hocalarıma,

Çalıőmalarımnda Eskişehir Seramik (ESVİT) işletme imkanlarını kullanma imkanı sağlayan ve çalıőmalarımnda destek olan tüm ESVİT ailesine,

Benden maddi ve manevi her türlü desteği hiç esirgemedi benim bu günlere gelmemde en büyük paya sahip olan kıymetli anne ve babacığıma, her zaman ve her koşulda benimle beraber olan kardeőlerime ve beni sürekli destekleyen sevgili eőime teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1 GİRİŞ.....	1
2 VİTRİFİYE SERAMİK.....	2
2.1 Tanım.....	2
2.2 Üretim Prosesi.....	2
2.2.1 Tasarım ve kalıp hazırlama.....	3
2.2.2 Hammadde, çamur ve sır hazırlama.....	5
2.2.2.1 Çamur hazırlama.....	6
2.2.2.2 Sır hazırlama.....	6
2.2.3 Şekillendirme.....	6
2.2.4 Kurutma.....	8
2.2.5 Rötüş.....	10
2.2.6 Sırlama.....	11
2.2.7 Pişirme.....	11
2.2.7.1 Kristal değişikliği.....	12
2.2.7.2 Cam fazının oluşumu.....	13
2.2.7.3 Yer değiştirme reaksiyonu.....	13
2.2.8 Kalite ayırımı.....	14
2.2.9 Kalite denetim seramik laboratuvarı.....	14
3. VİTRİFİYE SERAMİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER.....	15
3.1. Killer.....	15
3.2 Kuvars.....	19

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3 Feldspat.....	21
4. POMZA.....	22
4.1 Pomza ve Özellikleri.....	22
4.2 Pomza Üretim Yöntemi ve Teknolojisi.....	25
4.3 Pomzanın Kullanım Alanları.....	25
4.3.1 İnşaat sektöründe.....	25
4.3.2 Tekstil sektöründe.....	26
4.3.3 Tarım sektöründe.....	26
4.3.4 Kimya sektöründe.....	26
4.3.5 Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda.....	27
5. DÖKÜM ÇAMURUNUN REOLOJİSİ.....	28
5.1 Döküm Çamurunun Deflokülasyonu.....	28
5.2 Viskotize.....	31
5.3 Tikotropi.....	31
6. MALZEME ve YÖNTEM.....	32
6.1 Kullanılan Hammaddelerin Minerolojik Analizleri.....	32
6.2 Hammaddelerin Kimyasal Analizleri.....	33
6.2.1 Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri.....	33
6.2.2 Hazırlanan reçetelerin kimyasal analizleri.....	37
6.3 Numunelerin Hazırlanması.....	46
6.3.1 Döküm çamurunun hazırlanması.....	46
6.3.2 Şekillendirme ve kurutma.....	46
6.3.3 Pişirme.....	46
6.3 Deneylerin Yapılışı.....	47
6.3.1 Litre ağırlığı (yoğunluk) ölçümü.....	47
6.3.2 Viskozite ölçümü.....	47

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.3.3 Tikotropi ölçümü.....	47
6.3.4 Mukavemet ölçümü.....	47
6.3.5 Deformasyon ölçümü.....	48
6.3.6 Küçülme ölçümü.....	49
6.3.7 Ateş zayıatı kaybı ölçümü.....	49
6.3.8 Su emme ölçümü.....	49
7. BULGULAR.....	51
7.1 Litre Ağırlığı Ölçümü.....	51
7.2 Viskozite Ölçümü.....	51
7.3 Tikotropi Ölçümü.....	51
7.4 Yarı Mamul Mukavemeti Deneyi Sonuçları.....	53
7.5 Pişmiş Mamul Mukavemet Deneyi Sonuçları.....	53
7.6 Deformasyon Deneyi Sonuçları.....	56
7.7 Küçülme Deneyi Sonuçları	56
7.8 Ateş Zayıatı Deneyi Sonuçları.....	59
7.9 Su Emme Deneyi Sonuçları.....	60
8. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR.....	64
KAYNAKÇA.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Vitrifiye seramik üretim prosesi.....	3
2.2	İş Kalıbı.....	4
2.3	Döküm ile şekillendirme.....	8
2.4	Döküm ile şekillendirme.....	8
3.1	Seramik hammaddeleri ve bünyedeki görevleri.....	15
3.2	Kilin kuruması.....	17
3.3	Kuvars dönüşümleri.....	20
4.1	Pomza görüntüsü.....	22
4.2	Pomzanın elektron mikroskobu görüntüsü.....	23
6.1	R reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	33
6.2	NP 2 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	34
6.3	NP 4 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	34
6.4	IGP 2 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	35
6.5	IGP 4 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	35
6.6	IKP 2 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	36
6.7	IKP 4 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.....	36
6.8	Deformasyon çubuğunun pişirimden önceki hali.....	48
6.9	Deformasyon çubuğunun pişirimden sonraki hali.....	48
7.1	Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin yarı mamul mukavemetleri.....	53
7.2	Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin yarı mamul mukavemetleri.....	54
7.3	Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin yarı mamul mukavemetleri.....	54
7.4	Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin pişmiş mamul mukavemetleri.....	55
7.5	Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin pişmiş mamul mukavemetleri.....	55
7.6	Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin pişmiş mamul mukavemetleri.....	56
7.7	Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin deformasyonları.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
7.8	Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin deformasyonları.....	57
7.9	Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin deformasyonları.....	58
7.10	Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % küçülmeleri	58
7.11	Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % küçülmeleri.....	59
7.12	Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % küçülmeleri.....	59
7.13	Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % ateş zayıatları.....	60
7.14	Isparta gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % ateş zayıatları.....	61
7.15	Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % ateş zayıatları.....	61
7.16	Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % su emmeleri.....	62
7.17	Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % su emmeleri.....	62
7.18	Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % su emmeleri.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Asidik ve bazik pomzanın tipik kimyasal bileşimi.....	24
4.2 Türkiye pomza oluşumlarının kimyasal değerlendirmeleri.....	24
6.1 Deneysel planlama.....	32
6.2 Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri.....	37
6.3 NP, IGP ve IKP kimyasal analiz sonuçları.....	37
6.4 Kullanılan döküm çamurunun rasyonel analizi.....	37
6.5 Referans reçetenin kimyasal analiz sonuçları	38
6.6 NP 1 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları	38
6.7 NP 2 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları	39
6.8 NP 3 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları	39
6.9 NP 4 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	40
6.10 NP 5 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	40
6.11 IGP 1 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	41
6.12 IGP 2 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	41
6.13 IGP 3 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	42
6.14 IGP 4 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	42
6.15 IGP 5 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	43
6.16 IKP 1 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	43
6.17 IKP 2 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	44
6.18 IKP 3 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	44
6.19 IKP 4 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	45
6.20 IKP 5 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.....	45
6.21 Öğütülen pomzaların elek üstü ve elek altı % değerleri.....	46
7.1 Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin litre ağırlıkları.....	51
7.2 Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin vizkoziteleri.....	52
7.3 Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin tiksotropileri.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
α	Alfa
β	Beta
%	Yüzde
~	Yaklaşık

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
gr	Gram
kgf	Kilogram kuvvet
mm	Milimetre
cm ²	Santimetre kare
cm ³	Santimetre küp
ml	Mililitre
°C	Santigrat derece

1. GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi koşullarında seramik üretiminde en önemli konulardan biri de üretim maliyetidir. Maliyeti, sanayi maliyetine indirgediğimizde hammadde, işçilik ve enerji ön plana çıkmaktadır. Bu durum sanayicileri ve yöneticileri yeni arayışlara doğru yönlendirmektedir. Bu arayışlar içerisinde alternatif hammaddeler, enerji ve iş gücü tasarrufları, son teknoloji kullanımı ile daha verimli üretim yapabilmek temel hedeftir.

Yer karosu üretiminde alternatif ergitici olarak pomzanın kullanım imkanlarının araştırılması adlı çalışmada Tomsuk'a göre; genel olarak pomza, bileşiminde K_2O ve Na_2O içermesinden dolayı albit ile karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklarda ergime davranışı gösterdiği ve buna bağlı olarak ta sinterleme sıcaklığının düşürülmesi ile enerji tasarrufu sağladığı belirtilmiştir [37].

Yapay granit karo üretiminde pomza kullanımı adlı bir başka çalışmada Özmen'e göre; pomzanın yapısı gereği sodyum ve potasyum feldspata göre daha kolay öğütülmektedir. Daha az miktarda ergitici kullanarak aynı sıcaklıkta sinterlemek mümkündür. Ancak artan pomza miktarı ile su emme değerinin azaldığı tespit edilmiştir [38].

Stoneware bünye ve sır kompozisyonlarında alternatif hammadde kullanımı adlı bir başka çalışmada da Özcan'a göre enerji maliyeti olarak % 32.14'lük düşüş ve hammadde maliyeti olarak % 0,5'lik düşüş hesaplanmıştır. Toplam ürün maliyetini % 8 oranda düşürdüğü ortaya çıkmıştır [39].

Bu çalışmada pomzanın vitrifiye seramik üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada pomzanın yarı mamuldeki etkilerinin ve pişmiş üründeki etkilerinin de bilinmesi gerekmektedir. Isparta Gölcük ve Karakaya Bölgeleri ile Nevşehir bölgesi pomzaları kullanılarak hazırlanan reçetelerin mineralojik, kimyasal ve rasyonel analizleri incelenmiş, döküm özelliklerinin saptanması amacı ile litre ağırlığı, viskozite ve tiksotropileri ölçülmüştür. Fiziksel özelliklerin saptanması amacı ile de pişme küçülmesi, su emme, deformasyon, yarı mamul mukavemeti ve pişmiş mukavemet ve ağırlık kaybı değerleri ölçülerek sonuçlar vitrifiye çamuru ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan denetler sonucunda pomza ilavesi ile fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştiği, sinterleme sıcaklığının düşürülebileceği, daha az ergitici kullanarak hammadde tasarrufu sağlanabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

2. VİTRİFİYE SERAMİK

2.1 Tanım

Vitrifiye seramikler; inorganik-metal olmayan hammaddeleri belirli oranlarda karıştırılarak akışkan bir çamur haline getirilmesi, daha sonrada alçı ve/veya sentetik reçine kalıplarda şekillendirilerek 1200–1250 °C civarında pişirilip su emme değerinin % 0,75 ‘in altında olan [1] ve aşağıdaki özellikleri sağlayan ürünlerdir.

Üretimde;

- Fonksiyonel olması,
- Standartlara uygun olması,
- Ergonomik olması,
- Çeşitli konut tiplerine uygun olması,
- Estetik olması gibi tasarım kriterleri göz önünde bulundurulur.

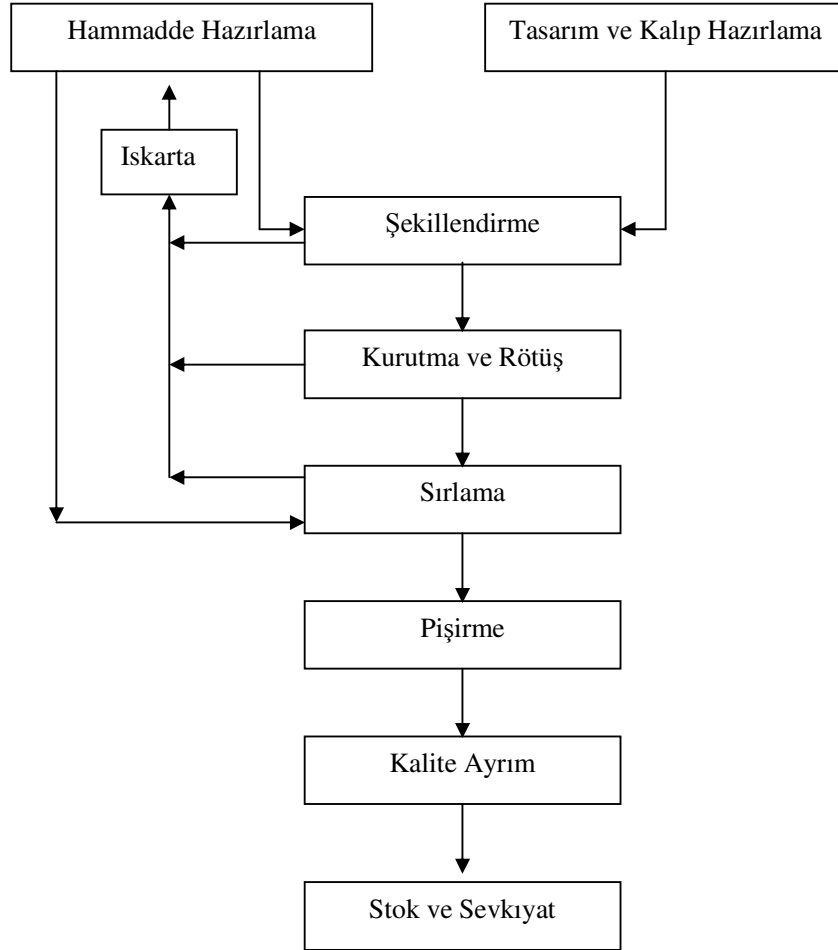
Ürünlerin teknik özellikleri;

- Yüzeyin parlak ve gözeneksiz olması,
- Bakteri ve mikrop barındırmaması,
- Kir tutmaması ve kolay temizlenmesi,
- Su emmemesi nedeniyle koku yapmaması,
- Asit ve deterjandan etkilenmemesi,
- Aşınmaması,
- Uzun ömürlü olması,
- Ateşe dayanıklı olmasıdır.

2.2 Üretim Prosesi

Vitrifiye seramik üretiminde değişik teknolojiler kullanılmasına karşın üretim prosesi aynıdır. Şekillendirmede alçı kalıplar yaygın olarak kullanılmakla beraber yüksek basınçlı tezgahlarla da yüksek verimde ürün şekillendirmesi yapılmaktadır. Sırlamada sır tabancaları ile

yaygın olarak yapılan sırlama işlemi robotlar vasıtası ile otomatik olarak yapılabilmektedir. Aynı şekilde birçok fırın çeşidi bulunmakla birlikte en çok tercih edilen fırınlar tünel fırınlar olup, dekor ve tamir pişirimi için jet brülörlü kamara tip fırınlar kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de seramik üretim prosesi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.1 Vitrifiye seramik üretim prosesi.

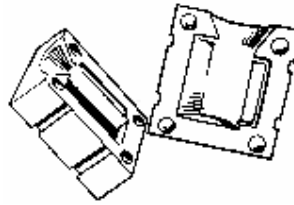
2.2.1 Tasarım ve kalıp hazırlama

Üretimde devreye alınması planlanan ürünlerin form, fonksiyon ve estetik olarak müşteri isteklerine uygun kriterlerde hazırlanması, üretim projesinde kullanılacak olan model kalıpların yapımı ve üretimde uygun hale getirilmesi ve yeni model araştırmalarının planlanması ve dizaynının yapıldığı bölümdür. Bu bölümün görevi temelde farklı modeller üretmektir.

Modelin %11 büyütülmüş halinin teknik resmi çizilir. Teknik resme göre model yapılır. Bu işlemlerden sonra kalıba alma işlemine geçilir. Modelin çeşidine ve uygun döküm sistemine göre kalıp yapılır. Deneme dökümleri yapılır. Kurutma, sırlama ve pişirmeden sonra kalite denetime gönderilir. Ürün üzerinde birtakım testler uygulanır. Olumlu sonuç verirse model kalıbın teksir kalıbı üretilir.

Teksir kalıp; model kalıp üzerinden, iş kalıbı üretmek amacı ile çeşitli kimyasal maddelerin karışımından oluşan, darbelere, basınca ve çarpmalara dayanıklı maddelerden yapılan kalıba denir. Teksir kalıp iş kalıbı üretmek için alçı kalıp bölümüne alınır. İş kalıbı ile model kalıbı tamamıyla aynıdır. İş kalıbı; döküm yolu ile yarı mamul üretmek için kullanılan kalıptır.

İş kalıbı alçıdan yapılır. Alçı gözenekli bir yapıya sahip olduğu için su emme özelliği vardır. Kalıplarda alçı kullanılmasının ana sebebi de budur. Kalıbın içerisine çamur döküldüğünde, çamurun içerisindeki suyu emer. Üretilen iş kalıplarında 1 birim suya 1,35 birim alçı kullanılır. Model ve kalıplarda bu oran 1 birim suya 1,40 birim alçıdır. Alçının donma süresi 30–35 dakika arasındadır. Karışım esnasındaki sıcaklık 22–27 °C arasındadır. Alçı karıştırma süresi dakikada 300 devir ile 4 dakikadır. Kalıp et kalınlığı 6 cm'dir. Kalıp ömrü 60–120 döküm arasında değişmektedir. Kalıp açılarak Makaron telinin hava giriş deliğinden 70 dakika içinde 0,5 bardan 5 bara kademeli olarak basınç uygulanır. Kalıptaki suyun bir bölümü bu şekilde uzaklaştırılır. Kalan su kurutma fırınlarında yaklaşık olarak dört gün kurutulmaya bırakılır. Kurutma işleminin tamamlanıp tamamlanmadığını % nem çıkışına belirler. Bu değer yaklaşık % 26 olduğu zaman kurutma işlemi bitirilir. Kurutmada sonra kalıplar döküme hazır duruma gelir. Şekil 2.2' de iş kalıbının şematik çizimi verilmiştir.



Şekil 2.2 İş kalıbı [42].

2.2.2 Hammadde, çamur ve sır hazırlama

2.2.2.1 Çamur hazırlama

Hammaddeler istenilen boyutlarda değil ise kırma işlemi yapılır. İstenilen boyutlara getirilen hammadelere yıkama işlemi uygulanır. Yıkama işlemi kirli hammaddenin pişme sırasında ürünün rengini etkilememesi için yapılır. Bu işlemlerden sonra hammaddeler açık stoklara oradan da silolara alınır. Tartı bantlarında tartılan hammaddeler taşıma bantları ile taşınarak değirmene doldurulur. Değirmene 1/3 bilye, 1/3 su 1/3 de kuru hammadde ilave edilir. Bilye boyutlarının da 1/3 oranında büyük orta ve küçük bilye olması öğütmenin daha iyi olmasını sağlar. Öğütme işlemi ortalama 16–18 saat sürer. Değirmenlerin devirleri 5000 ile 1000 arasında değişmektedir.

Değirmenden sulu çamur hava basıncından yararlanılarak pompalar vasıtasıyla açıcılara aktarılır. Akışkanlığı sağlamak, fırın çıkışındaki toplanma hatasını engellemek, çatlakları önlemek, tiksotropiyi arttırmak, çökmenin olmaması için silikat, baryum karbonat ve soda ilavesi yapılır. Akışkanlığı arttırmak için su kullanılmamasının sebebi; fazla sulu bir döküm çamuru kalıpları ıslatır, kalıptan çıkma süresini uzatır ve çamurun kalıp içinde çatlamasına neden olur. Çamurun litre ağırlığı 1790 gr civarındadır. Çamur açıcılardan alınarak tampon elekten geçirilir. Burada çamurun tane boyutuna bakılır. Çamurda tane iriliğinin büyük olması su emmenin fazla olması demektir. Çamur tampon elekten sonra 160µ ve 180µ büyüklüğündeki iki elekten daha elenir ve stoğa alınır. Bir süre dinlendirilen çamur pompa ile magnetik tutucuya gönderilir. Bu sayede çamur içerisindeki demir ve demir bileşikleri uzaklaştırılmış olur. Dökümhaneden geri dönen çamur elekten geçirilerek açıcılara boşaltılır. Ayrıca dökümhaneden ıskartaya ayrılan yarı mamuller bu bölümde su ilavesi yapılarak mikserde açılır ve yeni üretilen çamurla karıştırılarak litre ağırlığı ve viskozite kontrolleri yapılır ve bir süre dinlendirilir. Pompa ile tekrar 160 ve 180 mikronluk eleklerden geçirilir. Burada geri dönüş ve artık çamurdaki yabancı maddelerden temizlenmiş olur. Mıknatıs tutuculardan geçen çamur ana stokta 1 gün bekletilir. Dinlendirme esnasında çamur karıştırılmaya devam eder. Bu işlemden sonra çamur dökümhaneye gönderilir. Başarılı bir döküm çamurunun hazırlanabilmesi için;

- Çamuru oluşturacak hammaddelerin kimyasal, fiziksel, mineralojik ve reolojik özelliklerini bilmek gereklidir. Yani kimyasal olarak bileşimi, fiziksel olarak tane yapısı ve tane büyüklüğü, mineralojik olarak içerdiği mineraller ve kristal yapısı, reolojik olarak da akışkan olabilme yeteneği ve bunu sağlayan etkenler bilinmelidir,

- Döküm çamurunda olması istenen mineralojik yapının, çamuru oluşturacak olan tüm hammaddelerin kimyasal bileşiminden hesaplanması,
- Çamura katılacak olan suyun oranı, fiziksel ve kimyasal yapısı,
- Uygun elektrolitin seçimi ve kullanılacak miktarının belirlenmesi,
- Döküm çamurunu oluşturan sert ve suda dağılmayan maddelerin öğütülme süresi ve tüm çamurun tane iriliği dağılımı,
- Döküm çamurunun litre ağırlığı ve viskozitesi bilinmelidir.

2.2.2.2 Sır hazırlama

Öğütülmüş uygun bileşimli seramik hammaddelerden elde edilen ve seramik bünye üzerinde pişirme neticesinde cam yapıya benzer bir yapı oluşturabilen karışımlara "sır" denir. Sırlanarak kullanılan seramik ürünlerinde sırrın çeşitli görevlerinden bazıları şunlardır;

- Bünye üzerinde kaygan ve parlak bir yüzey oluşturmak,
- Üzerine uygulandığı bünyeyi sıvılardan ve gazlarda koruyup yalıtmaq,
- Bünyeye etki eden çeşitli mekanik etkilere karşı bünyenin gücünü arttırmak,
- Renkli pişen bünyelerin üzerinde örtücü bir tabaka oluşturmak,
- Sır altına uygulanan dekorasyonları koruyarak, dış etkilere yalıtmaq.

