



**DIKEY TİP AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCUDA SİLİS KUMUN KURUTMA  
PROSESİNİN İNCELENMESİ**

**AYSUN ŞENGÜL**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN**

**2022**

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DİKEY TİP AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCUDA SİLİS KUMUN KURUTMA**  
**PROSESİNİN İNCELENMESİ**

**AYSUN ŞENGÜL**

**ORCID: 0000-0003-1502-6775**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN**

**HAZİRAN - 2022**

**Her hakkı saklıdır.**

## ÖZET

### DİKEY TİP AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCUDA SİLİS KUMUN KURUTMA PROSESİNİN İNCELENMESİ

Aysun ŞENGÜL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

İkinci Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN

Kurutma mikrobiyal bozulmaların ve kimyasal reaksiyonların yavaşlatılması veya durdurulması amacıyla katı maddeden su gibi uçucu sıvının uzaklaştırılması işlemidir. Bu çalışmada dikey tip akışkan yataklı kurutucuda silis kumun kurutulmasında partikül boyutu, sıcaklık ve kek yüksekliği parametreleri değişimlerinin kurumaya olan etkisi deneysel, teorik ve analiz olarak incelenmiş ve kurutma parametrelerinin basınç düşüşüne olan etkisi belirtilmiştir. Silis kumun kurutulmasında minimum akışkanlaşma hızının tahmini için, deney ve literatürde var olan korelasyonların uyuşma durumu karşılaştırılıp sapmaları incelenmiştir. Silis kumunun kurutulmasının avantajı iyi akış karakteristiği sağlaması ve farklı katkı maddeleri ile daha iyi karışmasıdır. Günümüzde kum kurutma işlemleri çok farklı sistemlerle yapılmaktadır. Kullanılan dikey tip akışkan yataklı kurutucu 108 mm çapında, 151 mm ürün haznesi boyunda ve toplam yüksekliği 853 mm olan paslanmaz çelikten imal edilmiş bir kurutucudur. Deneylerde kullanılan silis kumunun ilk nem içeriği yaş baza göre %9,57 olarak belirlenmiştir. Kurutma deneyinde kuruma prosesine etki eden faktörlerden; sıcaklık, kek yüksekliği ve partikül boyutu parametreleri 3'er farklı değerde incelenmiştir. Tüm deney sonuçları karşılaştırıldığında silis kum numunesinin kurutma sıcaklığının artışıyla nem kaybının hızlandığı, yatak yüksekliğindeki artışın basınç düşümünü de arttırdığı gözlemlenmiştir. Minimum akışkanlaştırma hızının parçacık boyutuyla doğrudan ve sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, Akışkan yataklı kurutucu, Silis kum, Minimum akışkanlaşma hızı,

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF DRYING PROCESS OF SILICA SAND IN VERTICAL TYPE FLUID BED DRYER**

Aysun ŞENGÜL

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

Co-Supervisor: Doç. Dr. Soner ÇELEN

Drying is the process of removing volatile liquid, such as water, from solid material in order to slow or stop microbial spoilage and chemical reactions. In this study, the effect of particle size, temperature and cake height parameters changes on drying of silica sand in vertical type fluidized bed dryer was investigated experimentally, theoretically and analytically, and the effect of drying parameters on pressure drop was stated. For the estimation of the minimum fluidization rate in the drying of silica sand, the correlations existing in the experiment and the literature were compared and their deviations were examined. The advantage of drying silica sand is that it provides good flow characteristics and better mixing with different additives. Today, sand drying processes are carried out with very different systems. The vertical type fluidized bed dryer used is a stainless steel dryer with a diameter of 108 mm, a product chamber length of 151 mm and a total height of 853 mm. The initial moisture content of the silica sand used in the experiments was determined as % 9.57 according to the wet base. Among the factors affecting the drying process in the drying experiment; temperature, cake height and particle size parameters were examined at 3 different values. When all the test results were compared, it was observed that the moisture loss accelerated with the increase in the drying temperature of the silica sand sample, and the pressure drop increased with the increase in the bed height. It was determined that the minimum fluidization rate varies directly with the particle size and inversely with the temperature.

**Keywords:** Drying, Fluid bed dryer, Silica sand, Minimum fluidization rate,

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	9
<b>2. KURUTMA SİSTEMLERİ</b> .....	<b>11</b>
2.1 Kurutma Prosesi .....	11
2.2 Kurutucu Seçimi .....	12
2.3 Kurutucu Çeşitleri .....	13
2.3.1 Direk Kurutucular .....	13
2.3.2 Özel Kurutucular .....	14
2.3.3 İndirekt Kurutucular .....	15
2.3.4 Güneş Enerjili Kurutucular .....	16
2.4 Akışkan Yataklı Kurutucular .....	16
2.4.1 Kurutma Prosesi .....	16
2.4.2 Akışkan Yataklı Kurutucuların Avantajları Ve Dezavantajları .....	18
2.4.3 Çalışma Parametrelerinin Akışkan Yatak Kurutma Üzerine Etkisi .....	18
2.4.3.1 Yatak Yüksekliğinin Etkisi .....	18
2.4.3.2 Parçacık Boyutunun Etkisi .....	19
2.4.3.3 Gaz Hızının Etkisi .....	19
2.4.3.4 Yatak Sıcaklığının Etkisi .....	19
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>20</b>
3.1 Materyal .....	20
3.1.1 Kurutulacak Numune .....	20
3.1.2 Elek Analiz Cihazı .....	20
3.1.3 Nem Tayin Cihazı .....	21

3.1.4 Yoğunluk Test Aparatı .....	21
3.1.5 Kurutma Ekipmanı (Dikey Tip Akışkan Yataklı Kurutucu) .....	22
3.2 Yöntem.....	22
3.2.1 Deney Parametreleri ve Ölçüm.....	22
3.2.1.1 Sıcaklık.....	23
3.2.1.2 Kek Yüksekliği.....	23
3.2.1.3 Partikül Boyutu .....	23
3.2.1.4 Serbest Yığın Yoğunluğu.....	25
3.2.1.5 Nem Değerinin Belirlenmesi.....	26
3.2.1.6 Dikey Tip Akışkan Yataklı Kurutucunun Hazırlanması.....	27
3.2.1.7 Ölçüm Aletleri.....	29
3.3 Matematiksel Hesapta Kullanılacak Formüller .....	29
3.3.1 Basınç Düşümü.....	29
3.3.2 Boyutsuz Sayılar .....	30
3.3.3 Minimum Akışkanlaşma Hızı .....	30
3.3.4 Havanın Yoğunluğu ve Viskozitesi.....	30
3.3.5 Literatürdeki Korelasyon Denklemleri .....	31
3.4 Termal Analiz .....	32
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>33</b>
4.1 Nem Değişimi Analizi .....	33
4.1.1 Partikül Boyutu- Kurutma Hava Sıcaklığına Göre Zaman Bazlı Nem Karşılaştırma Grafikleri .....	60
4.2 Minimum Akışkanlaşma Hızı ve Literatürdeki Korelasyonlar ile Karşılaştırılması.....	65
4.3 Basınç Düşüşü Hesabı.....	78
4.4 Termal Analiz .....	79
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>89</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Kurutucu çeşitlerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji (Basaran, Bitlisli, Sarı, Özbalta, ve Güngör,2004).....	12
Çizelge 3.1 500 mikron altı silis kumun elek analiz tablosu.....	23
Çizelge 3.2 500 ve 850 mikron arası silis kumun elek analiz tablosu.....	24
Çizelge 3.3 1600 ve 596 mikron arası silis kumun elek analiz tablosu.....	24
Çizelge 3.4 Çap 274,018 mikron silis kumun kuru hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi.....	25
Çizelge 3.5 Çap 274,018 mikron silis kumun nemli hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi.....	25
Çizelge 3.6 Çap 563,097 mikron silis kumun kuru hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi.....	25
Çizelge 3.7 Çap 563,097 mikron silis kumun nemli hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi.....	26
Çizelge 3.8 Çap 910,310 mikron silis kumun kuru hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi.....	26
Çizelge 3.9 Çap 910,310 mikron silis kumun nemli hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi.....	26
Çizelge 3.10 Deney parametreleri .....	27
Çizelge 3.11 Literatürdeki korelasyon denklemleri .....	31
Çizelge 4.1 Deney-1, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 50$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	33
Çizelge 4.2 Deney-2, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 50$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	34
Çizelge 4.3 Deney-3, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 50$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	35
Çizelge 4.4 Deney-4, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 100$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	36
Çizelge 4.5 Deney-5, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 100$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	37
Çizelge 4.6 Deney-6, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 100$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	38
Çizelge 4.7 Deney-7, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 150$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	39
Çizelge 4.8 Deney-8, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 150$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	40
Çizelge 4.9 Deney-9, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 150$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	41
Çizelge 4.10 Deney-10, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 50$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	42
Çizelge 4.11 Deney-11, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 50$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	43
Çizelge 4.12 Deney-12, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 50$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	44
Çizelge 4.13 Deney-13, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 100$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	45

Çizelge 4.14 Deney-14, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 100$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	46
Çizelge 4.15 Deney-15, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 100$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	47
Çizelge 4.16 Deney-16, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 150$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	48
Çizelge 4.17 Deney-17, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 150$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	49
Çizelge 4.18 Deney-18, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 150$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	50
Çizelge 4.19 Deney-19, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 50$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	51
Çizelge 4.20 Deney-20, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 50$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	52
Çizelge 4.21 Deney-21, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 50$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	53
Çizelge 4.22 Deney-22, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 100$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	54
Çizelge 4.23 Deney-23, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 100$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	55
Çizelge 4.24 Deney-24, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 100$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	56
Çizelge 4.25 Deney-25, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 150$ mm, $T= 90$ °C kuruma tablosu .....	57
Çizelge 4.26 Deney-26, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 150$ mm, $T= 120$ °C kuruma tablosu .....	58
Çizelge 4.27 Deney-27, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 150$ mm, $T= 150$ °C kuruma tablosu .....	59
Çizelge 4.28 Silis kum deneyleri için temel durum parametreleri .....	65
Çizelge 4.29 Hesaplanan Ar değerleri tablosu .....	65
Çizelge 4.30 Deneylerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-1 .....	66
Çizelge 4.31 Deneylerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-2 .....	67
Çizelge 4.32 Deneylerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-3 .....	68
Çizelge 4.33 Deneylerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-4 .....	69
Çizelge 4.34 Deneylerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-5 .....	70
Çizelge 4.35 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-1 .....	73
Çizelge 4.36 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-2 .....	74
Çizelge 4.37 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-3 .....	75



Çizelge 4.38 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-4 .....	76
Çizelge 4.39 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-5 .....	77
Çizelge 4.40 Basınç düşüşü parametreleri ve hesaplama çizelgesi .....	78



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bant tipi kurutucu (Mirza, 2006).....	14
Şekil 2.2 a) Sabit yatak b) Genişletilmiş yatak c) Minimum akışkanlaştırma d) Köpüren Akışkanlaştırma (Mujumdar, 2006). ....	17
Şekil 2.3 Tipik akışkan yataklı kurutma düzeni (Mujumdar, 2006).....	17
Şekil 3.1 Üç farklı boyutlu silis kum numunesi .....	20
Şekil 3.2 Elek analiz cihazı.....	20
Şekil 3.3 Nem tayin cihazı.....	21
Şekil 3.4 Yıgın yoğunluğu ölçüm cihazı ve terazi.....	21
Şekil 3.5 Pilot dikey tip akışkan yataklı kurutucu .....	22
Şekil 3.6 Dikey tip akışkan yataklı kurutucu.....	28
Şekil 3.7 Kurutucuya hava geçişinin sağlandığı delikli perfore sac.....	28
Şekil 3.8 Kurutma işlemi esnasında kullanılan anemometre ve termometre .....	29
Şekil 3.9 Termal kamera.....	32
Şekil 4.1 Deney-1, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 50$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi...	33
Şekil 4.2 Deney-2, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 50$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi.	34
Şekil 4.3 Deney-3, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 50$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi	35
Şekil 4.4 Deney-4, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 100$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi.	36
Şekil 4.5 Deney-5, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 100$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	37
Şekil 4.6 Deney-6, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 100$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	38
Şekil 4.7 Deney-7, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 150$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi.	39
Şekil 4.8 Deney-8, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 150$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	40
Şekil 4.9 Deney-9, $dp_1= 0,000274$ m, $h= 150$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	41

Şekil 4.10 Deney-10, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 50$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	42
Şekil 4.11 Deney-11, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 50$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	43
Şekil 4.12 Deney-12, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 50$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	44
Şekil 4.13 Deney-13, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 100$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	45
Şekil 4.14 Deney-14, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 100$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	46
Şekil 4.15 Deney-15, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 100$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	47
Şekil 4.16 Deney-16, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 150$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	48
Şekil 4.17 Deney-17, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 150$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	49
Şekil 4.18 Deney-18, $dp_2= 0,000563$ m, $h= 150$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	50
Şekil 4.19 Deney-19, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 50$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	51
Şekil 4.20 Deney-20, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 50$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	52
Şekil 4.21 Deney-21, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 50$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	53
Şekil 4.22 Deney-22, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 100$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	54
Şekil 4.23 Deney-23, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 100$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	55
Şekil 4.24 Deney-24, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 100$ mm, $T= 150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	56
Şekil 4.25 Deney-25, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 150$ mm, $T= 90$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	57
Şekil 4.26 Deney-26, $dp_3= 0,000910$ m, $h= 150$ mm, $T= 120$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	58

Şekil 4.27 Deney-27, $dp_3=0,000910$ m, $h=150$ mm, $T=150$ °C ürün nem ve sıcaklık değişimi .....	59
Şekil 4.28 $dp_1=0,000274$ m, $h=50$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	60
Şekil 4.29 $dp_1=0,000274$ m, $h=100$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	60
Şekil 4.30 $dp_1=0,000274$ m, $h=150$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	61
Şekil 4.31 $dp_2=0,000563$ m, $h=50$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	61
Şekil 4.32 $dp_2=0,000563$ m, $h=100$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	62
Şekil 4.33 $dp_2=0,000563$ m, $h=150$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	62
Şekil 4.34 $dp_3=0,000910$ m, $h=50$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	63
Şekil 4.35 $dp_3=0,000910$ m, $h=100$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	63
Şekil 4.36 $dp_3=0,000910$ m, $h=150$ mm, $90^{\circ}\text{C}-120^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$ ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği .....	64
Şekil 4.37 Partikül boyutuna göre $90$ °C' deki minimum akışkanlaşma hızı grafiği.....	71
Şekil 4.38 Partikül boyutuna göre $120$ °C' deki minimum akışkanlaşma hızı grafiği.....	71
Şekil 4.39 Partikül boyutuna göre $150$ °C' deki minimum akışkanlaşma hızı grafiği.....	72
Şekil 4.40 Yatak yüksekliğine bağlı basınç düşüşü grafiği .....	79
Şekil 4.41 Deney-1, Deney-2 ve Deney-3 termal kamera görüntüleri .....	80
Şekil 4.42 Deney-4, Deney-5 ve Deney-6 termal kamera görüntüleri .....	81
Şekil 4.43 Deney-6 12.dakika termal kamera ile numune analizi .....	82
Şekil 4.44 Deney-7, Deney-8 ve Deney-9 termal kamera görüntüleri .....	82
Şekil 4.45 Deney-10, Deney-11 ve Deney-12 termal kamera görüntüleri .....	83
Şekil 4.46 Deney-13, Deney-14 ve Deney-15 termal kamera görüntüleri .....	84
Şekil 4.47 Deney-16, Deney-17 ve Deney-18 termal kamera görüntüleri .....	85
Şekil 4.48 Deney-19, Deney-20 ve Deney-21 termal kamera görüntüleri .....	86

Şekil 4.49 Deney-22, Deney-23 ve Deney-24 termal kamera görüntüleri .....	87
Şekil 4.50 Deney-25, Deney-26 ve Deney-27 termal kamera görüntüleri .....	88
Şekil 4.51 Dikey tip akışkan yataklı kurutucunun termal kamera ile görüntüsü.....	88



## SİMGELER DİZİNİ

$\Delta P$	Basınç düşüşü (Pa)
$Ar$	Arşimet sayısı (Boyutsuz)
$d_p$	Partikül çapı (m)
$h$	Yatak yüksekliği (m)
$U$	Akışkan hızı (m/s)
$U_{mf}$	Minimum akışkanlaştırma hızı (m/s)
$Re$	Reynolds sayısı (Boyutsuz)
$\mu_f$	Havanın viskozitesi (kg/m.s)
$\varepsilon$	Yatak boşluk oranı (Boyutsuz)
$\rho_p$	Partikülün özgül ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_f$	Havanın özgül ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
$g$	Yerçekimi (m/s <sup>2</sup> )
$\varphi$	Küresellik (Boyutsuz)
$T$	Sıcaklık (°C)

## **KISALTMALAR DİZİNİ**

PSD	Particle Size Distribution
REA	Reaksiyon Mühendisliği Yaklaşımı
CDRC	The Characteristic Drying Rate Curve



## TEŞEKKÜR

Çalışma s¼recinde bilgi birikimleriyle bana her t¼rl¼ fikir ve yol g¼sterici olan, olumlu tavırlarıyla beni cesaretlendiren değerli danıőmanım Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER ve 2. danıőmanım Doç. Dr. Soner ÇELEN'e, sonsuz teőekk¼r ederim. Çalıőmalarımnda t¼m imkanlarını benimle paylaőan Asos Proses Makina firmasına ve iç arkadaşlarıma ayrıca teőekk¼r ederim.

T¼m hayatım boyunca benim yanımda olan, her kararımnda destekçi olup beni cesaretlendiren canım ailem annem Hatice ÖZT¼RK'e, babam Salih ÖZT¼RK'e, kardeőim Alper ÖZT¼RK'e ve eőim Mustafa ŐENG¼L'E sonsuz teőekk¼r ederim.

Aysun ŐENG¼L

Makine M¼hendisi



## 1. GİRİŞ

Madencilik, temel insan ihtiyaçlarının karşılanması açısından önemli faaliyetlerden birisidir. Madencilik, sanayileşme sürecine paralel olarak, her geçen gün önemini artırmış ve günümüzde sadece ekonomik hayatın değil, aynı zamanda ülke güvenliğinin belirleyici unsurlarından birisi olmuştur. Bu alanda izlenecek politikalar, ulusal ekonomik ve güvenlik politikalarının oluşturulmasında birincil derecede öneme sahiptir (Kalkınma Bakanlığı, 2015).

Doğal kaynakların insan ve toplum yaşamındaki önemi bilinmektedir. Yaşamı işlevsel hale getiren araç ve gereçlerin % 90'ı doğal kaynaklardan, özellikle de madenlerden sağlanmaktadır. Toplumların refah ve gelişmişlik düzeyleri ile madencilik arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Önal, 2015).

Madenler yenilenemeyen kaynaklardır ve bu kaynaklar oluştukları yerlerden çıkarılmak zorundadır. Bu amaçla kurulacak tesisler ve atık havuzları gibi yapılar teknik ve ekonomik unsurların yanı sıra çevre unsuru da dikkate alınarak inşa edilmelidir ( Ernst ve Young, 2010).

Endüstriyel hammaddeler, gerek oluşum biçimleri ve gerekse kullanım alanları nedeniyle farklı çok sayıda ürünü içermekte olup, kapsamda yer alan ürünler Türk madenciliği ve maden ürünleri ihracatı içinde yüksek öneme sahiptir ( Kalkınma Bakanlığı, 2015).

Bu kapsamda feldspat, perlit ve pomza, manyezit, bentonit, trona, çimento hammaddeleri, sepiyolit, seramik killeri ve kaolen, kuvars, kuvars kumu ve kuvarsit ile fosfat endüstriyel hammaddeler arasında önemli hammaddeler olarak tespit edilmiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2015).

Kuvars kumu yerkabuğunda oldukça bol miktarda bulunmaktadır. Başlıca kullanım alanları ise cam sanayi, döküm sanayi, refrakter sanayi, kimya, filtrasyon, inşaat sanayileridir (Kurşun ve İpekoğlu, 1995).

Silis kumu ya da bir diğer adıyla kuvars kumunun ana elementi olan silisyum (Si), yeryüzünde en çok bulunan elementlerden birisidir. Manyetik olmayan bu elementin atom numarası 14, yoğunluğu  $2.33 \text{ gr/cm}^3$  dir (Hacıfazlıoğlu, Terzi, Kara ve Kurşun, 2016).

Camın ana maddesi olan silis kumları, demir oksit içeriyorsa renkleri pembeden kıızıla veya kahverengine kadar değişir (DTP, 2001).

Silis kumunun endüstriyel olarak farklı sektörlerdeki kullanımını ve pazarını belirleyen en önemli faktör demir ve titan içeriğidir. Düz cam ve züccaciye sanayisinde hammadde olarak kullanılan silis kumları düşük oranlarda demir ve titan gibi safsızlıklar içerebilir. Silis kum içinde demir içeriği belirli bir miktardan fazla olduğu zaman cam üretim esnasında Fe<sup>++</sup> iyonları cama mavimsi, Fe<sup>+++</sup> iyonları sarımsı yeşil renk vermektedir (Tülümen, 1985; Bayat, Arslan, Vapur ve Uçurum, 2004). Saflaştırılmış kuvars kumu geniş kullanım alanına sahiptir. Düşük demir miktarına sahip olan kuvarlar genel olarak cam üretimi için uygun kumlardır (Banza, Ouindt ve Gock, 2006) .

Cam kumları kurutularak satılmakta olup, cam üreticisi açısından iyi akış karakteristiği sağlaması ve diğer katkı maddeleri ile daha iyi karışması gibi faydaları vardır (Keser, 2010).

Bu çalışma, ülkemizde önemli bir konuma sahip olan madencilik sektöründe hammadde olarak kullanılan silis kumun, enerji verimliliği göz önüne alınarak kalitesini arttırmaya yönelik yapılacak olan deneysel bir çalışma ile literatüre katkı sağlayacaktır.

## 1.1 Literatür Özeti

Nakamura, Hamada ve Toyama (1985) bu çalışmalarında çapları 30 mm ve 50 mm arasında değişen yataklarda 0,2 mm ve 4 mm arasında eşit boyutlu cam boncuklar için 800 K'ne kadar olan sıcaklıklarda minimum akışkanlaştırma hızlarını deneysel olarak ölçmüşlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlar ile, bu yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında korelasyonların geçerliliğini belirlemek için literatürdeki bir dizi ampirik korelasyon ile karşılaştırılıp, U tahmini için hata analizinden tüm korelasyonların deneysel verilere oldukça iyi uygulandığı sonucuna varmışlardır.

Lin, Wey ve You (2002) bu araştırmalarında yüksek sıcaklık ve parçacık boyutu dağılımının minimum akışkanlaştırma hızı ( $U_{mf}$ ) üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında silikanın dört tanecik boyutu dağılımını, 700 °C ile 900 °C sıcaklıkları arasında ve atmosfer basıncında hava ile akışkanlaştırmışlardır. Deneysel gözlemleri,  $U_{mf}$ 'nin yalnızca partikül çapına bağlı bir fonksiyon olmadığına dair diğer gözlemlerini doğrulamıştır.

Coltters ve Rivas (2004), minimum akışkanlaştırma hızının tahmini için yeni bir ilişki önermişlerdir. Parçacık yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin minimum akışkanlaştırma hızına güçlü bir bağımlılığı olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada orijinal denklem, yatak boşluklarının ve şekil faktörlerinin deneysel olarak belirlenmesine gerek kalmadan minimum akışkanlaştırma hızının çok basit bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır. Yeni korelasyonu, literatürde yaklaşık 90 farklı malzeme üzerinde rapor edilen 189 ölçüm kullanılarak test etmişler ve yeni korelasyonun deneysel verilerle çok iyi bir uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Lin ve Chen (2004), bu çalışmalarında gıda sıvı damlacıklarının püskürtülerek kurutulması, günümüzde gıda tozu üretiminin birincil yolu olduğunu belirtmişlerdir. Bu işlemin modellenmesi, kurutma sırasında damlacık boyutundaki değişikliğin ölçülmesini ve çeşitli başlangıç veya çevre koşullarının etkilerinin anlaşılmasını gerektirdiğinden bahsetmektedirler. Bu çalışmada, genel olarak kurutma işlemi boyunca damlacık çapının azaldığını görmüşlerdir. Su içeriğine karşı damlacık çapı grafiklerinde de ilginç doğrusal olmayanlar gözlemlemişlerdir. Düşük hava nemi durumu için, kurutma havası sıcaklığı ve hızı, kurutma sırasında damlacık çapı değişikliği üzerinde çok az etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Yine düşük hava nemi için, ilk damlacık çapının kurutma sırasında damlacık çapı değişikliği üzerinde çok az etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak; yüksek nem oranlarında, yüksek yüzey nemi (ve sıcaklığı) kuruma sırasında büzülmenin korunmasına izin verdiği için daha küçük partiküllerin elde edilebileceği bulmuşlardır.

Subramani, Balaiyya ve Miranda (2007)'nin bu araştırmaları, Geldart'ın B grubu tozları için yüksek sıcaklıklarda minimum akışkanlaştırma hızlarının belirlenmesine yönelik bir çalışmadır. Bu çalışmada değişen boyutlarda ilmenit, kum, kireç taşı ve kuvars parçacıkları kullanılarak 298 K ile 973 K arasındaki bir sıcaklık aralığında akışkanlaştırmada yatak gözenekliliği ve hava hızı elde etmek için deneyler yapmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda minimum akışkanlaştırma hızını tahmin etmek için Reynolds sayısı ve Arşimet sayısı arasında nispeten basit bir doğrusal ampirik bağıntı geliştirmişlerdir. Önerdikleri korelasyon 180 deneysel veri ile karşılaştırıldığında akışkanlaştırma hızını  $\pm\%15$ 'lik hata ile tahmin etmektedir. Reynolds sayısı ve Arşimet sayısının bir fonksiyonu olarak yeni başlayan akışkanlaştırmada yatak gözenekliliği için en uygun korelasyonu  $\pm\%4$  hatada elde etmişlerdir.

Özbek ve Dadalı (2007) bu çalışmalarında, nem oranını, kuruma süresini, mikrodalga çıkış gücünün nane bitkisinin kurutulmasındaki etkisini araştırmışlardır. Kurutma deneylerinden önce nane yapraklarını yıkayarak, nemin dengelenmesi için  $4 \pm 0,5$  °C de buzdolabında saklamışlardır. İlk nem değerini ölçmek için nane yaprakları 24 saat boyunca 105 °C’de bir fırında bekletilip ve dört ayrı 50 g’lık numune kurutulmuş, yaprak kalınlıkları da 0,34 mm olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemi 2450 MHz frekansında 230V, 50Hz ve 2650W teknik özelliklere sahip bir mikrodalga fırında yapılmıştır. Önceden ayarlanmış çıkış güçlerine göre göre her deney üç kez tekrarlanmıştır. Kurutma kinetiğini belirlemek için 10 ince tabaka kurutma modelini kullanmışlar ve en iyi sonuçları Midilli modelinde elde etmişlerdir. Kuruma süresinin mikrodalga çıkış güçlerini arttırarak ve numune miktarlarını azaltarak önemli ölçüde kısalttığı sonucunu elde etmişlerdir.

Sau, Mohanty ve Biswal (2008) bu çalışmalarında konik yatakta 0,5 mm çapındaki kum parçacıkları için 800 °C ye, 1 mm çapında cam boncuklar için 500 °C sıcaklığa kadar olan denemeler ile minimum akışkanlaştırma hızı verilerini elde etmek amacıyla yapmışlardır ve bu çalışmalarıyla yatak için geçerli bir denklem geliştirmişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda minimum akışkanlaştırma hızı için deneysel değerler, mevcut denklemden ve diğer yazarlar tarafından geliştirilmiş daha önceki denklemlerden elde edilen hesaplanmış değerlerle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan mevcut denklemden ve deneysel değerler arasında oldukça iyi bir uyum olduğu belirtmişlerdir. Literatürde yükseltilmiş koşullarda konik akışkan yatak üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olduğundan bu çalışma, yüksek sıcaklık koşullarında farklı katı-gaz sistemlerinin davranışını anlamada yardımcı olacaktır.

Chen (2008), bu çalışmasında reaksiyon mühendisliği yaklaşımının (REA) ince tabakalı malzemelerin veya katı damlacıkların (parçacıkların) havada kurutulmasının modellenmesinin en önemli yönlerini eleştirel olarak gözden geçirmiştir. REA yaklaşımı ile CDRC yaklaşımı arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları özetlemiştir. Bu incelemesinde ileri sürülen argümanlar kritik ve REA modelinin olası daha geniş kapsamlı uygulaması için iyi bir amaca hizmet edeceği sonucuna ulaşmıştır.

Therdthai ve Zhou (2009) bu çalışmalarında nane yapraklarını sırasıyla mikrodalga vakumla kurutma ve sıcak hava ile kurutmaya tabi tutmuşlardır. Mikrodalga vakum kurutucusu, 360 ° dönen bir yük sepetine sahip üç çift miknatistan oluşmaktadır. Taze nane yapraklarının kalınlığını bir mikrometre ile ölçüp, 200 g nane yaprağını kullanmışlardır. Mikrodalga vakum kurutucusunu 1600 W, 1920 W ve 2240 W olarak üç farklı güçte, 13,33

kPa' da basınç altında ve 15 dakika boyunca 2450 MHz frekans ile kontrollü olarak uygulamışlardır. Sıcak havayla kurutma için, 60 °C ve 70 °C' lik iki kurutma sıcaklığını incelemişlerdir. Mikrodalga vakumlu kurutma, sıcak hava kurumasına kıyasla nane yapraklarının kuruma süresini % 85-90 oranında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Mikrodalga vakumlu kurutulmuş nane yapraklarının hafifliği ve yeşilliği sıcak havada kurutulmuş nane yapraklarından daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Taramalı elektron mikroskoplarından, mikrodalga vakumla kurutulmuş nane yaprakları, sıcak hava ile kurutulmuş olanlardan daha gözenekli ve homojen bir yapıya sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları rehidrasyon testleri sonucunda da mikrodalga vakumla kurutulmuş nane yapraklarının rehidrasyon oranlarının, sıcak hava ile kurutulmuş yapraklara göre daha yüksek olduğu doğrulanmıştır.

Polatçı ve Tarhan (2009) bu araştırmalarında, reyhan bitkisinin farklı kurutma yöntemleriyle kurutma şartlarını incelemişlerdir. Araştırma kapsamında doğrudan değmeli kurutucuda kurutma, etüvde kurutma, gölgede kurutma, güneşte kurutma ve mikrodalga fırında kurutma kullanmışlardır. Çalışmalarında, reyhan bitkisinin etüvde sıcak hava yardımıyla kurutmada renk kalitesinin en iyi olduğunu ve en yüksek uçucu yağ oranına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Mikrodalga ve güneşte kurutma yöntemlerinin reyhan bitkisinin ürün kalitesini bozduğunu gözlemlemişlerdir. Doğrudan değmeli kurutucu ile reyhan kurutma işleminde, önemli bir etki gözlenmediği ve 30 dakikada bir çeyrek turlu döndürmeyi uygun bulmuşlardır. Etüv ile yapılacak olan 45 °C - 55 °C sıcaklıktaki kurutmanın reyhan bitkisi için en uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Goo, Seo, Kim ve Song (2010) bu çalışmalarında 0,078 m x 8,5 m ölçülerindeki bir akışkan yataklı kurutucuda 25 °C- 800 °C sıcaklık aralığında silis kumun minimum akışkanlaşma hızlarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre minimum akışkanlaştırma hızının, artan sıcaklıkla 0,065 m/s' den 0,036 m/s'ye düştüğü görülmüştür. Partikül boyutunun minimum akışkanlaşma ve taşıma hızları üzerindeki etkisi belirlenmiş olup, korelasyonları farklı sıcaklıklarda hızı tahmin etmek için önermişlerdir.

Ren, Hao ve Wang (2011), yaptıkları bu çalışmada püskürtmeli kurutucuda doğru püskürtme nozulunun seçilmesinin ve onun etkili bir şekilde kontrol edilmesinin kritik bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel analize göre, yüksek yapışkan ve yüksek su içerikli malzemeyi kurutmak için yeni bir spreysel kurutucu kullanma yöntemi oluşturmuşlardır. Basınç ve püskürtme açısı arasındaki modelleri elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre

basınçlı püskürtme nozulunun, yapışkan ve yüksek su içeren malzemeler için en iyi seçim olduğu kanısına varmışlardır. Teknolojik ihtiyacı karşılamak için basınç ayarlanarak püskürtme açısı kontrol edilebilmektedir. Basınç ve püskürtme açısının belirli bir aralıkta doğrusal ilişki içinde olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Boulemtafes - Boukadoum ve Benzaoui (2011) bu araştırmalarında, güneş enerjili bir kurutma sisteminde enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Deneyleri, Yenilenebilir Enerji Geliştirme Merkezi'nde yaz sezonunda yapmışlardır. Kullanılan sistem, güneş kollektörü ve kurutma odasından oluşturulmuştur. Güneş kollektörü dış boyutları 2 m x 1 m x 0,1 m olan basit bir cam kollektörden oluşmaktadır. Kurulan sistem 0,2 m/s hızda çalışmaktadır ve kurutma işlemleri 14 saat sürmüştür. Güneş enerjili kurutucunun verimliliğini ve nane kurutması için gereken enerjiyi belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarda doğru orantılı çıksa da çalışmanın zorla konveksiyon sağlayan bir hava kurutucu kullanarak bu deneylerin ve önlemlerin tekrarlanması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Shao ve ark. (2013) bu çalışmalarında 0,2 m x 0,2 m ve 2 m yükseklikteki bir akışkan yatakta şekil, boyut ve farklı yoğunluktaki silis kumlarının akışkanlaşma özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında farklı çalışma koşulları altında basınç düşüşü, akış modeli ve minimum akışkanlaştırma hızı ( $U_{mf}$ ), basınç farkı ve akışkanlaştırma görüntüleri kaydedilerek incelenmiştir ve bir  $U_{mf}$  korelasyonu geliştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, düzensiz parçacıkların silis kum yatak malzemesi ile akışkanlaştırılması sırasında, artan akışkanlaştırma gazı akış hızı ile ölçülen basınç düşüş eğrisinin gözle görülür şekilde dalgalı olduğunu göstermiştir. Azalan akışkanlaştırma gazı akış hızı ile ölçülen basınç düşüş eğrisi düzgün ve  $U_{mf}$  değerini belirlemek için yeterli olduğunu göstermişlerdir. Minimum akışkanlaştırma hızının artan hacim oranı ve parçacık yoğunluğu ile arttığını, statik yatak yüksekliğinin minimum akışkanlaştırma hızı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Geliştirilen korelasyon tarafından tahmin edilen minimum akışkanlaştırma hızı değerleri mevcut deneysel verilerle ve literatürden alınanlarla karşılaştırıldığında, korelasyonun silika kum yatak malzemesi ile düzensiz parçacıkların akışkanlaşması için tahmin etmede iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Fotovat, Ansart, Hemati, ve Simonin (2015), bu çalışmalarında kum parçacıklarını akışkan yataklı kurutucuda akışkanlaştırılmasını, deneyler ve sayısal simülasyon yoluyla incelenmişlerdir. Deneyler 228 mm statik yüksekliğe sahip 152 mm çaplı bir yatakta akışkanlaştırılmıştır ve bir çift fiber optik sensör kullanılarak, yoğun yatağın üst yarısında bu

karışımların kabarcıklanma özellikleri,  $U=0,2$  m/s ile  $U=1,0$  m/s arasında değişen yüzeysel gaz hızlarında belirlenmiştir. NEPTUNE CFD yazılımı kullanarak, Eulerian n-akışkan yaklaşımıyla üç boyutlu sayısal simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonlar sonucunda, kabarcık boyutu ve hızın deneysel dağılım profillerini  $h=175$  mm'de yeniden oluşturmada başarılı olduğunu; bununla birlikte karşılık gelen ortalama değerlerden boyut veya hız bakımından daha büyük olan kabarcıkların oluşma olasılığı, deneysel olarak saptanan kabarcıklara referansla fazla tahmin edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Zhang vd. (2017) bu çalışmalarında, yem kurutma işleminde hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanarak bantlı kurutucuda besleme kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Deneyde kullanılan bantlı kurutucu  $2000$  mm x  $1000$  mm x  $1200$  mm ölçülerinde ve hava akımı girişi de  $200$  mm x  $800$  mm'dir. Yem besleme kalınlığı her  $40$  mm'de bir  $20$  mm artırılarak,  $300$  mm beslemeye kadar analiz yapmışlardır. Besleme kalınlığının, kurutma haznesindeki hava akımı hızının dağılımı üzerinde önemli etkileri olduğunu ve hava akışı giriş hızı  $8$  m/s olduğunda besleme kalınlığının  $140$  mm olması gerektiğini analiz etmişlerdir. Bu konu üzerine yapılacak olan çalışmalarda, yüksek bir kurutma hızı, nem homojenliği ve düşük enerji tüketimi elde etmek için kurutma oranı ve enerji tüketimi üzerine araştırma yapılması gerektiğini önermektedirler.

