T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU DÖKÜM ALÇI KALIP KARAKTERİZASYONU VE KURUTMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Erman Levent TEMELKURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU DÖKÜM ALÇI KALIP KARAKTERİZASYONU VE KURUTMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Erman Levent TEMELKURAN tarafından hazırlanan tez çalışması 29.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI, Danışman _____
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emek DERUN, Üye _____
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Suat YILMAZ, Üye _____
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Danışmanım Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Çoklu Döküm Alçı Kalıp Karakterizasyonu Ve Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Erman Levent TEMELKURAN

İmza

TEŞEKKÜR

Danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarım süresince beni yönlendiren, zamanını, ilgisini, bilgisini ve tecrübesini benden esirgemeyen değerli hocam Sn. Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI'ya,

Çalışmalarımız sırasında büyük desteğini gördüğüm, deneysel çalışmalarım süresince bilgisini ve ilgisini esirgemeyen, bizzat destek veren Sn. Aytunç ÜŞÜMEZOĞLU ve Sn. Hatice TÜRKÖZ'e,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan, her konuda en büyük desteği veren, sevgi ve ilgilerini esirgemeyen özverili annem İlknur TEMELKURAN'a, hayatın her yerinde ve her anında yol gösteren her zaman öğütlerini ve hayat tecrübelerini bana aktararak hayat görüşümün oluşmasını sağlayan babam Tamer TEMELKURAN'a, canım kardeşlerim Atilla ve Ece'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Erman Levent TEMELKURAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xvii
ÖZET xviii
ABSTRACT xx
1 Giriş **1**
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 5
2 Seramik **6**
2.1 Seramiğin Tarihçesi ve Tanımı 6
2.2 Seramik Üretimi 8
2.3 Seramiklerin Sınıflandırılması 11
2.3.1 Amaçlarına Göre Sınıflandırılmış Seramikler 11
2.3.2 Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırılmış Seramikler 11
2.4 Seramik Sağlık Gereçleri 12
2.4.1 Seramik Sağlık Gereçlerinde Kalite ve Standartlar 14
2.5 Dünyada Seramik Sağlık Gereçleri Sektörü 16
2.5.1 Üretim Yöntemi ve Teknoloji 16
2.5.2 Alçı Kalıplarda Batarya Döküm Yöntemine Geçilmesi 18
2.5.3 Alçı Kalıplarda Mekanize Döküm Yöntemine Geçilmesi 18
2.5.4 Alçı Kalıplara Alternatif Olarak Reçine Kalıplar 19

2.5.5 Sırlama Yöntemindeki Gelişmeler 21
2.5.6 Pişirim Yöntemindeki Gelişmeler 21
3 Alçı ve Alçı Kalıba Döküm Yöntemi İle Şekillendirme 22
3.1 Alçı 22
3.2 Alçı Kalıp 23
3.2.1 Alçı Kalıp Üretimi 25
3.2.2 Uygulamalar 29
3.2.3 Avantajları: 30
3.2.4 Dezavantajları: 31
3.3 Alçı Kalıp Bileşenleri 32
3.3.1 Alçı Taşı 32
3.3.2 Kalsiyum Sülfatın Özellikleri 35
3.4 Alçının Kullanım Alanları ve Sorunları 36
3.4.1 Alçı Kalıba Döküm Yöntemi 37
3.4.2 Bazı Seramik Firmalarının Alçı Kalıp Üretim Standartları 38
3.4.3 Alçı ile İlgili Sorunların Giderilmesine Yönelik Öneriler 40
3.4.4 Alçı Kalıp ile İlgili Sorunların Giderilmesine Yönelik Öneriler 41
3.5 Çoklu Döküm Alçı Kalıbı 43
3.5.1 Çoklu Döküm Yapılabilmesi İçin Kalıpta Aranan Özellikler 43
4 Kapilerite (Kılcallık Etkisi) 45
4.1 Kapilerite Etkisi 45
4.1.1 Yüzey Gerilimi 45
4.1.2 Temas Açısı 48
4.1.3 Kılcallık 49
4.1.4 Porozite 53
4.1.5 Kapiler Basınç 54

4.2 Alçının Kapilerite Etkisi 57
4.3 Alçı Kalıpta Su Emme Eğrisi 63
5 Alçı Kalıbın Kurutulması 66
5.1 Alçının Nem Yüzdesi 66
5.2 Alçı Kalıbın Kurutulma İşlemi 67
5.3 Alçı Kalıbın Kurutulmasını Etkileyen Parametreler 67
5.3.1 Alçı Kalıbın Döküm Sonrası Kurutulması 69
5.3.2 Kalıpların Bir Kurutucuyla Kurutulması 73
5.3.3 Basınçlı Havanın Kalıp İçerisindeki Damar Sistemine Girişi 74
6 Literatür Taraması 78
7 Deneysel Çalışmalar 82
7.1 Materyal ve Yöntem 82
7.1.1 Hammaddeye Uygulanan Fiziksel Testler 82
7.1.2 Hammaddenin Mikroyapı Karakterizasyonu 88
7.1.3 Hammaddenin Termal Analizleri 91
8 Deneysel Çalışmaların Değerlendirilmesi 96
8.1 Toz Alçıya Yapılan Hammadde Analizleri 96
8.1.1 Toz Alçının Minerolojik Analizi 96
8.1.2 Toz Alçının Termal Analizi 98
8.1.3 Toz Alçının Mikroyapı Analizi 101
8.2 Katkısız Alçı Kalıpların Karakterizasyonu 105
8.2.1 Katkısız Alçının Minerolojik Analizi 105
8.2.2 Katkısız Alçının Termal Analizi 109
8.2.3 Katkısız Alçının Mikroyapı Analizi 111
8.2.4 Katkısız Alçının BET Analizi 113
8.3 Alçı/Su Oranının Kalıp Dökümüne Etkisi 114

8.4 Katkılı Alçı Kalıpların Döküm Özelliklerinin Belirlenmesi.....123
8.4.1 Polimerik Porlu Katkı Malzemelerinin Döküm Özelliklerine Etkisi..123
8.4.2 Nano Kil Malzemelerin Döküm Özelliklerine Etkisi.....130
8.4.3 Akrilik Katkı Malzemelerinin Döküm Özelliklerine Etkisi.....135
8.5 Kalıp Özelliklerinin Ürün Kalite Kriterlerine Etkisi.....141
8.5.1 Kapiler Drenajlı Sistemli Kalıp Uygulamasının Döküm Özelliklerine Etkisi 141
9 Sonuç ve Öneriler **149**
Kaynakça **150**

SİMGE LİSTESİ

γ	Sıvı yüzey gerilimi katsayısı (J/m^2 ya da N/m)
θ	Temas açısı
ρ	Sıvının yoğunluğu (kg/m^3)
g	Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
r	Tüpün yarıçapı (m)
Q	Sıvının kapiler içerisindeki akışı
η	Sıvının viskozitesi
L	Kapiler içerisindeki sıvı kolonunun uzunluğu
c	BET sıcaklık sabiti
σ	Yüzey Gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

BET	Yüzey Alanı Ölçüm Cihazı (The Brunauer, Emmet and Teller)
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
FFC	Fine Fire Clay(Vitrifiye ürünlerinde kullanılan özel bir çamur türü)
Kıvam	Alçı/Su Oranı (Kütlece)
KS	Kapiler Kanallı Drenaj Sistemi
rpm	Round per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
SAM	Seramik Araştırma Merkezi
SEM	Scanning Electron Microscopy
TG	Termogravimetri
V	Çözelti hacmi
VC	Vitreous China (Vitrifiye ürünlerinde kullanılan özel bir çamur türü)
Yarımamül	Kalıptan çıkan henüz pişirime girmemiş şekillendirilmiş çamur halindeki vitrifiye
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
XRD	X-Işını Difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Antik Seramik Vazo 6

Şekil 2.2 18300 Yaşındaki Dünyanın En Eski Seramiği 7

Şekil 2.3 Alçı Kalıba Döküm Yöntemi 9

Şekil 2.4 Vitrifiye (Lavabo) Alçı Kalıbı 9

Şekil 2.5 Elle Şekillendirme Yöntemi 9

Şekil 2.6 Seramik Kalıbından Çıkan Vitrifiye Ürününün (Klozet) Şekillendirilmesi 10

Şekil 2.7 Seramik Sağlık Gereçleri Üretim Akış Şeması 16

Şekil 2.8 Alçı Kalıp Tezgahında Batarya (Shansk) Döküm Yöntemi 18

Şekil 2.9 Mekanize Alçı Kalıp Döküm Yöntemi 19

Şekil 2.10 Askılı Reçine Kalıp İle Döküm Yöntemi 20

Şekil 2.11 Yatık Reçine Kalıp İle Döküm Yöntemi 21

Şekil 3.1 Pişmiş Topraktan Yapılmış Birbiriyle Özdeş İki Kalıp Parçası 23

Şekil 3.2 Kapakları Kapatılıp Kurutmaya Yerleştirilecek Alçı Kalıplar 24

Şekil 3.3 Alçı Kalıpta Kek Oluşumu 24

Şekil 3.4 Alçı Hazırlama Kazanları Ve Alçı Hazırlama Ünitesi 25

Şekil 3.5 Teksir Kalıbın Alçı Dökümüne Hazırlanması 26

Şekil 3.6 Teksir Kalıba Alçı Dökümünün Yapılması 27

Şekil 3.7 Teksir Kalıp İçerisinde Alçı Kalıp Parçası 27

Şekil 3.8 İçerisindeki Hava Tesisatı İle Suyu Atılan Alçı Kalıp Parçası 28

Şekil 3.9 Kurutma Öncesi Bekleyen Alçı Kalıplar 28

Şekil 3.10 Alçı Kalıp Kurutma Fırınları 29

Şekil 3.11 Alçı Kalıp Döküm Tezgahları 30

Şekil 3.12 Alçı Kalıptan Çıkan Yarı Mamüller 31

Şekil 3.13 Alçı Kalıp Tezgahı – Şekillendirme 32

Şekil 3.14 Alçı Türleri 32

Şekil 3.15 Alçı Üretiminde Alçı Taşı Madeni İşletmesi 33

Şekil 3.16 Alçı Taşı 33

Şekil 3.17 Toz Alçı 34

Şekil 3.18 Kalıba döküm için Fazla Su İle Karıştırılmış Kalıp Alçısı 35

Şekil 4.1 Sıvının "Katı" Gaz Temas Açıları: (A) Hidrofilik Yüzey (<90) Burada Sıvının Yüzeyi Islatması Meydana Gelir ; (B) Hidrofobik Yüzey (> 90) Sıvının Yüzeyi İtmesi Meydana Gelir 48

Şekil 4.2 Sıvı Dolu Bir Tankta Kılcal Boru. (A) Su Seviyesindeki Basınç, (H) Seviyesindeki Sıvı Üzerindeki Kılcal Basınca Eşittir 50

Şekil 4.3 Bir Tuğlada Zaman Bağlı Kılcal Akış 50

Şekil 4.4 Su ve Civanın Cam Borudaki Kapilaritesi 51

Şekil 4.5 Üç Temel Por Türü 53

Şekil 4.6 Sıvı Kolonların Yüksekliğinin Ve Kapiler Basıncın, Tüplerin Çaplarıyla Orantılı Olduğunu Gösteren Çeşitli Çaplarda Kılcal Borular 55

Şekil 4.7 Islanma Açısı 90 ° Den Az Olan Küresel Yüzey Eğrisi 55

Şekil 4.8 Eğri Yarıçapı Ve İki Küresel Tane Arasındaki Sarkık Boşlukta Tutulan Su Şekline Ait Model 56

Şekil 4.9 Farklı Yarıçaplı Silindirik Borularda Kılcal Yükselme 57

Şekil 4.10 Alçı Kalıpta Kek Oluşumu 58

Şekil 4.11 Alçının Elektron Mikroskobunda 350x Büyütülmüş Kristal Yapısı 58

Şekil 4.12 Kapiler Çapının Bir Fonksiyonu Olarak Sıvının Aktarılması 60

Şekil 4.13 B Alçı Yapısının SEM Mikro Görüntüsü 61

Şekil 4.14 A Alçı Yapısının SEM Mikro Görüntüsü 61

Şekil 4.15 Farklı İki Alçı İle Hazırlanan Kalıpta Su Emme Eğrisi 63

Şekil 4.16 Farklı Kıvamda Hazırlanan Alçıların Kıvam-Kapiler İç Basınç İlişkisi 63

Şekil 4.17 Farklı Yoğunlukta Hazırlanan Alçıların Kıvam-Su Emme İlişkisi 64

Şekil 4.18 β-alçı (MG olarak işaretli) ve α-alçının (HG olarak işaretli) Su Emme Eğrilerinin Karşılaştırılması 65

Şekil 5.1 Alçı Reaksiyonuna Göre Su İhtiyacı 66

Şekil 5.2 Su/Alçı Oranına Bağlı Olarak Kurutma Zamanının Değişimi 68

Şekil 5.3 Nem Oranına Bağlı Olarak Su Emme Hızının Değişimi 68

Şekil 5.4 Nem Oranına Bağlı Basma Mukavemetinin Değişimi 69

Şekil 5.5 Kalıbın Döküm Sonrası Pervane İle Kurutulması 71

Şekil 5.6 Kalıp İçerisinde Hava Kanallarının Konumlandırılması 74

Şekil 7.1 Alçı Karıştırıcı 83

Şekil 7.2 Yayılma Çapı Halkası 84

Şekil 7.3 Yayılma Çapı Ölçümü 84

Şekil 7.4 Mukavemet Ölçümü 86

Şekil 7.5 Su Emme Analizi 87

Şekil 7.6 Su Emme Tartımı 87

Şekil 7.7 Shore Sertlik Ölçüm Cihazı 88

Şekil 7.8 Rigaku Miniflex 600 X-Işını Kırınım Cihazı 89

Şekil 7.9 Analizlerde Kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 90

Şekil 7.10 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışma Prensibi 90

Şekil 7.11 BET Yüzey Alanı Ölçüm Cihazı 91

Şekil 7.12 TG/DTA Analiz Cihazı 92

Şekil 7.13 Örnek DTA/DSC Eğrisi 92

Şekil 7.14 DTA Cihazının Şematik Görünümü 95

Şekil 7.15 DSC Cihazının Şematik Görünümü 95

Şekil 8.1 A1 Yarı Hidratının Mineralojik Analizi 96

Şekil 8.2 A3 Yarı Hidratının Mineralojik Analizi 97

Şekil 8.3 A2 Yarı Hidratının Mineralojik Analizi 97

Şekil 8.4 A1 Toz Alçısının TG/DTA Eğrisi..... 99

Şekil 8.5 A2 Toz Alçısının TG/DTA Eğrisi.....100

Şekil 8.6 A3 Toz Alçısının TG/DTA Eğrisi.....101

Şekil 8.7 A1 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 102

Şekil 8.8 A1 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 102

Şekil 8.9 A2 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 102

Şekil 8.10 A2 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 103

Şekil 8.11 A3 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 103

Şekil 8.12 A3 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 103

Şekil 8.13 A1 Dihidratının Mineralojik Analizi.....106

Şekil 8.14 A1 Dihidratının Mineralojik Analizi.....106

Şekil 8.15 A2 Dihidratının Mineralojik Analizi.....107

Şekil 8.16 A2 Dihidratının Mineralojik Analizi.....107

Şekil 8.17 A3 Dihidratının Mineralojik Analizi.....108

Şekil 8.18 A3 Dihidratının Mineralojik Analizi.....108

Şekil 8.19 A1-A2-A3 Dihidratlarının Karşılaştırılması.....109

Şekil 8.20 A1 Dihidrat Alçısının TG/DTA Eğrisi.....110

Şekil 8.21 A2 Dihidrat Alçısının TG/DTA Eğrisi.....110

Şekil 8.22 A3 Dihidrat Alçısının TG/DTA Eğrisi.....111

Şekil 8.23 A1 Dihidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 112

Şekil 8.24 A2 Dihidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 112

Şekil 8.25 A3 Dihidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü 112

Şekil 8.26 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Yayılma Çapına Etkisi 116

Şekil 8.27 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Donma Başlangıcına Etkisi 117

Şekil 8.28 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Donma Bitimine Etkisi 118

Şekil 8.29 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Mukavemet Değerine Etkisi 119

Şekil 8.30 A1 Alçısı Alçı/Su Oranının Su Emmeye Etkisi 121

Şekil 8.31 A2 Alçısı Alçı/Su Oranının Su Emmeye Etkisi 122

Şekil 8.32 A3 Alçısı Alçı/Su Oranının Su Emmeye Etkisi 122

Şekil 8.33 Seçilen Alçı/Su Oranında Alçı Tipi-Su Emme Karşılaştırması.....123

Şekil 8.34 Polimer Katkı Malzemesi İlavesinin Su Emmeye Etkisi.....126

Şekil 8.35 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi - Kuru Mukavemet İlişkisi 127

Şekil 8.36 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi İle Kuru Mukavemet İlişkisi 127

Şekil 8.37 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi İle % Su Emme İlişkisi 128

Şekil 8.38 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi İle Yarı Mamul Kalınlığı 128

Şekil 8.39 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi ile Yarı Mamul İç Sertliği 129

Şekil 8.40 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi ile Yarı Mamul Dış Sertliği 129

Şekil 8.41 A1 Alçısına ESAN Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi.....130

Şekil 8.42 A2 Alçısına ESAN Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi.....130

Şekil 8.43 A3 Alçısına ESAN Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi.....131

Şekil 8.44 ESAN Nano Kil Katkılı Alçıların Karşılaştırılmalı Mukavemet Analizi ...131

Şekil 8.45 ESAN Nano Kil Katkılı Alçıların Karşılaştırılmalı Toplam % Su Emme Analizi.....132

Şekil 8.46 A1 Alçısına YTÜ Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi 132

Şekil 8.47 A2 Alçısına YTÜ Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi 133

Şekil 8.48 A3 Alçısına YTÜ Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi 133

Şekil 8.49 Nanokil Katkı Malzemesi İlavesi Katkısız Alçı Mukavemet İlişkisi.....134

Şekil 8. 50 Nanokil Katkı Malzemesi İlavesi Katkısız Alçı Toplam % Su Emme İlişkisi 134

Şekil 8.51 Nanokil Katkı Malzemesi İlavesi – Katkısız Alçı Donma Başlagıç-Bitiş İlişkisi 134

Şekil 8.52 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Mukavemet Değerleri Karşılaştırılması 135

Şekil 8.53 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Su Emme Değerleri Karşılaştırılması ..135

Şekil 8.54 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Yayılma Çapı Değerleri Karşılaştırılması 136

Şekil 8.55 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Donma Başlangıç Değerleri Karşılaştırılması.....136

Şekil 8.56 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Donma Bitiş Değerleri Karşılaştırılması 137

Şekil 8.57 Katkısız Alçı Kalıbın Sem Görüntüsü.....137

Şekil 8.58 Katkısız Alçının EDS Analizi ile Kimyasal Bileşimi 138

Şekil 8.59 Akrilik Katkılı Kalıbın SEM Görüntüsü 138

Şekil 8.60 Akrilik Katkılı EDS Analizi.....139

Şekil 8.61 Akrilik Katkılı A1 Alçısının XRD Analizi.....140

Şekil 8.62 A1 Alçısı içeren Akrilik Katkılı Kalıbın Fiziki Görüntüsü 140

Şekil 8.63 Kapiler Kanallı Sistemin Kalıp Uygulamasının Arka Tezgah Görünümü 141

Şekil 8.64 Kapiler Kanallı Sistemin Kalıp Uygulamasının Ön Tezgah Görünümü ..142

Şekil 8.65 Kapiler Kanallı Sistemin Kalıp Uygulamasının 2. Dökümde Pinhole Hatası Gözlenen Ürün Analizi 142

Şekil 8.66 Kapiler Kanallı Sistem ve Normal Kalıp Uygulamasının 2. Dökümde Yarı Mamul İç-Dış Sertlikleri Karşılaştırması 143

Şekil 8.67 A1 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi.....144

Şekil 8.68 A3 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 144

Şekil 8.69 A1-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 145

Şekil 8.70 A3-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 145

Şekil 8.71 A1 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 146

Şekil 8.72 A3 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 147

Şekil 8.73 A1-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 147

Şekil 8.74 A3-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi 148

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Dünyada Önemli Seramik Sağlık Gereçleri Üreticileri 2

Tablo 2.1 Amaçlarına Göre Seramikler 11

Tablo 2. 2 Fonksiyonlarına Göre Seramikler 12

Tablo 2.3 Tobb Sanayi Veri Tabanı Üretim Kodları ISIC Rev. 2 13

Tablo 2.4 NACE ve ISIC Sınıflandırmasında Seramik Ürünleri 14

Tablo 3.1 Farklı Firmaların Kalıp Alçıları İçin Kabul Ettiği Fiziksel Özellikler 39

Tablo 4.1 Çeşitli sıvılar için sıvı-buhar ara yüzey gerilimleri 47

Tablo 5.1 Farklı Mamullerde Ve Döküm Tipinin Ağırlığına Göre Alçı Kalıp 69

Tablo 5.2 Çalışma Haftası Boyunca Bir Klozete Ait Alçı Kalıbın Ağırlığı 70

Tablo 8.1 Por büyüklüğü ve Kapiler Basınç Tablosu 104

Tablo 8.3 A1 Alçısı Çok Noktalı BET Sonuçları 113

Tablo 8.4 A2 Alçısı Çok Noktalı BET Sonuçları 114

Tablo 8.5 A3 Alçısı Çok Noktalı BET Sonuçları 114

Tablo 8.6 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Yayılma Çapına Etkisi 115

Tablo 8.7 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Donma Başlangıcına Etkisi 116

Tablo 8.8 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Donma Bitimine Etkisi 117

Tablo 8.9 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Mukavemet Değerlerine Etkisi 118

Tablo 8.10 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Kapiler Denge Basıncına Etkisi 120

Tablo 8.11 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Ağırlıkça Su Emmeye Etkisi 121

Tablo 8.12 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi – Su Emme Miktarı (gr) 124

Tablo 8.13 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi – % Su Emme 125

Tablo 8.14 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi – Kuru Mukavemet 125

Tablo 8.15 1. Döküm Ürün Kalite Kontrol Tablosu 146

ÖZET

Çoklu Döküm Alçı Kalıp Karakterizasyonu ve Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi

Erman Levent TEMELKURAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yasemen KALPAKLI

Seramik sanayisi hammadde kalite kontrolünden nihai seramik ürünün ortaya çıkışına kadar zorlu ve kompleks bir süreçtir. Seramik üretmek için çamuru şekillendirmede, döküm yöntemi kullanılır ve bu yöntemle sıvı haldeki çamur kapalı veya açık sistemli tek veya birden fazla parçalı kalıplar içerisine döküm yapılır. Kalıbın karakteristik özellikleri ilk ürünün kalitesini direkt olarak etkilemektedir. Bu bağlamda hem seri üretimi sağlayan ana üretim aracı olması hem de seramiğe tasarım şeklini veren asıl yapı olduğundan kalıp üretim süreci çok önemlidir. Bu süreçte çamur sıvı kıvamda olduğundan çamurun içerisindeki fazla suyun kalıba transfer edilerek atılması gerekir. Kalıbın su emme kapasitesinin ve kuru mukavemetinin belirli bir dengede tutulması çok önemlidir. Bu çalışmada 3 farklı tip alçı kullanılarak minerolojik ve mikro karakteristik farklılıkları belirlenmiştir. Su emme ve mukavemet değerlerini arttırmak amacıyla 4 farklı kıvam, 6 farklı polimerik katkı, 2 farklı nanokil ve akrilik ko-polimer katkısı ilave edilmiş, kalıbın kurumasını hızlandırmak için kalıp içi hava kanallı kurutma mekanizması uygulanmıştır. Bunlardan çoklu döküme uygun alçı karakteristiği belirlenmiştir. Sonuçlardan bir kısmı su emmeyi arttırıp mukavemetin üretim standartlarının altına düşmesine neden olmuştur. Mukavemeti düşürmeden

poroziteyi arttıran katkılardan nihai sonuç olarak A3 tipi alçıya akrilik katkı ve kapiler drenajlı sistem uygulamasının çoklu döküm için en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alçı, alçı kalıp, seramik, seramik çamuru, alçı kalıp kurutma

ABSTRACT

Multicasting Plaster Mold Characterization and Determination of Drying Parameters

Erman Levent TEMELKURAN

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Associate Prof. Dr. Yasemen KALPAKLI

The ceramic industry is a challenging and complex process from the quality control of raw material to the appearance of the final ceramic product. In order to produce ceramics, the casting method is used to form clay, and in this way the liquid clay is cast into single or multi-part molds with closed or open system. The characteristics of the mold directly affect the quality of the first product. In this context, mold production process is very important since it is the main production tool that provides mass production and it is the main structure giving the design shape of ceramic. In this process, as the clay is in liquid phase, the excess water in the clay must be transferred to the mold and disposed of. It is critical to keep the absorption capacity and strength of the mold in a certain balance. In this study, 3 different types of gypsum were determined by using mineralogical and micro characteristic differences. In order to increase the absorption and strength values, 4 different plaster ratio, 6 polymeric additives, 2 nanoclay and a acrylic co-polymer additives were added. Suitable gypsum characteristics for multiple castings were determined. Some of the results increased absorption and caused the strength to fall below production standards. Results without decreasing the strength, it has

been determined that the application of acrylic additive and capillary drainage system to A3 type gypsum is the most suitable method for multiple casting.

Keywords: Plaster, plaster mold, ceramic, ceramic clay, plaster mould drying

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

İlk çağlardan günümüze uzanan seramik teknolojisinin uygulama alanı genişlemiş ve seramiğin tanımı yeni boyutlar kazanmıştır. Seramik sağlık gereçleri yani vitrifiye ürünleri hijyen ve estetik anlamında eşsiz olmaları nedeniyle yaşam alanlarının vazgeçilmez gereksinimleridir. Emek yoğun bir üretim sürecine sahip olan seramik üretimi, günümüzde yalın üretim teknikleri ve 5s çalışmalarıyla beraber çok daha sade ve verimli bir sistem haline getirilebilmektedir. Yalın üretim tekniğinin entegre edilmesi ile birlikte işçilik maliyetleri azalırken, yapılacak iş adımlarının katma değer sıralarına göre operatörlere ayrılması kalite üzerine olumlu etki yaratmaktadır.

Seramik sağlık gereçleri üretiminde ilk aşama çamurun hazırlanması, ikinci aşaması ise şekillendirmedir. Üretilecek malzemenin cinsine ve şekline bağlı olarak, kullanılacak çamurun niteliği ve şekillendirme yöntemi de değişmektedir. Vitrifiye ürünlerinin neredeyse tamamı gerek şekillerinden ve gerekse cidarlarının ince ve bazı kısımlarının boşluklu oluşundan dolayı döküm yöntemi ile şekillendirilir [1]. Döküm yöntemi kullanılarak şekillendirme de ise farklı üstün özelliklerine sahip olmasından dolayı alçı kalıplar kullanılır. Bu anlamda vitrifiye ürünlerinin üretilmesinde ve şekillendirilmesinde kalıp alçısının özellikleri son derece önem taşımaktadır. Nitekim kalıp alçısının mukavemet, porozite, su emme gibi özellikleri üretim şartları ve ihtiyaçlarına göre farklı değerlerde olması istenebilir. Alçı kalıbın mukavemetinin arttırılması kalıbın döküm ömrünü yani bir kalıptan elde edilebilecek ürün sayısını arttırırken, porozitenin arttırılması ise kalıptan yarı mamülün daha kısa sürede alınabilmesini sağlamaktadır, bu da daha kısa sürede ürün elde etmek demektir. Kalıbın bu özelliklerinin istenilen şekilde kontrol edilebilir olması, seramik üretiminin kalitesine ve üretim maliyetine direkt olarak etki sağlayacaktır.

Türkiye'de Seramik sektörü; sanayi katma değer bakımından da ülkemizin başta gelen sektörlerindendir. Seramik sektörü, ülkemizin ekonomisinde yaklaşık olarak 26 bin doğrudan, 220 bin civarında dolaylı istihdam sağlamaktadır [2]. Seramik sektörünün; ülkemize döviz girdisi sağlayan, ihracatta öz kaynakları en çok kullanan ve ithal ürünlere bağımlılığı en az olan sektörlerden biri olarak yerli ekonomiye katkısı önemli bir pay elde etmiştir. Dünya genelinde sektörde öncü firmaların yıllık kapasite sıralamaları Tablo 1.1 de verilmektedir. Tablo 1.1 incelendiğinde toplam üretim adetlerinin yıllık 100 milyonun üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 1.1 Dünyada Önemli Seramik Sağlık Gereçleri Üreticileri [3]

	Firma Adı	**Menşe Ülke**	**Kapasite (Adet/Yıl)**	**Tesis Sayısı**
1	American Standart Companies INCC	ABD	28.000.000	23
2	Roca Grubu	İspanya	26.500.000	14
3	Sanitec Grubu	Finlandiya	16.100.000	9
4	Totto Corporation	Japonya	11.500.000	10
5	Kohler Group	ABD	9.500.000	7
6	Villeroy & Boch	Almanya	5.500.000	7
7	Cisa	Şili	5.500.000	3
8	Vitra-Eczacıbaşı	Türkiye	4.250.000	2
9	Civita Castellana*	İtalya	4.000.000	1
10	Rak Ceramics	BAE	2.900.000	3
11	Hindustan Sanitaryware	Hindistan	2.000.000	2
12	Duravit	Almanya	1.960.000	6
	Toplam		117.710.000	87

Not (*): Civit Castelana İtalya'da 30 üzerinde küçük orta boy şirketin oluşturduğu birlik.

Endüstriyel ölçekte seramik üretimine 1950'li yıllarda başlayan Türk seramik sektörü, son yıllarda büyük atılımlar göstermiş; özellikle 1990'lı yıllardan sonra

büyük bir gelişim içine girmiş; dünyanın önde gelen seramik üreticisi ve aynı zamanda ihracatçısı olmuştur. Türkiye, 2005 yılında dünya seramik üretimi kapasitesi bakımından Çin, İspanya, İtalya, Brezilya ve Endonezya'dan sonra altıncı, ihracatta ise, İspanya, İtalya, Brezilya ve Endonezya'dan sonra beşinci, ve Avrupa'da İtalya ve İspanya'dan sonra üçüncü ülke konumunda iken 2007 yılında dünyada üretilen toplam 180 milyon adet seramik sağlık gerecinin %10'u olan 18 milyon adet ile Avrupa'nın en büyük üreticisi ve 8.5 milyon adet ihracatı ile Avrupa'nın bir numaralı ihracatçısı konumuna yükselmiştir [3].

2018 verilerine baktığımızda Seramik sektöründe;

- Türkiye, Avrupa'nın üçüncü ve dünyanın altıncı en büyük seramik karo ihracatçı ülkesidir.
- Türkiye, 104 milyon m^2'yi aşan ihracatıyla dünyanın dördüncü büyük ihracatçı ülkesidir.
- Türkiye seramik kaplama malzemeleri sektöründe, dünya üretiminin %3,2'sini, Avrupa üretiminin ise %11'ini karşılamakta olup dünyadaki en büyük dokuzuncu üreticidir.
- Türkiye, 160 milyon m^2 civarındaki yurtiçi pazar büyüklüğü ile seramik karo tüketiminde dünyanın on birinci büyük pazarıdır.
- Türkiye, 21 milyon adet üretimi ile Avrupa'nın en büyük seramik sağlık gereci üreticisidir.
- Türkiye, 8 milyon adet ihracatı ile Avrupa'da en fazla vitrifiye ihracatı yapan ülkedir.
- Bugün seramik kaplama malzemesi üreten firmalar 113 ülkeye, sağlık gereci üreten firmalar 95 ülkeye ürünlerini ihraç edilmektedir.
- Türkiye, dünya seramik sofra ve süs eşyaları ihracatından %1 paya sahip olmakla birlikte daha çok Avrupa Birliği ülkelerine ihracat yapmaktadır [2].

Türkiye her geçen yıl, ihracat yaptığı ülkelerdeki pazar payını artırarak ve yeni pazar ile kalıcı ilişkiler kurarak kazandığı etkin başarılar ile dünyanın önde gelen ihracatçı ülkesi olma yolunda hızla ilerlemektedir. Türk firmalarının uluslararası pazar payının genişlemesi Türkiye'nin seramik üretiminde kullanılan ham maddeler bakımından zengin bir ülke olması, yetişmiş insan gücü ve önemli pazarlara coğrafi yakınlığı nedeni ile büyük bir hızla devam etmektedir. Bu olumlu

gelişmelere ve katma değerinin yüksek olmasına rağmen seramik sektörü şekillendirme yöntemlerinin, kullanılan aletler ve pişirme sistemleri ile kontrol yöntemleri ve enerji maliyeti gibi pek çok önemli sorunu bulunmaktadır. Türkiye'de enerjinin büyük bir bölümünün ithalat ile karşılanması ve enerji maliyetinin yüksek olması firmaların rekabet gücünü sınırlamaktadır [4].

Seramik sektörü, şekillendirme yöntemleri, kalıp hazırlanması ve efektif kullanımı, üretimde kullanılan alet ve ekipman, pişirme sistemleri ile denetleme yöntemleri gibi pek çok sistem parametresinin iyileştirilmesi ile de uğraşmaktadır. Döküm yöntemi ile biçimlendirilecek seramik çamurunun içindeki suyun alçı kalıp tarafından emilmesi ve aynı zamanda kalıbın mukavemetini kaybetmemesi, buna bağlı olarak kalıbın kullanım sayısı, yani kalıp ömrü, seramik ürünün kalitesi bakımından alçı kalıplarda aranılan en önemli özelliklerdir. Döküm yöntemi ile daha kısa sürede ve daha fazla sayıda kaliteli seramik ürün elde edebilmek, seramik sektörünün üzerinde önemle durduğu bir konu olmuştur. Döküm yöntemi ile şekillendirmede en yaygın olarak kullanılan alçı kalıpların kapiler su emme özelliğini, dayanımını ve ömrünü etkileyen etmenler :

- Alçının erken ve yavaş katılaşması, topaklanması, alçı içinde yabancı maddelerin bulunması,
- Alçının ve karma suyunun kalitesi, su/alçı oranı, karıştırma süresi, döküm miktarı ve süresi, kurutma koşulları, kalıbın biçimi ve boyutları,
- Döküm çamurunun içerdiği iyonlar, çamurun reolojisi ve kullanım koşulları,

olarak özetlenebilir [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada yapılan seramik alçı kalıbı literatür taramasından; seramiğin tarihçesi, günümüzdeki durumu, alçının kimyasal yapısı, üretimi ve kullanımı, uygulanmasındaki problemler ve çözümlere yönelik çıkarımlar özetlenmiştir. Alçı kalıbın mukavemeti, por yapısı ve absorbosiyon kapasitesi gibi karakteristik özelliklerin yanında, kurutma parametrelerinin belirlenmesinin kalıp ömrünü büyük bir ölçüde etkilediği görülmüştür. Alçı kalıbın özelliklerinin daha iyi noktalara gelebilmesi, istenen iyileştirmenin sağlanabilmesi için gerekli proses

koşulları, alçı kimyasal yapısı, katkı malzemeleri ve bu malzemelerin kullanım fraksiyonları ve etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın amacı, seramik sağlık gereçlerinin döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde kullanılan alçı kalıbın toplam döküm sayısını düşürmeden ve kalıptan çıkan yarı mamul kalitesini azaltmadan; kalıbın porozitesi (gözeneklilik oranı) ve su emme (absorpsiyon) özelliğini iyileştirerek, kalıptan yarı mamul alma zamanını düşürmektir. Böylece, ürünün hazırlanma süresi azaltılarak üretimin sürekliliği arttırılacaktır. Ayrıca ürünün birim maliyeti azaltılarak işletmenin kârlılık oranının yükseltilmesi hedeflenmektedir.

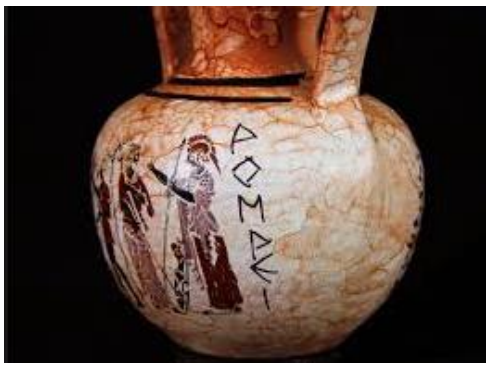
1.3 Hipotez

Bu çalışmada, döküm özelliklerini daha da iyileştirmek için seramik sağlık gereçleri üretiminde kullanılan kalıp alçısının özellikleri karakterize edilmiştir. por çapı ve yüzey alanı adsorpsiyon izotermleri ile incelenerek por çapı ve toplam por hacminin su emme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar en mukavim alçı olan A3 tipi, alfa alçı oranı yüksek alçının beklendiği gibi dayanımı yüksek fakat toplam por hacmi daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneylerle, bu alçı tipinin dayanımı düşürülmeden kalıptan alma süresinin arttırabileceği öngörülmüştür. BET analizleri sonucu alçıların por çapları tespit edildikten sonra döküme etkisi incelendiğinde por çapı büyüdükçe alçının mukavemeti azalmış, adsorpsiyon por hacimlerinde ise değişiklik gözlenmemiştir. Yine yüzey alanı yüksek olan alçının döküm özelliklerinde kalite kriterlerinde düşüşlerinin olduğu gözlenmiştir. Porozite düştükçe mukavemetin artmasından ötürü mukavemeti düşürmeden farklı yöntemlerle kalıp geçirgenliği arttırmak birden fazla döküm yapabilmeyi mümkün kılacaktır.

2
Seramik

2.1 Seramiğin Tarihçesi ve Tanımı

Grekçedeki "keramos" sözcüğünden gelen seramik, en kısa anlamda kökeni kil olan pişmiş malzeme olarak tanımlanır [1]. Seramik; uygarlığın erken dönemlerinde insanoğlunun günlük hayatına girmiş ve günümüze kadar kesintisiz olarak kullanımını devam ettirmiştir. Kimi kaynaklar, seramiğin tarihini insanlığın tarihiyle yaşıt kabul etmektedir. İnsanın var olduğu her yerde seramiğin izlerine rastlanmış, tarih boyunca birçok biçim ve işlevlerle günlük yaşamın içinde yerini almıştır. Çağlar boyunca uygarlıkların gelişimine ışık tutmuş, bulunduğu toplumun ekonomik, siyasal ve kültürel gelişiminin bir göstergesi olmuştur. Seramik üretimi; insanın uygarlığa yapmış olduğu en eski ve en kalıcı katkılardan biri olduğu kabul edilmektedir. Bu anlamda seramik; geçmişimizi daha iyi anlayıp değerlendirebileceğimiz bilgi ve kaynakları günümüze kadar taşımasıyla önemli bir amaç üstlenmektedir. Seramiğin gelişimi, ona şekil veren toplumun sosyo-kültürel ve ekonomik evreleriyle ilgili izler taşımaktadır. Bu nedenledir ki seramik, döneminin ve ait olduğu uygarlığın sanatına, kullandığı tekniklere ilişkin ipuçları veren en değerli tarihi belgeler arasında yer bulunmaktadır [6].



Şekil 2.1 Antik Seramik Vazo

Seramiğin ana malzemesi, su geçirmez killi toprak, balçık ya da çamurdur. Rahatlıkla her yerde bulunabilen ve kolayca şekil verilebilen bu basit malzeme, uygarlığın erken dönemlerinde insanoğlunun şekillendirdiği hemen hemen tek

plastik malzeme olmuştur. Temel bileşenleri çok sade olmakla birlikte, zamanla daha karmaşık malzeme ve yöntemlerin kullanılmaya başlanılmasıyla, seramik üretiminin ve sanatının imkânlarını heyecan verici boyutlara taşımıştır [6].

Toprak, endogen granit kayaların doğanın aşındırması ve ufalanması sonucu meydana gelmektedir. Toprağın her çeşidi seramik için uygun değildir. Kullanıma elverişli toprak, kildir. Kil, dünyanın ana maddesidir. Killerin plastik özellikleri nedeni ile şekillendirme imkânına sahip olmaları ve şekillerini pişirme sureti ile koruyabilmeleri esasına dayanan seramik endüstrisi, dünyanın en eski endüstrilerinden sayılmaktadır [7].

İnsanoğlunun ilk atalarının ortaya çıktığı dönem, günümüzden yaklaşık iki milyon yıl önce başlayan ve 10.000 yıl önce son bulmuş olduğu tahmin edilen, Paleolitik Çağ olarak kabul edilmiştir. Bu dönemin ilk el aletlerinin üretimiyle insanlaşma sürecine girişi temsil ettiği de düşünülmektedir. Ancak, verilen bu tarihlerin dünya geneli için geçerli olduğunu, fakat yerel olarak değişmeye açık bulunduğunu da belirtmek gerekmektedir [7].



Şekil 2.2 18300 Yaşındaki Dünyanın En Eski Seramiği [8]

Pişmiş seramiğin tarihçesi ise insanların ateşi keşfetmeleri ile başlamaktadır. Suyu taşımak ve muhafaza edebilmek için kaplar yapma gereksiniminden dolayı seramik doğmuştur. Yüzyıllar boyunca, kap-kacak yapımında, gerek eski çağlarda gerekse günümüzde yapı tuğlası üretiminde yararlanılan bir gereç olmuştur [3].

Seramiğin 8000 yıllık tarihine damgasını vuran bereketli Anadolu toprakları, asırlar boyunca birçok uygarlıklara kapılarını açmış, topraklarında farklı kültürleri

misafir etmiş ve insanlık tarihinin en önemli dönüşümlerine tanıklık etmiştir. Maya uygarlığından 4000 yıl, tarih öncesi Mısır'dan 1000 yıl önce, toprakla ateş, Anadolu'da Çatalhöyük bölgesinde buluşmuştur. Anadolu toprağı üzerinde, Neolitik çağdan Roma ve Bizans'a, Selçuklu ve Osmanlı'dan Modern Türkiye Cumhuriyeti'ne kadar uzanan tarih yolculuğunun her adımında yeni buluşlar, farklı formlar ve arayışlarla seramiğin izleri karşımıza çıkmaktadır [9]. Çanak-çömlek yapımının ilk kez nerede gerçekleştirildiğine dair kesin verilere ulaşamamakla birlikte, Anadolu ve Yukarı Mezopotamya'da birçok yerleşmede gerçekleştirilen arkeolojik kazılarda, İ.Ö. 6000'lere tarihlenen örneklerine rastlanmıştır. Bu anlamda, Anadolu topraklarının seramiğin anavatanı olduğunu düşünmek yanlış olmayacaktır [6].

Eski çağlardan günümüze kadar seramik teknolojisinde büyük gelişmeler olmuş, uygulama alanı genişlemiş, seramiğin tanımına yeni boyutlar kazandırılmıştır. Seramik üretiminin sabit veya taşıması zor fırınlara bağımlı oluşu ve seramik ürünlerin nispeten ağır, kırılgan bir yapıda olmaları nedeniyle, seramik üretimi göçebe toplumlarda nispeten daha az gelişmiştir. Bu nedenle yerleşik düzene geçmemiş toplumlarda seramik üretiminin gelişimini takip etmek zordur [6].

2.2 Seramik Üretimi

Seramik üretiminin ilk safhası hamurun hazırlanması, ikinci safhası ise hamuru şekillendirmedir. Üretilecek malzemenin cinsine ve şekline bağlı olarak, kullanılacak hamurun niteliği göre şekillendirme yöntemi de değişmektedir. Örneğin: sıhhi tesisat malzemelerinin birçoğu gerek şekillerinden gerekse cidarlarının ince ve bazı kısımlarının boşluklu olmasından ötürü döküm yöntemi ile şekillendirilir [1].



Şekil 2.3 Alçı Kalıba Döküm Yöntemi



Şekil 2.4 Vitrifiye (Lavabo) Alçı Kalıbı



Şekil 2.5 Elle Şekillendirme Yöntemi

İlk seramiğin M.Ö. 6000 yılında Anadolu'da üretildiği bilinmektedir. Çatalhöyük'teki kazılarda elde edilen seramik parçaları, aradan geçen 8000 yıl boyunca kendini koruyarak günümüze kadar ulaşmıştır [10]. Fakat 18300

yaşındaki dünyanın en eski seramiği, 1995 yılında Çin'de Yuchanyan Mağarası'nda bulunmasıyla seramiğin ilk üretimi ile ilgili değişiklikler gündeme gelmiştir. BBC kaynaklarına göre, tarihlendirme radyokarbon 40 testi ile gerçekleştirilmiş ve 18300 yaşında olduğu tespit edilmiştir. Tarih, sanat tarihi, arkeoloji kaynaklarında seramiğin, neolitik dönemin seramikli evresinde ilk kez ortaya çıktığı belirtilir. Neolitik dönemin M.Ö. 8000 yılına tarihlendiğini, seramiğin ise bu dönemde MÖ 6000'lerde ortaya çıkması gerekirken, Çin'de bulunan seramik örnek neolitik dönemden 8300 yıl daha geriye gitmektedir [8].



Şekil 2.6 Seramik Kalıbından Çıkan Vitrifiye Ürününün (Klozet) Şekillendirilmesi

Çatalhöyük ve Yukarı Mezopotamya'da yapılan arkeolojik kazılarda bulunan seramik kapları, Mısırlılar 1000 yıl, Çinliler 2000 yıl, Mayalar 4000 yıl sonra kullanmaya başlamışlardır. Bu nedenle Anadolu, seramik ve seramik gereçlerinin anavatanı olma unvanına sahip olmayı haketmistir [6, 11]. Seramik üretimi, Orta Asya'dan Anadolu'ya Selçuklular tarafından getirilmiş ve Osmanlılar döneminde İznik ve Kütahya da gelişmiştir [12]. Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında, çanak, çömlek, harman tuğlası gibi seramiklerin dışında üretim yapılmamış, kiremit bile Marsilya kiremidi adıyla Fransa'dan ithal edilmiştir. Ticari anlamda ilk seramik üretimi, Avrupa'da 18.yy. ortalarında endüstri devrimiyle başlamış, ülkemizde ise 1942 yılında Eczacıbaşı kahve fincanı üretimi ile başlamıştır [11, 3].

İnsanlık tarihi kadar eski ve köklü bir uğraş olan seramik üretimi, bilim ve teknolojinin üst noktaya ulaştığı günümüzde, günlük yaşantıdaki ürünler ile

endüstride, plastik sanatların bir dalı olarak da sanatta önemli bir konuma sahiptir. Bilimsel çalısmalar ile en fazla gelişen alanlardan biridir [13].

2.3 Seramiklerin Sınıflandırılması

Seramiklerin sınıflandırılmasında pek çok yaklaşım mümkündür. Seramikler kimyasal bileşim, mineral içeriği, üretim yöntemleri, özellikleri, fonksiyonları veya kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir.

2.3.1 Amaçlarına Göre Sınıflandırılmış Seramikler

Amaçlarına göre seramikler Tablo 2.1'de sıralanmıştır.

Tablo 2.1 Amaçlarına Göre Seramikler [14]

Elektronik	Yapısal Malzemeler	Kimyasal Parçalar	Refrakter Yapılar	Yapı Malz.	Geleneksel Ürünler
Altlıklar	Kesici takımlar	İyon değiştiriciler	Fırın astarları	Karolar	Sofra eşyaları
Çip Taşıyıcıları	Motor parçaları	Emisyon kontrolü	Reküpe-ratörler	Fayanslar	Sağlık malz.
Kapasitörler	Kaplamalar	Katalist destekleri	Potalar	Kil Ürünleri	Sanat seramikleri
Elektrotlar	İmplantlar	Gaz filtreleri	Filtreler	Çimento	
Ateşleyiciler	Lambalar		Isıtıcı elementler	Beton	

2.3.2 Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırılmış Seramikler

Fonksiyonlarına göre seramikler Tablo 2.2' de sıralanmıştır.

Tablo 2. 2 Fonksiyonlarına Göre Seramikler [14]

Fonksiyon	Sınıf	Kimyasal Bileşim
Elektriksel	İzolasyon Ferroelektrik Piezoelektrik Hızlı iyon iletimi Süper iletkenler	α-Al_2O_3, MgO, Porselen $BaTiO_3$,$SrTiO_3$ $PbZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ β-Al_2O_3, dop edilmiş ZrO_2 $Ba_2YCu_3O_{7x}$
Manyetik	Yumuşak ferrit Sert ferrit	$Mn_{0,4}Zn_{0,6}Fe_2O_4$ $BaFe_{12}O_{19}$, $SrFe_{12}O_{19}$
Nükleer	Yakıt Koruma kalkanı	UO_2, UO_2-PuO_2 SiC, B_4C
Optik	Işık hafızası Renkler	Dop edilmiş $PbZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$ Dop edilmiş-$ZrSiO_4$-ZrO_2-Al_2O_3
Mekanik	Yapısal refrakter Aşınma direnci Kesici takım Aşındırıcı Yapı	α-Al_2O_3, MgO, SiC, Si_3N_4, $Al_6Si_2O_{13}$ α-Al_2O_3, ZrO_2, SiC, Si_3N_4, Toklaştırılmış Al_2O_3 α-Al_2O_3, ZrO_2, TiC, Sialon, Si_3N_4 α-Al_2O_3, SiC, Toklaştırılmış α-A_2O_2, Sialon α-Al_2O_3-SiO_2, CaO-Al_2O_3-SiO_2, Porselen
Isıl	İzolasyon Radyatör	α-Al_2O_3, ZrO_2-SiO_2 ZrO_2, TiO_2
Kimyasal	Gaz sensörü Katalist taşıyıcı Eloktrotlar Filtreler	ZnO, ZrO_2, SnO_2, Fe_2O_3 $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$, α-Al_2O_3 TiO_2, TiB_2, SnO_2, ZnO SiO_2, α-Al_2O_3
Biyolojik	Yapısal protezler Çimentolar	α-Al_2O_3, Porselen $CaHPO_4$, $2H_2O$
Estetik	Sanat seramiği, çömlek Karo, beton	Beyaz pişen Seramik, porselen Beyaz pişen Seramik, CaO-SiO_2-H_2O

2.4 Seramik Sağlık Gereçleri

Seramik sağlık gereçleri; kil, kaolen, kuvars ve feldspat gibi inorganik maddelerin belirli oranlarda karıştırılarak akışkan bir çamur haline getirilmesi ve daha sonra

bu çamurun uygun yöntemlerle şekillendirilip 1200-1250 °C' de pişirilerek sertleştirilmesi suretiyle elde edilen ve su emme değeri %0,75'in altında olan ürünlerdir. Seramik sağlık gereçleri banyo, tuvalet, mutfak gibi alanlarda kullanılan lavabo, eviye, klozet, rezervuar, bide hela taşı, pisuar, duş teknesi vb. sırlı-sırsız, beyaz-renkli ürünlerin genel adıdır.

Bu ürünler ticari anlamda üç grupta toplanmaktadır:

a) **Tek Parça Ürünler:** Fiyatı göreceli olarak daha ucuz olup, gelir düzeyi düşük olan tüketicilere hitap eden ürünler.
b) **Takım Parça Ürünler:** Fiyatı daha yüksek olup, orta ve üst gelir gruplarına hitap eden ürünler.
c) **Aksesuar Parça Ürünler:** Takımları tamamlayan etajer, sabunluk, askı, tuvalet kağıtlığı, vb. ürünlerdir.