Sır hazırlamada kullanılan hammaddeler; sodyum feldspat, potasyum feldspat, kaolen, zirkon, çinko oksit, kalsit, kuvars, dolomittir.

2.2.3 Şekillendirme

Poroz bir kalıba döküm çamuru dökerek şekillendirme yöntemi 150 yıl öncesine gitmektedir. O zamanda sodyum tozunun dağıtıcı fonksiyonu bilinmiyordu, böylece %40-60 su ihtiva eden döküm çamurları kullanılıyordu ve kurutma prosesi ise büyük çatlamalara ve çatlama riskine haizdi. Proses her halükârda insan gücü yönünde daha iyi ve daha hızlıydı. On dokuzuncu asrın ortasında düşük su yüzdeli döküm çamurlarının yapımında sodyum karbonat kullanılması bilinmekteydi ve şimdi de döküm çamurunda dağıtma, toplama ve kolloid koruma mekanizmasını anlamaktayız. Gerek geleneksel kil bünyelerin ve gerekse kilsiz yeni bünyelerin kullanılarak üretiminde döküm metodu çok kullanılmaktadır. Esas olarak dökümle

şekillendirme prosesi bünyeye bazı kimyasal maddelerin ilavesi olup asgari su seviyesi ile proses alçı kalıbına kadar uzamaktadır. Bu arada döküm parçası kurumakta ve kalıptan ayrılmaktadır. Sonra mamul çıkarılır, rötuşlanır ve gerekirse diğer işlemler yapılır. Dökümle şekillendirme prosesi seramikten, kemik porselenden ve normal porselenden iri taneli refrakter malzemelere kadar her çeşit mamul üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca uygun miktarda bağlayıcı madde ilavesi ile geleneksel olmayan ve kili olmayan bünyelerde de kullanılmaktadır. Örneğin saf oksit bünyeleri zirkonya, alüminya, magnezit, titan, silisyum karbür ve titanatlar gibi [2].

Bu safhada istenilen akışkanlığa sahip çamur kalıpların içine doldurulur. Alçının su emme özelliği nedeniyle çamurun kalıpla temas ettiği cidarda kalıbın formunda sert bir çamur tabakası oluşur. Bu tabaka belli bir kalınlığa ulaştıktan sonra kalıp içinde kalan akışkan çamur geri boşaltılır, sonra kalıplar açılır ve yaş yarı ürün çıkartılarak kurutulması sağlanır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4' de döküm ile şekillendirme metodu şematik olarak verilmiştir.

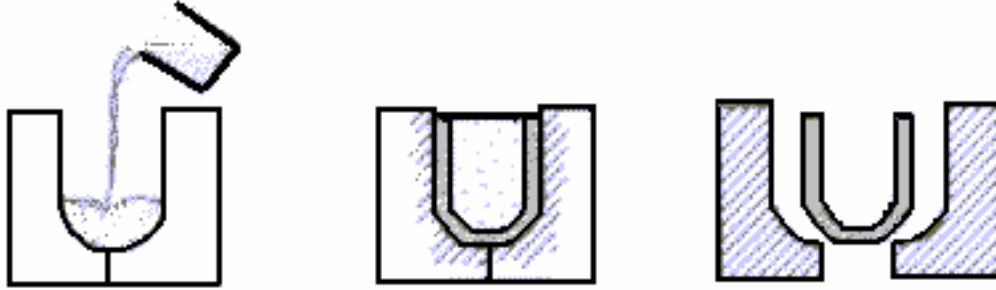
Şekillendirmede kullanılan döküm çamurunda aranılan özellikler;

- Yaş malın mukavemeti iyi olmalıdır.
- Döküm hızı kontrol edilebilir özellikte olmalıdır.
- Kuruma küçülmesi az olmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar az su ihtiva etmelidir.
- Akıcı olmalı ve kalıbın en ince boşluklarını doldurmalıdır.
- Çamur içindeki tanecikler kalıpta çökme yapmamalıdır.
- Dökülen mamul kalıptan kolayca ayrılabilmelidir.
- Çamurda hava kabarcığı olmamalıdır.

Şekillendirmede kullanılan kalıplarda olması gereken özellikler

- Döküm yapılmadan önce kalıplar kuru olmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar kalıp parça sayısı az olmalıdır.
- Deformasyona dayanıklı ve uzun ömürlü olmalıdır.
- Hızlı et kalınlığı almalıdır.

- Kalıp et kalınlığı her yerde eşit olmalıdır.
- Alçı içerisinde yabancı madde, hava kabarcığı ve topaklanma olmamalıdır.



Şekil 2.3 Döküm ile şekillendirme [43].



Şekil 2.4 Döküm ile şekillendirme [43].

2.2.4 Kurutma

Seramikte pişirme işleminden önce yapılacak olan en önemli işlem kurutmadır. Kurutmayı yalnızca teknolojik açıdan değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da incelemek gerekir. Büyük sorunlar çıkmasına olanak vermeyecek şekilde, suyun çabuk, ucuza mal edilerek, en iyi şekilde maldan uzaklaşması sağlanmalıdır.

Seramikte “kurutma” kavramını açıklamak için şu tanımlama yapılabilir: Kurutma fiziksel bir süreçtir ve rutubetli bir malzemeden şekillendirme suyunun uzaklaştırılıp kurutulması işlemidir.

Kurutmanın yapılabilmesi için, malın içindeki suyun buhar şeklinde uzaklaştırılması gerekir. Bu buharlaşmanın miktarı;

- Kurutma havasının sıcaklığına,
- Kurutma havasının hızına,
- Kurutma süresine,
- Malın kuruma yüzeyinin büyüklüğüne bağlıdır.

Kurutma dıştan içe gerçekleşir. Kuruyan bir malda buharlaşma yüzeyde olur Bu şekilde bir kuruma, konveksiyon (geçişme) kuruma olarak tanımlanır. Burada hava kurutma için gerekli sıcaklığı ve kurutmadan oluşan su buharını taşıyıcı görev alır. Kurutma havasının, kuruma sırasında oluşan su buharını kabul edebilmesi için sıcak olması gerekir. Eğer böyle olmazsa, oluşan su buharı hemen kondanse (yoğunlaşma) olarak suya dönüşür. Aynı zamanda kurutma havasının sıcak olmaması sonucu, kurumayı gerçekleştirecek şekilde, malın içinden yüzeyine doğru bir su hareketi olmaz.

Seramik çamurunun içindeki porlar (gözenekler) aracılığı ile su yüzeye ulaşır. Burada porlar kapiler (kılcal yol) görevi yaparlar. Bir seramik çamurunun içinde yoğrulma suyu aşağıdaki durumlarda bulunur.

- Yüzey suyu; kil taneciklerinin yüzeylerini film şeklinde saran sudur.
- Por suyu; bu tanımlamadan, taneciklerin arasında bulunan su anlaşılır. Çamurdaki suyun büyük bir kısmını oluşturur.
- Emme suyu; kil taneciklerinin yüzeyinden içine emilme yolu ile giren sudur. Böylelikle bu su, seramik çamurunun plâstikliğinde söz sahibi olur. Kurutma sırasında çamurdan en güç ayrılan sudur.

Seramikte kurutma işlemi, bütün bu sayılan suların çamurdan uzaklaştırılması için yapılır. Kurutma havasının bu nedenle sıcak olması gerekmektedir. Sıcak hava, kuruyacak olan malı ısıtarak içindeki suyun buharlaşmasına aracı olur. Teorik olarak 1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli olan ısı enerjisi 539,1 kilokaloridir. Bir kurutma odasında 100 kg kurutulacak seramik mal varsa ve bu malın rutubetini %25'den %5'e indirilmek isteniyorsa, 10782 kkal'ye gerek vardır. Fakat kurutma sırasında ortaya çıkan ısı kayıpları hesaplandığında, gerekli ısı enerjisinin daha fazla olduğu görülür.

Şekillendirme sırasında çamura verilen su, kuruma sırasında tersine bir yol izleyerek çamurdan uzaklaşır. İlk kuruma yüzeyde başlar, porlardan gelen su, yüzeyden buharlaşarak uzaklaşır. Bu sırada kurutma sıcaklığının artması sakıncalı olabilir. Bu sakınca

yüzeyin çok önce kuruyup, içerden gelen suyun geçmesine engel olacak kadar küçülmesidir. Bu durumda oluşan gerilimler, kuruma çatlağına ve deformasyona yol açar [3].

Çamurdaki gözeneklerden su uzaklaştıkça küçülme sürer. Küçülmenin nedeni, kil taneciklerinin birbirlerine yaklaşmalarındandır. Gözeneklerden suyun uzaklaşmasını, tanecik yüzey ve emme suyunun uzaklaşması izler.

Kurumaya etki eden faktörler şu şekilde özetlenebilir;

- Çamurun tane büyüklüğü ve bunun dağılımı,
- Çamurun bünyesindeki hammaddelerin mineral türleri,
- Bünyede eriyen tuzların olup olmadığı,
- Moleküllerin yapısal düzeni,
- Çevrenin rutubet koşulları,
- Ortamdaki hava sıcaklığı,
- Kurutmaya giren malların boyut, şekil, su oranlarında beraberlik.

Kurutma Hataları;

- Deformasyon ve eğilme,
- Çatlama,
- Renksiz hale getirme,
- Nem transferi sırasında ince tanelerin kuruyan yüzeye doğru ilerleyerek dışarı çıkmaları, kılcal çatlak,
- Farklı çekme boyutlarından dolayı oluşan farklı gerilimler,
- Tabaka oluşumu.

2.2.5 Rötüş

Kalıplardan çıkartılan yarı mamullerin ön rötüşü dökümhanede yapılır. Delinecek veya kesilecek yerleri varsa yarı mamul yaş iken yapılır. Rötüş işleminde zımpara, sünger, su, su zımparası, sistire gibi aletler kullanılır. Yüzey suyunu atması beklenir ve rötüşlanır. Yarı mamul üzerindeki toz, çapak, form bozuklukları, pudra kalıntıları, kalıp izleri gibi hatalar

giderilmediğinde kaliteyi direkt olarak etkileyeceğinden rötuş işlemi büyük önem taşır. Kabinlere alınan ürünler burada döner bir tablanın üzerine yerleştirilerek zımpara ile zımparalanırlar. Islak sünger ile silinerek pudra kalıntıları yüzeyden alınır. Yarı mamulün keskin köşe ve oturma yüzeylerine gaz yağı sürülerek çatlak olup olmadığına bakılır. Eğer var ise keçe ile zımparalanarak bu giderilmeye çalışılır. Sorun bu şekilde de giderilemezse ürün parçalanarak çamur için hammadde oluşturulmak üzere ıskartaya ayrılır. Zımparalanan ürün basınçlı hava ile tozlardan arındırılarak sırlamaya gönderilir.

2.2.6 Sırlama

Sırlama işçiler tarafından pistle yardımıyla püskürtülerek yada otomatik kontrollü robotlarla yapılır. Kabinlere alınan ürünler döner tablalar üzerine yerleştirilerek bir yandan sırlanarak bir yandan da döndürülürler. Sırın mamulün yüzeyinin tamamını kaplaması gerekmektedir. İşlem yatay yönde hareketlerle yapılır. Fırına pişme esnasında plakalara yapışmaması için atık su borusu birleşim yerleri ve taban bölgeleri ıslak sünger ile silinerek sırdan temizlenir.

2.2.7 Pişirme

Seramikte pişirme şöyle tanımlanır; Şekillendirilmiş ve kurutulmuş yarı mamulün, bir program içinde ısıtılması ve oluşan seramiğin gene bir program içinde soğutulması işlemidir. Pişirme işlemi seramik fırınlarında yapılır. Çok çeşitli fırın türleri olmasına karşın, pişirmedeki ortak yönler her fırın için geçerlidir. Pişirmedeki ortak yönleri aşağıdaki evrelerden oluşturur;

- Fırının doldurulması
- Ön ısınma
- Sürekli ısınma
- Pişme ısınması
- Soğutma
- Boşaltma

Pişme sıcaklığı 1200–1250°C'dir. Alevi doğrudan mamul üzerine göndermeyip brülörden gelen ısıyla mamulün pişmesi sağlanmaktadır. Böylece direkt alevin veya yanma gazlarının mamul üzerinde olumsuz etkilerinin önüne geçilmektedir.

- 55–200°C Ön ısıtma ile fiziksel su uzaklaştırılır yani nem atılır.(~1 saat)
- 200–400°C Bileşimden gelen kimyasal su uzaklaştırılır.(~1 saat)
- 400–650°C α kuars β kuarsa dönüşür, kaolinit metakaolenite dönüşür. (~2–2,5 saat)
- 650–1200°C Sintereleşme (~4–4,5 saat)

Faz dönüşümlerinden ileri gelen hacimsel genişlemenin bünyeye zarar vermemesi için 400 °C den 650 °C ye kadar olan ısıtma yavaş yapılmalıdır.

Soğutma işleme kabaca 3 kademedede yapılmaktadır.

- Ani Soğutma (1200–650°C arası) (~ 2,5-3 saat)
- Yavaş Soğutma (650–400°C arası) (~ 2-2,5 saat)
- Normal Soğutma (400–100°C arası) (~ 2 saat)

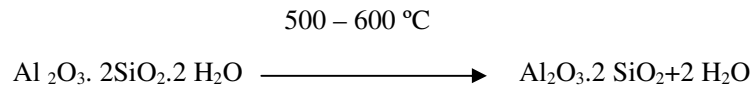
Pişme işlemi tamamlanan mamul 1200–650°C' ye kadar mümkün olan en hızlı şekilde soğutulabilmektedir. 650–400 °C arasında Kuvars kristali değişimi nedeniyle yavaş bir soğutma gereklidir.(573°C)Normal soğutmada ise mamul fırından çıkabilecek sıcaklığa (150-100°C) düşürülmelidir.

Pişme sırasında seramik, bazı geçici ve kalıcı değişiklikler gösterir. Geçici değişikliklerin başında hacimsel büyüme gelir.

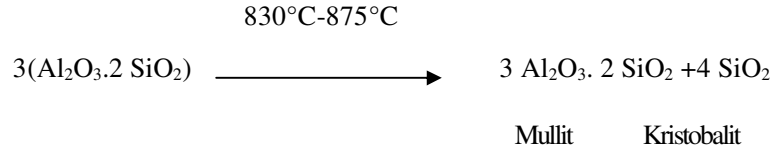
Kalıcı değişiklikleri, dolayısıyla esas pişmiş seramik çamurunu oluşturan nedenler çoktur. Bunların en önemlileri, kristal değişikliği, cam fazı oluşumu, yer değiştirme reaksiyonlarıdır. Bu olayların sonucunda seramik çamurunun pekişmesi gerçekleşir [4].

2.2.7.1 Kristal değişikliği

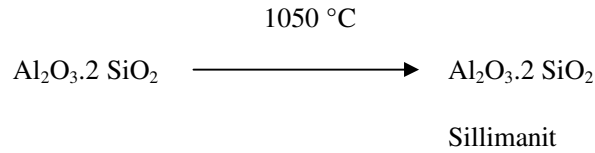
Seramik çamurunu oluşturan çıkış mineralinin türüne, mineralin konsantrasyonuna ve bunlara etki eden sıcaklığa göre, farklı kristal değişimleri ortaya çıkar. Kaolinit 500–600°C 'de metakaolinite dönüşür. Bu sırada kaolinitin iki molder oluşan kristal suyu uçar ve % 13,95 lik bir kızdırma kaybı (ateş zayıyatı) ortaya çıkar.



Plastiğin kaybolması ile ilgili olarak, bu reaksiyon endoterm (ısıılan) bir reaksiyondur. Oluşan metakaolinit, reaksiyonlara karşı ilgili bir bileşik olduğundan, 830 °C nin üzerinde kuvvetli bir ekzoterm (ısıveren) reaksiyon sonucu mullit ve kristobalite dönüşür.



Metakaolinit ile mullit arasında geçişi oluşturan bir reaksiyon daha vardır ve bu geçişte sillimanit oluşur.



Reaksiyonlar sonucu oluşan serbest SiO₂, diğer reaksiyonlarda rol oynar. Sillimanit ve özellikle mullit in aracılığı ile seramik çamurunda pekişme ortaya çıkar. Mullit kristalleri sert olup, iğne şeklindedirler. Mullit oluşumunun istendiği yerlerden biri de, seramik çamuru ile üzerindeki sırn arasındaki "ara tabaka" dır. Ara tabakada oluşan mullit nedeni ile sırn çamur üzerine iyice tutunması sağlanmış olur.

2.2.7.2 Cam fazının oluşumu

Silikattan oluşan erimelerin soğumaları sırasında viskozite o kadar çabuk azalır ki, iskelet oluşumunu sağlayan tanecik hareketleri gerçekleşemez. İskelet oluşturma düzenine girmişken aniden donan tanecikler, camsı oluşumlara dönüşürler. "Cam fazı" adı verilen bu oluşumlar, seramik çamurunun içindeki erimemiş mineralleri birbirine bağlayarak pekişmeyi sağlar. Cam (sıvı faz) fazı oluşumunun artması ile orantılı olarak, porların azalması ve pekişme hızlanır.

2.2.7.3 Yer değiştirme reaksiyonu

Minerallerin bir kısmı doğada veya hazırlamada parçalanma gösterirler. Böylelikle, doğal olarak düzenlenmiş kristal yapı bozulmuş, bazı değerler doymamış olarak kalırlar.

Pişme sırasında bozulan bu yapılar tekrar oluşurlar ve tek parçada birleşirler. Oksit seramikte sinterleşme bu yolla sağlanır. Fakat saf tek madde sisteminin uygulandığı oksit

seramikte sinterleşme türü, kristal değişikliği veya cam fazı oluşumu ile elde edilemez. 5 mikronun altında öğütmekle yapılan hazırlamada, kristallerin bozulması sağlanır. Bu bozulma, pişme sırasında yer değiştirme reaksiyonu sonucu, sinterleşmeyi oluşturur. Oksit seramikten elde edilen parçalara, tek kristalli parçalar adı verilebilir. Bu işlem "kuru sinterleşme" adını alır. Diğer belirgin bir olay da, pişme küçülmesinin % 20–40 gibi yüksek olmasıdır.

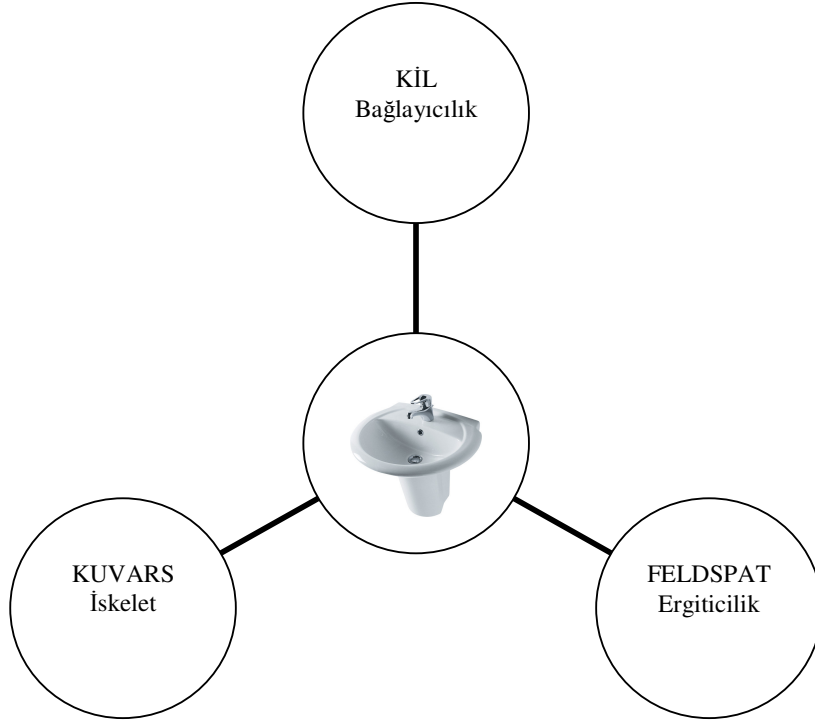
2.2.8 Kalite ayırımı

Piştirilen mamullerin standartlara uygun olup olmadığına ve standartlara uygun ürünlerin kalite sınıfının belirlendiği bölümdür. I. kalite, II. kalite, ekonomik ve iskarta olmak üzere 4 grup vardır. Kalite sınıfı ihracat ve iç piyasa olarak tekrar ikiye ayrılır. Iskarta ürünleri tamiri mümkün olmayan ürünlerdir, ayrılıp kırılmaya gönderilir. Ekonomik ve 2. kalite ürünleri ise tamir edilebilir ve ikinci pişirime girecek ürünlerdir. Bunlar araldit tamiri, epoxy tamiri, taşlama, nokta tamiri ve zımpara tamiri yapılacak ürünlerdir. Araldit zemini sırsız yüzeylerindeki döküm çatlağı ve benzeri bozuk bölgelerde uygulanan soğuk tamirdir. Epoxy tamiri ise sırlı yüzeydeki hava, toplanma, küçük döküm çatlağı gibi hataların düzeltilmesinde kullanılır. Nokta tamirinde demir lekesi, iğne başı vb. hatalar ayrılarak doldurulur ve sırlanır.

2.2.9 Kalite denetim seramik laboratuvarı

Seramik laboratuvarında elek analizi, viskozite kontrolü, silikat eğrisi, alçı döküm kontrolü, harkort testi, su emme, deformasyon, sertleşme, kalınlık alma, litre ağırlığı, rutubet tayini, killerde döküm kontrolü, küçülme, çarpmaya dayanım, pişme tecrübesi, aside karşı dayanım, plastiklik, sırlarda akma boyu, deterjana dayanım testleri yapılmaktadır.

3. VİTRİFİYE SERAMİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER



Şekil 3.1 Seramik hammaddeleri ve bünyedeki görevleri.

