

**TARIM ÜRÜNLERİNİN AKIŞKAN YATAKTA KURUTULMASININ EKSERJİ
ANALİZİ**

İskender KARAGÜZEL

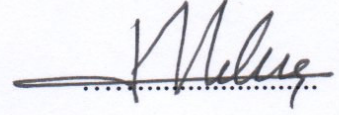
**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Haziran 2009**

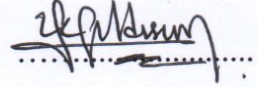
KABUL:

İskender KARAGÜZEL tarafından hazırlanan “TARIM ÜRÜNLERİNİN AKIŞKAN YATAKTA KURUTULMASININ EKSERJİ ANALİZİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi (ZKÜ) Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 19/06/2009

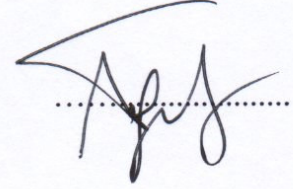
Başkan : Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ (ZKÜ)



Üye : Doç.Dr.Yılmaz YILDIRIM (ZKÜ)

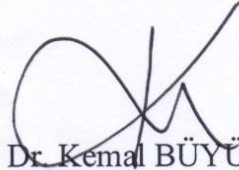


Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan TOPUZ (ZKÜ)
(Tez Danışmanı)



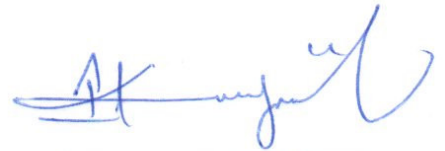
ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 9../7./ 2009



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



İskender KARAGÜZEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARIM ÜRÜNLERİNİN AKIŞKAN YATAKTA KURUTULMASININ EKSERJİ ANALİZİ

İskender KARAGÜZEL

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Adnan TOPUZ

Haziran 2009, 67 sayfa

Kurutma prosesi günümüzde gıda ve tarım sektöründe oldukça geniş yer tutmaktadır. Ürünlerin kuru olarak tüketime alınması veya depolanması için mutlaka bir kurutma işleminden geçirilmesi gerekir. Teknolojik ve proses tekniği bakımından çok çeşitli kurutma şekilleri vardır. Bunlardan biri de akışkan yatakta kurutmadır. Bu çalışmada da akışkan yataklı deney seti kullanılmıştır. Akışkan yatak giriş ve çıkış koşulları bilgisayar kontrollü veri toplama sistemiyle elde edilmiştir. Çalışma kapsamında fasulye ve nohut gibi tarım ürünlerinin akışkan yatakta kurutulmasının ekserji ve enerji analizi üzerine çalışılmıştır. Kurutma prosesi her iki ürün içinde üç farklı hava sıcaklıklarında ve iki farklı hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Termodinamiğin ikinci kanunu uygulanarak kurutma prosesi boyunca ekserji kayıplarının büyüklüğünün ve tipinin belirlenmesi ekserji analizi ile sağlanmıştır. Elde edilen verilerden ekserji veriminin hangi parametrelerden etkilendiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Ekserji ve Enerji Analizi, Akışkan Yatak, Kurutma

Bilim Kodu : 625.04.01

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

EXERGY ANALYSIS OF FLUIDIZED BED DRYING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

İskender KARAGÜZEL

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Asst. Prof. Adnan TOPUZ

June 2009, 67 pages

Nowadays, drying process has been taken an important role in food and agricultural production fields. Drying process is necessary to prepare the products and consumption and storage. There are various of drying process techniques, point of from the technological and process technique. In this work, fluidized bed was used in the experiments. Inflow and outflow conditions of fluidized bed were taken with a computer controlled data acquisition system. The scope of this work, exergy and energy analyses of fluidized bed drying of agricultural products of such as bean and chickpea were studied. Drying process was realized at two different temperatures and velocities for both of products. Exergy analysis was accomplished to determine type and magnitude of exergy losses during the drying process by applying the second law of thermodynamics. As a result, exergy efficiency was affected of which parameters was determined.

Key Words : Exergy and Energy Analyses, Fluidized Bed, Drying

Science Code : 625.04.01

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen, bana yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Adnan TOPUZ’a (ZKÜ) şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan anneme, babama ayrıca tez çalışmalarım sırasında bana her zaman manevi destek veren nişanlıma ve kayınvalideme minnet duygularıyla çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 TAHİL KURUTMA VE AKIŞKAN YATAK	9
2.1 ÜRÜNLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	9
2.2 KURUTMA	9
2.2.1 Kurutma Sistemi Tipleri	11
2.2.1.1 Morötesi Radyasyon Kurutma	11
2.2.1.2 İletimle Kurutma.....	11
2.2.1.3 Infrared (Radyant) Kurutma	12
2.2.1.4 Dondurarak Kurutma	12
2.2.1.5 Vakumla Kurutma	12
2.2.1.6 Karıştırmalı Yatakta Kurutma	12
2.2.1.7 Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma	12
2.2.1.8 Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma	12
2.2.1.9 Flaş Kurutma	13
2.2.1.10 Tünel Kurutma	13
2.2.1.11 Püskürtmeli Kurutma	13
2.2.1.12 Taşınım Kurutma	13

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2.1.13 Döner Kurutma	13
2.2.1.14 Kabinet ve Kompartıman Kurutma	13
2.2.1.15 Mikrodalga Kurutma	13
2.2.1.16 Dielektrik Kurutma	14
2.3 AKIŞKAN YATAK SİSTEMLERİ	14
 BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMA	 17
3.1 ÖN DENEYİN UYGULANMASI	19
3.1.1 Pitot Tüpünün Kalibrasyonu	19
3.2 AKIŞKANLAŞMA HIZININ TESPİTİ	19
3.3 DENEYİN YAPILIŞI	19
 BÖLÜM 4 EKSERJİ ANALİZİ	 21
4.1 EKSERJİ KAVRAMI	21
4.2 TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUN ANALİZİ	22
4.2.1 Fan Çıkış Koşullarının Belirlenmesi	24
4.2.2 Isıtıcı Giriş ve Çıkış Koşullarının Belirlenmesi	25
4.2.3 Kurutma Odasının Giriş Koşullarının Belirlenmesi	26
4.2.4 Kurutma Odası Akış Koşullarının Belirlenmesi	26
4.3 TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUN ANALİZİ	27
 BÖLÜM 5 BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	 31
5.1 FASULYE İÇİN ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	31
5.2 NOHUT İÇİN ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	43
 BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER	 55
6.1 SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMALAR	55
6.2 ÖNERİLER	56

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	57
EK AÇIKLAMALAR A	61
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Kurutma deney seti	17
4.1 Kurutma prosesi için kütle-enerji modeli.	23
5.1 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.....	35
5.2 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.....	36
5.3 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.....	36
5.4 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi	37
5.5 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.	37
5.6 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.	38
5.7 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için buharlaşmadan kaynaklanan ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.	38
5.8 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için ekserji yok olumu (tersinmezliğin) zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.....	39
5.9 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için buharlaşan nemin kütle transferinden kaynaklanan zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi	40
5.10 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi	40
5.11 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.....	41
5.12 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için fasulye nemindeki değişimin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
5.13 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için fasulye nemindeki değişimin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi..	42
5.14 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ hızının 5 m/s fasulye deney şartları için kurutma odası ekserji dengesinin şematik gösterimi.....	43
5.15 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.	48
5.16 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi..	48
5.17 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.....	49
5.18 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.	49
5.19 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.	50
5.20 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi..	50
5.21 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için buharlaşmadan kaynaklanan ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.....	51
5.22 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için buharlaşmadan kaynaklanan ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.....	51
5.23 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.....	52
5.24 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.....	52
5.25 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için nohut neminin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.	53
5.26 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için nohut neminin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.	53
5.27 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ hızının 5,4 m/s nohut deney şartları için kurutma odası ekserji dengesinin şematik gösterimi.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Fasulye için deney planı	31
5.2 Kurutma havası sıcaklığın $70,1^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için kurutulması analiz sonuçları.....	33
5.3 Kurutma havası sıcaklığın $47,1^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için analiz sonuçları.	33
5.4 Kurutma havası sıcaklığın $35,6^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için analiz sonuçları.....	34
5.5 Kurutma havası sıcaklığın $47,1^{\circ}C$, hızının 6,2 m/s olduğu fasulye deney şartları için analiz sonuçları.....	34
5.6 Nohut için deney planı.....	44
5.7 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ hızının 5,4 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.....	45
5.8 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ hızının 5,4 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.....	45
5.9 Kurutma havası sıcaklığının $36,1^{\circ}C$ hızının 5,4 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.....	46
5.10 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ hızının 6,3 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.....	46

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
A1: Kurutma Havası Sıcaklığı 47,1 °C Hava Hızı 5 m/s deki Fasulye Deney Şartları İçin Örnek Hesaplamalar	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\dot{m}$	:	kütlesel debi ($kg.s^{-1}$)
w	:	özgül nem ($g.g^{-1}$)
$\dot{Q}$	:	birim zamanda ısı geçişi ($kJ.s^{-1}$)
$\dot{W}$	:	birim zamandaki iş ($kJ.s^{-1}$)
V	:	hız ($m.s^{-1}$)
ϕ	:	bağıl nem
T	:	sıcaklık (K)
T_s	:	sınır tabaka sıcaklığı (K)
T_∞	:	çevre sıcaklığı, ölü hal (K)
h	:	özgül entalpi ($kJ.kg^{-1}$)
h_{fg}	:	buharlaştıran suyun gizli ısı ($kJ.kg_{su}^{-1}$)
c_p	:	sabit basınçta özgül ısı ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)
d	:	kurutma odası çapı (m)
r	:	kurutma odası yarıçapı (m)
g	:	yerçekimi ivmesi ($m.s^{-2}$)
u	:	iç enerji ($kJ.kg^{-1}$)
s	:	özgül entropi ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)
Re	:	Reynolds sayısı
Nu	:	Nusselt sayısı
Pr	:	Prandtl sayısı
ν	:	kinematik viskozite ($m^2.s^{-1}$)
λ	:	akışkanın iletim katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
α	:	ısı taşınım katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
P	:	basınç (Pa)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

$\dot{E}x$	:	ekserji ($kJ.s^{-1}$)
EUR	:	enerji kullanım oranı
buh	:	buharlaştırma
Y	:	yok olum
g	:	giriş
$\dot{c}$	:	çıkış
h	:	hava
n	:	nem
m	:	materyal
mn	:	materyal nemi
I	:	ısıtıcı
$doyb$	:	doymuş buhar
kh	:	kuru hava
f	:	fan
ko	:	kurutma odası
tr	:	tersinir
k	:	kaynak (rezervuar)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya petrol rezervinin 50 yıl, doğalgaz rezervinin 70 yıl ve kömür rezervinin ise 150 yıl sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak, alternatif enerji kaynakları üzerindeki araştırmalar yoğunlaşmış ve varolan klasik sistemlerin daha verimli şekilde kullanılması için yeni yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır.

1930'lu yıllar ve 1940'ların başında geniş çaplı araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda akışkan yatakların katı-gaz temasları gerektiren uygulamalardaki avantajlarının saptanması akışkan yatağın önemini artırmıştır. İlk olarak benzin ve diğer petrol bazlı ürünlerin üretimi için akışkan yataklı katalitik ayırıcının geliştirmesi sağlanmıştır. Günümüzde akışkan yataklar dünya çapında birçok endüstride çeşitli prosesler için kullanılmaktadır. Yüksek ısı transferi ve kontrol edilebilme özelliklerinden dolayı akışkan yatak sistemleri gerek yurt içi gerekse de yurt dışında daha çok yanma prosesinde kullanılmıştır. Sonraları çeşitli maddelerin kurutulması için de elverişli olduğu kanaatine varılarak bu amaçla da araştırmalar yapılmıştır.

Akışkan yatak kurutucunun prensibi; havanın, ürün materyalleri arasından ürüne etki eden yerçekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla basılarak katı tanecikleri askıda tutmasıdır. Akışkanlaştırılmış yataktaki tanecik yapısındaki maddeler arasından kurutma havası geçirilir. Gaz hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Varolan sistemlerin termodinamik açıdan verimliliklerin değerlendirilmesinde, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu birlikte ele alınması ile yapılan ekserji analizi, geliştirilen bu yöntemlerden en başta gelenidir.

İkinci bölümde; kurutulacak ürünler, kurutma çeşitleri ve akışkan yatak sistemleri hakkında bilgilere yer verilmektedir.

Üçüncü bölümde; akışkan yatak kurutma deney seti ve ekipmanları tanımlanmakta ve deneyin nasıl uygulandığı hakkında bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde; termodinamik 1. ve 2. kanun analizleri incelenerek fan çıkış koşulları, ısıtıcı ve kurutma odası giriş ve çıkış koşulları hesaplanmaktadır. 2. kanun analizi ile ekserji kavramına değinilmekte ve ekserji denklemleriyle kayıp ve verimlere ulaşılmaktadır.

Beşinci bölümde; kurutulan materyallerin yapılan hesaplar sonucunda ulaşılan bulgular veriler ve grafikler yardımıyla anlatılmaktadır.

Altıncı ve son bölümde ise; bu çalışmadaki her iki materyal için de elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gerekli öneriler sunulmuştur.

Akışkan yataklı kurutma prosesleri ile akışkan yataklı kurutma proseslerine diğer uygulanan enerji ve ekserji analizlerinin yer aldığı literatürdeki bazı çalışmalardan aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Hoebink et al. (1980) akışkan yataklı kurutma ve yoğun, bulut ve baloncuk fazları arasındaki ısı ve kütle transferini açıklayabilecek bir model geliştirmişlerdir. Materyal ile gaz arası nem transportunu, sabit oran kurutma periyodunda tek bir kütle katsayısı ile açıklamışlardır.

Plancz (1983) Kunii- Levenspiel modeline benzer üç fazlı bir modeli, sürekli akışkan yatakta kurutma prosesi için kullanmıştır. Baloncuk fazını plug akışı kabul etmiş ve katı materyallerin mükemmel karıştığını kabul etmiştir. Katı materyaller için topak modelinin gerçekçi olmayacağını fakat materyal içindeki kütle ve ısı transferini de göz önüne alarak lumped modelinin kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Alembrechtse (1986) akışkan yatakta sabit kurutma fazı için kütle transferi ve hidrodinamiği bir model önermiş ve katı materyalin içindeki sıvı ve kütle limitasyonunun olmadığını kabul etmiştir. Geçerli yatak yüksekliğinin daha üstünde kurutma oranının, yatak yüksekliği ve dağıtıcı eleğin yakalama oranının bir fonksiyonu olduğu sonucuna varmıştır.

Uçkan ve arkadaşları (1986) kesikli akışkan yatakta mısır kurutmada, hava ve sıcaklığın etkisini incelemişler ve difüzyon teorisine dayalı bir model geliştirmişlerdir. Model ve

deneysel verilere dayalı olarak mısırın kuruması için bir ampirik formül önermişlerdir. Kurutma işleminde gazın hızının kurutma oranı üzerinde bireysel etkisi olmadığını ve mısırın kurumasında prosesin difüzyon kontrollü olduğunu belirlemişlerdir.

Chandran et al. (1990) akışkan yatakta katı materyal kurutma kinetiği için, sabit oran periyodunu azalan oran periyodunun takip ettiğini kabul ederek bir model önermişlerdir. Kurutma kinetiği ile bekleme zamanı yoğunluğunu birlikte ele alıp, yataktaki materyalün karıştığını kabul ederek, sürekli akışkan yatakta ürünün ortalama nem konsantrasyonunu tespit etmeye çalışmışlar. Tekil ve spiral akışkan yatakta, model ile deneysel sonuçların iyi bir uyum içersinde olduğunu belirtmişlerdir.

Huang (1990) gaz türbinli birleşik ısı güç üretim sistemlerinde, çığ noktası sıcaklığının sistemin enerji ve ekserji verimine etkisini incelemiştir. Bunun sonucunda yalnızca I. kanun analizine dayanan değerlendirmenin tek başına yetersiz olacağını göstermiştir.

Stakic et al. (1992) akışkan yatakta kurutmada ısı ve kütle transferinin bir nümerik simülasyonunu yapmışlar ve diferansiyel denklemlerini ayırt etmek için kontrol hacim metodunu kullanmışlardır. İki faz teorisini akışkan yatak hidrodinamiği için kullanmışlar ve materyalde kütle transferi için kurutma kinetiğinde bilinen denklemleri ele almışlardır. Deneysel sonuçlar ile model arasında uyum olduğunu belirlemişlerdir.

Sirinivasa et al. (1994) baloncuk, gaz ve katı faz arasındaki ısı ve kütle transferini ele alarak, akışkan yatakta kurutma için bir model sunmuşlardır. Difüzyon denklemlerini analitik yöntemle çözerek materyalün içindeki nem dağılımını belirlemeye çalışmışlar, bu sırada gaz ile dengede olan katı materyallerin üniform sıcaklığa sahip olduklarını kabul etmişlerdir. Sabit oran periyodunda ısı transferinin kontrol mekanizması olduğunu, materyalden nem transferini azaltan oran periyodunun kontrol ettiğini söylemişlerdir.

Zahed et al. (1995) akışkan yatakta kurutma sabit oran ve azalan oran kurutmayı deneysel olarak incelemişlerdir. Kesikli ve değişik tip deki sürekli akışkan yatakları karşılaştırmışlardır. Spiral akışkan yatağın tek aşamalı sürekli akışkan yaktan ve çok aşamalı yatağın kesikli yaktan daha avantajlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ciesielczyk (1996) Kunii – Levenspiel boncuk modelini kullanarak, akışkan yatakta kurutmada sabit oran periyodundaki ısı ve kütle transferi ara yüzey katsayısını hesaplamıştır.

Dimattia et al. (1996) kırmızı biber taneciklerini kesikli akışkan yatakta kurutarak, yatak yüksekliğinin, gaz hızının, giriş nem konsantrasyonunun ve hava sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Nem hareketinin difüzyon kontrollü olmadığını ve yapışma etkisinin az olduğunu karışma oranının yüksek olmasından dolayı, yataktaki sıcaklık dağılımının üniform olduğunu tespit etmişlerdir.

Hajidavallo (1998) yaptığı doktora çalışmasında, tanecikli materyalin akışkan yatakta kurutma prosesindeki karakteristiklerini incelemiştir. Deneysel ve teorik çalışma yapmıştır. Deneysel çalışma, laboratuvar boyutlarında bir akışkan yatak sisteminde gerçekleştirilmiş ve dağıtıcı eleğin havayı sirküle etmesiyle ortaya çıkan değişiklikler ve materyalin girişteki nem konsantrasyonunun akışkan yatağın hidrodinamiğine etkisinin nasıl olacağını incelemiştir. Teorik kısımda akışkan yatakta ısı ve kütle transferini simüle edecek bir matematiksel model geliştirilmiş ve düzeltme parametresi olmayan kısmi diferansiyel denklemler elde edilmiştir. Çözüm sonucu, geliştirilen model ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uyum gözlenmiştir.

Fiaschi et al. (1998) gaz türbinli kojenerasyon sisteminde yanma odasına enjekte edilen su miktarına ve basınç oranına bağlı olarak sistemdeki elemanlarda meydana gelen ekserji kayıplarını ve ekserji verimindeki değişimleri araştırmışlardır. Sisteme su enjekte edilmesiyle sistem veriminde azalma meydana geldiğini göstermişlerdir.

Kwon (2001) 1000 kW gücündeki gaz türbinli kojenerasyon sistemindeki elemanların yatırım ve işletme masraflarını 2 farklı ekserji ekonomik yöntem kullanarak hesaplanmıştır. Sistemdeki elemanların işletme masraflarının buhar ve elektrik üretim maliyetine etkisini incelemiştir.

Midilli et al. (2001) güneş enerjili kurutma kabini kullanılarak kabuklu ve kabuksuz antepfıstıklarının kurutma prosesinin enerji ve ekserji analizini incelemiştir. Termodinamiğin 1. kanununu kullanarak, enerji kullanma oranını ve güneş kolektörlerinden kazanılan enerjinin miktarlarını hesaplamışlar. Termodinamiğin 2. yasasının uygulandığı güneş enerjisi ile kurutma prosesi boyunca ekserji kayıplarının büyüklüğü belirlenmiştir. Kabuklu ve

kabuksuz antep fıstıkları $40^{\circ}C - 60^{\circ}C$ sıcaklıkları arasında ve %37 – 62 bağıl nemde ve 1,23 m/s hava hızında ekserji kayıpları 0,15- 3,08 kJ/kg olmasına rağmen yeterli derecede kurutulmuştur.

Luz-Silveria (2002) San Diego Eyalet Üniversitesinde kurulması planlanan kojenerasyon tesisi için önerilen alternatifleri, ekserji verimi ve ekonomiklik açısından inceleyerek en uygun alternatifi tespit etmişlerdir.

Topuz (2002) akışkan yatak deney seti kurarak akışkan yatakta fındığı kurutup ısı ve kütle geçişini incelemiştir. Deneysel çalışmalarının yanında konu ile ilgili matematiksel modeller de incelemiş ve yeni üç fazlı bir modeli fındığa uyarlayarak deneysel sonuçlar ile model sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Syahrul et al. (2002) nemli parçacıkların akışkan yatakta kurutulmasının termodinamik modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Akışkanlaşma hızı, hava giriş sıcaklığındaki hidrodinamik ve termodinamik koşulların etkileri ve ilk nem miktarındaki enerji ve ekserji verimlilikleri analiz edilmiştir. Deneylerde mısır ve buğday kullanılmıştır. Buğday için hava giriş sıcaklığı termodinamik verimde güçlü bir etkiye sahiptir fakat mısırdaki, hava sıcaklığındaki artış verimlilikteki artışla sonuçlanmamıştır. Enerji ve ekserji verimlilikleri, değişen hava hızının etkisindeki yüksek ilk nem miktarına sahip parçacıklarda daha büyük değerler göstermiştir.

Dinçer ve arkadaşları (2003) kurutma prosesi için, ekserji terimini de içeren, yeni bir termodinamik modelleme üzerine çalışmışlardır. Ekserji verimlilikleri kütle ve ısı transferinin bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Giriş ve çıkış da ki ürünün ekserji farklılıkları, ürünün ağırlığı, kuruyan havanın nemi ve farklı hava sıcaklıklarında gerçekleşen kurutma prosesi modelinin uygulanabilirliğini örneklemek ve sunulan bu modelin doğruluğu üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak, bu çalışmada değinilmek istenen sadece kurutma prosesinin termodinamik değerlendirmelerindeki ekserji analizinin kullanılabilirliğini kanıtlamak değil aynı zamanda onların performanslarını ve verimliliklerini kavramayı sağlamaktır.

Kavak Akpınar (2004) üç farklı hava sıcaklıklarında ($55,60,70^{\circ}C$) ve 1,5 m/s hava hızındaki biber dilimlerinin konvansiyon tipli kurutucudaki kurutma prosesinin ekserji ve enerji analizi ele alınmıştır. Termodinamiğin 1. kanununu kullanarak, enerji kullanma oranını hesaplamak

için enerji analizi kullanılmıştır. Ancak, termodinamiğin 2. yasasının uygulanarak kurutma prosesi boyunca ekserji kayıplarının büyüklüğünün ve tipinin belirlenmesi ekserji analizleri ile sağlanılmıştır.

