



**AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU PERFORMANSINI ETKİLEYEN
FAKTÖRLERİN OPTİMİZASYONU**

SULTAN PEKTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN

2022

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU PERFORMANSINI ETKİLEYEN
FAKTÖRLERİN OPTİMİZASYONU

SULTAN PEKTAŞ

ORCID: 0000-0003-2922-5871

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN

HAZİRAN-2022

Her hakkı saklıdır

ÖZET

AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN OPTİMİZASYONU

Sultan PEKTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN

Bu çalışmada akışkan yataklı kurutucuda yatak yüksekliği, hava hızı ve hava sıcaklığı gibi parametrelerin kurutmaya olan etkisi teorik, analiz ve deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda %3 ilk nem değerine sahip tuz ürünü kullanılmıştır. Minimum akışkanlaştırma hızı, Arşimet sayısı, Reynolds sayısı gibi değerler bulunarak basınç düşümü değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler MFIX programında yapılan analizler ve pilot tip statik akışkan yataklı kurutucu ekipmanında yapılan denemeler ile karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Akışkan yatak durumunda parametreler karşılaştırıldığı zaman, teorik hesaplamalarda hava hızındaki artışın basınç düşümüne etkisinin daha fazla olduğu sonucuna ulaşılsa da analizlerde yatak yüksekliğinin daha etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akışkan yataklı, tuz, hava hızı, sıcaklık, yatak yüksekliği, MFIX

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF FACTORS AFFECTING THE PERFORMANCE OF FLUDIZED BED DRYER

Sultan PEKTAŞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Soner ÇELEN

In this study, effect of factors such as bed height, air velocity and air temperature on drying is investigated theoretically, analytical and experimentally in fluid bed dryer. In the studies salt that has a initial %3 moisture level is used. Pressure drop is calculated with minimum fluidization velocity, Archimed Number and Reynolds Number. These calculated values are compared to and verified with simulations that run with MFIX Software and experimental tests that made with pilot type static fluid bed dryer. With comparing the results as in fluid bed state, in therotical calculations increasing the air velocity had a higher impact on pressure drop however in simulations bed height had a higher impact on pressure drop.

Keywords: Fluid Bed, salt, air velocity, temperature, bed height, MFIX

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	5
2. TUZ ve KURUTMA.....	6
2.1 Tuz	6
2.2 Kurutma	7
2.3 Kurutma Teorisi	8
2.3.1 Nem Miktarı.....	8
2.3.2 Kütle ve Isı Transferi	8
2.3.3 Kuruma Eğrisi.....	8
2.4 Kurutma Tipleri	9
2.4.1 Bantlı Kurutma.....	9
2.4.2 Vakum Kurutma.....	9
2.4.3 Spray (Püskürtmeli) Kurutma	9
2.4.4 Rotary (Döner) Kurutma.....	9
2.4.5 Solar Kurutma.....	10
2.4.6 Flash Kurutma.....	10
2.4.7 Akışkan Yataklı Kurutma	10
2.5 Akışkan Yataklı Kurutucu	11
2.5.1 Akışkanlaştırma Teorisi	12
2.5.2 Akışkan Yataklı Kurutucu Tipleri	12
2.5.2.1 <i>Vibrasyonlu Akışkan Yataklı Kurutucu</i>	13
2.5.2.2 <i>Shaking (Sallamalı) Akışkan Yataklı Kurutucu</i>	14
2.5.2.3 <i>Statik Akışkan Yataklı Kurutucu</i>	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17

3.1 Materyaller	17
3.1.1 Kurutulacak Ürün: Tuz	17
3.1.2 Nem Tayin Cihazı	18
3.1.3 Dökme Yoğunluğu Tespit Cihazı ve Tartım Terazisi.....	19
3.1.4 Elek Sarsım Cihazı.....	20
3.1.5 Laboratuvar Tip Statik Akışkan Yataklı Kurutucu	22
3.2 Deneme Planı ve Yöntemler	27
3.2.1 Deneme Planı	27
3.2.2 Matematiksel Modelleme.....	29
3.2.2.1 Arşimet Sayısı	29
3.2.2.2 Reynolds Sayısı	30
3.2.2.3 Reynolds Sayısı ile Arşimet Sayısı Korelasyonu.....	31
3.2.2.4 Minimum Akışkanlaştırma Hızı	31
3.2.2.5 Kaynama Sırasındaki Porozite Değeri	32
3.2.2.6 Küresellik Değeri	32
3.2.2.7 Basınç Düşümü Hesabı	32
3.2.3 Analiz Yöntemi	32
4. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	34
4.1 Laboratuvar Test Sonuçları	34
4.1.1 Tuz Ürününün Elek Analiz Sonucu	34
4.1.2 Tuz Ürününün Nem Tayin Sonucu	35
4.1.3 Test Basınç Düşümü Sonuçları	35
4.1.4 Test Kuruma Sonuçları	38
4.2 Matematiksel Modelleme Sonuçları	40
4.2.1 Hız Parametresi Matematiksel Modelleme Sonuçları.....	42
4.2.2 Sıcaklık Parametresi Matematiksel Modelleme Sonuçları	43
4.2.3 Yatak Yüksekliği Parametresi Matematiksel Modelleme Sonuçları	45
4.3 MFIX Analiz Sonuçları.....	47
4.3.1 Hız Parametresi Analiz Sonuçları	49
4.3.2 Sıcaklık Parametresi Analiz Sonuçları.....	50
4.3.3 Yatak Yüksekliği Parametresi Analiz Sonuçları.....	50
4.4 Basınç Düşümü Sonuçlarının Karşılaştırılması	51
4.5 Sonuçlar	53
KAYNAKLAR	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Radwag MA50.R nem tayin cihazının teknik özellikleri	19
Çizelge 3.2. Retesh As 200 Basic marka elek cihazının teknik özellikleri	21
Çizelge 3.3. Deneme çizelgesi.....	28
Çizelge 3.4. Parametrelerin sayısal değer tablosu	29
Çizelge 3.5. Reynolds sayısına göre akış tipi tablosu	31
Çizelge 4.1. Tuz elek analiz sonuçları	34
Çizelge 4.2. Kurutma testi basınç düşümü sonuçları.....	36
Çizelge 4.3. Kurutma testi nem ölçüm sonuçları.....	38
Çizelge 4.4. Matematiksel hesaplama sonuçları.....	41
Çizelge 4.5. Hız parametresinin karşılaştırma plan tablosu	42
Çizelge 4.6. Sıcaklık parametresinin karşılaştırma plan tablosu	43
Çizelge 4.7. Yatak yüksekliği parametresinin karşılaştırma plan tablosu	45
Çizelge 4.9. MFIX analiz sonucu basınç düşümü tablosu.....	47
Çizelge 4.11. Basınç düşümü hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılma tablosu.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kuruma eğrisinin zamana bağlı gösterimi.....	8
Şekil 2.2. Örnek akışkan yataklı kurutucu sistemi (Ersöz ve Doğan, 2009).....	11
Şekil 2.3. Akışkan yatak içinde oluşabilecek kabarcıklar (Kunii ve Levenspiel, 1977).....	12
Şekil 2.4. Örnek vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucu tasarımı.....	14
Şekil 2.5. Örnek sallamalı akışkan yataklı kurutucu tasarımı.....	15
Şekil 2.6. Örnek statik akışkan yataklı kurutucu tasarımı.....	16
Şekil 3.1. %3 nemli tuz ürünü.....	17
Şekil 3.2. Radwag MA50.R nem tayin cihazı.....	18
Şekil 3.3. Dökme yoğunluk aparatı ve Desis AHC+ tartım terazisi.....	20
Şekil 3.4. Retsch As 200 Basic marka elek cihazı.....	21
Şekil 3.5. Laboratuvar tip statik akışkan yataklı kurutucu sistemi.....	22
Şekil 3.6. Statik akışkan yataklı kurutucu operatör paneli.....	23
Şekil 3.7. TMM marka EJ 9 KB model kurutucu besleme fanı.....	23
Şekil 3.8. Testo marka 410-1 model Cep Tipi Pervaneli Anemometre.....	24
Şekil 3.9. Elektrikli rezistanslı ısıtıcı ve PT100 sıcaklık sensörü.....	24
Şekil 3.10. Mantar tip elek plakası.....	25
Şekil 3.11. Elek altı basınç ölçüm manometresi (0-250mbar).....	25
Şekil 3.12. Ürün besleme haznesi ve 80mm yatak yüksekliğindeki tuz ürünü.....	26
Şekil 3.13. (a) Numune tuz alma bölümü, (b) tuz alma aparatı, (c) numune tuz saklama kabı.....	26
Şekil 3.14. Kurutucu çıkışı iğne keçeli filtre torbası.....	27
Şekil 3.15. Osborne Reynolds (1842-1912)'un yaptığı deneysel boru akışında oluşan akış durumları (Çengel ve Cimbala, 2008).....	30
Şekil 3.16. MFIX kurutucu modeli.....	33
Şekil 4.1. Elek analizi sonucunda elek yüzeyinde kalan tuz miktarları.....	34
Şekil 4.2. Yaş tuz ürününün nem ölçüm sonuçları.....	35
Şekil 4.3. Okunan manometre basınç değerleri.....	37

Şekil 4.4. Akışkanlaşmış tuz ürünün basınç düşümüne etki grafiği - Test.....	37
Şekil 4.5. Zamana göre nem değişim grafiği - Test.....	39
Şekil 4.6. Farklı parametrelerde kaynama görüntüleri - Test	40
Şekil 4.7. Hız parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Teorik	43
Şekil 4.8. Sıcaklık parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Teorik	45
Şekil 4.9. Yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne etki grafiği - Teorik.....	46
Şekil 4.10. MFIX analizi 1,30’uncu dakikadaki kaynama görüntüleri	47
Şekil 4.11. Hız parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Analiz	49
Şekil 4.12. Sıcaklık parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Analiz	50
Şekil 4.13. Yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Analiz.....	51
Şekil 4.14. Basınç düşümü hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılma grafiği.....	52

SİMGELER DİZİNİ

ΔP	Basınç düşümü (Pa)
Ar	Arşimet sayısı (Boyutsuz)
d	Yoğunluk (kg/m^3)
d_p	Partikül çapı (m)
h	Yatak yüksekliği (m)
h_{fg}	Gizli buharlaşma enerjisi (kJ/kg)
m	Kütle (kg)
U	Akışkan hızı (m/s)
u_{mf}	Minimum akışkanlaştırma hızı (m/s)
Re_p	Reynolds sayısı (Boyutsuz)
Re_{mf}	Minimum akışkanlaştırmada Reynolds sayısı (Boyutsuz)
V	Hacim (m^3)
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi (Pa.s)
ε	Porozite oranı (Boyutsuz)
ε_{mf}	Minimum akışkanlaştırmada porozite oranı (Boyutsuz)
ρ_g	Havanın özgül ağırlığı (kg/m^3)
ρ_p	Partikülün özgül ağırlığı (kg/m^3)
φ	Silindiriklik oranı (Boyutsuz)
Q	Faz değiştirmek için gerekli enerji (kJ)

KISALTMALAR DİZİNİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
DEM	Discrete Element Method
KM	Katı Madde Miktarı
MFIX	Multiphase Flow with Interphase eXchanges



TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sırasında öncelikle, her zaman bilgi ve fikirlerini aktarmaya çalışan değerli danıŐmanım Doç. Dr. Soner ÇELEN' ne teŐekkürlerimi sunarım. Çalışma sürecinin baŐından sonuna kadar desteklerini sürekli hissettiren eŐime ayrıca sonsuz teşekkür ederim.

Sultan PEKTAŞ

Mekatronik Mühendisi



1. GİRİŞ

Tuz mineralce zengin bir maden çeşidi olup genellikle çeşni ve gıda koruyucu olarak kullanılır. Eski zamanlarda, uygarlıkların tarihsel gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Bazı uygarlıklarda tuz altın kadar değerli kabul edilmiş olup, insanların maaşları tuz ile ödenmiştir. İngilizce dilinde maaş anlamına gelen “Salary” kelimesinin temelini “Salt” (tuz) kelimesinden geldiği düşünülmektedir. Elektriğin ve buzdolaplarının icadına kadar tuz temelde gıdaları korumak için kullanılmıştır (Elias ve Arkadaşları, 2020).

Günümüzde tuz, gıda alanında tat vermek dışında kimya ve sanayi alanında da kullanılmaktadır. Tuzun üretiminde kurutma prosesi yer almakta olup, işleneceği alana uygun değerlere getirilmektedir. Uzun ömürlü olması ve bozulmaması için kurutma tuz üretiminde önemli bir yer almaktadır (Demirkol, Çiftçi ve Çiftçi, 2018).

Kurutma, bir maddeden suyun ısı kaynağı yardımı ile uzaklaştırılma işlemidir. Suya, gizli buharlaşma enerjisine ulaşacak kadar enerji verilmektedir. Buna bağlı olarak su, su buharına dönüştürülerek ortamdan ayrıştırılır. Kurutmanın kullanıldığı bazı sektörler şunlardır; gıda, ilaç, kimya, maden, geri dönüşüm vb. (Kepceoğlu, Moralar ve Çelen, 2020).

Kurutma prosesi işleminin bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir; üründe oluşabilecek fermantasyon miktarını azaltmak, su moleküllerinin üründen uzaklaştırılmasıyla depolama kapasitesini arttırmak, evsel ve endüstriyel atıkların geri dönüşümünü sağlamak, sevkiyat ve paketleme maliyetlerini azaltmak vb.

Kurutulacak ürünün yapısı, kullanılacak enerji kaynağı ve kurutma kapasitesi gibi koşullar kurutma tipini belirlemektedir. Kurutma tipine göre farklı kurutucu modelleri mevcuttur. Endüstride kullanılan başlıca kurucu modelleri; rotary kurutucu, bantlı kurutucu, vakum kurutucu, spray kurutucu, akışkan yataklı kurutucu vb.

Akışkan yataklı kurutucular, nemli ürünü akışkanlaştırarak, ürünün havada belli bir süre asılı kalmasını sağlayarak, kurutma işlemi yapılan proses sistemleridir. Ürünün havada asılı kalması için alttan hava beslenir ve partiküle etki eden yerçekimi kuvveti yenilir. Bu sayede hava ile temas yüzeyi artırılarak maksimum kurutma sağlanmış olur.

Akışkan yataklı kurucularda ürünün üzerinde ilerlediği bir perfore sac mevcuttur. Bu perfore sacın üzerinde havanın, ürüne her yerden eşit temas etmesini sağlayacak küçük

delikler bulunmaktadır. Hava, ürüne her yerde eşit temas ettiğinden kurutucu çıkışında ürünün sıcaklığının ve nem miktarının her yerde eşit olduğu kabul edilmektedir.

Akışkan yataklı kurutucuda ideal kurutma performansının gerçekleşmesi için tasarımının doğru ölçülerde olması gerekmektedir. Tasarım giriş ürün değerleri ve istenilen çıkış ürün değerlerine uygun belirlenmelidir. Ürünün yapısına uygun seçilen kurutma sıcaklığı, kapasite doğrultusunda belirlenen yatak yüksekliği ve akışkanlaşma için gerekli hava kapasitesi makinenin dış ölçülerini belirlemede önemli kriterleri oluşturmaktadırlar.

Bu tez çalışmasında statik akışkan yataklı kurutucu ekipmanında tuz ürünün kurutulması incelenmiştir. Kurutma performansını etkileyen hava hızı, hava sıcaklığı ve yatak yüksekliği parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Parametrelerin her biri için 3 farklı değer seçilerek toplamda 27 farklı deneme koşulu oluşturulmuştur. Matematiksel modelleme ile minimum akışkanlaşma hızı ve basınç düşümü değerleri hesaplanmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan denemelerde basınç değeri, kuruma zaman eğrisi ve akışkanlaşma durumları incelenmiştir. Ayrıca belirlenen koşullar CFD analiz yöntemi ile simüle edilmiştir. Parametrelerin etkileri 3 farklı yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yapılmıştır ve bu sayede yöntemlerin doğruluğu test edilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Akışkan yataklı teknolojisi uzun yıllardır endüstride ve bilim dünyasında geniş bir yer kaplamaktadır. 1921'de Almanya'da Fritz Winkler, linyitin gazlaştırılması esnasında, parçacıkların gazın sürüklenmesi ile kaldırıldığını, parçacık kütesinin de kaynayan bir sıvıya benzediğini gözlemlemiş ve bu işlem; akışkanlaşma olarak adlandırılmıştır (Güngör, 2006).

1926'da Winkler kömür gazlaştırma sistemi ticari olarak akışkan yataklının kullanıldığı ilk tesis olarak kabul edilmektedir. Daha sonra Avrupa ve Uzak Doğu ülkelerinde fabrikalar açılarak yaygınlaşan bir proses modeli haline gelmiştir (Kunii ve Levenspiel, 1977).

Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucunun içerisine eşanjör yerleştirerek oluşturdukları test düzeneğinde birden çok üründe ve farklı partikül çaplarında ısı transfer katsayısı incelenmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda partikül çapı küçüldükçe ısı transfer katsayısının arttığı sonucuna varmışlardır (Mujumdar ve Pakowski, 1983).

Çalban (2006) yaptığı çalışmada Türkiye Erzurum' da yeraltından çıkarılan Linyit' in statik akışkan yataklı kurutucuda ilk nem miktarına ve yatak yüksekliğine göre kurutma

oranına olan etkisini incelemiştir. %45,6; %34 ve %24 başlangıç nem oranları için kuruma sürelerini incelemiş, başlangıç nem oranı arttıkça kuruma süresinin arttığını tespit etmiştir. Ayrıca h, 3/4h ve 1/2h yatak yükseklikleri için de başlangıç nemini %45,6 alarak kuruma süresini incelemiş ve yatak yüksekliği arttıkça kuruma süresinin arttığını saptamıştır.

Assari, Tabrizi ve Avval (2006) yaptıkları çalışmada statik akışkan yataklı kurutucuda hava giriş hızına ve hava giriş sıcaklığına göre nem miktarının ve partikül son sıcaklığının nasıl değiştiğini incelemişlerdir. 4 ve 5 m/s hava giriş hızları için son partikül sıcaklığını teorik ve gerçek test sonuçları ile karşılaştırmışlar ve sonuçların birbirlerine yakın olduğunu saptamışlardır. Ayrıca 4 ve 5 m/s hava giriş hızları için nem miktarının nasıl değiştiğini incelemişler, yüksek hızda kuruma süresinin daha çabuk olduğunu saptamışlardır. Fakat teorik hesaplar ile gerçek sonuçlar birbiri ile yakın olsa da birebir örtüşmemektedir. Değişen hava giriş sıcaklığının partikül son sıcaklığına olan etkisini incelemişler, artan hava giriş sıcaklığı ile partikül son sıcaklığının da arttığını görmüşlerdir. Partikül sıcaklığı hava ile ilk temasından sonra hızlı bir artış gösterirken, belirli bir zamandan sonra sabitlenmiş ve daha fazla ısı transferi gerçekleşmediğini görmüşlerdir.

Boonloi ve Promvonge (2006) yaptıkları çalışmada statik akışkan yataklı kurutucu içerisindeki havanın akış profilinin helisel olmasının kurutma üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Kurutucu içerisinde yerleştirdikleri elek tipi kurutucu içerisinde havanın akış profilini helisel yapacak şekildedir. 2,06 m/s giriş hava hızı için statik akışkan yataklı kurutucu içinde hava hız profilinin düz ve helisel olmasının nem miktarı üzerine etkisini araştırmışlardır. Akış profilinin düz olduğu durumda aynı miktar nem oranına düşmek için 90 dakika geçmesi gerekirken, helisel tip akış profilinde ise 60 dakika geçmesi gerektiğini saptamışlardır. Bunun sebebi helisel tip akış profilinde havanın partiküller ile temas süresinin daha fazla olduğu savı çıkarılabilir. Ayrıca iki tip akış profili için 1,3; 1,65 ve 2,06 m/s hızlarında nem miktarlarına bakılmış, akış profilinin düz olduğu durumda kuruma süreleri arasındaki fark, akış profilinin helisel olduğu durumdaki kuruma süresindeki farktan daha azdır. Helisel akış profilinde hava hızı arttıkça kuruma süresi düz akış profiline göre daha fazla kısalmaktadır.

Bait, Pawar, Banerjee, Mujumdar ve Thorat (2011), statik akışkan yataklı kurutucuya karıştırıcı ekleyerek yapışkan olan bir ürünün kuruması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Ürünün nem miktarını kurutucuya karıştırıcı ekleyerek ve eklemeyen incelemişler, karıştırıcı olmadığında nem miktarının 90 dakika da %25' ten %0 'a ulaştığını, karıştırıcı eklendiğinde

ise bu sürenin 50 dakikaya indiğini saptamışlardır. Ayrıca karıştırıcı hızının son nem miktarına olan etkisini incelemişler, karıştırıcının hızı arttığında kuruma süresinin de kısaldığını görmüşlerdir.

Kamble, Pangavhane ve Singh (2013) kurmuş oldukları akışkan yataklı test düzeneğinde artan hava hızına karşılık ısı transfer katsayısının değişimini incelemişlerdir. Hava hızının artması ile ısıtıcı yüzeyine temas süresi partikül bazında azaldığından dolayı ısı transfer katsayısının arttığı gözlenmiştir. Belirli bir hava hızından sonra ise ısı transfer katsayısının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Nazghelichi, Jafari, Kainmehr, ve Aghbashlo (2013) yaptıkları çalışmada havuç parçacıklarının statik akışkan yataklı kurutucuda 50,60,70 °C hava giriş sıcaklıklarında, 3,6,9 cm yatak yüksekliklerinde ve 4,7,10 mm partikül çaplarıyla kurumasını incelemişlerdir. Çalışmalarındaki amaç bu üç etkenden hangisinin kurutma üzerinde daha fazla etkisinin olduğunu tespit etmektir. Test sonuçlarına göre partikül çapı, hava giriş sıcaklığına ve yatak yüksekliğine oranla kurutma da üç kat daha etkili olduğunu saptamışlardır.

