

**İPLİK KURUTMA PROSESİNİN
ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ**
Ahmet Erhan AKAN
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL

2012

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İPLİK KURUTMA PROSESİNİN ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ

AHMET ERHAN AKAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. UĞUR AKYOL

TEKİRDAĞ – 2012

Her hakkı saklıdır.

Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL danışmanlığında, Ahmet Erhan AKAN tarafından hazırlanan “İplik Kurutma Prosesinin Enerji ve Ekserji Analizi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

İmza:

Üye :Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Oktay HACİFAFİZOĞLU

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKÇU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İPLİK KURUTMA PROSESİNİN ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ

Ahmet Erhan AKAN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL

Günümüzde sürekli artan enerji ihtiyaçları nedeniyle mevcut enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu nedenle mühendislik sistemlerinin verimlilikleri konusunda yapılan araştırmalar da oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada basınçlı sıcak hava ile farklı kurutma şartları altında kurutma işlemine tabi tutulan yün iplik bobinleri için enerji ve ekserji analizleri yapılarak enerji ve ekserji verimliliği bakımından optimum kurutma koşulu belirlenmiştir. Kurutma işlemi 80°C, 90°C ve 100°C olmak üzere üç farklı sıcaklık ile 1bar, 2bar ve 3bar olmak üzere üç farklı basınç şartları altında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hem enerji hem de ekserji verim değerlerinin en yüksek olduğu kurutma koşulunun 1bar basınç, 100°C sıcaklıkta olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Enerji, Ekserji, Kurutma, Yün, Verimlilik, Entropi.

2012, 78 Sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

Energy and Exergy Analysis of Yarn Drying Process

Ahmet Erhan AKAN

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Uğur AKYOL

Nowadays, available energy sources must be used more efficiently due to the increasing energy requirements day after day. In this context it is essential to investigate the efficiencies of purposed engineering systems. In this study, optimum operating condition of wool bobbin drying process was determined by performing energy and exergy analyses. The drying processes were performed for three different drying air temperatures of 80°C, 90°C and 100°C, and three different drying air pressures of 1bar, 2bar and 3bar. According to the energy and exergy calculation results the highest energy and exergy efficiency values were obtained at the drying condition of 1bar and 100°C.

Keywords: Energy, Exergy, Drying, Wool, Efficiency, Entropy.

2012, 78 Pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarım boyunca değerli görüş ve katkılarıyla her zaman yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL'a, değerli katkılarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Sait Özmen ERUSLU'ya, yardım ve desteklerinden dolayı Öğr. Gör. Seçkin FİLİZ'e, Öğr. Gör. Anıl ŞAHİN'e, Öğr. Gör. Yusuf KESLER'e ve A.Perihan AKAN'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili annem, babam ve kardeşime, çalışmalarım süresince karşılaştığım zorlukları aşmamda göstermiş olduğu pozitif yaklaşımlar ile bana moral veren ve desteğini esirgemeyen sevgili eşim ve kızıma teşekkür ederim.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

c	özgül ısı [kJ/kg°C]
c_p	sabit basınçta özgül ısı [kJ/kg°C]
c_v	sabit hacimde özgül ısı [kJ/kg°C]
E	enerji [kJ]
e_x	özgül ekserji (akışkan veya akışkan olmayan) [kJ/kg]
E_x	ekserji [kJ]
E_{xFE}	fiziksel enerji ekserjisi [kJ]
E_{xKE}	kinetik enerji ekserjisi [kJ]
$E_{xKİE}$	kimyasal enerji ekserjisi [kJ]
E_{xPE}	potansiyel enerji ekserjisi [kJ]
h	özgül entalpi [kJ/kg]
H	entalpi [kJ]
h°	özel oluşum entalpisi [kJ/kg]
ke	özgül kinetik enerji [kJ/kg]
KE	kinetik enerji [kJ]
m	kütle [kg]
\dot{m}	kütlesel debi [kg/s]
pe	özgül potansiyel enerji [kJ/kg]
PE	potansiyel enerji [kJ]
P_d	doyma basıncı
P_{ef}	efektif basınç [kPa]
P_g	gösterge basıncı [kPa]
P_o	atmosfer basıncı [kPa]
q	özgül ısı transferi [kJ/kg]
Q	ısı transferi [kJ]
\dot{Q}	anlık ısı [kJ/s]
R	üniversal gaz sabiti [kJ/kg°C]
Re	Reynolds sayısı
RH	bağıl nem
s	özgül entropi [kJ/kg.K]
S	entropi [kJ/K]

s°	oluşum özgül entropisi [kJ/kg.K]
T	sıcaklık [$^{\circ}$ C]
u	özgül iç enerji [kJ/kg]
U	iç enerji [kJ]
v	özgül hacim [m^3/kg]
V	hacim [m^3]
x	kuruluk derecesi
X	nem oranı
Z	yükseklik [m]
η	enerji verimi
ρ	yoğunluk [kg/m^3]
ψ	ekserji verimi
ω	özgül nem [g/kg]
ϕ	bağıl nem

ALT İNDİSLER

b	buhar
ç	çevre
g	gaz
h	hava
o	ölü hal
ort	ortalama
sınır	sınır
s	su
ü	ürün
terf	tersinir faydalı
tr	tersinir

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Temel Entropi İlkesi	3
1.2 Clausius Eşitsizliği	3
1.2.1 Entropi değişimine neden olan faktörler	5
1.3 Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimleri	7
1.3.1 Tersinmezliklere sebep olan etkenler	8
1.4 Ekserji.....	8
1.4.1 Ekserjinin Önemli Boyutları.....	9
1.4.2 Enerji ve Ekserji Kavramlarının Karşılaştırılması	10
1.4.3 Ekserji bileşenleri	10
1.4.4 Fiziksel ekserji.....	11

1.4.5 Ekserji dengesi.....	13
1.4.5.1 Kapalı sistem için ekserji dengesi	13
1.4.5.2 Kontrol hacmi için ekserji dengesi	15
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1 Materyal.....	21
3.1.1 Yün İplik Bobini.....	21
3.1.2 Fan	25
3.1.3 Isıtma eşanjörü.....	26
3.1.4 Kurutma haznesi	26
3.1.5 Soğutma eşanjörü ve seperatör	27
3.1.6 Debimetre	27
3.1.7 Loadcell	28
3.1.8 Nem sensörü	28
3.1.9 Kompresör	29
3.1.10 Termokupullar	29
3.1.11 PLC.....	30
3.2 Yöntem	32

3.2.1 Kurutma Sistemi Ekserji Analizi.....	33
3.2.1.1 Kütle dengesi	33
3.2.1.2 Enerji Dengesi	34
3.2.1.3 Ekserji dengesi.....	34
3.2.1.4 Ekserji verimi	36
3.2.1.5 Kabuller	38
3.2.2 Deney verileri	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
5. SONUÇ	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Moleküler düzeydeki düzensizliğe bir örnek	3
Şekil 1.2. Sürtünmesiz sarkaç.....	7
Şekil 1.3. Başlangıç ve çevre (ölü şartlar) şartları arasında gerçekleşen bir çevrim.....	9
Şekil 3.1. Deneylede kurutulan iplik bobinin şematik gösterimi	21
Şekil 3.2. Bobin Geometrisi	22
Şekil 3.3. Su banyosundaki iplik bobinleri.....	22
Şekil 3.4. Süzölmeye bırakılan yün iplik bobinleri	23
Şekil 3.5. İplik bobinlerine yerleştirilen termokupullar	24
Şekil 3.6. Kurutma Deney Düzenegi Şeması	24
Şekil 3.7. Klape sistemi	25
Şekil 3.8. Fan.....	25
Şekil 3.9. Isıtma eşanjörü	26
Şekil 3.10. Kurutma haznesi.....	26
Şekil 3.11. Soğutma eşanjörü ve seperatör.....	27
Şekil 3.12. Debimetre	27
Şekil 3.13. Kurutma haznesi altına monte edilmiş loadcell	28
Şekil 3.14. Nem sensörü	28
Şekil 3.15. Kompresör.....	29
Şekil 3.16. Termokupullar	29
Şekil 3.17. PLC.....	30
Şekil 3.18. Kurutma düzenegi genel görünü	30
Şekil 3.19. Bilgisayar ve PLC kontrollü deney düzenegi şeması.....	31
Şekil 3.20. Otomatik kontrol sistemi ekranı.....	31
Şekil 3.21. Kurutucu giriş ve çıkış terimleri şeması.....	33
Şekil 4.1. $P_{ef}=1$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi	62
Şekil 4.2. $P_{ef}=2$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi	66
Şekil 4.3. $P_{ef}=3$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi	66
Şekil 4.4. $P_{ef}=1$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi.....	67
Şekil 4.5. $P_{ef}=2$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi....	68
Şekil 4.6. $P_{ef}=3$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi.....	68
Şekil 4.7. $T=80^{\circ}C$ 'de farklı basınç koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.8. $T=90^{\circ}C$ 'de farklı basınç koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.9. $T=100^{\circ}C$ 'de farklı basınç koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi	71

Şekil 4.10. $T=80^{\circ}\text{C}$ 'de farklı basınç koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi	71
Şekil 4.11. $T=90^{\circ}\text{C}$ 'de farklı basınç koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi	72
Şekil 4.12. $T=100^{\circ}\text{C}$ 'de farklı basınç koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi ...	72

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Ekserji ve enerjinin karşılaştırılması	10
Tablo 3.1. Bobin boyutları.....	22
Tablo 3.2. Referans çevrenin özellikleri.....	38
Tablo 3.3. 1 bar 80°C verileri	42
Tablo 3.4. 1 bar 90°C verileri	43
Tablo 3.5. 1 bar 100°C verileri	44
Tablo 3.6. 2 bar 80°C verileri	45
Tablo 3.7. 2 bar 90°C verileri	46
Tablo 3.8. 2 bar 100°C verileri	47
Tablo 3.9. 3 bar 80°C verileri	48
Tablo 3.10. 3 bar 90°C verileri	49
Tablo 3.11. 3 bar 100°C verileri	50
Tablo 3.12. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 80°C)	51
Tablo 3.13. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 90°C)	52
Tablo 3.14. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 100°C)	53
Tablo 3.15. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (2 bar 80°C)	54
Tablo 3.16. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (2 bar 90°C)	55
Tablo 3.17. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (2 bar 100°C)	56
Tablo 3.18. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (3 bar 80°C)	57
Tablo 3.19. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (3 bar 90°C)	58
Tablo 3.20. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (3 bar 100°C)	59
Tablo 3.21. Nemli ürünlerde kullanılan özel ekserji dengesi için akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 80°C) (Denklem 3.15b)	60

Tablo 3.22. Nemli ürünlerde kullanılan özel ekserji dengesi için bobin ortalama sıcaklık verileri (1 bar 80°C) (Denklemler 3.27).....	61
Tablo 4.1. Farklı sıcaklık değerleri için ekserji ve enerji verimleri (1 Bar).....	63
Tablo 4.2. Farklı sıcaklık değerleri için ekserji ve enerji verimleri (2 Bar).....	64
Tablo 4.3. Farklı sıcaklık değerleri için ekserji ve enerji verimleri (3 Bar).....	65

1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olması gerçeğinin giderek daha geniş kesimlerce anlaşılması, hükümetleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirerek enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu, bilimsel çevreleri de enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir (**Çengel ve Boles 1996**).

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliğiyle ilgilidir, enerjinin yoktan var veya vardan yok edilemeyeceğini vurgular ve hal değişimleri sırasında ortaya çıkan enerjinin büyüklüğü ile ilgilenir. Bu yasa, bir hal değişimi sırasında enerjinin hesabını tutmak için bir yöntem ortaya koyar ve uygulamada bir zorluk çıkarmaz. Fakat sistemlerin sadece birinci yasa ile incelenmesi durumunda enerji analizi hal değişimini anlamak için tam olarak uygun değildir. Termodinamiğin birinci yasası, enerji kaynaklarını kaliteleri yönünden birbirinden ayırmaz. Buna ek olarak, termodinamiğin birinci yasası iş kayıpları ve hal değişimi sırasında enerjinin verimli kullanımını artırma hakkında yeterli bilgi vermez.

Termodinamiğin ikinci yasası ise enerjinin niteliğiyle ilgilidir. Yani termodinamiğin ikinci yasası enerji kalitesini ve hal değişimi sırasındaki değer kaybını ifade etmektedir. Termodinamiğin ikinci yasası, herhangi bir enerji biçimi için, sadece bir kısmının işe dönüştüğünü, enerjinin aksine ekserjinin tüketildiğini veya yok edildiğini ve entropinin üretildiğini ifade eder (**Çengel ve Boles 1996**). Bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma olanağının değerlendirilmesi bu yasanın inceleme alanı içindedir. Termodinamiğin ikinci yasası, karmaşık termodinamik sistemlerin incelenmesi için güçlü bir araçtır. Bir sistemi incelerken asıl bilinmesi gereken o sistemin iş potansiyeli yani iş yapabilme olanağıdır.

Sistemin büyüklüğü enerji miktarıyla, sistemin iş yapabilme potansiyeli ise ekserji ile ifade edilmektedir (**Çengel ve 2002**). Kullanılabilirlik, belirli bir halde ve miktarda enerjiden elde edilebilecek işi ifade etmektedir. Sistemin belirli bir haldeki enerji miktarı her zaman için sabit olup, sistemin ekserjisi çevre şartlarına göre sürekli değişiklik gösterir. Örneğin iki yalıtılmış sistem birleştirildiğinde, sistemin enerji miktarı bu iki ayrık yalıtılmış sistemin enerji miktarının toplamı olur, fakat ekserji miktarı iki sistem aynı durumda olmadığı sürece iki ayrık sistemin ekserji miktarının toplamından az olur. Sistemin çevre ile mekanik, termal

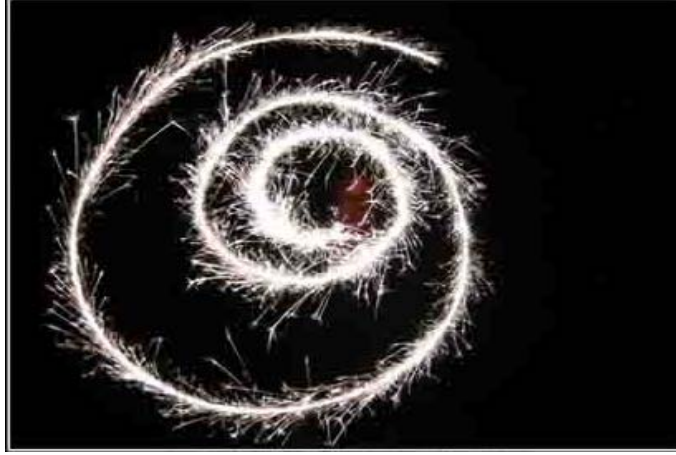
ve kimyasal dengede bulunması, iş üretebilecek bir enerjinin bulunmadığını ifade eder ve ölü hal olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle sistem ile çevrenin basınç, sıcaklık ve kimyasal potansiyel değerleri eşittir (**Hepbasli 2008**).

Ekserji, enerji kaynaklarının kalitesini ortaya koyabilen kullanışlı bir kavramdır. Ekserji sayesinde farklı enerji kaynakları (güneş enerjisi, jeotermal enerji, yakıt enerjisi, elektrik enerjisi) kendi içinde kıyaslanabilir (**Rosen ve Dinçer 2004**). Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasının birleşimi olan ekserji analizi, enerji sistemleri hakkında iyi bir yaklaşım sağlar ve gerçek verimsiz alanların düzeltilmesi amacını taşır.

Bu bağlamda ekserji, bir sistemden elde edilebilecek en büyük işi ifade eder. Sistemden en büyük iş, sistemin belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) gelmesi ile sağlanır (**Bejan ve ark. 1996**). Ölü hal, sistemin çevresi ile termodinamik denge halinde bulunduğu durumdur. Ölü halde sistemin basınç ve sıcaklığı, çevrenin basınç ve sıcaklığı ile aynıdır. Ölü halde bulunan bir sistemin kullanılabilirliği sıfırdır. Ekserji, sistemdeki enerjinin kalitesini belirlerken, entropi sistemin moleküler düzensizliğini ifade eder. Sistemdeki hal değişimi sırasındaki ekserji de içerideki tersinmezlikler (entropi üretimi) ve sistem sınırından ısı transferi neticesinde azalır. Tersinmezlikler sistemdeki entropi üretimi ile orantılıdır. Ekserji analizleri için baz alınan havanın (çevrenin) homojen bir yapıya sahip olduğu, sistemlerden ve tersinmezliklerden bağımsız ve prosesler sonucu değişmeyen sabit parametrelere sahip olduğu kabul edilmektedir (**Jones 2006**).

Ekserji ya da ikinci kanun analizi; sistemlerin gerçek proseslerinin tersinmez yapısının anlaşılması için kullanılan yeni bir rölâtif tekniktir. İkinci kanun analizi, çevresel şartlara göre enerjinin farklı biçimlerinin kalitesinin ya da iş potansiyelinin bir ölçüsü olarak tanımlanabilen ekserji kavramına dayandırılmaktadır.

1.1 Temel Entropi İlkesi



Şekil 1.1. Moleküler düzeydeki düzensizliğe bir örnek

Entropi en temel ifade ile maddenin moleküler düzeydeki düzensizliğinin bir ifadesidir. Yani zaman içinde bütün maddeler bir değer kaybına uğrar. Entropi biraz soyut bir kavramdır ve fiziksel açıklamasını tam olarak vermek biraz zordur. Entropi ilkesini anlamamız için Clausius eşitsizliğinin incelenmesi gerekir. Enerjinin tersine entropi miktarı korunan bir özellik değildir. Entropinin korunumu diye bir kavramdan söz edilemez (**Çengel ve Boles 1996**).

1.2 Clausius Eşitsizliği

Termodinamiğin ikinci yasası entropi adlı yeni bir özeliğin tanımlanmasına yol açmıştır. Entropi bir sistemin mikroskobik düzeyde düzensizliğinin nicel bir ölçüsüdür. Entropinin tanımı Clausius eşitsizliğine dayanmaktadır. Bu eşitsizlik bir çevrim boyunca,

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (1.1)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada eşitlik içten tersinir veya tümenden tersinir hal değişimleri için; eşitsizlik ise tersinmez hal değişimleri için geçerlidir. Entropi, çevrim boyunca integrali sıfır olan bir özellik olup aşağıdaki denklemle tanımlanır.

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{içten}} \leq 0 \quad (1.2)$$

Bu integralin hesaplanması kolay değildir, çünkü Q değerinin T'nin fonksiyonu olarak nasıl değiştiğinin bilinmesi gerekir. Özel bir durum olan, içten tersinir, sabit sıcaklıkta hal değişimleri için integrasyon kolaylıkla yapılabilir ve şu sonucu verir:

$$\Delta S = \frac{Q}{T_0} \quad (1.3)$$

Clausius eşitsizliği ile entropinin tanımı birleştirildiği zaman, entropinin artış ilkesi adı verilen eşitsizlik ilkesi elde edilir.

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T_0} \quad (1.4)$$

$$\Delta S_{\text{ayrık}} \geq 0 \quad (1.5)$$

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

Böylece, bir hal değişimi sırasındaki toplam entropi değişimi, hal değişimi gerçek veya tersinmez ise sıfırdan büyük; tersinir ise sıfırdır. Bir hal değişimi sırasındaki toplam entropi değişimi, bu hal değişimi için entropi üretimine eşittir ve sistemle çevresinin entropi değişimlerinin toplamıdır. Bir sistemin veya çevresinin entropisi bir hal değişimi sırasında azalabilir, fakat ikisinin toplamı mutlaka pozitif bir değerde olmak zorundadır. Bu ilke hem kapalı sistemler hem de kontrol hacimleri için geçerlidir.