3.1 Killer

Kayıtlı tarihin başlangıcından beri, kendilerine ait üstün kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı insanoğluna çok yönlü yararlı bir malzeme olan killer, doğada yaygın olarak bulunan ve önemli endüstri kollarının ana hammaddesini oluşturan bir malzemedir. Bunların yanı sıra, çeşitli mühendislik uygulamalarında temel zemini, yapı malzemesi veya yer üstü ve yeraltı kazılarında sorunlar yaratabilen bir malzeme olarak da mühendislerin karşısına çıkmaktadır. Fizikokimyasal özellikleriyle de ilgi çeken killer, ayrıca ziraat açısından da büyük önem taşımakta ve tarım sektörünün temel taşı oluşturmaktadır [5].

Kil; doğal olarak oluşmuş, başlıca ince taneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişmeyle sertleşebilen malzemedir.

Her ne kadar kil genellikle tabakalı silikatları kapsarsa da, plastiklik veren ve kurutulup veya pişirildiği zaman sertleşen diğer malzemeleri de içerebilir. Kildeki ortak fazlar, plastiklik yapmayan materyaller ve organik maddeler içerebilir [40].

Kilin "doğal oluşum" zorunluluğu, sentetik olanları kapsam dışı tutar. Mineralin standart tanımı esas alındığında, killere başlıca inorganik materyaller olup, çok miktarda organik madde içeren turba, bataklık çamuru ve bazı topraklar kapsam dışında tutulur. Organik fazlar gibi ortak fazlar kilde bulunabilir.

"Kil minerali" tanımı, tabakalı silikat grubu mineraller ile killere plastiklik veren kuruma veya pişmeyle sertleşen mineraller için kullanılır. [5]

Plastiklik killerin önemli özelliklerinden biridir. Her hangi bir doğrultuda malzemenin baskı altında bırakılmadan geçirdiği geçici deformasyon miktarı plastiklik olarak tanımlanmıştır [6]. Çok plastik olan killere şişen kil (fat clay-özlü kil) denir. Düşük derecede plastik olan killere ise zayıf kil (lean clay-özsüz kil) denir. Killer tanelerinin inceliği oranında plastiklik kazanırlar. Halk dilinde plastiklik için yağlı kil tabir edilir [7].

Murray [6] killerin plastikliğini etkileyen faktörleri; kil minerallerinin tipi, parça boyutu, tane şekli, organik madde, çözünür tuzları, iyon adsorpsiyonu, kil dışı minerallerin miktarı ve tipi, killerin kuru (dry strength) ve ham (green strength) dayanımları olarak belirtmiştir. Plastiklik ve ham dayanım birbirlerine yakın kavramlardır. Kuru dayanım mevcut ince tane oranına, tanelerin şekline, kil fraksiyonunun hidrasyon derecesine, mamul üretim metoduna ve kurutma oranına bağlıdır. Kurutma ve ateş kaybı kilin önemli özelliklerindedir. Üretilen ürün için kayıp, kilin pişirildikten veya kurutulduktan sonraki hacim kaybıdır. Kurutma kaybı, su içeriğine, kil mineralinin türüne ve parça boyutuna bağlıdır. Çoğu plastik mineraller kurutma ile küçülür, buda üründe çatlak ve çarpıklığa sebep olur. Kumlu kil veya düşük plastiklikteki killere düşük katı özelliğine sahiptirler. Fakat bu ise zayıf bir poroz yapısına sebep olur. Ateş kaybı, kilin yoğunluğuna, uçucu malzeme miktarına, fırınlama boyunca kristal faz değişimlerinin tipine, kil minerallerinin dehidrasyon karakterine bağlıdır.

Vitrifikasyon kademeli bir ergitme işlemidir. Bazı killere düşük vitrifikasyon sınırına sahiptir. Böyle killere pişirme işlemi sırasında fırın ısı çok hassas ayarlanmalıdır. Çok miktarda illit, smektit ve klorit içeren killere, kaolinitçe zengin killere göre daha düşük vitrifikasyon sıcaklığına sahiptir. Kildeki kalsit-feldspat gibi bazı safsızlıklar vitrifikasyon sıcaklığını düşürür. Genellikle vitrifikasyon derecesi nihai üründe ihtiyaç duyulan porozite ve kayıp miktarları ile düzenlenir.

Pek çok kil için üniform renk gerekli bir özelliktir. Ürünün rengi oksidasyon ve demir minerallerinin tane boyuna, fırınlama sıcaklığına, vitrifikasyon derecesine (bu alümina oranına kireç ve kil minerallerindeki magnezya ya ve yakma işlemi sırasındaki fırında bulunan gazın bileşimine) bağlı olarak değişir. Killerin pek çoğu, Prekambrien'den Holoesen'e kadar olan zaman aralığında oluşmuş kayalardan meydana gelirler. Bunlar, buzul kil, toprak, alüvyon, lösler, şeyl, şist ve sleytlerdir. Çeşitli kil gruplarını içeren bazı ateş killeri ve kaolenler yapısal kil ürünlerinin imalinde kullanılır [6].

Killer 400–700°C arasında ısıtıldıklarında kimyasal formüllerinde gösterilen kristal sularını da kaybederler ve kristal yapılarında bazı değişiklikler meydana gelir. Kristal suyun kaybı ve yapısal değişiklikler sebebiyle meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar DTA analizlerinde kil minerallerinin tanınmasına yardımcı olur. 900°C ve daha yüksek sıcaklıklarda kil mineralleri kristal yapısını tamamen kaybeder ve amorf yapıya geçer. Isı karşısında su kaybı ile birlikte killerde yoğunluk azalması ve hacim küçülmesi meydana gelir. Kuruma esnasında meydana gelen küçülmeye kuruma küçülmesi denir [13]. Şekil 3.2'de bir kilin kurutulması esnasındaki su kaybı görülmektedir [14].

Killer plastik ve amorf olarak iki grupta toplanabilirler. Amorf killer nemli iken şekillerini koruyamazlar. Plastiklik için en basit ölçüt, kilin yayvanlaşabilme özelliğidir. Yüksek plastikliğe sahip olanlar, bir defter sayfası üzerine elle yayılabilir. Kum karışımı kili amorflaştırır. Kilin kum içeriği dişler arasında kolaylıkla hissedilebilir. Saf killer ise bıçakla kesildiğinde düzgün parlak yüzeyler verir. Plastik killerin doğal su içeriği yaklaşık %20 kadardır. Basınç nedeni ile su içeriği de gözenek hacmi gibi derinlere doğru inildikçe azalmaktadır [15].



Parçalar arası su

Kil partikülleri
Gözenek suyu

Kuru

Şekil 3.2 Kilin kuruması [14].

Plastik kilin 105°C' de kurutulunca oluşan ağırlık kaybına ise plastiklik suyu oranı denir. Killi maddelerin plastiklik suyu miktarı ihtiva ettiği kil minerali ve kil olmayan maddelerin miktarına, kil mineralleri cinslerine, kil minerallerinin tane boyutuna ve kristalleşme derecesine, iyon değiştirme kapasitesine, değişebilir iyonların cinsine, tuz ve organik madde miktarına göre değişir. Plastik haldeki killerin üzerlerine basınç tatbik edildiğinde veya titreşime maruz bırakıldığında içerdikleri suyun bir kısmını serbest su olarak terk edebilirler ve üzerlerindeki bu etki kalktığında çıkan bu suyu tekrar bünyelerine alırlar. Killerin plastiklik ve kaplayıcılık özelliği kristallerinin ince levhacıklar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisindeki bu levhacıklar üst üste dizilmiş paketler şeklinde olup su ile çamur oluşturulurken, su bu levhalar arasına yerleşir. Çamura basınç uygulandığında levhalar birbiri üzerine kayarak verilen şekli alır.

Kil levhaları sağlam şekilde bağlanır ve ayrılmaları çok güçtür. Kilin plastikliği çamur oluşturmak için gerekli su miktarı ile tayin edilir ve ne kadar az su ile çamur oluşturulursa o kil o kadar plastiktir denilir. Plastiklik özelliği irili, ufaklı tanelerin yan yana gelmesine de bağlı olup aşırı öğütülmüş kil (tüm tanelerin küçültüp hemen hemen aynı boya getirildiği durumda) plastikliğini kaybeder. Kil plastikliği bentonit, dekstrin, hürnin asidi gibi kolloid çözelti vermeye yatkın katkı maddeleri ile arttırılabilir [16].

Plastiklik sınırının üzerine su ilave edilen killer kendi ağırlıkları ile akabilir hale gelirler. Killerin süspansiyon meydana getirmesi kil minerallerinin cinsine, büyüklüğüne, değişebilir katyon içeriğine ve değişebilir katyonların cinsine göre değişir. Kaolen grubu kil minerallerine göre montmorillonit grubu kil minerallerinin süspansiyon meydana getirme eğilimi daha fazladır. Bu grup içinde de sodyum montmorillonit en yüksek süspansiyon meydana getirme özelliğine sahiptir. Killerin kolloid özelliklerinden seramik sanayinde döküm yolu ile şekillendirme, boyalarda dolgu malzemesi olarak faydalanılır [17,18].

Organik maddeler ile öğütülmüş kil taneleri hidrofobik ve yağ emme özelliğine sahiptir. Bunlar organik bileşikler ile polimerize olabilirler. İyonlaşmaya ve polar özelliğe sahip olan bileşiklerde kil mineralleri tarafından absorbe edilebilirler. Polar moleküller hidrojen bağları ile kil minerallerine tutunur. Organik moleküllerin yüksek polariteye sahip olması halinde kil minerallerinden bazıları (montmorillonit) bir molekül tabakasından fazla organik madde absorbe edebilir (Gök, 1983). Kil mineralleri bazı organik sıvıların renklerinin giderilmesinde özellikle katı ve sıvı yağların ağartılmasında kullanılır [19].

Killerde aranılan bir diğer teknolojik özellikte ateşe dayanıklılığıdır. Bu bünyeye katılan organik, metal oksit ve diğer anorganiklerin miktarına bağlı olarak değişir. Kil bünyesinde metal oksitler, karbonatlar, sülfatlar ve feldspatlar arttıkça ısıya dayanım azalır, düşük sıcaklıklarda erir, kaynar ve kabarır. Al_2O_3 ve SiO_2 miktarı arttıkça ise ısıya dayanım özelliği artar. Bu tip killerin pişme rengi daha beyaz olup şiferton killer olarak bilinirler. İçinde bol miktarda Fe_2O_3 , MnO_2 bulunan ince taneli olan killere çömlekçi kili (kaba seramik killeri) denilir. Bu killerde düşük sıcaklıkta sinterlenir [20].

3.2 Kuvars

Diğer seramik hammaddelere göre tabiatta daha saf bulunur. Kuvars yeryüzünün bilinen kısmının %25' ini oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok rastlanan silisyumun bileşimidir. Kimyasal formülü SiO_2 olup, mol ağırlığı 60, sertlik derecesi Mohs'a göre 7'dir. Saf kuvars %46.7 Si ve %53.3 O_2 içerir. [3,21].

Bir seramik yapının kil gibi plastik ve dolgu özelliği olan hammaddeler yanında kuvars gibi plastik olmayan ve yapıyı yüksek sıcaklıklarda ayakta tutacak hammaddeye de gereksinim vardır. Kuvars, yapının kuruma küçülmesini azaltır, plastikliği düzenlemeye yardımcı olur ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir [16].

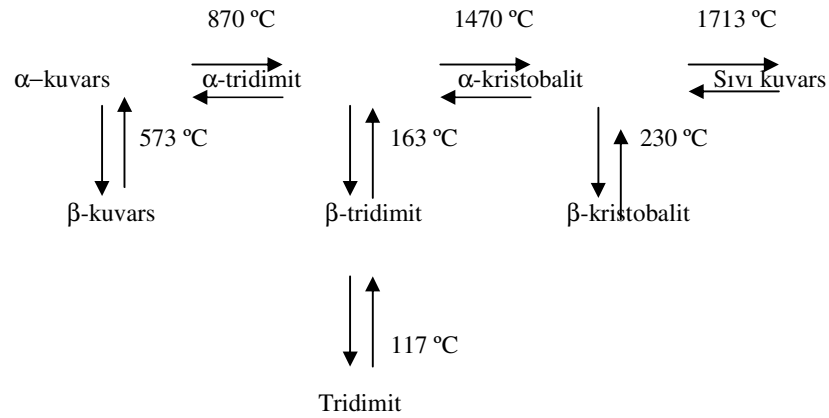
Sırlarda cam oluşturuçu olarak tanımlanan SiO_2 , bu görevi ancak bazik oksitlerle uygun oranda birleştiği zaman yapar. Sırda SiO_2 oranı artması ile orantılı olarak sırrın ergime sıcaklığı yükselir. Kuvarsın düşük olan genleşme katsayısından yararlanarak sırda ortaya çıkan sır çatlaklarının giderilmesinde de kullanılır. SiO_2 sıru kimyasal maddeler karşı dirençli kılar. Yüksek oranda kullanıldığında çamurun bağlayıcı özelliğini ve kuru mukavemetini azaltan kuvars, aynı zamanda pişmiş bünyenin gözenekliliğini, dolayısıyla su emmesini de artırır. Bu olumsuz özelliklerinin yanında, kuru ve pişme küçülmesini azaltır ve özellikle büyük boyutlu malzemelerin ayakta kalmasını sağlar. Ayrıca yapı içerisinde homojen olarak dağılmış kuvars tanecikleri mekanik mukavemeti artırır. Kuvarsın tane iriliği büyükse gelişme sıcaklığını yükseltir, ince ise kılcal çatlamlar ve mukavemet azaltıcı rol oynar.

Seramik hammaddesi olarak kullanılan kuvarsın ısıl davranışının üretim aşamalarında önemle takip edilmesi gerekmektedir. Çünkü saf kuvars ısıtılmaya başladığında çeşitli modifikasyonları oluşur. Silisyum dioksitin oda sıcaklığında değişme formu beta kuvarstır. Beta kuvarsın 573 °C ye kadar ısıtılması ile bu sıcaklıkta alfa kuvars oluşur. Bu reaksiyon geriye dönüşümlü olup, hacimce %2'lik büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile alfa kuvars 870 °C de alfa tridimite dönüşür ve hacmi %5

artar. Dönüşümler dizisi 1713 °C de kristobolitin ergiyerek kuvars camı haline gelmesi ile son bulur.

Kuvars kristalleri kuvars, tridimit, kristobalit olarak tabiatta üç ayrı polimorfu vardır. Bu üç kristal şekli ısı değişimlerinde birbirlerine ve yine kendi aralarında daha farklı kristal yapılarına dönüşebilirler. Bunlar şekil 3.3'de verilmiştir.

Seramik hammaddelerinin hepsi ısı karşısında hacimce küçülürler. Oysa kuvarsta bu ısıl dönüşümler sonucunda hacimce büyüme olur. Kuvarsın bu özelliğinden dolayı seramik ürünlerin pişiriminde dönüşüm sıcaklıklarındaki kritik noktalarda ısıtma ve soğutma hızlarına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.3 Kuvars dönüşümleri.

Oda sıcaklığında kararlı bir yapıda olan β -kuvars 573 °C de α -kuvarsa dönüşür. Yer değiştirme mekanizması ile ilerleyen bu dönüşümün gerçekleşmesi için ilave malzeme ve uzun zamana gerek yoktur. Dolayısı ile ısıtma ve soğutma aşamasında bu dönüşümün gerçekleşmesi engellenmez. Meydana gelen iç gerilmeden en az etkilenmek için fırında bu sıcaklık oldukça yavaş geçilir. Kuvars 870 °C'de çok yavaş bir şekilde kararlı tridimit fazına dönüşür. Bu dönüşüm yeniden yapılanma mekanizması ile geliştiğinden yüksek aktivasyon enerjisi gerektirir. Dolayısı ile seramik ürünlerin pişiriminde bu dönüşüm gerçekleşmediğinden bu ve diğer dönüşümler sorun oluşturmaz.

3.4 Feldspat

Potasyum, sodyum ve kalsiyum alümina silikat bileşimli mineral gruplarına feldspat denilir. Seramik çamuruna Na_2O , K_2O , CaO bileşiklerinin girmesiyle yapıda cam fazın oluşması sağlanır. Çamurlarda sinterleme sonucu cam fazı oluşturduğu gibi sırlarda eriticilik özelliği gösterirler.

Seramik reçetesine flakslar (eriticiler), bünye pişirildiğinde sıvı oluşumunu sağlayacak sıcaklığın düşürülmesi amacıyla katılır. Alkali içerikleri, feldspat ve nefelinli siyenite nispeten düşük erime sıcaklığı kazandırır. Böylece kil, feldspat ve kuvarstan oluşan tipik seramik reçetesinde feldspat yumuşar, camsı veya sıvı hale geçer, buna karşılık kil ve kuvars katı halde ıslatır ve gözenekler arasında dereceli olarak dağıtıldıkça, yüzey gerilimi taneleri birbirine çeker. Belirli bir minerolojik bileşime sahip her seramik çamuru, bu mukavemet kazanma ve yoğunlaşma işlemlerinin gerçekleştiği sabit bir pişme sıcaklığına sahiptir ve bu sıcaklık genellikle $1100\text{--}1300\text{ }^\circ\text{C}$ 'ler arasında bulunur. Eritici (flaks), pişirme sırasında seramik bünyenin camlaşma derecesini kontrol eder ve ürün fırından istenen camlaşma derecesinde çıkar.

Sodyum ve potasyum feldspat, ya da nefelinli siyenit gibi flakslardan hangisinin ne miktarda kullanılacağına, çok sayıda teknik kriter etki eder ve bu kriterler belirli bir flaksın ilavesiyle kazanılacak özellikleri de kapsar. Bunlara örnek olarak, nihai üründe aranan beyazlık derecesi, kopma mukavemeti, sır tutma veya reddetme, sır dekorasyonları üzerine metal işleme etkisi ve imalatçının geleneksel alışkanlığı gösterilebilir.

Eritici özelliğine etki eden faktörler arasında silika içeriği, bünye bileşimi ve daha önemli olarak toplam alkali içeriği ile Na_2O , K_2O ve LiO_2 gibi alkali oksitlerin oranları sayılabilir. Alkali içeriği yükseldikçe, eritici özellik de artar ve buna bağlı olarak erime noktası düşer.

Beyaz mamul, fayans, sıhhi tesisat ve diğer seramik ürünlerde feldspat, bünye malzemelerinin %15-35'ini sır malzemelerinin %30-50'sini teşkil eder. Feldspat gibi seramik kalitesinde flakslar, diğer bünye bileşenleri ile daha iyi karışabilmeleri için 200–300 mesh civarına öğütülürler. Kural olarak, seramik sanayinde potasyum feldspat daha yaygındır. Potasyum feldspatın avantajı, yüksek viskoziteye sahip bir eriyik oluşturmasıdır ve bu eriyiğin sonucu olarak, pişirme sırasında seramiğin şekil bozulmalarına karşı mukavemet temin etmesidir.[22].

4. POMZA

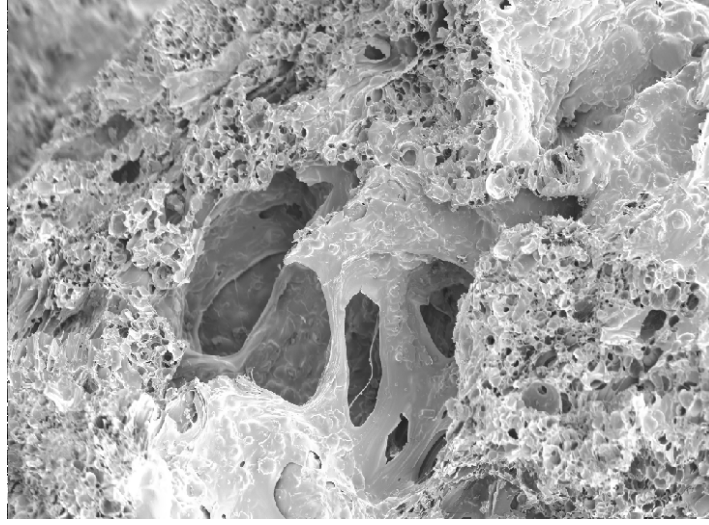
4.1 Pomza ve Özellikleri

TS standartlarına göre pomza; sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacmi 1 gr/cm^3 'den küçük, sertliği mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır [23]. Şekil 4.1'de pomza görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.2'de ise pomzanın elektron mikroskobu görüntüsü verilmiştir [41].



Şekil 4.1. Pomza görüntüsü[23].

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza kendisine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidyen, pekştayn) ayrılır. Bunlardan rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılmaktadır. Sertliği mohs skalasına göre 5-6'dır. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Pomzanın genel kimyasal bileşimi ; % 60-75 SiO_2 , % 13-17 Al_2O_3 , % 1-3 Fe_2O_3 , % 1-2 CaO , % 7-8 $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ ve eser miktarda TiO_2 ve SO_2 'den oluşmaktadır. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı kayaca abraziflik özelliği kazandırmaktadır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir.



Şekil 4.2. Pomzanın elektron mikroskobu görüntüsü[41].

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşumu mevcuttur. Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Diğer bir deyişle bazik pomzaya bazaltik pomza veya scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı $1-2 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. Her iki türde de oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Ancak asidik magmanın yoğunluğu bazik magmaya göre daha düşük olup pomzanın yoğunluğu $0.5-1 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum ihtiva eder ve bu bileşimler nedeni ile de açık renkli görünüm sergilemektedir. Asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimlerine birer örnek aşağıda Çizelge 4.1' de verilmiştir [23].

Pomza, volkanik bir cam olduğu için kolay öğütülür. Öğütülmüş pomza, taşlama ve parlatma amaçları için kullanılabilirdiği gibi, kibrit fabrikalarında ateşleme ve dolgu maddesi, sabun ve kozmetik sanayinde de aynı amaçlarla kullanılabilir. Türkiye'de değişik yörelerde bulunan pomza oluşumlarına ait kimyasal analiz değerlendirmeleri Çizelge 4.2' de verilmiştir [23].

