

**YER KAROSU ÜRETİMİNDE
ALTERNATİF ERGİTİCİ OLARAK
POMZANIN KULLANIM İMKÂNININ
ARAŞTIRILMASI**

**Fatih TOMSUK
Yüksek Lisans Bitirme Tezi**

**Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı
Temmuz 2001**

**YER KAROSU ÜRETİMİNDE
ALTERNATİF ERGİTİCİ OLARAK
POMZANIN KULLANIM İMKÂNININ
ARAŞTIRILMASI**

Fatih TOMSUK
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Seramik Mühendisliği
Anabilim Dalı
2001

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir.
Proje No: 000249**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Fatih TOMSUK'un Yer Karosu Üretiminde Alternatif Ergitici Olarak Pomzanın Kullanım İmkânının Araştırılması başlıklı **Seramik Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi **16. 07. 2001** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı Soyadı

İmza

Üye: Prof. Dr. Nuran AY

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bekir KARASU

Üye: Yrd. Doç. Dr. Alpagut KARA

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...17.7.2001 tarih ve ...24/4...sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YER KAROSU ÜRETİMİNDE ALTERNATİF ERGİTİCİ OLARAK POMZANIN KULLANIM İMKÂNININ ARAŞTIRILMASI

Fatih TOMSUK
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. H. Gürkan YERSEL
2001, 81 sayfa

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucu oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli volkanik bir kayadır. Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza ortaya çıkmıştır. Bunlar, *asidik pomza* ve *bazik (bazaltik) pomza*dır. Pomza, kendisine özgü bazı özellikleri (rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması) ile benzer volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidyen, peks-tayn) ayrılır.

Bu çalışmada yer karosu kompozisyonlarındaki ergitici feldispat alternatif olarak pomza hammaddesinin farklı oranlarda yer karosu masse reçetesine ilâve edilerek standart albitli reçeteyle karşılaştırılmak suretiyle kullanılabilirliği araştırılmıştır. Pomzanın yer karosu bünyesine katılmasıyla nihai ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha da iyileştiği bulunmuştur.

Genel olarak pomza, albit ile karşılaştırıldığında kimyasal bileşimindeki yüksek K_2O+Na_2O alkali içeriği nedeniyle daha düşük sıcaklıklarda ergime davranışı göstermektedir. Pomza ilâveli bünyeler albitli bünyelere göre düşük sinterleme sıcaklıkları ve camsı faz miktarında artıştan dolayı iyi mekanik özellikler sergilemektedirler.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Alternatif, Albit, Yer Karosu, Değerlendirme.

ABSTRACT**Master of Science Thesis****INVESTIGATION OF USAGE POSSIBILITY OF PUMICE AS AN
ALTERNATIVE FLUXING AGENT IN FLOOR TILE PRODUCTION****Fatih TOMSUK****Anadolu University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Ceramic Engineering Program****Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Gürkan YERSEL****2001, page 81**

Pumice occurred as a result of volcanic activities is a porous, spongy volcanic rock which resists to physical and chemical effects. Due to the acidic and basic volcanic activities, two types of pumice structure had been occurred. These are called acidic and basic (basaltic) pumice regardly. Pumice differs from other volcanic glassy rocks like perlite, obsidien etc. with its colour, porosity and lack of cristalline water.

In this study, pumice as fluxing agent and alternative to albite was added in to the floor tile body with different proportions. The bodies with albite and pumice were compared and it was found that pumice addition resulted in better physical and mechanical properties.

Generally, pumice melts at lower temperature due to high K_2O-Na_2O content compared to albite. Therefore, pumice added bodies showed lower sintering temperatures than bodies with albite and with its increased glassy phase got better physical properties.

Key Words: Pumice, Alternative, Albite, Floor Tile, Utilisation.

TEŞEKKÜR

Başta danışman hocam Sn. Doç. Dr. H. Gürkán YERSEL ve AraŐ. Gör. İrfan TÖRE olmak üzere bu çalıŐmanın oluŐumuna kadar geçen zaman sürecinde vermiŐ oldukları bilgiler sayesinde bizlere mühendislik formasyonunu kazandıran değerli hocalarıma, tez çalıŐmam boyunca her türlü ihtiyaçımın karşılanmasında göstermiş oldukları ilgi destek ve hoŐgörüden dolayı Bozuyük Toprak Karo Fabrikası San. ve Tic. A.Ő'den Sn. Süleyman ÖZKAPLAN ile Sn. Dilek ÜSTÜNDAĞ'a ve çalışmada emeği geçen fabrika personeline teşekkür ederim.

Fatih TOMSUK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. POMZA.....	3
2.1. Pomzanın Oluşumu.....	6
2.2. Pomza Oluşumunda Etken Olan Önemli Mineralojik Bileşenler ve Oluşum Dinamiği.....	8
2.3. Pomzanın Tarihi.....	9
2.4. Pomza Sektörüne Genel Bir Bakış.....	10
2.5. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi.....	12
2.6. Pomzanın Kullanım Alanları.....	15
2.7. Pomza Üretimi ve Teknolojisi.....	17
2.8. Ürün Standartları.....	17
2.9. Pomzada Mevzuat.....	19
2.9.1. Maden Kanunları Açısından Pomzada Mevzuat.....	19
2.9.2. ÇED Yönetmeliği Açısından Pomzada Mevzuat.....	20
3. SERAMİK HAMMADDELERİ VE YER KAROSU.....	22
3.1. Özlü Seramik Hammaddeleri.....	22
3.2. Özsüz Seramik Hammaddeleri.....	23
3.2.1. Kuvars.....	23
3.2.2. Feldispat.....	24
3.2.3. Mermer.....	24
3.2.4. Vollastonit.....	25
3.2.5. Manyezit.....	25
3.2.6. Dolomit.....	25
3.2.7. Talk.....	25
3.3. Yer Karosu ve Üretim Aşamaları.....	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	42
4.1. Deneyin Amacı.....	42
4.2. Kullanılan Malzemeler.....	42
4.3. Kullanılan Cihazlar.....	42
4.4. Numunelerin Hazırlanma Yöntemi.....	42
4.5. Kuru ve Pişme Küçülmesi.....	43
4.6. Su Emme Deneyi.....	44
4.7. Mukavemet Deneyi.....	45

İÇİNDEKİLER (Devamı)**Sayfa No**

4.8. Pomza Denemeleri İçin Standart Yer Karosu Bünye Hazırlama Çalışmaları.....	46
5. SONUÇLAR.....	52
5.1. Pomzanın Öğütme Süresine Etkisi.....	52
5.2. Pomzanın Ham ve Kuru Mukavemete Etkisi.....	52
5.3. Nevşehir Pomzasının Nihai Ürünün Fiziksel Özelliklerine Etkileri.....	52
5.3.1. Nevşehir Pomzasının Su Emmeye Etkisi.....	53
5.3.2. Nevşehir Pomzasının Pişme Mukavemetine Etkisi.....	54
5.3.3. Nevşehir Pomzasının Pişme Küçülmesine Etkisi.....	54
5.4. Isparta Pomzasının Nihai Ürünün Fiziksel Özelliklerine Etkileri.....	57
5.4.1. Isparta Pomzasının Su Emmeye Etkisi.....	57
5.4.2. Isparta Pomzasının Pişme Mukavemetine Etkisi.....	58
5.4.3. Isparta Pomzasının Pişme Küçülmesine Etkisi.....	59
5.5. Nevşehir ve Isparta Pomzalarının Nihai Ürün Fiziksel Özelliklerine Etkilerinin Karşılaştırılması.....	61
5.5.1. Su Emme Etkilerinin Karşılaştırılması.....	61
5.5.2. Pişme Mukavemeti Etkilerinin Karşılaştırılması.....	61
5.5.3. Pişme Küçülmesi Etkilerinin Karşılaştırılması.....	62
5.5.4. Yoğunluk Etkilerinin Karşılaştırılması.....	67
5.5.5. Isıl Genleşme Katsayısına Etkilerinin Karşılaştırılması.....	68
5.5.6. Pomza İlâveli Sinterlenmiş Nihai Ürünlerde İç Yapı Özellikleri..	69
6. TARTIŞMA.....	71
6.1. Öğütme Süresi Yönünden Değerlendirme.....	71
6.2. Ham ve Kuru Mukavemet Yönünden Değerlendirme.....	72
6.3. Su Emme Yönünden Değerlendirme.....	73
6.4. Pişme Mukavemeti Yönünden Değerlendirme.....	75
6.5. Pişme Küçülmesi Yönünden Değerlendirme.....	76
6.6. Yoğunluk Etkileri Yönünden Değerlendirme.....	76
6.7. Sinterleme Sonrası Oluşan Fazların Değerlendirilmesi.....	77
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

2.1. Bazik Pomzanın Genel Görünümü.....	4
2.2. Asidik Pomzanın Genel Görünümü.....	4
2.3. Pomza Oluşumunun Sembolik Gösterimi.....	8
3.1. Hidrolik Preslerin Çalışma Prensibi.....	34
4.1. Nevşehir Pomzasının XRD Paterni.....	48
4.2. Isparta Pomzasının XRD Paterni.....	48
4.3. Nevşehir Pomzasına ait TG ve DTA Analiz Sonucu.....	49
4.4. Isparta Pomzasına ait TG ve DTA Analiz Sonucu.....	49
5.1. 1 No'lu Standart Reçeteye Nevşehir Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Su Emme Değerlerindeki Değişim.....	54
5.2. 2 No'lu Standart Reçeteye Nevşehir Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Su Emme Değerlerindeki Değişim.....	55
5.3. 1 No'lu Standart Reçeteye Nevşehir Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Mukavemeti Değerlerindeki Değişim.....	55
5.4. 2 No'lu Standart Reçeteye Nevşehir Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Mukavemeti Değerlerindeki Değişim.....	56
5.5. 1 No'lu Standart Reçeteye Nevşehir Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Küçülme Değerlerindeki Değişim.....	56
5.6. 2 No'lu Standart Reçeteye Nevşehir Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Küçülme Değerlerindeki Değişim.....	57
5.7. 1 No'lu Standart Reçeteye Isparta Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Su Emme Değerlerindeki Değişim.....	58
5.8. 2 No'lu Standart Reçeteye Isparta Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Su Emme Değerlerindeki Değişim.....	58
5.9. 1 No'lu Standart Reçeteye Isparta Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Mukavemeti Değerlerindeki Değişim.....	59
5.10. 2 No'lu Standart Reçeteye Isparta Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Mukavemeti Değerlerindeki Değişim.....	60
5.11. 1 No'lu Standart Reçeteye Isparta Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Küçülme Değerlerindeki Değişim.....	60
5.12. 2 No'lu Standart Reçeteye Isparta Pomzası İlâvesiyle Elde Edilen Nihai Ürünlerin Pişme Küçülme Değerlerindeki Değişim.....	61
5.13. 1.NP ve 1.IP Ürünlerinde İki Farklı Sıcaklıkta Artan Pomza Miktarıyla Su Emme Değerlerindeki Değişim.....	62
5.14. 2.NP ve 2.IP Ürünlerinde İki Farklı Sıcaklıkta Artan Pomza Miktarıyla Su Emme Değerlerindeki Değişim.....	62
5.15. 1157 °C'de Sinterlenen 1.NP ve 1.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Mukavemet Değişimi.....	63
5.16. 1178 °C'de Sinterlenen 1.NP ve 1.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Mukavemet Değişimi.....	63
5.17. 1157 °C'de Sinterlenen 2.NP ve 2.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Mukavemet Değişimi.....	64
5.18. 1178 °C'de Sinterlenen 2.NP ve 2.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Mukavemet Değişimi.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)**Sayfa No**

5.19. 1157 °C'de Sinterlenen 1.NP ve 1.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Pişme Küçülmesi Değişimi.....	65
5.20. 1178 °C'de Sinterlenen 1.NP ve 1.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Pişme Küçülmesi Değişimi.....	65
5.21. 1157 °C'de Sinterlenen 2.NP ve 2.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Pişme Küçülmesi Değişimi.....	66
5.22. 1178 °C'de Sinterlenen 2.NP ve 2.IP Serili Nihai Ürünlerdeki Pişme Küçülmesi Değişimi.....	66
5.23. 1178 °C'de Sinterlenen 1.NP ve 1.IP Serilerinde Artan Pomza Oranı ile Isıl Genleşme Katsayılarındaki Değişim.....	68
5.24. 1178 °C'de Sinterlenmiş 1 No'lu Yer Karosu Bünyesinin XRD Paterni.....	69
5.25. 1178 °C'de Sinterlenmiş Ağırlıkça % 100 Isparta Pomzası İçeren Bünyenin XRD Paterni.....	69
5.26. 1178 °C'de Sinterlenmiş Ağırlıkça % 100 Nevşehir Pomzası İçeren Bünyenin XRD Paterni.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

2.1. Asidik-Bazik Özellik Gösteren Pomzanın Tipik Kimyasal Bileşimi.....	5
2.2. Türkiye’de Değişik Yörelere Bulunan Pomza Oluşumlarına Ait Kimyasal Analiz Değerlendirmeleri.....	6
2.3. Dünya Pomza Rezervleri.....	11
2.4. Türkiye Pomza Rezerv Bölgeleri ve Miktarları.....	12
2.5. İl Bazında Kamu Kurum ve Özel Kuruluşların Pomza İşletmesi Ruhsat Sayısı.....	12
4.1. Başlangıç Hammaddelerinin Kimyasal Analizleri.....	47
4.2. Başlangıç Hammaddelerinin Fiziksel Özellikleri.....	47
4.3. Pomza ve Albitin Isı Mikroskop Analiz Sonuçları.....	50
4.4. 1 No’lu Standart Bünye ve Pomza İçeren Bünyeler.....	50
4.5. 2 No’lu Standart Bünye ve Pomza İçeren Bünyeler.....	51
5.1. 2.IP Serisi İçin Öğütme Zamanına Bağlı Olarak Elek Bakiyenin Değişimi.....	52
5.2. Ham ve Kuru Karonun Fiziksel Özellikleri.....	53
5.3. İki farklı Sıcaklıkta Sinterlenen 1.NP ve 1.IP Ürünlerindeki Yoğunluk Değişimi.....	67
5.4. İki farklı Sıcaklıkta Sinterlenen 2.NP ve 2.IP Ürünlerindeki Yoğunluk Değişimi.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- 1 : 1 No'lu standart bünye
- 2 : 2 No'lu standart bünye
- 1.NP.1 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 25 Nevşehir pomzası ve % 75 albit içeren deneme reçetesi
- 1.NP.2 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 50 Nevşehir pomzası ve % 50 albit içeren deneme reçetesi
- 1.NP.3 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 75 Nevşehir pomzası ve % 25 albit içeren deneme reçetesi
- 1.NP.4 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 100 Nevşehir pomzası ve % 0 albit içeren deneme reçetesi
- 1.IP.1 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 25 Isparta pomzası ve % 75 albit içeren deneme reçetesi
- 1.IP.2 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 50 Isparta pomzası ve % 50 albit içeren deneme reçetesi
- 1.IP.3 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 75 Isparta pomzası ve % 25 albit içeren deneme reçetesi
- 1.IP.4 : 1 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 100 Isparta pomzası ve % 0 albit içeren deneme reçetesi
- 2.NP.1 : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 25 Nevşehir pomzası ve % 75 albit içeren deneme reçetesi
- 2.NP.2 : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 50 Nevşehir pomzası ve % 50 albit içeren deneme reçetesi
- 2.NP.3 : 2 No'lu Standart Bünyeden Hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 75 Nevşehir pomzası ve % 25 Albit içeren deneme reçetesi
- 2.NP.4 : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 100 Nevşehir pomzası ve % 0 albit içeren deneme reçetesi
- 2.IP.1 : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 25 Isparta pomzası ve % 75 albit içeren deneme reçetesi
- 2.IP.2 : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yığın kompozisyonunda ağırlıkça % 50 Isparta pomzası ve % 50 albit içeren deneme reçetesi

- deneme reçetesi
- 2.IP.3** : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yağın kompozisyonunda
ağırlıkça % 75 Isparta pomzası ve % 25 albit içeren
deneme reçetesi
- 2.IP.4** : 2 No'lu standart bünyeden hareketle yağın kompozisyonunda
ağırlıkça % 100 Isparta pomzası ve % 0 albit içeren
deneme reçetesi
- A** : Görünür rezerv
- B** : Muhtemel rezerv
- C** : Mümkün rezerv
- K-Feldispat** : Potasyum feldispat
- Na-Feldispat**: Sodyum feldispat
- ÇED** : Çevresel etki değerlendirmesi
- °C** : Derece
- D.H.** : Değirmen dönme hızı
- V_c** : Değirmen içinde sadece öğütücü varken santrifüjün olduğu hız.
- μ** : Mikron
- L₁** : Pres kalıp boyutu (cm)
- L₂** : Karo plastik boyutu (cm)
- L₃** : Karo kuru boyutu (cm)
- L₄** : Karo pişmiş boyutu (cm)
- W_k** : Karo kuru ağırlığı (gr)
- W_s** : Karo su emmiş ağırlığı (gr)
- σ** : Mukavemet (kg/cm²)
- P** : Kırılma yükü (kg)
- L** : Mesnet aralığı (cm)
- b** : Kırılma bölgesinin uzunluğu (cm)
- d** : Kırılma bölgesinde karonun taban ile ayak kalınlıkları
arasındaki fark (cm)
- E.B.** : Elek bakiyesi
- XRD** : X ışını difraksiyonu

1. GİRİŞ

Seramik malzeme üretiminde hammadde seçimi, reçete tasarımı, bileşenlerin değiştirilmesi veya modifiye edilmesinde her bir bileşenin karışımında oynadığı rol önemlidir. Karo üretiminde hızlı pişirim seramik reçetelerinde istenen özelliklerden biri normal sıcaklıklarda kısa sürede bir ya da birden fazla kararlı faz oluşumunu sağlayarak diğeri ise düşük ısı genleşme, yüksek ısı şok direnci göstermesidir [1].

Yatırım, işçilik ve enerji giderlerinin azaltılmasına duyulan gereksinim nedeniyle yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucu karo üretimi tek pişirimle yapılmaktadır [2].

Ülkemizde yer ve duvar karosu üretimine 1960'lı yıllarda başlanmıştır. Seramik bünyeyi oluşturan üç temel hammaddeden biri olan feldispat ihtiyacı önceleri K-feldispatın kullanımıyla karşılanmıştır. O tarihlerde kapasitelerin düşüklüğü ve seramik teknolojisinin bu günkü seviyesinde olmaması nedeniyle, ergime aralığı geniş ve sorunsuz olan K-feldispat, bol miktarda tüketilmiş ve hatta sır üretiminde değerlendirilebilecek kadar saf olanlar bile doğrudan bünyelerde kullanılmıştır. Amaç beyaz bünye elde etmek olduğundan Fe_2O_3 miktarı % 0,5'ten az olan feldispatlar tercih edilmiştir

1970'li yıllarda seramik fabrikalarının sayısının artması nedeniyle sınırlı olan K-feldispat rezervleri ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmiş ve yerini yavaş yavaş Na-feldispatla bırakmıştır. Aydın-Çine'deki zengin Na-feldispat yatakları 1980'li yılların başında Türkiye'ye gelen tek pişirim yer karosu üretiminde ana alkali kaynağını oluşturmuştur. Na-feldispat önceleri demir ve titanyum miktarı az olan beyaz pişen bünyelerde tercih edilmiştir. Günümüzde bu tür hammaddeler pişme renginin beyazlığı için değil içerdiği alkali miktarına göre kullanılmaya başlanmıştır [3]. Ancak, mevcut feldispat rezervlerindeki azalış ileri dönemlerde seramik üretimi için yeni hammadde arayışlarına gidileceğini göstermektedir. Özellikle son zamanlarda yer karosu üretiminde feldispat yerine alternatif siyenit [4] ve perlit üzerine araştırmalar yapılmıştır [5].

Dünya enerji ihtiyacı ekonomik gelişmeye bağlı olarak sürekli artış göstermektedir. Gelişmiş ülkelerin yıllık enerji ihtiyaçları % 1-2 seviyesinde artarken Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bu oran % 10'lara ulaşmaktadır [6]. Ülkemizde günceliğini sürekli koruyan en önemli sorunlardan biri tasarruftur. Endüstri kaynakları yönünden zengin sayılabilen ülkemiz için petrol, doğalgaz gibi enerji kaynakları hakkında aynı sözleri söylemek pek mümkün değildir. Bu açıdan üretimde özellikle yakıttan tasarruf büyük önem taşımaktadır [7].

Pomza kullanımı inşaat sektöründe özellikle son yirmi yılda müthiş bir ivme kazanmıştır. Pomza yalnızca inşaat sektöründe değil, aynı zamanda birçok farklı endüstri alanlarında da hammadde kaynağı olmuş ve kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak en fazla pomza kullanımı ile inşaat sektörü günümüzde halen başı çekmektedir. Pomzanın perlit ile benzer özellik göstermesine ve mevcut malzemenin Türkiye'deki rezerv miktarının yüksek olmasına rağmen literatürde pomzanın seramik üretiminde kullanılabilirliği üzerine bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Bu araştırmada pomzanın yer karoları üretiminde kullanılabilirliği üzerinde çalışılmıştır. Araştırmada iki farklı bölgenin (Nevşehir ve Isparta) pomzası, yer karosu üretiminde alternatif ergitici malzeme olarak incelenmiştir. Laboratuvar ölçeğinde yapılan denemelerde feldispat yerine pomza ilâve edilmiş ve denemeler sonucunda pişme mukavemeti ve su emme değerlerinde iyi sonuçlar alınmıştır. Ayrıca öğütme süresinin kısaldığı tespit edilmiştir.

2. POMZA

Pomza, dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış, değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayadır.

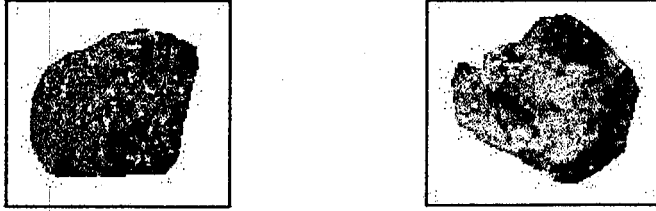
Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Değişik dillerde farklı sözcüklerle adlandırılmaktadır. Örneğin, Fransızca'da Ponce, İngilizce'de (iri taneli olanına) Pumice, (ince tanelisine) Pumicite, Almanca'da (iri tanelisine) Bims, (ince tanelisine) Bimstein adı verilmektedir. Türkçe'de ise süngertaşı, köpüktaşı, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek, kisir gibi adlarla anılmaktadır. Diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Türkçe'ye Pomza, Ponza, Bims, Pümis ve Pümisit terimleri olarak yerleşmiştir.

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde ortaya çıkmış, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle, pomza çok gözenekli volkanik camdır da denilebilir [8]. Oluşumu sağlayan ortamın karakteristikleri, ilgili yataklanmalardaki pomzanın fiziksel ve kimyasal nitelikleri konusunda belirleyici olmaktadır. Doğal olarak her pomza farklı sonuçlar göstermektedir. Bu nedenle bölgesel oluşum karakteristikleri öncelikli olarak incelenmelidir [9]. Oluşumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro boyuttan mikro boyuta kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan geçirimsizliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. En çok renk benzerliği/yakınlığı ve kimyasal bileşimi bakımından perlit ile karıştırılmakta olup, bazı durumlarda perlitten ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Pomzalı perlit/pomzatik perlit veya perlitik pomza olarak adlandırılabilen geçişli kayalardan petrografik analizle ve gözenek yapısı itibarıyla ayrılabilir. Pomzada gözenekler çoğunlukla birbirleriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, herbiri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafiftir, suda uzun süre yüzebilir, yalıtımı yüksektir. Sertliği Mohs skalasına göre 5-6'dır.

TSE ye göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm^3 'ten küçük, Mohs sertliği 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır (TSE 3234).

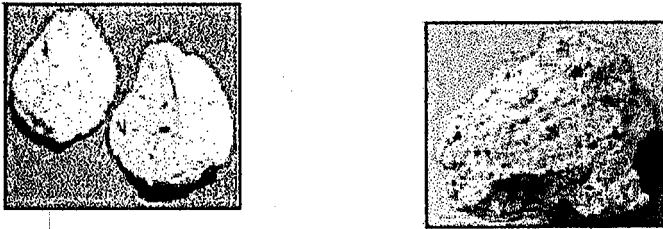
Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşmuştur. Bunlar, *asidik pomza* ve *bazik pomza*dır. Bazik pomzaya bazaltik pomza veya Scoria da denilmektedir [8].