Entropi değişimi; ısı geçişi, kütle akışı ve tersinmezlikler sonucu meydana gelebilir. Bir sisteme ısı geçişi sistemin entropisini arttırırken, bir sistemden ısı geçişi sistemin entropisini azaltır. Tersinmezliklerin etkisi her zaman entropiyi arttırıcı yöndedir. Bu değerler, bir hal değişiminin tersinir mi, tersinmez mi olduğunu veya gerekleşiip gerçekleşmeyeceğini belirlemek için kullanılabilir.

$$S_{\text{üretim}} \begin{cases} > 0 \text{ Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 \text{ Tersinir hal değişimi} \\ < 0 \text{ Gerçekleşmesi olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$

1.2.1 Entropi değişimine neden olan faktörler

a) Tersinmezlikler

Denklem (1.5)'de ifade edilen entropinin artış ilkesinde de bahsedildiği üzere bir sistemin entropisi araştırılırken, sistem ile çevresi her zaman bir arada değerlendirilmek zorundadır. Düzensizlik değişmez ya da artar. Buna rnek olarak difüzyon verilebilir. Ayrı duran maddeler bir arada bulunanlardan daha düzenlidir ve kendiliğinden karışmış sıcak ve soğuk sudan oluşmuş ılık suyun, tekrar yeniden sıcak ve soğuk diye ayrılması imknsızdır.

b) Tüm ısı transferi işlemleri

Bütün ısı transferi işlemleri entropi değişimine sebep olur. Sistemle evresi birlikte değerlendirildiğinde bu işlemler her zaman entropiyi arttıran yöndedir. Özellikle kapalı sistemler çevresiyle birlikte göz önünde bulundurulduğunda, toplam entropinin daima arttığı görülür. Sistemin entropisini sabit tutmak için sisteme sürekli enerji vermek gerekir. Sistemin entropisini sabit tutmak veya azaltmak mühendisliğin amaçlarındandır.

c) Tüm sürtünmeli işlemler

Sürtünmeli işlemler hareketli parçaların veya parçacıkların eylemsizlik prensibi neticesinde sahip olduğu harekete devam etme isteğini olumsuz etkilediğinden hareketli madde ile çevresi bir bütün olarak değerlendirildiğinde entropi artışına sebep olur. Sürtünme

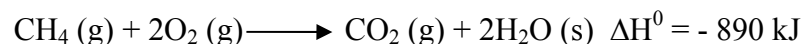
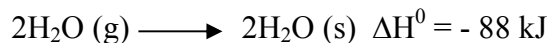
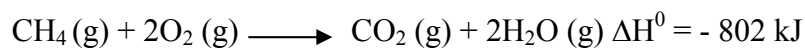
ve buna bağlı entropi artışı istenmeyen bir durum olarak değerlendirilse de, mühendisliğin amacı kayma sürtünmesi azaltmak, yuvarlanma sürtünmesini ise arttırmaktır.

d) Akışkanların karıştırılması

Sistemin düzensizliği arttıkça artan herhangi bir fonksiyon rahatça entropi fonksiyonu olabilir. Örneğin bir bardak suyumuz olduğunu ve bunun içine bir damla mürekkep damlatıp gözlediğimizi düşünelim ve içeride neler olduğunu hayal etmeye çalışalım. Mürekkep molekülleri başlangıçta kısa bir süre bir arada bekleştikten sonra su içine dağılmaya başlayacaklardır. Çünkü su ve mürekkep maddelerinin kimyasal bağlarının birbirlerini itmeye elverişli olmalarından dolayı kendilerine çarpan su molekülleri tarafından değişik yönlere itileceklerdir. Şimdi de olağanüstü bir bilgisayarın, sistemin bütün mümkün durumlarını sayabildiğini düşünelim. Sistemin bir durumu denildiğinde anlamamız gereken şey, bir molekülün belirli bir koordinata ve belirli bir hıza; bir başka molekülün bir başka belirli koordinata ve hıza sahip olduğu konfigürasyondur. Bardaktaki mürekkep örneğinde bu tür durumların sayısının çok fazla olduğu açıktır. Zira bunların çok büyük bir kısmı mürekkebin moleküllerinin bardak içinde oraya buraya rastgele dağıldığı, düzensiz, yani yüksek entropili durumlara karşılık gelir. Bizim algıladığımız düzeyde bunların hepsi homojen durumlardır. Çünkü karışıma baktığımızda o molekülün burada, bir başkasının şurada olmasına aldırmadan, mürekkebin homojen olarak dağıldığını söyleyebiliriz. Yani olağanüstü sayıda farklı mikroskobik durum tek bir makroskobik duruma, yani homojen duruma karşılık gelir.

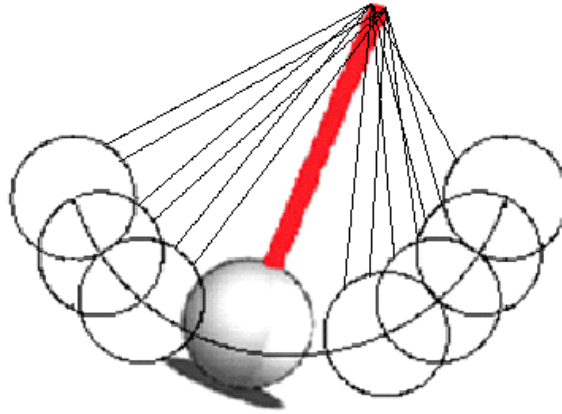
e) Yanma işlemleri (Reaksiyonlar)

Entalpi, tanım olarak iç enerjinin ve akış işinin toplamıdır. Maddeler toplanabiliyorsa, onların enerjileri de toplanabilir. Bu sonuç entalpi değişimlerine de uygulanabilir. Bir örnek verilecek olursa; 1 mol CH₄ (g), 2 mol O₂ (g) ile yanıp 1 mol CO₂ (g) ve 2 mol H₂O (g) verince 802 kJ ısı açığa çıkar. Bu tepkimedeki entalpi değişimini suyun sıvı hali için bulmak üzere aşığıdaki işlemi yapılabilir.



Bir tepkime, bir tepkime dizisi sonucunda elde edilebiliyorsa onun entalpi değişimi, dizilerin entalpi değişimlerinin toplamına eşittir. Bu sonuç 1840'da Alman kimyacı G. Hess tarafından bulunmuştur. Hess yasası olarak bilinen bu yasaya göre, bir tepkime ister tek bir adımda, ister çok değişik adımları izleyerek sonuçlansın, onun ΔH değeri hep aynıdır. Termodinamik, sistemin izlediği yolu değil, sonuç ve başlangıç hallerini inceler. Buna göre Hess yasası şu temele dayanır. Bir tepkimenin entalpi değişimi, o tepkimenin izlediği yola bağlı değildir; sadece son ve ilk hallerine bağlıdır. Bu da bize yanma reaksiyonların tersinmez olduklarını ve bunun sonucunda entropinin her zaman artması gerektiğini ispatlar.

1.3 Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimleri



şekil 1.2. Sürtünmesiz sarkaç

a) Tersinir hal değişimi

Çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimi olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle eğer bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem hem de evre ilk hallerine geri dndrlebilirlerse hal değişimi tersinirdir. şekil 1.2'de gösterilen sürtünmesiz sarkaç örneğinde, sürtünmenin ihmal edilmesinden dolayı sarkaç sahip olduğu ktle miktarını yerçekimi kuvveti altında harekete geçirecek, bu hareket sonsuz kez tekrarlanacaktır. Yani sistem sonsuz kez başladığı noktaya geri gelecektir. İşte bu tür hal değişimleri tersinir olarak tanımlanır.

b) Tersinmez hal değişimi

Tersinir olmayan hal değişimlerine denir. Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz. Sürtünme, sanki dengeli olmayan genişleme veya sıkıştırma ve sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi, hal değişimlerinin tersinmez olmasına yol açar ve tersinmezlik olarak adlandırılır.

- En çok iş, tersinir hal değişimleri sırasında yapılır.
- En az iş, tersinir hal değişimleri sırasında gerekir.

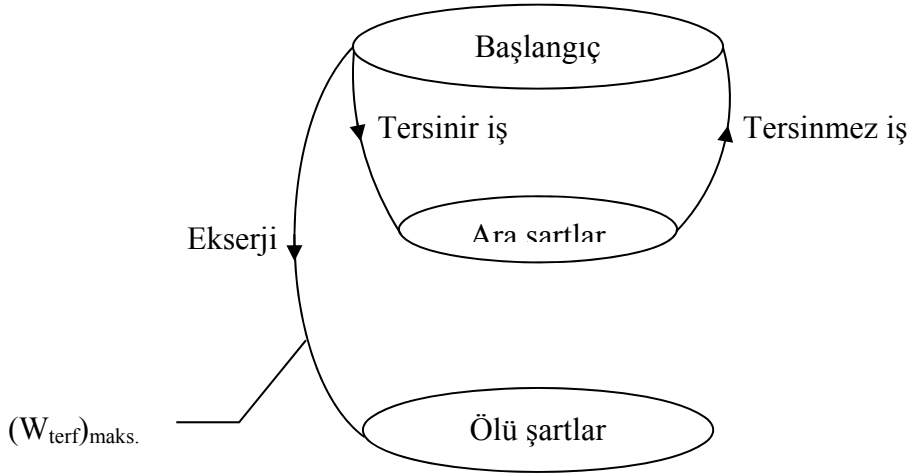
1.3.1 Tersinmezliklere sebep olan etkenler

Tersinmezliklere neden olan etkiler entropiyi arttıran ilkelerle paralellik gösterir. Sonuç itibariyle tersinmezliklere entropinin artması neden olur. Bunlar:

- Sürtünme
- Dengesiz genişleme
- İki sıvının karışması
- Sonlu bir sıcaklık farkında ısı geçişi
- Elektrik direnci
- Katıların elastik olmayan (plastik) şekil değişimleri
- Kimyasal tepkimeler.

1.4 Ekserji

Ekserji en genel ifade ile bir sistemden elde edilebilecek maksimum tersinir faydalı iştir. Ekserjiye kullanılabilir enerji de denir. Kullanılabilir enerji değeri o sistemin tersinir faydalı işinin maksimum değeridir.



Şekil 1.3. Başlangıç ve çevre (ölü şartlar) şartları arasında gerçekleşen bir çevrim

Şekil 1.3’de başlangıç ve ölü şartlar diye tabir edilen çevre şartlarında çalışan bir çevrim örnek olarak verilmiştir. Bu şartlar arasında (ara şartlar) çalışan bir makineden elde edilen iş, çevre şartlarına kadar gerçekleştirildiğinde maksimum tersinir iştir. Bu da o sistemden elde edilebilecek maksimum tersinir faydalı işi, yani ekserjiyi verir.

1.4.1 Ekserjinin Önemli Boyutları

- Ekserji sistem ve çevrenin bir arada oluşturduğu maksimum teorik iştir.
- Sistemin tüm durumları için ekserji, sifıra eşit ya da sifirdan büyüktür.
- Ekserji, sistem durumunun çevresel durumdan uzaklaşma ölçüsüdür.
- Çevreye göre göreceli olduğundan sistemin kinetik ve potansiyel enerji büyüklüklerinin tamamı ekserji büyüklüğüne katılır.
- Ekserji, kimyasal ve termomekaniksel ekserjilerin toplamı şeklinde ifade edilir.
- Ekserji, sistemler arasında transfer edilebilir ve sistemler içindeki tersinmezlikler sonucu tahrip edilir.
- Ekserji, bir ekserji dengesi ile açıklanabilir.

1.4.2 Enerji ve Ekserji Kavramlarının Karşılaştırılması

Tablo 1.1. Ekserji ve enerjinin karşılaştırılması

Enerji	Ekserji
Termodinamiğin I. Kanunu ile ilgilidir.	Termodinamiğin II. Kanunu ile ilgilidir.
Daima korunur. Yoktan var edilemez veya yok edilemez.	Tersinir proseslerde korunur, tersinmez proseslerde daima kaybolur.
Enerji, hareket veya hareket üretebilme kabiliyetidir.	Ekserji, iş veya iş üretebilme kabiliyetidir.
Niceliğin bir ölçütüdür.	Niceliğin ve kalitenin bir ölçütüdür.
Sadece madde ve enerji akış parametrelerine bağlı, çevre parametrelerinden bağımsızdır.	Madde ve enerji akış parametrelerinin yanı sıra çevre parametrelerine de bağlıdır.

Enerji, termodinamiğin birinci kanunu ile yani kütle ve enerjinin korunumu ile ilgilenirken, ikinci kanun enerjinin büyüklüğü yanında kullanılabilirliğini araştırır. Bu sebeple II. Kanun verimi diye de bilinen ekserji verimi günümüzde enerji ihtiyacının sürekli artması ve var olan enerji kaynaklarının da verimli bir şekilde kullanılmasını, bu durumda mühendislerin yapmış oldukları veya yapacakları sistemlerde enerji ve ekserji analizlerini yaparak sistemin verimliliğini araştırmalarını zorunlu hale getirmiştir. Sonuç olarak Termodinamiğin I. ve II. Kanununa uymayan hiçbir sistem tasarlanamaz.

1.4.3 Ekserji bileşenleri

Nükleer, manyetik, elektrik ve yüzey gerilim etkilerinin olmadığı sistemlerin toplam ekserjisi (E_x), dört bileşene ayrılabilir: Fiziksel ekserji (E_{xFE}), kinetik ekserji (E_{xKE}), potansiyel ekserji (E_{xPE}) ve kimyasal ekserji ($E_{xKİE}$) (**Dinçer ve Rosen 2007**).

$$E_x = E_{xFE} + E_{xKE} + E_{xPE} + E_{xKİE} \quad (1.6)$$

Kinetik, potansiyel ve fiziksel ekserjilerin toplamına termomekanik ekserji denir. Kütle esaslı toplam özgül ekserji bağıntıları ise aşağıdaki gibidir.

$$e_x = e_{xFE} + e_{xKE} + e_{xPE} + e_{xKİM} \quad (1.7a)$$

$$e_{xKE} = \frac{1}{2} V^2 \quad (1.7b)$$

$$e_{xPE} = g \cdot z \quad (1.7c)$$

Burada; V hız ve z yüksekliktir.

$e_{xKE} = e_{xPE} = 0$ olan sistemde; fiziksel ekserji, sıcaklığın (T), ve basıncın (P) olduğu incelenen sistemden sıcaklığın ve basıncın ölü hale geçtiği (T_o ve P_o) durumda teoriksel olarak elde edilebilecek maksimum iştir. Kimyasal ekserji ise çevre ile tamamen dengede olduğu (ölü hale) geçtiği durumda elde edilebilecek maksimum yararlı iştir. Kimyasal teriminin kullanımı kimyasal reaksiyonunun olması şartını taşımaz.

1.4.4 Fiziksel ekserji

Fiziksel ekserji, kapalı sistem ve çevreden oluşan birleşik sisteme enerji ve entropi ilkelerinin uygulanması ile türetilir. Amaç birleşik sistemden maksimum işi elde etmek olduğu için, birleşik sistemin sınırlarında yalnızca enerji transferi vardır. Kesinlikle birleşik sistemden ısı transferi yoktur. Sistem ve çevrenin hacmi değişse bile, birleşik sistemin sınırı değişmez. Böylece toplam hacim sabit kalır (**Bejan ve ark. 1996**).

Birleşik sistem için enerji dengesi;

$$\Delta U = Q - W \quad (1.8)$$

veya

$$W = - \Delta U \quad (1.9)$$

olmaktadır.

Burada W birleşik sistem tarafından yapılan işi, ΔU ise birleşik sistemin iç enerjisindeki değişimi göstermektedir. ΔU kapalı sistemin veya çevrenin iç enerji değişimlerinin toplamıdır. Kapalı sistemin iç enerjisi U ile gösterilmiştir. Sınırlı ölü hal durumunda sistemin iç enerjisi U_0 ile gösterilir. Buna göre ΔU aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\Delta U = (U_0 - U) + \Delta U_{\text{ç}} \quad (1.10a)$$

Burada $\Delta U_{\text{ç}}$ çevrenin iç enerjisindeki değişimdir. T_0 ve P_0 'da çevrenin rolü sabit kaldığından $\Delta U_{\text{ç}}$, çevrenin entropi ($S_{\text{ç}}$) ve hacmindeki ($V_{\text{ç}}$) değişikliklerle ilişkilidir. Buna göre,

$$\Delta U_{\text{ç}} = T_0 \Delta S_{\text{ç}} - P_0 \Delta V_{\text{ç}} \quad (1.10b)$$

Son üç denklemin toplanmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir.

$$W = (U - U_0) - (T_0 \Delta S_{\text{ç}} - P_0 \Delta V_{\text{ç}}) \quad (1.10c)$$

Birleşik sistemin toplam hacmi sabit olduğundan, çevrenin hacmindeki değişim kapalı sistemin hacmindeki değişime eşittir. Fakat kapalı sistemin hacmindeki değişimin zıt işaretlidir.

$$\Delta V_{\text{ç}} = - (V_0 - V) \quad (1.10d)$$

Buradan iş ifadesi şu şekilde çıkarılır:

$$W = (U - U_0) + P(V - V_0) - T_0 \Delta S_{\text{ç}} \quad (1.11)$$

İş için maksimum teoriksel değer aşağıdaki gibi entropi dengesini kullanarak belirlenir. Sistem sınırlarından ısı geçişi olmadığından birleşik sistemin entropi dengesi aşağıdaki ifadeye indirgenir.

$$\Delta S = S_{\text{üretim}} \quad (1.12)$$

$S_{\text{üretim}}$ çevre ile dengede bulunan kapalı sistem olarak birleşik sistemdeki entropi üretimidir. Birleşik sistemin entropi değişimi (ΔS) sırasıyla kapalı sistem ve çevre için entropi değişimlerinin toplamıdır.

$$\Delta S = (S_o - S) + \Delta S_{\text{ç}} \quad (1.13)$$

$S_{\text{üretim}}$ terimi her zaman pozitifdir (**Bejan ve ark. 2006, Elbir 2010**). Tersinmezlik üretilmiyorsa $S_{\text{üretim}}$ sıfırdır. Bundan dolayı birleşik sistemdeki işin teoriksel olarak maksimum değeri $S_{\text{üretim}}$ sıfır olduğunda üretilir. Fiziksel ekserjinin (E_{xFE}) maksimum değerinin tanımlanması ile denklem (1.14) elde edilmiştir.

$$W_{\text{max}} = (U - U_o) + P_o(V - V_o) - T_o(S - S_o) \quad (1.14)$$

1.4.5 Ekserji dengesi

1.4.5.1 Kapalı sistem için ekserji dengesi

Kapalı sistemler için ekserji dengesi enerji ve entropi değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilir.

$$(U_2 - U_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) = \int_1^2 \delta Q - W \quad (1.15)$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{sınır}} + S_{\text{üretim}}$$

W ; iş ile yapılan enerjii, Q ise çalışan sistem ile çevresi arasındaki ısı transferini ifade etmektedir. $T_{\text{sınır}}$, enerji transferinin ısı yolu ile gerçekleştiği sınırdaki sıcaklık, $S_{\text{üretim}}$ terimi ise iç tersinmezliklerden dolayı üretilen entropidir. T_o sıcaklığı entropi dengesi ile çarpılıp enerji dengesinden çıkarıldığında;

$$(U_2 - U_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) - T_0(S_2 - S_1)$$

(1.16)

$$= \int_1^2 \delta Q - T_0 \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{sınır}} - W - T_0 S_{\text{üretim}}$$

elde edilir.

δQ terimlerini içerenler toplanır ve sol tarafa Denklem (1.15)'de konulursa, ifade şu şekilde yazılabilir.

$$(E_2 - E_1) - P_0(V_2 - V_1) = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{sınır}}} \right) \delta Q - W - T_0 S_{\text{üretim}} \quad (1.17)$$

Yeniden düzenlenirse, kapalı sistemin ekserji dengesi aşağıdaki gibi olur (**Bejan ve ark. 2006, Elbir 2010**).

$$(E_2 - E_1) = \underbrace{\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{sınır}}} \right) \delta Q}_{\text{Ekserji Değişimi}} - \underbrace{[W - P_0(V_2 - V_1)]}_{\text{Ekserji Transferi}} - \underbrace{T_0 S_{\text{üretim}}}_{\text{Ekserji Yıkımı}} \quad (1.18)$$

1.4.5.2 Kontrol hacmi için ekserji dengesi

Ekserji madde akımının girdiği ve çıktığı kontrol hacminin içine veya dışına transfer edilir. Bununla birlikte bazı ekserji terimlerinin kontrol hacmine eklenmesi gerekir (**Bejan ve ark. 2006, Elbir 2010**).

$$\underbrace{\frac{dE_{kh}}{dt}}_{\text{Ekserji Değişim oranı}} = \underbrace{\sum_{\text{sınır}} \left(1 - \frac{T_o}{T_{\text{sınır}}}\right) \dot{Q} - \left(W_{kh} - P_o \frac{dV_{kh}}{dt}\right) + \sum_g \dot{m}_g e_g - \sum_{\phi} \dot{m}_{\phi} e_{\phi}}_{\text{Ekserji transferi}} - \underbrace{E}_{\text{Ekserji yıkımı}} \quad (1.19)$$

Kontrol hacmi hız dengeleri için g ve ϕ alt indisleri sırasıyla girişleri ve çıkışları göstermektedir. dE_{kh}/dt kontrol hacminin ekserjisinin zamana bağlı değişimidir. \dot{Q} terimi anlık sıcaklığın T olduğu kontrol hacminin sınırındaki zamana bağlı ısı transferidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tarihsel araştırmalar, ekserjinin Haywood (1974) tarafından ele alındığını bildirirken; ekserji kavramı için en erken girişimler Clausius (1865), Tait (1868) ve Thomson (Lord Kelvin)'in katkılarıyla olmuştur. Bu alanda öne çıkan isimler ise Maxwell (1875) ve Gibbs (1873) olmuştur (**Tsatsaronis 1993**).