Vasconcelos, Batalha, Pereira ve Pires (2018) sisal kalıntısı ve kumdan oluşan ikili bir karışımın akışkanlaşması üzerinde farklı faktörlerin etkisi araştırmışlardır. Kum ve sisal kalıntısının parçacık boyutları  $0,2$  mm ila  $0,8$  mm arasında ve biyokütle kütle fraksiyonları %2 ila %9 arasında değişmektedir. Minimum akışkanlaştırma hızını tahmin etmek için yeni bir model geliştirmişlerdir ve önceki bir makaleden bir model kullanıldığında ölçülen ve tahmin edilen minimum akışkanlaştırma hızı arasında ortalama %12,69'luk bir farka yol açtığını ve en iyi eşleşme olan %15,32'ye karşılık geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Geliştirdikleri yeni model, diğer biyokütle ve çok çeşitli parçacık özelliklerini kullanan çalışmalardan elde edilen verilere uygulandı ve yeni model kullanılırken ölçülen değerlerden ortalama sapma mısır koçanı ve ceviz kabuğu için %7,9 ve tatlı sorgum küspesi, tütün kalıntısı ve soya kabukları için %20,5 olduğu görülmüştür. Bu sonuçların, diğer modeller kullanılarak elde edilen değerlerden daha üstün olduğunu göstermişlerdir. Ön testler, kütle oranı %10'u aştığında sisal kalıntısının ikili karışımının akışkanlaştırılmasının zorlaştığını göstermiştir. Bu sonuçlar, burada geliştirilen modelin doğruluğunu teyit etmektedir ve ikili bir

kum ve biyokütle karışımının nihai ve minimum akışkanlaştırma hızlarını hesaplamak için uygun bir alternatif yol sağladığını göstermektedir.

Sert ve Hacıhafizoğlu (2019), bu çalışmalarında yeni bir kızılötesi ışınımlı kurutucu tasarlamış ve bir feldspat işletmesinin flotasyon konsantrelerini kurutmuşlardır. Bu deneylerinde lamba mesafesi, tabaka kalınlığı gibi kurutma parametrelerini değiştirerek optimum çalışma koşullarını belirlemek için deney yapmışlardır. Deneylerin sonucunda %24 nemli feldspat konsantresinin neminin %1,5'e kadar düştüğü sonucuna ulaşmışlardır. Elde ettikleri değerler ile kurutma için harcanan gücü hesapladıklarında, piyasada kullanılan doğalgaz yakıtlı döner kurutucuya göre daha maliyetli olduğunu göstermişlerdir. Ancak döner kurutucuların da ilk yatırım maliyetinin daha fazla olduğunu, bu kızılötesi kurutucunun daha çevre dostu olduğunu belirtmişlerdir.

Farraji ve Taofeeq (2020) bu çalışmalarında, sıcaklığın ve partikül boyutunun minimum akışkanlaştırma hızı üzerindeki etkisini, akışkan yataklı reaktörün küçük bir pilot ölçeğinde incelenmiş ve analiz etmişlerdir. Deneyler 20 °C–850 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiş ve kullanılan silis kumun partikül boyutu 300-425 µm, 425-500 µm, 500-600 µm ve 600-710 µm'dir. Deneysel veriler, minimum akışkanlaştırma hızının parçacık boyutuyla doğrudan ve sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini göstermişlerdir. Bu çalışmalarında diğer parametrelere ek olarak ortalama partikül boyutunun etkilenmesini de hesaba katan yeni bir tahmin denklemi geliştirmişlerdir. Deneysel veriler ile tahmin edilen değerler arasında %5,473'lük ortalama nispi sapma mevcuttur. Ayrıca, deneysel çalışmalarında, minimum akışkanlaştırma hızının yüksek sıcaklıkta bile yatağın yüksekliğinden etkilenmediğini ortaya koymuşlardır.

Shao, Li, Zhong, Bian, ve Yu (2020), bu makalelerinde basınç, sıcaklık ve parçacık boyutu dağılımının (PSD) minimum akışkanlaştırma hızı ( $U_{mf}$ ) üzerindeki etkisine ilişkin ayrıntılı bir araştırma sunmuşlardır. Deneylerde silika kum materyali kullanmışlardır. Bu çalışma ile 300 °C – 850 °C sıcaklık aralığında ve 0,1 MPa ve 0,5 MPa aralığında, laboratuvar ölçekli basınçlı akışkan yataklı bir reaktörde PSD, sıcaklık ve basıncın  $U_{mf}$  üzerindeki etkisini araştırmaktadırlar. Deney sonuçlarında dar kesimli ve geniş PSD partikülleri için minimum akışkanlaştırma hızının, basınçtan bağımsız olarak artan sıcaklıkla azaldığı ve bu etki, partikül ortalama çapının artmasıyla daha belirgin hale geldiğini göstermişlerdir. Bu çalışmalarında yüksek basınç ve sıcaklıklarda farklı PSD parçacıklarının  $U_{mf}$ 'sini tahmin etmek için yeni bir ilişki geliştirdiler ve sapmanın  $\pm\% 15$  olduğunu göstermişlerdir.



Chirone, Poletto, Barletta ve Lettieri (2020) endüstriyel parçacıkların yüksek sıcaklıklarda akışkanlaştırma davranışındaki değişikliklerin faktörlerini bulmak için 140 mm x 1000 mm boyutlarındaki akışkanlaştırılmış yatak kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Geldart sınıflandırmasının B, A ve C Grubunu kapsayan parçacıklar ile ortam sıcaklığından 500 °C'ye kadar bir sıcaklık aralığında deney yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlar ortalama boyut dağılımının, araştırılan malzemelerin akışkanlaştırma davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Özellikle, grup b ve grup a gibi en iri numunelerin ve grup a ve grup c gibi en ince numunelere göre akışkanlaştırma davranışlarında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen minimum akışkanlaştırma koşulları, Ergun denkleminin tahmini ile karşılaştırılmıştır ve yalnızca yatak boşluğunun deneysel değerleri hesaba katıldığında tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir.

Macri, Poletto, Barletta ve Lettieri (2020) endüstriyel tozların akışkanlaştırma davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında iki farklı partikül kullanarak ortam sıcaklığından 500°C' ye kadar değişen sıcaklıklarda akışkanlaştırma davranışını incelemiştir. Genel çökme oranının düşük başlangıç gaz hızları için çalışma sıcaklığından çok fazla etkilenmediğini, daha yüksek gaz hızları için ortalama %45 oranında azaldığı sonucuna varmışlardır.

Das, Mahanta ve Saikia (2020) bu çalışmalarında sayısal simülasyon kullanarak gaz-katı akışını ısı transferi davranışı ile incelemektedirler. Bulgular yatak genişleme oranının yatak malzemesi yüksekliği ve parçacık boyutu ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yatağın daha yüksek hava hızı değeri için daha fazla genişlediği görülmektedir. Yerel ısı transfer katsayısı, yatak malzemesinin yüksekliği ve yüzeysel hava hızı ile de artar. Hava hızı 1 m/s'den 2 m/s'ye ve yatak yüksekliği 10 cm'den 30 cm'ye çıktığında yerel ısı transfer katsayısı değeri 345 W/m<sup>2</sup>K 'ten 510 W/m<sup>2</sup>K'ya ve 300 W/m<sup>2</sup>K 'den 350 W/m<sup>2</sup>K'ya yükselmektedir. Bununla birlikte, partikül boyutlarının 300 µm 'den 600 µm'ye yükselmesiyle yerel ısı transfer katsayısının 415 W/m<sup>2</sup>K 'ten 300 W/m<sup>2</sup>K 'ya düştüğü gösterilmiştir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Türkiye'nin maden ve madencilğe dayanan sanayilerinin ekonomiye ve ülke sanayisine katkıları çok önemlidir (Köse ve Diker, 1999). Pek çok sanayi dalında

olduğu gibi cam sanayi, döküm sanayi ve refrakter sanayinin de en önemli girdilerinden birisi hammaddedir. Hammaddenin kalitesi ürüne doğrudan yansır (Kurşun ve İpekoğlu, 1995).

Bu araştırmada kullanılan silis kum, çimento, hazır beton ve agrega üretimi ve dağıtımını yapan bir firmadan temin edilmiştir. Kayaçlardan elde edilen silis kum ortalama %10 nemli olarak çıkarılmaktadır. Beton yapımında kullanılabilmesi için ürün neminin %0,05 altında olması istenmektedir. Bu çalışmada akışkan yataklı kurutucuda silis kumun kurutulmasında partikül boyutu, sıcaklık ve kek yüksekliği parametreleri değişimlerinin kurumaya olan etkisi deneysel, teorik ve analiz olarak incelenip, ideal kurutma parametrelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada nem değeri, kuruma süresi ve kaynama hareketine bakılacaktır. Akışkan yatakların dinamik koşullarını etkileyen çeşitli faktörler arasında en önemlilerden biri akışkanlaşmanın başlangıçtaki hız yani minimum akışkanlaşma hızıdır. Silis kumun kurutulmasında minimum akışkanlaşma hızının tahmini için, deney ve söz konusu korelasyonların uyuşma durumu karşılaştırılıp sapmaları incelenecektir.

## 2. KURUTMA SİSTEMLERİ

### 2.1 Kurutma Prosesi

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan ve katılardan su veya diğer sıvıların giderilmesi işlemine denilmektedir. Bununla beraber kurutma kavramının en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemleri ile su veya uçucu maddelerin giderilmesi işlemi olarak isimlendirilmektedir (Güngör ve Özbalta, 2009).

Kurutma öncesi ısı yöntemleri dışında başka yöntemlerle de katı maddeden suyun veya uçucu maddelerin mümkün olduğunca uzaklaştırılması, kurutmada daha ekonomik bir kurutma sağlar. Ürünlerin mekanik yöntemler olan filtreleme, sıkıştırma, santrifüjleme, çöktürme ve eleme gibi işlemlerle kurutulması daha az enerji ihtiyacı ve uzaklaştırılan birim miktar su için daha az maliyet gerektirir.

Kurutulacak madde bu tip yöntemlere uygun değil ise gaz akımı ile ısı transferi uygulanarak buharlaştırma yolu ile kurutulur. Transfer edilen ısı, madde içerisindeki nemin buharlaşması ve maddeden uzaklaştırılmasında harcanır. Kurutma işleminde, kurutma gazı olarak genellikle hava kullanılır. Kurutma işleminde kullanılan havanın hızının ya da sıcaklığın artması, kullanılan enerji miktarının artmasına neden olur. Kurutulan madde içerisindeki nemin uzaklaştırılması için, verilmesi gereken enerjinin daha kısa sürede kurutma sistemine verilmesi kuruma süresini azaltır. Kurutma havasının sıcaklığı nemi, kurutulan madde içerisindeki nem ise; kuruma hızını belirlemektedir. Kurutma havasının neminin azaltılması da kuruma süresini kısaltır (Doğan ve Ersöz, 2009).

Kurutma çok farklı ürünler için uygulanabilmektedir. Günümüzde 100'den fazla kurutucu çeşidi bulunmaktadır. Günümüze kadar 400'den fazla kurutucu çeşidinin kullanıldığı bilinmektedir. Farklı türlerdeki ürünlerin kurutulma nedenleri;

- Ürünlerin ekonomik olarak işlenmesi,
- İşlenen malzemelerin korunması ve depolanması,
- Malzemelerin taşıma maliyetlerinin düşürülmesi,
- Malzemelerin istenilen kaliteye ulaşabilmesinin sağlanması,
- Üretim ve satış aşamalarında gerekli şartların sağlanmasıdır (Çalhan, Kaya, Tulger ve Eyidoğan, 2012).

## 2.2 Kurutucu Seçimi

Kurutucu seçimi yapılırken kurutucuların tipik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı kurutucunun çalışma şartlarında yapılan değişiklik kurutulmuş ürünün kalitesini etkileyebilir. Kurutucu tipiyle birlikte optimum kalite ve ısı nem almanın maliyeti için doğru çalışma şartlarını da seçmek ayrıca önemlidir (Mujumdar, 2000).

Çizelge 2.1’de kurutucu çeşitlerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji tablosu verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kurutucu çeşitlerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji (Basaran, Bitlisli, Sarı, Özbalta, ve Güngör,2004)

<b>Kurutucu Tipleri</b>	<b>MJ/kg Uzaklaştırılan Su</b>
Isı Pompalı Kurutucu	0,5 - 0,8
Direkt Egzoz Gazları İle Çalışılan Kurutucu	3,2 – 3,8
Hava İle Çalışan Kurutucu 70 °C – 100 °C	4,5 – 5,5
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (400 °C)	5,0 – 6,0
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (200 °C)	9,0 – 12,0
<b>Bantlı ve Tünel Kurutucular</b>	
Ters Akışlı Tepsili-Bantlı	8,0-16,0
Ters Akışlı Rafli-Tünel	6,0-16,0
Arasından Akışlı Tepsili-Bantlı	5,0-12,0
Vakumlu Tepsili-Bantlı-Levhali	3,5-8,0

Kurutma sistemlerinin seçimi aşağıdaki sıralama dahilinde gerçekleşir.

- Kurutucuların ön seçimi: Nemli ürün ve kuru ürün teminine en uygun kurutucu tipleri ön seçimi gerçekleştirilir. Kurutucularda bütün işlemlerin sürekliliği ile istenilen fiziksel ve kalite özelliklerini karşılaması ön koşulu aranır.

- Kurutucuların ön karşılaştırılması: Ön seçilen kurutucular elde edilen veriler ile maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırılır. Bu değerlendirmede verimlilik açısından uygun olmayan veya maliyetli olan kurutucular sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmaz.

- Kurutma denemeleri (testleri): Bu testler halen değerlendirilmekte olan kurutucu tipleri için gerçekleştirilir. Bu testler optimal çalışma koşullarını ve ürün karakteristiklerini belirler.
- Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma denemelerinden ve istenilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilir (Güngör ve Özbalta, 1997).

### 2.3 Kurutucu Çeşitleri

Günümüzde 100 tipi yaygın olmak üzere yaklaşık 400 farklı tipte kurutma makineleri bulunmaktadır. Fazla tipte kurutucu makinelerinin olmasının sebebi, endüstriyel kurutmanın gelişmiş ülkelerin toplam enerji tüketiminde büyük payı olmasıdır.

Birçok sektörde kurutma için harcanan enerji, toplam enerji tüketimi içinde önemli bir orana sahiptir. Bu oran kimyada %6, tekstilde %5, seramik ve diğer inşaat malzemeleri üretiminde %11, kereste kurutmada %11, gıda ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında %12 ve kağıt endüstrisinde %33 seviyelerindedir.

Ürünlerinin kurutulmasında kullanılan kurutucular, ürün tipine ve uygulanacak kurutma yöntemine bağlı olarak gruplandırılır (Mujumdar, 2000).

#### 2.3.1 Direk Kurutucular

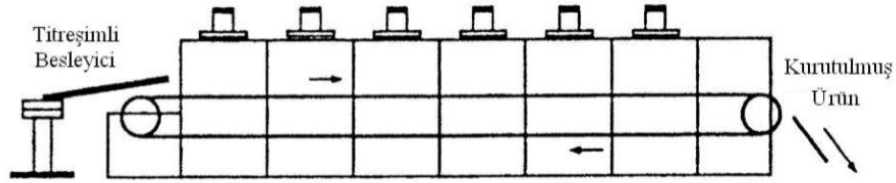
Kurutma için gerekli ısının transferi nemli ürün ve sıcak gazlar arasında direkt temas yoluyla gerçekleşir. Taşınım kurutucuları olarak da adlandırılabilir (Mirza, 2006).

Sürekli Kurutucular:

Kurutma işlemi, kurutulacak nemli ürün beslendiği süre boyunca devam eder. İstendiğinde bu tip kurutucular kesikli olarak da çalıştırılabilirler.

- Sürekli tepsi tipi kurutucular: Sürekli metal kayışlı, titreşimli, tepsili turbo kurutucu bu kurutuculara örnek gösterilebilir.
- Sürekli levha tipi malzeme kurutucuları: Tekstil ve bazı kağıtların kurutulmasında kullanılır.
- Pnömatik taşınım kurutucular: Yüksek sıcaklıkla, hızlı gazlarla öğütme işlemi ile yapılır.
- Döner kurutucular: Kurutulacak ürün silindir içerisinde taşınır.

- Püskürtmeli (spray) kurutucular: Süt tozu, kahve, sabun, deterjan vb. üretiminde kullanılır.
- Ara dolaşimli kurutucular (bantlı kurutucular): Kurutulan ürün sürekli bir iletim bandı üstünde kurutucu içinde ilerler ve sıcak kurutma havası üflenerek nem üründen uzaklaştırılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bant tipi kurutucu (Mirza, 2006)

- Tünel kurutucular: Kurutulan ürün bir tünel içinde hareket eden kurutma vagonları içine uygun biçimde yerleştirilir ve vagon tüneli terk ederken başka bir vagon tünele girer.
- Akışkan yataklı kurutucular: Bu kurutucularda kurutulan ürün akışkanlaştırılır ve nem alma işlemi gerçekleştirilir.
- Isı pompalı kurutucular

#### Kesikli Kurutucular:

Bu kurutucularda belli bir zaman aralığında belirli miktarda nemli ürünün kurutulması amaçlanarak tasarlanmıştır.

- Tepsi ve kabin tipi kurutucular: Bu tip kurutucular dikdörtgen şekilde olup, duvarları uygun ısı yalıtım malzemesi ile kaplıdır.

Odaların içinde tepsilerin konulduğu raflar vardır veya boş olup vagonlar üstüne raflar yerleştirilir ve odalara konular, kurutucu kapakları kapatılır. Bu tip kurutucularda dışarıdan sıcak hava girişi yoktur.

### 2.3.2 Özel Kurutucular

İnfrared (kızılötesi) radyant ısılı kurutucular: Isıl ışınlama, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile kurutma işlemi yapılır.

- Dielektrik ısıtıcı kurutucular: Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilirse, malzeme içinde ısı meydana getirilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelere göre daha fazla ısı meydana getirilir. Su, malzeme çok ısıtılmadan buharlaşır.
- Morötesi radyasyon kurutma: Elektromanyetik radyasyon kullanılır.
- Mikrodalga kurutma: Bu kurutucu tipinde çok yüksek frekanslı (900 ile 5000 Mhz) güç kaynağı kullanılır.

### 2.3.3 İndirekt Kurutucular

İndirekt kurutucular, iletim kurutucuları veya temaslı kurutucular olarak da tanımlanır.

Sürekli Kurutucular:

- Kurutulacak ürünün sürekli olarak kurutucu yüzeyiyle teması ile gerçekleşir.
- Silindirik kurutucular: Bu tip kurutucular devamlı bir tabaka halindeki kağıt ve tekstil gibi maddelerin kurutulmasında kullanılır.
- Drum kurutucular: Bu tip kurutucularda ısıtma buhar veya sıcak su ile gerçekleştirilir.
- Helezon ileticili kurutucular
- Buhar borulu döner tip kurutucular: Buhar veya sıcak su kullanılır.
- Titreşimli–tepsili kurutucular: Isıtma buhar veya sıcak su ile gerçekleştirilir.

Kesikli Kurutucular:

Bu tip kurutucular vakum altında çalışmaya uyumludurlar. Ayrıca karıştırmalı veya karışsız olarak da tanımlanabilirler.

- Karıştırmalı kaplı kurutucular: Devamlı çalışan döner bir kurutucuda kurutulamayacak kadar yapışkan olan maddelerin kurutulmasında bu tip kurutucular kullanılmaktadır.

- Dondurmalı kurutucular: Bu tip kurutucularda malzeme önce dondurulur. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır ve bu esnada uçucu element süblimleşir ve yoğuşur. Bu kurutma tipi ısıya duyarlı malzemeler için uygundur (Mirza, 2006).

- Vakumlu döner kurutucular: Kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmaları sakıncalı olan hassas maddelerin kurutulması için vakum altında çalışan tek silindirli bu tip kurutucular kullanılır.

### **2.3.4 Güneş Enerjili Kurutucular**

Tarım ürünlerinin kurutuldukları dönemlerde kurutma için gerekli olan enerji, yeterli güneş enerjisi olan bölgelerde, güneş enerjisinden yararlanılarak sağlanır (Yağcıoğlu, 1999).

Güneş enerjili kurutucular temel olarak üç ana gruba ayrılabilir:

- Güneş enerjili doğal kurutucular
- Güneş enerjili fanlı kurutucular
- Güneş enerjisi destekli kurutucular

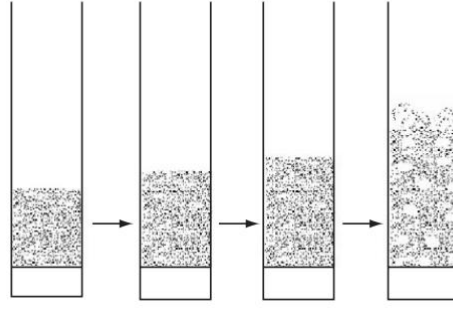
## **2.4 Akışkan Yataklı Kurutucular**

Akışkan yataklı kurutucular günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kurutucular ile kum, kömür, talaş, gıda maddeleri, seramik, sağlık ürünleri, zirai kimyasallar, deterjanlar, gübreler, polimer ve reçineler gibi ürünler kurutulabilmektedir. Bu kurutucular kolay malzeme taşıma, ısı ve kütle transferi avantajlarından dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir. (Mujumdar, 2006).

### **2.4.1 Kurutma Prosesi**

Akışkan yataklı kurutucularda kurutulacak olan parçacık, bir gaz dağıtım plakası üzerinde durmaktadır. Akışkanlaştırıcı gaz, bu dağıtıcı plakadan geçer ve yatak boyunca eşit olarak kurutucuya dağıtılır. Akışkanlaştırıcı gaz hızı arttıkça yatak boyunca basınç düşüşü artar. Belirli bir gaz hızında, gaz akışı tüm yatağın ağırlığını tamamen desteklediğinde yatak akışkan hale gelir. Bu durum minimum akışkanlaşma olarak bilinir ve buna karşılık gelen gaz hızına minimum akışkanlaşma hızı,  $U_{mf}$  denir. Akışkanlaştırılmış bir yatak, minimum akışkanlaştırma hızından daha yüksek yüzeysel gaz hızlarında çalıştırılır. Minimum akışkanlaştırma hızı tipik olarak deneylerden elde edilir. Minimum akışkanlaştırma hızını deneysel olarak belirlemenin birkaç yolu vardır. Çeşitli korelasyonlar kullanılarak da tahmin edilebilir (Mujumdar, 2006).

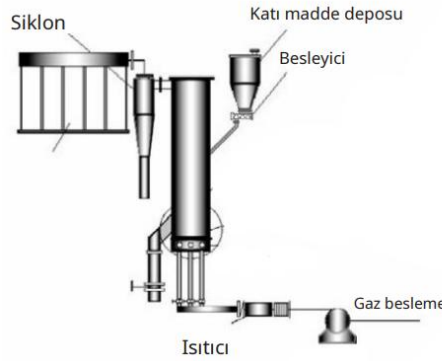




Şekil 2.2 a) Sabit yatak b) Genişletilmiş yatak c) Minimum akışkanlaştırma d) Köpüren Akışkanlaştırma (Mujumdar, 2006).

Şekil 2.2 artan gaz hızı ile farklı sınıflardan kuru parçacıklardan oluşan bir yatak tarafından sergilenen çeşitli akışkanlaştırma rejimlerini göstermektedir. Akışkan yataklı kurutucular normal olarak pürüzsüz ve kabarcıklı akışkanlaştırma rejimlerinde çalıştırılır (Mujumdar, 2006).

Akışkan yataktan geçtikten sonra, gaz akımı, atmosfere tahliye edilmeden önce çıkış gazı akımından ince parçacıkları (tozları) ayırmak için gaz temizleme sistemlerine verilir (Şekil 2.3), akışkan yataklı kurutma sisteminin tipik bir kurulumunu göstermektedir (Mujumdar, 2006).



Şekil 2.3 Tipik akışkan yataklı kurutma düzeni (Mujumdar, 2006).

Tipik bir akışkan yataklı kurutma sistemi, bir gaz üfleyici, ısıtıcı, akışkan yataklı kolon, siklon gibi gaz temizleme sistemleri, torba filtreler, çökeltici ve gaz yıkayıcıdan oluşur. Enerji tasarrufu için bazen çıkış gazı kısmen geri dönüştürülür (Mujumdar, 2006).

## **2.4.2 Akışkan Yataklı Kurutucuların Avantajları Ve Dezavantajları**

Akışkan yataklı kurutmanın yaygın olarak bilinen avantajları arasında yüksek oranda nem giderme, yüksek termal verim, kurutucu içinde kolay malzeme taşıma, kontrol kolaylığı ve düşük bakım maliyeti yer almaktadır. Akışkan yataklı kurutucunun dezavantajları yüksek basınç düşüşü, yüksek elektrik gücü tüketimi, bazı partiküllü ürünlerin düşük akışkanlaştırma kalitesi, belirli tipteki akışkan yataklı kurutucular için eşit olmayan ürün kalitesi, boru ve kapların erozyonu, ince parçacıkların sürüklenmesi, yıpranma veya partiküllerin pulverizasyonu, ince partiküllerin aglomerasyonudur. Kurutmanın yanı sıra akışkan yatak, çeşitli endüstrilerde karıştırma, tozsuzlaştırma, granülasyon, kaplama, aglomerasyon, soğutma, kimyasal reaksiyonlar, yakma, gazlaştırma için de kullanılmaktadır. Bu işlemlerin çoğu akışkan yatak ile birleştirilebilir. Akışkan yataklı kurutma ile avantajlı bir şekilde birleştirilebilen işlemler, aşağıdaki paragraflarda kısaca açıklanmaktadır (Mujumdar, 2006).

Akışkan yataktaki akışkanlaştırma, genellikle 50 mm ile 2000 mm arasındaki partikül boyutları için iyidir. İnce partiküller için (partikül boyutu 50 mm'den küçük) veya ıslanmış akışkanlaştırılması zor olan partiküller için, akışkanlaştırma kalitesini ve karıştırma etkisini iyileştirmek için normal olarak titreşim uygulanır. Büyük partiküller için, dahili parçaların eklenmesi veya püskürtme modunun kullanılması işlemin iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Akışkan yataklı kurutma için iyi partikül karışımı önemlidir. Bu nedenle, akışkan yataklı bir kurutucunun iyi performansını sağlamak için partikül akışkanlaştırma özellikleri hakkında bilgi gereklidir. Ek olarak, partikül yatağı, titreşimli bir akışla veya yatağın bölümlerinin periyodik olarak akışkanlaştırılmasıyla akışkanlaştırılabilir. Bu işlem kurutma havasından ve dolayısıyla elektrik gücünden tasarruf sağlar, ancak aynı zamanda kesintili ısı girişi modu nedeniyle daha uzun bir çalışma süresine de yol açmaktadır (Mujumdar, 2006).

## **2.4.3 Çalışma Parametrelerinin Akışkan Yatak Kurutma Üzerine Etkisi**

### *2.4.3.1 Yatak Yüksekliğinin Etkisi*

Demir cevheri, iyon değiştirici reçineler, silika jel gibi yüksek iç nem hareketliliğine sahip malzemeler için, kurutma işlemi dağıtım plakasına yakın gerçekleşir ve bu malzemelerde yatak yüksekliğinin kuruma hızı üzerinde hiçbir etkisi yoktur ve yatak yüksekliğini belirli bir değerin üzerine çıkarmak kuruma hızlarında hiçbir farka yol açmaz.

Malzeme içinde kurumaya karşı ana direnci olan malzemeler için, örneğin taneler için, artan yatak yüksekliği ile kuruma hızı azalır (Mujumdar, 2006).

#### *2.4.3.2 Parçacık Boyutunun Etkisi*

B grubu partiküller için (Geldart Toz Sınıflandırmasına göre kum benzeri partiküller), diğer tüm koşulların değişmeden kalması koşuluyla, belirli bir miktarda nemi çıkarmak için gereken kuruma süresi partikül çapının karesi arttıkça artar. Bununla birlikte, bu etki grup A (Geldart Toz Sınıflandırmasına göre havalandırılabilir parçacıklar) parçacıkları için çok daha küçüktür çünkü bu parçacıklar grup B'den daha incedir ve kabarcıklı akışkanlaştırma rejimine girmeden önce düzgün akışkanlaştırma sergiler (Mujumdar, 2006).

#### *2.4.3.3 Gaz Hızının Etkisi*

Gaz hızı, yüzey nemini gidermede baskın bir etkiye sahiptir. Gaz hızının arttırılması kuruma hızını arttırır. Bununla birlikte, nem transferine karşı yüksek iç dirence sahip partiküller için gaz hızının hiçbir etkisi yoktur. Düşen oran döneminin sonunda yüksek iç nem direnci hakimdir (Mujumdar, 2006).

#### *2.4.3.4 Yatak Sıcaklığının Etkisi*

Yatak sıcaklığı, yüksek dış ısı akışları ile artar. Bu da daha yüksek nem yayılımlarına ve dolayısıyla daha yüksek kurutma hızına yol açar. Bu etki karmaşıktır ve nem transferine karşı dış ve iç dirençlerin göreceli önemine bağlıdır (Mujumdar, 2006).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Kurutulacak Numune

Bu çalışmada bir yapı malzemeleri şirketinden üç farklı boyutta temin edilmiş nemli silis kum kullanılmıştır. Silis kumun pilot tip bir akışkan yataklı kurutucu ile kurutulması prosesi incelenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Üç farklı boyutlu silis kum numunesi

##### 3.1.2 Elek Analiz Cihazı

Elek analizi yöntemi ile kurutma deneylerinde kullanılan silis kumun tane boyutlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada Asos Proses Makina firmasının laboratuvarında bulunan elek analiz cihazı ile silis kum numunesinin partikül boyutları belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Elek analiz cihazı

### 3.1.3 Nem Tayin Cihazı

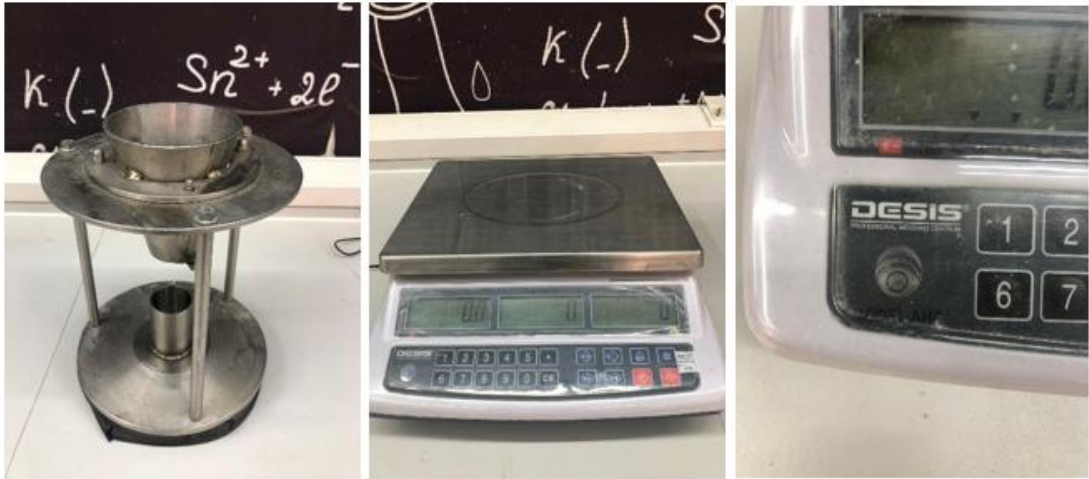
Kurutma deneylerinde kullanılan silis kumun başlangıç ve deneyler sırasında alınan numunelerin nem değerleri RADWAG marka nem tayin cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Nem tayin cihazı

### 3.1.4 Yoğunluk Test Aparatı

Bu çalışmada Asos Proses Makina firmasının laboratuvarında bulunan yığın yoğunluğu cihazı ve terazi ile ürünün dökme yoğunluğu ölçülmüştür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Yığın yoğunluğu ölçüm cihazı ve terazi

### 3.1.5 Kurutma Ekipmanı (Dikey Tip Akışkan Yataklı Kurutucu)

Deneyde kullanılan olan dikey tip akışkan yataklı kurutucu 108 mm çapında, 151 mm ürün haznesi boyunda ve toplam yüksekliği 853 mm olan paslanmaz çelikten imal edilen bir kurutucudur. İçerisinde 2 mm çapında delikleri olan perfore paslanmaz sac mevcuttur. Kurutma sistemi bilgisayar kontrollü bir sistemdir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Pilot dikey tip akışkan yataklı kurutucu

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Deney Parametreleri ve Ölçüm

Bu çalışma Asos Proses Makina fabrikası laboratuvarında, bir yapı firmasından temin edilmiş nemli silis kum numunesi ile yapılmıştır. Kurutma deneyinde kuruma prosesine etki eden faktörlerden; sıcaklık, kek yüksekliği ve partikül boyutu parametreleri 3'er farklı değerde incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler esnasında 3, 6, 9 ve 12. dakika sonundaki ürün sıcaklığı ve ürün nem değerleri ölçülmüştür. Ürün sıcaklığı numune alım esnasında termometre ile ölçülmüştür. Belirlenen dakikalarda alınan ürün numularının ürün nemi, nem tayin cihazı ile ölçülmüştür. Deneysel ve teorik elde edilen değerler grafiklendirilmiştir.

### 3.2.1.1 Sıcaklık

Deneyleerde kullanılan kurutma havası sıcaklığı 90°C, 120°C ve 150°C olarak belirlenip bu sıcaklıklarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1.2 Kek Yüksekliği

Çalışmada kullanılan silis kumun kurutma deneyleri 50 mm, 100 mm ve 150 mm yatak yüksekliklerinde gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1.3 Partikül Boyutu

Üç farklı boyutta temin edilmiş silis kumun partikül boyutlarının belirlenmesi amacıyla üçünden de ayrı ayrı numuneler alınıp Etüv'de 105 ° C de 24 saat kurutulup elek analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçlarına göre Çizelge 3.1'e göre 1.partikül boyutu 274,018 µm olarak, Çizelge 3.2'e göre 2.partikül boyutu 563,097 µm olarak ve Çizelge 3.3'e göre 3.partikül boyutu 910,310 µm olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 500 mikron altı silis kumun elek analiz tablosu

<b>Numune Miktarı (g) : 200</b>					
<b>Devir Sayısı (d/dk) : 140</b>					
<b>Test Süresi (dk) : 2</b>					
<b>Elek no</b>	<b>Partikül Boyutu (mikron, µ)</b>	<b>Boş elek ağırlığı (g)</b>	<b>Dolu elek ağırlığı (g)</b>	<b>Numune ağırlığı (g)</b>	<b>% Ağırlık değeri</b>
1	415	336,5	387	50,5	25,25
2	288	361,45	443,85	82,4	41,2
3	197	340,88	380,83	39,95	19,975
4	100	329,76	352,16	22,4	11,2
5	Elek altı	308,38	313,13	4,75	2,375
				<b>Toplam =%</b>	<b>100</b>

Çizelge 3.2 500 ve 850 mikron arası silis kumun elek analiz tablosu

<b>Numune Miktarı (g) : 200</b>					
<b>Devir Sayısı (d/dk) : 140</b>					
<b>Test Süresi (dk) : 2</b>					
<b>Elek no</b>	<b>Partikül Boyutu (mikron, <math>\mu</math>)</b>	<b>Boş elek ağırlığı (g)</b>	<b>Dolu elek ağırlığı (g)</b>	<b>Numune ağırlığı (g)</b>	<b>% Ağırlık değeri</b>
1	850	358,75	361,73	2,98	1,49
2	800	369,4	384,34	14,94	7,47
3	716	349,61	368,61	19	9,5
4	596	331,4	362,55	31,15	15,575
5	Elek Altı	333,95	465,88	131,93	65,965
				Toplam =%	100

Çizelge 3.3 1600 ve 596 mikron arası silis kumun elek analiz tablosu

<b>Numune Miktarı (g) : 200</b>					
<b>Devir Sayısı (d/dk) : 140</b>					
<b>Test Süresi (dk) : 2</b>					
<b>Elek no</b>	<b>Partikül Boyutu (mikron, <math>\mu</math>)</b>	<b>Boş elek ağırlığı (g)</b>	<b>Dolu elek ağırlığı (g)</b>	<b>Numune ağırlığı (g)</b>	<b>% Ağırlık değeri</b>
1	1600	351,41	375,42	24,01	12,005
2	1020	339,59	404,09	64,5	32,25
3	850	358,75	372,3	13,55	6,775
4	800	369,4	392,07	22,67	11,335
5	716	349,61	377,48	27,87	13,935
6	Elek Altı	331,4	378,81	47,41	23,705
				Toplam =%	100



### 3.2.1.4 Serbest Yığın Yoğunluğu

Yığın yoğunluğu, parçacıklar arası boşlukların bir yatağın birim hacmini kaplayan dökme katı kütlesidir. Partikül boyutunun belirlenmesi amacıyla Etüv'de 105°C 24 sat kurutulmuş olan kumun ve nemli olarak temin edilmiş halinden alınan numune ile serbest yığın yoğunluğu ölçülmüştür. Yığın yoğunluğu ekipmanında kullanılan kap hacmi sabit 100 ml, kap darası sabit : 367,8 g'dır (Çizelge.3.4, Çizelge.3.5 Çizelge.3.6, Çizelge.3.7, Çizelge.3.8, Çizelge.3.9).