Swasdisevi vd. (2004) yaptıkları çalışmada 0,4m yatak yüksekliği için 2 boyutlu DEM-CFD analizinde değişken giriş hava hızına göre partiküllerin ilk hava ile temasında ne kadar yükseldiklerini karşılaştırmışlardır. İdeal kaynamanın 2 m/s hava giriş hızında ve 1.75 kPa basınç düşümünde olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca partiküllerin değişken hava hızına göre kinetik enerjilerini incelemişlerdir.

Zhonghua ve Mujumdar (2008) yaptıkları çalışmada, statik akışkan yataklı kurutucu için CFD analiz modeli kurarak farklı yatak yüksekliklerinde oluşan basınç düşümünü incelemişlerdir. 40mm ile 400mm yatak yükseklikleri arasındaki basınç düşümü farkı 10 ila 2000 Pa arası değişkenlik gösterdiğini saptamışlardır. Yatak yüksekliği arttıkça basınç düşümünün de arttığını görmüşlerdir. Benzer bir çalışmayı Santos, Murata ve Barrozo (2009) aynı tip statik akışkan yataklı kurutucu için yapmışlardır ve yapılan deneme sonuçları neticesinde Zhonghua ve Mujumdar (2008) ile aynı sonuca ulaşmışlardır.

Markowski, Sobieski, Konopka, Tańska ve Białobrzewski (2007) statik akışkan yataklı kurutucuda kuruma süresi ile sisteme verilen enerji arasındaki ilişkiyi yaptıkları test düzeneğinde ve teorik olarak hesaplamışlardır. Yapılan denemeler sonucunda sisteme giren enerji ile doğru orantılı olarak kuruma süresi kısaldığı gözlemlenmiştir. Denemelerde kurutma süresi artıkça partiküllerin sıcaklıklarının ilk başta artım gösterse de belirli bir aralıktan sonra

sabit bir değerde ulaştığını saptamışlardır. Yapılan denemeler aynı zamanda analiz CFD analiz programlarında simüle etmişlerdir.

Hamzehei (2011) yaptığı çalışmada 44 cm yatak ykseklıği olan statik akışkan yataklı kurutucuda basınç düşümünü farklı partikül çapları için ölçerek bunları CFD analiz ile karşılaştırmıştır. Partikül apı arttıa basınç düşümünün arttığını görmüştür. Ayrıca 0,275 mm partikül çapında basınç düşümünün artan hıza göre değişimini incelemiş, hava hızının artmasıyla birlikte basınç düşümünün de arttığını görmüştür. Bu savını simülasyon sonuçları ile desteklemiştir.

Mahmoodi, Hosseini ve Ahmadi (2017) kurdukları test düzeneği ile 6 mm çapındaki partiküller için 124 mm yatak ykseklığinde ve 4,39 m/s hava hızında yatağın hareketini incelemişlerdir. Aynı düzeneği CFD-DEM analizi ile modelleyerek basınç düşümünü iki durum içinde karşılaştırmış, sonuçların birbiri ile olan yakınlığını görmüşlerdir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu araştırma ile bir akışkan yataklı kurutucuda yatak ykseklıği, hava hızı ve hava sıcaklığı gibi parametrelerin kurutmaya olan etkisi teorik, analiz ve deneysel olarak incelenecektir. Yapılan alışma sonucunda pilot bir akışkan yataklı kurutucuda tuz ürünün kurumasına bu parametrelerin nasıl etki ettiği saptanarak daha sonra imal edilecek ana makine için temel oluşturması hedeflenmektedir. Bu sayede ana makinenin tek seferde ideal ölçülerinde imal edilmesi, makinenin devreye alımı sırasında daha az vakit harcanması ve testler sırasında kaybedilecek enerjinin minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. Tuzun kurutulmasındaki temel amaçlar ürünün fermantasyon olmasına engel olmak, depolama kapasitesini artırarak daha verimli bir proses oluşturmaaktır.

2. TUZ ve KURUTMA

2.1 Tuz

Eski çağlardan beri besin maddesi olarak kullanılan tuz, çağımız kimya sanayinin en önemli girdilerinden biridir. Tuz NaCl sembolü ile ifade edilmektedirler. (Ergin 1988). Tuz madeni, doğal çevrede iki şekilde bulunmaktadır: Eriyik halindeki tuzlar ve katı haldeki tuzlar. Eriyik halindeki tuzlar deniz, göl ve yeraltı suyu şeklinde bulunur. Katı haldeki tuzlar ise yeraltı tuz madenlerinde kaya tuzu olarak yer almaktadırlar. (Güngörmez, 2015).

Günümüzde tuz maddesi; başta besin maddesi olmak üzere tarım, hayvancılık, tıp, trafik ve sanayi kollarında doğrudan ya da dolaylı olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. (Güngörmez, 2015). Tuz, gıda endüstrisindeki en popüler baharatlardan biridir. Genellikle deniz suyundan ekstrakte edilerek, arındırılarak ve kurutularak üretilir. Üretim teknolojilerinden birinde kristal deniz tuzu kurutulur, toz haline getirilir, paketlenir ve pazara dağıtılır.

Tuz saf halde iken yaklaşık %40 Sodyum, %60 Klordan oluşur. Sertliği 25 olup, özgül ağırlığı 2.1-235 gr/cm³ arasında değişir. Erime noktası 800,8 °C, kaynama noktası ise 1412 °C'dir. Doğadan üretildiği şekliyle rengi gri, sarı, kırmızı hatta mavi ve yeşildir. Ancak saf halde iken tuz, renksizdir (Ergin 1988).

Türkiye'de ham tuz üretimi deniz suyundan, göl suyundan, kaya (yeraltı madenciliği) ve kaynak (yeraltı) suyundan olmak üzere dört şekilde tuz üretilir. Türkiye'de tuz üretiminin %63'ü göl, %30'u deniz, %6'sı kaya, %1'i ise kaynak tuzu olarak gerçekleşmektedir. Kullanım yerlerine göre tuz tüketimi kimya sanayinde %67, besin sanayi ve hayvancılıkta %5, karayolları kar ve buz mücadelesinde %15, sofratuzunda %3 ve diğer endüstriyel kullanım da ise %10'dur. İnsanlık hayat süreci ile iç içe olan tuzun üretimi ve tüketimi bu bakımdan önem kazanmaktadır (Ersöz ve Doğan, 2010).

Kurutma, gıda, tarım, madencilik ve hatta imalat sektörleri arasında değişen tüm endüstriyel uygulamalarda muazzam ticari öneme sahip temel bir işlemdir (Jafari ve Farahbod, 2017). Katıların akışkan yataklı kurutulması özel bir konuma sahiptir. Kendine özgü avantajları nedeniyle modern kurutma yöntemleri arasındadır. Bu avantajlar arasında kullanım ve bakım kolaylığı, katılar arasında iyi karıştırma, yoğun ısı ve kütle transferi gaz fazları sayılabilir (Sizgek ve Sizgel, 2002).

Göl tuzu, diğer tuz üretim kaynaklarında olduğu gibi, havuzlama, çökeltme, toplama, harmanlama, taşıma işlemlerinden sonra ham tuz olarak üretilmektedir. Ham tuz, tuz işletmelerinde kuruluşun yapısına göre değişik şekillerde yapılsa da istenilen özelliklere getirilirken yıkama, buharlaştırma, öğütme, santrifüjlüme, kurutma vb. bir takım teknik işlemlerden geçirilmektedir (Qadir, Farrukh ve Aurangzaib, 2005).

Bu işlemler sürecinde bazen, gereğinden fazla zaman ve enerji harcanmaktadır. Fazladan harcanan zaman ve özellikle enerji israfı da tuzun maliyetini yükseltmektedir. Tuz üretiminde kuruluşun yanı sıra temizliği, diğer madenlerden arılığı ve rengi de önemlidir (Ersöz ve Doğan, 2010).

2.2 Kurutma

Kurutma sıcaklık ile uçucu maddelerin (nem vb.) su buharı şeklinde üründen ayrıştırılması işlemidir. Buharlaşma işlemi, ürünün içerisinde bulunan nemi faz değiştirme enerjisine ulaştırarak üründen ayrıştırmasıdır. Su buharına dönüşen nem genellikle kurutma havası ile ortamdan uzaklaştırılır (Kurtuluş, 2007).

Sebze ve meyve gibi bazı ürünler için su partikülleri kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucu ürünün zamanla bozulmasına ve besin değerlerini kaybetmesine yol açabilmektedir. Ürünün daha uzun süre muhafaza edilmesi ve besin değerlerini daha uzun süre koruması için su partikülleri kurutma ile üründen uzaklaştırılır. Bu sayede ürünün depolama süresi ve ticari değeri arttırılmış olmaktadır (Kurtuluş, 2007).

Kurutma sanayinin birçok alanında aktif olarak kullanılmaktadır. Belirli bir prosesten geçen ürün (granül veya toz) son işlem olan paketleme kısmına geldiğinde eğer içerisinde su partikülleri mevcut ise ürünün depolama kapasitesi düşmektedir. Paketleme işleminden önce ürün kurutma prosesine girer, su partikülleri üründen uzaklaştırılır ve bu sayede ürünün depolama kapasitesi arttırılmış olmaktadır. Ürünün depolama kapasitesinin artmasına müteakip ürün daha az yer kaplayacağından sevkiyat maliyeti de azaltılmış olacaktır (Edwards, 2015).

Endüstriyel ve evsel atıkların geri dönüşüm prosesinde kurutma önemli bir rol oynamaktadır. Atıklar son işlem olarak kurutma prosesine girerler ve katı madde değerleri arttırılarak çimento gibi bazı yerlerde tekrar kullanılabilirler (Rabie, Abd El-Halim ve Rozaik, 2019).

2.3 Kurutma Teorisi

2.3.1 Nem Miktarı

Nem miktarı, bir ürün içerisindeki su miktarının toplam ürün ağırlığına olan oranı olarak tanımlanır. Genellikle “%” cinsinden ifade edilmektedir. Denklem 2.1’de nem miktarının hesaplama formülasyonu gösterilmektedir.

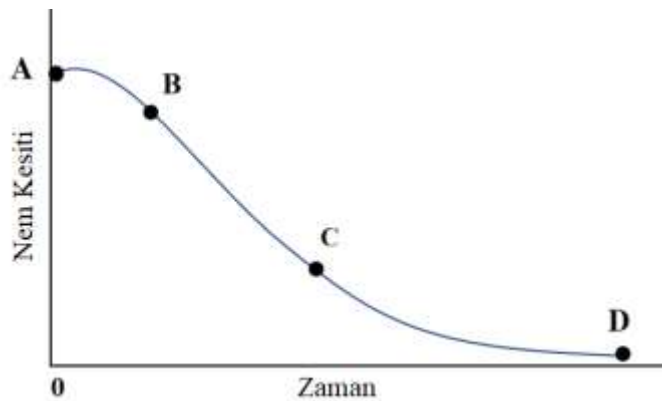
$$\text{Nem Miktarı} = \frac{\text{Toplam Su Ağırlığı (kg)}}{\text{Toplam Ürün Ağırlığı (kg)}} \times 100 \quad (2.1)$$

2.3.2 Kütle ve Isı Transferi

Kurutma prosesi sırasında birçok enerji transferi aynı anda gerçekleşmektedir. Genel olarak proses, nem içeren katı bir maddeden sıcak bir hava yardımı ile bu nemin uzaklaştırma işlemi olarak tarif edilir. Proses süresince havadan ürüne taşınım ve ışınlım ile ısı transferi, ürünün içerisinde iletim ile ısı transferi, ürünün içinde su partiküllerinin yüzeye doğru kütle transferi ve su partiküllerinin su buharı şeklinde yüzeyden havaya olan kütle transferi meydana gelmektedir. Suyun, ürünün yüzeyinden buharlaşması için aşağıdaki bu transferlerin gerçekleşmesi ve sistemin dengelenmesi gerekmektedir (Deniz, 2010).

2.3.3 Kuruma Eğrisi

Kuruma eğrisi, bir kuruma prosesinin zamana bağlı ürünlerdeki nem miktarı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere geçen zaman ile ürünlerdeki nem miktarı azalmaktadır. Sistem dengeye ulaştığında kuruma durmakta ve nem miktarı sabitlenmektedir (Deniz, 2010).



Şekil 2.1. Kuruma eğrisinin zamana bağlı gösterimi

2.4 Kurutma Tipleri

2.4.1 Bantlı Kurutma

Bantlı kurutma, hava yardımı ile atık su arıtma çamuru, ağaç kabuğu, nargile kömürü, talaş, gübre vb. ürünlerin sürekli olarak kurutulması ve soğutulması için kullanılan makine tipidir. Nemli ürün sürekli ve eşit olarak bir perfore sac üzerine dağıtılır ve sıcak ya da soğuk hava ürünün üzerinden ya da içinden geçirilerek ürünün kurutulması veya soğutulması sağlanmaktadır. Büyük hacimli ve şeklinin bozulmasının istenilmediği ürünlerde özellikle tercih edilen bir kurutma tipidir. Bant hızı bu proseste kurutma süresi için bir parametre oluşturmaktadır (Veerakumar, Vijayakumar ve Navaneethakrishnan, 2014).

2.4.2 Vakum Kurutma

Vakum kurutma da evaporasyon sıcaklığı vakumdan dolayı oda sıcaklıklarına kadar inebileceği için, çok fazla bir enerji sarfiyatı olmadan nemli ürünün kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Yüksek sıcaklığa karşı dayanımı düşük ürünler için ideal bir kurutma tipi olabilir. Ayrıca non-newtonian ürünlerin bir pompa yardımı ile kurutucu içerisindeki banda eşit olarak dağıtılarak kurutulması da gerçekleştirilebilir. Ürün bir ısıtma plakası üzerinde ilerler. Bu ısıtma plakasının enerji kaynağı buhar, sıcak su veya elektrik olabilir (Mujumdar, 2000).

2.4.3 Spray (Püskürtmeli) Kurutma

Sıcak hava yardımı ile sıvı maddelerden kuru toz oluşturmaya yarayan kurutma tipidir. Genellikle gıda ve ilaç sektöründeki ürünlerle kullanılabilir. İstenilen partikül çapına göre ürün bir atomizer veya nozzle gibi bir aparat sayesinde kurutucunun içerisinde püskürtülür ve ürünün kurutulması sağlanır. Atomizerin dönüş hızına göre partikül çapı değişkenlik gösterir (Veerakumar vd., 2014).

2.4.4 Rotary (Döner) Kurutma

Genellikle maden sektöründeki katı maddelerin (kömür, kalsit, kum, bentonit vb.) kurutulma yöntemidir. Silindirik uzun yapıdaki kurutucularda yapılan kurutmaya verilen isimdir. Rotary kurutucular kurutulan ürünün yapısına uygun iç kanatlara ve eğime sahiptirler. Çalışma prensibi; ürünün istenilen nem değerine ulaşması için gerekli olan enerji dönerek

ilerleme hareketi sırasında uygulanır. Ürün makinenin üst girişinden beslenir, alt çıkıştan alınır. Enerji kaynağı ise eş yönlü veya ters olarak uygulanabilir (Mujumdar, 2000).

2.4.5 Solar Kurutma

Güneş enerjinden yararlanılarak yapılan çevreci bir kurutma çeşididir. Gıda ve atık su arıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Gıda ürünlerinde tercih edilen yöntem uzun yıllardır tercih edilen en doğal yöntemdir. Yiyeceklerin uzun süre dayanması için açık alanlara serilerek bozulmalarına sebep olacak nemin buharlaştırılmasıdır. Atık su arıtma su tesislerinde çamur %20 KM değerlerinden %75 KM değerlerine kadar solar kurutma ile kurutulmaktadır. Solar kurutma düşük kurulum maliyeti ve işletme maliyeti sunduğu için çok tercih edilen bir yöntemdir. Çamurun solar kurutma ünitesi genellikle sera tarzı bir yapı içerisinde yaklaşık 30 cm kalınlıkla serilerek yapılmaktadır. Sera boyunca uzanan çelik bir köprü üzerinde tambur yapıdaki karıştırıcı hareket ederek çamuru alt üst karıştırma hareketi ile homojen kurutulmasını sağlamaktadır (Veerakumar vd., 2014).

2.4.6 Flash Kurutma

Flash kurutma prosesi; orman atık ve artıkları, maden, tarım, gübre, polimer, seramik, gıda, ilaç ve odun işleme endüstrilerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Kurutulmak istenilen ürün, kurutma borusu boyunca aktarımını sağlayan sıcak hava akışı içerisinde dağıtılır. Taşınma esnasında sıcak hava ile ürün temasından dolayı ıslak malzeme kurur. Kurutmanın sonunda ürün, havadan siklon ve/veya torba filtre kullanarak ayrıştırılır. Sıcak havanın geri kullanımı istenilen durumlarda filtreden çıkan hava tekrar girişe aktarılabilir. Kurutma süreleri ortalama 3 saniye civarında sürmektedir. Kurutma süresinin kısa olması ve sıcak havanın tekrar kullanılabilirliği enerji maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Dezavantaj olarak ise yüksek kapasitelerde tercih edilmemektedir (Mujumdar, 2000).

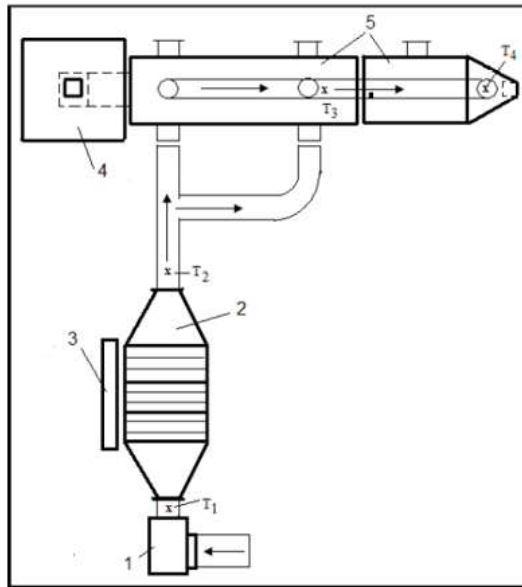
2.4.7 Akışkan Yataklı Kurutma

Akışkan yatak kavramı, katı tanecikli ürünlerin basınçlı hava yardımıyla yerçekimini yenmesi ve sıvı gibi davranmalarına verilen isimdir. Akışkanlaşan katı ürünün temel yapısı değişmeden, yoğunluğu azalır. Akışkan yataklı kurutma kimya, maden, ilaç, gıda, gübre ve atık yönetim proseslerinde kullanılmaktadır. Akışkan yataklı kurutmanın avantajı, ürünün yapısının bozulmadan korunması ve termal olarak diğer kurutma türlerine göre daha verimli

olmasıdır. Ayrıca kurutulmuş nihai ürünün tamamının aynı sıcaklık ve nem değerlerine sahip olması avantajlarından biridir.

2.5 Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yataklı kurutucu, akışkanlaşabilen granül yapıdaki malzemelerin kurutulması için kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları, kimyasallar, tarım ürünleri, maden sektörü, atık ürünlerin geri kazanımı ve atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi gibi proseslerdir. Akışkan yataklı kurutucunun tercih edilmesinin başlıca nedenleri; homojen katı karışımının sağlanması, ısı kütle transferinin hızlı gerçekleşmesi ve proses sonucunda aynı nem değerinde ürün elde edilmesidir. Akışkan yataklı kurutucular, karıştırma, soğutma, granülasyon, kaplama, yakma gibi farklı işlemlerde de kullanılabilir. Şekil 2.2’de örnek bir akışkan yataklı kurutucu sistemi gösterilmiştir. Örnek sistemde; 1 numara ile gösterilen ekipman kurutucu basma fanı, 2 numaralı ekipman ısıtıcı ünitesi, 3 numara ile gösterilen ekipman kontrol panosu, 4 numaralı ekipman kurutucuya ürün besleme silosu ve 5 numaralı ekipman akışkan yataklı kurutucudur. Sistemde emiş fanı, kaçan ürünleri yakalamak için siklon, siklondan kaçan ürünü tutmak için filtre eklenebilir. Enerji geri kazanımı istenilen sistemlerde atık hava filtrelendikten sonra bir miktar temiz hava ilavesi sisteme yeniden verilen tesislerde mevcuttur. Farklı proseslerde farklı ekipman dizilimleri mevcut olup ana ekipman olarak kurutucu, basma fanı, emiş fanı ve ısıtıcı grubu olarak düşünülebilir (Ersöz ve Doğan, 2009).



Şekil 2.2. Örnek akışkan yataklı kurutucu sistemi (Ersöz ve Doğan, 2009)

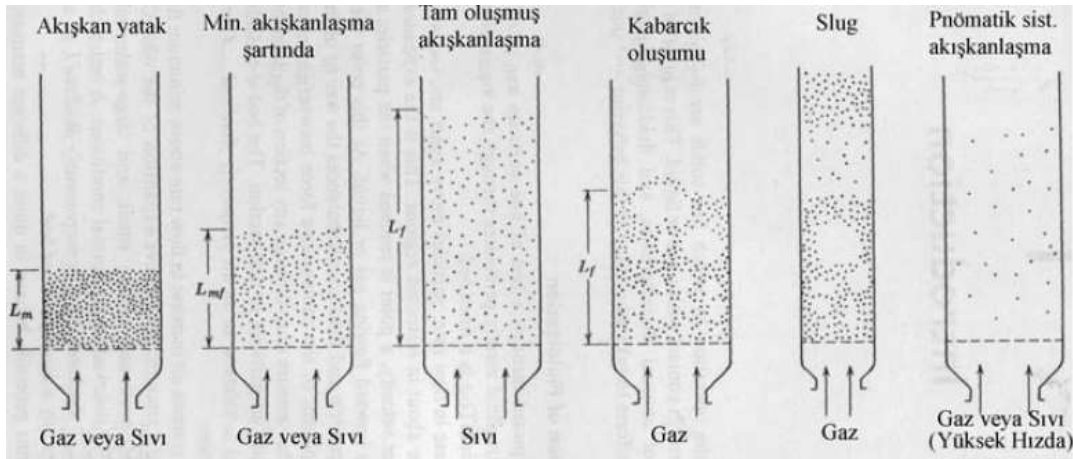
2.5.1 Akışkanlaştırma Teorisi

Akışkanlar mekaniği, akışkanların durgun veya hareket halindeki davranışını inceleyen uygulamalı mekanik dalıdır. Akışkan yataklı kurutucu içerisinde gerçekleşen akışkanlaştırma işlemi de akışkanlar mekaniğinin temeline dayanmaktadır.