“Tersinmezliğe Savaş” adlı slogan bu gelişmenin başlangıcı olmuştur. 1950 ve 1960'lı yıllarda; ekserji dengesi ve grafiksel sunumu yakıtların ekserji hesabı ve kimyasal ekserji hesaplanması için referans durumları ileri sürülmüştür. İlave olarak, birkaç ekserji verimliliği araştırması ile birkaç sanayi proses ve tesislerine ilk ekserji analiz uygulamaları yapılmıştır. Maliyet hesabı için ekserji kullanım fikri **J.H. Keenan (1932)** tarafından başlatılmıştır. Ekserji terimi Bosnjakovic tarafından o ana kadar kullanılan “s Yeteneği” terimi yerine yeni bir kelime olarak **Z. Rant (1956)** tarafından dile getirilmiştir. Bu gelişmelerden sonra Avrupa'da, bazı önemli bilim adamları; besleme suyu optimizasyonuna dayalı çalışmalarında, bir buhar güç santralinin her bir bileşenindeki ekserji kayıp giderlerini tespit etmişler ve diğer bazı termodinamikçiler de bunların yolundan giderek yeniden üretimli bir ısı değiştirgecinin tasarım maliyetine ekserjiyi uygulamışlardır (**Tsatsaronis 1993**).

Esen ve Hosoz (2007), yapmış oldukları çalışmada, soğutucu akışkan olarak R134a'nın kullanıldığı bir otomobil klima sisteminde enerji ve ekserji analizi üzerine çalışmışlardır. Otomobil klima sisteminin her bir bileşeni için farklı çalışma şartlarında ekserji analizi ortaya çıkarmışlardır. Ekserji ve enerji analizleri, artan kompresör devri ile sistem performansının azaldığını göstermiştir. R134a'lı sistemin Soğutma Tesir Katsayısı (STK), aynı soğutma yükü için artan kompresör hızı ile düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca STK'nın artan evaporatör yükü ile artmakta ve artan kompresör devri ve yoğuşma sıcaklığı ile azalmakta olduğunu da ortaya çıkarmıştır. Otomobil klima sisteminde her bir çevrim elemanında yaptıkları ekserji analizleri ile buldukları sonuçlar şöyledir; Ekserji yıkımı, artan kompresör devri ile kompresör, kondenser ve evaporatörde artmaktadır. Ekserji yıkımındaki en büyük artış, kompresör devrinin bir sonucu olarak kompresörün kendisinde olmaktadır. Ekserji yıkımı, sırasıyla kompresör, kondenser ve evaporatör olmak üzere azalmaktadır.

Şahin ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada; Kayseri Şeker Fabrikası 2002–2003 yılı kampanya verilerini kullanılarak şeker üretim süreçleri için termodinamiğin birinci kanun (enerji analizi) ve ikinci kanun (ekserji analizi) analizlerini yapmışlardır. Endüstriyel tesislerde enerji ve ekserji analizleri termodinamik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu analizler endüstrideki üretim tesislerinin enerji verimliliğini artırmak ve atık enerjinin geri kazandırılmasını sağlamaktadır. Termodinamik açıdan açık sistem olarak ele aldıkları şeker üretim süreçlerine giren ve çıkan her bir durum için enerji ve ekserji analizi sonuçları elde etmişler, bu sonuçlara bağlı olarak şeker üretim süreçlerinin birinci ve ikinci kanun verimlerini tespit etmişlerdir. Elde ettikleri birinci ve ikinci kanun verimlerini iyileştirmek için Kayseri Şeker Fabrikasına tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Koçyiğit (2008), yapmış olduğu çalışmada, üzerinde farklı kanatçık ve dikdörtgen blok şeklinde engeller bulunan ve engel bulunmayan yeni geliştirilen düz tip bir güneş enerjili hava ısıtıcının enerji ve ekserji analizini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde kolektöre giriş ve kolektörden çıkış sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve güneş ışınımı değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca deneyler farklı kütleli debiler için tekrarlanarak sürdürülmüştür. Farklı kanatçık ve dikdörtgen blok şeklindeki engeller bulunan ve engel bulunmayan güneş enerjili hava ısıtıcı, birinci yasa (enerji) ve ikinci yasa (ekserji) verimleri ve boyutsuz ekserji kaybı değerleri yönünden birbirleriyle mukayese edilmiştir. Sonuçların analizinden sonra, tüm çalışma şartları için optimum verim değerleri (enerji ve ekserji) yutucu yüzeyine sahip güneş enerjili hava ısıtıcıda elde edildiği gözlenmiş ve engellere sahip yutucu yüzeyleri barındıran güneş enerjili hava ısıtıcıları engelsiz olana göre daha iyi değerler aldığı tespit edilmiştir. En büyük tersinmezliğin kolektör verimi en düşük olan, üzerinde engeller bulunmayan kolektörde meydana geldiği anlaşılmıştır. Çalışmanın sonucunda farklı güneş enerjili hava ısıtıcıları için enerji ve ekserji bağıntıları türetilmiştir.

Egrican ve Özdoğan (1990), enerji sistemlerinin ekserjisini temel alarak incelenmesine yönelik mühendislik yaklaşımlarının gelişimini, neden-sonuç ilişkilerini de göz önünde bulundurarak araştırmışlardır. Sonuçta entropi bazlı çalışmalarla bu ilişkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir.

Karagüzel (2009), yapmış olduğu çalışmada, akışkan yataklı deney seti kullanmış, akışkan yatak giriş ve çıkış koşullarını bilgisayar kontrollü veri toplama sistemiyle elde etmiştir. 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.

Gool (1992), sanayi proseslerinin analizi için birinci kanun analizi yanında ekserji kavramının faydasını ayrıntılı olarak açıklamıştır. Buna göre ekserji analizi ile genel mühendislik yaklaşımı arasındaki temel farkın, ikinci kanunun kullanımından dolayı değil, termodinamik fonksiyonların değerlerini hesaplamak için farklı referans durumlarının kullanımından ileri geldiğini göstermiştir.

Rosen ve Scott (1992), yapmış oldukları çalışmada, hidrojen üretimi için en önemli sanayi proseslerinden biri olan suyun elektrolizini ele almışlardır. Suyun elektrolizi çalışması, toplam prosesi oluşturan çeşitli kademeler boyunca enerji ve ekserji akışlarını göz önüne alarak su ve ısıdan hidrojen üretmede kullanılan elektroliz prosesinin, termodinamik performansını oluşturmuşlardır. Elde ettikleri verilere dayanarak, en önemli kayıpların hangi ünite ve neden meydana geldiğini göstermişlerdir.

Gürler (2006), yapmış olduğu çalışmada, modelleme ve iyileştirme potansiyelinin belirlenmesi için, soğutucu akışkan olarak R134a ve R600a kullanılan ev tipi buzdolaplarının ekserji analizini araştırmıştır. Analizde, gerçek işletme verilerinden yararlanılmıştır. Tüm sistem bileşenlerinin her birindeki ekserji kayıpları (tahripleri), deneysel olarak elde edilen ve ortalama ölçülen parametreler için hesaplanmıştır. Sistem bileşenlerinin ekserji verimleri, performanslarını değerlendirmek ve iyileştirme potansiyellerini açıklığa kavuşturmak için belirlenmektedir. İncelemede ev tipi buzdolaplarının ekserji verimlilik değerleri, ürün/yakıt bazında, %80,6 ve %87,7 aralığında elde edilirken, bunların COP değerlerinin 1,20'den 1,40'a kadar değişmekte olduğu gözlenmiştir. Çalışmada R134a ve R600a'lı sistemlerde genel olarak aşırı kızdırma verimi düşük çıkmaktadır ve buzdolaplarında yüksek verimlilikte ürün elde etmek için R600a soğutucu akışkan tercih edilmelidir, sonucuna varılmıştır.

Hussain ve Dinçer (2003), tarafından yapılmış olan bir çalışmada, sonlu farklar yaklaşımı ile silindirik bir cismin kurutulması sırasındaki ısı transferine ve nem oranındaki azalmaya ait iki boyutlu sayısal bir analiz yapılmıştır. Farklı zaman periyotları için nemli cisim içerisinde sıcaklık ve nem dağılımları elde edilmiştir.

Syahrul ve ark. (2003), akışkan yataklı kurutucu sistemde gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin termodinamiksel analizlerini ve modellemesini yapmışlardır. Modellemenin deneysel verilerle uyumu için buğday ve mısır kurutma verilerini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda, kuruma işleminin ilk etabında enerji ve ekserji verimlerinin daha yüksek olmasına rağmen, ilerleyen zamanlarda verimin üstel olarak azaldığı ve ekserji veriminin enerji verimine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. İncelemelerinde buğday ve mısır kurutulması için değişen sıcaklık, hava hızı, nem içeriği gibi özelliklerin kurutma işlemine etkileri araştırılmış, sonuçta mısırın difüzyon hızının sadece sıcaklıktan etkilenmemesine, aynı zamanda nem içeriğine de bağlı olması ile açıklamışlardır (**Erbay ve İçier 2008**).

Akpınar ve ark. (2004), tepsili kurutucu sistemde dilimlenmiş kırmızıbiberlerin veya çilek örneklerinin ince tabaka prensibine göre kurutulmasının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Analizle kurutma kabini içinde zamana bağlı ekserjinin değişimini gözlemlemiş, kurutma kabini içinde ekserjetik verimleri ve kabinde gerçekleşen kayıplar hesaplanmıştır. Silikonlu bir tepsili kurutucu sistemle de ince tabaka prensibine göre dilimlenmiş patates (**Akpınar ve ark. 2005a**), dilimlenmiş elma (**Akpınar ve ark. 2005b**), dilimlenmiş balkabağı kurutulması (**Akpınar ve ark. 2006a**) ve enerji ekserji analizlerinin yapıldığı çalışmalarda kurutma kabini içinde girişindeki ve çıkışındaki tepsilerin ayrı ayrı zamana bağlı ekserji analizleri yapılarak verimleri kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre kurutma havası ile ilk karşılaşan tepside gerçekleşen ekserji düşüşünün sonraki tepsiye göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kurutma kabini içinde bütünü için ise sıcaklığın ve hava hızı artışının ekserjetik verimi olumlu etkilediği görülmüştür.

Kuzgunkaya ve Hepbasli (2007a), defneyaprağının toprak kaynaklı bir ısı pompası ile tepsili bir kurutucu kabini içinde, ince tabaka prensibi ile kurutulmasını gerçekleştirmiştir. Kurutma sıcaklıkları 40°C, 45°C ve 50°C aralığında değiştirilmiş, sıcaklığın artırılmasının ekserjetik verimi, kayıpları ve geliştirme potansiyelini attırdığı belirlenmiştir. Aynı kurutma sisteminde, her bir ekipman parçasının ve tüm sistemin verimi ise ayrı bir çalışmada

belirlenmiştir (**Kuzgunkaya ve Hepbasli 2007b**). Buna göre kurutma işleminde kullanılan ısı pompası ünitesinin ekserjetik verimi %21,1, toprak kaynaklı ısı pompasının verimi %20,5 ve tüm kurutma sisteminin verimliliği %15,5 olarak bulunmuş, ısı pompası COP değeri de ekserjetik olarak da hesaplanmıştır.

Çalışkan (2009), yapmış olduğu çalışmada, performans değerlendirmesi amacıyla, dizel motorda enerji ve ekserji analizi yapmıştır. 1963'den 2008'e kadarki tarihler arasında içten yanmalı motorların ekserjetik analizleri ve değerlendirmeleri üzerine yapılan daha önce yürütülmüş çalışmalara ek olarak Dizel No. 2, soya yağı katkılı metil ester (SME), genetiği değiştirilmiş yüksek oleikli soya yağlı metil ester (HOME) yakıtları kullanan, dört stroklu, 4,5L, John Deere 4045T dizel motorunun enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. İstatistiksel güvenilirlik için de yakıtların üçü de, üç defa kullanılmış, motor 1400 dev/dak hızında ve tam yüklenme durumunda test edilmiştir. Bu çalışmayla, motor içindeki enerji ve ekserji verimlerini, kayıplarını, enerjetik ve ekserjetik güçlerini, tersinmezliğini, yanma sürecindeki ekserji yıkımını belirleme ve yakıtlar arasında kıyaslama yapmayı sağlamaktır.

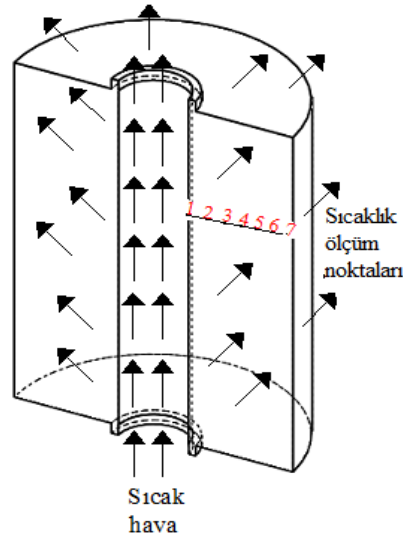
Ünal (2009), yapmış olduğu çalışmada, Türkiye'de kurulu bir termik santralin II. ünitesine termoeconomik metodu ile ünite ekipmanlarının her birinin termoeconomik analizini incelemiştir. Bu analizleri, enerji, ekserji, ekserji komponentleri ve termoeconomik hesaplama yöntemini kullanarak araştırmıştır. Termik santralin ilgili ünitesinde 27 adet düğüm noktasının termodinamik özellikleri belirlenmiş, bu belirlemelere göre her bir düğümün enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar ile her ekipmanın ayrı ayrı enerji ve ekserji dengeleri kurularak ortalama ekserji maliyetleri belirlenmiş, kayıp ve tahrip olan enerji ve ekserjiler bulunmuş, yok olan ekserji oranı belirlenerek eksergoeconomik faktörler çıkarılmıştır. Bu verilerin doğrultusunda sonuçlar değerlendirilmiş ve ekipmanlar birbirleri ile karşılaştırılarak, düzeltme yapılabilecek ekipmanlar belirtilerek çözüm önerileri verilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

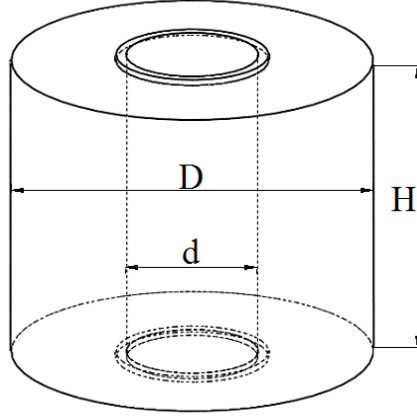
3.1.1 Yün İplik Bobini

Bu çalışmada, tekstil için kullanılan yün iplik bobinleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan yün iplik bobinlerinin içeriğinde %65 yün, %35 orlon bulunmaktadır. Yün iplik bobinlerinin içinden hava geçecek şekilde makaralara sarılmıştır. Yapılan kurutma işleminde hava yün iplik bobinlerinin içinden dışına akış halinde olup şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde kurutulan iplik bobinin şematik gösterimi

Kurutma işleminden önce yün iplik bobinleri 12 saat suda bekletilerek suyun iplik lifleri arasına tam olarak nüfuz etmesi sağlanmıştır (Şekil 3.3). Daha sonra 30 dakika ızgara üzerinde bekletilen (Şekil 3.4) bobinlerden fazla suyun tahliyesi sağlanmış ve son olarak kurutma işlemine başlamadan önce kurutucu içine yerleştirilen bobinler ısıtıcı çalıştırılmadan 10 dakika boyunca hava üflenerek ön kurutma işlemine tabii tutulmuş ve kalan fazla suyun tahliyesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bobinlerin geometrik boyutları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bobin Geometrisi

Tablo 3.1. Bobin boyutları

H (mm)	d (mm)	D(mm)
155	66	180



Şekil 3.3. Su banyosundaki iplik bobinleri



Şekil 3.4. Süzülmeye bırakılan yün iplik bobinleri

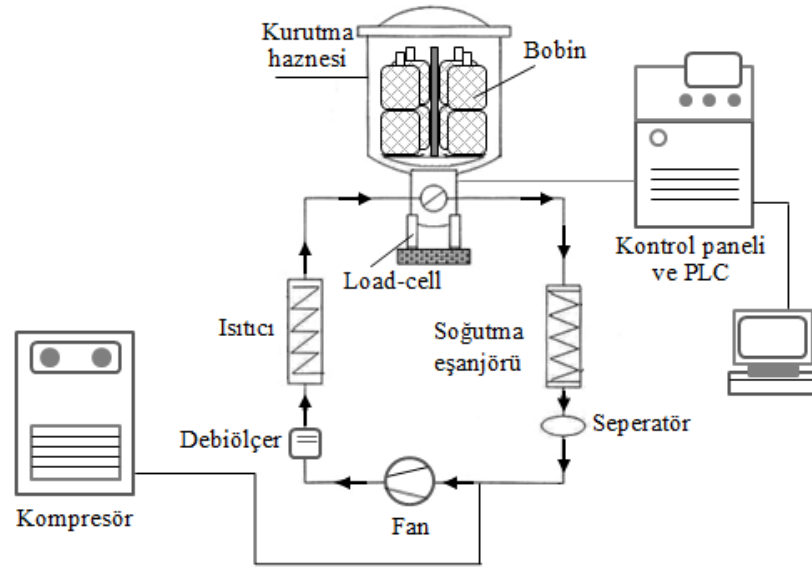
Bu çalışmadaki deneyler tekstil sanayinde kullanılan basınçlı sıcak hava ile çalışan bobin kurutma makinesinin bir prototipi niteliğindedir. Bu düzenekte çevre ortamdan alınan kurutma havası, 15 kW gücündeki bir fan yardımıyla 25 kW gücündeki ısıtma eşanjörüne gönderilmektedir. Fan debisi özel frekans ayarlı bir sürücü ile ayarlanabilmekte havanın debisi bir debi ölçer basıncı ise bir basınç sensörü yardımıyla ayarlanabilmektedir. Isıtıcılar PID kontrollü olup sürekli sıcaklık kontrolü yapılmaktadır.

Isıtılan hava içinde 8 adet yün iplik bobini yerleştirilmiş portmantiyere, yün iplik bobin makaralarının içinden geçecek şekilde üflenmekte olup bobinlerin radyal doğrultuda (içten-dışa) kuruması sağlanmıştır. Bobinlerdeki sıcaklık değişimlerinin kontrolü ise radyal doğrultuda eşit aralıklarla yerleştirilen direkt PLC bağlantılı termokupullar yardımıyla yapılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. İplik bobinlerine yerleştirilen termokupullar

Ayrıca Şekil 3.6’da gösterilen kurutma deney düzeneği şemasında da görüldüğü gibi seperatör giriş ve çıkış kısımlarına yerleştirilen nem sensörleri yardımıyla kurutma havasının nem miktarı anlık olarak ölçülmektedir.



Şekil 3.6. Kurutma Deney Düzeneği Şeması

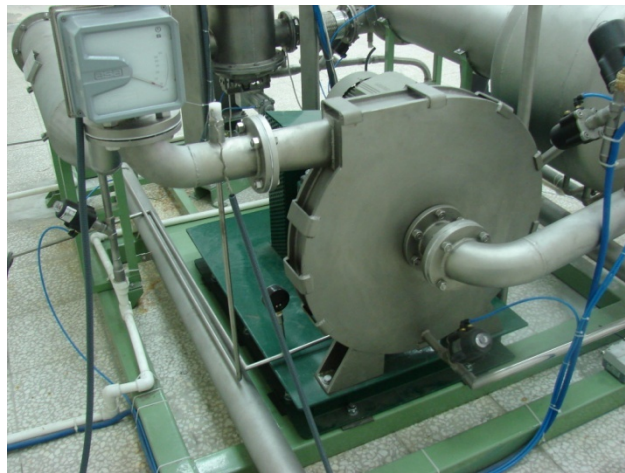
Kurutma havasının bobin iç yüzeyinden geçmesini sağlamak için deney düzeneğinde havanın hareketini yönlendiren bir klape sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Klape sistemi

3.1.2 Fan

550 m³/h hacimsel debi (0,1871 kg/s kütleli debi) kapasitesine sahip Siemens marka 15 kW gücünde, anma değeri $\cos \sigma = 0,90$ ve devir sayısı dakikada 2940 olan hava fanı kurutma havasının sistem içerisindeki hareketini sağlamaktadır. Fan hızının kontrolü PLC tarafından ayarlanmaktadır.