Bazik pomza, bazik karakterli volkanizma ürünüdür. Silis oranı düşük, demir, kalsiyum ve magnezyum oranları yüksektir. Koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir (Şekil 2.1). Özgül ağırlığı $1-2 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır [8]. Türkiye'de Manisa (Kula, Demirci), Van (Çaldıran), Bitlis (Tatvan), Kayseri (Tomarza) bilinen pomza yataklarına sahip bölgelerdir [6].



Şekil 2.1. Bazik pomzanın genel görünümü

Asidik pomza ise asidik karakterli volkanizma ürünüdür. Büyük yataklarda oluşurlar. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir (Şekil 2.2) [8]. Türkiye'de Kayseri, Nevşehir, Bitlis, Van, Ağrı, Kars, Ankara, Isparta yörelerinde önemli yataklar vardır [6].



Şekil 2.2. Asidik pomzanın genel görünümü

Her iki tür de, oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi aniden terketmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Ancak, asidik mağmanın yoğunluğu bazik mağmaya göre daha düşük olup, pomzanın yoğunluğu yaklaşık 0,5-1 gr/cm³ civarındadır. Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum içerir ve bu bileşimler nedeniyle de açık renkli görünüm sergilemektedir. Asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimlerine Çizelge 2.1’de örnek verilmiştir.

Çizelge 2.1. Asidik-bazik özellik gösteren pomzanın tipik kimyasal bileşimi

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	60-70	45-50
Al ₂ O ₃	13-17	13-15
Fe ₂ O ₃	1-3	6-10
CaO	1-2	8-10
MgO	0.5-2.5	6-7
Na ₂ O+K ₂ O	7-9	5-6
Ateş Kaybı	3	1

Türkiye’de değişik yörelerde bulunan pomza oluşumlarına ait kimyasal analiz değerlendirmeleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Pomza taneleri köşeli ve yuvarlak olabilir, tane büyüklükleri arasında değişiklikler söz konusudur. Tane büyüdükçe özgül ağırlık azalmaktadır. Tane boyutları arttıkça gözenek yüzdesi de artmaktadır. Pomzanın gözenek yüzdesi, volkan bacasından uzaklaştıkça artar.

Pomza, volkanik cam olduğu için kolay öğütülür. Öğütülmüş pomza, taşlama ve parlatma amaçları için kullanılabilirdiği gibi; kibrit fabrikalarında ateşleme malzemesi ve dolgu maddesi, sabun ve kozmetik sanayiinde de dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

Çizelge 2.2. Türkiye’de değişik yörelerde bulunan pomza oluşumlarına ait kimyasal analiz değerlendirmeleri

Bileşim	Nevşehir	Van	İstanbul	Hatay	Kayseri	İzmir
SiO ₂	71	58,5	55	61,5	68	71
Al ₂ O ₃	13,2	14,3	3,6	11,2	15,1	1,3
K ₂ O	4,3	5,3	0,9	3,1	2,6	0,2
Na ₂ O	2	4,7	0,7	4,6	4	12
CaO	1,2	1,5	29	8,5	3	8
BaO	0,16	0,16	-	-	0,06	-
MgO	0,6	0,3	0,5	1,2	1	3
TiO ₂	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,08
MnO	0,1	0,1	0,07	0,1	0,1	0,03
Fe ₂ O ₃	1,1	4	0,9	2,3	3	0,5
Cr ₂ O ₃	-	0,05	-	0,05	-	-
P ₂ O ₅	0,048	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1
Rb ₂ O	-	0,11	-	0,06	-	0,05
SO ₂	-	-	0,25	0,08	0,05	0,05
Cl ⁻	0,19	0,28	0,22	1,66	0,24	0,34

2.1. Pomzanın Oluşumu

Pomzanın oluşumu genelde şu şekilde açıklanmaktadır: Asidik magma, bazik magmaya oranla daha vizkozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Bu nedenle volkanik aktivitenin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayaç ve kütleler oluşur. Volkanik baca içinde tıkanma sonucu doğal basınç birikimleri oluşur. Bu olay bir volkanın genel aktivite karakteristiğini sergiler. Basıncın artmasıyla asidik malzeme ile birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç serbestleşmesi ani genişmeleri oluşturur. Bu, bünyedeki uçucu bileşenlerin ani olarak kaçmasına neden olur. Uçucuları takiben, arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşur ve volkan aktivitesi sonrasında genellikle volkan krateri zamanla bir krater gölü şekline dönüşebilmektedir. Pomza oluşumunu kontrol eden faktörler:

- Püskürme süresi,
- Ara süreler,
- Magmanın sıcaklığı,
- Magmadaki erimiş gaz miktarı,
- Püsküren malzemenin soğuma zamanıdır.

Oluşan pomza parçaları, volkan bacalarının yakınından itibaren uzaklara doğru hava akımının da etkisiyle, eski yüzey şekline uygun olarak depolanır. Böylece pomza yatakları oluşur. Yataklar zamanla akarsular tarafından taşınarak uygun havzalarda depolanabilir. Bu şekilde oluşan yataklar içinde % 1-3 oranında andezit, traki-andezit, bazalt, obsidiyen gibi volkanik kayaç parçaları bulunur. İkincil durumda oluşan pomza yataklarında ise, yabancı maddeler daha fazla olabilmektedir. Pomza oluşumunun genel sembolik görünümü Şekil 2.3'te verilmiştir.

Pomzada taşınma mekaniği, basitleştirilmiş olarak 3 ana grupta ele alınabilmektedir:

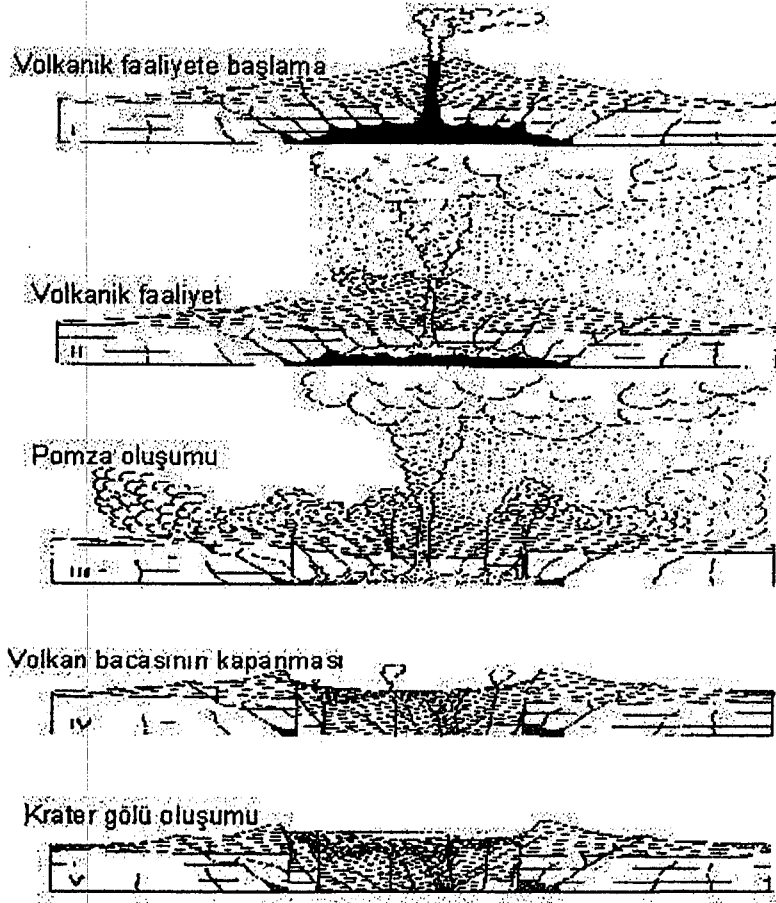
- Düşme (buluttan çökme) ile yığılma,
- Fırlatma ile yığılma,
- Akma ile yığılma.

Düşme ile yığılmada sınıflandırma iyi bir değişim sergilemekte, tane büyüklükleri de dar aralıklarda kalmaktadır. Pomza oluşum tabaka kalınlıkları çok ince olup cm ve/veya dm mertebeleri ile simgelenebilmektedir. Ayrıca, tabaka kalınlıkları tepelerde ve düzlüklerde aynı kalınlığı göstermektedir.

Fırlatma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza yataklarında, bazen düzgün ve yer yer birbiri içine itilmiş tabakalar ve arada bazaltik kayaç sokulumları ve patlama-çarpmanın etkisi ile yapıda parçalanma ve sıkışma görülür.

Akma ile yığılma şeklinde oluşmuş pomza yataklarında ise, genel olarak tabakalarda yoğun kötü bir ayrışma ve boyut sınıflandırması yok denilecek kadar

az bir olgu izlenebilmektedir. Bu oluşumun en açık göstergesi ise, gang (yabancı taşların) minerallerin alt katmanda kaldığı, pomzanın ise serbest halde üst katmanda yer almasıdır.



Şekil 2.3. Pomza oluşumunun sembolik gösterimi

2.2. Pomza Oluşumunda Etken Olan Önemli Mineralojik Bileşenler ve Oluşum Dinamiği

Belirtildiği üzere pomza oluşumları, volkanik aktiviteler sürecinde sıcak magmanın volkan bacasından belirli bir basınç püskürmesi ve ani olarak soğuması ile meydana gelmektedir. Bu oluşum sürecinde, ana kaynak olan magmanın özelliklerinin ve volkanik kayaç petrografik yapı oluşumunun bilinmesinde fayda vardır. Bu nedenle volkanik kayaç oluşumları ve mineralojik gelişimi özetle tanımlanmıştır.

Toplam bileşimin % 30-75'ini teşkil eden en önemli bileşen, SiO_2 'dir. Yüksek silika yüzdesine sahip magmalar, asidik; düşük silika yüzdesine sahip olanlar ise bazik magma olarak adlandırılırlar. SiO_2 'den sonra ikinci önemli bileşen % 10-22'lik oranıyla Al_2O_3 'tür. Diğer elementlerin oksitleri ise % 10'nun üzerine nadiren çıkmaktadır.

Magma yeryüzüne ulaştığında, soğuma ve katılaşma sonucu volkanik kayaları oluşturur. Şayet soğuma yavaş bir şekilde gerçekleşirse, yapıdaki atomlar düzgün bir şekilde bir araya gelerek, düzenli kristal kafesleri (embriyo kristalleri) oluştururlar. Sıcaklığın azalması yavaş bir şekilde sürerken, erimiş kütle tamamen kristalleşene kadar daha büyük tane boyutlarına yükseltgenirler. Diğer yandan hızlı soğuma, atomların düzensiz ve gelişigüzel bir şekilde sıralanmasına neden olarak camsı bir yapının oluşmasını sağlamaktadır.

Her iki durumdaki kimyasal kompozisyonun aynı olmasının yanında, oluşan farklılık, katılaşma sürecindeki farklılıktır. Çoğunlukla soğuma hızı değişkendir. Buna bağlı olarak, bazıları kristal şeklinde katılaşırken, bazıları da camsı bir yapı oluşturacak şekilde katılaşmaktadır. Değişik bileşenler, değişik sıcaklıklarda katılaşmakta ve bu da volkanik kayaların genel yapısını ve şeklini etkilemektedir [8].

2.3. Pomzanın Tarihçesi

Pomza ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalıların görkemli yapılarının birçoğunda hala gözlemlenebilmektedir. Roma duvarlarının inşaatında, su kanallarında ve daha pekçok anıtsal yapılarda kullanılmıştır. A.B.D.'de sağlamaştırılmış pomza Kaliforniya'da 1851 yılından beri inşaatlarda kullanılmaya başlamıştır. 1963 yılına kadar pomza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar genişlemiştir. San Fransisko yakınlarındaki Mercet Gölü'nden aşındırıcı pomza olarak kullanılmak üzere 1983'te 70 bin ton kadar üretilmiştir.

A.B.D.'de pomzanın inşaat endüstrisinde kullanılmasına rağmen, diğer ülkelere nazaran geri kalmıştır. Almanya II. Dünya Savaşı'ndan önce hafif bina yapım ünitelerinde sağlam bir dış ticarete sahip olmuştur. M.S. IV. yüzyıldan 1800'lere kadar Almanya'nın Ren bölgesindeki şehirlerde yeniden kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Almanya'da 1980 yılından önce önemli bir pomza üretimi söz konusu iken, son yıllarda üretimde belirgin düşüşler olmuştur.

Türkiye'de ise 1983 yılında 16 ton (8000 dolar değerinde) ihracat yapılmıştır. 1987 döneminde ihracatın % 1600'e ulaştığı fakat ihraç birim fiyatlarında dikkat çekici bir gerileme olduğu gözlenmiştir. Bu gerilemede bilinçsiz ve kalitesiz üretim ve haksız rekabetten kaynaklanmış, üreticiler tarafından üretim ve ihraç birim fiyatlarında istikrar sağlanamamıştır. Halen tekstil pomzası % 90'ını teşkil etmek üzere ihracat rakamları 100.000 ton'a ulaşmıştır. Türkiye'nin ihraç ettiği tekstil pomzasının büyük kısmı 3-7 cm boyutunda ve daha irisidir. 3 cm boyutu altındaki pomza, değerlendirme alanı bulamamış, ancak hafif yapı elemanı üretimindeki talep, tekstil pomzası üreticilerinin bu alanda değerlendirilmesi girişimlerini hızlandırmıştır [8].

2.4. Pomza Sektörüne Genel Bir Bakış

Pomza yıllar boyunca inşaatlarda yapı elemanı olarak kullanıla gelmiş, ustaların elinde şekillendirilerek günümüze kadar geçmişin tarihini ve tekniğini taşımıştır. Dünya genelinde 18 milyar m³ pomza rezervleri (Çizelge 2.3) mevcut olup Türkiye, rezerv bakımından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar m³ pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir [8].

Çizelge 2.3. Dünya pomza rezervleri [10]

	Milyon Ton	TOPLAM (Milyon Ton)
<u>Kuzey Amerika:</u>		
A.B.D.	11.500	12.000
Diğerleri	500	
<u>Güney Amerika:</u>		
Şili	60	80
Diğer	20	
<u>İzlanda:</u>		
Dominik	25	80
Guadelouphe	15	
Guatemala	25	
Diğerleri	15	
<u>Avrupa:</u>		
Türkiye	2.836	5.336
İtalya	2.000	
Yunanistan	500	
Okyanusya	500	500
DÜNYA TOPLAMI		17.996

Genç volkanizma ürünü olan pomza yatakları; Batı, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde bulunmakta ve büyük rezervler oluşturmaktadır [6]. Dünya pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 10' a varan renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri ile oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir [8]. M.T.A Genel Müdürlüğü'nce ülke çapında yapılan pomza ile ilgili detay jeolojik etüd çalışmalarından elde edilen bilgilere göre ülkemizde varlığı bilinen pomza yataklarının bulunduğu iller ve rezerv durumları Çizelge 2.4'te verilmiştir [8]. Pomza rezervlerinin Batı, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmış olmasına karşın, Akdeniz bölgesinde de pomza oluşumlarına rastlanmaktadır [8]. M.T.A. Müdürlüğü, yapmış olduğu araştırmalar ve etüd çalışmalarında ülkemizin büyük bir pomza potansiyeline sahip olduğunu tespit ederek bunu ekonominin hizmetine sunmuştur. Çizelge 2.5'te il bazında kamu ve özel kuruluşların pomza işletmesi ruhsat sayısı verilmiştir.

Çizelge 2.4. Türkiye pomza rezerv bölgeleri ve miktarları [8]

İl	İlçe	Mevki	Rezerv(m ³)	Rezerv Sınıfı
Ankara	Güdül	Tekkeköy	8.000.000	C
Ağrı	Doğubeyazıt	Çetenli	26.875.000	A+B
Bitlis	Ahlat		210.000.000	A+B
Bitlis	Tatvan	Kıy düzü	1.100.000.000	A+B
Isparta	Gölcük		30.983.250	A+B+C
Kayseri	Develi		58.500.000	A+B
Kayseri	Gömeç		13.250.000	A+B
Kayseri	Talas-Tomarza		725.000.000	A+B
Nevşehir	Avanos-Ürgüp		400.412.834	A+B
Nevşehir	Derinkuyu	Güneyce	48.660.500	C
Kars	Sarıkamış		1.875.000	B
Van	Erciş	Kocapınar	154.625.000	A+B
Van	Merkez	Mollakasım	5.950.000	A+B
TOPLAM			2.836.006.584	

A: görünür rezerv **B:** muhtemel rezerv **C:** mümkün rezerv

Çizelge 2.5. İl bazında kamu ve özel kuruluşların pomza işletmesi ruhsat sayısı[6]

İl	Ruhsat Sayısı
Nevşehir	14
Kayseri	22
Ankara	2
Ağrı	4
Van	1
Erzurum	1
TOPLAM	44

2.5. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi

Türkiye’de bulunan pomza yatakları, İç ve Doğu Anadolu ile Akdeniz Bölgesinde, Tersiyer sonlarında başlayarak Kuvarter devrinde, volkanik faaliyetler sonucunda oluşmuştur.

Orta Anadolu pomza yataklarının bir kısmını oluşturan Nevşehir bölgesindeki yataklar, Avanos ve Derinkuyu ilçeleri arasında yayılım göstermektedir. Bölgede temeli oluşturan en yaşlı kayaç birimleri Üst Kratese yaşlı serpantin, granodiyorit gibi kayaçlardır. Bunların üzerine Paleojen, Neojen yaşlı ignimbiritik tuf, riyolitik tuf, andezitik tuf gölsel kireçtaşı ve bazalt gibi kayaç birimleri gelmektedir. Yöredeki en genç kayaç birimleri, Kuvarterner yaşlı traverten, pomza, volkan külü ve alüvyon gibi birimlerdir. Bu yörede bulunan pomza seviyelerinin kalınlığı yer yer 1-20 m arasında değişmektedir. Bu pomza seviyelerinin içinde % 1-3 arasında değişen miktarda bazalt, diyabaz ve obsidiyen parçaları bulunur. Pomza seviyelerinin üzerinde 1-35 m arasında değişen volkan külü seviyesi ve en üstte kalınlığı 1-15 m arasında değişen kalınlıklarda alüvyon seviyesi bulunmaktadır.

Nevşehir ve civarındaki pomza yatakları tercih edilen pomza yataklarıdır. Makroskobik olarak, tane boyu genellikle 0,1-7 cm arasında değişmektedir. Aksaray ve Ihlara civarında 20 cm boyutuna kadar ulaşabilen iri pomzalar görülebilmektedir. Pomza boyutundaki bu oranlar yataktan yatağa değişebilmektedir ve bu değişimler, pomzanın çıktığı volkan bacasına olan uzaklıkla ilgilidir. Volkan bacasına yakın pomzalar iri, bacadan uzaklaştıkça küçülme görülmektedir. Bazı yatakalarda ise, yabancı madde oranı seviyeden seviyeye farklılık gösterir. Pomza, beyaz, gri, krem renklerde olup, üst seviyeler ve altere zonlar sarımtırak beyaz ve kirli bej renklerde dir.

Kayseri bölgesinde bulunan pomza yatakları, bu ile bağlı Talas, Tomarza ve Develi ilçeleri arasında yayılım göstermektedir. Yörede temeli oluşturan en eski kaya birimi Paleozoik yaşlı kristalize kireç taşlarıdır. Bunun üzerine Pliyosen yaşlı tuf ve görsel kireç taşları gelir. Tüflerin üzerine gelen pomza seviyelerinin kalınlığı yer yer 6-20 m arasında değişmekte olup, üzerine 1-50 m arasında değişen ignimbiritik tüfler gelir. Bu ignimbiritik tüflerin üzerine de ikinci bir pomza seviyesi gelmektedir (Kepez pomzası). Kepez pomzası üzerine kalınlığı 10 metreye varan ignimbiritik tüfler gelmektedir. Yörede en genç olan Kuvaterner

yaşlı volkanizmanın en son ürünü olarak, andezit, bazalt türünden kayalar bulunmaktadır. En üstte 1-5 m kalınlığında yamaç molozu ve alüvyon örtü vardır.

Bu yöredeki pomzalar Nevşehir'e göre daha fazla gaz boşluklu, dolayısıyla daha hafiftir. Boyutları 0,1-8 cm arasında değişir. Pomzalarda açık gri, beyaz ve krem renkler hakimdir.

Doğu Anadolu bölgesindeki pomza yatakları çok geniş alanlara yayılır. Bitlis (Ahlat-Tatvan), Van (Erciş-Mollakasım), Ağrı (Patnos-Doğubeyazıt) ve Kars (Digor-Sankamış) illerinde geniş pomza yatakları bulunmaktadır. Bölgede temeli oluşturan en yaşlı kayalar Paleozoik yaşlı Bitlis masifi diye adlandırılan (gnays şist ve mermer gibi) kayalar üzerine Mezozoik yaşlı ofiyolitik melanj (serpantin, diyabaz, kireçtaşı vs. gibi) gelmektedir. Bunun üzerine ise, Tersiyer yaşlı fliş ve volkano-sedimanter (kumtaşı, marn, tuf, aglomera, kireçtaşı, bazalt, andezit, riyolit gibi) kayaç birimleri bulunmaktadır. Bu bölgedeki pomza yatakları Kuvaterner devrinde oluşmuş olan volkanik faaliyetler sonucunda meydana gelmişlerdir. En altta ignimbiritik tuf, aglomera, obsidiyen ve trakitik kaya birimleri bulunmaktadır. Bunların kalınlığı ortalama 350 m civarındadır. Bu birimlerin üzerine kalınlığı yer yer 1-25 m arasında değişen pomza oluşumları gelmektedir. Pomza seviyesinin üzerine kalınlığı 1-20 m arasında bazalt ve en üstte ise, 1-5 m kalınlığında alüvyon bulunmaktadır. Yukarıda sözü edilen pomzalar asidik kökenlidir.

Bu bölgedeki pomzalar makroskopik olarak Kayseri ve Nevşehir pomzalarına oranla daha iri olup 0,1-8 cm boyutlarındadır. Daha iri ve ince malzemeler çok az oranda bulunur. Yabancı madde oranı diğer bölgelerle yaklaşık aynıdır. Van, Erciş, Ağrı ve Doğubeyazıt yöresindeki pomzalar genelde beyaz, diğer illerdeki pomzalar ise bej, gri ve kirli beyaz renklerdedir. Pomza içinde yer yer ince ve iri malzemelerin oluşturduğu seviyeler aralanmalıdır.

Batı Anadolu bölgesinde bulunan pomza yatakları, Isparta, Burdur ve Muğla illeri çerçevesinde bulunmaktadır. Temeli, Mezozoik yaşlı kireçtaşları ile

Pliosen-Kuvaterner yaşı volkano-tortul birimler oluşturmaktadır. Gölcük volkanitleri, Toros kuşağında yer alan seriler üzerine yerleşmiştir.

Yörede pomza oluşumları en yoğun olarak Isparta-Gölcük çevresinde gözlenmektedir. Pomza taşları patlayıcı traki-andezit volkanizmaya bağlı olarak oluşmuştur. Pomza seviyeleri alttan üste doğru alt volkano-tortul birim içerisinde, andezit çakıl ve blokları ile diyorit çakılları bulunur. Çeşitli boyutlardaki pomzaların rengi açık gri ile gri renk tonları arasında değişir. Gevşek dokulu pomza düzeylerinin tabanında kahverengi kül, silt, kum karışımı bir seviye bulunur ve üst kısımlarda ise tuf, kum ardalanmasına geçer.

Ayrıca Niğde, Konya, Ankara ve Muğla ili çevresinde de pomza yatakları bulunmaktadır. Fakat ekonomik değildir [11].

2.6. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza başlıca şu sektörlerde kullanılmaktadır:

- İnşaat,
- Tekstil,
- Tarım,
- Kimya,
- Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda.

Pomza, ülkemizde ve dünyada geniş anlamda inşaat sanayiinde kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın % 80'i iç piyasada inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak tüketilmektedir. Pomza, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanılmaktadır. Perlit gibi genişletmek için enerji ve yatırım gerektirmediğinden, inşaat sektöründe son yıllarda kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.

Tekstil sektörü, günümüzde ülkemiz endüstrisinde en önemli paya sahip konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında pomza, aranan ve

azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur. Yaygın olarak kot taşlama şeklinde bilinen bu işlemde kot kumaşlarının renklerinin açılması ve kumaşın yumuşatılması yapılmaktadır.

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

Pomza, tarımda hem ucuz hem de özellikleri açısından 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.