Akışkanlaştırma prosesi, basınçlı havanın veya akışkanın partiküllere etki etmesi ve akışkanın veya havanın partiküle uygulanan yerçekimi kuvvetini yenecek hızda geçirilerek, partiküllerin askıda tutulma işlemidir (Kurtuluş, 2007).

Akışkanlaştırılmak istenilen ürün içerisinden akışkan geçerken partiküller hareket etmiyorsa bu duruma sabit yatak adı verilir. Partiküllerin akışkan ile harekete başladığı ilk hıza minimum akışkanlaştırma hızı ve bu durumdaki ürün yatağına akışkan yatak denir (Deniz, 2010).

Akışkan yataklı kurutucularda hava hızına göre yatakta meydana gelen durumlar Şekil 2.3'te gösterilmiştir. İdeal akışkanlaştırma hızından daha hızlı hava sisteme verildiğinde kabarcıklar artarak kurutucu içerisinde büyük boşluklara ve şiddetli kaynamalara neden olur. Bu tip kaynamaların uygulandığı sisteme türbülanslı akışkan yataklı denir (Erbaş, 2007).



Şekil 2.3. Akışkan yatak içinde oluşabilecek kabarcıklar (Kunii ve Levenspiel, 1977)

2.5.2 Akışkan Yataklı Kurutucu Tipleri

Akışkan yataklı prensibi ile çalışan birçok farklı tipte kurutucu ekipmanı mevcuttur. Ekipman tercihi kurutulacak ürün özelliğine (boyut, yapışkanlık, akışkanlık, yoğunluk vb.), kapasitesine ve besleme tipine göre belirlenmektedir. Akışkan yataklı kurutucu tiplerinden bazıları şunlardır; Karıştırmalı akışkan yataklı kurutucu, Püskürtmeli akışkan yataklı

kurutucu, Geri devirli akışkan yataklı kurutucu, Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucu, Shaking akışkan yataklı kurutucu ve Statik akışkan yataklı kurutucudur. En yaygın olarak tercih edilen tipleri ise; Vibrasyonlu, shaking ve statik kurutuculardır.

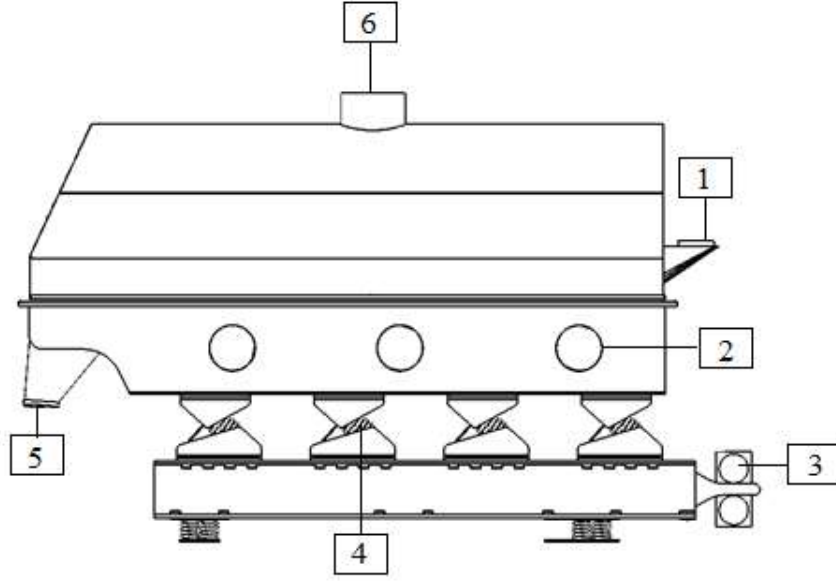
2.5.2.1 Vibrasyonlu Akışkan Yataklı Kurutucu

Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucuda, kurutma havasına ek olarak titreşim hareketi ile ürünün ideal şekilde akışkanlaşması sağlamaktadır. Vibrasyonlu makinelerdeki titreşim hareketi gerilmeler oluşturarak akışkanlaşmaya katkı sağlamaktadırlar (Mujumdar ve Pakowski, 1983). Bu nedenle Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucularda Statik akışkan yataklı kurutucuya kıyasla akışkanlaşmak için daha az hava hızı yeterli gelmektedir.

Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucularda hareket vibro motorlar ile verilmektedir. Kurutucu sabit şase üzerine yaylar ile oturmaktadır. Ürünün ilerlemesi titreşim hareketi ile sağlanmaktadır. Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucular boşaltma işleminde sıkıntı yaşanan akışkanlığı düşük ve yapışkan ürünleri kurutmada tercih edilmektedir. Vibrasyonlu kurutucularda 200 mm altındaki yatak yüksekliğinde kurutmalarda daha verimli sonuçlar alınmaktadır (Gea, t.y.).

Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucunun başlıca dezavantajı, titreşim hareketinden dolayı ortaya çıkan g-kuvveti mekanizmanın yorulmasına neden olmaktadır. Mekanizmasının uzun ömürlü olması için ilk yatırım maliyetini yüksektir. Ayrıca bakım ihtiyacının fazla olmasından dolayı bakım maliyeti de diğer kurutuculara oranla yüksektir (Tema Proses, t.y.).

Vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucunun temsili tasarımı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Kurutucuya ürün girişi 1 numarası ile gösterilen bölgeden yapılmaktadır. Kurutma havası perfore sac altına 2 numarası ile gösterin girişlerden yapılmaktadır. Vibro motorlar 3 numarasıyla, vibrasyon yayları 4 numarasıyla gösterilmektedir. Kuru ürün 5 numaralı bölgeden alınmaktadır. Egzoz havası ve toz partiküller 6 numaralı bölgeden atılmaktadır (Gea, t.y.).

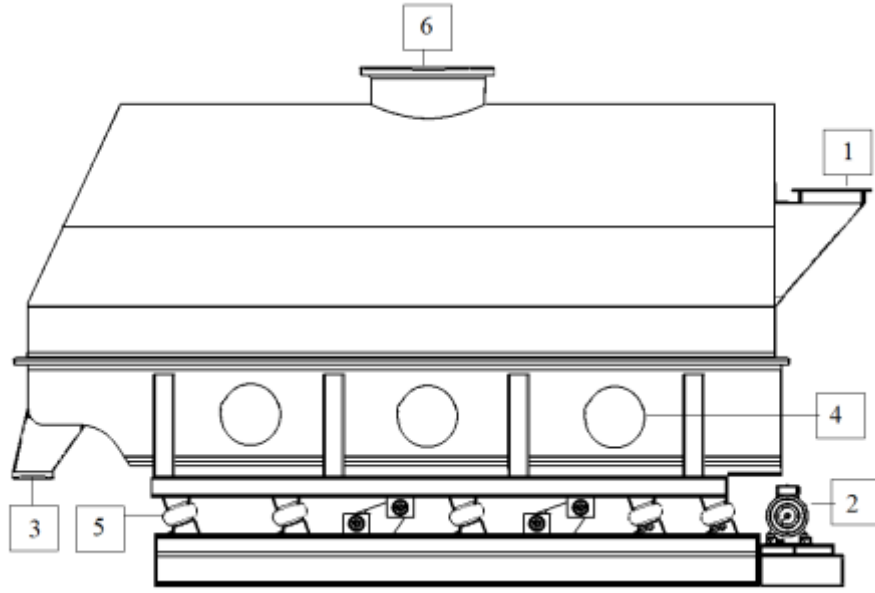


Şekil 2.4. Örnek vibrasyonlu akışkan yataklı kurutucu tasarımı

2.5.2.2 Shaking (Sallamalı) Akışkan Yataklı Kurutucu

Shaking akışkan yataklı kurutucuda, kurutma havasına ek olarak kontrollü sallama hareketi ile ürünün kurutucu içerisinde ideal yayılması ve akışkanlaşması sağlanmaktadır. Sallama hareketi motorun kayış kasnak bağlantısı ile eksantrik gövde miline hareket vermesi ve gövde şase arasındaki hava körüklerinin kontrolünde yapılmaktadır. Shaking tip kurutucudaki hareket ürünün ilerlemesine değil akışkanlaşmasına yardımcı olmaktadır. Ürünün kurutucu içerisinde daha kolay ilerlemesi için ürün akış açısına uygun kurutucuya eğim verilmektedir. Vibrasyonlu tip kurutucuya oranla daha kontrollü bir hareket verilebilmektedir. Ayrıca çalışma sırasındaki gürültü oranı daha düşüktür (Tema Proses, t.y.).

Şekil 2.5'te sallamalı tip akışkan yataklı kurutucunun temsili tasarımı gösterilmiştir. Kurutucuya ürün girişi 1 numarası ile gösterilen bölgeden yapılmaktadır. Kurutucuya sallama hareketi 2 numarasıyla gösterilen motor ile verilmektedir. Kuruyan ürün 3 numaralı bölgeden dışarı alınmaktadır. Kurutma havası 4 numara ile gösterilen bölgelerden yapılmaktadır. Sallama hareketinin kontrollü ve sürekli yapılmasını sağlayan hava körükleri gösterilmiştir. Egzoz havası ve toz partiküller 6 numaralı bölgeden atılmaktadır (Ventilex, t.y.).

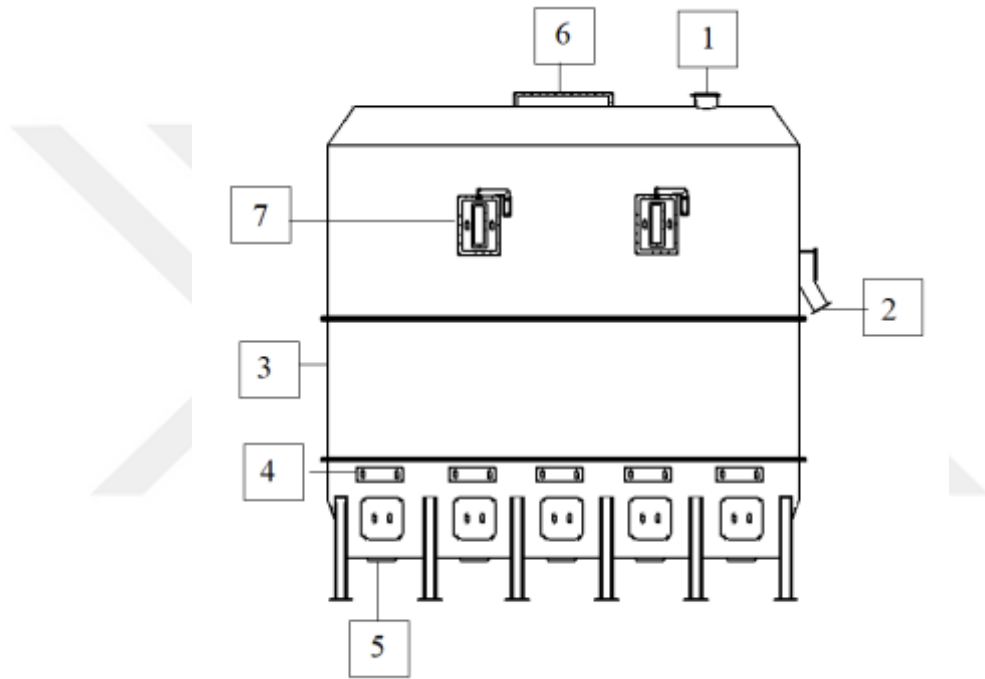


Şekil 2.5. Örnek sallamalı akışkan yataklı kurutucu tasarımı

2.5.2.3 Statik Akışkan Yataklı Kurutucu

Statik akışkan yataklı kurutucular çalışma sırasında sabit kalmaktadırlar. Statik akışkan yataklı kurutucularda, serbest akışlı ve küçük partikül boyutlarına sahip ürünlerin kurutulmasında tercih edilmektedir. Statik akışkan yataklı kurutucularda temel olarak iki tip mevcuttur. Bunlardan ilki kurutma havasının kurutucu dışarısında ısıtılarak kurutucu içerisine verilen modelidir. Bu tipte kurutucularda ürün sürekli veya kesikli beslenerek kurutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. İkinci model ise kurutucu ekipmanının içerisinde eşanjör tarzı ısı kaynağı yapılar yer almaktadır. Hava burada kurutma işlemi değil üründe akışkan yatak oluşturması için kullanılmaktadır. Genellikle eşanjörlü statik kurutucularda kurutma proseslerine başlamadan önce eşanjör yüksekliğine denk gelecek kadar kuru ürün ile yatak oluşturulmaktadır. Yaş ürün kurutucu içerisine beslemeye başlandığında yatak olan kuru ürün üzerine beslenmektedir. Beslenen ürün nemin bir kısmını kuru ürüne aktarmaktadır. Hava yardımıyla yaş olan ürün eşanjör plakalara temas ederek kurumaktadır. Kuruyan ürün daha kolay akışkanlaşarak çıkışa doğru hareket etmektedir. Eşanjör kabinlerinin içerisinde olan statik kurutucular sürekli beslemeye uygun proseslerde tercih edilmektedir (Pecora ve Parise, 2006). Ayrıca daha kompakt yapıya sahip oldukları için daha az yer kaplamaktadırlar. Genel olarak statik akışkan yataklı kurutucular dinamik bir mekanizmaları olmadığı için ilk yatırım ve bakım maliyetleri oldukça uygundur. Endüstride gıda, granül, ilaç, tuz, şeker vb. ürünlerde sıklıkla tercih edilmektedir.

Şekil 2.6’da statik tip akışkan yataklı kurutucunun temsili tasarımı gösterilmiştir. Bu tasarımdaki kurutucuların içerisinde genellikle 3 numaralı alanda kuru üründen yatak oluşturulmaktadır. Yaş ürün bu yatağın üzerine 1 numaralı bölgeden beslenmektedir. Kuruyan ürün hava yardımıyla 2 numaralı bölgeden alınmaktadır. Elek plakaları 4 numaralı bölgede bulunmaktadır. Hava girişleri 5 numaralı bölgeden gerçekleşmektedir. Egzoz havası ve toz partiküller 6 numaralı bölgeden atılmaktadır. Akışkan yatak hareketi 7 numaralı bölgeden gösterilen gözetleme ve müdahale penceresinden kontrol edilmektedir (Andritz t.y.).



Şekil 2.6. Örnek statik akışkan yataklı kurutucu tasarımı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde kurutma prosesinde kullanılacak ürün, akışkan yataklı kurutucu ve ölçüm ekipmanları hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmada teorik hesaplamalar ile test düzeneğinde yapılan denemelerin ve MFIX programında yapılan analiz sonuçları arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

3.1 Materyaller

3.1.1 Kurutulacak Ürün: Tuz

Bu çalışmada kullanılan tuz (NaCl), İzmir Tuz Gölü'nden alınan göl tuzu olup, yerel bir firmadan temin edilmiştir (Şekil 3.1). Deneylede kurutmaya tabi tutulan tuz ham tuz olmayıp, belirtilen işletmede belirli işlemlerden (ön işlemler, buharlaştırma, öğütme, yıkama, santrifüj vb.) geçirilerek kurutma şartlarına getirilen tuzdur. Tuz, genelde farklı tane büyüklüklerinde olup, içerisinde zerrecikler halinde de bulunmaktadır. Tuz, işletmeden 20 litre hacimli plastik kaplarla doldurularak çevre havasının nemini almayacak şekilde kapatılarak deney setinin bulunduğu yere taşınmış ve deneyler yapılıncaya kadar bu kaplarda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. %3 nemli tuz ürünü

3.1.2 Nem Tayin Cihazı

Nem tayin cihazı temel tasarımı hassas terazi ve ısıtıcıdan oluşmaktadır. Çalışma prensibi; nem değeri ölçülmek istenilen numunenin başlangıç ağırlığı ve kurutma işleminin sonunda oluşan yeni ağırlık değeri arasında farkı hesaplayarak yüzde olarak nem değerini vermektedir.

Nem tayin cihazının kullanımı basit olmasından ve hızlı sonuç verdiği için laboratuvarlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Nem tayin cihazları gıda, kimya, biyoloji ve endüstri laboratuvarlarında kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada Şekil 3.2’de görseli yer alan Radwag marka MA50.R model nem tayin cihazı kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de nem tayin cihazının teknik özelliklerine yer verilmiştir.



Şekil 3.2. Radwag MA50.R nem tayin cihazı

Radwag marka MA50.R model nem tayin cihazının kullanımı aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Cihaz içerisine yerleştirilecek alüminyum tartım kabının darası alınır.
- Nem değeri ölçülmek istenilen üründen yaklaşık 5-8 gram ürün tartım kabına konulur ve kap içerisinde eşit miktarda yayılır.
- Nem ölçümü sırasında kaç derece sıcaklıkta kurutma işleminin yapılacağı bilgisi cihazdan ayarlanır.
- Nem tayin cihazına konulan ürün tartım değerinin sabitlenmesi beklenir. Ekran üzerinde tartım değeri sabitlendiğinde yavaş şekilde cihazın kapağı kapatılır.
- Kurutulmak istenilen ürünün nem değeri ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak nem tayinin süresi değişmektedir. Nem değerinin hesaplanması ortalama olarak 15-20 dakika sürmektedir.
- Ekran üzerinde nem değeri ve kuru ürün ağırlığı sabitlendiğinde işlem tamamlanır.

Çizelge 3.1. Radwag MA50.R nem tayin cihazının teknik özellikleri

Maksimum Kapasite	50 g
Okunabilirlik [d]	1 mg
Dara Ağırlığı	50 g
Nem Okuma Doğruluğu	+/-0,05% (sample ~ 2g), +/-0,01% (sample ~ 10g)
Ekran	IR (infrared) modül
Kefe Boyutları	Ø 90, h = 8 mm
Ebatı (GxYxD)	470 mm × 380 mm × 336 mm
Maksimum Örnek Yüksekliği	h = 20 mm

3.1.3 Dökme Yoğunluğu Tespit Cihazı ve Tartım Terazisi

Dökme yoğunluğu, ölçüsü belirli olan bir hacime sığan ürünün ağırlığıdır. Terimsel olarak, 1 litre hacimdeki ürünün kilogram olarak ağırlığını ifade etmektedir. Yığın yoğunluğu, hacmi belirli olan kaba ürünün akış açısından kendi cazibesi ile akması ile ölçülmektedir. Akış sırasında ürün parçacıklarının arasında geometrik şekillerinden kaynaklı boşluklar oluşmaktadır. Bu nedenle hammaddenin normal yoğunluğuna oranla yığın yoğunluğu daha düşük çıkmaktadır. Şekil 3.3'te bu çalışmada kullanılan dökme yoğunluğu ölçüm aparatını ve ağırlık ölçümü yapılan terazi gösterilmiştir. Dökme aparatı 45° akış açısına sahip döküm kapağı olan bir huniden ve 55 ml hacim ölçüsüne sahip bir kaptan oluşmaktadır. Tartım yapılan terazi Desis markasının AHC+ modelidir. Kalibrasyon ölçümleri düzenli yapılmaktadır. Bu çalışmada dökme yoğunluğunun tespiti aşağıdaki şekilde yapılmıştır;

- Tartım terazisi sabit konuma getirilerek değerleri sıfırlanarak hazırlanmıştır.
- Dökme yoğunluğu ölçüm aparatındaki ölçüm kabının darası tartım terazisinde alınmıştır.
- Ürün dolun hunisinin kapağı kapalı vaziyette tutularak tuz huni içerisine doldurulmuştur. Dolun işleminden sonra yaklaşık 1-2 dakika mevcut durumda beklenilmiştir.
- Huni altında yer alan kapak açılarak ölçüm kabına tuz dolmaya başlamıştır. Huni içerisindeki tuz boşalana kadar kapak açık bırakılmıştır.
- Ölçüm kabı hareket ettirilmeden bir cetvel yardımıyla silme dolu olacak şekilde fazla tuz atılmıştır.
- Ölçüm kabı tartım terazisine yerleştirilerek tartılmıştır.