4.2 Pomza Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Ülkemizde pomza madenciliği, pomza yataklarının oluşum şekli ve dekupaj oranları dahilinde açık işletme metoduyla üretilmektedir. Cevher üretimi genellikle, önce pomza dekupajının loder veya paletli yükleyici ile alınması ile başlar. Ancak dekupaj özenli bir şekilde yapılmadığında cevher üst örtü ile karışarak pomza kalitesi düşmekte ya da dekupaj, gerekli kalınlıktan daha derin yapılmaktadır.

İlk işletme aşaması olarak değerlendirdiğimiz, ocaktan ham pomza elde edilmesi büyük yatırım gerektirmemektedir. Ocağın konumu, nitelikleri, cevher zonunun şekli, dekupaj çalışması ve kaldırılan örtü malzemesinin yerlerinin belirlenmesi aşamalarından sonra üretime kolaylıkla geçilebilir.

Ocaktan çıkarılan pomza, boyut küçültme işlemine tabi tutulur. Çeneli ya da çekiçli kırıcılarla değişik boyutlara indirilir. İnşaat malzemesi üretiminde kullanılacak pomzalarda 4 farklı boyutta üretim yapılmaktadır. Bunlar; (-5+3), (-3+2), (-2+1) ve -1 mm aralıklarıdır [33].

Üretimde karşılaşılabilecek en önemli problem; pomza içindeki volkanik kayaç parçacıkları ve organik bileşenlerdir. Pomza havuzda yüzdürülerek, dibe çöken kayaç parçaları ve organik bileşenlerden kolaylıkla ayrılabilir.

4.3 Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza sektörel olarak, inşaat, tekstil, tarım, kimya sektörleri ile diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda kullanılmaktadır.

4.3.1 İnşaat sektöründe

Pomza, ülkemizde ve dünyada geniş anlamda inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın % 80' i piyasada inşaat sektöründe hafif beton agregası olarak tüketilmektedir. Pomza, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanılmaktadır. Perlit gibi genleştirmek için enerji ve yatırım gerektirmediğinden, inşaat sektöründe son yıllarda kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Pomza, normal kumun ve çakılın 1/3 ile 2/3' ü kadar ağırlığa eşit olup, aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülebilmektedir.

Pomzadan yapılan betonun normal betondan çok daha hafif olması nedeniyle taşınması, kullanılmasındaki kolaylıklar zaman ve işçilikten tasarruf sağlar. Zemin mekaniği açısından da temele inen yük azalacağından, yaklaşık % 17 oranında inşaat demirinden tasarruf sağlanabilmektedir.

Pomzalı beton, ısı geçirgenlik katsayısı normal betondan 4-6 kat daha fazla olduğundan izolasyon sağlamakta ve bu özelliğinden dolayı büyük çapta ısı ve enerji tasarrufu sağlayacağı bilinmektedir.

4.3.2 Tekstil sektöründe

Tekstil sektörü, günümüzde ülkemiz endüstrisinde en önemli paya sahip sektör olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında pomza, aranan ve azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur. Yaygın olarak kot taşlama olarak bilinen işlemde, yani denim kumaşları renklerinin açılmasında, kumaşların yumuşatılmasında kullanılmaktadır.

4.3.3 Tarım sektöründe

Pomza, gelişmiş ülkelerin çoğunda tarımda kuraklığa çare olarak başvurulan seçeneklerden bir tanesidir. Bünyesine aldığı suyu uzun süre koruyarak sürekli olarak nemli bir ortamın oluşmasını temin ettiğinden, kuraklığa çare olarak kısmi bir çözüm getirirse de yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Pomza, tarımda hem ucuz hem de özellikleri bakımından bitkiler için önemli bir hammadde durumundadır. Öte yandan sıvı gübre kullanımı söz konusu olduğunda, pomza gübre kaybını minimuma indirdiği gibi, yeraltı su kaynaklarının kirlenmesinin de önüne geçmektedir.

4.3.4 Kimya sektöründe

Günümüzde pomza aşağıda belirtilen kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır;

- Tarım ilaçları ve kibritle sanayide aşındırıcı olarak,
- Gübre sanayinde, gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde antikek maddesi olarak,
- Diş macunlarında ve diş hekimliğinde parlatma keki ve tozu olarak,
- Bir çok sektörde absorban malzeme olarak,
- Temizlik ve deterjan sanayinde katkı malzemesi olarak,
- Özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak.

4.3.5 Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda

- Kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayinde aşındırıcı olarak,
- TV tüpleri, elektronik devre ve çiplerin üretiminde hassas temizleme maddesi olarak,
- Yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı maddesi olarak,
- Asfalt kaplamalarda (özellikle sıcak iklimli bölgelerde) yüzeye kusmayı engelleyici katkı maddesi olarak,
- Karayollarında; buzlanmaları kontrol altına almada kullanılabilir.

Dekoratif ve yalıtımlı, tavan kaplama malzemelerinin imali gibi pek çok sektörde kullanım imkanı bulmaktadır. Ayrıca günümüzde seramik malzemelerin sır tabakalarının yapımında, refrakter malzeme, hafif-izo-akustik sıva imalinde, biyoteknoloji alanlarında absorban malzeme olarak ve su arıtım teknolojisi gibi pek çok alanda kullanımına ilişkin çalışmaların da sürdürüldüğü bilinmektedir.

5. DÖKÜM ÇAMURUNUN REOLOJİSİ

Reoloji, bir malzemenin çıkış ve deformasyon özellikleri ile ilgilenen bir bilimdir [26].

5.1 Döküm Çamurunun Deflokülasyonu

Kil içeren bünyelerden iyi bir döküm çamuru hazırlamak genelde oldukça zordur. Killer genel olarak birbirlerinden farklı değildir. Fakat diğer mineraller ile birlikte özellikle su içerisinde davranışları değişir. Bu nedenle çok çeşitli kimyasallar ilave edilmektedir. Hazırlanan çamurun sabit bir viskoziteye ve üniform özelliklerde ürün üretebilme özelliklerine sahip olması gerekir.

Kil ve kil bünyelerin deflokülasyonunda temel faktör tabii ki kimyasal ilavesiyle etkileşime uygun koloidal kil partiküllerinin varlığıdır. Çamurun akışkanlığı bu partiküllerin arasındaki itme kuvvetlerine bağlıdır.

Kolloidal partiküller su içerisinde dağıldıklarında yüzeylerinde elektriksel olarak yüklenir. Bu yüklenme, iyon çözünmesi, sulu ortam ile kimyasal reaksiyon ve spesifik iyon absorpsiyon mekanizmaları ile gerçekleşir. Yüzey şarjı polar ortamdaki yüzeye yakın olan iyonların dağılımını etkiler. Zıt yüke sahip olan iyonlar yüzeye doğru çekilirken, aynı yüke sahip iyonlar yüzeyden itilir. Bu durum elektriksel çift tabakanın oluşumuna neden olur. Elektriksel çift tabaka genelde iki tabakadan oluşur. Bunlar absorplanmış iyonları içeren iç tabaka ve iyonların elektriksel kuvvetler ve termal hareketlerin etkisi ile yayıldığı difuz tabakadır. Stern modeline göre çift tabaka, bir düzlem(stern düzlemi) tarafından ayrılmış iki kısımdan oluşmuştur. Stern düzlemi yüzeyden hidrote olmuş iyon çapı kadar mesafededir. Adsorbe olmuş iyonlar ise stern tabakası içindedir [26].

Kayma yüzeyindeki potansiyel ise elektro-kinetik yada zeta potansiyeli olarak adlandırılır. Çok değerlikli yüzey aktif zıt yüklü iyonların yüzeye absorpsiyonu yüzey şarjının ters yönde değişmesine neden olabilir.

Sıvı bir ortam içinde dağıtılmış partiküller arasında her zaman etkileşimler olmaktadır ve süspansiyonun kararlılığı bu etkileşimler sırasında partiküller arasında mevcut itici yada çekici kuvvetler tarafından belirlenir [26].

Vander Waals çekici kuvvetleri flokülasyona neden olur. Çekici kuvvetler devamlı dipollere sahip moleküllerin yönelmesi ile ve dipol moleküllerinin etrafındaki

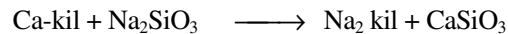
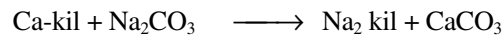
elektron bulutlarını saptırmasıyla ortaya çıkabilir. İtici kuvvetler ise iki partikül birbirine yaklaştığında elektriksel çift tabaka etkileşiminden dolayı birbirlerini itmesiyle oluşur.

Deryagin- Landau ve Vervvey- Overbeek birbirinden bağımsız olarak iki partikülün bir araya gelmesi sonucu meydana gelen enerji değişikliklerini ifade eden kantitatif bir teori geliştirmişlerdir. DLVO teorisine göre, partiküllerin birbirine yaklaşması ile elektriksel çift tabakadan dolayı oluşan itici enerji ve Vander Waals çekici enerjinin partiküller arası mesafe ile değişiminin hesaplanması ile ilgilidir. DLVO teorisine göre itici ve çekici kuvvetler arasında denge sağlandığında sistem stabilize edilebilir [27].

Genel olarak çamurlarda, belli bir elektrolit katkısı ile başlayan akışkanlık katkının artmasıyla hızlanır. Çamurun akma süresi kısalmır. Elektrolit katkısının daha da artmasıyla öyle bir noktaya erişilir ki artık çamurun akma süresi uzamaya başlar ve elektrolit daha da atılırsa çamur iyice koyulaşır, akmaz olur.

Yüksek elektrolit ya da kation konsantrasyonlarında zeta potansiyeli azalır. Çünkü eğer zıt yüklü iyonların miktarı fazla ise difuz tabakaya yığılırlar ve negatif yüzeyin etkisini yok ederler. Difuz tabakasının kalınlığı azalır ve bazı sınırlı durumlarda kationlar yüzey tabakasını istila edip yüzey şarjını azaltır. Böylelikle daha düşük derecede dispersiyona ve sistemin flokülasyonuna sebep olurlar.

Sodyum silikat ile deflokülasyon, silikat iyonları ile çok değerlikli toplayıcı iyonların reaksiyonu sonucu meydana gelir. Sodyum silikat serbest alkali ve silisilik asit vermek üzere hidrolize olur. Silisik asit ise koruyucu koloit olarak adlandırılır ve killerin flokülasyon eğilimini azaltır. Çözülmeyen kalsiyum ve magnezyum silikatla oluşur. Sodyum iyonları kil sistemlerinin yapısında bulunan iki değerlikli kationları ile yer değiştirir. İtici kuvvetlerin etkisiyle deflokülasyon meydana gelir [11].



Soda külü veya sodyum karbonat, bünyede kil minerallerinin yüzeyindeki difuz çift tabaka yükleri üzerine etkilidir. Sodyum karbonat, sodyum hidroksit, karbonik asit vermek üzere hidrolize olur. Sodyum karbonatın killere etkileşimi sonucu suda çözünürlüğü çok az olan veya hiç olmayan karbonatlar meydana gelir [11].

CaCO_3 ve CaSiO_3 suda çözünmediğinden bu reaksiyonlar tek yönlüdür. Sodyum iyonları en küçük kil tanelerine yapışarak elektrik alanı meydana getirirler. Bu elektrik alanı, etrafındaki OH^- iyonlarını ve su moleküllerini üzerine çeker ve her kil parçacığının etrafında bir su mantosu oluşturur. Bu parçacıklar birbirlerini iter ve aynı zamanda Vander Waals kuvvetiyle çekerler. Kimyasal ve fiziksel kuvvetler arasındaki denge bozulduğu takdirde akışkanlık özelliği de bozulur [16].

Her kil, kaolin veya çamurun elektrolitlerle akışkan duruma gelmesi farklıdır. Elektrolitin türü, katkı oranı, etki süresi akışkanlıkta büyük rol oynar. Hammaddelerin ayrı ayrı hangi tür elektrolit ile, hangi oranlarda akışkanlık yaptığı "uygun elektrolit deneyleri" ile belirlenir. Elektrolit ilavesine bağlı olarak çamurun viskozitesi değişirken viskoziteyle birlikte ürün kalitesi de değişir.

Köseoğlu ve Güler tarafından yapılan bir çalışmada döküm çamuru üretiminde bir döküm çamurunun viskozitesine, Na_2SiO_3 , Na_2CO_3 ve K_2SiO_3 etkileri incelenmiştir. Na_2CO_3 ilavesinde çamurun akış süresinin arttığı, Na_2SiO_3 ilavesinde tiksotropik özellik kazandığı görülmüştür. K_2SiO_3 ilavesinde jelleşmenin görüldüğünü belirterek akışmada bulunan illit, klorit yapısındaki tabakalar arasına iyon çapı büyük olan potasyum girmesi ve tabakaları açarak taneciğin görünür büyüklüğünü artırarak viskozitenin artmasına neden olduğu açıklanmıştır [29].

Yeşilova, Kaytakoğlu ve Güvenç farklı özellikteki A ve B killeri ile hazırlanan süspansiyonlara Na_2SiO_3 , Na_2CO_3 , STPP, NaHMP, NaOH ayrıca NaOH + STPP ve Na_2CO_3 + Na_2SiO_3 karışımlarının etkisini incelemiştir. Na_2SiO_3 ilavesi ile akışkanlık sağladığı, Na_2CO_3 'ın kullanıldığı çalışmalarda A ve B kili için akışkanlık sağlamadığı belirtilmiştir. STPP ile A kili için akışkanlık elde edilebildiği, B kili için ise akışkanlığın elde edilmediği, NaHMP ile her iki kil içinde akışkanlığın elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca NaOH + NaHMP ile her iki kil için akışkanlık elde edildiği belirtilmiştir [30].

Kil-su sistemlerinin viskozite ve tiksotropi gibi reolojik özelliklerinin saptanması seramik ve daha pek çok endüstri dalı için önemlidir. Bu sistemlerdeki kil partikülleri arasındaki elektro-statik etkileşim ve Vander Waals kuvvetlerinin çekimi gibi etkenlerle sistemin akışkanlığı bir süre sonra azalabilir ve sistem topaklaşarak çökebilir. Teknolojik açıdan sakıncalı olan bu durumla karşılaşmamak için kil-su sistemlerinin reolojik özellikleri bilinmeli ve kontrol altında tutulmalıdır [28].

5.2 Viskotize

Viskotize, sistemde hız farkından dolayı anizometrik partiküllerin yönlenmesinden kaynaklanır. Doğal viskoz akış tipinde reolojik davranışlar koyma gerilimi ve koyma hızının artmasıyla azalır. Eğer koloidal bir sistemde partikül agregasyonu meydana gelirse koyma hızının artması bu agregatları kırma eğiliminde olacaktır. Bu durumda partiküller tarafından tutulmuş çözücü azalacaktır ve sistemin görünen viskozitesi azalacaktır. Genelde kayma incelmesi asimetrik partiküller içeren sistemlerde yaygındır. Asimetrik partiküller tesadüfi olarak akış özelliklerini düşük hızlarda daha fazla etkilerler. Artan hız ile partiküller yönlenir ve akışa karşı direnç azalır [26].

5.3 Tiksotropi

Akışkan çamurların hareketsiz oldukları zaman akışkanlıklarını kaybedip topaklaşmasına ve çamur karıştırıldığı zaman tekrar eski akışkanlığına dönmesi olayına tiksotropi denir. Tiksotropi sabit bir kayma oranında viskozitenin zamana bağlı olarak azalmasıdır.

Döküm çamurlarının hazırlanmasında kullanılan elektrolit türü ve oranı, kullanılan hammadde özellikleri ile de birleşerek döküm çamurunun az veya çok tiksotrop olmasına neden olur. Çok tiksotrop, döküm çamurları uygulamada kalıptan akmamakla geri boşaltma işlemi sırasında büyük sorunlar çıkarır. Küçük kalıplarda kuvvetli sallanma ile zor da olsa tiksotropi bozulabilir ve kalıpta kalan fazla çamur boşaltılabilir. Fakat büyük boyutlu ağır kalıplarda bu işlem olanaksızdır. Tiksotrop olmayan döküm çamurları da alçı kalıp içinde çok zor kalınlık alırlar. Bu nedenlerle döküm çamurlarında tiksotropinin varlığı azda olsa gereklidir.

6. MALZEME ve YÖNTEM

Yapılan çalışmada Eskişehir Seramik (ESVİT) işletme çamuruna pomza ilavesi ile pomzanın vitrifiye seramik üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneylerde çamurların litre ağırlıkları, viskoziteleri ve tiksotropileri ölçülmüş, şekillendirilen çamurdan elde edilen yarı mamullerin mukavemetleri ve ağırlıkları ölçülmüş, pişirilen yarı mamullerinde mukavemetleri, deformasyonları ağırlık kayıpları, pişme küçülmeleri, ateş zayıfları ve su emme değerleri ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan döküm çamuru ve pomza miktarları çizelge 6.1'da deneysel planlama olarak verilmiştir. Çizelgedeki NP; Nevşehir pomzalı reçeteleri, IGP; Isparta Gelincik Bölgesi pomzalı reçeteleri, IKP; Isparta Karakaya Bölgesi pomzalı reçeteleri temsil etmektedir.

Çizelge 6.1 Deneysel planlama.

Reçete Kodu		%Döküm Çamuru	Döküm Çamuruna İlave Edilen % Pomza
REFERANS	R	100	0
NEVŞEHİR POMZASI	NP 1	100	5
	NP 2	100	10
	NP 3	100	15
	NP 4	100	20
	NP 5	100	25
ISPARTA GELİNCİK POMZASI	IGP 1	100	5
	IGP 2	100	10
	IGP 3	100	15
	IGP 4	100	20
	IGP 5	100	25
ISPARTA KARAKAYA POMZASI	IKP 1	100	5
	IKP 2	100	10
	IKP 3	100	15
	IKP 4	100	20
	IKP 5	100	25

6.1 Kullanılan Hammaddelerin Mineralojik Analizleri

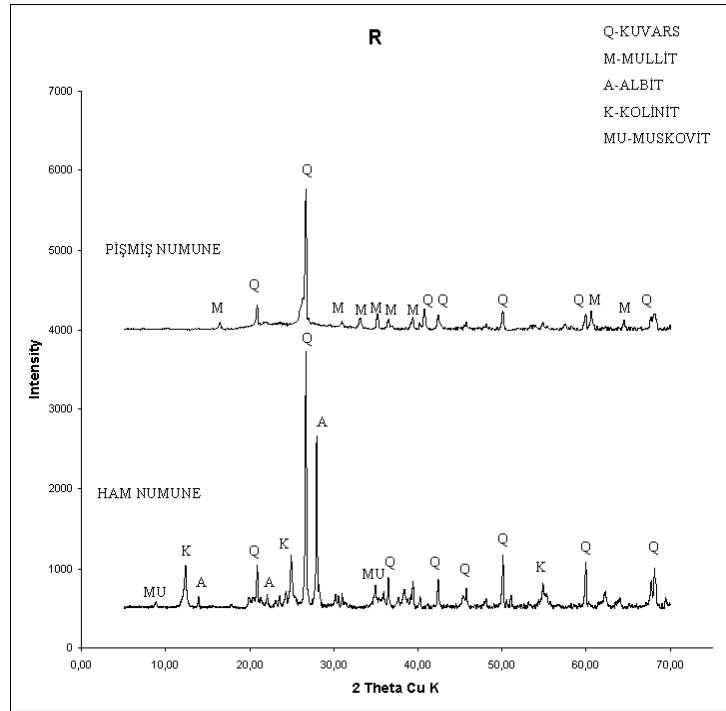
XRD çekimleri referans numune ile % 10 ve % 20 pomza ilaveli ham ve pişmiş numunelerine yapılmıştır. Çekimler Dumlupınar Üniversitesi Seramik Laboratuvarında

Cu/30kV/15mA'lık Miniflex marka cihazla 2°' den 70°' ye kadar 2θ aralığında yapılmıştır. Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 ve 6.7' de XRD difraktogramları verilmiştir.

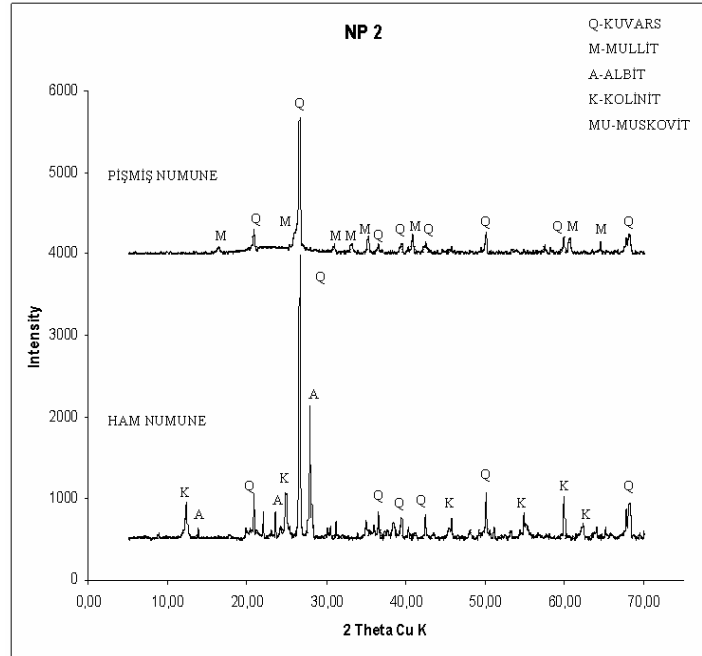
6.2 Hammaddelerin Kimyasal Analizleri

6.2.1 Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri

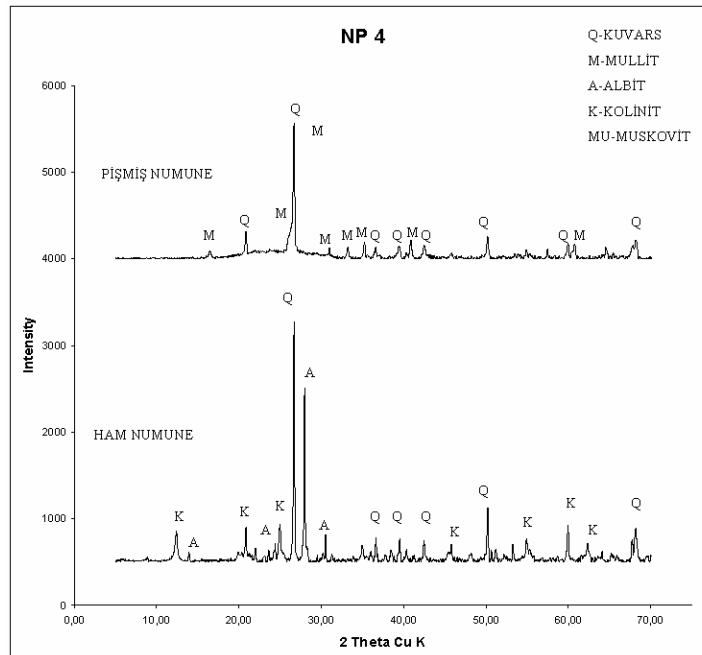
Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri Çizelge 6.2' de verilmiştir [32,33,34]. Kullanılan pomzaların kimyasal analizleri ise çizelge 6.3' de verilmiştir [31], [35]. Kullanılan döküm çamurunun rasyonel analizi ise çizelge 6.4' da verilmiştir.