Çizelge 3.4 Çap 274,018 mikron silis kumun kuru hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi

Tartım (g)	Hacim (ml)	Yoğunluk (g/ml) ( $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )
147,05	100	1,4705
144,02	100	1,4402
144,45	100	1,4445
	Ortalama	1,4517

Çizelge 3.5 Çap 274,018 mikron silis kumun nemli hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi

Tartım (g)	Hacim (ml)	Yoğunluk (g/ml) ( $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )
113,23	100	1,1323
121,65	100	1,2165
117,93	100	1,1793
	Ortalama	1,1760

Çizelge 3.6 Çap 563,097 mikron silis kumun kuru hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi

Tartım (g)	Hacim (ml)	Yoğunluk (g/ml) ( $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )
144,94	100	1,4494
144,05	100	1,4405
143,58	100	1,4358
	Ortalama	1,4419

Çizelge 3.7 Çap 563,097 mikron silis kumun nemli hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi

<b>Tartım (g)</b>	<b>Hacim (ml)</b>	<b>Yoğunluk (g/ml) (<math>\times 10^3 \text{ kg/m}^3</math>)</b>
132,04	100	1,3204
132,61	100	1,3261
133,96	100	1,3396
	Ortalama	1,3287

Çizelge 3.8 Çap 910,310 mikron silis kumun kuru hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi

<b>Tartım (g)</b>	<b>Hacim (ml)</b>	<b>Yoğunluk (g/ml) (<math>\times 10^3 \text{ kg/m}^3</math>)</b>
145,37	100	1,4537
145,83	100	1,4583
143,58	100	1,4358
	Ortalama	1,3287

Çizelge 3.9 Çap 910,310 mikron silis kumun nemli hal serbest yığın yoğunluğu çizelgesi

<b>Tartım (g)</b>	<b>Hacim (ml)</b>	<b>Yoğunluk (g/ml) (<math>\times 10^3 \text{ kg/m}^3</math>)</b>
139,53	100	1,3953
139,05	100	1,3905
140,95	100	1,4095
	Ortalama	1,3984

### 3.2.1.5 Nem Değerinin Belirlenmesi

Üç farklı boyutta temin edilip hava almayacak şekilde muhafaza edilmiş olan silis kumun başlangıç nem değerlerini ölçmek için ayrı ayrı numuneler alınarak, nem tayin cihazında üçer ölçüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlere göre numunelerin ortalama başlangıç nem değerleri %9,57 olarak belirlenmiştir.

### 3.2.1.6 Dikey Tip Akışkan Yataklı Kurutucunun Hazırlanması

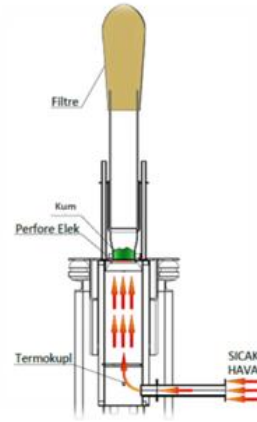
Bu çalışmada silis kumun kurutulmasını içeren toplam 27 adet deney yapılmıştır (Çizelge 3.10) . Her deney için belirlenmiş olan deney parametrelerindeki değerlere göre (kurutma sıcaklıkları 90 °C, 120 °C ve 150 °C) kurutucu ortalama 20-30 dakika boş bir şekilde çalıştırılmış olup istenilen sıcaklığa ulaşılması sağlanmıştır. Bilgisayar kontrollü olan bu kurutucu sisteminde deney parametreleri bu bilgisayar ekranından bilgiler girilerek yapılmıştır (Şekil 3.6). Deneyler kumun akışkanlaşmasını sağlamak amacıyla 9,51 mm/s vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma süresince ürünün kaynama hareketini görmek için kurutucunun hazne sonrası camdan imal edilmiştir. Kurutucunun ürün haznesinde ürüne sıcak hava geçişini sağlayan 2 mm çapında delikleri olan perfore paslanmaz bir sac (Şekil 3.7) mevcuttur. Bu kurutma sisteminde kurutma için kullanılacak olan sıcak hava, bir fan sayesinde hava ısıtıcıdan kurutucuya verilmektedir. Kurutucunun en üst bölümünde kurutma esnasında gerçekleşebilecek ürün kaybını engellemek için bir toz torba filtresi kullanılmıştır. Çalışmalarda sıcak hava hızı, silis kumun akışkanlaşmış kek yüksekliği yatak yüksekliğinin iki katı olacak şekilde akışkanlaşma sağlanıp sabitlenmiştir.

Çizelge 3.10 Deney parametreleri

Deney Sayısı	Deney Değişkenleri		
	Partikül Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık °C
<b>Deney-1</b>	274,018	50	90
<b>Deney-2</b>	274,018	50	120
<b>Deney-3</b>	274,018	50	150
<b>Deney-4</b>	274,018	100	90
<b>Deney-5</b>	274,018	100	120
<b>Deney-6</b>	274,018	100	150
<b>Deney-7</b>	274,018	150	90
<b>Deney-8</b>	274,018	150	120
<b>Deney-9</b>	274,018	150	150
<b>Deney-10</b>	563,097	50	90
<b>Deney-11</b>	563,097	50	120
<b>Deney-12</b>	563,097	50	150
<b>Deney-13</b>	563,097	100	90

Çizelge 3.10 Deney parametreleri devamı

<b>Deney-14</b>	563,097	100	120
<b>Deney-15</b>	563,097	100	150
<b>Deney-16</b>	563,097	150	90
<b>Deney-17</b>	563,097	150	120
<b>Deney-18</b>	563,097	150	150
<b>Deney-19</b>	910,310	50	90
<b>Deney-20</b>	910,310	50	120
<b>Deney-21</b>	910,310	50	150
<b>Deney-22</b>	910,310	100	90
<b>Deney-23</b>	910,310	100	120
<b>Deney-24</b>	910,310	100	150
<b>Deney-25</b>	910,310	150	90
<b>Deney-26</b>	910,310	150	120
<b>Deney-27</b>	910,310	150	150



Şekil 3.6 Dikey tip akışkan yataklı kurutucu



Şekil 3.7 Kurutucuya hava geçişinin sağlandığı delikli perfore sac

### 3.2.1.7 Ölçüm Aletleri

Bu çalışmada ürünün sıcaklığını ölçmek için bir adet termometre ve hava hızını ölçmek için de bir adet anemometre kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Kurutma işlemi esnasında kullanılan anemometre ve termometre

## 3.3 Matematiksel Hesapta Kullanılacak Formüller

### 3.3.1 Basınç Düşümü

Bir akışkan, bir partikül yatağından yukarı doğru geçirildiğinde, akışkanın sürtünme direncine bağlı basınç kaybı, artan akışkan akışı ile artar. Akışkanın partiküller üzerine uyguladığı yukarı doğru sürüklenme kuvveti, yataktaki partiküllerin görünen ağırlığına eşit olduğunda bir noktaya ulaşılır. Bu noktada partiküller akışkan tarafından sıkıştırılır, partiküllerin ayrılması artar ve yatak akışkan hale gelir. Akışkan yatak boyunca kuvvet dengesi, partikül yatağı boyunca sıvı basıncı kaybının, yatağın birim alanı başına partiküllerin görünen ağırlığına eşit olduğunu belirtir (Rhodes, 2008). Basınç düşümü aşağıdaki Ergun denklemi ile yakınsayarak hesaplanmıştır.

$$\Delta P = h \cdot \rho_g \cdot U^2 \left[ \frac{150 \cdot (1-\epsilon)}{Re_p \cdot \phi} + \frac{7}{4} \right] \frac{1-\epsilon}{\phi \cdot d_p \cdot \epsilon^3} \quad (3.1)$$

### 3.3.2 Boyutsuz Sayılar

Aşağıdaki boyutsuz sayılar ve literatürdeki araştırmacıların korelasyon denklemleri kullanılarak matematiksel hesap yapılacaktır.

$$Ar = \frac{\rho_p \cdot d_p^3 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g}{\mu^2} \quad (3.2)$$

### 3.3.3 Minimum Akışkanlaşma Hızı

Akışkan yatakların dinamik koşullarını etkileyen faktörler arasında en önemlilerden biri minimum akışkanlaşma hızıdır (Coltters ve Rivas, 2004).

Yüksek basınçlı bir fan yardımıyla yukarıya doğru beslenen akış hızı yükseltildikçe, beslenen hava parçacıklara daha fazla kuvvet uygulayarak parçacıkların arasındaki yerçekiminden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerini azaltır. Hız daha da yükseltildiğinde parçacıkların üstündeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek yukarı doğru akan akışkan (hava) içinde parçacıkların dengede kalmasını sağlar.

Bu durumda yatağı oluşturan parçacıklar akışkan özelliği sergilemeye başlamıştır ve bu durum minimum akışkanlaştırma hızı olarak tanımlanır ( Kurtuluş, 2007).

Minimum akışkanlaşma hızı korelasyonlardan bulunan  $Re_{mf}$ , havanın viskozitesi, havanın yoğunluğu ve partikül çapı ile hesaplanmıştır.

$$u_{mf} = \frac{Re_{mf} \cdot \mu}{\rho_f \cdot d_p} \quad (3.3)$$

### 3.3.4 Havanın Yoğunluğu ve Viskozitesi

90 °C, 120 °C ve 150 °C havanın yoğunluğu (3.4) ve viskozitesi (3.5) aşağıdaki formüllerden hesaplanmıştır.

$$\rho_f = 1,2 \cdot \left(\frac{293}{T}\right) \quad (3.4)$$

$$\mu_f = 1,46 \times 10^{-6} \cdot \frac{T^{1,504}}{(T+120)} \quad (3.5)$$

### 3.3.5 Literatürdeki Korelasyon Denklemleri

Literatürde bazı araştırmacıların minimum akışkanlaştırma hızı için çeşitli korelasyonları mevcuttur. Bu korelasyonlar kullanılarak deneysel değerler ile karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 3.11 Literatürdeki korelasyon denklemleri (Anantharaman, Cocco ve Chew, 2018)

Araştırmacı	Korelasyon Denklemi
Wen and Yu	$Remf = (33,7^2 + 0,0408Ar)^{0,5} - 33,7$
Bourgeois and Grenier	$Remf = (25,46^2 + 0,0382Ar)^{0,5} - 25,46$
Saxena and Vogel	$Remf = (25,28^2 + 0,0571Ar)^{0,5} - 25,28$
Babu, Shah and Talwalker	$Remf = (25,25^2 + 0,0651Ar)^{0,5} - 25,25$
Vaid and Sen Gupta	$Remf = (24^2 + 0,0546Ar)^{0,5} - 24$
Richardson and da S. Jerónimo	$Remf = (25,7^2 + 0,0365Ar)^{0,5} - 25,7$
Grace	$Remf = (27,2^2 + 0,0408Ar)^{0,5} - 27,2$
Chitester, Kornosky, Fan and Danko	$Remf = (28,7^2 + 0,0494Ar)^{0,5} - 28,7$
Thonglimp, Hiquily and Laguerie	$Remf = (31,6^2 + 0,0425Ar)^{0,5} - 31,6$
Zheng, Yamazaki and Jimbo	$Remf = (18,75^2 + 0,03125Ar)^{0,5} - 18,75$
Nakamura, Hamada, Toyama, Fouda and Capes	$Remf = (33,95^2 + 0,0465Ar)^{0,5} - 33,95$
Noda, Uchida, Makino and Kamo	$Remf = (19,29^2 + 0,0276Ar)^{0,5} - 19,29$
Sathyanarayana and Rao	$Remf = (30,1^2 + 0,0417Ar)^{0,5} - 30,1$
Panigrahi and Murty	$Remf = (32,2^2 + 0,0382Ar)^{0,5} - 32,2$
Wu and Baeyens	$Remf = (30,85^2 + 0,0379Ar)^{0,5} - 30,85$
Adánez and Abanades	$Remf = (25,18^2 + 0,0373Ar)^{0,5} - 25,18$
Tannous	$Remf = (23,785^2 + 0,0413Ar)^{0,5} - 23,785$
Biñ	$Remf = (27,31^2 + 0,0386Ar)^{0,5} - 27,31$
Hartman, Trnka and Svoboda	$Remf = (17,32^2 + 0,0216Ar)^{0,5} - 17,32$
Hilal, Ghannam and Anabtawi	$Remf = (13,07^2 + 0,0263Ar)^{0,5} - 13,07$
Zhiping, Yongjie and Qinggang	$Remf = (22,1^2 + 0,0354Ar)^{0,5} - 22,1$
Hartman, Pohořelý and Trnka	$Remf = (21,32^2 + 0,02833Ar)^{0,5} - 21,32$
Mohanta, Daram, Chakraborty and Meikap	$Remf = (41,96^2 + 0,049Ar)^{0,5} - 41,96$
Paudel and Feng	$Remf = (30,28^2 + 0,0464Ar)^{0,5} - 30,28$
Tannous and Lourenço	$Remf = (33,9^2 + 0,051Ar)^{0,5} - 33,9$

### 3.4 Termal Analiz

Termal analiz Testo marka termal kamera kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde belirli sürelerde kurutucunun ürün haznesinin sıcaklık dağılımı incelenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Termal kamera



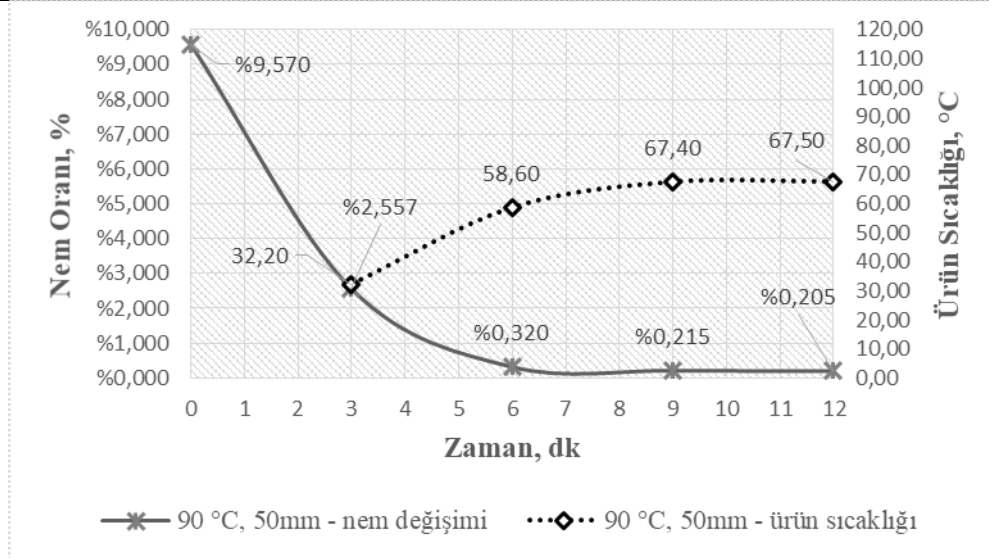
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 Nem Değişimi Analizi

Çizelge 4.1.'de değerleri belirtilen Deney 1'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 836 g olan silis kumu 90 ° C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 32,20 °C ölçülmüş olup ürün nemi %2,557, 6.dakikada ürün sıcaklığı 58,60°C ve ürün nemi %0,320, 9.dakikada ürün sıcaklığı 67,40°C ve ürün nemi %0,215, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 67,50 °C ve ürün nemi %0,205 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.1.).

Çizelge 4.1 Deney-1,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 90$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-1	0,000274	50mm	90 °C	%9,57	3	32,20 °C	%2,557
Deney-1	0,000274	50mm	90 °C	%9,57	6	58,60 °C	%0,320
Deney-1	0,000274	50mm	90 °C	%9,57	9	67,40 °C	%0,215
Deney-1	0,000274	50mm	90 °C	%9,57	12	67,50 °C	%0,205



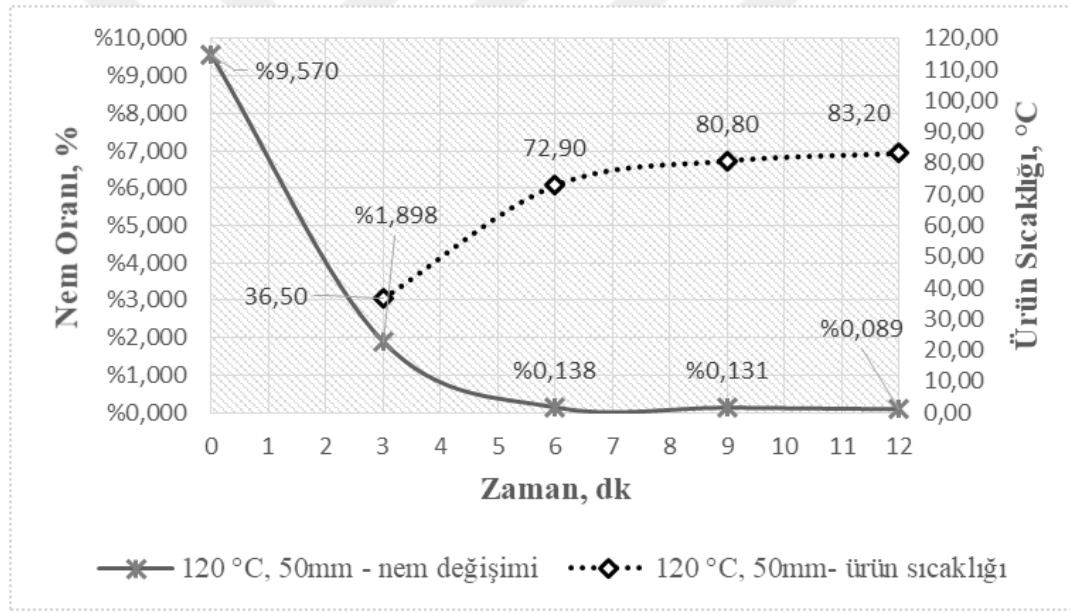
Şekil 4.1 Deney-1,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.2.'de değerleri belirtilen Deney 2'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 836 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile

gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 36,50 °C ölçülmüş olup ürün nemi %1,898, 6.dakikada ürün sıcaklığı 72,90 °C ve ürün nemi %0,138, 9.dakikada ürün sıcaklığı 80,80°C ve ürün nemi %0,131, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 83,20 °C ve ürün nemi %0,089 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2.).

Çizelge 4.2 Deney-2,  $dp_1=0,000274$  m,  $h=50$  mm,  $T=120$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut ( $\mu$ m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem %	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-2	0,000274	50mm	120 °C	%9,57	3	36,50 °C	%1,898
Deney-2	0,000274	50mm	120 °C	%9,57	6	72,90 °C	%0,138
Deney-2	0,000274	50mm	120 °C	%9,57	9	80,80 °C	%0,131
Deney-2	0,000274	50mm	120 °C	%9,57	12	83,20 °C	%0,089

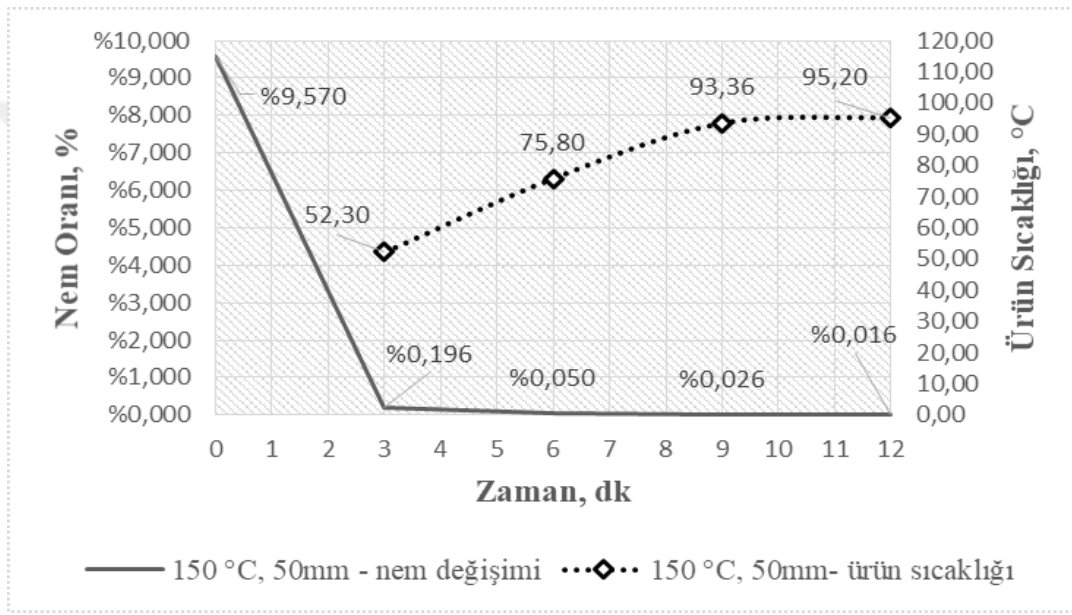


Şekil 4.2 Deney-2,  $dp_1=0,000274$  m,  $h=50$  mm,  $T=120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.3.'de değerleri belirtilen Deney 3'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 836 g olan silis kumu 150 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 52,30 °C ölçülmüş olup ürün nemi %0,196, 6.dakikada ürün sıcaklığı 75,80 °C ve ürün nemi %0,050, 9.dakikada ürün sıcaklığı 93,36 °C ve ürün nemi %0,026, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 95,20 °C ve ürün nemi %0,016 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3.).

Çizelge 4.3 Deney-3,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 150$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut ( $\mu$ m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem %	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-3	0,000274	50mm	150 °C	%9,57	3	52,30 °C	%0,196
Deney-3	0,000274	50mm	150 °C	%9,57	6	75,80°C	%0,050
Deney-3	0,000274	50mm	150 °C	%9,57	9	93,36 °C	%0,026
Deney-3	0,000274	50mm	150 °C	%9,57	12	95,20 °C	%0,016

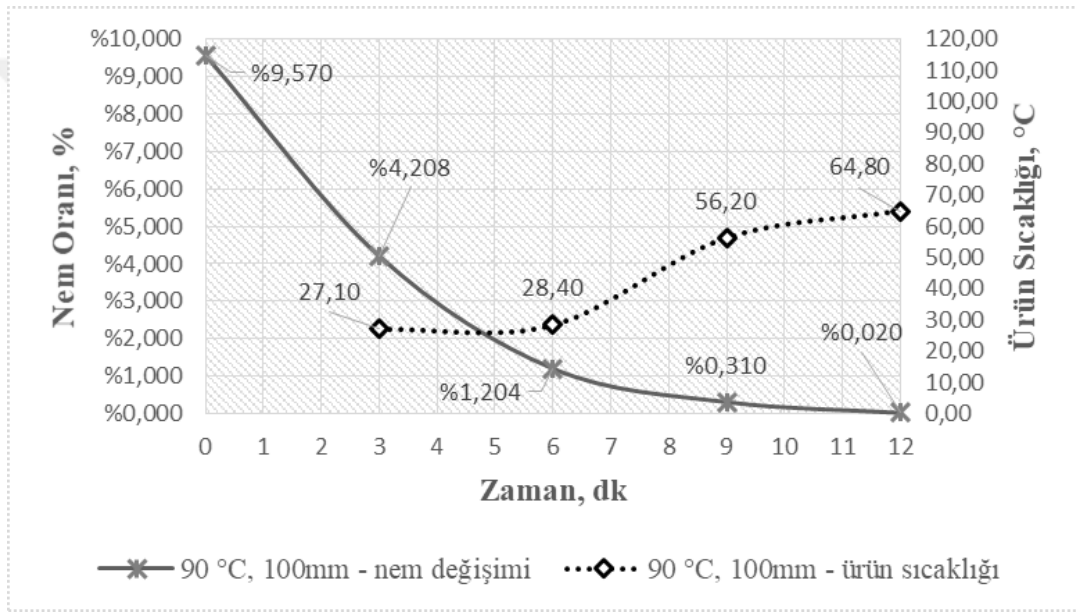


Şekil 4.3 Deney-3,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.4.'de değerleri belirtilen Deney 4'te başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1683 g olan silis kumu 90 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 27,10 °C ölçülmüş olup ürün nemi %4,208, 6.dakikada ürün sıcaklığı 28,40 °C ve ürün nemi %1,204, 9.dakikada ürün sıcaklığı 56,20 °C ve ürün nemi %0,310, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 64,80 °C ve ürün nemi %0,020 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.4.).

Çizelge 4.4 Deney-4,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 90$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-4	0,000274	100mm	90 °C	%9,57	3	27,10 °C	%4,208
Deney-4	0,000274	100mm	90 °C	%9,57	6	28,40 °C	%1,204
Deney-4	0,000274	100mm	90 °C	%9,57	9	56,20 °C	%0,310
Deney-4	0,000274	100mm	90 °C	%9,57	12	64,80 °C	%0,020

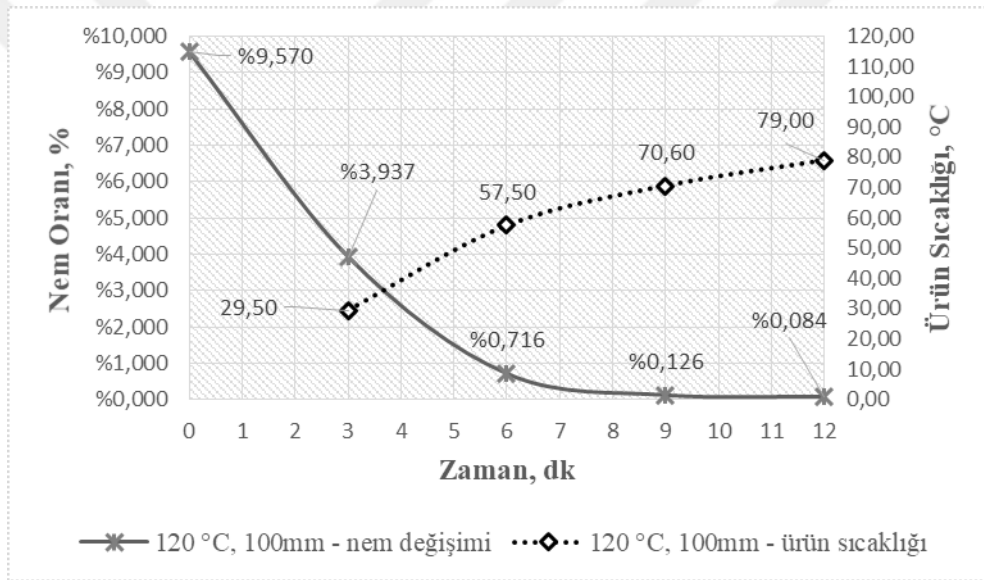


Şekil 4.4 Deney-4,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.5.'de değerleri belirtilen Deney 5'te başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1683 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 29,50 °C ölçülmüş olup ürün nemi %3,937, 6.dakikada ürün sıcaklığı 57,50 °C ve ürün nemi %0,716, 9.dakikada ürün sıcaklığı 70,60 °C ve ürün nemi %0,126, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 79,00 °C ve ürün nemi %0,084 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5.).

Çizelge 4.5 Deney-5,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 120$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-5	0,000274	100mm	120 °C	%9,57	3	29,50 °C	%3,937
Deney-5	0,000274	100mm	120 °C	%9,57	6	57,50 °C	%0,716
Deney-5	0,000274	100mm	120 °C	%9,57	9	70,60 °C	%0,126
Deney-5	0,000274	100mm	120 °C	%9,57	12	79,00 °C	%0,084

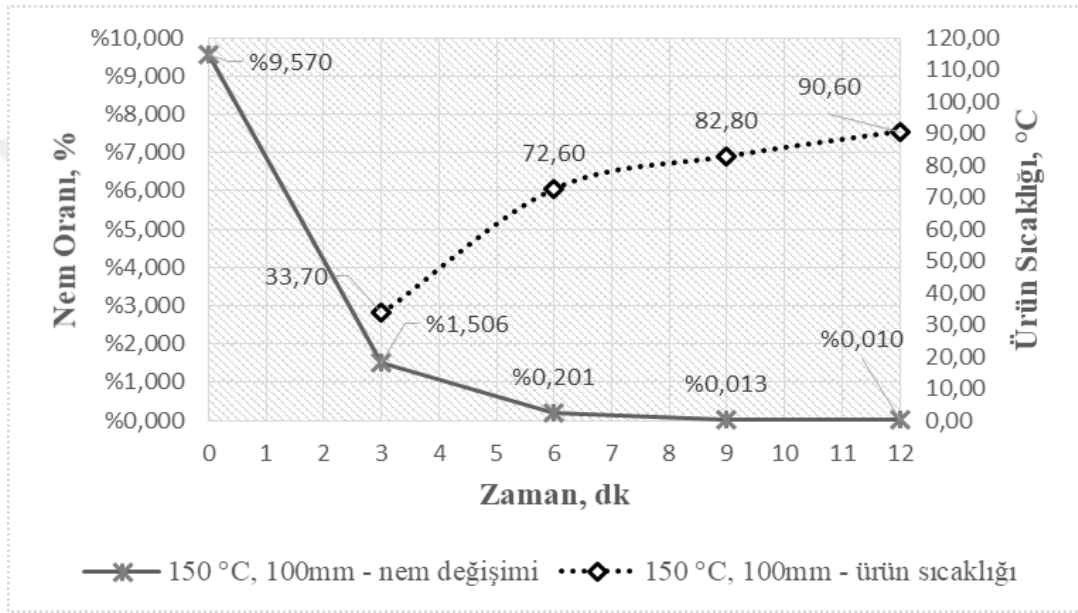


Şekil 4.5 Deney-5,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.6.'de değerleri belirtilen Deney 6'da başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1683 g olan silis kumu 150 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 33,70 °C ölçülmüş olup ürün nemi %1,506, 6.dakikada ürün sıcaklığı 72,60 °C ve ürün nemi %0,201 9.dakikada ürün sıcaklığı 82,80 °C ve ürün nemi %0,013, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 90,60 °C ve ürün nemi %0,010 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.6.).

Çizelge 4.6 Deney-6,  $dp_1= 0,000274$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 150$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-6	0,000274	100mm	150 °C	%9,57	3	33,70 °C	%1,506
Deney-6	0,000274	100mm	150 °C	%9,57	6	72,60 °C	%0,201
Deney-6	0,000274	100mm	150 °C	%9,57	9	82,80 °C	%0,013
Deney-6	0,000274	100mm	150 °C	%9,57	12	90,60 °C	%0,010

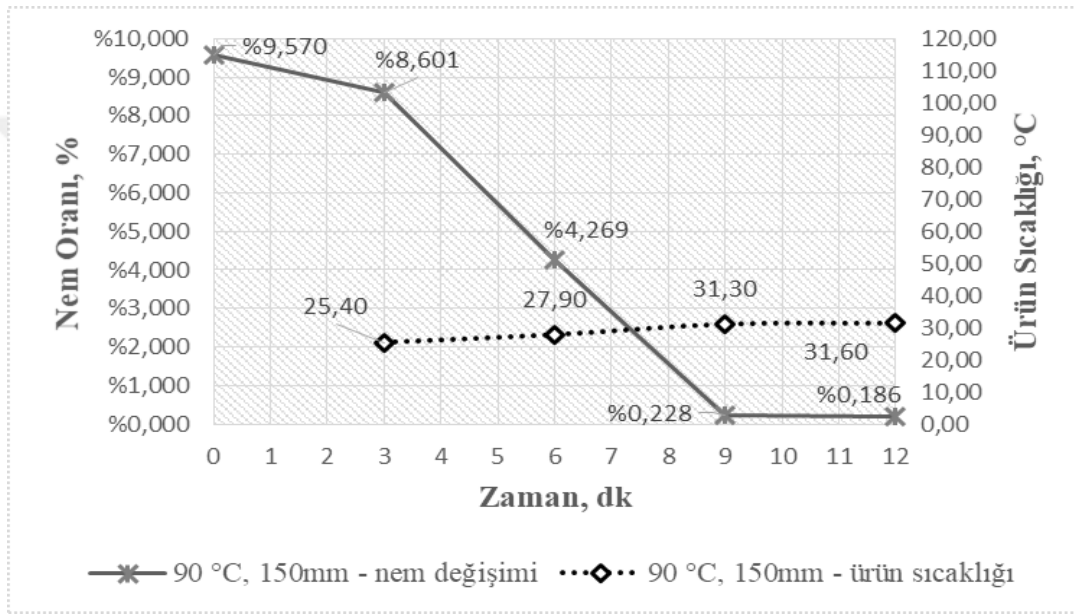


Şekil 4.6 Deney-6,  $dp_1= 0,000274$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.7.'de değerleri belirtilen Deney 7'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2909 g olan silis kumu 90 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 25,40 °C ölçülmüş olup ürün nemi %8,601, 6.dakikada ürün sıcaklığı 27,90 °C ve ürün nemi %4,269, 9.dakikada ürün sıcaklığı 31,30 °C ve ürün nemi %0,228, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 31,60 °C ve ürün nemi % 0,186 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.7.).

Çizelge 4.7 Deney-7,  $dp_1= 0,000274$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 90$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-7	0,000274	150mm	90 °C	%9,57	3	25,40 °C	%8,601
Deney-7	0,000274	150mm	90 °C	%9,57	6	27,90 °C	%4,269
Deney-7	0,000274	150mm	90 °C	%9,57	9	31,30 °C	%0,228
Deney-7	0,000274	150mm	90 °C	%9,57	12	31,60 °C	%0,186

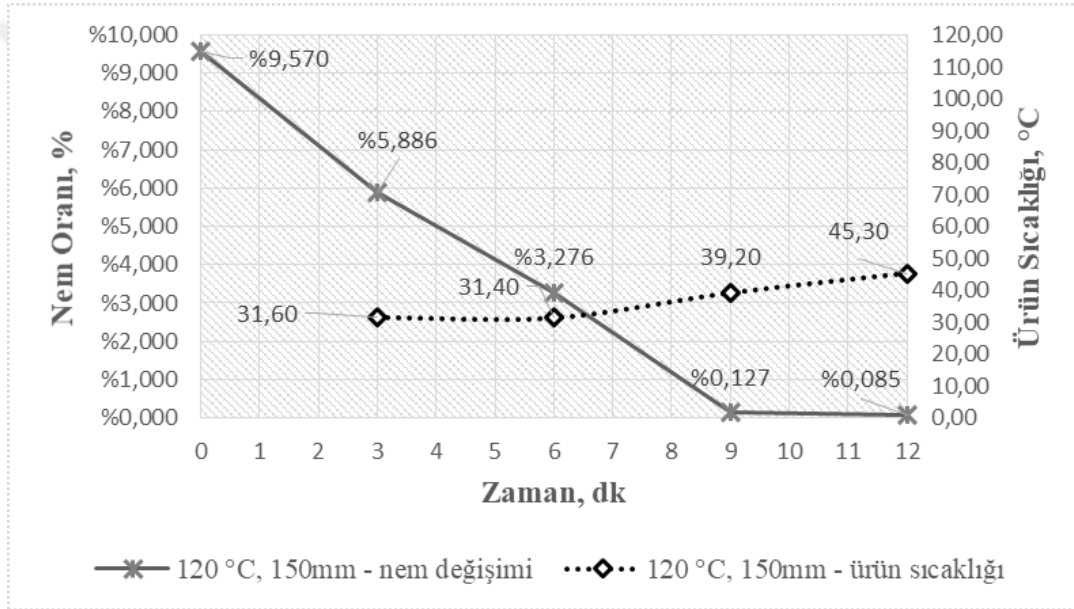


Şekil 4.7 Deney-7,  $dp_1= 0,000274$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.8.'de değerleri belirtilen Deney 8'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2909 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 31,60 °C ölçülmüş olup ürün nemi %5,886, 6.dakikada ürün sıcaklığı 31,40 °C ve ürün nemi %3,276, 9.dakikada ürün sıcaklığı 39,20 °C ve ürün nemi %0,127, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 45,30 °C ve ürün nemi % 0,085 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8.).