Seramik sağlık gereçleri "Ekonomik Faaliyetlerin Uluslararası Standart Sanayii Sınıflamasına dayalı İmalat Sanayii Madde Sınıflaması" Revize II'ye göre Taş ve Toprağa Dayalı Diğer Sanayii, Revize III'e göre, Metal Dışı Diğer Mineral Ürünlerin İmalatı, Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki sınıflaması NACE Rev. 1'e göre ise Metalik Olmayan Diğer Mineral Ürünler İmalatı ana sektörünün içinde yer almaktadır.

Ayrıca Türkiye Odalar Borsalar Birliği (TOBB) tarafından takip edilen sanayi veri tabanına göre yapılan sınıflama Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3 Tobb Sanayi Veri Tabanı Üretim Kodları ISIC Rev. 2 [3]

Kod	Ürün Adı
36	Metal Dışı Ürünler Sanayi (Petrolve Kömür Ürünleri Hariç)
361	Porselen, Çini, Seramik ve Diğer Topraktan Yapılmış Ürünler Sanayi
3610	Porselen, Çini, Seramik ve Diğer Ürünler
36100110	Banyo Küveti, Lavabo, Bide vb.

Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki sınıflaması ile Uluslararası Standart Sanayi Sınıflamasında Seramik ürünlerinin karşılıklı pozisyon numaraları Tablo 2.4 'de verilmiştir.

Tablo 2.4 NACE ve ISIC Sınıflandırmasında Seramik Ürünleri [3]

NACE	Ürünler	ISIC
26.2	İnşaat amaçlı olanlar hariç, ateşe dayanıklı olmayan seramik ürünleri imalatı; ateşe dayanıklı seramik ürünleri imalatı	269x
26.21	Seramik ev ve süs eşyası imalatı	2691x
26.22	Seramikten yapılan sıhhi ürünlerin imalatı	2691x
26.23	Seramik yalıtım malzemeleri imalatı	2691x
26.24	Teknik amaçlı diğer seramik ürünlerin imalatı	2691x
26.25	Diğer seramik ürünlerin imalatı	2691x
26.26	Ateşe dayanıklı seramik ürünlerin imalatı	2692
26.3	Seramik kiremit ve kaldırım taşı imalatı	269x
26.30	Seramik kiremit ve kaldırım taşı imalatı	2693x
26.4	Fırınlanmış kilden kiremit, briket, tuğla ve inşaat malzemelerin imalatı	269x
26.40	Fırınlanmış kilden kiremit, briket, tuğla ve inşaat malzemelerin imalatı	2693x

Seramik sağlık gereçleri DPT sektör sınıflamasında ise "İmalat Sanayii-Seramik, Kil, Taş ve Çimentodan Gereçler Sanayii-Ateşe Dayanıklı Olmayan Seramik ÜrünleriSağlık Gereçleri" alt ayırımında yer almaktadır. Seramik sağlık gereçleri sektörü ile ilgili olarak Gümrük Tarife ve İstatistik Pozisyon Numaraları (GTİP) cetvelinde iki ana grup mevcuttur. Söz konusu iki kategoriye ilişkin ayrıntılı sınıflama "69.10.10.00.00 Porselen olanlar" ve "69.10.90.00.00 Diğerleri" şeklindedir [3].

2.4.1 Seramik Sağlık Gereçlerinde Kalite ve Standartlar

Seramik sağlık gereçleri üretimi, teknolojideki yeni gelişmelerle birlikte büyük sıçramalar göstermektedir. Ülkemizde de seramik sağlık gereçleri alanında üretim ve kapasitelerde önemli artışlar gözlenmekte ve dünya pazarındaki payımız artmaktadır. Bunda da ülkemizde kurulan seramik sağlık gereçleri firmalarının standartlara uygun üretim yapmada gösterdikleri özenin önemli bir payı vardır. Ülkemizdeki firmaların birçoğu TSE ve ISO belgesine sahip olup, ürünlerinde kaliteye önem vermektedirler.

Seramik sağlık gereçlerinin standartlarda yer alan kriterlere uygunluğu bazı testlerle belirlenmektedir. Bu testlerin bazıları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Görünüş Özelliklerinin Muayenesi
- Yüzey Sertliği Testi
- Çarpmaya Dayanıklılık Testi
- Deterjana Dayanıklılık Testi
- Seyreltik Aside Dayanıklılık Testi
- Seyreltik Alkaliye Dayanıklılık Testi
- Su Emme Oranının Tayini Testi
- Sırın Zamanla Çatlamaya Dayanıklılık Testi
- Yükleme Testi
- Kağıdın Su ile Temizlenmesi Testi
- Katı Maddelerin Su ile Temizlenmesi Testi
- Hazne Yüzeyinin Su ile Temizlenmesi Testi
- Sırlı Yüzeylerin Aşınmaya Karşı Dayanıklılığı Testi
- Boyutların Muayenesi

ISO 9000 Serisi küçük, orta ve büyük ölçekli işletmelerden herhangi biri için uygulanabilecek kalite güvence standartlarını ortaya koymaktadır. ISO 9000 Serisi ürün standartlarını içermemekte, işletmenin iç maliyetlerini azaltmasına, etkinliğini ve verimliliğini arttırmasına katkıda bulunan, toplam kalite ve kalitenin sürekli iyileştirilmesiyle ilgili bir aşamadır. Standart ve kalitede malın üretim ve tüketim aşamasında çevre kirliliğine etkisi önemlidir. Gelişen tüketim bilinci çevreyi kirletmeyen teknolojilerin ürettikleri ürünlere yönelmekte, bu da ürün bazında rekabet avantajı sağlamaktadır. Çevre yönetim standartları konusunda ilk standart serisi ISO tarafından yayınlanmıştır. ISO 14001 etkin bir çevre yönetim sisteminin unsurlarını belirlemektedir. ISO 14001 bir kuruluşun çevre politikasını ve çevreyle ilgili hedeflerini belirlemesini, uygun koşulları oluşturmasını ve bunları göstermesini sağlar. Standartlara uygunluk, ihracatçı firmalara rekabet açısından bir avantaj sağlamaktadır.

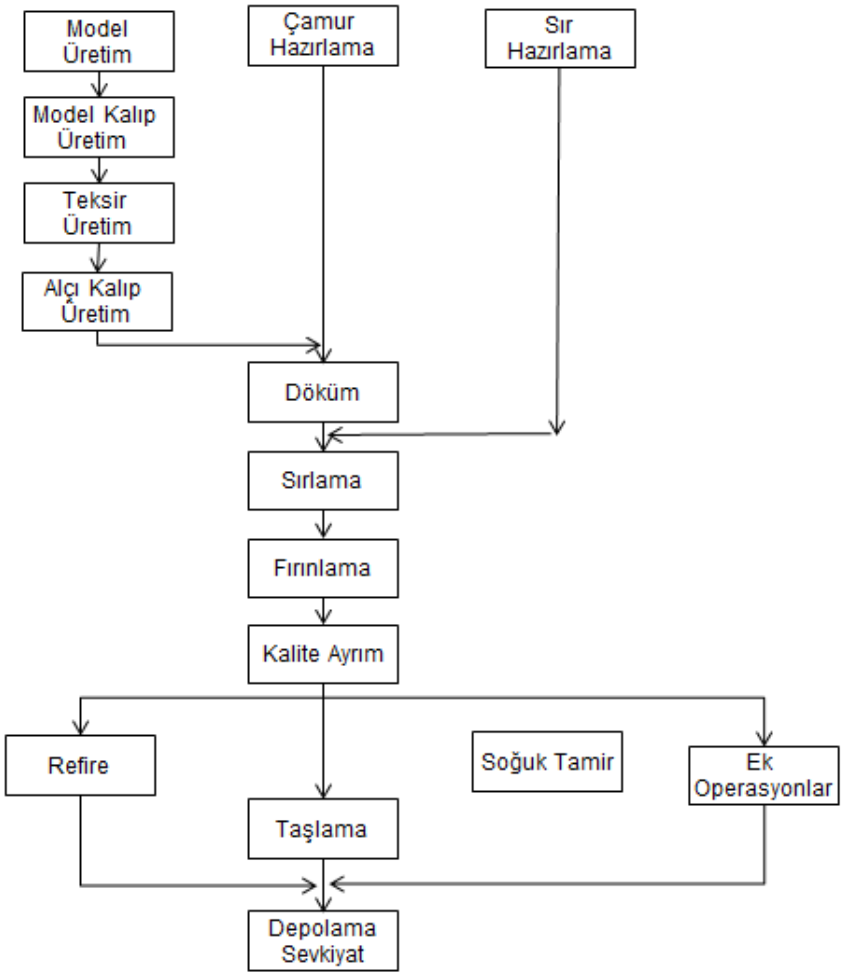
Öte yandan yatırım aşamasında, dünyada önemi gittikçe artan bir karar verme aracı olarak kullanılan Çevresel Etki Değerlemesi (ÇED) uygulamaları getirilmiştir. Bu anlamda yatırım yapılırken ‘ÇED Olumlu Belgesi’ ve ‘Çevresel Etkileri

Önemsizdir' şeklinde belgelerin alınması gerekmektedir. Taş-Toprak Sanayi alt grubu olan Seramik Üretim Tesislerinden havaya florlu gaz ve partiküller verilmektedir. Çevreyi kirleten bir sanayi olması itibariyle ÇED önem kazanmaktadır. Bu sektörde, atıkların sürekli ölçüldüğü ve kaydedildiği gaz ve toz izleme istasyonlarının mutlaka kurulması gerekmektedir [3].

2.5 Dünyada Seramik Sağlık Gereçleri Sektörü

2.5.1 Üretim Yöntemi ve Teknoloji

Üretim süreci; Şekil 2.9'da belirtildiği gibi masse (çamur) hazırlama, sır hazırlama, kalıp hazırlama, kalıplama, kurutma, sırlama ve pişirme gibi aşamalardan oluşmaktadır.



Şekil 2.7 Seramik Sağlık Gereçleri Üretim Akış Şeması

Seramik üretiminde ana hammaddeleri kil, kaolin, feldspat ve kuvars oluşturmaktadır. Seramik sağlık gereçleri üretiminde geleneksel üretim yöntemi döküm sistemidir. Bu sistemde sulu çamur alçı ya da reçine kalıplar içine dökülür, belirli bir süre içinde sulu çamurun suyu kalıp tarafından emilerek çamur dış cidardan içe doğru kalınlık alır. Sürenin bitiminde emilmemiş sulu çamur geri boşaltılarak şekillendirme gerçekleştirilir.

- **Çamur Hazırlama:** Kil, kaolen, feldspat gibi seramik ana hammaddeleri belirli bir reçeteye göre karıştırılıp, sulu bir şekilde değirmende öğütülerek seramik çamuru elde edilir.
- **Sır Hazırlama:** Kaplama seramiğini oluşturacak kaolen, kuvars, zirkonyum gibi seramik mineralleri yine belli bir reçeteye göre kırılıp öğütüldükten sonra seramik sırı elde edilir. Renkli ürünler için sıra boya ilave edilerek sır renklendirilir.
- **Kalıp Hazırlama:** Alçı ya da reçine kalıpların kullanıldığı tesislerde alçı ve diğer sağlamlaştırıcı, dondurucu malzemeler karıştırılarak ürüne şekil verecek kalıp parçalarının oluşturulması işlemidir.
- **Kalıplama:** Çamur hazırlama aşamasında istenilen kıvama getirilen çamurun, farklı döküm teknolojileri kullanılarak alçı veya sentetik reçine kalıplara dökülmek suretiyle şekilli gövdenin oluşturulması işlemidir. Kalıplarda yeterli et kalınlığına ulaşan gövdenin kalıbı sökülür ve kurumaya bırakılır.
- **Sırlama:** Kalıpta şekillendirilerek kurutulan yarı mamul gövde, sırlama bölümünde robot veya el ile sırlanır ve tekrar kurumaya bırakılır.
- **Pişirme:** Kuruyan sırlı yarı mamuller yaklaşık 1250º C civarında pişirilir. Fırınlardan pişmiş olarak çıkarılan ürünler kontrol edilir ve tamir edilebilir hatası olan ürünler tamir edilerek yaklaşık 1200º C sıcaklıkta ikinci kez pişirilir. Daha sonra isteğe bağlı olarak dekorlanması gereken ürünler dekorlama işleminden geçirilir ve kalite kontrole gönderilir. Kalite kontrol bölümünde sınıflandırılan ürünler mamul stok ambarlarında stoklanır.

Emek yoğun bir sektör olan seramik sağlık gereçleri üretiminde işçilik ve enerji maliyetlerinin yüksekliği sektörde teknolojiyi geliştirme arayışlarını hızlandırmaktadır. Nitekim son yıllarda bu çabalar olumlu sonuç vermiş, özellikle

AB ülkeleri üretim kademelerinde önemli teknolojik gelişmeler sağlamıştır. Bunların bir kısmı aşağıda verilmiştir [3].

2.5.2 Alçı Kalıplarda Batarya Döküm Yöntemine Geçilmesi

Alçı Kalıba döküm yönteminde batarya (Shanks) döküm ile birçok fayda sağlanmıştır. Şekil 2.8'de de gözüktüğü gibi bunlar:

- Birim alan ve kişi başına üretim miktarlarında artış sağlanmıştır.
- Kalıp kurutmaları sağlanarak günde birden fazla döküm yapma olanağı elde edilmiştir.
- Kalıp kurutma alanları azaldığı için kurutmada enerji tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 2.8 Alçı Kalıp Tezgahında Batarya (Shansk) Döküm Yöntemi

2.5.3 Alçı Kalıplarda Mekanize Döküm Yöntemine Geçilmesi

Alçı Kalıba döküm yönteminde mekanize döküm ile birçok avantaj sağlanmıştır. Bunlar:

- Shanks'e nazaran şekil 2.9'daki gibi daha kompleks parçaların toplu dökümüne izin verir.
- Tam anlamıyla el dökümün esnekliği ve batarya dökümün üretim hızı gibi iki sistemin avantajlı yanları raylı sistem üzerine kurulmuştur.

- Kalıplar sağa sola ve yukarı doğru hareket eder ve kurutma normal dökümhane ortamında yapılmaktadır.
- Kalıp hareketleri mekanik sistemle sağlandığı için belli seviyede otomasyon vardır.
- İşçilik el döküme göre daha az batarya döküme göre daha fazladır. Yine bu kalıplar aynı anda dökülür ve boşaltılır.

Kişi başı üretim miktarı el döküme göre daha fazla shankse göre azdır. Yine ürün başına gereken alan el döküme göre az batarya sistemine göre fazladır. Kalıpların kurutma sistemleri vardır. İlk yatırım maliyeti batarya dökümden de fazladır.



Şekil 2.9 Mekanize Alçı Kalıp Döküm Yöntemi

2.5.4 Alçı Kalıplara Alternatif Olarak Reçine Kalıplar

Alçı kalıpların günlük üretiminin kısıtlı olması ve kısa döküm ömürlerinden dolayı farklı materyaller ile arayışlar sonucu şekil 2.10 ve 2.11'de ki polimer bazlı reçine kalıplar kullanılmaya başlanmıştır. Bu kalıpların avantajları aşağıdaki gibidir:

- Kalıp kurutma ihtiyacı ortadan kalkmış, bunun sonucunda kurutma için harcanan enerji tasarruf edilmiştir

- Basınç altında döküm yapma olanağı elde edilmiş, buna bağlı olarak günlük döküm sayısı artmıştır.
- Şekillendirme sonrası ihtiyaç duyulan işçilik azalmıştır.
- Birim alanda üretim miktarı artmıştır.
- Döküm işlemi otomatik yapılabilir hale gelmiş ve döküm esnasındaki işçilik maliyetlerinde azalma ve zaman tasarrufu sağlanmıştır.
- Şekillendirme hataları azalmış, kalite artmış, fire düşmüş ve verimlilik artmıştır.

Buna rağmen alçı kalıbın kompleks ürünler üretimindeki esnekliği reçine kalıplardan daha fazla olduğundan bu kalıpların kısıtları devam etmekte, alçı kalıp vazgeçilmezliğini korumaktadır.



Şekil 2.10 Askılı Reçine Kalıp İle Döküm Yöntemi



Şekil 2.11 Yatık Reçine Kalıp İle Döküm Yöntemi

2.5.5 Sırlama Yöntemindeki Gelişmeler

Sırlamada robot kullanımı ve otomatik çalkalama yöntemleri geliştirilmiştir.

2.5.6 Pişirim Yöntemindeki Gelişmeler

Pişirmede dolaylı yanma yerine direk yanma olan fırınlar geliştirilmiş, enerji kapasite ve zaman tasarrufu sağlanmıştır.

Pişirim sonrası onarılabilir ürün hataları tamir edilerek II. Pişirim ile bu ürünlerin geri kazanımı sağlanmıştır.

Seramik sektörünün seramik kaplama sektöründen sonra ikinci büyük alt sektörü seramik sağlık gereçleri sektörüdür. Günümüzde dünyanın en önemli seramik saglık gereçleri üreticisi ülkeleri arasında olan Türkiye'de, bu alanda dokuz büyük, 35 kadar da küçük ölçekli firma faaliyet göstermektedir. Sektörün önde gelen firmalarından Eczacıbaşı (VITRA) ve Serel Seramik firmaları aynı zamanda dünyanın en büyük üretici firmaları arasında yer almaktadır. Eczacıbaşı 4.5 milyon parça/yıllık kapasitesi ile dünyanın tek çatı altında üretim yapan en büyük fabrikasıdır [3].

3

Alçı ve Alçı Kalıba Döküm Yöntemi İle Şekillendirme

3.1 Alçı

Alçı, iklimi kuru olan Akdeniz bölgesindeki Asur, Kalde, Fenike, Mısır ve Hititler gibi uygarlıklarda 6000 yıldan beri yapıda ve sanatta, harç ve sıva olarak çok yaygın kullanılmıştır [15].

Bağlayıcı malzeme olarak ilk kullanım örneklerine Mısır piramitlerinde derz harcı ve duvar sıvası olarak rastlanmaktadır. 1766 yılındaki Londra yangını alçı kullanımının geniş kitlelerce benimsenmesi bakımından bir dönüm noktası sayılabilir. Bu felaket sırasında ahşap yapıları koruduğu gözlenen alçının kullanımı Paris' te zorunlu hale getirilmiş, sıva alçısı "Paris alçısı (Plaster of Paris, CaSO4.1/2H2O)" veya ''Stucco'' olarak isimlendirilmiştir [13,14]. Fransa'da jips kimyasının 1755'de açıklığa kavuşması ve 1870'de alçı priz geciktirme metodunun bulunması ile alçı tüketimi gelişmeye başlamıştır [15].

Ülkemizde Selçuklulardan kalma eserlerde alçı kullanıldığı (Akşehir/Konya) bilinmekte, Erzurum'da alçı sıvalı 200 yıllık evlerin varlığı dikkate alındığında alçının oldukça eski tarihlerden beri alçı kullanıldığı anlaşılmaktadır [15].

Alçının kalıp yapımında kullanılması ile ilgili ilk tarihsel kayıt, 1545' de Piccolpasso'nun "Çömlekçi Sanatının Üç Kitabı" adlı eserinde ortaya konmuştur [15].

Senyor Vannuccio Beringuccio'nun "Pirotechnia" isimli 1540 yılında Venedik'te yayınlanmış kitabında çanların dökümü, iç mekanlara dekoratif dökümler ve heykeller ile ilgili olarak kalıp yapımı anlatılmaktadır. 1982 yılında Gazze Şeridi'nde yapılan arkeolojik kazıda, Şekil 3.1' de görülen M.Ö. 1300'lere ait olduğu düşünülen pişmiş topraktan yapılmış birbiri ile özdeş iki kalıp parçası örneğine rastlanmıştır. M.Ö. 5. yüzyılda kullanılmaya başlandığı sanılan alçı kalıplar, doğanın etkileri ve alçının suemme özelliğinden dolayı tamamen bozulmuştur [15].



Şekil 3.1 Pişmiş Topraktan Yapılmış Birbiriyle Özdeş İki Kalıp Parçası [16]

3.2 Alçı Kalıp

Alçı kalıba döküm kabuk döküm dahil diğer yöntemlerin çoğundan daha temiz, detaylı ve boyutsal hassasiyeti olan parçaların dökümünde kullanılan bir yöntemdir. Uygulanan dört alçı kalıba döküm yöntemi aşağıda verilmiştir. Dördüncüsü kendi başına bir yöntem olmakla beraber yaygın olarak kullanılışı nedeniyle ayrıca ele alınmıştır [17].

- Geleneksel alçı kalıba döküm yöntemi
- Antik prosesi
- Köpüklenmiş alçılı proses
- Alçı kalıpla plaka model dökümü [18, 19, 20, 21].

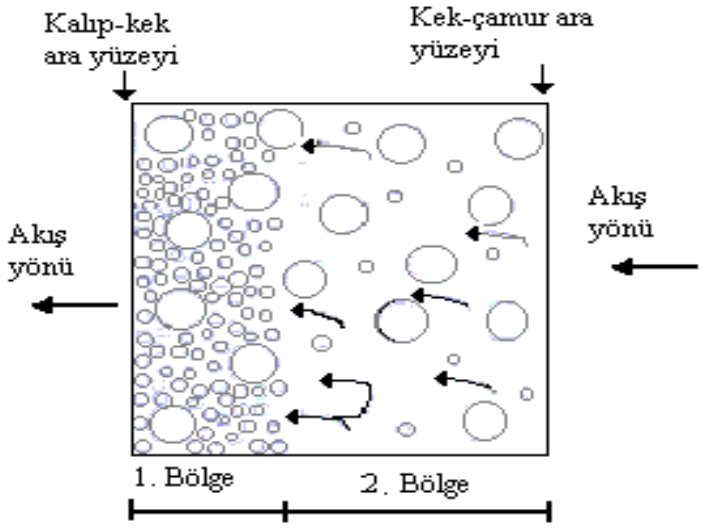
Seramik döküm/iş kalıbının üretilebilmesi için öncelikle bu kalıbın dökümünün yapılacağı model ve sonrasında teksir kalıbının hazırlanması gerekir.

Seramik üretiminde kullanılan geleneksel alçı kalıba döküm yönteminde, üretilen kalıplar Şekil 3.2'deki gibi kapakları açık halde son yüzey rötuş işlemleri yapıldıktan sonra fazla nemi uzaklaştırmak için kurutmalara yerleştirilir.



Şekil 3.2 Kapakları Kapatılıp Kurutmaya Yerleştirilecek Alçı Kalıplar

Alçı kalıbın uygun kurulukta olması, yani nem yüzdesi döküm çamurunun kalınlık alması açısından çok önemlidir. Döküm çamuru içerisinde bulunan su kalıbın kapiler etkisi ile porlar içerisine emilir ve Şekil 3.3 ' de gösterildiği şekilde kalıp üzerinde bir kek oluşmasına neden olur. Belirli süre sonunda bu kek oluşumu uygun kalınlığa gelerek seramik ürününü oluşturmaktadır.



Şekil 3.3 Alçı Kalıpta Kek Oluşumu

Kalıpların döküm sırasında su emme hızı, mikroyapı ve por boyutu tarafından kontrol edilir [18, 19, 20, 21].

Alçı kalıptaki kapiler basıncı sağlayan porların büyüklüğü0.5-2 mikron, toplam por miktarı % 40-45'tir.

Alçı kalıptaki kapiler emme basıncı 120-180 kPa' dır [22].

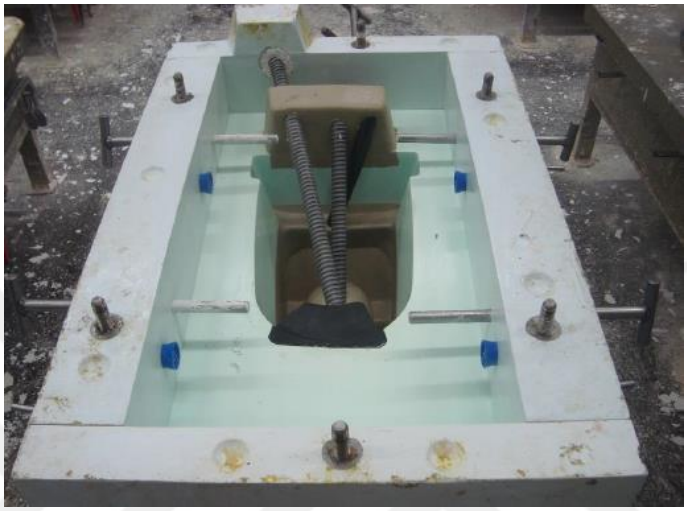
3.2.1 Alçı Kalıp Üretimi

Alçı çuvalları Şekil 3.4' de görülen alçı hazırlama ünitesine yüklenir ve oradan karıştırıcıya aktarılır. Karıştırma sürecinde karıştırma hızı belirlenen devir/dakika alçı kıvamı ise 1.30 ile 1.50 arasında değişmektedir. Bu değerler direk olarak alçının yüzde porozite miktarı ve pore çaplarını etkilemektedir. Standart olarak belirlenen bu değer 130-150 birim alçı için 100 birim su şeklindedir. Eğer alçı oranı bu değerlerden fazla olursa kalıbın su emme kabiliyeti azalırken kalıplar daha sert olur. Buna karşın su oranı artarsa, daha poroz bir yapıyla gelen yüksek su emme kabiliyeti ile kalıp mukavemeti düşer. Ayrıca su miktarı fazla olunca kuruma sırasında meydana gelen çatlaklar daha da büyümekte, çok fazla rötuş gerekmekte ve bazen meydana gelen çatlaklar rötuşla bile kapatılamamaktadır. Alçı yukarıdaki parametrelerle beraber su ile 2-4 dakika karıştırma işlemine tabi tutulduktan sonra döküm için hazır hale gelmektedir. Seramik üretiminde kullanılan alçının donma başlangıcı 15±2,5 dakikadır. Bundan dolayı alçının sepeleme süresi 3 dakika karıştırma süresi 4 dakika ve döküm süresi 4 dakika olmak üzere toplam 11 dakikada döküm işleminin tamamlanması gerekmektedir [23].



Şekil 3.4 Alçı Hazırlama Kazanları Ve Alçı Hazırlama Ünitesi

Teksir bölümünde önceden hazırlanan teksir takımları alçı kalıp üretim tezgahlarına getirilir ve döküm işlemi başlar. Döküm işleminden önce Şekil 3.5' deki teksir kalıbın iç yüzeyleri ayırıcı kimyasal ile silinerek alçının dökümden sonra teksire yapışması önlenmiş olur ve bu sayede alçı kalıbın teksirden çıkartılması kolaylaşır. Ardından büyük teksirlerin içine makaronlar ve etriyeler yerleştirilir.



Şekil 3.5 Teksir Kalıbın Alçı Dökümüne Hazırlanması

Makaron et kalınlığı yüksek ve büyük boyutlardaki alçı kalıplarının içindeki fazla suyu atmayı kolaylaştıran ve hızlandıran hava borularıdır. Etriye ise et kalınlığı ve boyutları yüksek kalıpta kompozit malzeme görevi görerek alçıyı bir arada tutmaya yarayan metal iskeletlerdir. Makaronların yerleştirilmesinin ardından teksir kapakları kapatılır ve alçı dökümcü beklenir. Alçı dökümcü Şekil 3.6' deki gibi sıra ile tezgahlardaki teksirlere alçı dökmeye başlar. Sıvı alçı teksirlere döküldükten sonra alçının özelliğine göre yaklaşık yarım saat içinde katılaşır ve mukavim hale gelir [23].



Şekil 3.6 Teksir Kalıba Alçı Dökümünün Yapılması

Teksir içinde katılaşan alçı kalıplar Şekil 3.7' da alçının donmasına müteakip, işçiler tarafından çıkartılır. Teksir kalıp içerisinden çıkartılan alçı kalıp parçaları yüzey pürüzsüzlüğü ve dolum esnasında çamur kaçaklarını önlemek adına elle metal aparatlar yardımı ile düzeltilir.



Şekil 3.7 Teksir Kalıp İçerisinde Alçı Kalıp Parçası

Teksir kalıptan çıkarılan kalıp parçaları işçiler tarafından toplanmadan önce makaronlu parçalara hava hortumları takılır. Bu tezgahta Şekil 3.8 'de görülen makaronlu parçalar yarım saat süresince hava yardımıyla bir çeşit hızlandırılmış

kurumaya tabi tutulur. Kurumanın ardından üretilen alçı kalıp parçaları işçiler tarafından birleştirilir ve kurutma işlemi için kurutucu bölmelere götürülür [23].



Şekil 3.8 İçerisindeki Hava Tesisatı İle Suyu Atılan Alçı Kalıp Parçası

Kalıplar Şekil 3.9' deki gibi paletler üzerinde istiflenerek kurutma fırınlarına taşınır. Burada kalıplar 40ºC-65ºC derecede ve %5-%10 nem oranı bulunan ortamda kurutulmaya bırakılır. Bu bölümde kurutmanın sıcaklık ve nem eğrisinin kontrolü alçının fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğramaması için önemli rol oynamaktadır [15].



Şekil 3.9 Kurutma Öncesi Bekleyen Alçı Kalıplar

Kurutma işlemi 96 saat sürmektedir. Kurutma bölümünde alçı kalıpların kapiler etki gösterebilmeleri için ağırlıkça içerisinde fazla bulunan %32'lik nemin %26'sını kaybetmesi istenir. Böylelikle %5-6 seviyelerinde sınırlı bölgede durulmuş olur.

Eğer 96 saat içinde bu sağlanamazsa ek sürelerle kalıbın istenilen kuruluk oranına gelmesi sağlanır. Kalıbın kurutulması sağlandığında, Şekil 3.10' da görülen kalıp kurutma bölmesinden çıkartılır ve çamur döküm işlemine kadar kalıp üretim bölümünde stoklanır [23].



Şekil 3.10 Alçı Kalıp Kurutma Fırınları

Kullanım ömrünün ortalama 80 ila 100 döküm olduğu alçı kalıplar, günde tek döküm yapılması durumunda 80 ila 100 gün arasında, çift döküm olması durumunda da 50 gün kullanılabilir. Döküm ömrü dolan alçı kalıplar toplanır ve geri dönüşüm olarak çimento fabrikalarına satılarak bir hurda getirisi elde edilir [23].

3.2.2 Uygulamalar

Yüzey işlenmesine ihtiyaç duymayan kompresör tekerleri, pervaneler, elektronik sanayinde değiştiricilerde kullanılan parçalar, süs eşyaları ve vitrifiye ürünleri şekil 3.11'da görüldüğü gibi alçı kalıba döküm yöntemiyle imal edilirler. Bu parçaların diğer yöntemlerle dökümü yüksek işleme masraflarına yol açacaktır.

Alçı kalıba dökülen parçaların %90'ının 10 kg'dan hafif olmasına rağmen 35 kg'a kadar parçalarında yaygın olarak bu yöntemle döküldüğü bilinmektedir. Yöntemin kapasitesi hakkında bir fikir edinmek için 2 ton ağırlığına yaklaşan bir parçanın bile bu yöntemle dökülmüş olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.11 Alçı Kalıp Döküm Tezgahları

3.2.3 Avantajları:

- Alçının yapısı gereği donma bitiminde döküm yüzey kalitesi 50-125 RMS [17] düzgünlüğünde elde edilebilir. Esnek lastik modeller ve mum modeller kullanılarak Şekil 3.12' de görülen klozet ürünleri gibi en karışık şekiller bile imal edilebilir.
- Parçaların boyutsal hassasiyeti hassas döküme yaklaşacak derecede iyidir.
- Alçının yalıtımı özelliği nedeniyle 0.5 – 1mm kesitler bile dökülebilir.
- Yavaş soğuma çarpılmayı engeller ve tam biçimli bir yapı ve mekanik özellikler meydana getirir.
- Yöntem, soğutucu kullanmaya ve dolayısıyla kalıpta iyi bir sıcaklık gradyantının kontrolü ile katılaştırmayı yönlendirmeye çok elverişlidir [18, 19, 20, 21].



Şekil 3.12 Alçı Kalıptan Çıkan Yarı Mamüller

3.2.4 Dezavantajları:

- Uzun kalıplama süresi ve kalıp malzemesinin yeniden kullanılamaması nedeniyle pahalı bir yöntemdir.
- Kalıplama işleminde bir çok yöntemden daha fazla cihaza ihtiyaç vardır.
- Uzun işlem süresi dolayısıyla Şekil 3.13' de görüldüğü gibi mamul sayısını arttırmak için birden fazla modele ve kalıplama düzeneğine ihtiyaç duyulur.
- Köpüklü alçılı proses dışında kalıpların geçirgenliği düşük olduğundan geçirgenliği sağlamak için doldurma sırasında basınç veya vakum uygulanması gerekebilir [18, 19, 20, 21].



Şekil 3.13 Alçı Kalıp Tezgahı – Şekillendirme

3.3 Alçı Kalıp Bileşenleri

Tüm alçı kalıplama şekillerinde gerek kalıp gerekse maça yapımındaki başlıca kalıp bileşeni alçı yani CaSO4 dır. Alçı aşağıda ifade edildiği gibi üç farklı şekilde bulunabilir ve ticari adlandırmada her üçünün adı da alçıdır.



Şekil 3.14 Alçı Türleri [15]

3.3.1 Alçı Taşı

Şekil 3.13' de görüldüğü şekilde ham olarak üretim tesisine gelen Alçı taşı, jips mineralinden oluşan tek mineralli bir tortul taştır. Piyasada, kalıp alçısı, dişçi alçısı ve kartonpiyer alçısı adı ile farklı özellikte alçılar bulunmaktadır. Kalıplık alçılar alfa (α) tipi, kartonpiyerlik alçılar ise beta (β) tipi alçı olarak anılır.



Şekil 3.15 Alçı Üretiminde Alçı Taşı Madeni İşletmesi

TS 7809' da seramik sanayinde kalıp ve model yapımında kullanılan alçı, Şekil 3.16' da görülen alçı taşının öğütülür. Sonrasında döner fırın, kazan veya otoklav denilen basınçlı kaplarda yaklaşık 120–200 ºC' de kalsine edilmesi ile elde edilen ve %85' den az olmamak üzere saf $CaS0_4.2H_2O$ ihtiva eden, su ile karıştırıldığında hidrolik özellik gösteren bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [15]. Alçı taşının suyunun uçurulması (1) ve (2) reaksiyonlarında görüldüğü gibi iki safhada gerçekleşir ve bu olaya dehidratasyon denir. Birinci safhada oluşan maddeye yarım hidrat denir ve bu yarım hidrat, alçının hammaddesini oluşturur. İkinci safhada oluşan madde ise anhidrittir [15].



Şekil 3.16 Alçı Taşı

$$CaSO_4.2H_2O \rightarrow CaSO_4.1/2H_2O + 3/2H_2O \quad (1)$$

$$2(CaSO_4.1/2H_2O) \rightarrow 2CaSO_4\ (III) + H_2O \quad (2)$$

Yarım hidratın α ve β olmak üzere iki farklı formu vardır; α yarım hidrat, iğne yapılı kristallerden, β yarım hidrat ise pirinç tanelerine benzer kristallerden oluşur. α yarım hidratının basınç dayanımı, çekme dayanımı ve aşınmaya karşı dayanıklılığı, β yarım hidratına göre çok daha iyidir, daha az suya ihtiyaç duyar. β yarım hidratının katılaşma süresi α yarım hidratına göre uzun, yoğunluğu daha düşük, hidratasyon ve yüzey enerjisi daha yüksektir, daha fazla suya ihtiyaç gösterir [15].

Şekil 3.17' de görülen toz alçı su ile karşılaşınca, ısıtma ile çıkan kristal suyunu tekrar bünyesine alarak katılaşır ve bu olaya hidratasyon denilir.

$$CaSO_4 1/2H_2O + 3/2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O \quad (3)$$

$$CaSO_4\ (III) + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O \quad (4)$$



Şekil 3.17 Toz Alçı

Alçı hamurunun Şekil 3.18' de görülen akıcı kaldığı sürenin sonu "işleme süresi", katılaşmanın başladığı an "priz başlangıcı", katılaşmanın bittiği an ise "priz sonu" olarak adlandırılır. Alçı katılaştıktan sonra belirli bir sıcaklık artışı gösterir ve su ile yaptığı reaksiyon sona erer. Bu ana hidratasyon sonu denilir [15]. Türkçede toz haldeki bağlayıcı ham malzeme ve hamurun veya harcın katılaşması ile elde edilen malzeme için "alçı" kelimesi kullanılmaktadır. Bazı batı dillerinde ise bu iki malzeme için ayrı kelimeler kullanılmaktadır [15].

Alçı taşı 1999 yılı sonuna kadar maden kanunu kapsamında olmadığı için Türkiye'deki alçı taşı rezervleri sistematik şekilde incelenmemiştir. Ancak VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı Alçı Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda tahminlere dayalı olarak görünür rezervin 165 milyon ton, görünür ve muhtemel rezervin ise 1,8 milyar ton olduğu belirtilmiştir [24]. Alçı üretim tesislerinin coğrafi olarak dağılımına bakıldığında alçı taşı yataklarının genelde İç Anadolu, Güney ve Doğu Anadolu'da yoğun, batı bölgelerinde ise daha az olduğu söylenebilir [24].

Ülkemizde 2003–2007 yılları arasında alçı üretim artışı %10 seviyesinde olmuştur. 2007 yılında ülkemizde yapı alçısı üretim miktarı, yaklaşık 600 bin tonu ihracat olmak üzere 2,5 milyon tondur. Türkiye'nin alçı ihracatı sürekli bir artış eğilimi içerisindedir [24].



Şekil 3.18 Kalıba döküm için Fazla Su İle Karıştırılmış Kalıp Alçısı

Alçı kalıp ve maça yapımı proseslerinin hepsinde ana malzeme kalsiyum sülfattır. Yaş ve kuru dayanım (mukavemet) geçirgenlik, dökülebilirlik gibi kalıp özelliklerinin geliştirmek için alçıya ayrıca çimento, talk, cam yünü, kum, kil, perlit ve kül gibi malzemeler katılır.

Maçalar genellikle kalıpla aynı malzemeden yapılmakla beraber kabuk kalıplama ve kum kalıplama yöntemleriyle de yapıldıkları olur [18, 19, 20, 21].

3.3.2 Kalsiyum Sülfatın Özellikleri

Kalsiyum sülfat, ikisi sulu ve biri susuz üç şekilde bulunur. İki sulu $CaSO_4.2H_2O$ haline alçı denir. Denge sıcaklığı 128°C'ın üzerine ısıtıldığında suyun ¾ ünü kaybederek piyasada satılan yarı sulu alçı ($CaSO_4.1/2H_2O$) (Plaster of Paris) haline dönüşür. Aynı şekilde bu bileşim 163°C ın üzerine ısıtıldığında kalan suyu da kaybederek kalsiyum sülfat halini alır. ($CaSO_4$). Bu sıcaklıklar laboratuvarlarda, denge koşullarındaki sıcaklıklardır. Sulu bileşiklerin oluşması geniş çapta buhar basıncına bağlıdır. Uygulamada denge sıcaklıklarının üzerindeki sıcaklıklarda çalışılır.

100°C ın altındaki nemli ortamda 163°C ta oluşan susuz (anhydride), su soğurarak (absorblayarak) yarı sulu hale gelecektir. 540°C'ın üzerinde ısıtılarak suyu

uçurulmuş alçı suyu daha yavaş soğurur. Aynı şekilde alçı (yarı sulu), suyla karıştırıldığında birkaç dakika içerisinde iki sulu haline gelir. Bu tepkimeye priz (setting) adı verilir. 100°C altında nemli havada iki sulu hale geçiş yavaş olur.

Alçı kalıp yapımında, alçı suyla karıştırılarak bulamaç haline getirilir. Bulamaç hemen model veya maça kutusu içine dökülür. Burada sertleşerek alçı ve bütün kalıba dağılmış serbest su halini alır.

Bundan sonraki işlem fazla suyu uzaklaştırmak için alçıyı kurutmaktır. Kalıplama tekniğine bağlı olarak çeşitli ısıtma sıcaklıkları uygulanır. Şayet ayırıcılar ve mumlar kullanılırsa sıcaklığın bunları da uzaklaştıracak kadar yüksek olması gerekir.

Alçı kalıpların düşük ısı kapasitesi sebebiyle bu kalıplara dökülen parçaların soğuma hızları düşüktür. Yavaş soğuma çok ince kesitlerin ve detayların dökülebilmesine olanak sağlamakla beraber dökümle kalıp bozma arasındaki sürenin uzamasına ve parçada düşük dayanıklılığa yol açar ki bu kısmen soğutucularla önlenmeye çalışılır [18, 19, 20, 21].

3.4 Alçının Kullanım Alanları ve Sorunları

Alçı, jips mineralinin doğada bol bulunması ve maliyetinin düşük olmasından dolayı günümüzde yapıda farklı uygulamalarda kullanılır. Bunun yanı sıra yapı ürünlerinin üretiminde ve tıpta, seramik endüstrisinde vitrifiye ve sofra eşyası gibi ürünlerin döküm yöntemi ile şekillendirilmesi için kullanılan kalıpların hazırlanmasında ve alçı taşı olarak çimentonun priz süresinin ayarlanması amacı ile çimento üretiminde kullanılmaktadır [15].

Alçı taşının %5'i tarımda, %10–15 kadarı endüstriyel amaçlı uygulamalarda, geri kalanının tamamı inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Alçı sektörü, sorunlarını aşabilmek ve uluslararası alanda yerini alabilmek için 1995 yılında Türkiye Alçı Üreticileri Derneği çatısı altında toplanmış, Avrupa Alçı Üreticileri Derneği'nin (Eurogypsum) asli üyesi olmuştur.

Sektörün ürettiği mallar (901162) GTIP numarası ile anılmaktadır. Alçı taşı ve alçı, kullanılış yerine ve özelliğine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [15]:

- Alçı taşı; tüvenan alçıtaşı, inceltilmiş alçıtaşı,

- Kalıp alçısı; teksir kalıbı alçısı, porselen kalıbı alçısı, seramik kalıbı alçısı, kiremit kalıbı alçısı,
- Tıpta kullanılan alçı; dişçi alçısı, ortopedik alçı,
- İnşaat sektöründe kullanılan alçı ve türevleri; inşaat alçısı, kartonpiyer alçısı, saten perdah alçısı, perlitli sıva alçısı, makine sıva alçısı, derz dolgu alçısı, yapıştırma alçısı, dolu gövdeli alçı duvar bloğu, iki yüzü kartonlu alçı plaka v.b.,
- Kimya sanayisinde kullanımı; alçı taşının tarımda gübre olarak kullanılan amonyum sülfata çevrilmesi, anhidrit ve alçı kullanılarak sülfürik asit üretiminde kullanılmaktadır [15].

Olumlu özellikleri nedeni ile kullanım alanı geniş olan alçının çabuk veya yavaş katılaşması, topaklanması, alçı ve karma suyu içinde yabancı maddelerin bulunması [25]gibi sorunları da vardır, bu sorunların çözümü için aşağıda belirtilen önerilerin dikkate alınması gerekir.

- Alçı çok iyi muhafaza edilmeli, rutubetsiz ortamda depolanmalı, stoktaki alçı paketleri on sıradan fazla olamayacak şekilde istiflenmeli ve kirlenmiş veya kirletilmiş alçı kullanılmamalı.
- Suda bulunabilecek yabancı maddelere dikkat edilmeli, yoğurmada ılık su kullanılmalı.
- Hamur, hızlı ve yeterli sürede karıştırılmalı, karıştırıcı aletlerinin temizliğine dikkat edilmeli.

3.4.1 Alçı Kalıba Döküm Yöntemi

Döküm yöntemi, seramik sağlık gereçlerinin, tornada şekillendirilemeyen parçaların, bazı özel ateş tuğlaların, pres kalıplarının yapılması zor olan parçaların, alçı kalıp üzerine sıvamakla şekillendirilemeyen tabakların, çaydanlık, kase gibi sofra takımları, biblo, vazo gibi süs eşyasının şekillendirilmesinde tercih edilir [26, 27]. Eski bir zanaat olan döküm yöntemi, seramik endüstrisi için önemli bir kolloidal süreçtir ve alçı kalıba döküm, en önemli şekillendirme yöntemlerinden biridir. Akıcı kıvamdaki seramik çamurunun birden fazla sayıda parçalı alçı kalıplara dökülmesi suretiyle yapılan şekillendirmelerde ayrıntıların temiz olarak üretilebilmesi için kalıp çok büyük bir öneme sahip olduğundan döküm yönteminde alçı kalıp, porlu yapısı ile en uygun kalıp malzemesidir. Alçı kalıpların

en önemli özelliği, dayanıklı ve yüzeyinin pürüzsüz olması, pişirme gerektirmemesi, kısa sürede hazırlanması, genleşmenin yaklaşık %0,17 gibi düşük değerde olması ile kalıpların boy değişiminin dikkate alınmayacak kadar az ve maliyetinin düşük olmasıdır. 18. yüzyıldan sonra genel olarak sodyum silikat ve sodyum karbonat karışımlı deflokülantların geliştirilmesi ve döküm çamurunun daha kullanışlı hale getirilmesi ile seramik sektöründe dökümle şekillendirme yöntemi gelişmiş, Fransa'daki Sevres Fabrikasında 1814'den itibaren seramikler döküm yöntemi ile şekillendirilmeye başlanmış dolayısı ile alçı kalıpçılığı önem kazanmıştır [15].

Ülkemiz ekonomisi için bu kadar önemli olan seramik sektöründeki seramik çamurunun şekillendirmesinde kullanılan alçı kalıp üretiminde; teknik özellikleri ve ömrünün uzun olması gibi nedenler ile metal, seramik ve sentetik reçine esaslı kalıp malzemeleri geliştirilmiş olmasına karşın alçı kalıplar tercih edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [28].

3.4.2 Bazı Seramik Firmalarının Alçı Kalıp Üretim Standartları

Üretilecek seramik ürünün biçimine ve cinsine göre döküm kalıpları; tek parçalı, iki parçalı veya çok parçalı olabilir. Seramik çamuru, tek cidarlı kalıpta açık veya çift cidarlı kalıpta kapalı döküm yöntemi ile şekillendirilebilir [29]. Türkiye'de ve Amerika'da bazı firmaların kalıp üretiminde kullanılan alçılara ait standartlar Tablo 3.1' de verilmiştir [15].

Tablo 3.1 Farklı Firmaların Kalıp Alçıları İçin Kabul Ettiği Fiziksel Özellikler [30, 31, 32, 33]

Fiziksel Özellikler		Türkiye			USG			
		A	B	C	1	2	3	4
Su / alçı oranı		0,7	0,5-0,66	0,25-0,80	0,62	0,66	0,7	0,74
Katılama Başlangıcı (dk)		12-15	10-13	14-20	-	-	-	-
Katılaşma Sonu (dk)		30-35	26-34	-	-	-	-	-
Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)		Min 5	6,9-12	-	-	-	-	-
Basınç Dayanımı (MPa)		Min 12,5	16,29	11,5-90	-	-	-	-
Su emme (ağırlıkça, %)		38	20,5-34	5-46	30	35	36	41
Yüzey sertliği (Shore)		60	38-69	-	-	-	-	-
Yayılma çapı (mm)		180-200	-	200-220	-	-	-	-
İncelik min %	0,2 mm Elekte kalan	0,00%			-	-	-	-
	107 mikron elekten geçen		97-98,5		-	-	-	-
Max. Genleşme %		-	0,16-0,24	0,08-0,46	0,22	0,21	0,21	0,19
1 Saat Dayanım (MPa)		-	-	-	8,8	8,2	6,8	5,8
Kuru Dayanım (MPa)		-	-	-	19,7	18,4	16,3	12,2
Yoğunluk (g/cm^2)	Islak	-	-	-	1,64	1,62	1,58	1,56
	Kuru	-	-	-	1,2	1,15	1,1	1,06

Seramik ürünün döküm yöntemi ile şekillendirilmesinde kullanılan alçı kalıpların hazırlanması için öncelikle ürün tasarımı ve kalıbının CAD/CAM çizimleri yapılır. Daha sonra prototip olarak bir kalıp üretilir ve bu model kalıp olarak adlandırılır. Model kalıbın gözden geçirme aşamasını geçmesinin ardından döküm yöntemile ile kalıbı kopyalamak için model kalıbın teksir kalıbı hazırlanır.

Teksir kalıp alçı kalıbı tekrar tekrar üretmek için kullanılan kalıptır ve dayanıklı olması için reçine ve kompozit malzemelerden yapılır. Teksir kalıbın hazırlanma süreci bir hafta ile 12 gün arasında sürer ve oluşabilecek bir hata seri üretimde çoğaltılacak olan tüm alçı kalıplarda da oluşacağından kontrolü çok önemlidir. Teksir kalıbın üretimi ve kontrolü bittikten sonra bu kalıptan 3000-4000 adet alçı kalıp üretilebilir.

Kalıbın hazırlanması ve kullanılması sırasında en iyi sonucun alınabilmesi, seramik ürünün kalitesinin artırılması, kalıp alma süresinin kısaltılması, kalıbın dayanıklılığının artırılması ve daha çok tekrarda kullanılabilmesi için her iki

kalıbın hazırlanmasında alçının kalitesinden başlanarak kalıp performansını etkileyen aşağıda açıklanmaya çalışılan faktörlerin dikkate alınması gerekir.

- Kalıp yapımında kullanılan alçının kalitesi, su /alçı oranı, suyun kalitesi, alçının suda ıslanma süresi, karıştırma süresi ve hızı, döküm miktarı, döküm süresi ve kurutma koşulları kalıbın absorpsiyon özelliğini ve mukavemetini etkileyen önemli faktörlerdir.
- Alçı kalıbın kullanımı boyunca; alçı kalıbın özellikleri, döküm çamurunun içerdiği iyonlar ve çamurun reolojisi, kalıbın kullanım şartları, kalıp ömrünü belirleyen önemli faktörlerdir [15].

Ülkemizde seramik kuruluşlarındaki alçı kalıp üreticilerinin yaşadığı problemler ve çözüm önerileri alçı ve alçı kalıp ile ilgili olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir [3].

3.4.3 Alçı ile İlgili Sorunların Giderilmesine Yönelik Öneriler

Alçının donma başlangıcının kısa olması, donma başlangıcının uzun olması, topaklanması, alçı içinde yabancı maddelerin bulunması gibi alçı ile ilgili problemlerin çözümü için bir çok süreç kontrol altında olmalıdır. Bunlar; alçının rutubetsiz ortamda depolanması, kalıp üretiminde kirlenmiş veya kirletilmiş alçının kullanılmaması, karıştırıcı aletlerinin temizliği, su/alçı oranına, karışımda ılık su kullanılması, suda bulunabilecek safsızlıklar, karıştırma devri ve süresi olarak bilinmektedir. Bunlardan su/alçı oranı, kalıpların kalitesi ve verimli kullanılması bakımından en önemli ölçütlerden biridir. Bu nedenle su/alçı oranının etkileri aşağıda etraflıca açıklanmıştır.

Su/alçı oranı, alçı kalıbın donma başlangıç süresini, por yapısını, su emme özelliğini, kalıbın hacim sabitliğini ve mukavemetini ve sonuç olarak kalıbın ömrünü doğrudan etkiler [34].

- Su/alçı oranı, alçı kalıpların donma başlangıç zamanının bilinmesi, alçı kalıbın ne kadar zamanda dökülmesi gerektiği konusunda fikir veren çok önemli bir etkendir. Donma başlangıç gerekenden uzun olması, kalıp üretiminin çok az da olsa uzamasına, zamanın gerekenden kısa olması ise dökülebilecek alçı kalıbın büyüklüğünün sınırlandırılmasına neden olur.