Kavak Akpınar ve arkadaşları (2004) çalışma kapsamında siklon tipi kurutucuda patates dilimlerinin tek katmanlı kurutma işleminin enerji ve ekserji analizi üzerine çalışmışlardır. Patates dilimleri $60-80^{\circ}C$ kurutma havası sıcaklığında ve %10-20 bağıl neme sahip 1-1.5 m/s hava hızında 10-12 saat kurutulduğunda yeterince kurutulmuştur. İlk tepsideki patates dilimleri için 2. tepsideki dilimlere göre daha fazla enerji tüketildiği belirlenmiştir. İlk tepsinin EUR'si (enerji kullanım oranı) ikinci tepside daha yüksektir. Ekserji kayıplarının daha fazla yer aldığı birinci tepsinin kurutma prosesince daha az kullanılabilir enerjinin olduğu yer sonucuna varmışlardır.

Bavbek (2005) çalışmalarında ilaç endüstrisinde kullanılan akışkan yataklı kurutucunun yapay sinir ağı ile modellemesini yaparak kurutma sürelerinin tahminini çıkarmıştır. Çıkan sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırarak yakın sonuçlar elde etmiştir.

Başaran (2006) yüksek lisans tez çalışmasında mısırın akışkan yatakta kuruma davranışını deneysel olarak incelemiş ve literatürdeki bir kuruma modeliyle (Henderson ve Pabis) sonuçları karşılaştırmıştır.

Çolak ve arkadaşları (2006) ekserji analizini kullanarak tepsi kurutucu içindeki yeşil zeytinlerin tek katmanlı kurutucudaki performansını değerlendirmişlerdir. Kurutma prosesi dört farklı hava sıcaklıklarında ($40,50,60,70^{\circ}C$) ve sabit %15 bağıl nemde gerçekleştirilmiştir. Maksimum ekserji verimi $70^{\circ}C$ de, kurutma havası kütledebisi 0,015 kg/s ve 0,0004 kg/s arasında iken elde edilmiştir. Ekserji verimi değerleri $40-70^{\circ}C$ hava sıcaklığı, kurutma havası kütledebisi 0,01 kg/s ile 0,015 kg/s oranlarında iken %68,65-%91,79 arasında bulunmuştur.

Korzo et al. (2007) üç farklı hava sıcaklıklarında ($71,82,93^{\circ}C$) ve 0,82-1 ve 1,12 m/s hava hızlarındaki coroba dilimlerinin ince katmanlı kurutulmasının ekserji ve enerji analizi ele alınmıştır. Hava giriş sıcaklığının ve hızının enerji ve ekserji üzerine etkisini çalışmışlardır. Ekserji verimi düşerken kurutma zamanının artmasıyla hem enerji kullanımı hem de enerji

kullanım oranı arttı. Enerji kullanımı ve enerji kullanım oranı sırasıyla kurutma sıcaklıklarının 71– 93 °C de ve hava hızının 0,82– 1,18 m/s değerinde 0,009-0,65 kJ/s ve 0,00007-0,0008 kJ/s olarak bulunmuştur. Ekserji giriş ve çıkışı sırasıyla kurutma sıcaklıklarının 71– 93 °C de ve hava hızının 0,82 – 1,18 m/s değerinde 0,33-0,87 kJ/s ve 0,25-0,75 kJ/s olarak bulunmuştur. Ekserji kaybı ve ekserji verimi sırasıyla kurutma sıcaklıklarının 71 – 93 °C de ve hava hızının 0,82 – 1,18 m/s değerinde 0,005-0,01 kJ/s ve 0,97-0,80 kJ/s olarak bulunmuştur.

Assari et al. (2007) Eulerian iki akışkan modelline dayanan grup kurutmanın matematiksel modelini geliştirmişlerdir. Ölçüsel, eksenel silindirik eşitlikler her iki faz için de sayısal olarak çözümlenmiştir. Bu eşitlikler kontrol hacim metodu kullanılarak ayrılmışlardır. Girişteki gaz hızı ve doymuş nemdeki gazın sıcaklığı, materyalin sıcaklığı ve çıkıştaki gazın sıcaklığı gibi parametrelerin etkileri gözükmiştir. Bu veriler akışkan yataktaki deneylerden elde edilen veriler karşılaştırılmış ve orta derecede iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Martin et al. (2008) çalışmalarında ekserji metodunu uygulayarak ve biomass ile düşük kalitede kömür karışımını kullanarak baloncuk akışkan yataktaki yanmanın teknik uygulanabilirliğini kanıtlamaya çalışmışlardır. Kütle dengesi, enerji dengesi, ve ekserji dengesini dokuz farklı koşullardaki deneylerle fabrikaya uygulamışlardır. Ekserji analizi, bu deneylerde fabrikadaki ekserji yıkımını ve ekserji verimini içermektedir. Tersinmezliğin tahmini bedeli değerlendirilmiştir.

Öztop ve arkadaşları (2008) çalışmalarında elma ve patates dilimleri için kurutma prosesindeki nemin transferinin sayısal ve deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar siklon tip kurutucu kullanılarak elde edilmiştir. Materyallerin kurutma süresince ki kütle ve ısı transferindeki ölçüsel analiz, kontrol hacim metodu kullanılarak kütle ve ısı eşitliklerinin çözümüyle sağlanmıştır. Böylece, içindeki nemli materyallerdeki nem dağılımı farklı zaman adımlarında elde edilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması göstermiştir ki, önceki değerler ve deneysel ölçülen veriler arasında oldukça yüksek bir uyum göstermiştir.

Bu çalışmada fasulye ve nohut gibi tarım ürünlerinin akışkan yatakta kurutmadaki prosesinin ekserji analizi ele alınmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği kurutma odasına enerji ve ekserji denklemleri uygulanarak giren, çıkan, kütle transferine harcanan ve kayba giden vb.

nedenlerden meydana gelen yok olan ekserjilerin teorik olarak hesaplanarak bunların ekserji verimini hangi yönde ve nasıl etkilediği amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

TAHİL KURUTMA VE AKIŞKAN YATAK

2.1 ÜRÜNLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Deneylerde iki farklı materyalin kurutma karakterleri incelenmiştir. Materyaller ise nohut ve fasulyedir. Fasulye hafif ve kumlu topraklara kadar her türlü toprakta yetişir ve hemen hemen ülkemizin her bölgesinde yetiştirilmektedir. Türkiye’deki başlıca fasulye türleri; çalı fasulyesi, şeker fasulyesi, ayşe kadın fasulyesi, barbunya, çumra fasulyesidir.

Deneylerde kullandığımız fasulye Konya yöresine ait olup güneş ortamında kurutulmuştur. Fasulye 2 saat suda bekletilip nemlendirdikten sonra deneysel çalışmaya geçilmiştir. Nohut Türkiye’ de yemeklik baklagiller arasında fasulye ve mercimekten sonra ekim ve üretimi en fazla yapılmakta olup, kurak bölgelerin bitkisidir. Yükseklik olarak nohudun yetiştirildiği alanlar 0-5600 m arasındaki arazi parçalarıdır. Dünya üzerinde oldukça geniş bir alana yayılan nohut kurak ve yarı kurak bölgelerin bitkisidir. Deneylerde kullandığımız nohut Nevşehir yöresine ait olup güneş ortamında kurutulmuştur. Nohut 3,5 saat suda bekletilip nemlendirdikten sonra deneysel çalışmalara geçilmiştir.

2.2 KURUTMA

Kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısıt yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemlerini tanımlamaktadır. Teknik anlamda; bir katının bünyesinde bulunan nemin bir gaz içinde buharlaştırılarak gaza geçirmek suretiyle alınmasına kurutma denir.

Kurutma öncesi ısıt yöntemler dışında diğer yöntemlerle katı maddeden suyun mümkün olduğunca uzaklaştırılması daha ekonomik bir ayırma veya kurutma işlemi sağlayacaktır. Bu nedenle kurutulan ürün için mekanik yöntemler olarak tanımlanan filtrasyon, presleme santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi işlemler daha az güç gereksinimi ve birim uzaklaştırılan su

için daha az maliyet gerektirmektedir. Kurutma işlemlerinde enerjinin verimli kullanılması bu nedenle önem kazanmaktadır. Katı yüzeyine ısı transferi uygulayarak buharlaşma yolu ile kurutma sağlanır. Transfer olan ısı katının gözeneklerindeki nemin buharlaşmasına harcanır. Bu nedenle, kurutma işleminde ısı ve kütle transferi beraber gerçekleşmektedir.

Ticari kurutucular için tasarımımda birincil hedef, kurutucuda gerekli ısının en verimli şekilde kullanılmasıdır. Kurutucularda gerçekleştirilen ısı transferi, kurutucu tipine göre değişmekle birlikte taşınım, iletim, ışınım ve bunların kombinasyonları biçiminde olabilir. Genelde ısı transferi katı maddenin dış yüzeyinden iç kısımlara doğru geçer. Yalnızca yüksek frekanslı elektrik akımlı kurutmada yüksek sıcaklık katı maddenin içinde oluşturulur ve ısı dış yüzeye doğru akar, bu esnada gerçekleşen kütle transferi ile de kurutma işlemi gerçekleşir.

Kurutma prosesleri ile ilgili literatürdeki bazı çalışmalardan aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Shactler et al. (1987) alışmalarında higroskopik olmayan cisimleri çeşitli sıvılarla doyurduktan sonra kurutma işlemine tabi tutmuşlar ve sonuçta deneysel buldular ile teorik bulguları karşılaştırmışlardır.

Moreira et al. (1989) yaptıkları çalışmada, fındık ve bademin kurutulmasında üç adet modeli ele alarak, hangisinin deneysel değerlere daha yakın sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. İki terimli expansiyonel modelin daha uygun olduğunu ve tavsiye edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Dinçer ve arkadaşları (1992) kurutma ile ilgili temel kavramları incelemişler, gıda maddesinin kurutulması sırasındaki ısı ve kütle transferinin analizi için detaylı formülasyon vermişlerdir.

Wang (1993) alışmalarında bir sabit yatak kurutucuda kurutma prosesini matematiksel olarak modellemeye çalışmıştır. Isı ve kütle transferi denklemlerini kullanarak modellemeye geçmiştir.

Salvi et al. (2002) yanma odasına buhar enjekte edilen gaz türbinlerinde, kompresöre giren havanın soğutulması için kullanılan sistemleri incelemişler ve mevcut sistemlere alternatif olarak enjeksiyonlu soğutma sisteminin daha verimli olduğunu belirtmişlerdir.

Aslan (2000) çalışmasında akışkan yatak sistemlerindeki yatak içindeki basınç dağılımını, boşluk dağılımlarını, tane boyutunu ve parçacıkların akışkan yataktaki değişik sıcaklık ve hızdaki dağılımını incelemiştir.

Kurutma olayına etki eden bazı parametrelerin bir kısmı,

a- Isı Transferi

- 1- Isıtma ortamından sıvı yüzeyine ısı transferi
- 2- Yapışkan katmanlarda ısı transferi
- 3- Katıdan sıvıya direk ısı transferi

b- Kurutma Atmosferi

- 1- Kurutma atmosferi basınç ve sıcaklığı
- 2- Kurutma atmosferi bileşeni
- 3- Kurutma yüzeyindeki havanın bağıl hızı

c- Katı Sıvı Sisteminin Genel Fiziksel Özelliği

- 1- Katı sıvı arasındaki yüzey gerilmesi
- 2- Katı sıvı arasındaki yapışkan film kalınlığı
- 3- Gözenekler içindeki yüzey alanının sıvı hacmine oranı

d- Katıların Özellikleri

- 1- Parçacık boyutu
- 2- Katı etken alanı
- 3- Katının gözenekleri

2.2.1 Kurutma Sistemi Tipleri

2.2.1.1 Morötesi Radyasyon Kurutma

Morötesi kurutmada elektromanyetik radyasyon kullanılır. Morötesi kurutmanın uygulanmasında en büyük sorun yüksek yatırım maliyetidir.

2.2.1.2 İletimle Kurutma

İletimle kurutmada, ısıtılan yüzey, malzeme ile temastadır ve malzemenin aşırı ısınmasını önlemek, ısıtmanın homojen olmasını sağlamak için gereken önlemler alınmalıdır. İletimle kurutma kağıt ürünlerinin kurutulması ve üretiminde yaygın olarak kullanılır.

2.2.1.3 Infrared (Radyant) Kurutma

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur.

2.2.1.4 Dondurarak Kurutma

Malzeme önce dondurulur sonra kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğuşturucusu ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçisi sağlanır. Dondurularak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde kullanılır.

2.2.1.5 Vakumda Kurutma

Vakumda kurutma, düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda (buharlaşması) kaynaması gibi avantaja sahiptir. Kağıt sanayinde kısmen uygulanmaktadır.

2.2.1.6 Karıştırmalı Yatakta Kurutma

Titreşimli raf ve konveyör kullanılarak malzemenin sürekli ve belli aralıklarla titreştirilmesi sonucu uniform bir kuruma elde edilir. Tahıl kurutulması için uygundur.

2.2.1.7 Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma

Akışkanlaştırılmış yatakta tanecik yapısındaki maddeler arasından gaz akımı geçirilir. Gaz hızı çok iyi ayarlanmalıdır. Toz ve taneli yapıdaki kurutulan malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en büyük avantajı kurutma işleminin kısa sürede tamamlanmasıdır.

2.2.1.8 Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma

Bu yöntemde verim daha yüksektir ve nemin geri kazanımı da kolaydır. Ayrıca kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlarda görülen oksidasyon ve diğer tepkimeler söz konusu değildir. Ancak yüksek sıcaklık nedeniyle ısıya duyarlı malzemelere uygulanması sakıncalıdır. Ticari olarak örnekler tekstil ve kimya sanayilerinde görülmektedir.

2.2.1.9 Flaş Kurutma

Flaş kurutmada çok küçük yapıdaki malzeme sıcak gaz akımında dağıtılmıştır. Sentetik, reçine, gıda ürünleri, kağıt üretiminde uygulama örnekleri vardır.

2.2.1.10 Tünel Kurutma

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucu modifiye edilmiş kompartıman kurutucudur. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava fan yardımıyla sistemde dolaştırılır. Malzeme raf ve bantlar üzerinde kurutulur. Hava akımı, malzeme ile paralel, zıt akışlı veya her ikisinin birlikte uygulanması olarak sistemden geçirilir. Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanım ile sistemden çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanır.

2.2.1.11 Püskürtmeli Kurutma

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Kurutulan ürünler uniformdur ve kurutma süreleri (5-15 saniye arasında) değişir. Bu sistemlerde sıcak kurutma ortamına, malzeme bir püskürtücü yardımıyla gönderilir. Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü, yoğunluğu gibi kütsel özellikleri kurutma gazının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir.

2.2.1.12 Taşınım Kurutma

Taşınım etkisiyle kurutma tüm kurutucularda gözlenmekle birlikte, ısı kaynağı olarak sıcak hava ve gazların kullanıldığı kurutucularda bu sınıfa girer.

2.2.1.13 Döner Kurutma

Kurutucu ısıtılması direkt veya dolaylı olacağı gibi hava akımı paralel veya zıt akışlı olabilir.

2.2.1.14 Kabinet ve Kompartıman Kurutma

Bu tip kurutucularda kurutulacak malzeme, temas yüzeyini artıracak şekilde raflara serilir. Eğer kurutulacak ürünün içerdiği nem buharı patlayıcı-yanıcı özellikte ise kurutma işleminin başında veya yüksek hızda buharlaşmanın gözlemlendiği anlarda çıkış havasının tamamı sisteme geri gönderilmeden dışarı verilmelidir.

2.2.1.15 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutmada çok yüksek frekanslı (500-900 Mhz) güç kaynağı kullanılır. İletken olmayan maddelerin ısıtılmasına uygulandığından bir dielektrik ısıtma formu olarak nitelendirilebilir. Mikrodalga kurutma şerit şeklindeki ince malzemelere uygulanır.

2.2.1.16 Dielektrik Kurutma

Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilirse, malzeme içinde ısı üretilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelere göre daha fazla ısı üretilir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik olarak düzenlenir.

2.3 AKIŞKAN YATAK SİSTEMLERİ

Küçük katı taneciklerin gaz veya sıvı ile temas ettirilerek akışkanların özelliklerini kazandırma işlemine akışkanlaştırma işlemi denir. Başka bir deyişle, katı parçacıklarından oluşan yatağa belirli bir hızda gönderilen akışkan yardımıyla parçacıkların hareketlendirilmesi ve ortamda asılı kalması olayıdır.

Kolon içinde, delikli olarak yapılmış bir plakanın üzerine doldurulmuş katı taneciklerin delikli plakanın altından gönderilen gaz ve sıvı ile akışkanlaştırıldığı sisteme akışkan yatak denir. Kolonun altında bulunan delikli plaka dağıtıcı elek olarak adlandırılır. Dağıtıcı eleğin

delikleri, üzerindeki tanecikleri aşağı geçirmeyecek kadar küçük ve yatağın altından basılacak havanın yukarı doğru geçişinde büyük bir basınç düşüşüne neden olmayacak kadar büyüktür.

Akışkan yatak kurutucunun prensibi, havanın ürün materyalleri arasından ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek zorlanarak, materyalleri havada askıda tutmasıdır. Bir kolon içinde yığılı durumda bulunan taneciklerin teşkil ettiği yatak bölgesine alttan düşük bir debiyle hava verilmeye başlandığında, yatak boyunca basınç düşüşü hava akış debisiyle logaritmik olarak artacaktır. Hava katı tanecikleri üzerinde fazla kuvvet uygulayamaz ve parçacıklar arasından kendine boşluk bularak yukarı doğru hareket eder katı tanecikler içinde hareket görülmez. Başka bir deyişle; yatağı oluşturan katı taneciklerin toplam ağırlığından doğan ve aşağı doğru olan kuvvet, aşağıdan yukarı doğru basılan havanın sağladığı kuvvete eşit oluncaya kadar tanecikler hareket etmediği için sisteme sabit yatak (fixed bed) denir.

Akış hızı arttıkça, hava, parçacıklara daha fazla kuvvet uygulayarak katı taneciklerin arasındaki yerçekiminden kaynaklanan çekimi azaltır. Hız daha da arttığında katı taneciklerin üzerindeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek yukarı doğru akan havanın içinde katı taneciklerin asılı kalmasını sağlar, katı taneciklerin birbirleri üzerine hareketleri sona erer.

Artık yatağı oluşturan katı tanecikler akışkan özelliklerini sergilemeye başlamıştır ve bu durum minimum akışkanlaşma koşulu, bunu sağlayan gaz hızı da minimum akışkanlaşma hızıdır. Bu anda, yataktaki basınç düşmesi yatak ağırlığının yatağın kesit alanına bölümüne eşittir. Yatak bölgesinin kapladığı hacmi fazla değiştirmeyen bu konumda hız daha da artırılırsa, yatak içinde hava kabarcıkları oluşturduğu ve kabarcıkların yatağı, suyun kaynamasına benzer bir şekilde terk ettiği görülür. Kabarcıklı akışkan yatak olarak adlandırılan bu sistemde, basınç düşüşü azalır ve akışkanın hızında artma olduğu halde basınç farkı sabit değere varır. Bu esnada yatak kaynayan bir sıvı görünümü alır. Gaz katı karışımı bir akışkan gibi davranmaya başlar, bu nedenle bu tür sisteme akışkan yatak sistemi denir.

Aşağıda akışkan yataklı kurutma prosesleri ile ilgili literatürdeki bazı çalışmalardan kısaca bahsedilmektedir.

Pamuk ve arkadaşları (1977) çalışmalarında akışkan yataklar için iki faz modeli geliştirmişler ve bu modelin parametrelerini incelemişlerdir. Parametre olarak; eksenel dağılım katsayısı,

fazlar arası transfer katsayısı, gaz fazı tarafından doldurulan hacim oranı, toplam gaz akışının gaz fazından geçme oranını kullanmışlardır.

Kemal (1983) düşük değerli katı yakıtların akışkan yatakta yakılarak değerlendirilmesi ve hava kirliliğine neden olan SO_2 gazının tutulmasının mümkün olduğu konusunda bir çalışma yapmıştır.

Tolay ve arkadaşları (1984) literatürde verilen yaklaşımları kullanarak bir paket akışkan yataklı kazan tasarımı yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemi; yakılacak yakıtın özellikleri, akışkanlaştırma yöntemi, ısı transferi ve çeşitli kısımların ayrı ayrı tasarımlara dayandırmışlardır.

Yalçın (1985) yatakta yanma sonucu olan uçucu madde davranışını, Tolay (1984), akışkan yatakta ayrışma ve aglomerasyon rejimlerini incelemişler, Eskin (1990), akışkan yataklı kömür yakıcısı modeli ve II. kanun analizi üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Mandral (1989) akışkan yatakta yanmanın ilk anlarında ayrışma eğilimi ve kömür yapısındaki değişimleri, Katnaş (1984), Elbistan linyitlerin sürekli bir akışkan yatak kurutucuda kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir.

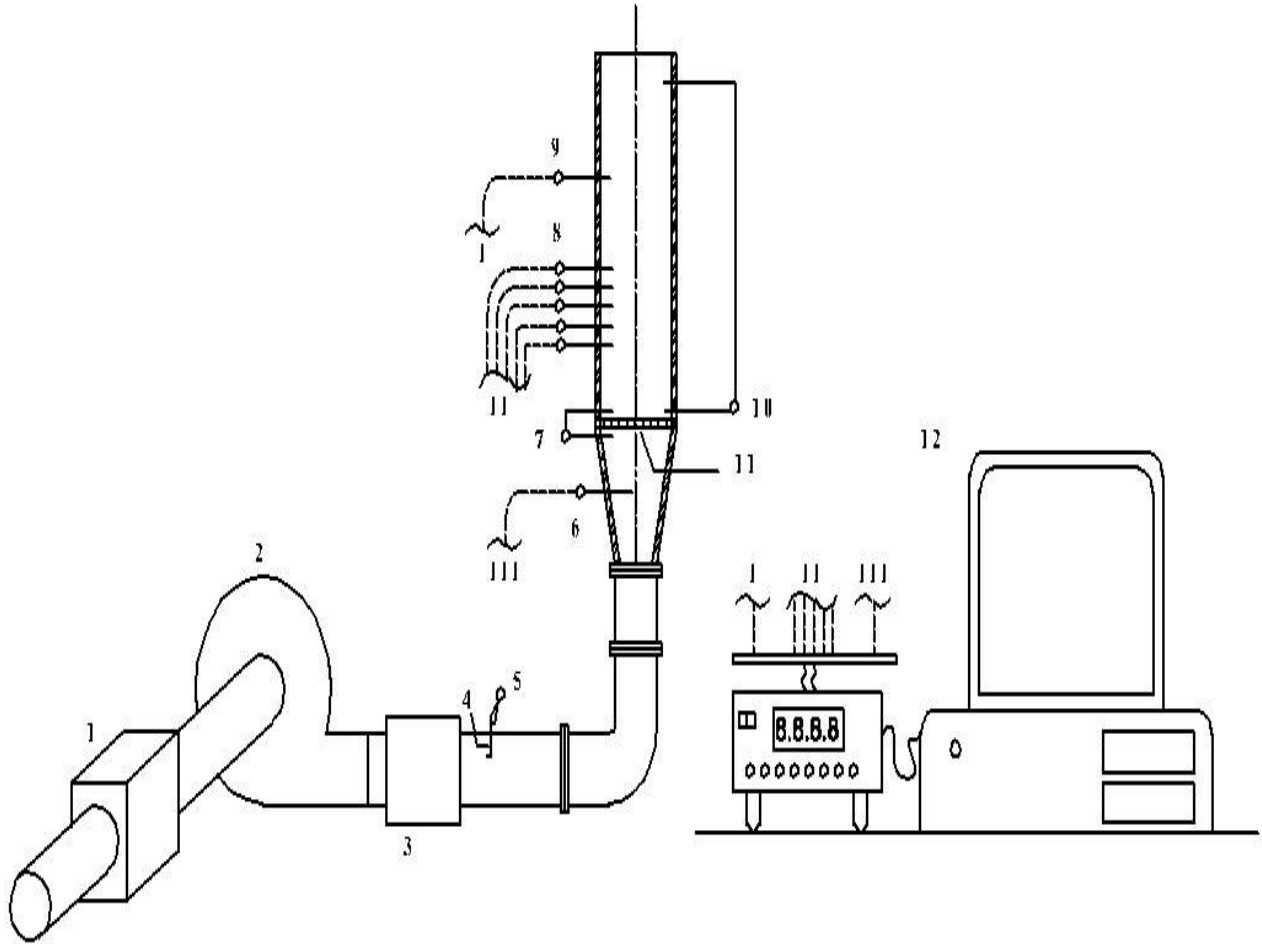
Tulunay (1991) çalışmalarında, akışkan yatakta yanma sürecinin matematiksel modelinin bulunmasının mümkün olduğunu savunarak, sürecin modelleme, denetim ve donatımı kısaca gözden geçirmiştir. Mevcut yürütülen bir projeyi tanıtan bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Jumah et al. (1997) dönen jet püskürtmeli yatakta, materyalin ortalama nem konsantrasyonu üzerine farklı aralıklı prosesin etkileri konusunda çalışmışlardır. Isıya dayanıklı materyallerin kurutulmasından, kalite ve önemli miktarlarda enerji avantajının elde edilebileceğini belirlemişlerdir.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

Akışkan yatakta tahıl ürünü kurutulması için laboratuvar ölçeğinde bir deney seti kurulmuştur. Bu setin şematik resmi Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Set; iki adet ısıtıcı (trifaz), fan, frekans invertörü, hava borusu, dağıtıcı elek, akışkan yatak gövdesi, 5 adet sıcaklık ölçer, 2 adet hem sıcaklık hem de nem ölçer, bir adet pitot tüpü, 3 adet basınç farkı ölçer, elektrik panosu, diğer bağlama elemanları ve izolasyon malzemelerinden oluşmuştur.