Çizelge 4.8 Deney-8,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 120$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-8	0,000274	150mm	120 °C	%9,57	3	31,60 °C	%5,886
Deney-8	0,000274	150mm	120 °C	%9,57	6	31,40 °C	%3,276
Deney-8	0,000274	150mm	120 °C	%9,57	9	39,20 °C	%0,127
Deney-8	0,000274	150mm	120 °C	%9,57	12	45,30 °C	%0,085



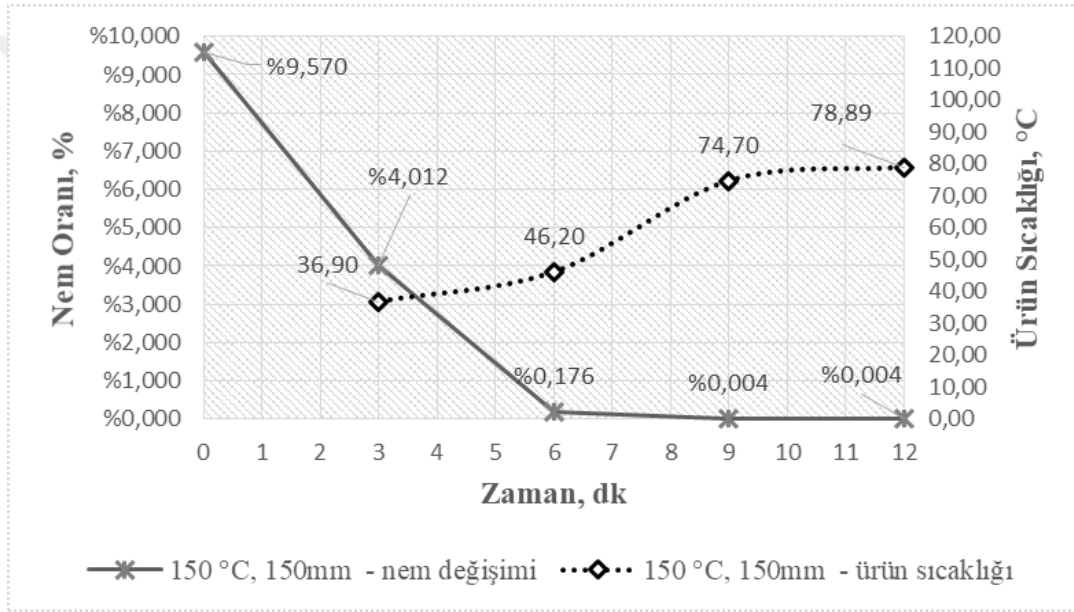
Şekil 4.8 Deney-8,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.9.'de değerleri belirtilen Deney 9'da başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2909 g olan silis kumu 150° C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 36,90 °C ölçülmüş olup ürün nemi 4,012%, 6.dakikada ürün sıcaklığı 46,20 °C ve ürün nemi %0,176, 9.dakikada ürün sıcaklığı 74,70 °C ve ürün nemi %0,004, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 78,89 °C ve ürün nemi %0,004 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.9.).



Çizelge 4.9 Deney-9,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 150$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-9	0,000274	150mm	150 °C	%9,57	3	36,90 °C	%4,012
Deney-9	0,000274	150mm	150 °C	%9,57	6	46,20 °C	%0,176
Deney-9	0,000274	150mm	150 °C	%9,57	9	74,70 °C	%0,004
Deney-9	0,000274	150mm	150 °C	%9,57	12	78,89 °C	%0,004

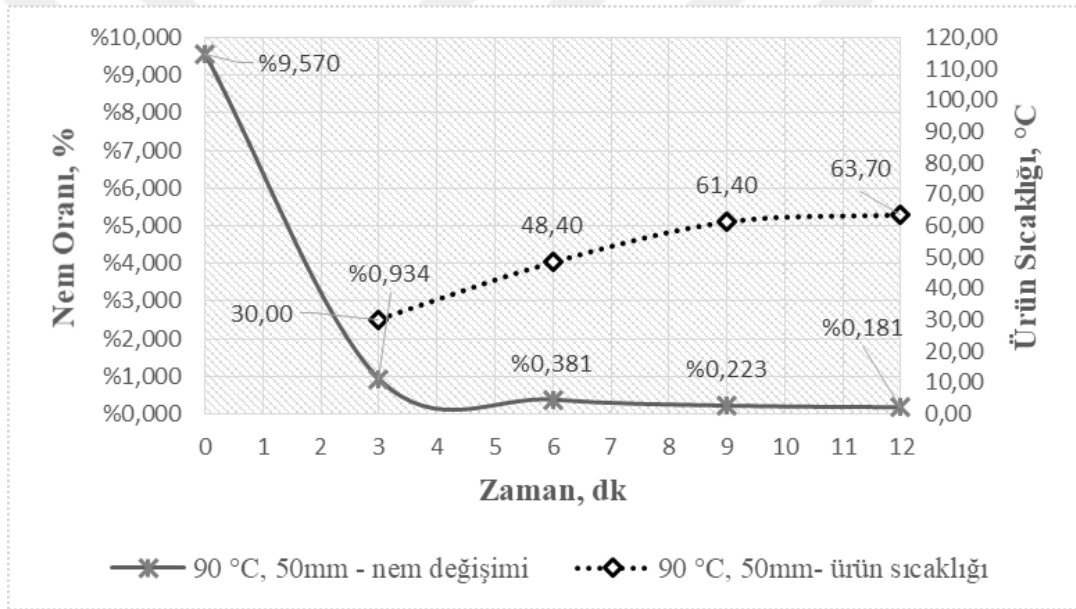


Şekil 4.9 Deney-9,  $dp_1 = 0,000274$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.10.'de değerleri belirtilen Deney 10'da başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 894 g olan silis kumu 90 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 30,00 °C ölçülmüş olup ürün nemi %0,934, 6.dakikada ürün sıcaklığı 48,40 °C ve ürün nemi %0,381, 9.dakikada ürün sıcaklığı 61,40 °C ve ürün nemi %0,223, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 63,70 °C ve ürün nemi %0,181 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.10.).

Çizelge 4.10 Deneysel-10,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 50$  mm,  $T= 90$  °C kuruma tablosu

Deneysel	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deneysel Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deneysel-10	0,000563	50mm	90 °C	%9,57	3	30,00 °C	%0,934
Deneysel-10	0,000563	50mm	90 °C	%9,57	6	48,40 °C	%0,381
Deneysel-10	0,000563	50mm	90 °C	%9,57	9	61,40 °C	%0,223
Deneysel-10	0,000563	50mm	90 °C	%9,57	12	63,70 °C	%0,181

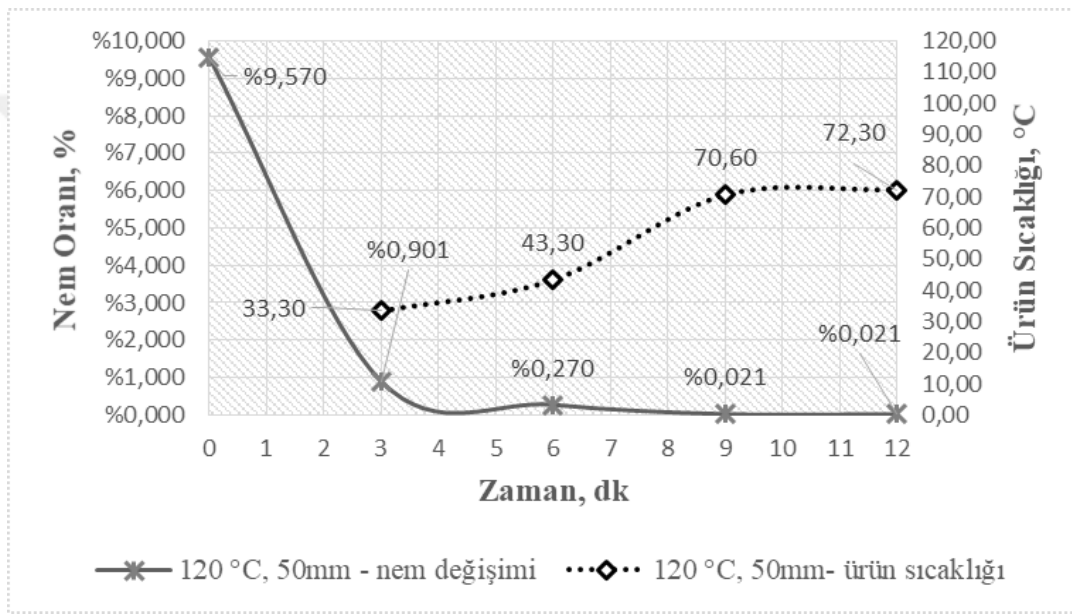


Şekil 4.10 Deneysel-10,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 50$  mm,  $T= 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değışimi

Çizelge 4.11.'de değeri belirtilen Deneysel 11'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50mm, yaş ağırlığı 894 g olan silis kumu 120° C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneysel, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 33,30 °C ölçülmüş olup ürün nemi %0,901, 6.dakikada ürün sıcaklığı 43,30 °C ve ürün nemi %0,270, 9.dakikada ürün sıcaklığı 70,60 °C ve ürün nemi %0,021, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 72,30 °C ve ürün nemi %0,021 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.11.).

Çizelge 4.11 Deney-11,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 50$  mm,  $T= 120$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-11	0,000563	50mm	120 °C	%9,57	3	33,30 °C	%0,901
Deney-11	0,000563	50mm	120 °C	%9,57	6	43,30 °C	%0,270
Deney-11	0,000563	50mm	120 °C	%9,57	9	70,60 °C	%0,021
Deney-11	0,000563	50mm	120 °C	%9,57	12	72,30 °C	%0,021

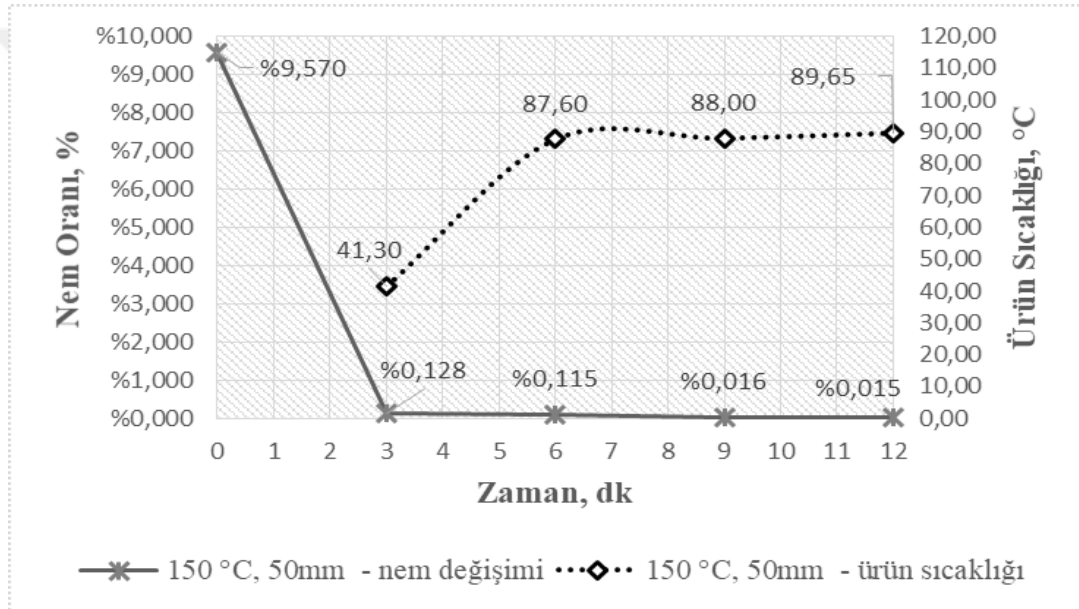


Şekil 4.11 Deney-11,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 50$  mm,  $T= 120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.12.'de değerleri belirtilen Deney 12'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 894 g olan silis kumu 150 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 41,30 °C ölçülmüş olup ürün nemi %0,128, 6.dakikada ürün sıcaklığı 87,60 °C ve ürün nemi %0,115, 9.dakikada ürün sıcaklığı 88,00 °C ve ürün nemi %0,016, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 89,65 °C ve ürün nemi %0,015 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.12.).

Çizelge 4.12 Deney-12,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 50$  mm,  $T= 150$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-12	0,000563	50mm	150 °C	%9,57	3	41,30 °C	%0,128
Deney-12	0,000563	50mm	150 °C	%9,57	6	87,60°C	%0,115
Deney-12	0,000563	50mm	150 °C	%9,57	9	88,00°C	%0,016
Deney-12	0,000563	50mm	150 °C	%9,57	12	89,65°C	%0,015

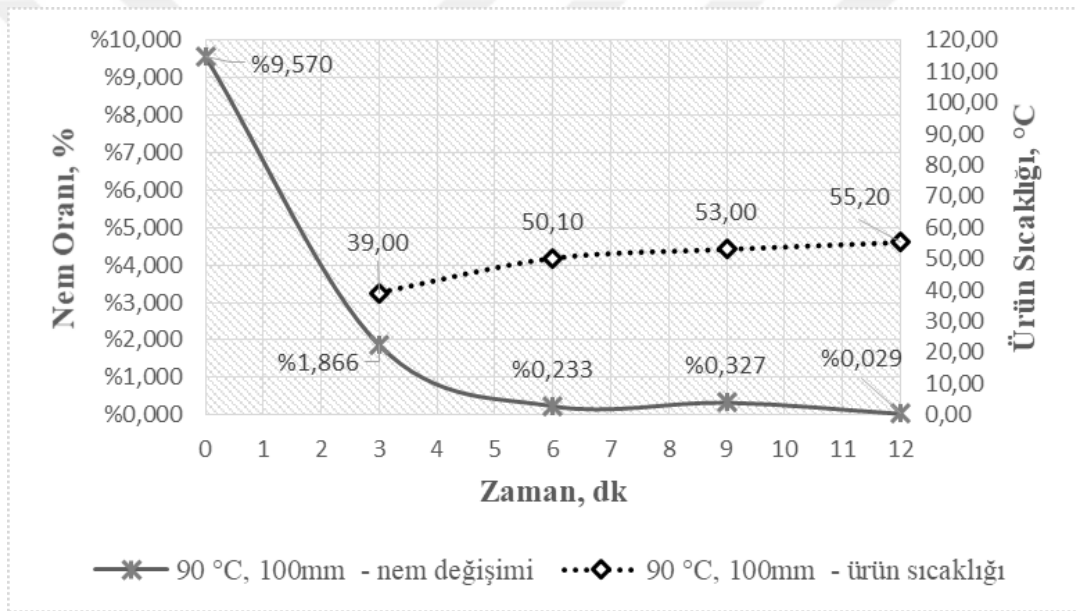


Şekil 4.12 Deney-12,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 50$  mm,  $T= 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.13.'de değerleri belirtilen Deney 13'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1788 g olan silis kumu 90° C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 39°C ölçülmüş olup ürün nemi %1,866, 6.dakikada ürün sıcaklığı 50,10 °C ve ürün nemi %0,233, 9.dakikada ürün sıcaklığı 53,00 °C ve ürün nemi %0,327, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 55,20 °C ve ürün nemi %0,029 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.13.).

Çizelge 4.13 Deney-13,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 90$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-13	0,000563	100mm	90 °C	%9,57	3	39,00 °C	%1,866
Deney-13	0,000563	100mm	90 °C	%9,57	6	50,10 °C	%0,233
Deney-13	0,000563	100mm	90 °C	%9,57	9	53,00 °C	%0,327
Deney-13	0,000563	100mm	90 °C	%9,57	12	55,20 °C	%0,029

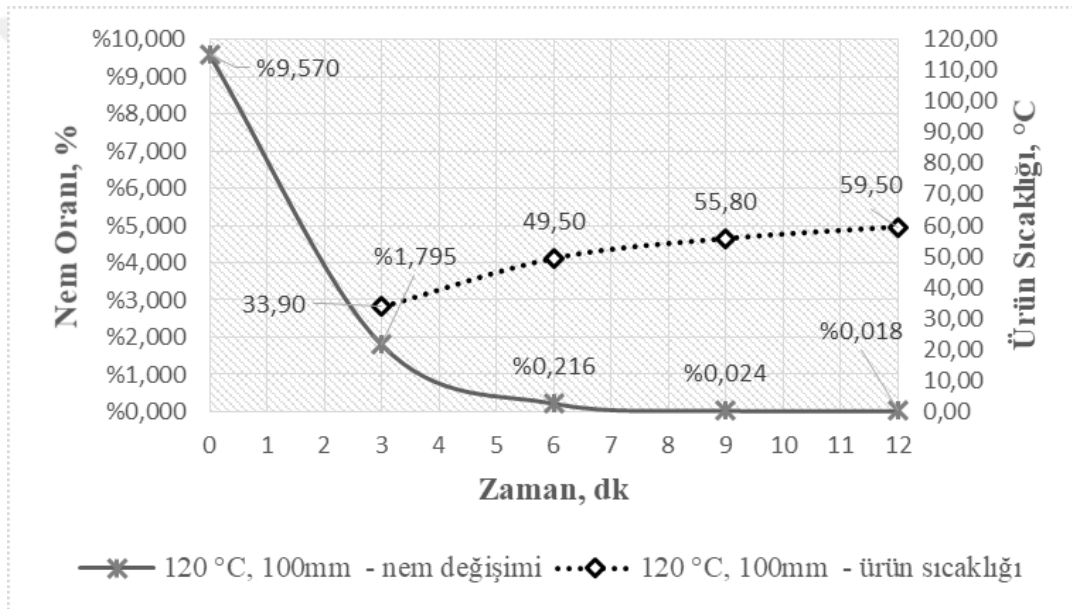


Şekil 4.13 Deney-13,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.14.'de değerleri belirtilen Deney 14'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1788 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 33,90 °C ölçülmüş olup ürün nemi %1,795, 6.dakikada ürün sıcaklığı 49,50 °C ve ürün nemi %0,216, 9.dakikada ürün sıcaklığı 55,80 °C ve ürün nemi %0,024, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 59,50 °C ve ürün nemi %0,018 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.14.).

Çizelge 4.14 Deneysel-14,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 120$  °C kuruma tablosu

Deneysel	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deneysel Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deneysel-14	0,000563	100mm	120 °C	%9,57	3	33,90 °C	%1,795
Deneysel-14	0,000563	100mm	120 °C	%9,57	6	49,50 °C	%0,216
Deneysel-14	0,000563	100mm	120 °C	%9,57	9	55,80 °C	%0,024
Deneysel-14	0,000563	100mm	120 °C	%9,57	12	59,50 °C	%0,018

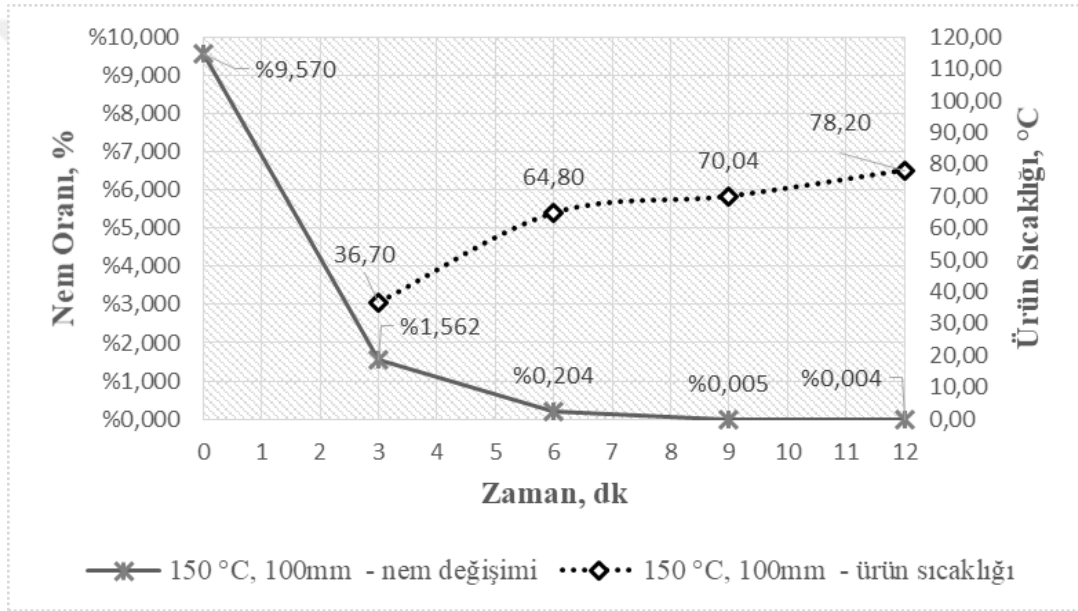


Şekil 4.14 Deneysel-14,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.15.'de değerleri belirtilen Deneysel 15'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1788 g olan silis kumu 150 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneysel, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 36,70 °C ölçülmüş olup ürün nemi %1,562, 6.dakikada ürün sıcaklığı 64,80 °C ve ürün nemi %0,204, 9.dakikada ürün sıcaklığı 70,04 °C ve ürün nemi %0,005, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 78,20 °C ve ürün nemi %0,004 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.15.).

Çizelge 4.15 Deneysel-15,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 150$  °C kuruma tablosu

Deneysel	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deneysel Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deneysel-15	0,000563	100mm	150 °C	%9,57	3	36,70 °C	%1,562
Deneysel-15	0,000563	100mm	150 °C	%9,57	6	64,80 °C	%0,204
Deneysel-15	0,000563	100mm	150 °C	%9,57	9	70,04 °C	%0,005
Deneysel-15	0,000563	100mm	150 °C	%9,57	12	78,20 °C	%0,004

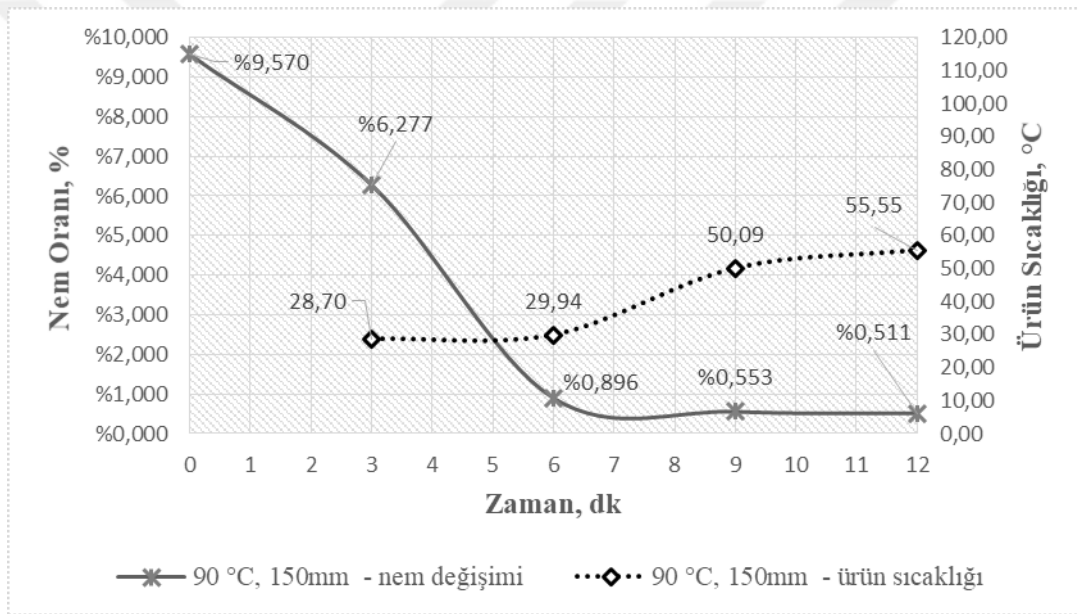


Şekil 4.15 Deneysel-15,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.16.'de değerleri belirtilen Deneysel 16'da başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2683 g olan silis kumu 90 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneysel, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 28,70 °C ölçülmüş olup ürün nemi %6,277, 6.dakikada ürün sıcaklığı 29,30 °C ve ürün nemi %0,896, 9.dakikada ürün sıcaklığı 50,09 °C ve ürün nemi %0,553, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 55,55 °C ve ürün nemi %0,511 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.16.).

Çizelge 4.16 Deney-16,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 90$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-16	0,000563	150mm	90 °C	%9,57	3	28,70 °C	%6,277
Deney-16	0,000563	150mm	90 °C	%9,57	6	29,30 °C	%0,896
Deney-16	0,000563	150mm	90 °C	%9,57	9	50,09 °C	%0,553
Deney-16	0,000563	150mm	90 °C	%9,57	12	55,55 °C	%0,511



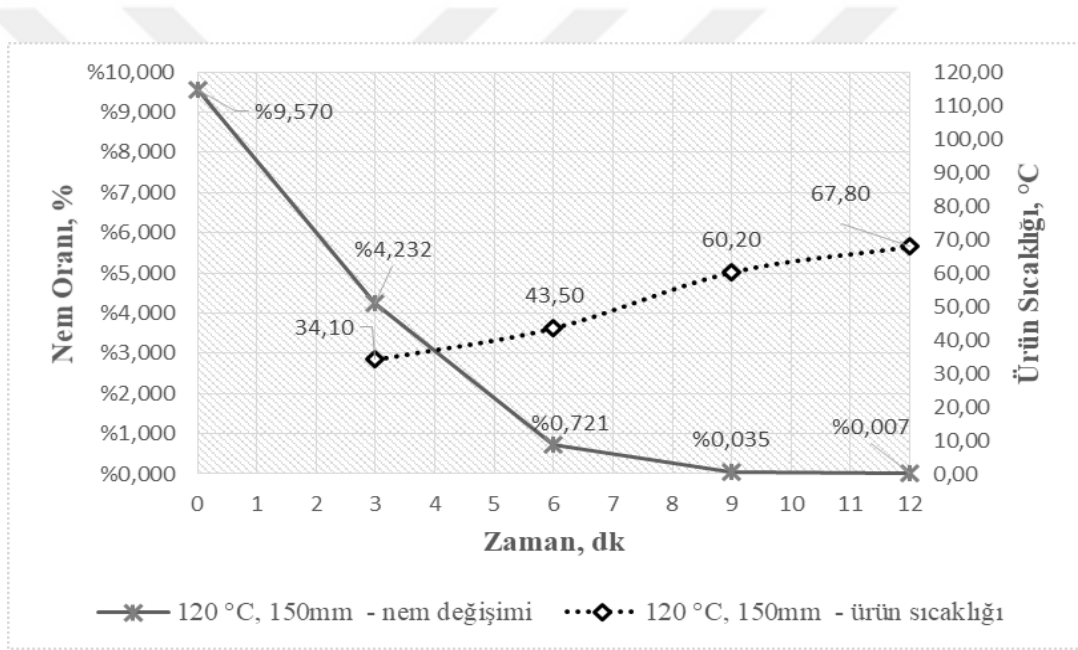
Şekil 4.16 Deney-16,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.17.'de değerleri belirtilen Deney 17'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2683 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 34,10 °C ölçülmüş olup ürün nemi %4,2320, 6.dakikada ürün sıcaklığı 43,50 °C ve ürün nemi %0,721, 9.dakikada ürün sıcaklığı 60,20 °C ve ürün nemi %0,035, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 67,80 °C ve ürün nemi %0,007 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.17.).



Çizelge 4.17 Deney-17,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 120$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-17	0,000563	150mm	120 °C	%9,57	3	34,10 °C	%4,232
Deney-17	0,000563	150mm	120 °C	%9,57	6	43,50 °C	%0,721
Deney-17	0,000563	150mm	120 °C	%9,57	9	60,20 °C	%0,035
Deney-17	0,000563	150mm	120 °C	%9,57	12	67,80 °C	%0,007

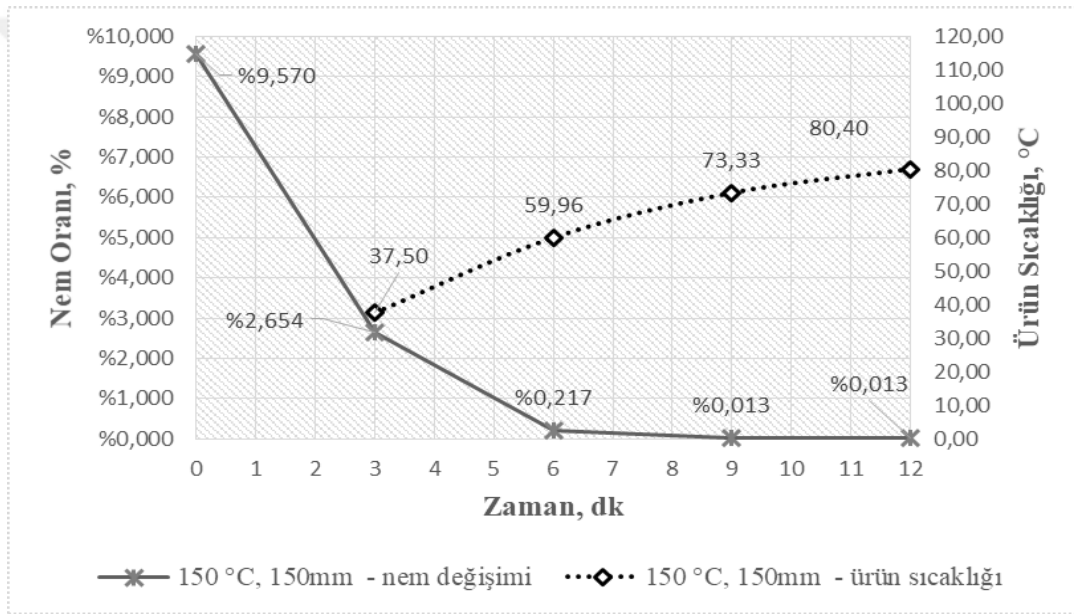


Şekil 4.17 Deney-17,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.18.'de değerleri belirtilen Deney 18'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2683 g olan silis kumu 150 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 37,50 °C ölçülmüş olup ürün nemi %2,654, 6.dakikada ürün sıcaklığı 59,96 °C ve ürün nemi %0,217, 9.dakikada ürün sıcaklığı 73,33 °C ve ürün nemi %0,013, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 80,40 °C ve ürün nemi %0,013 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.18.).

Çizelge 4.18 Deneysel-18,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 150$  °C kuruma tablosu

Deneysel	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deneysel Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deneysel-18	0,000563	150mm	150 °C	%9,57	3	37,50 °C	%2,654
Deneysel-18	0,000563	150mm	150 °C	%9,57	6	59,96 °C	%0,217
Deneysel-18	0,000563	150mm	150 °C	%9,57	9	73,33 °C	%0,013
Deneysel-18	0,000563	150mm	150 °C	%9,57	12	80,40 °C	%0,013

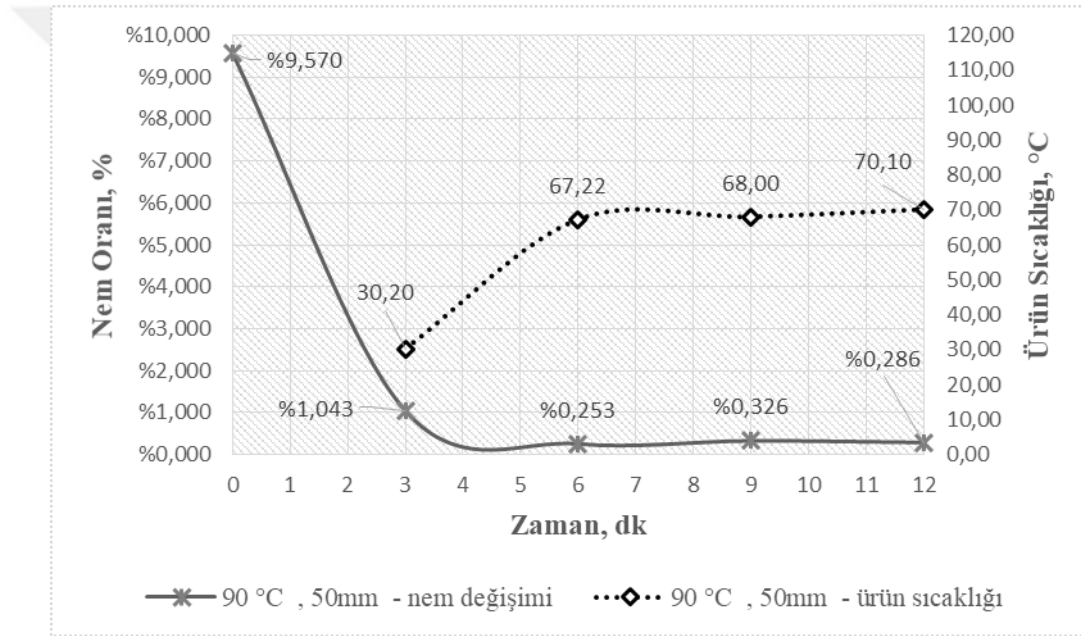


Şekil 4.18 Deneysel-18,  $dp_2= 0,000563$  m,  $h= 150$  mm,  $T= 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.19.'da değerleri belirtilen Deneysel 19'da başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 907 g olan silis kumu 90 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneysel, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 30,20 °C ölçülmüş olup ürün nemi %1,043, 6.dakikada ürün sıcaklığı 67,22 °C ve ürün nemi %0,253, 9.dakikada ürün sıcaklığı 68,00 °C ve ürün nemi %0,326, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 70,10 °C ve ürün nemi %0,286 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.19.).

Çizelge 4.19 Dene-19,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 90$  °C kuruma tablosu

Dene-19	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Dene-19 Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Dene-19	0,000910	50mm	90 °C	%9,57	3	30,20 °C	%1,043
Dene-19	0,000910	50mm	90 °C	%9,57	6	67,22 °C	%0,253
Dene-19	0,000910	50mm	90 °C	%9,57	9	68,00 °C	%0,326
Dene-19	0,000910	50mm	90 °C	%9,57	12	70,10 °C	%0,286

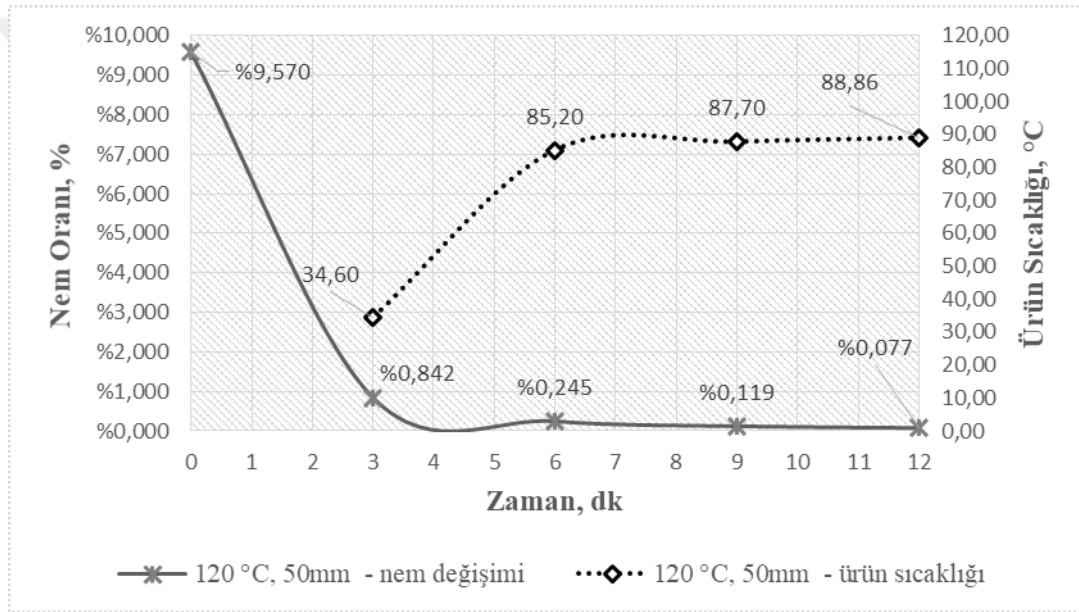


Şekil 4.19 Dene-19,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 90$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.20.'de değerleri belirtilen Dene-20'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 907 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Dene-ler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 34,60 °C ölçülmüş olup ürün nemi %0,842, 6.dakikada ürün sıcaklığı 85,20 °C ve ürün nemi %0,245, 9.dakikada ürün sıcaklığı 87,70 °C ve ürün nemi %0,119, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 88,86 °C ve ürün nemi %0,077 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.20.).