Çünkü alçının kalıp dökümü tamamlanmadan önce katılaşması kalıbın yekpare ve homojen olmasını engeller.

- Su/alçı oranının arttıkça porozite yani gözeneklilik artar, buna bağlı döküm hızı da artış gösterir. Fakat bu aynı zamanda basınç ve çekme dayanımını düşürmektedir.
- Su/alçı oranının çok fazla artmasına bağlı yüzeyde hava cepleri oluşabilir, yüzey pürüzlenir, kalıbın kalitesi düşer. Alçı kalıbın porozitesinin artması ile su emme hızı artar, su emme hızının çok artması dökülen çamurda bloklaşmaya yol açabilir; ürünün homojenliği bozulur.
- Su/alçı oranının artması ile genleşme artar. Alçının kalıplara dökümünden sonra genleşmenin minimum olması istendiğinden su/alçı oranının kontrolü bu özellik bakımından da önemlidir.
- Kalıpların ömrüne etki eden en önemli faktörlerden biri alçının dayanımıdır, su/alçı oranının artması ile dayanım azaldığından kalıp ömrünün artması için aynı karıştırma süresi ve yayılma çapı için en uygun su/alçı oranı deneyler ile belirlenmelidir.

3.4.4 Alçı Kalıp ile İlgili Sorunların Giderilmesine Yönelik Öneriler

Üretilecek malzemenin cinsine ve şekline bağlı olarak, kullanılacak çamurun niteliği ve şekillendirme yöntemi değişmektedir. Örneğin seramik sağlık gereçleri malzemelerinin birçoğu gerek geometrilerinden ve gerekse cidarlarının ince ve bazı kısımlarının boşluklu oluşundan dolayı döküm yöntemi ile şekillendirilir [1].

Seri üretimde kullanılacak olan alçı kalıplardan yüksek mukavemet, yüksek su emme yeteneği, aşınmaya ve kurutma sırasındaki sıcaklık değişimine karşı dayanıklılık, tekrarlı kullanımda kalıbın stabilitesinin korunması gibi özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikler, işletmelerdeki problemleri ve hataları önler, üretim verimini arttırır [19].

Alçı kalıpların fazla genleşmesi, birbirine uyumsuz olması, kuruma hızının düşük olması, kullanım sırasında yumuşaması, tebeşirleşmesi, küflenmesi, hava cepleri nedeni ile yüzeyde delikçiklerin oluşması kullanımı negatif yönde etkiler. Yine kalıpta tuz birikmesi, sert noktaların ve yüksek çıkıntıların bulunması, kalıpta çekim yetersizliği nedeni ile absorpsiyonun azalması, ürünün kalıptan deforme

olarak çıkması, kalıpların kırılması ya da çatlayarak çamur kaçırması istenmez [19].

Kısmen su ile doyurulmuş alçı kalıpların basınç dayanımı düşüktür. Alçının su içinde çözünebilir olması ve kalıbın aşınma direncinin düşük olması nedeni ile tekrarlı kullanımda erozyona uğrar. Kurutma 40 ºC'nin üstündeki sıcaklıklarda gerçekleştirilir ise alçının termal şok direnci düşük olduğu için ani soğumada çatlamalar ve kırılmalar meydana gelir. Bu sebeple 65 ºC'nin üzerinde ki kurutma sıcaklarından sonra kalıp kurutmadan hemen çıkarılmaz ve kontrollü soğuması beklenir [15].

Şekillendirme çamurlarında asit veya alkol kullanımı kalıp ömrünü kısaltır. Kuruma sırasında döküm parçasını kolaylıkla kalıp yüzeyinden ayırmak için kalıp, bazen asit tuzu, talk pudrası, magnezyum silikat tozu ve kâğıt hamuru gibi malzemeler ile kaplanır. Döküm problemleri veya kusurları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [22]:

- Dökümde çamur kalınlığının az ve/veya her yerde eşit olmaması,
- Seramik yarı mamul ürünün şeklinin bozuk olması,
- Makro ve/veya mikro boyutlu boşluk veya çatlakların oluşması,
- Yüzey düzensizliklerinin ve kusurlarının oluşması,
- Kalıpların bu kusurlardan bir veya birkaçını taşıması kısa ömürlü olması anlamına gelir; bu sorunların giderilmesi veya en aza indirilmesi için aşağıda belirtilen önlemlerin alınması gerekir [15]:
- Model ve döküm kalıbı üretiminde, yüksek kaliteli alçı kullanılmalı, alçının yeterli oranda ıslanmasına ve karıştırılmasına özen gösterilmeli, alçı mekanik karıştırıcı vakum ortamında karıştırılmalı, ılık su kullanılarak daha ince ve homojen karışım hazırlanmalı, alçı döküldükten sonra kalıp sarsılarak boşlukların tamamen dolması sağlanmalı,
- Kalıp kurumadan kullanılmamalı, kalıp nemi arka yüzeye verilecek şekilde kurutulmalı, kurutucunun sıcaklık eğri ortalaması 45–55 ºC'de tutulmalı, kalıplar 65 ºC' den daha yüksek sıcaklıkta kurutulmamalı, yeterli kuruluğa ulaşınca kurutucudan çıkartılmalı, fakat kalıbın çıkarıldığı ortamın sıcaklığı çok düşük olmamalı, kurutulan kalıp rutubetsiz ve kuru yerlerde stoklanmalıdır.

- Teksir ve döküm kalıbının yüzeylerinin temizliğine özen gösterilmeli, yüzeyler fazla ayırıcıdan arındırılmalı, küflü kalıplar çok iyi temizlenmeli,
- Dökümden iyi sonuç alınması ve seramik ürünün kaliteli olması için çamurun homojen olması ve döküm süresince homojenliğini koruması sağlanmalı, viskozitesi kontrol edilmeli, bunun için karışımda mümkün ise organik bir çözelti kullanılmalıdır.

3.5 Çoklu Döküm Alçı Kalıbı

Seramik üretim sürecinin bir halkası olan döküm yöntemi, akıcı kıvamdaki kil hamurunun bir veya daha fazla sayıda parçalı kalıplara dökülmesi ile yapılan şekillendirme yöntemidir ve bu yöntemde kalıbın özellikleri çok önemlidir. Döküm ile şekillendirme yönteminde, akıcı kıvamdaki çamurda bulunan fazla suyun kalıp tarafından kapiler etki ile olabildiğince sabit hızda emilimi gerekir. Sonrasında tekrar döküm yapılabilmesi için emilen suyun kalıptan hızlı bir şekilde tekrar dışarı atılması çok önemlidir [15]. Mevcut üretim şartlarında her kalıptan günde bir döküm alınabilmekte ve kalan süre boyunca kalıp kuruması ve kalıp hazırlama işlemleri yapılmaktadır. Kalıp yeterli kuruluğa erişemediği için ikinci döküm aynı gün içerisinde yapılamamakta ve yapılsa bile ürün yeterli kalınlık alamadığı veya yumuşak kaldığı için deforme olmaktadır.

Gerekli iyileştirmeler sağlanır ise kalıptan aynı gün içerisinde istenen kalınlıkta ve kurulukta birden fazla döküm yapılabilmesi mümkündür.

Çoklu döküm Alçı kalıbı ile üretim kapasitesi herhangi ek yatırım sağlamaya ihtiyaç olmadan arttırılarak sektöre büyük katkıda bulunacaktır.

3.5.1 Çoklu Döküm Yapılabilmesi İçin Kalıpta Aranan Özellikler

Çoklu döküm yapabilmek için ise aşağıdaki özelliklerin sağlanması şarttır;

- Kalıp, yüksek mukavemete sahip olmalı, döküm sırasında patlayıp dağılmamalı. Aşınmaya karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olmalı; seramik üretiminde parça başına düşen kalıp maliyeti azaltılmalı,
- Yüksek su emme özelliğine sahip olmalı; şekillendirme sırasında, biçimlendirilecek çamurun suyunu istenen hızda emmeli, şekillendirmede zamandan tasarruf sağlanarak üretimin hızı artırılmalı,

- Şekillendirme çamurundan emdiği suyu tekrar porlarından kolayca uzaklaştırmaya elverişli olmalı ve bir sonraki döküme tekrar kolayca hazır hale gelebilmeli, kuruma süresi kısa olmalı.

Alçı kalıpların seramik çamurunu emme özelliğini artırarak kalıp alma süresini kısaltmak ve kalıp maliyetini düşürmek amacı ile başlatılan çalışmalardan, yeterli dayanıma sahip ve hafif, su emme özelliği yüksek alçı kalıplar üretmenin ve kalıp alma süresini kısaltarak çoklu döküp yapabilmenin teoride mümkün olduğu anlaşılmıştır [35].

Bu özellikler için kalıbın dayanımını, kalıp alma süresini ve ürünün kalitesini doğrudan etkileyen boşluk oranı, boşlukların boyutu, dağılımı ve birbiri ile ilişkisi çok önemlidir. Döküm kalıplarına istenen özelliklerin kazandırılması için su emme oranı yüksek mineral katkı malzemelerinin kullanılabilirliği, nasıl ve ne oranlarda kullanılabileceği deneysel olarak araştırılmalıdır [15].

Bu çalışmada çoklu döküm alçı kalıbı için uygun alçının belirlenmesi için karakterizasyon çalışmaları yapılmış olup, sonrasında üretim aşamasında yeterli kuruluğu gereken sürede sağlamak için kurutma parametreleri incelenmiştir.

4
Kapiler Etki (Kılcallık Etkisi)

4.1 Kapiler Etki

Kılcallık etkisi ilk defa Leonardo da Vinci tarafından ortaya atılmıştır. Ancak bu konudaki ilk hassas ölçümler Francis Hauksbee tarafından yapılmıştır [36].

Bir sıvı ile başka bir maddenin moleküler seviyedeki çekiminin, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden daha kuvvetli olması sonucunda "Kılcallık" ya da "Kapiler Etki" meydana gelir. Bir bitkinin iletim sisteminde veya pürüzlü kâğıtla kolayca gözlenebilir [37].

Porlu ortamdaki kılcallık olgusu iki karşılıklı kuvvetten kaynaklanır. Bunlar sıvının yayılma eğiliminde olan katı yüzeylere sıvı yapışması ve sıvı-gaz ara yüzey alanını azaltmaya yarayan sıvıların yapışkan yüzey gerilim kuvvetidir.

Sonuçta ortaya çıkan sıvı-gaz ara yüzü konfigürasyonu, bu kuvvetler arasındaki dengeyi yansıtır. Kılcallık olgusu bu nedenle yüzey gerilimi, temas açısı ve katı yüzey pürüzlülüğü ve geometrisi gibi katı ve sıvı ara yüzey özelliklerine bağlıdır [38].

4.1.1 Yüzey Gerilimi

Serbest yüzey sıvı, gaz ve katı gibi üç maddenin bir noktada buluşmaları ile ortaya çıkmış ise, bu halde sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetleri ile, sıvı-katı arasındaki adhezyon (yapışma) kuvvetlerinin sonucu olarak yüzey gerilmesi ortaya çıkar. Yüzeysel gerilmesinin değeri sıvı, gaz ve katı cismin cinslerine göre farklılıklar gösterir. Her üç maddeyi belirterek yüzeysel gerilim değerini bulmak gerekir. Örneğin su-hava-cam için yüzey gerilim, su-hava-demir üçlüsünün yüzey geriliminden farklıdır [37].

Su ve katılar veya diğer sıvılar (örneğin hava) arasındaki ara yüzde, su molekülleri, kütle akışkanı içindeki moleküllerden farklı kuvvetlere maruz bırakılmaktadır. Örneğin, dökme sıvısındaki su molekülleri, her tarafta komşu moleküller ile hidrojen bağlarının oluştuğu homojen yapışkan kuvvetlere maruz bırakılır. Buna

karşılık, hava-su ara yüzündeki moleküller, ara yüzün hava tarafındaki su moleküllerinin yoğunluğunun düşük olması nedeniyle sıvı tarafında çoğu hidrojen bağının oluşması nedeniyle sıvının net çekimine maruz kalır. Sonuç, büzülme ve aşırı yüzey enerjisinin miktarını azaltma eğiliminde olan, membran benzeri bir su yüzeyidir. Yüzey gerilimi, birim alan başına arabirim enerjisi miktarını veya yüzeyi arttırmak için molekülleri yığın sıvıdan getirmek için gereken enerjiyi yansıtır (ayrıca yüzey gerilimini, arabirim birimi başına kuvvet olarak ifade etmek de yararlıdır). Farklı sıvılar yüzey gerilimlerinde tablo 4.1'deki gibi değişiklik gösterir [38].

Tablo 4.1 Çeşitli sıvılar için sıvı-buhar ara yüzey gerilimleri [38]

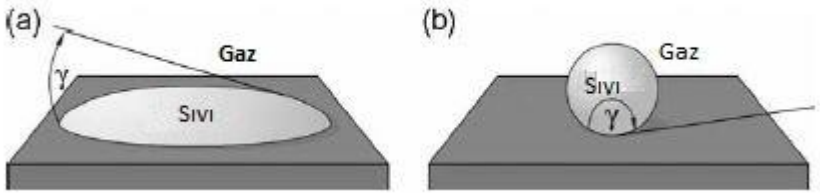
Sıvı	Sıcaklık °C	Yüzey Gerilimi (mN m^{-1})
Su	20	72,94
Su	25	72,13
Metilen iyodür	20	67
Gliserin	24	62,6
Etilen Glikol	25	47,3
Dimetil anilin	20	36,56
Benzen	20	28,88
Tolüen	20	28,52
Kloroform	25	26,67
Karbon tetraklorür	25	26,43
Butil asetat	20	25,09
Dietilen glikol	20	30,9
Nonan	20	22,85
Metanol	20	22,5
Etanol	20	22,39
Oktan	20	21,62
Heptan	20	20,14
Eter	25	20,14

Yüzey gerilimi ayrıca sıcaklığa da bağlıdır, sıcaklık arttıkça genellikle doğrusal olarak düşer. Termal genleşme sıvının yoğunluğunu azaltır ve bu nedenle sıvı fazın içinde olduğu gibi yüzeydeki yapışma kuvvetlerini de azaltır. Çözünen maddeler yüzey gerilimini artırabilir veya azaltabilir. Eğer çözünen moleküllerin veya iyonların su moleküllerine benzerliği, su moleküllerinin birbirine benzerliğinden

daha büyükse, çözünen çözeltinin içine çekilme ve yüzey geriliminde bir artışa neden olma eğilimindedir. Bu, elektrolitik çözünenlerin etkisidir. Örneğin,% 1'lik bir NaCl konsantrasyonu, sulu bir çözeltinin yüzey gerilimini 20 ° C'de 0.17 mNm^{-1} arttırır. Öte yandan, su molekülleri arasındaki yapışkan çekim, çözünen moleküllere olan çekimlerinden daha büyükse, çözelti gerilimi azaltarak yüzeye doğru çekilme eğilimindedir. Bu, birçok organik çözücünün, özellikle de deterjanların etkisidir [38].

4.1.2 Temas Açısı

Katı bir yüzeye bir sıvı damlası yerleştirildiğinde, katı-sıvı ara yüzü ile sıvı-gaz ara yüzü arasında oluşan açıya denge (veya statik) temas açısı (γ) denir. Pürüzsüz ve kimyasal olarak homojen düzlemsel yüzeylerde denge temas açısını tanımlamak için yaygın olarak iki eşdeğer yaklaşım kullanılır: Ara yüzey kuvvet dengesi yaklaşımı ve, serbest enerji minimizasyonu. Ara yüzey kuvvet dengesi formülasyonu, ara yüzey gerilimlerini (σ_{ij}) birim uzunluk başına kuvvet olarak kabul eder; bu nedenle, denge altında katı bir yüzey üzerinde duran bir damlanın temas hattındaki kuvvet dengesi, damlayı (dışa doğru) yaymak için etki eden kuvvetlerin vektör toplamının, karşılıklı uyum ve viskoz kuvvetlere eşit olmasını gerektirir. Serbest enerji minimizasyonu yaklaşımı, ara yüzey gerilimini birim alan başına enerji olarak görür ve sonsuz küçük yer değiştirmeden (ΔA) dolayı yüzey serbest enerjisindeki (ΔF) değişiklikleri hesaplar [38].



Şekil 4.1 Sıvının "Katı" Gaz Temas Açıları: (A) Hidrofilik Yüzey (<90) Burada Sıvının Yüzeyi Islatması Meydana Gelir ; (B) Hidrofobik Yüzey (> 90) Sıvının Yüzeyi İtmesi Meydana Gelir

$$\Delta F = \Delta A\,(\sigma SL - \sigma GS) + \Delta A \cos\gamma \sigma LG \qquad (1)$$

Sonuç, serbest enerjinin $\Delta F \big/ \Delta A = 0$ ile en aza indirgenmesi veya katı yüzeye teğet kuvvetlerin dengesinin alınması; her iki durumda da Young denklemini verir:

$$\sigma LG\cos + + \sigma SL - \sigma GS = 0 \quad (2)$$

sırasıyla L, G ve S ile σij birlikte sıvı, gaz, katı ve ilgili ara yüzey ve yüzey gerilimlerini gösterir.

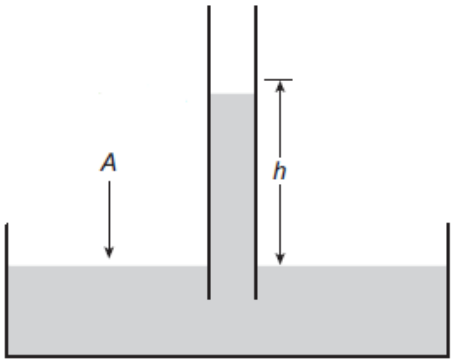
Bu nedenle denge temas açısı şöyledir:

$$\cos\gamma = \sigma GS - \sigma SL\sigma LG \quad (3)$$

Katı yüzeylere çekimi kendi içindeki diğer sıvı moleküllerden daha güçlü olan sıvılar katı yüzeyde küçük bir temas açısı gösterir ve bu katının ıslanabilir olduğu söylenir. Tersine sıvı ile, sıvının kendi içindeki yapışma kuvveti katı çekim kuvvetinden daha büyük olduğunda, sıvı katıyı iter ve "γ" değeri büyüktür. Genel olarak, temiz cam üzerinde ve muhtemelen çoğu toprak mineralinde suyun temas açısı küçüktür ve matematiksel rahatlık için genellikle $\gamma = 0\ °$ olarak alınır [38].

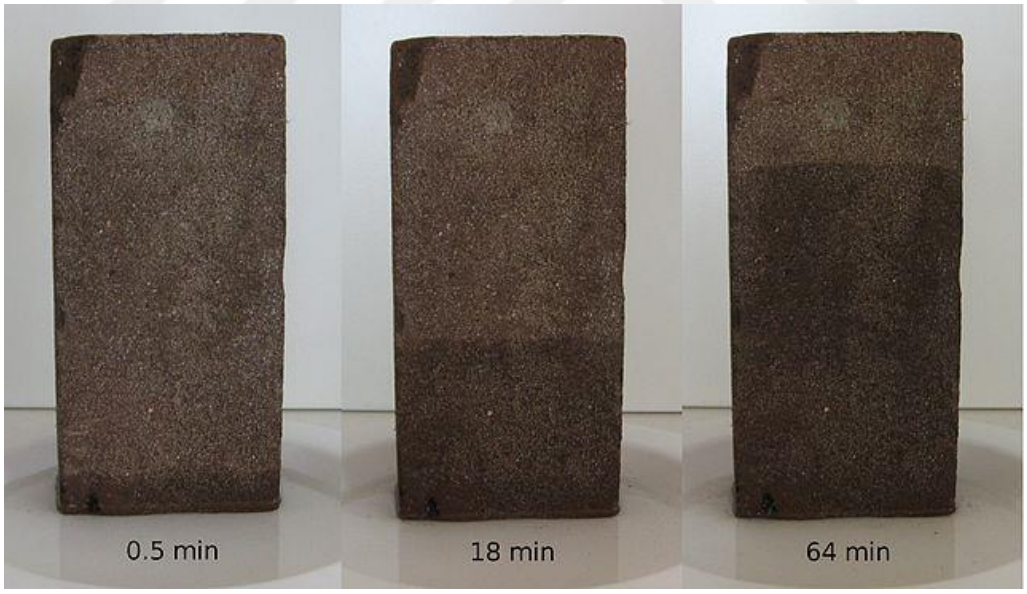
4.1.3 Kılcallık

Serbest yüzeyin eğrisel bir yüzey olması halinde, yüzey gerilimi, serbest yüzeyin altında moleküller ile üstündeki moleküller arasında bir basınç farkı meydana getirir. Bu basınca "kılcal basınç" denir. Kılcal basınç nedeni ile ince (kılcal) borularda sıvılar yukarı veya aşağı doğru hareket eder ve sonuçta belirli bir seviyede durur. Bu olaya da "kılcallık" denir. Kılcal boruda sıvı yükselirse bu sıvıya "ıslatan sıvı" aksi halde "ıslatmayan sıvı" denir. Su, şarap, gliserin gibi sıvılar ıslatan sıvılar olmasına karşın, cıva ıslatmayan sıvılara örnektir [39]. Porların ıslanabilirliğinin dikkate alınması bizi sıvının bir kılcal boruya sokulduğu fenomen olan kılcallık kavramına götürür [40].



Şekil 4.2 Sıvı Dolu Bir Tankta Kılcal Boru. (A) Su Seviyesindeki Basınç, (H) Seviyesindeki Sıvı Üzerindeki Kılcal Basınca Eşittir [40]

Bir küp şeker parçası, fincandaki çayın ya da bir başka sıvının yüzeyine değdirilirse, sıvının şekerin içine emilerek yukarı doğru yükseldiğini görürüz. Kurutma kâğıdında mürekkebin, ucu suya batırılmış havluda suyun, lamba fitilinde gazyağının emilerek yukarı yükselmesi de buna benzer. Yerçekimi kuvvetine karşı gerçekleşen bu harekete sebep olan kuvvet kapiler etkidir [41].



Şekil 4.3 Bir Tuğlada Zaman Bağlı Kılcal Akış

Bu etki sıvının dik bir yüzeye dokunduğu kısımda sıvı yüzeyinin menisküs denilen içbükey bir hal almasına sebep olur. Aynı etki sünger gibi maddelerin suyu emmesinde de görülür.

Kılcallığı gözlemlemek için en çok kullanılan deney düzeneği kılcal borulardır. Cam bir borunun, dikey vaziyette, su gibi bir sıvının içine batırılması sonucunda konkav bir tepe noktası oluşur. Yüzey gerilimi, sıvı kolununu, yer çekimi ile moleküller arası kuvvetler dengeye gelene kadar yukarı çeker. Sıvı kolonunun ağırlığı borunun yarıçapının karesiyle, sıvı ve boru arasındaki temas uzaklığı borunun yarıçapıyla orantılı olduğundan dar bir boru sıvıyı geniş bir borudan daha yukarı taşır. Örnek olarak, 0.5 mm yarıçaplı cam bir boru suyu ortalama 2.8 mm yüksekliğe ulaştırır. Bazı madde çiftlerinde, mesela cam ve cıva ikilisinde, atomlar arasındaki kuvvetler, sıvı ile katı arasındaki çekim kuvvetinden güçlüdür. Bu yüzden konveks bir tepe oluşur ve kılcallık tersine işler [41].

SI birim sistemi dikkate alınarak, sıvı kolonunun yüksekliği h şu formülle bulunur

$$h = \frac{2\gamma cos\theta}{\rho g r} \tag{4}$$

Burada:

γ : sıvı yüzey gerilimini (J/m^2 ya da N/m)

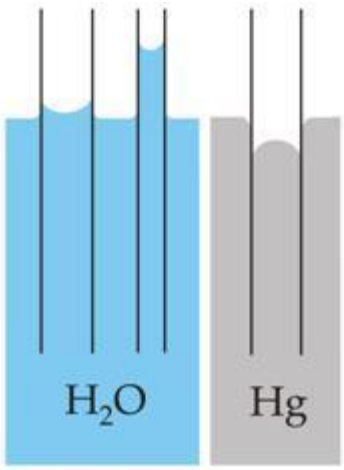
θ : temas açısını

ρ : sıvının yoğunluğunu (kg/m^3)

g : yer çekimi ivmesini (m/s^2)

r : tüpün yarıçapını (m)

belirtmektedir.



Şekil 4.4 Su ve Civanın Cam Borudaki Kapilaritesi

Eğer cam ile sıvı molekülleri arasındaki bu yapışma kuvveti, sıvının molekülleri arasındaki bağlanma kuvvetinden daha büyükse sıvı, cama temas ettiği yerlerde yukarı doğru çekilir, bu da sıvının yüzeyinin çukurlaşmasına neden olur.

Su dolu bir cam bardağın içine ince bir cam boru (kılcal boru) daldırılırsa, borunun içine derhal su dolar ve borunun iç duvarlarındaki çekim kuvvetinin etkisiyle su, borunun içinde yükselerek kaptaki düzeyinin üstüne çıkar. Kılcal boru ne kadar inceyse, yani çapı ne kadar küçükse, duvar alanının içeri giren su hacmine oranı o kadar büyük olur. Bu da suyun üzerinde etkiyen çekim kuvvetinin o denli büyük olmasına ve dolayısıyla borunun içindeki su sütununun o denli yükselmesine yol açar [41].

Cıvayla dolu bir cam bardak ya da duvarları parafin kaplı ve içi su dolu bir kap düşünelim. Bu iki durumda da yapışma kuvveti bağlanma kuvvetinden daha küçüktür ve bu nedenle bardağın ya da kabın kenar kesimlerdeki su yüzeyi aşağı doğru çekilir. Bu durumda, kaba daldırılan kılcal borudaki sıvı sütununun yüksekliği, kaptaki sıvı düzeyinin altına düşer.

Yeraltındaki su, kılcallık etkisiyle toprak parçacıkları arasındaki hava boşluklarından yukarı doğru çekilir, bu da toprağın kurumasına neden olur. Ama öte yandan, sıcak ve kurak günlerde toprak yüzeyindeki su buharlaşıp uçtuğunda, derinlerdeki suyun toprak yüzeyine doğru yükselip bitkilerin köklerine ulaşmasında ve onları kurumaktan kurtarmasında, kılcal etkinin önemi büyüktür [41].

Kılcallık aynı zamanda gözde sürekli olarak salgılanan gözyaşının, gözyaşı kanalları adı verilen kanalcıklar yardımıyla uzaklaştırılmasını sağlar. Kâğıt havlular, sıvıları emerken kapiler olay gözlenir. Yüzeydeki delikler birer kılcal boru görevini görüp sıvıyı çekerler. Spor malzemeleri yapımında kullanılan bazı kumaşlar, teri deriden çekmek için kılcallıktan yararlanırlar. Kimyagerler, kılcallığı, çözücünün dikey olarak hareket ettiği ince tabaka kromatografisinde kullanırlar. Çözünmüş maddeler, çözücüde, polarlıkları ile orantılı hızlarla yol alır [41].

Son zamanlarda, kılcallık, kağıda dayalı mikro akışkanlar, tıbbi tanı, enerji toplama cihazları, ileri tekstil mühendisliği, tıbbi tanı, soğutma cihazları, mimari koruma ve

yağ geri kazanımı gibi çeşitli çağdaş uygulamaların yüksek değeri nedeniyle bilimsel ve endüstriyel ilgiyi artarak çekmiştir. Kılcallık, porlu ortamın hem sayısal hem de deneysel yaklaşımlardaki etkili özelliklerini (örneğin, por hacmi, dağılımı ve sayısı) belirlemek için ters bir yöntem olarak kullanılmıştır. Kılcallık olayının rastlandığı başka bir yer de damlalıklarda sıvı ilaçların yükselmesidir. [42].

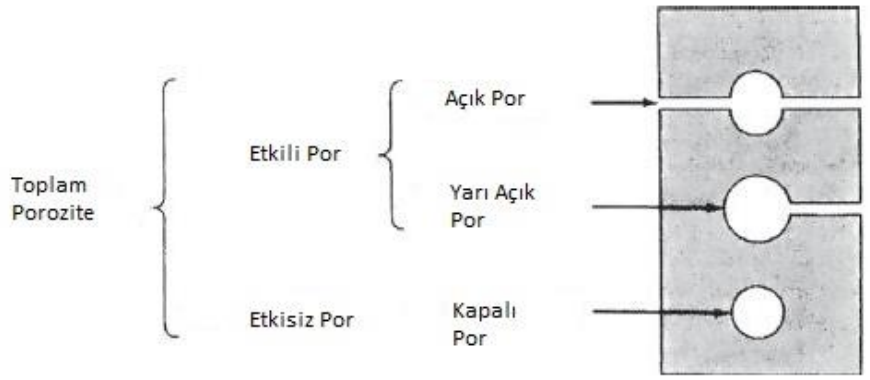
4.1.4 Porozite

Porozite yada diğer bir deyişle gözeneklilik, bir alçı kalıbın iki temel özelliğinden ilkidir. Bir kayanın içindeki por boşlukları veya boşluklar genellikle bağlayıcı su ve benzeri ile doludur, fakat bir alan içinde yağ veya gaz da içerebilir. Porozite, boşlukların katı kayaya oranı olarak ifade edilir, veya daha sık, yüzdesel olarak:

$$Porozite = \frac{Toplam\ boşluk\ hacmi}{Toplam\ Malzeme\ hacmi}\ x100 \qquad (5)$$

ile hesaplanır.

Porozite geleneksel olarak Yunan alfabesinden phi (Φ) harfi ile sembolize edilir. Porlar şekil 4.5' deki gibi üç morfolojik tiptedir: Açık (Katener), yarı açık ve kapalı. Açık porlar, diğerleriyle birden fazla boğaz geçişi ile iletişim kurabilen bir koridor biçimindedir. Yarı açık ya da ölü porlarda, başka bir por ile bağlantılı tek bir boğaz geçidi bulunur. Kapalı porların ise diğer hiçbir porla iletişimi yoktur [40].



Şekil 4.5 Üç Temel Por Türü [40]

Açık porlar doğal veya yapay bir su akışı ile temizlenebilir. Yarı açık porlar ise su akışı ile etkilenmezler, ancak hazne basıncı düştükçe genleşerek biraz yağ veya

gaz verebilirler. Kapalı porlar ise hidrokarbonlar (sonradan sıkıştırma veya sementasyonla kapatılan açık bir pora hücum etmiş bir tür yağ veya gaz) vermeye uygun değildir.

Malzemenin geçirgenliğini belirleyen verimli porozitenin, toplam poroziteye oranı son derece önemlidir.

Porların büyüklüğü ve geometrisi ile bağlantı boğazı geçişlerinin çapı ve eğriliği, por haznelerinin verimliliğini etkiler. Por geometrisi ve sürekliliği analiz etmek zordur. Bazı çalışmalarda porlar bir sıvı ile doldurulur, bu daha sonra katılaşır, ve kaya daha sonra, porların atmalarını ortaya çıkarmak için asit ile çözülür [40].

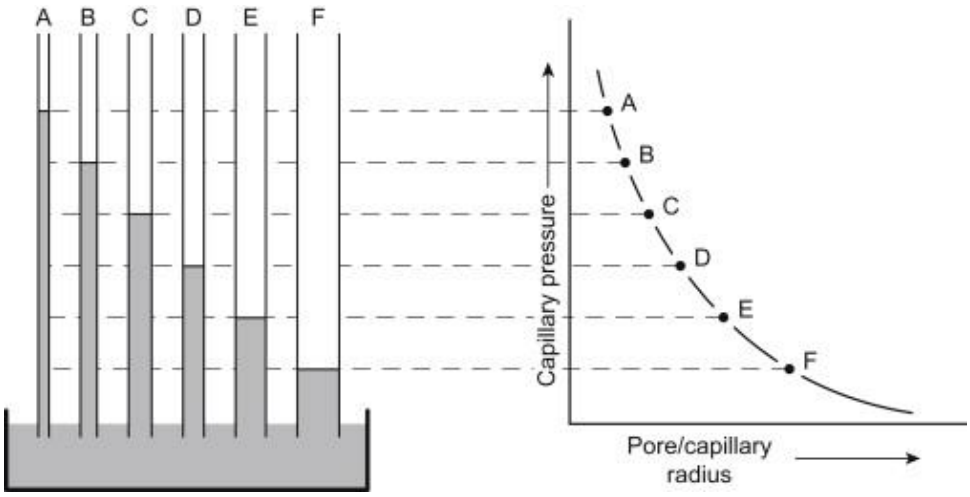
Yaygın olarak kullanılan Yüzey ve Por karakterizasyon yöntemleri ise;

- Azot ile Yüzey Karakterizasyonu,
- Cıva Porozimetresi,
- Helyum Piknometresi ve
- Temas Açısı-Yüzey Gerilimi Ölçme

olarak uygulanmaktadır [43] .

4.1.5 Kapiler Basınç

Kılcal basınç, ortam basıncı ile sıvı kolonu tarafından uygulanan basınç arasındaki farktır. Kılcal basınç, şekil 4.2 de gözüktüğü gibi tüp çapı azaldıkça artar. Jeolojik terimlere çevrildiğinde, bir haznenin kılcal basıncı, por boyutu küçüldükçe veya daha özel olarak por boğaz çapı ile artar. Kapiler basınç ayrıca, iki bitişik sıvının oluşturduğu yüzey gerilimi ile de ilgilidir; ve artan yüzey gerilimi ile artar. Su ve ıslak por sistemlerinde tepe noktası yada birleşim yeri, suya göre dışbükeydir; Yağla ıslanan sistemlerde ise içbükeydir [40].



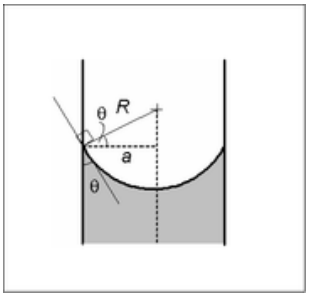
Şekil 4.6 Sıvı Kolonların Yüksekliğinin Ve Kapiler Basıncın, Tüplerin Çaplarıyla Orantılı Olduğunu Gösteren Çeşitli Çaplarda Kılcal Borular

Sıvıyı yayan kuvvetler (katılara yapışma ve yayılma veya bir balonun içindeki gaz basıncı), ara yüzey alanını en aza indirmeye meyilli yüzey gerilimi ile dengede olduğunda, ortaya çıkan sıvı-gaz ara yüzü genellikle eğridir. Porlu ortamlarda, sıvı-gaz ara yüz şekli, bir yandan katı (lar) ile belirli bir temas açısı oluşturma ihtiyacını ve por içindeki ara yüzey alanını minimize etme eğilimini yansıtır. Kavisli ara yüz boyunca bir basınç farkı oluşur, burada ara yüzün içbükey tarafındaki basınç, eğrilik yarıçapına ve akışkanın yüzey gerilimine bağlı bir miktarda daha fazladır [38].

a) Tüpte kapiler basınç

Yarıçapı R yarıçapına sahip yarım küre sıvı-gaz ara yüzü için basınç farkı Young-Laplace denklemi ile verilmiştir[38].

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{R} \tag{6}$$

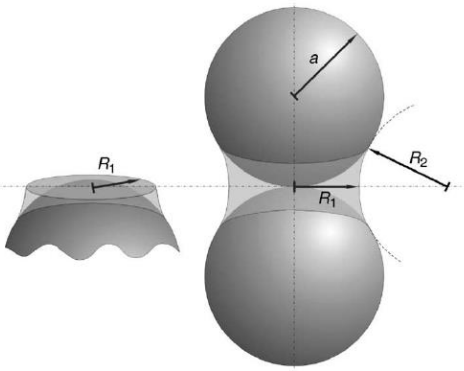


Şekil 4.7 Islanma Açısı 90 ° Den Az Olan Küresel Yüzey Eğrisi

Yüzey eğrisi gaza doğru olduğunda "$\Delta P=\Delta P_{Sıvı}-\Delta P_{Gaz}$"; yüzey eğrisi sıvıya doğru olduğunda (Sıvı içinde gaz kabarcığı gibi) "$\Delta P=\Delta P_{sıvı}-\Delta P_{Gaz}$" şeklinde olur.

b) Genel olarak kapiler basınç

Bir çok durumda, bir kabarcık küresel olmayabilir veya bir sıvı elementi düzensiz katı yüzeylerle sınırlandırılabilir, bu da iki veya daha fazla farklı eğrilik yarıçapının şekil 4.8'deki gibi iki küresel katı parçacık arasında sarkaç halkalarında tutulan su gibi oluşmasına neden olur. Bu vaka için Young-Laplace denklemi şöyle verilir:



Şekil 4.8 Eğri Yarıçapı Ve İki Küresel Tane Arasındaki Sarkık Boşlukta Tutulan Su Şekline Ait Model

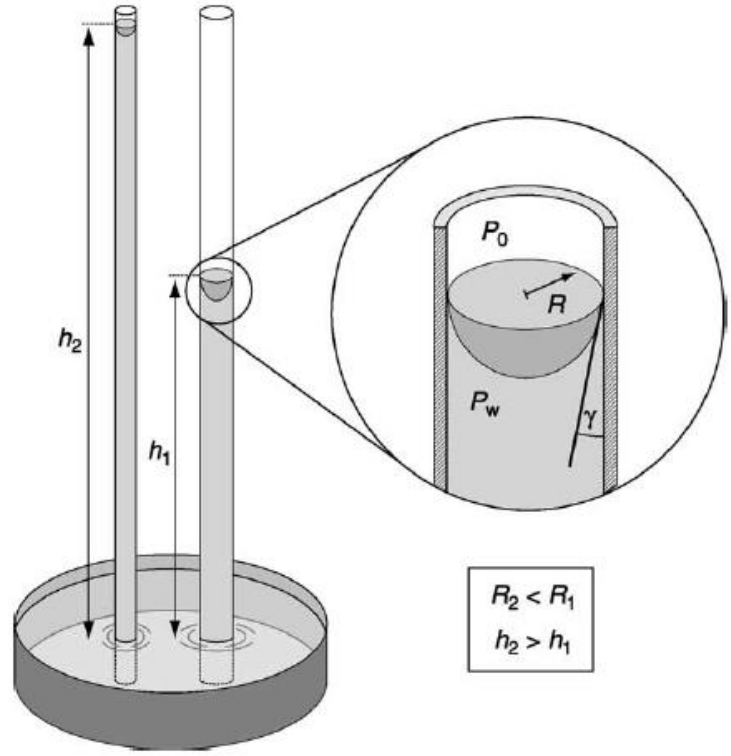
Burada a yarıçapı a olan iki eşit küre için r2 ve r1 arasındaki ilişkinin r2=r12[2(a-r1) şeklinde verildiğine dikkat edilmelidir.

$$\Delta P = \sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \qquad (7)$$

Bu denklem $R_1=R_2$ olan küresel geometriler için (6) 'e indirgenmektedir.

Dışbükey ara yüzler için R değeri negatif ($R_2 <0$) ve iç bükey ara yüzler için pozitiftir ($R_1> 0$).

Doğrusal bir aralıkta veya bir kırık içinde oluşan bir ara yüz için, $R_2\rightarrow\infty$ 'a gider ve dolayısıyla denklem 7 $\Delta P = \left(\frac{\sigma}{R_1}\right)$ olarak indirgenir ve burada R_1 kırılma açıklığının yarısına eşittir[38].



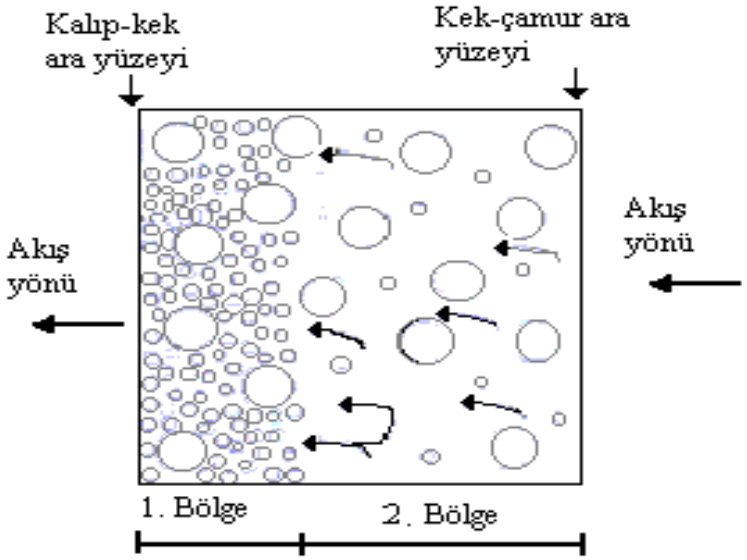
Şekil 4.9 Farklı Yarıçaplı Silindirik Borularda Kılcal Yükselme

4.2 Alçının Kapilerite Etkisi

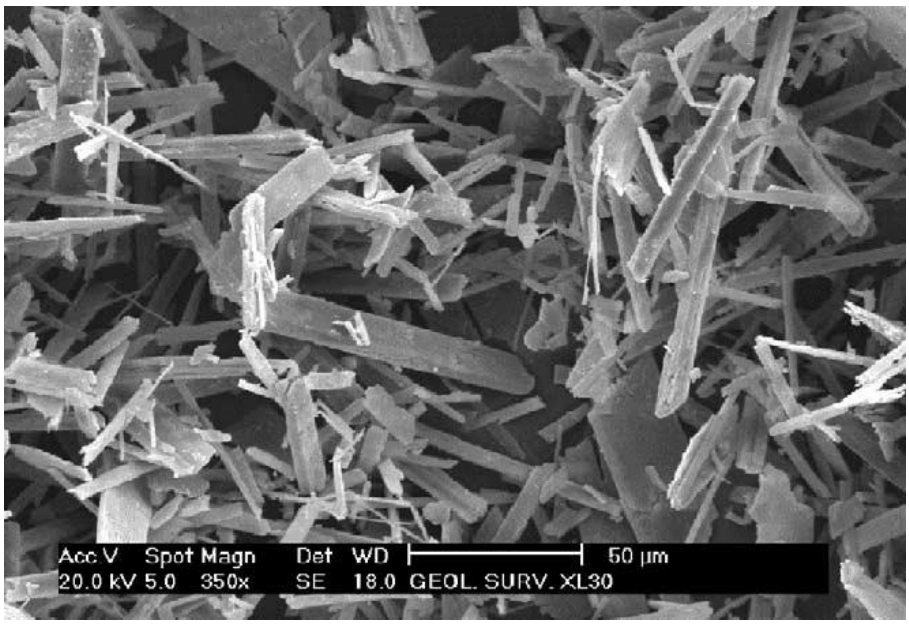
Alçı kalıplarda suyun aktarımını sağlayan itici güç kapiler açık porozitedir. Alçı da kapilerite etkisi belli bir zamanda emilen suyun miktarını ve hızını belirler. Seramik ürününün ilk aşamada kalıpta çamurun fazla suyunun emilmesi ile oluştuğu düşünüldüğünde kapiler etki çok önemlidir. Seramik çamurundaki suyun fazla hızlı ya da çok düşük hızda emilimi ürünün kalitesini etkiler. Yine toplam su miktarındaki emilimin azalması seramik ürününün yeterli kuruluğa ulaşamamasına ve deforme olmasına sebep olur. Bu sebeple seramik ürününde iç-dış sertlik ve et kalınlığı kontrolleri yapılır. Kapileritesi yüksek kalıplarda suyun akışını, döküm çamurunun direnci kontrol eder ve akışın hızı kalıp porozitesinin azalması ile artar. Porozitesi daha düşük kalıplarda ise, akışın hızını kontrol eden esas faktör, kalıbın direncidir ve akış hızı kalıp porozitesinin azalması ile azalır. Makroporlar için (yani 50 nm veya daha büyük çaplı porlar), moleküller arasındaki çarpışmalar genellikle duvar ile çarpışmalardan çok daha sık meydana gelir ve moleküler arası difüzyon, baskın mekanizmadır. Porların büyüklüğü azaldıkça,

duvarla çarpışma sayısı artar; Bu noktada, Knudsen difüzyonu üstlenir ve akış, por boyutlarına bağlı olarak başlar [44].

Döküm hızının artması, arzu edilir bir durumdur, ancak bu kıvamı daha yoğun kalıp kullanımı ile sağlanacak ise dikkatli olmak gerekir; çünkü kıvamı yoğun kalıp, dökümün kalıptan ayrılmasını güçleştirebileceği gibi, dökümde iğne deliği ve başka arzu edilmeyen yan etkilere de neden olabilir [45].



Şekil 4.10 Alçı Kalıpta Kek Oluşumu [45]



Şekil 4.11 Alçının Elektron Mikroskobunda 350x Büyütülmüş Kristal Yapısı

Kalıpların döküm sırasında su emme hızı, kalıp porozitesi ve kalıp kuruluğu tarafından kontrol edilir.

Alçı kalıptaki kapiler basıncı sağlayan porların büyüklüğü 0.5-2 mikron, toplam porozite miktarı % 40-45'tir

Alçı kalıptaki kapiler emme basıncı 120-180 kPa' dır.

Basit bir geometrik analiz yapıldığında, (7) denklemini analiz edersek, kapilerlerin bir basınç farkı yarattıkları (R negatif olduğu için ıslatıcı bir sıvı söz konusu olduğunda negatif basınç farkı) ve kapilerlerin yarıçapları ne kadar küçükse bu basınç farkının da o kadar yüksek olduğu sonucuna varabiliriz. Bu basınç farkının aynı zamanda sıvının yüzey gerilimine nasıl bağlı olduğu da görülebilir: yüzey gerilimi ne kadar yüksekse, basınç farkı da o kadar yüksek olacaktır. Bu basınç farkı, suyun çamurdan kalıba aktarılmasına sebep olan itici güçtür. Şekil 4.2'yi incelediğimizde, bu basınç farkının denge noktasında h yüksekliğine kadar kapiler içerisinde yükselmiş olan sıvı kolonunun hidrostatik basıncı tarafından nasıl dengelendiğini açık bir şekilde görebiliriz [46].

Bir kapiler içerisindeki sıvı akışını tespit edebilmek için, Poiseuille kanunu uygulanır. Bu kanun, yatay konumdaki bir kapiler tüp söz konusu olduğunda geçerlidir:

$$Q = \frac{\pi.2.\sigma.\cos\theta.\mathrm{Rc}^2}{4nL} \qquad (8)$$

Q = sıvının kapiler içerisindeki akışı

η = sıvının viskozitesi

L = kapiler içerisindeki sıvı kolonunun uzunluğu

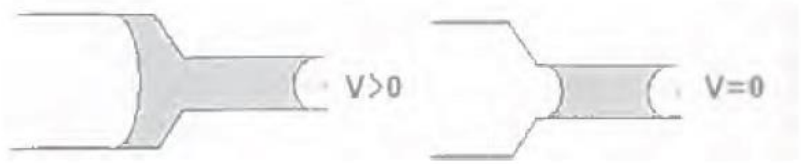
σ = yüzey gerilimi

Burada (8) denklemini analiz ettiğimizde, gözeneğin çapı ve sıvının yüzey gerilimi ne kadar yüksekse ve söz konusu sıvının viskozitesi ne kadar düşükse porlara nüfuz etmiş olan su miktarının da o kadar yüksek olacağı açıkça görülebilir. Sıcaklıktaki bir artışı normalde sıvının viskozitesinde (η) belirgin bir düşüş takip ettiği için, bu durum porlardan çıkan su miktarında bir artışla bağlantılı olacaktır: döküm çamurunun ısıtılmasının sebebi de budur. Bu formüllerin modellenmesi ve indirgenmesi sonuç çıkan eşitlik [46] :

$$V = \sqrt{\frac{\sigma.\cos\theta}{2n}.\sqrt{Rc}.\sqrt{t}.\pi Rc^2} \quad (9)$$

Dolayısıyla, sıvının kapiler içerisindeki doldurma uzunluğunun kapiler etkiyi sağlayan yarıçapın karekökü ve süre ile orantılı olduğu ve tabii ki hacmin de aynı orantısallık ile alakalı fakat πRc2 faktörüne bağlı olduğu sonucuna varmak mümkündür [46].

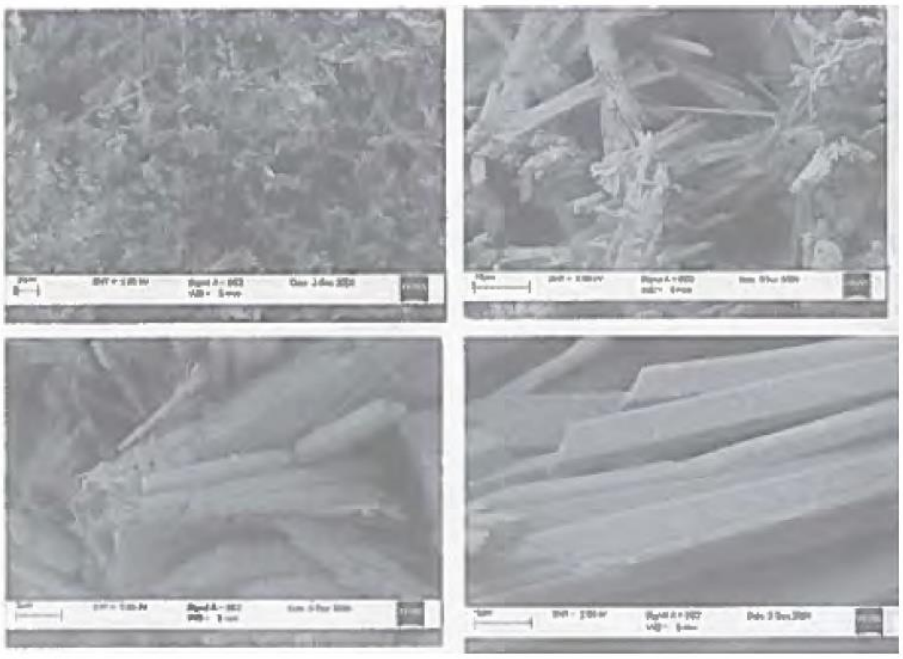
Uzunluğu boyunca kapiler etkiyi sağlayan yarıçap değiştiğinde ne olduğunu değerlendirmek de önemlidir.



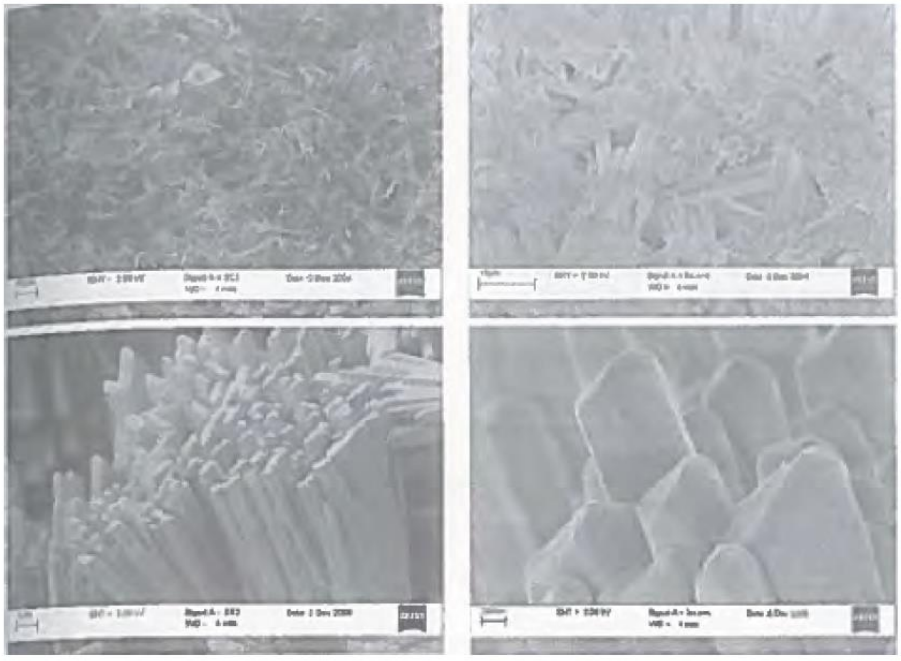
Şekil 4.12 Kapiler Çapının Bir Fonksiyonu Olarak Sıvının Aktarılması

Su, en küçük yarıçapa sahip gözeneğe taşınmayı tercih eder. Bu noktada kapilerite kanunlarının alçı kalıplara uygulanıp uygulanmayacağını ve nasıl uygulanacağını incelemek gerekmektedir. Bunu yapabilmek için, öncelikle alçının mikro-yapısını dikkatli bir şekilde analiz etmemiz gerekmektedir. Temel yapı itibari ile iki tip alçı bulunmaktadır. Bunlar β-alçı ve α-alçıdır. Burada alçının üretim proseslerinde farklılıklar belirgin olmaktadır. Sonuç itibari ile de alçının karışım esnasındaki su ihtiyacı değişmekte ve buda poroziteyi ve mukavemeti etkilemektedir.