Günümüzde pomza aşağıda belirtilen kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Tarım ilaçları ve kibrit sanayiinde aşındırıcı olarak,
- Gübre sanayiinde gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde antikek maddesi olarak,
- Diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak,
- Birçok sektörde absorban malzeme olarak,
- Temizlik ve deterjan sanayiinde katkı malzemesi olarak,
- Özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak.

Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda ise:

- Kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayiinde aşındırıcı olarak,
- TV tüpleri ve elektronik devre ve çiplerin üretiminde hassas temizleme maddesi olarak,
- Yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı malzemesi olarak,

- Asfalt kaplamalarda (özellikle sıcak iklimli bölgelerde) yüzeye bitüm kusmayı engelleyici katkı maddesi olarak,
- Karayollarında; buzlanmaları kontrol altına almada,
- Dekoratif ve yalıtımlı, tavan kaplama malzemelerinin üretimi

gibi pek çok sektörde kullanım imkânı 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 pekçok alanda kullanımına ilişkin çalışmaların da sürdürüldüğü bilinmektedir.

2.7. Pomza Üretimi ve Teknolojisi

İlk işletme aşaması olarak değerlendirdiğimiz, ocaktan ham pomza elde edilmesi çok büyük yatırım gerektirmez. Ocağın konumu, nitelikleri, cevher zonunun şekli dekapaj çalışması pasanın ve kaldırılan örtü malzemesinin yerlerinin belirlenmesi aşamalarından sonra üretime kolaylıkla geçilebilir. En önemli problem pomza içindeki volkanik kayaç parçacıklarıdır. Havuzda yüzdürülen pomza dibe çöken kayaç parçalarından kolaylıkla ayrılabilir [8].

Pomza üretiminde açık işletme yöntemi kullanılmaktadır. Pomza taşı, pomza maden ocağından bir lastik tekerlekli yükleyici ile kazılarak kamyonlara yüklenir, kamyonlar ile fabrikaya sevk edilir. Fabrikada uygun kırma-eleme sistemlerinde boyut küçültülerek sınıflandırılır ve agrega haline dönüştürülür, ayrı ayrı silolara nakledilir [7].

2.8. Ürün Standartları

- İşletmeye açılacak olan ocaklarda en uygun işletme teknikleri belirlenerek verimli çalışma sağlanmalı bu sayede işzamanı, işgücü ve potansiyeli kaybı minimuma indirgenmelidir. Bu aşamaya gelebilmek içinse vakit

kaybetmeksizin ilgili kişi ve kuruluşlardan bilimsel ve teknik yardım talebinde bulunulmalı, işletme projeleri sağlıklı olarak geliştirilmelidir.

- Ocaktan sağlıklı yöntemlerle elde edilen ham ürün işletme aşamasında çağdaş bir üretim teknolojisi ile işlenmeli, gerekirse üretici firmalara uygun koşullarda finansman kredisi sağlanarak eldeki tesisler modernize edilmelidir.

Pomza içindeki volkanik çakıllar, diğer yabancı malzemeler ve sınıflandırma haricindeki küçük pomza çakılları uygun sistemler kurularak, ilk aşamada tamamen ayıklanmalı, taş yüzeyindeki bulaşıkları gidermek temiz ve net bir görünüş sağlanması için yıkama işleminin yapılması sağlanmalı ve kurutma mutlaka gerçekleştirilmelidir.

- Ürünün standart hale getirilebilmesi için üretici firmalar işbirliğine gitmeli, ilgili kuruluşlardan ve üniversitelerden bu aşamada da bilimsel ve teknik yardım sağlanmalıdır. Sorun nitelikli bir ürün arz etmek olduğu için, bu ürünün kullanım alanlarındaki talep özellikleri dikkatle araştırılmalı, sistem alıcının isteği doğrultusunda, sağlıklı ve düzenli bir ambalaj sistemi ile cazip hale getirilmelidir.

Maden ocaktan çıkarıldıktan sonra dikkat edilmesi gereken konu, ocaktan ham olarak çıkarılan madenin kesinlikle yeterli süre içerisinde tamburlanarak yuvarlatılması zorunluluğudur. İyi tamburlanan mallar elek aralıklarının uzun tutularak istenilen ebatlardaki taşların aynı bölümlere akmasını sağlayacaktır. Tamburdan çıkan maddenin boyutları her bölümde aynı olmalıdır. Özellikle madenin ayıklanması ve seçilmesi esnasında hiçbir yabancı madde karıştırılmamalıdır.

2.9. Pomzada Mevzuat

Mevzuat, diğ er madenlerde oldu ğ u gibi pomza madencilikinin zamanında gelişmesini engelleyen sorunlardan biridir. Pomzayı en çok ilgilendiren Maden Kanunları ve ÇED Yönetmeliğidir.

2.9.1. Maden kanunları açısından pomzada mevzuat

Türkiye’de endüstriyel pomza üretim ve ihracatının gelişmesi çok kısa bir sürede gerçekleşmiştir.

Pomza, 15.06.1985 tarihinde çıkarılan, 3213 sayılı Maden Kanunu’nda yine kanun kapsamında bırakılmış olup, verimli yatakların ülke ekonomisine kazandırılmasına devam edilmektedir. Mer’i 3213 sayılı Maden Kanunu’ndan önce Türkiye’deki sahaların arama ve işletme hakkı MTA ile bazı özel kişi ve şirketlerce yapılmıştır.

3213 sayılı Maden Kanunu’ndan sonra, MTA bünyesinde bulunan ruhsatlardan altısını 1986 yılı sonlarında özel şirketlere devretmiştir. Özel sektör tarafından işletilmekte olan bu sahalar, pomza temininde fayda sağlamışlardır.

Pomzanın, Maden Kanunu kapsamına geç alınması ve özellikle MTA’nın kuruluş ve görevleri ile ilgili kanun gereğ i sahalar işletilememiştir. Bu yüzden arz ve talepteki dengesizlik sonucu, yasal olmayan yöntemlerle, bazı şahıs ve şirketler tarafından pomza usulünce üretilmeyerek heder olmuştur.

3213 sayılı Maden Kanunu ile hem ruhsat hukuku hemde işletmecilik genele ş amil kılınarak bir rahatlama sağlanmıştır. Bu kanun döneminde pomza her yönüyle ele alınmaktadır. Geçmişte karşılaşılan tüm zorluklar göz önüne alındığında, bu kanun, pomza madencilikine canlanma getirmiştir.

Mülga, 6309 sayılı Maden Kanunu'na göre alınmış ve mer'i 3213 maden yasasına göre intibakları yaptırılan pomza sahalarının adet olarak % 37'si devlet sektörüne, % 63'ü özel sektöre aittir.

2.9.2. ÇED yönetmeliği açısından pomzada mevzuat

2872 sayılı Çevre Kanunu, 11.08.1983 yılında yürürlüğe girerken, bu kanunun 10. maddesine istinaden çıkarılan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği 07.02.1993 tarihinde yayımlanabilmiştir. Bu yönetmelik tüm yatırımları ilgilendirmekle beraber, madencilik faaliyetlerini özellikle ilgilendirdiği hatta öncelikle çevreyi en çok kirleten (etkileyen) sektör olduğu varsayılmıştır.

ÇED Yönetmeliği açısından pomzaya bakıldığında, arama döneminde ÇED'ten hariç tutulduğu görülmektedir. Ancak, istihracı söz konusu olduğunda ÇED Ön Araştırması'na tabi olup, Mahalli Çevre Kurulunca ilgili il nezdinde "Çevresel Etkileri Önemlidir" ya da "Çevresel Etkileri Önemsizdir" kararının verilmesinden sonra faaliyetine devam edip etmeyeceği kesinleşmektedir. Bilindiği kadarıyla 31.12.1996 tarihi itibariyle pomza ile ilgili olarak hiçbir ÇED Ön Araştırması'na "Çevresel Etkileri Önemlidir" kararı verilmemiştir.

Konuya pomza hammaddesinin yapısı, özellikleri, işletme teknikleri, bilimsel esaslar açısından bakılırsa; ÇED Raporuna hiç gerek olmadığı, olsa olsa mahalinde ÇED Ön Araştırmasına tabi tutulabileceği, hatta bunun da rezervi fazla olan işletmeler ve ruhsatın bulunduğu yerin morfolojik/topografik, coğrafik ve jeolojik şartlarına göre yapılması gerektiği hususu genelde ilgili uzmanların birleştiği ortak bir noktadır.

Pomzanın çevreye görsel kirlilik dışında kalıcı ve toksik bir etkisinin olmadığı bilinmektedir. Arama, ön işletme, işletme safhalarında bir çevre sorunu yoktur. İşletme esnasında çukurlaşmış yerlerin düzenlenmesi ile, görsel kirlilik arzeden olumsuz etkilerin giderilmesi mümkün olabilmektedir. Bu geçici fiziksel

kirlilik, ruhsat sahasının her ne surette olursa olsun terkedilmesi halinde, arazi iyileştirilmesiyle giderilebilmektedir.

Bunun dışında atık madde ve radyoaktif madde çıkışının bulunmaması, işletme esnasında patlayıcı/parlayıcı madde kullanılmaması nedeni ile ocak ve yakın çevresinde bir çevre kirliliği söz konusu olmamaktadır. Zenginleştirme ile ilgili olarak eleme ve benzeri işlemler yapılmaktadır. Zenginleştirme ile boyutlandırma yapıldığından toz oluşabilmektedir. Bu esnada olabilecek toz, yayılım için rüzgar yönüne göre gerekli tedbirler alınabildiğinden, bu işlemde kaynaklanan kalıcı bir kirlilik söz konusu değildir. İşletme döneminde su kullanımı çok azdır. Dolayısıyla alıcı ortama pis su deşarjı çok az olacaktır. Ocaklardan doğal haliyle genelde alınabildiğinden toz yayılımı az olmaktadır. Bu da anında yapılan sulama/püskürtme gibi yöntemlerle anında giderilebilmektedir. Pomza yataklarının üstünde çoğunlukla örtü-kazı (dekapaj) yoktur veya çok azdır. Ayrıca, üzerinde tarım toprağı da yoktur veya çok azdır. Dolayısıyla ocaktan bitkisel toprağın sıyırılması her zaman söz konusu değildir [8].

3. SERAMİK HAMMADDELERİ VE YER KAROSU

Seramik hammaddeleri özlü ve özsüz hammaddeler olmak üzere iki gruba ayrılır.

3.1. Özlü Seramik Hammaddeleri

Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurdukları zaman verilen şekli koruyan hammaddelerdir. En özlü seramik hammaddesi olarak montmorillonitik bir grupsal yapı gösteren bentonit, arkasından da daha az özlü olarak çeşitli grupsal yapılara sahip killer ve sonuncu olarak kaolenler sıralanabilir.

Kaolinit grubu killer ana mineral olarak kaolinit içerirler. Kaolinitin kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot 2H_2O \cdot 2SiO_2$ 'dir. Kaolinit genellikle çoğu plastik seramik hammaddelerin esas mineralidir. Kaolinit ham olarak % 39,50 Al_2O_3 , % 46,55 SiO_2 , % 13,95 H_2O içerir. Pişme sırasında H_2O buharlaşarak % 13,95'lik ateş kaybını oluşturur. Kaolen grubuna giren diğer kil mineralleri dikit, nakrit, halloysittir. Bu kil minerallerinin kimyasal yapıları kaolinitin aynısı olmasına rağmen kristal yapıları farklıdır.

Montmorillonit grubu kil minerallerinin genel yapıları kaolinit gibi alimünyum silikat olmalarına karşın çok farklı bir görünüm içindedirler. Yapılarında Mg, Ca, Fe, Zn gibi elementler taşır. Çok plastik olmalarına rağmen taşıdıkları safsızlıklar nedeniyle pişme renkleri seramik ürünler için elverişsizdir. Gerektiği hallerde plastikliği arttırıcı olarak % 1-3 kadar kullanılır. Bu gruba giren mineraller montmorillonit (Mg, Ca) $Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$, sapanit, nontronittir.

İllit grubu minerallerin yapı özellikleri genellikle mika minerallerinin yapısına benzer. İllitin teorik yapısı $(OH)_4K_y(Al_4Fe_4Mg_6)Si_{8-y}Al_yO_{20}$ şeklinde olup $y=1-1,5$ arasında değişmektedir. Plastik özelliği ve uzun bir kristalleşme

aralığına sahip olmasının getirdiği olumlu pişme özelliği nedeniyle çeşitli oranlarda seramikte kullanılırlar.

Klorit grubu killeri ince tane boyutlu ve yeşil renklidirler.

3.2. Özsüz Seramik Hammaddeleri

Çok ince öğütölseler bile su ile kolayca şekil verilemeyen, şekil verilebilse bile bir dış etken ile şeklini kaybedip dağılan hammaddelerdir. Pişmekte olan üründe önemli rol oynayan özsüz seramik hammaddeleri çamurun pişme özelliklerini ve pişme sıcaklık aralığını etkiler. Çamura katılan özsüz hammaddenin türüne ve oranına da bağlı olarak, çamurun pişme sıcaklığı genelde yükselirse de ortaya çıkan daha geniş bir pişirme aralığı, çoğu seramik ürünler için bir avantaj olarak kabul edilir. Bazı özsüz hammaddeler ise örneğin feldispat, pegmatit, kalsiyum karbonat gibi hammaddeler büyük ölçüde pişme sıcaklığının ve katkı oranlarının da etkisi ile bünye içinde eritici özellik göstererek bünyenin erken pişmesini sağlar.

3.2.1. Kuvars

Bir seramik yapının kil gibi plastik ve dolgu özelliği olan hammaddeler yanında kuvars (SiO_2) gibi plastik olmayan ve yapıyı yüksek sıcaklıklarda ayakta tutacak bir hammaddeye de gereksinimi vardır. Ergime esnasında sistemin genleşme katsayısını düşürür. Tam olarak ergimemesi durumunda sistemin genleşme katsayısını artırır. Ateşe dayanımları yüksektir. Kuvars, yapının kuruma küçülmesini azaltır, plastikliği düzenlemeye yardımcı olur ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir. Kuruma ve pişme küçülmesini azaltır. Aside dayanımı arttırır.

3.2.2. Feldispat

Yapıyı birkaç metal oksitten oluşan kompleks silikatlar oluşturur. İçerdiği alkalilerden dolayı düşük ergime noktasına sahiptir. Bu malzemeyi kullanmaktaki amaç sinterleşme sıcaklığını azaltıp, porlar arası camsı faz oluşturarak düşük poroziteli ürünler oluşturmaktır. Mermerle karıştırıldığında erime aralığı daha da düşüğünden sır üretiminde kullanılır.

Başlıca feldispat mineralleri aşağıda verilmiştir.

Potasyum feldispat (Ortoklas):	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	T_{erg} 1200-1250 °C
Sodyum feldispat (Albit) :	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	T_{erg} 1150-1225 °C
Kalsiyum feldispat (Anortit) :	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	T_{erg} 1500-1550 °C
Baryum feldispat (Celsian) :	$BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	
Pegmatit	: % 70 kadar SiO_2 içeren Ortoklas	
Aplit	: % 70 kadar SiO_2 içeren Albit	
Nefelin siyenit	: $3Na_2O \cdot K_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$	

Bu mineral nefelin, feldispat, mika gibi mineraller taşır. Feldispattan daha fazla alkali içeriği nedeniyle daha fazla eriticiliği vardır.

3.2.3. Mermer

Mermer, küçük kristalli ve basınç altında sağlamlaşmış kalsiyum karbonattır ($CaCO_3$). Seramikte kullanılacak mermerde demir ve renk verici yabancı maddelerin bulunmaması gerekir. Mermer saf feldispatla ısıtılacak olursa feldispattın 1280 °C olan erime noktasını düşürerek daha kolay eriyen bir cam meydana getirir. Bu özelliğinden dolayı sır üretiminde kullanılır. Çamur ile sır arasında ara tabakanın daha iyi oluşumunu sağlar. Duvar karosunda mukavemeti artırmak için kullanılır.

3.2.4. Vollastonit

Bileşimi CaOSiO_2 dir. Seramik çamur ve sırlarında kullanılan vollastonit çamurda eritici özellik göstererek çamurun pişme sıcaklığını düşürür. Pişirme sırasında gaz çıkartmadığından tek pişirim çamurlarında düşük sıcaklıklarda kullanılır.

3.2.5. Manyezit

MgCO_3 bileşiminde olan magnezit seramik çamurlarında kalsiyum karbonatın yaptığı etkiyi yapar. Bünyenin pişme sırasında sinterleşmesini ve sağlamlaşmasını sağlar.

3.2.6. Dolomit

Bileşimi $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ tür. Dış görünüşü ile kireç taşından ayrılamayan bir kayadır. CaO/MgO oranı genelde 1,7'den küçüktür. Yapıda CaO içeriğinin artması durumunda karbonatlı dolomit ve dolomitli kireç taşlarına geçilir.

3.2.7. Talk

Magnezyum hidro silikat olup $3\text{MgO}_4.\text{SiO}_2.\text{H}_2\text{O}$ fomülündedir. Su miktarı kaolenden daha az olduğundan çekmesi de kaolenden daha azdır. Bu nedenle çekmesi az fayans bünyesi üretiminde kullanılır [12].

3.3. Yer Karosu ve Üretim Aşamaları

Yer karosu bünyelerinde genelde kil, kuvars ve feldispat kullanılır. Kilin görevi, yaş gövdeye mukavemet sağlamak ve özellikle de sırlama esnasında bünyeye su tutma kabiliyeti vermektir. Feldispat camsı fazı oluşturarak sistemde mevcut poroziteleri doldurur ve sinterleşmeyi sağlar. Kuvars, yapının kuruma küçülmesini azaltır plastikliği düzenlemeye yardımcı olur ve pişme sırasında

deformasyon olmadan gaz çıkışına izin verir. İskelet yapıcı dolgu maddesi olarak da ilâve edilir.

İç mekânlarda kullanılan yer karosunun su emme özelliği % 3-% 6 arasında olabilir. İç mekânlarda kullanılan yer karolarında, hava sıcaklığının eksi değerler altına düşmesi gibi problemlerle karşılaşılmaz.

Dış mekânlarda kullanılan yer karosunda dış ortamdaki hava sıcaklığına bağlı olarak, su emmesinin % 3'ten düşük olması gerekmektedir. Çünkü su emme özelliği % 3'ten büyük olursa dış mekanlarda kullanılan yer karolarında kırılma ve çatlama meydana gelir. Kışın çok sert geçtiği bölgelerde su emmesi % 1,5'ten az olan karolar kullanılır [13].

Yer karosu seramik üretimi genel olarak çamur hazırlama, öğütme, püskürtmeli kurutucu ile granül eldesi, şekillendirme, sırlama ve pişirim kademelerini içermektedir.

Öğütme, katı hammaddelerin ön kırılması ile başlayıp, püskürtmeli kurutucularda granül haline getirilmesine kadar olan aşamaları içerir. Öğütmede amaç sadece kaba parçaların boyutunun küçültülmesi değil, kullanılacak üretim şekline uygun tane boyut dağılımına da ulaşmaktır.

Genel olarak katı maddelerin boyutlarının küçültülmesi için pek çok yol olabilir. Ancak küresel şekilli olmaları homojen bir masse oluşumunu sağlayıp sonuç olarak kimyasal reaksiyonların daha kısa sürede tamamlanmasına yol açar.

Değirmene şarj işlemi 13,5 ton kuru malzeme üzerinden olup, malzemelerin nem değerleri belirlenerek şarj miktarları hesaplanır. Su ve elektrolit ilâvesi yapılarak değirmenin kapağı kapatılarak öğütme işlemine geçilir [12].

Öğütmede bilyeli değirmen işlem parametreleri önemli bir durumdur. Değirmen boyutu ve dönme hız parametresi incelendiğinde; iyi bir öğütme, öğütücülerin yukarı çıkıp, serbest bir şekilde düşme hareketi yapabilme yeteneği ile ilişkilidir. Dönme hızı aşırı olmamalıdır. Genelde dönme hızı, kritik hızın 0,6-0,7 katıdır.

$$DH = (0,6-0,7)V_c \quad (2-1)$$

DH: Dönme hızı

V_c : Değirmen içinde sadece öğütücü varken santrifüjün olduğu hız.

$$V_c = 52,4 / r^{1/2} \quad (2-2)$$

Değirmen içinde dönen bilyelerin yüzeylerine, tanelerin çarpması ve bilye yüzeyi üzerinde tanelerin kayması sonucunda öğütme gerçekleşir.

Hızın ayarlanamaması, öğütme için verilen enerjinin ısı enerjisine dönüşmesine neden olabilir. Isının yükselmesi, ortamda bulunan çözünebilir tuzların istenilenden daha fazla miktarda çözünmesinin yanı sıra yuzdürücülerin bozunma hızlarını arttırabilir. Bu da nihai üründe hatalara neden olur.

İyi bir öğütme için bilye ve öğütülecek toz arasındaki boyut oranı:
Bilye boyutu / Toz boyutu > 25 şeklinde olmalıdır.

Bilyeler, Al₂O₃, WC, çelik, flint taşı, porselendir. Sertlik değerleri ise H_{Al₂O₃} > H_{WC} > H_{çelik} > H_{porcelen} > H_{flint taşı} şeklindedir.

Bilyelerin yoğunluğu yaratacağı çarpma gücüyle ilişkilidir. Yoğunluğun yüksek olması çarpma gücünün yüksek olmasıdır ki bu da öğütme hızının yüksek olmasını sağlar.

Değirmen duvar konstrüksiyonu kauçuk, plastik türü organik malzemelerden ya da Al_2O_3 , çelik, sileks gibi inorganik maddelerden olur. En iyisi, duvar kaplaması ve bilyenin öğütülecek malzeme ile benzer özellik göstermesi, bundan dolayı meydana gelebilecek kirlenmenin minimum düzeyde olmasıdır.

Organik kirlenme, sinterleme esnasında yanma ile giderilebilir. Demir kirlenmesi ise toz HCl ile demirin $FeCl_2$ reaksiyonu sonucu çözeltiliye geçmesi sağlanabilir. Ancak bu olay, ekstra proses maliyetinin artmasını gündeme getirir.

Şekil olarak silindirik ya da küresel bilyeler mevcuttur. Silindir bilyelerin öğütme kabiliyetleri küresel olanlara göre daha yüksektir. Çünkü bunların yakaladığı toz miktarı diğerine oranla daha fazladır. Eğer optimumdan fazla malzeme yüklenmiş ise en büyük boyutun kırılma eğilimi azalır. Dolayısıyla çok geniş tane boyut dağılımı elde edilir ki bu da istenmeyen bir olaydır.

Yaş öğütme yapılırken çamur defloküle edilir. Şarj edilen ya da öğütülmüş malzemelerde incelmeye sağlandıkça aglomerasyon da engellenir.

Yaş öğütme yaparken viskozite önemli bir faktördür. Viskozite, değerinden yüksek ise öğütme miktarı azalır. Bu durumda öğütme gerilmesi yani çarpma, yüksek viskozite nedeniyle azalır. Eğer viskozite düşük ise, değirmen duvarlarından ve bilyelerden gelen kirlilik artar.

Viskozite partiküllerin hareketliliğini azaltmak, partiküllerin bilye üzerine homojen bir şekilde kaplanmasını sağlamak ve partikülleri çarpma bölgesinde tutmak için yeterli yükseklikte olmalıdır.

Kırılan tane miktarı	Bilye çarpmaları	Kırılan tane miktarı	Bilyenin taneye çarpma miktarı
Zaman	Birim zaman	Bilyenin taneye çarpma miktarı	Bilye çarpmaları
	1	2	3

- Bilyelerin çarpma frekansı, boyutlarının küçülmesiyle artar. Ancak sahip oldukları kinetik enerji azalır. Daha öncede belirtildiği üzere ***Bilye Boyutu/Toz Boyutu > 25*** olmalıdır.
- Kırılan tane miktarı, partikül boyutunun azalması ve partikül içindeki çatlakların daha küçük olması nedeniyle, zamanla öğütmeyi azaltır.
- Bilyelerin birbirleriyle çarpışmaları esnasında, bunların aralarında parçaların sıkışıp kırılması, parçalar silindir şekilli ise daha fazladır.

Özet olarak; değirmen içinde dönen bilyelerin yüzeylerine, tanelerin çarpması ve bilye yüzeyi üzerinde tanelerin kayması sonucunda öğütme gerçekleşir. Partiküllerin kırılarak öğütülmesi, partikül-bilye çarpışmalarının frekansı, enerjileri ve partiküllerin kırılmaya karşı dirençleri ile kontrol edilir [15].

