

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK AKIŞKAN YATAK İLE YAPILAN KURUTMA PROSESLERİNDE ISI VE
KÜTLE TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

SEMİH TEMEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HASAN A. HEPERKAN**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK AKIŞKAN YATAK İLE YAPILAN KURUTMA PROSESLERİNDE ISI VE
KÜTLE TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

Semih TEMEL tarafından hazırlanan tez çalışması 21.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Düriye BİLGE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN
Marmara Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2015-06-01-YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Eğitimim boyunca yanımda olan eşim Kevser' e ve kızım Erva' ya, tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Arş. Gör. Dr. Mustafa Kemal SEVİNDİR' e ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2017

Semih TEMEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	8
BÖLÜM 2	
AKIŞKAN YATAK VE AKIŞKANLAŞMAYLA İLGİLİ TEMEL BİLGİLER	9
2.1 Akışkan Yatak	9
2.1.1 Akışkan Yatakların Avantajları	10
2.1.2 Akışkan Yatakların Dezavantajları.....	10
2.2 Akışkanlaşma Süreci ve Aşamaları	11
2.2.1 Akışkanlaşma Rejimleri.....	11
2.3 Karakteristik Akışkanlaşma Eğrisi.....	13
2.4 Minimum Akışkanlaşma Hızı	14
BÖLÜM 3	
AKIŞKAN YATAK DENEY TESİSATI	18
3.1 Akışkan Yatak Deney Tesisatı	18
3.1.1 Otomasyon Sistemi.....	20

3.1.2	Debimetre.....	20
3.1.3	Duyar Elemanlar	20
3.1.4	Dijital Hassas Terazî	21
3.1.5	Pleksiglas Boru	21
3.1.6	Damper	21
3.1.7	Elektrikli Isıtıcı	21
3.1.8	Fan	21
3.1.9	Kompresör	22
3.1.10	Kısılma Vanası.....	22
3.1.11	Kondenser ve Evaporatör Bataryaları	22
 BÖLÜM 4		
AKIŞKAN YATAKTA KURUTMA DENEYİ.....		23
4.1	Akışkan Yatak Deney Düzenegi	23
4.2	Yeşil Mercimeğin Fiziksel Özellikleri	25
4.3	Deneyisel Çalışma	26
4.4	Deneyisel Sonuçlar.....	30
4.5	Yeşil Mercimek İçin Minimum Akışkanlaşma Hızının Hesaplanması	33
4.6	Enerji Dengeleri Hesabı.....	34
4.6.1	Kondenser Enerji Dengesi.....	34
4.6.2	Elektrikli Isıtıcı Enerji Dengesi.....	35
4.6.3	Evaporatör Enerji Dengesi	35
4.7	Yoğuşan Su Miktarı ve Kurutma Süresi Hesabı	36
 BÖLÜM 5		
SONUÇLAR.....		37
ÖZGEÇMİŞ.....		41

SİMGE LİSTESİ

Ar	Arşimed sayısı [Boyutsuz]
B	Minimum akışkanlaştırma formülünde çarpan [Boyutsuz]
D _p	Tanecik çapı [m]
Ga	Sabit [boyutsuz]
g	Standart yerçekimi ivmesi [m/s ²]
g _c	Yerel çekim ivmesi [m/s ²]
h	Entalpi [kJ/kg]
L	Akışkan yatak uzunluğu [m]
M	Yatak malzemesinin miktarı [kg]
m _{su}	Mercimek içindeki su miktarı [gr]
$\dot{m}_{hava}$	Kütleli hava debisi [kg/h]
$\dot{m}_{sa}$	Kütleli soğutucu akışkan debisi [kg/s]
$\dot{m}_w$	Yoğuşan su debisi [gr _{nem} /s]
Re	Reynolds sayısı [boyutsuz]
t	Zaman [s]
u	Akışkan hızı [m/s]
U _m	Minimum akışkanlaştırma hızı [m/s]
$\dot{V}_{hava}$	Hacimsel hava debisi [m ³ /h]
$\dot{Q}$	Enerji [kW]
W	Taneciklerin ağırlığı [kg]
w	Mutlak nem [gr nem/kg kuru hava]
ΔP	Basınç düşümü [Pa]
ΔT	Sıcaklık farkı [°C]
ϵ	Boşluk oranı [Boyutsuz]
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi [kg/m s]
μ_f	Havanın vizkozitesi [Ns/m ²]
ϕ_s	Küresellik [boyutsuz]
ρ_g	Gazın yoğunluğu [kg/m ³]
ρ_p	Parçacık yoğunluğu [kg/m ³]
ρ_f	Havanın özgül ağırlığı [kg/m ³]
°C	Derece santigrat [°C]

KISALTMA LİSTESİ

cm	Santimetre
dk	Dakika
eff	Efektif buharlaşma hızı
evap	Evaporatör
gr	Gram
h	Saat
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
kj	Kilojoule
kond	Kondanser
m	Metre
Maks.	Maksimum
Min.	Minimum
Pa	Pascal
s	Saniye

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Boraks üretilen akışkan yatağın şematik gösterimi 2
Şekil 1. 2	Atmosferik dondurarak-kurutma deney seti 3
Şekil 1. 3	Akışkan yatak deney sistemi 3
Şekil 1. 4	Kesikli akışkan yataklı kurutucu blok şeması 4
Şekil 1. 5	Sürekli akışlı akışkan yatak 5
Şekil 1. 6	Akışkan yatak seney sistemi 5
Şekil 1. 7	Akışkan yatakta kurutma sistemi 6
Şekil 1. 8	Akışkan yatak sürekli kurutma sistemi şeması 7
Şekil 1. 9	Akışkan yatak sürekli kurutucu şeması 7
Şekil 2. 1	Akışkanlımsı davranışlar 9
Şekil 2. 2	Boş kolon akışına karşı basınç gradyanı eğrisi üzerinde akışkanlaşma rejim bölgelerinin şematik gösterimi 12
Şekil 2. 3	Karakteristik akışkanlaşma eğrisi 13
Şekil 3. 1	Soğuk akışkan yatak deney tesisatı şematik resmi 19
Şekil 4. 1	Akışkan yatak deney düzeneği 23
Şekil 4. 2	Isı pompası soğutma çevrimi 24
Şekil 4. 3	R410a gazı için lnP-h diyagramı 25
Şekil 4. 4	Akışkan yatak test düzeneği (Kapalı konum) 27
Şekil 4. 5	Akışkan yatak test düzeneği (Açık konum) 28
Şekil 4. 6	Akışkan yatak test düzeneği (Denge hali) 29
Şekil 4. 7	Akışkanlaşmış mercimek taneleri 29
Şekil 4. 8	Hava debisi – zaman grafiği 30
Şekil 4. 9	TE1; TE2 sıcaklık – zaman grafiği..... 31
Şekil 4. 10	TE3; TE4 sıcaklığı; HE1; HE2 bağıl nem-zaman grafiği 31
Şekil 4. 11	Havanın psikrometrik diyagram üzerinde davranışı 33
Şekil 4. 12	Mercimek için basınç düşümü – hız grafiği..... 34

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Minimum akışkanlaştırma hızı kolerasyonları	16
Çizelge 2. 2 Minimum akışkanlaştırma hızı kolerasyonları (devamı)	17
Çizelge 4. 1 Akışkan yatak sensör isimleri	24
Çizelge 4. 2 Deney düzeneği noktaları termodinamik özellikleri	32
Çizelge 5. 1 Kondenser, elektrikli ısıtıcı, evaporatör kapasite tablosu	38

SOĞUK AKIŞKAN YATAK İLE YAPILAN KURUTMA PROSESLERİNDE ISI VE KÜTLE TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

Semih TEMEL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN

Tarih boyunca gıdaya olan ihtiyaç her zaman büyük önem taşımış, gıda maddelerini uzun süre saklayabilmek ve koruyabilmek için kurutma işlemi uygulanmıştır. Bu tezde kurutma, akışkan yataklı bir sistemde gerçekleştirilecektir. Akışkanlaşma işlemi, bir fan aracılığıyla basınçlandırılan havanın veya pompa aracılığıyla basınçlandırılan akışkanın, katı parçacıklar arasından, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla geçirilerek parçacıkların askıda tutulmasıdır. Malzeme ya da kurutulacak ürün havada askıda kalarak homojen bir yapı meydana gelir. Bu sayede sistemimizin içindeki ürün ya da malzeme bir akışkan gibi davranır. Akışkan yataklar, fiziksel ve kimyasal proses olarak sınıflandırılabilir birçok endüstriyel uygulamada kullanılır.

Deneyde kullanılan test düzeneğinin akışkan yataklı olması ile tanecikli ve parçacık yapısı uygun olanlar için daha hızlı bir kurutma sağlanmıştır. Deney sisteminde, kapalı sistem akışkan yatak ile tümleşik çalışan ısı pompası kullanılmıştır. Doğrudan ısı pompasının kullanılmasıyla, elektrik veya yakıt ile çalışan bir sisteme göre daha az enerji harcayarak kurutma işlemi gerçekleşmiştir. Kapalı bir sistem olması sonucu sisteme verdiğimiz enerjiyi dışarı atmıyıp ısı pompası çevriminde tekrardan kullanarak enerjiden tasarruf edilmiştir. Ayrıca sistemin kapalı bir sistem olmasından dolayı havanın nem tutma özelliğinden en fazla şekilde faydalanılmıştır. Havanın ısıtılması kondenserde (yoğuşturucu) gerekliyse elektrikli ısıtıcıda, nem alma işlemi ise evaporatörde (buharlaştırıcı) yapılmıştır.

Deneyde yeşil mercimek kurutulmuştur. Mercimeğin lm sonucu bulunan minimum akışkanlaşma hızı 0,82 m/s olarak hesaplanmıştır. Kondenser kapasitesi 11,99 kW, elektrikli ısıtıcı kapasitesi 11,97 kW ve evaporatör kapasitesi 10,68 kW olarak hesaplanmıştır. Evaporatörde yoğuşan su miktarı ise 1,23 gr_{nem}/s, kurutma süresi ise 53 s olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akışkan Yatak, Gıda Kurutulması, Minimum Akışkanlaştırma Hızı

**INVESTIGATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A FLUIDIZED BED
DRYER**

Semih TEMEL

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN

Need for food has always been an important issue throughout history; drying has been used as a means to protect and preserve food for longer periods. Drying will be accomplished in a fluidized bed dryer in this thesis. Fluidization is the process of passing air pressurized by a fan or a fluid pressurized by a pump through solid particles with a velocity high enough to overcome the influence of gravity and keep the solid particles hanging freely in the flow. The material to be dried stays hanging freely in the flow to form a uniform structure. Thus the product or material in the system behaves like a fluid. Fluidized beds are utilized in many industrial applications that can be classified as physical or chemical processes.

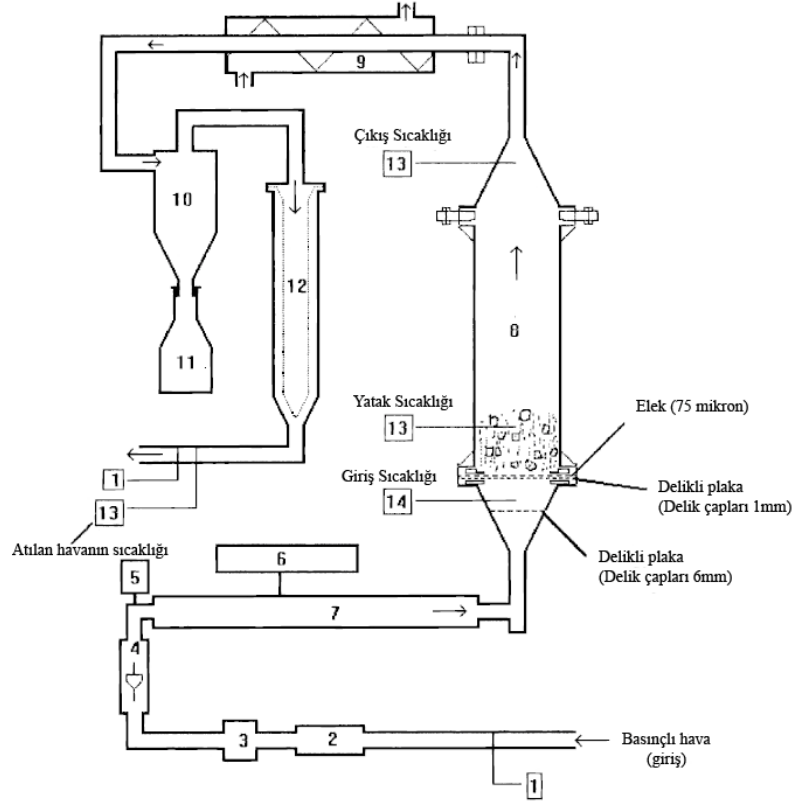
The fluidized bed of the test apparatus used in the experiment provides faster drying for granular and particulate structures suitable. A combination of a fluidized bed and a heat pump was used in the test. By utilizing a heat pump directly, an energy efficient drying was carried out compared to conventional systems using electrical and fuel fired heaters. Energy was saved by using the same air in the heat pump cycle instead of exhausting it to the environment. Moreover, the moisture absorbing property of air is efficiently was used by designing a closed cycle system. The heating of the air is made in the electric heater if the condenser is necessary, and the evaporation is carried out in the evaporator.

Green lentils were dried in the experiment. The minimum fluidization rate calculated in the measurement result of the germination was 0,82 m / s. The condenser capacity was calculated to be 11,99 kW, the electric heater capacity to be 11,97 kW and the evaporator capacity to be 10,68 kW. The amount of water condensed in the evaporator was calculated to be 1,23 gr_{water}/s and the drying time was 53 s.