Şekil 4.13 ve 4.14, sırasıyla, β-alçı ile α-alçının SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.13 β Alçı Yapısının SEM Mikro Görüntüsü



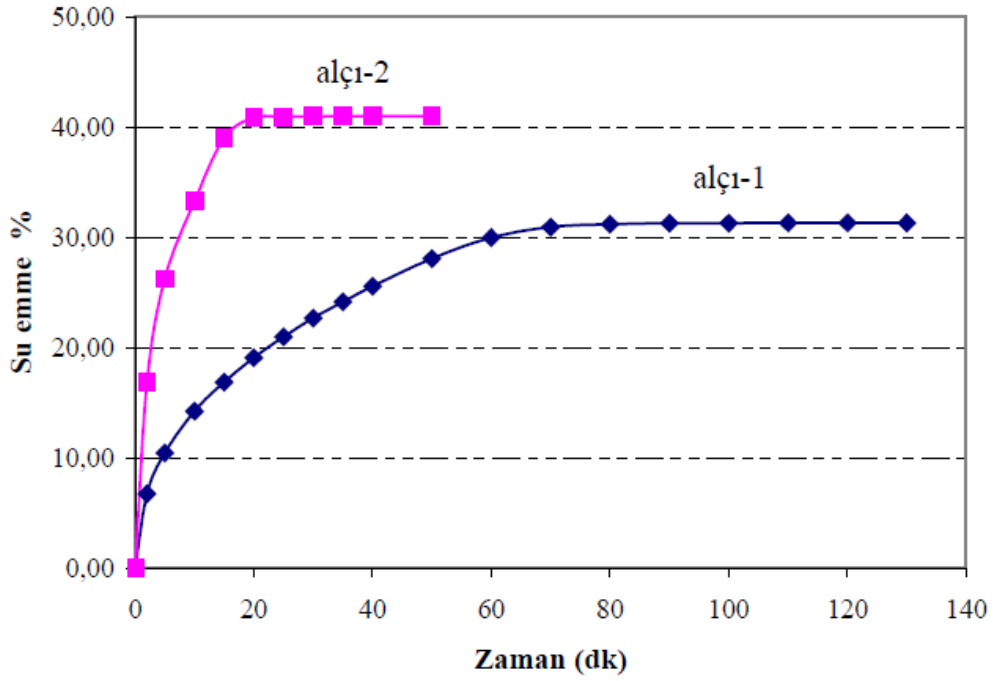
Şekil 4.14 α Alçı Yapısının SEM Mikro Görüntüsü

Görüntüler incelendiğinde, β-alçı ve α-alçıdaki temel farklılıklar, kristallerin uzunluğunda ufak bir azalma olduğu ve kalınlıklarının hafifçe arttığı görülmektedir. Daha belirgin olan şey ise, porozitedeki azalmadır. SEM

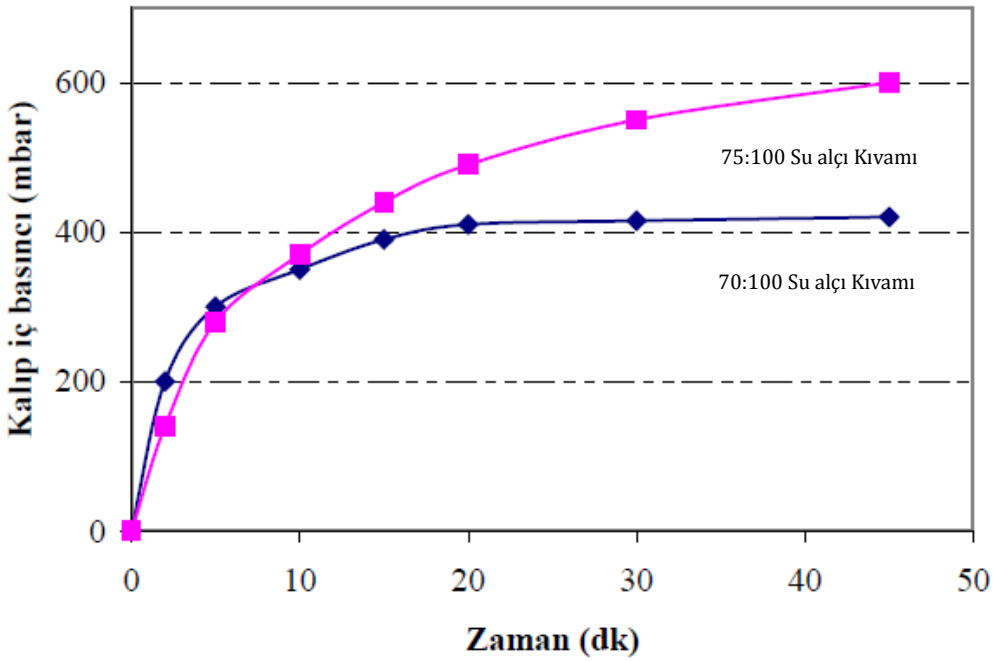
görüntülerinin incelenmesinden anlaşılacağı üzere, alçının mikro-yapısı önemli ayırt edici özelliklere sahiptir:

- Kristallerin uzamsal dağılımı düzenli değildir; daha ziyade çeşitli kristallerden oluşan bir ağ söz konusudur ki bu da alçının mekanik direncini ve tipik porozitesini meydana getirir.
- Alçının porozitesini son derece farklıdır ve 0,01 ila 100 mikron arasında değişen mikro-porlardan meydana gelir: ortalama değer tabii ki karıştırma suyu ve dolayısıyla alçının türüne göre değişir ve 0,7 ila 2 mikron civarındadır.
- Kristallerin uzamış, iğneye benzer bir yapısı vardır; uzunluk ile kalınlıkları arasındaki oran 10:1 ila 5:1 arasında değişir.
- Alçının emme kapasitesini değerlendirmek için, şu testler yapılabilir:
- Kuru alçı bir prizma bir destek üzerine yerleştirilir ve suyla dolu bir tankın üzerine, numunenin ucu suyla temas halinde olacak şekilde koyulur. Suyun numune boyunca zamana bağlı olarak yükselmesi değerlendirildiğinde alçı difüzyon katsayısı belirlenebilir: cm2/saniye olarak ifade edilecek şekilde Dg = (cm olarak yükselme / √saniye olarak zaman)^2. Döküm kalıpları için Dg genelde 2-3 cm^2/sn.dir.
- Su emme testi yapılacak alçı numunesinden küp şeklinde 100 mm x 100 mm'lik bir parça dökülür ve seri üretimde kullanılan kalıplara örnek olabilmesi adına sabit tartıma gelene kadar kurutulur. Sonrasında 20 cm çapında kaba küpün 1/3'ü suya batacak şekilde su emme testi uygulanarak kütlece kapiler etki ile belirli aralıklarla tartılarak zaman bağlı aldığı su miktarı ölçülür [35]. Su emme analiz aşamaları aşağıdaki gibidir. Normal şartlarda kalıp alçısının su emme değerleri ağırlıkça %30-%40 arasındadır.

4.3 Alçı Kalıpta Su Emme Eğrisi



Şekil 4.15 Farklı İki Alçı İle Hazırlanan Kalıpta Su Emme Eğrisi



Şekil 4.16 Farklı Kıvamda Hazırlanan Alçıların Kıvam-Kapiler İç Basınç İlişkisi

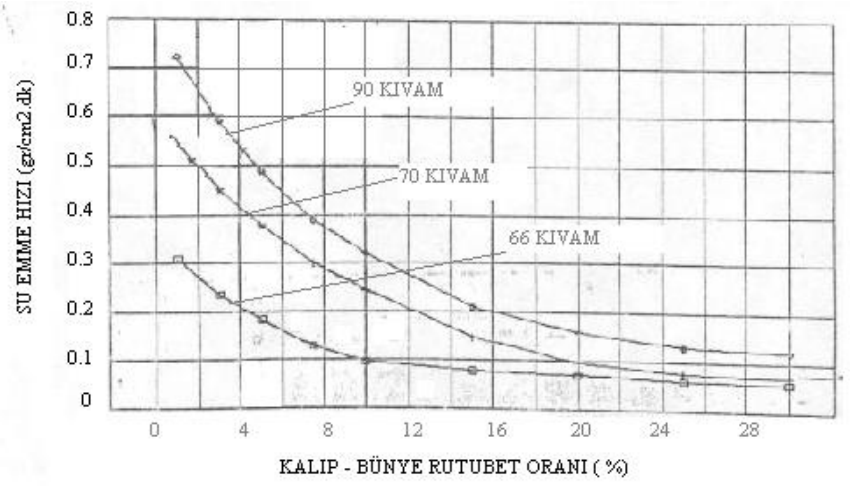
Şekillerde Kapiler basıncın ve su emme hızının kıvama bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarla belirlenen döküme etken parametreler şunlardır;

- Karıştırma süresi,
- Kıvam,
- Mukavemet,
- İlave edilen katkılar
- Su emme

Buradaki en önemli bulgu, donma başlangıcı ile donma bitişi arasındaki farkın azaltılması sonucunda su emme eğrisinin eğiminin azaldığı görülmektedir [45].

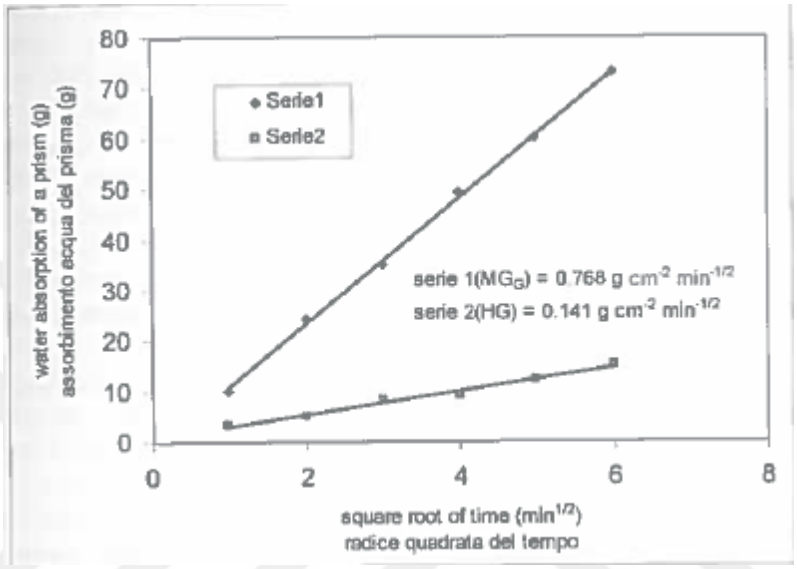
Yukarıda verilen bilgilerden, kalıbın su emmesinin farklı şekil ve boyutlara sahip çok sayıda pordan kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Fakat buna rağmen, kapilerite kanunları, çeşitli parametreleri tam olarak hesaplamak için değil, sadece bir kalıbın davranışına karar vermek için de alçının porozitesine uygulanabilir.

Su emme hızı azalarak eğrinin eğiminin azaldığı durumlarda kalıp daha dengeli çalışmaktadır. Su emme hızı çok yüksek olan alçı kalıplarda kalıp yüzeyinin hemen önündeki çamur film tabakasının hızla oluşması sonucu geçirgenlik azalmakta ve döküm hızı düşmektedir. Bununla birlikte aynı nedenden dolayı, döküm kekinde rutubet gradyanı da yüksek olur [45]. Şekil 4.17'de standart bir kalıp alçısının su/alçı oranının su emme hızına ve bünye rutubetine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 4.17 Farklı Yoğunlukta Hazırlanan Alçıların Kıvam-Su Emme İlişkisi [45]

Daha önce de görüldüğü üzere, α-alçı β-alçıdan daha az porludur ve dolayısıyla daha yüksek bir mekanik mukavemete sahiptir fakat su emme katsayısı daha düşüktür (diğer bir deyişle, daha az su emebilir). Bu açıklama, Şekil 4.18'de gösterilmiştir; burada β-alçı (MG olarak işaretlenmiştir) ve α-alçının (HG olarak işaretlenmiştir) su emme katsayılarının gelişimi sürenin karekökünün bir fonksiyonu olarak verilmektedir [46].



Şekil 4.18 β-alçı (MG olarak işaretli) ve α-alçının (HG olarak işaretli) Su Emme Eğrilerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.18 üzerinde:

Water absorption of a prism (g) = bir prizmanın su emmesi (g)

Square root of time ($min^{1/2}$) = sürenin karekökü ($dak^{1/2}$)

5
Alçı Kalıbın Kurutulması

5.1 Alçının Nem Yüzdesi

Stokiyometrik su:alçı oranı 0.186 olduğu halde, genel olarak alçı endüstrisinde kullanılan oran 0.6 ile 1 arasındadır, yani 0.186'dan çok daha yüksektir, bu sebeple reaksiyonun sonunda önemli miktarda su vardır. Bu fazla su, çok fazla enerji gerektiren bir operasyon ile malzemeden uzaklaştırılmalıdır. Alçı kalıplardaki kurutma işlemlerinin anlaşılması, daha etkili kurutma teknikleri ya da prosedürlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Üretimde, fazla sulu kalıp kuru bir fırında ısıtılarak, konvektif bir hava akışına maruz bırakılarak veya bu tekniklerin her ikisinin kombinasyonu ile uzaklaştırılır [47].

Toz alçı belirlenen reçetedeki alçı/su oranına göre alınan su üzerine sepeleme yöntemi ile ilave edilir. Alçının hidrasyonunu ve karışımın dökülebilirliğini sağlamak adına toz alçıya Şekil 5.1' deki gibi reaksiyon ihtiyacından fazla su ilave edilir.

$$CaSO_4.\,½\,H_2O + 3/2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

1 mol=145g 1 mol=27gr

Şekil 5.1 Alçı Reaksiyonuna Göre Su İhtiyacı

- Seramik kalıbında ortalama su kullanımı (1,35:1 alçı:su oranına göre) ;

  135 kg alçı 100kg su

  145g 27g

  135 kg alçıda x = 25 kg su kullanılmalı

  135 kg alçı + 25 kg su = 160 kg + 75 kg (fazla su)

  (75/235) x 100 = % 32 nem bulunmaktadır.

Bu kimyasal reaksiyon temel olarak hızlandırıcı olmadan yaklaşık 40 dakika sürer ve alçı kalıp dökümü bittiğinde kurutmadan önce içerisinde %32 su bulundurur [47].

Alçıya karışım anında katılan su miktarı kalıbın dökülebilirliği açısından önem taşırken, sonrasında kurutma prosesi ile porlarda bulunan fazla suyun atılması alçı mukavemeti ve porların kapiler etkisini yapabilmesi adına gereklidir.

5.2 Alçı Kalıbın Kurutulma İşlemi

Porları dolduran fazla suyu gidermek için yeni oluşan alçı kalıpların kuruması gerekir. Söz konusu fazla su, kalıp dökme işlemi için karışıma ideal yumuşaklığı vermek amacıyla karıştırma sırasında eklenmiştir: 100 gram alçı için aslında sadece 18,5 gram su kimyasal olarak bağlanabilirken 50-55 gr suyun giderilmesi gerekir.

Kurutmanın mümkün olduğunca hassas bir şekilde yapılması gerekir çünkü bu şekilde kalıbın sertliğinin daha iyi olması, porozitenin daha düzgün ve türdeş olması ve kalıbın ömrünün daha uzun olması sağlanabilir. Kurutma ortamda yapılabilir ve bu durumda uzun süre gerektirebilir (mikro-iklime ve kalıbın türüne bağlı olarak 15-20 gün bile sürebilir) ya da kurutma fırınlarında yapılabilir (4-7 gün).

Kurutma fırınlarında, 60 – 65 °C sıcaklığın aşılmamasına ve havanın nem içeriğinin fazla düşürülmemesine dikkat edilmelidir; aksi takdirde bu unsurlar kalıplara zarar verebilir ve yüzeyin kalsinasyonuna yol açabilir.

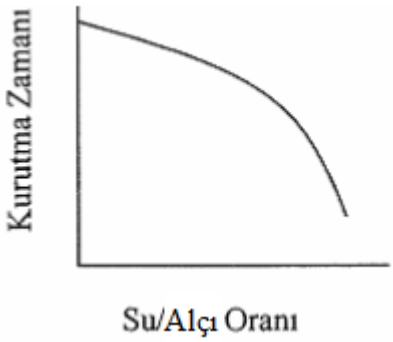
Ayrıca kurutmada hava dağılımı da çok önemlidir ve her kalıbın etrafında mümkün olduğunca benzer şekilde olmalıdır. Bir kalıbın tamamıyla kurutulmaması (%5 – 10 kalıntı nem) gerektiği unutulmamalıdır zira tamamıyla kuruduğu takdirde emme kapasitesinde kayba yol açacaktır [46].

5.3 Alçı Kalıbın Kurutulmasını Etkileyen Parametreler

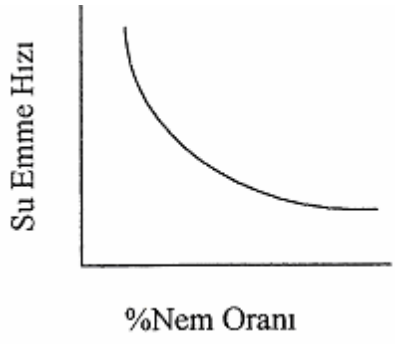
Bütün kalıplardan aynı sonuçları fiziksel özellikleri elde etmek için kalıplar uygun bir şekilde kurutulmalıdır. Kurutma, kalıptan fazla suyun uzaklaştırılması için yapılır. Bu da döküm çamurundan suyun etkili bir biçimde uzaklaşmasını

sağlar. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma kalıbın kalsinasyonuna, düşük sıcaklıklar ise alçı kalıp veriminin azalmasına neden olur.

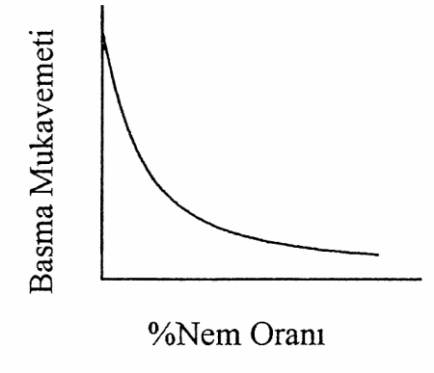
Kurutma işlemi gereğince yapılmaz ise kalıbın yumuşaması ve işlemede yavaş çekim problemleri ile karşılaşılır. Sabit bir sıcaklıkta su/alçı oranı azaldıkça şekil 5.2' deki gibi kurumanın zorlaştığı görülmüştür. Kalıpların içerdikleri nem oranı azaldıkça su emme hızlarının ve kalıp mukavemetinin şekil 5.3 ve şekil 5.4' deki gibi arttığı bulunmuştur [48].



Şekil 5.2 Su/Alçı Oranına Bağlı Olarak Kurutma Zamanının Değişimi



Şekil 5.3 Nem Oranına Bağlı Olarak Su Emme Hızının Değişimi



Şekil 5.4 Nem Oranına Bağlı Basma Mukavemetinin Değişimi

5.3.1 Alçı Kalıbın Döküm Sonrası Kurutulması

Kalınlık alma ve sertleşme aşaması sırasında, alçı kalıp çamurdaki suyu emer. Emilen su miktarı mamulün tipine ve çamur türüne bağlı olarak değişir. Tablo 5.1' de VC ve FFC çamurunun bir sağlık gerecine ilişkin tahmini değerler gösterilmektedir [46].

Tablo 5.1 Farklı Mamullerde Ve Döküm Tipinin Ağırlığına Göre Alçı Kalıp

Mamuller	Kg cinsinden kuru ürünün ağırlığı	Alçı Kalıp Tarafından Emilen Su Miktarı (kg)
VC klozet	20	3.5
VC rezervuar	10	1.9
FFC duş teknesi	30	2.3

Kalıbın emdiği su miktarı yalnızca yarı mamülün türüne değil, aynı zamanda çamur çeşidi ile de ilgilidir. Örneğin her ne kadar VC klozetten daha ağır olsa da FFC çamurundan üretilen bir duş teknesi farklı masif döküm/ boş döküm oranı nedeniyle, ve her şeyden önce VC çamuruna kıyasla FFC çamurundaki daha düşük başlangıç suyu içeriği nedeniyle alçı kalıba daha az su transfer eder.

Bu nedenle, döküm süreci bittikten sonra, biriken suyu uzaklaştırmak ve bir sonraki döküm işleminde su emme kapasitesini eski haline getirmek amacıyla alçı kalıbın kurutulması gerekir.

Pratikte, bir iş haftası boyunca aynı kalıptan uzaklaştırılması gereken suyun aynı olmadığı konusu dikkate alınmalıdır. Klasik döküm yöntemini kullanan

işletmelerde kurutma işlemi kalıptan emilen suyun tamamen uzaklaştırılmasına imkân vermez. Bir iş haftası boyunca, Pazartesi'den Cuma'ya kadar ağırlıkça artma eğilimi gösterecek şekilde kalıpta giderek artan bir su birikimi söz konusudur.

Tablo 5.2' de, similasyon ile bir klozetin haftanın farklı günlerindeki ağırlığı ve buna bağlı bir dizi ölçüm sonucu gösterilmektedir [46].

Tablo 5.2 Çalışma Haftası Boyunca Bir Klozete Ait Alçı Kalıbın Ağırlığı

Gün	Alçı kalıbın ağırlığı	Bir önceki güne ilişkin su birikimi (kg)
Pazartesi	98.7	-
Salı	99.7	1.0
Çarşamba	100.2	0.5
Perşembe	100.6	0.4
Cuma	101.0	0.4
Kalıpta Nihai Birikim		2.3

Verilerin analizinde kurutma sırasında buharlaşmamış olan suyun birikmesi nedeniyle kalıp ağırlığındaki artışın gün geçtikçe nasıl azalan bir eğilim sergilediği gösterilmektedir. Bunun nedeninin kalıbın porozitesi aşamalı olarak suya karşı kısmi doygunluğa ulaşması ve dolayısıyla da kalıbın kapiler etki ile suyu emme kapasitesinin azalması olduğu belirgindir. Kalıbın emme kapasitesindeki azalma nedeniyle endüstride bir iş haftası boyunca kalınlık alma ve sertleşme sürelerini arttırmanın yaygın bir uygulama olması bu konunun önemini kanıtlar niteliktedir.

Net bir şekilde görüldüğü üzere, yukarıdaki tabloda sunulan veriler belirli bir üretim sürecine yönelik olup, bu nedenle kesin bir referans teşkil etmezler, fakat kalıp kurutma sürecinde dökümhane ortamına yayılmış sıcak havanın kullanıldığı her klasik döküm bölümünde görülen genel bir eğilimi gösterirler. Bu da yukarıda açıklanan çalışma şartları altında bir iş haftası boyunca birikmiş olan suyu uzaklaştırmak için hafta sonu (cumartesi ve pazar) süresince uzun süren bir kurutma dönemine duyulan ihtiyacı doğurabilir. Böylelikle kurutma işlemine

yönelik saat sayısını arttırmak suretiyle kalıbı, hafta başı itibarıyla mükemmel biçimde kuru olacak şekilde ilk çalışma koşularına geri döndürmek mümkündür.

Kalıpların döküm sonrası kurutulmasında kullanılan asıl sistemi, yani dökümhanenin ısıtılmasını detaylı olarak incelemek gerekmektedir. Bu süreçte, kalıpları ısıtmak için nemli havanın çıkarılmasına yönelik bir sistemle birleştirilmiş olan, döküm bölümündeki iklimlendirme tesisi kullanılmaktadır.

Burada amaç, dökümhane ortamında suyun kalıptan buharlaşmasını sağlayacak sıcaklık ve nem koşullarını oluşturmaktır. Söz konusu buharlaşmayı kolaylaştırmak amacıyla geniş kanatlı, ancak düşük devirli (ayarlanabilen), kalıbın yaklaşık 2.5 - 3.0 metre yukarısına yerleştirilmiş pervaneler kullanılır. Bu pervaneler ilk olarak yayılım yoluyla ısı transfer katsayısını arttırıp kalıp üzerindeki sınırlayıcı buhar tabakasını uzaklaştırmak suretiyle suyun buharlaşmasını kolaylaştırarak kalıplara doğrudan hava akışı sağlarlar. İkincil olarak, dökümhane ortamındaki ısı dağılımını ve döküm bölümünün zemini ile tavanı arasındaki sıcaklık homojenliğini iyileştirmek suretiyle odaların yüksek kısmında tabaka olma eğilimi gösterecek sıcak havanın kalıplara nakledilmesini mümkün kılarlar. Isı ve nemli havanın dökümhane ortamında homojen dağılmasını sağlayan pervane sistemi şekil 5.5 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Kalıbın Döküm Sonrası Pervane İle Kurutulması

Temelde, bu sistem nemli havayı tahliye etmek amacıyla dolaylı bir sıcak hava üretecinden, sıcak havanın eşit oranda dağılması için kanallardan ve bir dizi fandan oluşur [46].

Bu tesislerden elde edilebilecek sıcaklık ve bağıl nem değerleri, dökümhanenin büyüklüğüne ve yerel iklim şartlarına göre değişir. Elde edilebilecek ortalama ideal değerler aşağıdaki gibidir:

- Sıcaklık 33 ila 36°C
- Bağıl nem %40 ila %50

Daha önce belirtildiği gibi, bu mikro-klimatik koşullar bir döküm işlemi ile bir sonraki arasında geçen yaklaşık 16 saat içerisinde kalıp tarafından emilen suyun sadece kısmen uzaklaştırılmasını sağlar. Bu nedenle, çalışma haftası boyunca alçı kalıpta birikmiş olan tüm nemin uzaklaştırılmasını sağlamak için daha uzun bir kurutma süresi (hafta sonunda en az 40 saat) gereklidir.

Dökümhane ortamında aynı zamanda kurutma havasındaki nemi de gideren klima kullanılması sayesinde kalıpların kurutulması bakımından daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir; ancak elde edilebilecek faydaların ek maliyetler ile kıyaslanması sonucu, gerek başlangıç yatırımı gerekse işletim maliyeti bakımından bu çözüm oldukça pahalı olabilmektedir.

Ek olarak, kalıpların kurutulmasında kullanılan hava yarı mamulün ilk kurutulmasında kullanılanla aynıdır, dolayısıyla, havanın çok nemli olmaması durumunda, yarı mamullerin kurutulmasındaki gelişmeyi kontrol etmek zor olabilir ve bu da kurutma esnasında çatlamaların önemli ölçüde artmasıyla sonuçlanır. Isıtma/hava tahliyesinin kullanıldığı bu kalıp kurutma sistemi aşağıdaki sebeplerden dolayı enerji bakımından oldukça maliyetlidir:

- Büyük hacimde ısıtılması gereken hava
- Taze hava nedeniyle önemli termik kayıplar
- Endüstriyel binalarda büyük ısı kayıpları (özellikle kışların soğuk geçtiği

bölgelerde).

İşletmenin kurulu olduğu iklim kuşağına, işletmenin tür ve verimliliğine ve işletme proses şartlarına (hava değişimi, maks. kurutma sıcaklığı, vb.) bağlı olarak 500-1000 kcal/kg arasındaki değişken değerlerde pişirilmemiş mamulün üretildiği bu tür bir tesisin genel tüketimini ölçmek mümkündür.

Kalıpların kurutulması için termal enerji dağılımını analiz ettiğimizde :

- Toplam %21-35 kcal arasında su buharlaşması
- Toplam %18-45 kcal arasındaki hava değişimleri nedeniyle
- Toplam %33-51'lik kcal ise enerji kaybı olarak harcandığı hesaplanmaktadır [46].

Farklı iklimlerde bulunan işletmelerin çalışma koşullarında tespit edilen değişikliklere müsamaha gösterilse dahi, kullanılan termal enerjinin büyük bir bölümünün toplamda verimsiz şekilde yitirildiği açıkça görülmektedir. Bu nedenle döküm sonrası kalıp kurutmada öncelik olarak endüstriyel kalıp kurutma sisteminin yüksek verimlilik ve çok daha düşük bir termal enerji tüketimi ile karakterize edilmesi yer almaktadır. Kalıpların kurutulmasıyla ilgili olarak sektörde kullanılan birçok yöntem mevcuttur, ancak aralarında en yaygın olarak kullanılan iki sistem bulunmaktadır:

- Sıcak havalandırma ve nem egzozu yoluyla şartlandırılmış kalıp kurutma.

Uygulamada, döküm tezgâhı üzerine pervaneler veya tekstil tipi kurutucu yerleştirilir.

- Döküm işlemi sırasında biriken suyu uzaklaştırmak üzere alçı kalıbı bölümünde kalıbı hazırlayan, alçı içerisindeki bir ağ yapı sistemine basınçlı hava verilmesi.

Her iki sistem de 5.3.2 ve 5.3.3' de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

5.3.2 Kalıpların Bir Kurutucuyla Kurutulması

Endüstride kullanılan farklı versiyonların tümü şekil 5.5' te gösterilen yönteme benzerdir. Bu, temelde alçı kalıp tezgâhı üzerine monte edilmiş bir kurutucudur; bunun dışında tekstil tipi olarak geçen tek bir büyük pervanenin kollektör yardımı ile tezgah başından gelen havayı dağıtması ile gerçekleştirilen kurutma yöntemi de mevcuttur.

Bu konfigürasyon pratikte kalıplara dökümcü tarafından erişilmesine imkan verecek gereksinime göre hazırlanmıştır. Kurutucu, sıcak hava dağıtım boruları (özel bir brülör tarafından üretilen veya fırınlardan alınan hava ya da diğer sıcak hava kaynaklarından elde edilen hava) ve nemli havayı da tahliye edecek bir sistem ile tamamlanır.

Suyun kalıptan buharlaşma olayını kontrol eden en önemli parametreler hava sıcaklığı ve havanın hızı olduğundan, hava dağıtımına ve havalandırmaya son derece kritik proseslerdir.

Aynı zamanda diğer bir parametre olan yüksek bağıl nem değerinin kurutmayı olumsuz etkileyecek olması nedeniyle, nemli hava tahliye sisteminin verimliliği de kritik önemdedir. Alçının karakteristik özelliklerinin değişmesini engellemek ve kalıbın doğru çalışmasını sağlamak adına kalıpların kurutulmasında kullanılan sıcaklık 50 °C'nin üzerinde olmamalıdır. Aşırı sıcaklık kırılganlığı arttırıp su emme kapasitesini düşürerek alçıda farklılıklara yol açar. Her ne kadar mekanik kurutma kullanılmış olsa da, gün geçtikçe kalıpta önemli miktarda nem birikimi olacağı belirgindir. Buda, haftanın her günü aynı çalışma yöntemlerinin kullanılamayacağını ve döküm işlemini gerçekleştiren kişinin döküm prosesinde değişiklikler ve ideal koşulları belirlemesi gerektiğini ifade göstermektedir [46].

5.3.3 Basınçlı Havanın Kalıp İçerisindeki Damar Sistemine Girişi

Kapiler etki ile emilen suyu uzaklaştırmak amacıyla, bu kalıp kurutma sisteminde ısının yerine alçı kalıp içerisine bir dizi kanal vasıtasıyla beslenen hava kullanılır. Şekil 5.6' da, bu kanalların kalıp kalınlığı içerisinde nasıl yerleştirildiğine dair bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Kalıp İçerisinde Hava Kanallarının Konumlandırılması

Bu kanallar normalde alçı karışımının döküm işlemi öncesinde kalıp içerisine geçirgen malzemeden bir boru tesisatı yerleştirilerek elde edilir. Döküm sonrasında, söz konusu boruların tamamı kalıp içinde kalarak daha sonra

sıkıştırılmış hava kaynağına bağlanacak olan bir ya da birden fazla kollektöre bağlanır. Günümüzde, alçı kalıp üretim sürecinde kalıp içerisine önceden belirlenen bir mesafede uygun ebatlarda birçok silindir içeren bir şablon yerleştirilmek suretiyle kanal sistemi oluşumunun planlandığı, bu sisteme ilişkin bir varyant geliştirilmiştir. Bunun sonucunda da, kalıbın arka kısmından, kalıbın döküm yüzeyinden yaklaşık 1.5 cm. ila 2 cm.lik mesafeye ulaşan bir dizi düzenli silindir şeklinde boşluk meydana gelecektir. Bu metodla elde edilen kalıbın arka kısmı, altında tüm silindirik kanalların birleşip dağılacağı bir plaka ile kapatılmalıdır, dolayısıyla plakanın altındaki serbest alan dağıtıcı vazifesi görecektir. Genellikle, bu ikinci metot aşağıdaki nedenlerden ötürü ilk metottan daha etkilidir:

Başta kanal tesisatının daha büyük geometrik düzenliliğe sahip olması nedeniyle basınçlı hava dağıtımı daha homojendir. Basınç düşüşleri azalır ve bu nedenle daha düşük bir hava basıncı kullanılabilir.

Kalıplar içerisinde boş kanallar oluşturmak için kullanılan hortumların yerleştirilmesine yönelik şablonlar oluşturulduğunda, kalıp üretim yöntemi daha basit hale gelebilir.

Hava aynı zamanda kalıbın tüm karmaşık noktalarında da homojen şekilde dağıtılabilir. Alçı içerisine yerleştirilecek geçirgen boru kullanımının olduğu metotla bunu gerçekleştirmek güç olabilir. Fakat, bu metot çok kısa bir kullanım ömrüne sahip alçı kalıplarla kullanılamayacak kadar masraflıdır.

Alçı kalıp içerisinde bir kanal tesisatı oluşturulmasında kullanılacak teknik her ne olursa olsun, kalıp içerisine basınçlı hava verilmesi döküm aşaması boyunca alçı tarafından emilen suyun hızla atılmasını sağlar. Sonuç olarak, bu metot kullanıldığında, vardiya başına iki/üç döküm işleminin gerçekleştiği durumlarda dahi kesintisiz üç vardiyada çalışmak mümkün olabilir. İlk aşamada, basınçlı hava kalıp içerisine 1.5 ile 2 atm arasında (makaron sistemine ve kullanılan alçının özelliklerine bağlı olarak) değişken bir basınçta verilir. Basınçlı havaya uygulama süresi normalde 10 ile 20 dakika arasındadır, fakat aşağıdakilere bağlı olarak değişebilir:

- Alçı kalıbın karakteristik yapısına

• Döküm türüne (boş veya masif döküm): Kalıp tarafından emilen suyu miktarında ki farklılıklara

• Kanal tesisatının türüne

Basınçlı havanın itiş gücünden kaynaklanan mekanik baskı etkisi nedeniyle özellikle ilk aşamalarda kalıp tarafından emilen su uzaklaştırılır.

Buharlaşma yoluyla ise sadece az miktarda su uzaklaştırılır. Bu işlem su ile beraber kalıptaki çözünebilir incelticilerin de (sodyum silikat ve sodyum karbonat gibi) uzaklaştırılmasını mümkün kılar, bunlar da alçıya kimyasal olarak etki edip zarar veren bileşikler olup, alçının ömrünün uzaması anlamına gelir.

Bu reaksiyon (3) sodyum karbonatın sodyum sülfata dönüşmesi olarak aşağıdaki gibi tepkimeye girer (alçı kalıbın bazik bileşeni):

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4 \qquad (3)$$

Kalıptaki çözünebilir karbonat tuzu basınçlı havanın tesisat ile devreye girmesi nedeniyle azalır ve kalıbın kendi kullanım ömründe bir artışa dönüşür. Bu olay aynı zamanda mukavemetin artmasına katkıda bulunarak suyun kalıp içerisinde daha az zaman geçirmesi anlamına gelir. Bununla beraber, endüstriyel bakış açısıyla, bu teknolojinin kullanılabilmesi için çalışma düzenliliğini ve sonuçların tekrar edilebilirliğini sağlayacak birtakım şartların sağlanması gerekir:

- Kanal sisteminin çalışması üzerinde belirleyici etkiye sahip olan parametreler dikkatli biçimde kontrol edilmelidir. Özellikle, alçı/su karışımının hazırlanması ve kalıp haline getirilmesi yönteminin yanı sıra alçının ve mikro-yapısının kalıpların içerisindeki tane boyut dağılımının standart hale getirilmesi de gerekmektedir.
- Alçı kalıbın kapiler etkisi ve hava geçirgenliğinin kontrol edilmesi son derece önemlidir. Bu nedenle, alçı/su oranının buna göre düzenlenmesi gerekir.

Bu iki madde yalnızca basınçlı hava yoluyla suyun uzaklaştırılmasına ilişkin metodun doğru çalışmasını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda basınçlı hava tüketimini de etkiler. Bir tezgah boyunca tüm kalıplara kalıp içi kanallar vasıtasıyla hava verildiği düşünüldüğünde çok daha verimli bir kurutma olacağı aşikardır.

Pervane yada farklı bir kurutma sistemine gerek kalmayacağı için aynı zamanda tasarruf sağlanacak fakat bu yöntem için basınçlı hava (ve dolayısıyla elektrik) tüketiminin oldukça yüksek olması nedeniyle, hava tüketimi optimizasyonu yapılması gerekecektir. İki yöntemin karşılaştırılmasıyla enerji hesabının bu tip kalıp kurutmanın seçilmesinde veya vazgeçilmesinde ne denli temel parametre olabileceğini anlamak mümkündür.

Buradan çıkan sonuçla, döküm işleminin kontrol edildiği parametreleri ve basınçlı hava tüketimini optimize edebilmek için bir ideal koşulların bulunması gerekmektedir.

6
Literatür Taraması

Bu çalışmada, seramik kalıbı alçısının karakterizasyonu ve kurutma parametlereleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan önce aşağıda özetlenen literatür araştırması yapılmıştır.

Anna Czaderna ve ark. [49] alçı donma sürecine ve buna bağlı su moleküllerinin dizilişindeki değişikliklere selüloz türevlerinin değiştiricilerinin: 2-hidroksietil metilselüloz (HEMC), hidroksipropil metilselüloz (HPMC) ve hidroksipropil selüloz (HPC) etkisini çalışmışlardır. IR spektroskopisi alçı örneklerinin yüzey ve kırıkları arasındaki suyun yapısal farklılıklarını ortaya koymuştur. Saf alçı ile karşılaştırıldığında; donma süreci, polimer su moleküllerini hidrofilik olarak kısmen hapsettiğinden selüloz türevleri varlığında daha yavaştır. IR, SEM, DSC ve mikromekanik ölçümlerin karşılaştırması sonucu su kümelerini stabilize eden selüloz türevleri içeren, supramoleküler model yapıya sahip alçı önerilmiştir.

Ángel Serna ve ark. [50], kullanım ömrünü tamamlamış lastiklerden (ELT) kaynaklanan kauçuk atıklarını değerlendirebilmek adına bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı, alçının elastik davranışlarını kauçuk gibi yüksek elastik polimer ilavesiyle arttırmaktır, böylelikle sonuçta elde edilen bileşiğin elastikiyet modülü, katkı maddesi olmayan alçıdan daha küçük olacaktır. Bu sayede malzemenin esnekliğinin düşmesi ile birlikte alçının donmasına yakın ilk saatlerde çatlamasının azaltılması mümkün olacaktır. Ángel Serna ve ark. farklı granülometrelere sahip alçıların (0-1 mm, 1-2 mm ve 2-4 mm), ve farklı kauçuk hacim fraksiyonlarında (% 1,% 3 ve% 5). davranışını analiz etmiştir. Deney sonuçları katkı ilavesiz alçı numunelerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Rafael E. Ochoa ve ark [51] yaygın olarak kullanılan vitrifye alçı kalıp su / alçı oranlarını çalışarak (ağırlıkça 66 ila 82 birim su / 100 birim alçı), başlangıç alçı reolojisi, mikroyapı ve nihai özelliklerin kalıp ve döküme etkisini değerlendirmiştir. İğne delikleri ve zayıf akış davranışı nedeniyle boşlukların eksik doldurulması gibi en düşük kusur olasılığına sahip kalıpların yapılması için alçının

çalışabilir süresi veya alçıyı dökebilmek için uygun süre (alçı kristallerinin oluşumundan dolayı viskozitede ani bir artış olmadan önce), zamanın bir fonksiyonu olarak viskozite eğrileri vasıtasıyla belirlenmiştir. Alçı kalıpları yapmak için optimum çalışma süresi, en yüksek su / sıva oranında bulunmuştur. Su / alçı oranı arttıkça, alçı kristallerinin morfolojisi kalıp porozitesinde (% 11'e kadar) bir artışı teşvik ederek, büyük iğne oluşumuna doğru yönelmiştir, ve bu dökülen çamur mamülün özelliklerini değiştirmeden kalıbın basınç mukavemetinde (% 1.5) çok az bir azalma ile alçı kalıbın ana özelliğini geliştirerek, e döküm hızını (% 8'e kadar) arttırmıştır.

Cahide Aydın İpekçi ve ark. [15] bu çalışmada seramik şekillendirilmesinde alçı kalıp özelliklerinin etkisini çalışmışlardır. Seramik üretimi, uygun kalitede hammadde hazırlanmasından ürünün elde edildiği en son aşamaya kadar güç ve karmaşık bir süreçtir. Seramik üretim aşamasının bir halkası olan döküm yöntemi, akıcı kıvamdaki kil hamurunun açık veya kapalı yöntem ile bir veya daha fazla sayıda parçalı kalıplara dökülmesi ile yapılan şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemde kil hamuru akıcı kıvamda olduğundan kilin fazla suyunun kalıp tarafından emilerek dışarı atılması gerekir. Bu nedenle alçı döküm kalıbının dayanımını düşürmeden absorpsiyonunun artırılması gerekir. Döküm kalıplarına bu özelliklerin kazandırılması ve kalıp ömrünün uzatılması için yapılacak herhangi bir iyileştirme, ürünün kalitesi ve üretim maliyeti bakımından sektöre önemli katkı sağlayacaktır. Seramik endüstrisinde kullanılan kalıp alçıları ile ilgili kaynak taramasından, öncelikle seramiğin tarihçesi ve günümüzdeki durumu, alçıtaşı, kalıp alçısı, kalıp alçısının kullanımı, uygulamasındaki sorunlar ve çözüm önerilerine yönelik derleme yapılmıştır. Araştırmadan; alçı kalıplardan istenen özelliklerin sağlanması için suemme oranı yüksek mineral katkı malzemelerinin kullanılabilirliği, bu malzemelerin alçıya ne oranlarda katılacağının ve etkilerinin deneysel olarak araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Veit Dr. Dipl. ve ark. [52] yaptıkları patentli çalışmada seramik kalıbı alçısının özelliklerini geliştirmek amacıyla katkı malzemesi olarak suspansiyon halinde bir karışım modifiye etmişlerdir. Bu solüsyon ile alçının karakteristik özelliklerinden olan mukavemetini geliştirmek ve por hacmini büyütmeyi amaç edinmişlerdir.

Fevziye Aköz ve ark. [35] Alçı kalıp özelliklerini geliştirmek ve kalıpdan ürün çıkarma süresini düşürmek amacı ile proje çalışması yapmıştır. Planlanan, ‘’Seramiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Kalıp Alçısı Özelliklerinin İyileştirilmesi’’ adlı 107M214 no’lu proje ile ilgili çalışmalar tamamlanmış ve sonuç raporu hazırlanmıştır. Projede önerilen varsayımlar deneysel çalışmalar ile gerçekleştirilmiş, alçıya katılan diyatomit ve perlit sayesinde alçı kalıpların kalıp alma süresinde ortalama 2,5 saat kısalma sağlamışlardır.

Sangbeom ve ark. bu çalışmada [53], farklı geometri (altıgen, dikdörtgen ve kare) ve farklı porozitelerde (0.45 / 0.5, 0.6, 0.7, 0.8) bakır mikro sütun yapıların (yükseklik: 50 μm, çap: 50 μm) geçirgenliği ve kılcal basıncını karşılaştırmıştır. Deneysel ve sayısal olarak mikro sütun yapılar, elektrolizle kaplanmış bakır kaplı baskılı devre kartı üzerine üretilmiştir ve ıslanabilirliği arttırmak için numuneler silika nano parçacıkları ile kaplanmıştır. Numunelerin geçirgenliğini ölçmek için kuvvetli sıvı akış testi kullanılmış ve kılcal basıncı belirlemek için kapiler yükselme oranı ölçüm tekniği kullanılmıştır. Geçirgenlik modelinde, tepe eğriliğinin etkisi göz önünde bulundurulmuş ve sonuçlar diğer geçirgenlik modelleriyle karşılaştırılmıştır. Kılcal basınç, yüzey enerjisi minimizasyon aleti, yüzey gelişimi kullanılarak hesaplanmıştır. Test sonuçları, dikdörtgen düzendeki mikro sütun dizisinin en yüksek geçirgenliğe ve aynı porozitede ki diğer sütun düzenlemelerine kıyasla benzer kılcal basınca sahip olduğunu ve böylece en yüksek kılcal performansa sahip olduğunu göstermektedir. Aynı yerçekiminin kapiler yükselme oranı testi ile örnek karakterizasyonu üzerindeki etkisi, Washburn denkleminin test verilerine uygulanabilirliğini araştırmak için de incelenmiştir.

M. D. Seck ve ark. [47] alçı malzemenin hazırlanmasından hemen sonra kurutma özelliklerine (yani, zamandaki kurutma hızı değişimi) odaklanmıştır. Farklı deney koşullarının veya malzeme özelliklerinin bir fonksiyonu olarak kurutma eğrilerinin spesifik özelliklerini ortaya koymak için Manyetik Rezonans Görüntüleme, Elektron Mikroskobu ve X-Işını Mikro- yardımıyla, malzemelerin içindeki yerel özelliklerin (su içeriği, yapı) değişimini incelemişlerdir. Sonuç olarak alçının kuruma hızının, basit bir homojen porlu ortamdan buharlaşan saf bir sıvı için beklenenden önemli ölçüde düşük olduğunu bulmuşlardır. Bu etkinin, hava akış hızı ve başlangıçtaki katı / su oranı ile arttırılabildiği görülmüştür. Çeşitli koşullar

altında, kurutma hızını ve lokal karakteristikleri (su içeriği, porozite) ölçmek için ek teknikler (MRI, ESEM, Mikro-tomografi) yardımıyla yapılan diğer testler; kuruma etkisinin alçı iyonlarının kuru bir bölge oluşturarak serbest yüzeye ulaşmadan önce buharın izlemesi gereken yolun uzunluğunu artırarak, kurutma oranını azaltan alçı serbest yüzeyi altındaki kristalizasyona bağlı olduğunu kanıtlamaktadır.

7
Deneysel Çalışmalar

7.1 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada alçı kalıbın döküm özellikleri geliştirilerek birden fazla döküm yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle ilk olarak ticari olarak mevcut kalıp alçıları incelenmiş ardından standart olan 300 devir/dk karıştırma hızı ve 4 dakika karıştırma süresinde kalıplar ve deney numuneleri üretilerek döküme etkiyen por boyut ve dağılımı, mukavemet, su emme analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada çoklu dökümü etkileyen parametreler üzerine çalışılmıştır.

Çalışmada öncelikle hammaddelerde bulunan bileşiklerin XRD, SEM, TG/DTA ve BET tayinleri yapılarak örneklerin karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Ön analizlerin yanında yayılma çapı, donma başlangıcı, donma bitişi kapiler denge basınç ölçüm yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır. Hammadde ve katkıların karakteristik özellikleri belirlendikten sonra literatür çalışmalarından edinilen bilgiler ışığında uygun görülen katkılar ilave edilip alçı numuneleri üretilmiştir. Deneylerde kullanılan alçı ve katkılı alçı numunelerinden uygun sonuçlara sahip olanlarla seramik kalıbı üretilmiş, çoklu dökümün incelenmesi için kalıptan çıkan yarı mamulün iç-dış sertlik ve deformasyon problemleri kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan en uygun alçı ve katkının nihai özellikleri belirlenmiştir.

7.1.1 Hammaddeye Uygulanan Fiziksel Testler

Bu çalışmada alçı kaynağı olarak 3 tip alçı kullanılmıştır. Seramik kalıbı alçısı olarak kullanılan alçılar 3 farklı tedarikçiden temin edilmiştir. Alçı tipleri A1,A2,A3 olarak adlandırılmıştır.

Türk Standartlar Enstitüsüne göre TSE K 471'de madde 5.3.3'de tarif edilen deneye tabi tutulduğunda, su/alçı oranı minimum % 28 olmalıdır [54].

Alçıların genel olarak kimyasal kompozisyonları ise,

a) $CaSO_4.1/2H_2O$ (%) min 90,0

b) SO_3	(%)	min 4,5
c) CaO	(%)	min 3,2
d)$SiO_2 + R_2O_3$	(%)	max 0,8
e) MgO	(%)	max 0,5
f) CO_2	(%)	max 1,0

olacak şekildedir.

Standart karıştırma hızı 300 devir/dakika karıştırma süresi ise 4 dakikadır. Tartılmış olan alçı miktarı ölçülmüş suya yavaşça sepelenerek eklenir ve alçının tamamen ıslanmasını bekleyiniz. 2 dakikanın sonunda alçı suyu emdikten sonra karıştırma işlemine başlanır. Karıştırılmış olan alçının üzerine yeni alçı eklenmez.



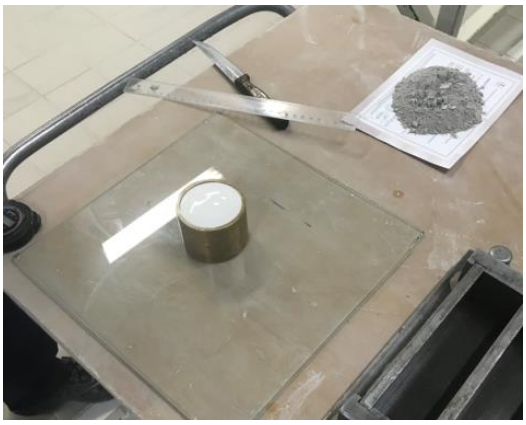
Şekil 7.1 Alçı Karıştırıcı

a) Yayılma Çapı Analizi

Malzemelerin akıcılık ve işlenebilirlik özelliklerini belirlemek üzere yayılma çapı deneyi yapılmaktadır. Analiz için hazırlanan örnekten karışım hazırlanarak, camın üzerinde bulunan yayılma çapı halkası doluncaya kadar karışımı doldurulur. Sonrasında halka kaldırılarak malzemenin cam üzerinde yayıldığı alanın sabit duruma geçmesi beklenir. Sabit halde iken yayılan malzemenin çapı ölçülür [55].