Çizelge 4.20 Deney-20,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 120$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-20	0,000910	50mm	120 °C	%9,57	3	34,60 °C	%0,842
Deney-20	0,000910	50mm	120 °C	%9,57	6	85,20 °C	%0,245
Deney-20	0,000910	50mm	120 °C	%9,57	9	87,70 °C	%0,119
Deney-20	0,000910	50mm	120 °C	%9,57	12	88,86 °C	%0,077

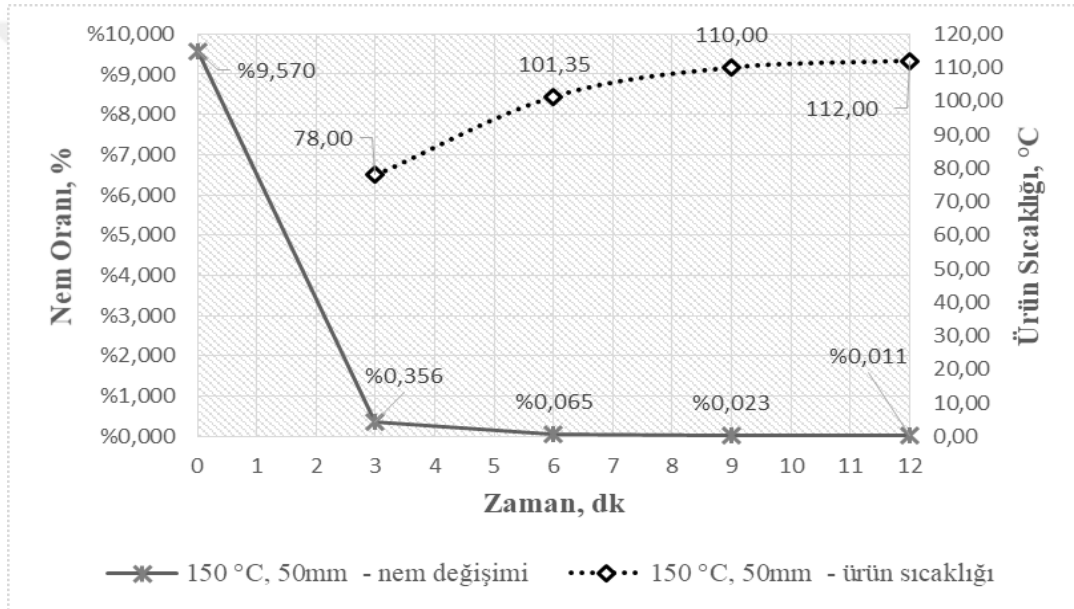


Şekil 4.20 Deney-20,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 120$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.21.'de değerleri belirtilen Deney 21'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 50 mm, yaş ağırlığı 907 g olan silis kumu 150 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 78,00 °C ölçülmüş olup ürün nemi %0,356, 6.dakikada ürün sıcaklığı 101,35 °C ve ürün nemi %0,065, 9.dakikada ürün sıcaklığı 110,0 °C ve ürün nemi %0,023, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 112,0 °C ve ürün nemi %0,011 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.21.).

Çizelge 4.21 Deney-21,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 150$  °C kuruma tablosu

Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deney-21	0,000910	50mm	150 °C	%9,57	3	78,00 °C	%0,356
Deney-21	0,000910	50mm	150 °C	%9,57	6	101,35°C	%0,065
Deney-21	0,000910	50mm	150 °C	%9,57	9	110,0 °C	%0,023
Deney-21	0,000910	50mm	150 °C	%9,57	12	112,0 °C	%0,011

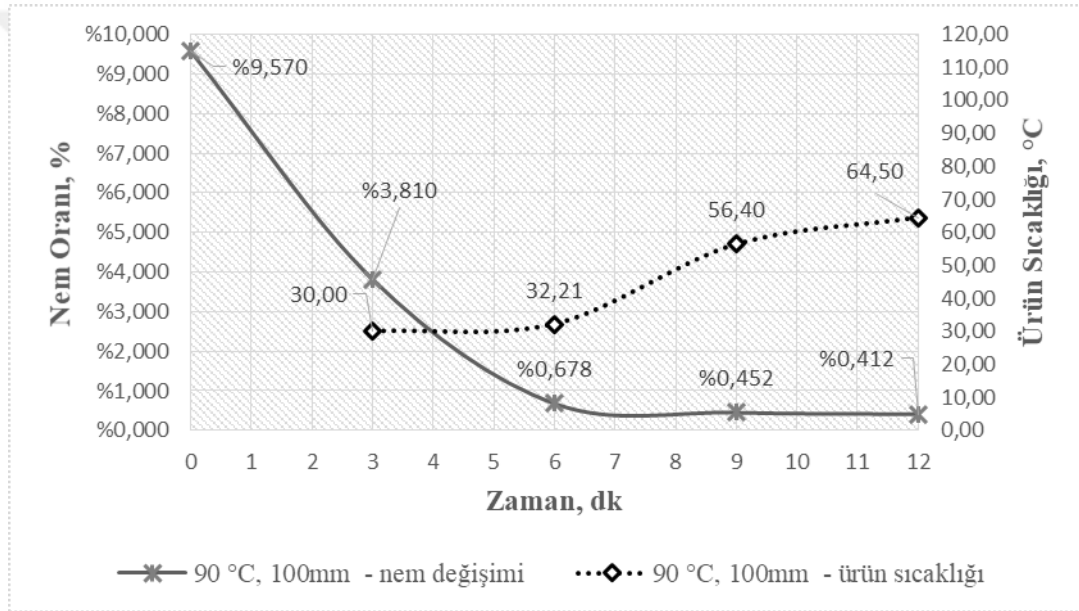


Şekil 4.21 Deney-21,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 50$  mm,  $T = 150$  °C ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.22.'de değerleri belirtilen Deney 22'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100mm, yaş ağırlığı 1883 g olan silis kumu 90° C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneyle, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 30,00 °C ölçülmüş olup ürün nemi %3,810, 6.dakikada ürün sıcaklığı 32,21 °C ve ürün nemi %0,678, 9.dakikada ürün sıcaklığı 56,40 °C ve ürün nemi %0,452, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 64,50°C ve ürün nemi %0,412 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.22.).

Çizelge 4.22 Deneý-22,  $dp_3= 0,000910$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 90^\circ\text{C}$  kuruma tablosu

Deneý	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Başlangıç Nem%	Deneý Dakikası	Ürün Sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Ürün Nemi (%)
Deneý-22	0,000910	100mm	90 $^\circ\text{C}$	%9,57	3	30,00 $^\circ\text{C}$	%3,810
Deneý-22	0,000910	100mm	90 $^\circ\text{C}$	%9,57	6	32,21 $^\circ\text{C}$	%0,678
Deneý-22	0,000910	100mm	90 $^\circ\text{C}$	%9,57	9	56,40 $^\circ\text{C}$	%0,452
Deneý-22	0,000910	100mm	90 $^\circ\text{C}$	%9,57	12	64,50 $^\circ\text{C}$	%0,412

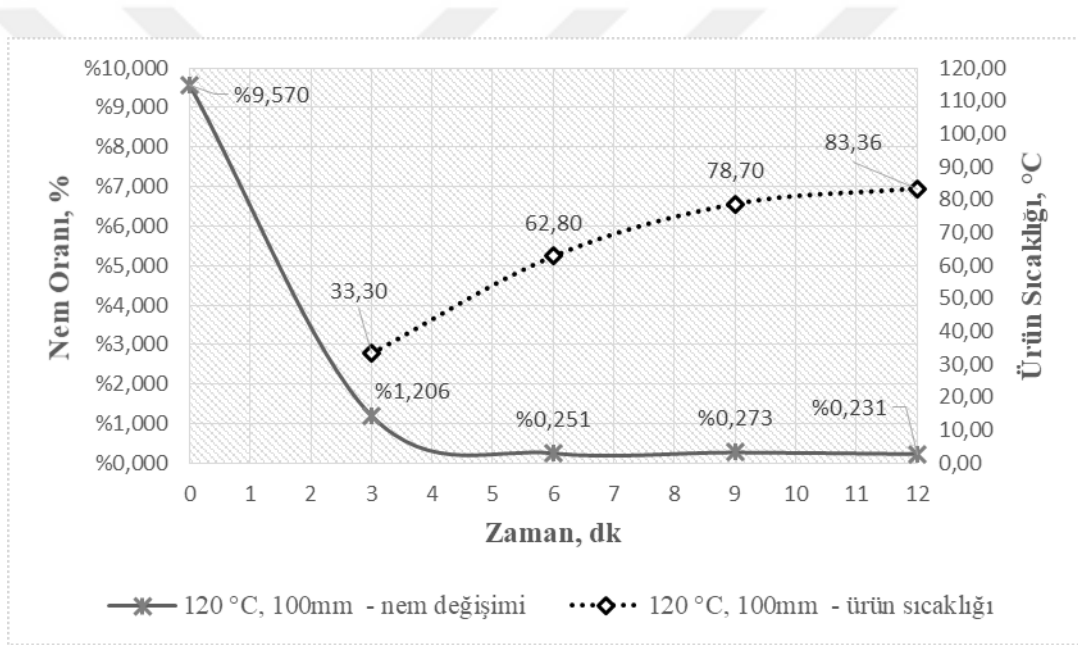


Şekil 4.22 Deneý-22,  $dp_3= 0,000910$  m,  $h= 100$  mm,  $T= 90^\circ\text{C}$  ürün nem ve sıcaklık deđiřimi

Çizelge 4.23.'de değerleri belirtilen Deneý 23'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yař ağırlığı 1883 g olan silis kumu 120  $^\circ\text{C}$  hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneýler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekteştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 33,30  $^\circ\text{C}$  ölçölmüş olup ürün nemi %1,206, 6.dakikada ürün sıcaklığı 62,80  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,251, 9.dakikada ürün sıcaklığı 78,70  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,273, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 83,36 $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,231 olarak ölçölmüşür (Şekil 4.23.).

Çizelge 4.23 Deneysel-23,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 120^\circ\text{C}$  kuruma tablosu

Deneysel	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Başlangıç Nem%	Deneysel Dakikası	Ürün Sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Ürün Nemi (%)
Deneysel-23	0,000910	100mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	3	33,30 $^\circ\text{C}$	%1,206
Deneysel-23	0,000910	100mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	6	62,80 $^\circ\text{C}$	%0,251
Deneysel-23	0,000910	100mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	9	78,70 $^\circ\text{C}$	%0,273
Deneysel-23	0,000910	100mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	12	83,36 $^\circ\text{C}$	%0,231

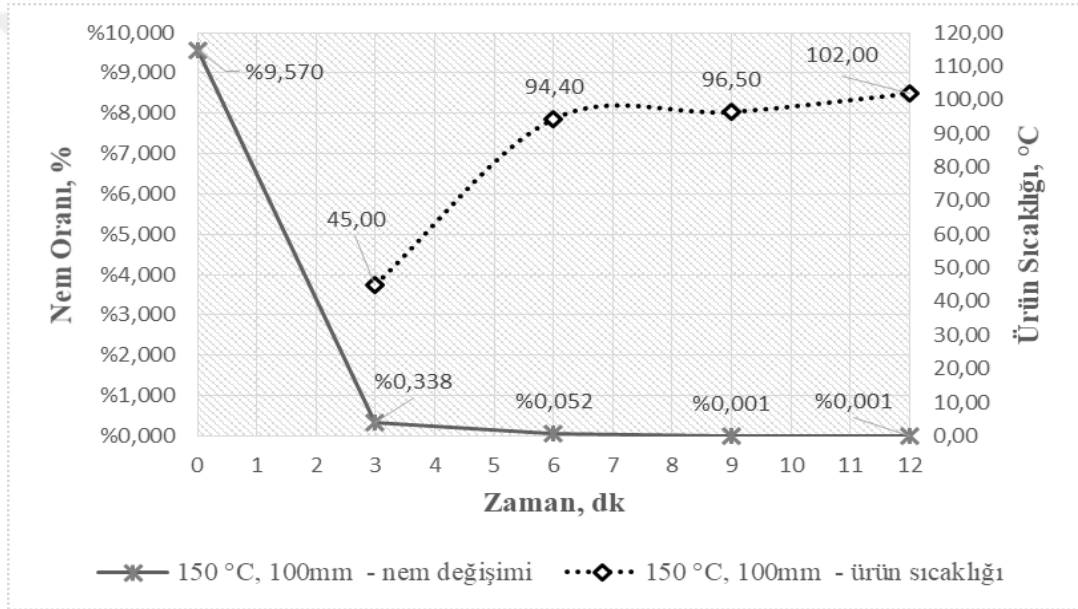


Şekil 4.23 Deneysel-23,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 120$   $^\circ\text{C}$  ürün nem ve sıcaklık değışimi

Çizelge 4.24’de değeri belirtilen Deneysel 24’te başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 100 mm, yaş ağırlığı 1883 g olan silis kumu 150  $^\circ\text{C}$  hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneysel, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 45,00  $^\circ\text{C}$  ölçülmüş olup ürün nemi %0,338, 6.dakikada ürün sıcaklığı 94,40  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,052, 9.dakikada ürün sıcaklığı 96,50  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,001, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 102,00  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,001 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.24.).

Çizelge 4.24 Dene-24,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 150^\circ\text{C}$  kuruma tablosu

Dene-24	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Başlangıç Nem%	Dene-24 Dakikası	Ürün Sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Ürün Nemi (%)
Dene-24	0,000910	100mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	3	45,00 $^\circ\text{C}$	%0,338
Dene-24	0,000910	100mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	6	94,40 $^\circ\text{C}$	%0,052
Dene-24	0,000910	100mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	9	96,30 $^\circ\text{C}$	%0,001
Dene-24	0,000910	100mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	12	102,0 $^\circ\text{C}$	%0,001



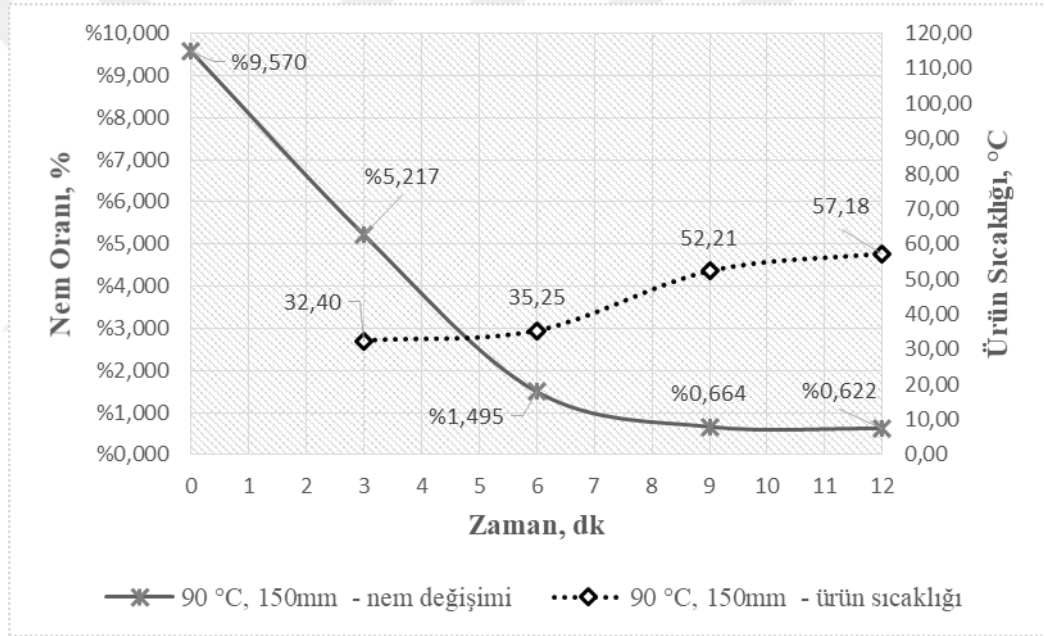
Şekil 4.24 Dene-24,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 100$  mm,  $T = 150$   $^\circ\text{C}$  ürün nem ve sıcaklık değişimi

Çizelge 4.25’de değerleri belirtilen Dene 25’te başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2718 g olan silis kumu 90  $^\circ\text{C}$  hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Dene-25, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 32,40  $^\circ\text{C}$  ölçülmüş olup ürün nemi %5,217, 6.dakikada ürün sıcaklığı 35,25  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %1,495, 9.dakikada ürün sıcaklığı 52,21 $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,664, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 57,18  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,622 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.25).



Çizelge 4.25 Deneý-25,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 90$  °C kuruma tablosu

Deneý	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık (°C)	Başlangıç Nem%	Deneý Dakikası	Ürün Sıcaklığı (°C)	Ürün Nemi (%)
Deneý-25	0,000910	150mm	90 °C	%9,57	3	32,40 °C	%5,217
Deneý-25	0,000910	150mm	90 °C	%9,57	6	35,25 °C	%1,495
Deneý-25	0,000910	150mm	90 °C	%9,57	9	52,21 °C	%0,664
Deneý-25	0,000910	150mm	90 °C	%9,57	12	57,18 °C	%0,622

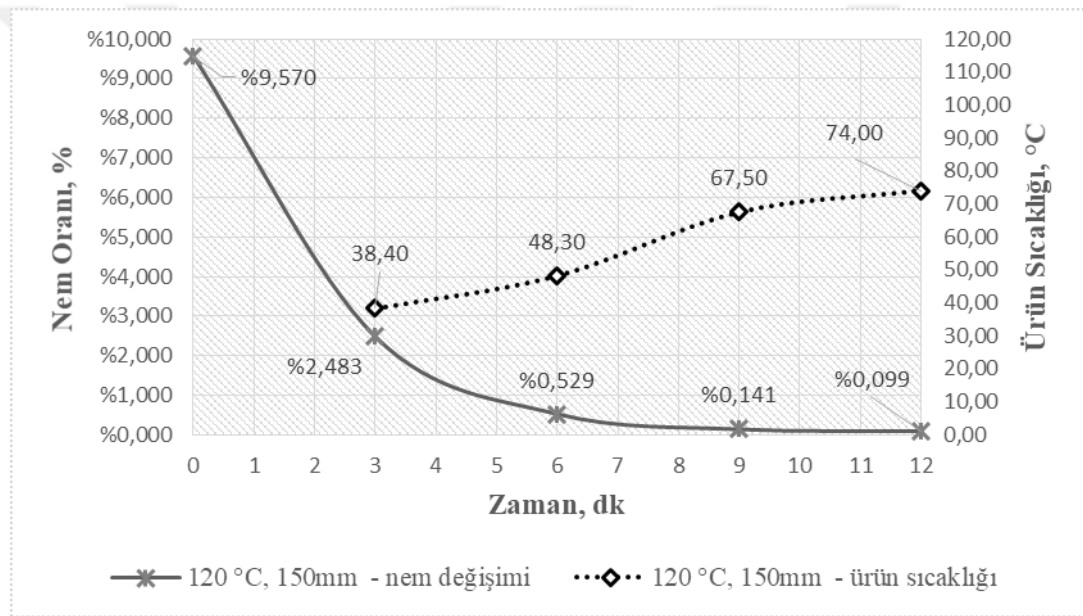


Şekil 4.25 Deneý-25,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 90$  °C ürün nem ve sıcaklık deđişimi

Çizelge 4.26'de değerleri belirtilen Deneý 26'te başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2718 g olan silis kumu 120 °C hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneýler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçeleştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 38,40 °C ölçölmüş olup ürün nemi %2,483, 6.dakikada ürün sıcaklığı 48,30 °C ve ürün nemi %0,529, 9.dakikada ürün sıcaklığı 67,50 °C ve ürün nemi %0,141, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 74,00 °C ve ürün nemi %0,099 olarak ölçölmüşür (Şekil 4.26).

Çizelge 4.26 Deneý-26,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 120^\circ\text{C}$  kuruma tablosu

Deneý	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Başlangıç Nem%	Deneý Dakikası	Ürün Sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Ürün Nemi (%)
Deneý-26	0,000910	150mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	3	38,40 $^\circ\text{C}$	%2,483
Deneý-26	0,000910	150mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	6	48,30 $^\circ\text{C}$	%0,529
Deneý-26	0,000910	150mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	9	67,50 $^\circ\text{C}$	%0,141
Deneý-26	0,000910	150mm	120 $^\circ\text{C}$	%9,57	12	74,00 $^\circ\text{C}$	%0,099

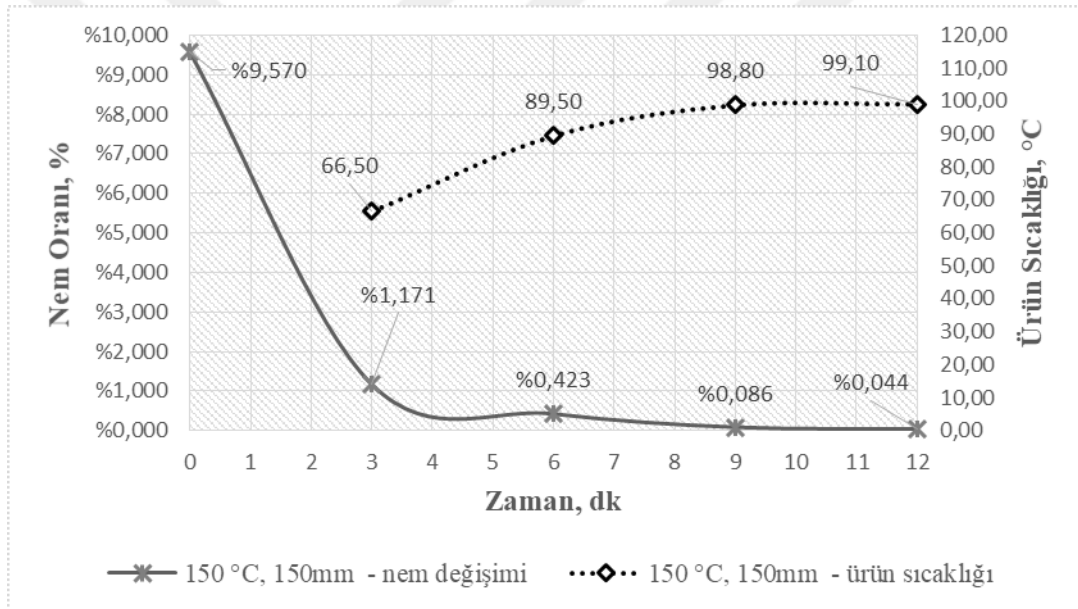


Şekil 4.26 Deneý-26,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 120$   $^\circ\text{C}$  ürün nem ve sıcaklık deđiřimi

Çizelge 4.27'de değerleri belirtilen Deneý 27'de başlangıç nemi %9,57, yatak yüksekliği 150 mm, yaş ağırlığı 2718 g olan silis kumu 150  $^\circ\text{C}$  hava sıcaklığında 12 dakika boyunca kurumaya tabi tutulmuştur. Deneýler, kuma akışkanlaşma sağlamak amacıyla vibrasyon ile gerçekteştirilmiştir. Numunenin 3.dakikada ürün sıcaklığı 66,50  $^\circ\text{C}$  ölçölmüş olup ürün nemi %1,171, 6.dakikada ürün sıcaklığı 89,50  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,423, 9.dakikada ürün sıcaklığı 98,80  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi %0,086, 12.dakikada ise ürün sıcaklığı 99,10  $^\circ\text{C}$  ve ürün nemi % 0,044 olarak ölçölmüştür (Şekil 4.27).

Çizelge 4.27 Deney-27,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 150^\circ\text{C}$  kuruma tablosu

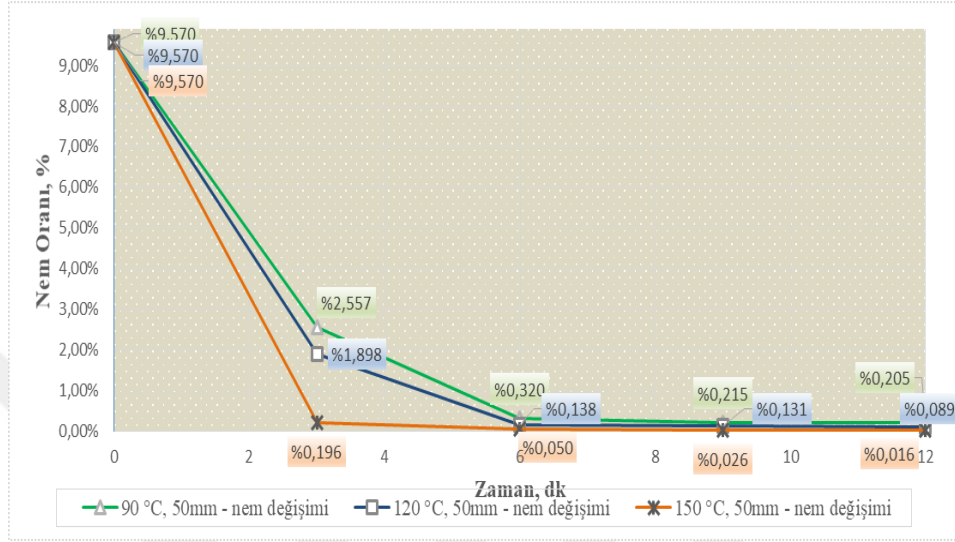
Deney	Partikül Boyut (m)	Kek Yüksekliği (mm)	Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )	Başlangıç Nem%	Deney Dakikası	Ürün Sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Ürün Nemi (%)
Deney-27	0,000910	150mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	3	66,50 $^\circ\text{C}$	%1,171
Deney-27	0,000910	150mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	6	89,50 $^\circ\text{C}$	%0,423
Deney-27	0,000910	150mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	9	98,80 $^\circ\text{C}$	%0,086
Deney-27	0,000910	150mm	150 $^\circ\text{C}$	%9,57	12	99,10 $^\circ\text{C}$	%0,044



Şekil 4.27 Deney-27,  $dp_3 = 0,000910$  m,  $h = 150$  mm,  $T = 150$   $^\circ\text{C}$  ürün nem ve sıcaklık değişimi

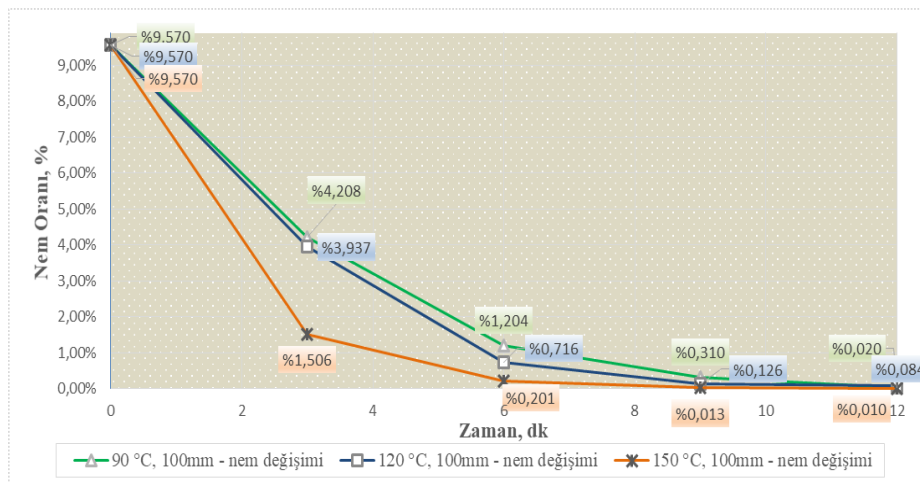
#### 4.1.1 Partikül Boyutu- Kurutma Hava Sıcaklığına Göre Zaman Bazlı Nem Karşılaştırma Grafikleri

Çap 0,000274 m, yatak yüksekliği 50 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.28 'de gösterilmiştir.



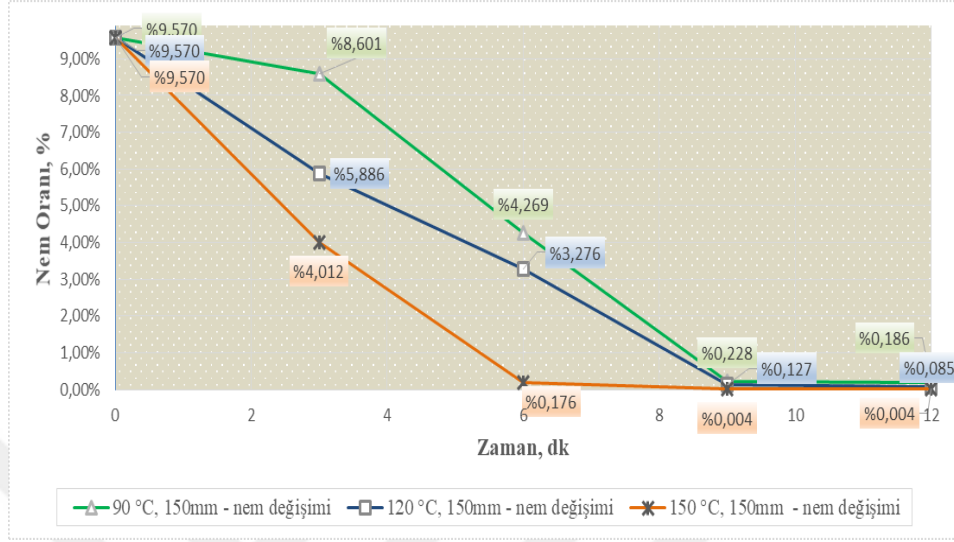
Şekil 4.28  $dp_1=0,000274$  m,  $h=50$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000274 m, yatak yüksekliği 100 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.29 'de gösterilmiştir.



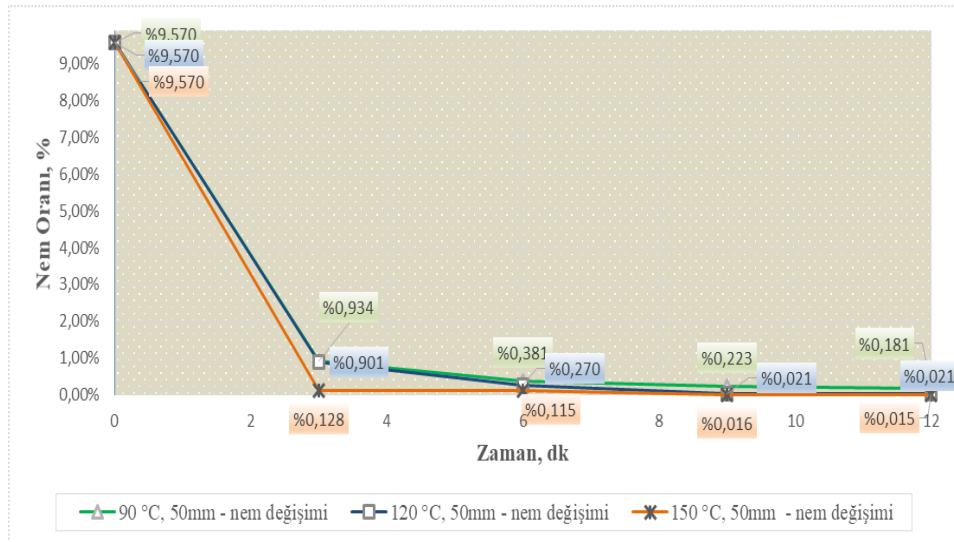
Şekil 4.29  $dp_1=0,000274$  m,  $h=100$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000274 m, yatak yüksekliği 150 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.30 'de gösterilmiştir.



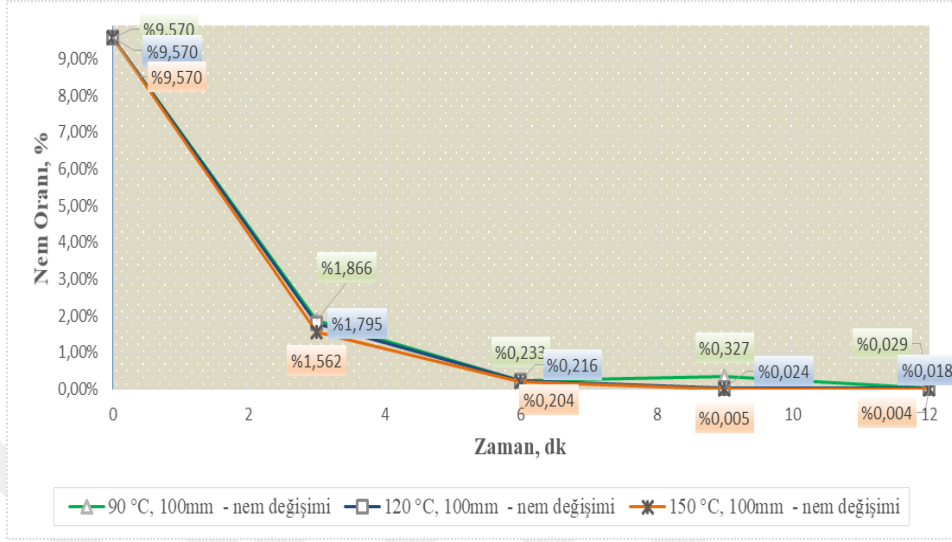
Şekil 4.30  $dp_1=0,000274$  m,  $h=150$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000563 m, yatak yüksekliği 50 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.31 'de gösterilmiştir.



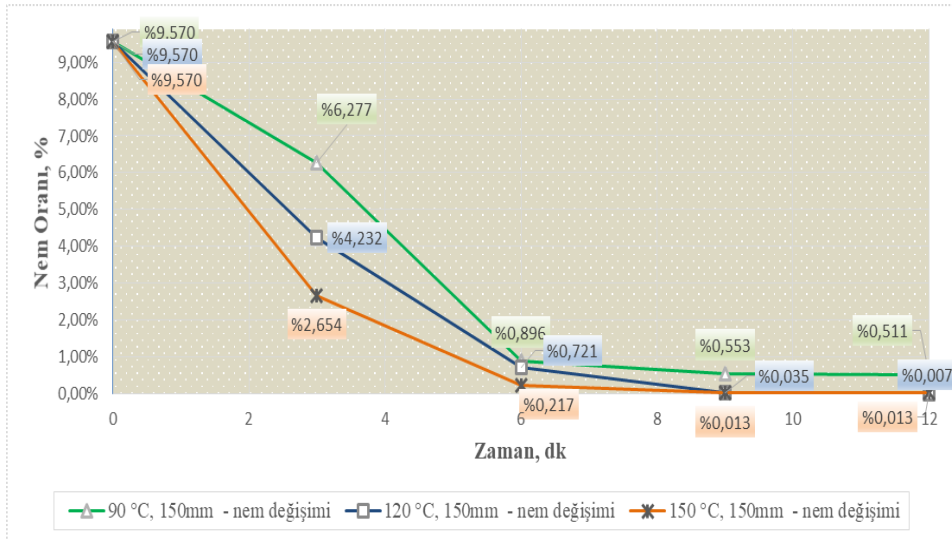
Şekil 4.31  $dp_2=0,000563$  m,  $h=50$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000563 m, yatak yüksekliği 100 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.32 'de gösterilmiştir.



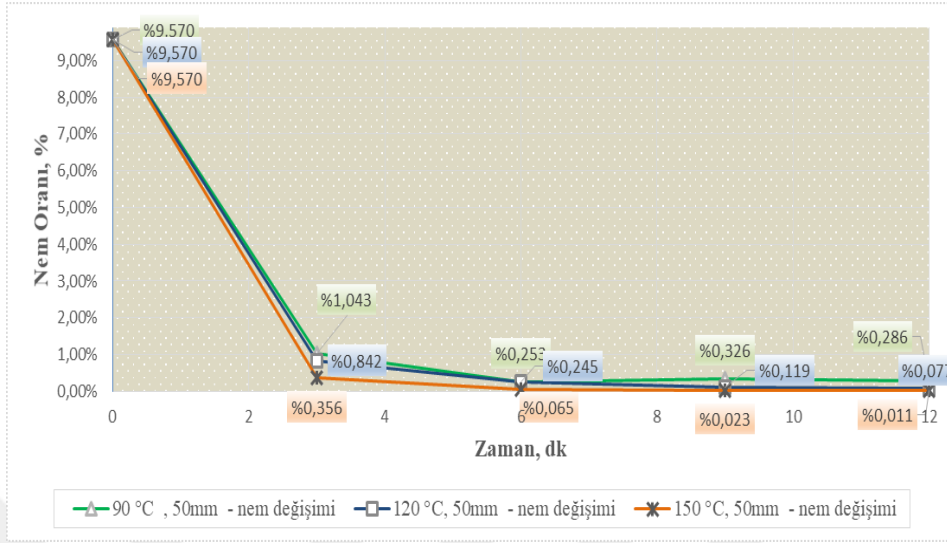
Şekil 4.32  $dp_2=0,000563$  m,  $h=100$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000563 m, yatak yüksekliği 150 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.33 'de gösterilmiştir.