Şekil 3.8. Fan

3.1.3 Isıtma eşanjörü

Deney düzeneğinde kurutma havasının ısıtılması için 25 kW gücünde ısıtma eşanjörü kullanılmaktadır. Bu eşanjör içindeki her bir rezistansın hassasiyeti 0,20 mA (0-10 V)'tur. Isıtıcılar PID (oransal integral türev) kontrollü olup sıcaklık kontrolü yapmakta, geri besleme kontrolü ise bir adet bakır konstantan termokupul sayesinde yapılmaktadır.



Şekil 3.9. Isıtma eşanjörü

3.1.4 Kurutma haznesi

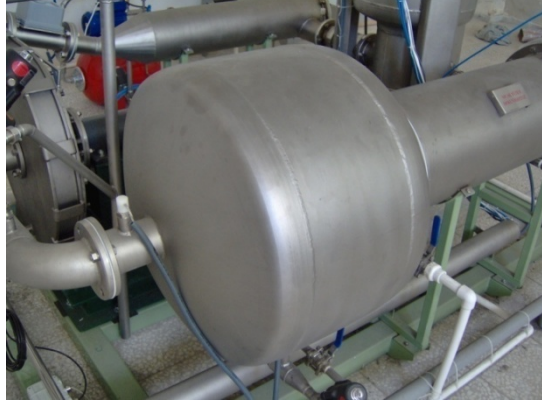
Bobinlerin yerleştirildiği ve kurutmanın yapıldığı haznedir. 4 kısımdan meydana gelip en fazla 16 bobin kapasitelidir. Maksimum çalışma sıcaklığı 130°C ve O şeklinde balon tip bütün yüzeyleri paslanmaz çelikten imal edilmiş gövdeye sahip, bobinin içinden–dışına veya dışından–içine havayı yönlendiren özel klape sistemi ile donatılmış, makine içindeki farklı noktaların sıcaklıklarını ölçme imkânı olan bir haznedir.



Şekil 3.10. Kurutma haznesi

3.1.5 Soğutma eşanjörü ve seperatör

Portmantiyerden çıkan sıcak ve nemli kurutma havası, yüzey alanı $3,89 \text{ m}^2$, soğutma gücü ise 35 kW olan soğutma eşanjörüne girerek soğutulmakta böylece seperatöre girmeden önce kurutma havası içindeki nemin yoğunlaşması sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. Soğutma eşanjörü ve seperatör

Seperatör ise $550 \text{ m}^3/\text{h}$ hacimsel debiye ($0,1871 \text{ kg/s}$ kütleli debi) sahip, 140°C sıcaklıktaki hava içinde buharlaşmayan suyu havadan ayırabilecek kapasitede olup, kurutma havası içerisinde yoğunlaşan nemi ayrıştırarak makinenin dışına tahliye etmektedir.

3.1.6 Debimetre

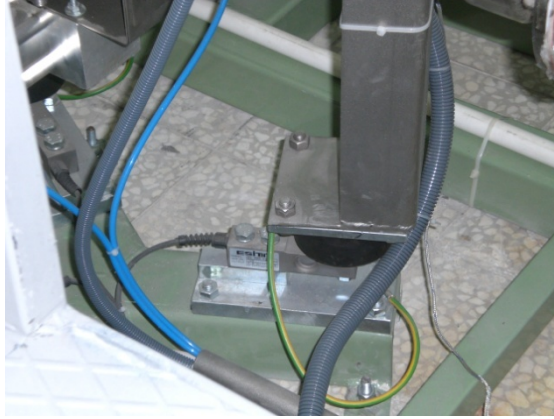
Döküm gövdeli ASA marka, C8-3100/38/T model, 3 bar işletme basıncına sahip, çalışma sıcaklığı $-30^\circ\text{C}/+30^\circ\text{C}$ olan sistem içerisinde dolaşan kurutma havasının akış miktarını ölçmeye yarayan cihazdır.



Şekil 3.12. Debimetre

3.1.7 Loadcell

600 kg ölçüm kapasitesine sahip loadcell, kurutma işlemi boyunca sürekli iplik bobinlerinin kütlesini tespit ederek deney sırasında uzaklaştırılan nem miktarını tespit edebilmektedir. Böylece deney sırasında uzaklaştırılan nem miktarı bilgisayar ekranından sürekli olarak takip edilir.



Şekil 3.13. Kurutma haznesi altına monte edilmiş loadcell

3.1.8 Nem sensörü

0,1 g/m³ hassasiyete sahip olup kurutma havası içinde bulunan nem miktarını ölçer. 40°C-200°C arasında çalışabilmektedir.



Şekil 3.14. Nem sensörü

3.1.9 Kompresör

Sistem için gerekli basınçlı havanın teminini sağlar. Teknik özellikleri, ATLAS marka, COPCO GA15 model, 8 bar işletme basıncına sahip, 41 lt/s kapasiteli, 15 kW motor gücünde, 375 kg ağırlığındadır.



Şekil 3.15. Kompresör

3.1.10 Termokupullar

Sıcaklık ölçümünde kullanılan araçlardır. Deney düzeneğinde kullanılan termokupulların duyarga çapı $\text{Ø } 3\sim 4$ mm, duyarga boyu 10 mm, analog çıkışı 4-20 Ma ($10 - 350 \Omega$) olan termokupulların teknik özellikleri, MIC-CO marka, $-200^{\circ}\text{C}/350^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında çalışabilen ve hata payı $\pm 1^{\circ}\text{C}$ olan cihazlardır.



Şekil 3.16. Termokupullar

3.1.11 PLC

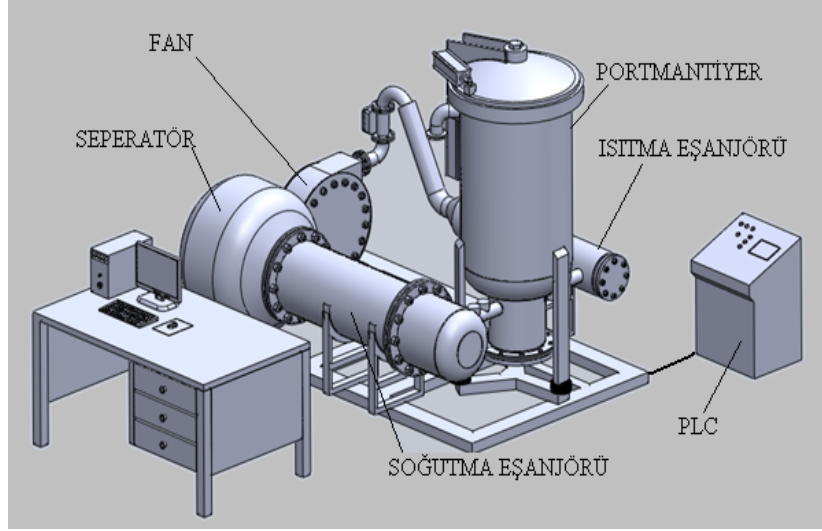
Deney düzeneğinin otomasyon sistemini kumanda ve kontrol devrelerini gerçeklemeye uygun yapıda giriş-çıkış birimleri ve iletişim arabirimleri ile donatılmış, kontrol yapısına uygun bir sistem programı altında çalışan endüstriyel bir bilgisayardır.



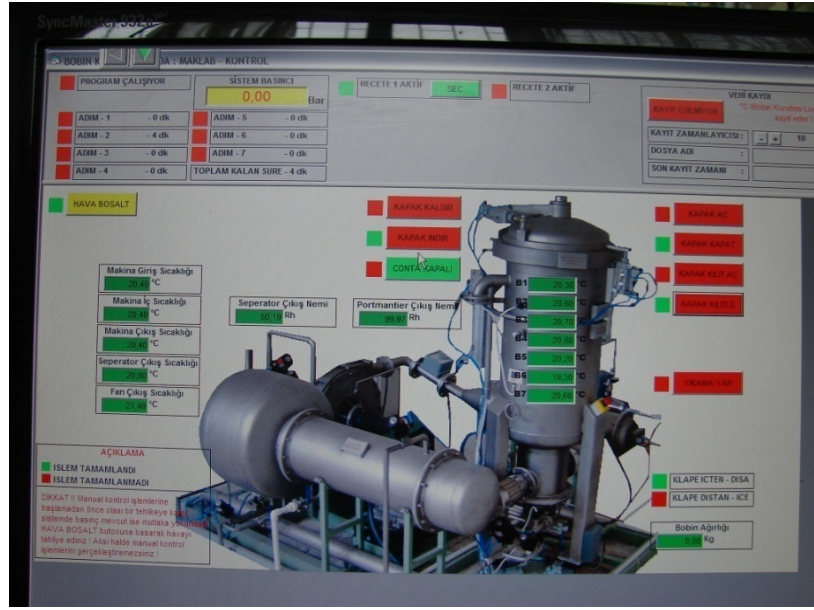
Şekil 3.17. PLC



Şekil 3.18. Kurutma düzeneği genel görünümü



Şekil 3.19. Bilgisayar ve PLC kontrollü deney düzeneği şeması



Şekil 3.20. Otomatik kontrol sistemi ekranı

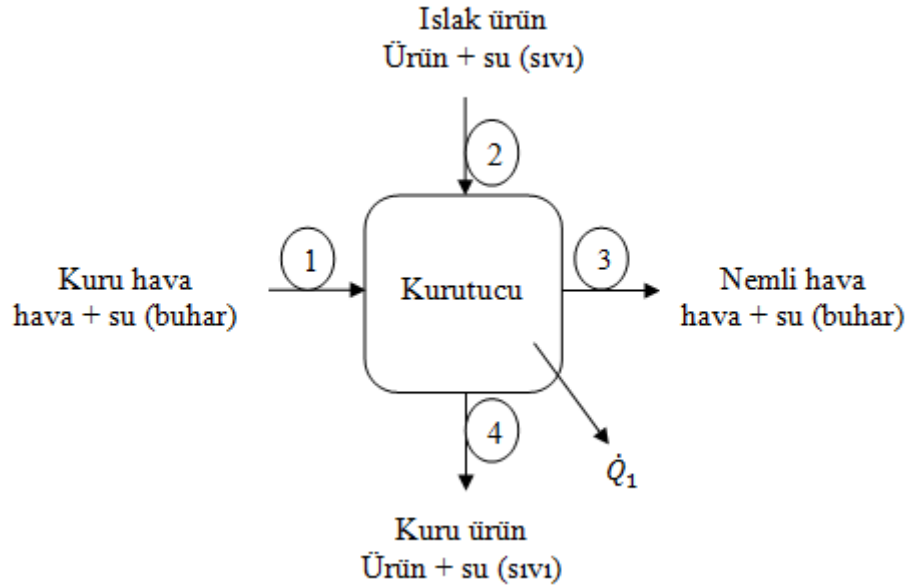
3.2 Yöntem

Yün iplik bobini kurutma düzeneğinin çalışması incelendiğinde kurutma haznesinden çıkan sıcak havanın özgül nemi, soğutma eşanjöründen geçirilerek düşürülür. Soğutma eşanjörü gerekli olan ısıyı hidrofor tesisatından beslediği soğuk suyla sağlamaktadır. Böylece kurutma havasının içerdiği nemim bir kısmı eşanjör yüzeyinde yoğuşturulur.

Soğutma eşanjöründen çıkan kurutma havası seperatöre gelir. Seperatörde hava içinde bulunan su damlacıkları ayıklanır. Ayıklanan su damlacıkların tahliyesi su seviye elektrotu sayesinde gerçekleşmekte fakat bu esnada sistemdeki havasında bir kısmı dışarı atılmakta olduğundan işletme basıncını sabit tutmak için bir kompresörden faydalanılmaktadır. Seperatörden çıkan kurutma havası tekrar hava fanına gönderilir, hava fanı kurutma havasını ısıtıcıya gönderir, ısıtıcı içerisinden istenilen termodinamik özelliklere sahip hava, kurutucu (kurutma haznesi) içerisine girer böylece sistemin sürekli çalışması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada kurutma proseslerinden kurutma haznesi (portmantiyer veya makine) ele alınmış, kurutucunun ekserji ve enerji analizi yapılarak verimliliği araştırılmıştır. Kurutma deney düzeneği şemasında da (Şekil 3.6) gösterildiği gibi sistemdeki bütün elemanların giriş ve çıkış noktalarında kurutucu hava olan akışkanın sıcaklık değerleri ölçülmüş, ayrıca kurutma haznesi ve seperatör çıkış noktalarındaki sahip oldukları bağıl nem büyüklükleri de tespit edilmiştir. Böylece elde edilen değerler sayesinde sistem elemanlarının giriş ve çıkış noktalarında hareket eden akışkanın gerçek termodinamik özellikleri hesaplanarak sistemin anlık enerji ve ekserji analizi yapılmıştır.

3.2.1 Kurutma Sistemi Ekserji Analizi



Şekil 3.21. Kurutucu giriş ve çıkış terimleri şeması

Sistemde analizi yapılacak eleman olarak seçilen kurutucu için; 1 noktası, ısıtıcı çıkışındaki kuru hava + su (buhar), 2 noktası kurutucu içindeki ıslak ürün + su (sıvı), 4 noktası kurutucu içindeki kuru ürün + su (sıvı), 3 noktası seperatör girişindeki nemli hava + su (buhar)'dan oluşmaktadır. Q_1 ise sistemden dışarı atılan ısı miktarı olup deney düzeneğimiz yalıtılmış olup adyabatik sistem kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplar aşağıdaki formüllere göre (Denklem 3.1 – 3.16) yapılmıştır (Dinçer ve Rosen 2007).

3.2.1.1 Kütle dengesi

Ürün + kuru hava + su için kütle denklemlerini yazalım;

$$\text{Ürün} : (\dot{m}_u)_2 = (\dot{m}_u)_4 = \dot{m}_u \quad (3.1)$$

$$\text{Hava} : (\dot{m}_h)_1 = (\dot{m}_h)_3 = \dot{m}_h \quad (3.2)$$

$$\text{Su} : \omega_1 \dot{m}_h + (\dot{m}_s)_2 = \omega_3 \dot{m}_h + (\dot{m}_s)_4 \quad (3.3)$$

Burada \dot{m}_u ; ürünün kütleli debisini, \dot{m}_h ; havanın kütleli debisini, \dot{m}_s ; suyun kütleli debisini ω ; özgül nemi ifade etmektedir.

3.2.1.2 Enerji Dengesi

Tüm sistemler için enerji dengesi;

$$\dot{m}_h h_1 + \dot{m}_u (h_u)_2 + (\dot{m}_s)_2 (h_s)_2 = \dot{m}_h h_3 + \dot{m}_u (h_u)_4 + (\dot{m}_s)_4 (h_s)_4 + \dot{Q}_l \quad (3.4)$$

$$h_1 = (h_h)_1 + \omega_1 (h_b)_1 = (h_h)_1 + \omega_1 (h_g)_1 \quad (3.5)$$

$$h_3 = (h_h)_3 + \omega_3 (h_b)_3 \quad (3.6)$$

Burada h ; su ve havanın buldukları sıcaklık, basınç ve bağıl neme göre sahip oldukları entalpiyi ifade etmektedir. h_1 ve h_3 değerleri psikometrik diyagramdan elde edilir. Isı kaybının ifadesi;

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_h q_l \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanır.

3.2.1.3 Ekserji dengesi

Tüm sistemler için ekserji dengesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\dot{m}_h ex_1 + \dot{m}_u (ex_u)_2 + (\dot{m}_s)_2 (ex_s)_2 = \dot{m}_h ex_3 + \dot{m}_u (ex_u)_4 + (\dot{m}_s)_4 (ex_s)_4 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_d \quad (3.8)$$

1 noktasının ekserjisi;

$$\begin{aligned} ex_1 = & \left[(C_p)_h + \omega_1 (C_p)_b \right] (T_1 - T_0) - T_0 \left\{ \left[(C_p)_h + \omega_1 (C_p)_b \right] \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) - (R_h + \omega_1 R_b) \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \right\} \\ & + T_0 \left\{ (R_h + \omega_1 R_b) \ln \left(\frac{1 + 1,6078\omega^0}{1 + 1,6078\omega_1} \right) + 1,6078\omega_1 R_h \ln \left(\frac{\omega_1}{\omega^0} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3.9)$$

3 noktasının ekserjisi;

$$\begin{aligned} ex_3 = & \left[(C_p)_h + \omega_3 (C_p)_b \right] (T_3 - T_0) - T_0 \left\{ \left[(C_p)_h + \omega_3 (C_p)_b \right] \ln \left(\frac{T_3}{T_0} \right) - (R_h + \omega_3 R_b) \ln \left(\frac{P_3}{P_0} \right) \right\} \\ & + T_0 \left\{ (R_h + \omega_3 R_b) \ln \left(\frac{1 + 1,6078\omega^0}{1 + 1,6078\omega_3} \right) + 1,6078\omega_3 R_h \ln \left(\frac{\omega_3}{\omega^0} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Nemli ürünler için yazılabilen özel ekserji dengesi;

$$ex_{\ddot{u}} = [h_{\ddot{u}}(T, P) - h_{\ddot{u}}(T_0, P_0)] - T_0 [s_{\ddot{u}}(T, P) - s_{\ddot{u}}(T_0, P_0)] \quad (3.11)$$

Su içeriği için özel ekserji bağıntısı;

$$ex_s = [h_{sivl}(T) - h_g(T_0)] + v_{sivl} [P - P_g(T)] - T_0 [s_{sivl}(T) - s_g(T_0)] + T_0 R_b \ln \left[\frac{P_g(T_0)}{x_v^0 P_0} \right] \quad (3.12)$$

Isı kaybı nedeniyle ekserji akış hızı bağıntısı;

$$E\dot{x}_q = \dot{m}_h ex_q = \dot{m}_h \left(1 - \frac{T_0}{T_{ort}} \right) q_1 = \left(1 - \frac{T_0}{T_{ort}} \right) Q_1 \quad (3.13)$$

Su içeriği için kurutucu çıkışındaki ekserji bağıntısı;

$$(ex_s)_3 = [h(T_3, P_{b3}) - h_g(T_0)] - T_0 [s(T_3, P_{b3}) - s_g(T_0)] + T_0 R_b \ln \left[\frac{P_g(T_0)}{x_b^0 P_0} \right] \quad (3.14)$$

$$P_{b3} = (x_b)_3 P_3 \quad (3.15)$$

3.2.1.4 Ekserji verimi

Kurutma çevrimlerinde ekserji verimi, ürünün kurutulması için gerekli ekserjinin, proseste kullanılan kuru havanın ekserjisine oranı olarak ifade edilebilir.

$$\psi = \frac{\text{Ürün içindeki nemin buharlaşma ekserjisi}}{\text{Kullanılan kuru havanın ekserjisi}} \quad (3.15a)$$

$$\psi = \frac{(\dot{m}_s)_{\text{yoğ}}[(ex_s)_3 - (ex_s)_2]}{\dot{m}_h ex_1} \quad (3.15b)$$

$$(\dot{m}_s)_{\text{yoğ}} = (\dot{m}_s)_2 - (\dot{m}_s)_4 \quad (3.16)$$

formülü ile ifade edilir.

Ayrıca ekserji veriminin araştırılması değişik yollarla da yapılabilir. Bunlar;

a) İkinci kanun verimi:

İkinci kanun analizi ile kullanılabilir enerji kavramından yararlanarak prosesin verimliliği araştırılabilir. Kayıp kullanılabilir enerji tersinmezliğin bir ölçüsüdür ve işletmelerdeki tersinmezlikler artıkça artar. İkinci yasa verimini tanımlamaktaki amaç, tersinir hal değişimlerine hangi ölçüde yaklaşıldığını belirtmektedir. Bu bakımdan ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır, en iyi durumda bir olacaktır (**Öztürk ve Kılıç 1993**).

Buna göre ikinci kanun verimi;

$$\varepsilon = 1 - \frac{\text{Kayıp kullanılabilir enerji}}{\text{Başlangıçta mevcut kullanılabilir enerji}} \quad (3.17)$$

veya

$$\dot{\varepsilon} = 1 - \frac{\text{Kayıp kullanılabilir enerji}}{\text{Sarfedilen kullanılabilir enerji}} \quad (3.18)$$

b) Kurutma sistemleri için özel ekserji verimi:

Kurutma sistemleri için ana iki ekserjistik verimlilik formülü vardır (**Syahrul 2002, Midilli ve Kucuk 2003, Akpınar 2006**). Birincisi, ürün ekserjisinin ekserji girdisine oranı olarak tanımlanmaktadır (**Midilli ve Küçük 2003, Akpınar 2006**).

$$\varepsilon_{Ex} = \frac{\text{Ekserji girdisi} - \text{Ekserji çıktısı}}{\text{Ekserji girdisi}} = 1 - \frac{\dot{E}_x \text{ kayıp}}{\dot{E}_x \text{ giren}} \quad (3.19)$$

İkincisi ise ürün/yakıt temeline dayanmaktadır. Bu tanım daha önce denklem (3.15a)'da verilmiştir.