Püskürtmeli kurutucu (Spray Dryer) ile granül eldesi, katı toz içeren bir solüsyonunun ılık bir ortam içine püskürtülmesi ve küresel granüllerin oluşturulması prensibidir. Damlacıkların yüksek yüzey alanından dolayı kurutma verimi yüksektir. Optimum şekilde kontrol edildiğinde 20 µ üzerinde relatif olarak yüksek yoğunluğa sahip, preslenebilirliği yüksek granüller elde edilir.

Bileşenleri psedoplastik defloküle edilmiş solüsyonlar şeklinde hazırlanır. Yüksek kayma oranlarında dilatent davranış olup olmadığını kontrol etmek için viskozite ölçümü yapılmalıdır. İstenen dilatent davranış göstermeyen bir solüsyondur (çamur, yüksek kayma oranlarında dilatent davranış gösteriyorsa sistemde tıkanma gözlenir).

Solüsyon, yüksek oranda katı içermeli bununla birlikte hava kabarcığı içermemelidir. Aksi halde bu hava kabarcıkları solüsyonun ve granülün yoğunluğunu düşürür.

İlk birkaç mili saniyede buharlaşma olmalıdır ki; granüllerin aglomerasyonu ve duvarlara yapışmaları önlenebilsin.

Değirmen duvar konstrüksiyonu kauçuk, plastik türü organik malzemelerden ya da Al_2O_3 , çelik, sileks gibi inorganik maddelerden olur. En iyisi, duvar kaplaması ve bilyenin öğütülecek malzeme ile benzer özellik göstermesi, bundan dolayı meydana gelebilecek kirlenmenin minimum düzeyde olmasıdır.

Organik kirlenme, sinterleme esnasında yanma ile giderilebilir. Demir kirlenmesi ise toz HCl ile demirin $FeCl_2$ reaksiyonu sonucu çözeltiliye geçmesi sağlanabilir. Ancak bu olay, ekstra proses maliyetinin artmasını gündeme getirir.

Şekil olarak silindirik ya da küresel bilyeler mevcuttur. Silindir bilyelerin öğütme kabiliyetleri küresel olanlara göre daha yüksektir. Çünkü bunların yakaladığı toz miktarı diğerine oranla daha fazladır. Eğer optimumdan fazla malzeme yüklenmiş ise en büyük boyutun kırılma eğilimi azalır. Dolayısıyla çok geniş tane boyut dağılımı elde edilir ki bu da istenmeyen bir olaydır.

Yaş öğütme yapılırken çamur defloküle edilir. Şarj edilen ya da öğütülmüş malzemelerde incelleme sağlandıkça aglomerasyon da engellenir.

Yaş öğütme yaparken viskozite önemli bir faktördür. Viskozite, değerinden yüksek ise öğütme miktarı azalır. Bu durumda öğütme gerilmesi yani çarpma, yüksek viskozite nedeniyle azalır. Eğer viskozite düşük ise, değirmen duvarlarından ve bilyelerden gelen kirlilik artar.

Viskozite partiküllerin hareketliliğini azaltmak, partiküllerin bilye üzerine homojen bir şekilde kaplanmasını sağlamak ve partikülleri çarpma bölgesinde tutmak için yeterli yükseklikte olmalıdır.

Kırılan tane miktarı	Bilye çarpmaları	Kırılan tane miktarı	Bilyenin taneye çarpma miktarı
Zaman	Birim zaman	Bilyenin taneye çarpma miktarı	Bilye çarpmaları
	1	2	3

Filtre edilen sıcak hava 300-600 °C'ye çıkarılarak ısıtılır. Hava sıcaklığı, kurutucu dizaynına, damlacıkların kalış sürelerine ve ürünün ısı limitine bağlıdır.

Damlacık başta sıcaklık artışıyla buharlaşmaya başlar ve üstte bir kabuk oluşur. Yüzey sıvı ile doymuş olduğu sürece kuruma oranı yüksektir. Buharlaşma damlacığın ısı artışı önler. Hızlı ısıtma damlacık içindeki sıvının hızlı bir şekilde ısıtılmasına sebep olabilir. Bu da buhar kabarcığı oluşturur. Kabarcık kabuktan çıktığı an aglomere üzerinde kraterler oluşur.

Buharlaşma yüzey altına çekildiği zaman (kabuk oluşuyor) buharlaşma oranı azalır ve aglomereler daha az plastik olur. Granüller, kurutucuyu terk eden sıcak nemli hava ile dengelenir ve granüllerin çıkış sırasındaki gaz sıcaklığı istenilen nem oranına göre kontrol edilebilir [15].

Belirtildiği üzere bu sistemin kullanım amacı, % 65'i kuru % 35'i sulu olan ana yapıdan sıcaklık yardımıyla çamurun su miktarını % 5-6 değerine düşürüp belli tane boyutunda toz elde etmektir.

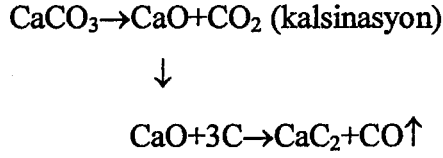
Stok havuzlarında bulunan çamur, pistonlu pompa ile püskürtmeli kurutucuya gönderilir. İletim işlemi basınçlı hava (25 bar gibi) ile yapılır.

Püskürtmeli kurutucuda kurutma işlemi, iç kısmı yüksek alümina tuğla ile kaplı cehennemlik adı verilen fırın yardımıyla yapılır. İşlem, doğal gaz ve hava karışımının yaklaşık 450-500 °C arasında ısıtılarak fan yardımıyla kurutucunun üst kısmından aşağıya doğru iletilmesiyle gerçekleştirilir. Sıcak hava ile pülverize edilen çamur, birbirleriyle ters yönde etkileştirilerek granül eldesi tamamlanmış olur. Elde edilen granüller, serbest düşme hareketiyle püskürtmeli kurutucu altındaki eleklerle düşer (granüllerin kurutucudan çıkış sıcaklığı 50-55 °C arasındadır). Elekten geçen granüller ise taşıyıcı bant ve elevatör vasıtasıyla şekillendirilmek üzere pres silolarına iletilir. Elek üzerinde kalan granüller ile püskürtmeli kurutucunun duvarına yapışarak zamanla büyük kütle haline gelen

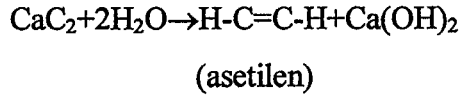
parçalar, ayrı bir havuzda su ile etkileştirilerek bir karıştırıcı yardımıyla çözülüp tekrardan stok havuzlarına gönderilir.

Kurutucu içindeki nemli hava, bir fan vasıtasıyla siklon adındaki sistem içine emilir. Buharlaşan su içindeki büyük parçacıklar, siklon ayırıcından geçirilerek taşıma bantlarına iletilir. Siklondan ayrılamayan çok ince toz partikülleri ise su püskürtmeli yıkama kulesinden geçirilerek çamur halde sistemden uzaklaştırılır.

Elde edilen granülde yapılan kontroller, nem tayini ve tane boyut dağılım kontrolüdür. Nem ölçüm işlemi *karpit* adı verilen bir malzeme ile yapılır. Karpit;



reaksiyonu ile elde edilir. Rutubet ölçümünde ise karpitin;



reaksiyonundan yararlanır. Reaksiyon sonucu ortaya çıkan asetilen gazı basınç oluşturur. Bu basınç değeri masse nemini ifade eder.

Yer karosu masse nem oranları her işletmeye göre farklı olmakla beraber genel olarak % 5,5-% 6,5 arasında değişir. Nem oranı istenilen değer üzerinde ise sıcaklık bir miktar arttırılarak, altında ise sıcaklık bir miktar düşürülerek istenilen değerlerin eldesi sağlanır.

Masse tane boyutlarının belli değerlerde olması istenir. Tane boyutu; viskozite, litre ağırlığı, pompa basıncı ve düze çapı ile değişir [12].

Şekillendirme, tozların rijit ya da esnek bir kalıp içerisinde sıkıştırılması şeklindedir. Genelde büyük üretim kapasitesi olan, ince detaylı, kaliteli küçük ürünlerin eldesinde kullanılır.

Preslenecek tozlar;

- Serbest bir şekilde akabilmeli,
- Yüksek kitlesel yoğunluğa sahip olmalı,
- Deforme olabilen granüllerden oluşmalı,
- Minimum kalıp aşınmasına sebep olmalı,
- Matrise yapışmamalıdır.

Bununla birlikte preslenmiş ürün; kalıptan çıkarma ve takibindeki işlemlere dayanıklı olmalı, kullanılacak bağlayıcı miktarı hem maliyet hem de ısıtma esnasında çıkan gazların minimum olması açısından düşük tutulmalıdır [15].

Kuru pres proses değişken aşamaları;

- Toz akışı ve kalıbın doldurulması
- Sıkıştırma ve şekillendirme
- Parçanın çıkarılması (ejeksiyon)

şeklinde olup dikkat edilmesi gereken bir durumdur [16].

Toz akışı ve kalıbın doldurulması aşamasında; tekrarlanabilir volumetrik doldurma işlemi, homojen yoğunlukta doldurma ve hızlı presleme oranları için iyi bir toz akışının olması zorunludur. Küresel partiküller ve granüller, iyi akış özelliğine sahip olduğundan kuru preslemede tercih sebebidir. Sistemde % 5'ten fazla ince tozun mevcudiyeti akışı tamamen durdurabilir. Bununla birlikte bu ince taneler, kalıp ile matris arasına girerek sürtünmeye sebep olur. Bu da kalıp aşınmasını gündeme getirir. Çok büyük granüller, genelde düzensiz şekillidir ve

köprüler oluşturarak akışı bloke edebilir. Bu da homojen olmayan dolgu yoğunluğuna sebep olur. Basınç uygulamadan önceki yoğunluk yüksekse, presleme problemleri minimumdur. Yüksek dolgu yoğunluğu, hem kalıptaki tozların içinde kalmış havanın yoğunluk miktarını hem de matrisin seygar mesafesini azaltır. Yüksek yoğunluğa sahip, kalıba akış ile verimli bir şekilde dolabilen granüller, yüksek dolgu yoğunluğuna sahiptir. Eğer partikül özellikleri, akış davranışını engelliyorsa bu durumda dolgu yoğunluğunda heterojenlikler olur. Dolgu yoğunluğu, granül yoğunluğu ve paketleme davranışı ile ilgilidir.

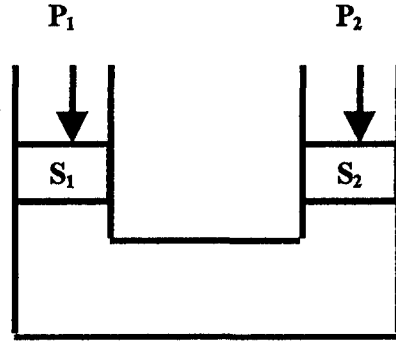
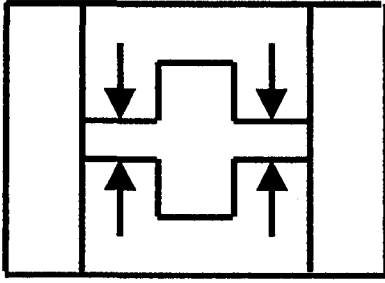
Sıkıştırma aşaması üç ayrı adımda gerçekleştirilir:

- I. adımda; granüllerin kayma ve yeniden düzenlenmesi sonucu, dolgu yoğunluğunun az üzerinde bir yoğunlaşma görülebilir.
- II. adımda; granüller deforme olur ya da kırılır. Bunun sonucunda büyük granüller arası por hacmi azalır.
- III. adımda da; deforme olmuş granüller arasındaki büyük porların yok olduğu anda başlar. Daha yüksek presleme basıncı, granül içindeki partiküllerin daha yoğun paketlenme konfigürasyonuna kaymasına ve yeniden düzenlenmesine sebep olur.

Parçanın kalıptan çıkarılması ve transferi aşamasında; istenilen % 75'ten az olan bir esnemedir. Aşırı esneme ve gerilim farklılıklarından dolayı değişken esneme, ürünün kalıptan çıkarılması esnasında hatalara sebep olabilir [16].

Şekillendirme prosesinde avantajları nedeniyle izostatik kalıplar kullanılmaktadır.

Hidrolik pres, bir silindir ile bu silindir içinde hareket eden ve kapalı bölmedeki sıvı üzerinde kuvvet uygulayan bir pistondan oluşan pres tipidir. Pres basıncı ürün kalitesi için önemlidir. Ayrıca ürünlerdeki son su emme ve boyutlar pres basıncıyla ilişkilidir. Buradan hareketle bu preslerin çalışma prensibini Paskal Kanunu ile açıklamak mümkündür.



Şekil 3.1. Hidrolik preslerin çalışma prensibi

P_1 : Pres basıncı (bar)

S_1 : Presin faydalı alanı (cm^2)

P_2 : Alınan kuvvet (bar)

S_2 : Kuvvet gören alan (cm^2)

$$P_1 \times S_1 = P_2 \times S_2 \text{ (Paskal Prensibi)} \quad (3-1)$$

Örnek: Bir pres için basınç hesaplaması

Ebat : 20 x 20 cm

Pres basıncı: 250 bar

Göz sayısı: 4

Faydalı alan: 1969 cm^2

$$250 \times 1969 = 20 \times 20 \times 4 P_2 \quad \Rightarrow \quad P_2 = 307.65 \text{ bar}$$

Tonaj arttıkça S_1 ve P_1 artar. Basınç arttıkça ürün boyutu artar.

Hidrolik preslerde presleme aşamaları şu şekilde olur:

- Pres silolarından ızgaraları masse ile dolduran sürgü hareket eder.
- Sürgü, kalıbın 2/3'üne geldiğinde alt kalıp I. düşüşünü yapar ve masse, sürgü ızgaralarından kalıp gözlerine dolar.
- Sürgü son noktasına gelir, fazla masseyi sıyrıcı vasıtasıyla sıyrıp homojen bir dolum yapar.
- Kalıplar II. düşüşü yapar.

- Pres harekete geçer. İlk presleme yaklaşık 20 bar ile başlanır.
- Travers hafif yukarı hareket eder. Böylece sıkıştırılmış hacimdeki havanın dışarı atılmasını sağlar.
- Ana preslemeyi II. presleme yapar. Massenin istenen temel özellikleri kazandırılır.
- Travers yukarı kalkarken alt takım beraber hareket edip preslenmiş karoyu yukarı iter [12].

Massenin şekillendirilen ürün üzerinde masse bileşimi, masse nemi ve masse tane boyut dağılımının etkisi vardır.

Masse bileşimi, massenin içerdiği hammadde çeşitlerine bağlıdır. En önemlisi kullanılan özlü ve özsüz malzeme oranıdır.

Nem, taneciklerin birbirine yapışmasını sağlar. Nem miktarları istenilen seviyelerde tutulmakta olup bu değer, % 5,5-6,5 arasında değişir.

Tane boyut dağılımı, granüllerin sıkı paket yapı oluşturarak istenen yoğunluk değerine ulaşılması için önemlidir. İri tanelerden oluşan masseler sıkıştırıldığında taneler arası boşluk çok olur. Dolayısıyla karoda gözenekli yapının artışına sebebiyet verir. Tane boyutu düşük olduğunda sıkıştırma daha sağlıklı olur. Tane boyut dağılımı ortalama 300 μ ve altında olduğunda en iyi sıkışma sağlanır ve

- Pişmiş üründe mukavemet artar,
- Deformasyon en az olur,
- Su emme düşer, boyut artar.

Eğer 300 μ ve üstünde bir dağılım söz konusu ise, taneler arası boşluk oranı artacak ve sinterlenen üründe

- Boyutlar azalır,
- Deformasyon azalır,
- Su emme artar (tam sıkışma sağlanmadığı için poroziteli yapı oluşacaktır).

Uygun tane boyut dağılımı, elek analizi ve litre ağırlığı ile kontrol edilir.

Preslenecek masse üzerinde elek analizi (tane boyut dağılımı) ve nem tayini kontrolleri yapılmaktadır.

Elek analizinde, 100 gramlık granül; 800 μ , 500 μ , 400 μ , 315 μ , 250 μ , 160 μ ve 125 μ 'luk 7 elekten geçirilmek üzere titreşimli bir sistemde belirli bir sürede elenir (125 μ altı ve 800 μ üstü granül ağırlıkları toplanarak ölçüm yapılır). Elek üstü değerleri tartılarak toplam 100 gram üzerinden % hesabı yapılarak tane boyut dağılımı hesaplanır.

Nem tayini, daha önceki açıklamalarda olduğu gibi yapılır (bkz syf 31). Masse nem oranı yüksek ise; massenin kalıplara yapışması artacak, dolayısıyla ürün verimi düşecektir. Masse preslerde basılsa bile kurutucu ya da fırınlarda sıcaklığın artırılması gerekir. Bu da enerji maliyetinin artışı doğurur. Özellikle yer karosu üretiminde tek pişirim uygulandığından sırlama bantlarında ıskarta oranı yükselecektir. Nem oranı az olduğunda ise; taneler birbirlerine yapışmayacağından bisküvi presten sonra dağılacaktır [12].

Kurutma işlemi, seramik teknolojisinde çok önemlidir. Seramik ürünler, pişme sırasında bünyede bulunan serbest suyun çatlamaya neden olmasını engellemek için ilk önce kurutma işleminden geçer.

Kurutmanın iyi bir şekilde yapılabilmesi için kurutucu veriminin doğru olarak hesaplanması gerekir [12].

Kil gövdesi, değişik boyutlarda porlara sahip gözenekli bir katıdır.

Kurutma sırasında

- Yüzey buharlaşması,
- Suyun içerden yüzeye doğru hareketi,
- Gövde içerisinde iç buharlaşma,
- Kondansasyon (yoğuşma) oluşumu meydana gelir.

Yüzey buharlaşması aşamasında; su, normal su yüzeyinden olduğu gibi aynı yolla gözenegin serbest ucundan buharlaşır. Buharlaşma, su buharı tabakası oluştuğunda uzaklaştıran ventilasyon tarafından hızlandırılır.

Suyun iç yüzeye doğru hareketi aşamasında; su yüzeyden buharlaştıkça, gözeneklerdeki su, kılcal etki nedeniyle dış kısımlara doğru hareket eder. Sonuç olarak, su karonun içinden dış yüzeye doğru hareket eder.

Gövde içerisinde buharlaşma aşamasında; su buharlaştıkça, su buharının spesifik hacmi, sıvı suyun spesifik hacminden yaklaşık 1000 kat daha büyük olduğundan, hacmi çok büyük ölçüde artar. Eğer buharlaşma kil gövdesinin içerisinde olursa; gözenekler çok küçük çapa sahip olduklarından ve sıvı geçişi için yüksek bir direnç gösterdiklerinden, buharlar yeterince hızlı bir şekilde kaçamazlar. Dolayısıyla buhar kabarcığı içerisinde basınç meydana gelir. Kısaca kil gövdesinde hala büyük oranlarda su içeriği varken buharlaşma oluşması asla istenmeyen bir durumdur.

Kondansasyon oluşumu aşamasında; aynı zamanda hava içerisinde bulunan su buharının yoğunlaşması da istenmez. Kil üzerinde oluşup biriken su damlaları, su içeriğinde lokal olarak yüksek artışlar yaratırlar. Bunun sonucunda hacimdeki artış eğilimi, yüksek bölgesel baskılar yaratan gövdenin kalan kısmı tarafından engellenir ve bu durum kurumuş ürünün çatlamasına neden olur.

Bu problemten kaçınmak için hava, yeterli derecede yüksek sıcaklıkta veya en kritik noktadaki soğutmanın her zaman doyma değerinden düşük olmasını

garanti edecek kadar yeterince düşük bir su buharı içeriğinde tutulmalıdır. Bu istenmeyen durumun oluşma riskini en az seviyeye indirmek için, sıcaklık ve çıkış havasının görel nemliliği kontrol altında tutulmalıdır [14].

Seramikte pişirme; şekillendirilmiş ve kurutulmuş yarı ürünün, bir program içinde ısıtılması ve oluşan seramiğin yine program içinde soğutulması işlemidir. Pişme sırasında seramik, bazı geçici ve kalıcı değişiklikler gösterir. Geçici değişikliklerin başında hacimsel büyüme gelir. Kalıcı değişiklikleri, dolayısıyla esas pişmiş seramik bünyeyi oluşturan nedenler çoktur. Bunların en önemlileri, kristal değişikliği, cam fazı oluşumu, yer değişimi reaksiyonlarıdır. Bu olayların sonucunda seramik bünyenin pekişmesi gerçekleşir.

Ürün türüne göre bazı değişiklikler gösterse de seramik ürünlerin pişirimindeki farklı aşamalarda meydana gelen ana değişimleri şu şekilde belirtilebilir:

- 100 °C civarında kalan serbest nem sistemden uzaklaştırılır. Bu nem, kurutma esnasında tam olarak atılamayan, sırlama kademesinde emilen veya havadan emilen nem olabilir.
- 200 °C civarında kristal ağ içine absorbe olmuş zeolitik suyun atılması işlemi olur.
- 350-650 °C arasında organik atıkların yanması gerçekleşir. Bilindiği gibi bu organik atıkların kaynağı massedeki killerdir. Bu aralıkta ayrıca sülfat ve sülfatların bozunarak sülfirik asite dönüşümü gerçekleşir. 500 °C'de kaolinit suyunu kaybederek meta-kaolinite dönüşür. Ayrıca bu aralıkta 573 °C'de kuvars α formundan β formuna dönüşerek bir hacimsel genişleme meydana gelir. Masse henüz sertleşmediği için herhangi bir tahribata neden olmayan bu dönüşüm soğutma esnasında da aynı sıcaklıkta ters dönüşüm olarak tekrar ortaya çıkar ve bu anda masse gerekli sertliğe ulaştığı için hızlı sıcaklık geçişi yapılırsa üründe şok çatlama meydana gelir.
- 600-700 °C civarında klorit bozunmaya başlar.

- 800-950 °C arasında mermer, dolomit gibi karbonatların CO₂ çıkışıyla dekarbonizasyon olayı gerçekleşir.
- Ayrıca 700 °C'den başlayarak silikatlar ve karmaşık alümina silikatları içeren yeni kristal fazlar meydana gelir. Alümina ve silika arasındaki bu reaksiyonlar ergitici elementlerin de mevcutiyetiyle seramik bünyenin sertleşmesini ortaya çıkarır. Bu durum kalker ve kalkerli killeri içeren masselerde şöyledir:
- Klorit 600 °C'de ısıl bozunmaya başlar ve CaMg(CO₃)₂'nin 700 °C'de bozunması ve 800 °C üzerinde de CaCO₃'ün bozunmasıyla son bulur.
- Mika benzeri minerallerin kristal yapıları 800 °C'de bozunmaya başlar. 1000-1100 °C arasında ise son bulur. Kuvars 950 °C'de çözülmeye başlar. Çözünme olayı sıcaklık arttıkça artar. Ancak tamamen 1100 °C'nin üzerinde ergir.
- Feldspatlar 1100 °C'den sonra düzenli olarak çözülmeye başlar.
- 1100 °C civarında spinel oluşumu başlar. Spinel oluşumu sıcaklık artışıyla artar.
- 1100-1150 °C aralığında müllit oluşur, sıcaklık tenörü artar ve kristalleşme başlar.
- Pişme başladıktan sonra 900 °C civarında bir miktar cam fazı da oluşmaya başlar. Hammaddelerin minerolojik yapısına bağlı olarak sıcaklık arttıkça düşük miktarlarda yeni formasyonlar şeklinde (1000 °C civarında) ortaya çıkar. Buna bağlı olarak kuvarsın tamamen çözünmesiyle pişmiş massenin bir ana parçası olan amorf cam fazı meydana gelir.

Bu olayların gerçekleşmesiyle, malzemedeki camlaşma poroziteyi düşürür ve bir miktar küçülmeye sebep olur.

- DTA ile tespit edilen tek serbest ürün 600-800 °C arası CaO, 600-900 °C arası MgO'tir.
- 700 °C üzerinde 3CaOxAl₂O₃ formasyonu muhtelif form olarak dikkati çeker.
- 800 °C civarında CaFe₂O₄ kristalizasyonu meydana gelir. Bu oluşum kısmen kloritin bozunması sonucu, kısmen de minör bileşiklerden (sülfit, hidrat, vb.) kaynaklanır.