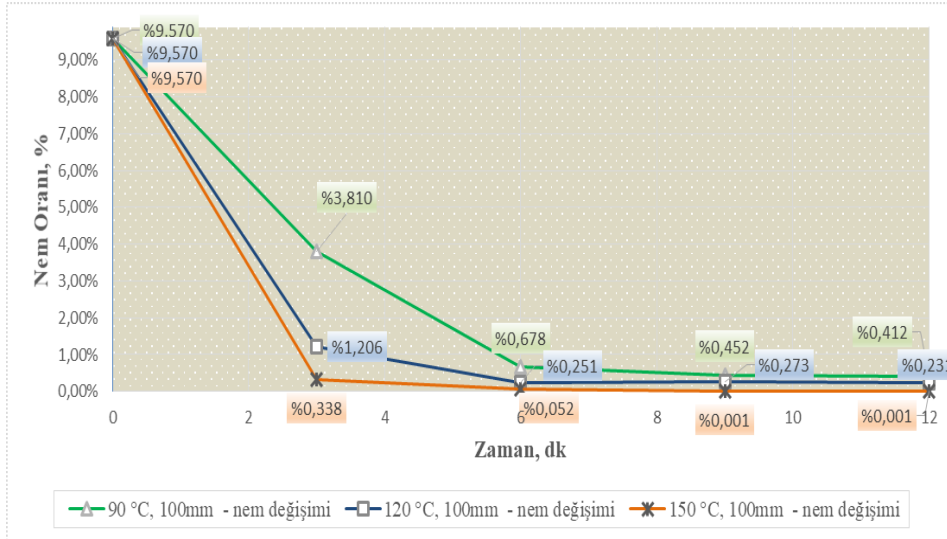
Şekil 4.33  $dp_2=0,000563$  m,  $h=150$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000910 m, yatak yüksekliği 50 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.34 'de gösterilmiştir.



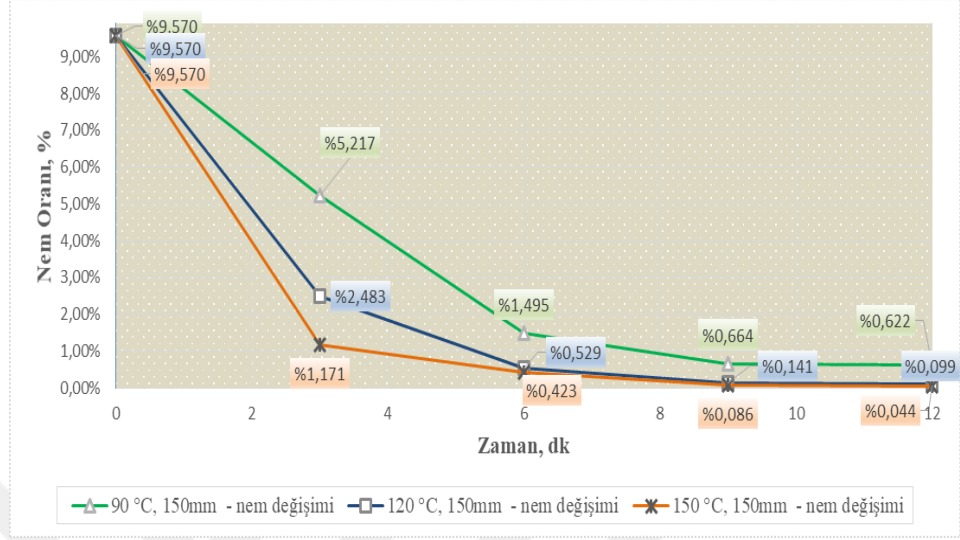
Şekil 4.34  $dp_3=0,000910$  m,  $h=50$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000910 m, yatak yüksekliği 100 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.35 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35  $dp_3=0,000910$  m,  $h=100$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği

Çap 0,000910 m, yatak yüksekliği 150 mm olan silis kumun kurutma havası sıcaklığına göre ürünün nem kaybının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.36 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.36  $dp_3=0,000910$  m,  $h=150$ mm, 90°C-120°C-150°C ürün nem değişimi karşılaştırma grafiği



## 4.2 Minimum Akışkanlaşma Hızı ve Literatürdeki Korelasyonlar ile Karşılaştırılması

Tüm analizlerde yatak boşluk değeri  $\varepsilon=0,42$  , küresellik değeri  $\varphi=0,85$  olarak alınmıştır. Havanın viskozite değeri Denklem 3.5'e göre, havanın yoğunluğu Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan tüm değerler Çizelge 4.28'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.28 Silis kum deneyleri için temel durum parametreleri

Parametre	Birim	Simge	90 °C	120 °C	150 °C
Kek Yüksekliği-1	m	h	0,05	0,05	0,05
Kek Yüksekliği-2	m	h	0,1	0,1	0,1
Kek Yüksekliği-3	m	h	0,15	0,15	0,15
Yer Çekimi	m/s <sup>2</sup>	g	9,81	9,81	9,81
Parçacık Yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_p$	2330	2330	2330
Hava Yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_f$	0,9686	0,8947	0,8312
Havanın Viskozitesi	kg/m.s	$\mu_f$	2,1405E-05	2,2709E-05	2,4E-05
Yatak Boşluğu	boyutsuz	$\varepsilon$	0,42	0,42	0,42
Küresellik	boyutsuz	$\varphi$	0,85	0,85	0,85
Parçacık Çapı-1	m	dp <sub>1</sub>	0,000274	0,000274	0,000274
Parçacık Çapı-2	m	dp <sub>2</sub>	0,000563	0,000563	0,000563
Parçacık Çapı-3	m	dp <sub>3</sub>	0,000910	0,000910	0,000910

Korelasyon hesaplarında kullanılan Ar için Denklem 3.2'ye göre yapılan hesap Çizelge 4.29'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.29 Hesaplanan Ar değerleri tablosu

Ar <sub>d1.1</sub>	90 °C- dp1	9,94E+02
Ar <sub>d1.2</sub>	120 °C- dp1	8,15E+02
Ar <sub>d1.3</sub>	150 °C- dp1	6,80E+02
Ar <sub>d2.1</sub>	90 °C- dp2	8,62E+03
Ar <sub>d2.2</sub>	120 °C- dp2	7,07E+03
Ar <sub>d2.3</sub>	150 °C- dp2	5,90E+03
Ar <sub>d3.1</sub>	90 °C- dp3	3,64E+04
Ar <sub>d3.2</sub>	120 °C- dp3	2,99E+04
Ar <sub>d3.3</sub>	150 °C- dp3	2,49E+04

Çizelge 4.28'de belirtilen değerler ve hesaplanan Ar değerleri ile Çizelge 3.11'deki araştırmacıların korelasyon denklemlerine göre minimum akışkanlaşma hızı ( $U_{mf}$ ) hesaplanıp, 27 adet deneysel veri ile 625 adet karşılaştırma sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.30, Çizelge 4.31, Çizelge 4.32, Çizelge 4.33 ve Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.30 Deneylemlerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-1

Matematiksel Hesap Sonuçları (m/s)									
Deney Parametreleri;				$U_{mf}$ Deney Sonuçları (m/s)	Wen and Yu	Bourgeois and Grenier	Saxena and Vogel	Babu, Shah and Talwalker	Vaid and Sen Gupta
Deney-1	274,018 $\mu\text{m}$	50mm	90 °C	0,1	0,0481	0,0590	0,0886	0,1008	0,0891
Deney-2	274,018 $\mu\text{m}$	50mm	120 °C	0,1	0,0454	0,0557	0,0838	0,0954	0,0843
Deney-3	274,018 $\mu\text{m}$	50mm	150 °C	0,1	0,0431	0,0529	0,0796	0,0907	0,0802
Deney-4	274,018 $\mu\text{m}$	100mm	90 °C	0,1	0,0481	0,0590	0,0886	0,1008	0,0891
Deney-5	274,018 $\mu\text{m}$	100mm	120 °C	0,1	0,0454	0,0557	0,0838	0,0954	0,0843
Deney-6	274,018 $\mu\text{m}$	100mm	150 °C	0,1	0,0431	0,0529	0,0796	0,0907	0,0802
Deney-7	274,018 $\mu\text{m}$	150mm	90 °C	0,1	0,0481	0,0590	0,0886	0,1008	0,0891
Deney-8	274,018 $\mu\text{m}$	150mm	120 °C	0,1	0,0454	0,0557	0,0838	0,0954	0,0843
Deney-9	274,018 $\mu\text{m}$	150mm	150 °C	0,1	0,0431	0,0529	0,0796	0,0907	0,0802
Deney-10	563,097 $\mu\text{m}$	50mm	90 °C	0,3	0,1910	0,2268	0,3279	0,3679	0,3278
Deney-11	563,097 $\mu\text{m}$	50mm	120 °C	0,3	0,1821	0,2174	0,3163	0,3556	0,3165
Deney-12	563,097 $\mu\text{m}$	50mm	150 °C	0,3	0,1742	0,2088	0,3053	0,3439	0,3057
Deney-13	563,097 $\mu\text{m}$	100mm	90 °C	0,3	0,1910	0,2268	0,3279	0,3679	0,3278
Deney-14	563,097 $\mu\text{m}$	100mm	120 °C	0,3	0,1821	0,2174	0,3163	0,3556	0,3165
Deney-15	563,097 $\mu\text{m}$	100mm	150 °C	0,3	0,1742	0,2088	0,3053	0,3439	0,3057
Deney-16	563,097 $\mu\text{m}$	150mm	90 °C	0,3	0,1910	0,2268	0,3279	0,3679	0,3278
Deney-17	563,097 $\mu\text{m}$	150mm	120 °C	0,3	0,1821	0,2174	0,3163	0,3556	0,3165
Deney-18	563,097 $\mu\text{m}$	150mm	150 °C	0,3	0,1742	0,2088	0,3053	0,3439	0,3057
Deney-19	910,310 $\mu\text{m}$	50mm	90 °C	0,7	0,4248	0,4762	0,6520	0,7185	0,6467
Deney-20	910,310 $\mu\text{m}$	50mm	120 °C	0,7	0,4134	0,4677	0,6455	0,7131	0,6409
Deney-21	910,310 $\mu\text{m}$	50mm	150 °C	0,7	0,4022	0,4588	0,6378	0,7062	0,6339
Deney-22	910,310 $\mu\text{m}$	100mm	90 °C	0,7	0,4248	0,4762	0,6520	0,7185	0,6467
Deney-23	910,310 $\mu\text{m}$	100mm	120 °C	0,7	0,4134	0,4677	0,6455	0,7131	0,6409
Deney-24	910,310 $\mu\text{m}$	100mm	150 °C	0,7	0,4022	0,4588	0,6378	0,7062	0,6339
Deney-25	910,310 $\mu\text{m}$	150mm	90 °C	0,7	0,4248	0,4762	0,6520	0,7185	0,6467
Deney-26	910,310 $\mu\text{m}$	150mm	120 °C	0,7	0,4134	0,4677	0,6455	0,7131	0,6409
Deney-27	910,310 $\mu\text{m}$	150mm	150 °C	0,7	0,4022	0,4588	0,6378	0,7062	0,6339

Çizelge 4.31 Deneylelerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-2

Matematiksel Hesap Sonuçları (m/s)									
Deney Parametreleri;				U <sub>mf</sub> Deney Sonuçları (m/s)	Richards on and da S. Jerónimo	Grace	Chitester, Kornosky, Fan and Danko	Thonglimp , Hiqaily and Laguerie	Zheng, Yamazaki and Jimbo
Deney-1	274,018 µm	50mm	90 °C	0,1	0,0561	0,0593	0,0680	0,0533	0,0654
Deney-2	274,018 µm	50mm	120 °C	0,1	0,0530	0,0560	0,0642	0,0504	0,0618
Deney-3	274,018 µm	50mm	150 °C	0,1	0,0504	0,0532	0,0610	0,0478	0,0588
Deney-4	274,018 µm	100mm	90 °C	0,1	0,0561	0,0593	0,0680	0,0533	0,0654
Deney-5	274,018 µm	100mm	120 °C	0,1	0,0530	0,0560	0,0642	0,0504	0,0618
Deney-6	274,018 µm	100mm	150 °C	0,1	0,0504	0,0532	0,0610	0,0478	0,0588
Deney-7	274,018 µm	150mm	90 °C	0,1	0,0561	0,0593	0,0680	0,0533	0,0654
Deney-8	274,018 µm	150mm	120 °C	0,1	0,0530	0,0560	0,0642	0,0504	0,0618
Deney-9	274,018 µm	150mm	150 °C	0,1	0,0504	0,0532	0,0610	0,0478	0,0588
Deney-10	563,097 µm	50mm	90 °C	0,3	0,2169	0,2292	0,2610	0,2098	0,2421
Deney-11	563,097 µm	50mm	120 °C	0,3	0,2078	0,2195	0,2503	0,2004	0,2335
Deney-12	563,097 µm	50mm	150 °C	0,3	0,1995	0,2107	0,2404	0,1919	0,2254
Deney-13	563,097 µm	100mm	90 °C	0,3	0,2169	0,2292	0,2610	0,2098	0,2421
Deney-14	563,097 µm	100mm	120 °C	0,3	0,2078	0,2195	0,2503	0,2004	0,2335
Deney-15	563,097 µm	100mm	150 °C	0,3	0,1995	0,2107	0,2404	0,1919	0,2254
Deney-16	563,097 µm	150mm	90 °C	0,3	0,2169	0,2292	0,2610	0,2098	0,2421
Deney-17	563,097 µm	150mm	120 °C	0,3	0,2078	0,2195	0,2503	0,2004	0,2335
Deney-18	563,097 µm	150mm	150 °C	0,3	0,1995	0,2107	0,2404	0,1919	0,2254
Deney-19	910,310 µm	50mm	90 °C	0,7	0,4589	0,4849	0,5465	0,4578	0,4818
Deney-20	910,310 µm	50mm	120 °C	0,7	0,4503	0,4757	0,5370	0,4470	0,4769
Deney-21	910,310 µm	50mm	150 °C	0,7	0,4412	0,4661	0,5269	0,4360	0,4711
Deney-22	910,310 µm	100mm	90 °C	0,7	0,4589	0,4849	0,5465	0,4578	0,4818
Deney-23	910,310 µm	100mm	120 °C	0,7	0,4503	0,4757	0,5370	0,4470	0,4769
Deney-24	910,310 µm	100mm	150 °C	0,7	0,4412	0,4661	0,5269	0,4360	0,4711
Deney-25	910,310 µm	150mm	90 °C	0,7	0,4589	0,4849	0,5465	0,4578	0,4818
Deney-26	910,310 µm	150mm	120 °C	0,7	0,4503	0,4757	0,5370	0,4470	0,4769
Deney-27	910,310 µm	150mm	150 °C	0,7	0,4412	0,4661	0,5269	0,4360	0,4711

Çizelge 4.32 Deneylemlerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-3

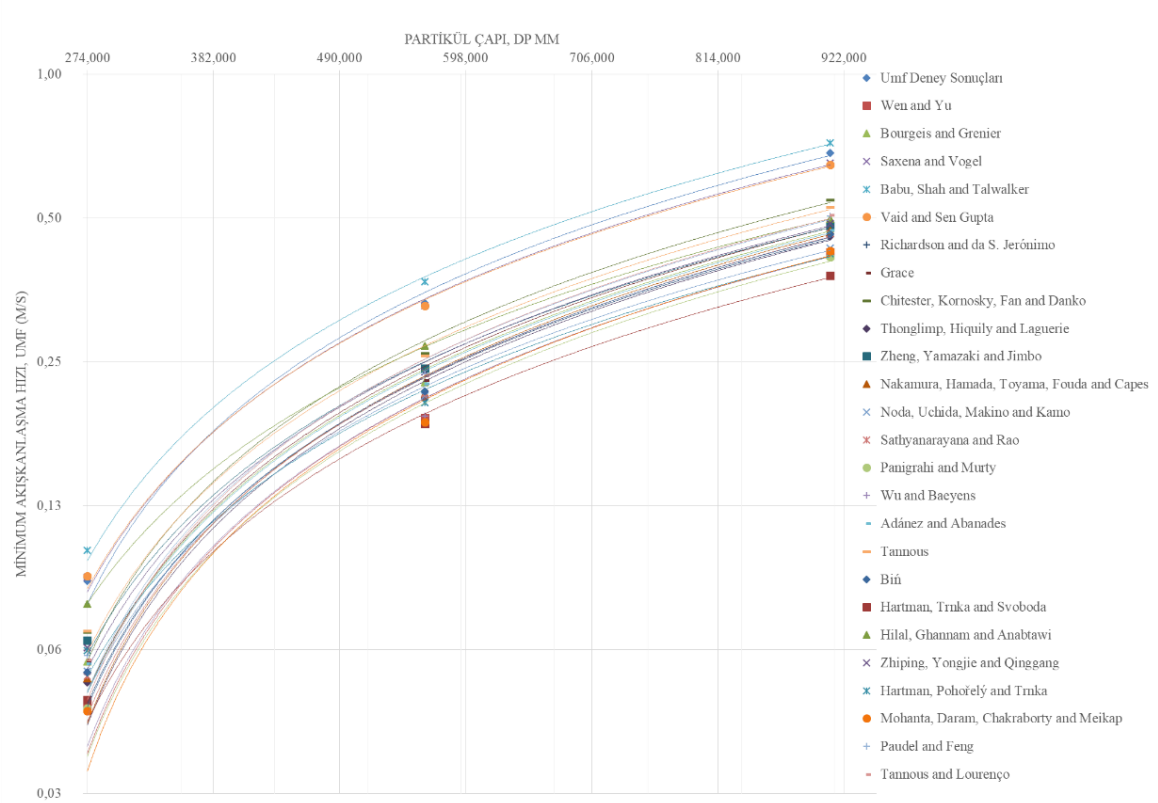
Matematiksel Hesap Sonuçları (m/s)									
Deneylemler Parametreleri;				$U_{mf}$ Deneylemler Sonuçları (m/s)	Nakamura, Hamada, Toyama, Fouda and Capes	Noda, Uchida, Makino and Kamo	Sathyanarayana and Rao	Panigrahi and Murty	Wu and Baeyens
Deneylemler-1	274,018 $\mu$ m	50mm	90 °C	0,1	0,0543	0,0563	0,0549	0,0471	0,0487
Deneylemler-2	274,018 $\mu$ m	50mm	120 °C	0,1	0,0513	0,0532	0,0518	0,0445	0,0460
Deneylemler-3	274,018 $\mu$ m	50mm	150 °C	0,1	0,0487	0,0506	0,0492	0,0422	0,0437
Deneylemler-4	274,018 $\mu$ m	100mm	90 °C	0,1	0,0543	0,0563	0,0549	0,0471	0,0487
Deneylemler-5	274,018 $\mu$ m	100mm	120 °C	0,1	0,0513	0,0532	0,0518	0,0445	0,0460
Deneylemler-6	274,018 $\mu$ m	100mm	150 °C	0,1	0,0487	0,0506	0,0492	0,0422	0,0437
Deneylemler-7	274,018 $\mu$ m	150mm	90 °C	0,1	0,0543	0,0563	0,0549	0,0471	0,0487
Deneylemler-8	274,018 $\mu$ m	150mm	120 °C	0,1	0,0513	0,0532	0,0518	0,0445	0,0460
Deneylemler-9	274,018 $\mu$ m	150mm	150 °C	0,1	0,0487	0,0506	0,0492	0,0422	0,0437
Deneylemler-10	563,097 $\mu$ m	50mm	90 °C	0,3	0,2145	0,2123	0,2148	0,1869	0,1925
Deneylemler-11	563,097 $\mu$ m	50mm	120 °C	0,3	0,2047	0,2042	0,2054	0,1782	0,1838
Deneylemler-12	563,097 $\mu$ m	50mm	150 °C	0,3	0,1959	0,1966	0,1968	0,1705	0,1759
Deneylemler-13	563,097 $\mu$ m	100mm	90 °C	0,3	0,2145	0,2123	0,2148	0,1869	0,1925
Deneylemler-14	563,097 $\mu$ m	100mm	120 °C	0,3	0,2047	0,2042	0,2054	0,1782	0,1838
Deneylemler-15	563,097 $\mu$ m	100mm	150 °C	0,3	0,1959	0,1966	0,1968	0,1705	0,1759
Deneylemler-16	563,097 $\mu$ m	150mm	90 °C	0,3	0,2145	0,2123	0,2148	0,1869	0,1925
Deneylemler-17	563,097 $\mu$ m	150mm	120 °C	0,3	0,2047	0,2042	0,2054	0,1782	0,1838
Deneylemler-18	563,097 $\mu$ m	150mm	150 °C	0,3	0,1959	0,1966	0,1968	0,1705	0,1759
Deneylemler-19	910,310 $\mu$ m	50mm	90 °C	0,7	0,4709	0,4326	0,4646	0,4145	0,4234
Deneylemler-20	910,310 $\mu$ m	50mm	120 °C	0,7	0,4592	0,4268	0,4543	0,4036	0,4128
Deneylemler-21	910,310 $\mu$ m	50mm	150 °C	0,7	0,4476	0,4203	0,4437	0,3927	0,4022
Deneylemler-22	910,310 $\mu$ m	100mm	90 °C	0,7	0,4709	0,4326	0,4646	0,4145	0,4234
Deneylemler-23	910,310 $\mu$ m	100mm	120 °C	0,7	0,4592	0,4268	0,4543	0,4036	0,4128
Deneylemler-24	910,310 $\mu$ m	100mm	150 °C	0,7	0,4476	0,4203	0,4437	0,3927	0,4022
Deneylemler-25	910,310 $\mu$ m	150mm	90 °C	0,7	0,4709	0,4326	0,4646	0,4145	0,4234
Deneylemler-26	910,310 $\mu$ m	150mm	120 °C	0,7	0,4592	0,4268	0,4543	0,4036	0,4128
Deneylemler-27	910,310 $\mu$ m	150mm	150 °C	0,7	0,4476	0,4203	0,4437	0,3927	0,4022

Çizelge 4.33 Deneylelerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-4

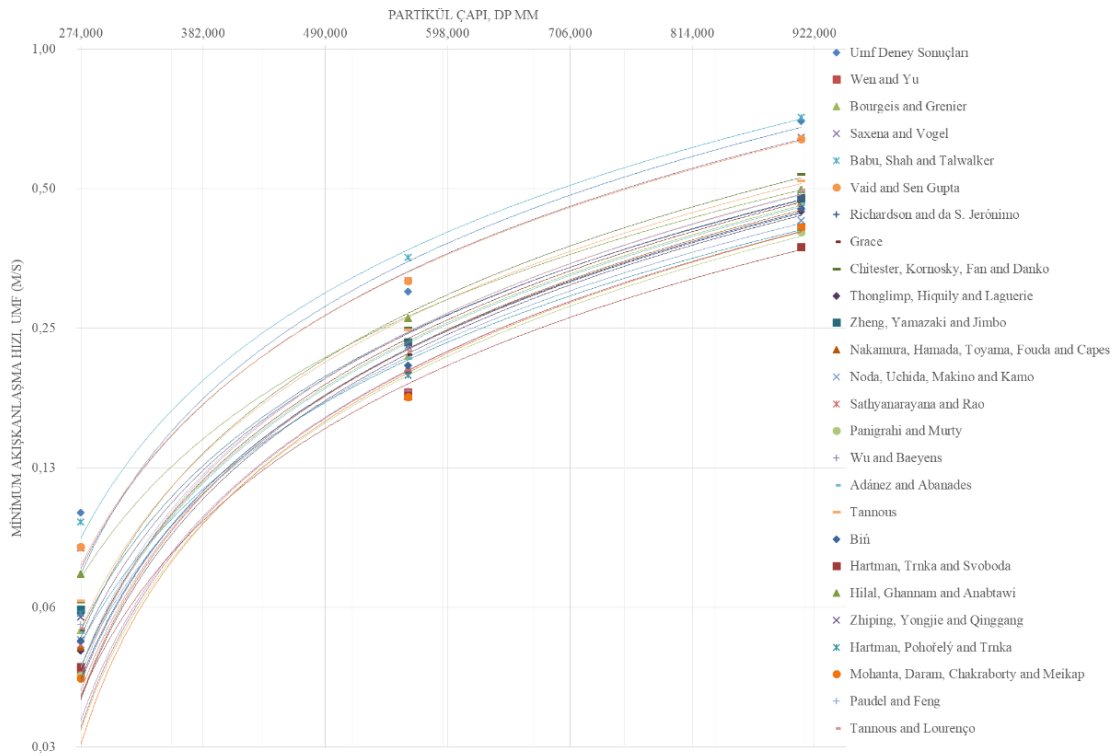
Matematiksel Hesap Sonuçları (m/s)									
Deney Parametreleri;				U <sub>mf</sub> Deney Sonuçları (m/s)	Adáne z and Abana des	Tannos	Biñ	Hartman, Trnka and Svoboda	Hilal, Ghannam and Anabta wi
Deney-1	274,018 µm	50mm	90 °C	0,1	0,0585	0,0684	0,0559	0,0491	0,0778
Deney-2	274,018 µm	50mm	120 °C	0,1	0,0553	0,0646	0,0528	0,0464	0,0738
Deney-3	274,018 µm	50mm	150 °C	0,1	0,0525	0,0614	0,0501	0,0441	0,0702
Deney-4	274,018 µm	100mm	90 °C	0,1	0,0585	0,0684	0,0559	0,0491	0,0778
Deney-5	274,018 µm	100mm	120 °C	0,1	0,0553	0,0646	0,0528	0,0464	0,0738
Deney-6	274,018 µm	100mm	150 °C	0,1	0,0525	0,0614	0,0501	0,0441	0,0702
Deney-7	274,018 µm	150mm	90 °C	0,1	0,0585	0,0684	0,0559	0,0491	0,0778
Deney-8	274,018 µm	150mm	120 °C	0,1	0,0553	0,0646	0,0528	0,0464	0,0738
Deney-9	274,018 µm	150mm	150 °C	0,1	0,0525	0,0614	0,0501	0,0441	0,0702
Deney-10	563,097 µm	50mm	90 °C	0,3	0,2250	0,2581	0,2171	0,1856	0,2696
Deney-11	563,097 µm	50mm	120 °C	0,3	0,2157	0,2482	0,2078	0,1785	0,2624
Deney-12	563,097 µm	50mm	150 °C	0,3	0,2072	0,2389	0,1994	0,1718	0,2554
Deney-13	563,097 µm	100mm	90 °C	0,3	0,2250	0,2581	0,2171	0,1856	0,2696
Deney-14	563,097 µm	100mm	120 °C	0,3	0,2157	0,2482	0,2078	0,1785	0,2624
Deney-15	563,097 µm	100mm	150 °C	0,3	0,2072	0,2389	0,1994	0,1718	0,2554
Deney-16	563,097 µm	150mm	90 °C	0,3	0,2250	0,2581	0,2171	0,1856	0,2696
Deney-17	563,097 µm	150mm	120 °C	0,3	0,2157	0,2482	0,2078	0,1785	0,2624
Deney-18	563,097 µm	150mm	150 °C	0,3	0,2072	0,2389	0,1994	0,1718	0,2554
Deney-19	910,310 µm	50mm	90 °C	0,7	0,4723	0,5270	0,4630	0,3798	0,4983
Deney-20	910,310 µm	50mm	120 °C	0,7	0,4639	0,5198	0,4537	0,3744	0,4981
Deney-21	910,310 µm	50mm	150 °C	0,7	0,4550	0,5117	0,4440	0,3686	0,4966
Deney-22	910,310 µm	100mm	90 °C	0,7	0,4723	0,5270	0,4630	0,3798	0,4983
Deney-23	910,310 µm	100mm	120 °C	0,7	0,4639	0,5198	0,4537	0,3744	0,4981
Deney-24	910,310 µm	100mm	150 °C	0,7	0,4550	0,5117	0,4440	0,3686	0,4966
Deney-25	910,310 µm	150mm	90 °C	0,7	0,4723	0,5270	0,4630	0,3798	0,4983
Deney-26	910,310 µm	150mm	120 °C	0,7	0,4639	0,5198	0,4537	0,3744	0,4981
Deney-27	910,310 µm	150mm	150 °C	0,7	0,4550	0,5117	0,4440	0,3686	0,4966

Çizelge 4.34 Deneylemlerden elde edilen ve literatürdeki korelasyon denklemlerine göre hesaplanan minimum akışkanlaşma hızı tablosu-5

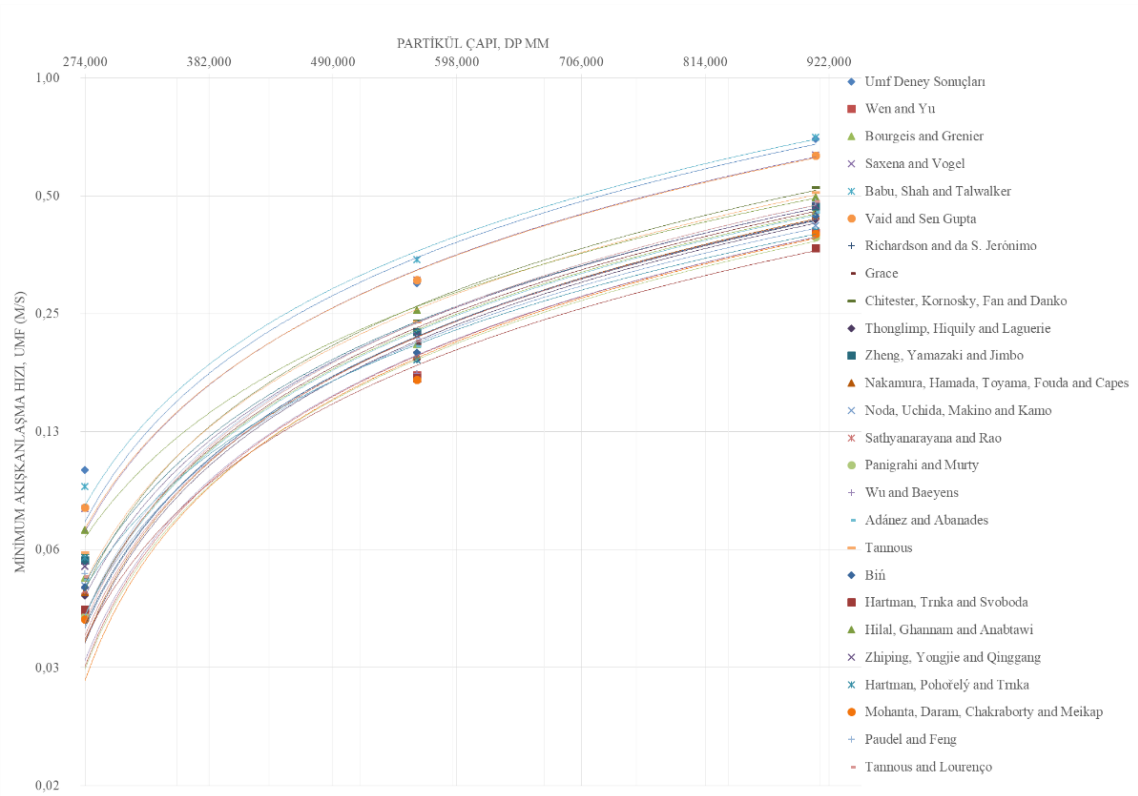
Matematiksel Hesap Sonuçları (m/s)									
Deney Parametreleri;				U <sub>mf</sub> Deney Sonuçları (m/s)	Zhiping, Yongjie and Qinggang	Hartman, Pohořelý and Trnka	Mohanta, Daram, Chakraborty and Meikap	Paudel and Feng	Tannous and Lourenço
Deney-1	274,018 µm	50mm	90 °C	0,1	0,0631	0,0621	0,0465	0,0606	0,0596
Deney-2	274,018 µm	50mm	120 °C	0,1	0,0596	0,0607	0,0439	0,0573	0,0563
Deney-3	274,018 µm	50mm	150 °C	0,1	0,0566	0,0597	0,0416	0,0544	0,0534
Deney-4	274,018 µm	100mm	90 °C	0,1	0,0631	0,0621	0,0465	0,0606	0,0596
Deney-5	274,018 µm	100mm	120 °C	0,1	0,0596	0,0607	0,0439	0,0573	0,0563
Deney-6	274,018 µm	100mm	150 °C	0,1	0,0566	0,0597	0,0416	0,0544	0,0534
Deney-7	274,018 µm	150mm	90 °C	0,1	0,0631	0,0621	0,0465	0,0606	0,0596
Deney-8	274,018 µm	150mm	120 °C	0,1	0,0596	0,0607	0,0439	0,0573	0,0563
Deney-9	274,018 µm	150mm	150 °C	0,1	0,0566	0,0597	0,0416	0,0544	0,0534
Deney-10	563,097 µm	50mm	90 °C	0,3	0,2383	0,2054	0,1869	0,2358	0,2339
Deney-11	563,097 µm	50mm	120 °C	0,3	0,2291	0,1980	0,1779	0,2257	0,2235
Deney-12	563,097 µm	50mm	150 °C	0,3	0,2206	0,1912	0,1698	0,2164	0,2141
Deney-13	563,097 µm	100mm	90 °C	0,3	0,2383	0,2054	0,1869	0,2358	0,2339
Deney-14	563,097 µm	100mm	120 °C	0,3	0,2291	0,1980	0,1779	0,2257	0,2235
Deney-15	563,097 µm	100mm	150 °C	0,3	0,2206	0,1912	0,1698	0,2164	0,2141
Deney-16	563,097 µm	150mm	90 °C	0,3	0,2383	0,2054	0,1869	0,2358	0,2339
Deney-17	563,097 µm	150mm	120 °C	0,3	0,2291	0,1980	0,1779	0,2257	0,2235
Deney-18	563,097 µm	150mm	150 °C	0,3	0,2206	0,1912	0,1698	0,2164	0,2141
Deney-19	910,310 µm	50mm	90 °C	0,7	0,4870	0,4212	0,4268	0,5043	0,5081
Deney-20	910,310 µm	50mm	120 °C	0,7	0,4802	0,4147	0,4135	0,4939	0,4964
Deney-21	910,310 µm	50mm	150 °C	0,7	0,4728	0,4077	0,4006	0,4832	0,4846
Deney-22	910,310 µm	100mm	90 °C	0,7	0,4870	0,4212	0,4268	0,5043	0,5081
Deney-23	910,310 µm	100mm	120 °C	0,7	0,4802	0,4147	0,4135	0,4939	0,4964
Deney-24	910,310 µm	100mm	150 °C	0,7	0,4728	0,4077	0,4006	0,4832	0,4846
Deney-25	910,310 µm	150mm	90 °C	0,7	0,4870	0,4212	0,4268	0,5043	0,5081
Deney-26	910,310 µm	150mm	120 °C	0,7	0,4802	0,4147	0,4135	0,4939	0,4964
Deney-27	910,310 µm	150mm	150 °C	0,7	0,4728	0,4077	0,4006	0,4832	0,4846



Şekil 4.37 Partikül boyutuna göre 90 °C' deki minimum akışkanlaşma hızı grafiği



Şekil 4.38 Partikül boyutuna göre 120 °C' deki minimum akışkanlaşma hızı grafiği



Şekil 4.39 Partikül boyutuna göre 150 °C' deki minimum akışkanlaşma hızı grafiği

Minimum akışkanlaşma hızının tahmini için kullanılan korelasyonlara göre hesaplanan 675 değere göre kuruma havası sıcaklığı ve partikül boyutuna göre değişimi Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39 'da gösterilmiştir. Grafiklere göre 90 °C kurutma havası sıcaklığında minimum akışkanlaşma hızı en düşük 0,047 m/s olarak hesaplanmaktadır. Kurutma havası sıcaklığı artmasıyla birlikte bu değer arttığı görülmektedir.

Minimum akışkanlaşma hızının tahmini için kullanılan korelasyonlara göre hesaplanan değerlerin %sapma oranları Çizelge 4.35, Çizelge 4.36, Çizelge 4.37, Çizelge 4.38, Çizelge 4.39 da gösterilmiştir.