Şekil 3.1 Kurutma deney seti.

a- Isıtıcılar (1-3): Deney setinde biri 5 kW (fanın giriş ağzında) biride 6 kW (fanın çıkış ağzında) lık olmak üzere 2 adet ısıtıcı kullanılmıştır.

b- Fan (2): İlk ısıtıcıda ısıtılan havanın akışkan yatağa basılması için bir santrifüj fan kullanılmıştır.

c- Frekans İnvörtörü: Fan motorunun devrini ayarlamak üzere İnform E serisinden 1.5 kW lık gücünde frekans inventörü kullanılmıştır.

d- Pitot - Statik tüpü (4): Boru içinde akan akışkanın hızını ölçmek için kullanılan bir alettir. Tüpün tam ucunda akışa paralel normalli bir delik delik vardır. Bu delik akışkanın basıncını ölçer. Ayrıca bir de tüpün yanlarında normal akışa dik olan delikler vardır bunlardan da statik basınç ölçülür.

e- Sıcaklık Ölçerler (8): Deney seti üzerinde akışkan yataktaki 8,14,20,26,32 cm' ler deki sıcaklıkları okumak için 5 adet sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Bu sıcaklık ölçerler sensör tipinde (K tipi) sıcaklık ölçerlerdir. Ölçüm aralığı -50 +350 °C arasındadır.

f- Basınç Ölçerler (5-7): Pitot tüpündeki toplam ve statik basınç farkını ve ayrıca akışkan yataktaki yatak ve dağıtıcı elek basınç düşümünü belirlemek için Testo 506 tipi basınç hücreleri kullanılmıştır. Bu basınç hücreleri iki giriş arasındaki basınç farkını mmSS, mmHg, mm H₂O , in H₂O , psi, mbar olarak direkt digital ekranda görme imkanı sağlar.

g- Sıcaklık ve Nem Ölçerler (6-9): Havanın akışkan yatağa girmeden önceki ve akışkan yataktan çıkıştaki nemini ölçmek için 2 adet sıcaklık ve nem ölçer (Hygrotest 600 pht -20/120 harici problu) kullanılmıştır.

h- Veri Toplama Sistemi (Data Acquisition): Üretimden önce araştırma-geliştirme aşamasında, üretimden sonra ise ürünün kalitesinin belirlenmesinde yapılan testlerde, ölçülen her türlü fiziksel büyüklüğe ilişkin verileri toplayan ve yararlı bilgiye dönüştüren sistemlerdir. HP 34970A tipli veri toplama sistemi kullanılmıştır.

i- Nem Tayin Cihazı: Akışkan yatakta 1,5 saatlik deney süresince 0,5,10,20, 30, 40, 50, 60, 70,80,90 dakikalarda alınan 11 adet tahıl numunelerinin (her biri 15-20 gram) nem

değerlerinin ölçüldüğü cihazdır. Precisa XM 60 modellenli nem tayin cihazı kullanılmış olup en az 20 gr en fazla 60 gr numuneleri ölçmektedir.

3.1 ÖN DENEYİN UYGULANMASI

Akışkan yatakta kurutma deneyi yapılmadan önce bazı ön deneyler yapılmıştır. Bunlar tahıl ürünleri fasulye ve nohudun akışkanlaşma hızının belirlenmesi ve pitot tüpü kalibrasyonudur.

3.1.1 Pitot Tüpünün Kalibrasyonu

Pitot tüpünün kalibrasyonu için fan motorunun devri invertör aracılığıyla değiştirilerek her defasında akışkan yataktaki hava hızı anemometre ile ölçülmüş hem de pitot tüpü farkına dayanılarak hesaplanmıştır.

3.2 AKIŞKANLAŞMA HIZININ TESPİTİ

Materyallerin akışkan yatakta minimum akışkanlaşma hızının tespiti için 5 mm ort. çapta 700 gr fasulye ve 6 mm ort. çapta 700 gr nohut akışkan yatağa konmuştur. Daha sonra fan motorunun devri invertör ile değiştirilerek akışkan yatağın basınç farkı basınç hücrelerinde her 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50 hertz için okunmuş ve bu devirlerdeki akışkan yatak hava hızı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak fasulye için akışkanlaşma hızı 3,68 m/s nohut için 4,59 m/s civarlarında bulunmuştur.

3.3 DENEYİN YAPILIŞI

Deney seti önce 1-2 saatlik bir süre içinde yatak boş iken sistemin rejime girmesi için çalıştırılmıştır. İstenen şartlar (sabit sıcaklık) sağlandıktan sonra materyaller sisteme dahil edilmiştir. Yapay olarak suda nemlendirilen numunelerden başlangıç numunesi dahil 1,5 saatlik dilimde 5,10,20,30,40,50,60,70,80,90. dakikalarda alınan ürünler için toplam 11 adet numunelerin nemleri nem tayin cihazında belirlenmiştir. Tahıl ürünleri çeşitli sıcaklık ve nem değerlerinde deneye tabi tutulmuş ve akışkan yataktaki sıcaklık dağılımı, havanın çıkış sıcaklığı ve nemindeki değişim, materyallerin değişik şartlara göre kuruma özelliklerinin nasıl değiştiği deneyler sonucunda elde edilmiştir.

BÖLÜM 4

EKSERJİ ANALİZİ

4.1 EKSERJİ KAVRAMI

Bilim adamları ve mühendisler bir asırdan daha fazla bir sürede enerji kullanan prosesleri değerlendirirken termodinamiğin 1. yasasını kullanmışlardır. Özellikle enerji kaynaklarının fazla olması ve bu kaynaklara olan talep azlığı proseslerde meydana gelen verimsizlikleri göz önüne almamada en büyük etken olmuştur. Ancak dünya nüfusunun artması ve sanayileşme ile birlikte enerji kaynaklarına olan talepte meydana gelen artış, araştırmacıları enerji kullanan prosesleri daha etkin kullanmaya zorlamıştır.

Termodinamiğin 1. yasası enerjinin niceliği ile ilgilidir, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini vurgular. Bu yasa bir hal değişimi sırasında enerjinin bilançosunu tutmak için bir yöntem ortaya koyar. Ancak 1. yasa proseslerin değerlendirilmesinde tek başına yetersiz kalmaktadır. Termodinamiğin 1. yasasının tek başına yetersiz olması bu konuda çalışan araştırmacıları yeni arayışlara itmiştir. Bu yeni arayışlar sonucunda ortaya konulan en etkin değerlendirme yöntemlerinden birisi de ekserji analizidir. Bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma olanağının değerlendirilememesi gibi 1. yasada göz önüne alınmayan kavramlar termodinamiğin 2. yasasında dikkate alınmaktadır. Ekserji analizi, termodinamik proseslerin analiz, dizayn ve geliştirilmesinde termodinamiğin 1. ve 2. yasasının birlikte alındığı etkin bir araçtır. Enerjinin kullanılabilirliği “ekserji” olarak tanımlanır. Kullanılabilirlik, bir sistemin sahip olduğu enerjisiyle iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Bir sistemin mümkün olan en yüksek işi elde edebilmek için, sistemin sabit olan ilk halinden, hal değişimi sonunda, sistemin ölü noktasına gelmesi gereklidir. Ölü hal, sistemin çevresiyle termodinamik açıdan denge durumunda demek olup, ölü haldeyken sistemden elde edilecek yararlı iş potansiyelinin sıfır olduğu açıktır. Dolayısıyla, bir sistem, doğal çevrenin temel elemanları ile tersinir bir hal değişimi sonucu termodinamik denge durumuna (ölü hale) getirildiğinde elde edilecek iş miktarı, o sistem için ekserji değerine karşılık gelmektedir. Ekserji analizi ile, enerjinin

kalitesinde meydana gelen azalma miktarı tayin edilebilmektedir. Ekserji terimi ilk kez 1956 yılında Z. Rant tarafından önerilmiştir. (Rant 1956, Wall 1977). Ekserji kavramı çeşitli araştırmacılar tarafından farklı şekilde tanımlanmıştır:

Baerhr' a göre “ekserji, enerjinin diğer bir enerji türlerine tamamıyla dönüştürülebilen kısmıdır.” (Baehr 1956, Wall 1986).

Szargut'a göre “ekserji, doğadaki yaygın bileşenlere etkileşim içeren tersinir prosesler vasıtasıyla, bazı maddelerin, doğal çevredeki yaygın bileşenlerle termodinamik denge durumuna getirilmesi halinde elde edilebilecek max. iş miktarıdır.” (Szargut 1980, Szargut et al.' dan 1988).

Riekert'a göre “çevre ile sistem arasında sadece ısı etkileşim koşulu ile, bir maddenin, çevredeki yaygın maddelerden tersinir süreçler vasıtasıyla belirli bir durumda üretilebilmesi için gereken mekanik veya elektrik enerjisi o maddenin ekserjisini verir.” (Riekert 1974, Szargut et al.' Dan 1988).

4.2 TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUN ANALİZİ: Enerji Kullanımı

Burada kurutma havasının davranışını ve enerji değişimini 1. yasa sayesinde bulmayı amaçlıyoruz. Kurutma sırasında ısıtma, soğutma, nem alma gibi işlemler gerçekleşmektedir. Sürekli akış kabulüyle basitçe, sistemin enerji değişimi, kurutma havasının nemi ve entalpisi ile ilgili eşitliklerle çözümleme yapılmıştır (Çengel ve Boles 1999).

Kuru hava için kütle korunumu;

$$\sum \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kontrol hacmine} \\ \text{giren kütle} \end{array} \right) = \sum \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kontrol hacminden} \\ \text{çıkan kütle} \end{array} \right)$$

$$\sum \dot{m}_{hg} = \sum \dot{m}_{hç} \quad (4.1)$$

Nem için kütle korunumu;

$$\sum (\dot{m}_{ng} + \dot{m}_{mn}) = \sum \dot{m}_{n\zeta} \text{ yada } \sum (\dot{m}_{hg} \cdot w_g + \dot{m}_{mn}) = \sum \dot{m}_{hg} \cdot w_{\zeta} \quad (4.2)$$

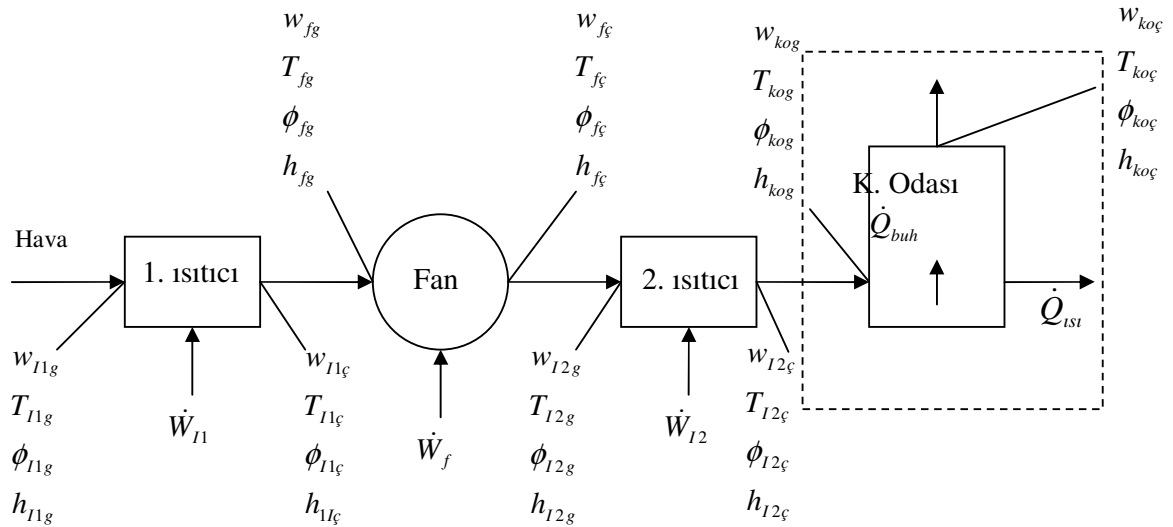
$\dot{m}$ kütleli debiyi, n, g, ζ, m alt indisleri ise sırasıyla nemi, girişi, çıkışı ve materyali ifade etmektedir.

Enerjini korunumu;

$$\sum \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{ısı veya iş olarak} \\ \text{sınırlardan geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \sum \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{kontrol hacimden} \\ \text{çıkan toplam enerji} \end{array} \right) - \sum \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{kontrol hacime} \\ \text{giren toplam enerji} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\zeta} \left(h_{\zeta} + \frac{V_{\zeta}^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} \right) \quad (4.3)$$

Şekil 4.1 deki gibi psikrometrik diyagram sayesinde de giriş ve çıkış koşulları belirlenebilir. (Akpınar et al. 2004).



Şekil 4.1 Kurutma prosesi için kütle-enerji modeli.

w , T , ϕ ve h indisleri sırasıyla havanın özgül nemini, sıcaklığını, bağıl nemini ve entalpisini ifade etmektedir. I_g ve $I_{\dot{c}}$ alt indisleri sırasıyla ısıtıcı giriş ve çıkışı, f_g ve $f_{\dot{c}}$ alt indisleri fan giriş ve çıkışı, kog ve $ko_{\dot{c}}$ alt indisleri ise kurutma odası giriş ve çıkışı ifade etmektedir. $\dot{W}$ işi, $\dot{Q}_{buh}$ buharlaşmadan dolayı ısı geçişini ve $\dot{Q}_{isi}$ da ısı transferinden dolayı oluşan ısı geçişini ifade etmektedir.

Prosesin diğer kısımlarındaki potansiyel ve kinetik enerji ihmal edilirken fandaki kinetik enerji değişimleri hesaplamalarda ele alınmıştır. Tahıl ürünlerinin kurutma işleminin ekserji ve enerji analizi boyunca kuru havanın entalpisi ve bağıl nemi eşitlik 4.4 ve 4.5 ile hesaplanmıştır (Incropera and Dewitt 1996).

$$\phi = \frac{w.P}{(0,622 + w).P_{doyb@T}} \quad (4.4)$$

Burada, w özgül nemi, P atmosfer basıncını, $P_{doyb@T}$ kuru havanın doymuş buhar basıncını göstermektedir.

Kuru havanın entalpisi,

$$h = c_{p_{kh}}.T + w.h_{doyb@T} \quad (4.5)$$

$c_{p_{kh}}$ kuru havanın özgül ısısını, T kuru havanın sıcaklığını, $h_{doyb@T}$ doymuş buharın entalpisini göstermektedir.

4.2.1 Fan Çıkış Koşullarının Belirlenmesi

Fan çıkış entalpisi eşitlik 4.3 enerji denklemi kullanılarak eşitlik 4.6 elde edilmiştir.

$$\dot{Q} + \dot{W}_f = \sum \dot{m}_{kh} \left[(h_{f_{\dot{c}}} - h_{f_g}) + \left(\frac{V_{f_{\dot{c}}}^2 - V_{f_g}^2}{2 * 1000} \right) \right] \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.6'da ısı giriş çıkışı olmadığından $\dot{Q}=0$ ve de V_{fg} 'nin ihmal edilmesiyle eşitlik 4.7 ile sağlanmıştır. (Akpınar 2004, Midilli and Küçük 2001)

$$h_{f_g} = \left[\left(\dot{W}_f - \frac{V_{f_g}^2}{2 \cdot 1000} \right) \left(\frac{1}{\dot{m}_{kh}} \right) \right] + h_{f_g} \quad (4.7)$$

h_{f_g} fanın girişindeki kuruyan havanın entalpisini, h_{f_g} fanın çıkışındaki kuruyan havanın entalpini, V_{f_g} fanın çıkışındaki kuruyan havanın hızını, V_{f_g} fanın girişindeki kuruyan havanın hızını, $\dot{W}_f$ fanın enerjisini, $\dot{m}_{kh}$ kuru havanın kütleli debisini ifade etmektedir.

4.2.2 Isıtıcı Giriş ve Çıkış Koşullarının Belirlenmesi

Fanın giriş ve çıkış koşullarını hesaplamak için, fan ve ısıtıcılar arasındaki bağlantı borularında ısı kaybı olmadığı kabul edilerek fanın giriş ve çıkışındaki denklemler yazıldığında sonuç olarak 4.8'deki eşitlikler ortaya çıkmaktadır.

$$\begin{aligned} w_{I1_g} &= w_{f_g} & w_{I2_g} &= w_{f_g} \\ T_{I1_g} &= T_{f_g} & T_{I2_g} &= T_{f_g} \\ \phi_{I1_g} &= \phi_{f_g} & \phi_{I2_g} &= \phi_{f_g} \\ h_{I1_g} &= h_{f_g} & h_{I2_g} &= h_{f_g} \end{aligned} \quad (4.8)$$

w , T , ϕ ve h indisleri sırasıyla havanın özgül nemini, sıcaklığını, bağıl nemini ve entalpisini ifade etmektedir. I_g ve I_g alt indisleri sırasıyla ısıtıcı giriş ve çıkışı ifade etmektedir.

Isıtıcının giriş ve çıkış sıcaklıklarını kullanarak, ısıtıcıdan kazanılan faydalı enerji eşitlik 4.9 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_{kh} c_{p_{kh}} (T_{I_g} - T_{I_g}) \quad (4.9)$$

4.2.3 Kurutma Odasının Giriş Koşullarının Belirlenmesi

Kurutma odasının giriş koşullarını hesaplamak için ilk olarak kurutma odasının girişindeki kuruyan havanın sıcaklığı ve bağıl nemi tanımlanmalıdır. Ancak sıcaklık ölçümleri ısıtıcı giriş ve çıkışı arasında küçük ısı kayıplarının olduğunu göstermiştir. Sistemdeki bu ısı kayıplarından dolayı, ısıtıcı çıkış koşullarının kurutma odası giriş koşullarına eşit olmadığı kesinlikle vurgulanmalıdır. Bundan dolayı, kurutma odası ve ısıtıcı arasındaki bağlantı borularında meydana gelen ısı kaybı eşitlik 4.10 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{Kb} = \dot{m}_{kh} c_{p\,kh} (T_{kog} - T_{I2\zeta}) \quad (4.10)$$

Kurutma odasının çıkışındaki bağıl nem eşitlik 4.11'deki gibi tanımlanmıştır.

$$w_{ko\zeta} = w_{kog} + \frac{\dot{m}_{mn}}{\dot{m}_{kh}} \quad (4.11)$$

$w_{ko\zeta}$ ve w_{kog} sırasıyla kurutma odası çıkışı ve girişindeki özgül nemi, $\dot{m}_{mn}$ nemli materyalin kütleli debisini göstermektedir. Proses deki nem alma esnasında kullanılan ısı enerjisi eşitlik 4.12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{ko} = \dot{m}_{kh} (h_{kog@T} - h_{ko\zeta@T}) \quad (4.12)$$

Kurutma prosesinde, kurutma odasının enerji kullanma oranı eşitlik 4.13 kullanılarak belirlenmiştir. (Akpınar 2004, Midilli and Küçük 2001)

$$EUR_{ko} = \frac{\dot{m}_{kh} (h_{kog@T} - h_{ko\zeta@T})}{\dot{m}_{kh} \cdot c_{p\,kh} (T_{kog} - T_{Ig})} \quad (4.13)$$

4.2.4 Kurutma Odası Akış Koşullarının Belirlenmesi

Akış esnasında, akışkan tabakaların birbirlerine karışmadan paralel olarak hareket etmesi durumunda laminar akış, akışkan zerreciklerinin gelişigüzel hareket ederek tabakaların birbirlerine karışması durumuna ise türbülanslı akış adı verilir. Boru içindeki akışlarda kritik

Reynolds sayısındaki (Re_d) karakteristik uzunluk olarak, kanalın hidrolik çapı göz önüne alınır. Düzgün yüzeyli borulardaki akışta Reynolds sayısının 2300 değerinin altında akış laminar, 10^4 değerinin üzerinde ise akış türbülanslı olarak kabul edilir.

$$Re_d = \frac{V.d}{\nu} \quad (\text{Radyal sistemler}) \quad (4.14)$$

Boru içersindeki taşınım katsayısının hesaplanmasında Re_d sayısı ve yüzeyde oluşan taşınım ile ısı geçişinin bir ölçüsü olan Nu_d Nusselt sayısı da kullanılmaktadır.

Deneyle sonuçunda Re_d sayıları $2 \cdot 10^4 < Re_d < 2 \cdot 10^6$ arasında bulunmuştur. Bu sonuçtan ötürü akışımız tam gelişmiş türbülanslı akıştır. Dairesel kesitli borular içinde tam gelişmiş türbülanslı akışta Nu_d ; (Incropera and Dewitt 1996)

$$Nu_d = \frac{\alpha.d}{\lambda} = 0,023 \cdot Re_d^{4/5} \cdot Pr^n \quad [\text{Dittus – Boelter}] \quad (4.15)$$

λ akışkanın iletim katsayısını, α havanın ısı taşınım katsayısını, d kurutma odası çapını, Pr ise havanın Prandtl sayısını ifade etmektedir.

$n = 0,4$ (ısıtma için); $n = 0,3$ (soğutma için) sabitleridir.