Yukarıda bahsedilen aşamalar 3 defa tekrarlanmıştır. Tuzun ağırlığı ortalama 91 gram gelmiştir. Yığın yoğunluğu Denklem 3.1'e göre hesaplandığında 1631 kg/m³ olarak alınmıştır.

$$d = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$



Şekil 3.3. Dökme yoğunluk aparatı ve Desis AHC+ tartım terazisi

3.1.4 Elek Sarsım Cihazı

Bir ürünün ölçüleri bilinen aralıklardan geçebilme veya geçememe prensibine dayanarak yapılan boyutsal ayırım işlemine eleme denilmektedir. Elek analizi, farklı çaplardaki partiküllerin tane boyut dağılımını saptamak için yapılmaktadır. Elek analizi yapılan ürün partikül çaplarına göre miktarı belirlenmesi boyut dağılımını ifade etmektedir. Elek analizlerinde hızlı ve tekrarlanabilir sonuçlar verdiği için laboratuvar elek sarsım cihazları kullanılmaktadır. Elek sarsım cihazında, ölçülmek istenilen ürünün partikül çapları göz önüne alınarak elek seçimi yapılmaktadır. Seçilen elekler en büyük delik açıklığına sahip elekten başlayarak yukarıdan aşağıya doğru küçülen açıklık olacak şekilde dizilmektedir. Elek üzerindeki aralıklar meş kelimesi ile ifade edilmektedir. Meş, birim alan üzerinde yer alan açıklık adetini ifade etmektedir. Eleme işlemi tamamlandığında eleklerin üzerinde toplanan ürünler tartılarak o partikül boyutunda ne kadar ürün olduğu sonucuna ulaşılır. Toplam elenen ürün miktarı tane boyutu bazında oranlayarak boyutsal dağılım yapılmaktadır. Bu çalışmada Şekil 3.4'te görseli mevcut olan Retsch marka As 200 Basic model elek cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Retsch As 200 Basic marka elek cihazı

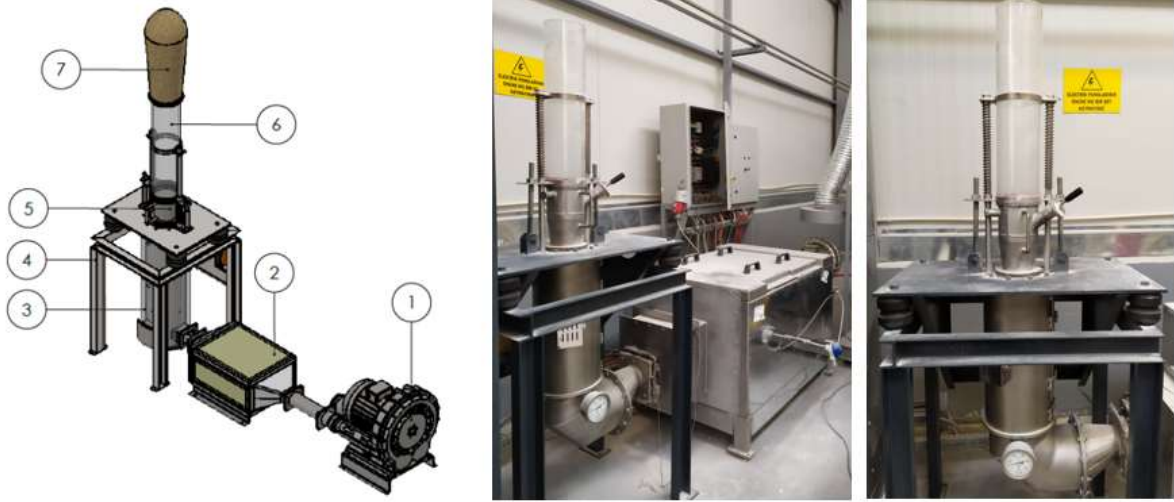
Yapılan elek analizinde sırasıyla 4000, 3500, 3000, 2000, 1000, 500 mikron partikül boyutuna sahip elekler kullanılmıştır. Test 90 d/dk değerinde 10 dakika süre boyunca yapılmıştır. Elek analizinde öncelikle 200 gram tane dağılımı yapılacak ürün tartılarak hazırlanmıştır. Ardından kullanılacak eleklerin ağırlıkları tartılmıştır. Eleme cihazında işlem tamamlandıktan sonra elekler yeniden tartılarak elek üzerinde kalan tuz miktarları bulunmuştur. Retsch marka As 200 Basic model elek cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.2’te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Retsch As 200 Basic marka elek cihazının teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	20 µm - 25mm
Eleme Hareketi	Açısal ivme ile fırlatma hareketi
Besleme Miktarı	3 kg
Maksimum Elek Seti Ağırlığı	4 kg
Genlik	Dijital 1-100%, 0 3 mm
Uygun Elek Ebatları	100 mm / 150 mm / 200 mm / 203 mm
Maksimum Toplam Elek Yüksekliği	450 mm
Ebatı (GxYxD)	417 mm x 212mm x 384 mm

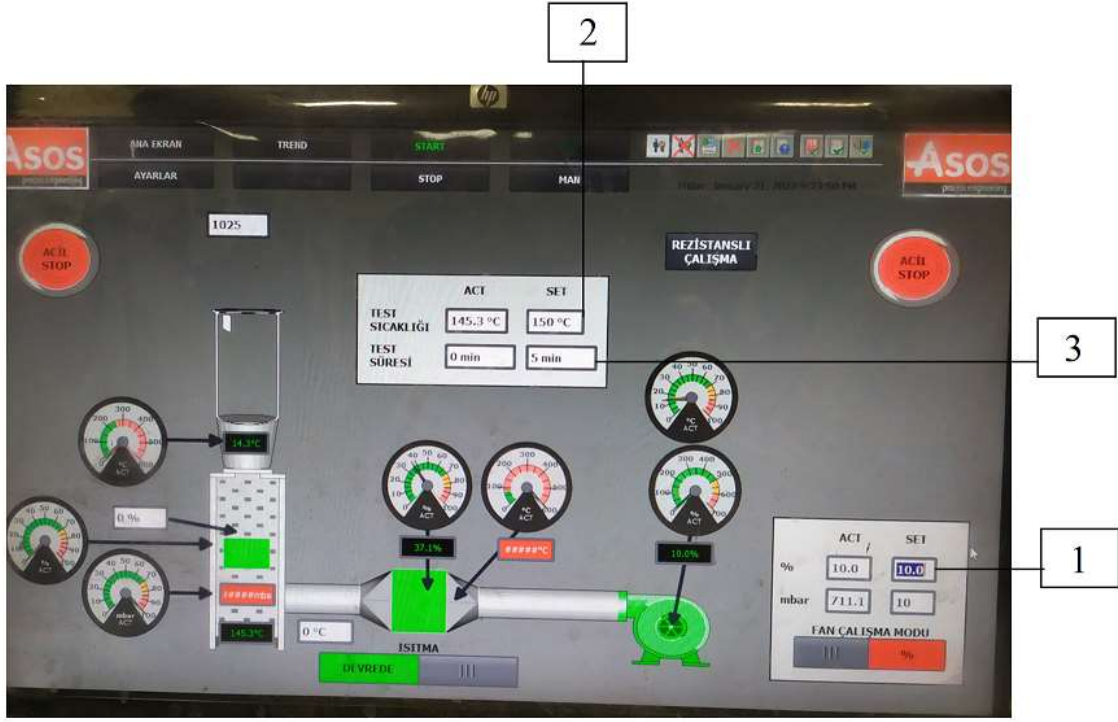
3.1.5 Laboratuvar Tip Statik Akışkan Yataklı Kurutucu

Bu çalışmada Şekil 3.5'te görseli yer alan Asos Proses Makine firmasına ait laboratuvar tip statik akışkan yataklı kurutucu kullanılmıştır. Basınçlı kurutma havasının sağlandığı fan ekipmanı 1 numarası ile göstermektedir. Rezistanslı ısıtıcı 2 numarası ile gösterilmiştir. Sıcak havanın makine içerisine aktarıldığı borulama 3 numarasıyla göstermektedir. Bu hat üzerinde elek altı basıncı ölçmek için manometre mevcuttur. 4 numaralı parça makine şasesini, 5 numaralı parça ürün haznesini göstermektedir. Kurutma sırasındaki kaynama hareketinin gözlemlendiği cam kolon 6 numarasıyla gösterilmiştir. Kurutma sırasında toz ürünün kaçmasını önlemek için takılan filtre bezi 7 numarası ile gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Laboratuvar tip statik akışkan yataklı kurutucu sistemi

Statik akışkan yataklı kurutucu sistemi Şekil 3.6'da gösterilen operatör panelinden kontrol edilmektedir. Kurutucu besleme fanı 1 numaralı bölümden yüzde değer girilerek çalıştırılmaktadır. Kurutma hava sıcaklık değeri 2 numaralı bölüme girilmektedir. Kurutma süresi yani fan ve ısıtıcının çalışma süresi 3 numaralı bölüme girilmektedir.



Şekil 3.6. Statik akışkan yataklı kurutucu operatör paneli

Şekil 3.7’de kurutma havası besleme fanı görseli yer almaktadır. TMM marka EJ 9 KB model fanın besleme kapasitesi 470 m³/h olup basıncı 225 mbar’dır. Ortamdan emdiği havayı basınçlandırarak ısıtıcı ekipmanı içerisine basmaktadır.



Şekil 3.7. TMM marka EJ 9 KB model kurutucu besleme fanı

Bu çalışmada istenilen hava hızları ile kurutucunun boru şeklindeki alanı çarpılarak gerekli hava debisi bulunmuştur. Fanın yüzde olarak hangi değerlerde çalıştırılması gerektiği maksimum basma kapasitesi oranlanarak hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzdeler istenilen hız değerlerini sağlayıp sağlamadıkları Şekil 3.8’de gösterilen biçimde el anomometresi ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Testo marka 410-1 model Cep Tipi Pervaneli Anemometre

Bu çalışmada hava elektrikli ısıtıcı ile ısıtılmıştır. Elektrikli ısıtıcının içerisinde rezistans adı verilen ısıtıcılardan bulunmaktadır. Rezistanslar üzerinden elektrik akımı geçen her malzemede olduğu gibi ısınma eylemi göstermektedirler. Rezistansların malzemesinden ve şeklinden kaynaklı ısı dirençleri vardır. Isıtıcının kapasitesini içerisine yerleştirilen rezistans adetleri ve dizilimleri ile belirlenmektedir. Bu çalışmada Şekil 3.9'da yer alan ısıtıcı kullanılmıştır ve maksimum kapasitesi 200 °C'dir. Fan ekipmanının basınçlandığı hava ısıtıcı kabin içerisinde rezistanslara temas ederek ısınmaktadır. Kurutma prosesinde istenilen hava sıcaklığı operatör ekranından girilmektedir. Sıcaklık değeri ısıtıcı kabini üzerinde yer alan PT100 (%0,3 hassasiyet, -200/+450 °C ölçüm aralığı) sıcaklık sensörü ile okunmakta ve hangi değere ulaştığı bilgisi anlık olarak ekrandan okunmaktadır.



Şekil 3.9. Elektrikli rezistanslı ısıtıcı ve PT100 sıcaklık sensörü

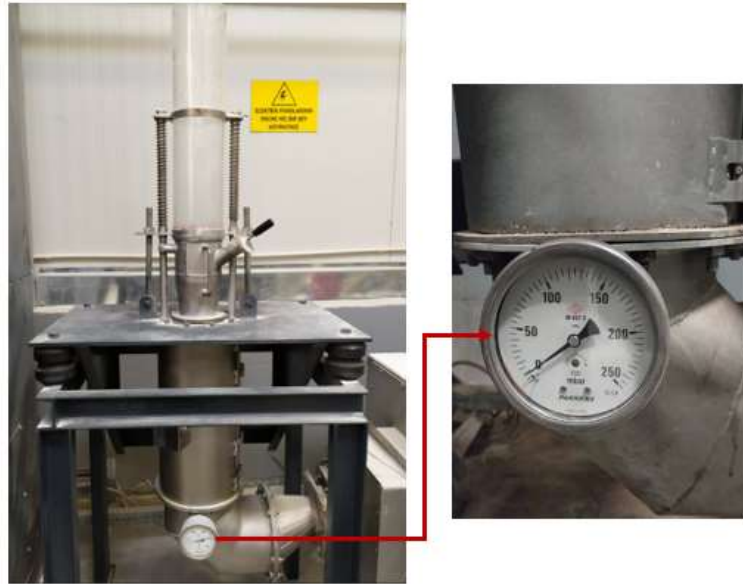
Kurutucu içerisinde ürünün üzerine dökülüp yatak oluşturulduğu ve alt bölümdeki hava içerisinden geçerek ürünün akışkanlaşmasını sağlayan plakaya elek denilmektedir. Ürün ve kurutucu modeline uygun birçok farklı elek yapısı mevcuttur. Bu çalışmada Şekil 3.10'da gösterilen mantar tip elek kullanılmıştır. Elek plakasındaki açıklıklar ürünün ideal kaynaması

ve ilerlemesi için özel olarak tasarlanmaktadır. Sürekli beslemeli makinelerde elek yönü ile hava akışı kontrolü sağlanmakta olup, ürünün ilerlemesi için en etkili yöntemdir.



Şekil 3.10. Mantar tip elek plakası

Fan ekipmanı tarafından basınçlandırılan hava ısıtıcı ekipmanın içerisinden ve kurutucu borulamasından geçişi sırasında basınç kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca kurutucu içerisinde yer alan elek ve ürün basınçlı havaya karşı direnç oluşturmaktadır. Bu çalışmada ürün beslemesi yapılmadan istenilen değerlerde sistem çalıştırıldığında, eleğin oluşturulduğu karşı basınç değerine elek altı basıncı denilmektedir. Şekil 3.11’de elek altı basınç değerinin ölçüldüğü manometre gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Elek altı basınç ölçüm manometresi (0-250mbar)

Tuz ürünü kurutucu besleme haznesinde elek plakasının üzerine konulmaktadır. Bu çalışmada 70, 80 ve 90 mm yatak yüksekliği oluşturulmaktadır. Besleme haznesinin ilgili yatak yüksekliğindeki hacmi ile tuz ürünün yığın yoğunluğu çarpılarak kurutulacak ürün ağırlığı hesaplanmıştır (Denklem3.1). Kurutulacak ürün Şekil 3.12’de gösterildiği gibi tartılıp

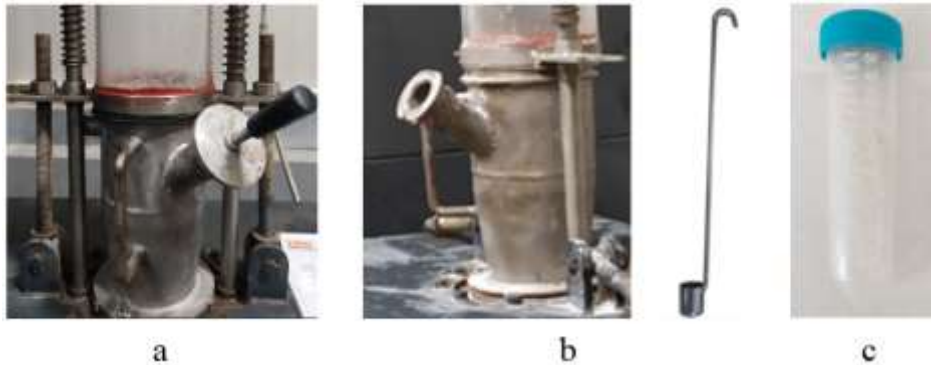
hava almasına izin vermeyecek şekilde paketlenip, yatak yükseklikleri üzerlerine yazılmıştır. Denemeye başlanılmadan önce tartılan ürün hazne içerisinde istenilen yatak yüksekliğine ulaşıp ulaşmadığı metre ile kontrol edilmiştir.



Şekil 3.12. Ürün besleme haznesi ve 80mm yatak yüksekliğindeki tuz ürünü

Kurutma deneme çizelgesindeki testlere başlanılmadan önce ortalama olarak ürünün kaç dakika kurutma süresinde kurduğunu bulmak için denemeler yapılmıştır. Hava hızının en düşük, sıcaklığın en düşük ve yatak yüksekliğinin en yüksek olduğu koşulda deneme yapılmıştır. Daha önceki tecrübelerimiz ve yapılan deneme sonucunda %3 nem değerine sahip tuzun seçilen parametrelerde ortalama olarak 5 dakikalık kurutma süresinin yeterli geldiği görülmüştür.

Bu çalışmada kurutma süresine parametrelerin etkisine bakılarak karşılaştırma yapılmıştır. Denemelerin süresi 5 dakika olarak belirlenmiş ve 1,25 dakika arayla kurutucu besleme haznesi içerisinde numune tuz alınmıştır. Şekil 3.13'te gösterilen kuruma haznesinin yan gövdesinde yer alan numune alma bölümünden alınan tuzlar, ağzı kapaklı 50 ml hacimli kaplarda hava almayacak şekilde konulmuştur. Deneme boyunca 4 numune alınarak deneme sonucunda nem tayin cihazında nem değerlerine bakılmıştır.



Şekil 3.13. (a) Numune tuz alma bölümü, (b) tuz alma aparatı, (c) numune tuz saklama kabı

Kurutma prosesi sırasında akışkanlaşan toz ürünler egzoz havasıyla birlikte uçmaktadır. Kurutma tesislerinde egzoz havası ile kaçan ürünler siklon, jet pulse filtre, scrubber vb. ekipmanlar ile tutulmaktadır. Bu çalışma laboratuvar ortamında yapılmakta olup kaçan ürünlerin etrafa yayılmaması için Şekil 3.14'te gösterildiği gibi kurutucu çıkışına iğne keçeliden filtre torbası takılmıştır. Filtre torbası egzoz havasının geçişine izin verirken, tozları tutmaktadır. Denemeler sırasında filtre torbası düzenli temizlenmiştir.



Şekil 3.14. Kurutucu çıkışı iğne keçeli filtre torbası

3.2 Deneme Planı ve Yöntemler

Bu çalışmada statik akışkan yataklı kurutucuda tuz ürünün kurutulmasında hava hızı, yatak yüksekliği ve kurutma hava sıcaklığının kurutma üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Parametrelerin etkileri teorik hesaplar, CFD analizi ve laboratuvar ortamında denemeler ile yapılmıştır. Yapılan 3 farklı çalışmaların aralarındaki doğruluk oranları karşılaştırılmıştır.

3.2.1 Deneme Planı

Şekil 3.5'te gösterilen laboratuvar tip statik akışkan yataklı kurutucuda Çizelge 3.3 doğrultusunda denemeler yapılmıştır. Çizelge 3.4'te parametre değerlerinin sayısal karşılıkları gösterilmiştir. Yapılan denemelerde özet olarak aşağıdaki basamaklar izlenmiştir;

- Kurutulacak olan tuz elek analizinden geçirilerek partikül çapları belirlenmiştir.
- Numune tuzun nem miktarı nem tayin cihazı ile belirlenmiştir.
- Yatak yüksekliğine uygun kurutulacak nemli tuz ürünü paketlenmiştir.
- Nemli ürün laboratuvar tip statik akışkan yataklı kurutucu makinasının içine doldurulmuştur.
- Operatör panelinden istenilen hava hızı, sıcaklık ve test süresi girilmiştir.

- Kurutma esnasında belirlenen sürelerde numuneler alınmıştır.
- Kurutma esnasında basınç ve sıcaklık değerleri not edilmiştir.
- Test sonunda alınan numunelerin nem tayin cihazında nem değerlerine bakılmıştır.

Çizelge 3.3. Deneme çizelgesi

DENEME PLANI			
Deneme No	Parametre -1	Parametre -2	Parametre -3
1	Hava Hızı-1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
2	Hava Hızı-1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
3	Hava Hızı-1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
4	Hava Hızı-1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
5	Hava Hızı-1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
6	Hava Hızı-1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
7	Hava Hızı-1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
8	Hava Hızı-1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
9	Hava Hızı-1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
10	Hava Hızı-2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
11	Hava Hızı-2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
12	Hava Hızı-2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
13	Hava Hızı-2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
14	Hava Hızı-2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
15	Hava Hızı-2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
16	Hava Hızı-2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
17	Hava Hızı-2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
18	Hava Hızı-2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
19	Hava Hızı-3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
20	Hava Hızı-3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
21	Hava Hızı-3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
22	Hava Hızı-3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
23	Hava Hızı-3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
24	Hava Hızı-3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
25	Hava Hızı-3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
26	Hava Hızı-3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
27	Hava Hızı-3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3

Denemelerde alınan parametrelerin sayısal karşılıkları Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Parametrelerin sayısal değer tablosu

PARAMETRELERİN SAYILAR DEĞERLERİ			
Parametre 1	Hava Hızı-1	Hava Hızı-2	Hava Hızı-3
Sayısal Değeri	1,36 m/s	1,66 m/s	1,96 m/s
Parametre 2	Sıcaklık-1	Sıcaklık-2	Sıcaklık-3
Sayısal Değeri	120 °C	140 °C	160 °C
Parametre 3	Yatak Yüksekliği-1	Yatak Yüksekliği-2	Yatak Yüksekliği-3
Sayısal Değeri	70 mm	80 mm	90 mm

3.2.2 Matematiksel Modelleme

Kurutma prosesinde giriş ürün ve istenilen nihai ürün özelliklerine uygun matematiksel modellemeler yapılmaktadır. Akışkan yataklı kurutucu tasarımında istenilen ürün kapasitesini hangi ölçülerde bir makinenin karşılayacağını bulmak için minimum akışkanlaştırma hızı, basınç düşümü, gerekli enerji, kaçan ürün miktarı vb. değerler hesaplanmalıdır. Bu çalışmada literatürde kabul görmüş başlıca formülasyonlar kullanılmıştır. Bu formülasyonlar alt bölümlerde değinilmiş olup denemelerdeki parametrelerin belirlenmesinde kullanılmıştır.

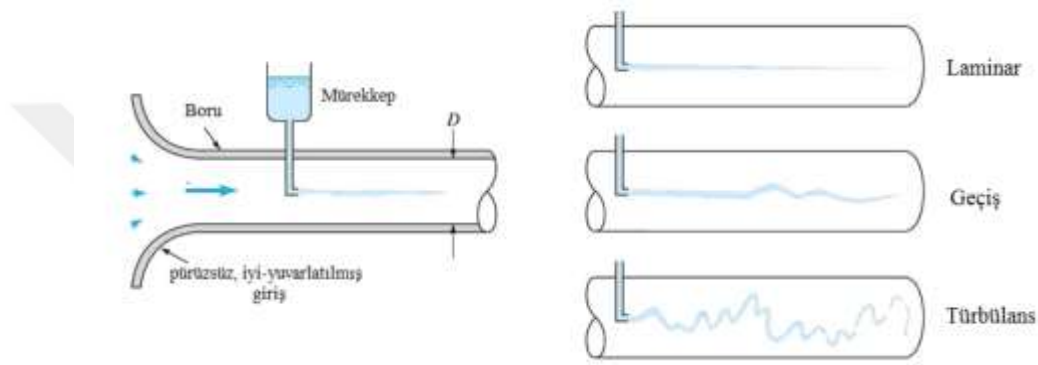
3.2.2.1 Arşimet Sayısı

Akışkanlaştırma işleminin temeli yoğunluğu farklı olan iki akışkanın birbirlerine olan etkisi ve hareketlerini ifade etmektedir. Arşimet sayısı yoğunluğu farklı olan akışkanların hareketini ifade etmektedir. Kurutma prosesinde yoğunluğu farklı olarak ifade edilen akışkanlar; hava ve üründür. Arşimet sayısı akışkanların yoğunluk farklarından kaynaklı hareketlerini inceler. Akışkan yataklılarda yoğunlukları farklı iki veya daha fazla akışkanın hareketi söz konusu olduğu için Arşimet sayısı hesaplanmaktadır. Arşimet sayısı havanın yoğunluğuna, viskozitesine, ürün yoğunluğuna, partikül çapına ve yerçekimine bağlıdır, Denklem 3.2'deki formülasyon ile hesaplanmaktadır (Cocco, 2014).