3.2.1.5 Kabuller

- a) Kurutma prosesi kararlı haldedir. Potansiyel ve kinetik enerji etkileri önemsenmediği kararlı akış hali vardır. Kimyasal reaksiyonlar yoktur.
- b) Sistem ve çevresi arasındaki ısı transferi ihmal edilmiştir.
- c) Sabit özgül ısı ile birlikte hava ideal gaz kabul edilmiştir (20°C ve 1 atm).
- d) Kurutma işlemine tabii tutulan iplik bobinlerin nem oranı toplam nem içeriğinin %5 değerinin altına düştüğünde iplik bobinlerin tamamen kuruduğu kabul edilmiştir.
- e) Enerji ve ekserji verimi hesaplarında denklem (3.19) kullanılmış, buna ek olarak 1 bar 80°C'deki verilerle, aşağıdaki formülle elde edilen ekserji verimi denklem (3.19)'un verdiği sonuçlarla karşılaştırılarak sağlamaya gidilmiştir.
- f)

$$\psi = \frac{(\dot{m}_h)_1 e_1 - ((\dot{m}_h)_3 e_3 + (\dot{m}_s)_2 e_2)}{(\dot{m}_h)_1 e_1} \quad (3.20)$$

Tablo 3.2. Referans çevrenin özellikleri

$(c_p)_h$	Havanın özgül ısısı	1,004 kJ/kg°C
$(c_p)_b$	Su buharının özgül ısısı	1,805 kJ/kg°C
R_h	Havanın gaz sabiti	0,287 kJ/kg°C
R_b	Su buharının gaz sabiti	0,4615 kJ/kg°C
T_o	Çevre sıcaklığı	20°C
P_o	Atmosfer basıncı	101,3 kPa
ω_o	Özgül nem (çevre şartları)	0,01174
$(\omega_b)_o$	Özgül nem	0,01888

g)

$$x_b = \frac{0,622\varphi P_d}{P - \varphi P_d} \quad (3.21)$$

h) Enerji dengesi için;

1 noktasındaki toplam enerji:

$$E_1 = (m_h)_1(h_h)_1 + (m_b)_1 w_1(h_b)_1 \quad (3.22)$$

3 noktasındaki toplam enerji:

$$E_3 = (m_h)_3(h_h)_3 + (m_b)_3 w_3(h_b)_3 \quad (3.23)$$

Enerji verimi:

$$\eta = 1 - \frac{E_3}{E_1} \quad (3.24)$$

(Tablo 3.21, 3.22, 3.23)

i) Ekserji dengesi için:

1 noktasındaki ekserji (Ex_1) Denklem (3.9)'da, 3 noktasındaki ekserji (Ex_3) Denklem (3.10)'da verilmiştir.

Ekserji verimi:

$$\psi = 1 - \frac{Ex_3}{Ex_1} \quad (3.25)$$

(Tablo 3.21, 3.22, 3.23)

j) İplik bobini üzerine yerleştirilen 7 adet termokupuldan alınan sıcaklık sonuçlarına göre iplik bobinin ortalama sıcaklığı; Termokupullardaki sıcaklıklar ve hacimleri sırasıyla $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$ ve $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ olarak isimlendirilirse:

Bobin hacmi;

$$V = \int_{r_1}^{r_2} 2 \pi r h \, dr \quad (3.26)$$

Ortalama sıcaklık;

$$T_{\text{ort}} = \frac{(T_1 V_1) + (T_2 V_2) + (T_3 V_3) + (T_4 V_4) + (T_5 V_5) + (T_6 V_6) + (T_7 V_7)}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7} \quad (3.27)$$

formülleri ile hesaplanmıştır (Tablo 3.24).

3.2.2 Deney verileri

Kurutma işlemine tabii tutulan iplik bobinlerin nem oranı toplam nem içeriğinin %5 değerinin altına düştüğünde iplik bobinlerin tamamen kuruduğu kabul edilmiştir. Buna göre farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıdadır.

Tablo 3.3. 1 bar 80°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	28,80	27,30	24,50	27,50	99,97	15,73	1,000
15	81,10	35,20	38,60	29,30	99,97	97,03	0,858
30	81,30	38,10	40,40	30,50	99,97	92,34	0,769
45	81,40	40,50	40,70	31,20	99,97	87,15	0,644
60	81,30	45,20	40,50	31,80	99,97	80,60	0,565
75	80,60	49,40	40,40	32,40	51,78	75,09	0,491
90	80,00	52,90	40,30	32,70	29,52	72,78	0,406
105	79,40	55,30	40,10	33,00	26,88	70,15	0,329
120	80,50	56,90	40,40	33,30	24,11	67,52	0,280
135	81,40	58,20	41,50	33,70	21,26	64,49	0,210
150	79,90	58,70	55,40	34,20	18,49	61,09	0,175
165	79,50	60,30	58,40	34,50	17,20	59,45	0,121
180	80,90	62,30	62,20	34,80	15,14	56,69	0,085
195	81,10	62,70	63,80	35,10	13,72	54,91	0,059
210	79,60	62,70	64,90	35,30	12,38	52,93	0,053

Tablo 3.4. 1 bar 90°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	29,80	27,40	24,50	26,40	99,97	16,14	1,000
15	89,80	39,40	40,00	29,90	99,97	98,60	0,819
30	88,30	42,90	43,00	32,60	99,97	93,76	0,707
45	90,30	49,60	43,10	33,30	99,97	86,53	0,579
60	88,90	55,40	42,30	33,50	99,97	77,16	0,461
75	88,50	59,00	42,10	34,20	27,62	71,95	0,366
90	90,80	61,60	41,90	34,70	23,80	68,18	0,304
105	89,60	62,70	42,20	35,20	21,56	65,38	0,208
120	88,60	63,80	42,90	35,80	17,86	61,10	0,143
135	80,40	64,60	52,10	36,30	15,35	57,74	0,113
150	90,00	65,50	62,90	36,90	13,37	56,03	0,059
165	91,10	66,00	68,80	37,20	11,49	52,14	0,052

Tablo 3.5. 1 bar 100°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	28,80	28,60	25,80	29,00	99,97	27,94	1,000
15	94,20	36,20	40,80	30,70	99,97	93,99	0,818
30	99,40	42,20	44,50	33,60	99,97	86,71	0,664
45	99,50	48,30	44,90	34,50	51,51	81,37	0,524
60	99,20	54,40	44,50	35,50	26,69	73,01	0,398
75	99,40	59,30	44,40	36,20	21,56	67,38	0,291
90	99,10	62,40	45,00	36,90	18,13	63,07	0,204
105	99,10	64,80	48,40	37,50	14,82	58,87	0,124
120	99,20	66,60	66,00	38,10	12,36	55,18	0,066
135	99,50	67,40	72,10	38,40	11,14	53,64	0,048

Tablo 3.6. 2 bar 80°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	28,80	26,60	25,10	27,30	99,97	27,10	1,000
15	79,60	37,10	49,80	31,50	99,97	99,84	0,893
30	79,60	40,60	53,70	32,90	99,97	95,14	0,773
45	79,30	43,70	55,30	33,40	89,41	89,64	0,659
60	78,30	48,10	57,20	34,20	41,26	82,13	0,553
75	78,50	53,80	58,90	35,00	33,50	76,43	0,477
90	78,80	56,20	43,70	34,80	29,50	73,37	0,394
105	79,30	57,80	44,00	35,50	26,97	70,19	0,319
120	79,40	58,90	43,80	35,30	24,19	67,19	0,255
135	80,70	59,80	44,10	35,70	21,73	64,76	0,193
150	80,00	59,80	45,20	36,00	18,64	60,62	0,139
165	79,60	60,70	58,90	36,30	16,85	58,39	0,100
180	80,50	61,10	62,70	36,60	15,38	56,17	0,067
195	80,00	61,40	64,90	36,80	14,06	54,15	0,042

Tablo 3.7. 2 bar 90°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	29,60	27,20	25,40	27,10	99,97	27,82	1,000
15	83,00	37,30	41,80	30,80	99,97	95,67	0,889
30	85,80	41,80	44,90	33,40	99,97	92,44	0,765
45	87,60	48,00	45,80	34,50	99,97	85,34	0,618
60	87,60	55,00	45,70	34,90	55,11	79,75	0,516
75	88,50	59,00	45,60	35,60	28,26	72,60	0,409
90	89,00	61,20	45,60	36,50	24,33	68,40	0,319
105	89,30	63,30	46,30	37,40	19,86	63,59	0,218
120	89,40	64,40	48,40	37,90	16,48	58,65	0,152
135	89,10	66,60	64,40	38,50	14,62	55,52	0,099
150	89,50	67,50	70,40	38,80	12,55	52,55	0,058

Tablo 3.8. 2 bar 100°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	28,60	26,90	25,70	27,80	99,97	22,86	1,000
15	89,20	37,70	41,70	30,70	99,97	95,34	0,926
30	94,10	42,80	46,40	33,10	99,97	92,62	0,803
45	96,80	48,00	49,00	34,40	99,97	91,00	0,636
60	98,60	55,90	49,30	35,40	99,97	80,97	0,513
75	98,80	61,60	49,40	36,10	63,09	73,26	0,422
90	98,70	65,10	50,10	37,00	21,39	68,03	0,343
105	98,80	68,10	61,00	37,60	17,92	63,32	0,273
120	98,90	70,70	68,20	38,30	14,81	58,80	0,209
135	98,90	72,60	73,40	39,10	12,86	54,98	0,154
150	98,70	73,50	75,20	39,50	11,70	52,90	0,120
165	98,90	74,00	76,30	39,80	10,91	51,39	0,072

Tablo 3.9. 3 bar 80°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	30,50	26,80	25,30	26,20	99,97	30,86	1,000
15	79,10	38,70	42,90	31,40	99,97	96,74	0,899
30	79,70	45,70	45,80	33,20	99,97	92,65	0,817
45	79,70	49,90	46,30	34,10	99,97	87,65	0,710
60	79,60	53,00	46,10	34,10	99,97	82,90	0,634
75	79,60	56,00	45,90	34,90	55,74	78,01	0,549
90	79,90	57,80	45,90	35,50	30,97	72,89	0,475
105	79,30	58,80	46,20	35,60	26,66	69,99	0,422
120	79,60	59,60	47,10	35,90	24,36	66,61	0,372
135	79,30	60,20	59,30	36,30	21,22	63,27	0,305
150	79,40	60,60	61,70	36,50	19,33	60,31	0,272
165	79,40	61,20	64,60	36,50	18,21	59,38	0,232
180	79,70	61,50	65,30	36,70	17,38	58,06	0,201
195	79,50	61,60	66,00	36,80	16,19	56,22	0,160
210	79,90	62,00	67,10	37,00	14,55	54,50	0,134
225	79,50	62,60	67,90	37,30	13,39	52,14	0,096
240	79,70	62,80	68,20	37,50	12,62	50,40	0,080

Tablo 3.10. 3 bar 90°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	29,50	28,00	26,10	28,10	99,97	71,74	1,000
15	78,70	42,00	42,60	32,60	99,97	90,80	0,958
30	84,00	48,60	45,60	34,10	99,97	83,54	0,907
45	88,90	53,90	47,60	35,40	99,97	79,88	0,784
60	89,30	57,20	48,30	36,50	99,97	78,54	0,726
75	89,30	60,00	49,10	37,30	99,97	74,53	0,657
90	89,50	62,10	50,40	37,80	99,97	67,77	0,584
105	89,50	63,60	50,90	37,90	45,33	65,03	0,516
120	89,70	64,40	60,30	38,10	20,20	63,19	0,479
135	89,30	65,20	64,50	38,40	18,57	61,17	0,401
150	89,20	65,60	66,30	38,70	17,29	58,91	0,360
165	89,30	66,00	69,50	39,10	16,03	57,35	0,335
180	89,20	66,60	70,50	39,10	14,80	55,30	0,280
195	89,20	66,90	71,30	39,40	13,91	53,83	0,242
210	89,50	67,50	72,20	39,70	12,86	52,14	0,209
225	89,30	67,70	72,70	39,80	12,13	50,81	0,188
240	89,50	68,00	73,10	40,00	11,49	49,59	0,147
255	88,90	68,30	73,90	40,10	10,72	47,81	0,095

Tablo 3.11. 3 bar 100°C verileri

ZAMAN (DAKİKA)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ İÇ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	SEPERATÖR ÇIKIŞ SICAKLIĞI (°C)	KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	SEPERATÖR ÇIKIŞ NEMİ (%RH)	NEM ORANI (X)
0	30,20	28,80	26,90	29,50	99,97	31,80	1,000
15	83,60	39,70	43,00	31,10	99,97	96,43	0,980
30	86,60	45,60	47,10	33,10	99,97	97,19	0,919
45	93,20	50,10	49,00	33,80	99,97	94,19	0,810
60	94,30	57,50	49,50	34,50	99,97	87,99	0,708
75	95,40	62,40	50,30	35,70	99,97	81,28	0,622
90	98,10	66,00	51,60	36,20	99,97	75,91	0,555
105	98,20	68,30	52,40	36,70	99,97	71,04	0,472
120	98,40	70,00	54,50	37,30	41,04	68,03	0,422
135	98,50	71,00	59,20	37,70	18,59	64,49	0,365
150	97,30	71,80	66,00	38,00	16,90	61,15	0,333
165	99,20	73,30	72,30	39,50	12,78	56,18	0,259
180	97,80	73,10	74,50	39,10	13,16	55,06	0,241
195	95,80	73,70	76,00	39,40	12,20	53,55	0,200
210	98,10	73,90	76,40	39,00	11,46	52,87	0,162
225	96,80	74,30	77,30	39,40	10,47	50,75	0,126
240	97,30	74,70	77,80	39,20	9,85	49,83	0,099

Tablo 3.12. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 80°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütlesel Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütlesel Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütlesel Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütlesel Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	1,93	41,89	120,91	0,00000	0,00000	9,64	49,09	102,93	0,00000	0,00000
15	195,83	338,71	339,69	0,15046	0,03660	21,89	95,04	161,86	0,18300	0,00409
30	185,50	573,57	340,52	0,15239	0,03470	24,20	102,85	169,38	0,18257	0,00452
45	173,07	540,74	340,96	0,15471	0,03230	24,60	104,21	170,63	0,18249	0,00460
60	156,00	495,33	340,52	0,15790	0,02910	24,33	103,30	169,80	0,18254	0,00455
75	138,03	446,80	337,59	0,16120	0,02580	12,30	72,21	169,38	0,18470	0,00230
90	129,03	422,19	335,07	0,16290	0,02410	6,92	58,24	168,96	0,18580	0,00129
105	119,89	397,25	332,55	0,16460	0,02240	6,22	56,25	168,13	0,18593	0,00116
120	120,81	401,04	337,16	0,16440	0,02260	5,67	55,12	169,38	0,18600	0,00106
135	119,43	398,48	340,94	0,16470	0,02230	5,30	55,28	173,98	0,18610	0,00099
150	104,31	356,59	334,65	0,16750	0,01950	9,32	79,86	232,07	0,18530	0,00174
165	99,17	342,49	332,97	0,16850	0,01850	10,00	84,72	244,61	0,18520	0,001871
180	100,23	346,96	338,84	0,16830	0,01870	10,51	89,92	260,51	0,18510	0,00196
195	97,30	339,95	339,68	0,16880	0,01820	10,24	90,85	267,20	0,18518	0,00191
210	87,18	310,84	333,39	0,17070	0,01630	9,70	90,56	271,80	0,18525	0,00181

Tablo 3.13. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 90°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava, m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	2,10	35,24	125,09	0,00000	0,00000	9,64	49,09	102,93	0,00000	0,00000
15	323,25	952,55	376,23	0,12660	0,06040	23,67	101,07	167,71	0,18260	0,00440
30	275,65	823,27	369,92	0,13550	0,05150	27,91	115,17	180,25	0,18180	0,00520
45	274,07	822,11	378,33	0,13580	0,05120	28,06	115,67	180,67	0,18180	0,00520
60	216,94	667,65	372,45	0,14650	0,04050	26,86	111,72	177,32	0,18200	0,00500
75	193,70	605,14	370,76	0,15080	0,03620	7,12	60,59	176,49	0,18570	0,00133
90	202,49	631,77	380,44	0,14920	0,03780	6,06	57,66	175,65	0,18590	0,00113
105	180,62	571,76	375,39	0,15330	0,03370	5,57	56,71	176,91	0,18600	0,00104
120	157,87	509,76	371,19	0,15750	0,02950	4,78	55,38	179,83	0,18620	0,00089
135	152,82	497,35	374,55	0,15850	0,02850	6,57	69,34	218,28	0,18580	0,00122
150	151,45	494,46	377,07	0,15870	0,02830	9,57	88,17	263,44	0,18530	0,00179
165	145,86	480,95	381,70	0,15980	0,02720	10,71	97,22	288,13	0,18500	0,00200

Tablo 3.14. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 100°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	3,44	37,64	120,910	0,00000	0,00000	10,43	52,44	108,368	0,00000	0,00000
15	388,41	1134,00	394,741	0,11440	0,07260	24,74	104,67	171,057	0,18247	0,00462
30	466,02	1351,41	416,646	0,09990	0,08710	30,28	122,88	186,517	0,18143	0,00566
45	420,54	1229,43	417,067	0,10840	0,07860	15,57	85,28	188,188	0,18418	0,00291
60	346,97	1031,33	415,802	0,12210	0,06490	7,81	64,81	186,517	0,18563	0,00146
75	310,30	933,19	416,646	0,12900	0,05800	6,26	60,71	186,099	0,18592	0,00117
90	277,14	843,66	415,381	0,13520	0,05180	5,42	59,15	188,606	0,18608	0,00101
105	251,23	774,08	415,381	0,14000	0,04700	5,27	62,20	202,814	0,18611	0,00098
120	230,79	719,36	415,802	0,14400	0,04310	10,18	92,94	276,412	0,18519	0,00190
135	225,31	705,06	417,067	0,14490	0,04210	12,00	103,99	301,954	0,18480	0,00224

Tablo 3.15. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (2 bar 80°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	2,21	34,54	120,9232	0,00000	0,00000	6,65	42,08	105,4630	0,00000	0,00000
15	114,03	381,98	333,4417	0,16570	0,02133	26,30	118,18	208,6706	0,18210	0,00490
30	107,74	365,29	333,4417	0,16690	0,02015	32,14	137,47	224,9767	0,18100	0,00600
45	99,09	342,03	332,1830	0,16850	0,01850	30,99	136,18	231,6678	0,18130	0,00570
60	85,51	304,90	327,9879	0,17110	0,01590	15,28	97,23	239,6149	0,18420	0,00280
75	79,55	289,37	328,8269	0,17220	0,01480	13,40	94,08	246,7266	0,18450	0,00250
90	77,03	283,04	330,0854	0,17260	0,01440	5,51	58,06	183,1752	0,18600	0,00100
105	74,99	278,22	332,1830	0,17300	0,01400	5,11	57,34	184,4288	0,18610	0,00090
120	71,75	269,73	332,6025	0,17360	0,01340	4,53	55,65	183,5930	0,18620	0,00084
135	73,03	274,62	338,0573	0,17340	0,01360	4,13	54,92	184,8467	0,18630	0,00077
150	65,76	254,14	335,1200	0,17470	0,01230	3,75	55,04	189,4437	0,18630	0,00070
165	61,97	244,07	333,4417	0,17550	0,01150	6,67	76,51	246,7266	0,18580	0,00120
180	61,82	244,67	337,2180	0,17550	0,01150	7,26	81,92	262,6280	0,18570	0,00130
195	58,08	234,21	335,1200	0,17620	0,01080	7,33	84,05	271,8371	0,18570	0,00130