4.3 TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUN ANALİZİ: Ekserji Analizi

Termodinamiğin 2. kanunu analizi kapsamında, kurutma odası giriş ve çıkışındaki toplam ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Kurutma odası için ekserji analizinin temel amacı ölü durumdaki ekserji değerlerini ve prosesdeki ekserji değişimlerini belirlemektir. Açık sistem için herhangi bir T, P şartlarındaki maddenin birim kütlesi başına ekserji ifadesi eşitlik 4.16'da verilmiştir (Çengel ve Boles 1999).

$$e = (h - h_\infty) - T_\infty (s - s_\infty) \quad (4.16)$$

∞ ölü durumu ifade etmektedir. Burada kinetik, potansiyel ve kimyasal ekserji terimleri ihmal edilmiştir. Toplam ekserji ifadesi;

$$\dot{E}x = \dot{m}_{kh} [(h - h_{\infty}) - T_{\infty} (s - s_{\infty})] \quad (4.17)$$

Havanın mükemmel gaz kabulü ile;

$$\Delta h = c_{p\,kh} (T - T_{\infty}) \quad (4.18)$$

c_p , sabit kabulü yapılarak; bir hal değişimi sırasında entropi değişimi;

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\,tr} \quad (4.19)$$

Kurutma havasının mükemmel gaz kabulü entropi değişimi eşitlik 4.20 elde edilmiştir.

$$s - s_{\infty} = c_p \ln \frac{T}{T_{\infty}} - R \ln \frac{P}{P_{\infty}} \quad (4.20)$$

Basınç değişimi ihmal edilip eşitlik 4.18 ve 4.20 eşitlik 4.17’de yerine yazıldığında ekserji denkleminiz 4.21’deki gibi bulunmuştur. (Çengel ve Boles 1999)

$$\dot{E}x = \dot{m}_{kh} c_{p\,kh} \left[(T - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T}{T_{\infty}} \right] \quad (4.21)$$

Eşitlik 4.21’e dayanılarak, giriş ve çıkış ekserjileri kurutma odası giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır. Burada $T_{\infty} = T_o$ (çevre sıcaklığı) olmuştur.

Kurutma odası girişindeki havanın ekserjisi;

$$\dot{E}x_{kog} = \dot{m}_{kh} c_{p\,kh} \left[(T_{kog} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{kog}}{T_{\infty}} \right] \quad (4.22)$$

Kurutma odası çıkışındaki havanın ekserjisi;

$$\dot{E}x_{ko\phi} = \dot{m}_{kh} c_{p\,kh} \left[(T_{ko\phi} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ko\phi}}{T_{\infty}} \right] \quad (4.23)$$

Sürekli akışlı sistem göz önüne alınarak incelediğimiz sistemimizde ekserji dengesi eşitlik 4.24'de belirtilmiştir (Syahrul et al. 2002, Çolak ve Hepbaşlı 2006).

$$\sum \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_k} \right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum_g \dot{E}x_g - \sum_{\phi} \dot{E}x_{\phi} - \dot{E}x_y = 0 \quad (4.24)$$

Yukarıdaki denklemde belirtilen $\dot{Q}_k$ sistemle ısı deposu arasındaki ısı transferini, T_k ısı deposunun sıcaklığını ifade etmektedir. Sisteme herhangi bir ısı deposundan ısı girişi çıkışı olmadığından bu terimlerde ihmal edilmiştir. Sistemde iş olmadığından $\dot{W} = 0$ ve $\dot{E}x_y$ ise ekserji yok olumunu (tersinmezliği) belirtmektedir.

Tüm sistem için, eşitlik 4.24 düzenlendiğinde eşitlik 4.25'e varılmaktadır (Akpınar 2004, Midilli and Küçük 2001).

$$\sum \text{Ekserji yok olumu (tersinmezlik)} = \sum \text{Ekserji giriş} - \sum \text{Ekserji çıkış}$$

$$\sum \dot{E}x_y = \sum \dot{E}x_{kog} - \sum \dot{E}x_{ko\phi} \quad (4.25)$$

Ekserji yok olumuna (tersinmezliğe) ($\dot{E}x_y$) sebep olan faktörlerden, çevre ortama doğru ısı transferinden dolayı ekserji kaybı ($\dot{E}x_{isl}$) ve kurutma odası içerisindeki buharlaşan nemin kütle transferinden dolayı ekserji kaybı ($\dot{E}x_{buh}$) denklemleri aşağıda belirtilmiştir.

$$\dot{E}x_{isl} = \left[1 - \frac{T_{\infty}}{T_s} \right] \dot{Q}_{isl} \quad (4.26)$$

Kurutma odasından (radyal sistem) çevre ortama doğru gerçekleşen ısı transferi; (Incropera Frank and Dewitt 1996).

$$\dot{Q}_{ist} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{2\pi r_1 L \lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{2\pi r_2 L \lambda_2}} \quad (4.27)$$

Materyaldeki nemin buharlaşmasıyla oluşan kütle transferinden dolayı gerçekleşen ekserji;

$$\dot{Ex}_{buh} = \left[1 - \frac{T_{\infty}}{T_m}\right] \dot{Q}_{buh} \quad (4.28)$$

T_m materyalin ortalama sıcaklığını, $\dot{Q}_{buh}$ buharlaşmadan dolayı gerçekleşen ısı transferini ifade etmektedir (Syahrul et.al 2002, Çolak ve Hepbaşlı 2006).

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_n h_{fg} \quad (4.29)$$

$\dot{m}_n$ havadaki nemin kütleli debisini, h_{fg} buharlaşan suyun gizli ısısını ifade etmektedir.

Ekserji verimi, eşitlik 4.30'daki gibi tanımlanır.

$$\text{Ekserji verimi} = \frac{\text{Sisteme sağlanan ekserji} - \text{Ekserji yok olumu}}{\text{Sisteme sağlanan ekserji}}$$

$$\eta_{Ex} = 1 - \frac{\dot{Ex}_y}{\dot{Ex}_{kog}} \quad (4.30)$$

BÖLÜM 5

BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

5.1 FASULYE İÇİN ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Akışkan yatakta kurutma prosesinde; ortam sıcaklığının 11,9- 14,98 °C arasında, hava çıkış sıcaklığının 35,6- 70,1 °C arasında, 5 – 6,2 m/s arasındaki hava giriş hızı ve 700 gr sabit miktardaki konya yöresine ait fasulye için yapılan deney şartları aşağıdaki Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi fasulye için yapılan deney şartlarının kurutma havası sıcaklığı 35.6 – 70.1 °C , çevre ortam sıcaklığı 11.9 -14.98 °C ve hava giriş hızı 5 – 6.2 m/s arasında verilmektedir.

Çizelge 5.1 Fasulye için deney planı.

Deney No	Fasulye Türü	Ortam Sıcaklığı (°C)	Hava Çıkış Sıcaklığı (°C)	Hava Giriş Hızı (m/s)	Fasulye Miktarı (gr)
1	Konya	11.9	70.1	5	700
2	Konya	13.4	47.1	5	700
3	Konya	14.98	35.6	5	700
4	Konya	16.4	47.1	6.2	700

Çizelge 5.2’de kurutma havası sıcaklığın 70,1 °C , hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %71-74, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,615-0,641 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) 2,173-2,463 ($kJ s^{-1}$), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) 1,558-1,822 ($kJ s^{-1}$) değerleri arasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.3’de kurutma havası sıcaklığın $47,1^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %60-63, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,236-0,258 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) 0,642-0,700 ($kJ s^{-1}$), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) 0,406-0,442 ($kJ s^{-1}$) değerleri arasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.4’de kurutma havası sıcaklığın $35,6^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %55-59, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,104-0,122 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) 0,233-0,297 ($kJ s^{-1}$), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) 0,129-0,176 ($kJ s^{-1}$) değerleri arasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.5’de kurutma havası sıcaklığın $47,1^{\circ}C$, hızının 6,2 m/s olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %62-65, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,245-0,265 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) 0,684-0,760 ($kJ s^{-1}$), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) 0,439-0,495 ($kJ s^{-1}$) değerleri arasında elde edilmiştir.

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi enerji kullanımının sıcaklıklar artıkça yükseldiği gözlenmektedir. Her üç durumda da dış ortam sıcaklığı birbirine yakın olmasına rağmen kurutma havası giriş sıcaklığı arttıkça enerji kullanımlarında artış görülmektedir. Bunun nedeni, kurutma odasında kurutmanın ilk safhalarında materyal ile kurutma havası arasındaki ısı ve kütle transferinden ötürü, sıcaklıkların çıkışta azalması, daha sonrasında bu sıcaklıkların birbirine yaklaşmasıdır.

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi enerji kullanımının aynı kurutma havası sıcaklığında hava hızı arttıkça yükseldiği gözlenmiştir. Deney zamanı içersinde 300. saniyeye kadar artışın nedeni ısı ve kütle transferinden ötürü çıkıştaki sıcaklıkların azalmasıdır. Sıcaklıklar birbirine yakın değerlere ulaştıkça da grafik durağan bir eğilim göstermiştir.

Şekil 5.3 incelendiğinde, enerji kullanım oranının (EUR) kurutma havası sıcaklığına bağlı değişimi, enerji kullanımının (Şekil 5.1) değişimi ile aynı karakteri gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2 Kurutma havası sıcaklığın $70,1^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için kurutulması analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{ko\zeta}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	($^{\circ}C$)	($kJ s^{-1}$)	(%)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	(%)
T = $70,1^{\circ}C$ - 5 m/s									
0	11,9	12,06	48,49	1,558	2,173	0,615	0,347	0,0178	71,69
5	11,9	12,49	50,12	1,532	2,182	0,650	0,345	0,0179	70,20
10	11,9	12,76	51,10	1,518	2,191	0,673	0,344	0,0179	69,29
15	11,9	13,01	52,02	1,504	2,197	0,693	0,343	0,0180	68,45
20	11,9	13,37	53,27	1,488	2,211	0,723	0,341	0,0181	67,31
25	11,9	13,64	54,31	1,470	2,215	0,744	0,340	0,0181	66,39
30	11,9	13,74	54,58	1,469	2,222	0,752	0,340	0,0182	66,13
35	11,9	13,94	55,38	1,455	2,223	0,768	0,338	0,0182	65,44
40	11,9	13,94	55,21	1,465	2,235	0,770	0,339	0,0183	65,54
45	11,9	14,16	55,88	1,461	2,251	0,790	0,339	0,0184	64,91
50	11,9	14,21	56,09	1,457	2,251	0,794	0,339	0,0184	64,73
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5443	11,9	11,88	44,71	1,822	2,461	0,638	0,367	0,0201	74,07
5448	11,9	11,91	44,74	1,827	2,468	0,642	0,367	0,0202	74,01
5453	11,9	11,91	44,79	1,822	2,463	0,641	0,367	0,0202	73,98

Çizelge 5.3 Kurutma havası sıcaklığın $47,1^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{ko\zeta}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	($^{\circ}C$)	($kJ s^{-1}$)	(%)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	(%)
T = $47,1^{\circ}C$ - 5 m/s									
0	13,4	4,63	35,09	0,406	0,642	0,236	0,083	0,0054	60,18
5	13,4	4,75	36,07	0,400	0,642	0,242	0,082	0,0054	60,34
10	13,4	5,13	38,74	0,390	0,649	0,259	0,082	0,0054	60,09
15	13,4	5,02	37,98	0,392	0,646	0,254	0,082	0,0054	60,72
20	13,4	5,14	39,11	0,382	0,639	0,257	0,081	0,0054	59,75
25	13,4	5,54	41,55	0,378	0,655	0,277	0,081	0,0055	57,76
30	13,4	5,39	40,73	0,377	0,646	0,268	0,081	0,0054	58,41
35	13,4	5,45	41,19	0,375	0,646	0,271	0,081	0,0054	58,04
40	13,4	5,48	41,24	0,377	0,651	0,273	0,081	0,0055	58,01
45	13,4	5,84	43,71	0,369	0,659	0,290	0,080	0,0055	56,00
50	13,4	5,70	42,98	0,368	0,650	0,282	0,080	0,0055	56,58
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5413	13,4	4,70	34,23	0,445	0,695	0,250	0,085	0,0058	64,06
5418	13,4	4,82	34,97	0,443	0,699	0,256	0,085	0,0059	63,43
5423	13,4	4,87	35,31	0,442	0,700	0,258	0,085	0,0059	63,14

Çizelge 5.4 Kurutma havası sıcaklığın $35,6^{\circ}C$, hızının 5 m/s olduğu fasulye deney şartları için analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{ko\zeta}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	($^{\circ}C$)	($kJ s^{-1}$)	(%)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	(%)
T = 35,6 $^{\circ}C$ - 5 m/s									
0	14,98	2,67	34,36	0,129	0,233	0,104	0,026	0,0020	55,43
5	14,98	2,71	34,81	0,129	0,234	0,105	0,026	0,0021	55,10
10	14,98	2,93	37,35	0,127	0,238	0,112	0,026	0,0021	53,15
15	14,98	3,04	38,63	0,124	0,239	0,114	0,025	0,0021	52,14
20	14,98	3,04	38,69	0,124	0,238	0,114	0,025	0,0021	52,08
25	14,98	3,20	40,35	0,124	0,243	0,119	0,025	0,0021	50,89
30	14,98	3,25	40,83	0,124	0,245	0,121	0,025	0,0021	50,55
35	14,98	3,31	41,51	0,123	0,245	0,123	0,025	0,0022	50,04
40	14,98	3,33	41,72	0,122	0,245	0,123	0,025	0,0021	49,87
45	14,98	3,45	43,01	0,122	0,248	0,127	0,025	0,0022	48,94
50	14,98	3,40	42,17	0,124	0,250	0,126	0,025	0,0022	49,61
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5395	14,98	2,76	31,34	0,176	0,297	0,121	0,028	0,0026	59,22
5400	14,98	2,70	30,72	0,177	0,296	0,119	0,028	0,0026	59,73
5405	14,98	2,78	31,58	0,176	0,297	0,122	0,028	0,0026	40,97

Çizelge 5.5 Kurutma havası sıcaklığın $47,1^{\circ}C$, hızının 6,2 m/s olduğu fasulye deney şartları için analiz sonuçları.

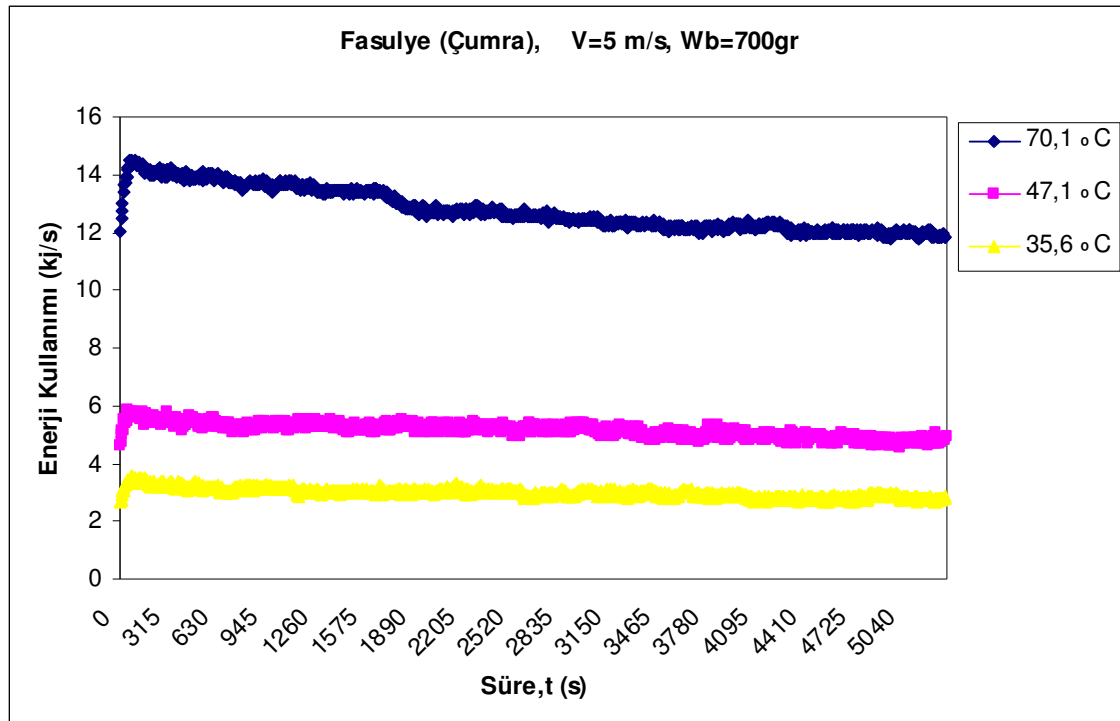
t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{ko\zeta}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	($^{\circ}C$)	($kJ s^{-1}$)	(%)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	(%)
T = 47,1 $^{\circ}C$ - 5 m/s									
0	16,4	5,58	36,86	0,439	0,684	0,245	0,106	0,0050	64,21
5	16,4	5,95	39,21	0,428	0,689	0,260	0,105	0,0050	62,19
10	16,4	5,97	39,43	0,424	0,685	0,260	0,105	0,0050	62,00
15	16,4	6,28	41,48	0,413	0,686	0,273	0,104	0,0050	60,26
20	16,4	6,27	41,35	0,415	0,688	0,273	0,104	0,0050	60,37
25	16,4	6,26	41,29	0,414	0,686	0,272	0,104	0,0050	60,42
30	16,4	6,61	43,29	0,409	0,697	0,288	0,104	0,0051	58,75
35	16,4	6,54	43,03	0,408	0,692	0,284	0,104	0,0051	58,97
40	16,4	6,59	43,36	0,405	0,691	0,286	0,103	0,0051	58,69
45	16,4	6,50	42,72	0,409	0,692	0,282	0,104	0,0051	59,22
50	16,4	6,55	43,07	0,408	0,692	0,284	0,104	0,0051	58,93
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5346	16,4	5,72	35,74	0,497	0,763	0,265	0,111	0,0056	65,23
5351	16,4	5,82	36,32	0,496	0,766	0,270	0,110	0,0056	64,73
5356	16,4	5,72	35,85	0,495	0,760	0,265	0,110	0,0056	65,13

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi enerji kullanım oranının değişimi aynı kurutma havası sıcaklığında hızlar artsa bile birbirine yakın değerler vermektedir. Deney zamanı içerisinde 315. saniyeye kadar artışın nedeni ısı ve kütle transferinden ötürü çıkıştaki sıcaklıkların azalmasıdır.

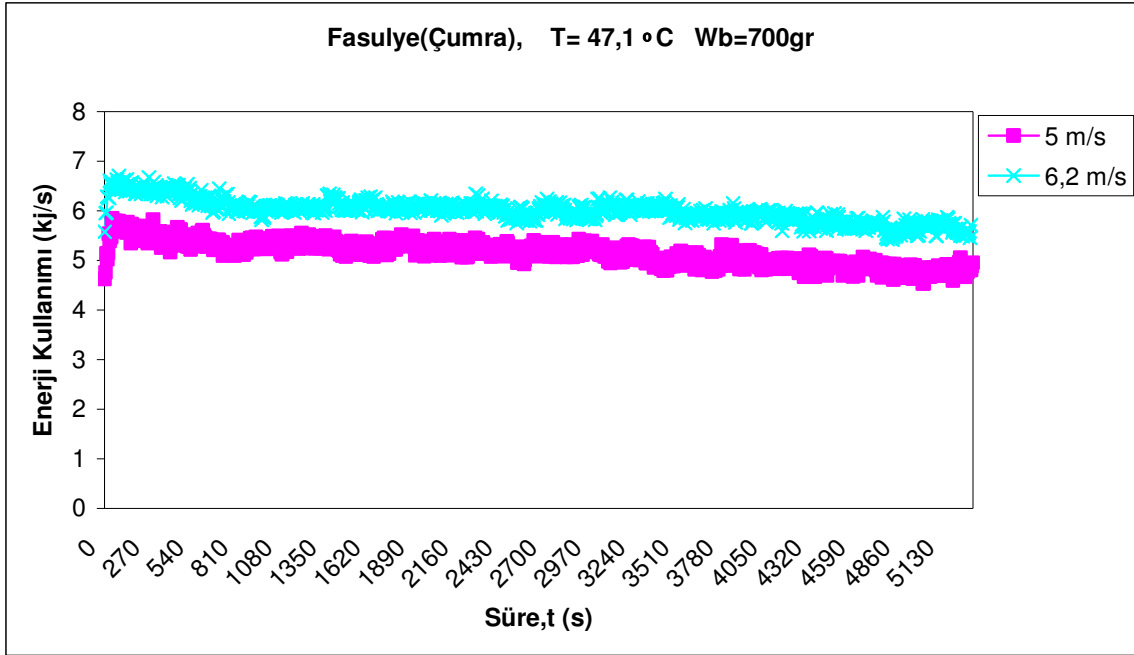
Şekil 5.5'de görüldüğü gibi ekserji veriminin sıcaklıklar arttıkça yükseldiği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, sıcaklığın artmasıyla Ex_{buh} değerinin artmasının verimi pozitif yönde etkilemesidir.

Şekil 5.6'da ekserji veriminin kurutma havasının hızı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Fakat kurutma havasındaki değişimin ekserji verimine çok fazla etki etmediği elde edilmiştir.

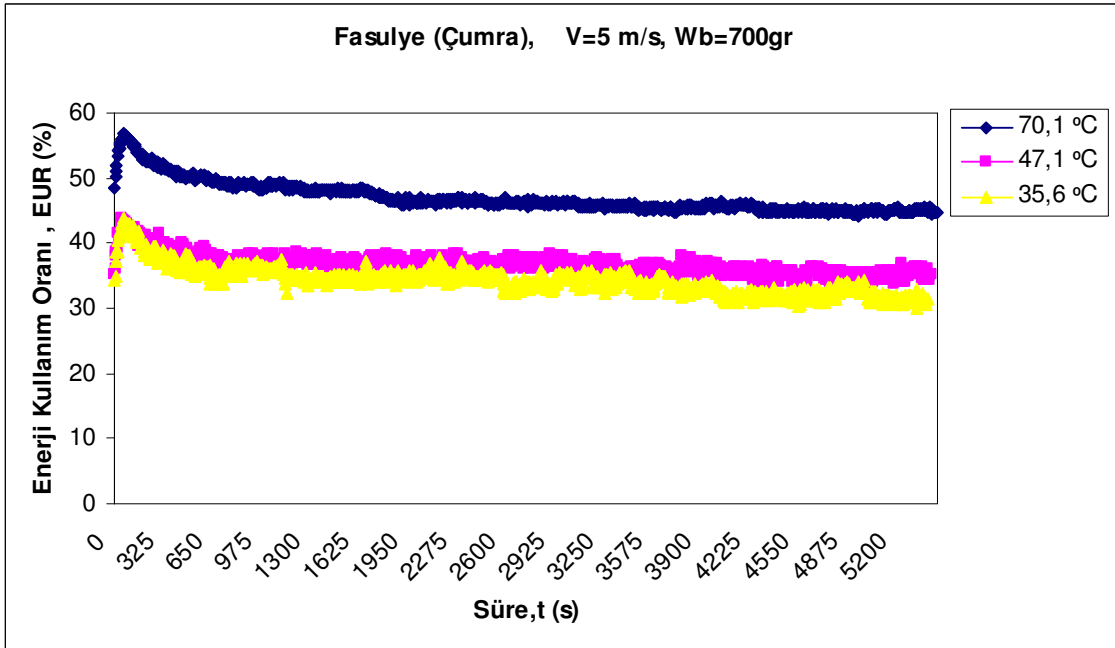
Şekil 5.7'de görüleceği gibi ekserji yok olumu (tersinmezlik) değerinin kurutma havası sıcaklıkları arttıkça yükseldiği belirlenmiştir. Sıcaklıkların artması ekserji yok olumuna sebep olan kütle transferi, ısı transferi, malzemeye transfer olan enerji, sürtünmeler vb. gibi faktörlerinde arttığı belirlenmiştir.