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

3.2.2.2 Reynolds Sayısı

Osborne Reynolds (1842 – 1912) bilim insanı akışkanlar üzerine yaptığı çalışmalarda farklı tip akışların olduğunu gözlemlemiştir. Şekil 3.15'te gösterilen deney düzeneğinde akışkan tipini belirlemek için, akışkan içerisine mürekkep ilave etmiş ve farklı akış hızlarında mürekkebin davranışı gözlemlemiştir. Akışkan içerisinde mürekkebin bozulmadan, mevcut durumunu koruduğu düzenli akışa Laminer tip demmiştir. Debi arttırıldığında mürekkep dağılmaya başlamış ve akış artık türbülanslı tip olarak sınıflandırmıştır. Laminer ve türbülans akışlar arasında gidip-gelen akış türüne de geçiş akışı demmiştir.



Şekil 3.15. Osborne Reynolds (1842-1912)'un yaptığı deneysel boru akışında oluşan akış durumları (Çengel ve Cimbala, 2008)

Laminer akışta hızın tek birleşeni vardır ve oda yatay akış yönündedir. Türbülanslı akışta ise üç eksen de hız bileşeni vardır. Akış türbülanslıda tamamen gelişigüzel gerçekleşir, kontrol etmesi zordur. Geçiş akışı ise iki tip olarak da kabul edilmektedir.

Laminer akışta sıvı tabakalar halinde akış gösterir ve farklı hızlardaki bu tabakalar kayarak hareket ederler. Laminer akım durağan akım olarak adlandırılır ve bu akış tipi sıvının viskoz özelliğinden dolayı meydana gelir. Türbülanslı akış ise düzensiz akış olarak da geçmektedir.

Laminer ve türbülanslı akışı birbirinden ayırmak için, 1883 yılında Osborne Reynolds bir çalışma yapmıştır. Çalışmasının sonucunda Denklem 3.3'te gösterilen formülasyonu türetmiştir, formül akış hızı, boru çapı ve akışkanın viskozitesine bağlı boyutsuz bir değerdir. Çıkan değer Reynolds sayısı olarak adlandırılmaktadır.

$$\text{Reynolds Sayısı} = Re_p = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskoz Kuvvetleri}} = \frac{\rho_g \cdot U \cdot d_p}{\mu} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.5' de Osborne Reynolds yaptığı formülasyon sonucunda reynolds sayının hangi aralıklarda hangi akış tipine denk geldiği gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Reynolds sayısına göre akış tipi tablosu

Reynolds Sayısı	Akış Tipi
Re <2100	Laminer
2100 <Re <4000	Geçişli
Re >4000	Türbülanslı

3.2.2.3 Reynolds Sayısı ile Arşimet Sayısı Korelasyonu

Minimum akışkanlaştırma hızını bulmak için gerekli Reynolds sayısı Denklem 3.3'teki korelasyon ile hesaplanmaktadır (Cocco, 2014).

$$Ar = 1650 \cdot Re_{mf} + 24,5 \cdot Re_{mf}^2 \quad (3.3)$$

3.2.2.4 Minimum Akışkanlaştırma Hızı

Akışkan yataklı kurutucu içerisindeki ürünün akışkan hava ile yerçekimini yenerek kaynama hareketinin başladığı hava hızına minimum akışkanlaştırma denir. Hava tanecikler arasındaki boşluk mesafesini artırır ve taneciklerin yatak içerisinde kaynama hareketi yaparak hava ile temasının maksimum seviyede olmasını sağlar. Minimum akışkanlaştırma hızı havanın yoğunluğuna, viskozitesine, reynolds sayısına, ürünün partikül çapına ve ürün yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bena çalışmasında Denklem 3.4'te yer alan, literatürde kabul görmüş minimum akışkanlaştırma hızı denklemi verilmiştir (aktaran Ho, Nam, Dal ve Gyoung, 2003).

$$u_{mf} = \frac{\mu}{\rho_g \cdot d_p} \left(\frac{1,38 \times 10^{-3} \cdot Ar}{(Ar + 19)^{0,11}} \right) \quad (3.4)$$

3.2.2.5 Kaynama Sırasındaki Porozite Değeri

Porozite tanecikler arası hava boşluğunu tarif etmek için kullanılmaktadır. Akışkan yataklı kurutucu içerisinde yatak tipi sabit olduğunda tanecikler arasındaki hava boşluğunu ifade eden bir porozite değeri vardır. Akışkanlaşma sırasında havanın ve partiküllerin birbirleri ile etkileşiminden dolayı porozite değeri değişmekte olup Denklem 3.5'teki formülasyon ile hesaplanmaktadır (Naterer, 2002).

$$\varepsilon = \varepsilon_{mf} \cdot \left(\frac{Re_p + 0,02 \cdot Re_p^2}{Re_{mf} + 0,02 \cdot Re_{mf}^2} \right)^{0,21} \quad (3.5)$$

3.2.2.6 Küresellik Değeri

Küresellik bir partikülün ne kadar yuvarlak olduğunu tanımlayan önemli bir ölçüttür. Kaynama sırasındaki porozite değeri ile küresellik arasında korelasyon Denklem 3.6'daki formülasyon ile hesaplanmaktadır (Hartman, Trnka ve Svoboda, 2013).

$$\varepsilon = 1 - 0,8648\varphi + 0,2745\varphi^2 \quad (3.6)$$

3.2.2.7 Basınç Düşümü Hesabı

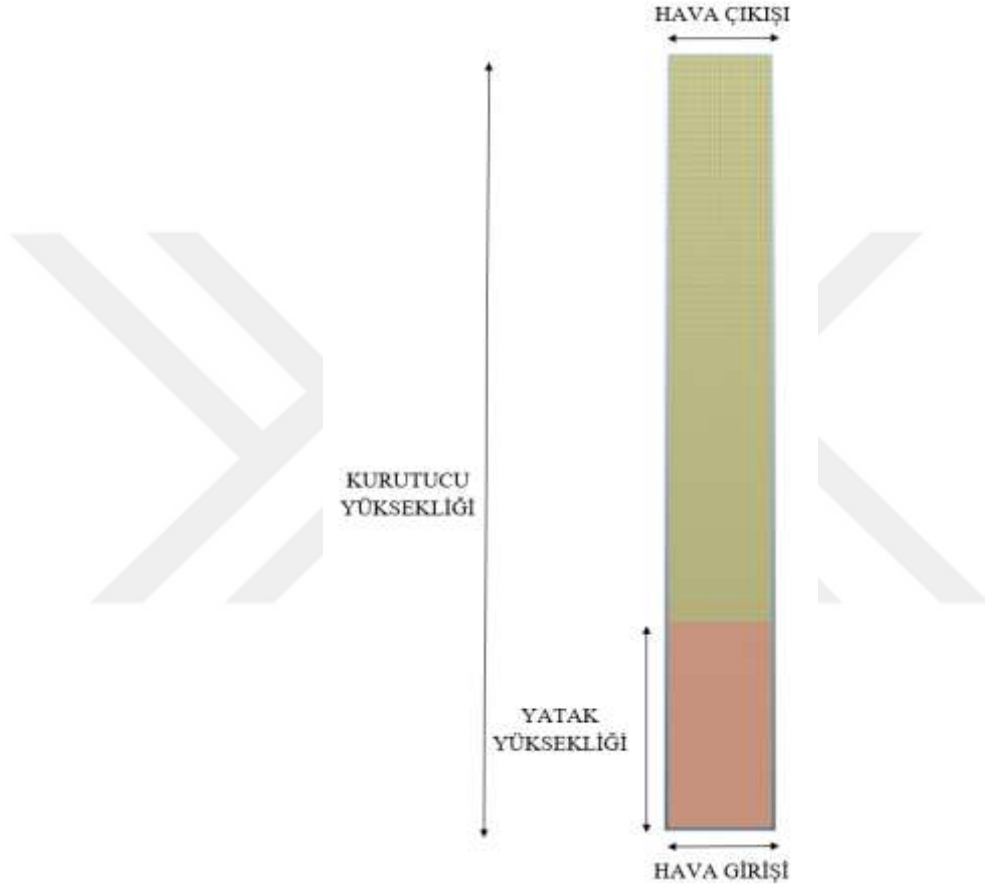
Akışkan yataklı kurutucudaki ürün yatağı hava ile temasında bir direnç oluşturur. Bu direnç hava basıncının yataktan geçerken düşmesine sebep olur. Bu basınç düşümü Denklem 3.7'deki Ergun denklemi ile yakınsayarak hesaplanmaktadır (Kurtuluş, 2007).

$$\Delta P = h \cdot \rho_g \cdot U^2 \left[\frac{150 \cdot (1 - \varepsilon)}{Re_p \cdot \varphi} + \frac{7}{4} \right] \frac{1 - \varepsilon}{\varphi \cdot d_p \cdot \varepsilon^3} \quad (3.7)$$

3.2.3 Analiz Yöntemi

Bu çalışmada yapılan analizlerde MFI programı kullanılmıştır. Partiküller ile hava arasındaki sürüklenme modeli Syamlal-O'Brien kullanılmıştır. Syamlal-O'Brien sürüklenme modeli türbülanslı akışkanlaştırma da yatağın hidrodinamiğinin belirlenmesinde

kullanılmaktadır. Analizlerde partikül çapı $\text{Ø}2,4$ mm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.16'da MFIX programında uygulanan kurutucu modeli gösterilmektedir. Hava girişi geometrinin altından, hava çıkışı ise üst kısımdan, yan duvarlar ise kaymayan yüzey olarak tanımlanmıştır. Geometri, x yönünde 200 mm, y yönünde ise 1500 mm 'dir. Analiz 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Analizde yatak yüksekliği, hava hızı ve hava sıcaklığı değişken olarak alınmıştır.



Şekil 3.16. MFIX kurutucu modeli

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

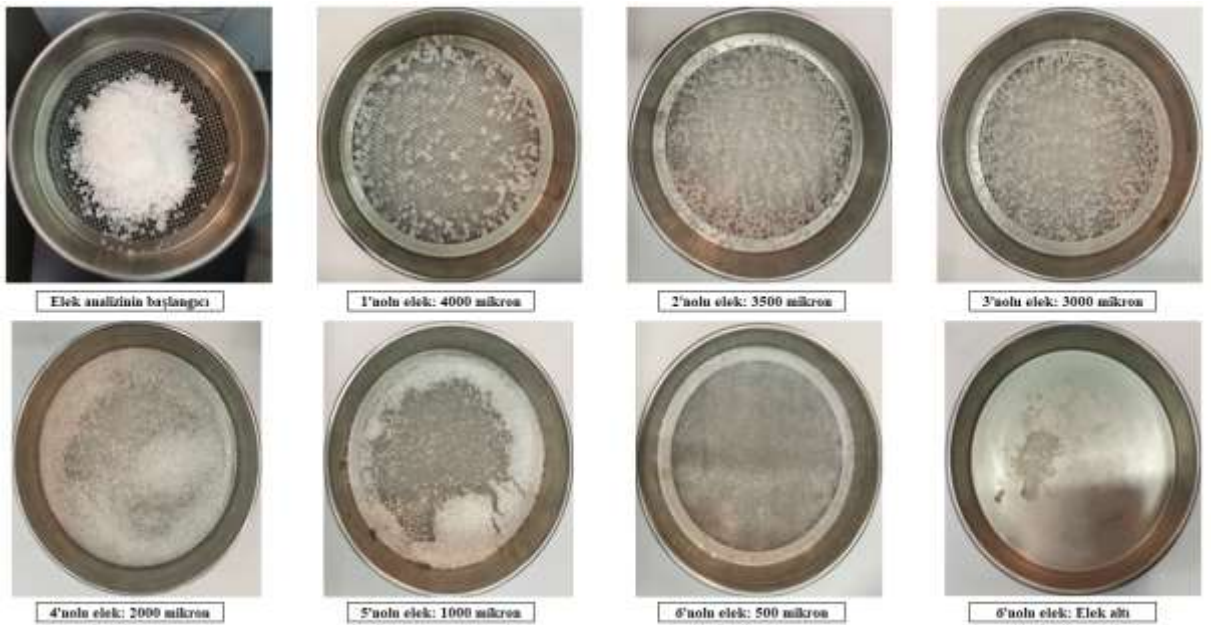
4.1 Laboratuvar Test Sonuçları

4.1.1 Tuz Ürününün Elek Analiz Sonucu

Çizelge 4.1’de kurutma denemelerinin yapılacağı tuzun elek analiz sonuçları verilmiştir. Yapılan elek analizinde Şekil 3.3’te verilen Retsch As 200 Basic marka elek cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.1’de elek testinden sonra eleklerin üzerinde kalan tuz miktarları gösterilmiştir. Teorik hesaplamalarda tuz partikülün çapı 2,4 mm olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.1. Tuz elek analiz sonuçları

ELEK ANALİZ SONUÇLARI						
Numune Miktarı (g)	200					
Devir Sayısı (d/dk)	90					
Test Süresi (dk)	10					
Elek No	Partikül Boyutu (mikron,μ)	Delik Boyutu (mesh)	Boş Elek Ağırlığı (g)	Dolu Elek Ağırlığı (g)	Numune Ağırlığı (g)	% Ağırlık Değeri
1	4000	5	398,2	431,6	33,4	16,7
2	3500	6	359	385,8	26,8	13,4
3	3000	8	365	389,4	24,4	12,2
4	2000	10	339,4	399,8	60,4	30,2
5	1000	20	347,4	390,8	43,4	21,7
6	500	30	345,2	356,2	11	5,5
Elek altı	0	-	311	311,6	0,6	0,3



Şekil 4.1. Elek analizi sonucunda elek yüzeyinde kalan tuz miktarları

4.1.2 Tuz Ürününün Nem Tayin Sonucu

Kurutma denemelerinde kullanılacak tuz 20 litre hacimli plastik kaplarda muhafaza edilmiştir. Saklama kabı içerisinde üç farklı bölgeden alınan numuneler, 3.1.2 bölümünde anlatılan nem tayin cihazında nem ölçümleri yapılmıştır. Nem sonuçları %3,006; %3,002 ve %3,008 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2). Bu çalışmada yaş tuz ürünü %3 nemli olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.2. Yaş tuz ürününün nem ölçüm sonuçları

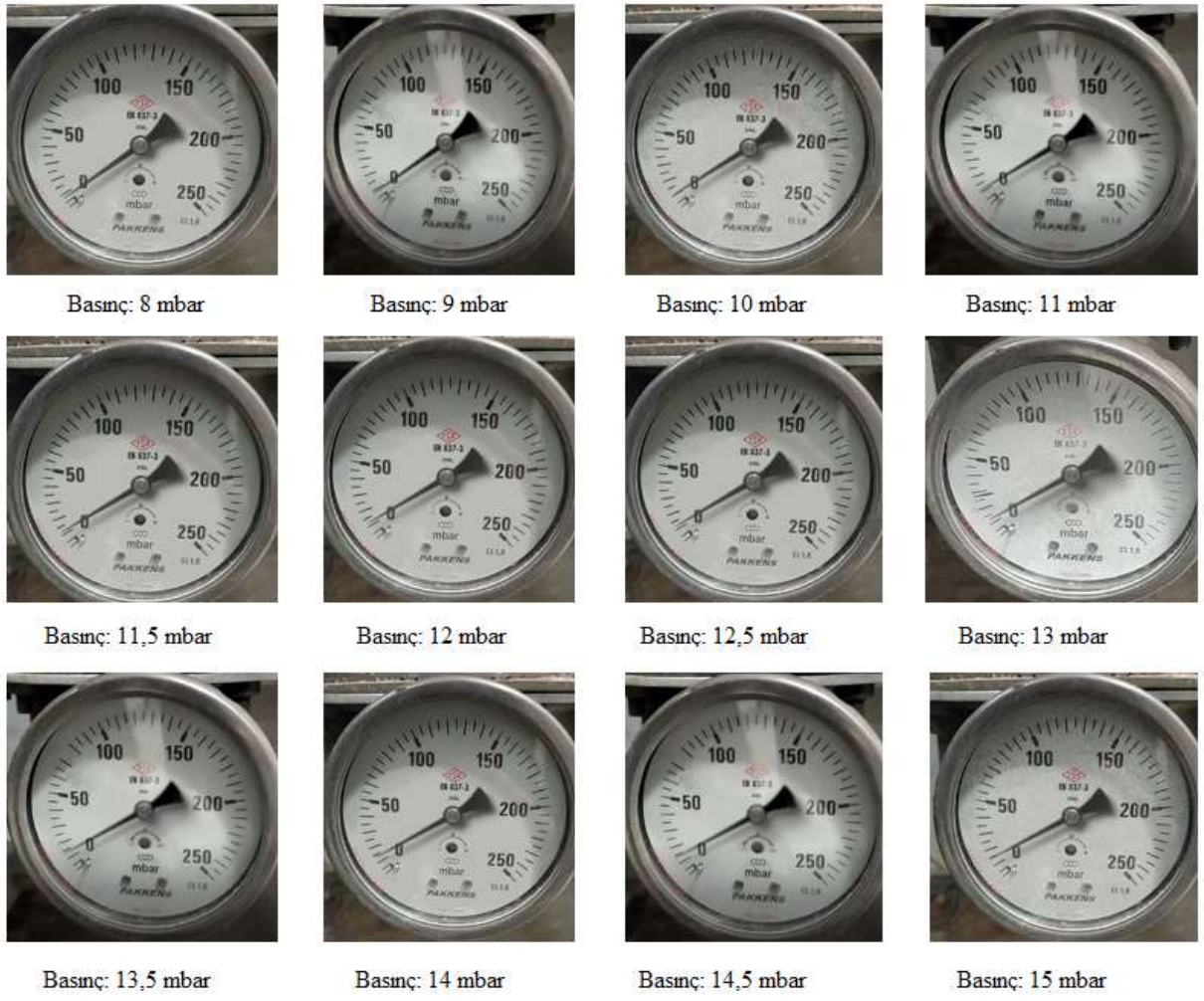
4.1.3 Test Basınç Düşümü Sonuçları

Laboratuvar denemelerinde kurutucu içerisinde ürün olmadan sistem 1,36; 1,66 ve 1,96 m/s hava hızlarında çalıştırılmıştır. Bu şekilde istenilen hava hızında eleğin yarattığı basınç değerine ulaşılmıştır. Testte yatağın yarattığı basıncı yenip akışkanlaşmaya geçme anında manometrede ani artışlar, dalgalanmalar yaşanmıştır. Bu çalışmada akışkanlaşma gerçekleştiğindeki manometre değeri sabit kabul edilmiştir. Mevcut laboratuvar tip statik kurutucu sistemindeki manometre ölçü skalası 0-250 mbar aralığındadır. Aralığın bu çalışma kapsamında geniş kalmasından dolayı değerler gözlem sonucu alınmıştır. Bu nedenle alınan değerlerde kabul edilebilir sınırlar içerisinde sapmalar olabilir. Çizelge 4.2’de elek altı basınç değerleri ve kurutma sırasında ölçülen manometre değerleri verilmiştir. Kurutma testlerinde üründen kaynaklı olan basınç düşümü değeri, kaynama anındaki manometre değerinden elek altı basınç değeri çıkarılarak bulunmuştur.