Aletler:

1) Smith Halka Çapı; İç çapı 60 mm. yüksekliği 50 mm olan pirinç malzeme



Şekil 7.2 Yayılma Çapı Halkası



Şekil 7.3 Yayılma Çapı Ölçümü

b) Donma Başlangıcı Analizi

Donma başlangıç-bitiş analizi için aynı şekilde alçı karışımı pirinç halka içine doldurulur ve halka kaldırılarak alçının cam üzerine dökülmesi sağlanır. Bir bıçak yada keskin malzeme yardımı ile yuvarlak alçıya çizik atılarak Donma Başlangıcı (bıçak) Alçı ve su sıcaklığı donma sürelerini etkilediğinden, alçı ve suyun sıcaklığı kullanımları sırasında olabildiğince 15 ila 20 ° C arasında olmalıdır. Türk Standartlar Enstitüsüne göre TSE K 471'de madde 5.3.4'de tarif edilen deneye tabi tutulduğunda, priz başlangıç süresi 7 dakikadan fazla olmalıdır [54].

c) Alçının Kurutulması

Laboratuvar ölçekte çalışılacak olan alçı numuneleri sabit tartıma gelene kadar 1 gün boyunca max 60 ° C ayarlı etüv içerisinde kalıp üretim kurutma koşulları simüle edilerek gerçekleştirilir. Kurutma aşamaları aşağıdaki gibidir:

1) Elde edilen alçı kalıplar ortam sıcaklığında 2-3 gün bekletilir.

2) Daha sonra 40±4°C'ye ayarlı etüve konur. Birkaç gün bekletilerek sabit ağırlığa getirilir. Etüvden alınan kalıplar ortamda soğutulur ve tartılır.

3) Tartımlar arasındaki fark 0.2 gr'dan fazla değil ise sabit ağırlığa ulaşılmış kabul edilir ve her bir kalıbın ağırlığı üzerine yazılarak saklanır.

4) Tartımlar arasındaki fark 0.2 gr'dan fazla ise tekrar etüvde kurutma işlemine devam edilir [55].

d) Kuru Mukavemet Analizi

Alçının dayanıklılık/mukavemeti alçı kalıbının döküm ömrünü etkileyen parametrelerin başında gelir. Alçının birden fazla dökülmesi kalıbın daha fazla açılıp kapanması anlamına geldiğinden daha fazla mekanik etkiye maruz kalacaktır. Bu sebeple de çoklu döküm alçı kalıbının mukavemet değeri yüksek olmalıdır. Deney için kullanılacak olan alçıdan mukavemet çubukları dökülür ve deney cihazında kırılarak baskıya dayanıklı son ölçüm Mukavemet birimi kgf/cm^2 olarak ölçülür. Mukavemet analizi TS EN 13279-2'e göre yapılır ve aşamaları aşağıdaki gibidir [54]:

1-Alçı kalıp üretimi için hazırlanan alçıdan karıştırma sonrası aldığın numuneyi 40*40*160 ebatlarındaki üçlü metal alıcı mukavemet kalıbına dök, mukavemet çubuklarının üzerine alçı kıvamını (alçı/su) ve döküm tarihini yaz.

2-Alçı mukavemet kaplarındaki mukavemet çubuklarını alçı donma bitiminden itibaren 2 saat beklettikten sonra kalıptan çıkar.

3-Kalıptan çıkardığın mukavemet çubuklarını sabit ağırlığa (iki tartım arasındaki fark sıfır oluncaya kadar) gelen kadar 45°C'lik etüvde beklet.

4-Kurutma sonunda etüvden çıkardığın mukavemet çubuklarını alçı mukavemet cihazında çalıştırma esaslarına göre kır.

5-Cihazdan okuduğun değeri, kırılma kesit alanı 16 cm^2 olduğu için 16'ya böl [55].



Şekil 7.4 Mukavemet Ölçümü

Türk Standartlar Enstitüsüne göre TSE K 471'de madde 5.3.6'da tarif edilen deneye tabi tutulduğunda, basınç dayanımı 10 N/mm^2'den büyük olmalıdır [54].

e) **Su Emme Analizi**

Por boyutu ve dağılımının birebir etkisi olduğu su emme testi, porozitesi bilinen maddenin su emmesini doğrulamak ve pratikte kalıbın seramik sağlık gereçleri üretiminde kullanılırken davranışını tayin etmek ve modellemek amacıyla yapılan bir deneydir. Su emme testi yapılacak alçı numunesinden küp şeklinde bir parça dökülür ve seri üretimde kullanılan kalıplara örnek olabilmesi adına sabit tartıma gelene kadar kurutulur. Sonrasında su emme testi uygulanarak kütlece kapiler etki ile aldığı su miktarı ölçülür. Türk Standartlar Enstitüsüne göre TSE K 471'de madde 5.3.9'da tarif edilen deneye tabi tutulduğunda, su emme %35' den büyük olmalıdır [54]. Su emme analiz aşamaları aşağıdaki gibidir:

1) Kurutularak değişmez ağırlığa getirilen 10x10 cm'lik küpün ağırlığı kaydedilir.

2) En az 20 cm çapında kaba küpün 1/3'ü suya batacak seviyede su konur. Aşağıdaki formül ile yüzdesel su emme değeri hesaplanır ve grafiğe geçilir.



Şekil 7.5 Su Emme Analizi

3) Kronometre çalıştırılır. 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, ve 50. dakikalarda küp çıkartılır. Küpün sudan her çıkarılışında bir havlu ile yumuşak darbeler ile kurulanır ve tartılır.

4) Alçı küp sudan çıkarıldığında kronometre durdurulur. Tartım yapıldıktan sonra, alçı küp suya konulduğu an kronometre tekrar kaldığı yerden başlatılır.



Şekil 7.6 Su Emme Tartımı

5) Bütün test boyunca su seviyesi sabit tutulacak şekilde kontrol edilecektir.

6) Denklem 10 ile yüzdesel su emme değeri hesaplanır ve grafiğe geçilir [54, 55].

$$\%\text{GSE} = \frac{Gx - Gs}{Gs} x100 \qquad (10)$$

Gx: Yaş Ağırlık (gr)

Gs: Kuru (ilk) ağırlık (gr)

f) Shore A – Shore D (Durometre) Sertlik Ölçümü



Şekil 7.7 Shore Sertlik Ölçüm Cihazı

Durometre, diğer birçok sertlik testinde olduğu gibi, standartlaştırılmış bir baskı ayağı üzerinde belirli bir kuvvet tarafından oluşturulan malzemedeki bir girinti derinliğini ölçer. Bu derinlik, malzemenin sertliğine, viskoelastik özelliklerine, baskı ayağının şekline ve test süresine bağlıdır. ASTM D 2240 standardına sahip durometreleri, belirli bir süre sonra başlangıçtaki sertliğin veya girinti sertliğinin ölçülmesine izin verir. Temel test, kuvveti tutarlı bir şekilde, şok vermeden ve sertliği (çentik derinliği) ölçmeyi gerektirir. Zamanlanmış bir sertlik isteniyorsa, istenen süre boyunca kuvvet uygulanır ve ardından okunur. Test edilen malzeme minimum 6 mm (0,25 inç) kalınlığında olmalıdır [56]. Bu çalışmada sertlik ölçümü Bareiss marka HP model cihaz ile kalıp içerisinden alınan yarı mamul iç-dış sertliği ölçülmektedir. Türk Standartlar Enstitüsüne göre alçının sertlik tayini TS EN 13279-2'e göre yapılır ve TSE K 471'de madde 5.3.7' de tarif edilen deneye tabi tutulduğunda, beyan edilen değerden küçük olmamalıdır [54].

7.1.2 Hammaddenin Mikroyapı Karakterizasyonu

a) XRD Analizi

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması

esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir [43]. Bu çalışmada XRD analizi için şekil 7.8' de görülen Rigaku Miniflex 600 cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.8 Rigaku Miniflex 600 X-Işını Kırınım Cihazı

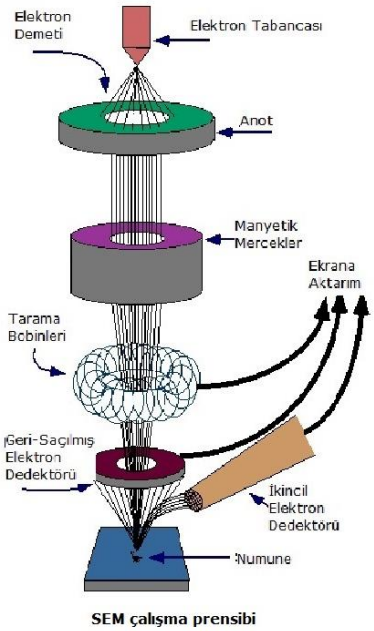
b) SEM Analizi

Numunelerin mikro yapı analizi Seramik Araştırma Merkezinde (SAM) bulunan cihaz ile 10^{-6} m seviyesinde ölçüm yapılmıştır. 3 farklı numune ile yapılan analizlerde numunelerin yüzey taramalarının elektron mikroskobu ile yapılabilmesi için iletkenlik sağlaması amacıyla altın-paladyum alaşım kaplaması yapılmıştır. Bu çalışmada SEM analizi için şekil 7.9' da görülenSupra 50VP Zeiss cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.9 Analizlerde Kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Bu mikroskop, örnek üzerinde bir noktadan sırayla hareket ettirilen çok ince bir elektron demeti oluşturur. Elektronlar örnek içinden geçmez, daha önceden doku üzerine kaplanan ince bir metal tabaka üzerine çarpar ve yansır. Bu elektronlar bir algılayıcı tarafından yakalanarak yükselticilere gönderilir ve oluşan sinyallerde monitöre aktarılır [57].



Şekil 7.10 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışma Prensibi [58]

c) BET Yüzey Alanı Analizi

BET cihazı katı veya toz numunelerde fiziksel adsorpsiyon yöntemiyle yüzey alanı ölçümleri, mikro, mezo ve makro por boyutunu ve por boyut dağılımını düşük

basınçlarda ve yüksek çözünürlükte tespit edebilmektedir. Cihaz numune yüzeyini tek bir moleküler tabaka ile kaplamak için gerekli gaz miktarını tayin etmekte ve Brunauer Emmett ve Teller teorisini kullanarak yüzey alanını hesaplamaktadır. Bu çalışmada BET analizi için şekil 7.11' de görülen Nova Touch Quantachrome cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.11 BET Yüzey Alanı Ölçüm Cihazı [59]

7.1.3 Hammaddenin Termal Analizleri

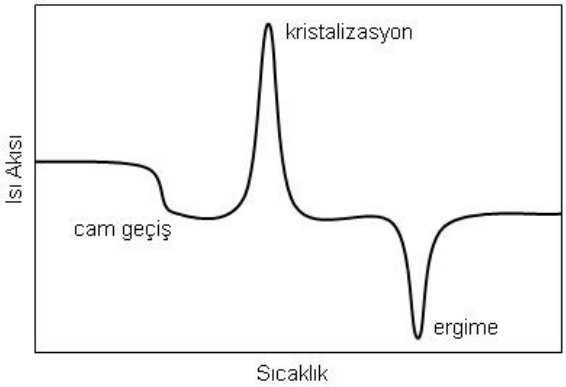
Termal analiz, malzemenin bazı fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak sürekli bir biçimde ölçüldüğü karakterizasyon yöntemleridir. Isının etkisi geniş bir aralıkta gözlenebilir ve malzeme özelliklerinde değişimlere neden olur. Örneğin uygulanan ısıtma işlemi sırasında örnek ağırlığında meydana gelen değişimlerin sıcaklığa bağlı olarak ölçülmesi termogravimetri'nin (TG) esasını oluşturur. Türevsel termal gravimetri (DTG) yönteminde (derivative thermogravimetry) ağırlık değişimlerinin zamanla değişimi sıcaklığa bağlı olarak kaydedilir ve böylece ağırlık değişim hızı belirlenir.

Enerji değişimlerinin ölçülmesi ise diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel tarama kalorimetresinin (DSC) temel prensibidir. Ergime, kristalleşme, ayrışma, katıhal reaksiyonları, polimorfik dönüşümler, oksidasyon, redüksiyon, hidratasyon, dehidratasyon gibi reaksiyonların karakterizasyonunda DTA ve DSC

kullanılır. Bu tür reaksiyonlar ekzotermik veya endotermik karakterde olabilir. DTA da, örnek ile inert bir referansın sıcaklıkları arasındaki fark (ΔT) sıcaklığa bağlı olarak kaydedilir. (ΔT) ordinatta, sıcaklık (veya süre) apsiste gösterilir. DSC tekniği DTA ya çok benzer, enerji değişimlerinin hassas kantitatif ölçümlerinde kullanılır. DTA tekniğinden farkı, örnek ile referansı aynı sıcaklık seviyesine getirmek için gerekli enerjiyi ölçer. DTA/DSC eğrisi şekil 7.13' de şematik olarak gösterilmiştir [60]. Bu çalışmada TG/DTA analizi için şekil 7.12' de görülen STA 499 F3 jüpiter Netszch cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.12 TG/DTA Analiz Cihazı



Şekil 7.13 Örnek DTA/DSC Eğrisi

a) Termogravimetri Analizi (TG)

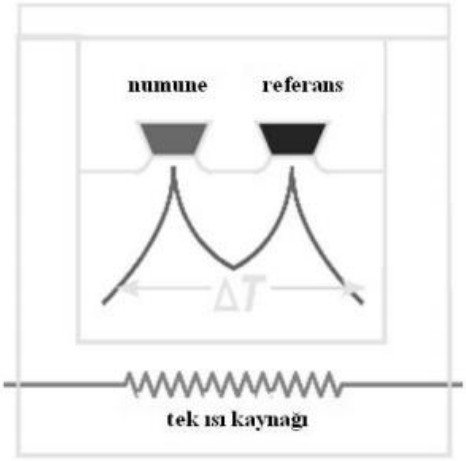
TG, DTA ve DSC en çok kullanılan termal analiz teknikleridir. DTA ve DSC analizleri TG ile birlikte yapılarak DTA-TG, DSC-TG diyagramları kaydedilir. Termal yöntemlerle karakterize edilen tipik özellikleri şunlardır [60];

- Termal dataların belirlenmesi
- Faz dönüşümleri ve faz dengesi
- Yapısal değişimler
- Termal kararlılık - Termal ayrışmalar
- Kimyasal reaktivite
- Termodinamik çalışmalar
- Kinetik çalışmalar

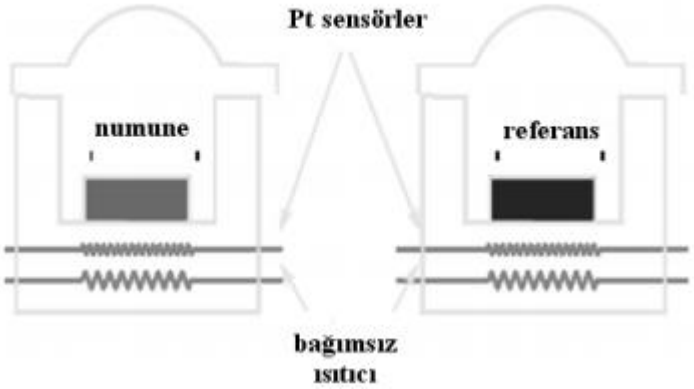
Termal dataların belirlenmesi; spesifik ısı, termal iletkenlik, ergime ısısı, ergime/katılaşma sıcaklıkları termal analizlerle belirlenir. Bu amaçla DTA dan çok DSC kullanılır. Yapısal değişimler; kristal yapısında değişimin meydana geldiği katı-katı dönüşümleri (polimorfik dönüşümler) DTA/DSC yöntemleri ile belirlenebilir.. Isıl kararlılık (thermal stability); polimerik malzemelerin karakterizasyonunda termal yöntemler geniş ölçüde uygulanır. Isıl ayrışma (thermal decomposition); karbonat, sülfat, nitrat veya hidrate yapıdaki malzemelerin termal ayrışma davranışlarının ve stokiyometrelerinin belirlenmesinde TG yaygın olarak kullanılır. Kimyasal reaktivite (chemical reactivity); bazı kimyasal reaksiyonlarda katalistler kullanıldığında reaksiyon hızı artar. Katalistin reaksiyon üzerindeki etkisi tür ve miktarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kullanılabilecek farklı katalistlerin bu etkileri DTA yöntemi ile belirlenebilir ve böylece bir karşılaştırma yapılabilir. Cam geçiş sıcaklığı (glass transition temperature); organik ve inorganik esaslı camsı malzemelerde rijit yapıdan viskoelastik deformasyonun başladığı viskos 9 yapıya geçişin belirlenmesinde DTA/DSC veya termomekaniksel (TMA) yöntemler kullanılır.. Kalite kontrol; Termal karakterizasyon yöntemleri maddelerin saflıklarının belirlenmesinde çok kullanılır. Özellikle ilaçların saflığının bu yöntemle belirlenmesinde endotermik ergime sıcaklığı kullanılır. Saflık derecesi arttığında endotermik pik daha keskin hale gelir.

b) Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Bir maddenin fiziksel halinde bir değişim olduğunda veya kimyasal bir reaksiyona girdiğinde ya ısı absorblar veya ısı verir. Hal değişimi veya kimyasal reaksiyona eşlik eden bu ısıl değişimler ekzotermik veya endotermik ısıl etkiler olarak bilinir. Ergime, buharlaşma, süblimasyon, dehidratasyon gibi reaksiyonlar endotermik, kristalleşme (katılaşma), adsorbsiyon, oksidasyon reaksiyonları ekzotermiktir. Kimyasal ayrışma, katı hal reaksiyonları endotermik veya ekzotermik olabilir. Hal değişimi veya kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerji değişimlerinin belirlenmesinde çok kullanılan iki yöntem DTA ve DSC'dir. Her iki yöntemde de deney örneğinin belirli koşullarda ısıtılması veya soğutulması sırasında meydana gelen entalpi değişimleri ölçülür. Birbirine çok benzeyen bu iki yöntemde, analiz edilen örnek ile bir referans malzemesi aynı koşullarda ısıtılırlar. Isıtma sırasında örnekte meydana gelen hal değişimi veya kimyasal reaksiyon sonucu sıcaklığı değişir ve böylece aynı koşullarda ısıtılan inert karakterli referans malzemesinin sıcaklığı ile ΔT kadar bir sıcaklık farkı oluşur. Örnekte meydana gelen ısıl değişim ekzotermik karakterli ise örnek sıcaklığı referans sıcaklığından daha yüksek, endotermik ise referans sıcaklığından daha düşük olacaktır. DTA yönteminin temel prensibi şekil 7.14'de görüldüğü gibi bu sıcaklık farkının ölçülmesidir. Şekil 7.15' de şematik görünümü verilen DSC yönteminde ise, referans ile örnek arasında meydana gelen bu sıcaklık farkını dengelemek , sıcaklıklarını aynı tutmak için sisteme beslenen veya sistemden alınan ısı ölçülür. Bu nedenle DSC, ısı değişimini direkt olarak ölçen kalorimetrik bir ölçüm yöntemidir [60].



Şekil 7.14 DTA Cihazının Şematik Görünümü



Şekil 7.15 DSC Cihazının Şematik Görünümü

DTA yönteminde örnek ve referans aynı ısı kaynağı ile ısıtılırlar, sıcaklıkları arasındaki fark (ΔT) potacıkların üzerine oturtulduğu tabana kaynak edilen sıcaklık sensörleri ile ölçülür ve sıcaklığa (veya süreye) bağlı olarak sürekli kaydedilir. DSC de ise örnek ve referans ayrı kaynaklarla ısıtılırlar ve sıcaklıklar kendi sensörleri ile ölçülüp kontrol edilir, böylece, örnek ile referans sıcaklıkları arasında fark oluştuğunda elektriksel ısıtıcılar bu farkı sıfırlarlar. Örneğin, analiz edilen örnek içinde ekzotermik bir reaksiyon meydana geldiğinde sıcaklığı referansa göre artar. Sıcaklık sensörü bu farklılığı tesbit eder ve referansa ısı girişi sağlayarak ikisinin sıcaklığını aynı düzeye getirir. Sıcaklık farkını sıfırlamak için beslenen bu ısıl enerji sözkonusu reaksiyon ısısını temsil eder [60].

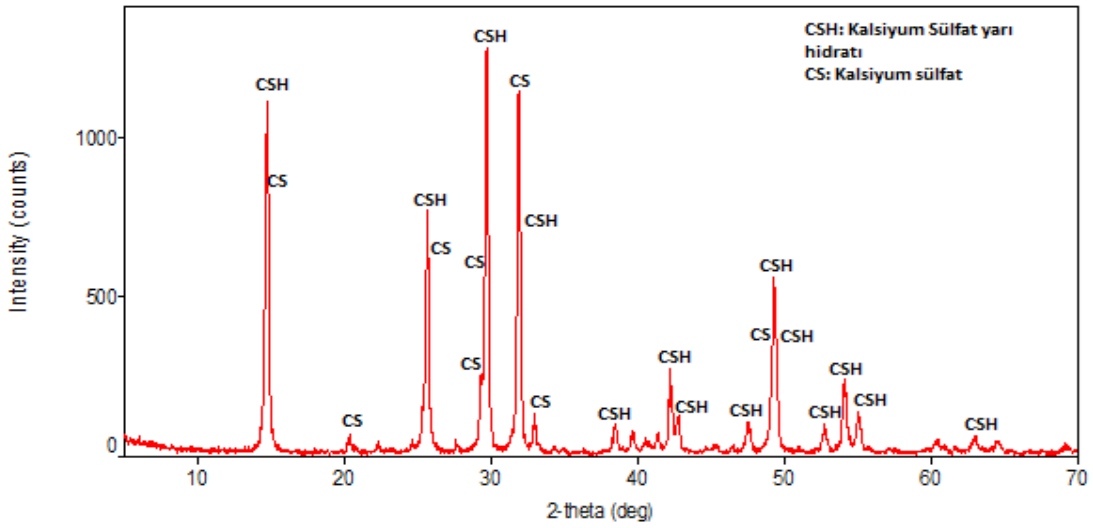
8
Deneysel Çalışmaların Değerlendirilmesi

8.1 Toz Alçıya Yapılan Hammadde Analizleri

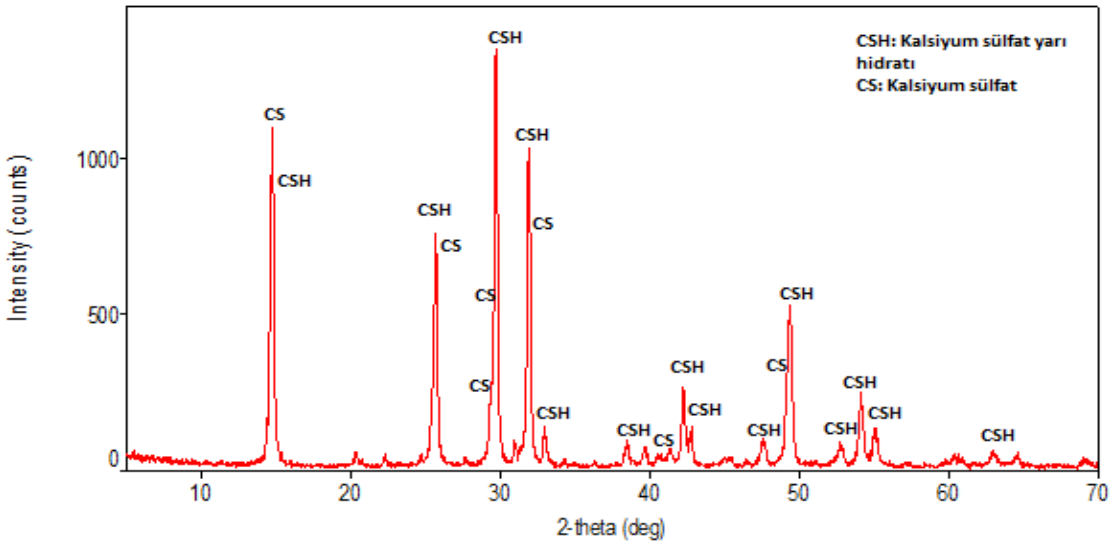
Kullanılan 3 farklı alçı numunesi için de yapısal değişiklikleri belirlemek adına hammadde analizleri uygulanmıştır.

8.1.1 Toz Alçının Minerolojik Analizi

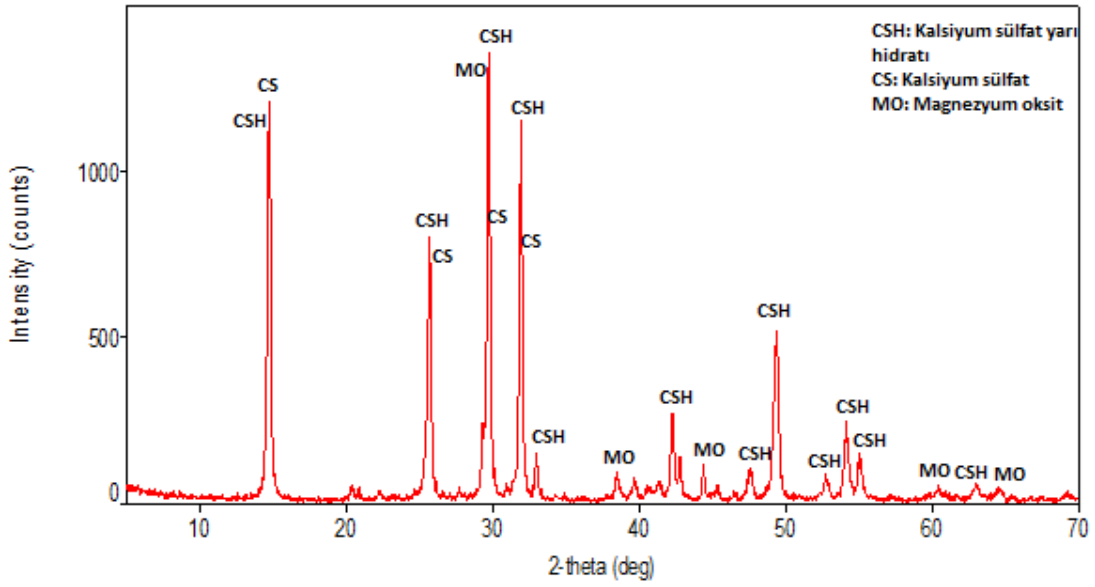
Yarı Hidratların Mineralojik analizleri yapılmış olup sonuçları şekil 8.1-8.3' de verilmiştir.



Şekil 8.1 A1 Yarı Hidratının Mineralojik Analizi



Şekil 8.2 A3 Yarı Hidratının Mineralojik Analizi



Şekil 8.3 A2 Yarı Hidratının Mineralojik Analizi

Şekil 8.1 ve şekil 8.2 deki analiz sonuçlarından A1 ve A3 alçılarının kalsiyum sülfat ve kalsiyum sülfat yarı hidratlarından oluştuğu görülmektedir. Şekil 8.2 de A2 alçısında bu bileşiklere ilaveten teknik şartnamede kütlece maksimum % 0.5 olarak kabul edilen magnezyum oksit varlığı gözükmektedir.

8.1.2 Toz Alçının Termal Analizi

Yarı hidratların içeriklerini ve ısı karşısındaki davranışlarını belirlemek amacıyla termo-gravimetrik (TG) ve diferansiyel taramalı kalorimetrik (DSC) analizleri simultane olarak gerçekleştirilmiştir.

Literatürde, a ve b yarı hidrat ve alçı için karakteristik olan endotermik ve ekzotermik pikler aşağıda verilmiştir.

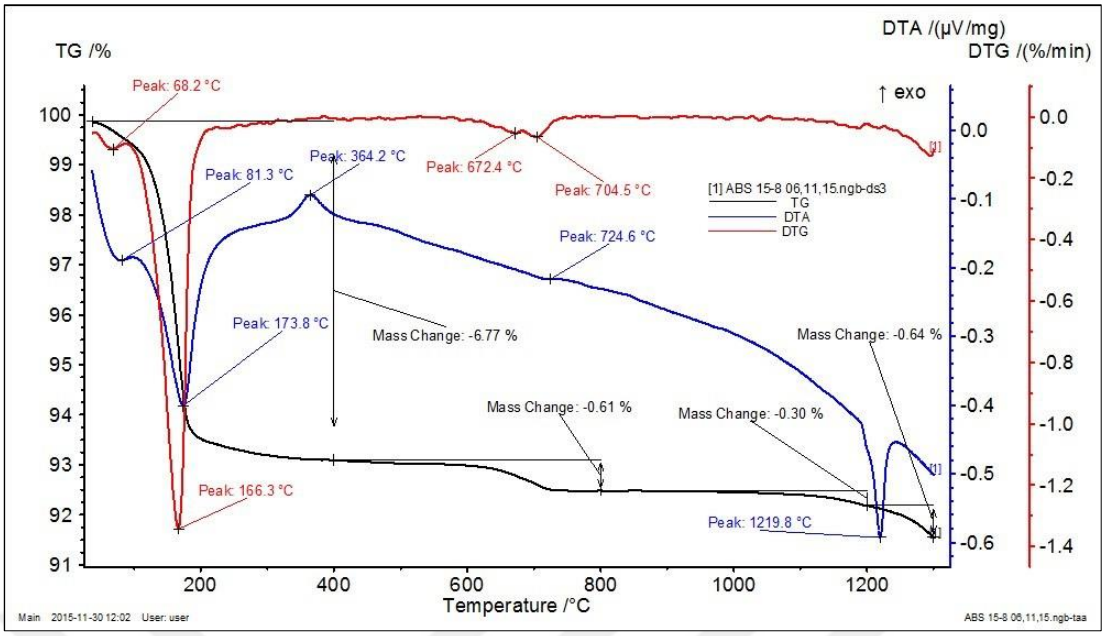
Alçı: Alçının kristal suyunun uzaklaştığı endotermik pikler (130-160°C) ve 203°C'dir. Kütle kaybının olmadığı g-b anhidrit dönüşümünün olduğu egzotermik pik (220-360°C)'dir.

a-yarı hidrat: Alfa yarı hidratın kristal suyunun uzaklaştığı endotermik pik 203°C ve yarı hidratın anhidrite dönüştüğü ekzotermik pik ise 220-360°C sıcaklıklarıdır.

b-yarı hidrat: Beta yarı hidratın kristal suyunun uzaklaştığı endotermik pik 203°C ve yarı hidratın anhidrite dönüştüğü keskin egzotermik pik ise 360°C sıcaklığında gerçekleşir.

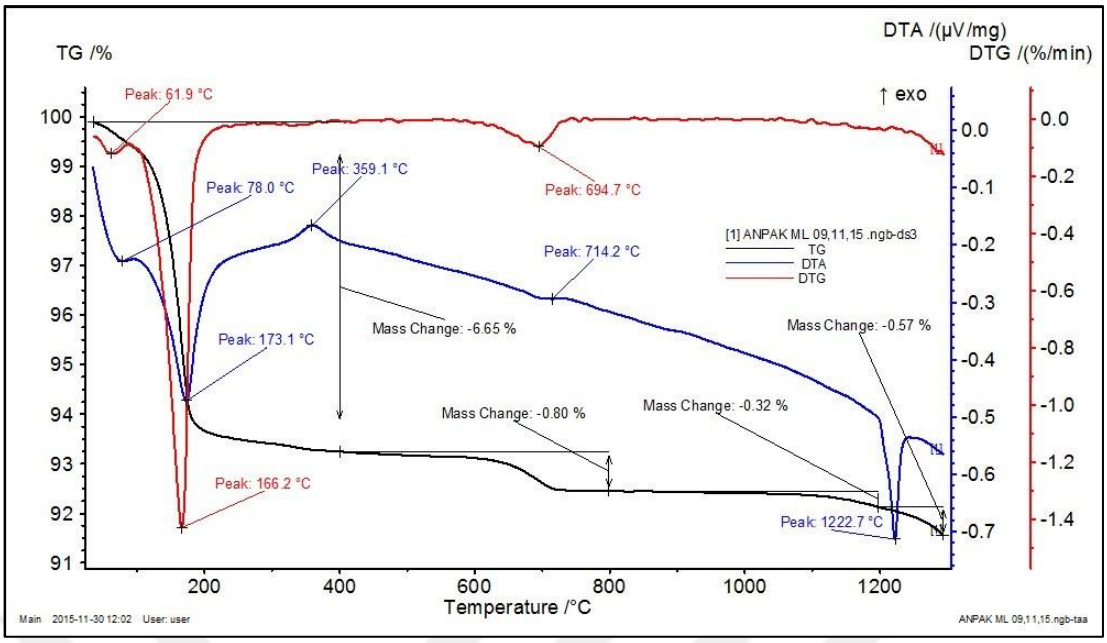
Alçı numuneleri içerisinde $CaCO_3$ varlığı mevcut ise 650-750°C arası sıcaklıkta pik vermektedir. Aslında literatürde belirtilen 880°C olan $CaCO_3$'ün bozunma sıcaklığının düşük çıkması $CaCO_3$ miktarı ile ilgilidir. İçerisindeki miktar arttıkça bozunma sıcaklığı artmaktadır. Karbonatların genellikle 670°C'de başlayıp miktar arttıkça 820°C'leri bulduğu bilinmektedir.

Şekil 8.4, 8.5 ve 8.6' de sırasıyla A1, A2 ve A3 toz alçılarının termal analizleri verilmektedir.



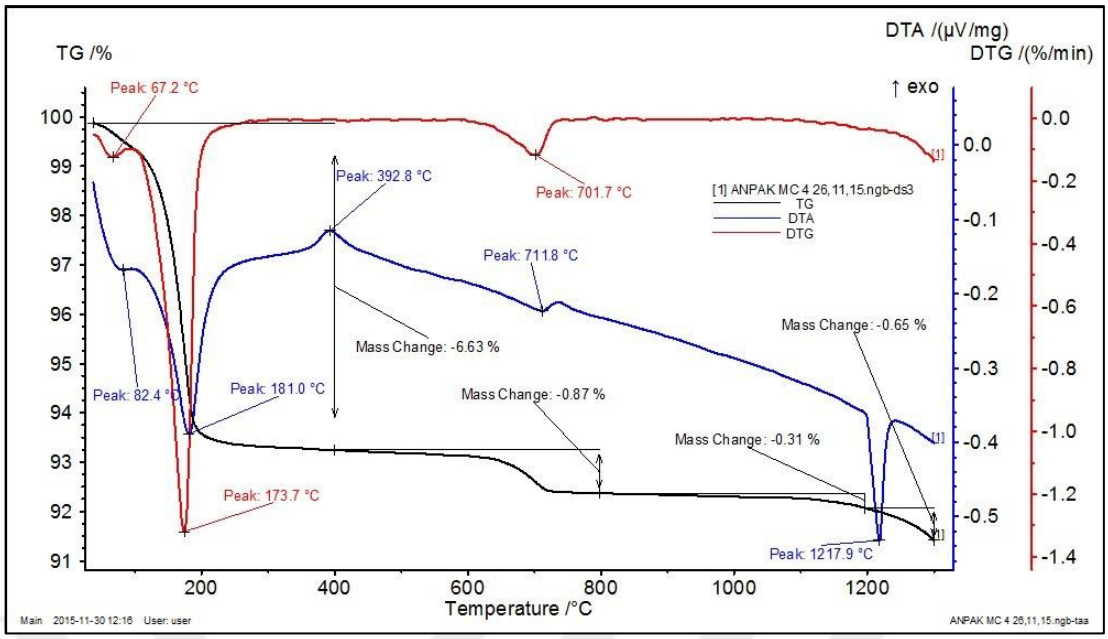
Şekil 8.4 A1 Toz Alçısının TG/DTA Eğrisi

A1 alçısında 81°C'de meydana gelen endotermik pik yarı hidrattaki serbest suyun uzaklaşmasını göstermektedir. 173°C'deki endotermik pik yarı hidrattaki suyun uzaklaştığını göstermektedir. 364°C'deki egzotermik pik Anhidrit-III'ün Anhidrit-II'ye dönüştüğünü göstermektedir. 724°C'deki endotermik pik yarı hidrattaki kütle kaybını göstermektedir. $CaCO_3$'ün ayrışarak CO_2 buharlaşma sıcaklıdır. 1219°C'deki endotermik pik $CaSO_4$'ün ayrışarak SO_2'nin uzaklaştığını göstermektedir.



Şekil 8.5 A2 Toz Alçısının TG/DTA Eğrisi

A2 alçısında 86.9°C' de meydana gelen endotermik pik yarı hidrattaki serbest suyun uzaklaşmasını göstermektedir. 175.5°C'deki endotermik pik yarı hidrattaki suyun uzaklaştığını göstermektedir. 383.9°C' deki egzotermik pik Anhidrit-III'ün Anhidrit-II'ye dönüştüğünü göstermektedir. 732°C'deki endotermik pik yarı hidrattaki kütle kaybını göstermektedir. $CaCO_3$'ün ayrışarak CO_2 buharlaşma sıcaklıdır. 1218°C'deki endotermik pik $CaSO_4$'ün ayrışarak SO_2'nin uzaklaştığını göstermektedir.

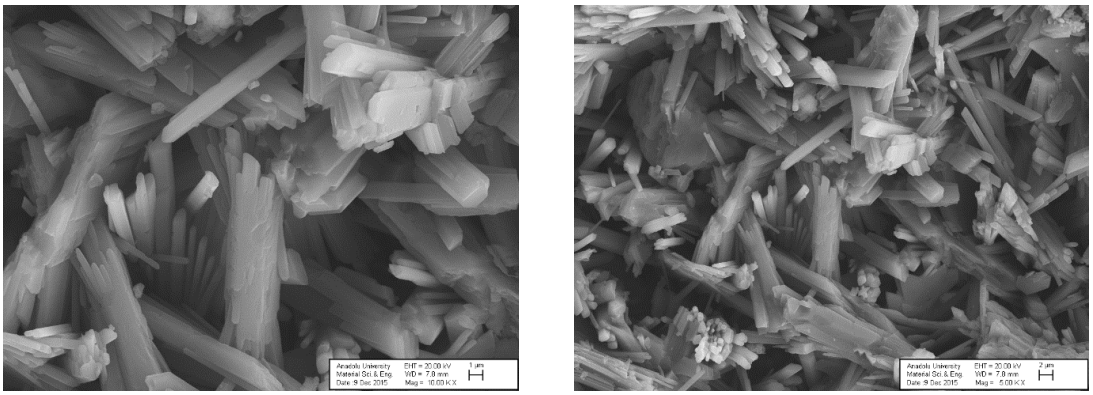


Şekil 8.6 A3 Toz Alçısının TG/DTA Eğrisi

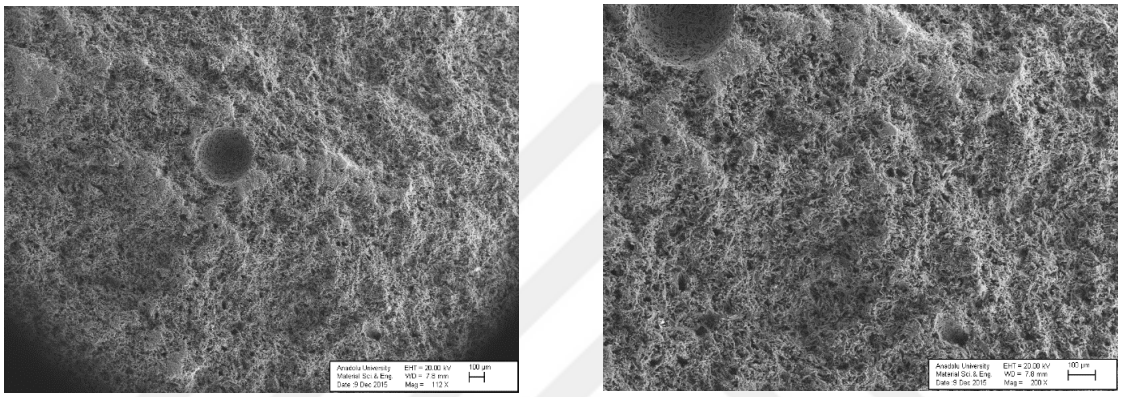
A3 alçısında 82.4°C'de meydana gelen endotermik pik yarı hidrattaki serbest suyun uzaklaşmasını göstermektedir. 173.7°C'deki endotermik pik yarı hidrattaki suyun uzaklaştığını göstermektedir. 392.8°C' deki egzotermik pik Anhidrit-III' ün Anhidrit-II' ye dönüştüğünü göstermektedir. 711.8°C' deki endotermik pik yarı hidrattaki kütle kaybını göstermektedir. $CaCO_3$'ün ayrışarak CO_2 buharlaşma sıcaklıdır. 1217.9°C'deki endotermik pik $CaSO_4$'ün ayrışarak SO_4'nin uzaklaştığını göstermektedir.

8.1.3 Toz Alçının Mikroyapı Analizi

Şekil 8.7 ve 8.8' de A1 toz alçısının kristal yapısı ve por boyut dağılımı elektron mikroskobu ile gösterilmektedir.

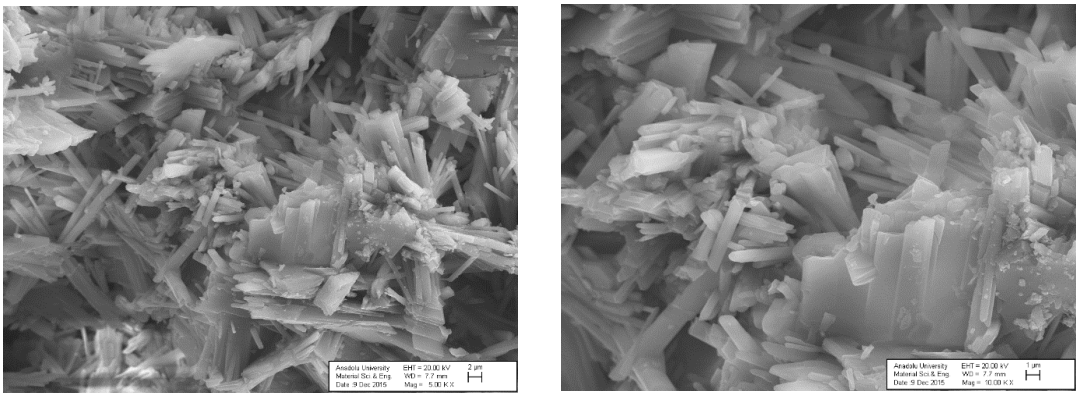


Şekil 8.7 A1 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

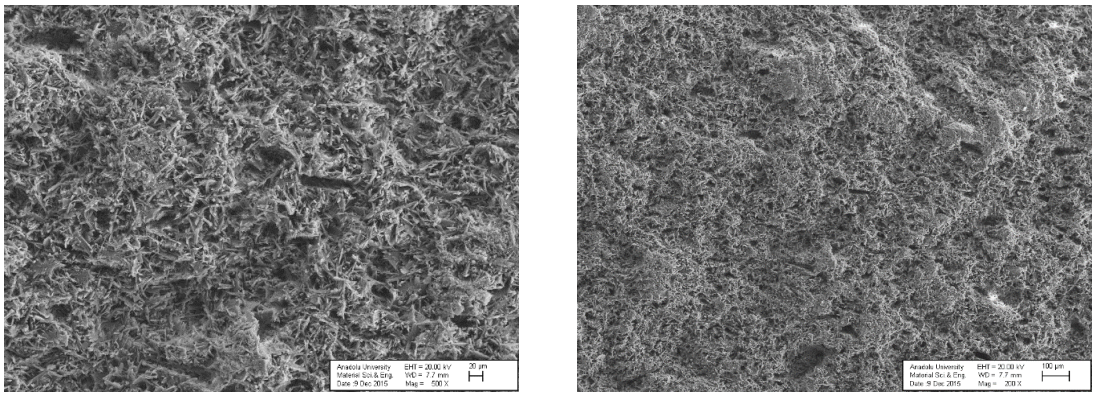


Şekil 8.8 A1 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

Şekil 8.9 ve 8.10’ da A2 toz alçısının kristal yapısı ve por boyut dağılımı elektron mikroskobu ile gösterilmektedir.

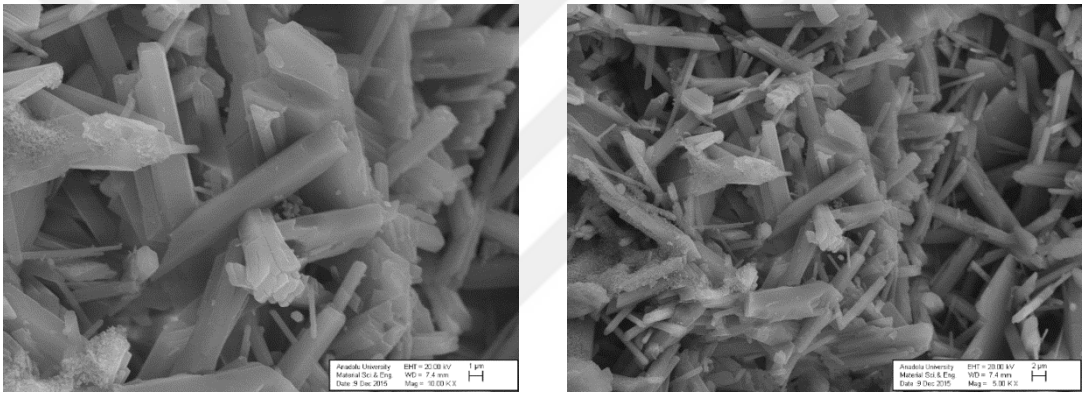


Şekil 8.9 A2 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

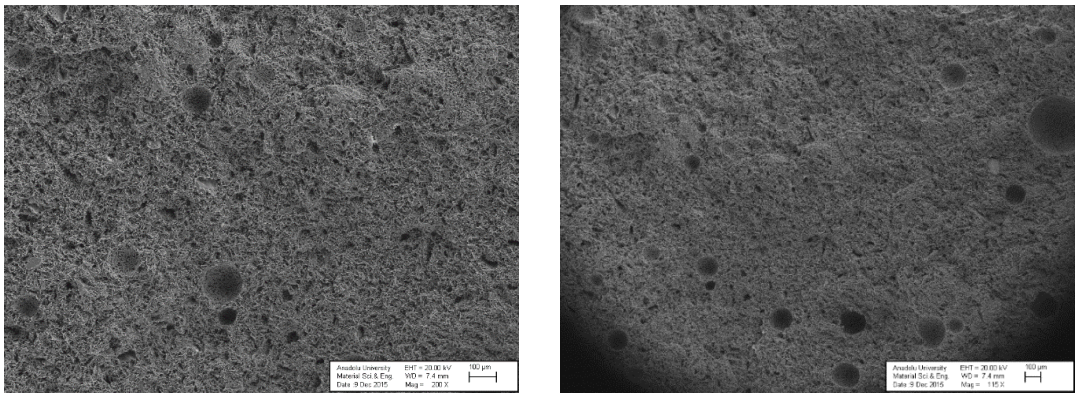


Şekil 8.10 A2 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

Şekil 8.11 ve 8.12' de A3 toz alçısının kristal yapısı ve por boyut dağılımı elektron mikroskobu ile gösterilmektedir.



Şekil 8.11 A3 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü



Şekil 8.12 A3 Yarı Hidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

Kalıpların birçok özelliği mikroyapı tarafından kontrol edilir. Bunlardan ileri gelenler kalıbın ömrünü de belirleyen mukavemet ve yüzey sertliği gibi

özelliklerdir. Por yapısı ise bünyeden suyun çekilme hızını belirlemektedir. Örneğin 2 μm çapında por boyutuna sahip bir alçı kalıpta kapiler emme aşağıdaki eşitlikten yaklaşık 144 kPa olarak hesaplanabilir [22, 61].

$$P = \frac{2\sigma cos\theta}{R} \tag{11}$$

P: Kapiler Basınç

σ: Yüzey Gerilimi

θ: Temas Açısı

R: Por çapı (Tüp Çapı)

Tablo 8.1 Por büyüklüğü ve Kapiler Basınç Tablosu

Por Çapı (μm)	Tekil Por Hacmi (μm^3)	Por Sayısı (-)	Toplam Por Hacmi (μm3)	Toplam P Hacimine Katkı (%)	Kapiler Basınç (kPa)
1	3,1415	10000	31415	0,312	70
2,5	19,6349	10000	196349	0,825	28
5	78,5498	10000	785498	3,301	14
10	314,1593	10000	3141593	13,206	7
25	1963,4954	10000	19634954	82,535	2,8

Genel mikroyapı görüntülerine bakıldığında, yer yer iğnemsi alfa kristallerin olduğu görülmektedir. A2' de ağırlıklı olarak iğnemsi tanelerin olduğu tespit edilmiştir. A1 alçısında diğer alçılara göre daha fazla köşeli küçük beta kristallerin olduğu görülmektedir. A3 alçısında iğnemsi taneler ağırlıkta olmakla beraber köşeli beta kristallerde mevcuttur. Aynı zamanda iri porların olduğu görülmektedir. A1' de ağırlıklı olarak iğnemsi tanelerin bulunduğu A3' alçısına göre daha iri porlar tespit edilmiştir. A2 alçısında ise iğnemsi tanelerin daha yoğun paketlendiği ve ince olduğu görülmektedir. Diğer alçılara göre iri por içermediği

görülmüştür. Tüm alçılarda genel anlamda bakıldığında yaklaşık 2-3 μm boyutunda porların olduğu görülmektedir.

Hammadde kaynağı olarak seçilen alçı tipleri literatürden öğrenilen veriler ışığında üstün döküm özellikleri elde etmek için 4 farklı alçı/su oranında denenmiştir. İlk aşamada 3 farklı alçı tipi hazırlanmıştır. Kullanılan alçı tozlarında parçacık boyutları +200μm Elek Analizi maksimum 0.04 olup kullanılan suyun sıcaklığı 20 °C' dir. Deneylerde kullanılan alçı hammaddeleri maksimum elek analizi bu boyutta olacak şekilde seçilmiş ve kullanılmıştır. Bu parçacık boyutunda ortalama yığın (kuru) yoğunluğu 1,10 g/cm^3, ıslak yoğunluğu 1,6 g/cm^3 olarak bulunmuştur.

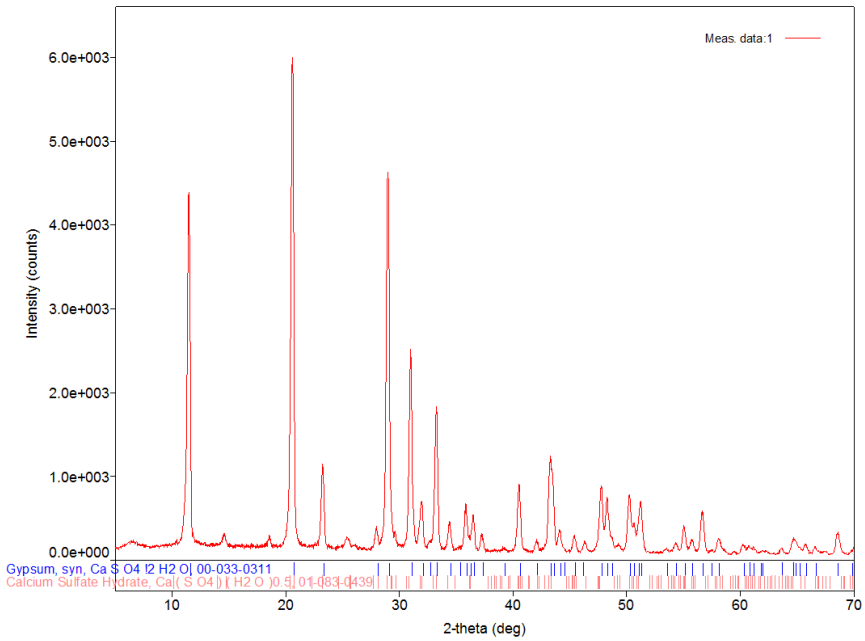
Hammaddeye uygulanan ön analiz sonuçları tablo 8.1' de verilmiştir. Yapılan ön analizler sonucunda genel itibari alçı oranı düşük olan numunelerde su emme oranının daha fazla olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak ideal su emme ve mukavemet değerini sağlayabilecek alçı oranı ve alçı tipi seçilecektir.