Şekil 5.1 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.

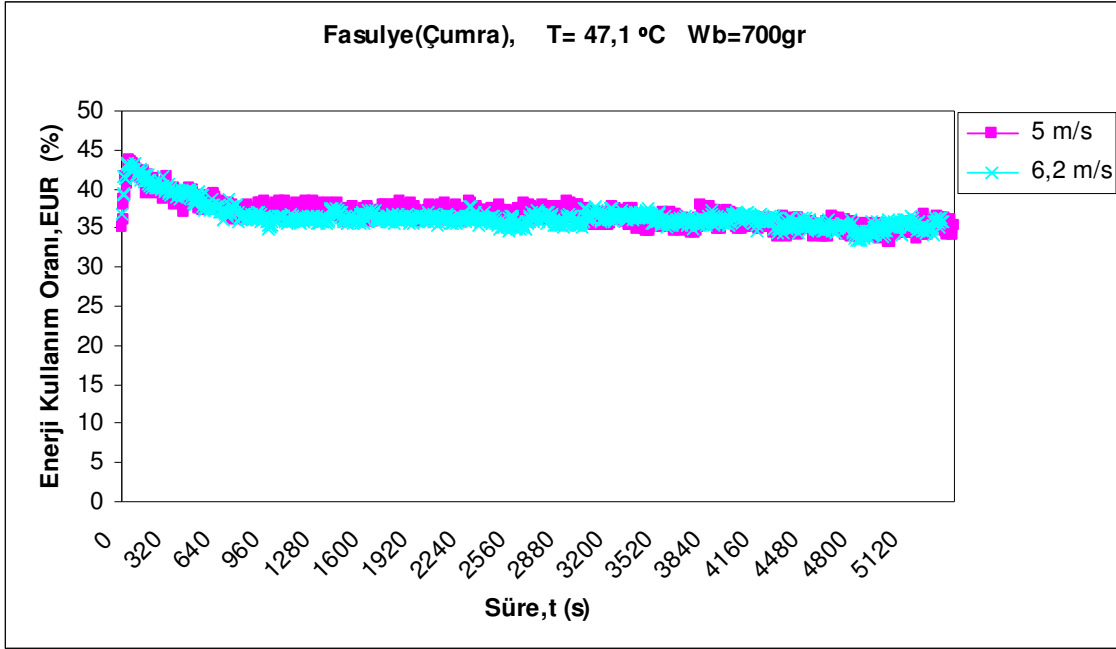


Şekil 5.2 Kurutma havası sıcaklığının 47,1 °C olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.

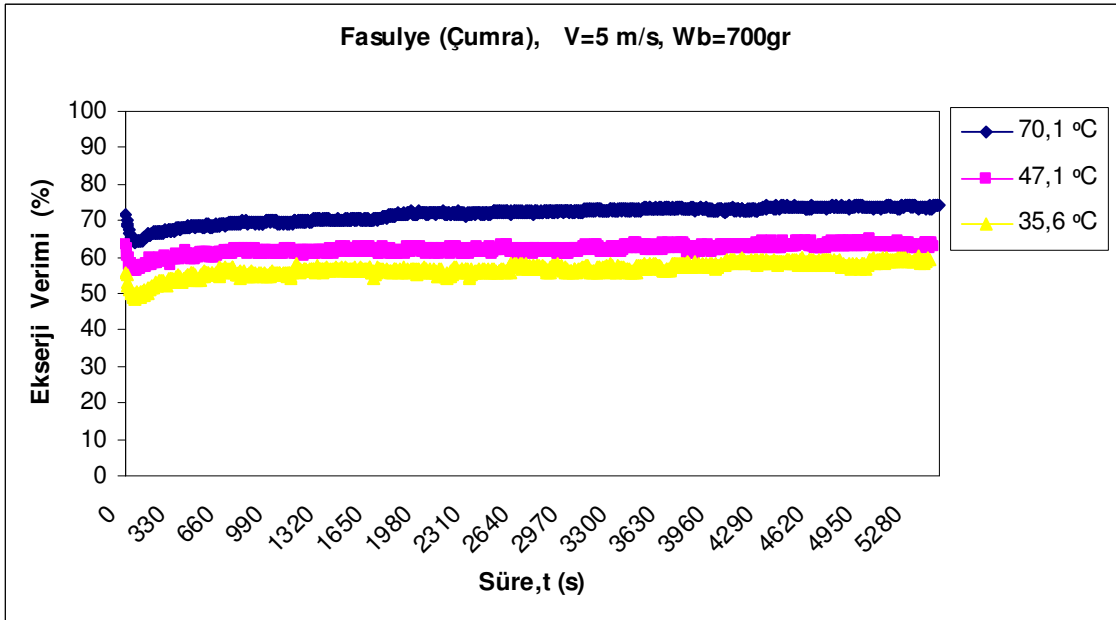


Şekil 5.3 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 5.8’de görüleceği gibi ekserji yok olumu(tersinmezlik) değerinin kurutma havası hızı arttıkça fazla bir değişim göstermediği belirlenmiştir.

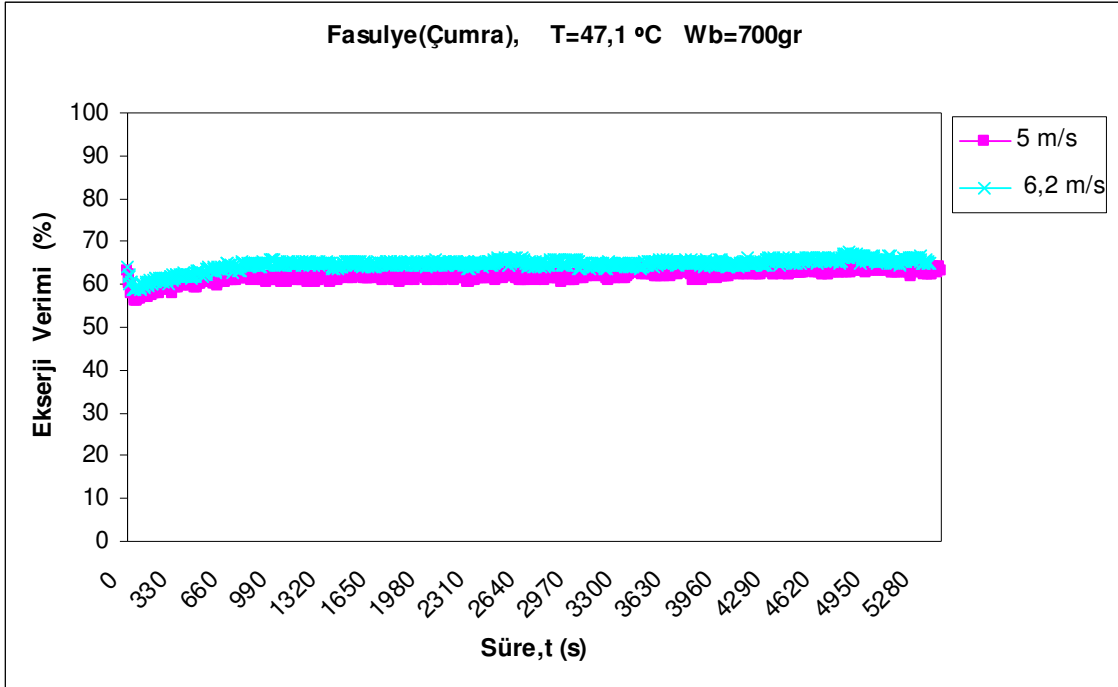


Şekil 5.4 Kurutma havası sıcaklığının 47,1 °C olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.

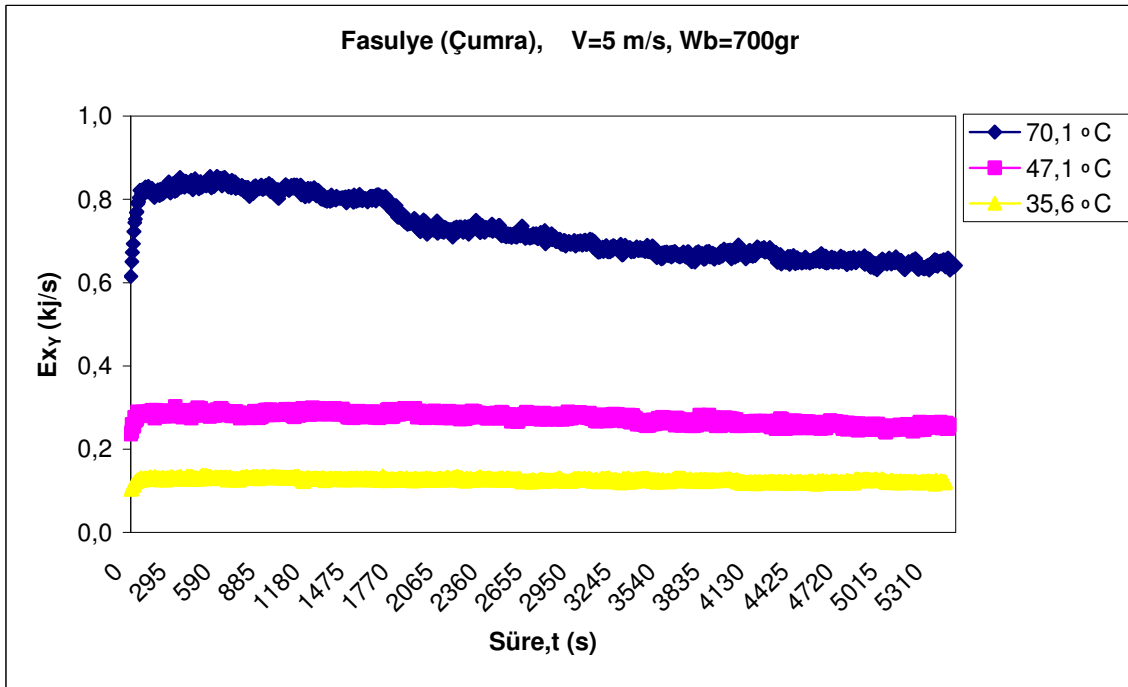


Şekil 5.5 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.

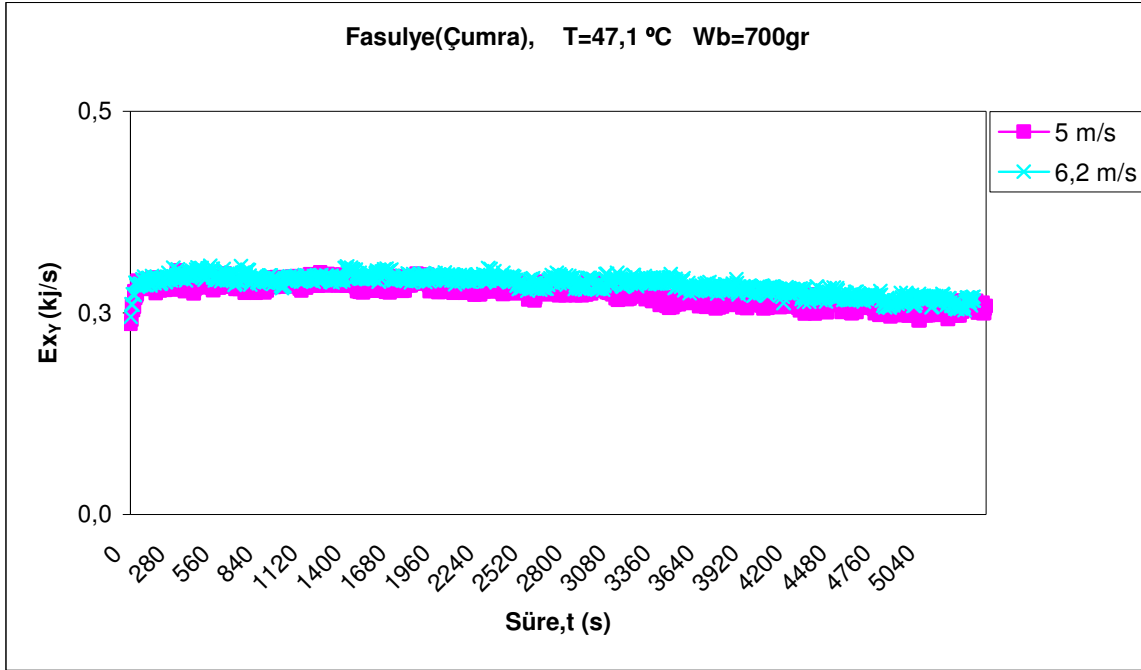
Şekil 5.9 ve 5.10’da görüleceği gibi, buharlaşmaya harcanan ekserji kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.6 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}\text{C}$ olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



Şekil 5.7 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için ekserji yok olumu (tersinmezliğin) ($\dot{E}_{x_y}$) zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



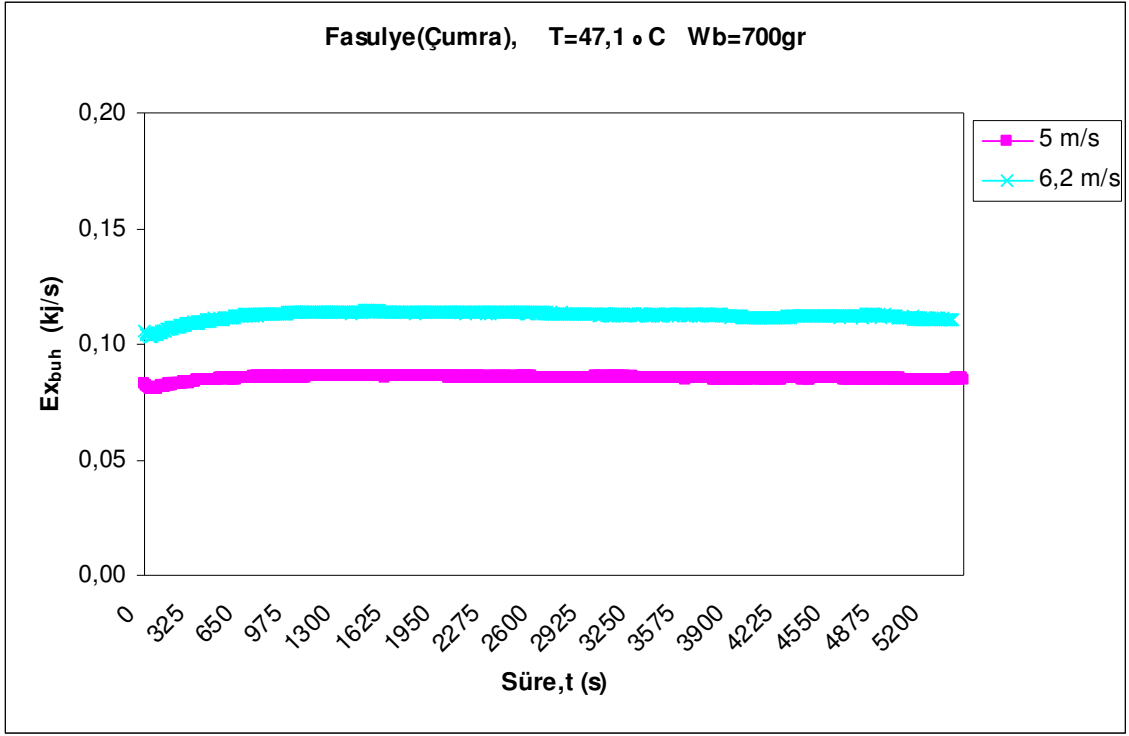
Şekil 5.8 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için ekserji yok olumu (tersinmezliğin) ($\dot{E}_{x_y}$) zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.

Şekil 5.10 ve 5.11 incelendiğinde, çevre ortama olan ısı kaybının neden olduğu ekserji kaybının kurutma havası sıcaklığı arttıkça yükseldiği fakat kurutma havası hızı arttıkça pek fazla değişim göstermediği belirlenmiştir.

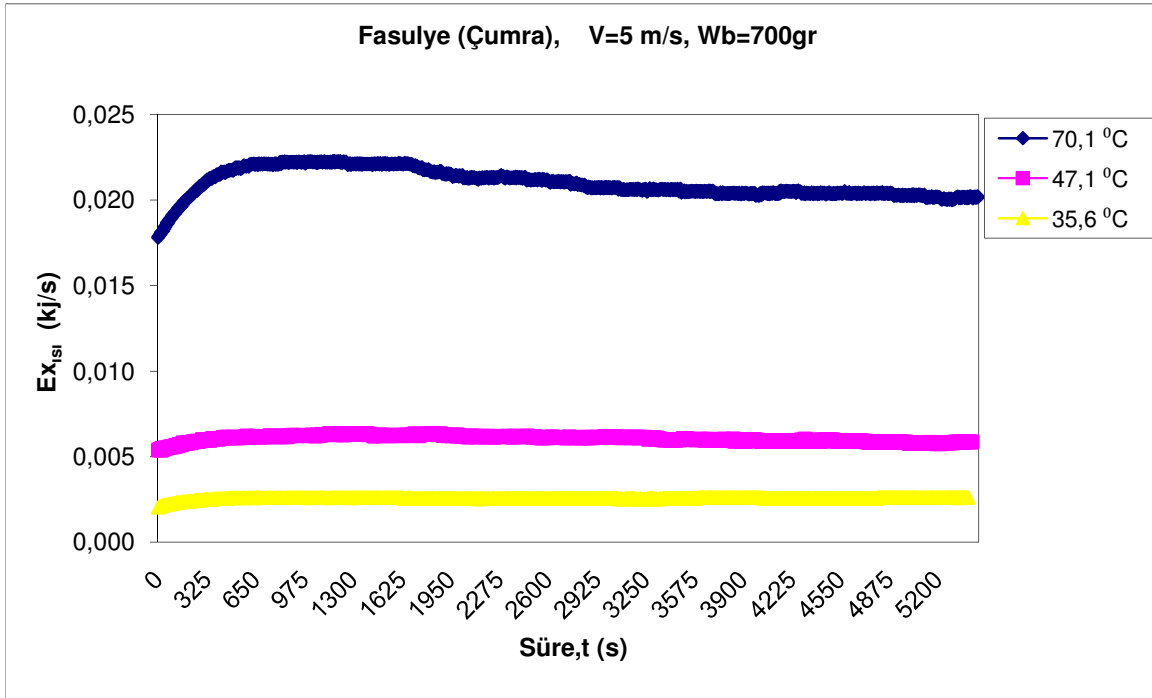
Şekil 5.12’de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla fasulye nemindeki değişimin daha fazla olduğu yani, kurutmanın hızlandığı gözlenmektedir.

Şekil 5.13’de ise yapılan analizlerde kurutma havası hızındaki değişimin kurutmayı pek fazla etkilemediği görülmüştür. Her iki kurutma havası hızının (5-6,2 m/s) fasulye nemine etkisini gösteren grafik eğrileri birbirlerine çok yakın değerler göstermiştir.

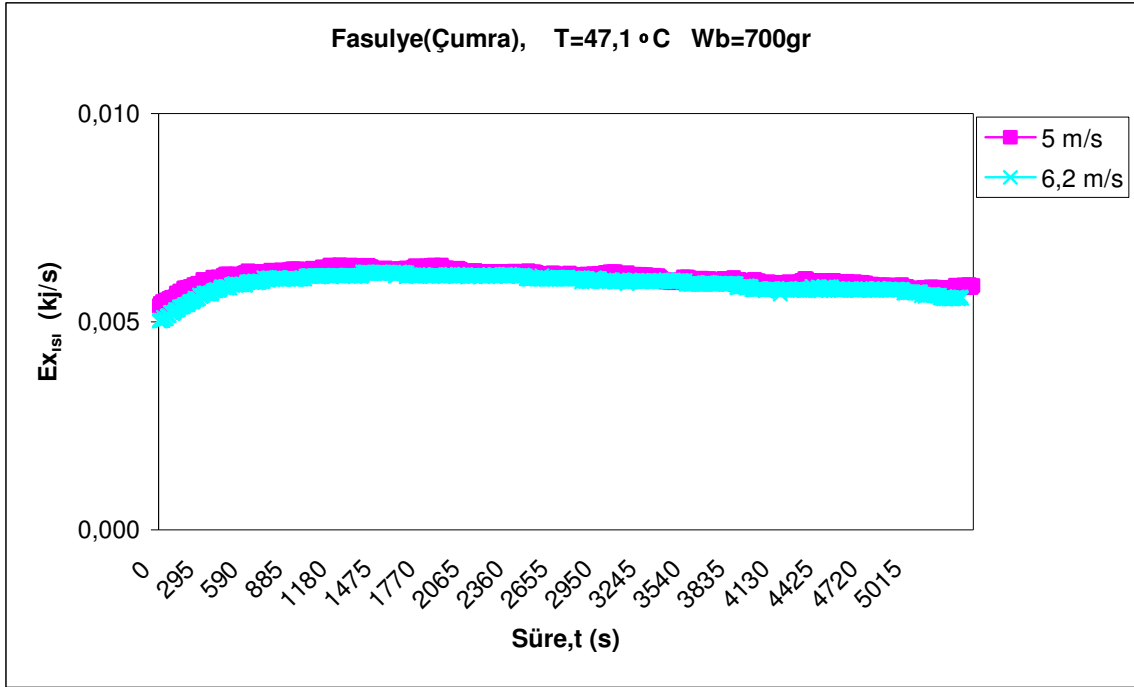
Kurutma odası girişindeki havanın ekserjisinin $0,638 - 0,759 \text{ kJs}^{-1}$ değerleri arasında, çıkışında ise $0,368 - 0,467 \text{ kJs}^{-1}$ değerleri arasında değiştiği belirlenmiş ve aşağıdaki Şekil 5.14’ de şematik gösterilmiştir. Aynı zamanda ekserji yok olumu (tersinmezlik) değerinin de ısı transferinden, kütle transferinden ve diğer kayıplardan (sürtünme, materyale geçen enerji, materyalin hareketi vb.) yüzde olarak değerini aynı şekilde görebilmekteyiz.