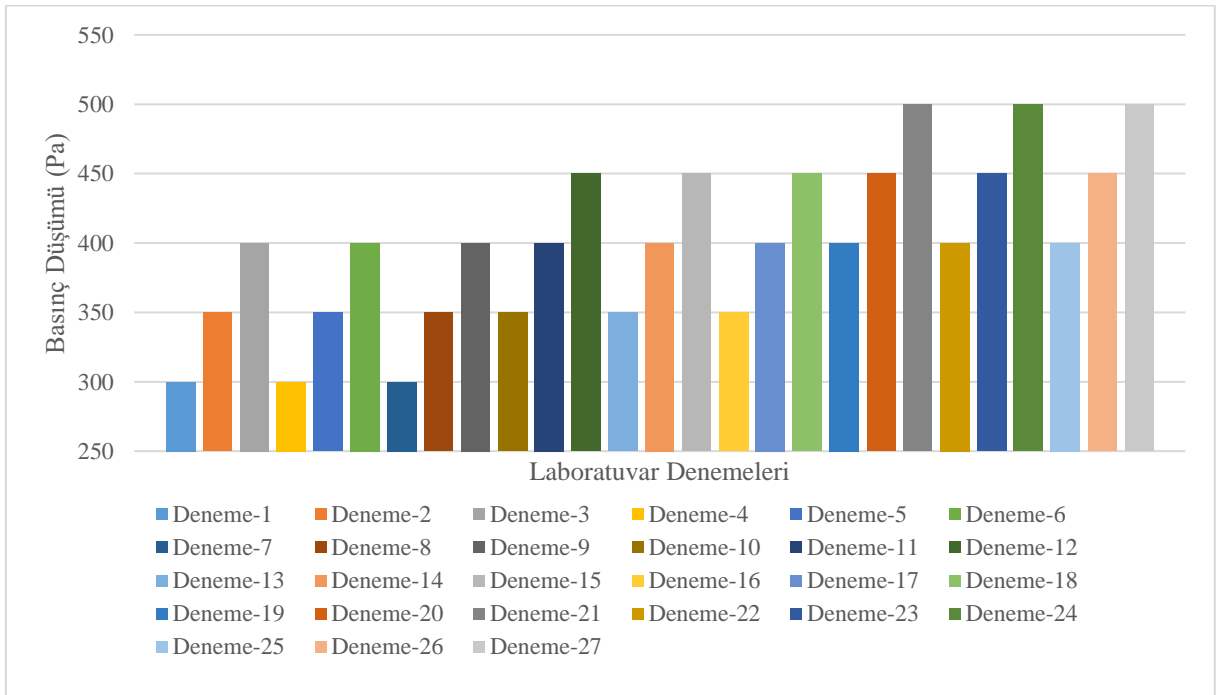
Çizelge 4.2. Kurutma testi basınç düşümü sonuçları

No	U	T	h	Elek Altı Basınç (Pa)	Kaynama Sırasında Manometre Değeri (Pa)	Ürünün Yarattığı Basınç Değeri (Pa)
1	1,36	120	70	800	1100	300
2	1,36	120	80	800	1150	350
3	1,36	120	90	800	1200	400
4	1,36	140	70	800	1100	300
5	1,36	140	80	800	1150	350
6	1,36	140	90	800	1200	400
7	1,36	160	70	800	1100	300
8	1,36	160	80	800	1150	350
9	1,36	160	90	800	1200	400
10	1,66	120	70	900	1250	350
11	1,66	120	80	900	1300	400
12	1,66	120	90	900	1350	450
13	1,66	140	70	900	1250	350
14	1,66	140	80	900	1300	400
15	1,66	140	90	900	1350	450
16	1,66	160	70	900	1250	350
17	1,66	160	80	900	1300	400
18	1,66	160	90	900	1350	450
19	1,96	120	70	1000	1400	400
20	1,96	120	80	1000	1450	450
21	1,96	120	90	1000	1500	500
22	1,96	140	70	1000	1400	400
23	1,96	140	80	1000	1450	450
24	1,96	140	90	1000	1500	500
25	1,96	160	70	1000	1400	400
26	1,96	160	80	1000	1450	450
27	1,96	160	90	1000	1500	500

Şekil 4.3'te manometre üzerinden okunan basınç değerleri yer almaktadır. Şekil 4.4'te deneme planı sırasıyla ürünün yarattığı basınç düşümü değerleri grafik metodu ile gösterilmiştir. Testler kendi aralarında kıyaslandığında yatak yüksekliği ve hava hızı artıka basınç düşümünün arttığı gözlenmiştir. Sıcaklık parametresinin basınç düşümüne gözle gözlemlenebilir bir etkisi olmamıştır.



Şekil 4.3. Okunan manometre basınç değerleri



Şekil 4.4. Akışkanlaşmış tuz ürünün basınç düşümüne etki grafiği - Test

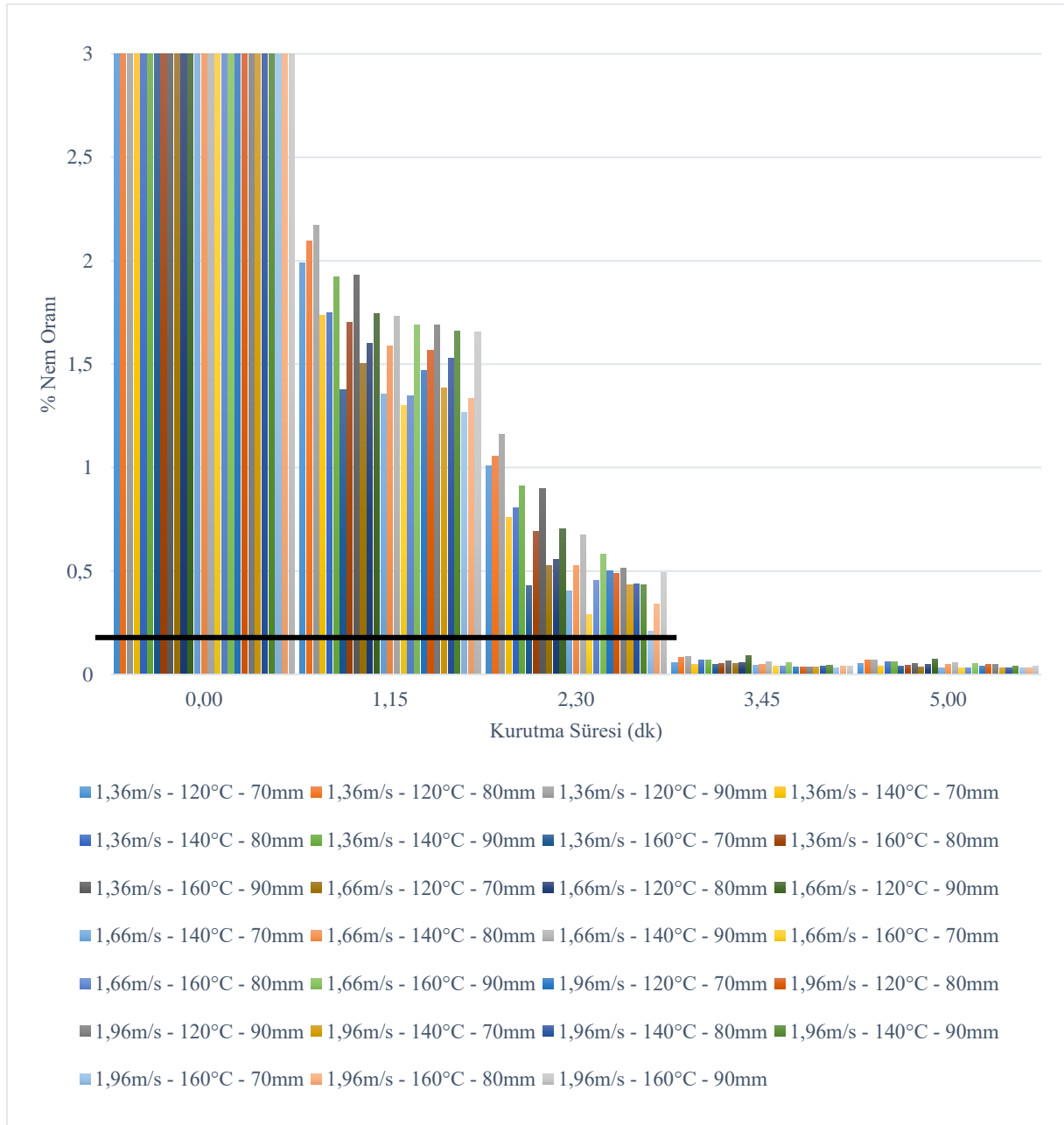
4.1.4 Test Kuruma Sonuçları

Test süresi 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süre zarfında numune alma gözünden 1,15 dakika aralıklarla toplam 4 numune alınmıştır. Çizelge 4.3'te alınan numunelerin nem değerleri yer almaktadır. Bu çalışmada ortalama olarak 3 dakikada ürün kuru kabul edilecek nem değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Kurutma süresine hangi parametrenin daha etkili olduğunu tartışmak için 2,30 dakikada alınan numunelerin nem değerlerine bakılmıştır. Numuneler akışkanlaşmış bir yatak içerisinde alınmıştır, hazne içerisindeki toplam nemi tam doğrulukta yansıtmamış olabilmektedir.

Çizelge 4.3. Kurutma testi nem ölçüm sonuçları

No	U	T	h	Giriş Nem Değeri	1.Numune Nem Değeri	2.Numune Nem Değeri	3.Numune Nem Değeri	Çıkış Nem Değeri
1	1,36	120	70	3	1,988	1,008	0,057	0,051
2	1,36	120	80	3	2,095	1,055	0,082	0,072
3	1,36	120	90	3	2,173	1,16	0,088	0,072
4	1,36	140	70	3	1,738	0,758	0,047	0,04
5	1,36	140	80	3	1,75	0,805	0,069	0,06
6	1,36	140	90	3	1,923	0,91	0,072	0,06
7	1,36	160	70	3	1,376	0,428	0,049	0,042
8	1,36	160	80	3	1,702	0,693	0,053	0,044
9	1,36	160	90	3	1,931	0,898	0,064	0,055
10	1,66	120	70	3	1,502	0,527	0,052	0,037
11	1,66	120	80	3	1,6	0,556	0,057	0,049
12	1,66	120	90	3	1,744	0,704	0,092	0,073
13	1,66	140	70	3	1,355	0,402	0,043	0,032
14	1,66	140	80	3	1,588	0,527	0,047	0,047
15	1,66	140	90	3	1,732	0,675	0,062	0,057
16	1,66	160	70	3	1,299	0,288	0,039	0,033
17	1,66	160	80	3	1,349	0,456	0,039	0,032
18	1,66	160	90	3	1,689	0,581	0,059	0,052
19	1,96	120	70	3	1,471	0,503	0,036	0,04
20	1,96	120	80	3	1,565	0,489	0,037	0,05
21	1,96	120	90	3	1,69	0,515	0,038	0,05
22	1,96	140	70	3	1,385	0,433	0,037	0,03
23	1,96	140	80	3	1,53	0,436	0,042	0,03
24	1,96	140	90	3	1,66	0,433	0,044	0,04
25	1,96	160	70	3	1,268	0,209	0,034	0,031
26	1,96	160	80	3	1,334	0,34	0,039	0,031
27	1,96	160	90	3	1,655	0,494	0,041	0,041

Şekil 4.5'te yapılan denemelerin nem sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafik üzerinde 2,30 dakikada en düşük nem değerine sahip denemeleri belirlemek için bir doğru çizilmiştir. Doğru üzerine en yakın olan ilk 5 deneme numaraları sırasıyla; 25, 16, 26,13 ve 7 olmuştur. Denemeler incelendiğinde hava hızının ve sıcaklığın kurutma süresi üzerine olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Yatak yüksekliğinin ise olumsuz yönde etki ettiği saptanmıştır. Seçilen 5 denemenin dördünde sıcaklık maksimum değer olan 160°C olması sıcaklığın kurutma süresine en etkili olduğu savını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.5. Zamana göre nem değişim grafiği - Test

Kurutma denemelerinin gerçekleştirildiği statik kurutucunun üst gövdesi cam bir borudan oluşmaktadır. Şekil 4.6’da bu cam bölgeden gözlemlenen kaynama hareketleri yer almaktadır. Parametrelerin artışı kaynama hareketini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Kurutucu sistemlerinde ürün için ideal olan kaynamayı seçmek tasarımı önemli ölçüde belirlemektedir. Gerekli olandan daha yüksek bir hız seçilmesi durumunda egzoz yapılan hava ile ürün taşınarak kurutucudan atılmasına neden olmaktadır. Ürün kaybını azaltmak için kurutucu kubbesinin büyük hacimli yapılması ve egzoz hızını yavaşlatmak için borulamanın büyük çaplarda yapılması gerekmektedir. Ayrıca atılan bu ürünün geri kazanımı için ekstra ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ilk yatırım maliyetini artırdığı gibi bakım maliyetini de artırmaktadır.



1,36 m/s - 120°C - 70mm



1,66 m/s - 140°C - 80mm



1,96 m/s - 160°C - 90mm

Şekil 4.6. Farklı parametrelerde kaynama görüntüleri - Test

4.2 Matematiksel Modelleme Sonuçları

Bu bölümde 3.2.2’de anlatılan formüllerin Çizelge 3.5’te verilen parametre değerleri uygulanarak yapılan hesaplama sonuçlarının yer aldığı bölümdür. Hesaplamalarda tuz ürünün partikül çapı 2,4 mm, yoğunluğu 1631 kg/m³ olarak alınmıştır. Çizelge 4.4’te deneme planı sırasıyla matematiksel hesaplama sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.4. Matematiksel hesaplama sonuçları

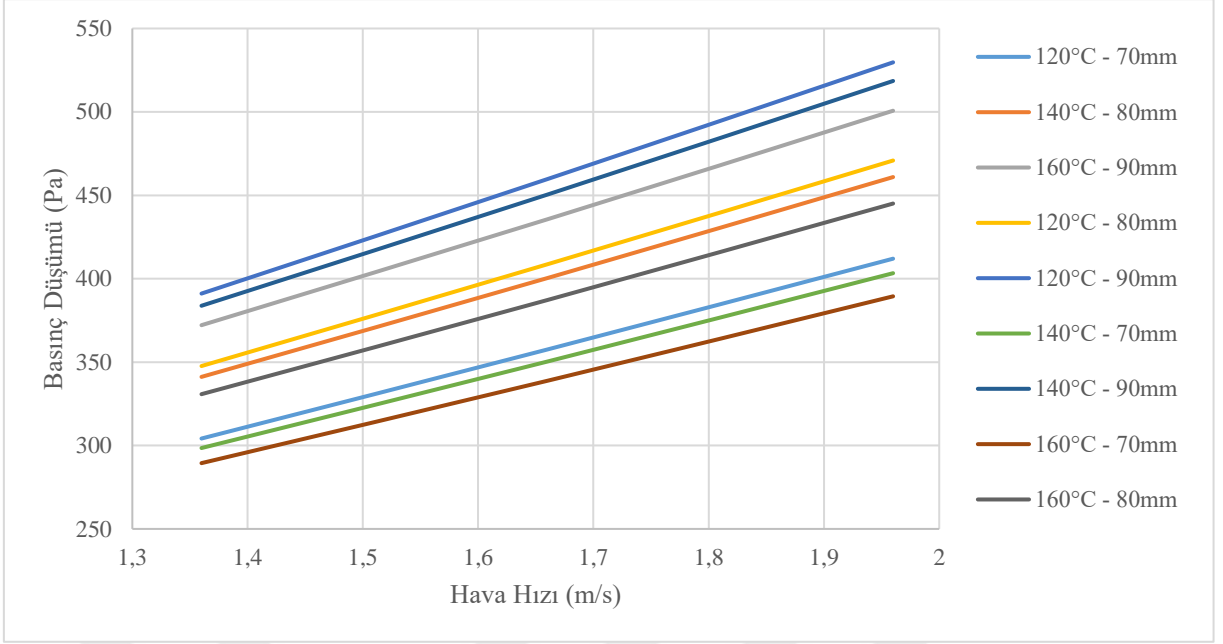
No	U	T	h	μ	p_g	ε	Re_p	Ar	Re_{mf}	u_{mf}	φ	ΔP
1	1,36	120	70	2,256E-05	0,899	0,610	130,02	39E+04	96,95	1,367	0,544	304,17
2	1,36	120	80	2,256E-05	0,899	0,610	130,02	39E+04	96,95	1,367	0,544	347,63
3	1,36	120	90	2,256E-05	0,899	0,610	130,02	39E+04	96,95	1,367	0,544	391,08
4	1,36	140	70	2,337E-05	0,869	0,609	121,40	35E+04	90,80	1,335	0,547	298,49
5	1,36	140	80	2,337E-05	0,869	0,609	121,40	35E+04	90,80	1,335	0,547	341,14
6	1,36	140	90	2,337E-05	0,869	0,609	121,40	35E+04	90,80	1,335	0,547	383,78
7	1,36	160	70	2,417E-05	0,818	0,606	110,43	30E+04	83,65	1,309	0,553	289,43
8	1,36	160	80	2,417E-05	0,818	0,606	110,43	30E+04	83,65	1,309	0,553	330,78
9	1,36	160	90	2,417E-05	0,818	0,606	110,43	30E+04	83,65	1,309	0,553	372,13
10	1,66	120	70	2,256E-05	0,899	0,657	158,70	39E+04	96,95	1,367	0,466	357,54
11	1,66	120	80	2,256E-05	0,899	0,657	158,70	39E+04	96,95	1,367	0,466	408,62
12	1,66	120	90	2,256E-05	0,899	0,657	158,70	39E+04	96,95	1,367	0,466	459,70
13	1,66	140	70	2,337E-05	0,869	0,655	148,18	35E+04	90,80	1,335	0,469	350,32
14	1,66	140	80	2,337E-05	0,869	0,655	148,18	35E+04	90,80	1,335	0,469	400,36
15	1,66	140	90	2,337E-05	0,869	0,655	148,18	35E+04	90,80	1,335	0,469	450,41
16	1,66	160	70	2,417E-05	0,818	0,651	134,79	30E+04	83,65	1,309	0,476	338,79
17	1,66	160	80	2,417E-05	0,818	0,651	134,79	30E+04	83,65	1,309	0,476	387,19
18	1,66	160	90	2,417E-05	0,818	0,651	134,79	30E+04	83,65	1,309	0,476	435,59
19	1,96	120	70	2,256E-05	0,899	0,699	187,38	39E+04	96,95	1,367	0,399	411,99
20	1,96	120	80	2,256E-05	0,899	0,699	187,38	39E+04	96,95	1,367	0,399	470,85
21	1,96	120	90	2,256E-05	0,899	0,699	187,38	39E+04	96,95	1,367	0,399	529,71
22	1,96	140	70	2,337E-05	0,869	0,696	174,96	35E+04	90,80	1,335	0,402	403,31
23	1,96	140	80	2,337E-05	0,869	0,696	174,96	35E+04	90,80	1,335	0,402	460,92
24	1,96	140	90	2,337E-05	0,869	0,696	174,96	35E+04	90,80	1,335	0,402	518,54
25	1,96	160	70	2,417E-05	0,818	0,692	159,15	30E+04	83,65	1,309	0,410	389,43
26	1,96	160	80	2,417E-05	0,818	0,692	159,15	30E+04	83,65	1,309	0,410	445,06
27	1,96	160	90	2,417E-05	0,818	0,692	159,15	30E+04	83,65	1,309	0,410	500,70

4.2.1 Hız Parametresi Matematiksel Modelleme Sonuçları

Hız parametresinin basınç düşümüne olan etkisi Çizelge 4.5'te yer alan deneme plan tablosuyla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7'de teorik hesaplama sonucunda elde edilen değerler grafik metoduyla incelenmiştir. Sıcaklık ve yatak yüksekliği parametresi hangi değerde olduğu fark etmeksizin hız parametresinin maksimum değeri olan 1,96 m/s hızında basınç düşümünün en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Kurtuluş (2007) yapmış olduğu çalışmada hız parametresindeki artışın basınç düşümünü artırdığı savını sunmuştur.

Çizelge 4.5. Hız parametresinin karşılaştırma plan tablosu

Grafik Adı	Deneme No	Parametre-1	Parametre-2	Parametre-3
120°C - 70mm	1	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	10	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	19	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
140°C - 80mm	5	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	14	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	23	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
160°C - 90mm	9	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
	18	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
	27	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
120°C - 80mm	2	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	11	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	20	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
120°C - 90mm	3	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
	12	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
	21	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
140°C - 70mm	4	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	13	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	22	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
140°C - 90mm	6	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
	15	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
	24	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
160°C - 70mm	7	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
	16	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
	25	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
160°C - 80mm	8	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
	17	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
	26	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2



Şekil 4.7. Hız parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Teorik

Hava hızının artması ile basınç düşümünün arttığı görülmektedir. Hava hızının artması ürünün daha yukarılara doğru akışkanlaşmasına ve bu sebeple havaya daha uzun süre direnç göstermesine neden olmaktadır. Bu da basınç düşümünün artmasına sebep olmuştur.

4.2.2 Sıcaklık Parametresi Matematiksel Modelleme Sonuçları

Sıcaklık parametresinin basınç düşümüne olan etkisi Çizelge 4.6’te yer alan deneme plan tablosuyla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.8’te teorik hesaplama sonucunda elde edilen değerler grafik metoduyla incelenmiştir. Hız ve yatak yüksekliği parametresinin tersine sıcaklık değeri arttıkça basınç düşümü değeri azaldığı gözlemlenmiştir.

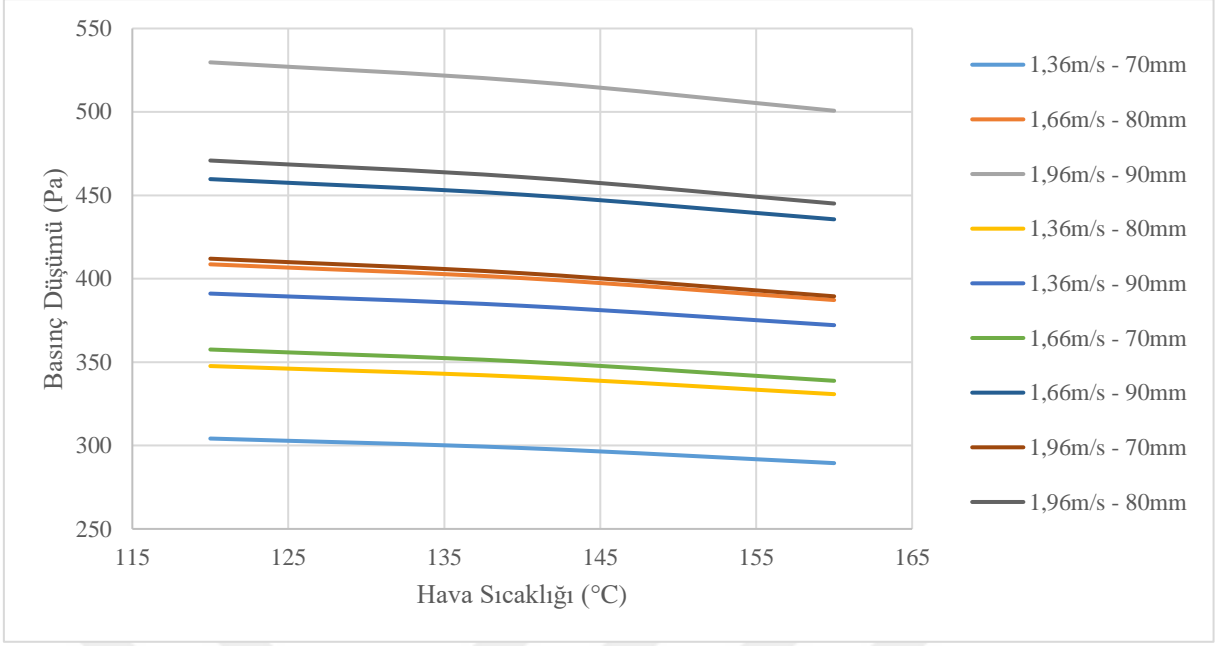
Çizelge 4.6. Sıcaklık parametresinin karşılaştırma plan tablosu

Grafik Adı	Deneme No	Parametre-1	Parametre-2	Parametre-3
1,36m/s - 70mm	1	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	4	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	7	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
1,66m/s - 80mm	11	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	14	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	17	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
1,96m/s - 90mm	21	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
	24	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
	27	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3

Çizelge 4.6. Sıcaklık parametresinin karşılaştırma plan tablosu (devamı)

Grafik Adı	Deneme No	Parametre-1	Parametre-2	Parametre-3
1,36m/s - 80mm	2	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	5	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	8	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
1,36m/s - 90mm	3	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
	6	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
	9	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
1,66m/s - 70mm	10	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	13	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	16	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
1,66m/s - 90mm	12	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
	15	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
	18	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
1,96m/s - 70mm	19	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	22	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	25	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
1,96m/s - 80mm	20	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	23	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	26	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2

Şekil 4.8 incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla birlikte basınç düşümünün düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi sıcaklık arttıkça hava yoğunluğunun azalmasıdır. Denklem 3.7 basınç düşümü hesabına bakıldığında da havanın yoğunluğunun azalması ile basınç düşümünün düştüğü görülmektedir. Ayrıca grafikte farklı değişkenler için sıcaklık değişiminin basınç düşümüne olan etkisi verilmiştir. Hava hızının artması ile sıcaklığa bağlı olarak basınç düşümünün azalış eğrisinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Sıcaklık parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Teorik

4.2.3 Yatak Yüksekliği Parametresi Matematiksel Modelleme Sonuçları

Yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne olan etkisi Çizelge 4.5'te yer alan deneme plan tablosuyla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'te teorik hesaplama sonucunda elde edilen değerler grafik metoduyla incelenmiştir. Yatak yüksekliğindeki artışın basınç düşümü değerinin artmasına etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kurtuluş (2007) tarafından da benzer sonuçlar ortaya sunulmuştur.