8.2 Katkısız Alçı Kalıpların Karakterizasyonu

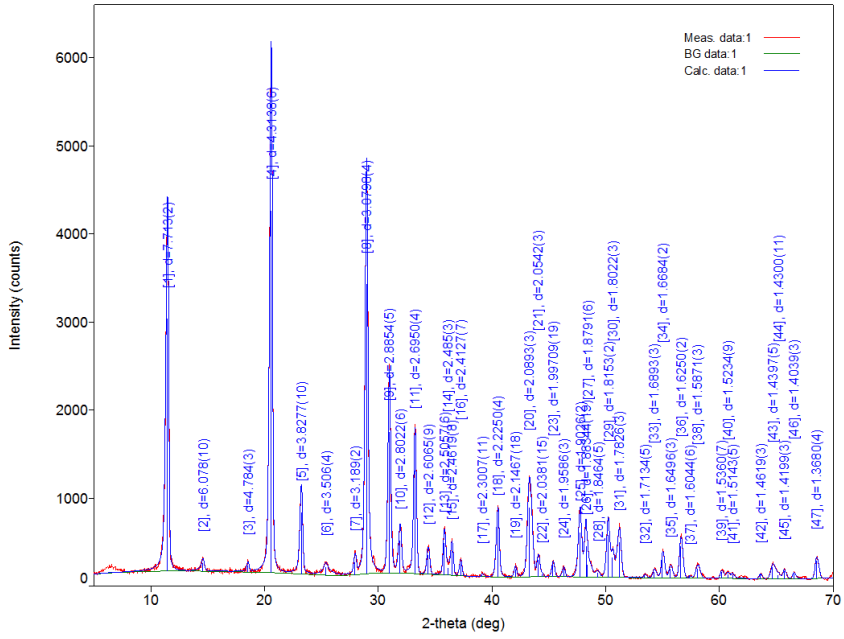
Toz alçıya yapılan analizlerin sonucunda 2 mol kristal suya sahip kalsiyum sülfat için de karakterizasyon analizleri yapılmış ve temel benzerlikler - farklılıklar aranmıştır.

8.2.1 Katkısız Alçının Minerolojik Analizi

Şekil 8.13 ve 8.14' de A1 katkısız alçı numunesinin XRD yöntemi ile kendine özgü atomik dizilimleri ile belirlenen minerolojik analizi gösterilmektedir.

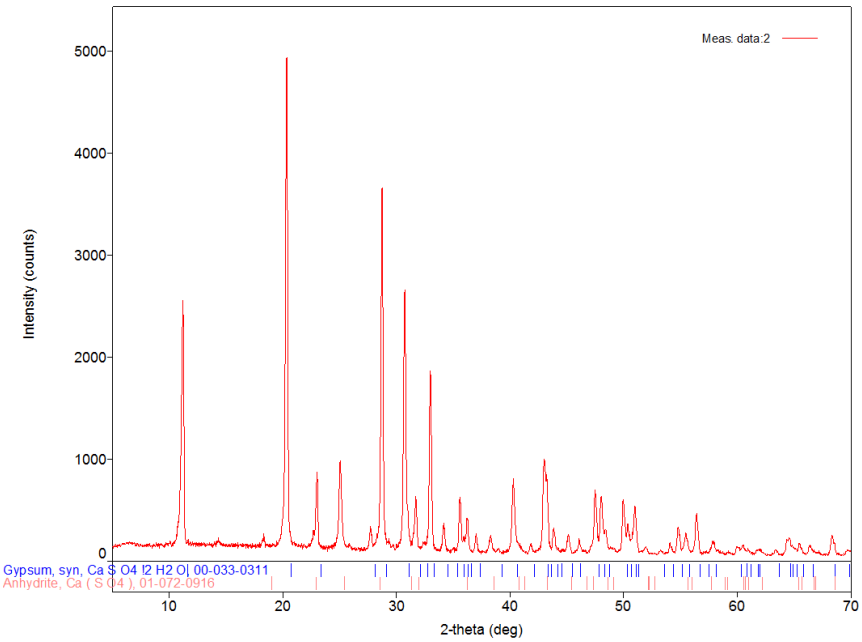


Şekil 8.13 A1 Dihidratının Mineralojik Analizi

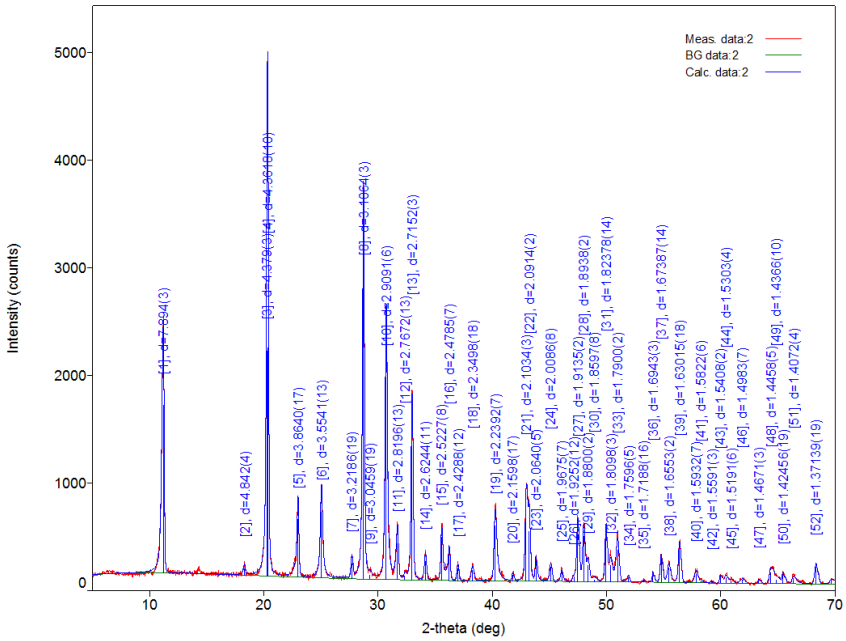


Şekil 8.14 A1 Dihidratının Mineralojik Analizi

Şekil 8.15 ve 8.16' de A2 katkısız alçı numunesinin XRD yöntemi ile kendine özgü atomik dizilimleri ile belirnenen minerolojik analizi gösterilmektedir.

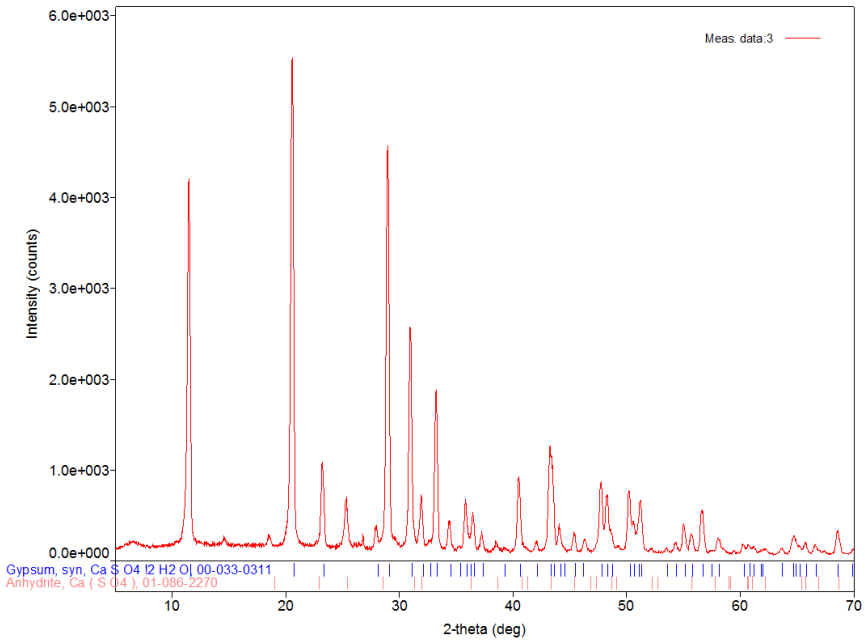


Şekil 8.15 A2 Dihidratının Mineralojik Analizi

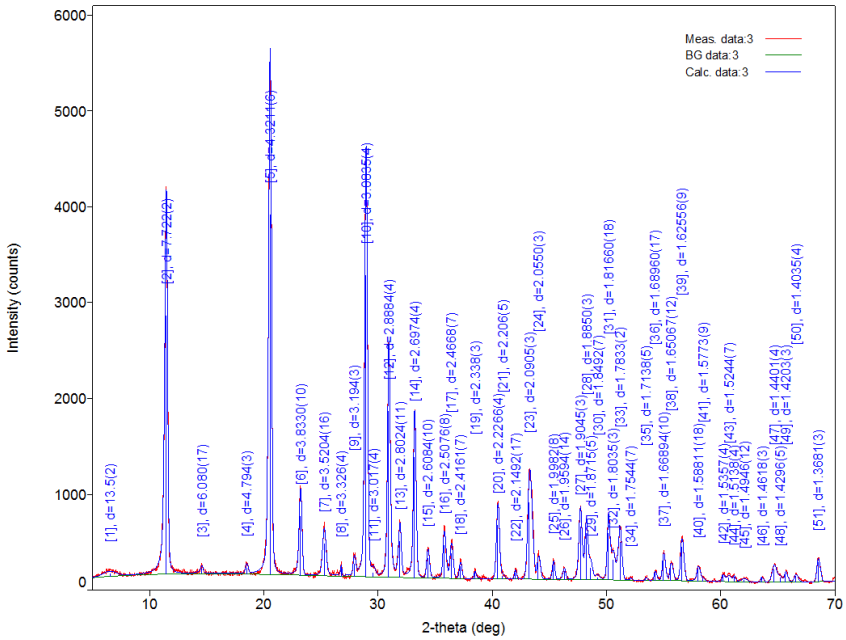


Şekil 8.16 A2 Dihidratının Mineralojik Analizi

Şekil 8.17 ve 8.18' de A3 katkısız alçı numunesinin XRD yöntemi ile kendine özgü atomik dizilimleri ile belirnenen minerolojik analizi gösterilmektedir.

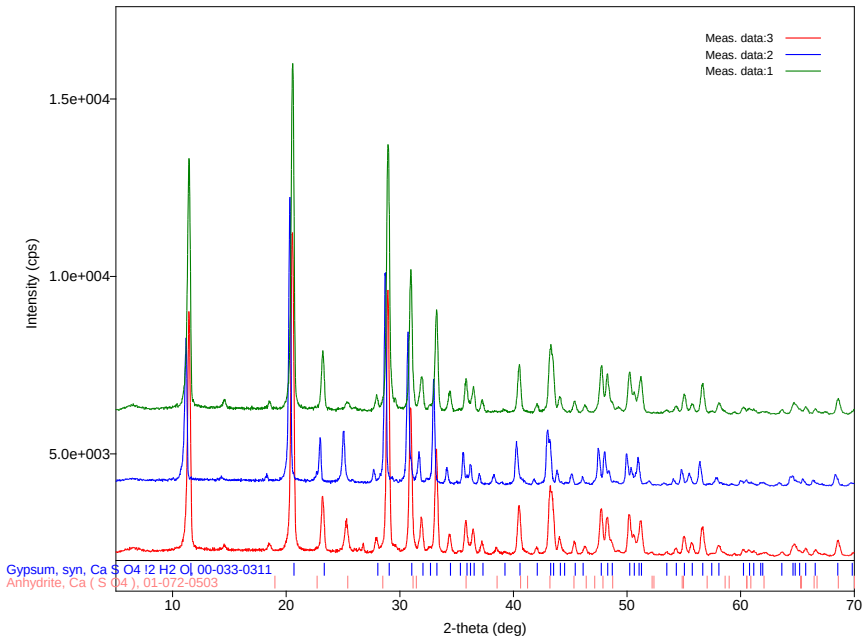


Şekil 8.17 A3 Dihidratının Mineralojik Analizi



Şekil 8.18 A3 Dihidratının Mineralojik Analizi

Üç farklı numuneye ait pikler üst üste koyularak katkısız alçıların minerolojik karşılaştırılması yapıldığında ortaya çıkan grafik şekil 8.19'da ki gibidir.

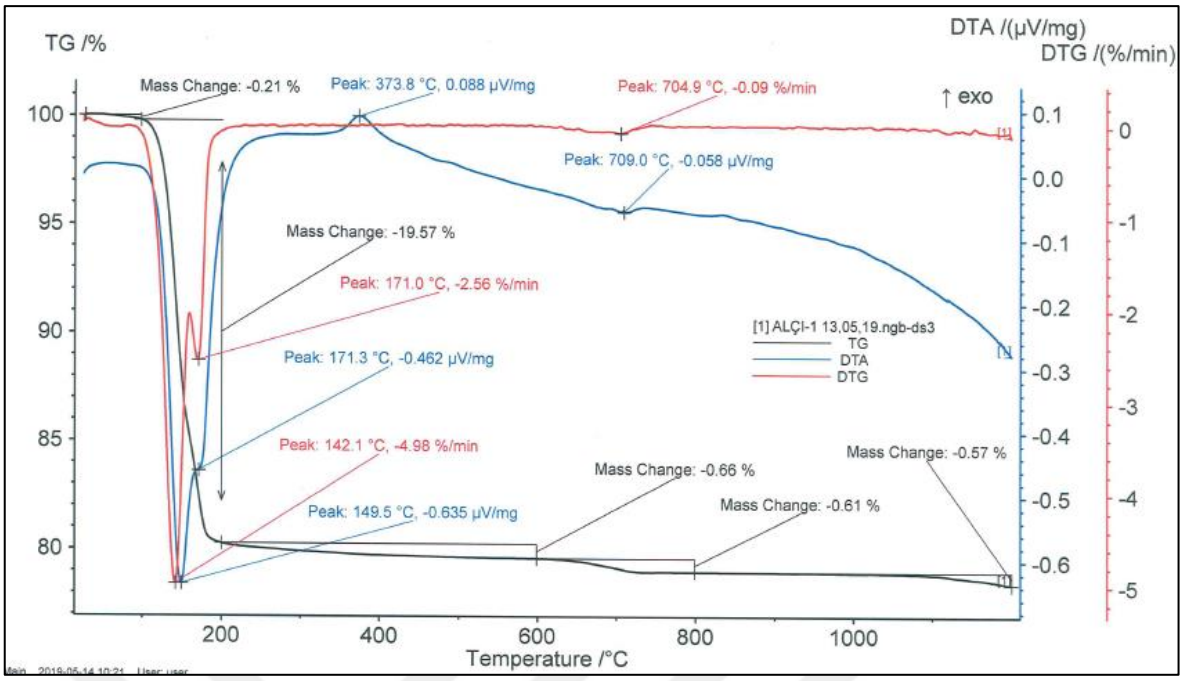


Şekil 8.19 A1-A2-A3 Dihidratlarının Karşılaştırılması

Şekil 8.13, 8.15 ve 8.17' de hemi hidratlarını ihmal ederek katkısız alçılara yani kalsiyum sülfat dihidratlara ait pikleri incelediğimizde, yapının kalsiyum sülfat dihidrat ve anhidritlerden oluştuğunu görebiliyoruz. Şekil 8.19' da ise üç katkısız alçıya ait pikleri kesiştirdiğimiz zaman ise yapının ortak bileşiklere sahip olduğunu görülmüştür. Buradaki temel farklılıkları görmek adına termal ve yüzey analizlerinin yapılması gerekmektedir.

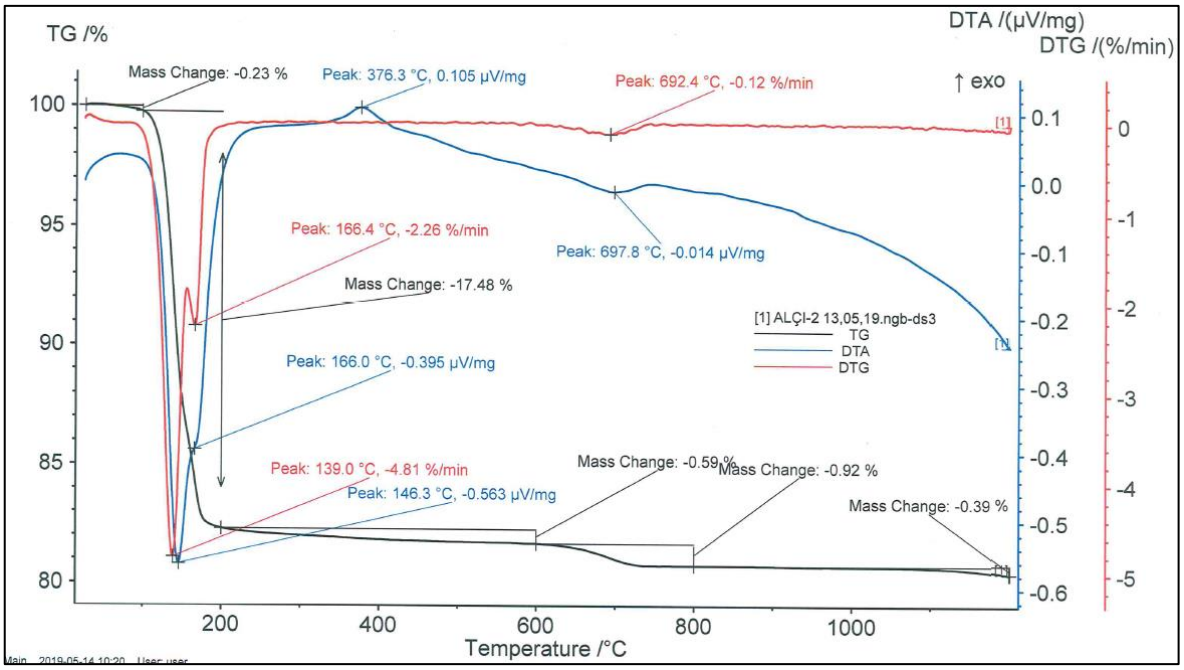
8.2.2 Katkısız Alçının Termal Analizi

Şekil 8.20, 8.21 ve 8.22' de sırasıyla A1,A2 ve A3 katkısız alçılarının termal analizleri verilmektedir.



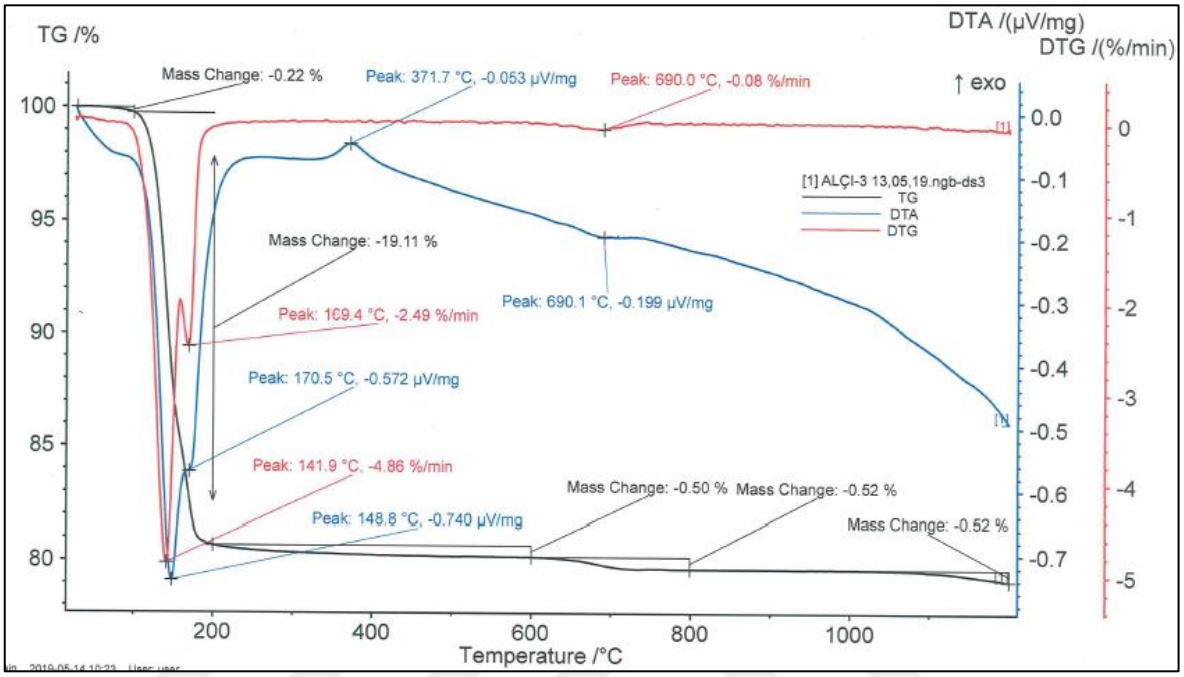
Şekil 8.20 A1 Dihidrat Alçısının TG/DTA Eğrisi

A1 dihidratında, 30-1200°C arasında toplam %21,62 oranında ağırlık kaybı mevcuttur. Ağırlık kaybının en hızlı olduğu sıcaklık ≈142°C'dir. DTG eğrisinde görülmektedir. ≈150°C, ≈709°C de endotermik pik, ≈374°C de ekzotermik pik gözlemlenmiştir.



Şekil 8.21 A2 Dihidrat Alçısının TG/DTA Eğrisi

A2 dihidratında, 30-1200°C arasında toplam %19,61 oranında ağırlık kaybı mevcuttur. Ağırlık kaybının en hızlı olduğu sıcaklık ≈139°C'dir. DTG eğrisinde görülmektedir. ≈146°C, ≈698°C de endotermik pik, ≈376°C'de ekzotermik pik gözlemlenmiştir.



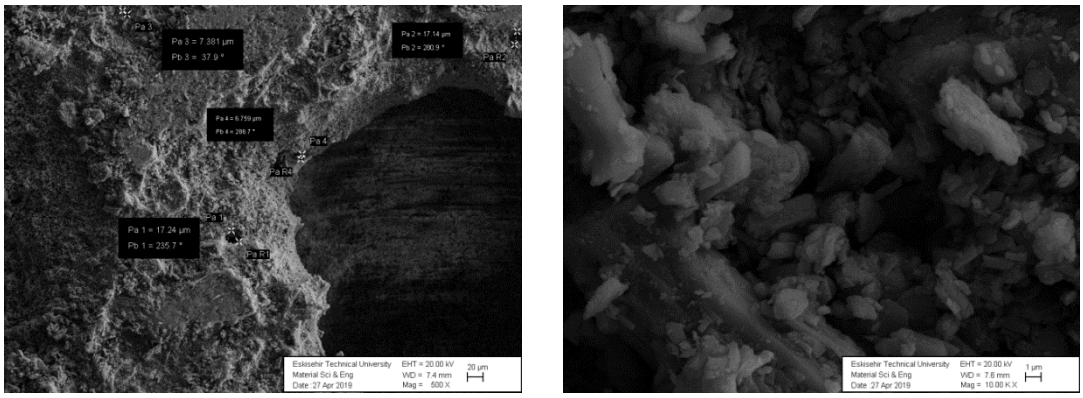
Şekil 8.22 A3 Dihidrat Alçısının TG/DTA Eğrisi

A3 dihidratında, 30-1200°C arasında toplam %20,87 oranında ağırlık kaybı mevcuttur. Ağırlık kaybının en hızlı olduğu sıcaklık ≈142°C'dir. DTG eğrisinde görülmektedir. ≈149°C, ≈690°C de endotermik pik, ≈372°C de ekzotermik pik gözlemlenmiştir.

8.2.3 Katkısız Alçının Mikroyapı Analizi

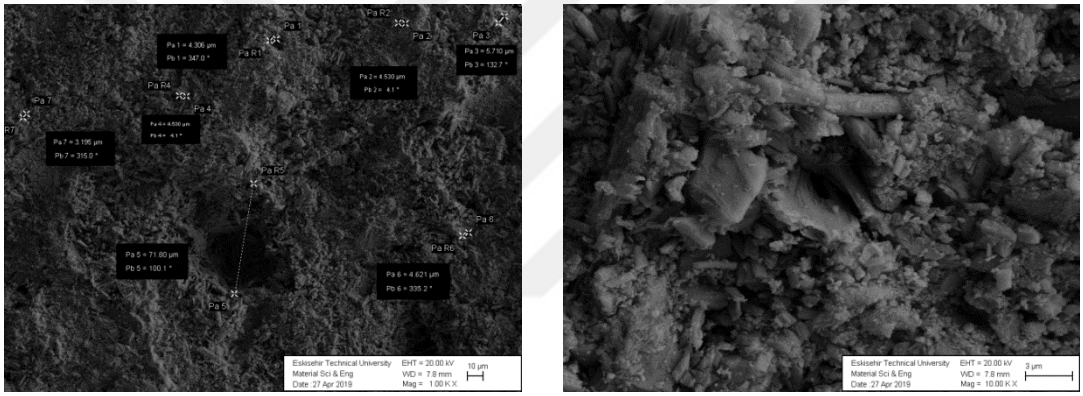
1.35:1 (alçı:su) kıvamında hazırlanan standart deneysel çalışma şartlarında dökülen alçı mukavemet çubukları standart tartıma gelene kadar beklenmiş belirli miktarda parçalar alınarak SEM analizi için Anadolu Üniversitesi İki Eylül Seramik Araştırma Merkezi'ne gönderilmiştir. Kalıp halindeki 3 alçının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri şekil 8.23, 8.24 ve 8.25' de gösterilmektedir.

Şekil 8.23'de A1 katkısız alçısının kristal yapısı ve por boyut dağılımı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir.



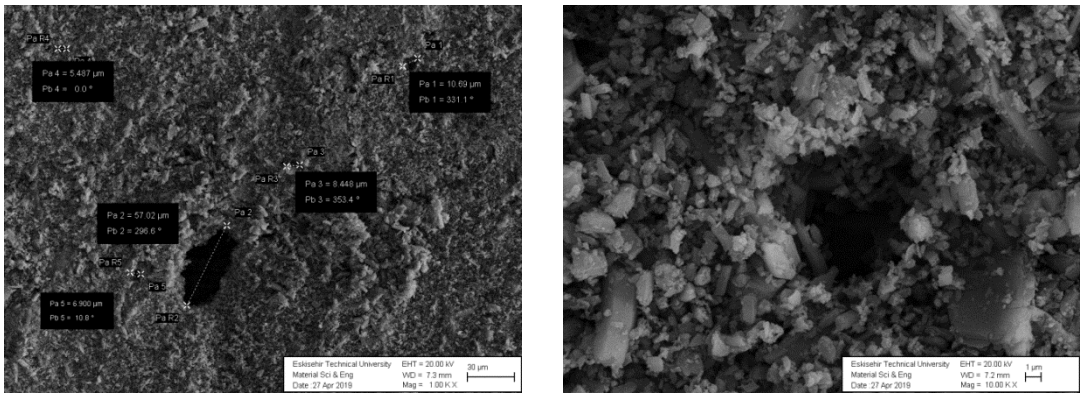
Şekil 8.23 A1 Dihidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

Şekil 8.24'de A2 katkısız alçısının kristal yapısı ve por boyut dağılımı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir.



Şekil 8.24 A2 Dihidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

Şekil 8.25'de A3 katkısız alçısının kristal yapısı ve por boyut dağılımı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir.



Şekil 8.25 A3 Dihidratının SEM İle Alınan Mikroyapı Görüntüsü

Görüntüler incelendiğinde A1 kodlu numunede por çaplarının 1,096-24,63 mikron boyut aralığında, A2 kodlu numunede 0,815-72,18 mikron boyut aralığında, A3 kodlu numunede ise 0,66-57 mikron boyut aralığında olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları A2 alçısının yarı hidrat görüntülerindeki eğilimini doğrular niteliktedir. En küçük por boyutuna sahip olan alçı tipi toz halinden kalıp haline geçişte de por davranışını korumaktadır. Bununla birlikte ortalama por boyut değerleri 3 alçı tipi için (A1,A2,A3) sırasıyla 6,71, 13,24, 7,39 mikron olarak hesaplanmıştır. Burada tabi ki ortalama por boyutunun yanı sıra toplam por hacmi ve yüzey alanı da çok önemlidir. Analiz sonuçlarını pratikte doğrulamak adına por yüzey alanı ölçümü ve bu alçıların döküm özelliklerine etkisi incelenmelidir.

8.2.4 Katkısız Alçının BET Analizi

Bu bölümde A1,A2 ve A3 alçısına ait BET analizi ile por boyutu ve por hacmi sonuçları gösterilmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde 3 alçınının da por çaplarının yakın olduğu, A3 alçısının diğer iki alçı tipinden por çapı olarak daha büyük olduğu gözükmektedir. Adsorpsiyon por hacimlerinde ise A2 alçısı en yüksek hacme sahip çıkmıştır.

Tablo 8.2' de A1 alçısına yüzey alanı tayini için yapılan BET analizi sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 8.2 A1 Alçısı Çok Noktalı BET Sonuçları

Yüzey Alanı (m^2/g)	26,97
Por Çapı (nm)	2,507
Adsorpsiyon Por Hacmi (cm3/g)	7.109 x10^{-2} cm^3/g

Tablo 8.3' de A2 alçısına yüzey alanı tayini için yapılan BET analizi sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 8.3 A2 Alçısı Çok Noktalı BET Sonuçları

Yüzey Alanı (m^2/g)	30,15
Por Çapı (nm)	2,506
Adsorpsiyon Por Hacmi (cc/g)	7.881 x10^{-2} cm^3/g

Tablo 8.4' de A3 alçısına yüzey alanı tayini için yapılan BET analizi sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 8.4 A3 Alçısı Çok Noktalı BET Sonuçları

Yüzey Alanı (m^2/g)	27,46
Por Çapı (nm)	2,799
Adsorpsiyon Por Hacmi (cm3/g)	7.340 x10^{-2} cm^3/g

BET yüzey alanı teorisine göre analizlerinden çıkan sonuçlar neticesinde A1 alçısının yüzey alanı 26,97 m^2/g, A2 alçısının yüzey alanı 30,15 m^2/g, A3 alçısının yüzey alanı 27,46 m^2/g olarak ölçülmüştür. Sonuçlardan teoride en yüksek yüzey alanına sahip A2 alçısının diğer alçılarla karşılaştırılması ve pratikte su emme değerleri ile doğrulanması gerekmektedir. Alçının por çaplarının uniform olduğunu doğrulayan ve tüm farklı porları ölçebildiğimiz SEM analizine kıyasla, BET analizi ile burada por çapları birbirine çok yakın ve SEM analizine göre düşük çıkmıştır. SEM analizinde gözüken makro boyuta sahip porlar işletme şartlarındaki hatalardan dolayı oluşmuştur. Elde edilen verilerden por çaplarının 2-50 nm arasında olmasından dolayı alçının BET analizine göre mezo porlu bir yapıya sahip olduğu yorumunu yapabiliriz.

8.3 Alçı/Su Oranının Kalıp Dökümüne Etkisi

Yapılan çalışmalarda karışım sıcaklıkları sabit tutulup başlangıç derişiminin döküm özelliklerine ve su emme % kapasitesine etkisi incelenmiştir.

Su emme verimleri artan alçı derişimleri ile azalmaktadır. Toz alçı miktarı arttırılınca birim kalsiyum sülfat dihidrat ağırlığı başına porlar tarafından emilen su miktarı da olarak azalmaktadır. Yüzde olarak yüksek su emme değerleri farklı alçı tipleri ve derişimleri için geçerlidir. Yüksek su emme değerinin düşük derişimli alçı çözeltilerinde gözlemlenmesi, kalsiyum sülfat dihidratların büyük yüzey alanlı por hacimlerine sahip olmasına bağlıdır.

Elde edilen verilerden en yüksek % su emmenin A1 alçı tipi için en iyi 1,35 kıvamında, A3 için ise 1,43 kıvamında olduğu gözlemlenmiştir. A2 alçı tipi ise düşük mukavemet değerlerinden dolayı zayıf kalmıştır.

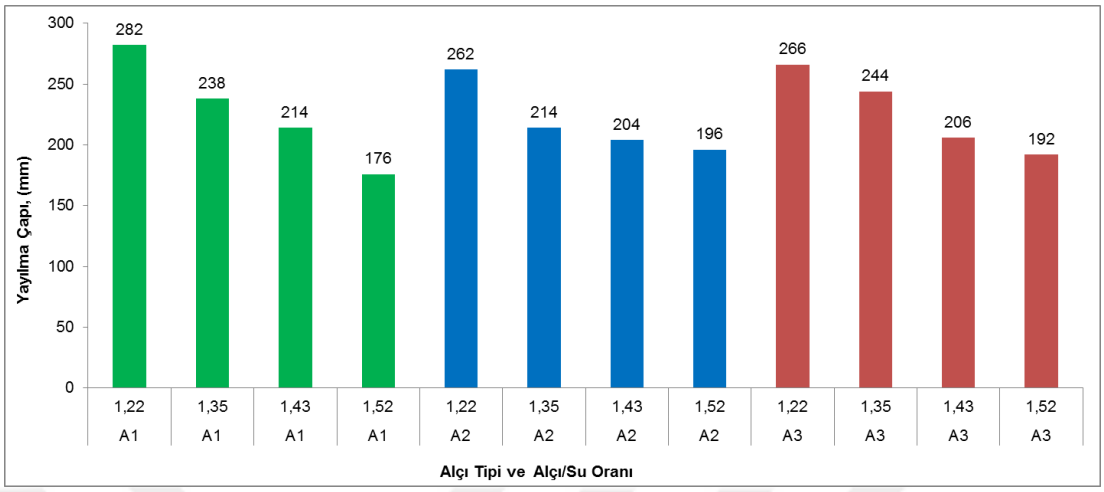
Tablo 8.5' de ağırlıkça alçı/su oranının döküm özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yayılma çapına etkisi gösterilmektedir.

Tablo 8.5 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Yayılma Çapına Etkisi

Alçı Tip	Alçı/Su Oranı (Ağırlıkça)	Yayılma Çapı (mm)
A1	1,22	282
	1,35	238
	1,43	214
	1,52	176
A2	1,22	262
	1,35	214
	1,43	204
	1,52	196
A3	1,22	266
	1,35	244
	1,43	206
	1,52	192

Tablo 8.5' e bakıldığında 1,52 kıvamındaki alçılar yayılma çapının 200 mm'in altında kalması sebebiyle kalıp dökümüne uygun olmadığından tercih edilemeyecektir.

Şekil 8.26’ da ağırlıkça alçı/su oranının yayılma çapına etkisi sütun grafik şeklinde gösterilmektedir.



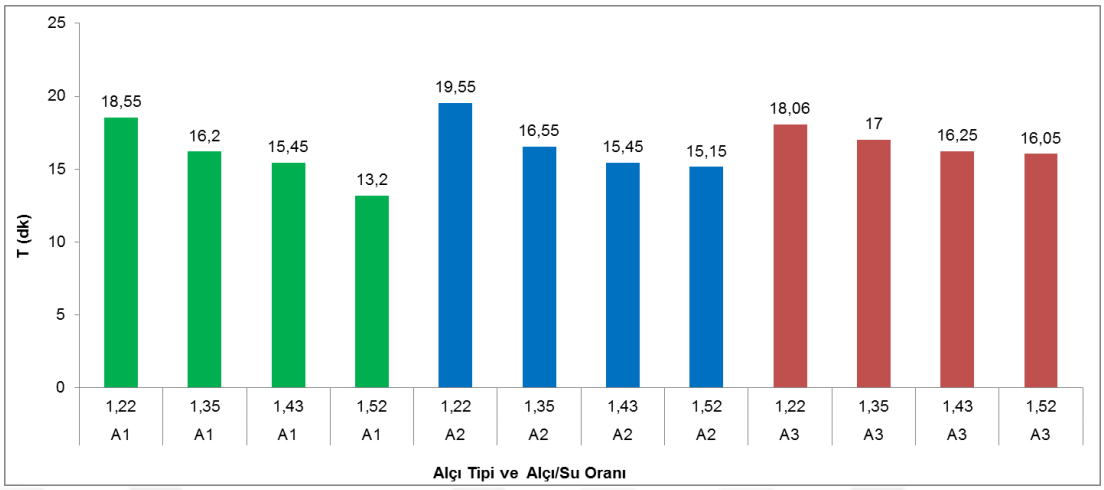
Şekil 8.26 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Yayılma Çapına Etkisi

Tablo 8.6’ da ağırlıkça alçı/su oranının döküm özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla donma başlangıcına etkisi gösterilmektedir.

Tablo 8.6 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Donma Başlangıcına Etkisi

Alçı Tip	Alçı/Su Oranı (Ağırlıkça)	Donma Başlangıcı (Dk,Sn)
A1	1,22	18,55
	1,35	16,2
	1,43	15,45
	1,52	13,2
A2	1,22	19,55
	1,35	16,55
	1,43	15,45
	1,52	15,15
A3	1,22	18,06
	1,35	17
	1,43	16,25
	1,52	16,05

Şekil 8.27’ de ağırlıkça alçı/su oranının donma başlangıcına etkisi sütun grafik şeklinde gösterilmektedir.



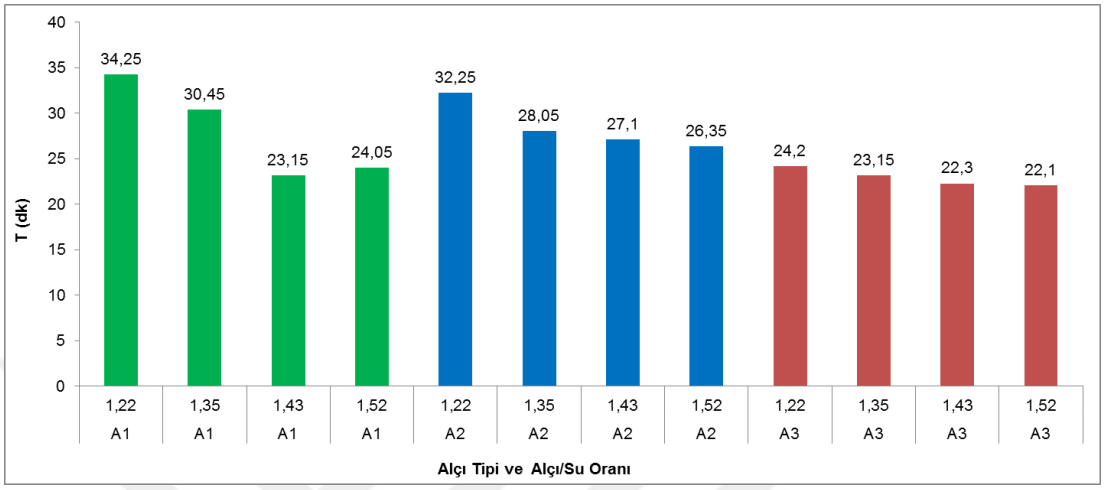
Şekil 8.27 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Donma Başlangıcına Etkisi

Tablo 8.7’ de ağırlıkça alçı/su oranının döküm özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla donma bitimine etkisi gösterilmektedir.

Tablo 8.7 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Donma Bitimine Etkisi

Alçı Tip	Alçı/Su Oranı (Ağırlıkça)	Donma Bitişi (Dk,Sn)
A1	1,22	34,25
	1,35	30,45
	1,43	23,15
	1,52	24,05
A2	1,22	32,25
	1,35	28,05
	1,43	27,1
	1,52	26,35
A3	1,22	24,2
	1,35	23,15
	1,43	22,3
	1,52	22,1

Tablo 8.7' ye bakıldığında 1,22 kıvamındaki alçılar donma başlangıcının 30±0,5 dakinanın kabul edilebilir sınırının üstünde kalması sebebiyle kalıp dökümüne uygun olmadığından tercih edilemeyecektir. Şekil 8.28' de ağırlıkça alçı/su oranının donma bitimine etkisi sütun grafik şeklinde gösterilmektedir.



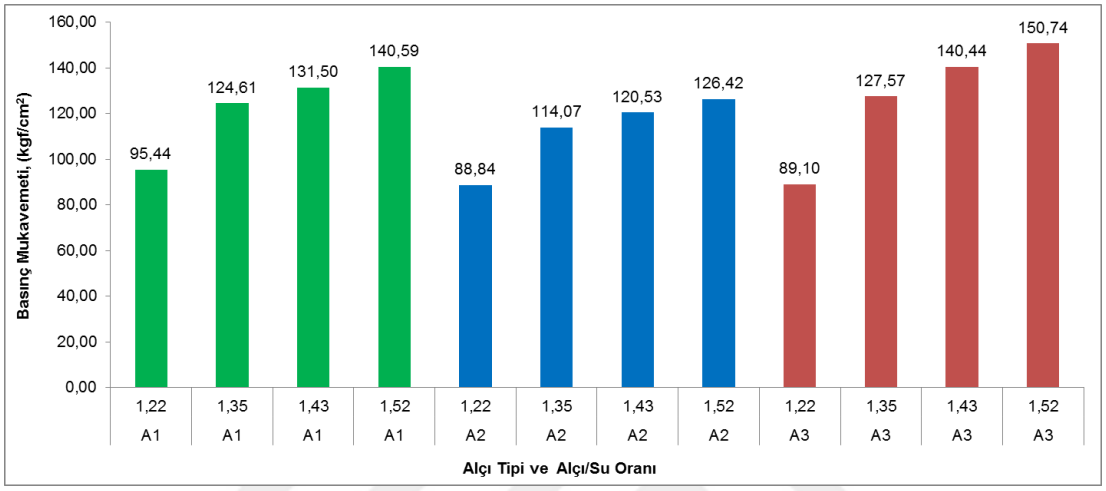
Şekil 8.28 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Donma Bitimine Etkisi

Tablo 8.8' de ağırlıkça alçı/su oranının kalıbın birden fazla kullanılabilirliğini belirleyen kuru mukavemete etkisi gösterilmektedir.

Tablo 8.8 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Mukavemet Değerlerine Etkisi

Alçı Tip	Alçı/Su Oranı (Ağırlıkça)	Mukavemet kg/cm2
A1	1,22	95,44
	1,35	124,61
	1,43	131,5
	1,52	140,59
A2	1,22	88,84
	1,35	114,07
	1,43	120,53
	1,52	126,42
A3	1,22	89,1
	1,35	127,57
	1,43	140,44
	1,52	150,74

Mukavemet sonuçlarına bakıldığında alçı kalıplarda hazırlamada kıvamın arttırılması ile mukavemetin arttığı ve en fazla mukavemete A3 alçısının sahip olduğu görülmüştür. A1 ve A3'ün mukavemetinin A2'ye göre daha iyi olduğu ölçüm sonuçlarında görülmektedir. A2 alçısı kuru mukavemetinin çok düşük seyretmesi nedeni ile tercih edilemeyecektir. Şekil 8.29' da ağırlıkça alçı/su oranının kuru mukavemete etkisi sütun grafik şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 8.29 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının (1,22-1,52) Mukavemet Değerine Etkisi

Sonuçlarda görüldüğü gibi A3 alçısı 1,43 ve 1,52 oranlarında çok iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 8.9' da ağırlıkça alçı/su oranına bağlı kalıbın geçirgenliğini belirleyen kapiler denge basıncı sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 8.9 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Kapiler Denge Basıncına Etkisi

Alçı Tip	Alçı/Su Oranı (Ağırlıkça)	Kapiler Denge Basıncı (Bar)
A1	1,22	0,6
	1,35	0,6
	1,43	0,6
	1,52	0,7
A2	1,22	1
	1,35	1,1
	1,43	1,2
	1,52	1,3
A3	1,22	1,2
	1,35	1,4
	1,43	1,4
	1,52	1,6

Kapiler denge basıncıyla alçı parçacığı içerisine hava verilerek kademeli olarak arttırılan basınç ile birlikte ilk su damlacığının çıktığı basınç değeri not edilir. Bu değer kapiler denge basıncıdır ve alçının porları arasından akışkan geçişi hakkında bilgi verir.

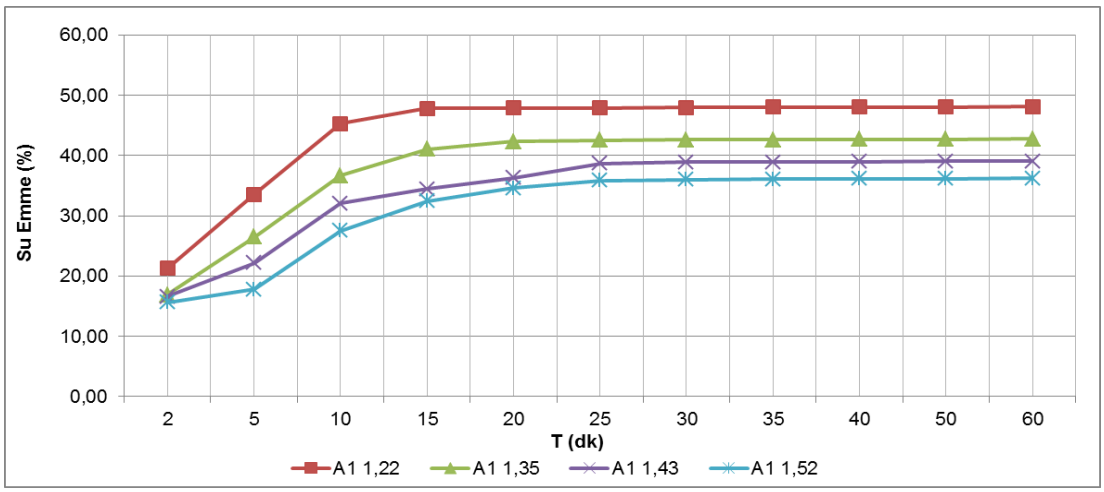
Tablo 8.9' da kapiler denge basıncı A1 alçısının ortalama 0,6 iken A3 alçısının ise 1,4 olduğunu görüyoruz. Buradan çıkan sonuç por çaplarının A3 alçısı içerisinde kalan suyun giderimi için A1 alçısından daha fazla bir hava basıncına ihtiyaç olacağıdır. Bunun sebebi ise SEM ve BET analizinden görüldüğü gibi A1 alçısında por çapı 1 mikron altı porların olmamasıdır. A2 ve A3 alçısında ise çapı 1 mikronun altında porlar bulunmaktadır. Tablo 8.10' da ağırlıkça alçı/su oranına bağlı ağırlıkça su emme sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 8.10 Ağırlıkça Alçı/Su Oranının Ağırlıkça Su Emmeye Etkisi

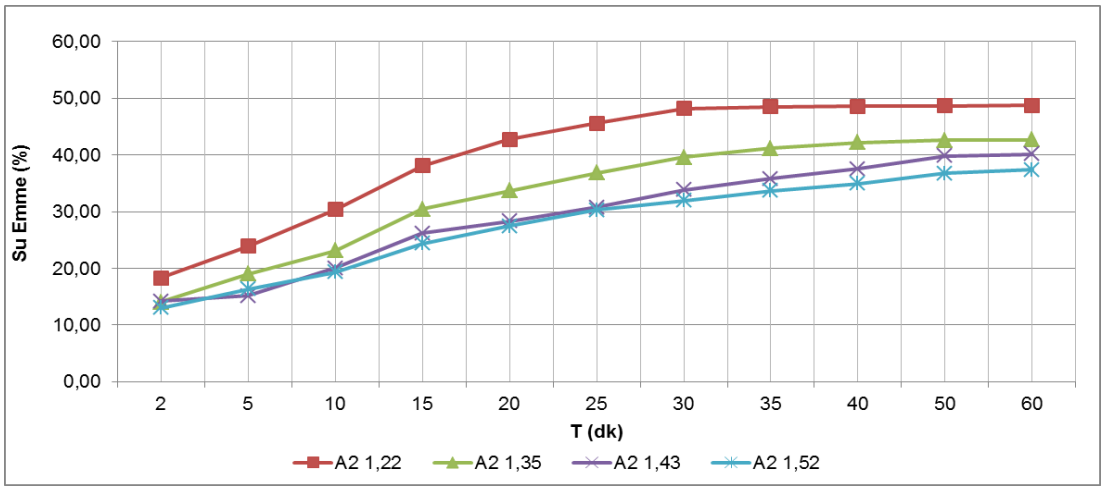
Alçı Tip	Alçı/Su Oranı (Ağırlıkça)	Su Emme % (Ağırlıkça)
A1	1,22	48,13
	1,35	42,76
	1,43	39,08
	1,52	36,23
A2	1,22	48,73
	1,35	42,66
	1,43	40,11
	1,52	37,34
A3	1,22	50,51
	1,35	42,16
	1,43	45,80
	1,52	40,63

Tablo 8.10' da görüldüğü üzere su emme değerleri alçı oranının artması ile birlikte düşmektedir. Buna bağlı ideal alçı/su oranı ve su emme değeri seçilmelidir.

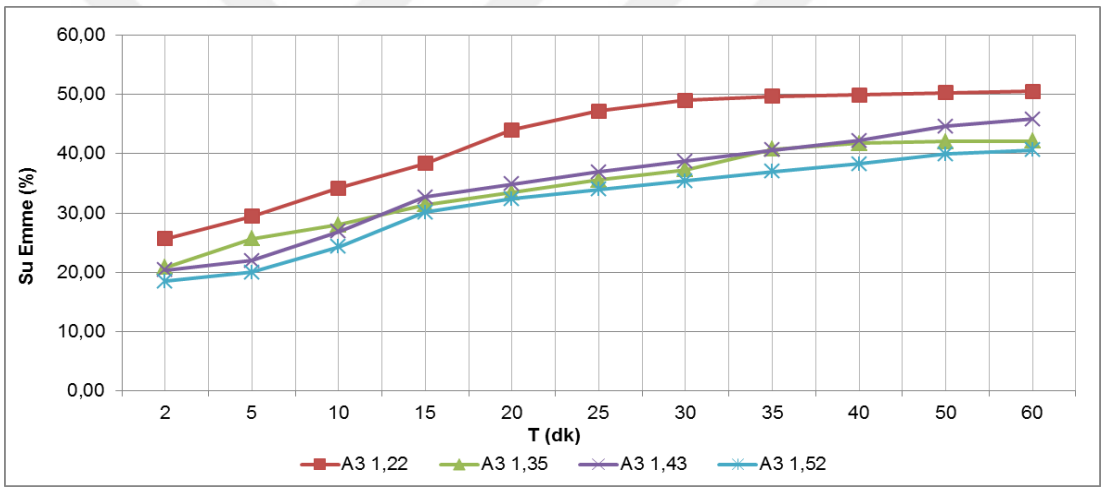
Şekil 8.30, 8.31, 8.32' de üç alçıya ait farklı kıvamlarda su emme eğrileri gösterilmektedir. İdeal su emme eğrisi olabildiğince düşük hızda emilim yapan bir çizgiye sahip olmalı fakat toplamda ağırlıkça yüksek su emme değerine ulaşmalıdır. Bu sayede çamurun kalıp içerisinde paketlemesi ve film tabakası daha lifli (katmanlı) bir yapıya sahip olacaktır.