- 800 °C civarında kloritten gelen Al_2O_3 , mika benzeri bileşiklerden ve bu sıcaklıkta çözülmeye başlayan SiO_2 'den gehlenit yapı ($2CaO.Al_2O_3.SiO_2$) görülmeye başlar. Bu kristal su 900 °C civarında maksimum gelişim gösterir.
- 900 °C altında gehlenit yapı az iken Ca-plajiolklas ve diopsit formu vardır.
- Kayda değer miktarda cam fazı 1050 °C'den sonra ortaya çıkar. 1200 °C'de malzeme tamamen erimiştir ve hızlı soğutma uygulandığında anortit artıkları tespit edilir. Yavaş soğutma sonunda ise yüksek miktarda Ca-plajiolklas ve az miktarda diopsit bulunur.

Piştirme işlemi seramik fırınlarda yapılır. Çok çeşitli fırın türleri olmasına karşın, piştirmedeki ortak yönler her fırın için geçerlidir. Piştirmedeki ortak yönleri şu aşamalar içerir:

- fırının doldurulması,
- ön ısıtma,
- piştirme ısıtması,
- soğutma,
- fırının boşaltılması.

Kurutma bölgesi; fırının ilk bölümü giriş kısmıdır (Pre-kiln). Bu kısım daha düşük sıcaklıkta olduğundan izole malzeme ve seramik fiberden oluşur. Bu bölümün sıcaklığı 200-400 °C arasındadır. Brülör yoktur ve bu sıcaklık, rollerların alt ve üstüne yerleştirilen kanallardan, piştirme ve ön ısıtma bölgesindeki yanma gazlarının baca vasıtasıyla atılması için bir fan tarafından emilmesiyle sağlanır. Bu bölümün amacı malzemenin piştirme öncesi tamamen kurutulmasıdır. Bu nem sırlamadan veya stoklama safhasından kaynaklanabilir. Nem bu kısımda atılmaz ise ileride daha yüksek sıcaklıklarda çatlama ve patlamalara neden olur.

Ön ısıtma bölgesinde; daha yüksek sıcaklıklar söz konusu olduğu için konstrüksiyonda izole refrakterler ve seramik fiber kullanılır. Giriş kısmında belirtilen sıcaklıkta başlayan bu bölüm yaklaşık 900 °C'ye kadar devam eder. Seramik ürünün tipik problemlerinden büyük kısmı bu bölümde halledilir. Şöyle

ki; bünye suyunun atılması, kuvarsın dönüşümü, organik bileşiklerin yakılması ve karbonatların bozunması. Bu bölümde gazların atılması amacıyla bazı önlemler alınmıştır. Rollerların altına brülörler yerleştirilmiştir.

Pişirme bölgesinde; en yüksek sıcaklığa erişileceğinden refrakter malzemeler ve seramik fiber birlikte uygulanmıştır. Sıcaklık ön ısıtmanın bittiği 900 °C'de başlayıp uygulanan maksimum sıcaklığa ulaşıncaya kadar sürer. Brülörler ruloların hem altında hem üstünde az sayılı bataryalar şeklinde yerleştirilmiştir. Bunun amacı istenen pişirme eğrisinin süratle uygulanmasını sağlamaktır. Pişirme bölgesinde şu ana sorunların çözümü gerçekleşir: Deformasyon, gönyeden sapma boyut tutarsızlıkları ve sır tonunun tutturulması.

Ani soğutma bölgesinin yapısı biraz daha ince olarak pişirme bölgesinin aynısıdır. Burada pişme sıcaklığından 600 °C civarına düşülür. Genellikle 4 m olan bu bölgede fırın içine uygun sıcaklıktaki hava direkt üflenir. Bu işlem ruloların hem altına hem üstüne yapılabilir.

Kritik soğutma bölgesi; bir önceki bölümle aynı malzemelerden oluşur. Sıcaklık değerleri burada 650-600 °C'den 500-450 °C'ye düşürülür. Bu aralıkta kuvarsın dönüşümü söz konusu olduğu için işlem yavaş yapılır.

Son soğutma bölgesi; daha hafif izole malzeme ve seramik fiberden yapılmıştır. Sıcaklık 500 °C civarından çıkış sıcaklığına kadar düşürülür. Bu bölümdeki soğutmada direkt soğutma sistemine bağlı olarak yapılır [12].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deneyin Amacı

Bu çalışmada yer karosu masse üretiminin her işletmeye göre değişim gösterdiği çamur kompozisyonlarında, ergitici amaçlı kullanılan feldispata alternatif olarak pomza hammaddesinin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

4.2. Kullanılan Malzemeler

Yer karosu çamur kompozisyonlarının hazırlanması için 5 farklı kil, albit, pegmatit, yer karosu atığı ve 2 farklı bölgeden temin edilen pomza hammaddeleri kullanılmıştır (Çizelge 4.1).

4.3. Kullanılan Cihazlar

Deneyisel çalışmada Ekato marka kil açıcı, Anamak marka çeneli kırıcı, 300 °C'ye çıkabilen Elektromag marka etüv, 10 devir/sn hızlı Fritsch marka kuru öğütücü, 99,6x199,45 kalıp boyutuna sahip Gabrielli marka laboratuvar tipi pres, Gabrielli CRAB 424 marka mukavemet ölçüm cihazı, 200 µm'luk titreşimli elek, Sacmi ve Heimsoth marka hızlı pişirim fırınları, Linseis L70/1178 marka ısı genleşme ölçüm cihazı, XRD paterni (XRD), ısı mikroskobu, kimyasal analiz ölçüm cihazı, arşimet terazisi kullanılmıştır.

4.4. Numunelerin Hazırlanma Yöntemi

Başlangıç hammaddeleri % 0 nem içeriğine ulaşmaya kadar etüvde kurutulduktan sonra bu hammaddelerin yer karosu bünyesinde uyumluluğunu araştırmak, fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla killer 3 saat süreyle kil açıcıda, pegmatit ise 63 µm % elek bakiyesi en çok 7 olacak şekilde değirmende öğütüldükten sonra kurutulup şekillendirilerek 1185 °C'de pişirilmiştir.

Reçetelerde kullanılan hammaddeler % 0 nem içeriğinde olmak koşulu ile 6 kg'lık yığın kompozisyonu, % 65 katı konsantrasyonu içerecek şekilde 10 kg kapasiteli değirmene şarj edilmiştir. Öğütme işlemi çamurun 63 µm'luk elek üstü % 4-6,5 değeri elde edilinceye kadar sürdürülmüştür. Elek bakiyesi istenen değere ulaştığında çamur 200 µm'luk titreşimli elekten geçirilip tepsiler içinde 300 °C kapasiteli etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonunda elde edilen kekler, çeneli kırıcıda kırılıp 2,5 mm'lik elekten geçirilmek suretiyle % 5,5-7,5 nem içerecek şekilde rutubetlendirilerek granül eldesi sağlanmıştır. Elde edilen granül masseden 99,6x199,45 kalıp boyutlarına sahip laboratuvar tipi preste 160 kg/cm² basınçta herbir reçete için 12'şer adet karo basılmıştır. Bunlardan 2'şer adeti ham mukavemet testinde kullanıldıktan sonra 10 adeti kurutmaya alınmıştır. Kurutma işlemi sonucu 2 adet karo kuru mukavemet testi için kullanıldıktan sonra 4 adet karo 1178 °C'de, 4 adet karo da 1157 °C'de 35 dakika sürede pişirilmiştir. Pişirme işlemi sonunda elde edilen nihai ürünlerde kimyasal ve fiziksel özelliklerin tespiti için bazı testler uygulanmıştır.

4.5. Kuru ve Pişme Küçülmesi

Değirmenden boşaltılıp kurutulan çamur, 2,5 mm lik elekten geçecek şekilde elle öğütüldükten sonra nemlendirilerek granül halde preslenmiştir. Şekillendirilen numuneler bir kumpas yardımıyla ilk boyutu (plastik uzunluk), 120 °C'deki etüvde 24 saat süre sonunda kuru boyut, çeşitli sıcaklıklarda pişirilerek pişmiş boyutlar ölçülerek % pres genleşmesi, % kuru küçülme ve % pişme küçülmesi aşağıdaki denklikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pres Genleşmesi} = [(L_2 - L_1)/L_1] \times 100 \quad (4-1)$$

$$\% \text{ Kuru Küçülme} = [(L_2 - L_3)/L_2] \times 100 \quad (4-2)$$

$$\% \text{ Pişme Küçülme} = [(L_3 - L_4)/L_3] \times 100 \quad (4-3)$$

$$\% \text{ Toplam Küçülme} = [(L_3 - L_4)/L_3] \times 100 \quad (4-4)$$

L₁: Kalıp uzunluğu

L₂: Plastik uzunluk

L₃: Kuru uzunluk

L₄: Pişmiş uzunluk

Killerin kurutulduklarında küçülme göstermesinin nedeni; şekillendirme suyunun uzaklaşmasıdır. Kil tanecikleri arasında kalan su kilden uzaklaştıkça, tanecikler birbirine yaklaşır ve küçülme ortaya çıkar [17,18].

Kurutulan bir masse şekillendirme suyunu tamamen verinceye kadar küçülür. Bu kuru küçülmeyi izleyen aşamada kil pişirilme işlemi esnasında da küçülme devam eder. Bunun nedeni ise; yapısındaki organik maddelerin yanması, gazların uzaklaşması, kristal suyunun yapıdan ayrılması ve kompleks kristal ve faz değişimleridir. Bir başka deyişle malzemedeki ergitici feldispat hammaddeleri ve mevcut safsızlıkların ergiyerek diğer yüksek sıcaklıkta ergiyen tanecikleri kuşatarak yoğun bir yapı halini alması, yani sinterleşmeden dolayı seramik malzemenin küçülme göstermesidir [17,18].

4.6. Su Emme Deneyi

Su emme değeri, pişen ürünün açık gözeneklerine alabildiği su olarak tanımlanabilir. Ortamda nem olmayacak şekilde soğutulan pişmiş ürünün değişmez ağırlıkta tartımı yapılır. Daha sonra bunlar içi su dolu bir kaba alınarak birbirine değmeyecek şekilde 4 saat kaynatılıp 24 saat su içinde kaldıktan sonra kap içerisinden alınır. Suyun içinden çıkarılan numuneler, üzerlerindeki parlaklık tam olarak giderilmeden kurulanır ve yaş tartımı yapılır. Yaş tartım ile kuru tartım arasındaki fark numunenin emdiği su miktarını verir. Su emme % olarak hesaplanmak istendiğinde aşağıdaki denklik kullanılır.

$$\% \text{ Su Emme} = [(W_s - W_k) / W_k] \times 100 \quad (4-5)$$

W_k: Kuru ağırlık

W_s: Su emmiş ağırlık

Su emmeyi etkileyen faktörler; başlangıç hammaddelerin özellikleri, granül % nem oranı ve granül tane boyut dağılımı, presleme basıncı, pişirme sıcaklığı olarak sıralanabilir [18,19].

Belli bir sıcaklık aralığında fırın sıcaklığı artarken su emme yavaş yavaş düşmekte, pişme küçülmesi ve pişme mukavemeti artmaktadır [17,20]. Bunun nedeni; feldispatın eriyerek cam faz oluşturması, erimiş cam fazın içerisinde meta kaolinin müllite dönüşmesidir. Bir miktar kuvars feldispat camı içerisinde erir. Bu sebeple cam fazın akıcılığı azalır. İğne şeklindeki müllit kristalleri, bünyeye sağlamlık kazandırır [21]. Pişme küçülmesinde gözlenecek bir düşme, bünyedeki kapalı gözeneklerin şişerek hava kabarcığı oluşturmasına yol açmaktadır. Küçülmenin geriye dönüşünden kısa bir süre sonra su emme artar [17,20]. Aynı zamanda pişirme sıcaklığının uygun sinterleme sıcaklığının üzerine çıkması durumunda pişme mukavemetideğerinde de düşme gözlenir. Bunun nedeni ise; bu sıcaklıkta feldispat camının müllit kristallerini eritmeye başlaması, bünyeye sağlamlık kazandıran kristal yapının azalarak amorf cam faz miktarında artış olmasıdır [21].

4.7. Mukavemet Deneyi

Ham (yaş), kuru ve pişme mukavemetini ölçmek için karo numuneler üzerine 3 nokta eğme testi uygulanır [18].

Eğilme dayanımı kontrolü için alınan numune, mukavemet cihazı mesnetleri arasına yerleştirilir. Numune üzerine sabit hızla kuvvet uygulanarak kırma işlemi tamamlanır. Kırılma anında cihaz üzerinde okunan değer kırılma yüküdür (P). Numunenin kırılma bölgesindeki uzunluğu (b), kumpas yardımıyla, kalınlığı (d) ise komparatör yardımıyla ölçülür. Elde edilen değerler

$$\sigma = 1,5x[(PxL)/(bxd^2)] \quad (4-6)$$

denkliğinde yerlerine konularak mukavemet değerleri hesaplanır.

σ : Mukavemet (kg/cm^2)

P: Kırılma yükü (kg)

L: Mesnet aralığı (cm)

b: Kırılma bölgesinin uzunluğu (cm)

d: Kırılma bölgesinde karonun taban ile ayak kalınlıkları arasındaki fark (cm)

4.8. Pomza Denemeleri İçin Standart Yer Karosu Bünye Hazırlama Çalışmaları

Standart yer karosu bünyesi iki tipte hazırlanmıştır. Bunlardan ilki TS-EN 176-B1 şartlarına uygun, su emmesi en çok % 3 ve pişme mukavemeti en az 270 kg/cm^2 olan standart bir bünye, diğeri ise su emmesi % 3'ün üzerinde olan standart bünyedir. Bu bünyeler üzerinden standart reçetelerdeki feldispat yerine iki farklı bölgeden temin edilen Nevşehir pomzası ve Isparta pomzası sisteme ağırlıkça belli oranlarda ilâve edilerek deneme reçeteleri oluşturulmuştur.

Bu bünyelerin hazırlanması için öncelikle başlangıç hammaddelerinin tek başlarına fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de kimyasal analizleri, Çizelge 4.2'de başlangıç hammaddelerin fiziksel özellikleri gösterilmektedir.

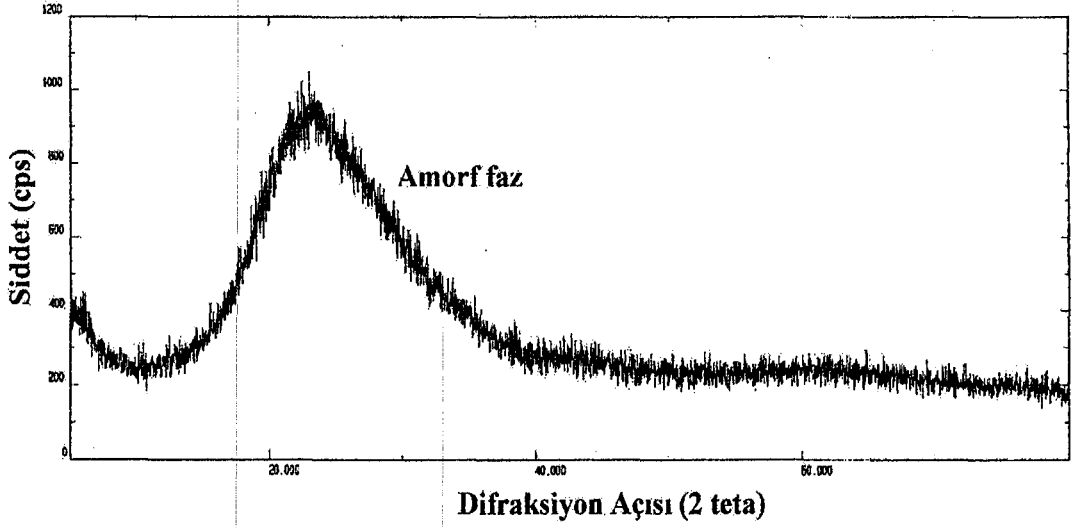
Çizelge 4.1. Başlangıç hammaddelerinin kimyasal analizleri

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ti O ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.K.
Kil-A	58,78	26,64	3,52	1,16	0,17	0,60	0,14	2,31	8,4
Kil-B	64,89	21,61	2,66	1,14	0,12	0,49	0,01	1,85	7,28
Kil-C	55,30	25,70	5,09	1,23	0,29	0,72	0,14	2,77	8,23
Kil-D	62,13	23,06	3,07	1,16	0,21	0,58	0,06	1,88	7,84
Kil-E	66,22	20,78	2,25	1,22	0,09	0,47	0,19	2,02	6,43
Albit	67,8	19,29	0,26	0,13	0,80	0,15	10,01	0,55	0,75
Pegmatit	66,27	19,9	2,18	0,79	0,33	0,39	1,32	2,24	6,18
Karo Atığı	65,40	22,67	2,56	0,84	1,30	0,75	3,07	3,02	0,40
Nevşehir Pomzası	72,21	12,94	1,09	0,07	0,79	0,10	3,63	4,42	4,47
Isparta Pomzası	57,35	17,50	4,65	0,59	5,03	1,70	5,41	5,65	2,49

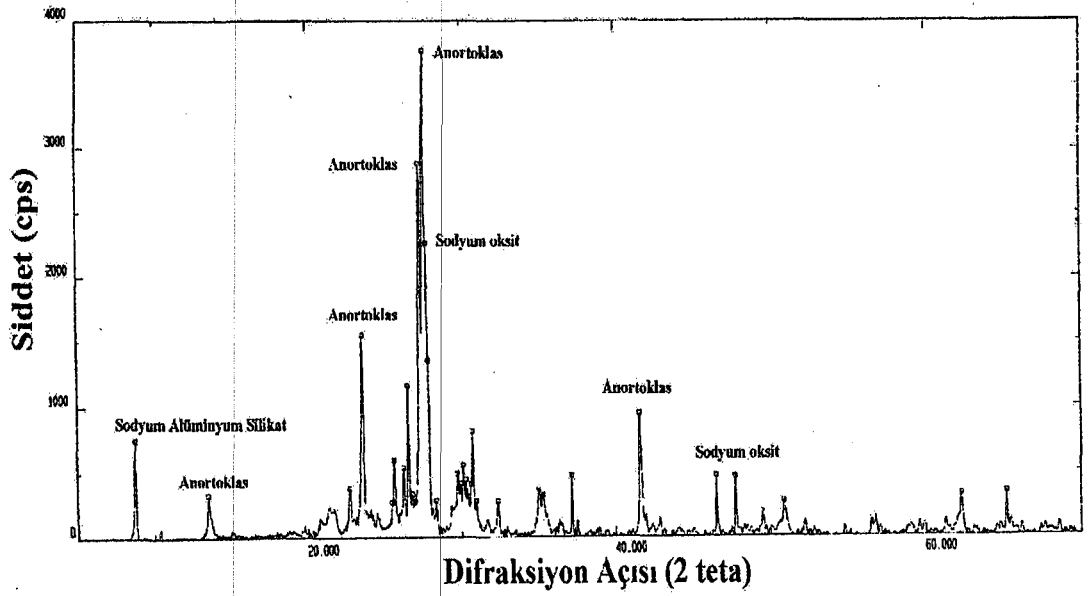
Çizelge 4.2. Başlangıç hammaddelerinin fiziksel özellikleri

KOD	E.B. (%)	Nem (%)	Ham Muk (kg/cm ²)	Kuru Muk (kg/cm ²)	Pişme Muk (kg/cm ²)	Pişme Küçülme (%)	Su Emme (%)
Kil-A	6	7,2	8,8	19,7	418,3	9,72	3,36
Kil-B	6,7	6	8,14	19,27	365,7	7,59	6,03
Kil-C	5,59	7,3	8,32	20,08	427	9,53	1,75
Kil-D	7,53	6	8,68	18,08	359,4	7,52	5,44
Kil-E	6,35	6	8,55	17,06	264,8	5,99	7,93
Pegmatit	7,17	6	2,66	10,43	156	3,57	12,5

XRD paterni (XRD) yöntemiyle her iki bölgeye ait pomzanın mineralojik kompozisyonları belirlenmiştir (Şekil 4.1 ve 4.2).



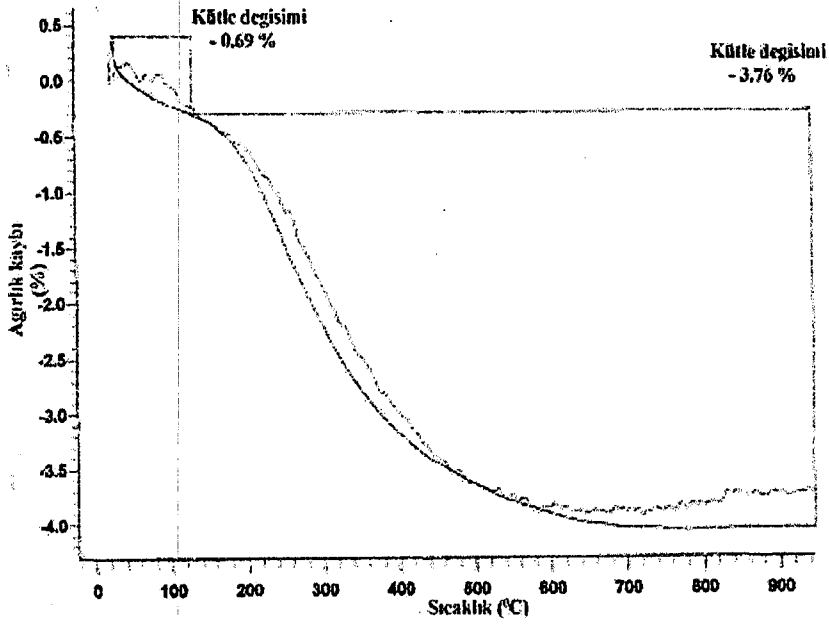
Şekil 4.1. Nevşehir pomzasının XRD paterni.



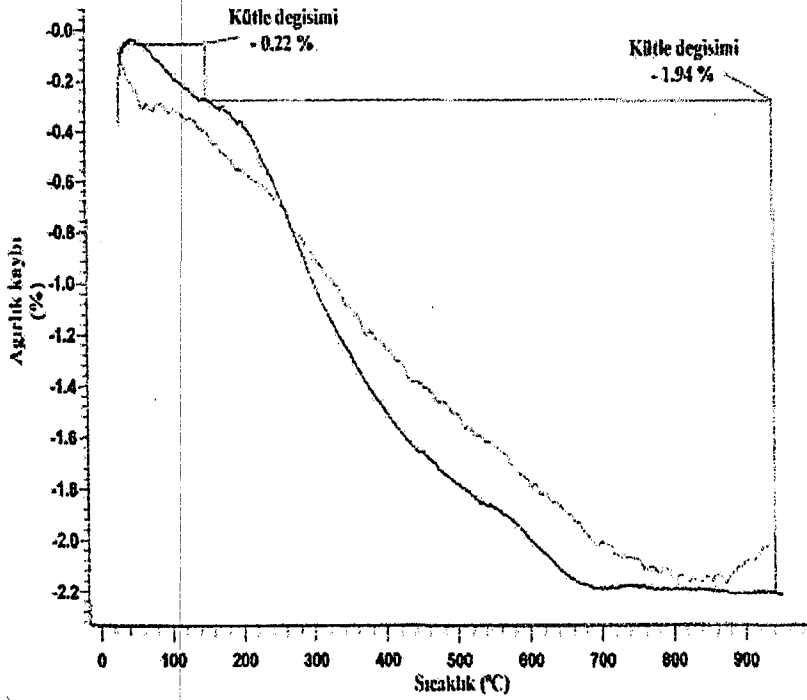
Şekil 4.2. Isparta pomzasının XRD paterni

Her iki malzeme için yapılan XRD incelemelerinde Nevşehir pomzasının amorf bir iç yapıya sahip olduğu (Şekil 4.1), Isparta pomzasının ise krisalin bir iç yapıya sahip olduğu (Şekil 4.2) görülmüştür.

Her iki bölgeye ait pomzanın TG ve DTA analiz sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Nevşehir pomzasına ait TG ve DTA analiz sonucu



Şekil 4.4. Isparta pomzasına ait TG ve DTA analiz sonucu

Nevşehir, Isparta pomzası ve Na-feldispatın tek başına göstermiş oldukları ergime davranışı ısı mikroskobu ile belirlenmiş ve sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Pomza ve albitin ısı mikroskop analiz sonuçları

Hammadde	Albit	Nevşehir Pomzası	Isparta Pomzası
Sinterleme Sıcaklığı	1180 °C	1060 °C	1005 °C

Deneysel çalışma için hazırlanan endüstriyel masse kompozisyonları ile pomza içeren kompozisyonlar Çizelge 4.4 ve 4.5'te gösterilmiştir.