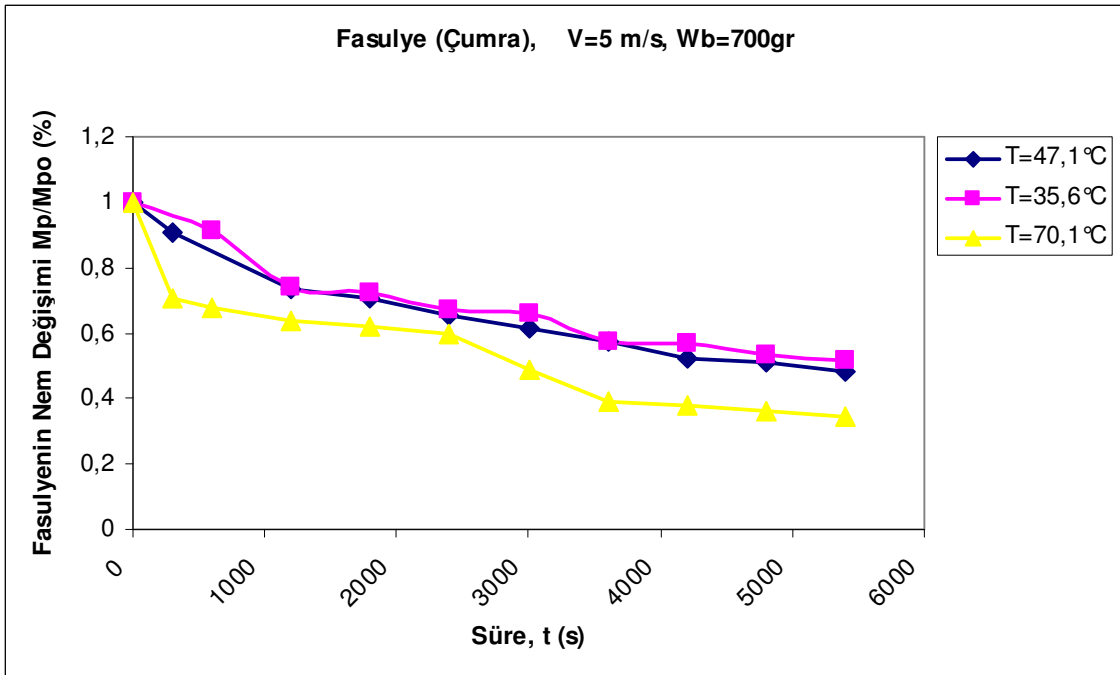
Şekil 5.9 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}\text{C}$ olduğu deney şartları için buharlaşan nemin kütle transferinden kaynaklanan ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



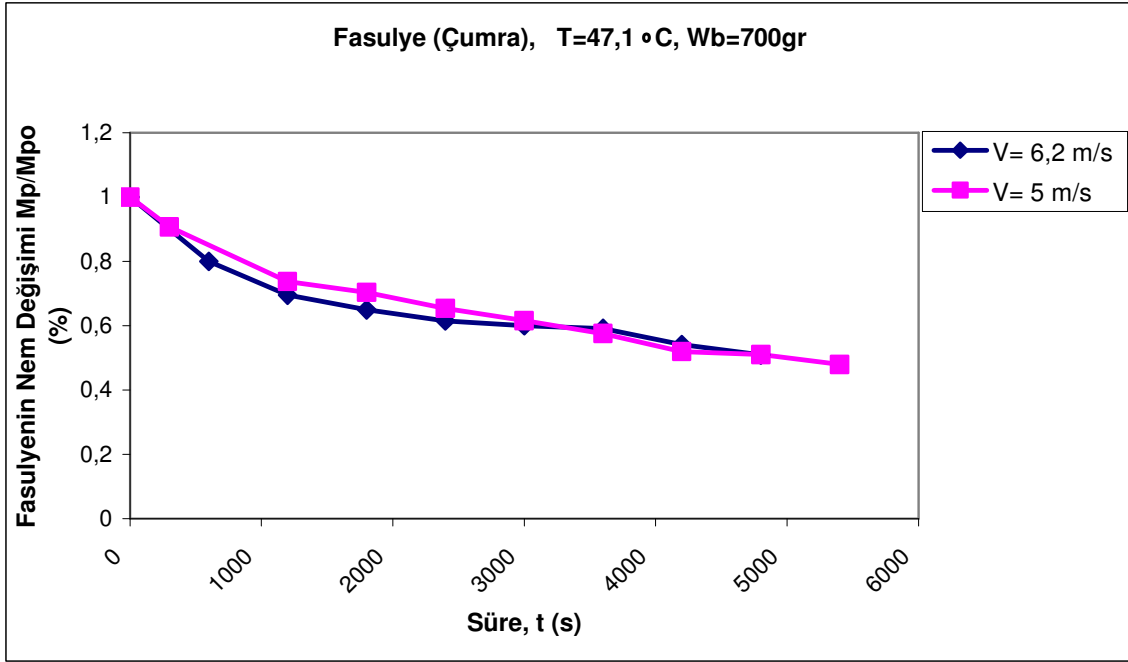
Şekil 5.10 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 5.11 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}\text{C}$ olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



Şekil 5.12 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için fasulye nemindeki değişimin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



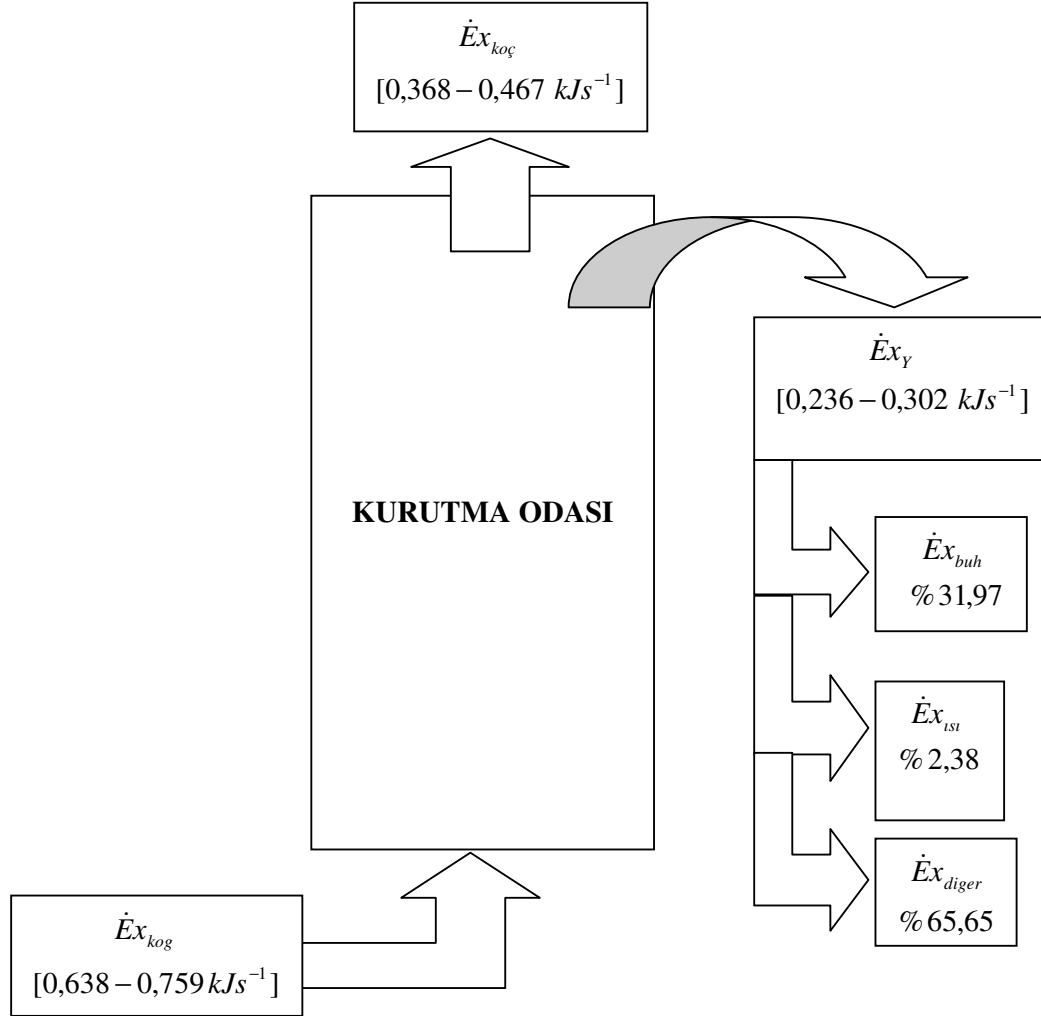
Şekil 5.13 Kurutma havası sıcaklığının 47,1 °C olduğu deney şartları için fasulye nemindeki değişimin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.

Çizelge 5.7’de kurutma havası sıcaklığın 60,1 °C hızının 5,4 m/s olduğu nohut şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %62-65, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,400-0,497 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) 1,257-1,434 ($kJ s^{-1}$), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) 0,857-0,937 ($kJ s^{-1}$) değerleri arasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.8’de kurutma havası sıcaklığın 47,1 °C, hızının 5,4 m/s olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %55-58, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,233-0,279 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) 0,600-0,656 ($kJ s^{-1}$), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) 0,367-0,376 ($kJ s^{-1}$) değerleri arasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.9’da kurutma havası sıcaklığın 36,1 °C, hızının 5,4 m/s olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %56-60, ekserji yok olumunun (Ex_y) 0,127-0,131 ($kJ s^{-1}$), sisteme sağlanan

ekserjinin ($\dot{Ex}_{kog}$) 0,298-0,330 (kJ s^{-1}), kurutma odası çıkış ekserjisinin ($\dot{Ex}_{koç}$) 0,171-0,199 (kJ s^{-1}) değerleri arasında elde edilmiştir.



Şekil 5.14 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^{\circ}\text{C}$ hızının 5 m/s fasulye deney şartları için kurutma odası ekserji dengesinin şematik gösterimi.

5.2 NOHUT İÇİN ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Akışkan yatakta kurutma prosesinde; ortam sıcaklığının $13,2 - 15^{\circ}\text{C}$ arasında, hava çıkış sıcaklığının $36,1 - 60,1^{\circ}\text{C}$ arasında, $5,4 - 6,3$ m/s arasındaki hava giriş hızı ve 700 gr sabit miktardaki nohut için deney şartları aşağıdaki Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6’da görüldüğü gibi nohut için yapılan deney şartlarının kurutma havası sıcaklığı $36,1 - 60,1 \text{ } ^\circ C$, çevre ortam sıcaklığı $13,2 - 15 \text{ } ^\circ C$ ve hava giriş hızı $5,4 - 6,3 \text{ m/s}$ arasında verilmektedir.

Çizelge 5.6 Nohut için deney planı.

Deney No	Nohut Türü	Ortam Sıcaklığı ($^\circ C$)	Hava Çıkış Sıcaklığı ($^\circ C$)	Hava Giriş Hızı (m/s)	Nohut Miktarı (gr)
1	Nevşehir	15	60.1	5.4	700
2	Nevşehir	15.3	47.1	5.4	700
3	Nevşehir	13.2	36.1	5.4	700
4	Nevşehir	13.3	60.1	6.3	700

Çizelge 5.10’da kurutma havası sıcaklığın $60,1 \text{ } ^\circ C$, hızının $6,3 \text{ m/s}$ olduğu fasulye deney şartları için yapılan hesaplamaların sonuçlarına ulaşılmaktadır. Analiz sonuçlarında ekserji veriminin (η_{Ex}) %61-65, ekserji yok olumunun (Ex_y) $0,533-0,662 \text{ (kJ s}^{-1}\text{)}$, sisteme sağlanan ekserjinin (Ex_{kog}) $1,579-1,869 \text{ (kJ s}^{-1}\text{)}$, kurutma odası çıkış ekserjisinin ($Ex_{koç}$) $1,046-1,206 \text{ (kJ s}^{-1}\text{)}$ değerleri arasında elde edilmiştir.

Şekil 5.15’de görüldüğü gibi enerji kullanımının sıcaklıklar arttıkça yükseldiği gözlenmektedir. Her üç durumda da dış ortam sıcaklığı birbirine yakın olmasına rağmen kurutma havası giriş sıcaklığı arttıkça enerji kullanımlarında artış görülmektedir. Ayrıca enerji kullanımı deney zamanı içersinde 310. saniyeye kadar daha sonrasında düşüş göstererek durağan bir şekilde ilerlemektedir. Bunun nedeni, kurutma odasında kurutmanın ilk safhalarında materyal ile kurutma havası arasındaki ısı ve kütle transferinden ötürü, sıcaklıkların çıkışta azalması, daha sonrasında bu sıcaklıkların birbirine yaklaşmasıdır.

Şekil 5.16’da görüldüğü gibi enerji kullanımının aynı kurutma havası sıcaklığında hava hızı arttıkça yükseldiği gözlenmiştir. Deney zamanı içersinde 305. saniyeye kadar artışın nedeni ısı ve kütle transferinden ötürü çıkıştaki sıcaklıkların azalmasıdır. Sıcaklıklar birbirine yakın değerlere ulaştıkça da grafik durağan bir eğilim göstermiştir

Çizelge 5.7 Kurutma havası sıcaklığının 60,1 °C hızının 5,4 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{koç}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	(°C)	(kJ s ⁻¹)	(%)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(%)
T = 60.1 °C - 5.4 m/s									
0	15	6,21	32,76	0,857	1,257	0,400	0,258	0,0103	68,16
5	15	6,76	35,48	0,835	1,270	0,435	0,256	0,0104	65,78
10	15	7,25	38,04	0,809	1,273	0,464	0,253	0,0104	63,57
15	15	7,59	39,77	0,792	1,276	0,484	0,251	0,0105	62,09
20	15	7,93	41,50	0,775	1,277	0,503	0,249	0,0105	60,64
25	15	8,30	43,24	0,763	1,289	0,526	0,248	0,0106	59,19
30	15	8,61	44,78	0,749	1,293	0,544	0,246	0,0106	57,92
35	15	8,93	46,41	0,734	1,297	0,563	0,245	0,0106	56,59
40	15	9,07	47,02	0,730	1,300	0,571	0,244	0,0107	56,10
45	15	9,30	48,06	0,723	1,309	0,586	0,243	0,0107	55,26
50	15	9,43	48,61	0,721	1,314	0,594	0,243	0,0108	54,83
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5430	15	7,25	35,71	0,941	1,433	0,492	0,267	0,0117	65,64
5435	15	7,39	36,37	0,936	1,438	0,502	0,267	0,0118	65,08
5440	15	7,32	36,07	0,937	1,434	0,497	0,267	0,0117	65,33

Çizelge 5.8 Kurutma havası sıcaklığının 47,1 °C hızının 5,4 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{koç}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	(°C)	(kJ s ⁻¹)	(%)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(kJ s ⁻¹)	(%)
T = 47.1 °C - 5.4 m/s									
0	15,3	4,41	34,13	0,367	0,600	0,233	0,094	0,0050	61,13
5	15,3	4,66	36,10	0,357	0,600	0,243	0,093	0,0050	59,47
10	15,3	4,83	37,55	0,346	0,595	0,248	0,092	0,0050	58,23
15	15,3	5,32	41,05	0,335	0,605	0,269	0,091	0,0051	55,42
20	15,3	5,34	41,40	0,329	0,598	0,268	0,091	0,0050	55,10
25	15,3	5,65	43,69	0,321	0,603	0,281	0,090	0,0051	53,29
30	15,3	5,96	45,95	0,312	0,605	0,293	0,089	0,0051	51,52
35	15,3	6,22	47,76	0,306	0,610	0,304	0,089	0,0051	50,14
40	15,3	6,28	48,46	0,300	0,605	0,305	0,088	0,0051	49,58
45	15,3	6,38	49,33	0,295	0,603	0,308	0,088	0,0051	48,90
50	15,3	6,48	49,87	0,294	0,607	0,313	0,087	0,0051	48,51
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5421	15,3	5,19	38,45	0,377	0,653	0,276	0,095	0,0055	57,78
5426	15,3	5,22	38,69	0,377	0,654	0,277	0,094	0,0055	57,59
5431	15,3	5,26	38,93	0,376	0,656	0,279	0,094	0,0055	57,40

Çizelge 5.9 Kurutma havası sıcaklığının $36,1^{\circ}C$ hızının 5,4 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{koç}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	($^{\circ}C$)	($kJ s^{-1}$)	(%)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	(%)
T = $36,1^{\circ}C$ - 5.4 m/s									
0	13,2	2,78	30,91	0,171	0,298	0,127	0,041	0,0026	57,45
5	13,2	2,92	32,44	0,169	0,300	0,131	0,041	0,0026	56,22
10	13,2	3,23	35,77	0,161	0,300	0,140	0,040	0,0026	53,54
15	13,2	3,37	37,36	0,157	0,300	0,143	0,040	0,0026	52,26
20	13,2	3,49	38,73	0,153	0,300	0,146	0,040	0,0026	51,18
25	13,2	3,76	41,39	0,150	0,305	0,155	0,039	0,0026	49,21
30	13,2	3,93	43,11	0,147	0,307	0,160	0,039	0,0026	47,95
35	13,2	4,07	44,74	0,143	0,306	0,163	0,039	0,0026	46,69
40	13,2	4,37	47,72	0,138	0,310	0,172	0,039	0,0027	44,56
45	13,2	4,53	49,11	0,137	0,314	0,177	0,038	0,0027	43,61
50	13,2	4,76	51,38	0,133	0,317	0,184	0,038	0,0027	42,03
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5411	13,2	2,73	28,75	0,199	0,332	0,133	0,042	0,0028	59,88
5416	13,2	2,70	28,46	0,199	0,331	0,132	0,042	0,0028	60,11
5421	13,2	2,67	28,17	0,199	0,330	0,131	0,042	0,0028	60,34

Çizelge 5.10 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ hızının 6,3 m/s olduğu nohut deney şartları için analiz sonuçları.

t	T_{∞}	E	EUR_{ko}	$Ex_{koç}$	Ex_{kog}	Ex_Y	Ex_{buh}	Ex_{isi}	η_{Ex}
(s)	($^{\circ}C$)	($kJ s^{-1}$)	(%)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	($kJ s^{-1}$)	(%)
T = $60,1^{\circ}C$ - 6.3 m/s									
0	13,3	8,18	34,94	1,046	1,579	0,533	0,481	0,0111	66,26
5	13,3	8,76	37,30	1,020	1,588	0,568	0,477	0,0112	64,22
10	13,3	9,04	38,46	1,006	1,592	0,585	0,475	0,0112	63,22
15	13,3	9,52	40,40	0,983	1,597	0,614	0,471	0,0113	61,57
20	13,3	9,99	42,32	0,962	1,604	0,642	0,467	0,0113	59,97
25	13,3	10,40	44,00	0,942	1,607	0,666	0,464	0,0113	58,58
30	13,3	10,48	44,25	0,941	1,612	0,671	0,464	0,0114	58,37
35	13,3	10,87	45,75	0,927	1,622	0,695	0,462	0,0114	57,14
40	13,3	11,11	46,74	0,916	1,625	0,709	0,460	0,0114	56,34
45	13,3	11,36	47,59	0,911	1,637	0,726	0,459	0,0115	55,66
50	13,3	11,42	47,90	0,906	1,635	0,729	0,458	0,0115	55,41
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5446	13,3	9,42	36,88	1,206	1,864	0,659	0,505	0,0131	64,67
5451	13,3	9,45	36,95	1,206	1,867	0,661	0,505	0,0131	64,61
5456	13,3	9,47	37,01	1,206	1,869	0,662	0,505	0,0132	64,56

Şekil 5.17 incelendiğinde, enerji kullanım oranının (EUR) kurutma havası sıcaklığına bağlı değişimi, enerji kullanımının (Şekil 5.14) değişimi ile aynı karakteri gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 5.18’de görüldüğü gibi enerji kullanım oranının değişimi aynı kurutma havası sıcaklığında hızlar artsa bile birbirine yakın değerler vermektedir. Deney zamanı içerisinde 305. saniyeye kadar artışın nedeni ısı ve kütle transferinden ötürü çıkıştaki sıcaklıkların azalmasıdır. Sıcaklıklar birbirine yakın değerlere ulaştıkça da grafik durağan bir eğilim göstermiştir.

Şekil 5.19’da görüldüğü gibi ekserji veriminin sıcaklıklar arttıkça yükseldiği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, sıcaklığın artmasıyla Ex_{buh} değerinin artmasının verimi pozitif yönde etkilemesidir. Ekserji veriminin kurutma havasının hızı ile doğru orantılı olarak değiştiği şekil 5.19’ da görülmektedir.

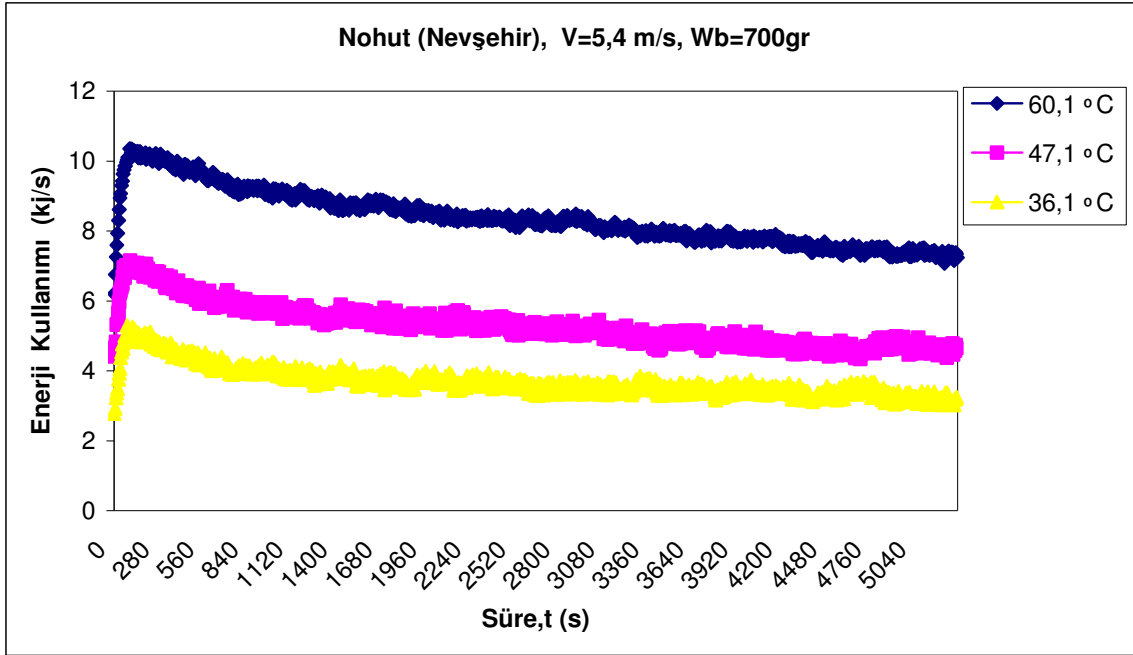
Şekil 5.20’de görüldüğü gibi ekserji verimi aynı sıcaklıkta farklı hızlarda bile birbirlerine çok yakın değerler göstermiştir. Buradaki azalmanın nedeni çıkış sıcaklıklarının başlarda azalması ve sonrasında giriş sıcaklıklarına yaklaşması üzerine böyle bir eğim göstermektedir.

Şekil 5.21 ve 5.22’de görüleceği gibi, buharlaşmaya harcanan ekserji kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça artış gösterdiği tespit edilmiştir.