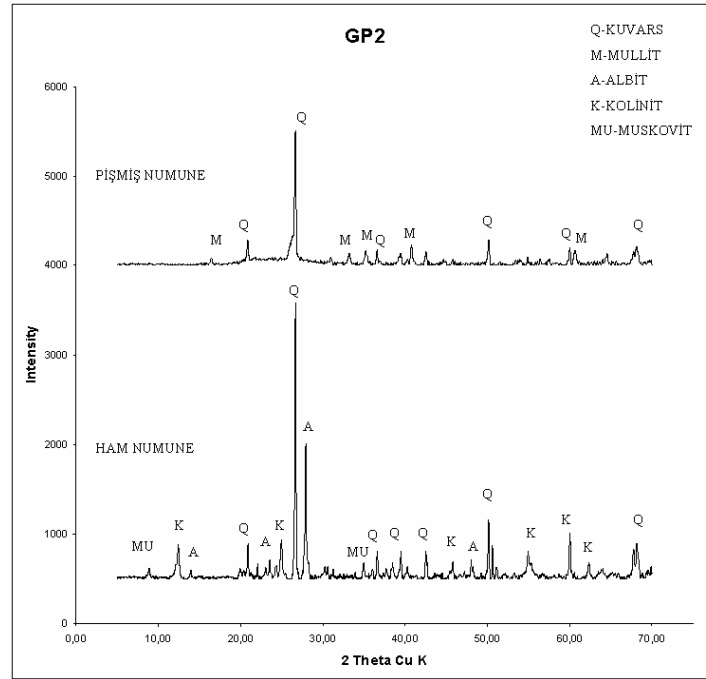
Şekil 6.1 R reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.



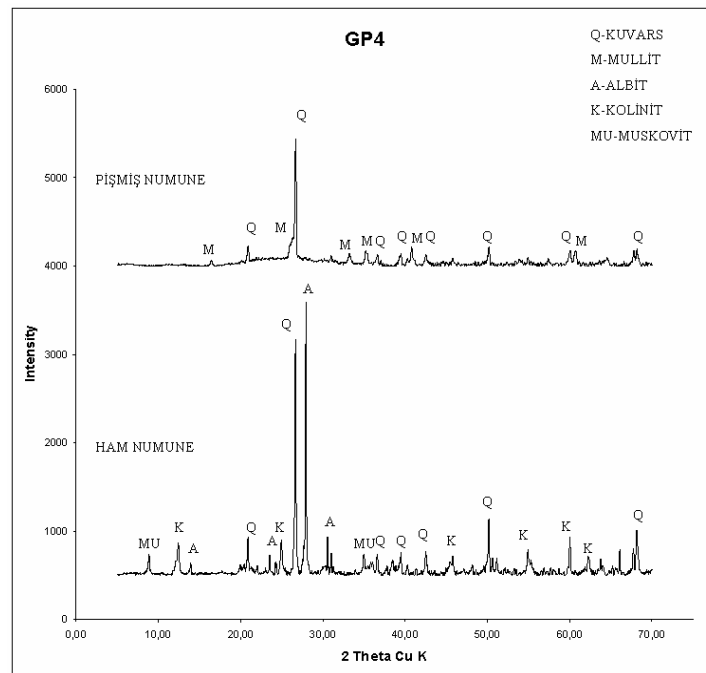
Şekil 6.2 NP 2 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.



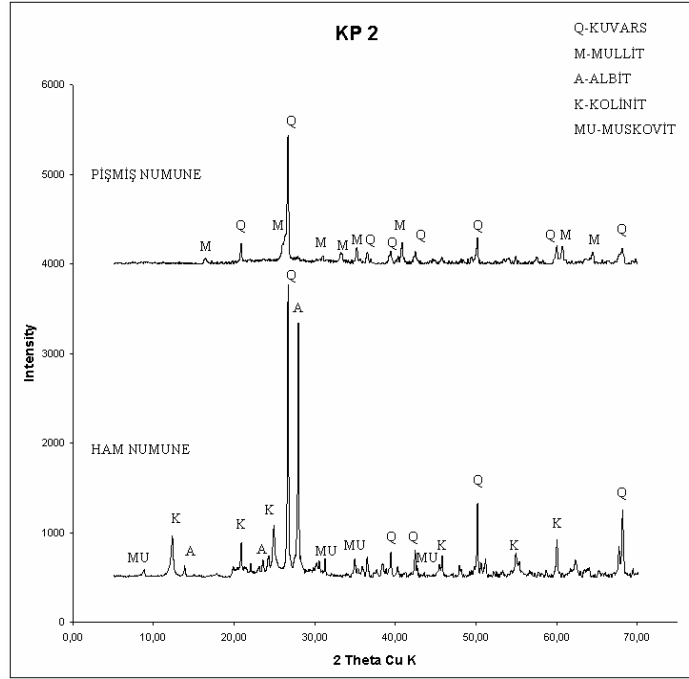
Şekil 6.3 NP 4 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.



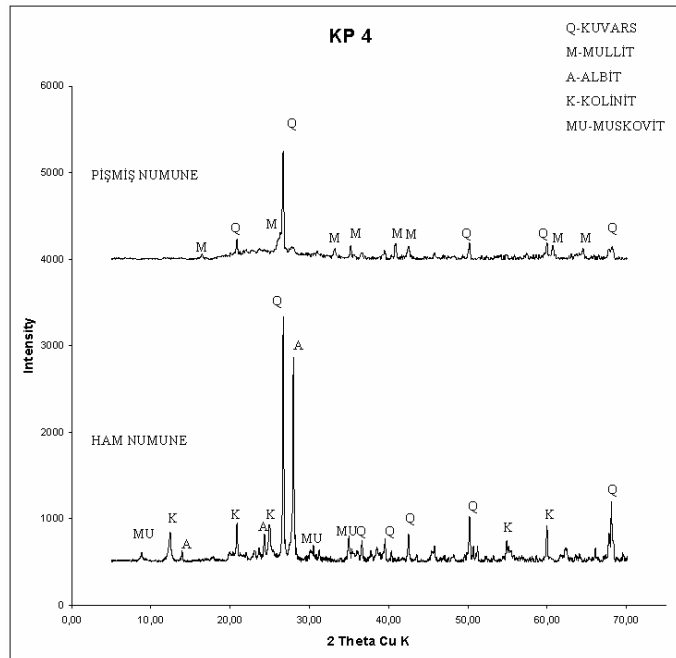
Şekil 6.4 IGP 2 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.



Şekil 6.5 IGP 4 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.



Şekil 6.6 IKP 2 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.



Şekil 6.7 IKP 4 reçete örneğinin X ışınları difraktogramı.

Çizelge 6.2 Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizler sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	71,50	17,00	0,14	0,27	0,85	0,05	9,50	0,20	-	0,35
Silis	93,36	3,00	0,17	0,12	0,10	0,10	0,35	1,50	-	0,55
K 1486 (Kaolen)	74,50	17,50	0,40	0,25	0,05	0,15	0,05	0,05	0,30	6,00
K 730 (Kaolen)	64,50	25,00	0,40	0,35	0,05	0,05	0,05	0,05	0,30	9,00
K 2 (Kaolen)	51,00	34,25	0,85	0,45	0,15	0,25	0,15	1,00	-	11,90
Eti 103 (Kil)	62,00	23,00	2,45	1,20	0,10	0,50	-	2,30	0,10	7,25
Eti 128 (Kil)	61,50	23,00	2,00	1,10	0,20	0,80	-	3,00	0,10	7,25
Esbekas (Kil)	53,00	29,80	1,70	1,20	0,40	0,55	0,35	2,00	-	10,50
Mask 6 (Kil)	53,00	31,50	1,85	1,15	0,40	0,40	0,10	0,80	-	10,50
K 286 (Kil)	52,50	28,00	2,60	1,15	0,15	0,75	0,05	2,80	-	9,00
K 103 (Kil)	61,00	23,50	2,65	1,15	0,20	0,55	0,15	2,50	-	7,50

Çizelge 6.3 NP, IGP ve IKP kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
NP	71,35	12,90	1,40	-	1,60	0,50	3,40	3,45	0,10	4,30
IGP	59,22	18,58	3,12	0,37	5,60	1,54	4,26	4,00	0,15	2,83
IKP	56,25	16,99	4,80	0,21	7,60	1,50	4,20	5,25	0,25	2,83

Çizelge 6.4 Kullanılan döküm çamurunun rasyonel analizi.

Hammadde	% Miktar
Kil	43
Kuvars	28
Feldspat	29
Toplam	100

6.2.2 Hazırlanan reçetelerin kimyasal analizleri

Hazırlanan reçetelerin kimyasal analizleri Çizelge 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19 ve 6.20' de verilmiştir. [31,32,33,34,35]

Çizelge 6.5 Referans reçetenin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	18,948	4,505	0,037	0,072	0,225	0,013	2,518	0,053	0,000	0,093
Silis	8,402	0,270	0,015	0,011	0,009	0,009	0,032	0,135	0,000	0,050
K 1486 (Kaolen)	2,608	0,613	0,014	0,009	0,002	0,005	0,002	0,002	0,011	0,210
K 730 (Kaolen)	10,965	4,250	0,068	0,060	0,009	0,009	0,009	0,009	0,051	1,530
K 2 (Kaolen)	6,120	4,110	0,102	0,054	0,018	0,030	0,018	0,120	0,000	1,428
Eti 103 (Kil)	6,820	2,530	0,270	0,132	0,011	0,055	0,000	0,253	0,011	0,798
Eti 128 (Kil)	1,845	0,690	0,060	0,033	0,006	0,024	0,000	0,090	0,003	0,218
Esbekas (Kil)	2,650	1,490	0,085	0,060	0,020	0,028	0,018	0,100	0,000	0,525
Mask 6 (Kil)	3,180	1,890	0,111	0,069	0,024	0,024	0,006	0,048	0,000	0,630
K 286 (Kil)	2,100	1,120	0,104	0,046	0,006	0,030	0,002	0,112	0,000	0,360
K 103 (Kil)	1,830	0,705	0,080	0,035	0,006	0,017	0,005	0,075	0,000	0,225
Toplam	65,467	22,173	0,945	0,579	0,336	0,243	2,607	0,996	0,076	6,065
Genel Toplam	99,487									

Çizelge 6.6 NP 1 reçetesinin kimyasal analizi sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	18,045	4,290	0,035	0,068	0,215	0,013	2,398	0,050	0,000	0,088
Silis	8,002	0,257	0,015	0,010	0,009	0,009	0,030	0,129	0,000	0,047
K 1486 (Kaolen)	2,483	0,583	0,013	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,010	0,200
K 730 (Kaolen)	10,443	4,048	0,065	0,057	0,008	0,008	0,008	0,008	0,049	1,457
K 2 (Kaolen)	5,829	3,914	0,097	0,051	0,017	0,029	0,017	0,114	0,000	1,360
Eti 103 (Kil)	6,495	2,410	0,257	0,126	0,010	0,052	0,000	0,241	0,010	0,760
Eti 128 (Kil)	1,757	0,657	0,057	0,031	0,006	0,023	0,000	0,086	0,003	0,207
Esbekas (Kil)	2,524	1,419	0,081	0,057	0,019	0,026	0,017	0,095	0,000	0,500
Mask 6 (Kil)	3,029	1,800	0,106	0,066	0,023	0,023	0,006	0,046	0,000	0,600
K 286 (Kil)	2,000	1,067	0,099	0,044	0,006	0,029	0,002	0,107	0,000	0,343
K 103 (Kil)	1,743	0,671	0,076	0,033	0,006	0,016	0,004	0,071	0,000	0,214
Pomza	3,398	0,614	0,067	0,000	0,076	0,024	0,162	0,164	0,005	0,205
Toplam	65,748	21,731	0,967	0,552	0,396	0,255	2,645	1,113	0,077	5,981
Genel Toplam	99,464									

Çizelge 6.7 NP 2 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	17,225	4,095	0,034	0,065	0,205	0,012	2,289	0,048	0,000	0,084
Silis	7,639	0,245	0,014	0,010	0,008	0,008	0,029	0,123	0,000	0,045
K 1486 (Kaolen)	2,370	0,557	0,013	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,010	0,191
K 730 (Kaolen)	9,968	3,864	0,062	0,054	0,008	0,008	0,008	0,008	0,046	1,391
K 2 (Kaolen)	5,564	3,736	0,093	0,049	0,016	0,027	0,016	0,109	0,000	1,298
Eti 103 (Kil)	6,200	2,300	0,245	0,120	0,010	0,050	0,000	0,230	0,010	0,725
Eti 128 (Kil)	1,677	0,627	0,055	0,030	0,005	0,022	0,000	0,082	0,003	0,198
Esbekas (Kil)	2,409	1,355	0,077	0,055	0,018	0,025	0,016	0,091	0,000	0,477
Mask 6 (Kil)	2,891	1,718	0,101	0,063	0,022	0,022	0,005	0,044	0,000	0,573
K 286 (Kil)	1,909	1,018	0,095	0,042	0,005	0,027	0,002	0,102	0,000	0,327
K 103 (Kil)	1,664	0,641	0,072	0,031	0,005	0,015	0,004	0,068	0,000	0,205
Pomza	6,486	1,173	0,127	0,000	0,145	0,045	0,309	0,314	0,009	0,391
Toplam	66,002	21,330	0,987	0,526	0,450	0,266	2,679	1,219	0,078	5,905
Genel Toplam	99,443									

Çizelge 6.8 NP 3 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	16,476	3,917	0,032	0,062	0,196	0,012	2,189	0,046	0,000	0,081
Silis	7,306	0,235	0,013	0,009	0,008	0,008	0,027	0,117	0,000	0,043
K 1486 (Kaolen)	2,267	0,533	0,012	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,009	0,183
K 730 (Kaolen)	9,535	3,696	0,059	0,052	0,007	0,007	0,007	0,007	0,044	1,330
K 2 (Kaolen)	5,322	3,574	0,089	0,047	0,016	0,026	0,016	0,104	0,000	1,242
Eti 103 (Kil)	5,930	2,200	0,234	0,115	0,010	0,048	0,000	0,220	0,010	0,693
Eti 128 (Kil)	1,604	0,600	0,052	0,029	0,005	0,021	0,000	0,078	0,003	0,189
Esbekas (Kil)	2,304	1,296	0,074	0,052	0,017	0,024	0,015	0,087	0,000	0,457
Mask 6 (Kil)	2,765	1,643	0,097	0,060	0,021	0,021	0,005	0,042	0,000	0,548
K 286 (Kil)	1,826	0,974	0,090	0,040	0,005	0,026	0,002	0,097	0,000	0,313
K 103 (Kil)	1,591	0,613	0,069	0,030	0,005	0,014	0,004	0,065	0,000	0,196
Pomza	9,307	1,683	0,183	0,000	0,209	0,065	0,443	0,450	0,013	0,561
Toplam	66,235	20,963	1,005	0,504	0,500	0,277	2,711	1,316	0,079	5,835
Genel Toplam	99,424									

Çizelge 6.11 IGP 1 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	18,045	4,290	0,035	0,068	0,215	0,013	2,398	0,050	0,000	0,088
Silis	8,002	0,257	0,015	0,010	0,009	0,009	0,030	0,129	0,000	0,047
K 1486 (Kaolen)	2,483	0,583	0,013	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,010	0,200
K 730 (Kaolen)	10,443	4,048	0,065	0,057	0,008	0,008	0,008	0,008	0,049	1,457
K 2 (Kaolen)	5,829	3,914	0,097	0,051	0,017	0,029	0,017	0,114	0,000	1,360
Eti 103 (Kil)	6,495	2,410	0,257	0,126	0,010	0,052	0,000	0,241	0,010	0,760
Eti 128 (Kil)	1,757	0,657	0,057	0,031	0,006	0,023	0,000	0,086	0,003	0,207
Esbekas (Kil)	2,524	1,419	0,081	0,057	0,019	0,026	0,017	0,095	0,000	0,500
Mask 6 (Kil)	3,029	1,800	0,106	0,066	0,023	0,023	0,006	0,046	0,000	0,600
K 286 (Kil)	2,000	1,067	0,099	0,044	0,006	0,029	0,002	0,107	0,000	0,343
K 103 (Kil)	1,743	0,671	0,076	0,033	0,006	0,016	0,004	0,071	0,000	0,214
Pomza	2,820	0,885	0,149	0,018	0,267	0,073	0,203	0,190	0,007	0,135
Toplam	65,170	22,001	1,049	0,569	0,586	0,305	2,686	1,139	0,079	5,911
Genel Toplam	99,496									

Çizelge 6.12 IGP 2 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	17,225	4,095	0,034	0,065	0,205	0,012	2,289	0,048	0,000	0,084
Silis	7,639	0,245	0,014	0,010	0,008	0,008	0,029	0,123	0,000	0,045
K 1486 (Kaolen)	2,370	0,557	0,013	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,010	0,191
K 730 (Kaolen)	9,968	3,864	0,062	0,054	0,008	0,008	0,008	0,008	0,046	1,391
K 2 (Kaolen)	5,564	3,736	0,093	0,049	0,016	0,027	0,016	0,109	0,000	1,298
Eti 103 (Kil)	6,200	2,300	0,245	0,120	0,010	0,050	0,000	0,230	0,010	0,725
Eti 128 (Kil)	1,677	0,627	0,055	0,030	0,005	0,022	0,000	0,082	0,003	0,198
Esbekas (Kil)	2,409	1,355	0,077	0,055	0,018	0,025	0,016	0,091	0,000	0,477
Mask 6 (Kil)	2,891	1,718	0,101	0,063	0,022	0,022	0,005	0,044	0,000	0,573
K 286 (Kil)	1,909	1,018	0,095	0,042	0,005	0,027	0,002	0,102	0,000	0,327
K 103 (Kil)	1,664	0,641	0,072	0,031	0,005	0,015	0,004	0,068	0,000	0,205
Pomza	5,384	1,689	0,284	0,034	0,509	0,140	0,387	0,364	0,014	0,257
Toplam	64,899	21,846	1,143	0,560	0,814	0,361	2,758	1,269	0,082	5,771
Genel Toplam	99,504									

Çizelge 6.13 IGP 3 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	16,476	3,917	0,032	0,062	0,196	0,012	2,189	0,046	0,000	0,081
Silis	7,306	0,235	0,013	0,009	0,008	0,008	0,027	0,117	0,000	0,043
K 1486 (Kaolen)	2,267	0,533	0,012	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,009	0,183
K 730 (Kaolen)	9,535	3,696	0,059	0,052	0,007	0,007	0,007	0,007	0,044	1,330
K 2 (Kaolen)	5,322	3,574	0,089	0,047	0,016	0,026	0,016	0,104	0,000	1,242
Eti 103 (Kil)	5,930	2,200	0,234	0,115	0,010	0,048	0,000	0,220	0,010	0,693
Eti 128 (Kil)	1,604	0,600	0,052	0,029	0,005	0,021	0,000	0,078	0,003	0,189
Esbekas (Kil)	2,304	1,296	0,074	0,052	0,017	0,024	0,015	0,087	0,000	0,457
Mask 6 (Kil)	2,765	1,643	0,097	0,060	0,021	0,021	0,005	0,042	0,000	0,548
K 286 (Kil)	1,826	0,974	0,090	0,040	0,005	0,026	0,002	0,097	0,000	0,313
K 103 (Kil)	1,591	0,613	0,069	0,030	0,005	0,014	0,004	0,065	0,000	0,196
Pomza	7,724	2,423	0,407	0,048	0,730	0,201	0,556	0,522	0,020	0,369
Toplam	64,653	21,704	1,229	0,552	1,022	0,412	2,823	1,388	0,085	5,643
Genel Toplam	99,511									

Çizelge 6.14 IGP 4 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	15,790	3,754	0,031	0,060	0,188	0,011	2,098	0,044	0,000	0,077
Silis	7,002	0,225	0,013	0,009	0,008	0,008	0,026	0,113	0,000	0,041
K 1486 (Kaolen)	2,173	0,510	0,012	0,007	0,001	0,004	0,001	0,001	0,009	0,175
K 730 (Kaolen)	9,138	3,542	0,057	0,050	0,007	0,007	0,007	0,007	0,043	1,275
K 2 (Kaolen)	5,100	3,425	0,085	0,045	0,015	0,025	0,015	0,100	0,000	1,190
Eti 103 (Kil)	5,683	2,108	0,225	0,110	0,009	0,046	0,000	0,211	0,009	0,665
Eti 128 (Kil)	1,538	0,575	0,050	0,028	0,005	0,020	0,000	0,075	0,003	0,181
Esbekas (Kil)	2,208	1,242	0,071	0,050	0,017	0,023	0,015	0,083	0,000	0,438
Mask 6 (Kil)	2,650	1,575	0,093	0,058	0,020	0,020	0,005	0,040	0,000	0,525
K 286 (Kil)	1,750	0,933	0,087	0,038	0,005	0,025	0,002	0,093	0,000	0,300
K 103 (Kil)	1,525	0,588	0,066	0,029	0,005	0,014	0,004	0,063	0,000	0,188
Pomza	9,870	3,097	0,520	0,062	0,933	0,257	0,710	0,667	0,025	0,472
Toplam	64,426	21,574	1,308	0,544	1,213	0,459	2,883	1,497	0,088	5,526
Genel Toplam	99,518									