Daha önce bahsedildiği gibi TS-EN 176-B1 standardı göz önüne alınarak su emme değeri en çok % 3 ve pişmiş mukavemeti en az 270 kg/cm² ile su emme değeri % 3 ün üzerinde olan iki tip standart reçete hazırlanmış, bu reçetelerden hareketle standart reçetelerdeki (1 ve 2) feldispat yerine ağırlıkça % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında Nevşehir ve Isparta pomzaları ilâve edilerek toplam 16 adet deneme reçetesi hazırlanmıştır. Bunlar, 1157 °C ve 1178 °C'deki iki farklı sıcaklıkta 35 dakika süre ile pişirilip, pişirme sonucu elde edilen ürünler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4. 1 No'lu standart bünye ve pomza içeren bünyeler

KOD	1	1.NP.1	1.NP.2	1.NP.3	1.NP.4	1.IP.1	1.IP.2	1.IP.3	1.IP.4
Kil-A	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Kil-B	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kil-C	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Kil-D	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Pegmatit	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Karo Atığı	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Albit	32	24	16	8	0	24	16	8	0
Pomza	0	8	16	24	32	8	16	24	32

Çizelge 4.5. 2 no'lu standart bünye ve pomza içeren bünyeler

KOD	2	2.NP.1	2.NP.2	2.NP.3	2.NP.4	2.IP.1	2.IP.2	2.IP.3	2.IP.4
Kil-A	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Kil-B	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Kil-C	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Kil-E	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Pegmatit	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Karo Atığı	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Albit	23	17,25	11,5	5,75	0	17,25	11,5	5,75	0
Pomza	0	5,75	11,5	17,25	23	5,75	11,5	17,25	23

1 : 1 No'lu Standart reçete

2 : 2 No'lu Standart reçete

NP : Nevşehir pomzası ile oluşturulan reçeteler

IP : Isparta pomzası ile oluşturulan reçeteler

5. SONUÇLAR

5.1. Pomzanın Öğütme Süresine Etkisi

Öğütme boyutunun öğütme zamanına bağlı olarak etkisini görmek için yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.1'de görülmektedir. Görüldüğü üzere öğütme süresi sabit kalmak koşulu ile albit içeren reçeteye, artan oranda pomza ilâvesi ile daha düşük elek bakiyesi değeri elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. 2.IP serisi için öğütme zamanına bağlı olarak elek bakiyenin değişimi

Süre	Elek Bakiyesi			
	2.IP.1	2.IP.2	2.IP.3	2.IP.4
5 saat	12,6	12,5	11,2	9,67
6 saat	7,15	6,85	6,42	6,15
7 saat	5,8	5,6	5,24	4,87

5.2. Pomzanın Ham ve Kuru Mukavemete Etkisi

Laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen denemelerde yer karosu granülü püskürtmeli kurutucudan elde edilmeyip değirmen çıkışı etüvde kurutulduktan sonra kırılıp-elenecek ve kompresör vasıtasıyla elle rutubetlendirildiğinden nem oranında ve granüllerin homojenliğinde relatif olarak farklılıklar oluşmuştur. Sonuçlar Çizelge 5.2'de görülmektedir.

5.3. Nevşehir Pomzasının Nihai Ürünün Fiziksel Özelliklerine Etkisi

1 No'lu standart reçete ile 2 No'lu standart reçetede feldispat yerine ağırlıkça % 25, % 50, % 75 ve % 100 Nevşehir pomzası ilâve edilerek oluşturulan 1.NP.ve 2.NP. serili reçeteler 1157 °C tepe sıcaklığına sahip Sacmi marka duvar karosu hızlı bisküi pişirim fırını ile 1178 °C tepe sıcaklığına sahip Heimsoth marka yer karosu hızlı pişirim fırınında 35 dakika süre ile pişirilmiştir. Pişirme sonucu elde edilen nihai ürünlere fiziksel testler uygulanmıştır.

marka yer karosu hızlı pişirim fırınında 35 dakika süre ile pişirilmiştir. Pişirme sonucu elde edilen nihai ürünlere fiziksel testler uygulanmıştır.

Çizelge 5.2. Ham ve kuru karonun fiziksel özellikleri

Reçete Kodu	Şekillendirme Rutubeti (%)	Ham Mukavemet (kg/cm ²)	Kuru Mukavemet (kg/cm ²)	Kuru Küçülme (%)	Pres Genleşmesi (%)
1	6,30	8,65	16,05	+0,10	0,67
1.NP.1	6,26	7,36	17,45	+0,11	0,59
1.NP.2	5,08	5,84	14,50	+0,22	0,64
1.NP.3	5,92	6,15	13,43	+0,16	0,68
1.NP.4	6,32	6,38	14,01	+0,15	0,58
1.IP.1	8,17	9,49	21,63	+0,07	0,53
1.IP.2	7,77	8,38	18,21	+0,08	0,60
1.IP.3	6,78	7,07	16,75	+0,00	0,64
1.IP.4	7,94	8,70	20,65	+0,01	0,64
2	5,52	6,76	14,93	+0,12	0,67
2.NP.1	6,72	7,42	19,47	+0,03	0,60
2.NP.2	7,00	7,24	19,77	0,02	0,62
2.NP.3	5,43	6,18	15,12	+0,08	0,76
2.NP.4	6,19	6,65	16,65	+0,05	0,67
2.IP.1	5,09	9,06	20,30	+0,05	0,49
2.IP.2	5,45	7,52	18,73	+0,06	0,61
2.IP.3	5,54	10,5	23,99	0,02	0,49
2.IP.4	5,62	9,30	23,84	+0,04	0,51

5.3.1. Nevşehir pomzasının su emmeye etkisi

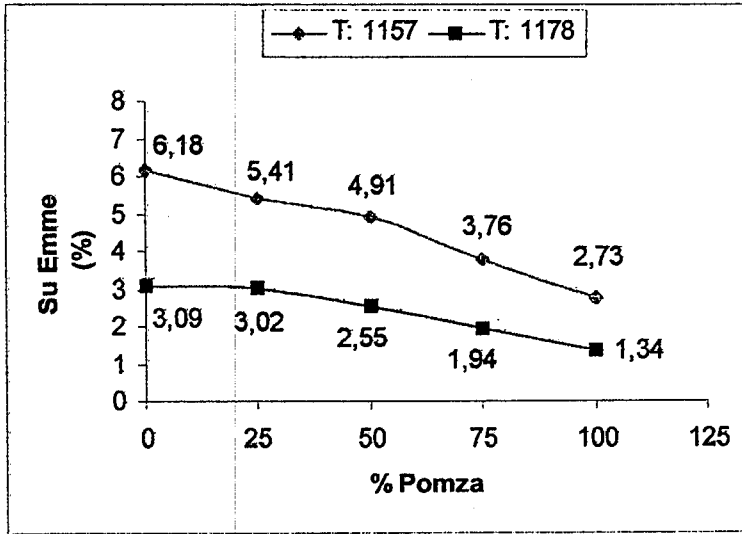
Su emme testi sonuçlarında her iki sıcaklıkta ve her iki reçetede, sisteme artan oranda pomza ilâvesiyle su emme değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Elde edilen bu değerler Şekil 5.1 ve 5.2'de görülmektedir.

5.3.2. Nevşehir pomzasının pişme mukavemetine etkisi

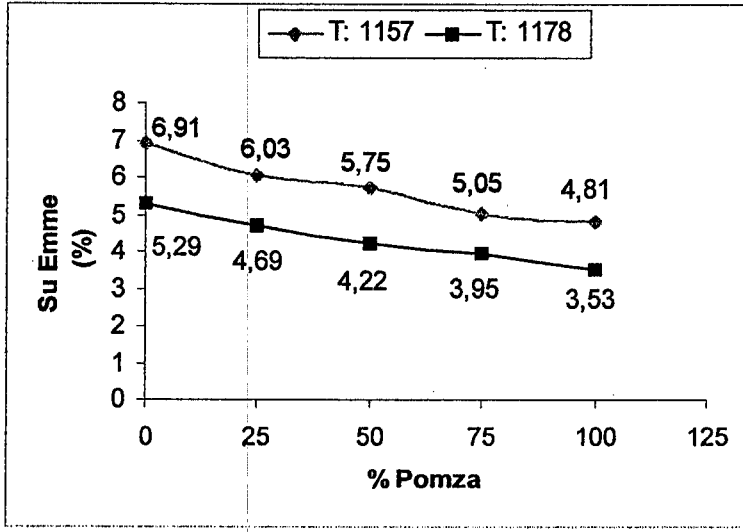
Pişmiş ürün eğilme dayanımı testi sonuçlarında her iki sıcaklıkta ve her iki reçetede, sisteme artan oranda pomza ilâvesiyle su emme değerlerinde önemli düşüslere paralel olarak pişme mukavemeti değerlerlerinde % 22-37 arasında değişen oranlarda bir artış görülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.3 ve 5.4'te görülmektedir.

5.3.3. Nevşehir pomzasının pişme küçülmesine etkisi

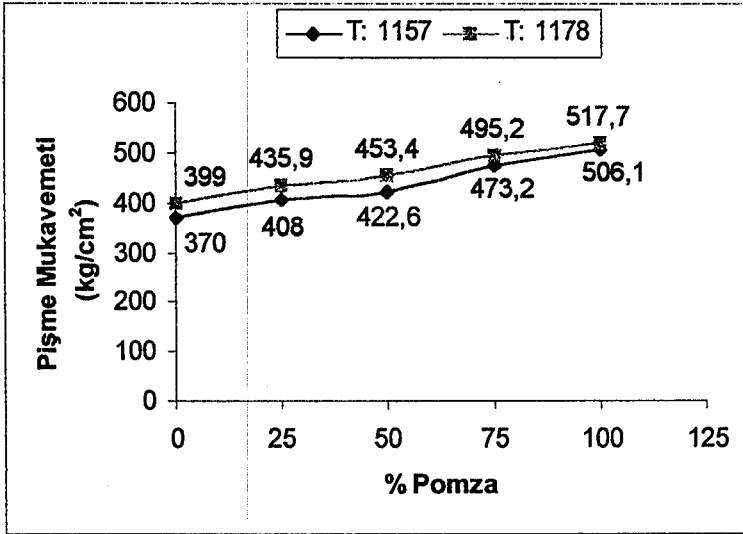
Pişme küçülmesi kontrolleri sonucunca her iki sıcaklıkta ve her iki reçetede, sisteme artan oranda pomza ilâvesiyle su emme değerlerinde düşüsler ile pişme mukavemeti değerlerindeki artışa paralel olarak her iki seri ve her iki sıcaklıkta artan pomza miktarıyla pişme küçülmeleri artış göstermiştir. Sonuçlar Şekil 5.5 ve 5.6'da görülmektedir.



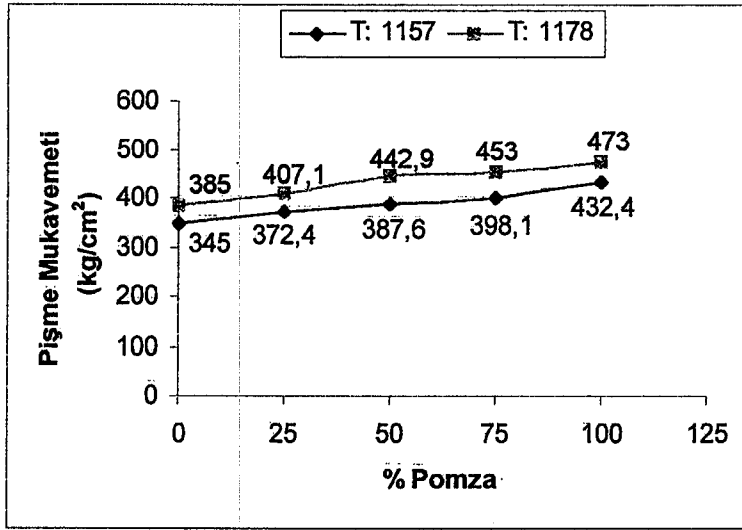
Şekil 5.1. 1 No'lu standart reçeteye Nevşehir pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin su emme değerlerindeki değişim



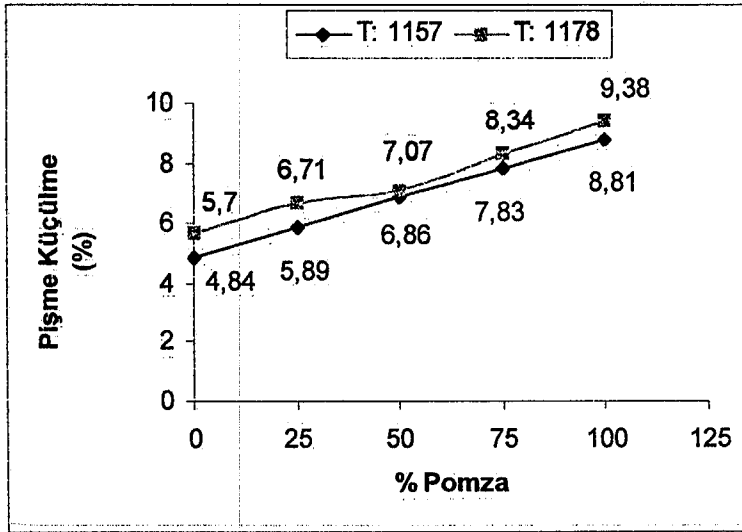
Şekil 5.2. 2 No'lu standart reçeteye Nevşehir pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin su emme değerlerindeki değişim



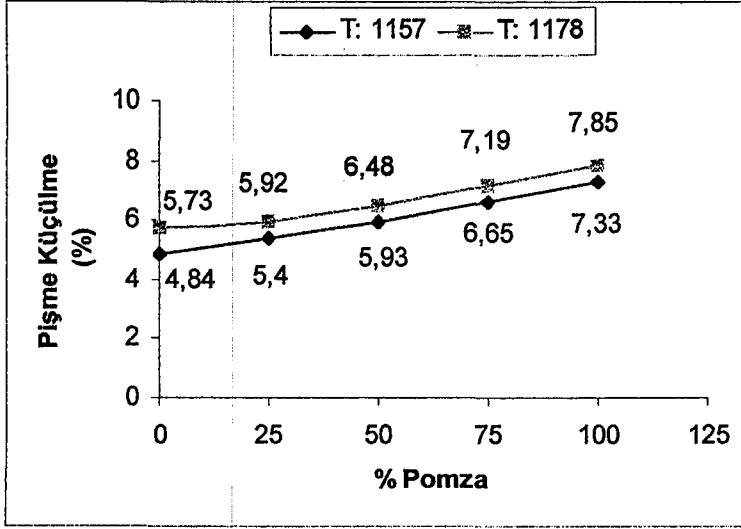
Şekil 5.3. 1 No'lu standart reçeteye Nevşehir pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme mukavemeti değerlerindeki değişim



Şekil 5.4. 2 No'lu standart reçeteye Nevşehir pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme mukavemeti değerlerindeki değişim



Şekil 5.5. 1 No'lu standart reçeteye Nevşehir pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme küçülme değerlerindeki değişim



Şekil 5.6. 2 No'lu standart reçeteye Nevşehir pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme küçülme değerlerindeki değişim

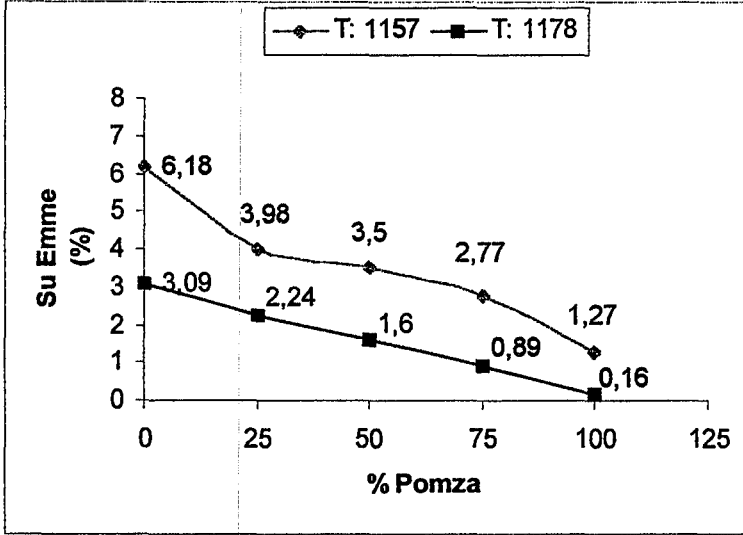
5.4. Isparta Pomzasının Nihai Ürünün Fiziksel Özelliklerine Etkileri

Nevşehir pomzasında olduğu gibi 1 No'lu standart reçete ile 2 No'lu standart reçetede feldispat yerine ağırlıkça % 25, % 50, % 75 ve % 100 Isparta pomzası ilâve edilerek oluşturulan 1.IP.ve 2.IP. serili reçeteler 1157 °C tepe sıcaklığına sahip Sacmi marka duvar karosu hızlı bisküü pişirimi fırını ile 1178 °C tepe sıcaklığına sahip Heimsoth marka yer karosu hızlı pişirim fırınında 35 dakika süre ile pişirilmiştir. Pişirme sonucu elde edilen nihai ürünlere fiziksel testler uygulanmıştır. Uygulanan fiziksel testlerden elde edilen sonuçlar Nevşehir pomzasından elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermiştir. Hatta Isparta pomzası ile oluşturulan reçeteler granit seramik teknik özelliklerine (Su emme, mukavemet gibi) eşdeğer sonuçlar vermiştir.

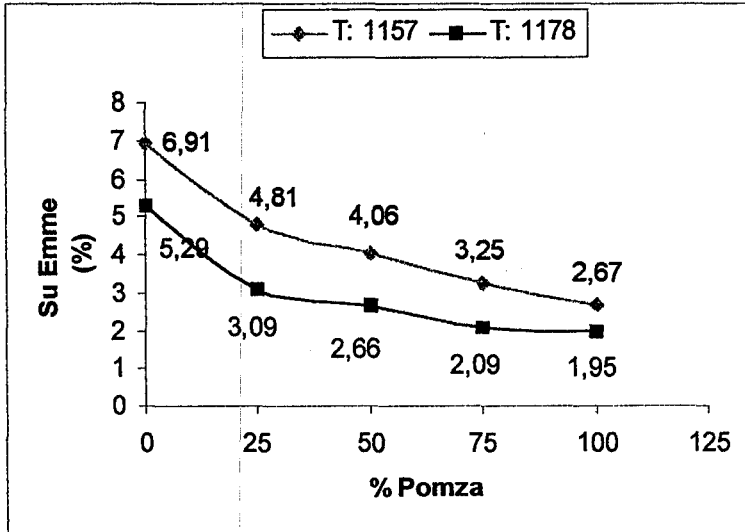
5.4.1. Isparta pomzasının su emmeye etkisi

Isparta pomzası kullanılarak oluşturulan 1.IP ve 2.IP ürünlerin su emme testi sonuçlarında her iki sıcaklıkta ve her iki reçetede, sisteme artan oranda pomza ilâvesiyle su emme değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Hatta 1.IP

serisinin 1178 °C'de pişirilmesi sonucunda granit seramik su emme değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir (1.IP.4). Sonuçlar Şekil 5.7 ve 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.7. 1 No'lu standart reçeteye Isparta pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin su emme değerlerindeki değişim



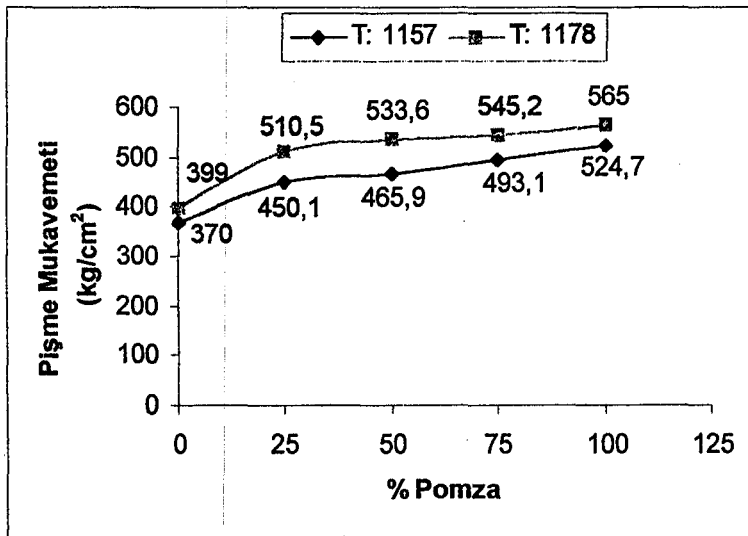
Şekil 5.8. 2 No'lu standart reçeteye Isparta pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin su emme değerlerindeki değişim

5.4.2. Isparta pomzasının pişme mukavemetine etkisi

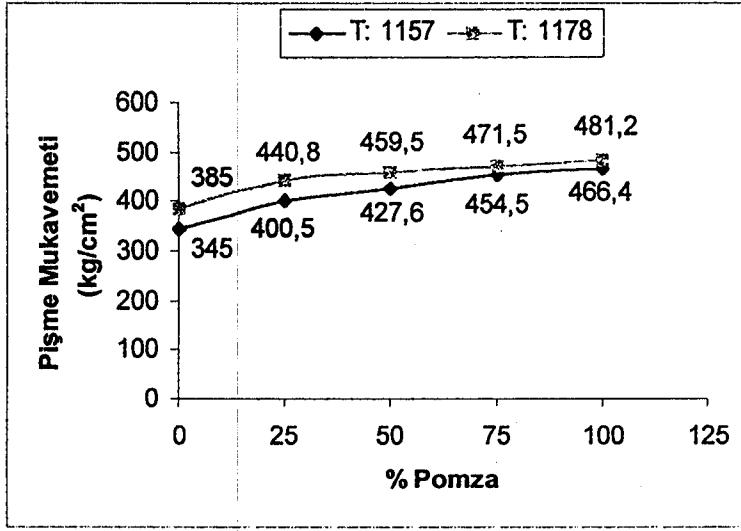
Isparta pomzası ile oluşturulmuş ürünlere uygulanan pişmiş ürün eğilme dayanımı testi sonuçlarında da her iki sıcaklıkta ve her iki reçetede, sisteme artan oranda pomza ilâvesiyle su emme değerlerinde % 61-95 oranında önemli düşümlere paralel olarak pişme mukavemetideğerlerlerinde % 20-42 arasında değişen oranlarda bir artış görülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.9 ve 5.10'da görülmektedir.

5.4.3. Isparta pomzasının pişme küçülmesine etkisi

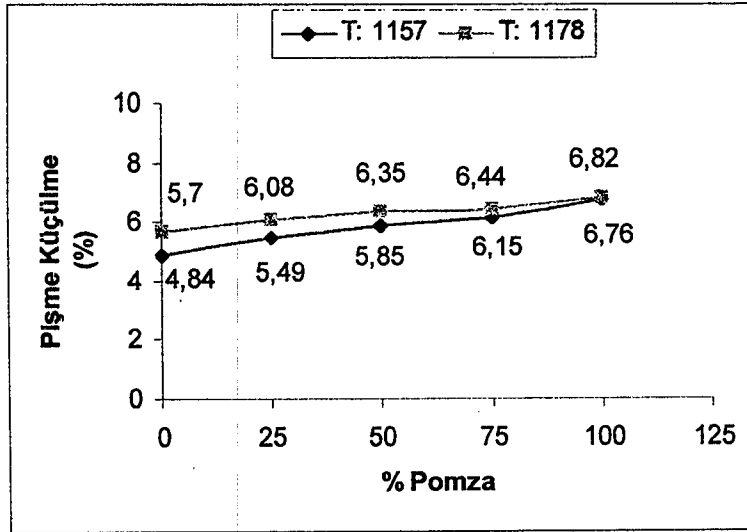
Isparta pomzası ile oluşturulmuş nihai ürünlere yapılan pişme küçülmesi kontrolleri sonucunda da her iki sıcaklıkta ve her iki reçetede, sisteme artan oranda pomza ilâvesiyle su emme değerlerinde düşüşler ile pişme mukavemetideğerlerindeki artışa paralel olarak her iki seri de artan pişme sıcaklığına karşılık pişme küçülmeleri artış göstermiştir. Sonuçlar Şekil 5.11 ve 5.12'de görülmektedir.