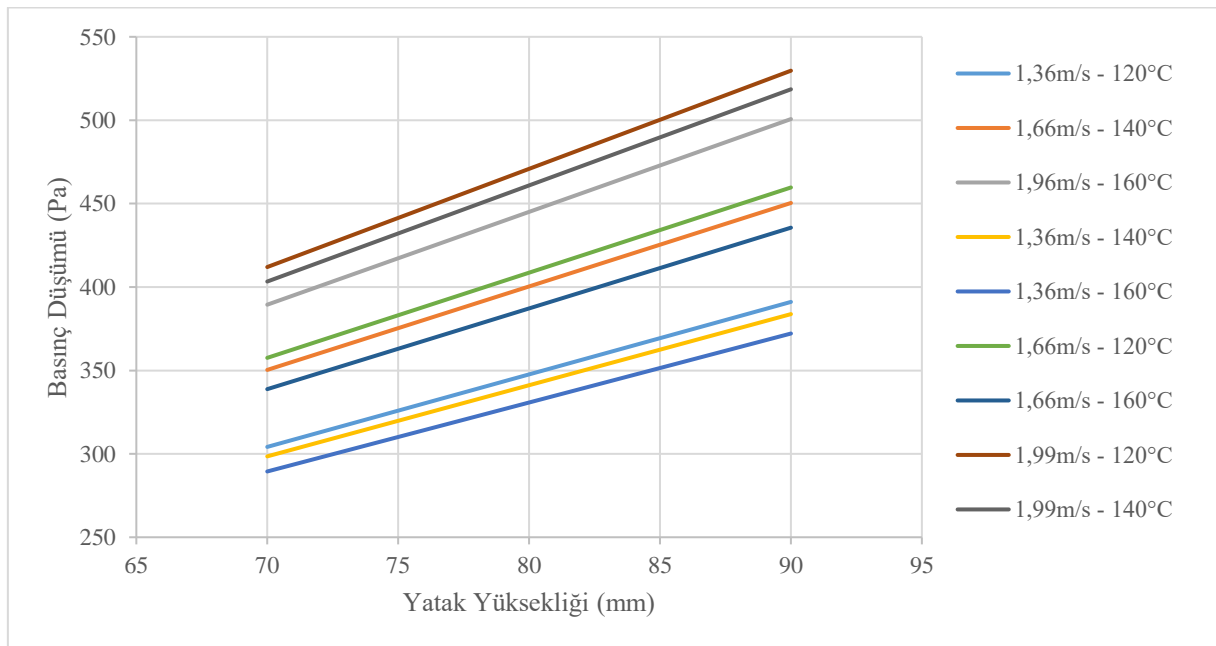
Çizelge 4.7. Yatak yüksekliği parametresinin karşılaştırma plan tablosu

Grafik Adı	Deneme No	Parametre-1	Parametre-2	Parametre-3
1,36m/s - 120°C	1	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	2	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	3	Hava Hızı -1	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
1,66m/s - 140°C	13	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	14	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	15	Hava Hızı -2	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3
1,96m/s - 160°C	25	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
	26	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
	27	Hava Hızı -3	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
1,36m/s - 140°C	4	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	5	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	6	Hava Hızı -1	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3

Çizelge 4.7. Yatak yüksekliği parametresinin karşılaştırma plan tablosu (devamı)

Grafik Adı	Deneme No	Parametre-1	Parametre-2	Parametre-3
1,36m/s - 160°C	7	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
	8	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
	9	Hava Hızı -1	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
1,66m/s - 120°C	10	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	11	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	12	Hava Hızı -2	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
1,66m/s - 160°C	16	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-1
	17	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-2
	18	Hava Hızı -2	Sıcaklık-3	Yatak Yüksekliği-3
1,96m/s - 120°C	19	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-1
	20	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-2
	21	Hava Hızı -3	Sıcaklık-1	Yatak Yüksekliği-3
1,96m/s - 140°C	22	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-1
	23	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-2
	24	Hava Hızı -3	Sıcaklık-2	Yatak Yüksekliği-3

Şekil 4.9'da yatak yüksekliğinin artışı ile basınç düşümünün arttığı görülmektedir. Yatak yüksekliğinin artışı havanın geçişi üzerinde daha fazla direnç oluşturacağından gerekli basıncı arttırmaktadır. Aynı yatak yüksekliklerinde farklı sıcaklıklara bakıldığında basınç düşümü değerlerinin çok fazla değişmediği fakat artan sıcaklıkla birlikte düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.9. Yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne etki grafiği - Teorik

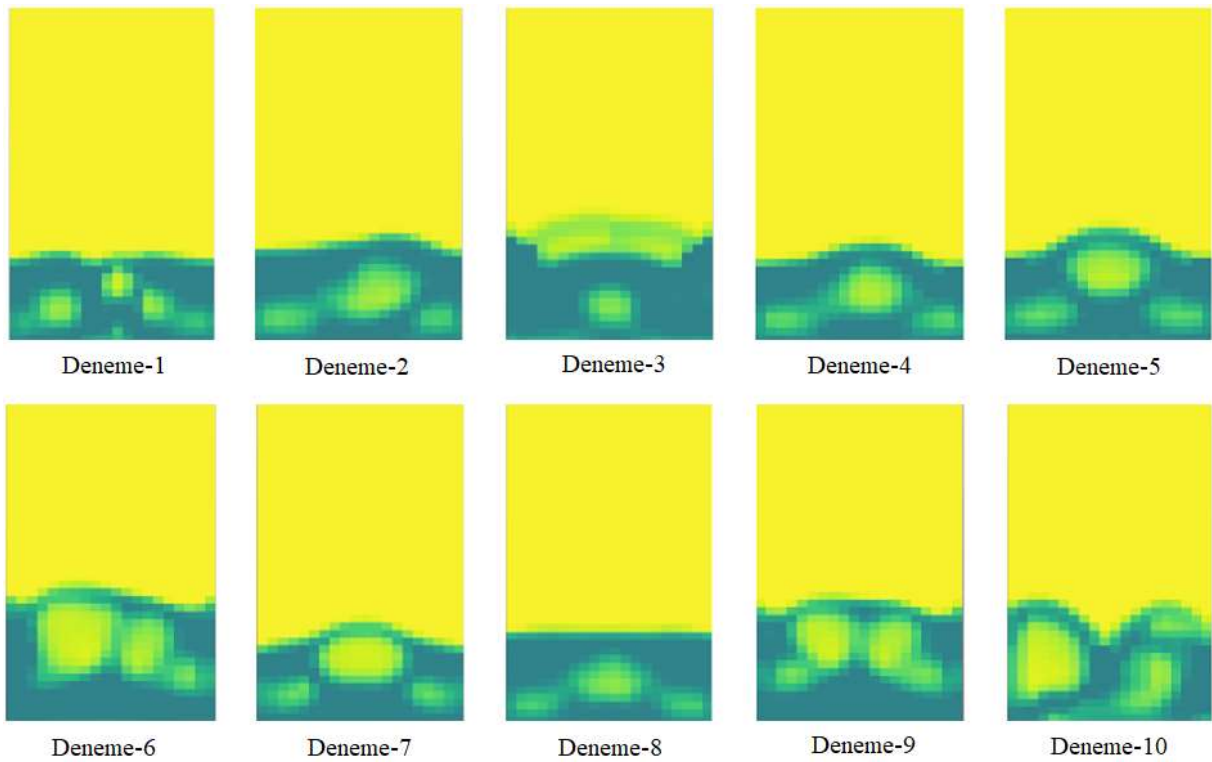
4.3 MFIX Analiz Sonuçları

MFIX programında Çizelge 3.4'te yer verilen deneme plan listesi doğrultusunda analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde parametrelerin kaynama hareketini ve basınç düşümü üzerine etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.9'da gösterilmektedir.

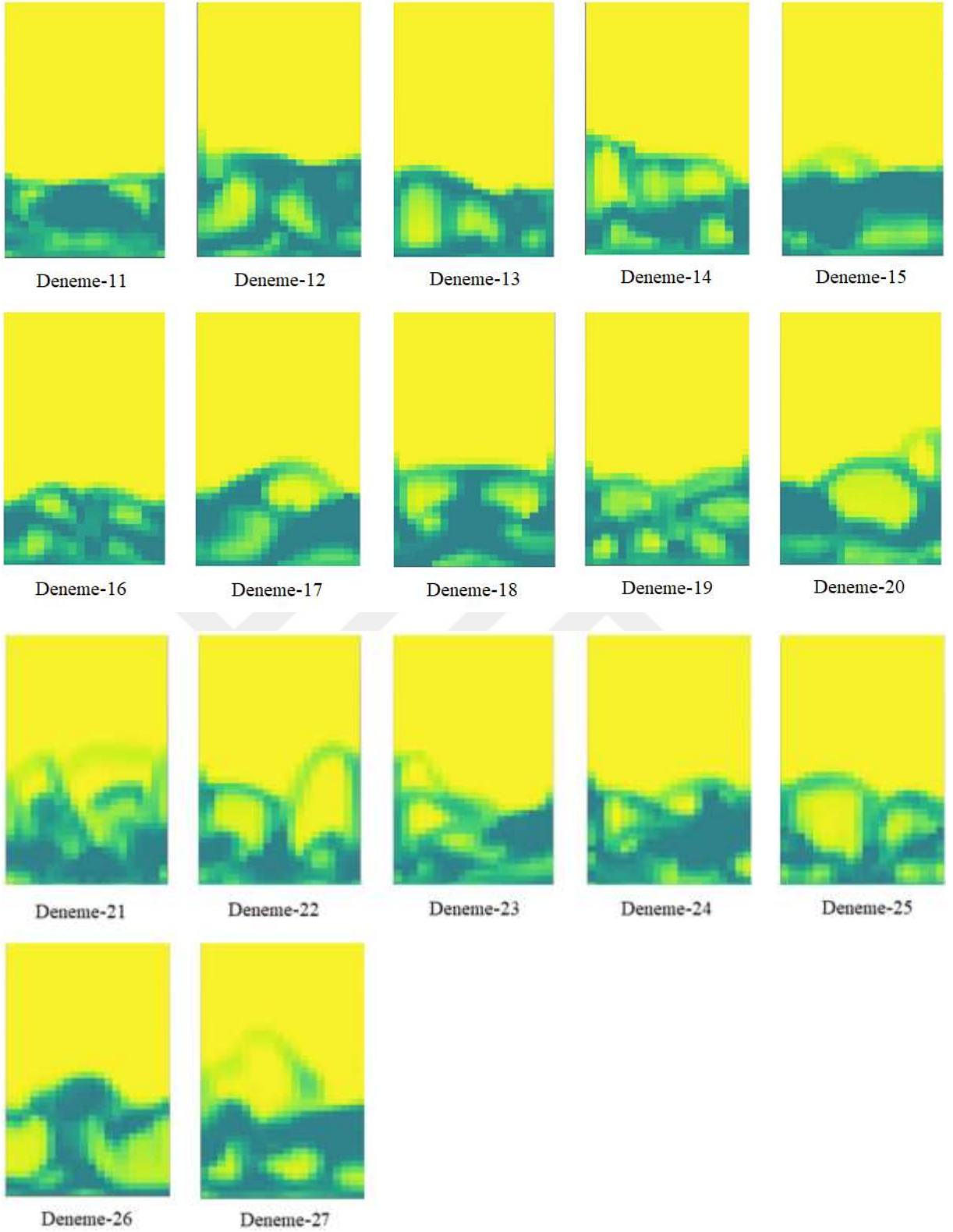
Çizelge 4.8. MFIX analiz sonucu basınç düşümü tablosu

Deneme No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔP	283,49	311,55	368,97	283,04	310,99	372,43	278,91	308,07	370,48
Deneme No	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ΔP	300,98	328,75	393,82	300,61	329,97	385,58	290,72	321,34	372,74
Deneme No	19	20	21	22	23	24	25	26	27
ΔP	311,18	342,52	398,61	309,72	340,5	399,26	303,36	341,09	400,28

Şekil 4.10'da her analiz için 1,30'uncu dakikasındaki kaynama görüntüleri yer almaktadır. Kaynama görüntüleri incelendiğinde hava hızının artışı kaynama hareketini doğru oranda etkilemektedir.



Şekil 4.10. MFIX analizi 1,30'uncu dakikadaki kaynama görüntüleri



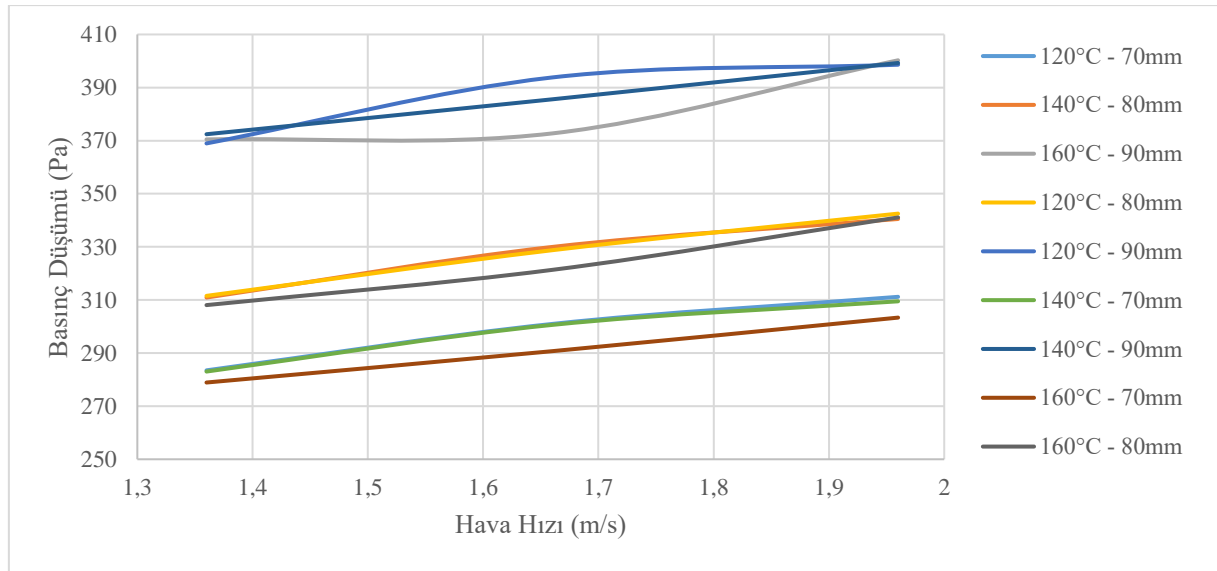
Şekil 4.10. MFIX analizi 1,30'uncu dakikadaki kaynama görüntüleri (devamı)

Şekil 4.10' daki MFIX programından alınan görüntüler incelendiğinde, hava hızındaki artışının kaynama üzerinde olan etkisi gözle görülür olmaktadır. Hava hızı arttıkça akışkanlaşma daha fazla olmakta ve ürünün yukarı doğru olan hareketi artmaktadır. Hava

hızının en düşük olduğu durumlarda örneğin deneme 1, 5, ve 9’da hava hızı minimum akışkanlaşma hızından fazla olduğu için kaynama gerçekleşmiştir. Daha yüksek hava hızlarında ise kaynama hareketinin daha hareketli olduğu görülmektedir. Ayrıca analizlerde sıcaklık değişiminin kaynama üzerine gözle görülebilir bir etki yaratmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.3.1 Hız Parametresi Analiz Sonuçları

Çizelge 4.5’teki plana uygun Şekil 4.11’de hız parametresinin basınç düşümüne etkisi grafik metoduyla incelenmiştir. Hız ve yatak yüksekliği parametresi arttıkça basınç düşümünün arttığı gözlemlenmiştir.

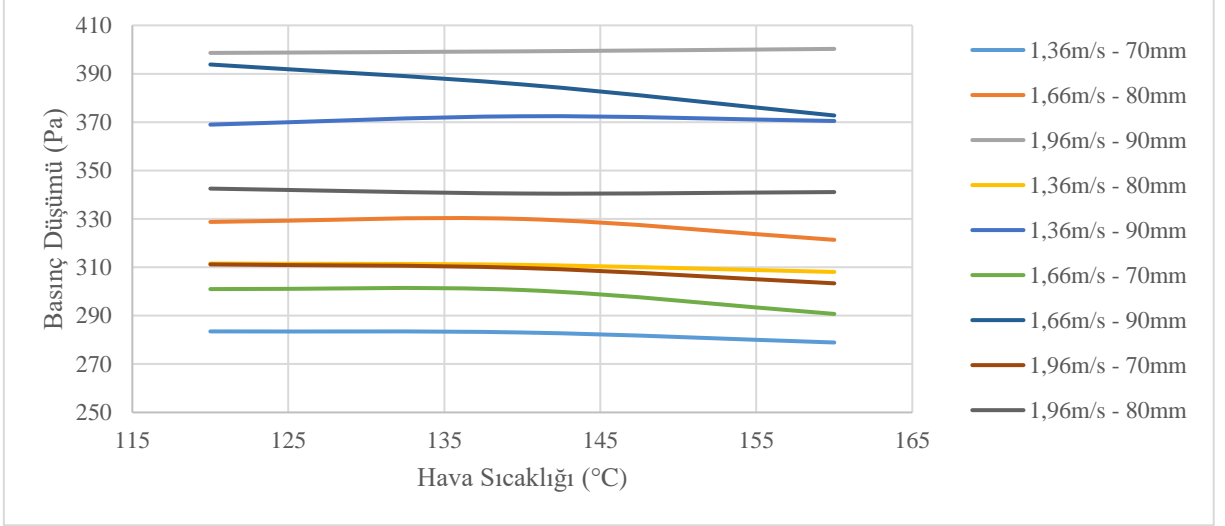


Şekil 4.11. Hız parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Analiz

Analiz programındaki sonuçlarda hızın değişimine bağlı basınç düşümü grafiği incelendiğinde, teorik hesaplamalarda olduğu gibi hava hızının artması ile basınç düşümünün arttığı gözlemlenmiştir. Bu basınç değeri sistem statik olarak dengelendiğindeki ortalama basınç düşümüdür. Teorik hesaplamalardaki gibi lineer bir eğri oluşmamasının sebebi, Şekil 4.10’daki ürün hareketinin her analiz için ve her saniye için aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. Ürünün belirli zaman değerlerinde bir tarafa yığılması o tarafta daha fazla basınç düşümü oluşmasına sebep olmaktadır. Bu da grafiğin lineer bir eğri çizmemesine neden olmaktadır. Ayrıca yatak yüksekliğinin artması ile basınç düşümünün artması teorik hesaplamalar ile uyduğu görülmektedir.