Çizelge 6.15 IGP 5 reçetesinin kimyasal analizi sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	15,158	3,604	0,030	0,057	0,180	0,011	2,014	0,042	0,000	0,074
Silis	6,722	0,216	0,012	0,009	0,007	0,007	0,025	0,108	0,000	0,040
K 1486 (Kaolen)	2,086	0,490	0,011	0,007	0,001	0,004	0,001	0,001	0,008	0,168
K 730 (Kaolen)	8,772	3,400	0,054	0,048	0,007	0,007	0,007	0,007	0,041	1,224
K 2 (Kaolen)	4,896	3,288	0,082	0,043	0,014	0,024	0,014	0,096	0,000	1,142
Eti 103 (Kil)	5,456	2,024	0,216	0,106	0,009	0,044	0,000	0,202	0,009	0,638
Eti 128 (Kil)	1,476	0,552	0,048	0,026	0,005	0,019	0,000	0,072	0,002	0,174
Esbekas (Kil)	2,120	1,192	0,068	0,048	0,016	0,022	0,014	0,080	0,000	0,420
Mask 6 (Kil)	2,544	1,512	0,089	0,055	0,019	0,019	0,005	0,038	0,000	0,504
K 286 (Kil)	1,680	0,896	0,083	0,037	0,005	0,024	0,002	0,090	0,000	0,288
K 103 (Kil)	1,464	0,564	0,064	0,028	0,005	0,013	0,004	0,060	0,000	0,180
Pomza	11,844	3,716	0,624	0,074	1,120	0,308	0,852	0,800	0,030	0,566
Toplam	64,218	21,454	1,380	0,537	1,388	0,502	2,938	1,597	0,090	5,418
Genel Toplam	99,524									

Çizelge 6.16 IKP 1 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	18,045	4,290	0,035	0,068	0,215	0,013	2,398	0,050	0,000	0,088
Silis	8,002	0,257	0,015	0,010	0,009	0,009	0,030	0,129	0,000	0,047
K 1486 (Kaolen)	2,483	0,583	0,013	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,010	0,200
K 730 (Kaolen)	10,443	4,048	0,065	0,057	0,008	0,008	0,008	0,008	0,049	1,457
K 2 (Kaolen)	5,829	3,914	0,097	0,051	0,017	0,029	0,017	0,114	0,000	1,360
Eti 103 (Kil)	6,495	2,410	0,257	0,126	0,010	0,052	0,000	0,241	0,010	0,760
Eti 128 (Kil)	1,757	0,657	0,057	0,031	0,006	0,023	0,000	0,086	0,003	0,207
Esbekas (Kil)	2,524	1,419	0,081	0,057	0,019	0,026	0,017	0,095	0,000	0,500
Mask 6 (Kil)	3,029	1,800	0,106	0,066	0,023	0,023	0,006	0,046	0,000	0,600
K 286 (Kil)	2,000	1,067	0,099	0,044	0,006	0,029	0,002	0,107	0,000	0,343
K 103 (Kil)	1,743	0,671	0,076	0,033	0,006	0,016	0,004	0,071	0,000	0,214
Pomza	2,679	0,809	0,229	0,010	0,362	0,071	0,200	0,250	0,012	0,135
Toplam	65,028	21,926	1,129	0,562	0,681	0,303	2,683	1,199	0,084	5,911
Genel Toplam	99,506									

Çizelge 6.17 IKP 2 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	17,225	4,095	0,034	0,065	0,205	0,012	2,289	0,048	0,000	0,084
Silis	7,639	0,245	0,014	0,010	0,008	0,008	0,029	0,123	0,000	0,045
K 1486 (Kaolen)	2,370	0,557	0,013	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,010	0,191
K 730 (Kaolen)	9,968	3,864	0,062	0,054	0,008	0,008	0,008	0,008	0,046	1,391
K 2 (Kaolen)	5,564	3,736	0,093	0,049	0,016	0,027	0,016	0,109	0,000	1,298
Eti 103 (Kil)	6,200	2,300	0,245	0,120	0,010	0,050	0,000	0,230	0,010	0,725
Eti 128 (Kil)	1,677	0,627	0,055	0,030	0,005	0,022	0,000	0,082	0,003	0,198
Esbekas (Kil)	2,409	1,355	0,077	0,055	0,018	0,025	0,016	0,091	0,000	0,477
Mask 6 (Kil)	2,891	1,718	0,101	0,063	0,022	0,022	0,005	0,044	0,000	0,573
K 286 (Kil)	1,909	1,018	0,095	0,042	0,005	0,027	0,002	0,102	0,000	0,327
K 103 (Kil)	1,664	0,641	0,072	0,031	0,005	0,015	0,004	0,068	0,000	0,205
Pomza	5,114	1,545	0,436	0,019	0,691	0,136	0,382	0,477	0,023	0,257
Toplam	64,629	21,701	1,296	0,546	0,996	0,357	2,752	1,383	0,091	5,771
Genel Toplam	99,523									

Çizelge 6.18 IKP 3 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	16,476	3,917	0,032	0,062	0,196	0,012	2,189	0,046	0,000	0,081
Silis	7,306	0,235	0,013	0,009	0,008	0,008	0,027	0,117	0,000	0,043
K 1486 (Kaolen)	2,267	0,533	0,012	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,009	0,183
K 730 (Kaolen)	9,535	3,696	0,059	0,052	0,007	0,007	0,007	0,007	0,044	1,330
K 2 (Kaolen)	5,322	3,574	0,089	0,047	0,016	0,026	0,016	0,104	0,000	1,242
Eti 103 (Kil)	5,930	2,200	0,234	0,115	0,010	0,048	0,000	0,220	0,010	0,693
Eti 128 (Kil)	1,604	0,600	0,052	0,029	0,005	0,021	0,000	0,078	0,003	0,189
Esbekas (Kil)	2,304	1,296	0,074	0,052	0,017	0,024	0,015	0,087	0,000	0,457
Mask 6 (Kil)	2,765	1,643	0,097	0,060	0,021	0,021	0,005	0,042	0,000	0,548
K 286 (Kil)	1,826	0,974	0,090	0,040	0,005	0,026	0,002	0,097	0,000	0,313
K 103 (Kil)	1,591	0,613	0,069	0,030	0,005	0,014	0,004	0,065	0,000	0,196
Pomza	7,337	2,216	0,626	0,027	0,991	0,196	0,548	0,685	0,033	0,369
Toplam	64,265	21,497	1,448	0,531	1,283	0,407	2,815	1,551	0,098	5,643
Genel Toplam	99,538									

Çizelge 6.19 IKP 4 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	15,790	3,754	0,031	0,060	0,188	0,011	2,098	0,044	0,000	0,077
Silis	7,002	0,225	0,013	0,009	0,008	0,008	0,026	0,113	0,000	0,041
K 1486 (Kaolen)	2,173	0,510	0,012	0,007	0,001	0,004	0,001	0,001	0,009	0,175
K 730 (Kaolen)	9,138	3,542	0,057	0,050	0,007	0,007	0,007	0,007	0,043	1,275
K 2 (Kaolen)	5,100	3,425	0,085	0,045	0,015	0,025	0,015	0,100	0,000	1,190
Eti 103 (Kil)	5,683	2,108	0,225	0,110	0,009	0,046	0,000	0,211	0,009	0,665
Eti 128 (Kil)	1,538	0,575	0,050	0,028	0,005	0,020	0,000	0,075	0,003	0,181
Esbekas (Kil)	2,208	1,242	0,071	0,050	0,017	0,023	0,015	0,083	0,000	0,438
Mask 6 (Kil)	2,650	1,575	0,093	0,058	0,020	0,020	0,005	0,040	0,000	0,525
K 286 (Kil)	1,750	0,933	0,087	0,038	0,005	0,025	0,002	0,093	0,000	0,300
K 103 (Kil)	1,525	0,588	0,066	0,029	0,005	0,014	0,004	0,063	0,000	0,188
Pomza	9,375	2,832	0,800	0,035	1,267	0,250	0,700	0,875	0,042	0,472
Toplam	63,931	21,309	1,588	0,518	1,546	0,453	2,873	1,705	0,105	5,526
Genel Toplam	99,553									

Çizelge 6.20 IKP 5 reçetesinin kimyasal analiz sonuçları.

Hammadde %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	A.Z.
Na Feldspat	15,158	3,604	0,030	0,057	0,180	0,011	2,014	0,042	0,000	0,074
Silis	6,722	0,216	0,012	0,009	0,007	0,007	0,025	0,108	0,000	0,040
K 1486 (Kaolen)	2,086	0,490	0,011	0,007	0,001	0,004	0,001	0,001	0,008	0,168
K 730 (Kaolen)	8,772	3,400	0,054	0,048	0,007	0,007	0,007	0,007	0,041	1,224
K 2 (Kaolen)	4,896	3,288	0,082	0,043	0,014	0,024	0,014	0,096	0,000	1,142
Eti 103 (Kil)	5,456	2,024	0,216	0,106	0,009	0,044	0,000	0,202	0,009	0,638
Eti 128 (Kil)	1,476	0,552	0,048	0,026	0,005	0,019	0,000	0,072	0,002	0,174
Esbekas (Kil)	2,120	1,192	0,068	0,048	0,016	0,022	0,014	0,080	0,000	0,420
Mask 6 (Kil)	2,544	1,512	0,089	0,055	0,019	0,019	0,005	0,038	0,000	0,504
K 286 (Kil)	1,680	0,896	0,083	0,037	0,005	0,024	0,002	0,090	0,000	0,288
K 103 (Kil)	1,464	0,564	0,064	0,028	0,005	0,013	0,004	0,060	0,000	0,180
Pomza	11,250	3,398	0,960	0,042	1,520	0,300	0,840	1,050	0,050	0,566
Toplam	63,624	21,136	1,716	0,505	1,788	0,494	2,926	1,847	0,110	5,418
Genel Toplam	99,566									

6.3 Numunelerin Hazırlanması

6.3.1 Döküm çamurunun hazırlanması

Eskişehir Seramik stok tanklarından alınan döküm çamuruna daha önceden bilyeli değirmende ayrı ayrı 10 saat süre ile öğütülen üç bölge (Nevşehir, Isparta Gelincik, Isparta Karakaya) pomzaları %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında ilave edilmiştir. Her biri ayrı ayrı 1000 devirde Bosh Marka açıcı ile karıştırarak 15 farklı döküm çamuru elde edilmiştir. Çizelge 6.21’de bilyeli değirmende öğütülen pomzaların % elek üstü ve % elek altı değerleri verilmiştir.

6.3.2 Şekillendirme ve kurutma

Hazırlanan döküm çamurları alçı kalıplara dökülerek 1saat 15 dakika sonra kalıplar açılmıştır. 15 dakika beklenmiş ve numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere iki farklı alçı kalıp kullanılmıştır. Deney numunelerinden 130x90x20 mm. yarı mamül ebatlarında olanlar ateş zayıyatı ve küçülme deneylerinde, 300x35x0,5 mm. ebatlarında olan deney numuneleri ise yarı mamül mukavemeti, pişmiş mukavemet,deformasyon ve su emme deneylerinde kullanılmak üzere şekillendirilmişlerdir. 130x90x20 mm. ebatlarındaki numuneler kurutmaya koyulmadan önce pişme küçülmesinin hesaplanabilmesi için kumpas 100 mm.’ye ayarlanmış ve numuneye çaprazlama iki adet 100 mm. uzunluğunda işaretlenmiştir.

Numuneler 105 ° C ‘de 14 saat süre ile etüvde kurumaya tabi tutulmuştur. Ağırlık kaybının hesaplanabilmesi için kurutma sonu etüvden alınan numuneler tartılmıştır.

Çizelge 6.21 Öğütülen pomzaların elek üstü ve elek altı % değerleri.

Elek Açıklığı (µ)	NP (%)	IGP (%)	IKP (%)
180µ üstü	0,00	0,00	0,00
63µ üstü	0,09	0,08	0,09
45µ üstü	0,61	0,59	0,60
32µ üstü	1,38	1,37	1,39
32µ altı	97,92	97,96	97,92

6.3.3 Pişirme

Numuneler ve işletme çamurundan hazırlanan referans numuneler 1210 ° C ‘de 16 saat 30 dakika (soğutma dahil) süre ile işletme rejiminde jet brülörlü Optimal marka kamara tip fırında pişirilmiştir. Fırın çıkışı tekrar numunelerin tartımı yapılmıştır.

6.4 Deneylerin Yapılışı

6.4.1 Litre ağırlığı ölçümü

Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan deney çamurları darası bilinen 100 ml.' lik piknometreye koyularak kapağı kapatılmış, deliğinden taşan çamur alındıktan sonra hassas terazi ile her biri ayrı ayrı tartılarak litre ağırlığı değerleri ölçülmüştür.

6.4.2 Viskozite ölçümü

Hazırlanan döküm çamurları ayrı ayrı 100 ml. 'lik delik çapı 4 mm olan fordcup'a doldurulduktan sonra alt deliğinin açılması ile aynı anda kronometre çalıştırılmış ve akışın sona erdiği anda kronometre durdurulmuştur. Saniye cinsinden elde edilen değer çamurun viskozite değeridir.

6.4.3 Tiksotropi ölçümü

Tiksotropi ölçümü iki aşamada yapılır. Birinci aşamada Fordcup 'a doldurulan çamur aynı viskozite ölçümünde olduğu gibi süre sn. cinsinden ölçülür. İkinci aşamada aynı çamur fordcup 'a tekrar doldurulur ve 15 dakika çamur dinlendirilir. 15 dakika sonunda alt delik açılır, kronometre çalıştırılır ve çamur akışı sona erdiğinde kronometre durdurulur. Saniye cinsinden yapılan iki ölçüm sonuçları aşağıdaki formülde yerine yazılır ve tiksotropi değeri hesaplanır.

$$\%T = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100$$

T : Tiksotropi

V₁ : 1. Akış Ölçüm Süresi (Sn.)

V₂ : 2. Akış Ölçüm Süresi (Sn.) (15 dakika dinlendirilerek yapılan ölçüm)

6.4.4 Mukavemet ölçümü

Mukavemet testi Altın Seramik A.Ş laboratuvarında bulunan Gabrielli 50 marka mukavemet ölçüm cihazında yapılmıştır. Hesaplama TS 4927'ye göre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır. [36]

$$M = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

M: Kırılma mukavemeti (kgf/cm^2)

P: Kırılma kuvveti (kgf)

L: Ayaklar arası açıklık (cm)

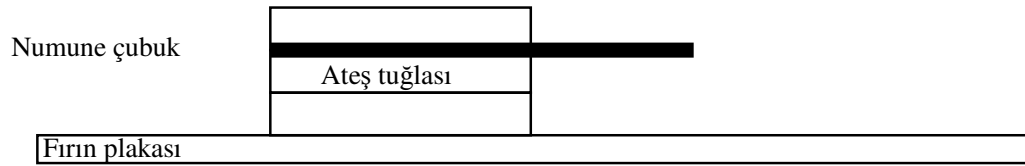
b: Numunenin kırıldığı yerin genişliği (cm)

h: Numunenin kırıldığı yerin yüksekliği (cm)

6.4.5 Deformasyon Ölçümü

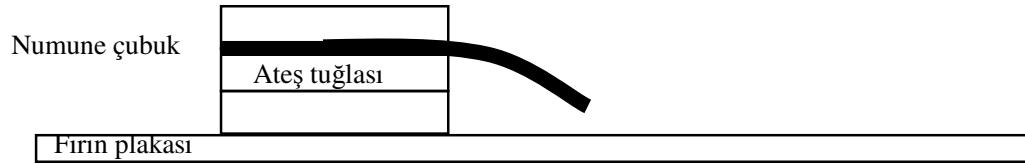
Fırın plakasının üzerine üst üste yerleştirilen $10 \times 15 \times 21$ ebatlarındaki ateş tuğlalarının arasına üzerinde işaretli yere kadar yerleştirilen $30 \times 3,5 \times 0,5$ ebatlarındaki deformasyon çubuğu pişirilir.

Deformasyon çubuğunun pişirmeden önceki hali Şekil 6.1'deki gibidir.



Şekil 6.8 Deformasyon çubuğunun pişirmeden önceki hali.

Pişme esnasında yumuşama eğilimi gösteren deformasyon çubuğu yeni aldığı formu soğuma esnasında korur ve pişirme işlemi sonunda ölçüm yapılacak hale gelir. Şekil 6.2'de fırından çıkmış haldeki deformasyon çubuğunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 6.9 Deformasyon çubuğunun pişirmeden sonraki hali.

Ölçüm milimetrik kağıt kullanılarak yapılır. Milimetrik kağıt üzerine eğimi kopya edilir ve sapma (eğim) mm cinsinden ölçülür.

6.4.6 Küçülme ölçümü

Alçı kalıptan çıkarıldıktan sonra kumpasla çaprazlama işaretlenen noktalar fırın çıkışı tekrar ölçülmüş, her numunenin ortalama değerleri hesaplanarak aşağıdaki formül yardımı ile pişme küçülmesi hesaplanmıştır.

$$\%K = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

K: Küçülme değeri (%).

L₁: Numunenin uzunluğu (mm).

L₂: Numunenin pişmiş uzunluğu (mm).

6.4.7 Ateş zayıatı ölçümü

Etüvden çıkan numuneler hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları ölçülmüştür. Fırın çıkışı bu işlem tekrarlanarak pişen numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile tartılmıştır. Bu ölçümler aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%A = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \times 100$$

A: Ateş zayıatı değeri (%).

K₁: Numunenin etüvden çıktıktan sonraki ağırlığı (gr).

K₂: Numunenin fırından çıktıktan sonraki ağırlığı (gr).

6.4.8 Su emme ölçümü

Su emme deneyinin amacı üretilen ürünün kalitesini belirlemeye yöneliktir. Bu deney pişme sıcaklığına bağlı olarak ürünün porozitesinin ölçülmesine yarar. Su emme dona karşı dayanım açısından da oldukça önem taşır.

Su emme deneyi; pişmiş numunelerin hassas terazi ile tartılıp bir kap içerisinde numunenin tamamı su içerisinde kakmak koşulu ile 3 saat suda kaynatılarak 16 saat aynı suda bekletilip tekrar tartımları ile son bulur. % su emme değeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\%S = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100$$

S: Su emme değeri (%).

S₁: Numunenin kuru ağırlığı (gr).

S₂: Numunenin su emme deneyinden sonraki yağ ağırlığı (gr).

7. BULGULAR

7.1 Litre Ağırlığı Ölçümü

Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin litre ağırlıkları Çizelge 7.1.' deki gibidir.

7.2 Viskozite Ölçümü

Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin viskozite değerleri Çizelge 7.2.' deki gibidir.

7.3 Tikotropi Ölçümü

Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin tiksotropi değerleri Çizelge 7.3' deki gibidir.

Çizelge 7.1 Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin litre ağırlıkları.

Reçete Kodu	Litre Ağırlığı (gr/lt)
NP1	1803
NP2	1802
NP3	1804
NP4	1805
NP5	1801
IGP1	1803
IGP2	1805
IGP3	1806
IGP4	1805
IGP5	1802
IKP1	1802
IKP2	1805
IKP3	1801
IKP4	1804
IKP5	1802
R	1803

Çizelge 7.2 Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin vizkoziteleri.

Reçete Kodu	Viskozite (sn)
NP1	61
NP2	62
NP3	62
NP4	64
NP5	66
IGP1	66
IGP2	63
IGP3	64
IGP4	66
IGP5	65
IKP1	62
IKP2	62
IKP3	64
IKP4	65
IKP5	63
R	65

Çizelge 7.3 Nevşehir, Gelincik ve Karakaya Bölgeleri pomzaları ile hazırlanan çamur reçetelerinin tiksotropileri.

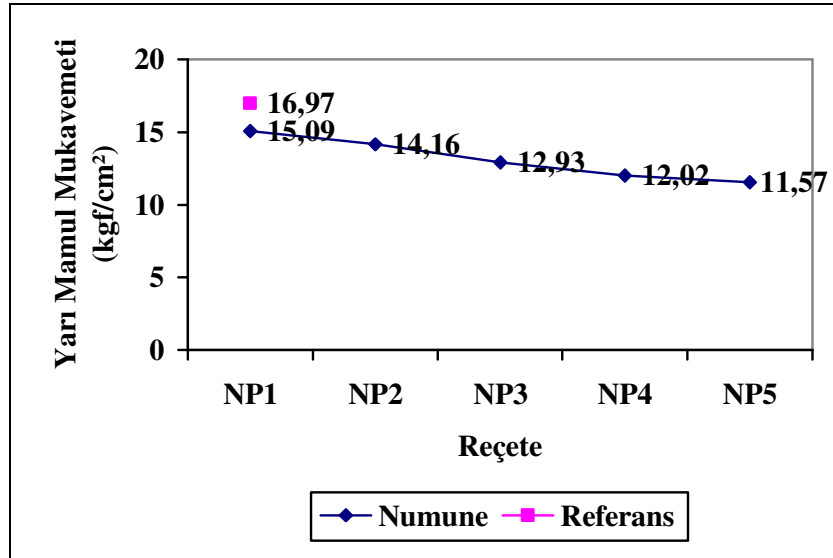
Reçete Kodu	Tiksotropi (sn)
NP1	34
NP2	32
NP3	32
NP4	31
NP5	34
IGP1	35
IGP2	34
IGP3	34
IGP4	31
IGP5	32
IKP1	34
IKP2	35
IKP3	34
IKP4	32
IKP5	31
R	35

7.4 Yarı Mamul Mukavemeti Deneyi Sonuçları

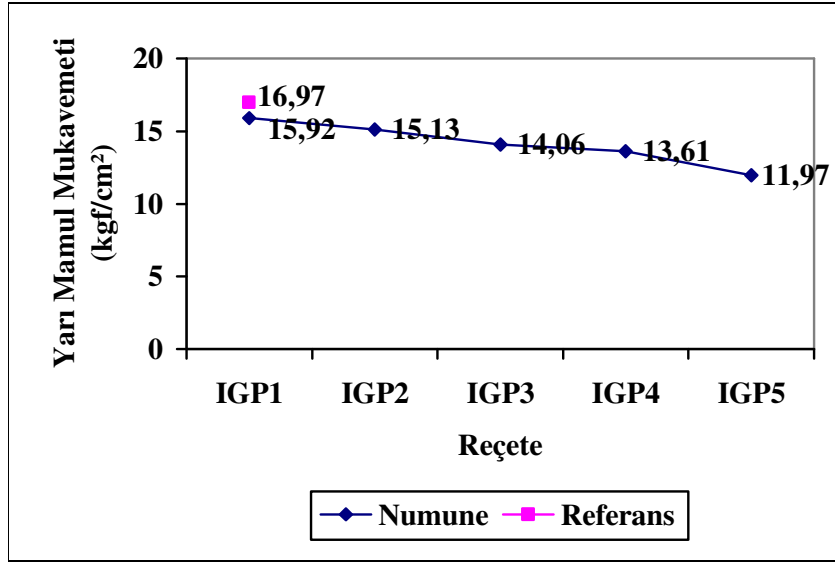
Yapılan deneylerde pomza ilave edilerek hazırlanan numunelerin yarı mamul mukavemeti referans reçeteden hazırlanan numunenin yarı mamul mukavemetinden düşük çıkmıştır. Pomza ilave edilerek hazırlanan reçetelerden referans reçete değerlerine en yakın olan IGP 1 iken tüm reçeteler için pomza miktarındaki artışla beraber yarı mamul mukavemeti de düşmektedir. Yarı mamul mukavemet deney sonuçları Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3’de verilmiştir.