Keywords: Fluidized bed, Food drying, Minimum Fluidization Velocity

1.1 Literatür Özeti

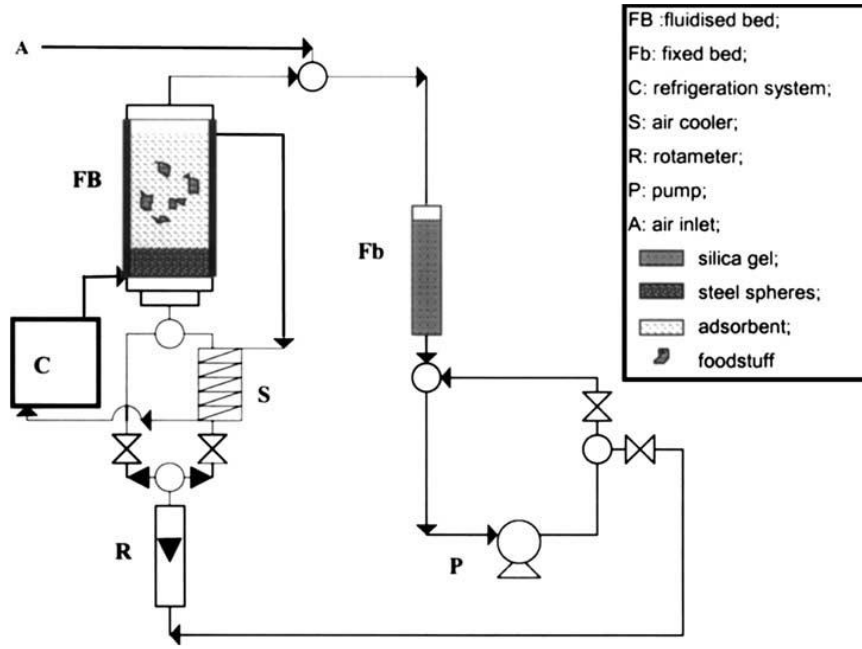
“Production of Anhydrous, Crystalline Borax in a Fluidized Bed”, S. KOCAKUŞAK, K. AKÇAY, T. AYOK, H.J. KÖROĞLU, Ö.T. SAVAŞCI, R. TOLUN, 1996 yılında yapmış olduğu çalışmada içerisinde su olmayan boraks üretiminin zorluğundan ve üretim maliyetinin çok fazla olmasından bahsedilmiştir. Çalışmada susuz boraksın üretimdeki kalitesinin yükseltilmesi, üretim esnasında meydana gelen sıcaklıktan dolayı boraksın erimemesi için çalışmalara yer verilmektedir. 800 °C ile 1000 °C arasında çalışan bir sistemin 550 °C de akışkan yataktaki deneyi yapılmıştır. Deney sisteminin şematiği Şekil 1.1 'de gösterilmiştir.



- | | |
|------------------------|---|
| 1. Nem ölçer | 8. Akışkan yatak (15cm çapında, 40cm uzunluğun) |
| 2. Regülatör | 9. Isı Değiştirici |
| 3. Vana | 10. Siklon |
| 4. Debimetre | 11. Toz tutucu |
| 5. Manometre | 12. Torba filtre |
| 6. Güç kontrol ünitesi | 13. Sıcaklık ölçüm sensörü |
| 7. Elektrikli Isıtıcı | 14. Sıcaklık kontrol birimi |

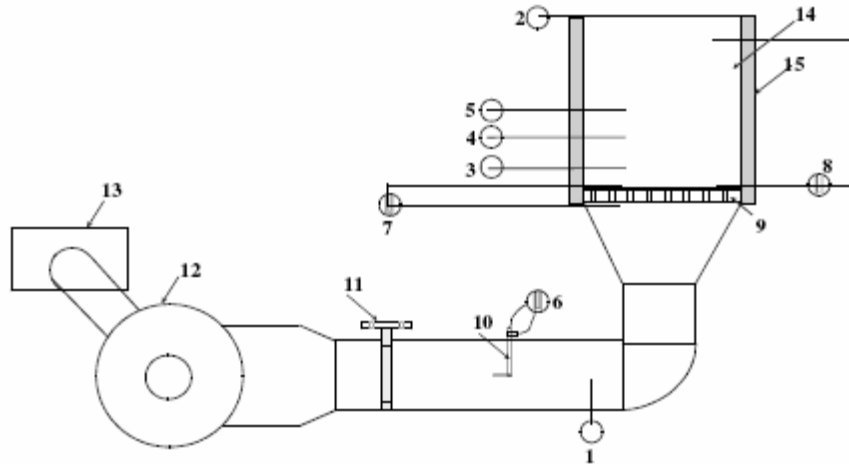
Şekil 1. 1 Boraks üretilen akışkan yatağın şematik gösterimi [1]

2002 yılında P. Di MATTEO, G. DONS ve G. FERRARI tarafından yayımlanan makalede akışkan yatakta atmosferik basınç altında dondurarak kurutma prosesi incelenmiştir. Atmosferik basınç altında dondurarak kurutma prosesi, gıda ürünleri için dehidrasyon önerilmiştir. Vakum altında dondurarak kurutma prosesinin normal kurutma prosesine göre daha düşük bir maliyette olacağı vurgulanmıştır. Makalede akışkan yatakta dondurarak kurutma prosesinde ısı ve kütle transferinin rolünü değerlendirmiştir. Deney seti Şekil 1.2' de gösterilmiştir.



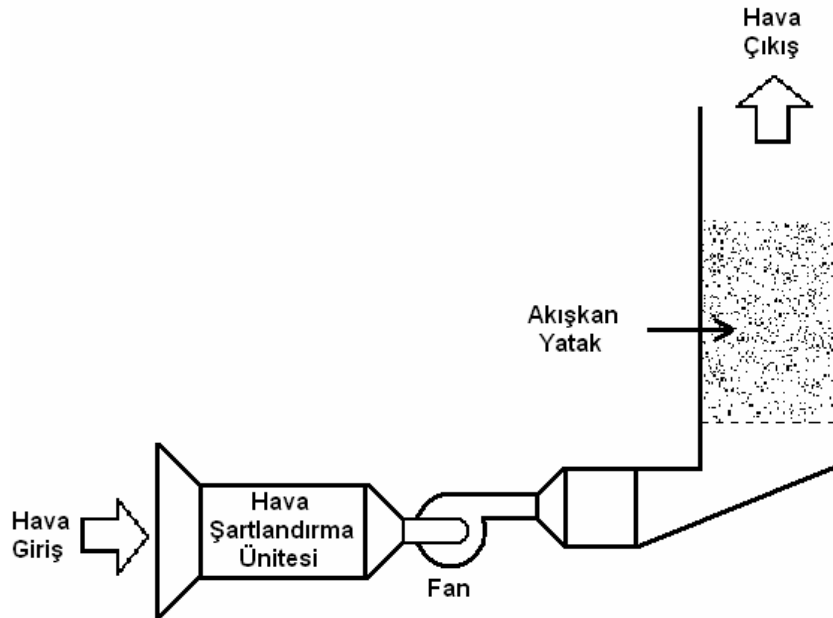
Şekil 1. 2 Atmosferik dondurarak-kurutma deney seti [2]

2003 yılında yazılmış “An Experimental and Numerical Study of Fluidized Bed Drying of Hazelnuts” adlı makaleyi yazmış olan Adnan KOPUZ, Mesut GÜR, M. Zafer GÜL yapmış oldukları çalışmalarında akışkan yatak üzerinde fındık kurutulmasını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal çalışmalarında Crank-Nicholson metodunu kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarıyla sayısal çalışmalarının birbiri ile örtüştüğünü bulmuşlardır. Deney sistemi Şekil 1.3’ te görülmektedir.



Şekil 1. 3 Akışkan yatak deney sistemi [3]

2006 yılında Mehmet KÖNİ, Hasan DİNÇER, Mustafa TÜRKER, Serhat YILMAZ ve Atilla BİR' in yayımlamış oldukları makalede “Fermantasyon Ürünlerinin Kurutma Prosesinin Modellenmesi ve Kontrolü” adlı makale endüstriyel boyutlardaki kesikli akışkan yataklı kurutucu ile ekmek mayasının, *Saccharomyces cerevisiae*, kurutma süreci incelemişlerdir. Makalede ekmek mayasının kalitesinin en uygun hale getirilmesi istenmiştir. Problemin çözümü için ekmek mayasının kesikli akışkan yataklı kurutma prosesi ile modellenmesi, kalite ile proses parametreleri arasındaki ilişkinin maliyet ile birlikte belirlenmesi ve en uygun hale getirilmesi ve en son aşamada ise istenen şartların sağlanması için gerekli olan kontrol yapısının oluşturulması istenmiştir. Deney seti Şekil 1.4’ te gösterilmiştir.

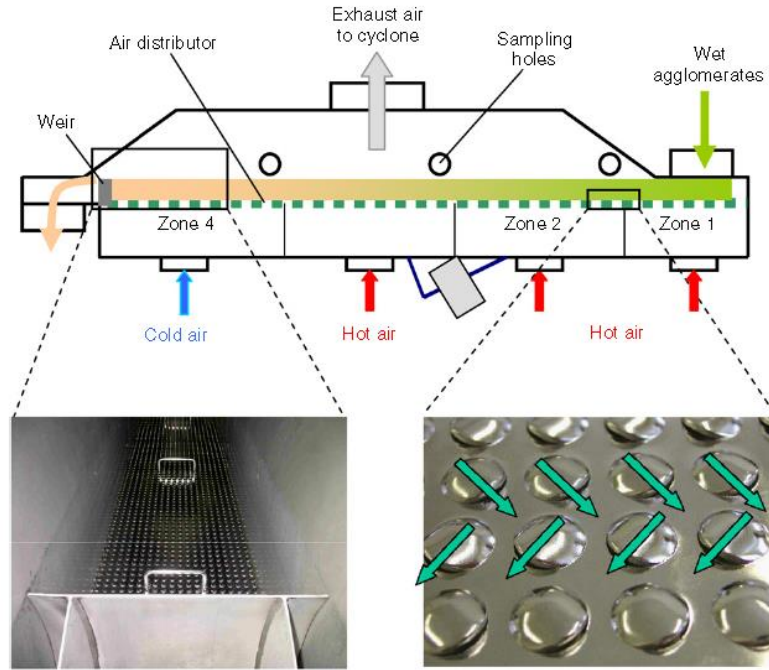


Şekil 1. 4 Kesikli akışkan yataklı kurutucu blok şeması [4]

Sistemde hava belirli parametrelere bağlı olarak şartlandırılarak fan ile akışkan yatağa gönderilmiştir. Akışkan yatak içerisindeki ekmek mayası yapay sinir ağı ile projelendirilerek sonuca gidilmeye çalışılmıştır.

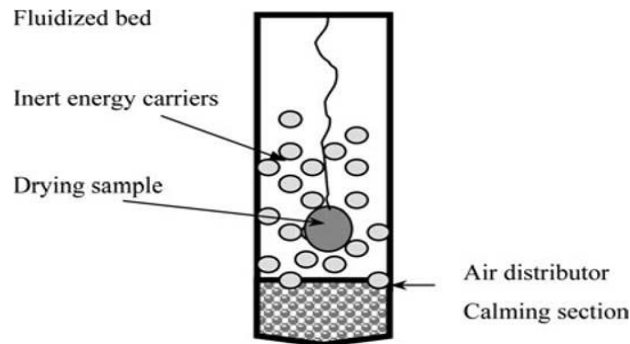
Stefan PALZER tarafından 2006 yılında yayımlanan makalesinde, sürekli akışlı yatak (continuous fluid bed)’ ta ürün kurutulması incelenmiştir. Şekil 1.5’ te gösterilen deney düzeneği 35 cm genişliğinde ve 4 m uzunluğunda olup sürekli akışlı yatakta akışkan yatağın kurutma performansı üzerinde çalışılmıştır. Kurutulacak ürünün çok fazla olması durumunda sürekli akışlı yatakların performansı ve besleme havasının birlikte

nasıl çalıştığı üzerinde durulmuştur. Sürekli akışlı yatağı 4 farklı bölgeye ayırarak ilk 3 bölgede sıcak hava, son bölgede ise soğuk hava vererek kurutma işlemi yapılmıştır.



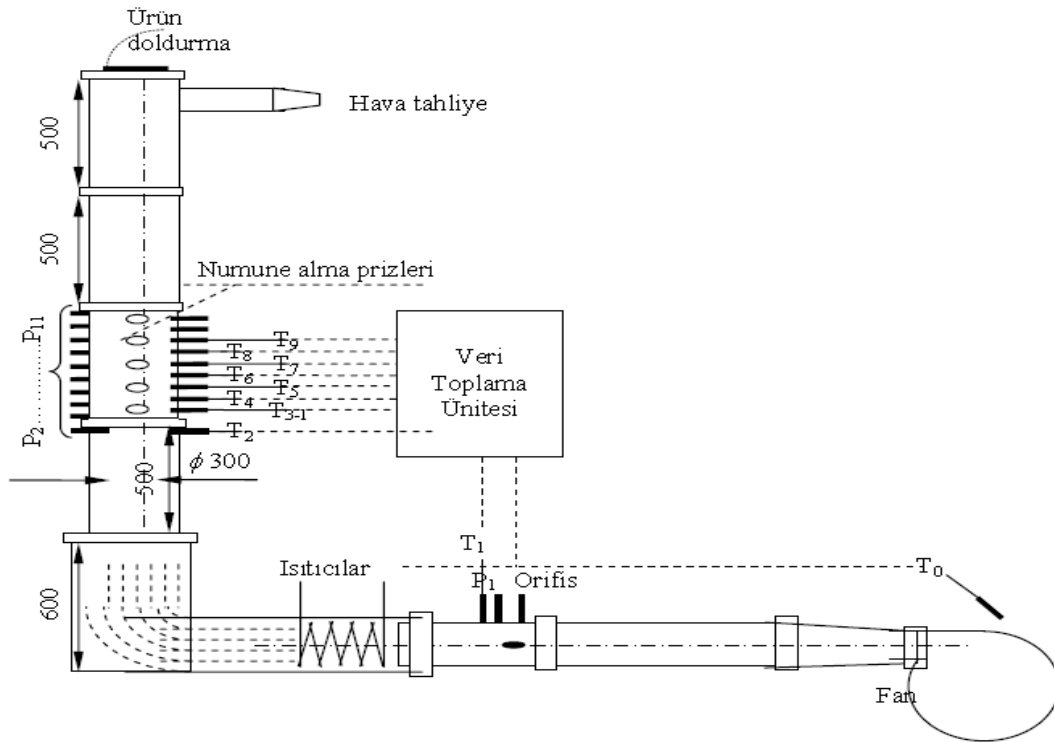
Şekil 1. 5 Sürekli akışlı akışkan yatak [5]

M. S. HATAMIPOUR ve D. MOWLA tarafından 2006 yılında yayımlanan makalelerinde mısır ve yeşil bezelyenin kurutulması süresinde akışkan yatakta inert enerji taşınımını incelemişlerdir. Deney süresinde hava hızı ve sıcaklığın kurutulacak olan malzemeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hava hızı ve sıcaklığın matematiksel modellemeleri çıkartılarak akışkan yatak sistemindeki içerisindeki etkileri incelenmiştir. Deney seti Şekil 1.6’ da gösterilmiştir.