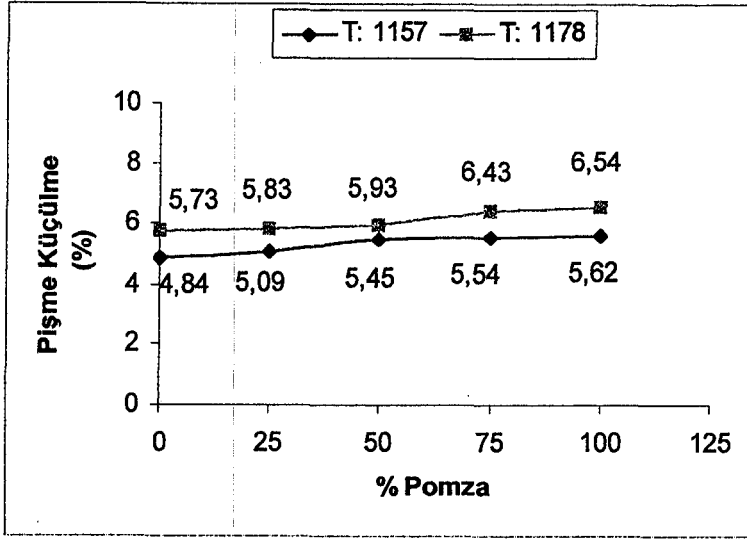
Şekil 5.9. 1 No'lu standart reçeteye Isparta pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme mukavemeti değerlerindeki değişim



Şekil 5.10. 2 No'lu standart reçeteye Isparta pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme mukavemeti değerlerindeki değişim



Şekil 5.11. 1 No'lu standart reçeteye Isparta pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme kûçülme değerlerindeki değişim



Şekil 5.12. 2 No'lu standart reçeteye Isparta pomzası ilâvesiyle elde edilen nihai ürünlerin pişme küçülme değerlerindeki değişim

5.5. Nevşehir ve Isparta Pomzalarının Nihai Ürün Fiziksel Özelliklerine Etkilerinin Karşılaştırması

5.5.1. Su emme etkilerinin karşılaştırılması

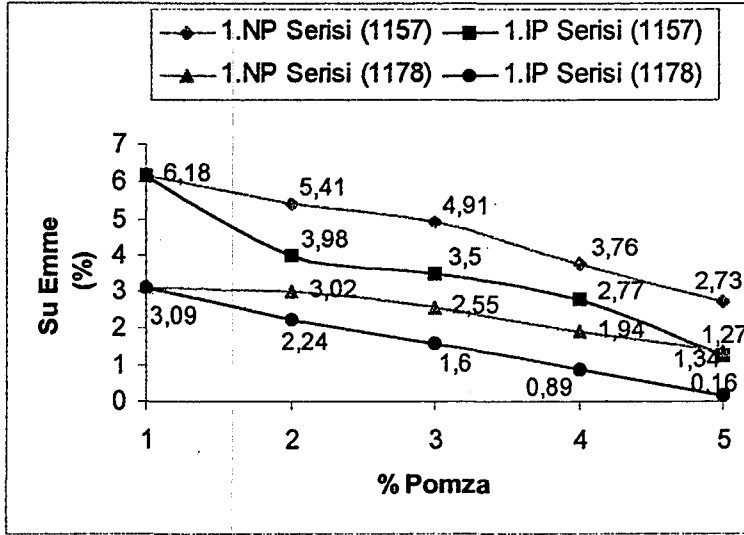
Nevşehir ve Isparta pomzası ile oluşturulan deneme reçetelerin her ikisinde de artan pomza miktarıyla su emme değerleri azalmıştır. Ancak Isparta pomzası Nevşehir pomzasına oranla daha düşük su emme değerleri sergilemiştir. Sonuçlar Şekil 5.13 ve 5.14'te görülmektedir.

5.5.2. Pişme mukavemeti etkilerinin karşılaştırılması

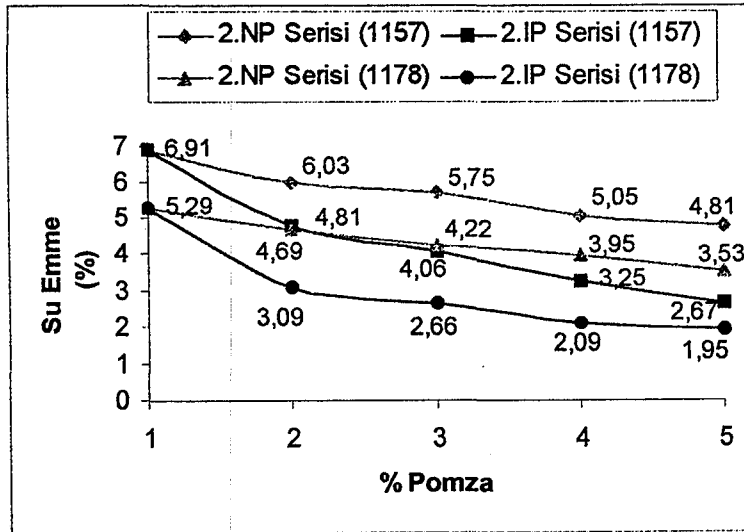
Su emme değerlerinde alınan sonuçlara benzer olarak her iki pomzanın sisteme ilâvesiyle mukavemet değerlerinde artış olmakla beraber bu artış Nevşehir pomzasında % 22-37 oranında iken Isparta pomzasında daha geniş aralıkta olup % 20-42'dir. Dolayısıyla Isparta pomzası diğer pomzaya oranla daha iyi sonuçlar göstermiştir. Sonuçlar Şekil 5.15, 5.16, 5.17 ve 5.18'de görülmektedir.

5.5.3. Pişme küçülmesi etkilerinin karşılaştırılması

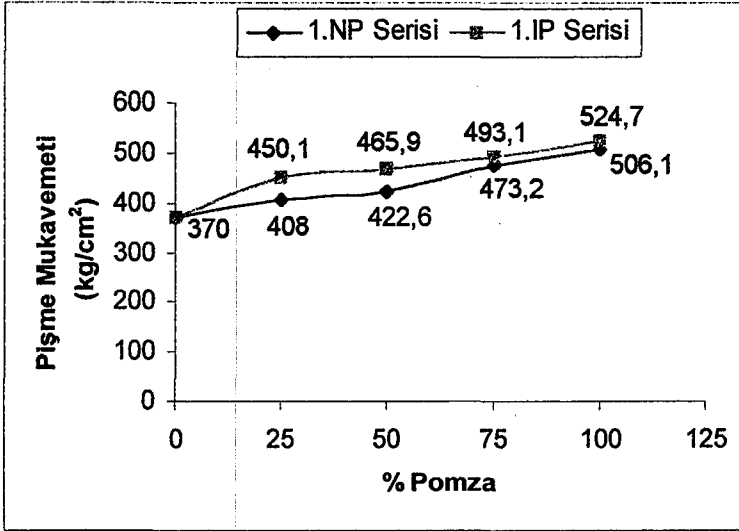
Burada da benzer olarak Nevşehir pomzası Isparta pomzasına oranla her iki sıcaklıkta da daha yüksek pişme küçülmesi değeri göstermiştir. Sonuçlar Şekil 5.19, 5.20, 5.21 ve 5.22’de görülmektedir.



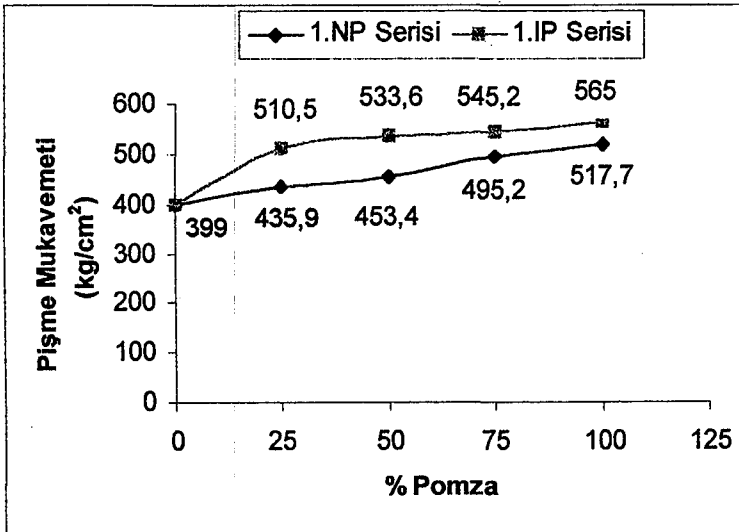
Şekil 5.13. 1.NP ve 1.IP ürünlerinde iki farklı sıcaklıkta artan pomza miktarıyla su emme değerlerindeki değişim



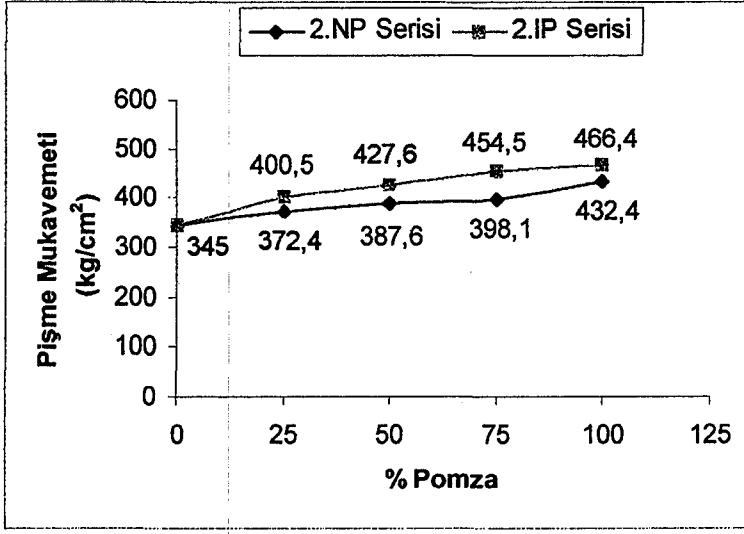
Şekil 5.14. 2.NP ve 2.IP ürünlerinde iki farklı sıcaklıkta artan pomza miktarıyla su emme değerlerindeki değişim



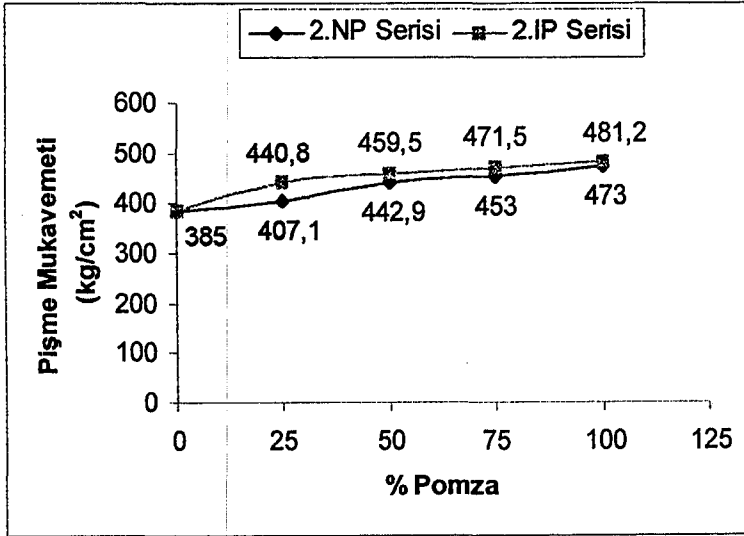
Şekil 5.15. 1157 °C’de sinterlenen 1.NP ve 1.IP serili nihai ürünlerdeki mukavemet değişimi



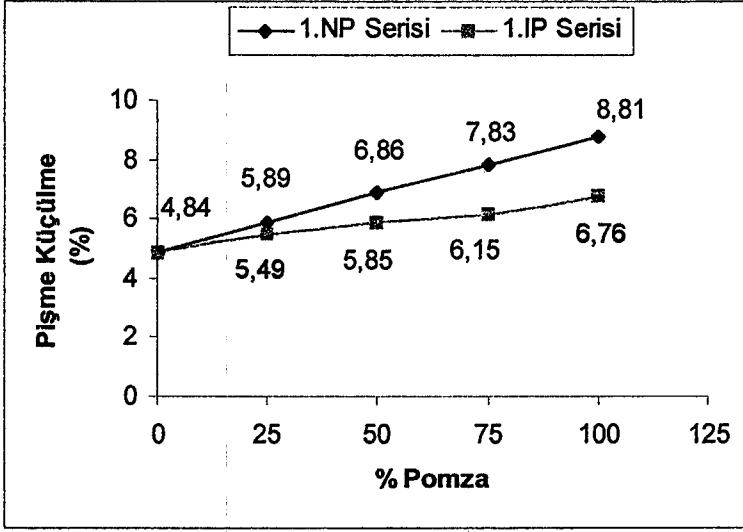
Şekil 5.16 1178 °C’de sinterlenen 1.NP ve 1.IP serili nihai ürünlerdeki mukavemet değişimi



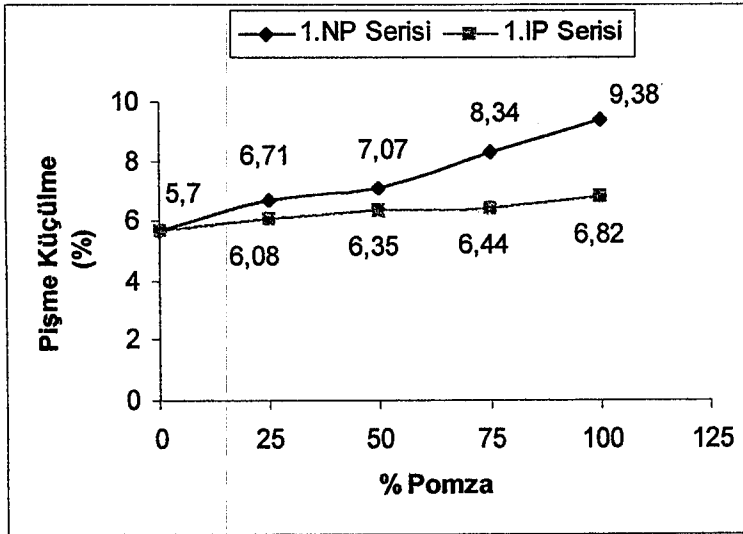
Şekil 5.17. 1157⁰C'de sinterlenen 2.NP ve 2.IP serili nihai ürünlerdeki mukavemet değişimi



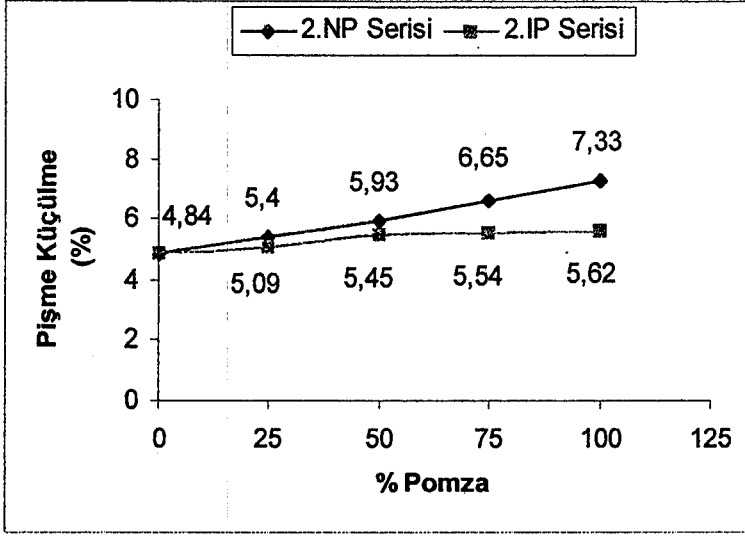
Şekil 5.18. 1178⁰C'de sinterlenen 2.NP ve 2.IP serili nihai ürünlerdeki mukavemet değişimi



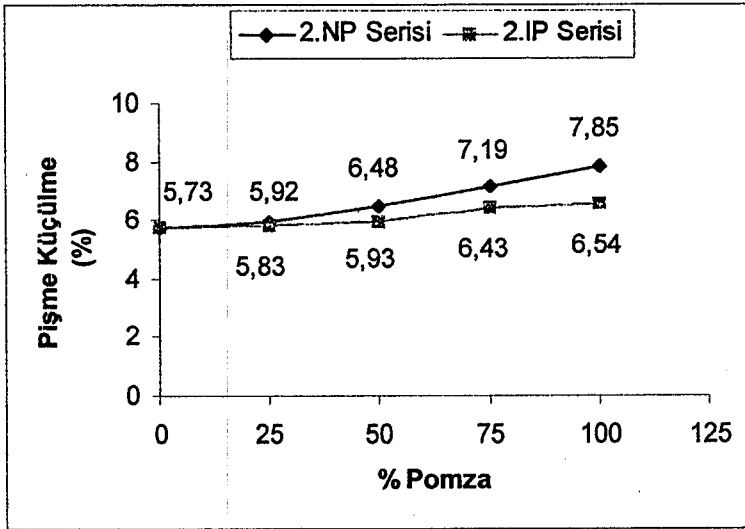
Şekil 5.19. 1157⁰C'de sinterlenen 1.NP ve 1.IP serili nihai ürünlerdeki pişme küçülmesi değişimi



Şekil 5.20. 1178⁰C'de sinterlenen 1.NP ve 1.IP serili nihai ürünlerdeki pişme küçülmesi değişimi



Şekil 5.21. 1157⁰C'de sinterlenen 2.NP ve 2.IP serili nihai ürünlerdeki pişme küçülmesi değişimi



Şekil 5.22. 1178⁰C'de sinterlenen 2.NP ve 2.IP serili nihai ürünlerdeki pişme küçülmesi değişimi

5.5.4. Yoğunluk etkilerinin karşılaştırılması

Her iki standart reçetede artan oranda pomzanın kullanımıyla elde edilen nihai ürünlerde yoğunluk değerlerinde azalış tespit edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.3 ve 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.3 İki farklı sıcaklıkta sinterlenen 1.NP ve 1.IP ürünlerindeki yoğunluk değişimi

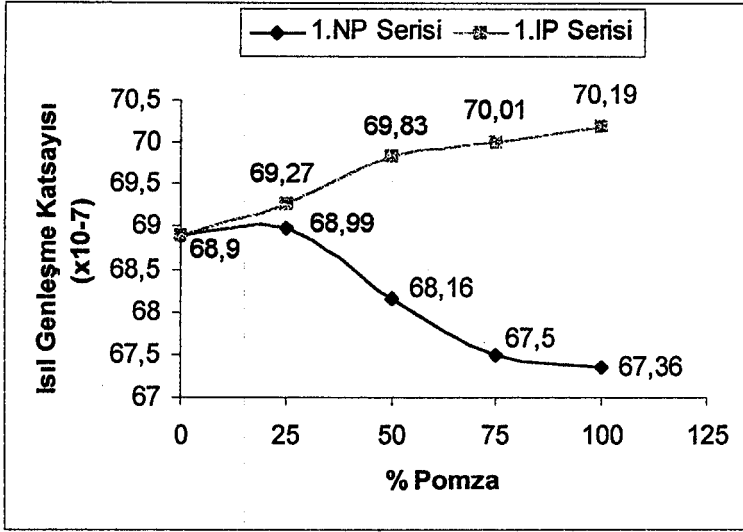
KOD	Görünür Yoğunluk	
	1157 °C	1178 °C
1	2,57	2,49
1.NP.1	2,53	2,46
1.NP.2	2,52	2,44
1.NP.3	2,47	2,41
1.NP.4	2,45	2,40
1.IP.1	2,48	2,42
1.IP.2	2,45	2,35
1.IP.3	2,42	2,32
1.IP.4	2,34	2,26

Çizelge 5.4 İki farklı sıcaklıkta sinterlenen 2.NP ve 2.IP ürünlerindeki yoğunluk değişimi

KOD	Görünür Yoğunluk	
	1157 °C	1178 °C
2	2,56	2,50
2.NP.1	2,51	2,51
2.NP.2	2,50	2,49
2.NP.3	2,49	2,47
2.NP.4	2,47	2,45
2.IP.1	2,49	2,44
2.IP.2	2,47	2,40
2.IP.3	2,42	2,35
2.IP.4	2,38	2,34

5.5.5. Isıl genleşme katsayısına etkilerinin karşılaştırılması

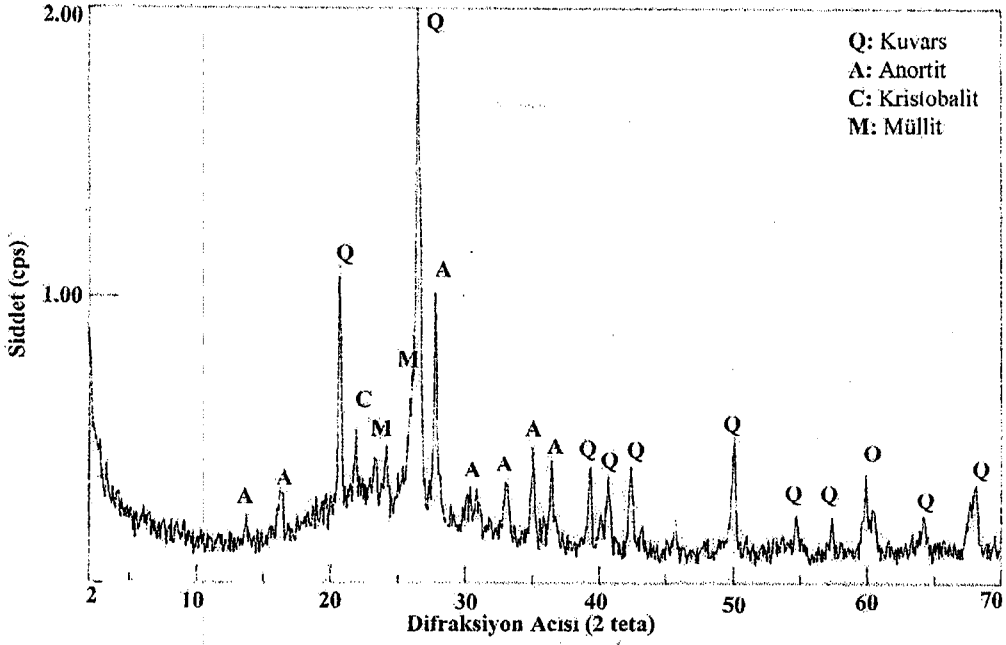
Standart reçeteye artan oranda pomza ilâve edildiğinde, Isparta pomzası nihai ürünün ısıl genleşme katsayısını artırırken Nevşehir pomzası ise bunun tersi sonucunu vermiştir (Şekil 5.23). Yani artan oranda Nevşehir pomzası kullanımı nihai ürünün ısıl genleşme katsayısını düşürmektedir.