Şekil 8.30 A1 Alçısı Alçı/Su Oranının Su Emmeye Etkisi



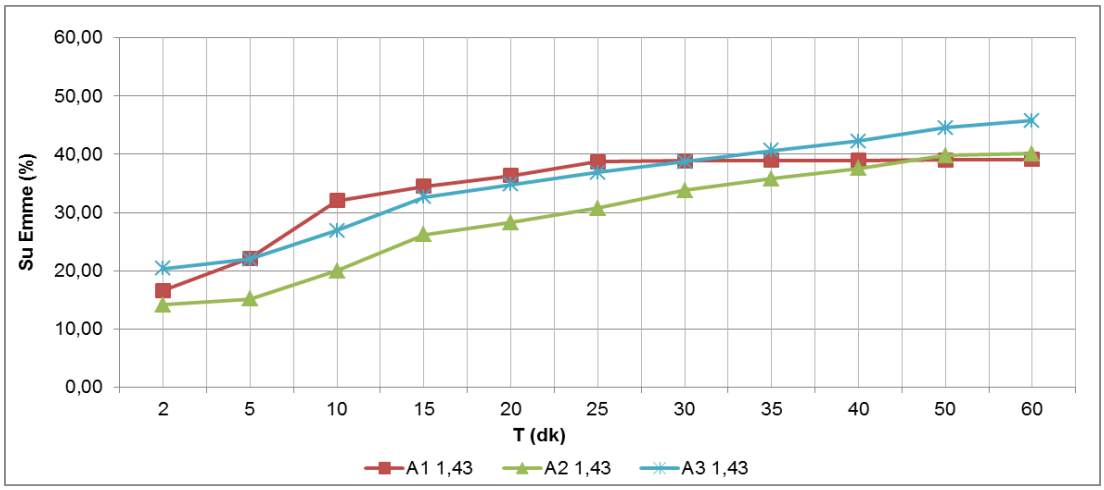
Şekil 8.31 A2 Alçısı Alçı/Su Oranının Su Emmeye Etkisi



Şekil 8.32 A3 Alçısı Alçı/Su Oranının Su Emmeye Etkisi

Analiz sonuçlarından kabul edilebilir mukavemet değerindeki en iyi su emme değerlerinin ve su emme eğrisinin 1,35 ve 1,43 Alçı/Su oranlarında olduğu görülmüştür. Şekil 8.33, 8.34 ve 8.35 de görüldüğü gibi 1,22 oranındaki alçılarda çekim çok hızlı olmakta ve buda ürünün kalitesini düşürücü etki yaratmaktadır. Şekil 8.35' de ise A3 alçısının 1,35 oranında da iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Şekil 8.36' da seçilen alçı/su oranında A1-A2-A3 alçılarının su emme eğrileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.33 Seçilen Alçı/Su Oranında Alçı Tipi-Su Emme Karşılaştırması

Bu değerler arasından yüksek mukavemete sahip A3 alçısının 1.43 oranındaki Su Emme değeri diğer alçılarla karşılaştırıldığında 1,43 oranındaki A3 alçısının 1,35'den 1,43 oranına geçerken, yani alçı oranı artarken mukavemeti artmış fakat su emme oranı düşmemiştir. Diğer A1 ve A2 tip alçıda ise su emme oranları düşmüştür.

8.4 Katkılı Alçı Kalıpların Döküm Özelliklerinin Belirlenmesi

Yapılan çalışmalarda karışım sıcaklıkları ve ağırlıkça alçı/su oranı işletme koşullarında kullanılan alçı/su oranı 1,35 olduğu için, bu değerde sabit tutulup katkı ilavelerinin döküm özellikleri, mukavemet ve su emme (%) kapasitesine etkisi incelenmiştir.

Tablo 8.8 ve 8.9'da açıkça görüldüğü gibi su emme kapasitesi artan alçı-su oranları ile azalmaktadır. Toz alçı miktarı arttırılınca birim kalsiyum sülfat dihidrat ağırlığı başına porlar tarafından emilen su miktarı olarak da azalmaktadır. Yüzde olarak yüksek su emme değerleri farklı alçı tipleri ve alçı-su oranları için geçerlidir. Yüksek su emme değerinin düşük alçı-su oranlı alçılarda gözlemlenmesi, kalsiyum sülfat dihidratların büyük yüzey alanlı por hacimlerine sahip olmasına bağlıdır.

8.4.1 Polimerik Porlu Katkı Malzemelerinin Döküm Özelliklerine Etkisi

Elde edilen verilerden su emmenin tüm alçı tipleri için 1,35 alçı/su oranında aynı olduğu saptanmıştır. Standart A1 alçı tipi ile por yapıcı özelliği olan 6 farklı makro por boyutuna sahip polimerik toz halde hammaddeler ilave edilerek karışım

alçıların donma bitimlerinden sonra normal kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında su emme testi yapılarak su emme kapasitesinin artışı incelenmiştir. Tablo 8.11' de polimer katkı malzemelerinin ilavesi ile su emme değişimi, işletme şartlarında standart olarak kullanılan A1 alçısının 1,35 alçı/su oranındaki değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.11 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi – Su Emme Miktarı (gr)

Dk / Kuru Ağırlık	PK 1 %1	PK 2 %1	PK 3 %1	PK 4 %1	PK 5 %	PK 6 %1	Standart Alçı	Standart Alçı
0	1141,1	1171,6	1131,3	1170,4	1197,7	1190,2	1147,3	1147,8
2	1359,7	1360,2	1360,5	1387,9	1370,5	1372,3	1317,9	1304,9
5	1445,7	1429,4	1436,2	1453,9	1423,2	1420,3	1364,0	1405,2
10	1556,4	1518,3	1535,5	1541,4	1491,3	1481,4	1423,4	1480,6
15	1599,3	1575,9	1592,4	1597,4	1537,9	1524,1	1469,5	1539,3
20	1599,6	1604,6	1594,8	1602,6	1551,5	1560,8	1518,4	1589,0
25	1599,7	1605,2	1594,9	1603,3	1552,8	1592,7	1547,3	1595,5
30	1599,8	1605,3	1595,0	1603,8	1553,3	1595,6	1568,7	1596,2
35	1599,8	1606,2	1596,3	1605,1	1554,1	1596,9	1581,1	1596,7
40	1600,4	1606,3	1596,4	1605,2	1554,6	1597,8	1582,0	1596,8
50	1600,5	1606,5	1596,7	1605,3	1555,2	1598,5	1582,7	1596,9
60	1600,6	1606,6	1596,8	1605,8	1556,0	1599,4	1583,2	1597,0

Tablo 8.12' de Polimer katkı malzemeleri ilavesi ile su emme değerlerindeki değişim gösterilmektedir.

Tablo 8.12 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi – % Su Emme

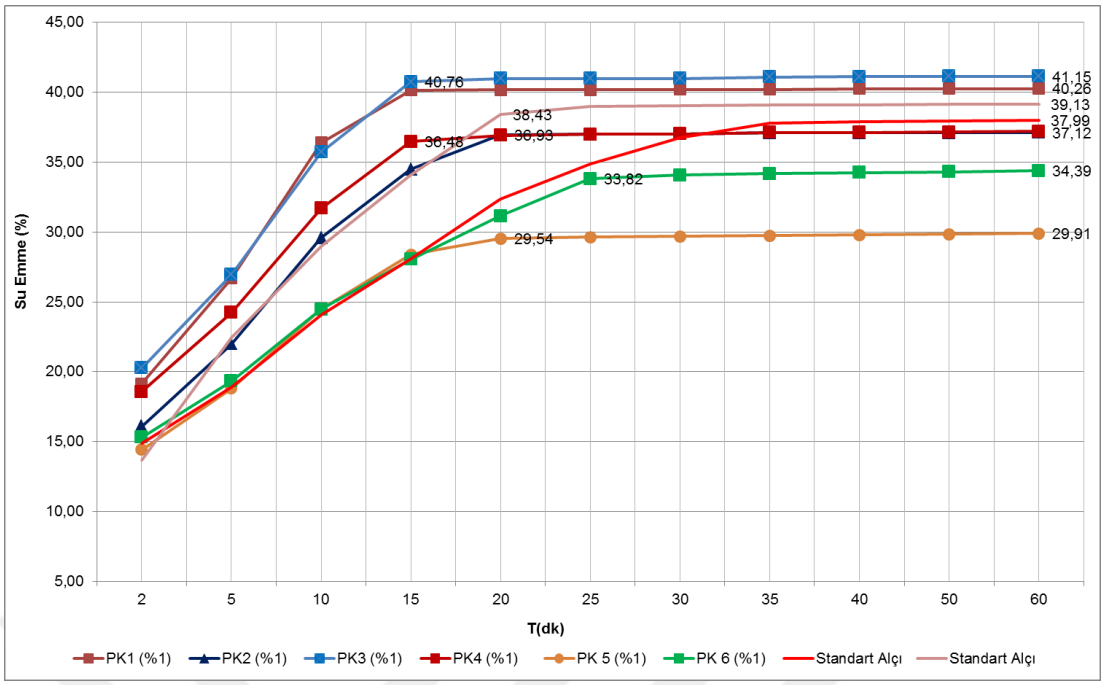
Dk / % Su Emme	PK 1 %1	PK 2 %1	PK 3 %1	PK 4 %1	PK 5 %	PK 6 %1	Standart Alçı	Standart Alçı
2	19,16	16,10	20,26	18,58	14,43	15,30	14,87	13,69
5	26,69	22,00	26,95	24,23	18,82	19,33	18,89	22,43
10	36,40	29,59	35,73	31,70	24,50	24,47	24,06	28,99
15	40,15	34,50	40,76	36,48	28,40	28,06	28,08	34,11
20	40,18	36,95	40,98	36,93	29,54	31,14	32,34	38,43
25	40,19	37,01	40,98	36,98	29,64	33,82	34,86	39,00
30	40,19	37,01	40,99	37,03	29,68	34,06	36,73	39,07
35	40,20	37,09	41,10	37,14	29,75	34,17	37,81	39,11
40	40,25	37,10	41,11	37,14	29,79	34,25	37,89	39,12
50	40,26	37,11	41,14	37,15	29,84	34,31	37,95	39,13
60	40,26	37,12	41,15	37,20	29,91	34,39	37,99	39,13

Tablo 8.13' de polimer katkılı alçıların kuru mukavemet sonuçları standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.13 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi – Kuru Mukavemet

	PK 1 %1	PK 2 %1	PK 3 %1	PK 4 %1	PK 5 %	PK 6 %1	Standart Alçı
Mukavemet 1	107,81	101,81	123,93	115,12	129,93	126,93	137,56
Mukavemet 2	109,26	107,81	111,26	120,75	127,68	123,35	140,21
Ortalama Mukavemet	108,535	104,81	117,595	117,935	128,805	125,14	138,885

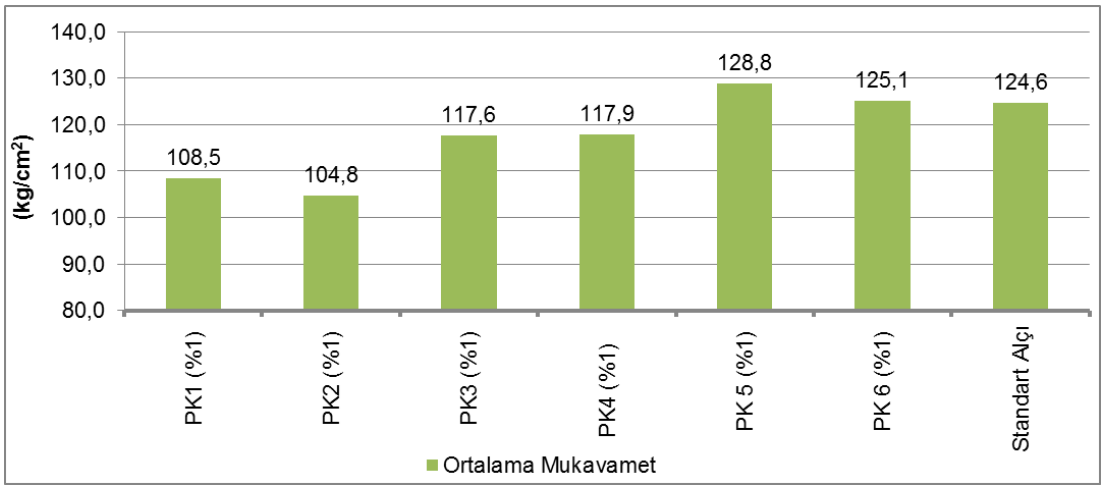
Şekil 8.34'de polimer katkılı alçıların su emme eğrileri, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki su emme eğrisi ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.34 Polimer Katkı Malzemesi İlavesinin Su Emmeye Etkisi

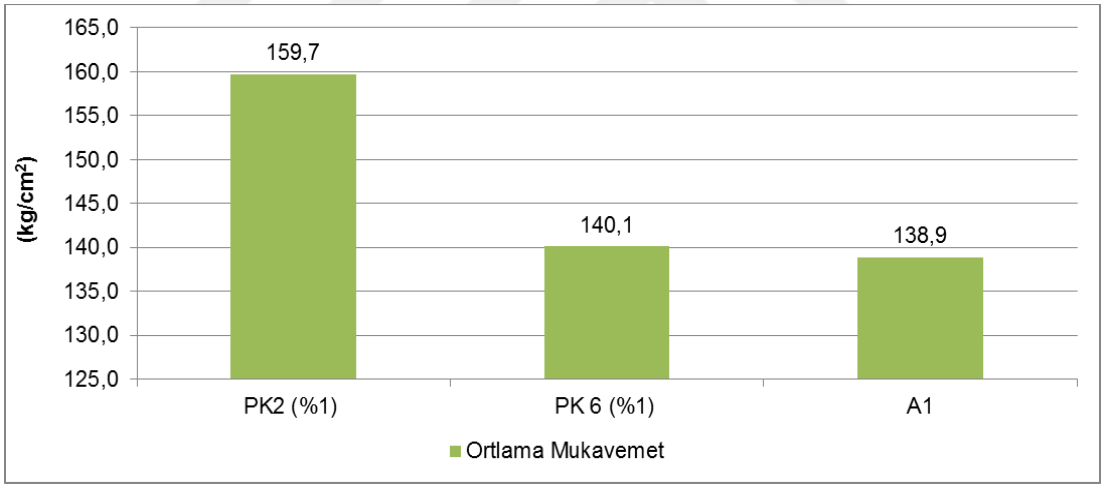
Şekil 8.34' de görüldüğü gibi por yapıcı polimer katkılar su emmeyi hızlı bir şekilde arttırmış ve ürünün kalitesine olumsuz etki yapacak şekilde eğri çizmiştir. Burada PK 5 toplam su emme değeri çok düşük olduğundan kullanılamayacaktır. PK 1 ve PK 3 ise su emme eğrilerinde ki hızlı artış nedeniyle tercih edilmeyecektir. PK 4 ve PK 2 toplamda aynı miktarda su emme yapmış fakat PK 4 ün hızlı su emme eğrisi nedeniyle tercih edilmemesi gerekmektedir. Bunlardan sonraki denemelerde PK 2 ve PK 6 ile devam edilmesine karar verilmiştir.

Şekil 8.35'de polimer katkılı alçıların kuru mukavemet değerleri, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki kuru mukavemet değeri ile karşılaştırılmıştır.



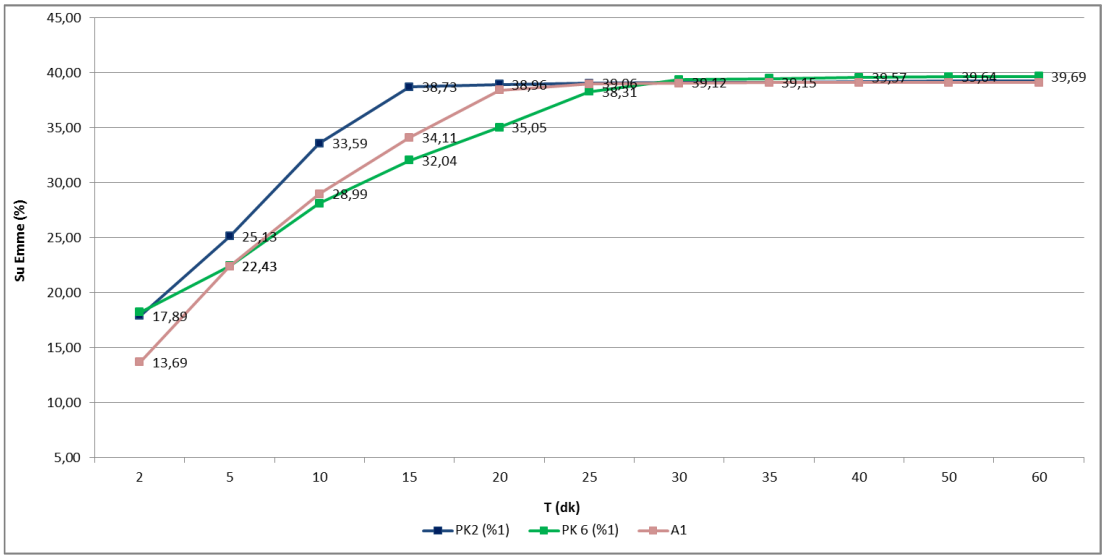
Şekil 8.35 Polimer Katkı Malzemesi İlavesi - Kuru Mukavemet İlişkisi

Şekil 8.35' deki kuru mukavemet sonuçlarında kalan numunelerden (PK 2 ve PK 6) PK 6 öne çıkmaktadır. Şekil 8.36'da seçilen polimer katkılı alçıların kuru mukavemet değerleri, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki kuru mukavemet değeri ile karşılaştırılmıştır.



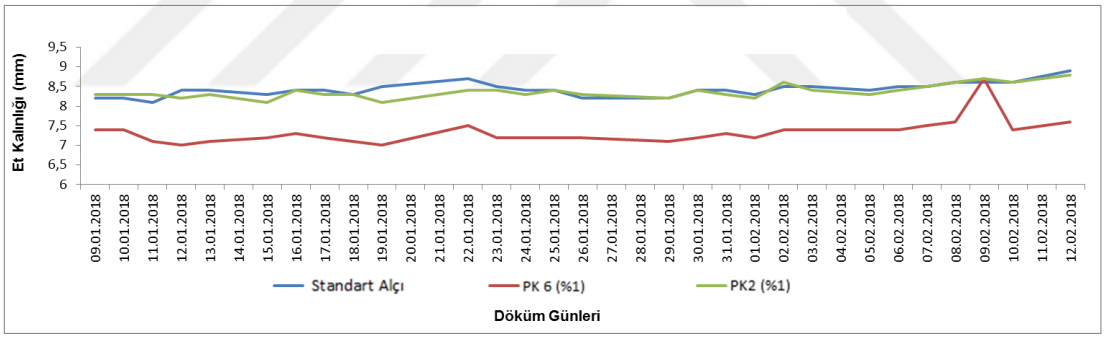
Şekil 8.36 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi İle Kuru Mukavemet İlişkisi

Şekil 8.37'de PK 2 ve PK 6 polimer katkılı alçıların su emme eğrileri, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki su emme eğrisi ile karşılaştırılmıştır.



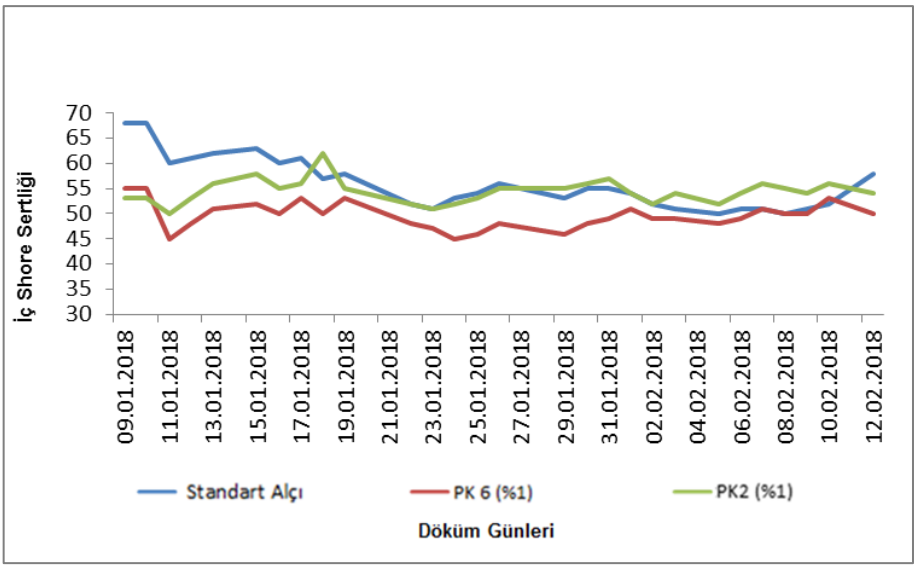
Şekil 8.37 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi İle % Su Emme İlişkisi

Şekil 8.38'de seçilen polimer katkılı alçılara ait ürünlerin yarı mamul et kalınlıkları, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki yarı mamul et kalınlığı ile karşılaştırılmıştır.



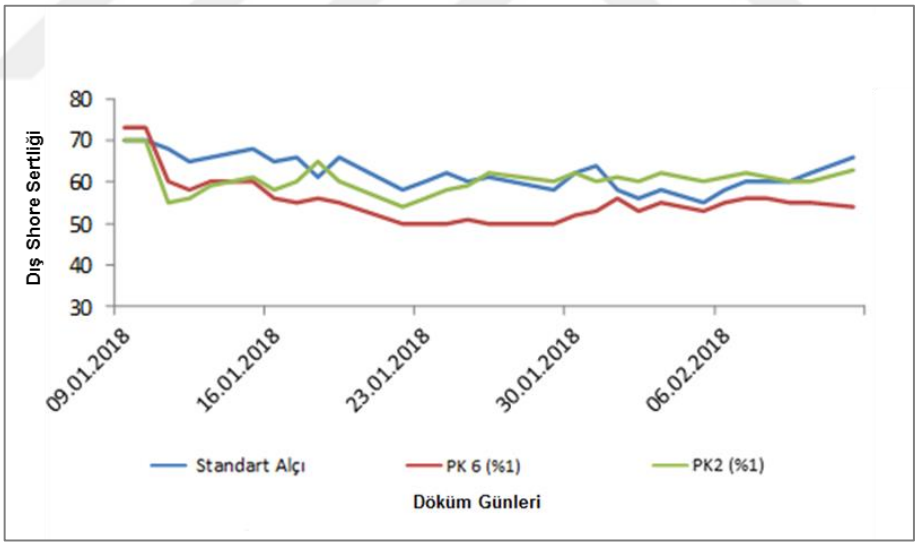
Şekil 8.38 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi İle Yarı Mamul Kalınlığı

Şekil 8.39'da seçilen polimer katkılı alçılara ait ürünlerin yarı mamul iç sertlikleri, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki yarı mamul iç sertliği ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.39 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi ile Yarı Mamul İç Sertliği

Şekil 8.40'da seçilen polimer katkılı alçılara ait ürünlerin yarı mamul dış sertlikleri, standart üretimde kullanılan A1 alçısının 1.35 kıvamındaki yarı mamul dış sertliği ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.40 PK 2 ve PK 6 Polimerik Katkı Malzemesi İlavesi ile Yarı Mamul Dış Sertliği

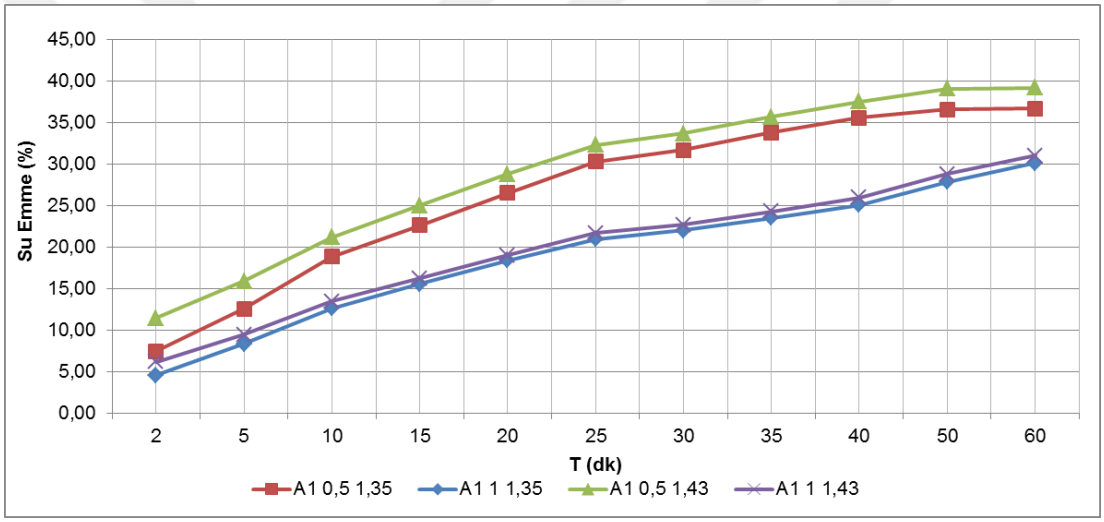
Şekil 8.37' de görüldüğü gibi PK2 katkılı alçının su emme değeri ani artış yaptığından yarı mamule etkisi olumsuz olabilecek düzeydedir. Buna rağmen şekil 8.39 ve 8.40' da görülen yarı mamul iç dış sertlikleri ve kalınlık değerlerinde PK2 iyi değerlere sahip olurken PK 6 ise tercih edilemeyecek düzeydedir. PK 2 alçısı ise

mukavemet değerinin çok düşük olmasından dolayı ek bir katkı olmadan çoklu döküm yapılmasına uygun olmayacaktır.

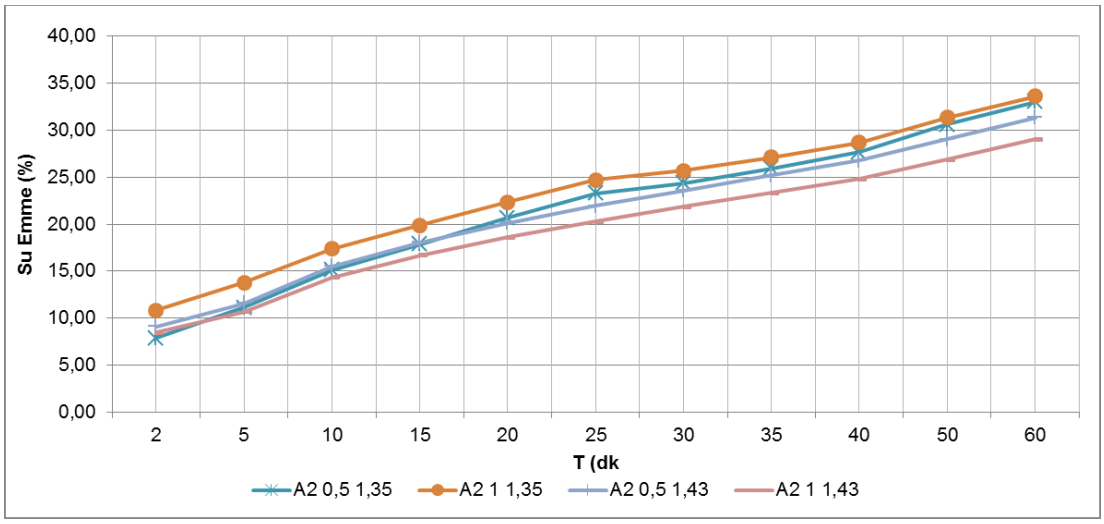
8.4.2 Nano Kil Malzemelerin Döküm Özelliklerine Etkisi

Ağartma toprağından elde edilen yüzey alanı yüksek olan nano killer döküm özelliklerini geliştirilmesi amacıyla, Yıldız Teknik Üniversitesi ve ESAN' dan tedarik edilerek ağırlıkça uygun bulunan kıvam olan 1,35 ve 1,43 Alçı/Su oranındaki karışıma yine ağırlıkça % 0,5 ve % 1 oranlarında karıştırılarak mukavemet ve su emme değerlerine etkisi incelenmiştir.

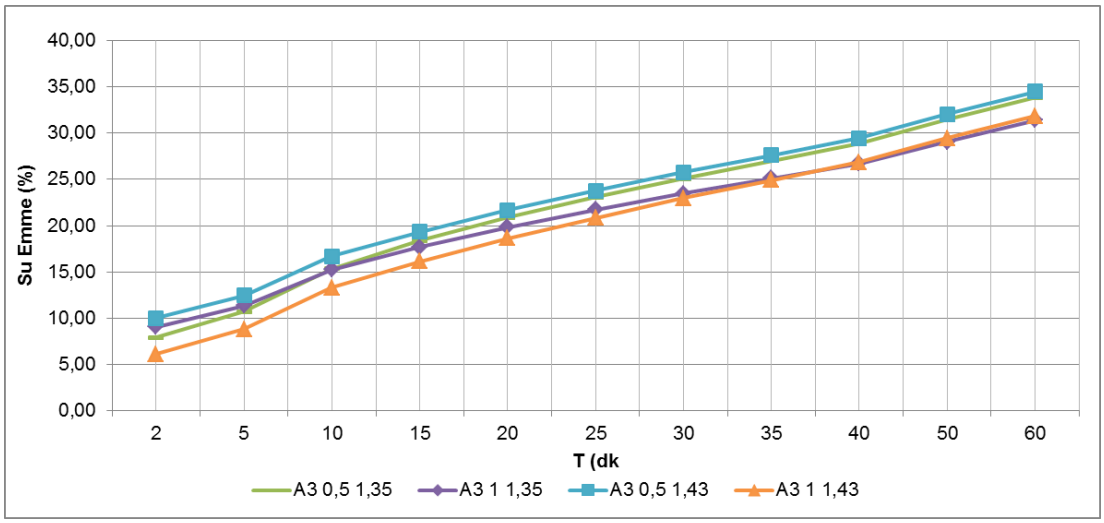
Şekil 8.41, 8.42 ve 8.43'da sırasıyla A1,A2 ve A3 alçılarına Esan nanokil katkısı sonucu su emme eğrilerindeki değişim gösterilmektedir.



Şekil 8.41 A1 Alçısına ESAN Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi

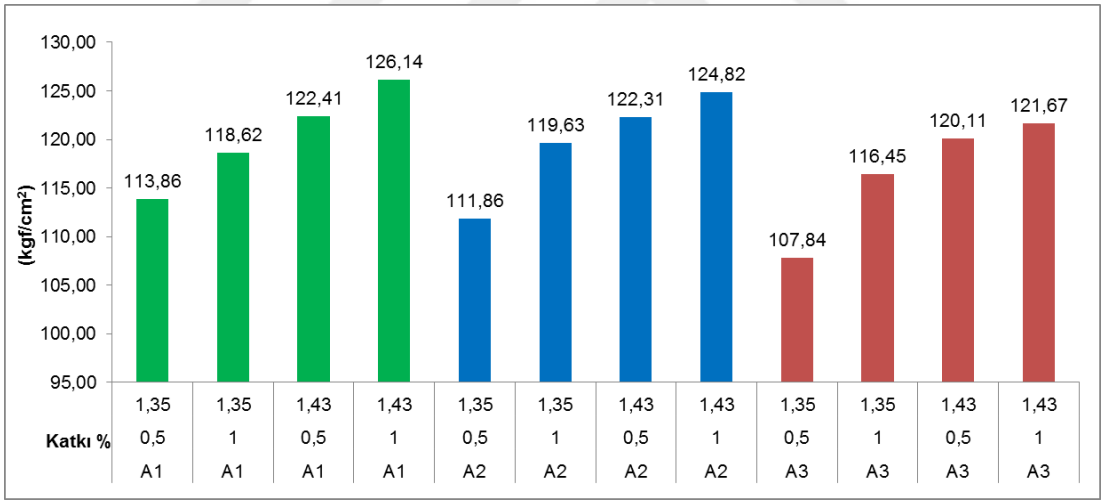


Şekil 8.42 A2 Alçısına ESAN Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi



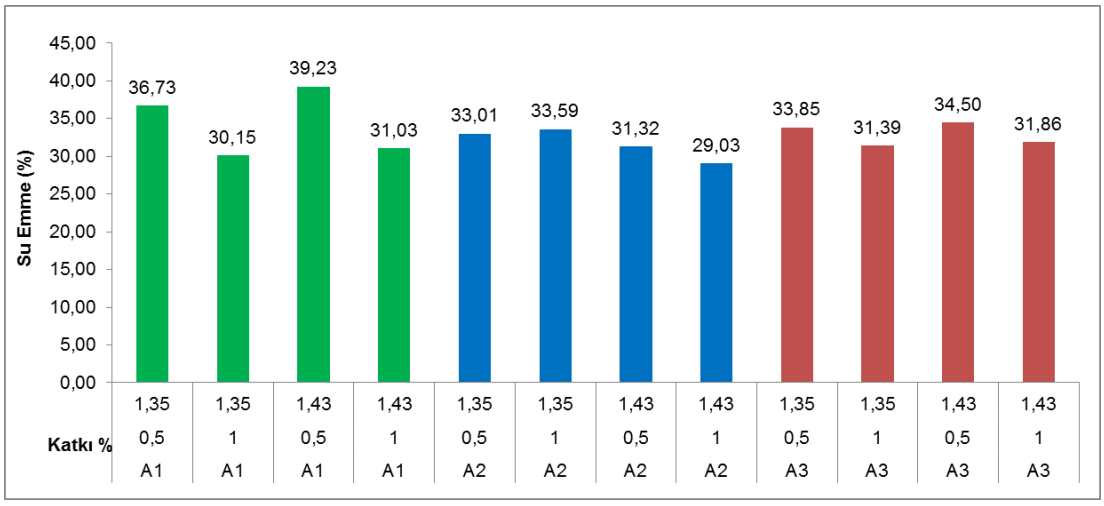
Şekil 8.43 A3 Alçısına ESAN Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi

Şekil 8.44'de sütun grafik ile sırasıyla A1,A2 ve A3 alçılarına Esan nanokil katkısı sonucu kuru mukavemet değerlerindeki değişim gösterilmektedir.



Şekil 8.44 ESAN Nano Kil Katkılı Alçıların Karşılaştırılmalı Mukavemet Analizi

Şekil 8.45'de sütun grafik ile sırasıyla A1,A2 ve A3 alçılarına Esan nanokil katkısı sonucu toplam su emme değerlerindeki değişim gösterilmektedir.

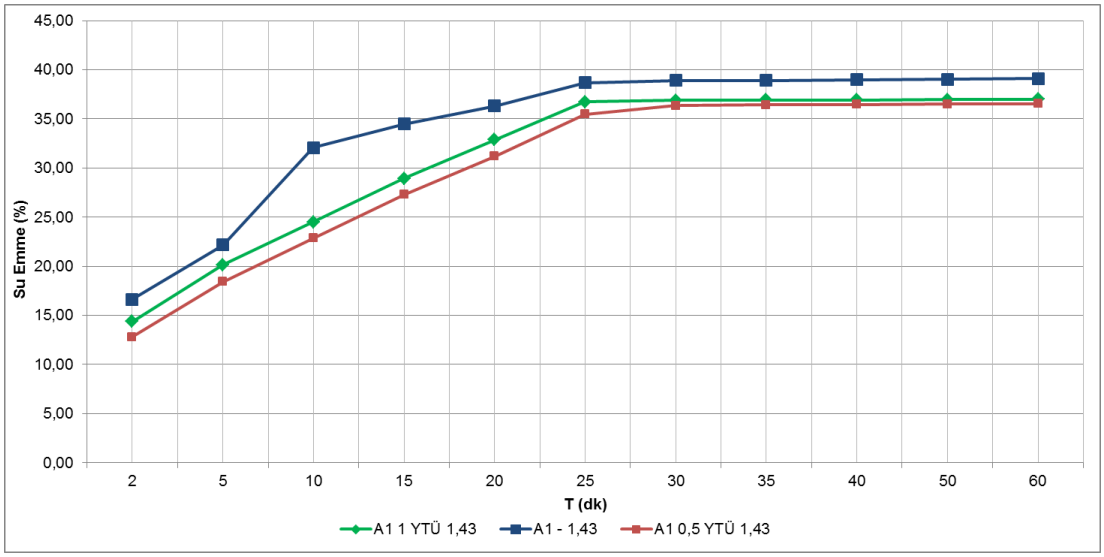


Şekil 8.45 ESAN Nano Kil Katkılı Alçıların Karşılaştırılmalı Toplam % Su Emme Analizi

Elde edilen sonuçlardan şekil 8.44 ve 8.45' de Esan nano kil katkıları için en uygun değerler 1,43 Alçı/Su oranında ve % 0,5 nano kil ilavesi ile A1 ve A3 alçı tipleri olarak seçilmiştir.

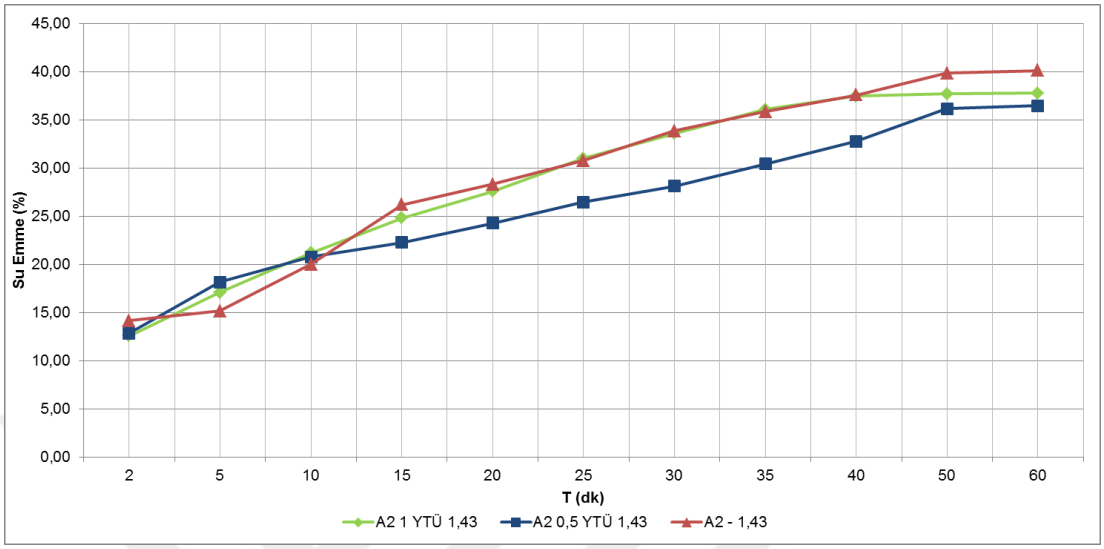
Yıldız Teknik Üniversitesinden alınan nano killer bu sonuçlar ışığında alçının mukavemet değerlerinin daha iyi olduğu 1,43 oranında denenmiştir.

Şekil 8.46'da A1 alçısına YTÜ nanokil katkısı su emme eğrisindeki değişim gösterilmektedir.



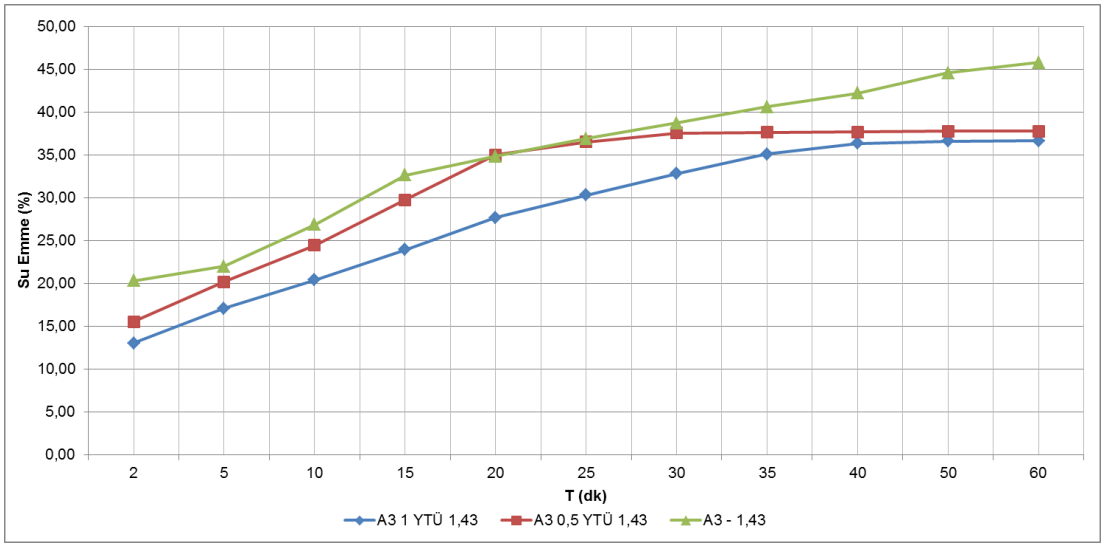
Şekil 8.46 A1 Alçısına YTÜ Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi

Şekil 8.47'de A2 alçısına YTÜ nanokil katkısı su emme eğrisindeki değişim gösterilmektedir.



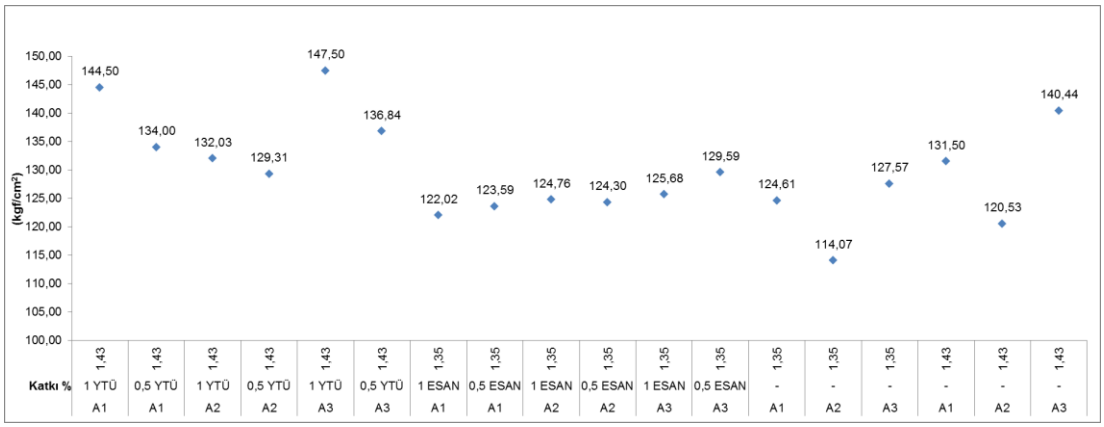
Şekil 8.47 A2 Alçısına YTÜ Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi

Şekil 8.48'de A3 alçısına YTÜ nanokil katkısı su emme eğrisindeki değişim gösterilmektedir.

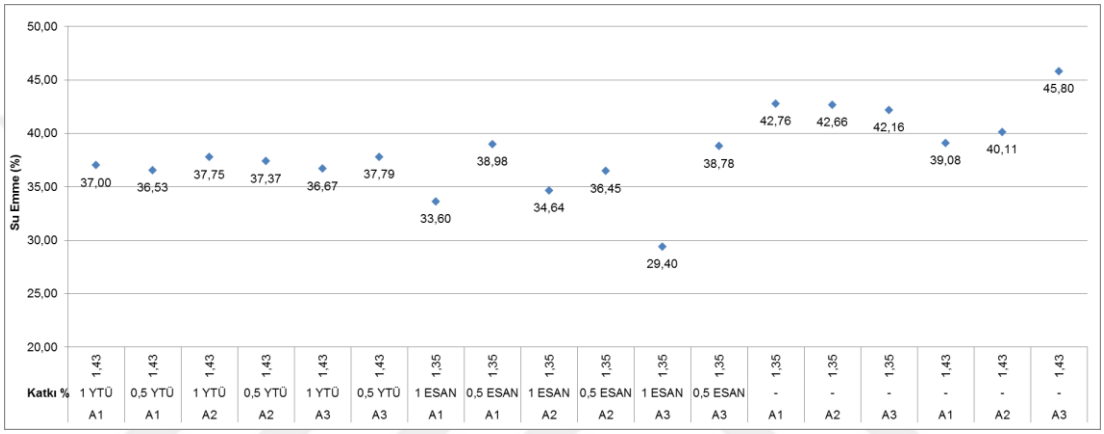


Şekil 8.48 A3 Alçısına YTÜ Nano Kil Katkısı İle % Su Emme Değişimi

Deney sonuçları şekil 8.49 ve şekil 8.50' de 3 tip alçının nanokil katkısız 1,35 ve 1,43 Alçı/Su oranındaki değerleri ile karşılaştırılmıştır.

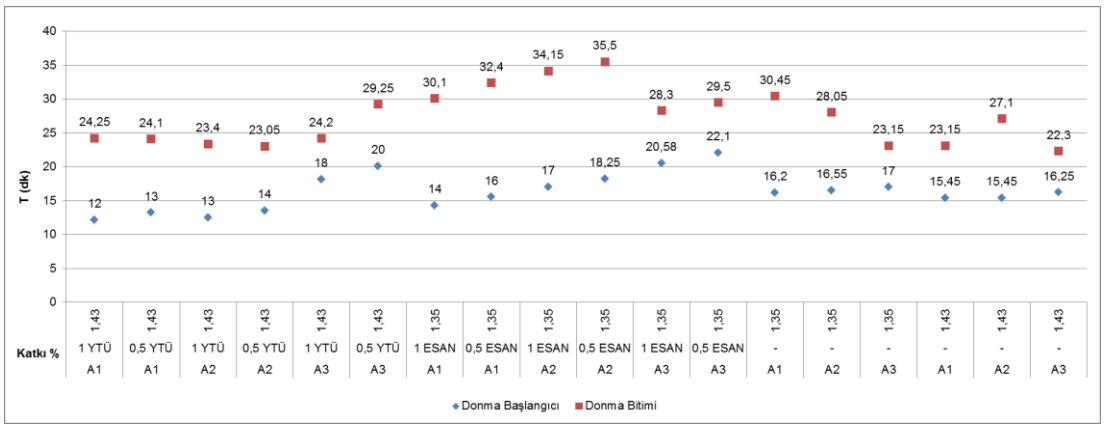


Şekil 8.49 Nanokil Katkı Malzemesi İlavesi Katkısız Alçı Mukavemet İlişkisi



Şekil 8. 50 Nanokil Katkı Malzemesi İlavesi Katkısız Alçı Toplam % Su Emme İlişkisi

Nanokil katkı ilavesinin kalıp dökümüne etkisinin incelenmesi için şekil 8.51' de nanokil ilavesinin donma başlangıcı - bitimine etkisi gösterilmektedir.



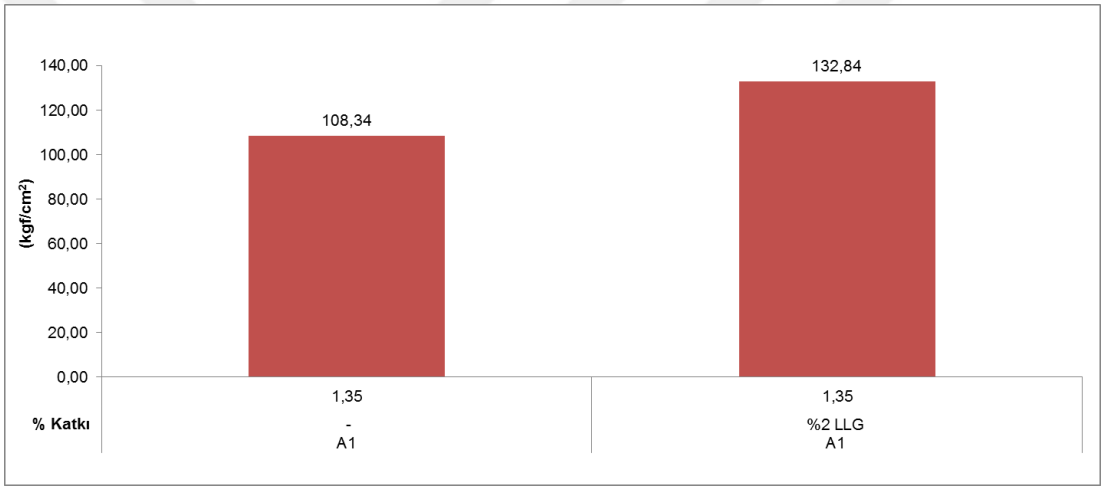
Şekil 8.51 Nanokil Katkı Malzemesi İlavesi – Katkısız Alçı Donma Başlagıç-Bitiş İlişkisi

Şekil 8.49 ve 8.50' de görüldüğü gibi %1 YTÜ nano kil katkılı 1,43 kıvamındaki A3 ve A1 alçısı, %35 olan ilgili TSE değerlerinden daha üstün sonuçlar göstermiştir [54]. Bununla beraber %0,5 Esan nano kil katkılı 1,35 kıvamındaki A1 alçısı da kabul edilebilir gelişme gerçekleştirmiştir.

8.4.3 Akrilik Katkı Malzemelerinin Döküm Özelliklerine Etkisi

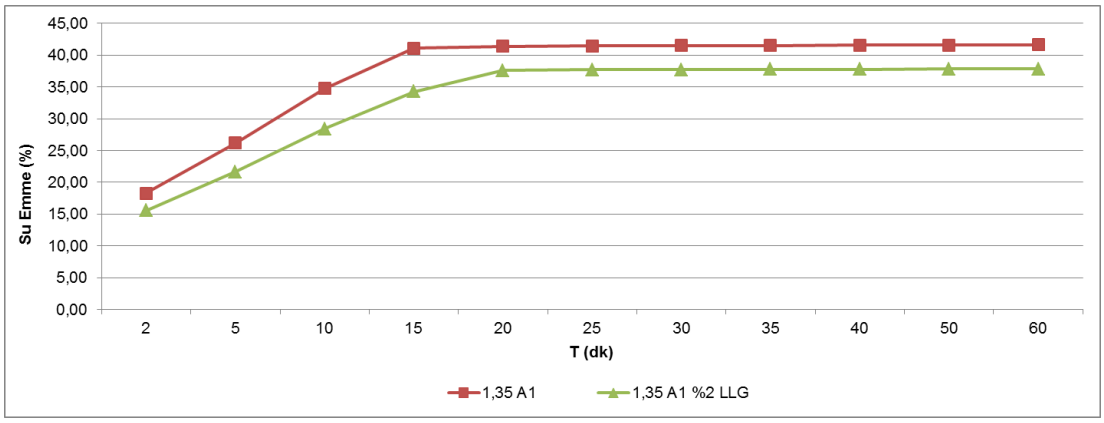
Alçı kalıbın mukavemetini ve yüzey kalitesini arttırmak amacıyla standart üretimde kullanılan 1,35 alçı/su oranındaki A1 alçısına ağırlığınca %2 Akrilik ko-polimer (LLG) bazlı katkı ilavesi yapılarak döküm özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Şekil 8.52' de akrilik ko-polimer katkısının kuru mukavemete etkisi gösterilmektedir.