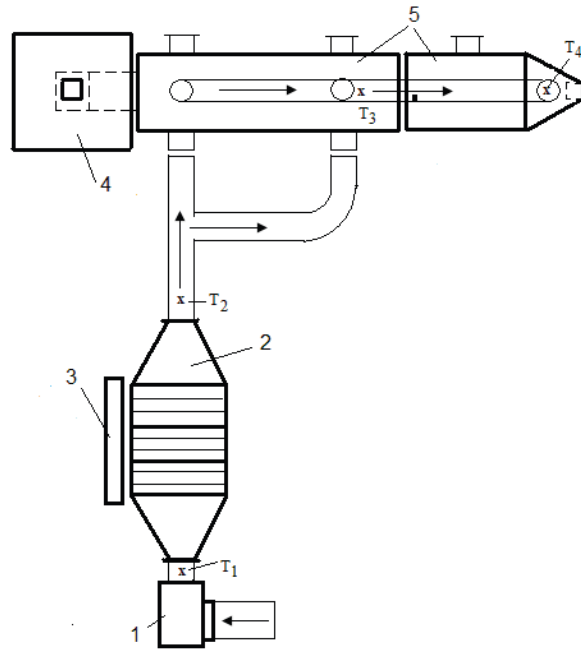
Şekil 1. 6 Akışkan yatak deney sistemi [6]

2009 yılında Ümran ERÇETİN ve İ. Yalçın URALCAN tarafından yayımlanan “Kaynatılmış Buğdayın Akışkan Yatakta Kurutulmasının Deneysel Araştırılması” adlı makalede akışkan yatakta pişmiş buğday kurutulması deneyi anlatılmıştır. Kurulan bir akışkan yataklı kurutucuda, pişmiş buğdayın kuruma karakteristiğine akışkanlaşma hızının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Sabit ve akışkanlaşmış yatakta kurutma sırasında eşit kuruma süreleri elde edilmesine rağmen, sabit yatakta düzenli bir kuruma gözlemlenmemiştir.



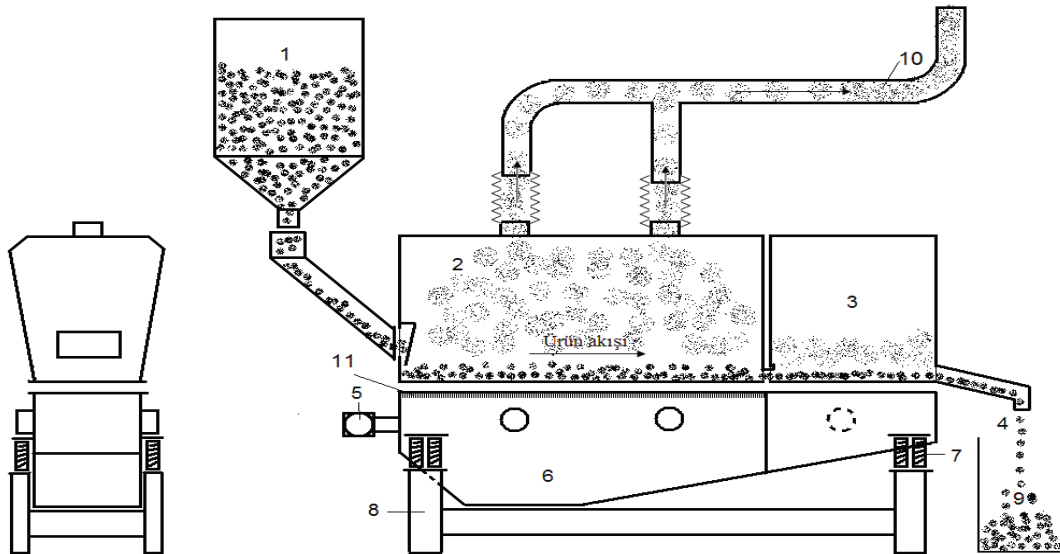
Şekil 1. 7 Akışkan yatakta kurutma sistemi [7]

M. Ali ERSÖZ ve Hikmet DOĞAN tarafından 2010 yılında yayımlanan “Akışkan Yataklı Sürekli Bir Kurutucuda Göl Tuzu Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi” adlı makalede göl tuzunun kurutulması prosesi incelenmiştir. Göl tuzu, hazırlanan akışkan yataklı kurutucuda kurutulmuş ve bu süre boyunca hava hızı, sıcaklığı ve tuzun kütle değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Akışkan yatakta hava hızı deney başında 4,5 m/s olarak ölçülmüştür ve diğer deneylerde de sabit tutulmuştur. Deneylerde kullanılan göl tuzunun başlangıç nemi 0,044 gr_{su}/ gr_{kuru} madde olarak belirlenmiştir [8]. Üç farklı deney 90 dakikalık deneylere tabi tutulmuştur. Birbirinden farklı sıcaklıklarla yapılan deneylerle tuz kurutulması için ideal sıcaklığın tespiti yapılmıştır.



Şekil 1. 8 Akışkan yatak sürekli kurutma sistemi şeması [8]

Deney düzeneğinde 1-Fan, 2-Isı Üreteci, 3-Kontrol Panosu, 4-Silo, 5-Akışkan Yatak şeklinde tasarım yapılmıştır.



Şekil 1. 9 Akışkan yatak sürekli kurutucu şeması [8]

1- Silo, 2- Kurutma Davlumbazı, 3- Soğutma Davlumbazı, 4- Ürün Boşaltması, 5- Titreşim Motoru, 6- Akışkan Yatak Sürekli Kurutucu Gövdesi, 7- Taşıyıcı Yay, 8- Taşıyıcı Sistem, 9- Kuru Ürün Toplama Kabı, 10-Egsoz, 11-Elek

2010 yılında Navid Bizmark, Navid Mostoufi, Rahmat Sotudeh-Gharebagh, Hossein Ehsani tarafından yayımlanan “Sequential modeling of fluidized bed paddy dryer” adlı makalede akışkan yataktaki katı ve gaz fazların ideal karışması için seri şekilde bölümler yapılmıştır. Akışkan yataktaki bölümlerin ideal sayısı için farklı çalışma şartlarında çeltik kullanılmıştır. Bu kurutma için yapılan model çeltiğin akışkan yatak boyunca nem profilini ve nem içeriğini tahmin edebilmiştir. Bu model 0,989 korelasyon katsayısı ile büyük bir oranda deneysel verilere uygun olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışma, yapılan başka çalışmaların verileri ile de yapılarak aralarında % 4,5 lik hata ile çeltiğin nem oranı deneyleri yapılmıştır.

2014 yılında Nezaket PARLAK tarafından yayımlanan “Akışkan Yataklı Kurutucuda Zencefilin Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi” adlı makalede zencefilin akışkan yataklı kurutucuda kuruma kinetiği incelenmiştir. Yaş baza göre başlangıç nemi % 88-89 olan zencefil kökleri, 2 mm kalınlığında dilimlenmiş ve % 4-5 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve bağıl neminin kuruma kinetiğine olan etkisini incelemek üzere, deneyler farklı kurutma havası (40, 50, 60 °C) sıcaklıklarında ve farklı (3 ve 4 m/s) hava hızlarında gerçekleştirilmiştir [9].

1.2 Tezin Amacı

Soğuk akışkan yatak ile yapılan kurutma prosesinde tanecikli yapıya sahip ürün olan yeşil mercimeğin akışkanlaşma hızı hesaplanmıştır. Mercimeğin minimum akışkanlaşma hızı 0,82 m/s, akışkan yatak basınç düşümü 530 Pa olarak bulunmuştur. Deney tesisatı üzerinde yer alan kondenser, elektrikli ısıtıcı ve evaporatör kapasiteleri sırayla 11,99 kW; 11,97 kW; 10,68 kW olarak hesaplanmıştır. Isı pompasındaki akışkan debisi 0,06 kg/s olarak hesaplanmıştır. Yoğuşan su miktarı 1,28 gr_{nem}/s, kurutma süresi 53 s olarak hesaplanmıştır.

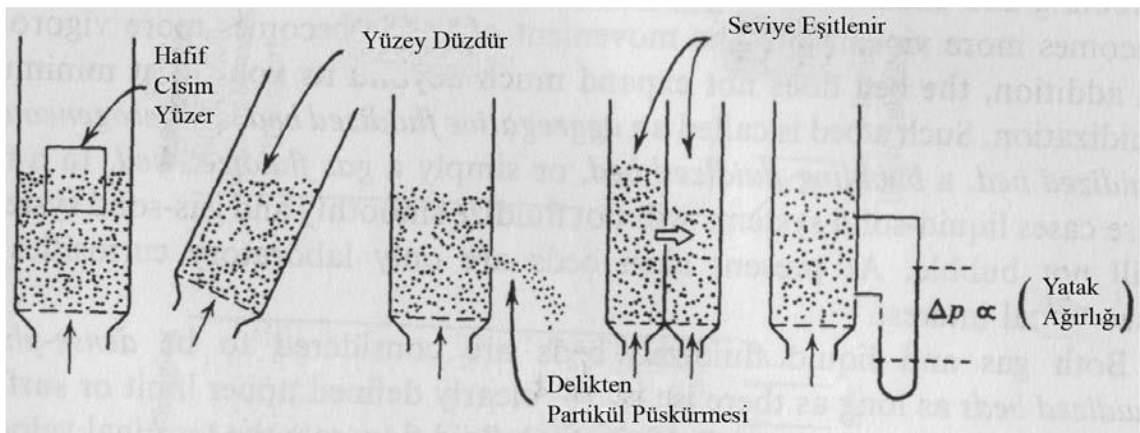
1.3 Hipotez

Soğuk akışkan yatakta tanecikli yapıya sahip mercimeğin deneysel olarak basınç düşümünün hesabı, akışkanlaşma hızının hesabı, ısı ve kütle transferi hesaplamaları ile kurutma süresi hesabı yapılmıştır.

AKIŞKAN YATAK VE AKIŞKANLAŞMAYLA İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

2.1 Akışkan Yatak

Akışkanlaştırma işlemi, fan aracılığıyla basınçlandırılan havanın veya pompa aracılığıyla basınçlandırılan akışkanın; akışkanlaştırılmak istenen katı parçacıkları arasından, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla geçirilerek, parçacıkların askıda tutulmasıdır. Akışkanlaştırılacak malzeme silindirik bir boru (yatak malzemesi) içerisine konulur. Sistemde akışkan yatağın silindirik seçilmesinin nedeni, yatak içerisinde sivri köşe olması durumunda hava veya akışkanın oluşan boşluktan kaçarak homojen bir dağılımı kötü yönde etkilemesidir. Malzeme yada kurutulacak ürün havada askıda kalarak homojen bir yapı meydana gelir. Bu sayede sistemimizin içindeki ürün yada malzeme bir akışkan gibi davranışta bulunur. Şekil 2.1’ de basitçe akışkanlaştırılmış bir sistemin tepkileri şekillerle gösterilmektedir [10].



Şekil 2. 1 Akışkanimsi davranışlar [11]

Şekil 2.1' de akışkanımsı davranışları inceleyecek olursak şu şekilde yorumlayabiliriz. Birinci şekildeki akışkan yatağın içinde akışkanlaşmış ürünün içerisine hafif cisim koyarsak cisim yüzeyde yüzer ve en üstte yer alır. İkinci şekilde ise akışkan yatak açılı bir şekilde tutulursa yüzeyi düz olacak şekilde kalır. Üçüncü şekilde ise akışkan yatağa bir delik açılırsa akışkan yatak içerisindeki parçacıklar delikten dışarıya akma eğilimi gösterirler. Dördüncü şekilde ise iki farklı seviyedeki akışkan yataklar orta kısmından birleştirilirse seviyesi çok olandan az olana doğru parçacıklar geçiş yapar ve sonrasında iki tarafta da seviye eşitlenir. Beşinci şekilde ise akışkan yatağın alt ve üst kısmından açılan deliklerden sistemin statik basıncı ölçülebilir.

2.1.1 Akışkan Yatakların Avantajları

Mühendislik alanında akışkan yataklar çok büyük kullanım alanına sahiptir. Akışkan yatakların avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) Akışkanlaştırılmış katıların bir sıvı davranışı göstermesi, bu tekniğin pek çok sürekli işleme uygulanabilmesini mümkün kılar. Sürece ait değişkenlerin otomatik ve kesin kontrolün, benzer ürünler elde edilmesini sağlar. İş gücü masrafını azaltır [11].
- b) Şiddetli türbülans nedeniyle yatak içinde homojen bir sıcaklık dağılımı oluşur [11].
- c) Yatağın ısı kapasitesi yüksek olduğundan yatak sıcaklığı karardır [11].
- d) Büyük kapasiteli sistemler için uygundur [11].
- e) Isı ve kütle transferi verimleri diğer konvansiyonel kurutma sistemlerine göre daha yüksektir [11].
- f) Yüksek verimlerden ötürü kurutma süresi kısadır [11].

2.1.2 Akışkan Yatakların Dezavantajları

- a) Habbecikler yüzünden geri karışma ve oluşan vuru sonucu gaz akım profilinin tanımlanması güçleşmektedir [11].
- b) Katı taneciklerin çarpışmasıyla yatak çeperinde aşınma olabilir [11].

- c) Hızlı karışımlarda katı parçacıkların homojen olmayan şekilleri yüzünden bazı akışkan yatak sistemlerinde akışkan yatak performansı düşmektedir [11].

2.2 Akışkanlaşma Süreci ve Aşamaları

İçi ince katı taneciklerle dolu, tabanında geçirgen bir levha (dağıtıcı elek) bulunan silindirik veya dikdörtgen kesitli bir yatak altında basınçlandırılmış bir akışkan (sıvı yada gaz) geçirildiğinde düşük akış hızlarında hava molekülleri tanecikler arasındaki boşluklardan süzülerek geçerler. Ancak katı taneciklerde herhangi bir hareketlenme olmaz. Bu yatağa “sabit yatak (fixed bed)” adı verilir [12].

Şekil 2.2’ de görüleceği gibi basınç düşüşü lineer bir artış gösterir ve hız arttıkça kaptaki boş hacim oranı artar yani, yatak yükselir, tanecikler yavaş yavaş titreşmeye başlar. Bu durumdaki yatak “genleşmiş yatak (expanded bed)” olarak adlandırılır [12].