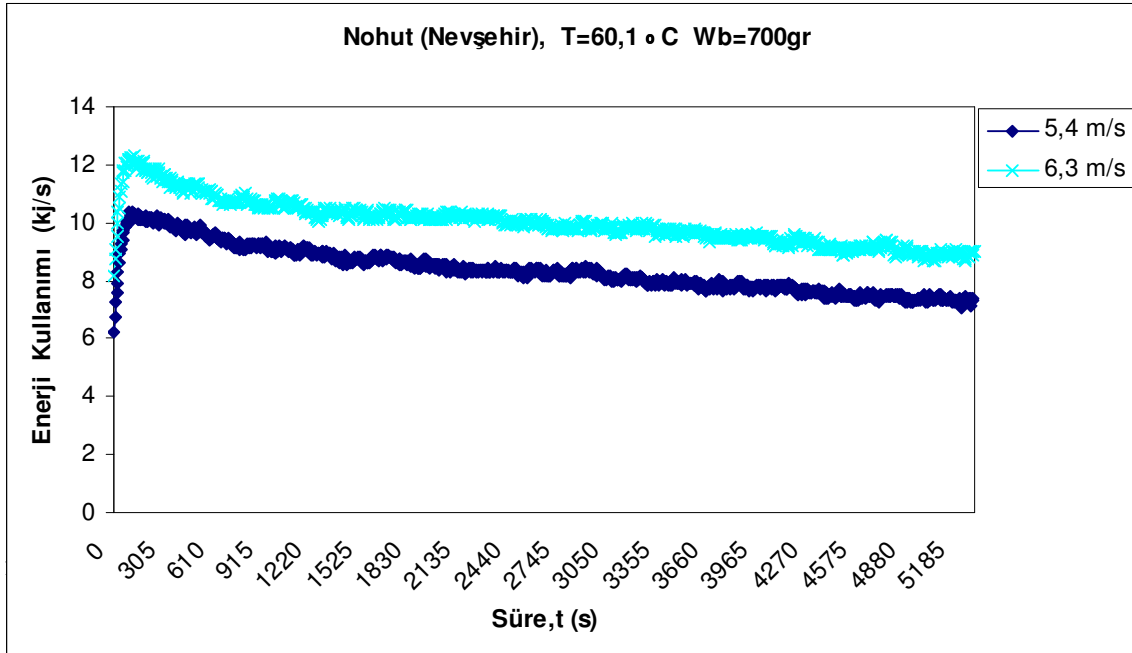
Şekil 5.23 ve 5.24 incelendiğinde, çevre ortama olan ısı kaybının neden olduğu ekserji kaybının kurutma havası sıcaklığı arttıkça yükseldiği fakat kurutma havası hızı arttıkça pek fazla değişim göstermediği belirlenmiştir.

Şekil 5.25’de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla nohudun nemindeki değişimin daha fazla olduğu yani, kurutmanın hızlandığı gözlenmektedir.

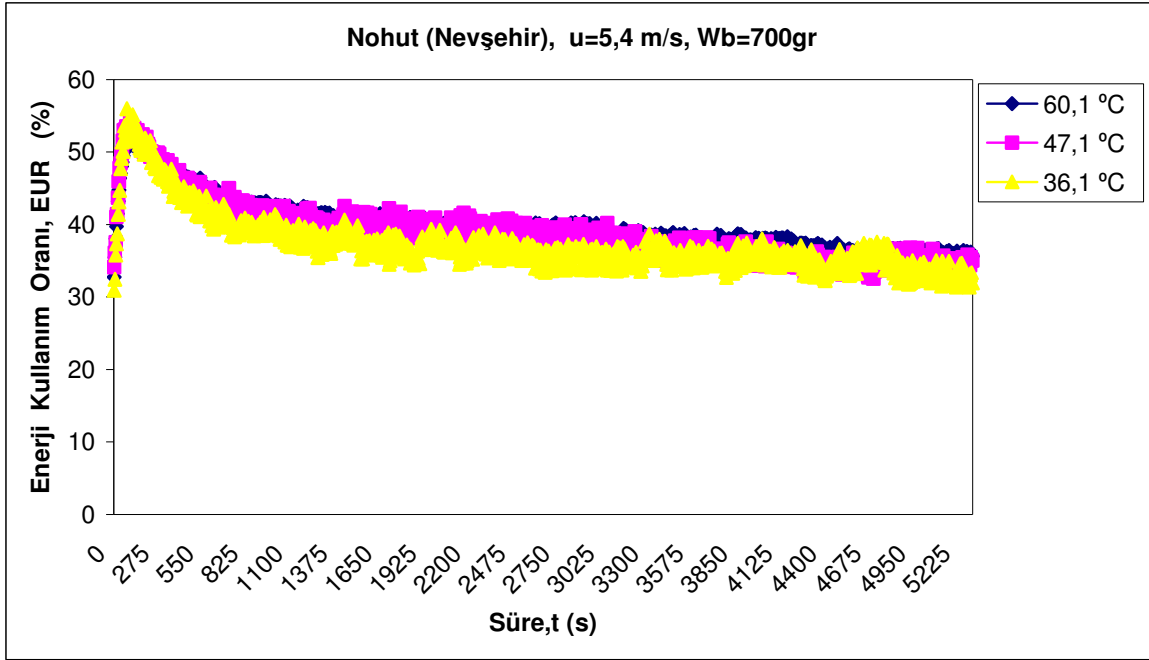
Şekil 5.26’da ise yapılan analizlerin sonucunda kurutma havası hızındaki değişimin kurutmayı pek fazla etkilemediği görülmüştür. Her iki kurutma havası hızının (5,4-6,3 m/s) nohut nemine etkisini gösteren grafik eğrileri birbirlerine çok yakın değerler göstermiştir.



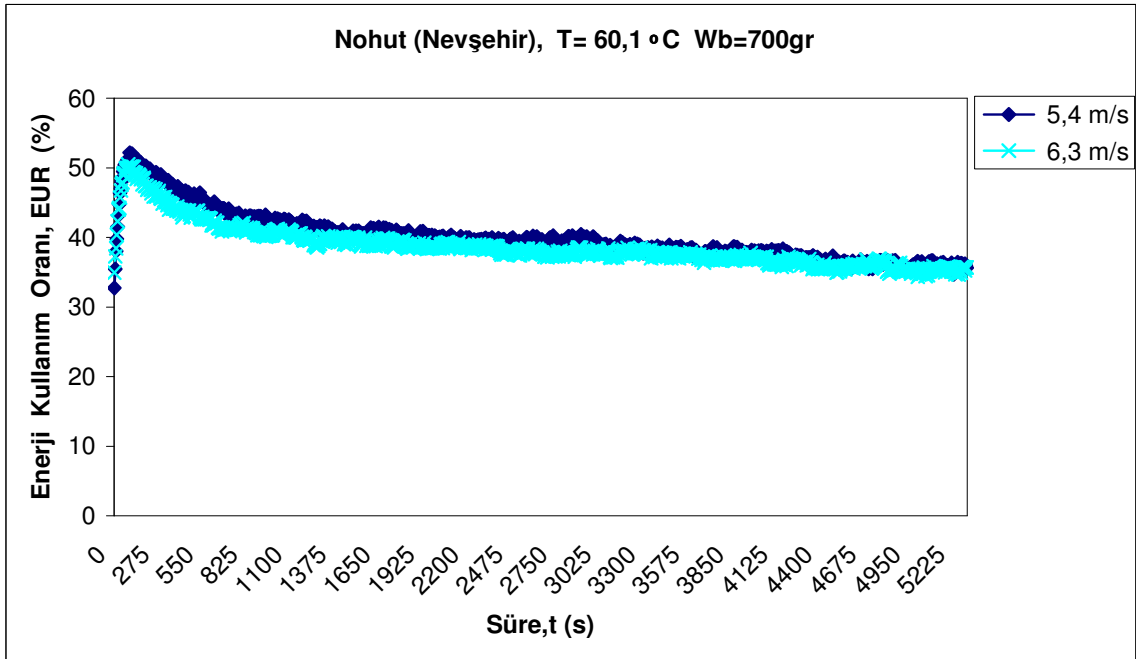
Şekil 5.15 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



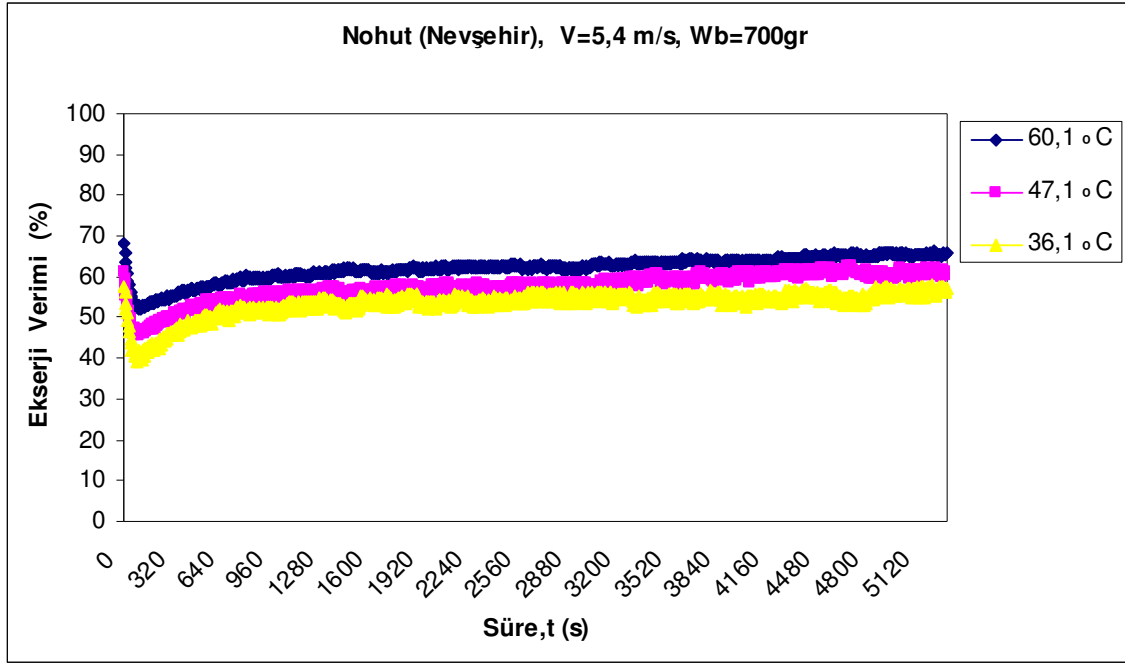
Şekil 5.16 Kurutma havası sıcaklığının 60,1 °C olduğu deney şartları için enerji kullanımının zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



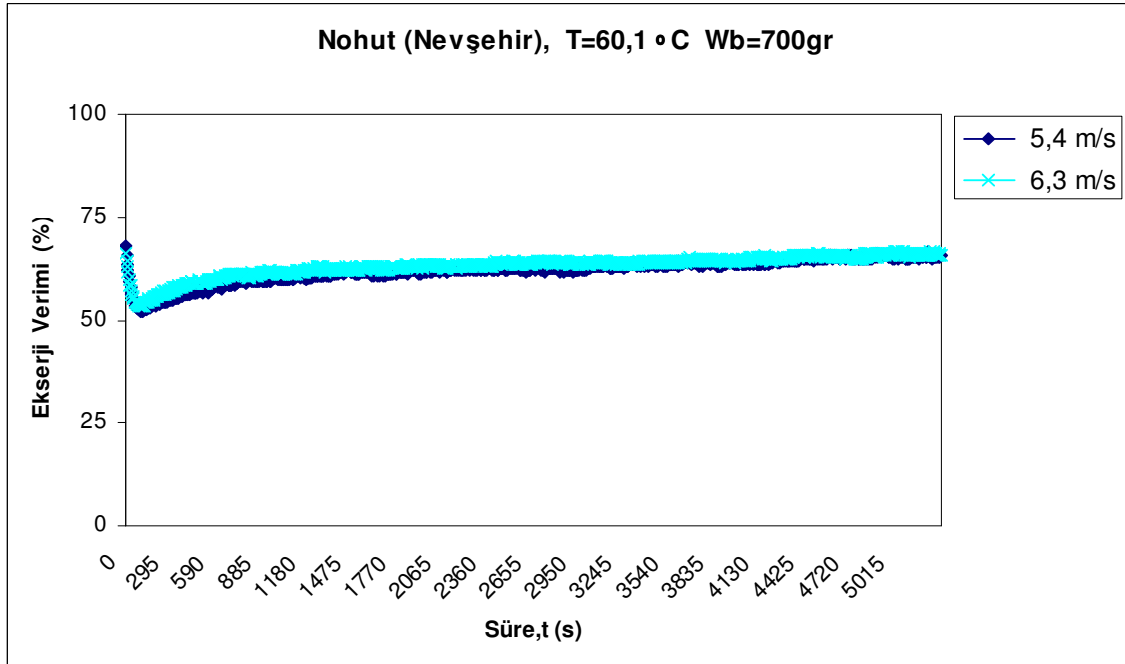
Şekil 5.17 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



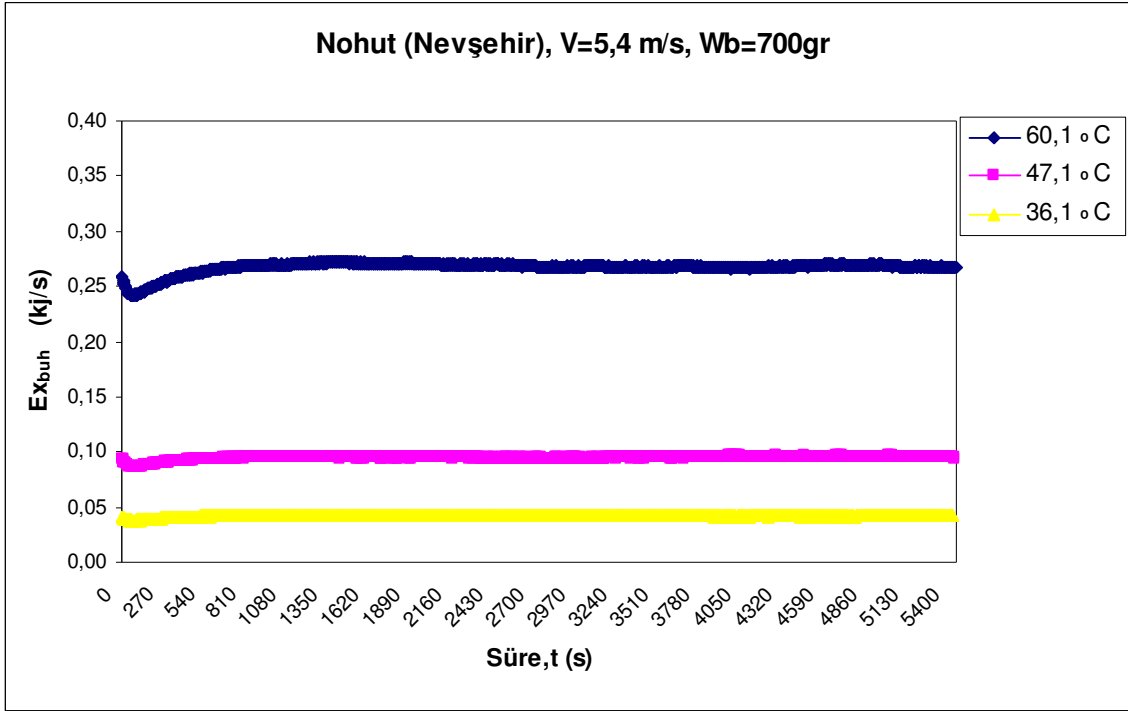
Şekil 5.18 Kurutma havası sıcaklığının 60,1 °C olduğu deney şartları için enerji kullanım oranının (EUR) zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



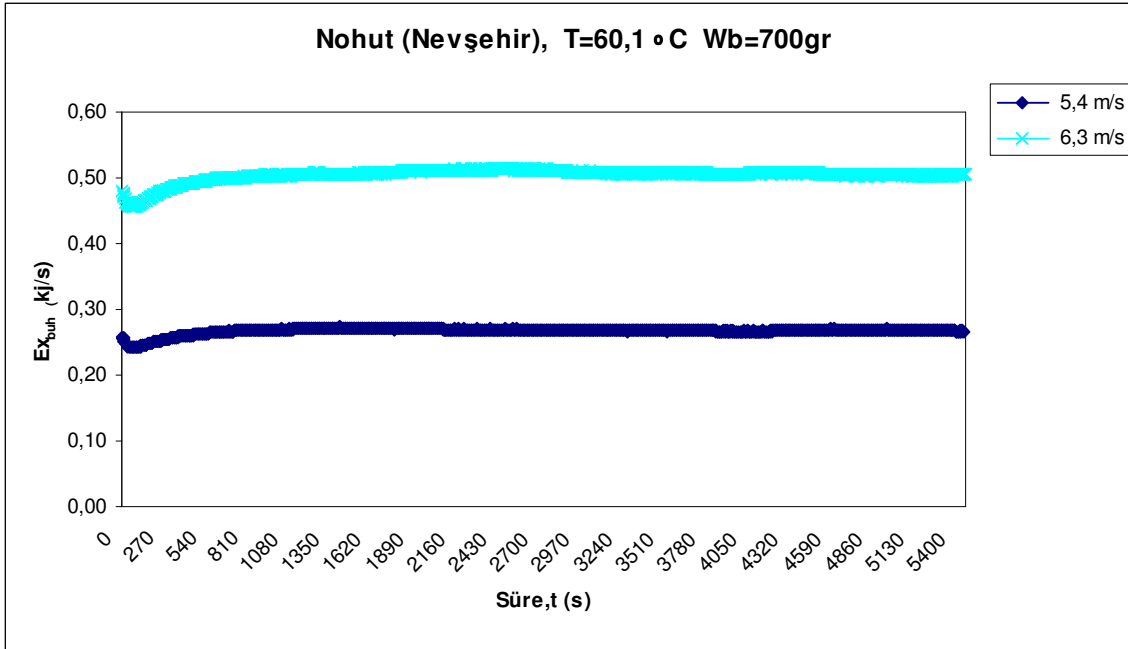
Şekil 5.19 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



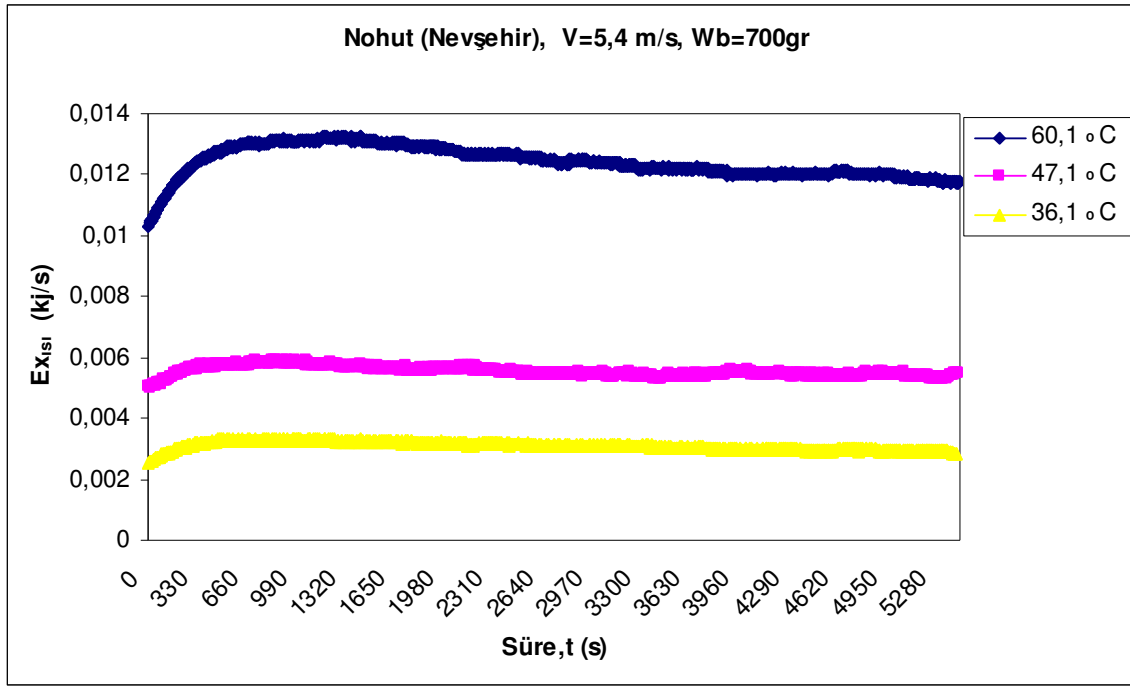
Şekil 5.20 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}\text{C}$ olduğu deney şartları için ekserji veriminin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



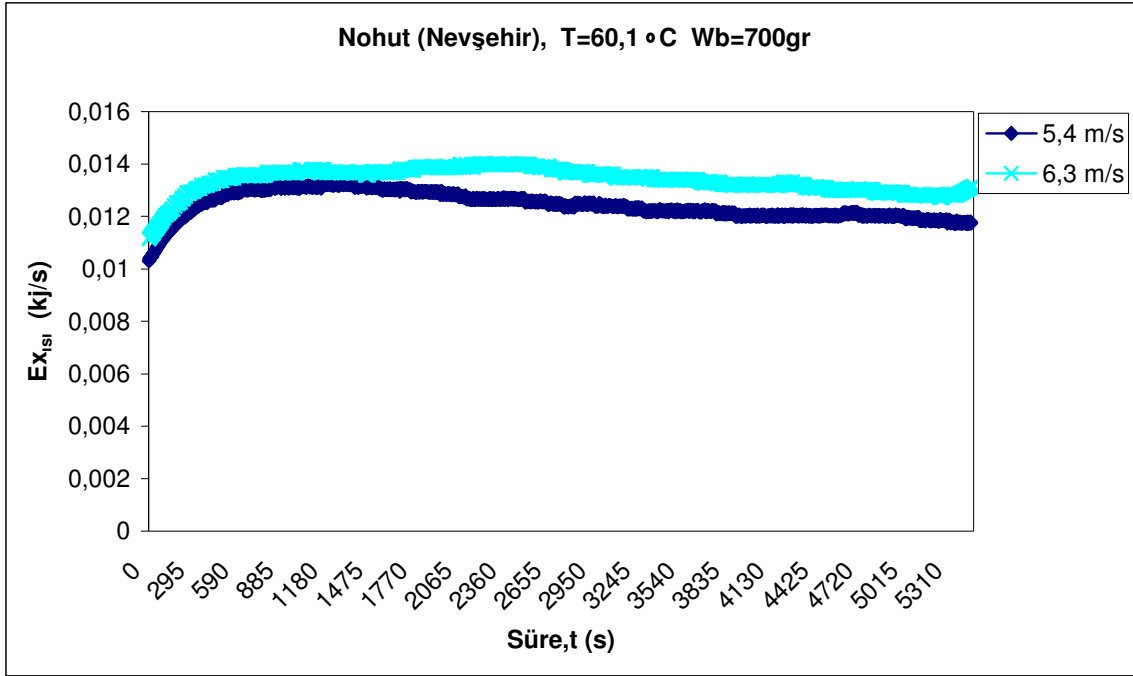
Şekil 5.21 Kurutma havası hızının $5,4\text{ m/s}$ olduğu deney şartları için buharlaşmadan kaynaklanan ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



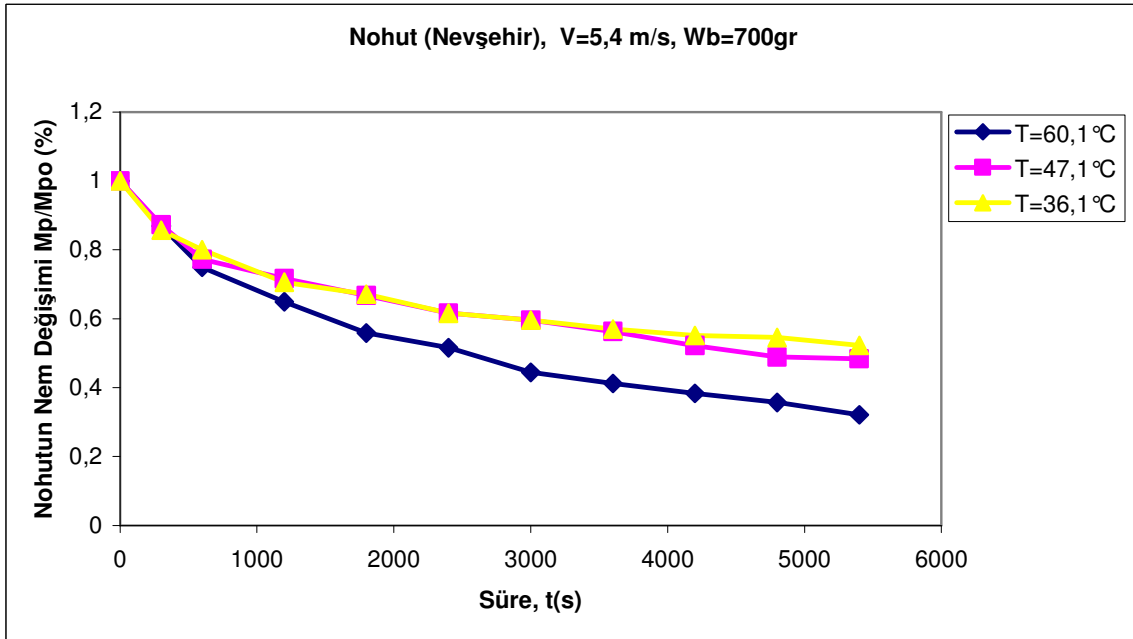
Şekil 5.22 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}C$ olduğu deney şartları için buharlaşmadan kaynaklanan ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.