Tablo 3.16. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (2 bar 90°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	2,39	35,78	124,2656	0,0000	0,0000	6,77	42,69	114,2381	0,0000	0,0000
15	127,60	422,13	347,7113	0,1632	0,0238	17,22	86,33	175,2357	0,1838	0,0032
30	139,95	458,48	359,4697	0,1609	0,0261	20,34	96,90	188,1899	0,1832	0,0038
45	138,25	456,23	367,0323	0,1612	0,0258	21,33	101,11	191,9512	0,1831	0,0039
60	127,34	427,16	367,0323	0,1632	0,0238	11,52	75,64	191,5333	0,1849	0,0021
75	118,62	405,02	370,8147	0,1649	0,0221	5,82	60,81	191,1153	0,1860	0,0010
90	113,06	390,83	372,9163	0,1659	0,0211	5,01	58,69	191,1153	0,1861	0,0009
105	105,19	370,18	374,1774	0,1674	0,0196	4,23	57,40	194,0409	0,1863	0,0007
120	96,18	346,28	374,5478	0,1691	0,0179	3,90	58,67	202,8183	0,1863	0,0007
135	89,13	327,12	373,3367	0,1704	0,0166	7,45	84,17	269,7439	0,1857	0,0013
150	85,18	317,06	375,0182	0,1704	0,0166	8,35	92,63	294,8710	0,1855	0,0015

Tablo 3.17. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (2 bar 100°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	1,85	33,40	120,0876	0,0000	0,0000	6,89	43,31	107,9703	0,0000	0,0000
15	171,41	546,67	373,7570	0,1550	0,0320	17,13	85,99	174,8179	0,1838	0,0032
30	209,98	656,35	394,3669	0,1478	0,0392	22,02	103,51	194,4588	0,1829	0,0041
45	234,54	725,95	405,7340	0,1432	0,0438	25,23	114,56	205,3264	0,1823	0,0047
60	218,59	685,74	413,3165	0,1462	0,0408	25,63	115,91	206,5804	0,1823	0,0047
75	193,18	617,82	414,1593	0,1509	0,0361	16,01	91,08	206,9985	0,1841	0,0029
90	174,69	568,05	413,7379	0,1544	0,0326	5,53	64,61	209,9247	0,1860	0,00103
105	160,22	529,32	414,1593	0,1571	0,0299	7,83	81,69	255,5134	0,1856	0,0014
120	146,74	493,28	414,5806	0,1596	0,0274	8,96	92,00	285,6555	0,1854	0,0016
135	135,14	462,13	414,5806	0,1618	0,0252	9,75	99,38	307,4423	0,1852	0,0018
150	127,85	442,31	413,7379	0,1631	0,0239	9,56	100,74	314,9878	0,1853	0,0017
165	124,55	433,69	414,5806	0,1637	0,0233	9,33	101,26	319,6000	0,1853	0,0017

Tablo 3.18. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (3 bar 80°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	2,10	35,94	128,1178	0,0000	0,0000	5,04	38,20	106,3925	0,0000	0,0000
15	77,29	284,07	331,4246	0,1726	0,0144	13,63	78,21	179,9211	0,1845	0,0025
30	75,68	280,50	333,9417	0,1729	0,0141	15,89	87,05	192,0394	0,1841	0,0029
45	71,13	268,44	333,9417	0,1737	0,0133	16,32	88,66	194,1290	0,1840	0,0030
60	66,56	256,22	333,5222	0,1746	0,0124	16,15	88,01	193,2932	0,1840	0,0030
75	62,24	244,78	333,5222	0,1754	0,0116	8,81	68,03	192,4573	0,1854	0,0016
90	57,78	232,95	334,7808	0,1762	0,0108	4,86	58,63	192,4573	0,1861	0,00090
105	54,54	224,06	332,2636	0,1768	0,0102	4,25	57,34	193,7111	0,1863	0,00079
120	52,38	218,66	333,5222	0,1772	0,0098	4,06	57,77	197,4724	0,1863	0,00075
135	48,89	209,10	332,2636	0,1779	0,0091	6,42	76,29	248,4852	0,1858	0,0012
150	46,64	203,24	332,6831	0,1783	0,0087	6,54	79,03	258,5273	0,1858	0,0012
165	45,87	201,19	332,6831	0,1785	0,0085	7,03	83,27	270,6650	0,1857	0,0013
180	45,37	200,19	333,9417	0,1786	0,0084	6,92	83,70	273,5955	0,1858	0,0012
195	43,45	194,89	333,1026	0,1789	0,0081	6,65	83,70	276,5261	0,1858	0,0012
210	42,76	193,51	334,7808	0,1790	0,0080	6,27	83,82	281,1320	0,1859	0,0011
225	40,09	186,00	333,1026	0,1795	0,0075	9,81	83,86	284,4821	0,1859	0,0011
240	39,00	183,34	333,9417	0,1798	0,0072	9,71	83,45	285,7385	0,1860	0,0010

Tablo 3.19. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (3 bar 90°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buha rm_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buha m_{b3} (kg/s)
0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
15	70,70	266,15	329,7466	0,1738	0,0132	13,42	77,35	178,6676	0,1845	0,0025
30	81,79	301,67	351,9895	0,1717	0,0153	15,73	86,41	191,2036	0,1841	0,0029
45	96,65	346,94	372,5745	0,1690	0,0180	17,46	92,97	199,5622	0,1838	0,0032
60	96,47	346,94	374,2558	0,1690	0,0180	18,10	95,36	202,4879	0,1837	0,0033
75	90,83	331,89	374,2558	0,1701	0,0169	18,87	98,17	205,8318	0,1835	0,0035
90	82,22	309,16	375,0965	0,1717	0,0153	20,17	102,90	211,2660	0,1833	0,0037
105	78,47	299,17	375,0965	0,1724	0,0146	9,21	74,99	213,3562	0,1853	0,0017
120	76,64	294,50	375,9373	0,1727	0,0143	6,41	77,26	252,6691	0,1859	0,0011
135	72,64	283,39	374,2558	0,1735	0,0135	7,14	83,45	270,2464	0,1857	0,0013
150	69,36	274,53	373,8355	0,1741	0,0129	7,21	85,46	277,7822	0,1857	0,0013
165	67,61	269,98	374,2558	0,1744	0,0126	7,70	90,00	291,1834	0,1856	0,0014
180	64,67	262,02	373,8355	0,1750	0,0120	7,42	90,29	295,3725	0,1857	0,0013
195	62,78	256,97	373,8355	0,1753	0,0117	7,21	90,56	298,7242	0,1857	0,0013
210	61,38	253,59	375,0965	0,1756	0,0114	6,93	90,73	302,4953	0,1858	0,0012
225	59,17	247,46	374,2558	0,1760	0,0110	6,67	90,57	304,5906	0,1858	0,0012
240	58,10	244,83	375,0965	0,1762	0,0108	6,43	90,32	306,2669	0,1858	0,0012
255	54,45	234,43	372,5745	0,1769	0,0101	6,20	90,54	309,6198	0,1859	0,0011

Tablo 3.20. Kurutma haznesi girişindeki ve çıkışındaki akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (3 bar 100°C)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ GİRİŞ					KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞ				
	Özgül Nem w_1 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h1} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b1} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h1} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b1} (kg/s)	Özgül Nem w_3 (g/kg)	Hava Entalpisi h_{h3} (kJ/kg)	Buhar Entalpisi h_{b3} (kJ/kg)	Kütleli Debi Hava m_{h3} (kg/s)	Kütleli Debi Buhar m_{b3} (kg/s)
0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
15	94,63	335,29	350,3100	0,1693	0,0177	13,71	78,50	180,3389	0,1845	0,0025
30	109,53	378,50	362,9095	0,1666	0,0204	17,01	91,29	197,4724	0,1839	0,0031
45	142,67	475,18	390,6571	0,1604	0,0266	18,77	97,82	205,4138	0,1835	0,0035
60	138,00	463,99	395,2859	0,1612	0,0258	19,26	99,61	207,5038	0,1834	0,0036
75	131,65	448,37	395,9160	0,1624	0,0246	20,07	102,53	210,8480	0,1833	0,0037
90	136,55	464,92	411,2863	0,1615	0,0255	21,44	107,46	216,2827	0,1830	0,0040
105	126,57	438,24	411,7076	0,1634	0,0236	22,33	110,60	219,6274	0,1829	0,0041
120	121,21	424,11	412,5502	0,1642	0,0226	9,95	80,59	228,4083	0,1852	0,0018
135	114,24	405,52	412,9715	0,1657	0,0213	5,59	74,02	248,0668	0,1860	0,0010
150	101,99	371,21	407,9165	0,1680	0,0190	6,95	87,47	276,5261	0,1857	0,0013
165	100,09	368,39	415,9210	0,1683	0,0187	6,91	90,79	302,9143	0,1858	0,0012
180	92,26	345,70	410,0225	0,1698	0,0172	7,83	95,44	312,1348	0,1856	0,0014
195	82,25	316,53	401,6000	0,1717	0,0153	7,72	96,70	318,4234	0,1856	0,0014
210	89,17	337,76	411,2863	0,1704	0,0166	7,37	96,18	320,1006	0,1857	0,0013
225	80,67	313,46	405,8107	0,1720	0,0150	6,99	96,08	323,8747	0,1857	0,0013
240	80,66	314,01	407,9165	0,1720	0,0150	6,71	95,85	325,9716	0,1858	0,0012

Tablo 3.21. Nemli ürünlerde kullanılan özel ekserji dengesi için akışkanın (hava-buhar) termodinamik özellikleri (1 bar 80°C) (Denklemler 3.15b)

Zaman (dk)	KURUTMA HAZNESİ İÇİ (SU İÇERİĞİ İÇİN)								KURUTMA HAZNESİ ÇIKIŞI (SU İÇERİĞİ İÇİN)			
	w_1 (g/kg)	$h_f(T)$ (kJ/kg)	v_f (m ³ /kg)	$s_f(T)$ (kJ/kg.K)	P_g (T) (kPa)	T (°C)	m_{s2} (kg/s)	$(ex_s)_2$ (kJ/kg)	w_3 (g/kg)	$h(T_3, P_{v3})$ (kJ/kg)	$s(T_3, P_{v3})$ (kJ/kg.K)	$(ex_s)_3$ (kJ/kg)
0	1,93	113,50	0,0010035	0,40	3,61	27,06	0,0000000	25,0741	9,64	102,7481	0,36024	25,7722
15	195,83	175,50	0,0010008	0,60	8,22	41,90	0,0013000	28,4690	21,89	2572,0113	8,51760	104,9289
30	185,50	181,94	0,0010009	0,62	8,90	43,44	0,0008330	29,0483	24,20	2575,4237	8,52850	105,1476
45	173,07	205,20	0,0010010	0,69	11,80	49,01	0,0011000	31,7954	24,60	2575,9922	8,53030	105,1880
60	156,00	219,07	0,0010013	0,73	13,94	52,33	0,0007440	33,9454	24,33	2575,6132	8,52910	105,1613
75	138,03	227,43	0,0010015	0,76	15,30	54,33	0,0007000	33,5150	12,30	2575,4232	8,52850	105,1476
90	129,03	244,99	0,0010017	0,81	18,71	58,53	0,0007880	36,4187	6,92	2575,2343	8,52790	105,1340
105	119,89	265,15	0,0010019	0,87	23,55	63,35	0,0007220	38,9940	6,22	2574,8552	8,52670	105,1065
120	120,81	298,76	0,0010023	0,97	33,23	71,38	0,0004660	43,2942	5,67	2575,4237	8,52850	105,1476
135	119,43	310,83	0,0010026	1,01	37,49	74,26	0,0006550	43,6400	5,30	2577,5077	8,53510	105,2978
150	104,31	311,96	0,0010026	1,01	37,89	74,53	0,0003220	44,7696	9,32	2603,7921	8,61690	107,6148
165	99,17	312,76	0,0010026	1,01	38,17	74,72	0,0005110	45,5693	10,00	2609,4599	8,63400	108,2723
180	100,23	321,57	0,0010027	1,04	41,79	76,82	0,0003330	45,5857	10,51	2616,6388	8,65560	109,1224
195	97,30	333,36	0,0010029	1,07	46,74	79,63	0,0002440	48,5808	10,24	2619,6615	8,66450	109,5374
210	87,18	334,57	0,0010029	1,07	47,25	79,92	0,0000555	49,7903	9,70	2621,7397	8,67070	109,7990

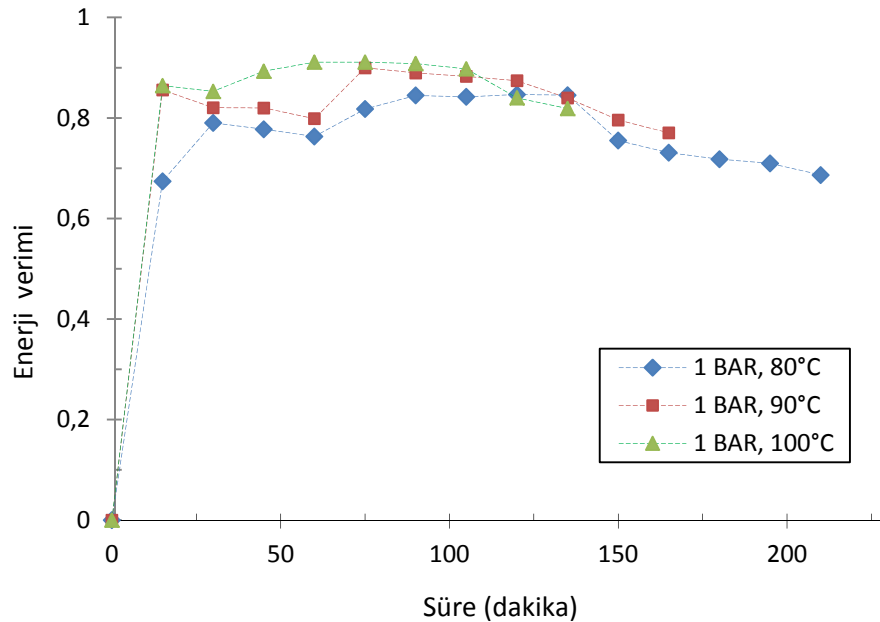
Tablo 3.22. Nemli ürünlerde kullanılan özel ekserji dengesi için bobin ortalama sıcaklık verileri (1 bar 80°C) (Denklemler 3.27)

Zaman (dk)	1 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	2 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	3 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	4 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	5 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	6 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	7 BOBIN IC SICAKLIGI T(°C)	BOBIN ORTALAMA SICAKLIGI T(°C)
0	28,30	28,30	28,40	28,30	27,10	25,30	25,20	27,06
15	74,30	40,90	41,00	40,80	40,00	40,00	39,30	41,90
30	76,60	44,80	41,70	41,50	40,90	41,10	42,00	43,44
45	77,70	77,00	54,00	41,80	41,10	41,30	41,50	49,01
60	77,90	77,60	77,40	42,30	40,90	41,00	41,20	52,33
75	77,50	78,10	78,00	54,50	40,60	40,70	40,90	54,33
90	77,40	78,20	78,20	77,60	41,00	41,90	40,70	58,53
105	77,80	78,20	78,50	78,20	61,40	45,50	40,30	63,35
120	78,80	78,30	78,70	78,60	77,70	67,20	40,30	71,38
135	79,30	79,20	79,20	79,00	78,50	78,60	40,10	74,26
150	78,50	79,60	79,70	79,20	78,80	78,90	40,40	74,53
165	78,50	79,20	79,60	79,30	78,80	78,90	42,40	74,72
180	80,00	79,30	79,70	79,70	79,00	79,00	58,20	76,82
195	79,90	79,90	80,10	80,00	79,50	79,50	78,70	79,63
210	79,30	80,20	80,50	80,10	79,70	79,80	79,60	79,92

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tekstil terbiye işlemleri arasında en fazla zaman gerektiren ve en önemli maliyet kalemlerinden birini teşkil eden iplik bobini kurutma prosesinin farklı kurutma şartları için enerji ve ekserji hesapları yapılarak en uygun kurutma şartlarıyla ilgili sonuçlar ortaya konmuştur. Enerji ve ekserji hesaplamalarında kullanılan veriler, yün iplik bobinlerinin basınçlı sıcak hava ile çalışan bir iplik bobini kurutma deney düzeneğinde kurutulmasından elde edilen deneysel verilerdir. Hesaplamalar sabit bir kurutma havası debisinde, 80°C, 90°C ve 100°C olmak üzere üç farklı kurutma havası sıcaklığı ve 1bar, 2bar ve 3bar olmak üzere üç farklı kurutma havası efektif basınç değerleri için yapılmıştır.

Farklı kurutma şartları için elde edilen enerji ve ekserji verim sonuçları Tablo 4.1-4.3’de verilmiştir. Bu tablolarda farklı basınç ve sıcaklık şartları için kurutma haznesine giren ve kurutma haznesini terk eden kurutma havasının sahip olduğu enerji ve ekserji miktarları ile enerji ve ekserji verimleri yer almaktadır. Kurutma havası sıcaklığının ve basıncının enerji ve ekserji verimi üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için enerji ve ekserji verim değerlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.1- 4.12’de grafiksel olarak çizilmiştir.



Şekil 4.1. $P_{ef}=1$ bar’da farklı sıcaklık değerleri için enerji verimlerinin zamanla değişimi

Tablo 4.1. Farklı sıcaklık değerleri için ekserji ve enerji verimleri (1 Bar)

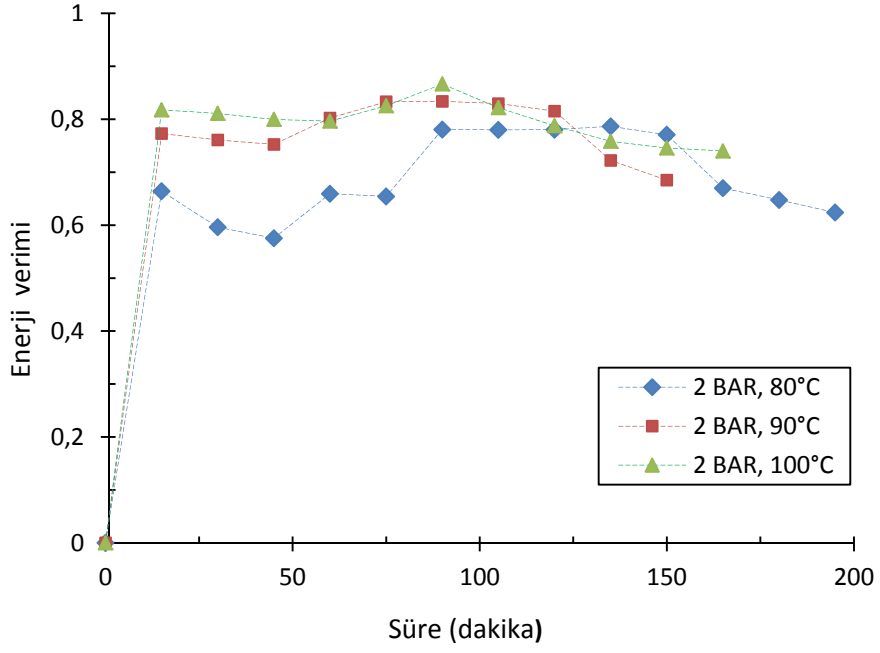
1 BAR																		
Zaman (dk)	80°C						90°C						100°C					
	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	130,6412	61,3923	0,5300	53,4070	17,4060	0,6740	193,9641	61,8071	0,6813	127,9384	18,4728	0,8556	228,6736	62,0653	0,7285	140,8607	19,1186	0,8642
30	126,0658	61,9342	0,5000	89,5982	18,7950	0,7902	169,9977	62,8644	0,6302	116,8044	20,9640	0,8205	271,5575	63,4918	0,7661	151,9176	22,3260	0,8530
45	120,6061	62,0314	0,4800	85,5630	19,0360	0,7775	169,8106	62,9036	0,6295	116,9514	21,0551	0,8199	247,4233	60,8576	0,7540	147,0561	15,7153	0,8931
60	113,2095	61,9658	0,4500	79,7050	18,8750	0,7631	142,2556	62,5946	0,5549	101,0830	20,3568	0,7986	209,0840	60,1083	0,7125	135,2885	12,0328	0,9110
75	105,7321	60,1398	0,4300	73,2260	13,3410	0,8178	135,5161	59,9040	0,5445	93,8548	9,4100	0,8997	190,5839	60,0586	0,6848	127,8800	11,2885	0,9111
90	101,7056	59,7750	0,4100	69,8160	10,8220	0,8449	136,1173	59,8706	0,5601	97,1720	10,7201	0,8896	174,0295	60,1040	0,6546	120,0259	11,0076	0,9082
105	97,9165	59,7496	0,3897	66,2800	10,4780	0,8419	125,9377	59,8912	0,5244	89,9357	10,5490	0,8827	161,4296	60,3936	0,6258	113,2759	11,5770	0,8977
120	98,5117	59,7671	0,3932	66,8510	10,2530	0,8466	115,7303	59,9532	0,4819	82,0158	10,3125	0,8742	151,7005	62,6072	0,5872	107,7238	17,2169	0,8401
135	98,1541	59,8440	0,3903	66,5370	10,2880	0,8453	113,7642	60,7517	0,4659	80,4612	12,8851	0,8398	149,2042	63,6735	0,5732	106,1193	19,2254	0,8188
150	91,9612	61,2216	0,3342	60,4090	14,8000	0,7550	113,3287	62,1427	0,4516	80,0869	16,3424	0,7959						
165	89,9386	61,6137	0,3149	58,3200	15,6940	0,7308	111,2312	63,0516	0,4331	78,3701	17,9918	0,7704						
180	90,6210	62,1253	0,3144	59,0280	16,6490	0,7179												
195	89,5641	62,3127	0,3042	57,9860	16,8280	0,7097												
210	85,5540	62,4188	0,2704	53,5340	16,7810	0,6865												