7.5 Pişmiş Mamul Mukavemet Deneyi Sonuçları

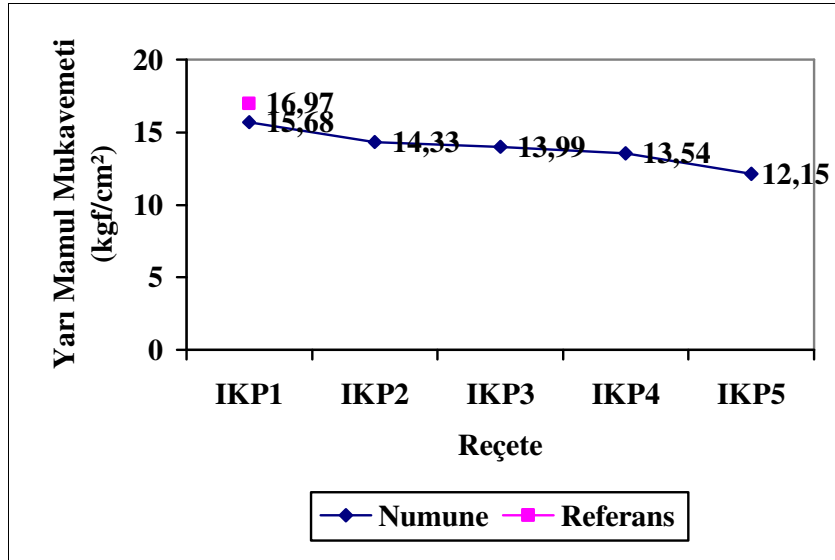
Pomza ilave edilerek hazırlanan tüm numunelerin mukavemet değerleri referans numunenin mukavemet değerlerinden yüksek ölçülmüştür. Nevşehir pomzası ilave edilerek hazırlanan numunelerin mukavemet değerleri en yüksek değerlerde iken Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ilave edilerek hazırlanan numunelerde ise diğer iki bölgeye göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Pişmiş mamul mukavemeti deney sonuçları şekil 7.4, 7.5 ve 7.6’ da verilmiştir.



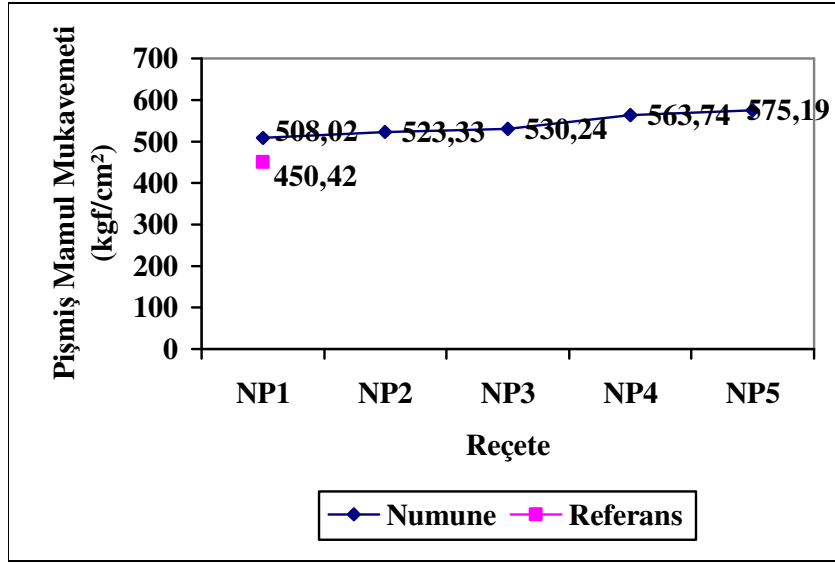
Şekil 7.1 Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin yarı mamul mukavemetleri.



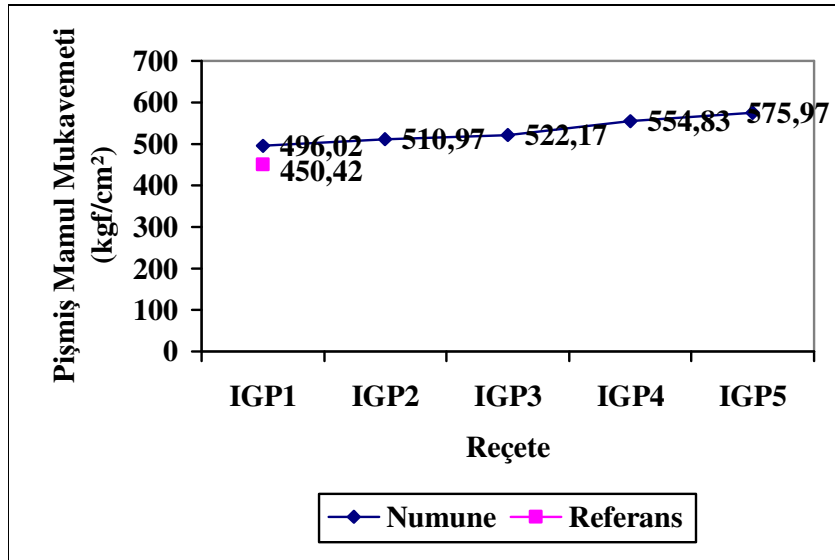
Şekil 7.2 Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin yarı mamul mukavemetleri.



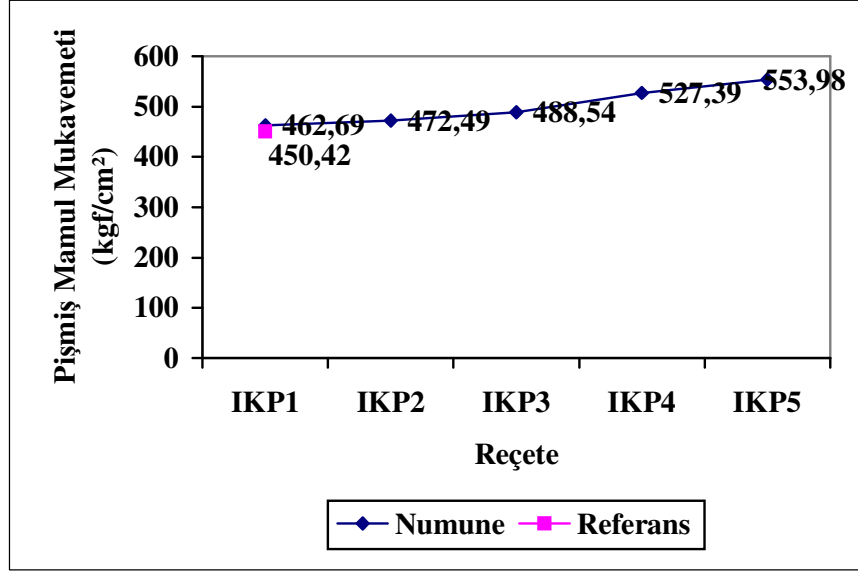
Şekil 7.3 Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin yarı mamul mukavemetleri.



Şekil 7.4 Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin pişmiş mamul mukavemetleri.



Şekil 7.5 Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin pişmiş mamul mukavemetleri.



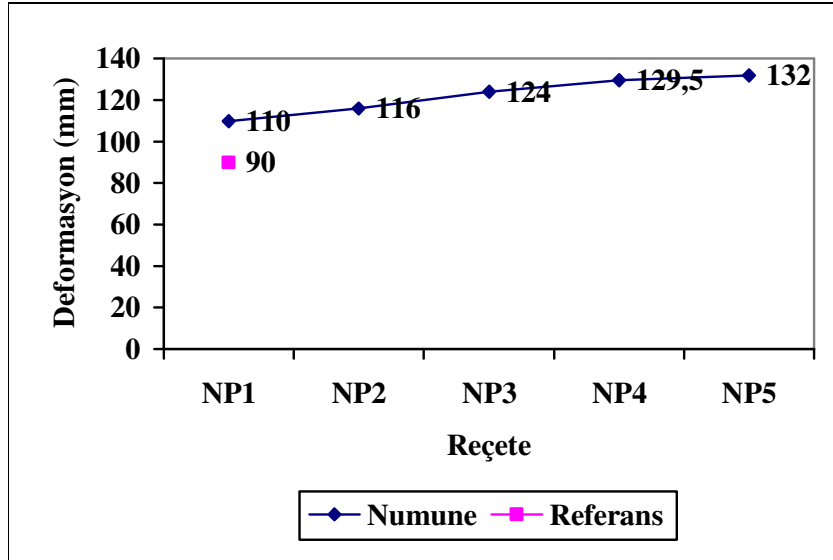
Şekil 7.6 Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin pişmiş mamul mukavemetleri.

7.6 Deformasyon Deneyi Sonuçları

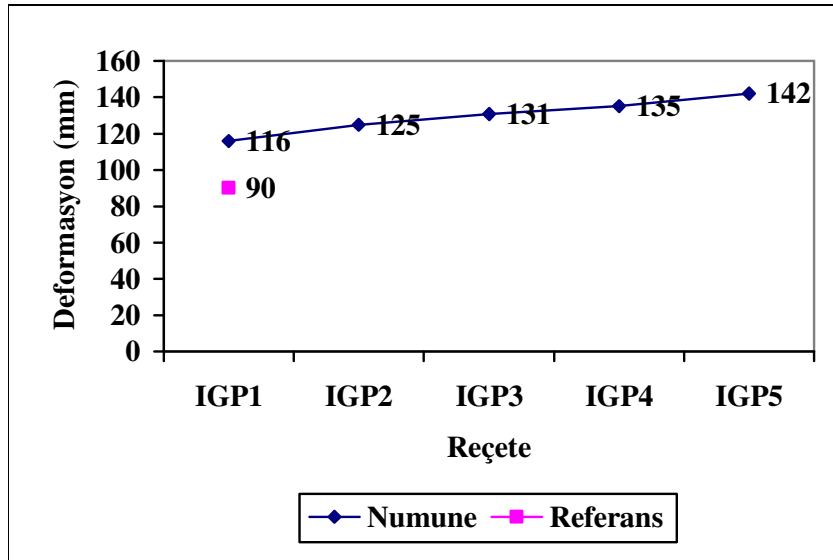
Yapılan deney sonuçlarına göre tüm reçetelerin numunelerinin deformasyon deney sonuçları referans numune değerinden yüksektir. Aynı orana pomzaya sahip reçeteler birbirleri ile karşılaştırıldığında Isparta Karakaya bölgesine ait pomzalı reçetelerde deformasyonun en fazla, Nevşehir pomzalı reçetelerin ise en düşük deformasyona sahip olduğu görülmektedir. Deformasyon deneyi sonuçları Şekil 7.7, 7.8 ve 7.9'da verilmiştir.

7.7 Küçülme Deneyi Sonuçları

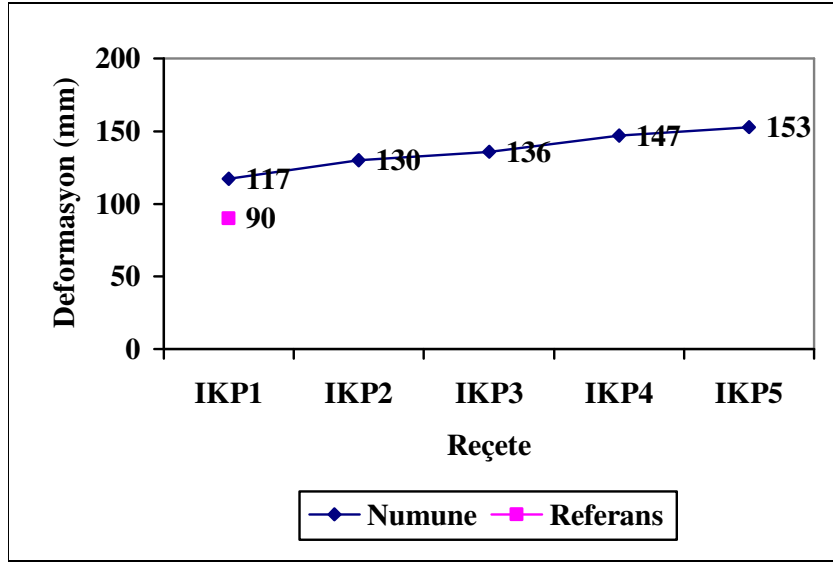
Referans reçeteye pomza ilavesi ile elde edilen çamurlardan şekillendirilen deney numunelerinin tamamının küçülme miktarları referans numunenin küçülme miktarından fazla olduğu görülmektedir. Nevşehir pomzası ilave edilerek şekillendirilen numunelerin küçülme miktarları en düşük seviyede iken Isparta Gelincik bölgesi pomzası ilave edilerek şekillendirilen numunelerin küçülme miktarları ise en yüksek değerlere ulaşmıştır. Küçülme deneyi sonuçları Şekil 7.10, 7.11 ve 7.12'de verilmiştir.



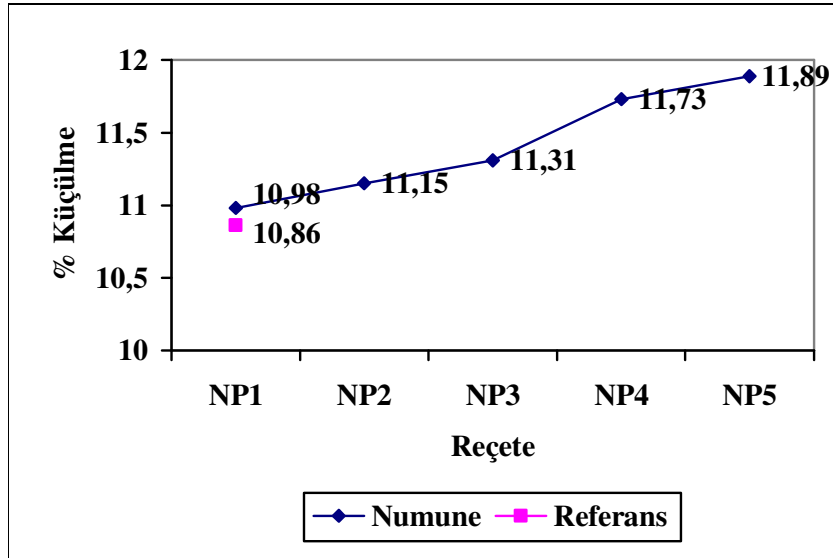
Şekil 7.7 Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin deformasyonları.



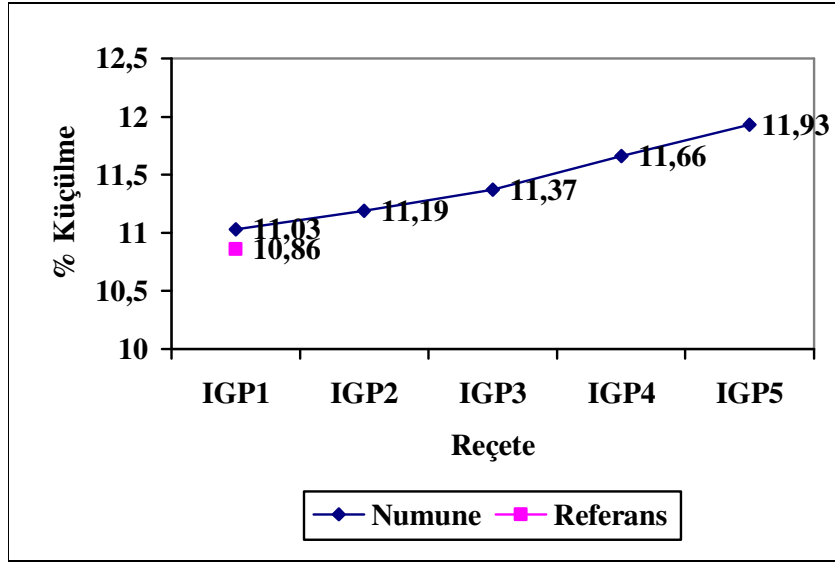
Şekil 7.8 Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin deformasyonları.



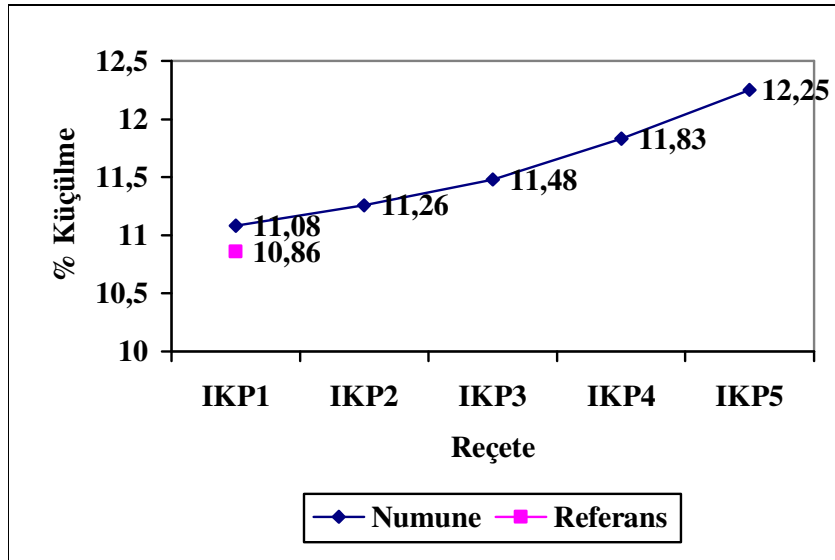
Şekil 7.9 Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin deformasyonları.



Şekil 7.10 Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % kūçūlmeleri.



Şekil 7.11 Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % kūçūlmeleri.



Şekil 7.12 Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % kūçūlmeleri.

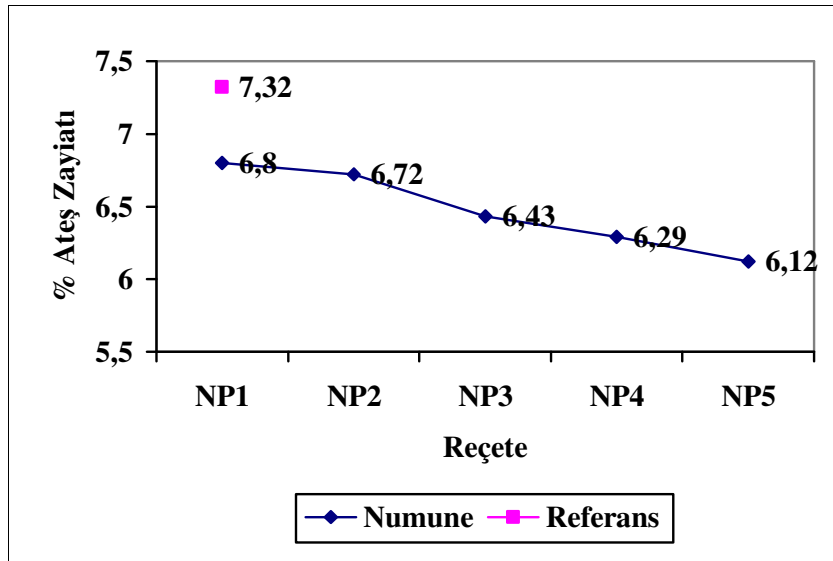
7.8 Ateş Zayıyatı Deneyi Sonuçları

Referans reçetenin kimyasal analizi ile Nevşehir, Isparta Gelincik ve Isparta Karakaya pomzalarının kimyasal analizleri karşılaştırıldığında her üç bölge pomzasının da ateş zayıyatı

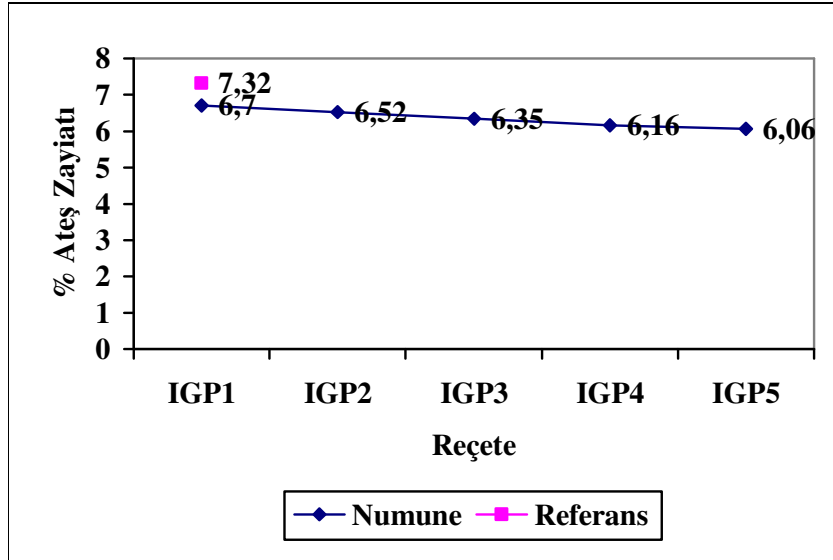
değerlerinin referans reçeteden hazırlanan numunenin ateş zayıyatı değerinden daha az olduğu görülmektedir. Isparta pomzalarının ateş zayıyatı değerlerinin aynı, ancak Nevşehir bölgesi pomzalarının ateş zayıyatının Isparta pomzalarından fazla olduğu görülmektedir. Ateş zayıyatı deneyi sonuçları Şekil 7.13, 7.14 ve 7.15’de verilmiştir.