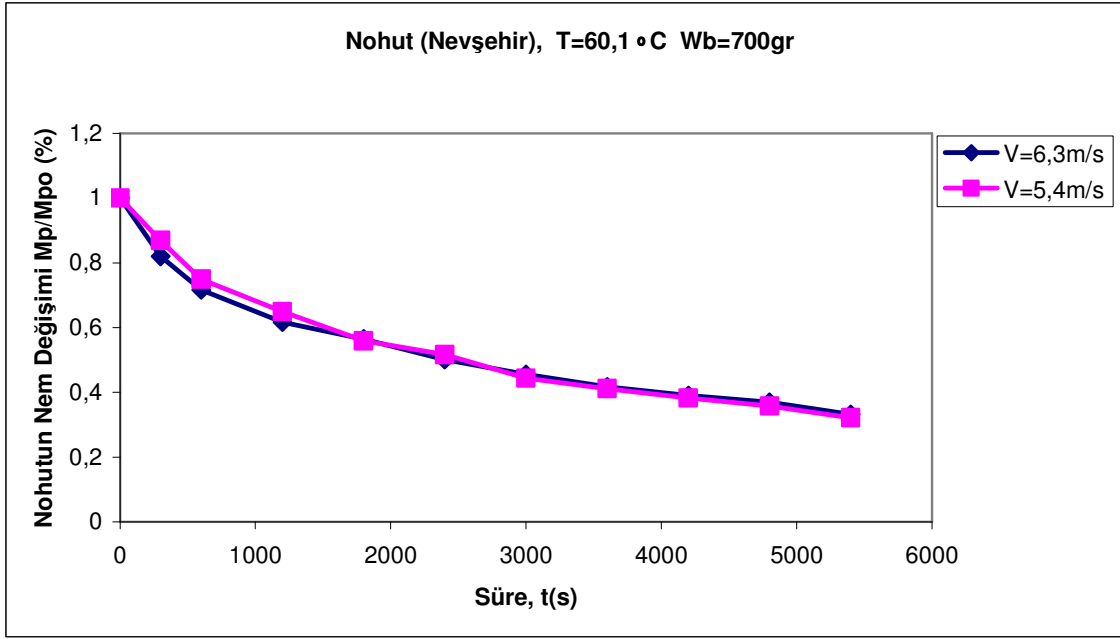
Şekil 5.23 Kurutma havası hızının 5,4 m/s olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 5.24 Kurutma havası sıcaklığının $60,1^{\circ}\text{C}$ olduğu deney şartları için çevreye ısı transferi sonucu kayıp ekserjinin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.

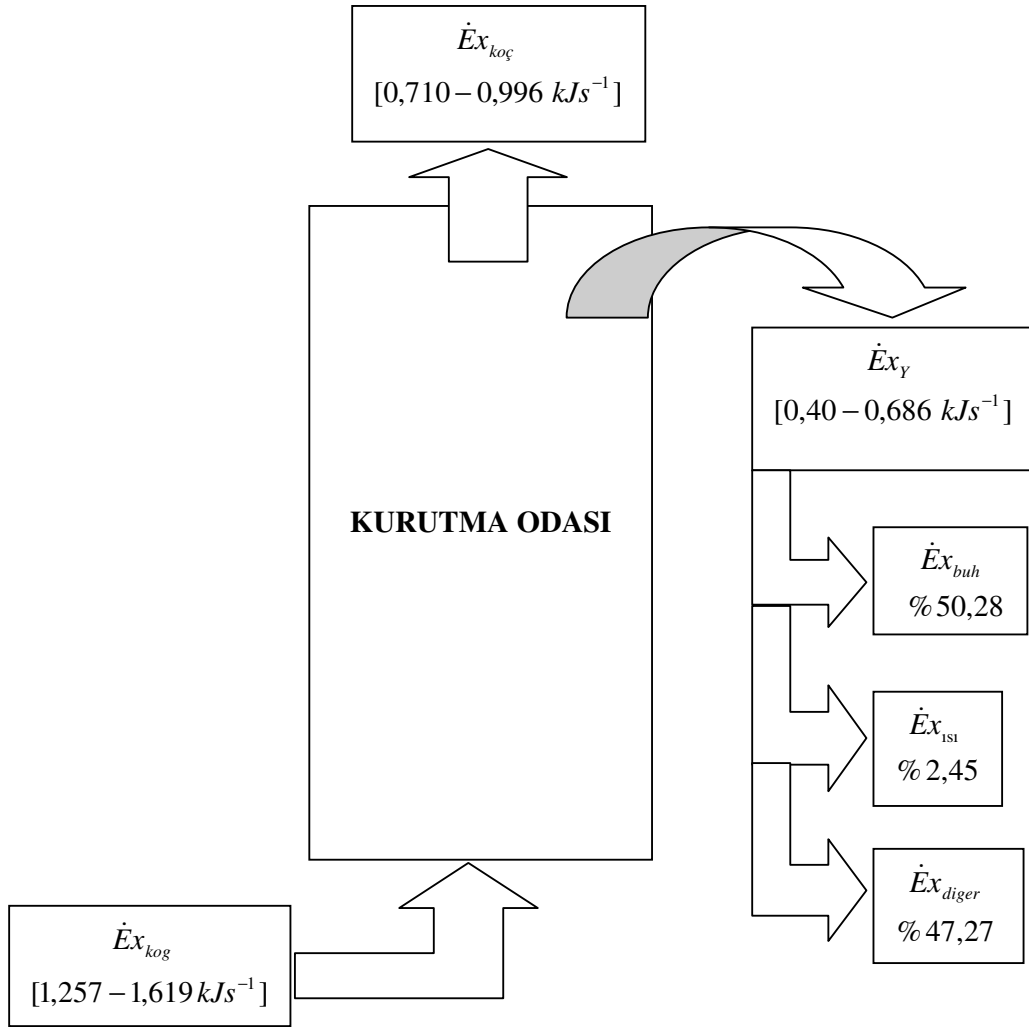


Şekil 5.25 Kurutma havası hızının 5 m/s olduğu deney şartları için nohut neminin zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 5.26 Kurutma havası sıcaklığının 60,1°C olduğu deney şartları için nohut neminin zamanın bir fonksiyonu olarak hıza bağlı değişimi.

Kurutma odası girişindeki havanın ekserjisinin 1,257 – 1,619 $kJ s^{-1}$ değerleri arasında, çıkışında ise 0,71 – 0,996 $kJ s^{-1}$ değerleri arasında değiştiğini aşağıdaki Şekil 5.27’ de olduğu gibi bulunmuştur. Aynı zamanda ekserji yok olumu (tersinmezlik) değerinin de ısı transferinden, kütle transferinden ve diğer kayıplardan (sürtünme, materyale geçen enerji, hareketi vb.) yüzde olarak değerini aynı şekilde görebilmekteyiz.



Şekil 5.27 Kurutma havası sıcaklığının $47,1^\circ C$ hızının 5,4 m/s nohut deney şartları için kurutma odası ekserji dengesinin şematik gösterimi.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

Fasulye ve nohut gibi tarım ürünlerinin kullanıldığı, akışkan yataklı kurutma işleminin deneysel incelenmesi ve ekserji analizinin prosese uygulanması sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1- Her iki materyalin kurutma deneyinde kurutma havası sıcaklığının artmasıyla kurutma hızının arttığı, fakat kurutma havası hızının artmasının prosesi pek fazla etkilemediği tespit edilmiştir.

2- Yapılan analizler sonucunda, enerji kullanımı değerinin her iki materyal için de, kurutma havası sıcaklığını ve hızı ile doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir.

3- Enerji kullanım oranının yine enerji kullanım değeri ile benzer farklar gösterdiği sonucuna varılmıştır.

4- Kurutma odasında materyalin neminin buharlaşmasıyla oluşan kütle transferinden ötürü oluşan ekserji değerinin ($\dot{E}x_{buh}$) kurutma havası sıcaklığı ve hızı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

5- Kurutma odasında çevreye olan ısı kayıplarının neden olduğu ekserji kaybı ($\dot{E}x_{kyp}$) kurutma havası sıcaklığı ile arttığı fakat kurutma havası hızının bu değeri az etkilediği ve aynı zamanda her iki materyal içinde yakın değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

6- Ekserji verimi incelendiğinde ise; bu değer yine kurutma havası sıcaklığı ve hızı ile doğru orantılı olduğu belirmiştir. Diğer taraftan, verim değerinin her iki materyal içinde aynı

kurutma havası sıcaklığında ($47,1^{\circ}C$) fasulye deneyleri için %56-65 arasında, nohut deneyleri için de %45-62 arasında değiştiği analiz edilmiştir. Bu farklılığın sebebi olarak, fasulye kurutmasının nohuda göre daha yavaş olduğu söylenebilir.

7- Ekserji analizi bütünüyle incelendiğinde, sürtünmeler ve diğer kayıpların neden olduğu ekserji yok olumunun (tersinmezlik) buharlaşmaya harcanan ve kayba giden ekserji değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir.

8- Kurutma odasına giren ekserji miktarının kurutma odasından çıkışta fasulye için %43, nohut için ise %53 azaldığı ekserji analizi sonucunda belirlenmiştir. Bu değerler ekserji veriminin nohut için yüksek çıkmasıyla aynı anlam taşımaktadır. Her iki materyalde de buharlaşmaya harcanan ekserji miktarı yaklaşık aynı olmasına rağmen nohut deneylerinde kurutma odasına giren ekserjinin fasulye ye göre düşük olması sebebiyle ekserji verimi nohut için daha yüksek çıkmaktadır.

6.2 ÖNERİLER

1- Kurutma havası sıcaklığı, ekserji verimini arttırabilmek için materyalin yapısını bozmamak kaydıyla artırılabilir.

2- Farklı materyaller deney kapsamına alınarak materyal çeşidinin ekserji analizini nasıl etkilediği tespit edilebilir.

3- Deney setinde bazı yapısal değişiklikler (örneğin; ikincil hava girişi) yaparak bunun ekserji verimini nasıl etkilediği incelenebilir.

4- Ekserji yok olumuna (tersinmezliğe) sebebiyet veren $\dot{E}x_{kyp}$, $\dot{E}x_{buh}$ vb. faktörleri azaltıcı faaliyetlere gidilerek (örn; kurutma odası yalıtımı) ekserji verimi üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akpınar E K** (2004) Energy and Exergy Analyses of Drying of Red Peppers Slices in a Convective Type Dryer, *Science Direct* PII: S0735-1933(04)00133-2.
- Akpınar E K, Midilli A and Biçer Y** (2004) Energy and exergy of patato drying process via cyclone type dryer, *Energy Conservation and Management* 46 (2005) 2530-2552.
- Akpınar EK, Midilli A and Biçer Y** (2005) The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying of process, *Journal of Food Engineering* 72 (2006) 320-331.
- Aktaş Ş** (2004) Akışkan Yatak Biyofilm Reaktörde Peynir Altı Atık Suyunun Arıtılması ve Sistem Performansının Modellenmesi, Doktora Tezi (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi Fen Bil.Ens. Kimya Müh. Anabilim Dalı, 150s.
- Altun C** (2004) Sirkülasyonlu Akışkan Yatakta Isı Transferi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bil. Ens. Kimya Müh. Anabilim Dalı, 120s.
- Assari M R, Basirat Tabrizi H and Saffar-Avval M** (2007) Numerical simulation of fluid bed drying based on two-fluid model and experimental validation, *Applied Thermal Engineering* 27 (2007) 422-429
- Ciesielczyk W** (1996) Analogy of heat and mass transfer during constant rate period in fluidized bed drying, *Drying Technology*, Vol. 14,16 pp.
- Corzo O, Bracho N, Vasquez A and Pereira A** (2007) Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices, *Journal of Food Engineering* 86 (2008) 151-16
- Çengel Y A ve Boles M A** (1999) *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, McGraw-Hill-Literatür, 2. Baskı, İstanbul, Türkiye.
- Çil B** (2006) Tarım Ürünlerinin Akışkan Yatakta Kurutma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Y. Lisans Tezi (yayımlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bil.Ens. Makine Müh. Anabilim Dalı, 91 s.
- Çolak N and Hepbaşlı A** (2007) Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer, *Journal of Food Engineering* 80 (2007) 1188-1193.
- Dimittia D G, Amyotte P R and Hamdullahpur F** (1996) Fluidized bed drying of large particles, *Transactions of the ASAE*, Vol. 39, pp. 1745-1750.
- Dinçer İ ve Erdallı Y** (1992) Kurutma prosesinin analizi, *Termo Klima Dergisi*, Sayı:10, s.38-51.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dinçer I and Şahin A Z** (2003) A new model for thermodynamic analysis of a drying process, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47 (2004) 645-652.
- Güngör A** (2008) Second law analysis of heat transfer surfaces in circulating fluidized beds, *Applied Energy* (2008).
- Hajidavallo E and Hamdullahpur F** (1998) Mathematical modeling of simultaneous heat and mass transfer in fluidized bed drying of large particles, *Proceedings of CSME Form, 1. Symposium on Thermal and Fluids Engineering*, Toronto-Canada, s.19-22.
- Incropera FP and Dewitt DP** (1996) (*Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*), Literatür Yayınları,4. Baskı, İstanbul, Türkiye.
- Martin C, Miguel A, Villamanan, R Cesar, Chamorro, Otero J, Cabanillas A and Segovia JJ** (2008) Low-grade and biomass co-combustion on fluidized bed:exergy analysis, *Energy* 31 (2006) 330-344.
- Midilli A and Küçük H** (2001) Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio, *Energy* 28 (2003) 539-556.
- Öztop HF and Akpınar EK** (2008) Numerical and experimental analysis of moisture transfer convective drying of some products, *International Communication in Heat and Mass Transfer* 35 (2008) 169-177.
- Pamuk İ ve Doğu T** (1977) Akışkan yataklarda iki faz modeli ve model parametrelerinin incelenmesi, *TÜBİTAK IV: Bolu Kongresi Müh. Araştırma Grubu Tebliğleri*, İzmir, s. 345-355.
- Plancz B** (1983) A mathematical model for continuous fluidized bed drying, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 38, pp. 1045-1059.
- Srinivasakannan C and Balasubramanian N** (2008) An Analysis on Modeling of Fluidized Bed Drying of Granular Material,(*Advanced Powder Techonolgy*) 19 (2008) 73-82.
- Syahrul S, Dinçer I and Hamdullahpur F** (2002) Thermodynamic modeling of fluidized bed drying of moist particles, *International Journal of Thermal Sciences* 42 (2003) 691-701.
- Topuz A** (2002) Akışkan Yatakta Fındık Kurutma Prosesinde Isı ve Kütle Geçişinin İncelenmesi, Doktora Tezi (yayımlanmamış), Sakarya Üniversitesi Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Anabilim Dalı, 113 s.
- Tulunay E** (1991) Akışkan yataklı yanma süreci donatım ve denetim temelleri, *Türkiye IV. Enerji Kongresi*, s. 263-273.
- Zemher B** (2003) Gaz Türbinli Kojenerasyon Tesisinde Yanma Odasına Enjekte Edilen Su Buharının Ekserji Verimine Etkisi, Y. Lisans Tezi (yayımlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bil.Ens.Mak.Müh.Anabilim Dalı 67 s.

EK AÇIKLAMALAR A
KURUTMA HAVASI SICAKLIĞI 47,1 °C HAVA HIZININ 5 m/s DEKİ
FASULYE DENEY ŞARTLARI İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR

KURUTMA HAVASI SICAKLIĞI 47,1 °C HAVA HIZININ 5 m/s DEKİ FASULYE DENEY ŞARTLARI İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR

47,1 °C Kurutma havası sıcaklığında, 5 m/s kurutma havası hızındaki deney şartları için 50. saniyedeki veriler (E , EUR_{ko} , $Ex_{ko\check{c}}$, Ex_{kog} , Ex_Y , Ex_{buh} , Ex_{kyp} , η_{Ex}) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Kabuller:

$$\begin{array}{lll} T_{kog} = 316 \text{ K} & T_{ko\check{c}} = 308,74 \text{ K} & T_{\infty} = 286,24 \text{ K} \\ T_s = 309 \text{ K} & T_m = 304 \text{ K} & T_{lg} = 286,24 \text{ K} \\ h_{kog} = 2580,31 \text{ kJ/kg} & h_{ko\check{c}} = 2567,35 \text{ kJ/kg} & c_{p_{kh}} = 1,005 \text{ kJ/kg.K} \\ r_1 = 0,099 \text{ m} & r_2 = 0,1 \text{ m} & n = 0,4 \\ \lambda_2 = 5 \text{ W/m}^2.K & \alpha = 27,48 \text{ W/m}^2.K & m_n = 0,00056 \text{ kJ/s} \\ Pr = 0,704 \end{array}$$

Formüller:

$$Pv = RT \quad \text{Mükemmel gaz denklemi}$$

$$\dot{m}_{kh} = \frac{1}{v} VA \quad \text{Kurutma havası kütleli debi}$$

$$Re_d = \frac{V.d}{\nu} \quad \text{Reynolds sayısı}$$

$$Nu_d = \frac{\alpha.d}{\lambda} = 0,023.Re_d^{4/5}.Pr^n \quad \text{Nusselt sayısı}$$

$$\dot{E} = \dot{m}_{kh} (h_{kog @ T} - h_{ko\check{c} @ T}) \quad \text{Enerji}$$

$$EUR_{ko} = \frac{\dot{m}_{kh} (h_{kog @ T} - h_{ko\phi @ T})}{\dot{m}_{kh} \cdot c_{p\,kh} (T_{kog} - T_{lg})} \quad \text{Enerji kullanma oranı}$$

$$\dot{E}x_{kog} = \dot{m}_{kh} c_{p\,kh} \left[(T_{kog} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{kog}}{T_{\infty}} \right] \quad \text{Kurutma odası giriş ekserjisi}$$

$$\dot{E}x_{ko\phi} = \dot{m}_{kh} c_{p\,kh} \left[(T_{ko\phi} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ko\phi}}{T_{\infty}} \right] \quad \text{Kurutma odası çıkış ekserjisi}$$

$$\sum \dot{E}x_Y = \sum \dot{E}x_{kog} - \sum \dot{E}x_{ko\phi} \quad \text{Ekserji yok olumu (tersinmezlik)}$$

$$\dot{E}x_{isi} = \left[1 - \frac{T_{\infty}}{T_s} \right] \dot{Q}_{isi} \quad \text{Isı transferinden dolayı meydana gelen ekserji kaybı}$$

$$\dot{Q}_{isi} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{2\pi r_1 L \lambda_1} + \frac{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi k L} + \frac{1}{2\pi r_2 L \lambda_2}} \quad \text{Çevre ortama ısı kaybı}$$

$$\dot{E}x_{buh} = \left[1 - \frac{T_{\infty}}{T_m} \right] \dot{Q}_{buh} \quad \text{Buharlaştırmadan kaynaklanan ekserji kaybı}$$

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_n h_{fg} \quad \text{Buharlaştırmaya harcanan ısı}$$

$$\eta_{Ex} = 1 - \frac{\dot{E}x_Y}{\dot{E}x_{kog}} \quad \text{Ekserji verimi}$$

Hesaplamalar:

$$\dot{m}_{kh} = \frac{20.0,0177.101,325}{0,287.286,4} = 0,44 \, kg/s$$

$$Re_d = \frac{5.0,2}{17,89 * 10^{-6}} = 55897,1 \quad 2 * 10^4 < Re_d < 2 * 10^6 \quad \text{Tam gelişmiş türbülanslı akım}$$

$$\lambda_{ko} = \frac{0,023.55897,1^{0,8}.0,704^{0,4}.27,78 * 10^{-3}}{0,2} = 17,43 \text{ W/m}^2 K$$

$$\dot{Q}_{kyp} = \frac{316 - 286,4}{\frac{1}{2.\pi.0,099.1.17,43} + \frac{\ln\left(\frac{0,1}{0,099}\right)}{2.\pi.37,8.1} + \frac{1}{2.\pi.0,1.1.5}} = 0,0731 \text{ kj/s}$$

$$\dot{Q}_{buh} = 0,00056.2414 = 1,35 \text{ kj/s}$$

$$\dot{E} = 0,44.(2580,3 - 2537,35) = \boxed{5,70} \text{ kj/s}$$

$$EUR_{ko} = \frac{0,44(2580,3 - 2537,35)}{0,44.1.005(316 - 286,4)} = \boxed{42,98}$$

$$\dot{E}x_{kog} = 0,44.1.005 \left[(316 - 286,4) - 286,4 \ln \frac{316}{286,4} \right] = \boxed{0,6503} \text{ kj/s}$$

$$\dot{E}x_{koç} = 0,44.1.005 \left[(308,74 - 286,4) - 286,4 \ln \frac{308,74}{286,4} \right] = \boxed{0,3680} \text{ kj/s}$$

$$\sum \dot{E}x_y = 0,6503 - 0,3680 = \boxed{0,2824} \text{ kj/s}$$

$$\dot{E}x_{kyp} = \left[1 - \frac{286,1}{309} \right] 0,731 = \boxed{0,0055} \text{ kj/s}$$

$$\dot{E}x_{buh} = \left[1 - \frac{286,4}{304} \right] 1,35 = \boxed{0,08} \text{ kj/s}$$

$$\eta_{Ex} = 1 - \frac{0,2824}{0,6503} = \boxed{\%56,58} \quad \text{Şeklinde hesaplanmıştır.}$$

ÖZGEÇMİŞ

İskender KARAGÜZEL 1983’de Zonguldak’ da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Zonguldak Mehmet Çelikel Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra 2001 yılında ZKÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne girdi; 2005’ de “iyi” derece ile mezun olduktan sonra Hema Endüstri A.Ş.’de üretim ve proses geliştirme mühendisi olarak göreve başladı; halen 2006 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Terakki Mah. Lise Sok. No: 67/A
67100 ZONGULDAK

Tel : (372) 257 3984

E-posta : iskender_karaguzel@yahoo.com

İskender KARAGÜZEL