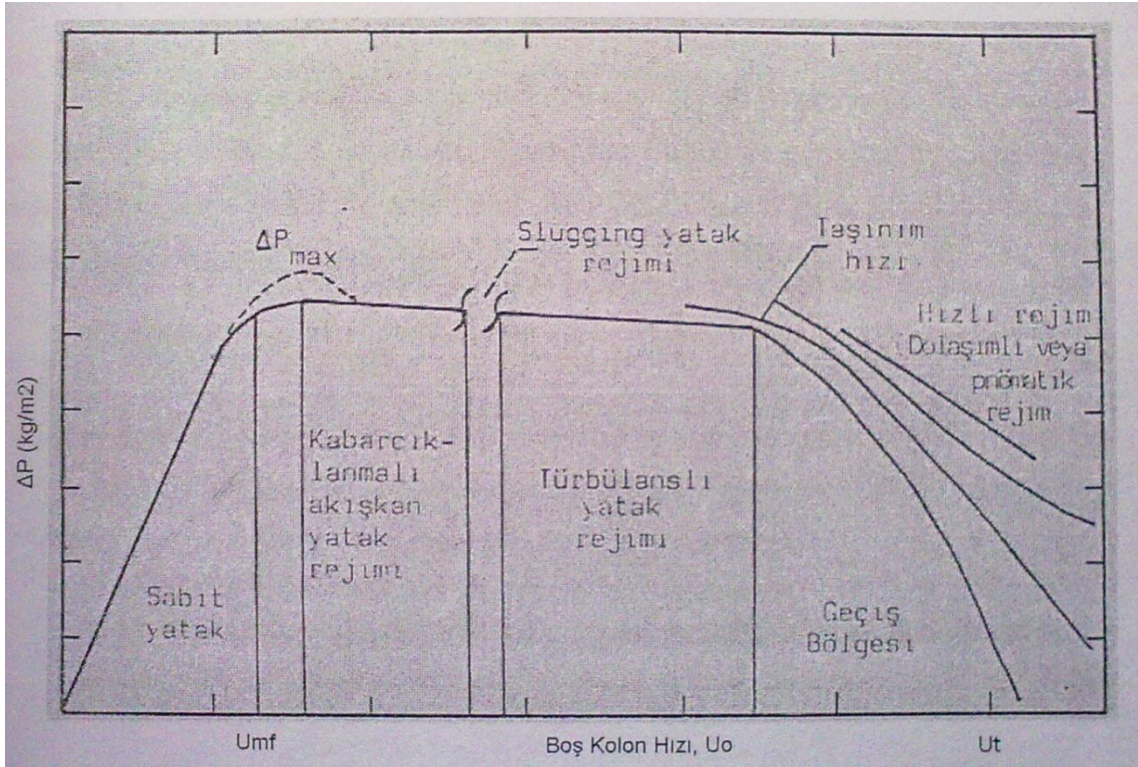
Akışkan hızı daha da fazla olursa aşağıdan yukarı doğru akan akışkan içerisindeki katı tanecikler asılı olarak hareket etmeye başlarlar. Yani, tanecik ile akışkan arasındaki sürüklenme kuvveti tanecik ağırlığına yaklaşık olarak eşittir. Bu duruma “minimum akışkanlaşma” denir. Akışkanın bu hızdan sonraki hızlarında, taneciklerin bir süspansiyon şeklinde hareket etmeleri olayına ise “akışkanlaşma olayı” denir ve böyle bir yatak “akışkan yatak (fluidized bed)” adını alır [12].

2.2.1 Akışkanlaşma Rejimleri

Minimum akışkanlaşma noktasından sonra akışkan hızının artmasıyla meydana gelen olaylar akışkanlaşma aşamalarını oluşturur. Bu olaylar değişik akışkan hız aralıklarında birbirlerinden ayrılabilir ve karakteristik özellikler gösterirler. Yatağın karakteristik özellik gösterdiği her bir akışkan hız aralığı “akışkanlaşma rejimi” olarak adlandırılır (Şekil 2.2) [12].

Kullanılan akışkan sıvı ise minimum akışkanlaşma sonrası hız arttıkça genellikle yatak düzgün olarak genişler. Normal şartlarda habbeleşme ve heterojenlik görülmez ve kararlı bir durum söz konusudur. Sonuçta düzgün bir akışkanlaşma meydana gelir. Bu tip yataklara “sıvı - akışkan yatak” denir [12].

Akışkanlaştırıcı olarak gaz kullanılırsa genellikle daha değişik davranışlar gözlenir. Akışkan hızı minimum akışkanlaşma hızının üzerine çıkarsa gaz habbeleşir ve kanallaşır. Daha yüksek akış hızlarında ise dalgalanmalar şiddetli olur ve tanecik hareketi şiddetlenir. Bununla beraber yatak minimum akışkanlaştırma hacminin üzerine pek çıkmaz. Bu tip yataklara “habbeli yatak ya da gaz – akışkan yatak (bubbling, gas fluidized)” denir [12].



Şekil 2. 2 Boş kolon akışına karşı basınç gradyanı eğrisi üzerinde akışkanlaşma rejim bölgelerinin şematik gösterimi [11]

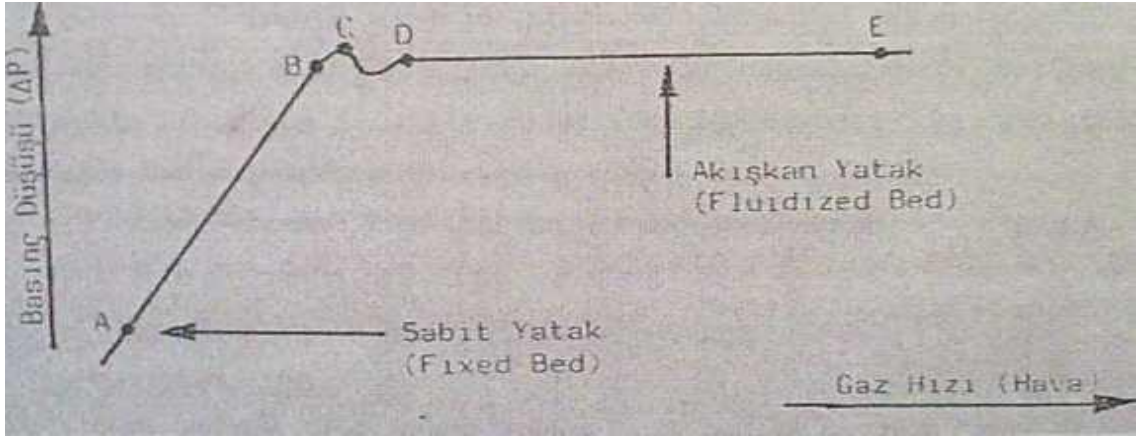
Yerushalmi ve Cankurt yaptıkları deneysel çalışmalarla akışkanlaşma rejimlerini kayma hızıyla grafik olarak çizmişler ve aşağıdaki gibi tanımlamışlardır:

- Kabarcık- lanmalı akışkan yatak rejimi; minimum akışkanlaşma hızından sonra bir geçiş bölgesini takiben basınç dalgalanmalarının başladığı hız noktasına kadar olan bölge olarak tanımlanır [13].
- Geçiş bölgesi (slugging bed) rejimi iki hızla açıklanır; basınç dalgalanmasının başladığı hız ile dalgalanmanın sönmeye başladığı hız arası olarak tanımlanır [13].
- Türbülanslı akışkan yatak rejimi; basınç dalgalanmasının söndüğü hız sınırından başlar ve terminal hızın altında bir nokta olan basınç düşüşünün hızla başladığı

taşıma hızı noktasına kadar devam eder. Bu rejimde kabarcıklanmalar sifıra düşer ve türbülanslar oluşur [13].

2.3 Karakteristik Akışkanlaşma Eğrisi

Akışkanlaşma öncesi ve sonrasında basınç düşüşü değişimi ile hız arasındaki ilişki karakteristik bir eğri ile ifade edilmektedir. Bu eğriye göre gaz hızı arttırıldıkça basınç düşüşü artmaktadır. Bu artış ile akışkan yatağa geçildiğinde küçük bir salınımı takiben basınç düşüşü sabitleşir [12].



Şekil 2. 3 Karakteristik akışkanlaşma eğrisi [11]

A — Sabit Yatak

(A — B) — Genleşmiş Yatak

C — Kritik Nokta

D — Minimum Akışkanlaşma Noktası

(D — E) — Akışkan

Akışkanlaşma süreci, (A - E) arasında gerçekleşmektedir. Sabit yatak, sisteme hava verildiğinde dağıtıcı üzerindeki bölge olup eğride A noktası ile başlangıcı ifade edilmiştir. (A - B) bölgesi boyunca tanecikler genleşmiş yatak konumu durumundadır. Basınç düşüşü doğrudan gaz hızının bir fonksiyonudur. B noktasında parçacıklar bir miktar hareket serbestisi kazanırlar ve gaz akımı içinde bir miktar geri bırakılmış olurlar (yani havada asılı kalırlar).

Hız arttırıldıkça kritik noktaya ulaşılır ki bu nokta C konumudur. Buradan sonra hız artışına karşılık bir miktar ΔP düşüşü görülür. Bunu takiben taneciklerde bir hareketlenme ve biraz sonra da türbülans ile karışma başlar. Nihayet D noktasında minimum akışkanlaşma gerçekleşir ve bu noktadan itibaren de akışkan yatak bölgesine geçilir (D - E bölgesi). Burada D noktasındaki hız minimum akışkanlaşma hızıdır. Daha sonra E noktasından tanecikler pnömatik (havalı) taşımaya geçiş yaparlar. Karakteristik eğri sadece sabit, genleşmiş ve akışkan yatak konumlarını en genel şekilde göstermektedir.

(D - E) bölgesinde yatak malzemesinin ağırlığı (yer çekim kuvveti) basınç düşüşü ile kompanse edildiğinden yatak kararsız bir duruma itilmekte, türbülanslı bir akışkanlaşma süreci oluşumu için uygun bir ortam sağlanmaktadır. Bu süreç içerisinde başlıca aşağıdaki akışkanlaşma türleri gözlenebilmektedir:

- Sabit ve Genleşmiş yatak (dağıtıcı elek üzerindeki durum),
- İki fazlı akışkanlaşma (katı gaz karışımı),
- Yoğun fazlı akışkanlaşma (katı taneciklerin yoğunlaşması),
- Havayla taşıma

Düşük hızlarda yatak içinde, yatağa doğru gaz geçişi alçak basınç düşüşüne neden olur. Katı parçacıklar tamamen karıştırılmamıştır. Gaz hızının daha fazla artışı yatakta önemsiz bir genleşmeye neden olur ve parçacıklar hareketlerinde biraz serbestlik kazanır.

Belirli bir akış mertebesinde, basınç düşüşü yatağın birim alanına karşılık gelen katı ağırlığına yaklaşık eşit olmakta ve tanecikler gaz akışı içinde bir süre geri bırakılmaktadırlar.

2.4 Minimum Akışkanlaşma Hızı

Minimum akışkanlaşma hızı, katı taneciklerin akışkanlaşmaya başladıkları noktadaki hızdır. Bu hızdan itibaren akışkan yatağa geçilmektedir. Minimum akışkanlaşma hızı Archimedes ve Reynolds sayılarına bağlı olarak iki biçimde ifade edilmektedir.

Minimum akışkanlaşma hızı üzerinde çalışan isimler ve buldukları formüller Çizelge 2.1' de verilmiştir [12].

Ergun denkleminde ise minimum akışkanlaşma hızı şu şekildedir:

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \times \left[\frac{\mu_f \times u_m}{D_p^2 \times \emptyset^2} \right] \times \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + 1.75 \times \left[\frac{\rho_f \times u_m^2}{D_p \times \emptyset} \right] \times \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \quad [15] \quad (2.1)$$

$\Delta p \rightarrow$ Basınç Düşümü [Pa]

$D_p \rightarrow$ Parçacık Efektif Çapı [m]

$L \rightarrow$ Akışkan Yatak Uzunluğu [m]

$u_m \rightarrow$ Minimum Akışkanlaştırma Hızı [m/s]

$\rho_f \rightarrow$ Havanın Özgül Ağırlığı [kg/m^3]

$\mu_f \rightarrow$ Havanın Vizkozitesi [N. s/m^2]

$\varepsilon \rightarrow$ Akışkan Yatak Boşluk Oranı [Boyutsuz]

$\emptyset \rightarrow$ Silindirlilik Oranı [Boyutsuz]

Çizelge 2. 1 Minimum akışkanlaştırma hızı korelasyonları [14]

Araştırmacılar	Korelasyonlar
Wen & Yu	$u_m = B[1135,7 + 0,0408Ar - 33,7]^{1/2}$
Davies & Richardson	$u_m = B_1(7,8 \times 10^{-4})$
Leva	$u_m = \frac{7,39D_p^{1,82}(\rho_p - \rho_f)^{0,94}}{\rho_f^{0,06}}$
Gorosho	$u_m = B \left[\frac{Ar}{1400 + 5,2\sqrt{Ar}} \right]$
Bena	$u_m = B \left[\frac{1,38 \times 10^{-3} Ar}{(Ar + 19)^{0,11}} \right]$
Miller & Logwinuk	$u_m = \frac{0,00125d_p^2(\rho_p - \rho_f)^{0,9} \rho_f^{0,1} g}{\mu_f}$
Baeyens	$u_m = \frac{d_p^{1,8}(\rho_p - \rho_f)^{0,934} g^{0,934}}{1111\rho_g^{0,06} \mu_f^{0,87}}$
Chyang & Huang	$u_m = B[(33,3^2 + 0,033Ar)^{1/2} - 33,3]$
Broadhurst & Becker	$u_m = B[(25,28^2 + 0,0571Ar)^{1/2} - 25,28]$
Saxena & Vogel	$u_m = B \left[\frac{Ar}{2,42 \times 10^5 Ar^{0,85}(\rho_p - \rho_f)^{0,13} + 37,7} \right]^{0,5}$
Babu	$u_m = B[(25,25^2 + 0,0651Ar)^{1/2} - 25,25]$
Richardson & Da St. Jeromino	$u_m = B[(25,7^2 + 0,0365Ar)^{1/2} - 25,7]$
Doichev & Akhmanov	$u_m = B(1,08 \times 10^{-3} Ar^{0,947})$
Thonglimp	$u_m = B[(31,6^2 + 0,0425Ar)^{1/2} - 31,6]$

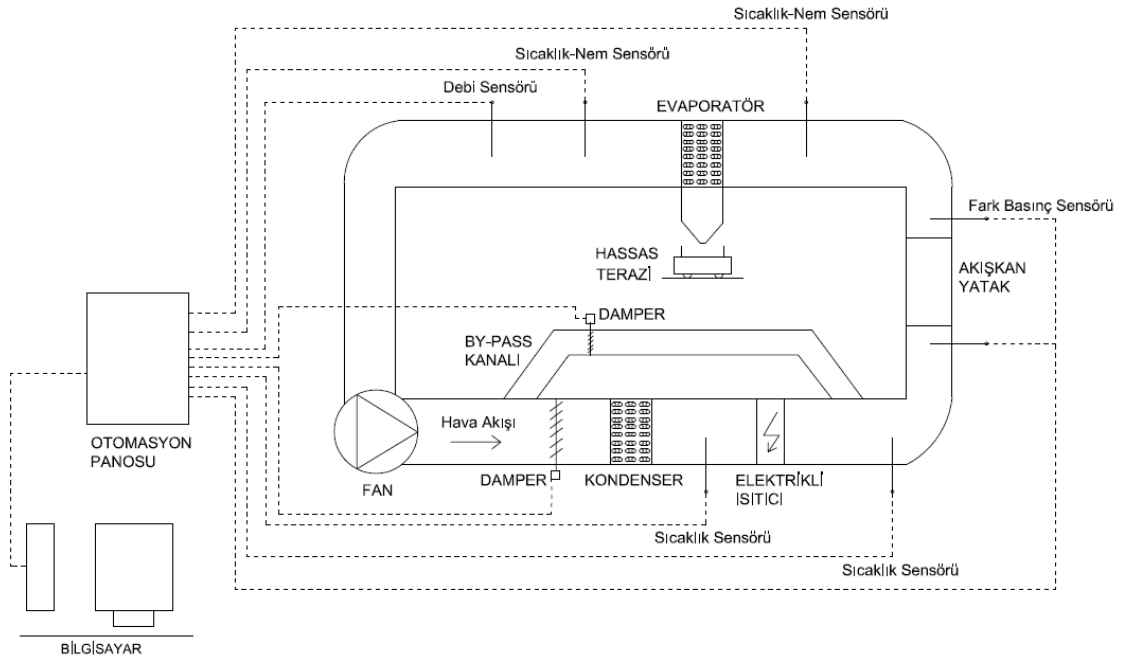
Çizelge 2. 2 Minimum akışkanlaştırma hızı kolerasyonları (devamı)