7.9 Su Emme Deneyi Sonuçları

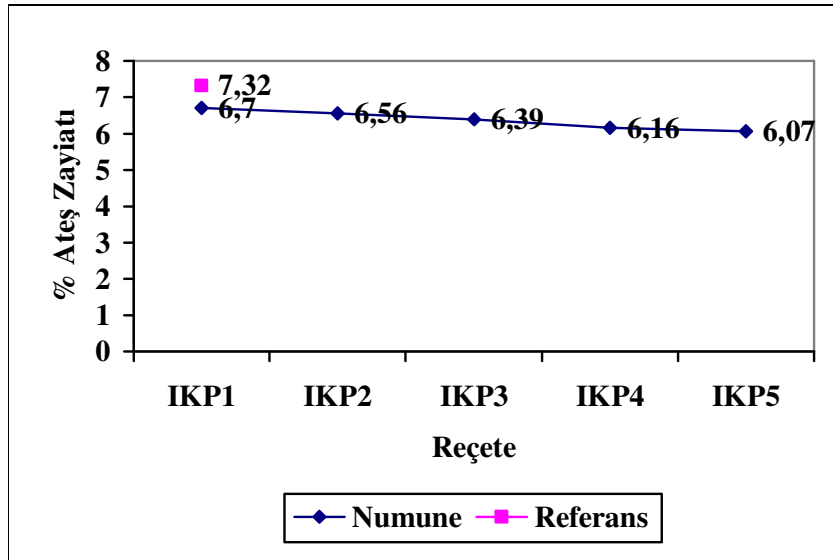
Yapılan deney sonuçlarına göre en iyi (en az) su emme değeri Isparta Karakaya pomzalı reçetelerden alınmıştır. Ancak döküm çamuruna % 10’luk pomza ilavesinden sonra su emme değerinin üç bölge pomzalarında da eser miktarlarda olduğu yapılan deneyler sonucu ortaya çıkmıştır. Pomzalı reçetelerden hazırlanan numunelerin su emme değerleri referans ile karşılaştırıldığında pomzalı numunelerin su emme değerleri daha düşüktür. En düşük su emme değerinin Isparta Karakaya bölgesi pomzası ile hazırlanan numunelere aittir. En yüksek su emme değerleri ise Nevşehir pomzası ilave edilerek hazırlanan numunelere aittir. Su emme deneyi sonuçları Şekil 7.16, 7.17 ve 7.18’de verilmiştir.



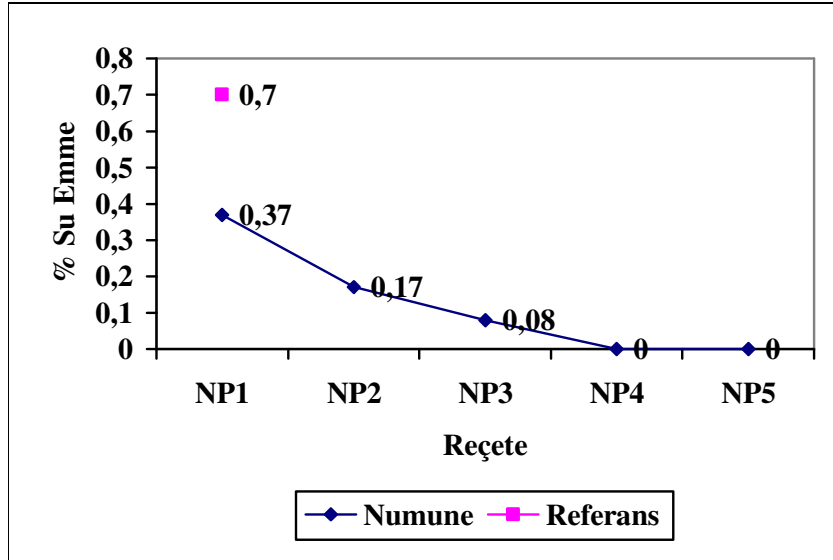
Şekil 7.13 Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % ateş zayıyatları.



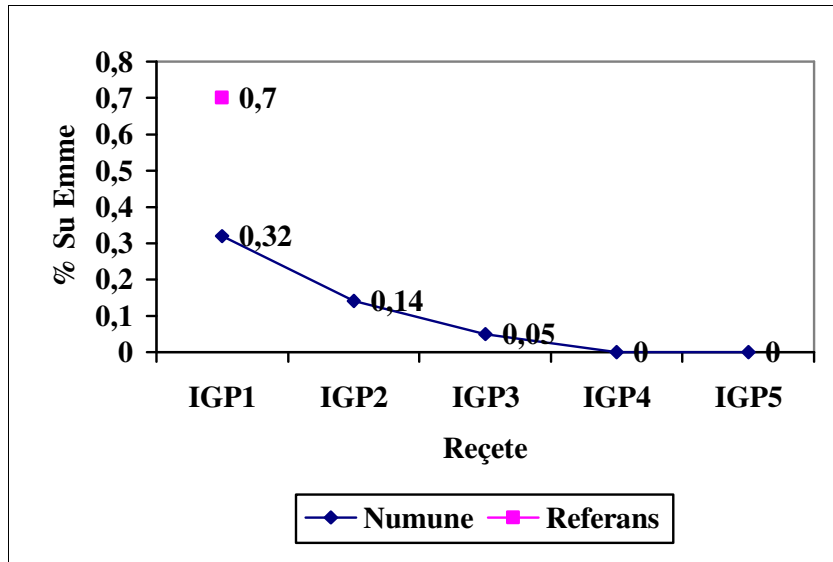
Şekil 7.14 Isparta gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % ateş zayıatları.



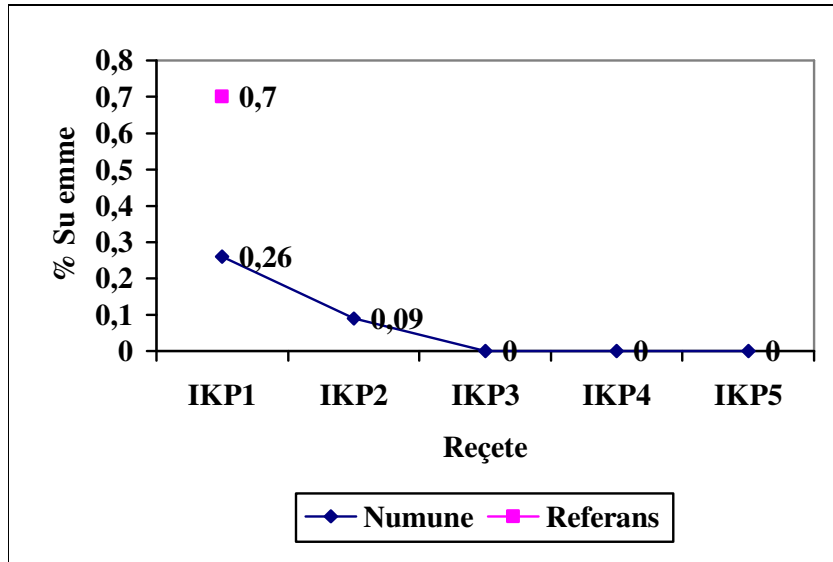
Şekil 7.15 Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % ateş zayıatları.



Şekil 7.16 Nevşehir bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % su emmeleri.



Şekil 7.17 Isparta Gelincik bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % su emmeleri.



Şekil 7.18 Isparta Karakaya bölgesi pomzaları ile hazırlanan reçetelerin % su emmeleri.

8. GENEL SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Killi seramik bünyelerde yarı mamul mukavemeti kil miktarı ile yakından ilgilidir. Killer bağlayıcı özelliği ile yarı mamuldeki mukavemeti sağlar. Bağlayıcılık özelliği yüksek killerle hazırlanan seramik bünyelerin yarı mamul mukavemetleri yüksek olmaktadır. Referans reçeteye pomza ilave etmekle reçetede ki bağlayıcılık özelliği gösteren killerin % miktarları azalmaktadır. Buda beraberinde yarı mamul mukavemetini düşürmektedir.

Pişmiş mukavemet tüm seramiklerde önem taşımakla beraber vitrifiye seramiklerde kullanım yerindeki montaj şekilleri düşünüldüğünde mukavemetin ne denli önemli olduğu sonucu ortaya çıkar.

Ham numunelerin mineralojik analizleri incelendiğinde kuvars, kaolinit, albit ve muskovite rastlanırken pişmiş numunelerin mineralojik analizleri incelendiğinde ise kuvars ve mullite rastlanmaktadır. Kaolinit bozunarak mullite dönüşür. Ancak bu dönüşüm sıcaklığı yaklaşık 1400 °C' dir. Albitin yapısı bozunarak Na' u yapısı parçalanarak muskovitten gelen K ile cama geçer. Ham numunelerde rastlanan albit 1120 °C'de tamamen eriyerek pişmiş numunelerde rastlanan mullit oluşum sıcaklığını aşağı çekmektedir. 1400 °C'de oluşması beklenen mullit bundan dolayı albitin etkisi ile 1210 °C'de de oluşur. Mullitin iğnemsiz yapısını saran sıvı faz soğumada katılaştır ve mullit ile bünyeye fiber etkisi yaparak mekanik mukavemeti önemli ölçüde artırır.

Kimyasal analizler incelendiğinde reçetelerdeki pomza artışı ile ergitici oksitlerin miktarsal olarak arttığı görülmektedir. Bu artış mullit oluşumunu arttırmakta ve beraberinde de pomza artışı ile mukavemet artışı gerçekleşmektedir.

Seramik bünyelerde pişme esnasında sıvı faz oluşturacak oksitlerin artışıyla bünyenin formunu koruması oldukça güçleşir. Özellikle vitrifiye üretiminde bu had safhaya ulaşır. Bir lavabonun ya da klozetin formunu pişme esnasında koruması sabit pişirim sıcaklığında ve sabit hammadde tane boyutunda ancak kompozisyondaki ergitici oksitlerin dengesi ile sağlanabilir.

Kimyasal analizler incelendiğinde pomza miktarındaki artışa paralel olarak artan Na₂O ve K₂O miktarları sıvı faz oluşumunu arttırıcı bir etki gösterir. Deformasyonlardaki artışın nedeni pişme sıcaklığındaki sıvı faz miktarının artması bünyenin yumuşamasına neden olur ki buda beraberinde deformasyon artmasına neden olur.

Üç bölge pomzalarının ilave edilmesi ile elde edilen numunelerin pomza artışı ile % küçülmeleri artmaktadır. Aynı oranda pomza ilavesi ile en az küçülme Nevşehir pomzası ile

hazırlanan numunelerden elde edilirken en fazla küçülme Isparta Karakaya pomzası ile hazırlanan numunelerde ölçülmüştür. Elde edilen veriler referans numune ile karşılaştırıldığında ise tüm pomzalı numunelerin % küçülmeleri referans numunenin % küçülme değerinden daha yüksektir.

Bünyedeki sıvı faz miktarının artması büzülmeyi ve/veya çekmeyi artırıcı bir etki gösterir. Pomza miktarındaki artış bu nedenden dolayı küçülmeleri arttırmaktadır.

Kimyasal analizlerde görülen pomza artışı ile ateş zayıtının düşüşü deney sonuçlarına paralellik göstermektedir. Kimyasal analizlere göre ateş zayıtının en yüksek olduğu hammaddeler kil ve kaolen gruplarıdır. Pomzaların ateş zayıtı ise bu hammaddelere göre daha düşük değerlerdedir. Reçetelere pomza ilavesi ile diğer hammaddelerin % miktarları azalmaktadır. Buda beraberinde ateş zayıtının azalmasını gerçekleştirmektedir.

Isparta Gelincik pomzasının kimyasal analizindeki ateş zayıtı değeri ile Isparta Karakaya pomzasının kimyasal analizindeki ateş zayıtı değerinin aynı olmasına karşın Isparta Karakaya pomzasının ateş zayıtı değeri %10, %15 ve %25'lik pomzalı reçetelerde daha fazla çıkmıştır. Bunun nedenini ise Isparta Karakaya pomzasının yapısında bulundurduğu SO_3 miktarının daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Su emme özelliği malzemedeki porozite miktarı ile doğru orantılıdır. Porozite miktarı ise pişme sıcaklığı, tane boyutu, sinterleşme esnasında oluşan sıvı faz miktarı gibi kriterlere bağlıdır. Bu çalışmada tane boyutu ve pişme sıcaklığı sabit tutulmuştur. Ancak değişik bölge pomzaları ile değişik oranlarda döküm çamuruna ilave edilen pomzalar sıvı faz oluşumunu hızlandıracak (daha düşük sıcaklıklara çekecek) ve/veya arttıracak olan oksitleri (Na_2O ve K_2O) bünyelerinde bulundurduğundan artan pomza miktarı ile orantılı olarak sıvı faz miktarı da artmaktadır. Buda bünyede bulunan boşlukları (tanecikler arası boşlukları) ve/veya gaz çıkışı esnasında oluşan boşlukları daha fazla ve daha kolay doldurmasını sağlamaktadır. Buda su emme değerini düşürmektedir.

Yapılan deney sonuçlarına göre en iyi (en az) su emme değeri Isparta Karakaya pomzalı reçetelerden alınmıştır. Ancak döküm çamuruna % 15'lik pomza ilavesinden sonra su emme değerinin üç bölge pomzalarında da eser miktarlarda olduğu yapılan deneyler sonucu ortaya çıkmıştır.

Referans vitrifiye çamuruna artan oranlarda Nevşehir, Isparta Gelincik Bölgesi ve Isparta Karakaya Bölgesi pomzaları ilave edilerek elde edilen çamurlardan alçı kalıplar kullanılarak şekillendirilen ve $1210\text{ }^{\circ}C$ 'de pişirilen deney numuneleriyle yapılan deneyler

sonucunda yarı mamul mukavemeti, pişmiş mukavemet, su emme ve ateş zayılatı deneyleri neticesinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Deformasyon ve küçülme deneyleri sonuçlarına göre ise olumsuz sonuçlar elde edilmiştir.

Deformasyondaki ve küçülmedeki deney sonuçlarındaki olumsuz sonuçları;

- Daha az ergitici kullanılarak,
- Aynı kompozisyonun daha düşük sıcaklıklarda pişirilerek,
- Daha büyük tane boyunda çamur hazırlanarak

daha uygun değerlere getirmek mümkündür. Yapılacak bu işlemler neticesinde ise vitrifiye çamuruna pomza ilave ederek aşağıdaki tasarrufların sağlanacağı mümkün görülmektedir.

- Hammadde tasarrufu
- Enerji tasarrufu

Pomzanın vitrifiye sektöründe endüstriyel boyutlarda kullanımı ile ilgili olarak kesin sonuçlara ulaşabilmek için yapılan çalışmada işletme çamuruna pomza ilave edilerek şekillendirilen numuneler işletme fırınları kullanılarak pişirilmiş olsa da numuneler deney numuneleri olup, vitrifiye parçaları (klozet, rezervuar, lavabo) gibi büyük kütle özellikleri taşımamaktadır. Ayrıca referans çamuruna ilave edilen pomza miktarı işletmelerdeki olası kullanıma göre çok düşük miktardadır. Deney numunelerinin dökümü ve miktarları ise laboratuvar şartlarında gerçekleştiğinden işletmelerde deneme üretimi yapılarak nihai ürün özelliklerine göre değerlendirme yapılması seramik işletmelerinde ergitici olarak pomza kullanılabilmesi için daha kesin sonuçlara ulaştıracaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] <http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/tastopra/oik568.pdf>36
- [2] Sümer, G., 1992, Seramik Sanayii El Kitabı 2. cilt, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- [3] Acarsoy, A., 1983, Seramik Teknolojisi, Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı, Yayınları, No:2, İstanbul275.s.
- [4] Sümer, G., 1990, Endüstriyel Seramikler, Anadolu Üniversitesi Yayınları, S. 10-35.
- [5] Işık, İ., 1996 Mineraloji ders notları Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ders notları, Kütahya.(Yayınlanmamış)
- [6] Murray, H.H., 1996 Common Clay: Industrial Minerals and Rocks, 6. Edition (Senior EditorCarr, D.D.), p.247-248 USA
- [7] Seyhan, I. , 1972 , Kaolin, Bentonit, Kil ve Tuğla Kiremit Topraklarının Jeolojisi, MTA 13, Ankara, s. 53
- [8] Kiper, B., Killerin Jeolojik Özellikleri, Ankara, Şubat, 1997.
- [9] Gök, S., Kil mineralleri ve killerin jeolojisi, M.T.A., Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı, Ankara, s. 1-48, 1983.
- [10] Sarıkaya, Y., Killerin önemi ve özellikleri, III. Ulusal Kil Sempozyumu, bildiriler, s. 13-32, 21-27 Eylül 1987.
- [11] Reed, J.S. Introduction to the principles of ceramic processing; John Wiley and Sons Inc, Singapore, 1989.
- [12] Demiralp, C., sarier, N., Güler, Ç., 24-28 August 1987 Ceramic technical congress proceeding, pp. 59.
- [13] Kaya, M., Seramik malzemelerin fiziksel özellikleri dersi, döküm ve pişirme prosesleri ders notları, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, 1998.
- [14] Vlack, V., L. H., 1964, Elements of Materials Science, An Introductory Text for Engineering students, Addison-Wesley Publishing co. Inc., USA.
- [15] Uz, B., Mineraller, kristallografi-mineroloji, İstanbul, 1990
- [16] Tanışan, H. H.,1988 Mete, Z., Seramik teknolojisi ve uygulaması, Birlik Matbaası Söğüt,s.7-22.
- [17] Erguvanlı, K., Mühendislik Jeolojisi, İstanbul, 1969.
- [18] Bozdemir, M., Erdogan, B., Bazı Türk bentonitlerinin reolojik özellikleri ve değiştirilmesi çalışmaları, Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, s. 501-502, 8-11 Eylül 1993.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

[19] Gürgev,İ., Tanın, S., Killerin etkinleştirilmesi, Altıncı Ulusal kil Sempozyumu, s. 515-516, 8-11 Eylül 1993.

[20] Güner, Y., Seramik, s. 10-21, 1987.

[21] Aktürk, A.,Ergül,H., Endüstriyel hammaddeler jeolojisi, Jeoloji etüdleri dairesi kitaplığı, no:91, Diyarbakır,s.25-50

[22] M.T.A. Enstitüsü Teknoloji Dairesi Endüstriyel Hammaddeler Servisi, 1980

[23] Gündüz, L, Pomza Teknolojisi 1998 Isparta

[24] http://www.isbasbims.com.tr/site/index.php?option=com_content&task=Itemid=48

[25] <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayihaoik628.pdf>

[26] SHAW, D.J., Introduction to colloid and surface chemistry, Third edition, Butterworth and Co (publishers) Ltd, p.213-226, 1980.

[27]Tekdemir, D., 1999, Döküm çamurlarının reolojisine elektrolitin etkisi,Lisans tezi,D.P.Ü Mühendislik Fakültesi. (yayımlanmamış)

[28] Güngör, N., Dilmaç, Ş., Kil-Su Sistemlerinin reolojik özellikleri üzerine elektrolitin etkisi, II. Ulusal Seramik Kongresi bildiriler kitabı, Cilt I, geleneksel seramikler Türk seramik derneği yayınları, No: 10, 24-28 Ekim, 1994.

[29] Köseoğlu, K. ve Güler, Ç., Killerin Jeolojik Özelliklerine bazı parametrelerin etkisi, III. Seramik Kongresi bildiriler kitabı Cilt 1, geleneksel seramikler, 22-25 Ekim, 1996.

[30] Yeşilova, N., Kaytakoğlu, S., Güvenç, A., Kil-su sispansiyonlarının viskozitesinin farklı kil ve deflokülanlara bağımlılığı, Sekizinci Ulusal Kil sempozyumu, s. 155-164, 24-27 Eylül 1997.

[31] Tekcanlar AŞ., Ürün Katalogu Nevşehir

[32] Etiler AŞ., Ürün Katalogu İstanbul

[33] Matel AŞ., Ürün Katalogu İstanbul

[34] Esan AŞ., Ürün Katalogu İstanbul

[35] İşbaş AŞ., Ürün Katalogu Isparta

[36] TSE., 1986, Pişmiş Mukavemet Deneyi, TS 4927, TSE yayını 6s.

[37] Tomsuk, F., 2001, Yer karosu üretiminde alternatif ergitici olarak pomzanın kullanım imkanının araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.(yayımlanmamış)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

[38] Özmen, K., 2002, Yapay granit karo üretiminde pomza kullanımı, Lisans tezi, D.P.Ü Mühendislik Fakültesi. (yayımlanmamış)

[39] Özcan, Ö., 2002, Stoneware bünye ve sır kompozisyonlarında alternatif hammadde kullanımı, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış)

[40] Yanık,G.,1997,Seyitömer (Kütahya) Kömür Havzası küllerinin jeolojisi, minerolojisi ve oluşumu, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, Kütahya, s.75.

[41] <http://epmalab.uoregon.edu/semimages.htm>

[42] <http://www.onionriverpottery.com/craft.htm>

[43] <http://kansu.tripod.com/me451/2.html>