Tablo 4.2. Farklı sıcaklık değerleri için ekserji ve enerji verimleri (2 Bar)

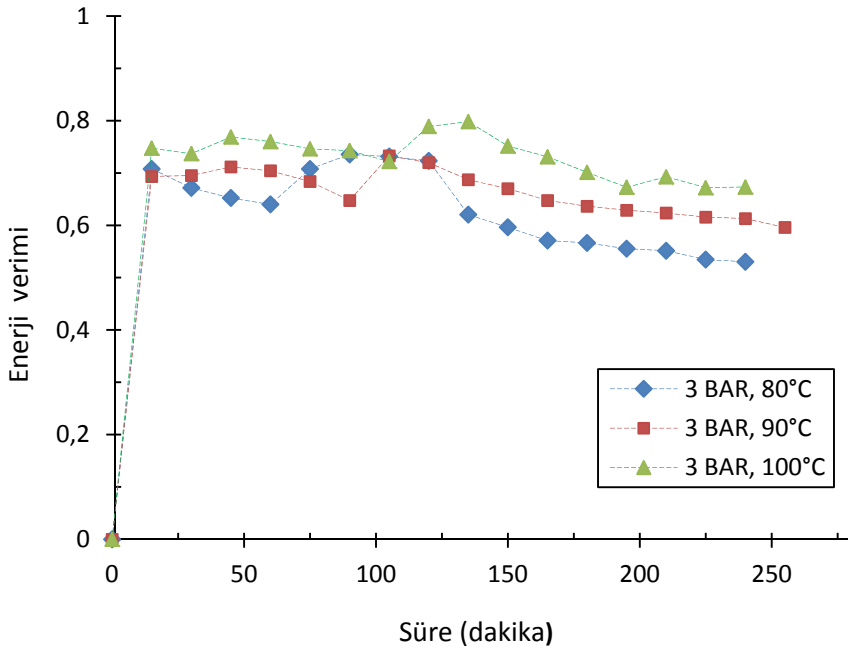
2 BAR																		
Zaman (dk)	80°C						90°C						100°C					
	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	135,9980	98,6643	0,2745	64,1051	21,5341	0,6641	142,8666	95,8909	0,3288	69,9475	15,8771	0,7730	165,2592	95,8657	0,4199	86,7839	15,8145	0,8177
30	133,2150	100,6500	0,2444	61,6907	24,9223	0,5960	149,2458	96,7905	0,3514	75,0824	17,9498	0,7609	186,0771	97,3002	0,4770	100,2546	18,9495	0,8109
45	129,3970	100,5060	0,2232	58,2410	24,7291	0,5754	148,8684	97,0892	0,3478	74,8534	18,5292	0,7524	199,7047	98,3152	0,5076	104,4258	20,9086	0,7997
60	123,4850	96,9699	0,2147	52,6143	17,9196	0,6594	143,7895	95,1885	0,3380	70,8248	13,9904	0,8024	191,8592	98,4448	0,4868	103,9413	21,1552	0,7964
75	121,0950	96,8346	0,1936	50,2166	17,3657	0,6542	140,0132	94,5664	0,3245	67,7598	11,3117	0,8330	178,7957	96,2855	0,4614	96,1173	16,7774	0,8254
90	120,1420	94,4000	0,2142	49,2188	10,8005	0,7805	137,6242	94,5281	0,3131	65,7283	10,9230	0,8338	169,4321	94,9475	0,4396	90,0631	12,0186	0,8665
105	119,4260	94,4050	0,2095	48,4808	10,6718	0,7799	134,2003	94,5658	0,2953	62,7395	10,6941	0,8295	162,2977	96,3226	0,4065	85,1402	15,1644	0,8218
120	118,1700	94,3710	0,2013	47,1449	10,3627	0,7802	130,3074	94,7444	0,2729	59,2008	10,9307	0,8153	155,7786	97,4172	0,3746	80,3943	17,0608	0,7877
135	118,9240	94,3880	0,2063	47,9548	10,2321	0,7866	127,2447	96,7267	0,2398	56,2932	15,6300	0,7223	150,2528	98,3021	0,3457	76,1844	18,4105	0,7583
150	115,9740	94,4720	0,1854	44,7391	10,2544	0,7708	125,6843	97,6706	0,2228	54,5572	17,1865	0,6849	146,7833	98,5651	0,3284	73,4049	18,6722	0,7456
165	114,4690	95,9620	0,1616	43,0719	14,2164	0,6699							145,3045	98,7153	0,3206	72,1981	18,7685	0,7400
180	114,5840	96,4850	0,1579	43,1793	15,2148	0,6476												
195	113,1080	96,7830	0,1443	41,4921	15,6105	0,6238												

Tablo 4.3. Farklı sıcaklık değerleri için ekserji ve enerji verimleri (3 Bar)

3 BAR																		
Zaman (dk)	80°C						90°C						100°C					
	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η	E _{x1} (kJ)	E _{x3} (kJ)	ψ	E ₁ (kJ)	E ₃ (kJ)	η
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	147,5018	120,0258	0,1862	49,3993	14,4358	0,7077	144,5689	119,9599	0,1702	46,5646	14,2770	0,6933	156,2479	120,0500	0,2316	57,3513	14,4894	0,7473
30	146,9133	120,7515	0,1780	48,8547	16,0347	0,6717	150,4769	120,6982	0,1978	52,2372	15,9168	0,6952	163,9560	121,1252	0,2612	63,8689	16,7986	0,7369
45	144,9444	120,8932	0,1659	46,9439	16,3229	0,6522	158,3473	121,2777	0,2341	59,2810	17,0990	0,7115	182,0751	121,7295	0,3314	77,6901	17,9634	0,7687
60	142,9832	120,8367	0,1548	45,0112	16,2032	0,6400	158,3535	121,4975	0,2327	59,2827	17,5297	0,7043	179,9606	121,9010	0,3226	76,2025	18,2828	0,7600
75	141,1827	119,3842	0,1543	43,1752	12,6154	0,7078	155,7307	121,7641	0,2181	57,0289	18,0277	0,6838	177,0112	122,1873	0,3097	74,0974	18,8094	0,7461
90	139,4192	118,9281	0,1469	41,2547	10,9118	0,7355	151,8519	122,2233	0,1951	53,5546	18,8773	0,6475	180,2089	122,6806	0,3192	76,5166	19,6837	0,7427
105	138,0109	118,9146	0,1383	39,7986	10,6830	0,7315	150,1759	119,8975	0,2016	52,0066	13,8998	0,7327	175,1721	122,7333	0,2993	72,8382	20,2488	0,7220
120	137,2164	118,9809	0,1328	38,9177	10,7631	0,7234	149,4098	120,5537	0,1931	51,2721	14,3644	0,7198	172,5407	120,3882	0,3022	70,7689	14,9293	0,7890
135	135,8103	120,4332	0,1132	37,3467	14,1765	0,6204	147,5697	121,1821	0,1788	49,5351	15,4991	0,6871	169,1169	120,3362	0,2884	68,1995	13,7691	0,7981
150	134,9745	120,7432	0,1054	36,3726	14,6858	0,5962	146,1312	121,4361	0,1689	48,1301	15,8725	0,6702	161,8329	121,3617	0,2500	63,1537	15,6885	0,7515
165	134,6853	121,1808	0,1002	36,0421	15,4657	0,5708	145,4046	121,9596	0,1612	47,4033	16,7071	0,6475	162,4435	122,2778	0,2472	62,7280	16,8712	0,7310
180	134,5536	121,2619	0,0987	35,8812	15,5537	0,5665	144,1385	122,0701	0,1531	46,1436	16,7697	0,6365	158,4002	122,7461	0,2250	59,3505	17,7170	0,7014
195	133,8054	121,3254	0,0932	34,9830	15,5536	0,5553	143,3471	122,1631	0,1477	45,3214	16,8197	0,6288	153,3160	122,9732	0,1979	54,8535	17,9509	0,6727
210	133,6258	121,4355	0,0912	34,7528	15,5840	0,5515	142,8297	122,2649	0,1439	44,7928	16,8601	0,6235	157,0388	122,9907	0,2168	58,1630	17,8636	0,6928
225	132,5866	121,5178	0,0834	33,4871	15,5914	0,5344	141,8764	122,3103	0,1379	43,7965	16,8303	0,6157	152,8423	123,0898	0,1946	54,4061	17,8449	0,6720
240	132,2352	121,5335	0,0809	33,0583	15,5233	0,5304	141,4819	122,3443	0,1352	43,3744	16,7838	0,6130	152,9588	123,1384	0,1949	54,5032	17,8115	0,6732
255							139,8823	122,4439	0,1246	41,6755	16,8334	0,5960						

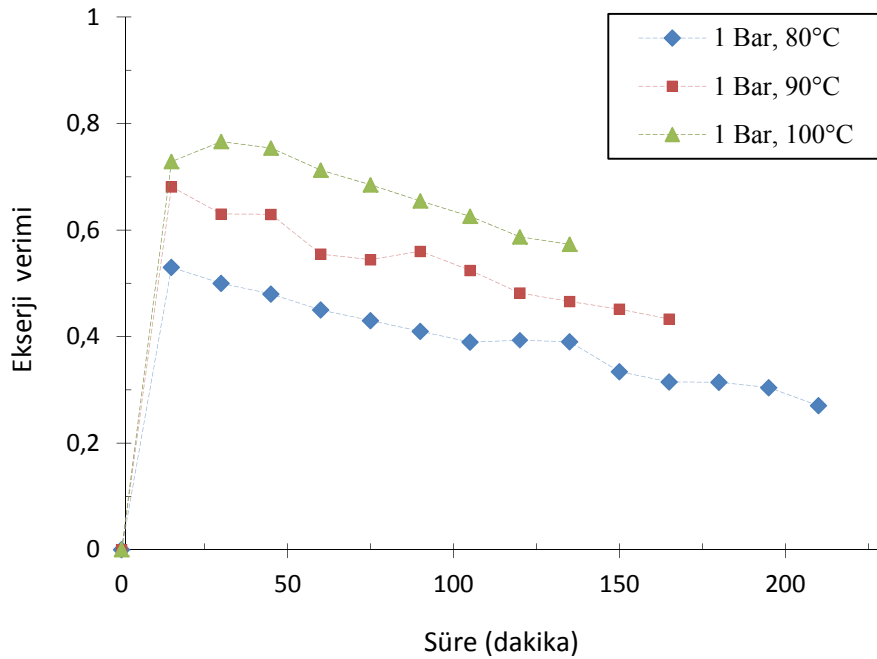


Şekil 4.2. $P_{ef}=2$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi

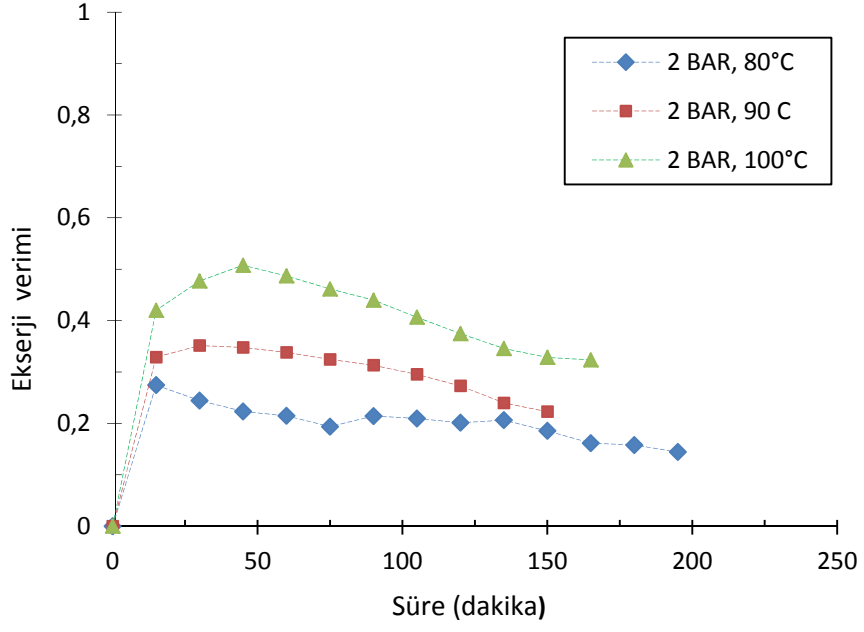


Şekil 4.3. $P_{ef}=3$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi

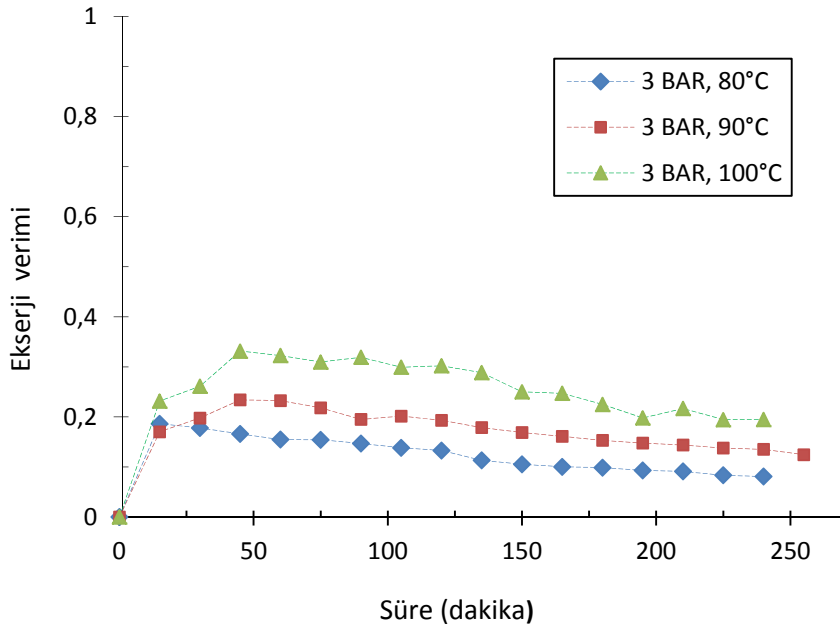
Şekil 4.1-4.3 kurutma havasının sırasıyla 1bar, 2bar ve 3bar efektif basınç değerlerinde enerji verimlerinin farklı kurutma havası sıcaklıkları için zamanla değişimini göstermektedir. Bu şekillerden görüleceği gibi enerji verimleri belli bir basınç değerinde farklı sıcaklıklar için çok büyük farklılıklar göstermemekle birlikte enerji veriminin en yüksek olduğu sıcaklık koşulu her üç işletme basıncında da kurutma havası sıcaklığının 100°C olduğu durumdur. Bunu kurutma havası sıcaklığının 90°C olduğu durum takip etmektedir. Kurutma havası sıcaklığının 80°C olduğu durumda ise tüm basınç değerlerinde geçerli olmak üzere enerji verimlerinin diğer sıcaklık koşullarına göre daha düşük değerlerde kaldığı görülmektedir. Tüm basınç ve sıcaklık koşulları için kurumanın sonlarına doğru enerji verim değerlerinde az da olsa bir miktar düşüşler olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebi ise kurumanın son aşamalarında iplik içerisinde uzaklaştırılması gereken nemin azalmış olması ve buna bağlı olarak kuruma hızında meydana gelen düşüştür. Bu da kurutma havasının sahip olduğu enerjinin daha düşük bir verimle kullanılmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.4. $P_{ef}=1$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi



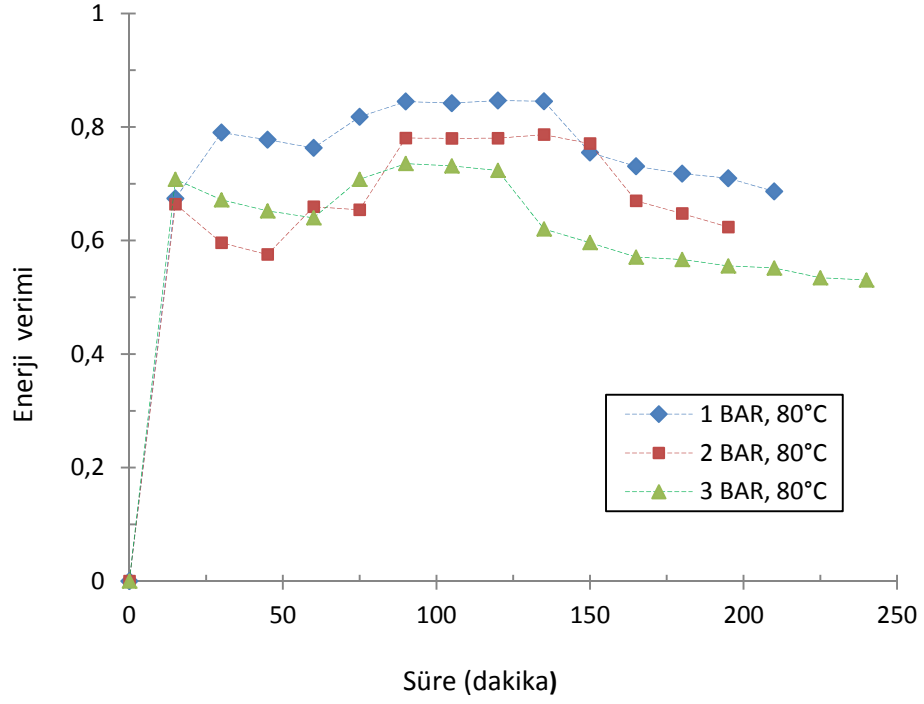
Şekil 4.5. $P_{ef}=2$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi



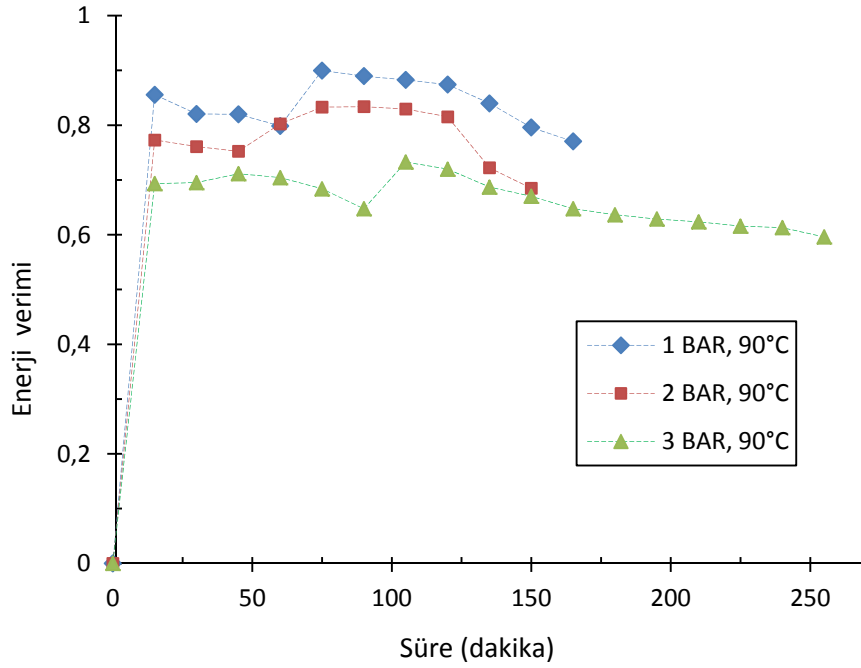
Şekil 4.6. $P_{ef}=3$ bar'da farklı sıcaklık koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.4-4.6'da ise sırasıyla 1bar, 2bar ve 3bar efektif hava basınçlarında farklı kurutma havası sıcaklıkları için ekserji veriminin zamanla değişimi görülmektedir. Basınç sabit tutularak farklı sıcaklıklar için hesaplanan ekserji verimleri, enerji veriminde olduğu gibi her bir basınç değeri için kurutma havası sıcaklığının 100°C olduğu durumlarda en yüksek değerlerde olmaktadır. Enerji ve ekserji verim sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, kurutma havası basıncının tüm değerleri için yün iplik bobinlerinin 100°C sıcaklıkta kurutulmasının, diğer sıcaklık koşullarına göre termodinamik bakımdan daha avantajlı olduğu görülmektedir. Enerji veriminde olduğu gibi ekserji verimi de benzer şekilde kurutma havası sıcaklığının 80°C olduğu durumda diğer sıcaklık şartlarına oranla daha düşük seviyelerde kalmıştır. Burada dikkati çeken diğer bir konu ise kurutma havası sıcaklığının ekserji verimi üzerindeki etkisinin oldukça büyük oluşudur. Örneğin 1 bar işletme basıncına sahip kurutma havasının farklı sıcaklık değerleri için Tablo 4.1 ve Şekil 4.4 incelendiğinde 80°C hava sıcaklığında ekserji verimlerinin yaklaşık olarak %27-%53, 90°C'de %43-%68 ve 100°C'de %57-%72 değerleri arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Diğer taraftan kurutma havası sıcaklığının belli bir değer üzerinde olması durumunda tekstil ürününe zarar verebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu üst sıcaklık değeri ipliği oluşturan lifin yapısına göre farklılıklar göstermektedir. Kurumanın başlangıç aşamalarında ekserji verim değerleri maksimum seviyelerde olmakta, kurumanın ilerleyen aşamalarında düşüşler görülmektedir. Kurumanın son aşamalarında ise ekserji verimi minimum değerlerde kalmaktadır. Kurutma havası sıcaklığının belirlenen sıcaklık değerine ulaşması kurutma şartlarına bağlı olarak 10-20 dakika kadar zaman almaktadır. Bobin haznesine giren hava sıcaklığı istenilen değerine ulaştığında ekserji verimi en üst seviyede olmakta, kurumanın ilerleyen safhalarında bobin içerisindeki nemin azalmasıyla birlikte ekserji verim değerlerinde düşüşler olmaktadır.