Araştırmacılar	Korelasyonlar
Bourgeois & Grenier	$u_m = B \left[(25,46^2 + 0,03824 Ar)^{1/2} - 25,46 \right]$
Grace	$u_m = B \left[(27,2^2 + 0,0408 Ar)^{1/2} - 27,2 \right]$
Kunii & Levenspiel	$u_m = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho_f) g}{1650 \mu_f}$
Chister	$u_m = B \left[(28,7^2 + 0,0494 Ar)^{1/2} - 28,7 \right]$
Zheng	$u_m = B \left[(18,75^2 + 0,0313 Ar)^{1/2} - 18,75 \right]$
Nakamura	$u_m = B \left[(29,5^2 + 0,0357 Ar)^{1/2} - 29,5 \right]$
Lucas	$u_m = B \left[(32,1^2 + 0,0571 Ar)^{1/2} - 32,1 \right]$ $u_m = B \left[(25,2^2 + 0,0672 Ar)^{1/2} - 25,2 \right]$
Tanous	$u_m = B \left[(25,83^2 + 0,0430 Ar)^{1/2} - 25,83 \right]$
Agarwal & El-Mitchell	$u_m = B \left[(42,81^2 + 0,0610 Ar)^{1/2} - 42,81 \right]$
Adanez	$u_m = B \left[(25,18^2 + 0,0373 Ar)^{1/2} - 25,18 \right]$
Boyutsuz Sayılar	
$Ar = \frac{\rho_f D_p^3 (\rho_p - \rho_f) g}{(\mu_f)^2}$	
$B = \frac{\mu_f}{\rho_g d_p}$	
$Re = \frac{D_p u_m \rho_f}{\mu_f}$	

AKIŞKAN YATAK DENEY TESİSATI

3.1 Akışkan Yatak Deney Tesisatı

Akışkan yatak deney tesisatının şematik resmi Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Deney sisteminde, kapalı sistem akışkan yatak ile tümleşik çalışan ısı pompası kullanılmıştır. Doğrudan ısı pompasının kullanılmasıyla, elektrik veya yakıt ile çalışan bir sisteme göre daha az enerji harcayarak kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kapalı bir sistem olması sonucu sisteme verdiğimiz enerjiyi dışarı atmayıp ısı pompası çevriminde tekrardan kullanarak enerjiden tasarruf edilmektedir. Ayrıca sistemin kapalı bir sistem olmasından dolayı havanın nem tutma özelliğinden en fazla şekilde faydalanılmaktadır. Sistemin kapalı devre çalışması, kurutma sırasında havadan gelen kirlenmeyi azaltmakta, hijyenik açıdan da avantaj sağlamaktadır. Havanın ısıtılması kondenserde (yoğuşturucu) gerekliyse elektrikli ısıtıcıda, nem alma işlemi ise evaporatörde (buharlaştırıcı) yapılmaktadır. Evaporatörde yoğuşan su miktarını ölçmek için evaporatör altına hassas terazi koyulmuştur.



Şekil 3. 1 Soğuk akışkan yatak deney tesisatı şematik resmi

Deney tesisatında kurutulacak ürün pleksiglas şeffaf borudan yapılmış olan akışkan yatak kısmına koyulmaktadır. Daha sonra bilgisayara bağlı otomasyon sisteminden fan üzerindeki frekans invertörü çalıştırılarak fan devreye sokulmaktadır. Akışkan yatak içerisindeki ürün minimum akışkanlaşma hızına ulaşıncaya kadar fan devri yükseltilerek hava debisi arttırılmaktadır.

Fan yardımıyla kondensere gönderilen hava ısıtılmaktadır ve kondenser çıkışındaki sıcaklık sensörü ile kondenser çıkış sıcaklığı ölçülmektedir. Akışkan yatak girişindeki sıcaklık sensörü ile akışkan yatağa girişteki hava sıcaklığı ölçülmektedir ve set değer olarak belirlenebilmektedir. Akışkan yatak girişindeki sıcaklık değeri ayarlamış olduğumuz set değerden fazla ise hava by-pass kanalından geçirilerek istenilen sıcaklığa düşürülmesi sağlanmaktadır. Sıcaklık düşük ise elektrikli ısıtıcı devreye girerek sıcaklığın set edilen değere gelmesi sağlanmaktadır.

Akışkan yatak giriş ve çıkışında yer alan fark basınç sensörleriyle alınan fark basıncı otomasyon sistemi tarafından ölçülmekte ve akışkan yatak içerisindeki basınç düşümü hesaplanmaktadır.

Evaporatör giriş ve çıkışına koyulan sıcaklık-nem sensörleri ile evaporatör öncesi ve sonrasındaki havanın sıcaklığı ve bağıl nemi ölçülmektedir. Evaporatör sonrasında yer alan debi sensörü ile deney tesisatındaki hacimsel debi ölçülmektedir.

Deney tesisatından kullanılan ekipmanlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

3.1.1 Otomasyon Sistemi

Otomasyon sistemi ile bilgisayar arasında bağlantı kurularak otomasyon sistemi ile haberleşme sağlanmaktadır. Otomasyon sistemi ile deney tesisatında yer sensörlerden verilerin okunması sağlanmaktadır. Sıcaklık, bağıl nem, fark basıncı ve debinin zamana bağlı olarak değişim verileri alınabilmektedir. Fan üzerindeki frekans invertörü kontrolü yapılabilmektedir.

Akışkan yatak girişindeki set sıcaklığına göre elektrikli ısıtıcıyı devreye sokabilmektedir. Set sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda ise ana kanaldaki damperi oransal olarak kapatabilmekte ve by-pass kanalındaki damperi oransal olarak açabilmektedir.

Otomasyon sistemi üzerinden kompresör devreye sokularak havadan havaya ısı pompasının çalışması sağlanabilmektedir.

3.1.2 Debimetre

Isı pompası içerisindeki gazın debisini ölçmek için kullanılmaktadır. Debimetre paslanmaz çelikten imal edilmiş olup otomasyon sistemine bağlanabilmektedir. Debimetrenin ölçüm başlığının takılı olmamasından dolayı ısı pompasındaki gaz debisinin ölçümü teorik hesapla yapılmıştır.

3.1.3 Duyar Elemanlar

Duyar elemanlar içerisinde üç çeşit problu duyar eleman vardır. Bunlardan birincisi problu nemölçerdir. Bu duyar eleman aynı zamanda sıcaklığıda ölçebilmektedir. Bu duyar elemanın sıcaklık ölçme aralığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. İkinci tip problu duyar eleman ile hava hızı ölçülebilir. Bu duyar eleman ise $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasındaki havanın hızını $0 - 2\text{ m/s}$ aralığında ölçebilir. Hava hızından kanal içerisindeki hacimsel debi

ölçülebilir ve bu duyar elemandan debi sensörü olarak bahsedilecektir. Üçüncü problu duyar eleman ise PT100 dür. PT100 ile çok hassas sıcaklık ölçümleri yapılabilir.

3.1.4 Dijital Hassas Terazi

Kurutulması yapılacak olan malzemelerin ve zamanla yoğuşan su miktarının ölçümleri için kullanılacaktır. Sartorius LE 6202S marka hassas terazi 6,2 kg kadar 0,01 gr hassasiyetle ölçümler yapabilmektedir. RS232 standart çıkış vererek bilgisayara bağlanabilmektedir.

3.1.5 Pleksiglas Boru

Akışkan yatağın içindeki kurutulacak olan numunelerin hareketlerini ve akışkanlaşmayı görebilmek için şeffaf malzeme kullanılmalıdır. Şeffaf malzemeyle akışkanlaşmanın oluşup oluşmadığı gözlemlenebilir. Deney tesisatında akışkan yatak kısmında pleksiglas boru kullanılarak istemiş olduğumuz durumları rahatlıkla gözlemleyebiliriz.

3.1.6 Damper

Akışkan yatak deney tesisatında 2 adet hava damperi kullanılmıştır. Bu damperlerden birincisi kondenser ve elektrikli ısıtıcının olduğu ana kanalda diğeri by-pass kanalındadır. Otomasyon sitemine bağlı olan damper motorları yardımıyla damperlerin kontrolünü oransal olarak sağlanmaktadır.

3.1.7 Elektrikli Isıtıcı

Akışkan yatak deney tesisatında otomasyon sitemine bağlı 3 kademeli toplamda 24 kW kapasiteli elektrikli ısıtıcı vardır.

3.1.8 Fan

Akışkan yatak deney tesisatında 1 adet santrifüj fan vardır. Fan motoru otomasyon sistemine bağlı frekans invertörü yardımıyla istenilen Hz' de çalıştırılarak hava akışı sağlanmaktadır.

3.1.9 Kompresör

Akışkan yatak deney tesisatında Copeland marka scroll kompresör vardır. Kompresör motoru otomasyon sistemine bağlı olmasından dolayı istenildiği zaman çalıştırılmakta ve yine istenildiği zaman kapatılmaktadır.

3.1.10 Kısılma Vanası

Akışkan yatak deney tesisatında TXV yani termostatik kısılma vanası vardır. Kondenserden evaporatöre sabit entalpide kısılarak gazın geçmesini sağlamaktadır.

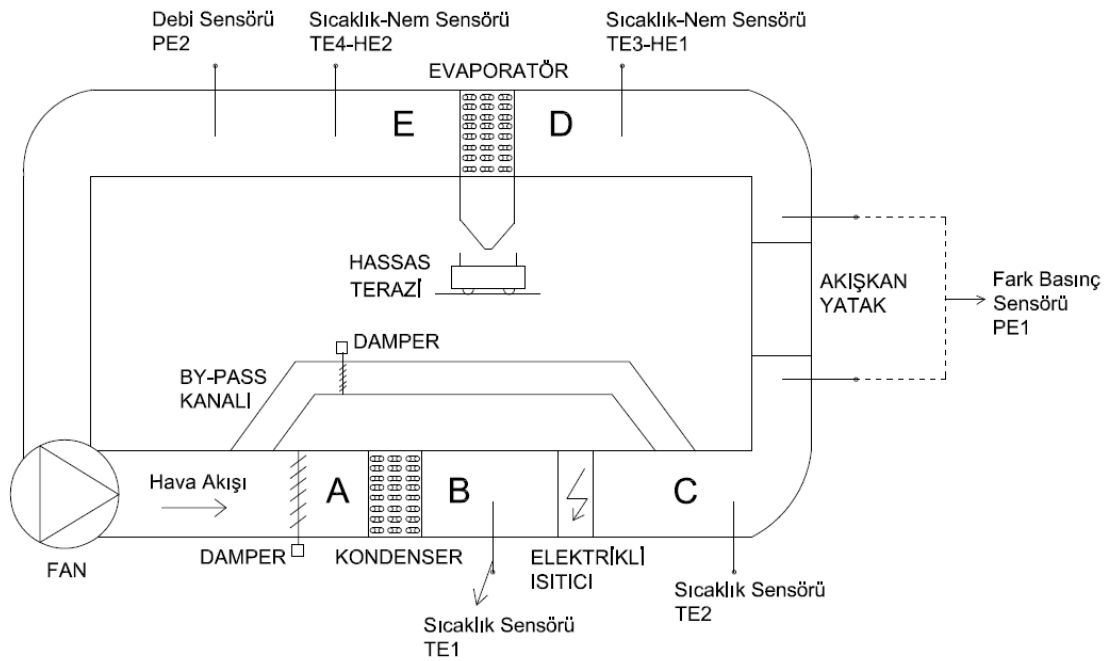
3.1.11 Kondenser ve Evaporatör Bataryaları

Akışkan yatak deney tesisatında bakır boru alüminyum kanattan yapılmış Karyer marka bataryalar kullanılmıştır.

AKIŞKAN YATAKTA KURUTMA DENEYİ

4.1 Akışkan Yatak Deney Düzenegi

Şekil 4. 1' de deney düzenegi üzerinde yer alan sensörlerin isimlendirilmesi, deney düzeneginde hesaplamaları yapılan kondenser, elektrikli ısıtıcı ve evaporatörün giriş-çıkışına harf verilmiştir.



Şekil 4. 1 Akışkan yatak deney düzenegi

Deney düzenegi üzerinde A noktası kondenser girişi, B noktası kondenser çıkışını ve elektrikli ısıtıcı girişini, C noktası elektrikli ısıtıcı çıkışını ve akışkan yatak girişini, D noktası akışkan yatak çıkışını ve evaporatör girişini ve E noktası evaporatör çıkışındaki

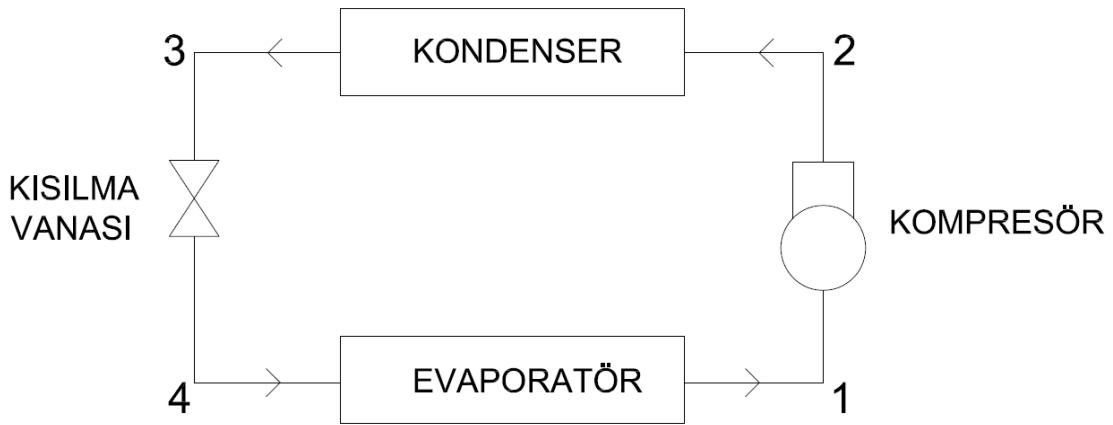
havanın özelliklerini ifade etmektedir. E noktasından A noktasına gelişte havanın fandan geçerken ısınmadığı ve E noktasındaki havanın özellikleri ile A noktasında havanın özellikleri aynı olduğu kabul edilmiştir.