4.3.2 Sıcaklık Parametresi Analiz Sonuçları

Çizelge 4.6'daki plana uygun Şekil 4.12'de sıcaklık parametresinin basınç düşümüne etkisi grafik metoduyla incelenmiştir. Sıcak parametresinin basınç düşümüne negatif yönde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

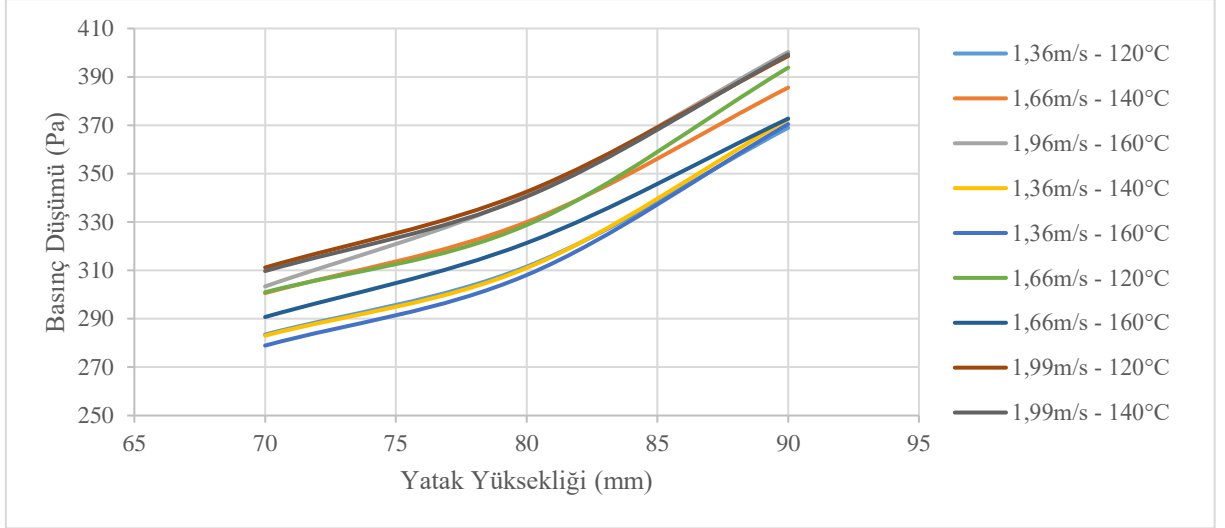


Şekil 4.12. Sıcaklık parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Analiz

Sıcaklığın artışı ile basınç düşümünün her durum için düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi teorik incelemede Şekil 4.8' de de görülebileceği üzere havanın artan sıcaklığının ile yoğunluğunun düşmesinden kaynaklanmaktadır. Grafikteki eğri teorik hesaplamalar ile birebir aynı olmasa da sıcaklık artışı ile basınç düşümünün azalması iki durum içinde aynıdır.

4.3.3 Yatak Yüksekliği Parametresi Analiz Sonuçları

Çizelge 4.7'deki plana uygun Şekil 4.13'te yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne etkisi grafik metoduyla incelenmiştir. Yatak yüksekliğinin artması ile basınç düşümünün arttığı görülmektedir. Teorik hesaplamalarda olduğu gibi grafik lineer olarak değil parabolik olarak değişmektedir. Bunun sebebi Şekil 4.12'te bahsedildiği üzere ürünün kaynama süresince belirli bir tarafa doğru yığılması ve bu sebeple basınç düşümünün artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne etkisinin diğer parametrelerden daha yüksek olduğu analiz metoduyla da saptanmıştır.



Şekil 4.13. Yatak yüksekliği parametresinin basınç düşümüne etki grafiği – Analiz

4.4 Basınç Düşümü Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada basınç düşümü; laboratuvar testleri, matematiksel metot ve analiz yöntemi olmak üzere 3 farklı yöntemle hesaplanmıştır. Çizelge 4.9’da hesap yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo incelendiğinde %85 oranında sonuçlar birbirlerini doğrulamaktadır.

Çizelge 4.9. Basınç düşümü hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılma tablosu

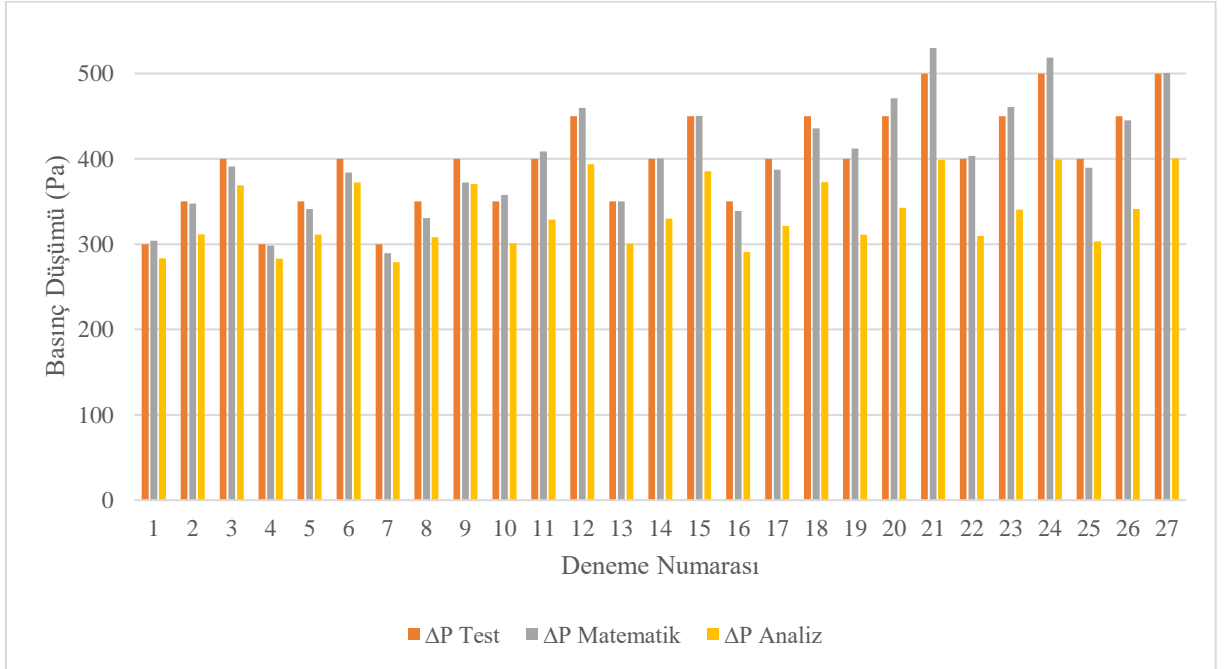
No	U	T	h	ΔP Test	ΔP Matematik	ΔP Analiz	Test Matematik	Test Analiz	Analiz Matematik
1	1,36	120	70	300	304,17	283,49	101,4%	94,5%	93,2%
2	1,36	120	80	350	347,63	311,55	99,3%	89,0%	89,6%
3	1,36	120	90	400	391,08	368,97	97,8%	92,2%	94,3%
4	1,36	140	70	300	298,49	283,04	99,5%	94,3%	94,8%
5	1,36	140	80	350	341,14	310,99	97,5%	88,9%	91,2%
6	1,36	140	90	400	383,78	372,43	95,9%	93,1%	97,0%
7	1,36	160	70	300	289,43	278,91	96,5%	93,0%	96,4%
8	1,36	160	80	350	330,78	308,07	94,5%	88,0%	93,1%
9	1,36	160	90	400	372,13	370,48	93,0%	92,6%	99,6%
10	1,66	120	70	350	357,54	300,98	102,2%	86,0%	84,2%
11	1,66	120	80	400	408,62	328,75	102,2%	82,2%	80,5%
12	1,66	120	90	450	459,7	393,82	102,2%	87,5%	85,7%
13	1,66	140	70	350	350,32	300,61	100,1%	85,9%	85,8%
14	1,66	140	80	400	400,36	329,97	100,1%	82,5%	82,4%
15	1,66	140	90	450	450,41	385,58	100,1%	85,7%	85,6%
16	1,66	160	70	350	338,79	290,72	96,8%	83,1%	85,8%

17	1,66	160	80	400	387,19	321,34	96,8%	80,3%	83,0%
----	------	-----	----	-----	--------	--------	-------	-------	-------

Çizelge 4.11. Basınç düşümü hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılma tablosu (devamı)

No	U	T	h	ΔP Test	ΔP Matematik	ΔP Analiz	Test Matematik	Test Analiz	Analiz Matematik
18	1,66	160	90	450	435,59	372,74	96,8%	82,8%	85,6%
19	1,96	120	70	400	411,99	311,18	103,0%	77,8%	75,5%
20	1,96	120	80	450	470,85	342,52	104,6%	76,1%	72,7%
21	1,96	120	90	500	529,71	398,61	105,9%	79,7%	75,3%
22	1,96	140	70	400	403,31	309,72	100,8%	77,4%	76,8%
23	1,96	140	80	450	460,92	340,5	102,4%	75,7%	73,9%
24	1,96	140	90	500	518,54	399,26	103,7%	79,9%	77,0%
25	1,96	160	70	400	389,43	303,36	97,4%	75,8%	77,9%
26	1,96	160	80	450	445,06	341,09	98,9%	75,8%	76,6%
27	1,96	160	90	500	500,7	400,28	100,1%	80,1%	79,9%

Şekil 4.14’de hesap yöntemlerin tutarlılığı grafik yöntemiyle görselleştirilmiştir. Hesap yöntemlerinin tamamında basınç düşümüne hız ve yatak yüksekliği parametrelerinin artışının doğru oranda, sıcaklık parametresinin artışının ters oranda etki ettiği savını doğrulamıştır. Bu çalışma kapsamında parametrelerin etki oranları karşılaştırıldığında hava hızının, yatak yüksekliğine kıyasla daha etkili olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.14. Basınç düşümü hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılma grafiği

4.5 Sonuçlar

Bu çalışmada akışkan yataklı kurutucu performansını etkileyen faktörlerin etki oranları incelenmiştir. Bu faktörler; hava hızı, sıcaklık ve yatak yüksekliği parametreleridir. Parametrelerin sayısal değerleri izelge 3.5'te verilmiştir. Seçilen sayısal değerlerin seçimi kurutulacak tuz ürününün ve kurutma prosesinin gerçekleştirildiği laboratuvar tip statik kurutucu sisteminin özellikleri göz önünde tutulmuştur.

Akışkan yataklı kurutucularda temel prensip katı ürünün yer çekimini yenip sıvı gibi davranması yani akışkanlaşmasıdır. Bu nedenle bu tip kurutucularda hızın belirlenmesinin ilk kriteri her zaman minimum akışkanlaşma hızını sağlamaktır. Bu çalışmada hız parametresi Denklem 3.4'teki minimum akışkanlama formülü ile hesaplanarak akışkanlaşmanın gerçekleşeceği hız değerleri; 1,36m/s, 1,66m/s ve 1,96m/s olarak seçilmiştir.

Sıcaklık parametresinin belirlenmesinde kurutulacak ürünün nihai ürün olma sürecinde yapısal ve fiziksel istenilen kriterleri korumasını sağlayacak seviyelerde olmalıdır. Kurutma süresinin kısaltılması için seçilen yüksek sıcaklıklar üründe yapısal bozukluklara neden olacaktır. Bu çalışmada %3 nem oranına sahip tuz ürünü kurutmak için seçilen hava sıcaklıkları 120°C, 140°C ve 160°C'dir.

Yatak yüksekliği parametresinin sayısal değerinin seçiminde ilk kriter kurutucu tasarımıdır. Bu çalışmada kullandığımız laboratuvar tip statik kurutucu ekipmanının ürün haznesi göz önüne alınarak yatak yüksekliği; 70mm, 80mm ve 90 mm olarak seçilmiştir. Fazla olan yatak yüksekliği akışkanlaşma için gerekli olan hava hızını ve kuruma için gerekli olan sıcaklığı artıracaktır.

Bu çalışmada tuz kurutma prosesinde parametrelerin etkilerine 3 farklı yöntem ile bakılmıştır. Yöntemler birbirlerinden farklı olmasına rağmen sonuçlar birbirlerini doğrulamaktadır (şekil 4.14). Hesap yöntemi ile kurutma prosesinin ihtiyacı olan hava hızına ve basınç düşümü değerlerine ulaşılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan testler ile kurutma için gerekli olan süre ve enerji miktarı belirlenmiştir. Analiz yöntemi laboratuvar ortamı olmaması durumunda kaynama hareketlerinin gözlemlenmesi ve hesap yöntemi ile bulunan hava hızı, basınç düşümü gibi değerlerinin sağlaması olarak kullanılabilirliği saptanmıştır.

Bu çalışmada basınç düşümünü hava hızı ve yatak yüksekliğinin parametrelerin artışlarının doğru oranda arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Teorik hesaplamalar bakıldığında

hava hızındaki artışın basınç düşümüne etkisinin daha fazla olduğu sonucuna ulaşılsa da analizlerde yatak yüksekliğinin daha etkili olduğu görülmüştür. Bunun nedeni analiz ve test ortamında kaynama hareketi sırasında ürünün bir tarafa birikmiş olmasından kaynaklandığı ön görülmektedir. Sıcaklık parametresindeki artış basınç düşümü üzerinde ters yönde etki etmektedir. Bunun nedeni ısınan havanın yoğunluğunun azalmasındandır. Analiz yönteminde bazı denemelerde sıcaklık parametresindeki artışın basınç düşümünü arttırdığı sonucu görülmektedir. Bu durumun nedeni kaynama sırasında meydana gelen ürün birikmesinden gerçekleştiği düşünülmektedir.

Bu çalışma mevcut bir sistemde test edilmiş olmasından dolayı sisteme uygun parametreler seçilmiştir. Seçilen parametreler içerisinde kullanılan laboratuvar tip statik kurutucu sistemi için en uygun değerlerin 1,66m/s, 160°C ve 70mm (Deneme 16) olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeni ideal kaynama hareketinin 1,66m/s sağlanması, 70mm yatak yüksekliğinde basınç düşümü değerinin düşük olması ve 160°C'de kurutma süresinin kısa olmasıdır.

Tuz kurutma prosesinde seçilen akışkan yatak kurutucu tipi, kullanılacak ısı kaynağının belirlenmesi ve kapasite seçimi sistem tasarımı temel kriterleri oluşturmaktadır. Daha sonra seçilecek kurutucu boyutu, fan kapasitesi ve fan basıncı bu çalışma ile hesaplanabilmesi hedeflenmiştir. Bir kurutma sisteminde ilk etapta ilk ve son ürün özelliklerinin belirlenmelidir. Bunun için elek analizi ve nem tayin cihazları kullanılmalıdır. Ürün için ideal kaynama, hava hızı değeri seçilmelidir, yetersiz kapasite seçilen fan yanlış ekipman alımına ve verimsiz bir kurutma prosesine neden olacaktır. Değerinden büyük seçilen fan fazla enerji tüketimine ve ürünün egzoz havası ile kaçmasına neden olacaktır. Seçimlerin doğruluğu yatırım ve kullanım verimliliği artırdığı gibi ürünün kalitesini de artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Andritz, (t.y.). *Fluid bed drying-cooling system HDC: High capacities at maximum efficienc.* Erişim adresi <https://www.andritz.com/products-en/group/separation/belt-drum-fluid-bed-dryers/fluid-bed-hdc>
- Assari, M. R., Tabrizi, H. B., & Saffar-Avval, M. (2007). Numerical simulation of fluid bed drying based on two-fluid model and experimental validation. *Applied Thermal Engineering*, 27(2-3), 422-429.
- Bait, R. G., Pawar, S. B., Banerjee, A. N., Mujumdar, A. S., & Thorat, B. N. (2011). Mechanically agitated fluidized bed drying of cohesive particles at low air velocity. *Drying Technology*, 29(7), 808-118. doi:10.1080/07373937.2010.541574
- Boonloi, A., & Promvonge, P. (2006). Drying kinetic of pepper corns in a fluidized-bed with helical distributor plate. *The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment*, 59, 21-23.
- Cocco, R., Karri S. R., & Knowlton, T., (2014). Introduction to fluidization, *American Institute of Chemical Engineers (AIChE)*, 110(11), 21-29.
- Çalban, T. (2006). The effects of bed height and initial moisture concentration on drying lignite in a batch fluidized bed. *Energy Sources Part A*, 28(5), 479-485. doi:10.1080/009083190928029
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Engin, T. (2008). *Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları* (1. Baskı). İzmir: Güven Kitabevi.
- Demirkol, Ş., Çifçi, İ., & Çifçi, H. (2018, Kasım 01-03). *Kaya tuzunun gastronomi ve inanç açısından önemi: Hacibektaş kaya tuzu*. Uluslararası Turizmde Yeni Jenerasyonlar ve Yeni Trendler Konferansı, Sapanca, Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/329101961_Kaya_Tuzunun_Gastronomi_ve_Inanc_Acisindan_Onemi_Hacibektas_Kaya_Tuzu
- Deniz, Z. (2010). *Akışkan yataklı kurutucu modellenmesi ve analizi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Edwards, W. M. (2015). *Cost of storing grain. ag decision maker website*. 1 Mayıs 2015. Erişim adresi <https://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/html/a2-33.html>
- Elias, M., Laranjo, M., Agulheiro-Santos, A. C., & Potes, M. E. (2020). The role of salt on food and human health. *Salt in the Earth* (1st ed.) (19-45). London: Intechopen
- Erbaş, O. (2007). *Dolaşımli akışkan yatakta ısı transferi mekanizması ve bu mekanizmanın kuramsal ve deneysel analizi* (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ergin, Z. (1988). Tuzun üretim teknolojisi ve insan sağlığındaki yeri. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 27(1), 9-30.

- Ersöz, M. A., & Doğan, H., (2009). Akışkan yataklı sürekli bir kurutucuda göl tuzu kurutulmasının deneysel incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 155-163.
- Gea, (t.y.). *Fluid bed dryer (static)*. Erişim adresi <https://www.gea.com/en/products/dryers-particle-processing/fluid-beds/fluid-bed-dryer.jsp>
- Gea, (t.y.). *Vibro-fluidizer fluid bed*. Erişim adresi <https://www.gea.com/en/products/dryers-particle-processing/fluid-beds/vibro-fluidizer.jsp>
- Güngör, A. (2006). *Sirkülasyonlu akışkan yataklı yakıcıların modellenmesi* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güngörmez, H. (2015). İktisadi açıdan bir faaliyet: Tuzluca kaya tuzlası. *Coğrafya Dergisi*, (30), 26-37.
- Hamzehei, M. (2011). CFD modeling and simulation of hydrodynamics in a fluidized bed dryer with experimental validation. *International Scholarly Research Notices*. 2011(131087), 1-9.
- Ho, J. R., Nam, Y. L., Dal, H. B., & Gyoung, T. J. (2003). Minimum fluidization velocity and transition velocity to fast fluidization of oxygen carrier particle for chemical looping combustor. *Hwahak Konghak*, 41(5), 624-631.
- Hartman, M., Trnka, O., & Svoboda, K. (2000). Fluidization characteristics of dolomite and calcined dolomite particles. *Chemical Engineering Science*, 55(24), 6269-6274.
- Jafari, H., & Farahbod, F. (2017). The experimental survey on the rotary dryer performance: drying of wetted salt from effluent bio wastewater. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 4(3), 567-570.
- Kamble, L. V., Pangavhane, D. R., & Singh, T. P. (2013). Experimental investigation of horizontal tube immersed in gas-solid fluidized bed of large particles using artificial neural network. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70(2014), 719-724.
- Kepceoğlu, S., Moralar, A., & Çelen, S. (2020). Determination of the ideal flow rate in drying of tabla salt. *Theory and Research in Engineering II (1.Baskı) içinde* (35-46). Ankara: Gece Kitaplığı.
- Kurtuluş, O. (2007). *Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Kunii, D., & Levenspiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. Butterworth-Heinemann. ISBN:0-88275-542-0
- Mahmoodi, B., Hosseini S. H., & Ahmadi G. (2017). CFD-DEM simulation of a pseudo-two-dimensional spouted bed comprising coarse particles. *Particuology*, 43(2019), 171-180.
- Markowski, M., Sobieski, W., Konopka, I., Tańska, M., & Białoobrzewski, I. (2007). Drying characteristics of barley grain dried in a spouted-bed and combined IR-convection dryers, *Drying Technology*, 25(10), 1621- 1632.

- Mujumdar A. S., & Pakowski Z. (1983). Effect of vibration on immersed surface heat transfer in a fluidized bed. *In Thermal Engineering Joint Conference Proceedings*, 379-385.
- Mujumdar, A. S. (2000). Classification and selection of industrial dryers. *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying: Principles, Equipment and New Developments. Brossard (23-36). Canada: Exergex Corporation.*
- Naterer, G. F. (2002). *Heat transfer in single and multiphase systems* (1st ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Nazghelichi, T., Jafari, A., Kainmehr, M. H., & Aghbashlo, M. (2013). CFD simulation and optimization of factors affecting the performance of a fluidized bed dryer. *Iranian journal of chemistry and chemical engineering (IJCCE)*, 32(4), 81-92.
- Pécora, A. A. B., & Parise, M.R. (2006). Heat transfer coefficient in a shallow fluidized bed heat exchanger with a continuous flow of solid particles. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 28(3), 253-258.
- Qadir, H., Farrukh, M. A., & Aurangzaib, M. (2005). Production of table salt from Kohat rock salt. *Journal of Applied Sciences (Pakistan)*, 5(1), 12-14.
- Rabie, G. M., Abd El-Halim, H., & Rozaik, E. H. (2019). Influence of using dry and wet wastewater sludge in concrete mix on its physical and mechanical properties. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(4), 705-712.
- Santos K.G., V. Murata V., & Barroza M.A.S. (2009). Three-dimensional computational fluid dynamics modelling of spouted bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 87(2009), 211-219.
- Sizgek, E., & Sizgek, G. D. (2002). Drying characteristic of porous ceramic microspheres in a microwave heated fluidised bed. *Chemical Engineering Technology*, 25(3), 287-292.
- Swasdisevi T., Tanthapanichakoon W., Charinpanitkul T., Kawaguchi T., Tanaka T., & Tsuji Y. (2004). Investigation of fluid and coarse-particle dynamics in a two-dimensional spouted bed. *Chemical Engineering Technology*, 27(9), 971-981.
- Tema Process, (t.y.). *Shaking fluid bed dryers*. Erişim adresi <https://temaprocess.com/shaking-fluidbeddryers/#:~:text=Shaking%20fluid%20bed%20dryers%20are%20frequently%20used%20for%20the%20drying,disruptions%20of%20the%20fluid%20bed.>
- Veerakumar, M., Vijayakumar, K. C. K., & Navaneethakrishnan, P. (2014). Different drying methods for agriculture products and eatables—A review. *International Journal of Mathematical Sciences and Engineering (IJMSE)*, 3(2), 53-60.
- Ventilex, (t.y.). *Ventilex fluid bed dryer for bulk processes*. Erişim adresi <https://www.ventilex.com/products/fluid-bed-dryer/>
- Zhonghua W., & Mujumdar A. S. (2008). CFD modeling of the gas-particle flow behavior in spouted beds. *Powder Technology*, 183(2), 260-272.