Çizelge 4.35 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-1

Matematiksel Hesap Sonuçları Sapma Oranı (%)								
Deneysel Parametreleri;				Wen and Yu	Bourgeois and Grenier	Saxena and Vogel	Babu, Shah and Talwalker	Vaid and Sen Gupta
Deneysel-1	274,018 µm	50mm	90 °C	51,91	41,04	11,42	-0,81	10,89
Deneysel-2	274,018 µm	50mm	120 °C	54,60	44,29	16,19	4,57	15,68
Deneysel-3	274,018 µm	50mm	150 °C	56,93	47,10	20,35	9,27	19,85
Deneysel-4	274,018 µm	100mm	90 °C	51,91	41,04	11,42	-0,81	10,89
Deneysel-5	274,018 µm	100mm	120 °C	54,60	44,29	16,19	4,57	15,68
Deneysel-6	274,018 µm	100mm	150 °C	56,93	47,10	20,35	9,27	19,85
Deneysel-7	274,018 µm	150mm	90 °C	51,91	41,04	11,42	-0,81	10,89
Deneysel-8	274,018 µm	150mm	120 °C	54,60	44,29	16,19	4,57	15,68
Deneysel-9	274,018 µm	150mm	150 °C	56,93	47,10	20,35	9,27	19,85
Deneysel-10	563,097 µm	50mm	90 °C	36,33	24,41	-9,31	-22,63	-9,27
Deneysel-11	563,097 µm	50mm	120 °C	39,29	27,53	-5,43	-18,53	-5,49
Deneysel-12	563,097 µm	50mm	150 °C	41,95	30,40	-1,77	-14,62	-1,91
Deneysel-13	563,097 µm	100mm	90 °C	36,33	24,41	-9,31	-22,63	-9,27
Deneysel-14	563,097 µm	100mm	120 °C	39,29	27,53	-5,43	-18,53	-5,49
Deneysel-15	563,097 µm	100mm	150 °C	41,95	30,40	-1,77	-14,62	-1,91
Deneysel-16	563,097 µm	150mm	90 °C	36,33	24,41	-9,31	-22,63	-9,27
Deneysel-17	563,097 µm	150mm	120 °C	39,29	27,53	-5,43	-18,53	-5,49
Deneysel-18	563,097 µm	150mm	150 °C	41,95	30,40	-1,77	-14,62	-1,91
Deneysel-19	910,310 µm	50mm	90 °C	39,31	31,97	6,85	-2,65	7,62
Deneysel-20	910,310 µm	50mm	120 °C	40,94	33,18	7,79	-1,87	8,44
Deneysel-21	910,310 µm	50mm	150 °C	42,54	34,46	8,89	-0,88	9,44
Deneysel-22	910,310 µm	100mm	90 °C	39,31	31,97	6,85	-2,65	7,62
Deneysel-23	910,310 µm	100mm	120 °C	40,94	33,18	7,79	-1,87	8,44
Deneysel-24	910,310 µm	100mm	150 °C	42,54	34,46	8,89	-0,88	9,44
Deneysel-25	910,310 µm	150mm	90 °C	39,31	31,97	6,85	-2,65	7,62
Deneysel-26	910,310 µm	150mm	120 °C	40,94	33,18	7,79	-1,87	8,44
Deneysel-27	910,310 µm	150mm	150 °C	42,54	34,46	8,89	-0,88	9,44
Ortalama				44,87	34,93	6,11	-5,35	6,14

Çizelge 4.36 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-2

Matematiksel Hesap Sonuçları Sapma Oranı (%)								
Deneysel Parametreleri;				Richardson and da S. Jerónimo	Grace	Chitester, Kornosky, Fan and Danko	Thonglimp, Hiquily and Laguerie	Zheng, Yamazaki and Jimbo
Deneysel-1	274,018 µm	50mm	90 °C	43,85	40,70	32,03	46,67	34,63
Deneysel-2	274,018 µm	50mm	120 °C	46,95	43,97	35,77	49,64	38,15
Deneysel-3	274,018 µm	50mm	150 °C	49,64	46,81	39,01	52,21	41,22
Deneysel-4	274,018 µm	100mm	90 °C	43,85	40,70	32,03	46,67	34,63
Deneysel-5	274,018 µm	100mm	120 °C	46,95	43,97	35,77	49,64	38,15
Deneysel-6	274,018 µm	100mm	150 °C	49,64	46,81	39,01	52,21	41,22
Deneysel-7	274,018 µm	150mm	90 °C	43,85	40,70	32,03	46,67	34,63
Deneysel-8	274,018 µm	150mm	120 °C	46,95	43,97	35,77	49,64	38,15
Deneysel-9	274,018 µm	150mm	150 °C	49,64	46,81	39,01	52,21	41,22
Deneysel-10	563,097 µm	50mm	90 °C	27,69	23,61	13,01	30,07	19,29
Deneysel-11	563,097 µm	50mm	120 °C	30,72	26,82	16,58	33,21	22,16
Deneysel-12	563,097 µm	50mm	150 °C	33,50	29,76	19,86	36,05	24,87
Deneysel-13	563,097 µm	100mm	90 °C	27,69	23,61	13,01	30,07	19,29
Deneysel-14	563,097 µm	100mm	120 °C	30,72	26,82	16,58	33,21	22,16
Deneysel-15	563,097 µm	100mm	150 °C	33,50	29,76	19,86	36,05	24,87
Deneysel-16	563,097 µm	150mm	90 °C	27,69	23,61	13,01	30,07	19,29
Deneysel-17	563,097 µm	150mm	120 °C	30,72	26,82	16,58	33,21	22,16
Deneysel-18	563,097 µm	150mm	150 °C	33,50	29,76	19,86	36,05	24,87
Deneysel-19	910,310 µm	50mm	90 °C	34,44	30,72	21,93	34,59	31,18
Deneysel-20	910,310 µm	50mm	120 °C	35,68	32,04	23,29	36,15	31,87
Deneysel-21	910,310 µm	50mm	150 °C	36,98	33,41	24,73	37,71	32,69
Deneysel-22	910,310 µm	100mm	90 °C	34,44	30,72	21,93	34,59	31,18
Deneysel-23	910,310 µm	100mm	120 °C	35,68	32,04	23,29	36,15	31,87
Deneysel-24	910,310 µm	100mm	150 °C	36,98	33,41	24,73	37,71	32,69
Deneysel-25	910,310 µm	150mm	90 °C	34,44	30,72	21,93	34,59	31,18
Deneysel-26	910,310 µm	150mm	120 °C	35,68	32,04	23,29	36,15	31,87
Deneysel-27	910,310 µm	150mm	150 °C	36,98	33,41	24,73	37,71	32,69
Ortalama				37,72	34,20	25,13	39,59	30,68

Çizelge 4.37 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-3

Matematiksel Hesap Sonuçları Sapma Oranı (%)								
Deney Parametreleri;				Nakamura, Hamada, Toyama, Fouda and Capes	Noda, Uchida, Makino and Kamo	Sathyanarayana and Rao	Panigrahi and Murty	Wu and Baeyens
Deney-1	274,018 µm	50mm	90 °C	45,66	43,69	45,11	52,89	51,25
Deney-2	274,018 µm	50mm	120 °C	48,69	46,75	48,16	55,53	53,97
Deney-3	274,018 µm	50mm	150 °C	51,31	49,42	50,80	57,80	56,32
Deney-4	274,018 µm	100mm	90 °C	45,66	43,69	45,11	52,89	51,25
Deney-5	274,018 µm	100mm	120 °C	48,69	46,75	48,16	55,53	53,97
Deney-6	274,018 µm	100mm	150 °C	51,31	49,42	50,80	57,80	56,32
Deney-7	274,018 µm	150mm	90 °C	45,66	43,69	45,11	52,89	51,25
Deney-8	274,018 µm	150mm	120 °C	48,69	46,75	48,16	55,53	53,97
Deney-9	274,018 µm	150mm	150 °C	51,31	49,42	50,80	57,80	56,32
Deney-10	563,097 µm	50mm	90 °C	28,52	29,24	28,39	37,71	35,82
Deney-11	563,097 µm	50mm	120 °C	31,76	31,94	31,54	40,59	38,75
Deney-12	563,097 µm	50mm	150 °C	34,69	34,46	34,41	43,18	41,38
Deney-13	563,097 µm	100mm	90 °C	28,52	29,24	28,39	37,71	35,82
Deney-14	563,097 µm	100mm	120 °C	31,76	31,94	31,54	40,59	38,75
Deney-15	563,097 µm	100mm	150 °C	34,69	34,46	34,41	43,18	41,38
Deney-16	563,097 µm	150mm	90 °C	28,52	29,24	28,39	37,71	35,82
Deney-17	563,097 µm	150mm	120 °C	31,76	31,94	31,54	40,59	38,75
Deney-18	563,097 µm	150mm	150 °C	34,69	34,46	34,41	43,18	41,38
Deney-19	910,310 µm	50mm	90 °C	32,73	38,20	33,62	40,79	39,52
Deney-20	910,310 µm	50mm	120 °C	34,39	39,03	35,11	42,35	41,03
Deney-21	910,310 µm	50mm	150 °C	36,06	39,96	36,61	43,89	42,54
Deney-22	910,310 µm	100mm	90 °C	32,73	38,20	33,62	40,79	39,52
Deney-23	910,310 µm	100mm	120 °C	34,39	39,03	35,11	42,35	41,03
Deney-24	910,310 µm	100mm	150 °C	36,06	39,96	36,61	43,89	42,54
Deney-25	910,310 µm	150mm	90 °C	32,73	38,20	33,62	40,79	39,52
Deney-26	910,310 µm	150mm	120 °C	34,39	39,03	35,11	42,35	41,03
Deney-27	910,310 µm	150mm	150 °C	36,06	39,96	36,61	43,89	42,54
			Ortalama	38,20	39,19	38,19	46,08	44,51

Çizelge 4.38 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-4

Matematiksel Hesap Sonuçları Sapma Oranı (%)								
Deneysel Parametreleri;				Adánez and Abanades	Tannous	Biń	Hartman, Trnka and Svoboda	Hilal, Ghannam and Anabtawi
Deneysel-1	274,018 µm	50mm	90 °C	41,49	31,64	44,08	50,89	22,24
Deneysel-2	274,018 µm	50mm	120 °C	44,71	35,37	47,17	53,57	26,25
Deneysel-3	274,018 µm	50mm	150 °C	47,50	38,61	49,85	55,90	29,77
Deneysel-4	274,018 µm	100mm	90 °C	41,49	31,64	44,08	50,89	22,24
Deneysel-5	274,018 µm	100mm	120 °C	44,71	35,37	47,17	53,57	26,25
Deneysel-6	274,018 µm	100mm	150 °C	47,50	38,61	49,85	55,90	29,77
Deneysel-7	274,018 µm	150mm	90 °C	41,49	31,64	44,08	50,89	22,24
Deneysel-8	274,018 µm	150mm	120 °C	44,71	35,37	47,17	53,57	26,25
Deneysel-9	274,018 µm	150mm	150 °C	47,50	38,61	49,85	55,90	29,77
Deneysel-10	563,097 µm	50mm	90 °C	25,00	13,97	27,63	38,12	10,14
Deneysel-11	563,097 µm	50mm	120 °C	28,10	17,28	30,72	40,51	12,52
Deneysel-12	563,097 µm	50mm	150 °C	30,93	20,35	33,54	42,73	14,88
Deneysel-13	563,097 µm	100mm	90 °C	25,00	13,97	27,63	38,12	10,14
Deneysel-14	563,097 µm	100mm	120 °C	28,10	17,28	30,72	40,51	12,52
Deneysel-15	563,097 µm	100mm	150 °C	30,93	20,35	33,54	42,73	14,88
Deneysel-16	563,097 µm	150mm	90 °C	25,00	13,97	27,63	38,12	10,14
Deneysel-17	563,097 µm	150mm	120 °C	28,10	17,28	30,72	40,51	12,52
Deneysel-18	563,097 µm	150mm	150 °C	30,93	20,35	33,54	42,73	14,88
Deneysel-19	910,310 µm	50mm	90 °C	32,53	24,71	33,85	45,75	28,82
Deneysel-20	910,310 µm	50mm	120 °C	33,73	25,75	35,19	46,51	28,85
Deneysel-21	910,310 µm	50mm	150 °C	35,00	26,90	36,57	47,35	29,06
Deneysel-22	910,310 µm	100mm	90 °C	32,53	24,71	33,85	45,75	28,82
Deneysel-23	910,310 µm	100mm	120 °C	33,73	25,75	35,19	46,51	28,85
Deneysel-24	910,310 µm	100mm	150 °C	35,00	26,90	36,57	47,35	29,06
Deneysel-25	910,310 µm	150mm	90 °C	32,53	24,71	33,85	45,75	28,82
Deneysel-26	910,310 µm	150mm	120 °C	33,73	25,75	35,19	46,51	28,85
Deneysel-27	910,310 µm	150mm	150 °C	35,00	26,90	36,57	47,35	29,06
Ortalama				35,44	26,06	37,62	46,81	22,50

Çizelge 4.39 Deneysel veriler ile korelasyon sonuçlarının sapma oranları-5

Matematiksel Hesap Sonuçları Sapma Oranı (%)								
Deneysel Parametreleri;				Zhiping, Yongjie and Qinggang	Hartman, Pohořelý and Trnka	Mohanta, Daram, Chakraborty and Meikap	Paudel and Feng	Tannous and Lourenço
Deneysel-1	274,018 µm	50mm	90 °C	36,93	37,88	53,53	39,35	40,37
Deneysel-2	274,018 µm	50mm	120 °C	40,37	39,32	56,14	42,71	43,69
Deneysel-3	274,018 µm	50mm	150 °C	43,36	40,31	58,40	45,62	46,56
Deneysel-4	274,018 µm	100mm	90 °C	36,93	37,88	53,53	39,35	40,37
Deneysel-5	274,018 µm	100mm	120 °C	40,37	39,32	56,14	42,71	43,69
Deneysel-6	274,018 µm	100mm	150 °C	43,36	40,31	58,40	45,62	46,56
Deneysel-7	274,018 µm	150mm	90 °C	36,93	37,88	53,53	39,35	40,37
Deneysel-8	274,018 µm	150mm	120 °C	40,37	39,32	56,14	42,71	43,69
Deneysel-9	274,018 µm	150mm	150 °C	43,36	40,31	58,40	45,62	46,56
Deneysel-10	563,097 µm	50mm	90 °C	20,58	31,52	37,69	21,39	22,02
Deneysel-11	563,097 µm	50mm	120 °C	23,64	34,00	40,72	24,77	25,49
Deneysel-12	563,097 µm	50mm	150 °C	26,48	36,25	43,41	27,85	28,62
Deneysel-13	563,097 µm	100mm	90 °C	20,58	31,52	37,69	21,39	22,02
Deneysel-14	563,097 µm	100mm	120 °C	23,64	34,00	40,72	24,77	25,49
Deneysel-15	563,097 µm	100mm	150 °C	26,48	36,25	43,41	27,85	28,62
Deneysel-16	563,097 µm	150mm	90 °C	20,58	31,52	37,69	21,39	22,02
Deneysel-17	563,097 µm	150mm	120 °C	23,64	34,00	40,72	24,77	25,49
Deneysel-18	563,097 µm	150mm	150 °C	26,48	36,25	43,41	27,85	28,62
Deneysel-19	910,310 µm	50mm	90 °C	30,43	39,83	39,03	27,95	27,41
Deneysel-20	910,310 µm	50mm	120 °C	31,39	40,76	40,93	29,44	29,08
Deneysel-21	910,310 µm	50mm	150 °C	32,46	41,76	42,77	30,97	30,77
Deneysel-22	910,310 µm	100mm	90 °C	30,43	39,83	39,03	27,95	27,41
Deneysel-23	910,310 µm	100mm	120 °C	31,39	40,76	40,93	29,44	29,08
Deneysel-24	910,310 µm	100mm	150 °C	32,46	41,76	42,77	30,97	30,77
Deneysel-25	910,310 µm	150mm	90 °C	30,43	39,83	39,03	27,95	27,41
Deneysel-26	910,310 µm	150mm	120 °C	31,39	40,76	40,93	29,44	29,08
Deneysel-27	910,310 µm	150mm	150 °C	32,46	41,76	42,77	30,97	30,77
Ortalama				31,74	37,96	45,85	32,23	32,67

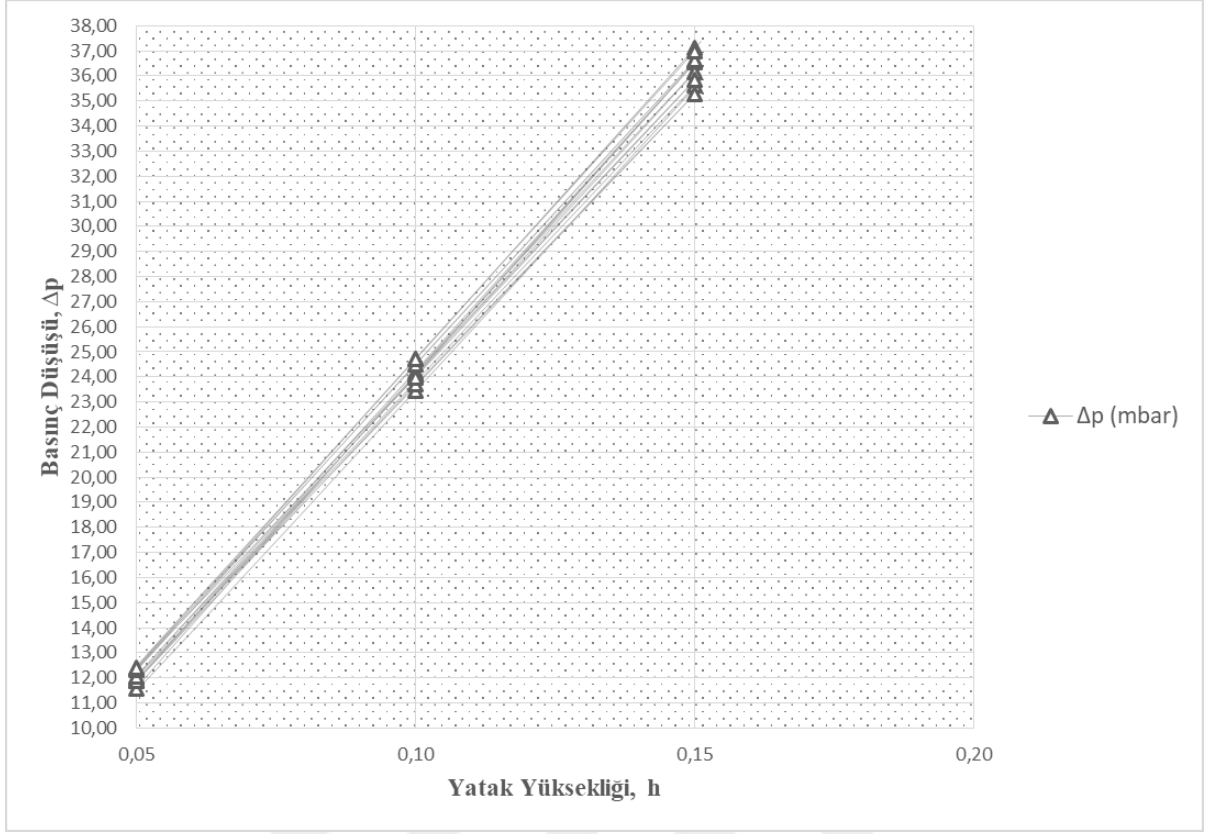
### 4.3 Basınç Düşüşü Hesabı

Basınç düşümünü denklem 3.1'e göre Ergun denklemi ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.40 ve Şekil 4.40 incelendiğinde basınç düşüşünün yatak yüksekliği 50 mm olarak yapılan çalışmalarda 11 mbar - 13 mbar arasında olduğu, yatak yüksekliği 100 mm olan çalışmalarda 23 mbar – 25 mbar arasında ve yatak yüksekliği 150 mm olan durumlarda 35mbar– 38mbar olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.40 Basınç düşüşü parametreleri ve hesaplama çizelgesi

Deney	T	$\mu$	$\varphi$	$\varepsilon$	$\rho_p$	$\rho_f$	$d_p$	h	$U_{mf}$	$\Delta p$ (mbar)
Deney-1	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000274	0,05	0,1	11,91
Deney-2	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000274	0,05	0,1	11,57
Deney-3	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000274	0,05	0,1	11,88
Deney-4	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000274	0,10	0,1	24,09
Deney-5	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000274	0,10	0,1	23,44
Deney-6	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000274	0,10	0,1	24,08
Deney-7	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000274	0,15	0,1	36,56
Deney-8	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000274	0,15	0,1	35,60
Deney-9	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000274	0,15	0,1	36,58
Deney-10	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000563	0,05	0,3	12,01
Deney-11	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000563	0,05	0,3	12,03
Deney-12	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000563	0,05	0,3	11,89
Deney-13	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000563	0,10	0,3	24,19
Deney-14	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000563	0,10	0,3	23,98
Deney-15	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000563	0,10	0,3	23,69
Deney-16	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000563	0,15	0,3	36,16
Deney-17	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000563	0,15	0,3	35,85
Deney-18	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000563	0,15	0,3	35,28
Deney-19	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000910	0,05	0,7	12,37
Deney-20	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000910	0,05	0,7	12,38
Deney-21	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000910	0,05	0,7	12,30
Deney-22	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000910	0,10	0,7	24,69
Deney-23	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000910	0,10	0,7	24,72
Deney-24	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000910	0,10	0,7	24,51
Deney-25	90 °C	2,14045E-05	0,85	0,42	2330	0,9686	0,000910	0,15	0,7	37,11
Deney-26	120 °C	2,27092E-05	0,85	0,42	2330	0,8947	0,000910	0,15	0,7	37,00
Deney-27	150 °C	2,39645E-05	0,85	0,42	2330	0,8312	0,000910	0,15	0,7	36,63



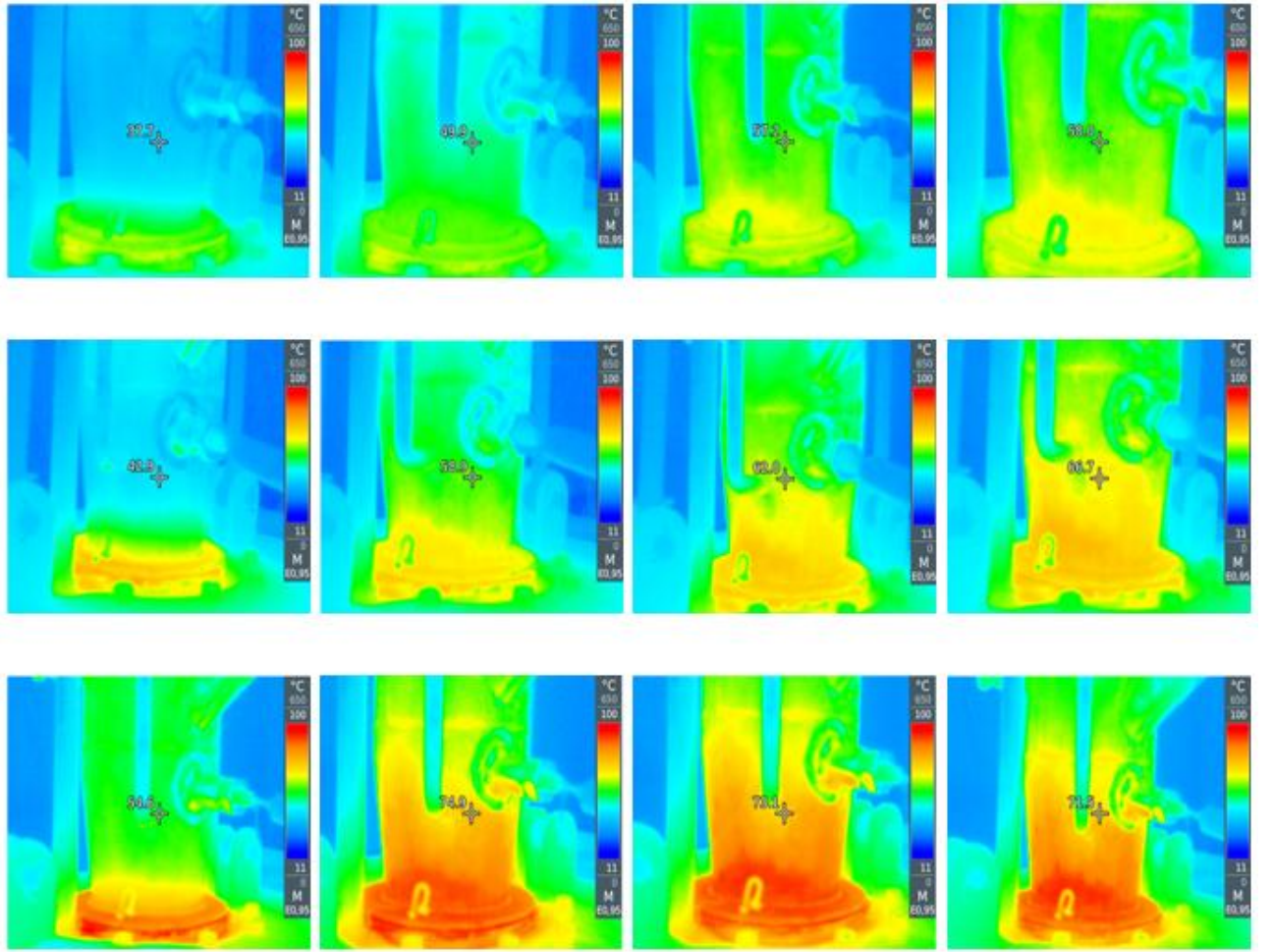
Şekil 4.40 Yatak yüksekliğine bağlı basınç düşüşü grafiği

#### 4.4 Termal Analiz

Dikey tip akışkan yataklı kurutucuda farklı çap ve farklı yatak yüksekliklerindeki silis kum numuneleri, çeşitli kurutma sıcaklıkları uygulanarak 12 dakika kurumaya tabi tutulmuştur. Yapılan toplam 27 deneyin 3. 6. 9. ve 12.dakikalardaki ürün haznesinin dışarıdan görüntüsü termal kamera yardımı ile gözlemlenmiştir.

Termal analizde hazne içerisindeki yeşil kısımlar kurumaya başlamış silis kum numunelerinin hazne içerisindeki dağılımıdır. Kırmızı kısımlar ise aşırı ısınmış kısımlardır. Kurutucuya sıcak hava alt taraftan verildiği için ürünün alt kısmı en sıcak bölgedir.

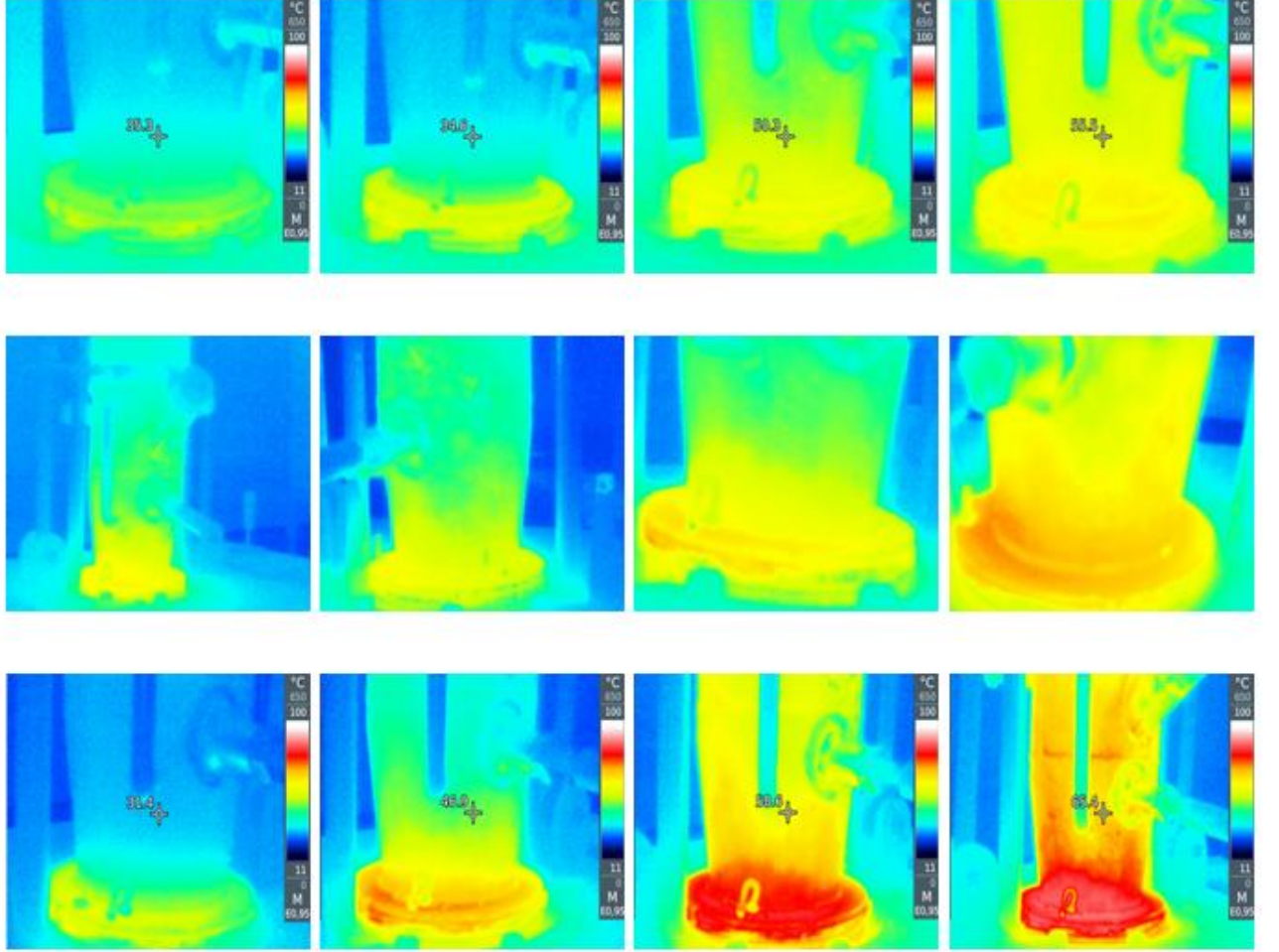
Şekil 4.41 de  $dp_1=0,000274$  m yatak yüksekliği 50 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma havası sıcaklığı 150 °C çıkarıldığında 50 mm yatak yüksekliğindeki silis kumun diğer sıcaklıklara göre daha kısa sürede yeşil bölge olup kırmızı olduğu görülmektedir. Bu analizden kurutma havası sıcaklığının artışıyla birlikte kısa sürede kuruma sağlandığı gözlemlenmiştir. Termal kamerada ürünün hazne içerisindeki sıcaklığı ile hazne dış kısmının sıcaklığı arasında 15 °C – 20 °C fark olduğu görülmektedir.



Şekil 4.41 Deney-1, Deney-2 ve Deney-3 termal kamera görüntüleri

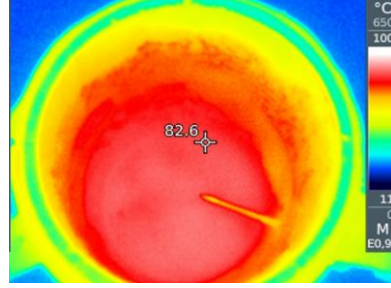


Şekil 4.42 de  $dp_1=0,000274$  m yatak yüksekliği 100 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma havası sıcaklığı 150 °C çıkarıldığında 100 mm yatak yüksekliğindeki silis kumun diğer sıcaklıklara göre daha kısa sürede yeşil bölge olup kırmızı olduğu görülmektedir.

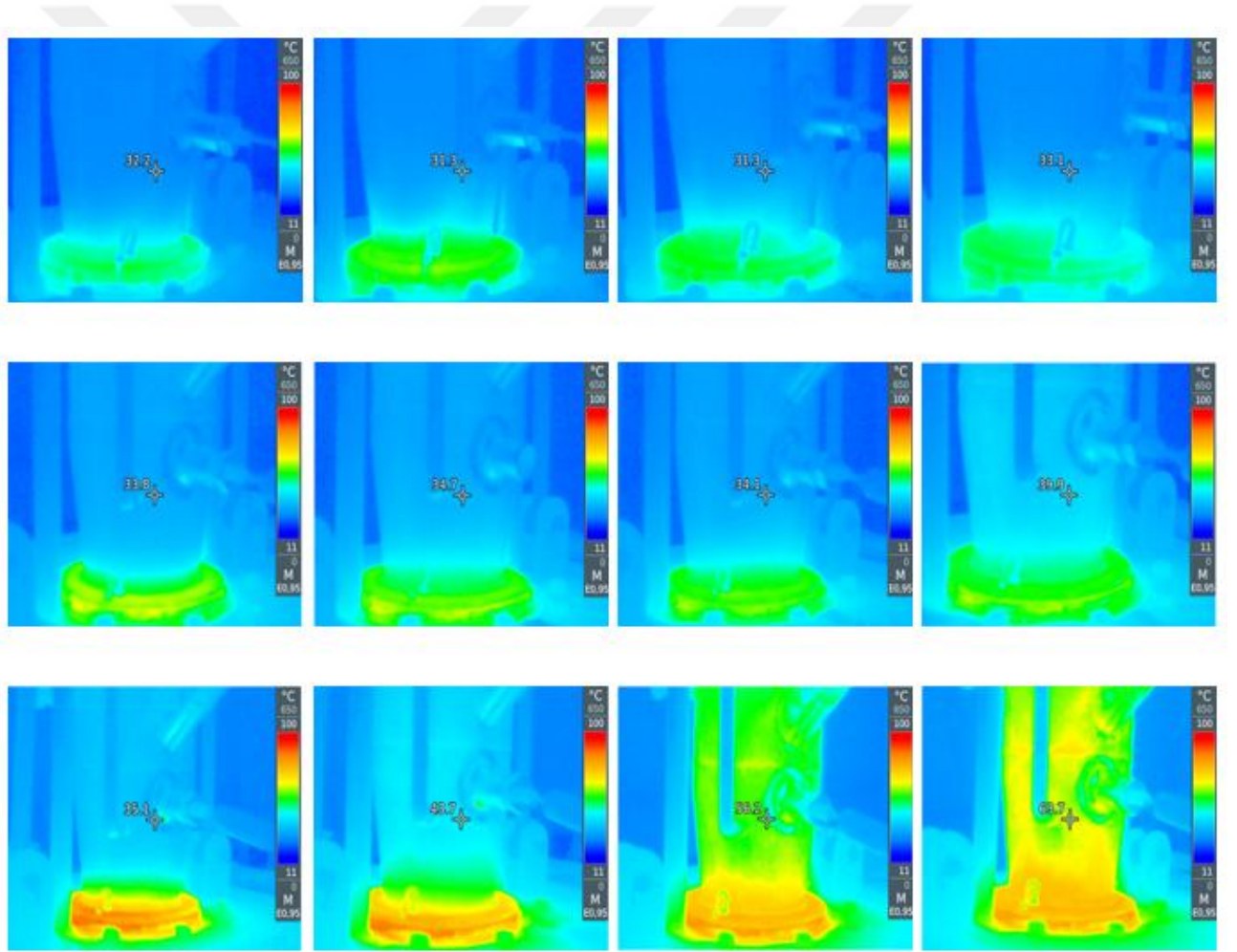


Şekil 4.42 Deney-4, Deney-5 ve Deney-6 termal kamera görüntüleri

Şekil 4.43 de  $dp_1=0,000274$  m yatak yüksekliği 100 mm olan silis kum numunesinin 150°C hava sıcaklığındaki 12.dakikasında üstten görüntüsü çekilmiştir. Ürün haznesinin kenarlarındaki sarı bölgeler hazneye yapışan silis kum numuneleridir.