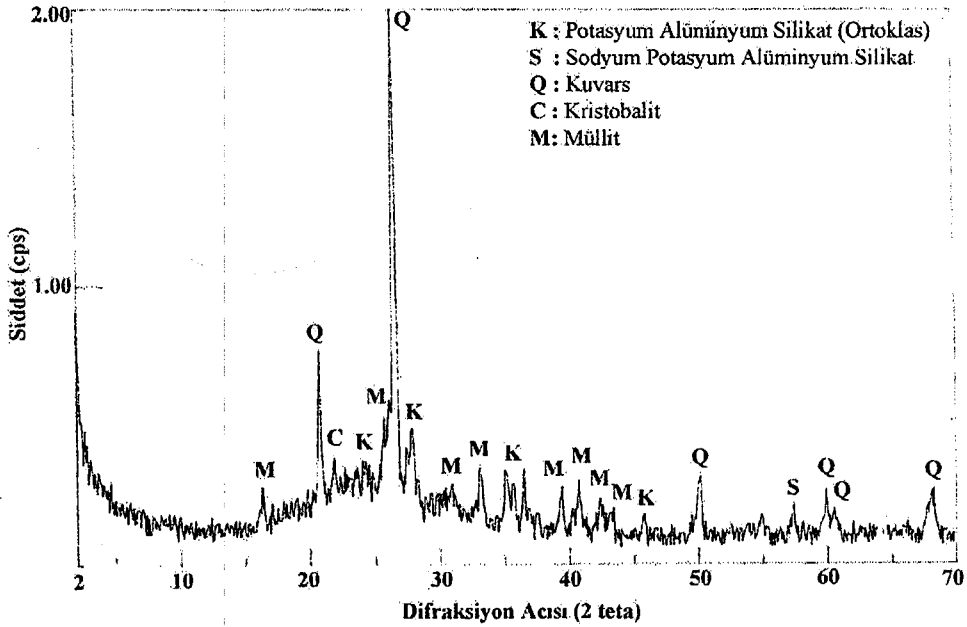
Şekil 5.23. 1178 °C’de sinterlenen 1.NP ve 1.IP serilerinde artan pomza oranıyla ısıl genleşme katsayılarındaki değişim

5.5.6. Pomza İlâveli Sinterlenmiş Nihai Ürünlerde İç Yapı Özellikleri

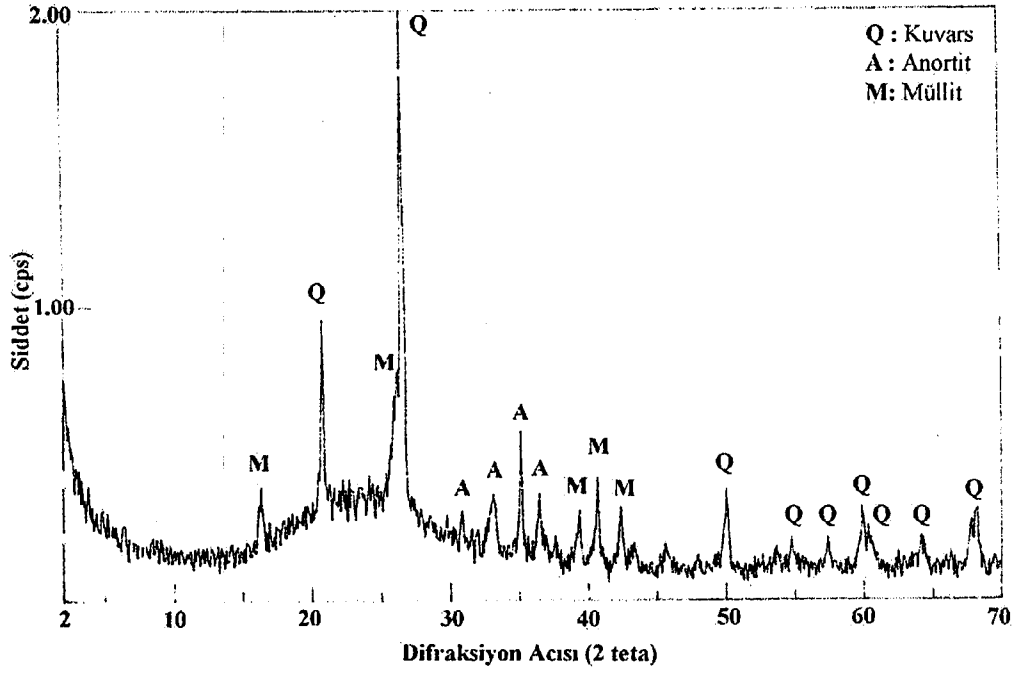
1 No’lu standart yer karosu bünyesine pomza ilâve edilerek 1178 °C’de sinterlenmiş nihai ürünlerin içerdiği fazları X-ışınları difraksiyonu (XRD) metodu ile belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 5.24, 5.25 ve 5.26’da görülmektedir.



Şekil 5.24. 1178 °C'de sinterlenmiş 1 No'lu yer karosu standart bünyesinin XRD paterni



Şekil 5.25. 1178 °C'de sinterlenmiş ağırlıkça % 100 Isparta pomzasi içeren bünyenin XRD paterni



Şekil 5.26. 1178 °C'de sinterlenmiş ağırlıkça % 100 Nevşehir pomzasi içeren bünyenin XRD paterni

6. TARTIŞMA

Günümüzde iç ve dış mekânlar için birçok farklı döşeme malzemesi kullanılmaktadır. Yer ve duvar seramikleri, yapay granitler, doğal granitler, mermer vb.dir. Birbirleriyle daha iyi karşılaştırılmaları için fiziksel özelliklerin belirlenmesi, en doğru yoldur.

Pomzanın yer karosu bünyesinde alternatif ergitici olarak kullanımıyla ilgili yapılan deneysel çalışmalar, ergiticilik açısından pomzanın feldispat yerine kullanılabilceğini göstermiştir.

6.1. Öğütme Süresi Yönünden Değerlendirme

Yer karosu massesini oluşturan hammaddelerin öğütülmesi sonucu tane inceliği sinterleşmede oldukça önemli rol oynamaktadır. Killerin yanında sert bir yapıya sahip olan albit ve pegmatit gibi sert feldispat hammaddeleri bilyeli değirmenlerde öğütülerek tamamının karo reçetesine geçmesine dikkat edilmelidir. Çünkü bilyeli değirmenden boşaltılan çamurda eleme sonucu elek üstünde feldispat hammaddelerinin varlığı reçeteye girmemesi sebebiyle nihai üründe olumsuz özelliklere neden olabilmektedir.

Yeterli öğütmenin sağlanmadığı karolarda bu durum, pişirim sonucunda fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri oluşturan reaksiyonların gecikmesine, ya da bir kısmının hiç oluşmamasına sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak seramik bünye iskeleti tamamlanmaz, vitrifikasyon gecikir, tüm fiziksel özellikler yetersiz kalır. Bu sebepten, etkin öğütmenin kontrolünde elek bakiyesi kontrol edilir. Elek bakiyesinin yanısıra tane boyut analizi cihazında boyut dağılımlarına da bakılmaktadır [21,22].

Püskürtmeli kurutucudan çıkan granüller belli bir tane boyut dağılımında olması gerekmektedir. Eğer granüller iri ve sert aglomereli ise presleme esnasında

iri ve sert granüller dağılmadığından ürün gözenekli bir yapıya ve uygun olmayan fiziksel özelliklere sahip olacaktır [22,23].

Deneysel çalışmada 2.IP serisi için öğütme zamanına bağlı olarak elek bakiyesinin değişimi incelendiğinde (Çizelge 5.1) aynı süreler için artan pomza miktarıyla elek bakiye değerinin azaldığı görülebilir. Bu da istenilen elek bakiye değeri için daha kısa öğütme süresi anlamına gelmektedir.

Deneysel çalışmada pomzanın kullanımıyla ilgili olarak öğütmede karşılaşılabilecek en önemli problem pomzanın yoğunluğunun 1 gr/cm^3 'ün altında olması nedeniyle yığın içinde asılı halde kalması, beraberinde öğütme esnasında pomzanın pulp içinde yüzmesi ve öğütülmemiş olarak kalma riski doğurabilmesidir.

Bilindiği üzere pomza çok poroz olan bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Saf özgül ağırlık, kuru kütle hacime oranı olarak bilinmektedir. Pomza tanesi büyüdükçe tane özgül ağırlığı azalmaktadır. Örneğin, aynı yatakta 0-2 mm'lik tane büyüklüğünde özgül ağırlık $0,75 \text{ kg/dm}^3$ olurken aynı yerde 8-16 mm'lik tane büyüklüğünde özgül ağırlık $0,45 \text{ kg/dm}^3$ olmaktadır. Tane boyutları arttıkça gözenek yüzdesi de artış gösterecektir [8]. Bu bilgi ışığında yığın kompozisyonu içinde yüzmeyecek şekilde tane boyutu düşürülerek kullanılan pomzalı reçetelerde, öğütme sonunda öğünmemiş halde herhangi bir hammaddeye rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmadaki dezavantajı elimine etmek amacıyla tane boyutu düşük olan pomzaları kullanmak daha sağlıklı olacaktır.

6.2. Ham ve Kuru Mukavemet Yönünden Değerlendirme

Preslemede granüllerin yapı ve dağılımları ile beraber granül nemi karonun fiziksel özellikleri bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir.

Presleme anındaki nem, granüllerin birbirlerine sıkıca yapışmasını sağladığından ürünün ham ve kuru mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca şekillendirme nemindeki ufak bir değişimde kuru küçülme ve dolayısıyla toplam küçülme etkileneceğinden massede boyut problemleri yaşanmakta, mukavemet ve su emme değerlerini etkilemektedir [21,22].

Prensip olarak şekillendirme nemi (% 10'u aşmamak kaydıyla) arttıkça ham ve kuru mukavemet artmakta, kuru küçülme miktarı artıp, su emme değeri düşmektedir. Ancak, karoların şekillendirilmesinde presleme basıncının etkisi çok büyüktür. Fazla sıkıştırılan karolar, pişme esnasında daha fazla sinterleştikleri halde küçülmeleri daha az olmaktadır. Bunun sebebi, fazla basınçla sıkıştırılan granüllerin arasındaki boşlukların azalması ve granüllerin birbirine sıkıca bağlanması, dolayısıyla karonun yoğunluğunun artmasıdır.

Laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen denemelerde, presleme basıncının sabit olmasının yanısıra (160 kg/cm^2) nemlendirme işlemi elle yapıldığından başlangıç masse granüllerinin nem oranında ve granüllerin homojenliğinde relatif olarak farklılıklar meydana gelmiştir (Çizelge 5.2). Dolayısıyla, bu etkiyi değerlendirmek pek sağlıklı olmayacaktır. İlgili konunun anlaşılması için büyük çaplı işletme denemeleri daha sağlıklı sonuç verecektir.

6.3. Su Emme Yönünden Değerlendirme

Deneme sonuçlarında 1 No'lu standart reçete üzerinden Nevşehir ve Isparta pomzaları ile oluşturulan reçetelerin (1.NP ve 1.IP serileri) tümü her iki sıcaklık değeri için başlangıç kabulü olarak ele aldığımız TSE standartına uygunluk göstermiştir. Isı mikroskobu sonuçlarına göre (Çizelge 4.3) her iki pomzanın tek başına sinterleme sıcaklığı albite oranla daha düşüktür. Bunda Isparta pomzanın kimyasal bileşimindeki toplam alkali oranının ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) albite göre biraz daha fazla olması ve Fe_2O_3 konsantrasyonunun da bu malzemenin ergitici olarak davranmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Nevşehir pomzasının kimyasal bileşimindeki toplam alkali oranı albite göre daha

azdır. Ancak XRD sonuçlarında bu pomzanın amorf yapıya sahip olduğu (Şekil 4.1) ve ısı mikroskobu sonuçlarında da daha düşük ergime sıcaklığı gösterdiği (Çizelge 4.3) tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yapıya artan oranda giren pomzalar düşük sinterleme sıcaklık özelliği sayesinde sistemin sinterleme sıcaklığını düşürmekte, standart reçeteye oranla daha düşük sıcaklık değerlerinde sinterleme başlangıcı gösterip pişirim sonrası sinterleşme oranı yüksek nihai ürünlerin eldesini sağlamaktadır. Bu da beraberinde daha düşük su emme değerini getirmektedir. Hatta Isparta pomzası ile oluşturulan reçetelerde granit seramik özelliklerine eşdeğer sonuçlar elde edilmiştir.

Isparta pomzası ile Nevşehir pomzası birbirleriyle karşılaştırıldığında Isparta pomzasının diğerine oranla daha düşük su emme değeri göstermesi bu malzemenin kimyasal bileşimindeki toplam alkali (K_2O+Na_2O) içeriğinden dolayı daha düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu bu nedenle daha düşük su emme değerine yol açtığı düşünülmektedir.

TS-EN 176-B1 standardı göz önüne alınarak oluşturulan yer karosu bünyelerinde en çok % 3 su emme değeri istenmektedir. Bunu sağlamak amacıyla bünye kompozisyonlarında yüksek oranlarda ergitici hammadde kullanılmaktadır. Bu hammaddelerin birim fiyatları diğer kullanılan hammaddelere oranla daha yüksek olduğundan karo üretim maliyetini doğrudan artırmaktadır. Üretim maliyetini düşürmek amacıyla mevcut yer karosu üretimi pişirim sıcaklıklarında ($1175^{\circ}C-1190^{\circ}C$) feldispat oranı düşük (çalışmada kullanılan 1 No'lu kompozisyona göre) bir standart kompozisyon hazırlanmış (2 No'lu kompozisyon) ve bu kompozisyona pomza ilâve edilerek yeni kompozisyonlar oluşturulmuştur (2.NP ve 2.IP serileri). Hazırlanan bünyeler $1157^{\circ}C$ ve $1178^{\circ}C$ de sinterlenerek nihai ürünlerin fiziksel özellikleri incelendiğinde $1178^{\circ}C$ sinterlenen her iki seride TS-EN 176-B1 standardı içeriğine uygun sonuçlar elde edilmiştir. $1157^{\circ}C$ 'de sinterlenen serilerde ise 2.IP serili reçeteler standarta uygunluk gösterirken 2.NP serili reçeteler su emme özelliği açısından standartın dışında kalmıştır. Isparta pomzasının kimyasal bileşimindeki K_2O içeriğinin Nevşehir pomzasına oranla daha fazla olması yüzünden daha geniş bir sinterleme

aralığı özelliği yaratmakta dolayısıyla daha düşük sıcaklıklarda sinterlemeyle standarta uygun bünye eldesini sağladığı düşünülmektedir. Buradan hareketle standartlara uygun bir su emme değeri için hem ergitici oranının hemde sinterleme sıcaklık değerinin düşürülmesi büyük çaplı üretim yapan işletmeler için önemli bir enerji tasarrufunu gündeme getirecektir. Sıcaklıkların düşürülmek istenmemesi durumunda ise geniş sinterleme aralığı nedeniyle mekanik özelliklerde kayıp olmaksızın (örneğin kararlı olmayan fazların oluşması nedeniyle mekanik özelliklerdeki kayıp gibi) birim zamanda üretilen ürün miktarı pişirim sürelerinin kısaltılmasıyla artırılabilir. Bilindiği üzere seramik malzemeler pişirim sıcaklıklarının üzerinde ergime özelliği göstermektedirler. Dolayısıyla başlangıç kompozisyondaki ycr karosu atığı oranının artırılması sistemin sinterleme sıcaklığını yükseltecektir. Bu nedenle başlangıç kompozisyonunda kullanılan atık oranının artırılması sıcaklığın düşürülmek istenmediği durumlarda da uygulanabilir. Ayrıca ergiticiliğin yüksek olduğu durumlarda ufak tane boyutuna gerek olmadığından öğütme süresinin azaltılarak enerji tasarrufu sağlanabilir.

6.4. Pişirme Mukavemeti Yönünden Değerlendirme

Su emme değerlerinde alınan sonuçlara benzer olarak her iki pomzanın sisteme ilâvesiyle mukavemet değerlerinde artış olmakla beraber bu artış, Nevşehir pomzasında % 22-37 oranında iken Isparta pomzasında daha geniş aralıkta olup % 20-42'dir. Dolayısıyla Isparta pomzası diğer pomzaya oranla daha iyi sonuçlar göstermiştir. Bunun nedenini de daha önce açıkladığımız gibi Isparta pomzasının Nevşehir pomzası ve albite göre daha fazla alkali içermesi (K_2O), bünyelerin sinterleme aralığını artırmakta, dolayısıyla ürününün pişirme mukavemetini artırmakta, su emme değerini azaltmaktadır. Buradan yola çıkarak artan pomza miktarıyla, sistemin sinterleme sıcaklığı düşeceğinden cam faz oluşumu daha düşük sıcaklıklarda başlayacak, sıcaklığın artmasıyla oluşacak cam faz miktarı artış gösterecektir. Bu da beraberinde az porozite içeren, düşük su emme ve yüksek pişirme mukavemeti değerlerine sahip ürünlerin eldesini sağlayacaktır. Isparta ve Nevşehir pomzası ile oluşturulan toplam 16 adet

reçetenin tamamı pişme mukavemeti değerleri açısından TSE standartlarına uygunluk gösterdiğinden; nihai ürünün TS-EN 176-B1 standartları içindeki eldesinde, ergitici oranın sinterleme sıcaklığıyla birlikte azaltılmasının yapılabilirliğini desteklemektedir.

6.5. Pişme Küçülmesi Yönünden Değerlendirme

Gözenekli ürünlere göre daha yüksek sıcaklıklarda pişirilerek yüksek mukavemet, düşük gözenek ve su emmeye sahip seramik karoların boyut küçülmeleri daha fazladır. Duvar karosu üretiminde % 1 civarında olan pişme küçülmesi, yer karosunda % 6-7 civarındadır [22].

Her iki standart reçeteye pomza ilâvesiyle oluşturulan yer karosu reçetelerinde pişme küçülmeleri, pomza ve sıcaklık artışıyla artış göstermiştir. Isparta ve Nevşehir pomzaları birbirleriyle kıyaslandığında ise Nevşehir pomzasının reçetede kullanımıyla artış daha fazla olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda dahi Nevşehir pomzası ile oluşturulan 1.NP ve 2.NP serili reçeteler TSE standartının üzerine çıkmaktadır. Bu, Nevşehir pomzasının kullanımını olumsuz yönde etkileyecek şekilde görünmesine rağmen reçeteye pişme küçülmesini düşürmek amacıyla kuvars ya da pişmiş yer karosu atığı ilâvesi yapmak ürünün istenen boyutlarda eldesini sağlayacaktır.

6.6. Yoğunluk Etkileri Yönünden Değerlendirme

Yoğunluk ölçüm sonuçlarında (Çizelge 5.3 ve 5.4) her iki sıcaklıkta pomza miktarına bağlı olarak görünür yoğunluk değerlerinde azalma saptanmıştır. Ham ve kuru mukavemet değerleri birbirine yakın olan reçeteler karşılaştırıldığında (1 ve 1.IP.3 gibi) yoğunluklarındaki azalmanın sıkışmama kaynağı, aynı zamanda bu azalmanın porozite artışıyla ilgili olduğu da düşünülebilir. Ancak porozite artışının (kapalı por) ürünün mekanik özelliklerini (mukavemet değeri gibi) olumsuz yönde etkilemesi beklenirken sonuçlar bunun tersini göstermektedir. Bu nedenlerden dolayı yoğunluktaki azalışın bünyedeki

camsı faz miktarındaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir. Dolayısıyla, birim hacimdeki kütlenin azalışı nakliye açısından avantaj sağlayabilir.

6.7. Sinterleme Sonrası Oluşan Fazların Değerlendirilmesi

XRD çalışmalarında iki farklı bölgeden temin edilen pomzanın reçetelerde kullanılması ile pişirim sonucu üretilen bünyelerde müllit fazının pikleri tespit edilmiştir. Literatürde değinildiği üzere seramik bünyelerde müllit oluşumu nihai ürünün mukavemetini artırmaktadır [16]. Nihai ürünlere uygulanan fiziksel test sonuçlarında da sisteme artan oranda pomza ilâvesi ile pişme mukavemeti değerlerinde artış olduğu saptanmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonunda pomzanın yer karosu üretiminde feldispata alternatif ergitici olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Genel olarak pomza, bileşiminde K_2O ve Na_2O içermesinden dolayı albit ile karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklarda ergime davranışı göstermekte buna bağlı olarakta sinterleme sıcaklığının düşürülmesi ile enerji tasarrufu sağlanması potansiyelini doğurmaktadır. Sıcaklığın düşürülmeyeceği düşünülerek kompozisyonun ergitici içeriğinin azaltılmasında dahi TS-EN 176-B1 standartlarına uygun ürünlerin eldesi mümkündür. Çalışmada kullanılan malzemelerin her iki tipi de belli bir tane boyutunda olup ocaktan çıktıktan sonra eleme ve yıkamadan başka hiçbir işlem görmemiştir. Feldispata göre sertliği daha düşük olan bu malzeme feldispat yerine bire-bir oranda sisteme ilâve edildiği takdirde öğütme süresinde de önemli sayılabilecek bir düşüş sağlayacaktır.

Ayrıca şunu da belirtmek gerekir ki, dünya pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye'nin dokuzu aşkın renk ve doku kalitesindeki pomza çeşitlerinin seramik sektöründe kullanılması ile oldukça yüksek bir pazar şansı doğacaktır.

Deneysel çalışmalar sonucunda renk parametresi önemli olmadığı sürece pomza kullanımındaki tek dezavantaj, pomzanın yoğunluğunun 1 gr/cm^3 'ün altında olmasıdır. Bunun da beraberinde öğütme esnasında pomzanın pulp içinde yüzmesi ve öğütülmemiş olarak kalma riskini doğuracağı tahmin edilmektedir. Daha önce belirtildiği üzere pomza tanelerinin küçülmesi özgül ağırlığı artıracığından, pomza kullanımında olabirliği yüksek bu dezavantajı elimine etmek amacıyla tane boyutu düşük olan pomzaları kullanmak daha sağlıklı olacaktır.

Seramik üretiminde pomzanın kullanımıyla elde edilecek avantajları özetleyecek olursak;

- Düşük hammadde maliyeti,
- İyileştirilmiş mekanik özellikler,
- Öğütme süresinde azalma,
- Daha düşük sıcaklıklarda yer karosu ürünlerinin üretilebilirliği nedeniyle enerji tasarrufunun sağlanması,
- Düşük sıcaklığın istenmediği durumlarda kompozisyondaki ergitici hammadde oranının azaltılmasıyla ürün maliyetinin düşürülmesi ya da karo atık oranının artırılması,
- Pişmiş karo kütlelerinin ağırlığındaki azalma nedeniyle nakliyenin tonajla yapıldığı bu sektörde taşımacılık maliyetlerinde azalma.

Laboratuvar şartlarında hazırlanan çamur kompozisyonları her ne kadar işletme şartlarında pişirilmiş olsa da bu çalışma endüstriyel değerlendirme açısından yeterli değildir. Her işletmenin şartları farklı olacağından büyük miktarlarda kompozisyon hazırlanarak deneme bir üretimin yapılması daha sağlıklı sonuçların görülmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak pomzanın seramik üretiminde kullanılması hem ülke ekonomisine hemde seramik sektörüne çok büyük fayda getirecektir.

KAYNAKLAR

1. SANDOVAL, F.ve IBANEZ, A., *Fast-Firing Wollastonite-Based Wall-Tile Bodies*, Am. Ceram. Soc. Bull, Vol.78, No.3, 72-75 (1999).
2. CÖMERT, M., *Monoporoza ve Çift Pişirim Arasında Seçim*, Türk Seramik Derneği, Seramik Sırları Seminerleri Bildiriler Kitapçığı, No.7, 106-112 (1993).
3. TANIŞAN, H., *Yer ve Duvar Karosu Üretiminde Yeni Alkali Kaynakları*, Türk Seramik Derneği, Seramik Sırları Seminerleri Bildiriler Kitapçığı, No.7, 35-41 (1993).
4. YERSEL, G. ve TÖRE, İ., *Siyenitin Seramik Bünyelere Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Bölümü, 5-80 (1999).
5. SERAMİK ARAŞTIRMA MERKEZİ, Proje Nihai Raporu, Proje No: P/99-06.
6. ŞENER, F., *Yalıtımlı Hafif Yapı Maddeleri*, MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin Isı ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, 31-40 (1999).
7. TOZAÇAN, B. ve YİĞİT, Y., *Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemesi Pomza*, MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin Isı ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, 131-134 (1999).
8. GÜNDÜZ, L. ve SARIŞIK, A., *Pomza Teknolojisi*, Cilt 1. Isparta, 1998.
9. İSKER, A. Münir., *Yapı Sektöründe Pomza Taşının Yeri ve Önemi*, MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin Isı ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, 126-130 (1999).
10. DPT ARAŞTIRMA KOMİSYONU, *Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri*, Cilt 2. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 1996.
11. ÇEVİKBAŞ, A. ve İLGÜN, F., *Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi*, I. Isparta Pomza Sempozyumu, 13-18 (1997).
12. TOMSUK, F., *Oryantasyon Notları*, Bozüyük Toprak Karo-Seramik Fabrikası, 1999.
13. ESAN A.Ş., *Eğitim Notları*, İstanbul, 1995.

14. ACIMAC ve ITALIAN TRADE COMMISSION., *Zemin ve Duvar Döşemesi İçin Seramik Üretiminde Mevcut En İyi Teknolojiler Üzerine Eğitim Kursu*, İstanbul, 1999.
15. KARA, F., *Seramik Süreçler Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 1997.
16. REED, J.S., *Principles of Ceramics Processing*, Newyork State College of Ceramics, Alfred Univesity, Newyork.
17. DOĞAN, Ş., *Seramik Teknolojisi*, İstanbul, 1995.
18. ARCASOY, A., *Seramik Teknolojisi*, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Anasanat Dalı Yayınları, No. 2, İstanbul, 1983.
19. GÜNER, Y., *Seramik İstanbul*, 1987.
20. TANIŞAN, H. ve METE, Z., *Seramik Teknolojisi ve Uygulaması*, Söğüt, 1988.
21. ERCİYES, T., *Karo-Seramik Üretim Teknolojisi*, Teknik Yayınlar Serisi.
22. AKKURT, İ., *Seramik Karo Üretiminde Kaliteyi Etkileyen Faktörler*, Kalebodur Seramik Sanayii A.Ş.
23. KINGERY, W.D., BOHEN, H.K., UHLMANN, Dr.R., *Introduction to Ceramics*, Second Edition, John Willy & Sons, NY, 1976.
24. RADO, P., *An Introduction to the Technology of Pottery*, Formerly Research Manager the Worcester Royal Porcelain Company Ltd., Worcester, U.K., 1988.