Deney düzeneğinde yer alan sensörlerin isimlendirilmesi Çizelge 4. 1' deki gibidir.

Çizelge 4. 1 Akışkan yatak sensör isimleri

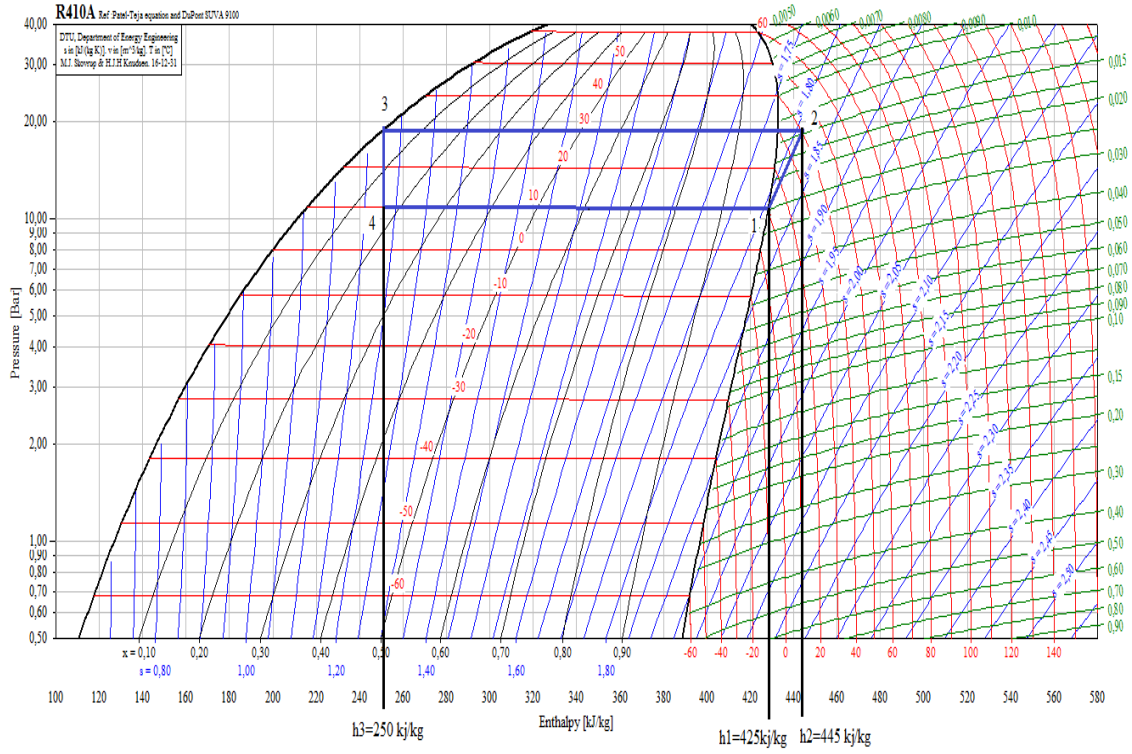
Sensör ismi	Açıklama
TE1	Kondenser çıkışı sıcaklık sensörü
TE2	Elektrikli ısıtıcı çıkışı sıcaklık sensörü
PE1	Akışkan yatak giriş-çıkış fark basınç sensörü
TE3	Evaporatör girişi sıcaklık sensörü
HE1	Evaporatör girişi bağıl nem sensörü
TE4	Evaporatör çıkışı sıcaklık sensörü
HE2	Evaporatör çıkışı bağıl nem sensörü
PE2	Evaporatör çıkışı debi sensörü

Isı pompasının ana elemanları kompresör, kondenser, kısılma vanası ve evaporatör şematik olarak Şekil 4. 2' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 Isı pompası soğutma çevrimi

Isı pompasındaki evaporatör ve kondenser basınçları sırasıyla 11 Bar ve 17 Bar' dır. Evaporatör ve kondenser gaz basıncına göre ısı pompasındaki R410a gazının InP-h diyagramı Şekil 4. 3' te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 R410a gazı için lnP-h diyagramı

- 1-2 arası kompresörde sıkıştırılma,
 - 2-3 arası kondenserde ısı kaybı ve soğutucu akışkanın yoğuşması,
 - 3-4 arası kısılma vanasında sabit entalpide basınç düşümü,
 - 4-1 arası evaporatörde dışarıdan ısı alımı ve soğutucu akışkanın buharlaşmasıdır.
- lnP-h diyagramına göre $h_1=425$ kJ/kg, $h_2=445$ kJ/kg, $h_3=250$ kJ/kg dır.

4.2 Yeşil Mercimeğin Fiziksel Özellikleri

Deneyde kurutulacak olan yeşil mercimeğin fiziksel özellikleri özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Mercimeğin kuru ağırlığı ve su ile ıslatıldıktan sonraki ağırlığı hassas terazide tartılmıştır.

Yeşil mercimeğin fiziksel özellikleri;

Kuru ağırlık=200 gr

Yaş ağırlık=265 gr

Mercimek içerisindeki su miktarı $m_{su}=65$ gr

$$\rho_f = 1,301 \text{ kg/m}^3$$

$$D_p = 0,0035 \text{ m}$$

$$\rho_p = 750 \text{ kg/m}^3$$

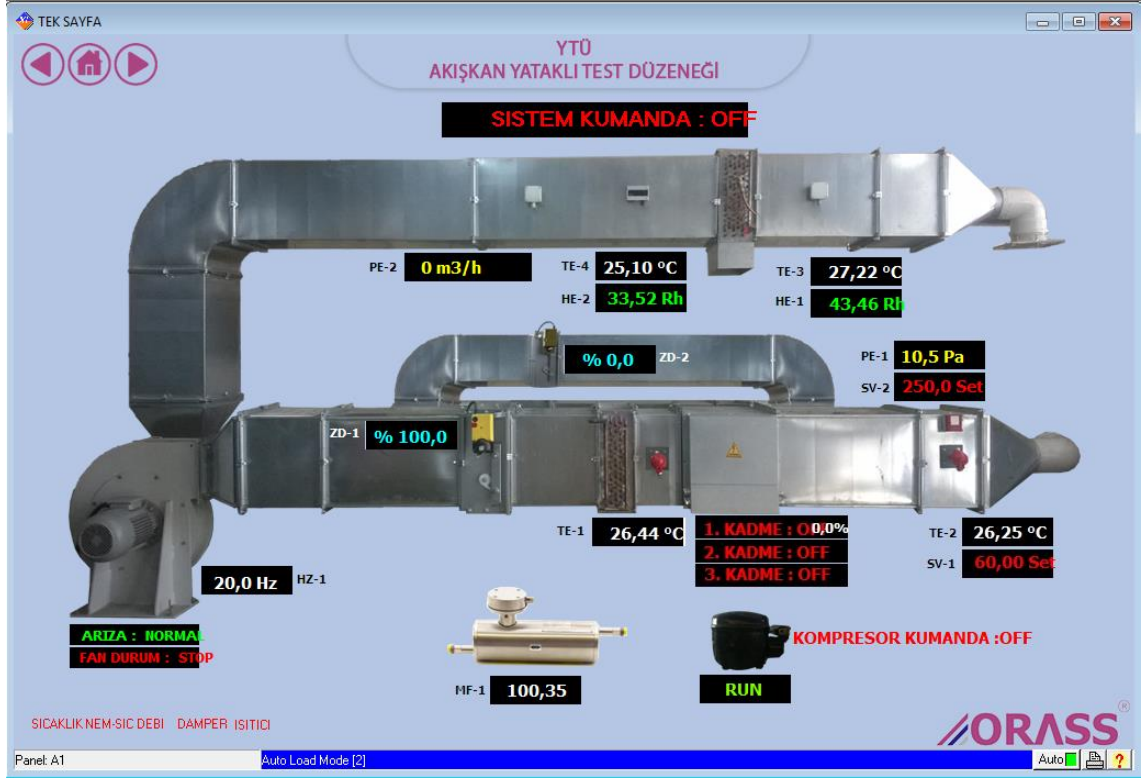
$$\mu_f = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$g = 9,0807 \text{ m/s}^2$$

4.3 Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma için genel düzeneği açıklanan tesisatta akışkan yatağın montajı yapılmıştır. Şeffaf plastik borudan yapılmış olan akışkan yatak hava kanallarına bağlandıktan sonra, hava kaçaklarının olabileceği muhtemel bölgelerde gerekli önlemler alınmıştır.

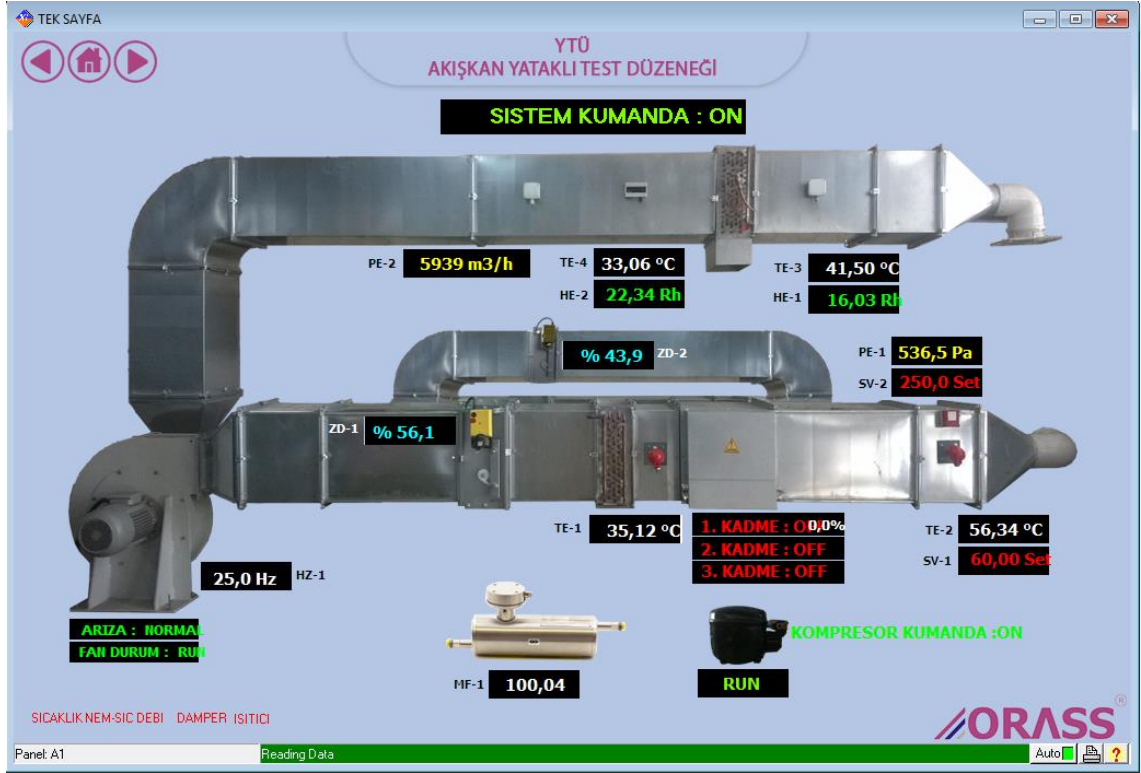
Deney için gerekli olan hava akışını sağlayacak fanın çalıştırılması için bilgisayar üzerinden otomasyon sistemi açılmıştır. Şekil 4. 4' te akışkan yatak test düzeneğinin otomasyon sistemi üzerindeki görüntüsü yer almaktadır. Şekilde sistem kapalı konumda olup sensörlerden anlık olarak debi, basınç farkı, nem, sıcaklık, elektrikli ısıtıcının kademe bilgisi ve damper konumlarının bilgileri okunmaktadır.



Şekil 4. 4 Akışkan yatak test düzeneği (Kapalı konum)

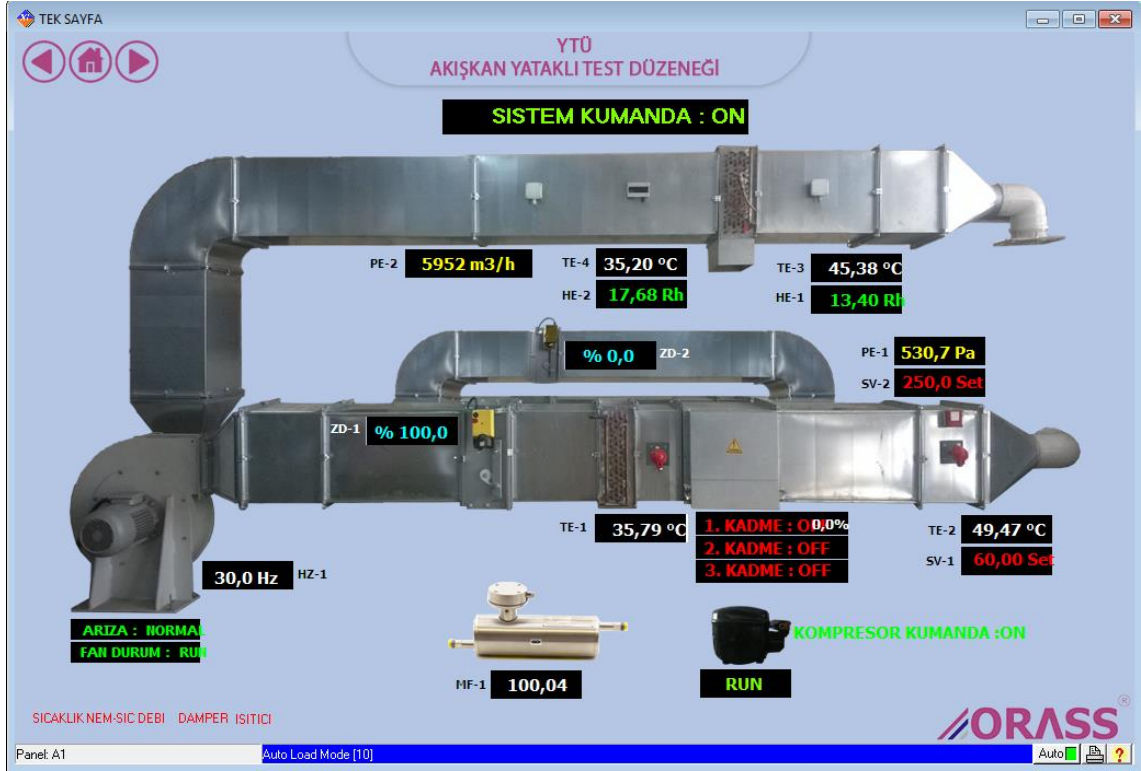
Deney tesisatı boştaki çalıştırılarak akışkan yatak bölgesindeki hava kaçakları tekrar gözlenmiştir.