Şekil 4.43 Deney-6 12.dakika termal kamera ile numune analizi

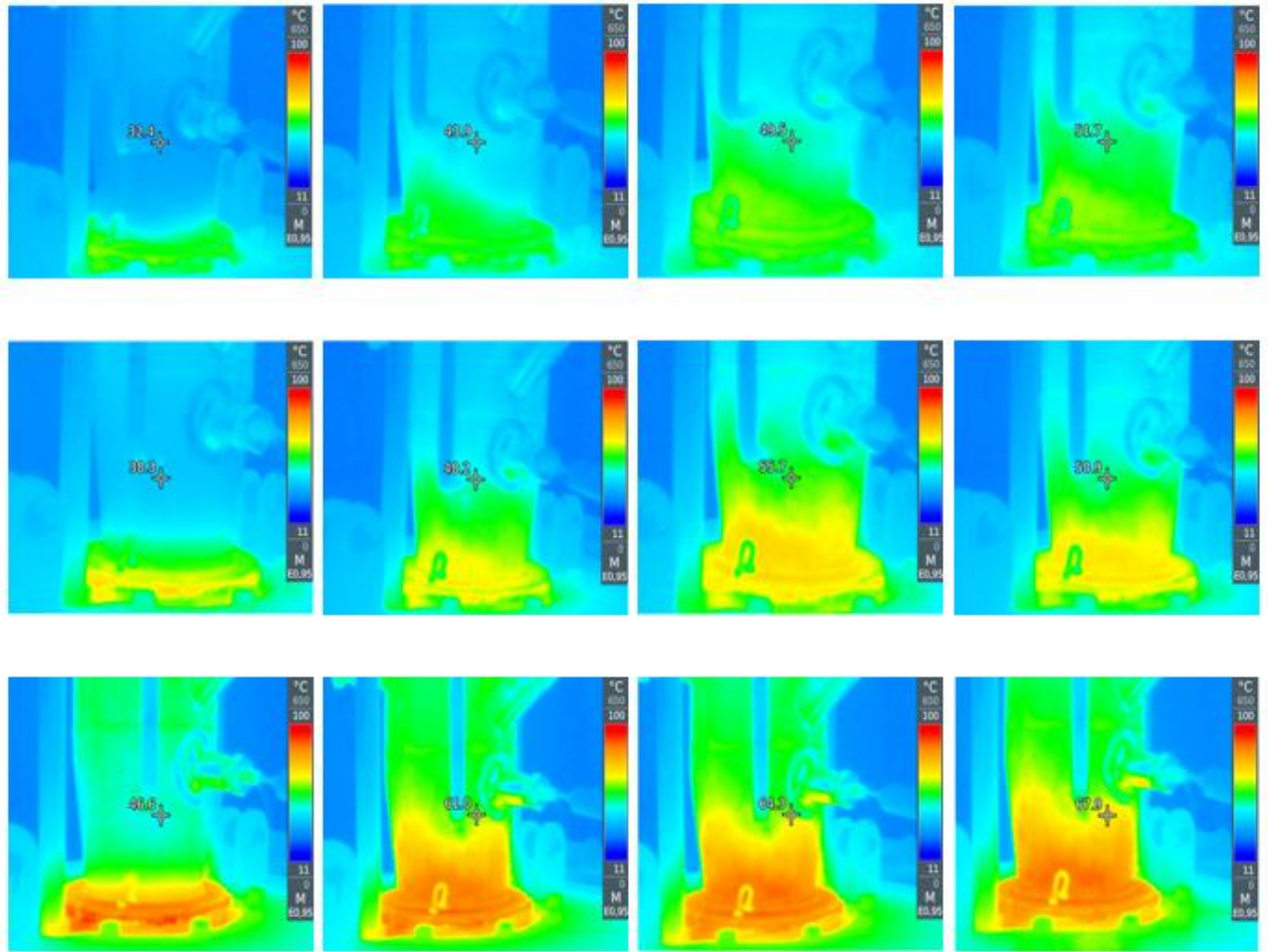


Şekil 4.44 Deney-7, Deney-8 ve Deney-9 termal kamera görüntüleri

Şekil 4.44 de  $dp_1=0,000274$  m yatak yüksekliği 150 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip

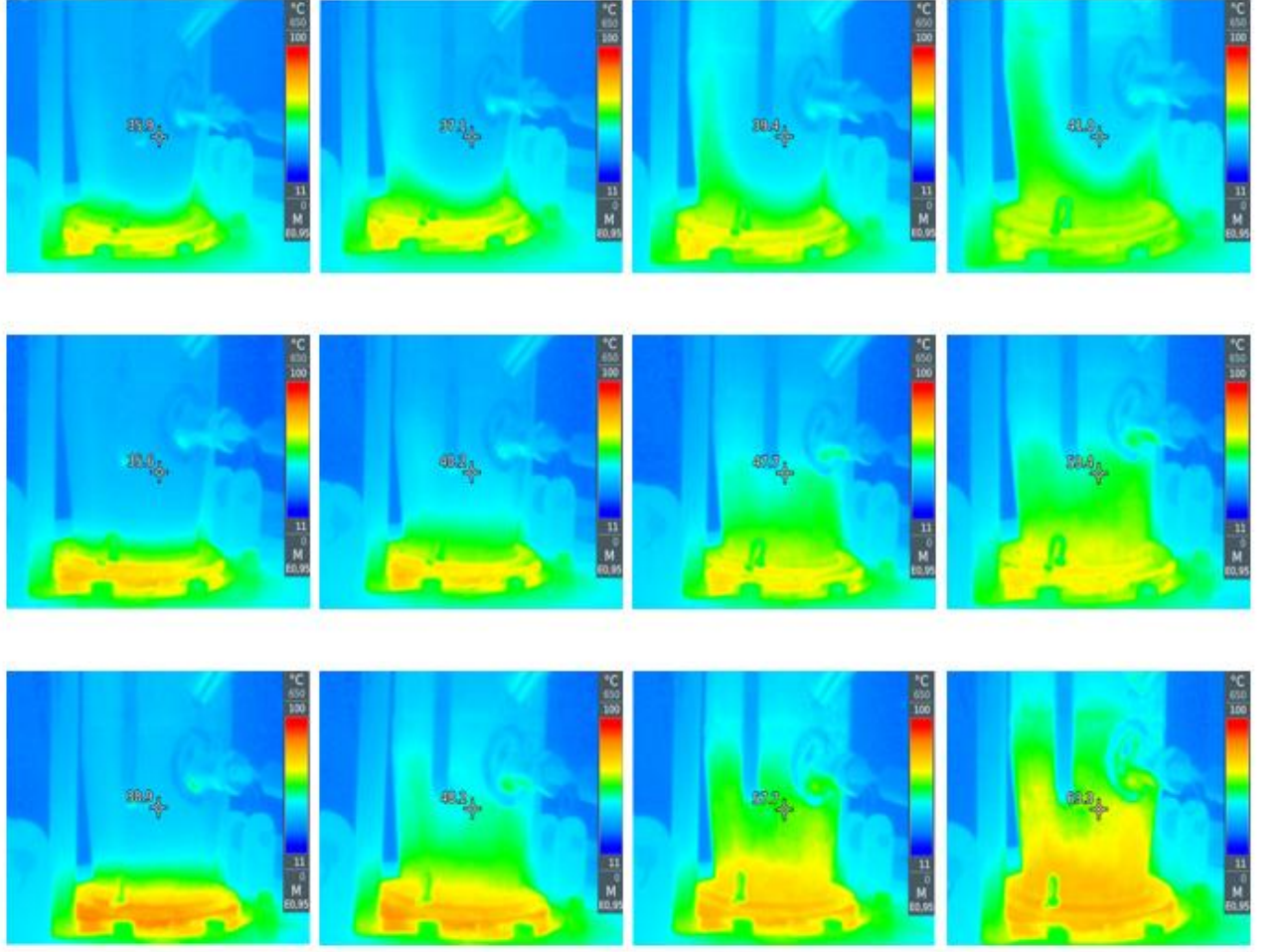
akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma havası sıcaklığı 150 °C çıkarıldığında 150 mm yatak yüksekliğindeki silis kumun diğer sıcaklıklara göre daha kısa sürede yeşil bölge olup kırmızı olduğu görülmektedir.

Şekil 4.45 de  $dp_2=0,000563$  m yatak yüksekliği 50 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma havası sıcaklığı 150 °C çıkarıldığında 50 mm yatak yüksekliğindeki silis kumun diğer sıcaklıklara göre daha kısa sürede yeşil bölge olup kırmızı olduğu görülmektedir. Yeşil bölgelerin arasında kalan mavi bölgeler ürünün hazneye yapıştığı silis kum numuneleridir.



Şekil 4.45 Deney-10, Deney-11 ve Deney-12 termal kamera görüntüleri

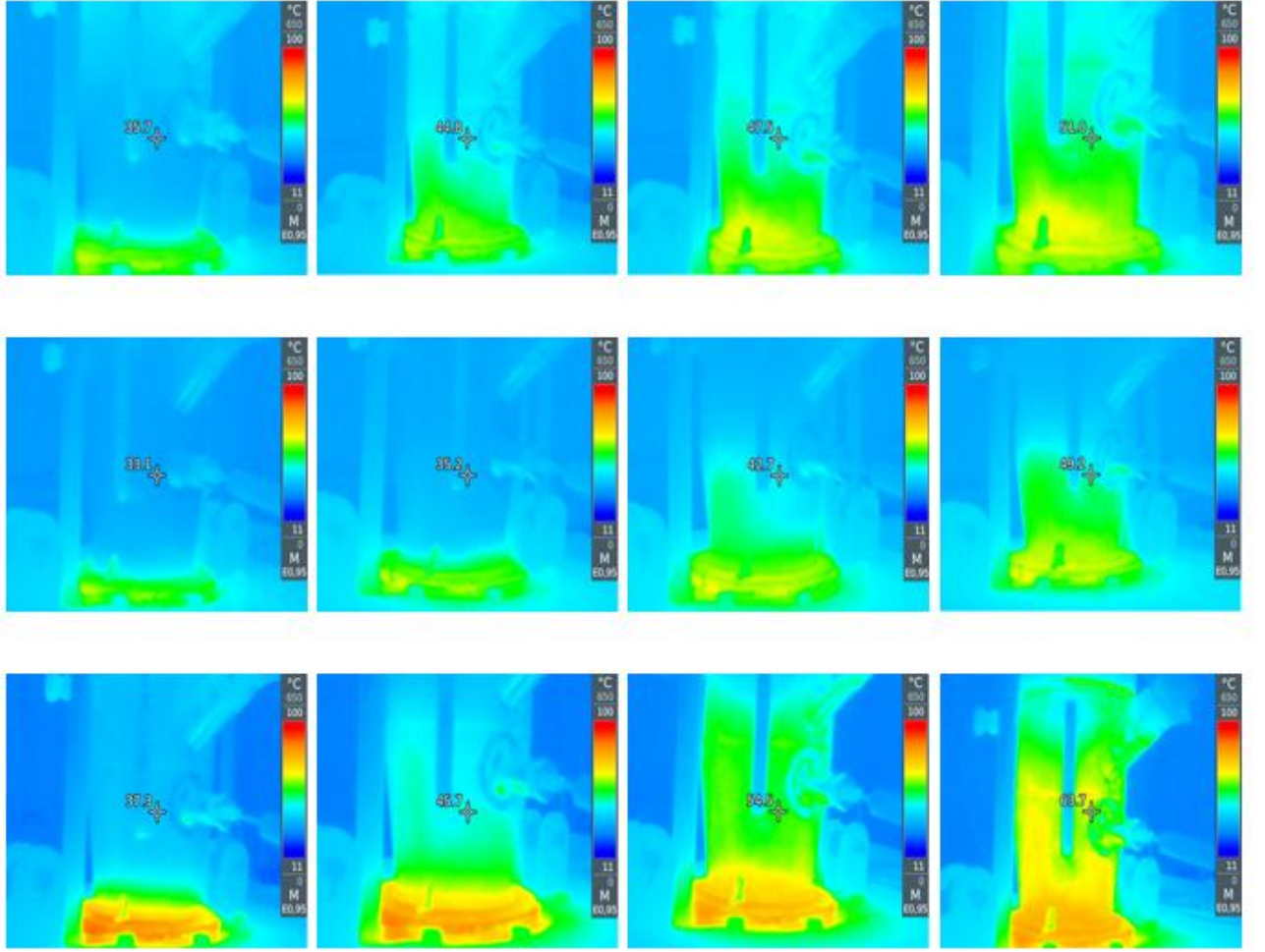




Şekil 4.46 Deney-13, Deney-14 ve Deney-15 termal kamera görüntüleri

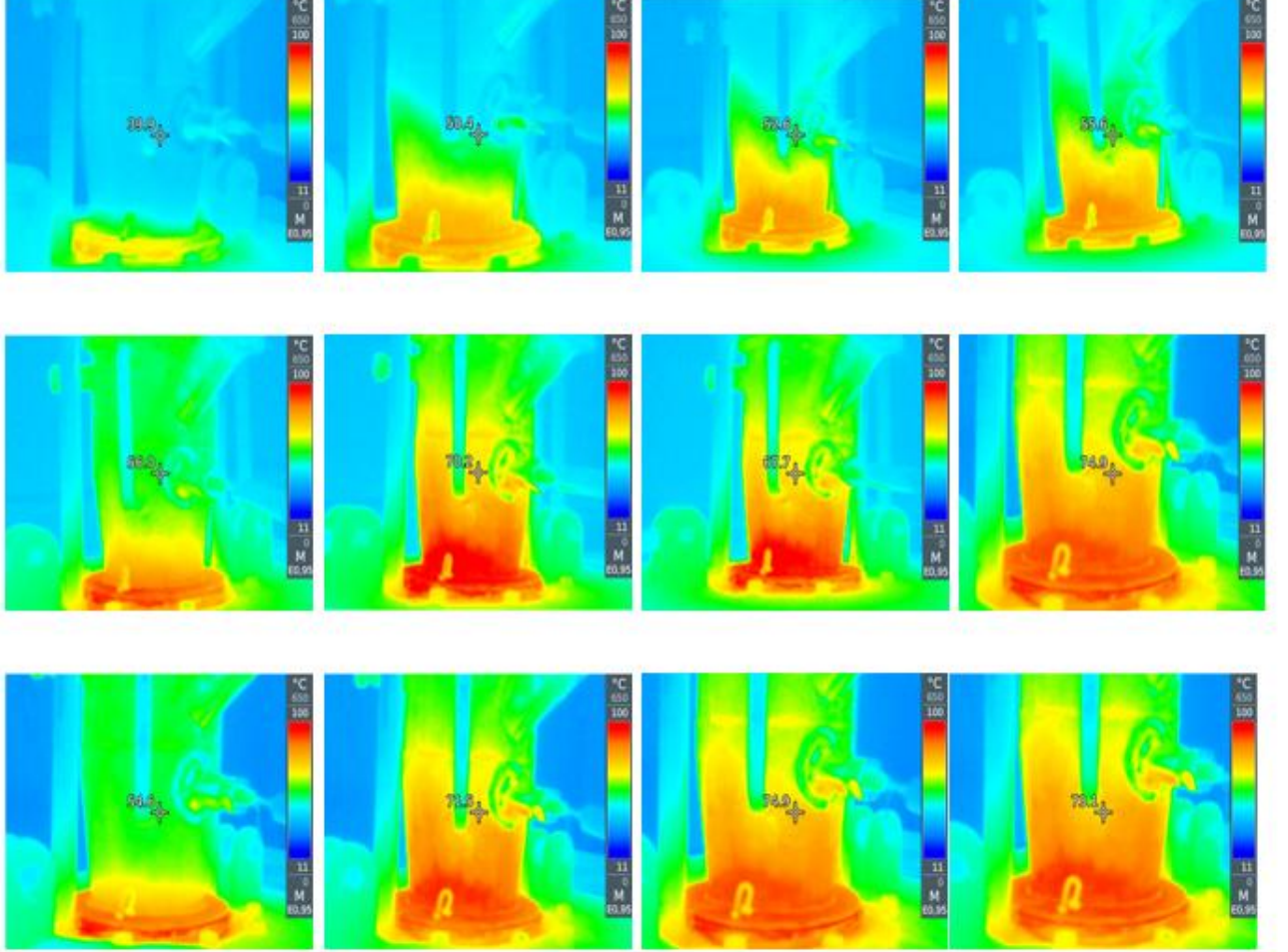
Şekil 4.46 de  $dp_2=0,000563$  m yatak yüksekliği 100 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Üçüncü ve dördüncü görüntüdeki yeşil bölgelerin arasında kalan mavi bölgeler ürünün hazneye yapıştığı silis kum numuneleridir.

Şekil 4.7 de  $dp_2=0,000563$  m yatak yüksekliği 150 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Deney-17’de kum akışkanlaşması tek noktadan patladığı ve akışkanlaşmanın sağlanabilmesi için hazneye bir çubuk yardımıyla karıştırma işlemi yapılmıştır ve akışkanlaşma sağlanmıştır.



Şekil 4.47 Deney-16, Deney-17 ve Deney-18 termal kamera görüntüleri

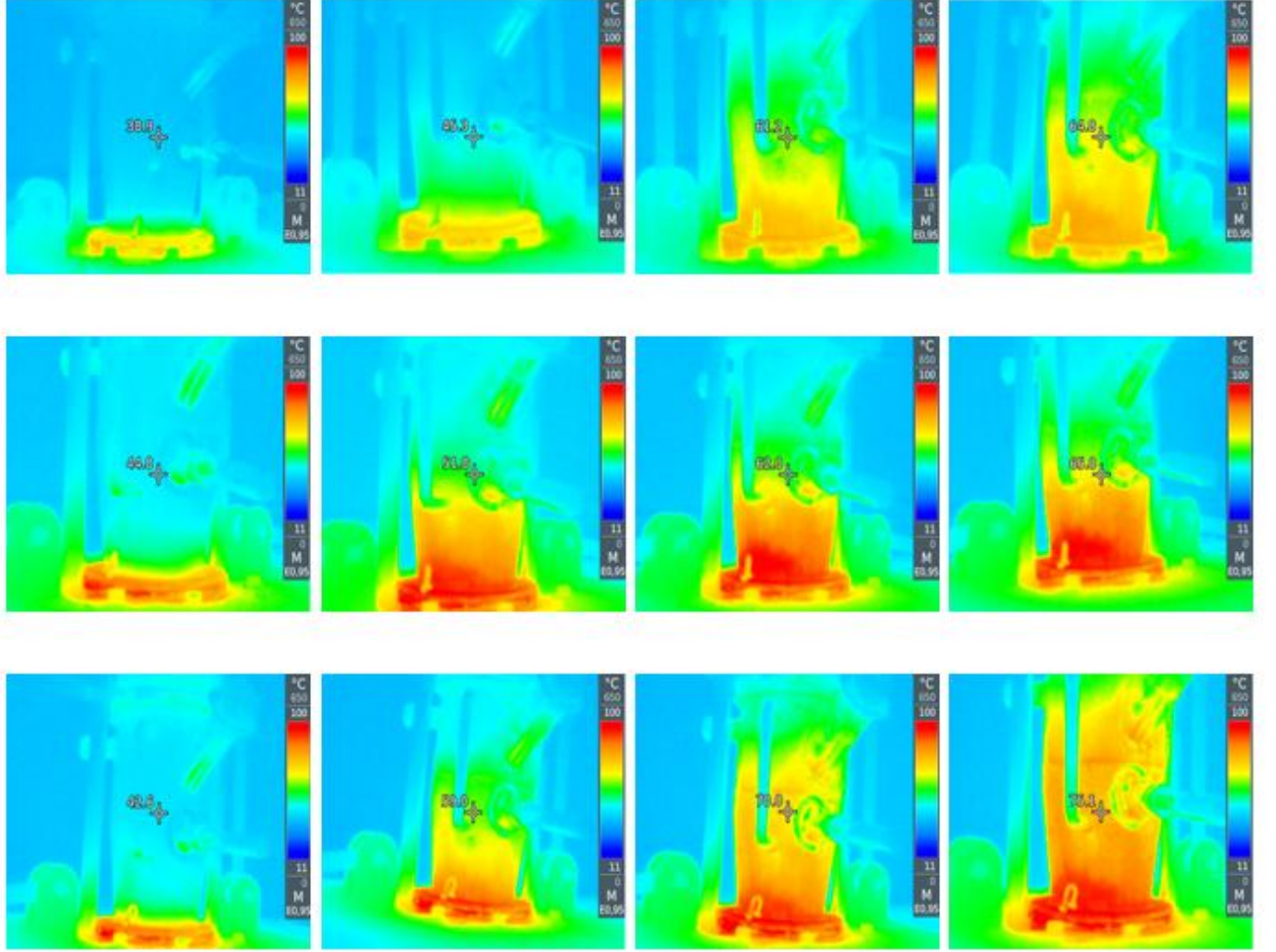
Şekil 4.48 de  $dp_3=0,000910$  m yatak yüksekliği 50 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.48 Deney-19, Deney-20 ve Deney-21 termal kamera görüntüleri

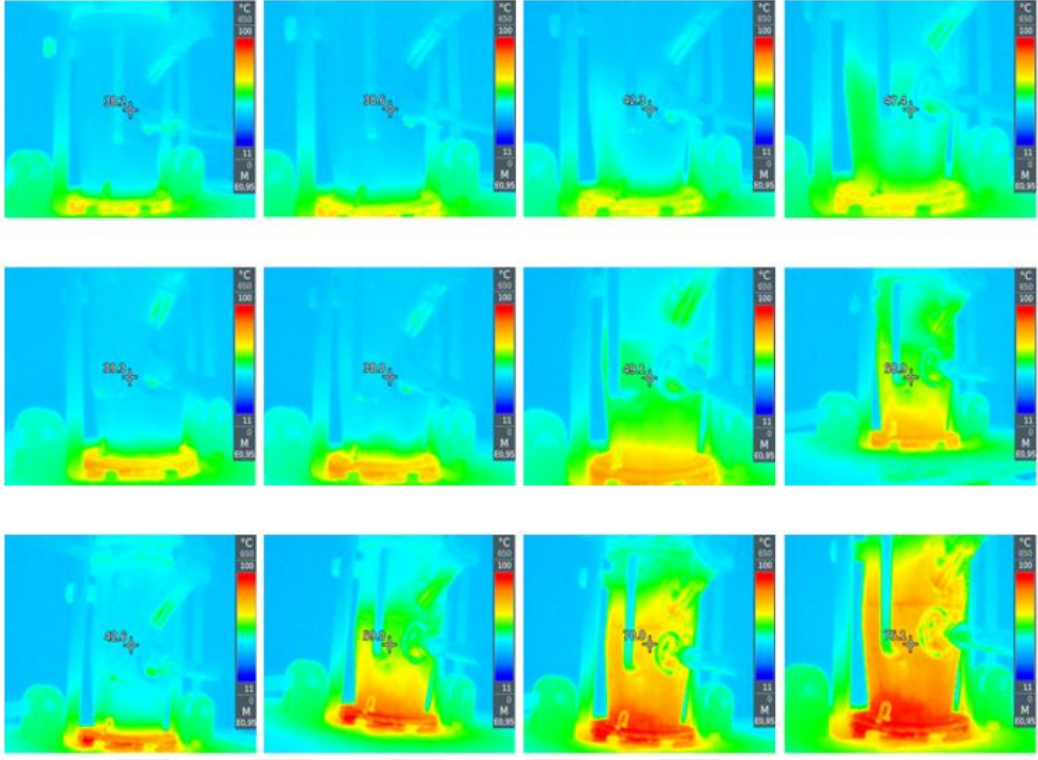


Şekil 4.49 de  $dp_3=0,000910$  m yatak yüksekliği 100 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır.

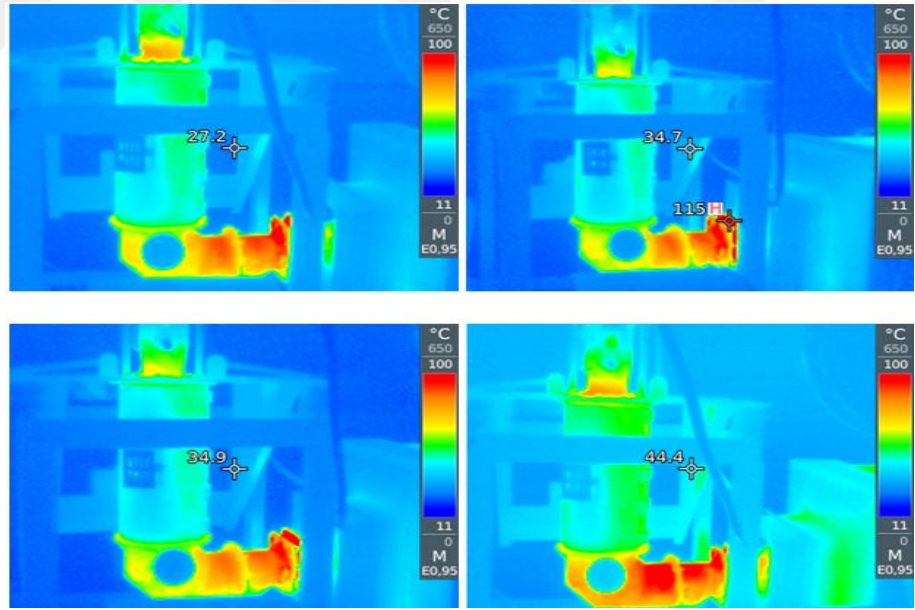


Şekil 4.49 Deney-22, Deney-23 ve Deney-24 termal kamera görüntüleri

Şekil 4.50 de  $dp_3=0,000910$  m yatak yüksekliği 150 mm olan silis kum numunesinin sırasıyla 90 °C, 120 °C ve 150 °C hava sıcaklığı uygulanarak 12 dakika boyunca dikey tip akışkan yataklı kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.50 Deneş-25, Deneş-26 ve Deneş-27 termal kamera görüntüleri



Şekil 4.51 Dikey tip akışkan yataklı kurutucunun termal kamera ile görüntüsü



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dikey tip akışkan yataklı kurutucuda silis kumun kurutulmasında partikül boyutu, sıcaklık ve kek yüksekliği parametreleri değişimlerinin kurumaya olan etkisi deneysel, teorik ve analiz olarak incelenmiş ve kurutma parametrelerinin basınç düşüşüne olan etkisi belirtilmiştir. Akışkan yatakların dinamik koşullarını etkileyen çeşitli faktörler arasında en önemlilerden biri akışkanlaşmanın başlangıçtaki hız yani minimum akışkanlaşma hızıdır. Silis kumun kurutulmasında minimum akışkanlaşma hızının tahmini için, deney ve söz konusu korelasyonların uyuma durumu karşılaştırılıp sapmaları incelenmiştir.

Çalışmalarda kullanılan silis kumun başlangıç nem değeri nem tayin cihazı ile %9,57 olarak belirlenmiştir. Silis kum numuneleri elek analizden geçirilmiş olup partikül boyutları  $dp_1=0,000274$  ,  $dp_2= 0,000563$  m ve  $dp_3=0,000910$  m olarak belirlenmiştir. Deneyler 90 °C, 120 °C ve 150 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 50 mm, 100 mm ve 150 mm yatak yüksekliklerinde gerçekleştirilmiştir. İlk çalışmalar  $dp_1=0,000274$  m silis kum numunesi ile başlamıştır. Deney-1, Deney-2 ve Deney-3 değerleri karşılaştırıldığında, kurutma havası sıcaklığı arttıkça ürünün nem kaybının hızlandığı görülmüştür. Tüm sıcaklık değerlerine göre karşılaştırıldığında, 50 mm yatak yüksekliğinde, 0,000274 m çapındaki silis kumun 6.dakika itibariyle nem değerinin sıfır değerine geldiği görülmektedir. En hızlı kurumanın 150°C’de olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.28). Deney-4, Deney-5 ve Deney-6 değerleri karşılaştırıldığında, kurutma havası sıcaklığı arttıkça ürünün nem kaybının hızlandığı görülmüştür. Tüm sıcaklık değerlerine göre karşılaştırıldığında, 100 mm yatak yüksekliğindeki, 0,000274 m çapındaki silis kumun 9.dakika itibariyle nem değerinin sıfır değerine geldiği görülmektedir. En hızlı kurumanın 150°C’de olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.29). Deney-7, değerleri incelendiğinde yatak yüksekliğinin 150 mm’ e çıkarılmasıyla nem kaybının Deney-1’deki değerlere göre daha geç olduğu görülmektedir (Şekil 4.30).

Yapılan çalışmada  $dp_1=0,000274$  m ve  $dp_3=0,000910$  m çapındaki silis numunelerinin deneylerinde ürünün akışkanlaşması sağlanırken sıcak havanın tek noktadan patlama durumları ve küçük partiküllerin hazneye yapışma durumları gözlemlenmiştir. Tüm deney sonuçları karşılaştırıldığında silis kum numunesinin kurutma sıcaklığının artışıyla nem kaybının hızlandığını göstermektedir.

Deney parametrelerinin basınç düşümüne olan etkisi incelendiğinde yatak yüksekliğindeki artışın basınç düşümünü de arttırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.40).

Silis kumun kurutulmasında minimum akışkanlaşma hızının tahmini için, deney ve söz konusu korelasyonların uyuşma durumu karşılaştırıldığında deneylerde elde edilen  $U_{mf}$ 'nin  $dp_1=0,000274$  m partiküller için 0,1 m/s hızında  $dp_2=0,000563$  m partiküller için 0,3 m/s hızında ve  $dp_3=0,000910$  m partikül boyutu için 0,7 m/s hızında olduğu statik yatak yüksekliğinin minimum akışkanlaştırma hızı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Korelasyonlar ile hesaplama yapıp deneysel veriler karşılaştırıldığında ortalama %32,36 oranında sapma olduğu görülmektedir. Minimum akışkanlaştırma hızının parçacık boyutuyla doğrudan ve sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Deneysel veriler ile en yakın değerlerin Babu vd., Saxena and Vogel ve Vaid and Sen Gupta korelasyonları olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Anantharaman, A., Cocco, R. A., & Chew, J. W. (2018). Evaluation of correlations for minimum fluidization velocity (Umf) in gas-solid fluidization. *Powder technology*, 323, 454-485.
- Banza, A. N., Quindt, J., & Gock, E. (2006). Improvement of the quartz sand processing at hohenbocka. *International Journal of Mineral Processing*, 79, 76-82.
- Basaran, B., Bitlisli, B. O., Sarı, Ö., Özbalta, N., & Güngör, A. (2004, Ekim 7-8). Deri Kurutulmasında Yeni Teknolojiler: Isı pompalı Kurutucular. *I.Ulusal Deri Sempozyumu*. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Deri Mühendisliği Bölümü.
- Bayat, O., Arslan, V., Vapur, H., & Uçurum, M. (2004, Mayıs 13-14). *Kuvars kumu kirleticilerinin oksalik asit liçi ile uzaklaştırılması*. 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir, Türkiye.
- Boulemtafes-Boukadoum, A., & Benzaoui, A. (2011). Energy and exergy analysis of solar drying process of mint. *Energy Procedia*, 6(2011), 583-591.
- Chen, X. (2008). The basics of a reaction engineering approach to modeling air-drying of small droplets or thin-layer materials. *Drying Technology*, 26(6), 627-639.
- Chirone, R., Poletto, M., Barletta, D., & Lettieri, P. (2020). The effect of temperature on the minimum fluidization conditions of industrial cohesive particles. *Powder Technology*, 362, 307-322.
- Coltters, R., & Rivas, A. L. (2004). Minimum fluidation velocity correlations in particulate systems. *Powder Technology*, 147, 34-48.
- Çalhan, R., Kaya, D., Tulger, G., & Eyidoğan, M. (2012). ORGANİK GÜBRE KURUTMA TEKNOLOJİLERİ: AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCULAR. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(634), 22-33.
- Doğan, H., & Ersöz, A. M. (2009, Mayıs 13-15). *Akışkan Yatak Sürekli Kurutucuda Tuz Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi*. 2020 tarihinde Foodelphi: <https://www.foodelphi.com/akiskan-yatak-surekli-kurutucuda-tuz-kurutulmasinin-deneysel-incelenmesi-hikmet-dogan/> adresinden alındı
- Das, H. J., Mahanta, P., & Saikia, R. (2020). Characterization of sand particles in a bubbling fluidized bed with diverging riser. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 119, 104953.
- DTP. (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri III (Kuvars Kumu-Kuvarsit-Kuvars) Çalışma Grubu Raporu. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Ernst & Young. (2010). Dünyada ve Türkiye'de Madencilik Sektörü. İstanbul.
- Farraji, A., & Taofeeq, H. (2020). Effect of elevated temperature and silica sand particle size on minimum fluidization velocity in an atmospheric bubbling fluidized bed. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28, 2985-2992.

- Fotovat, F., Ansart, R., Hemati, M., & Simonin, O. (2015). Sand-assisted fluidization of large cylindrical and spherical biomass particles: Experiments and simulation. *Chemical Engineering Science*, 126, 543-559.
- Goo, J. H., Seo, M. W., Kim, S. D., & Song, B. H. (2010). *Effects of temperature and particle size on minimum fluidization and transport velocities in a dual fluidized bed. proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion*, (s. 305-310).
- Güngör, A., & Özbalta, N. (1997). Endüstriyel Kurutma Sistemleri. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 14, 737-747.
- Güngör, A., & Özbalta, N. (2009). Kurutmanın Temelleri ve Endüstriyel Kurutucular Kurs Notları. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir.
- Hacıfazlıoğlu, H., Terzi, M., Kara, T. D., & Kurşun, İ. (2016). Silis kumun liç yöntemi ile saflaştırılmasında organik ve inorganik asitlerin verimliliğinin araştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4, 11-16.
- Kalkınma Bakanlığı. (2015). Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018) Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu. ISBN: 978-605-9041-27-0. Ankara: Yayın No: KB:2926-ÖİK:753.
- Keser, B. Y. (2010). Kaliteli Cam Üretiminde Küçük Boyutlu Silis Kumu Kullanımının Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Köse, H. M., & Diker, M. (1999, Ekim 14-15). *Maden ve madencilğe dayalı sanayilerin Türkiye ekonomisine katkısı..* İzmir, Türkiye.
- Kurşun, İ., & İpekoğlu, B. (1995, Nisan 21-22). *Türkiye kuvars kumu potansiyeline genel bir bakış*. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir, Türkiye.
- Kurtuluş, O. (2007). *Akışkan yatakta kurutma prosesinin incelenmesi* (M.S. thesis). YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY.
- Lin, C.-L., Wey, M.-Y., & You, S.-D. (2002). The effect of particle size distribution on minimum fluidization velocity at high temperature. *Powder Technology*, 126, 297-301.
- Lin, S., & Chen, X. (2004). Changes in milk droplet diameter during drying under constant drying conditions investigated using the glass-filament method. *Food and Bioproducts Processing*, 82(C3), 213-218.
- Macri, D., Poletto, M., Barletta, D., & Lettieri, P. (2020). An investigation of the flow properties of rutile particles: Fluidization behaviour linked with shearing studies. *Powder Technology*, 374, 544-559.
- Mirza, M. (2006). *Isı Pompalı Kurutucunun Isıl Tasarımı*. İzmir: Ege üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Mujumdar, A. S. (2000). *Mujumdar's practical guide to industrial drying*. Edited by Sakamon
- Mujumdar, A.S. (Ed.). (2006). *Handbook of Industrial Drying* (3rd ed.). CRC Press.

- Nakamura, M., Hamada, Y., & Toyama, S. (1985, February). An experimental investigation of minimum fluidization velocity at elevated temperatures and pressures. *The Canadian Journal Of Chemical Engineering*, 63, 8-13.
- Önal, G. (2015). Türkiye'nin maden kaynakları ve ekonomiye katkısı. *İTÜ Vakıf Dergisi*, 18-21.
- Özbek, B., & Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Engineering*, 83(4), 541-549.
- Polatçı, H., & Tarhan, S. (2009). Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi. *GOU. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 61-70.
- Ren, Z., Hao, Y., & Wang, B. (2011). Experimental analysis on spiral pressure nozzle and spray angle control in the spray dryer. *International Conference on Internet Computing and Information Services*, (s. 163-165).
- Rhodes, M. (2008). *Introduction to Particle Technology*. John Wiley & Sons ,Ltd.
- Sau, D. C., Mohanty, S., & Biswal, K. C. (2008). Minimum fluidization velocity at elevated temperature in tapered fluidized bed. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 2391-2394.
- Sert, D. U., & Hacıhafizoğlu, H. (2019). *Feldspat konsantrasyonunun kurutulması için kızılötesi ısıtmalı yeni bir kurutucu tasarımı*. Türkiye 26. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, (s. 1391-1398). Antalya.
- Shao, Y., Li, Z., Zhong, W., Bian, Z., & Yu, A. (2020). Minimum fluidization velocity of particles with different size distributions at elevated pressures and temperatures. *Chemical Engineering Science*, 216, 115555.
- Shao, Y., Ren, B., Jin, B., Zhong, W., Hu, H., Chen, X., & Sha, C. (2013). Experimental flow behaviors of irregular particles with silica sand in solid waste fluidized bed. *Powder Technology*, 234, 67-75.
- Subramani, H. J., Balaiyya, M. M., & Miranda, L. R. (2007). Minimum fluidization velocity at elevated temperatures for Geldart's group-B powders. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32, 166-173.
- Therdthai, N., & Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *Journal of Food Engineering*, 91(3), 482-489.
- Tülümen, E. (1985). Anadolu Cam sanayi AŞ. Hammaddeleri T.Ş.C.F. A.Ş. Araştırma Müdürlüğü Raporu No: 178. İstanbul.
- Vasconcelos, D., Batalha, G., Pereira, L. G., & Pires, C. A. (2018). Fluidization of binary mixtures of sisal residue and sand: A new model for deriving the final fluidization velocity. *Particuology*, 40, 10-22.

Yağcıoğlu, A. (1999). *Tarım ürünleri kurutma tekniği. Yardımcı ders kitabı.* içinde İzmir: Ege Üniversitesi Yayını.

Zhang, P., Wu, P., Zhang, Q., Shi, Z., Wei, M., & Jaberı-Douraki, M. (2017). Optimization of feed thickness on distribution of airflow velocity in belt dryer using computational fluid dynamics. *Energy Procedia*, 142(2017), 1595-1602