Şekil 8.52 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Mukavemet Değerleri Karşılaştırılması

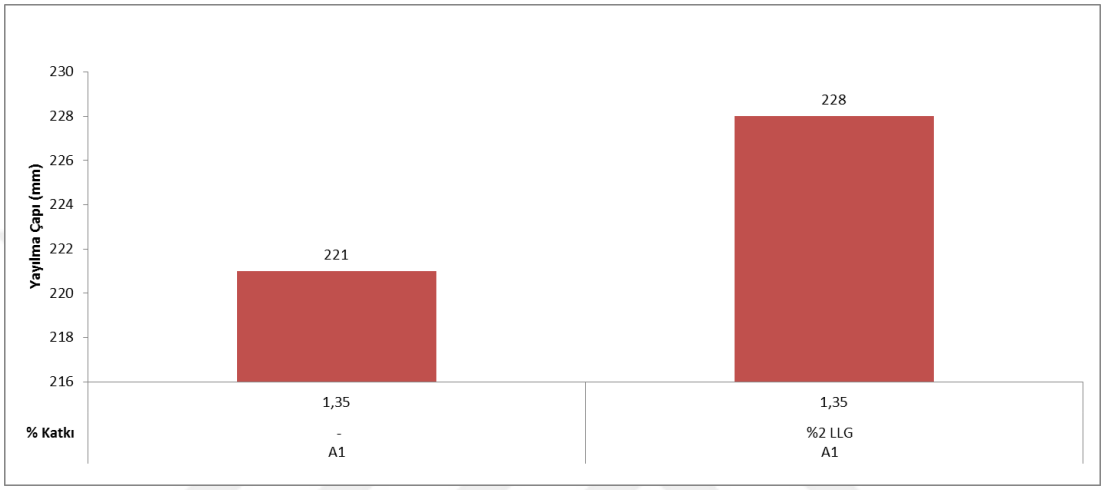
Şekil 8.53' de akrilik ko-polimer katkısının su emme eğrisine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 8.53 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Su Emme Değerleri Karşılaştırılması

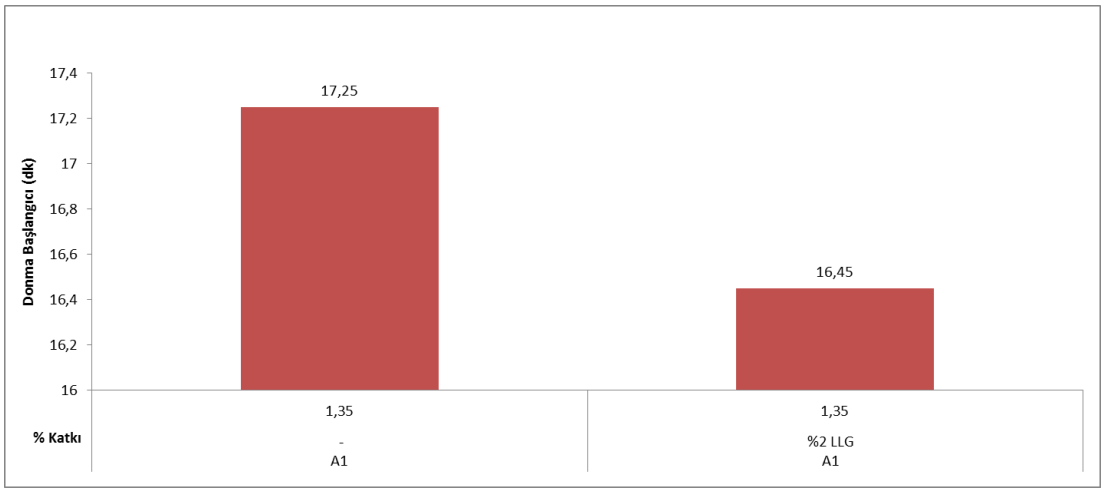
Şekil 8.55’ de görüldüğü gibi %2 akrilik ko-polimer katkılı A1 alçısı %22’ lik mukavemet artışı ile 132,84 kgf/cm² değerine ulaşmıştır. Şekil 8.56’ da görülen bu katkıya ait su emme grafiği sabit hızda artıp kabul edilebilir doygunluğa ulaşan bir eğri göstermektedir.

Şekil 8.54’ de akrilik ko-polimer katkısının yayılma çapına etkisi gösterilmektedir.



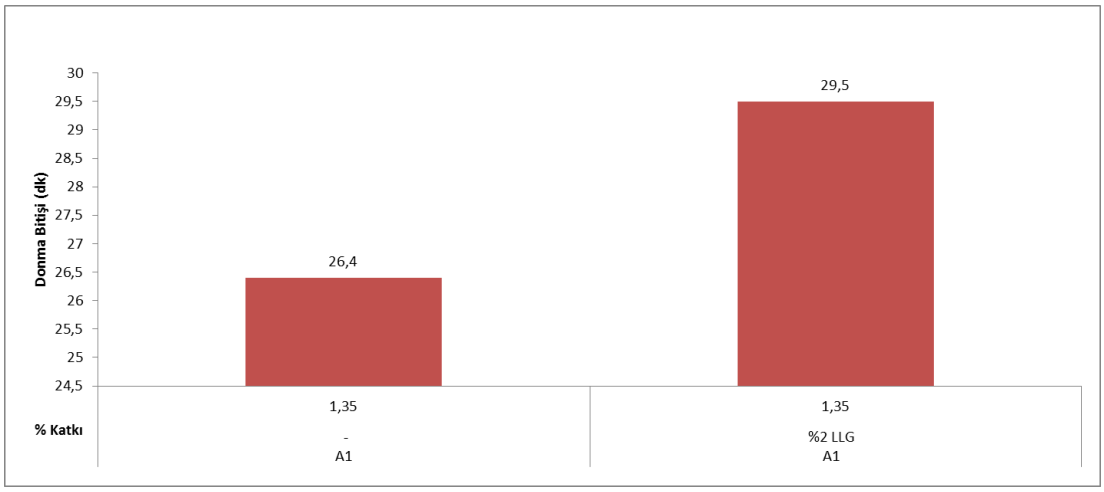
Şekil 8.54 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Yayılma Çapı Değerleri Karşılaştırılması

Şekil 8.55’ de akrilik ko-polimer katkısının donma başlangıcına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 8.55 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Donma Başlangıç Değerleri Karşılaştırılması

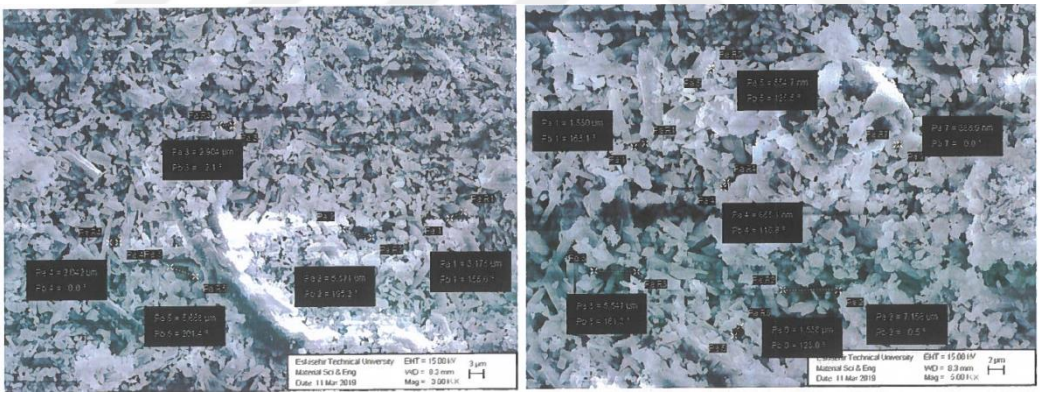
Şekil 8.56’ de akrilik ko-polimer katkısının donma bitimine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 8.56 Akrilik Katkılı- Katkısız Alçının Donma Bitiş Değerleri Karşılaştırılması

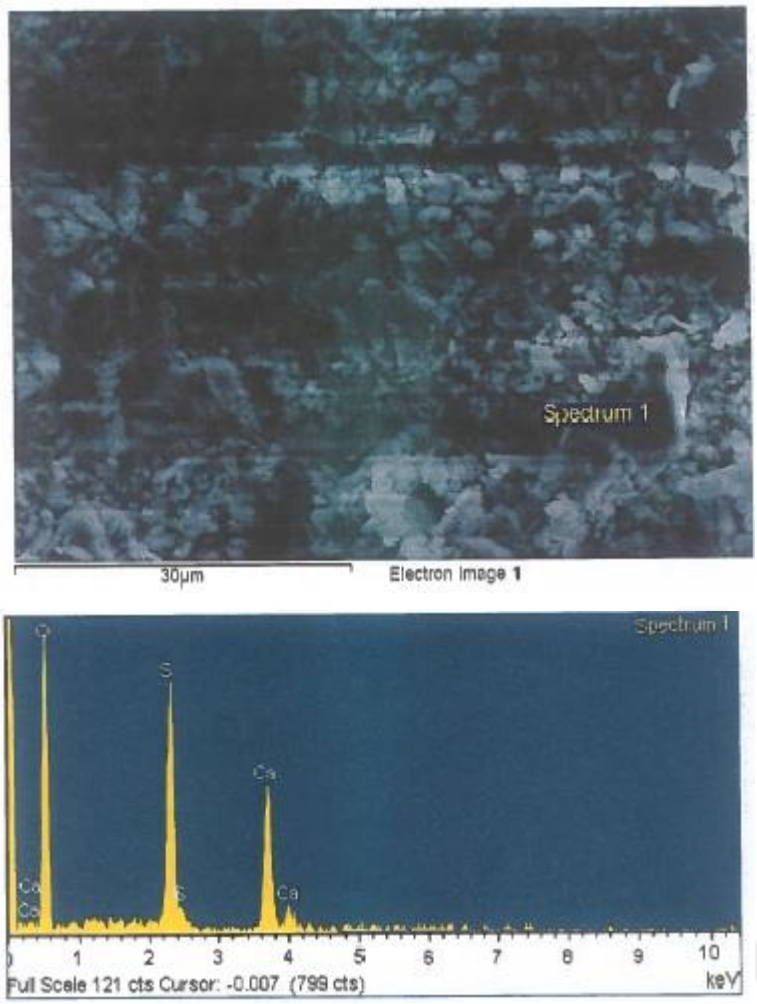
Şekil 8.54, 8.55 ve 8.56' da görüldüğü gibi Donma değerleri ve yayılma çapı da kalıp dökümüne uygun değerlerdir.

Şekil 8.57' da katkısız standart alçıya ait kristal yapı görüntüsü gösterilmektedir.



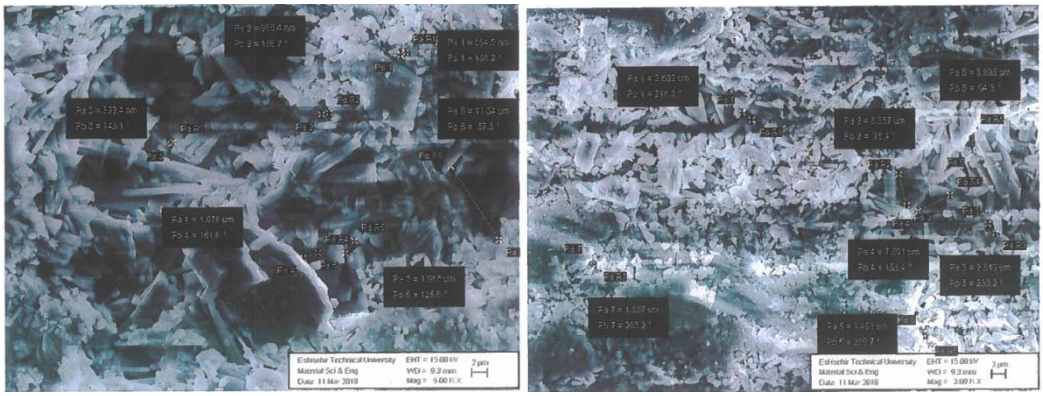
Şekil 8.57 Katkısız Alçı Kalıbın Sem Görüntüsü

Şekil 8.58' de katkısız standart alçıya ait SEM' de belirlenen noktalardan alınan EDS analizleri gösterilmektedir.



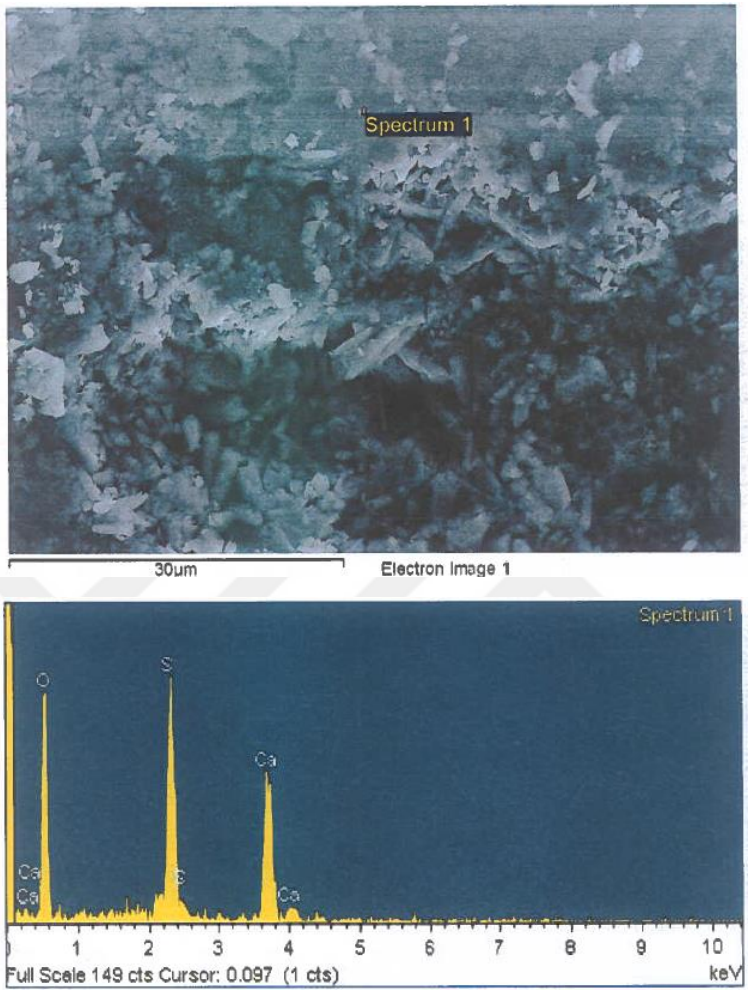
Şekil 8.58 Katkısız Alçının EDS Analizi ile Kimyasal Bileşimi

Şekil 8.59' da ko-polimer katkılı alçıya ait kristal yapı görüntüsü gösterilmektedir.



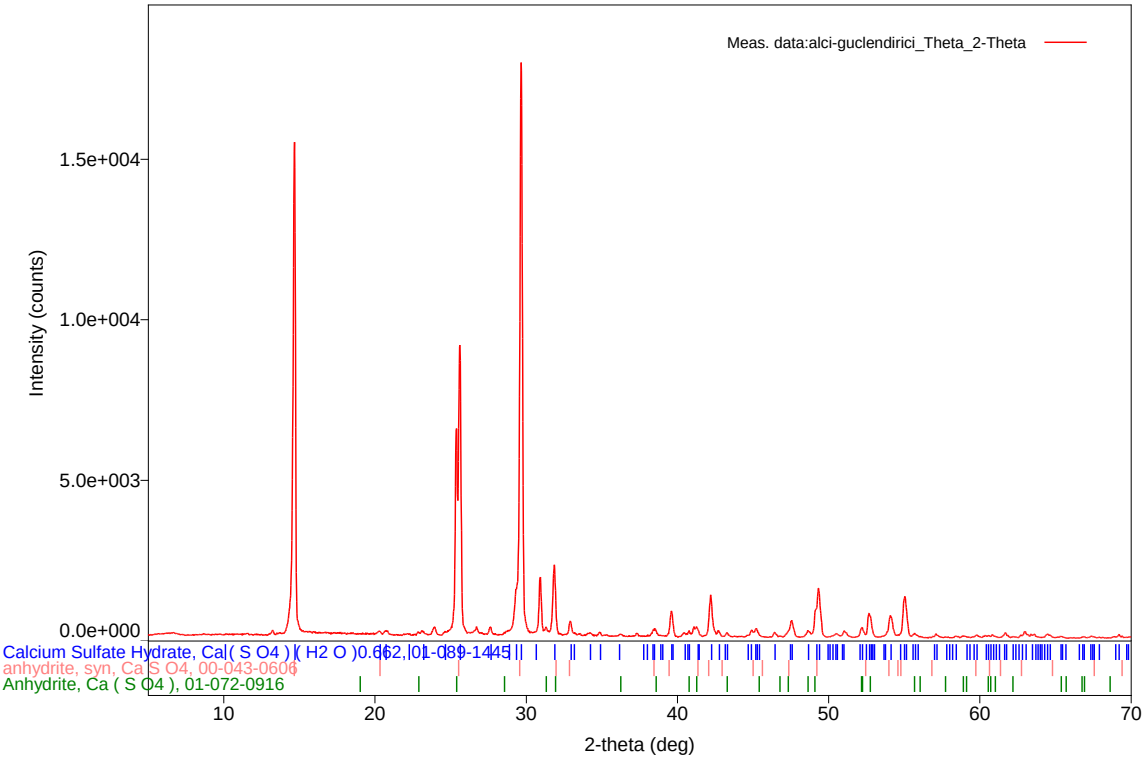
Şekil 8.59 Akrilik Katkılı Kalıbın SEM Görüntüsü

Şekil 8.60’ de ko-polimer katkılı alçıya ait SEM’ de belirlenen noktalardan alınan EDS analizleri gösterilmektedir.



Şekil 8.60 Akrilik Katkılı EDS Analizi

Şekil 8.61’ de ko-polimer katkılı alçıya XRD yöntemi ile yapılan minerolojik analiz gösterilmektedir.



Şekil 8.61 Akrilik Katkılı A1 Alçısının XRD Analizi

Şekil 8.62' de ko-polimer katkı ile üretilen bir döküm kalıbının tezgahda bağlanmış hali gösterilmektedir.



Şekil 8.62 A1 Alçısı içeren Akrilik Katkılı Kalıbın Fiziki Görüntüsü

Kalıp dökümüne ait umut veren sonuçlardan sonra şekil 8.65' de görüldüğü gibi bir adet klozet kalıbı A1 alçısı ve bu katkı malzemesi ile dökülmüş ve işletme tezgahlarından birinde bağlanmıştır. Normal durumda 85 döküme kadar dökülen kalıp, 130 döküme ulaşmış ve ürün kalitesinde gözle görülür artış sağlamıştır. Fakat birden fazla döküm yapabilmek için kalıbın kuruluğunu arttıracak etkiye sahip bir çalışma yapılması gerekmektedir.

8.5 Kalıp Özelliklerinin Ürün Kalite Kriterlerine Etkisi

Çoklu dökümde kalıp özellikleri 2. ve sonraki döküm ürünlerinde kalite problemlerine neden olabilmektedir. Bu sebeple standart kalite kriterlerine bağlı olarak çalışılmalıdır.

8.5.1 Kapiler Drenajlı Sistemli Kalıp Uygulamasının Döküm Özelliklerine Etkisi

Alçı kalıbın su emme ve kuruma hızını arttırarak birden fazla döküm yapmasını destekleyecek kalıp içerisine kapiler etkiye sahip drenaj sistemi ilavesi çalışılmıştır. Alçı kalıp dökülmeden önce içinde kalacak şekilde iskelet sistemi üzerinde örülü drenajı sağlayan porlu yapı konulmuştur. Kalıplar dökümhane tezgahlarına bağlanmış ve burada her kalıba kollektörler vasıtası ile şekil 8.63 ve 8.64' de ki gibi hortumla ile kurutma amaçlı hava verilmesi amaçlanmıştır. Kapiler sistem burada "KS" olarak belirtilmiştir.

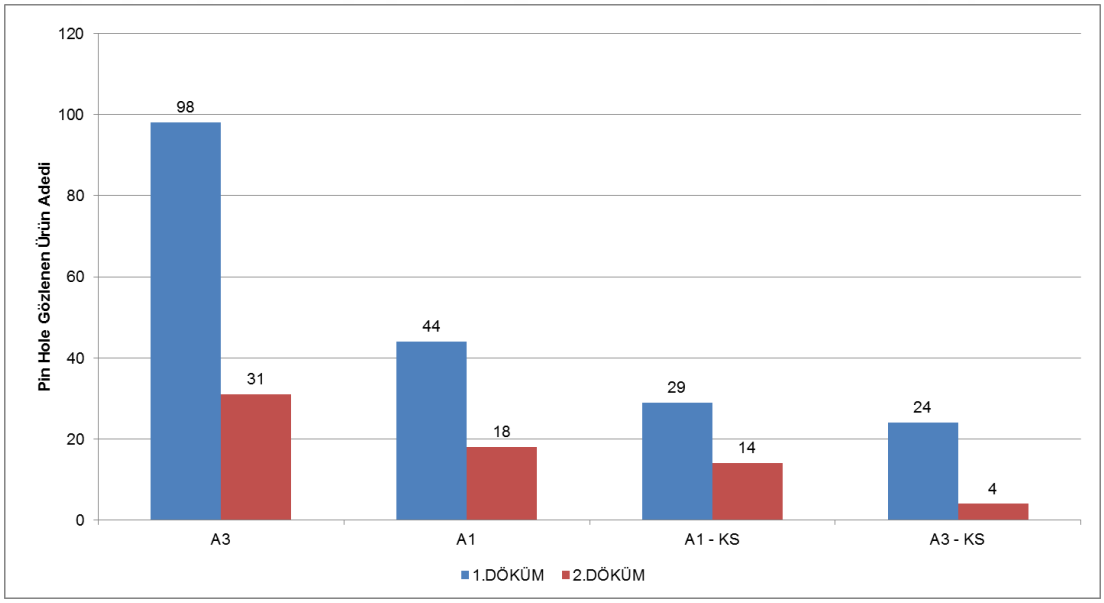


Şekil 8.63 Kapiler Kanallı Sistemin Kalıp Uygulamasının Arka Tezgah Görünümü



Şekil 8.64 Kapiler Kanallı Sistemin Kalıp Uygulamasının Ön Tezgah Görünümü

Şekil 8.65' de Kapiler kanallı sistem ile çoklu döküm yapılmış ve seramik üretiminde aynı gün içinde 2. dökümlerin yapılmasına engel olan pinhole hava problemleri sütun grafik ile karşılaştırılmıştır.

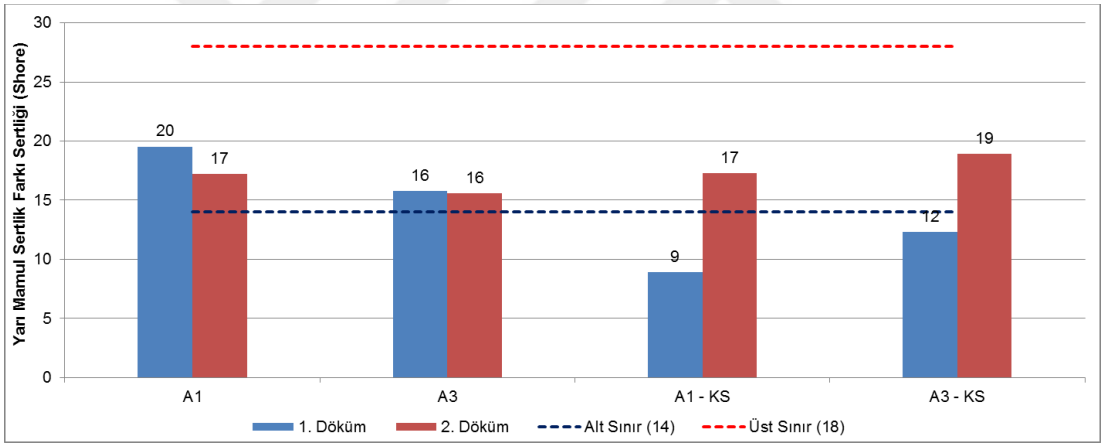


Şekil 8.65 Kapiler Kanallı Sistemin Kalıp Uygulamasının 2. Dökümde Pinhole Hatası Gözlenen Ürün Analizi

Şekil 8.65’ de görüldüğü tek başına yeterli olmayan A1 ve A3 alçısı kanallı sistem ile üretildiğinde 2. dökümlerde yoğun olarak yaşanan hava deliği problemli yarı mamul sayısı A3 alçısında 1. dökümlerde % 75, 2. dökümlerde % 87 azalmıştır.

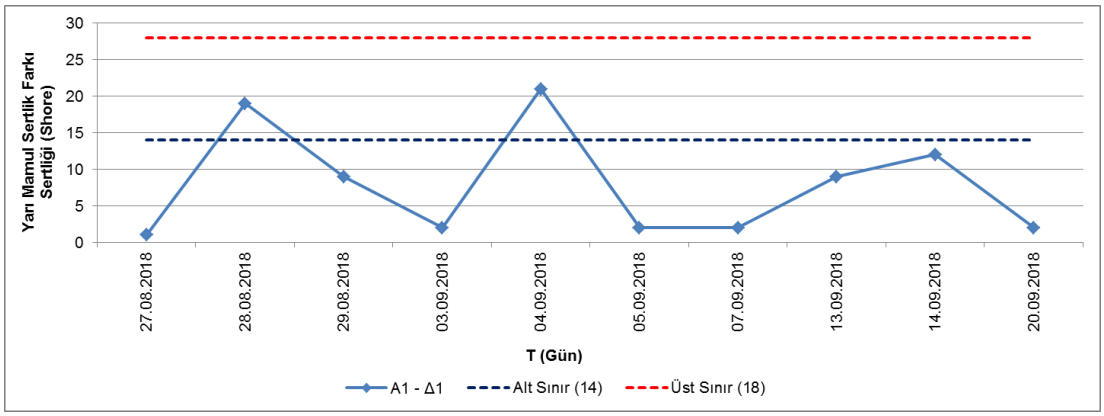
Ürünün diğer bir önemli kontrol parametresi olan iç-dış sertlik farkları da kuruma esnasında veya ara stok esnasında çatlaklara ve deformasyonlara neden olmaktadır. 2. dökümlerde sık yaşanan iç-dış sertlik farklarının fazla olması kontrol altına alınmadan çoklu döküm prosesinden söz edilemez. Bu nedenle işletme içerisinde belirlenen kalite standartları dahilinde 14-28 Shore D arasında olması gereken iç-dış sertlik farkı kontrol grafikleri şekil 8.66 ile 8.74 arasında verilmiştir.

Şekil 8.66’ da 1. ve 2. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları sütun grafik ile karşılaştırılmıştır.



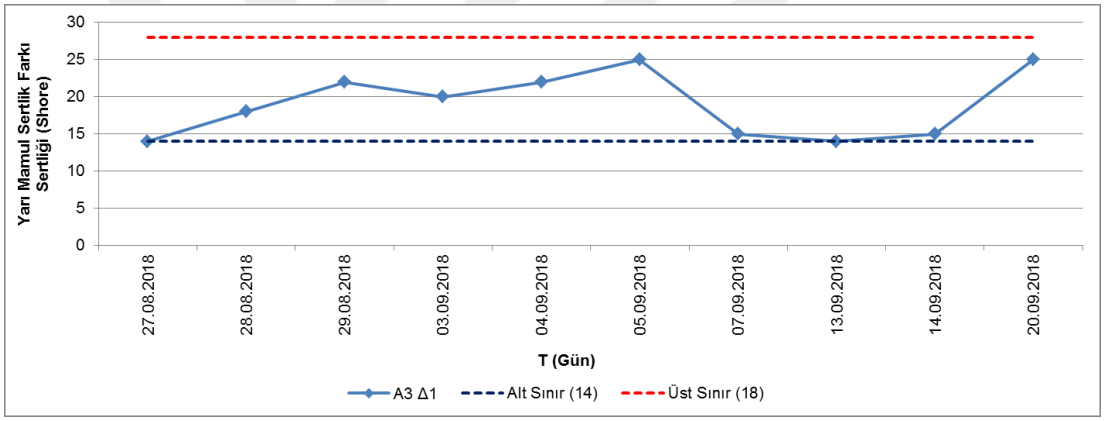
Şekil 8.66 Kapiler Kanallı Sistem ve Normal Kalıp Uygulamasının 2. Dökümde Yarı Mamul İç-Dış Sertlikleri Karşılaştırması

Şekil 8.66’ da görüldüğü gibi kalıp kuruluğunun yetersiz olmasından kaynaklı yarı mamulün yumuşak kalması iç-dış sertlik farkına sebep olabileceğinden bu değer ürün kalitesi anlamında çok önemlidir. Şekil 8.66’ da görüldüğü gibi yarı mamul iç-dış sertlikleri de kabul edilebilir düzeydedir. Şekil 8.67’ de A1 alçısına ait 1. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



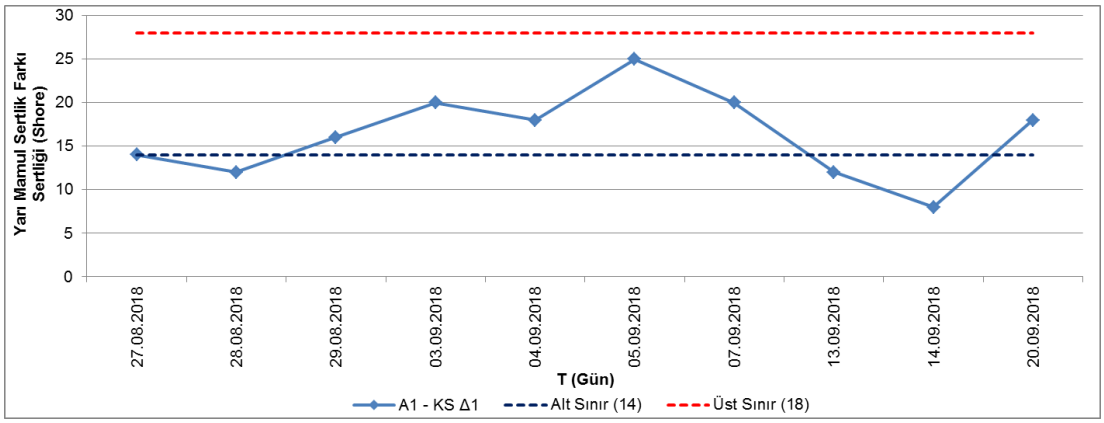
Şekil 8.67 A1 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.68' de A3 alçısına ait günlük 1. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



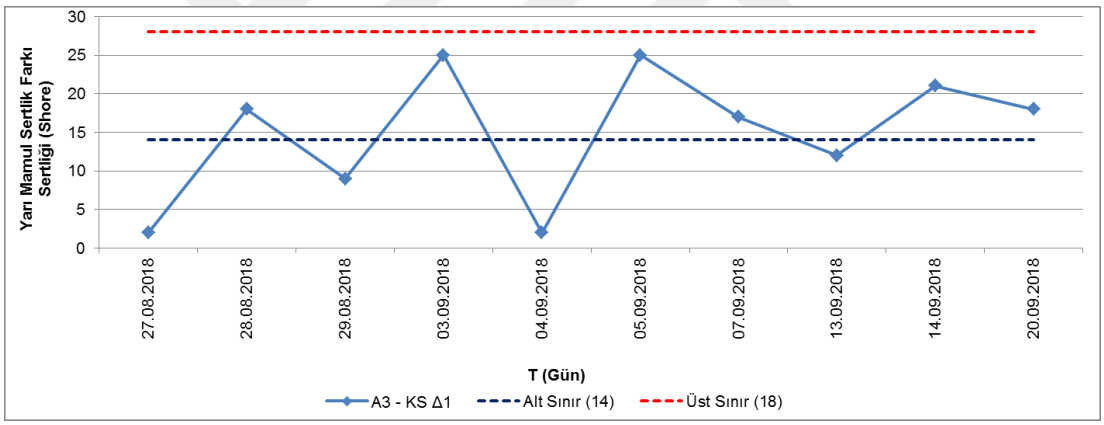
Şekil 8.68 A3 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.69' da kapiler sistemli A1 alçısına ait günlük 1. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 8.69 A1-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.70' de kapiler sistemli A3 alçısına ait günlük 1. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



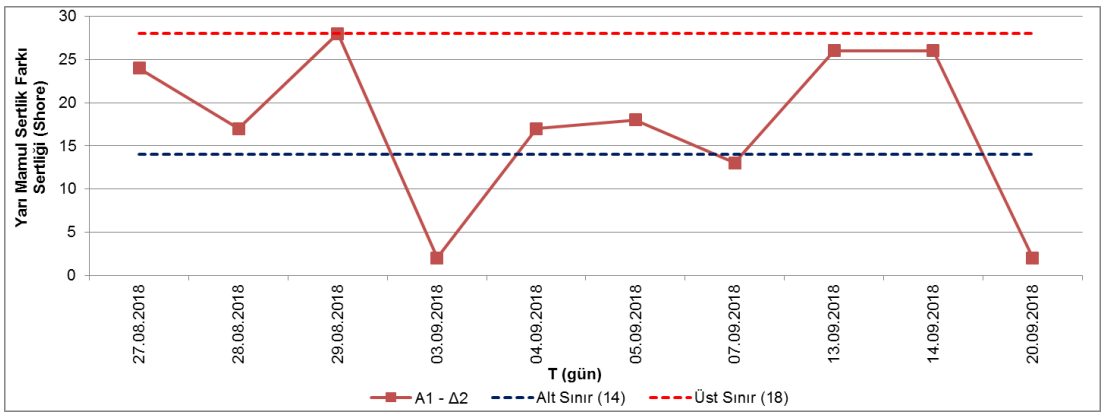
Şekil 8.70 A3-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 1. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

İlk dökümlerde sertlik farkları A3-KS alçısında ve A1 alçısında beklenenden fazla çıkmıştır. Bunun nedeni kalıbın kapiler etkiye sahip porlarının boş olması ve yarı mamulden hızlı bir şekilde su emme yapmış olmasıdır. 2. dökümlerde de aynı problem yaşanması halinde sorun olabilecek bu durum ilk ürünlerde deformasyona neden olmamıştır. Tablo 8.14' de 1. Döküm sonrası çıkan ürünlerin kalite kontrolüne ait sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 8.14 1. Döküm Ürün Kalite Kontrol Tablosu

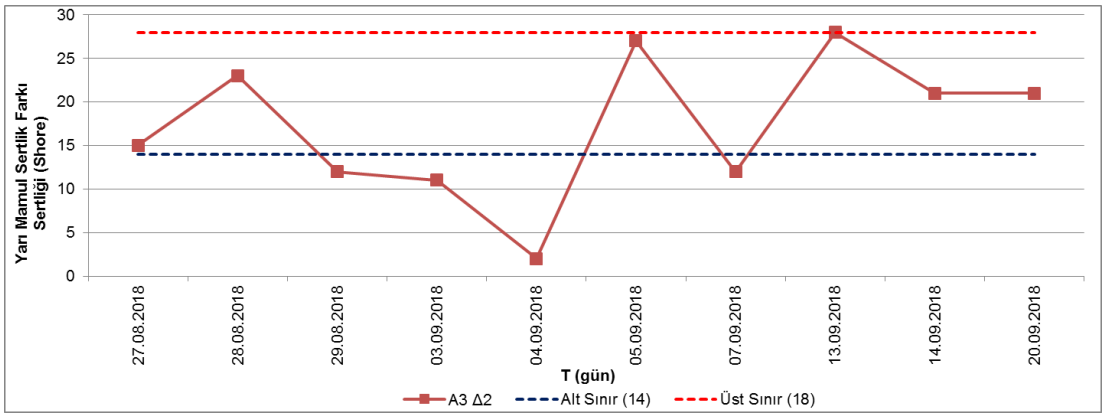
Tarih	Döküm	Bağlı Kalıp Adedi	Kalınlık	İç Sertlik	Diş Sertlik	Kalıp Kaynaklı Yaş Fire
19.Nis	1.	46	13	44	65	-
20.Nis	1.	46	12,5	54	55	1
21.Nis	1.	46	12	46	56	2
23.Nis	1.	46	12,5	37	63	1
24.Nis	1.	46	13	67	71	1
25.Nis	1.	46	13	42	60	-
26.Nis	1.	46	13,5	41	70	-

Tablo 8.14' de görüldüğü gibi 1. dökümlerde kalıp kaynaklı fire sayısı %5' den azdır. Şekil 8.71' de A1 alçısına ait günlük 2. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile karşılaştırılmıştır.



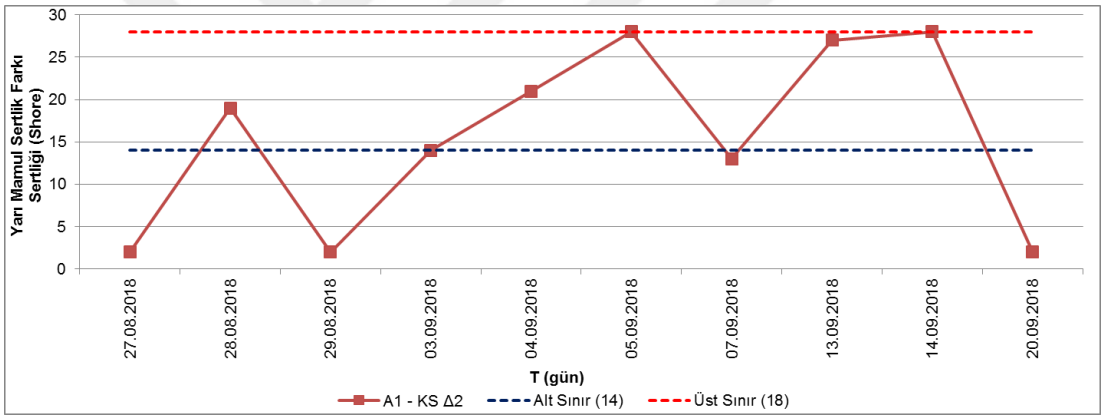
Şekil 8.71 A1 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.72' de A3 alçısına ait günlük 2. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



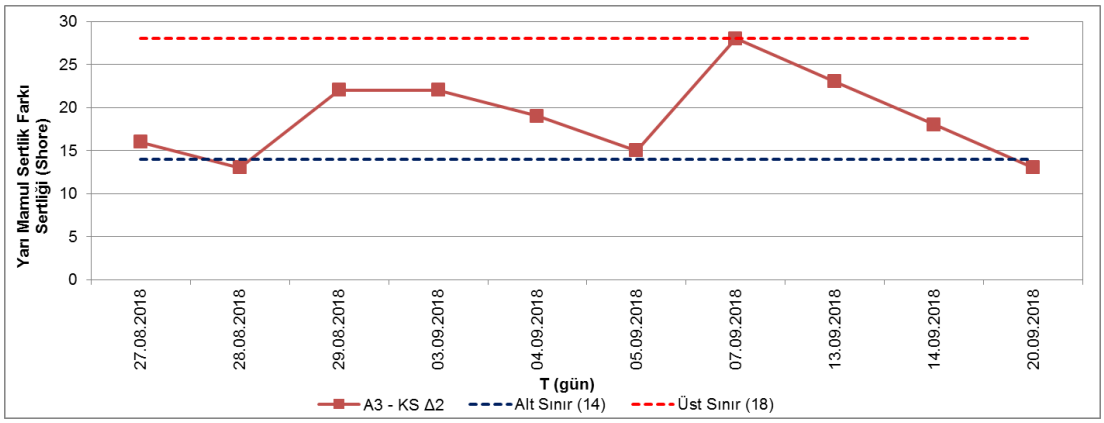
Şekil 8.72 A3 Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.73' da kapiler sistemli A1 alçısına ait günlük 2. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 8.73 A1-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.73' da kapiler sistemli A3 alçısına ait günlük 2. döküm sonrası yarı mamul iç dış sertlik farkları grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 8.74 A3-KS Kalıbından Alınan Yarı Mamulün 2. Dökümde İç-Dış Sertlikleri Değişimi

Şekil 8.73 ve 8.74' de görüldüğü gibi kapiler kanallı sistem ile 2. dökümlerde iç-dış sertlik farkları mevcuttur fakat bunlar günlük olarak dökümhane ortamında ve çamurda olabilecek değişikliklerden kaynaklanmaktadır. A3 alçısı ile KS sisteminde 2. dökümler de iç-dış sertlikler 14-18 shore sınırında bulunmakta ve kabul edilebilir düzeydedir. Şekil 8.65' de görülen hava deliği kaynaklı hatanın da azaltılmış olması ile çoklu döküm yapılması uygun hale gelmiş, ürün kalitesinden de ödün verilmemiştir. Burada, ek olarak kalıp günde birden fazla kez dökületeği için sürekliliğin sağlanması amacıyla yapılması gereken kalıp ömrünün arttırılmasına yönelik mukavemet çalışmaları ile alçının desteklenmiş olmasıdır.

9
Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, seramik sağlık gereçleri yapımında kullanılan kalıpların tipik olarak endüstriyel veya ticari ölçekte maruz kaldığı koşullar kullanılarak üretilen üstün alçı kalıpların özellikleri gösterilmeye çalışılmıştır. Böylece, ideal porlu yapıya sahip alçı kalıplar ve ilave malzemelerle birlikte çeşitli alçı / su konsantrasyonları kullanılarak çoklu döküm yapılabilecek kalıp başarıyla geliştirilmiştir.

Çoklu döküm işlemi yalnızca kalıbın mekanik özellikleri ile su emme kabiliyeti arasındaki ideal denge ile mümkündür. Bu nedenle, geliştirilmiş çoklu döküm kalıpları gelecekte seramik sağlık gereçleri ürünleri için inovatif bir döküm yöntemi olma potansiyeline sahiptir.

Bunlar içerisinde optimum mukavemet değerinde çoklu döküm yapabilecek en iyi döküm kalitesini A3 tipi alçı ile karıştırılmış LLG katkı malzemesi ve hava tesisatlı kurutma sistemi vermiştir. Hava tesisatının kalıp içerisine yerleştirilmesiyle 6,5 saat olan kalıp kurutma süresi 2 saate düşürülmüş ve alçı karakterizasyonu ile uygun iç-dış sertliğe sahip ürün, yarı mamul kalınlık alma süresi kısaltılarak elde edilmiştir. Böylelikle çoklu döküm mümkün kılınmıştır. Aynı zamanda çoklu döküme engel olan hava problemlerinin de 2. dökümlerde A3 tipi alçıyla % 17 azaldığı görülmüştür.

Bu şekilde farklı tekniklerin kombinasyonu ile geliştirilmiş alçı kalıpların çoklu döküm için gereken optimum koşulları sağladığı üretimde kullanılarak kanıtlanmıştır.

Kaynakça

[1] N. Toydemir, "Seramik Yapı Malzemeleri," 1991.

[2] T. K. Bakanlığı, "Seramik Çalışma Grubu Raporu Onuncu Kalkınma Planı," 2014-2018.

[3] M. A. Kafalı, "Sektörel Araştırmalar Seramik Sağlık Gereçleri," 2005.

[4] A. Ermiş, "Türk Seramik Sektörünün Rekabet Gücü," 2005.

[5] S. Turan, "Yerli ve Yabancı Yarı Hidrat ve Alçı Kalıpların Karakterizasyonu,", 2000.

[6] D.O. Erman, "Türk Seramik Sanatının Gelişimi: Toprağın Ateşle Dansı," Tematik Türkoloji Dergisi, no. 1, 2012.

[7] D. O. Erman, "Seramik Sanatında Kuş Figürü Üzerine Kişisel Uygulamalar," 2009.

[8] http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8077168.stm. 01 Haziran 2009.

[9] Seramik Tanıtım Komitesi, "Türkiye'de Seramik: Toprakla Ateşin Öyküsü," 2003.

[10] M. İpek, "Vitrifiye Seramik Üretimi ve Karakterizasyonu," 2012.

[11] G. K. Gamze Güven, "Türkiye Tasarım Kronolojisi - Seramik," 2016.

[12] N. Arslan, "Bir Seramik Şehri Olarak Eskişehir ve Uluslararası Seramik-Pişmiş Heykel Sempozyumu," İdil Dergisi, cilt 07, no. 51, p. 1433, 2018.

[13] G. Çaylı, "Ankara İli Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nde Bulunan Seramik Eserlerin İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma," 2013.

[14] http://seramikmalzemeler.blogspot.com/2012/06/seramiklerin-snflandrlmas.html. 27 Temmuz 2019.

[15] F. Aköz. C. A. İpekçi, "Ceramıc And Mould Gypsum Propertıes Used For Formıng Ceramıcs," Journal of Engineering and Natural Sciences, cilt 28, pp. 249-258, 2010.

[16] D. Frith, "Mold Making For Ceramics," Chilton Book Company U.S.A., 1985, pp. 47-59.

[17] "Investment Casting Handbook" Dallas, Tx, USA: Investment Casting Institute.

[18] J. Booth, Pattern Waxes for Investment Casting, Foundry Trade J., 1962.

[19] P. R. Taylor, "Paper presented at the 26th Annual Meeting," Investment Casting Institute, Phoenix, AZ, 1978.

[20] S. Uram, "Commercial Applications of Ceramic Cores," Investment Casting Institute, Phoenix, AZ, 1978.

[21] J. J. a. M. Fassler, "Developments in Investment Casting," Investment Casting

Institute, 1985.

[22] J. Reed, "Introduction to the principles of ceramik processing," New York: Alfred University, 1995.

[23] Eczacıbaşı Seramik Sağlık Gereçleri, "Seramik Alçı Kalıbı Üretim Talimatları," Bilecik, 2018.

[24] Türkiye Alçı Üreticileri Derneği, "http://www.alcider.org.tr," 25 Nisan 2009.

[25] A. Çam, "Seramik Üretiminde Alçı Model ve Kalıplar Kalıp Problemleri ve Çözümleri," Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1996.

[26] D. Kocabağ,"Seramik Sanayiinde Alçı Kalıp Uygulaması," 3. Ulusal Alçı Kongresi, 2000.

[27] A. Arcasoy, "Seramik Teknolojisi," İstanbul, Marmara Üniversitesi Yayın No:457 Güzel Sanatlar Fakültesi, 1983.

[28] A. King, "Ceramic Technology and Processing,"Norwich, New York, U.S.A., Noyes Publications ISBN:0-8155-1443-3, 2002, pp. 134-216..

[29] "Standard Terminology of Ceramic Whitewares and Related Products", ASTM C 242-01, 2007, pp. ASTM C 242-01, Standard Terminology of Ceramic Whitewares and Related .

[30] https://www.absalci.com.tr/alci_esasli_urunler/kalip-alcilari/alci_esasli_urunler/kalip-alcilari/abs-seramik-kalibi-alcisi/ , 2019

[31] L. Dalsan, «http://www.dalsan.com.tr,» Lafarge Dalsan, 27 Nisan 2009.

[32] http://www.atayapi.com.tr/Bolum/01.html., 25 Nisan 2009.

[33] Industria Versatile Products For Countless, "Industrial Plasters and Gypsum Cements," http://literature.usg.com/pdf/IG504.pdf., 27 Nisan 2009.

[34] H. Mahir, "Alçı/su Oranının Alçı Kalıp Döküme Olan Etkilerinin Araştırılması," Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, 1996.

[35] E. Gürdal, N. Yüze, F. Aköz, "Seramiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Kalıp Alçısı Özelliklerinin İyileştirilmesi," TUBİTAK (MAG), Proje No:107M214, Ankara, 2008.

[36] F. Hauksbee, "An account of an experiment touching the ascent of water between two glass planes, in an hyperbolick figure,"Philosophical Transactions, Royal Society of London, 1712, p. 539–540.

[37] Science.jrank.org, "Capillary Action – Liquid, Water, Force, and Surface," http://science.jrank.org/pages/1182/Capillary-Action.html., 27 Mayıs 2013.

[38] M. Tuller. D. Or, "CAPILLARITY," Encyclopedia of Soils in the Environment, Elsevier, 2005, p. 155.

[39] B.-W. F. Pierre-Gilles de Gennes ve D. Quéré, "Capillarity and Wetting Phenomena," New York: Springer New York, 2003.

[40] S. A. Sonnerbeng and Richard C. Selley, "The Reservoir," Elements of Petroleum Geology (Third Edition), Academic Press, 2015, pp. 255-320.

[41] G. Batchelor, "An Introduction To Fluid Dynamics," Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1967.

[42] J. Wu and M. Liu, "Tuning capillary penetration in porous media: Combining geometrical and evaporation effects," International Journal of Heat and Mass Transfer, no. 123, pp. 239-250, 2018.

[43] Merkezi Laboratuvar ARGE Eğitim Ölçme Merkezi ODTÜ, "http://merlab.metu.edu.tr," http://merlab.metu.edu.tr/tr/system/files/Belgeler/TanitimBrosurleri/YGL.pdf. 19 Mayıs 2019.

[44] M.A.Rolando and M. R.-Malherbe, "Transport Mechanism In Porous Media," Adsorption and diffusion in nanoporous materials, New York, Taylor & Francis Group, 2007, pp. 130-132.

[45] E. Türe, «Alçıyla İlgili Çalışmalar,» Eczacıbaşı Vitra, Bilecik, 2015.

[46] Domenico Fortuna, SERSA Seramik Sağlık Gereçlerinde Döküm.

[47] M. D. Seck, M. Van Landeghem, P. Faure "The mechanisms of plaster drying," Springer Science+Business Media J Mater Sci, no. 50, p. 2491–2501, 2015.

[48] M. Çiğdem ve Ö. O. Altınparmak, «Antioch Yöntemi İle Hazırlanan Alçı Kalıp ve Dereceli Hassas Döküm Kalıplarında Segregasyon Oluşumunun İncelenmesi,» Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[49] A. Czaderna and A. Kocemba, "The influence of cellulose derivatives on water structure in gypsum," Construction and Building Materials, no. 160, pp. 628-638, 2018.

[50] Á. Serna, and M. D. Río, "Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres," Construction and Building Materials, no. 35, p. 633–641, 2012.

[51] R. E. Ochoa, C. A. Gutiérrez, "Effect of Water/Plaster Ratio on Preparing Molds for Slip Casting of Sanitaryware," Transactions of the Indian Ceramic Society, cilt 2, no. 77, pp. 84-89, 2018.

[52] "Suspension agent mixture as an additive to calcium sulphate hemi-hydrate for the manufacture of moulds". European Patent Office Patent EP0126848B1, 1984.

[53] S. Choa, R. Tummalab and Y. Joshia, "Capillary Performance of Micropillar Arrays in Different Arrangements," Nanoscale And Microscale Thermophysical Engineering, vol. 2, no. 22, pp. 97-113, 2018.

[54] TSE, Seramik Sanayinde Kullanılan Kalıp Alçısı - Özellikler ve Deney Metodları, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü, 2015.

[55] E. Vitra, Eczacıbaşı Vitra Alçıyla İlgili Test Ve Talimatlar V-GT-2.03 Rev.2, Bilecik, 2017.

[56] N. P. Laboratory, Rubber Hardness, London: National Physical Laboratory, 2006.

[57] Z.Karakoç, M. A. Ketani and Ş. Ketani, "Mikroskopların Çalışma Mekanizması ve Çeşitleri," Dicle Üniv Vet Fak Dergisi, cilt 1, no. 1, pp. 1-6, 2016.

[58] N. Erdin, "Tarama Elektron Mikroskobunun Temel Prensibleri ve Numune Hazırlama," İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, no. 36.

[59] Seramik Araştırma Merkezi, "Seramik Araştırma Merkezi R0694 No'lu Test/Analiz Raporu," Seramik Araştırma Merkezi / Eczacıbaşı Vitra, Eskişehir, 2019.

[60] S. E. Kavurt, M. L. Öveçoğlu "Teo2-Tio2 İkili Sisteminde Cam Ve Cam Seramik Oluşumunun Mikroyapısal Ve Termal Karakterizasyonu," İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.

[61] D. P. Glover, "Fluid Saturation and Capillary Pressure," Petrophysics MSc Course Notes , pp. 38-45.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: leventtemelkuran@gmail.com

Konferans Bildirileri

Erman Levent T., Yasemen K., (2019). "Çoklu Döküm Alçı Kalıp Karakterizasyonu ve Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi" , 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 14-18 Şubat 2019, Yalova, Türkiye