Yapılan hazırlıkların ve alınan önlemlerin ardından akışkan yatak içerisine 265 gr yaş mercimek koyularak deney düzeneği açık konuma getirilmiş ve fan çalıştırılmış. Akışkan yatak içindeki mercimek tanelerinin hareketleri incelenmiştir. Akışkan yatak giriş sıcaklığı 60 °C olarak set edilmiştir.



Şekil 4. 5 Akışkan yatak test düzeneği (Açık konum)

Mercimek tanelerinin akışkanlaşma hızına ulaştığı gözlemlendiğinde Hz sabit tutulmuştur. Deney tesisatının denge hâli Şekil 4. 6' da gösterilmiştir.



Şekil 4. 6 Akışkan yatak test düzeneği (Denge hali)

Minimum akışkanlaşma hızına ulaşmış olan mercimek tanelerinin akışkan yatak içerisindeki görüntüsü Şekil 4. 7' de görülmektedir.



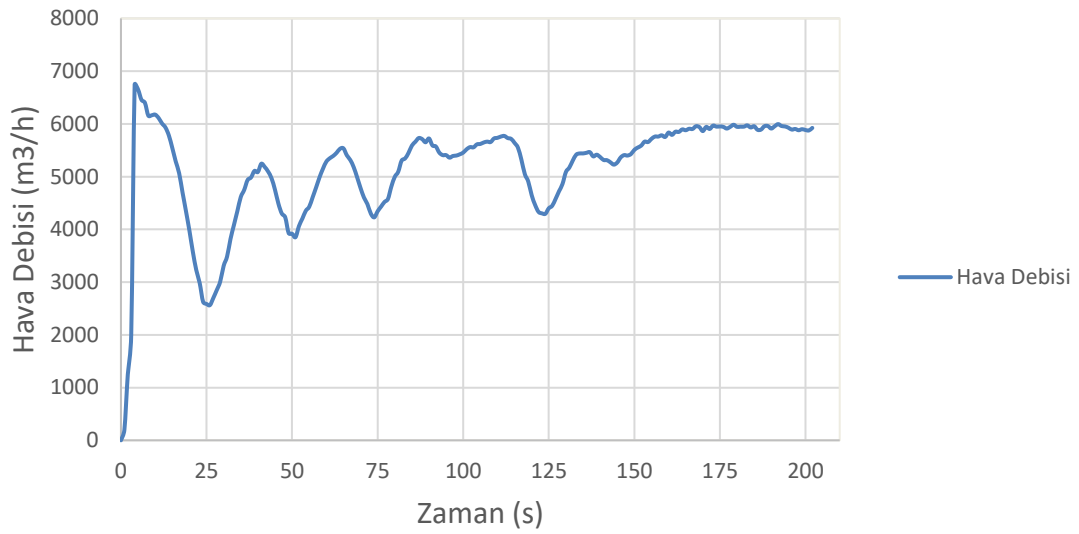
Şekil 4. 7 Akışkanlaşmış mercimek taneleri

Otomasyon sistemi üzerinden elde edilen sonuçlar tablo ve grafik olarak hesaplanmıştır.

4.4 Deneysel Sonuçlar

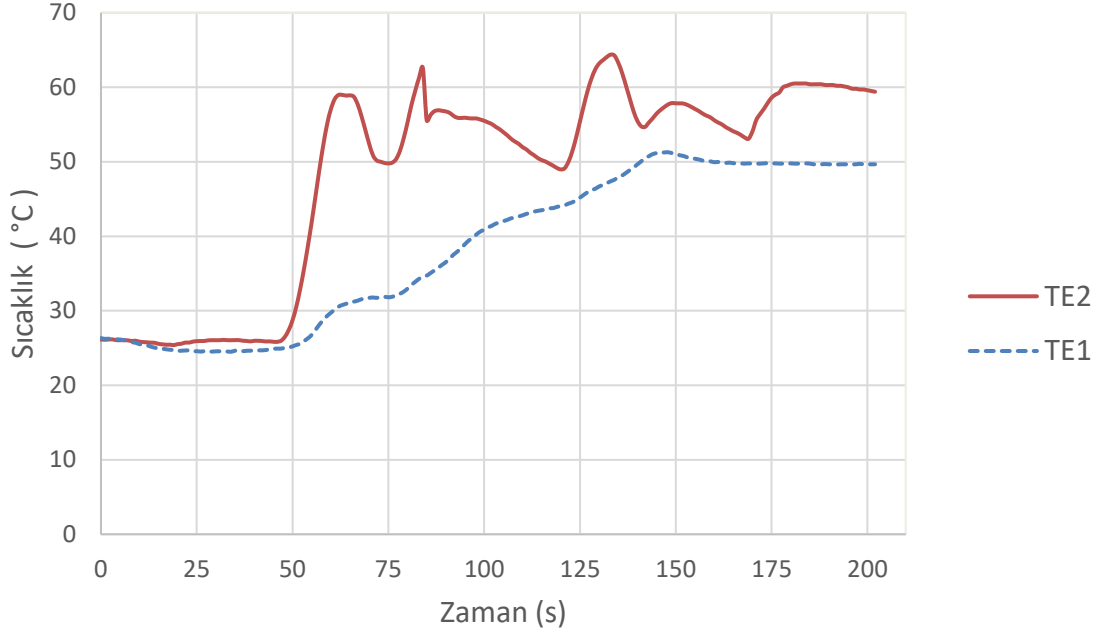
Akışkan yatakta yapmış olduğumuz deney sonucunda akışkan yatak hava debisi-zaman grafiği, TE1; TE2 sıcaklığı-zaman grafiği, TE3; TE4 sıcaklığı; HE1; HE2 bağıl nem-zaman grafiği elde edilmiştir.

Şekil 4. 8’ de akışkan yatak içerisindeki hava debisinin zamana bağlı sonuç grafiği görülmektedir. Hava debisi (PE-2) ilk olarak hızlı bir şekilde artmıştır daha sonrasında ise sabit kaldığı görülmektedir. Hava debisinin deney süresince ortalama değeri $5250 \text{ m}^3/\text{h}$ tir.



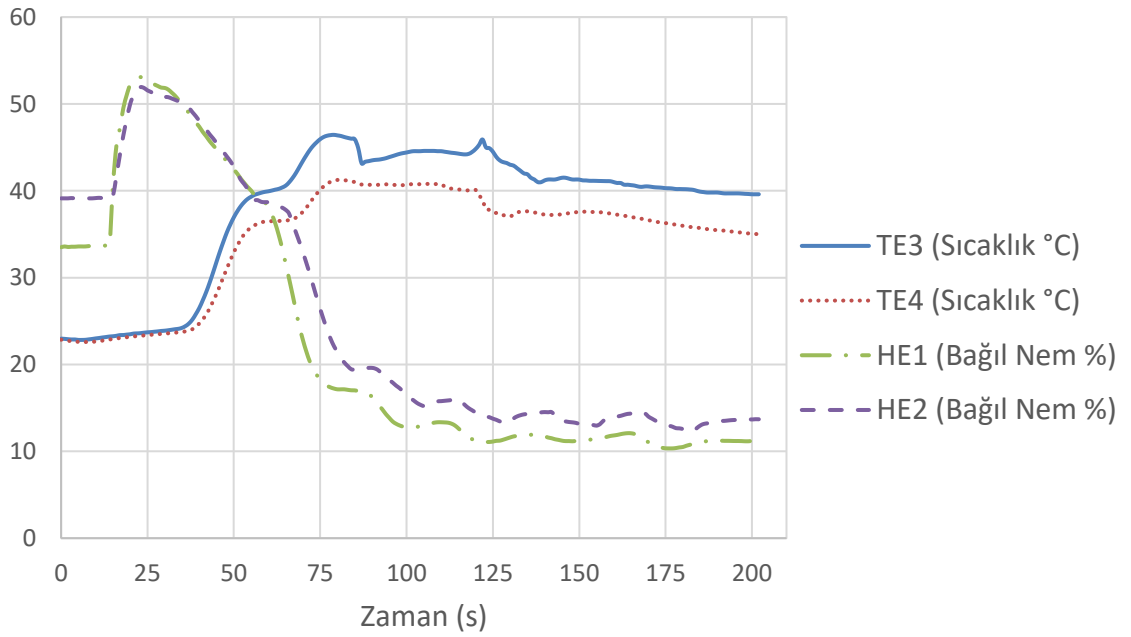
Şekil 4. 8 Hava debisi – zaman grafiği

Şekil 4. 9’ da TE1 ve TE2 sıcaklıklarının zamana bağlı sonuç grafiği görülmektedir. Deney tesisatında ısı pompasının çalışmaya başlamasıyla birlikte kondenser çıkış sıcaklığı TE1’ in arttığı görülmektedir. Set değer sıcaklığına kondenser kapasitesinin tek başına yetersiz kalması sebebiyle elektrikli ısıtıcının da devreye girerek TE2 sıcaklığının istenilen değere gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. 9 TE1; TE2 sıcaklık – zaman grafiği

Şekil 4. 10’ da TE3 ve TE4 sıcaklıklarının, HE1 ve HE2 bağıl nemin zamana bağlı sonuç grafiği görülmektedir. Deney tesisatında ısı pompasının çalışmaya başlamasıyla birlikte evaporatör giriş sıcaklığı TE3’ ün yükseldiği, çıkış sıcaklığı TE4’ ün TE3 sıcaklığına göre daha düşük olduğu görülmektedir. HE1 ve HE2 bağıl nem değerlerinin ilk olarak artması ve sonra zamanla azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. 10 TE3; TE4 sıcaklığı; HE1; HE2 bağıl nem-zaman grafiği

Deney süresince elde ettiğimiz veriler yardımıyla deney düzeneğinde A, B, C, D, E noktalarının termodinamiksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Deney boyunca noktalara ait ortalama sıcaklık, bağıl nem değerlerinin hesabı için denklem 4. 1' kullanılmıştır.

$$X_i = \frac{X_1 \cdot \Delta t_1 + X_2 \cdot \Delta t_2 + X_3 \cdot \Delta t_3 + \dots + X_n \cdot \Delta t_n}{\Delta t} \quad (4.1)$$

$X \rightarrow$ Sıcaklık yada nem değeri

$i \rightarrow$ Hesaplamasını yaptığımız nokta

$X_1 \rightarrow$ 1. ölçüm değeri

$X_2 \rightarrow$ 2. ölçüm değeri

$X_3 \rightarrow$ 3. ölçüm değeri

$X_n \rightarrow$ n. ölçüm değeri

$\Delta t_1 \rightarrow$ Deney başlangıcı ile 1. ölçüm arasındaki zaman farkı

$\Delta t_2 \rightarrow$ 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki zaman farkı

$\Delta t_3 \rightarrow$ 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki zaman farkı

$\Delta t_n \rightarrow$ n-1. ölçüm ile n. ölçüm arasındaki zaman farkı

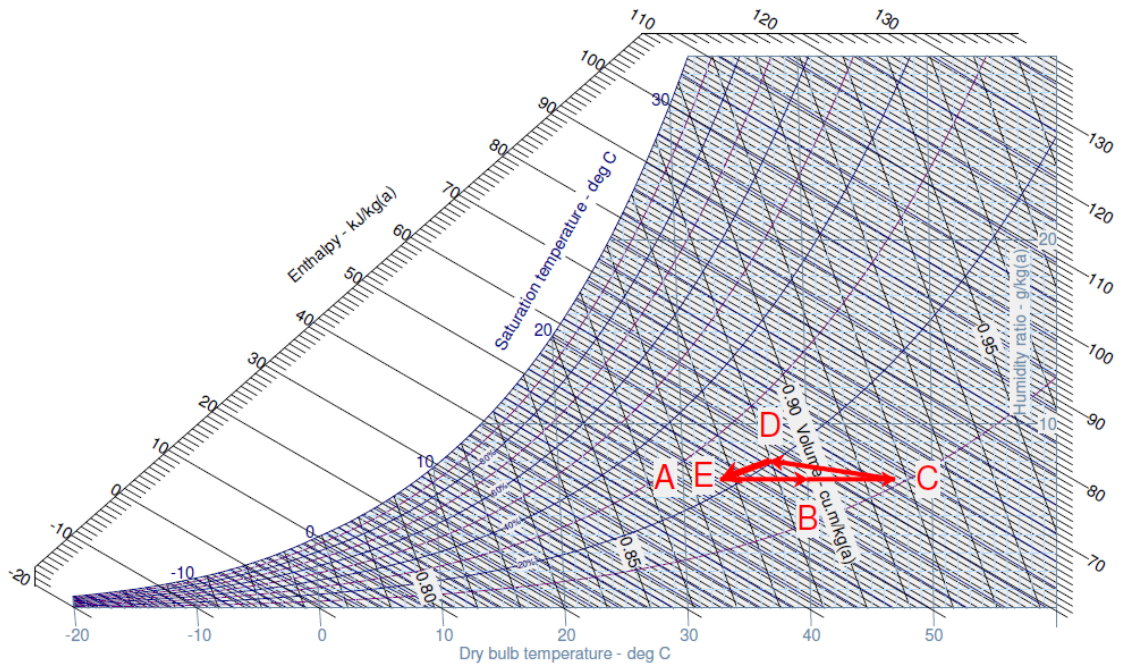
$\Delta t \rightarrow$ Deney süresindeki toplam zaman

4.1 denklemini kullanarak deney düzeneği üzerindeki A, B, C, D, E noktalarının sıcaklık ve bağıl nem değeri (kondenser ve elektrikli ısıtıcı giriş çıkışında havanın mutlak nemi sabittir) kullanarak psikrometrik diyagram üzerinden Çizelge 4. 2' deki bağıl nem, mutlak nem, entalpi ve yoğunluk değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4. 2 Deney düzeneği noktaları termodinamik özellikleri

Nokta Adı	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Mutlak Nem (gr nem/kg kuru hava)	Entalpi (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/m ³)
A	33	24,5	7,76	53,03	1,15
B	40	16,7	7,76	60,18	1,12
C	47	11,6	7,76	67,32	1,10
D	37	21,8	8,50	59,40	1,13
E	33	24,5	7,76	53,03	1,15

Deney düzeneğinde belirlemiş olduğumuz noktalara göre havanın psikrometrik diyagram üzerinde izlemiş olduğu yol Şekil 4.11' de gösterilmiştir.