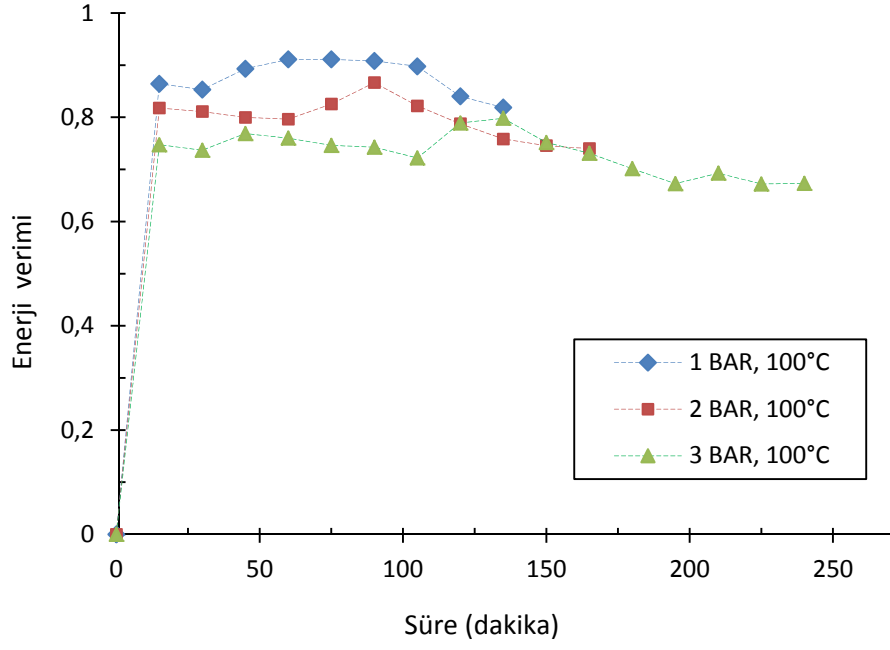
Ayrıca şekillerden açıkça görüldüğü gibi, tüm basınç koşullarında geçerli olmak üzere kuruma süresi bakımından kurutma havası sıcaklığının $T=100^{\circ}\text{C}$ olduğu durum kurumanın en kısa sürdüğü, $T=80^{\circ}\text{C}$ ise kurutmanın en uzun sürdüğü sıcaklık koşuludur. Bu ise beklenen bir sonuç olup, kurutma haznesine girerek bobinlerin içerisinde geçen daha yüksek sıcaklıktaki kurutma havasının daha düşük bağıl neme sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum kuruma hızının daha yüksek, dolayısı ile kuruma süresinin de daha düşük olmasına neden olmaktadır.



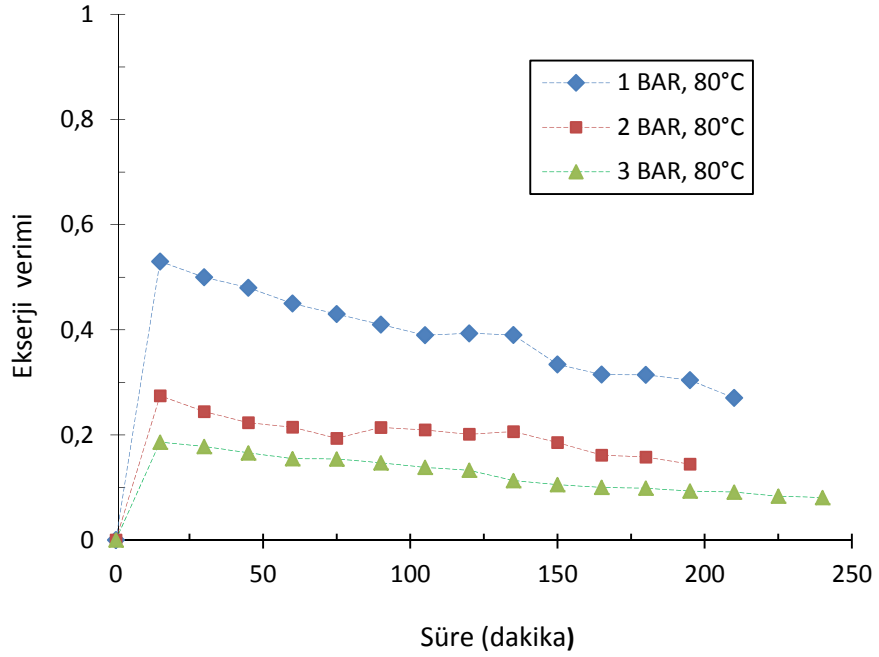
Şekil 4.7. T=80°C’de farklı basınç koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi



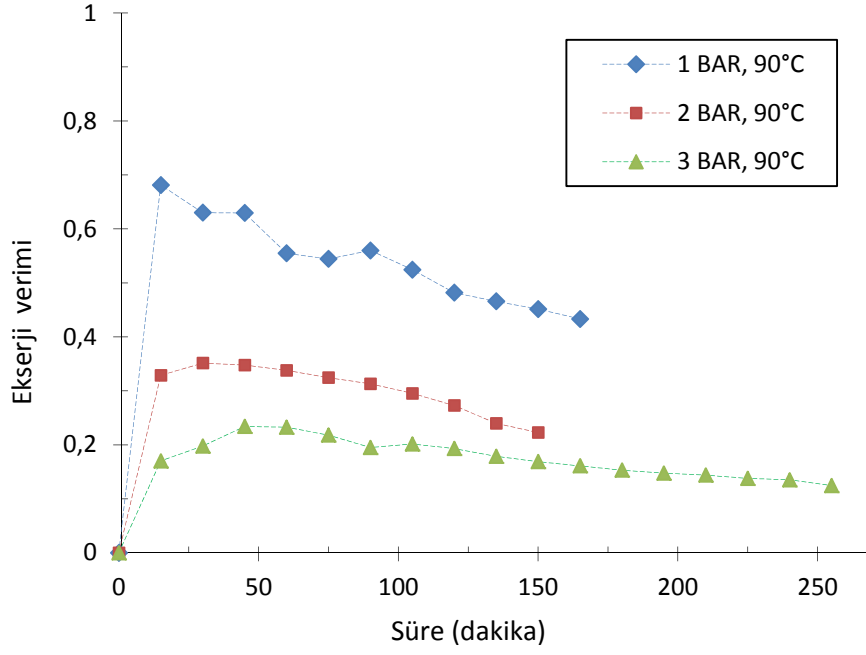
Şekil 4.8. T=90°C’de farklı basınç koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi



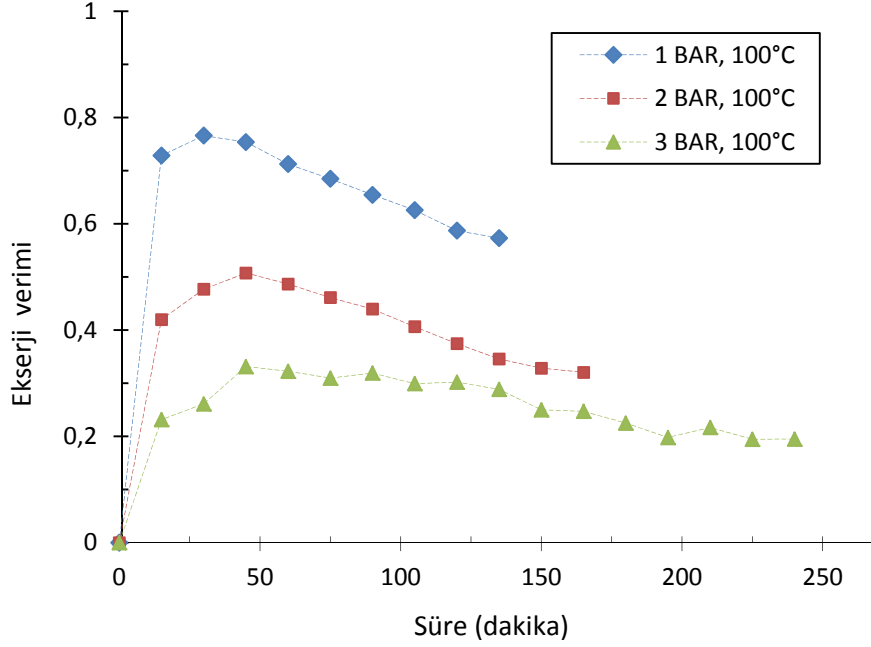
Şekil 4.9. T=100°C’de farklı basınç koşulları için enerji verimlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.10. T=80°C’de farklı basınç koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.11. $T=90^{\circ}\text{C}$ 'de farklı basınç koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.12. $T=100^{\circ}\text{C}$ 'de farklı basınç koşulları için ekserji verimlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.6-4.8’de ise sabit sıcaklık koşullarında kurutma havası basıncının enerji verimi Şekil 4.9-4.12’de ise ekserji verimi üzerindeki etkisi görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde basıncın hem enerji verimi hem de ekserji verimi üzerinde önemli oranda etkisi olduğu görülmektedir. Kurutma havasının sıcaklığı sabit tutulup basıncı artırıldığında hem enerji verimi hem de ekserji verimi düşmektedir. Örneğin 90°C’lik sabit bir kurutma havasının sıcaklığında farklı işletme basınçları için Şekil 4.8 incelendiğinde enerji veriminin zamana bağlı olarak 1 bar işletme basıncı için %77 ile %85 arasında, 2 bar işletme basıncı için %68 ile %83 ve 3 bar işletme basıncı için de %59 ile %72 arasında değiştiği görülmektedir. Benzer şekilde aynı kurutma sıcaklığı için 1 bar işletme basıncında ekserji verimi %43-%68, 2 bar işletme basıncında %22-%35 ve 3 bar işletme basıncında da %12-%23 değerleri arasında kalmaktadır. Bu sonuçlara göre basınç artışının hem enerji hem de ekserji verimi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu açıkça görülmektedir. Çalışmada göz önünde bulundurulmuş tüm sıcaklık koşullarında geçerli olmak üzere işletme basıncının 1 bar olarak seçildiği durumlarda enerji ve ekserji verimlerinin en yüksek değerlerde, 3 bar olarak seçildiği durumlarda ise en düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

Bununla birlikte, farklı basınçlar için kuruma süreleri göz önünde bulundurulduğunda ise kuruma süresi bakımından 2 bar işletme basıncının optimum olduğu görülmektedir. Basınç artışının kuruma hızı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkisi bulunmaktadır. Sabit bir sıcaklık değerinde işletme basıncının artırılmasıyla birlikte kurutma havasının bağıl nemi de artmaktadır. Bu durum kuruma hızının düşmesine neden olan olumsuz bir etki meydana getirmektedir. Diğer taraftan işletme basıncının artırılması neticesinde bobinlere gönderilen kurutma havasının miktarı artmakta bu da kuruma hızını artıran olumlu bir etki oluşturmaktadır. Bu iki etki sonucunda işletme basıncının 1 bar değerinden 2 bar değerine yükseltilmesi neticesinde kuruma süresi kısalırken 2 bar değerinden 3 bar değerine yükseltilmesi sonucunda kuruma hızı düşmekte ve kuruma süresi tekrar uzamaktadır.

Elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde enerji ve ekserji verimi bakımından optimum işletme şartlarının 100°C sıcaklık ve 1 bar kurutma havası efektif basıncında sağlandığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma şartları altında enerji verimi zamana bağlı olarak yaklaşık olarak %81-%91, ekserji verimi ise %57-%76 değerleri arasında olup diğer kurutma şartlarına göre daha yüksektir.

5. SONUÇ

İplik bobini kurutma işlemi için ekserji ve enerji analizi yapılarak optimum çalışma şartlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar özetle şu şekildedir:

- Kurutma şartlarının enerji ve ekserji verimini önemli ölçüde etkilemekte, kurutma havası basıncının veya sıcaklığının değiştirilmesiyle birlikte özellikle ekserji veriminde önemli değişiklikler meydana gelmektedir.
- Sistemin kararlı hale geldiği ilk 10-20 dakika içerisinde, iplik bobinlerindeki nem miktarına bağlı olarak ekserji verimi yüksek olmakta, kurumanın ilerleyen aşamalarında zamanla bu verim yavaş yavaş düşmekte, kurumanın son aşamalarında ise verim en düşük seviyede olmaktadır.
- Enerji verimi yüksek olan işletme şartının buna paralel olarak ekserji verimi de yüksek olmaktadır.
- Kuruma süresi bakımından genelde 2 bar işletme basınç değerinin 1 bar ve 3 bar işletme basıncına göre benzer şekilde 100°C kurutma havası sıcaklığının ise 90°C ve 80°C sıcaklıklarına göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.
- Üç farklı işletme basıncı ve üç farklı sıcaklık parametresine bağlı olarak incelenen kurutma prosesinin ekserji veriminin en yüksek olduğu çalışma koşullunun 1 bar 100°C, enerji ve ekserji veriminin en düşük olduğu çalışma koşulunun ise 3 bar 80°C olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akpınar Kavak E (2004). Energy and Exergy Analysis of Drying of Red Pepper Slices in a Convective Type Dryer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 31(8): 1165-1176.
- Akpınar Kavak E, Midilli A, Bicer Y (2005a). Energy and Exergy of Potato Drying Process via Cyclone Type Dryer. *Energy Conversion and Management*, 46(15-16): 2530-2552.
- Akpınar Kavak E, Midilli A, Bicer Y (2005b). Thermodynamic Analysis of the Apple Drying Process. *Proc. IMechE Part E: J. Process Mechanical Engineering*, 219: 1-14.
- Akpınar Kavak E (2006a). Determination of Suitable Thin Layer Drying Curve Model for Some Vegetables and Fruits. *Journal of Food Engineering*, 73: 75–84.
- Akpınar Kavak E, Midilli A, Bicer Y (2006b). The First and Second Law Analyses of Thermodynamic of Pumpkin Drying Process. *Journal of Food Engineering*, 72: 320–331.
- Akpınar Kavak E (2007). Thermodynamic Analysis of Strawberry drying process in a Cyclone Type Dryer. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 66(2): 152-161.
- Bejan A, Tsatsaronis G, Moran MJ (1996). *Thermal Design and Optimization*. John Wiley, 533s, Canada.
- Çalışkan H (2009). İçten Yanmalı Motorlarda Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çengel YA, Boles MA (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. McGraw-Hill – Literatür, 867s, İstanbul.
- Çengel YA, Wood B, Dincer I (2002). Is Bigger Thermodynamically Better? Exergy, an *International Journal*, 2: 62-68.
- Dinçer İ, Rosen MA (2007). *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. Elsevier, 454s, Oxford, United Kingdom.
- Egrican N, Özdoğan S (1990). Enerji sistemlerinin Ekserji Analizine Yönelik yeni çalışmaların Derlenmesi. Termodinamiğin ikinci kanunu toplantısı, (34–1)–(34–12), 27–30s, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Elbir A (2010). *Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Termodinamik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- Erbay Z, İçier F (2008). Ekserji Analizi Yönteminin Gıda Kurutmasındaki Önemi ve Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 6(6): 18-27.

- Esen DÖ, Hosoz M (2007). Energy and Exergy Analysis of an Automobile Air Conditioning System Using Refrigerant R134a. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 23 (1-2): 188 – 203.
- Gürler S (2006). R134a ve R600a Soğutucu Akışkanlı Ev Tipi Buzdolaplarında Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Hepbasli A (2008). A Key Review on Exergetic Analysis and Assesment of renewable Energy Resources for a Sustainable Future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12: 593-661s.
- Hussain MM, Dinçer İ (2003). Two-Dimensional Heat and Moisture Transfer Analysis of a Cylindrical Moist Object Subjected to Drying: A Finite-Difference Approach. International Journal of Heat and Mass Transfer, 46: 4033-4039.
- Jones MR (2006). Exergy (Availability) Analysis, Lecture notes, Young University, Mechanical Engineering Department, Brigham.
- Karagüzel İ (2009). Tarım Ürünlerinin Akışkan Yatakta Kurutulmasının Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Koçyiğit F (2008). Yutucu Plaka Üzerine Farklı Türde Kanatçıkların Yerleştirildiği bir Havalı Kollektörün Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kotas TJ (1995). The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Krieger Publishing Company, 328s, Malabar, Florida.
- Kuzgunkaya EH (2006). Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalı Bir Kurutucunun Enerji ve Ekserji Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kuzgunkaya EH, Hepbasli A (2007a). Exergetic Evaluation of Drying of Laurel Leaves in a Vertical Ground-Source Heat Pump Drying Cabinet. International Journal of Energy Research, 31: 248-258.
- Kuzgunkaya EH, Hepbasli A (2007b). Exergetic Performance Assesment of a Ground-Source Heat Pump Drying System. International Journal of Energy Research, 31: 760-777.
- Midilli A, Küçük H (2003a). Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Pistachio by Using Solar Energy. Energy Conversion and Management, 44 (7): 1111-1122.
- Midilli A, Kucuk H (2003b). Energy and Exergy Analysis of Solar Drying Process of Pistachio. Energy, 28 (6): 539-556.
- Öztürk A, Kılıç A (1993). Çözümlü Problemlerle Termodinamik. Literatür Yayınları, 653s, İstanbul.

- Patlar Ö (2006). Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rosen MA, Dincer I (2004). A Study of Industrial Steam Process Heating Through Exergy Analysis. *International Journal of Energy Research*, 28: 917-930.
- Rosen H, Scott D (1992). Energy Analysis of Hydrogen Production from Heat and Water by Electrolisis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 17 (3): 199-204.
- Smith MC, Farid M (2004). A Single Correlation for the Prediction of Dehydration Time in Drying and Frying of Samples Having Different Geometry and Size. *Journal of Food Engineering*, 63: 265-271.
- Syahrul S, Hamdullahpur F, Dincer I, (2002). Exergy Analysis Of Fluidized Bed Drying of Moist Particles. *Exergy, An International Journal*, 2: 87–98.
- Syahrul S, Dincer İ, Hamdullahpur F (2003). Thermodynamic Modelling of Fluidized Bed Drying of Moist Particles. *International Journal of Thermal Sciences*, 42: 691-701.
- Şahin HM, Acır A, Baysal E, Koçyiğit E (2007). Enerji ve Ekserji Analiz Metoduyla Kayseri Şeker Fabrikasında Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 22(1); 111-119.
- Tekel E (2006). Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Toraman S, Akyol U (2011). İplik Bobinlerinin Kuruma Davranışının Deneysel olarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorlu, Tekirdağ.
- Tsatsaronis G (1993). Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy Systems. *Progress in Energy and Combustion Science*, 19 (3): 227-257.
- Ünal F (2009). Bir Termik Santralin Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Erhan AKAN, 1980 yılında İstanbul'da doğdu. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. Halen Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.