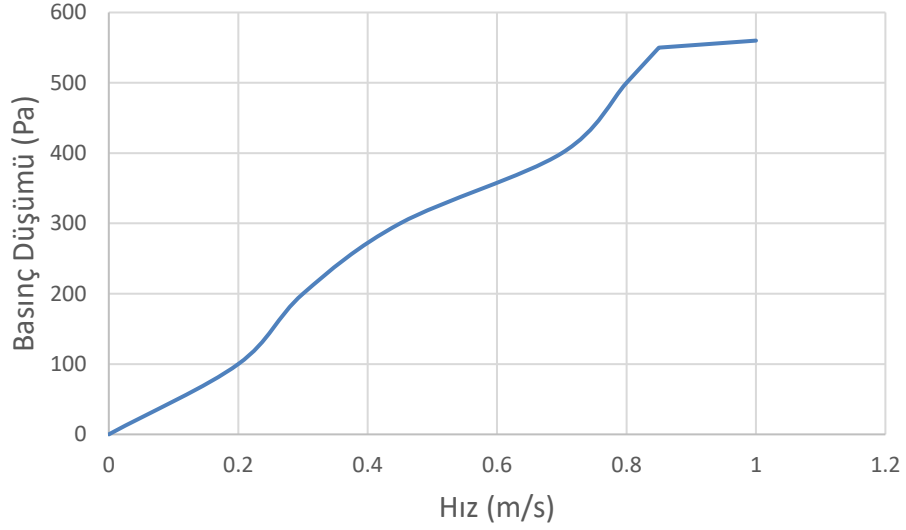


Şekil 4. 11 Havanın psikrometrik diyagram üzerinde davranışı

4.5 Yeşil Mercimek İçin Minimum Akışkanlaşma Hızının Hesaplanması

Şekil 4. 12' de görüldüğü üzere mercimek taneleri yaklaşık olarak 0,82 m/s hıza ulaşana kadar sistem içinde belli bir basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu basınç düşümünün artışının sebebi, mercimek tanelerinin henüz akışkanlaşmamış olmaları ve mevcut akışa direnç göstererek akışkan yatak içinde basınç kaybına yol açmalarıdır. Örneğin akış hızı 0,4 m/s iken mercimek taneleri akışkan yatak içinde yaklaşık 275 Pa değerinde bir basınç düşümüne sebep olmuşlardır.

Sistem içindeki basınç düşümü yaklaşık 530 Pa' dan sonra önemli bir artış göstermemiştir. Bunun sebebi mercimek tanelerinin 0,82 m/s akış hızında akışkanlaşmaya başlamasının gözlenmiş olmasıdır. Yani yapılan deney sonucunda mercimek tanelerinin minimum akışkanlaştırma hızının 0,82 m/s olduğu bulunmuştur. Bu hızdaki basınç kaybı 530 Pa' dır.



Şekil 4. 12 Mercimek için basınç düşümü – hız grafiği

4.6 Enerji Dengeleri Hesabı

Deney düzeneğinde yer alan kondenser, elektrikli ısıtıcı ve evaporatör için enerji dengeleri yazılarak kapasite değerleri bulunmuştur. Hesaplarımızda tüm havanın ana kanaldan geçtiği by-pass kanalından geçmedi kabul edilmiştir.

4.6.1 Kondenser Enerji Dengesi

Kondenser ve hava tarafı için enerji eşitliği;

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{Q}_{\text{hava}(A \rightarrow B)} \quad (4.2)$$

Kondenser kapasitesi için;

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{m}_{\text{sa}} \cdot \Delta h \quad (4.3)$$

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{m}_{\text{sa}} \cdot (h_2 - h_3) \quad (4.4)$$

eşitlikleri kullanılır.

Havanın kondenserdan aldığı ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{\text{hava}(A \rightarrow B)} = \dot{m}_{\text{hava}} \cdot \Delta h \quad (4.5)$$

$$\dot{Q}_{\text{hava}(A \rightarrow B)} = \dot{m}_{\text{hava}} \cdot (h_B - h_A) \quad (4.6)$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \rho_A \cdot \dot{V}_{\text{hava}} \quad (4.7)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Eşitlikler yardımıyla havanın kondenserden aldığı ısı miktarı $\dot{Q}_{\text{hava}(A \rightarrow B)} = 11,99 \text{ kW}$ olarak hesaplanır. Kondenserin verdiği ısı miktarı havanın aldığı ısı miktarına eşit olduğu için kondenser kapasiteside $\dot{Q}_{\text{kond}} = 11,99 \text{ kW}$ ' tır. Soğutucu akışkanın kütleli debisi ise $\dot{m}_{\text{sa}} = 0,06 \text{ kg/s}$ olarak hesaplanır.

4.6.2 Elektrikli Isıtıcı Enerji Dengesi

Elektrikli ısıtıcı ve hava tarafı için enerji eşitliği;

$$\dot{Q}_{\text{elektrikli ısıtıcı}} = \dot{Q}_{\text{hava}(B \rightarrow C)} \quad (4.8)$$

Havanın elektrikli ısıtıcıdan aldığı ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{\text{hava}(B \rightarrow C)} = \dot{m}_{\text{hava}} \cdot \Delta h \quad (4.9)$$

$$\dot{Q}_{\text{hava}(B \rightarrow C)} = \dot{m}_{\text{hava}} \cdot (h_C - h_B) \quad (4.10)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Eşitlikler yardımıyla havanın elektrikli ısıtıcıdan aldığı ısı miktarı $\dot{Q}_{\text{hava}(B \rightarrow C)} = 11,97 \text{ kW}$ olarak hesaplanır. Elektrikli ısıtıcının verdiği ısı miktarı havanın aldığı ısı miktarına eşit olduğu için ısıtıcı kapasitesi $\dot{Q}_{\text{elektrikli ısıtıcı}} = 11,97 \text{ kW}$ ' tır.

4.6.3 Evaporatör Enerji Dengesi

Evaporatör ve hava tarafı için enerji eşitliği;

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{Q}_{\text{hava}(D \rightarrow E)} \quad (4.11)$$

Evaporatör kapasitesi için;

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{sa}} \cdot \Delta h \quad (4.12)$$

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{sa}} \cdot (h_1 - h_4) \quad (4.13)$$

eşitlikleri kullanılır.

Havanın evaporatöre verdiği ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{\text{hava(D}\rightarrow\text{E)}} = \dot{m}_{\text{hava}} \cdot \Delta h \quad (4.14)$$

$$\dot{Q}_{\text{hava(D}\rightarrow\text{E)}} = \dot{m}_{\text{hava}} \cdot (h_E - h_D) \quad (4.15)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Eşitlikler yardımıyla havanın evaporatöre verdiği ısı miktarı

$\dot{Q}_{\text{hava(D}\rightarrow\text{E)}} = 10,68 \text{ kW}$ olarak hesaplanır. Evaporatörün aldığı ısı miktarı havanın verdiği ısı miktarına eşit olduğu için evaporatör kapasitesi $\dot{Q}_{\text{evap}} = 10,68 \text{ kW}$ ' tır. Soğutucu akışkanın kütleli debisi ise evaporatör tarafı hesabında $\dot{m}_{\text{sa}} = 0,06 \text{ kg/s}$ olarak hesaplanır.

4.7 Yoğuşan Su Miktarı ve Kurutma Süresi Hesabı

Evaporatörde yoğuşan su miktarı hesabı için;

$$\dot{m}_w = (w_D - w_E) \cdot \dot{m}_{\text{hava}} \quad (4.16)$$

eşitliği kullanılır.

Eşitlik yardımıyla evaporatörde yoğuşan su miktarı $\dot{m}_w = 1,23 \text{ gr}_{\text{nem}}/\text{s}$ olarak hesaplanır.

Kurutma süresi için geçen zaman;

$$t_{\text{kurutma}} = \frac{m_{\text{su}}}{\dot{m}_w} \quad (4.17)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Kurutma süresi yaklaşık olarak 53 s olarak hesaplanır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Yeşil mercimeğin akışkan yatakta kurutulması deneyinde mercimek tanelerine ait minimum akışkanlaşma hızı bulunmuştur. Akışkan yatak içerisinde mercimek tanelerinin akışkanlaşmaya başlamasına kadar yatak içerisindeki basınç düşümü sürekli artmıştır. Akışkan yatak içerisindeki hava hızı 0,82 m/s olduğunda minimum akışkanlaşma başlamış ve yeşil mercimek için minimum akışkanlaşma hızının 0,82 m/s olduğu hesaplanmıştır. Minimum akışkanlaşma hızından sonra akışkan yatak içerisinde çok fazla basınç artışı gözlemlenmemiştir ve basınç düşümünün 530 Pa da sabitlendiği hesaplanmıştır.

Yapmış olduğumuz deneye göre hava debisi - zaman grafiği çizilmiştir ve deney süresi boyunca hava debisinin ortalama 5250 m³/h olduğu hesaplanmıştır.

Deney düzeneği üzerinde önemli noktalar işaretlenmiş ve deney süresince bu noktalara ait ortalama sıcaklık, bağıl nem, mutlak nem, entalpi, yoğunluk gibi termodinamik özellikleri belirlenmiştir. Çizelge 4. 2' de bu noktaların ayrıntılı tablosu oluşturulmuştur.

Kondenser ve hava tarafı için enerji dengesi eşitlikleri yazılmış ve bu eşitlikler yardımıyla kondenserden havaya verilen ısı miktarının 11,99 kW olduğu hesaplanmıştır. Isı pompası içerisindeki akışkan gaz R410a debisinin kondenser tarafı için 0,06 kg/s olduğu hesaplanmıştır.

Elektrikli ısıtıcı ve hava tarafı için enerji dengesi eşitlikleri yazılmış ve bu eşitlikler yardımıyla elektrikli ısıtıcıdan havaya verilen ısı miktarının 11,97 kW olduğu hesaplanmıştır.

Evaporatör ve hava tarafı için enerji dengesi eşitlikleri yazılmış ve bu eşitlikler yardımıyla havadan evaporatöre verilen ısı miktarının 10,68 kW olduğu hesaplanmıştır. Isı pompası içerisindeki akışkan gaz R410a debisinin evaporatör tarafı için 0,06 kg/s olduğu hesaplanmıştır.

Havanın akışkan yatak içerisinde geçerken mercimek tanelerinden almış olduğu nemin, evaporatör üzerinden geçerken yoğunlaşarak hassas terazide zamana bağlı grafiği çizilememiştir. Nemin evaporatörde yoğunlaşarak altında yer alan hassas teraziye akmayarak hava ile sürüklendiği düşünülmektedir. Zamanla yoğunlaşan su miktarı 1,23 gr_{nem}/s, kurutma süresi ise 200 gr mercimek içerisindeki 65 gr su için 53 s olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1’ de kondenser, elektrikli ısıtıcı ve evaporatör kapasitelerinin değerleri tabloda kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 5. 1 Kondenser, elektrikli ısıtıcı, evaporatör kapasite tablosu

Ekipman Adı	Kapasite
Kondenser	11,99 kW
Elektrikli Isıtıcı	11,97 kW
Evaporatör	10,68 kW

KAYNAKLAR

- [1] Akçay, K., Ayok, T., Kocakuşak, S., Köroğlu, H. J., Savaşçı, Ö. T. ve Tolun, R., (1996) "Production of Anhydrous, Crystalline Borax in a Fluidized Bed", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 35:1424-1428.
- [2] Di Matteo, P., Dongs G. ve Ferrari, G., (2002) "The role of heat and mass transfer phenomena in atmospheric freeze-drying of foods in a fluidised bed", *Journal of Food Engineering* 59: 267–275.
- [3] Gül, M. Z., Gür, M. ve Kopuz, A., (2003) "An Experimental and Numerical Study of Fluidized Bed Drying of Hazelnuts", *Applied Thermal Engineering*, 24:1535-1547.
- [4] Köni, M., Dinçer, H., Türker, M., Yılmaz, S. ve Bir, A., (2006) "Fermentasyon Ürünlerinin Kurutma Prosesinin Modellenmesi ve Kontrolü".İstanbul.
- [5] Palzer, S. (2007) "Drying of Wet Agglomerates in a Continuous Fluid Bed", *Chemical Engineering Science* 62:463 – 470.
- [6] Hatamipour, M. S. ve Mowla, D., (2006) "Drying Behaviour of Maize And Green Peas Immersed In Fluidized Bed Of Inert Energy Carrier Particles", *Food and Bioproducts Processing*, 10.1205/fbp.05002.
- [7] Erçetin, Ü. ve Uralcan, Y., (2009) "Kaynatılmış Buğdayın Akışkan Yatakta Kurutulmasının Deneysel Araştırılması", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi XXII(3)*.
- [8] Ersöz, M.A. ve Doğan, H., (2010) "Akışkan Yataklı Sürekli Bir Kurutucuda Göl Tuzu Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16(2):155-163.

- [9] Parlak, N., (2014) “Akışkan Yataklı Kurutucuda Zencefilin Kurutma Kinetiğinin İncelenmesi” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29(2): 261-269, 2014.
- [10] Kurtuluş, O., (2007) .Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Kunii, D., ve Levenspiel, O., (1977) “Fluidization Engineering”, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-88275-542.
- [12] Fırat, A., (2005) .Soğuk Akışkan Yatak. Bitirme projesi, YTÜ, İstanbul.
- [13] Yerushalmi, J. ve Cankurt, N.T., (1979) “Further studies of the regimes of fluidization” Powder Technology, 24(2) November–December: 187-205.
- [14] Köse, R., (1995), “Akışkanlaştırma Hızı ile Akışkan Yataklı Yakıcılar Arasındaki İlişkinin İncelenmesi”, Uluslararası Yanma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 4:286-296.
- [15] Chopard, M., Holbrook, R., Ottenberg, M. ve Welsh, A., (2003), “Packed Beds and the Ergun Equation: Relationship Between Fluid Flow and Pressure Drop”, Carnegie Mellon University.
- [16] Bizmark D., Mostoufi N., Sotudeh-Gharebagh R. ve Ehsani H., (2010), “Sequential modeling of fluidized bed paddy dryer” Journal of Food Engineering 101: 303–308.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Semih TEMEL
Doğum Tarihi ve Yeri :1987-Biga
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :temelsemih@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Müh. Isı Proses	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Çan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Alarko-Carrier San. ve Tic. A.Ş.	Teknik Destek Müh.

YAYINLARI

Bildiri

1. SEVİNDİR. M.K, TEMEL.S. (2013)' KAPALIÇARŞI SANDAL BEDESTEN'İN İKLİMLENDİRİLMESİNDE ISI POMPASI UYGULAMASI' 11. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ,İZMİR