

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL TİPİ TAMBURLU KURUTMA
MAKİNESİNDE ISI GERİ KAZANIM UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Esra DEVAY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr.
Mehmet GÜNDÜZ

Nisan 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL TİPİ TAMBURLU KURUTMA
MAKİNESİNDE ISI GERİ KAZANIM UYGULAMASI

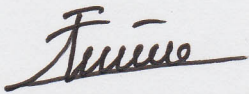
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Esra DEVAY

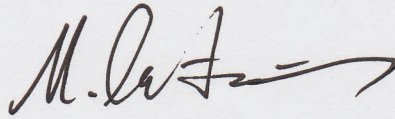
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

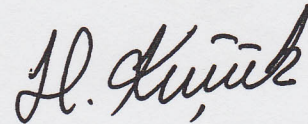
Bu tez 22 / 04 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Fethi HALICI
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜNDÜZ
Üye



Yrd. Doç. Dr. Hasan KÜÇÜK
Üye

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmam sűresince bilgileri ile yűnlendirdikleri ve yardımlarını esirgemedikleri için deęerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet GŪNDŪZ ve Yrd. Doç. Dr. Hasan KŪŪK'e, tezime konu olan makineyi incelememde ve gerekli bilgilerin tedarikiinde benden yardımlarını esirgemeyen ak Tekstil San. ve Tic. A.Ő. Sakarya genel műdűrű ve teknik personeline teŐekkűrlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

KURUTMA VE KURUTMA TEORİSİ.....	2
2.1. Kurutmada Gözenekli Ortamların Özellikleri	3
2.2. Gözeneklilik (Porozite).....	3
2.3. Geçirgenlik (Permabilite).....	4
2.4. Higroskopik Olmayan Gözenekli Malzemelerin Kurutulması.....	5
2.5. Higroskopik Gözenekli Malzemenin Kurutulması.....	7
2.6. Gözenekli Olmayan Malzemenin Kurutulması.....	8
2.7. Isı ve Kütle Transferi.....	9
2.7.1. Kütle transferi	10
2.7.2. Yaş malzemedede ısı ve kütle hareketi.....	10
2.7.3. Yaş malzemenin ısıl iletkenliği.....	10
2.7.4. Yaş malzemedede kütle hareketi.....	12
2.7.5. Kurutulacak malzemenin sorpsiyon izotermi.....	13
2.8. Kurutma Mekanizması.....	15

2.8.1. Kurutmanın birinci aşaması.....	15
2.8.2. Kritik nokta.....	16
2.8.3. Kurutmanın ikinci aşaması.....	17
2.8.4. Kurutmanın üçüncü aşaması (kurutma sonu).....	19
2.9. Kurutma Olayının Değerlendirilmesi.....	19
2.9.1. Malzeme kalınlığının kuruma hızına etkisi.....	22
2.9.2. Kurutma havası hızının kurutmaya etkisi.....	22
2.9.3. Malzeme yüzeyinde enerji akışı.....	23
2.9.4. Kurutmada psikrometrik diyagramdan yararlanma	25

BÖLÜM 3.

TEKSTİL KURUTMASI.....	29
3.1. Tekstil Mamülün Nem Çekme Özelliği.....	29
3.2. Tekstil Mamülü Üzerindeki Su.....	30
3.2.1. Damlayan su.....	31
3.2.2. Yüzey suyu.....	31
3.2.3. Kapiler suyu.....	31
3.2.4. Şişme suyu.....	31
3.2.5. Kristal suyu (higroskopik nem).....	31
3.3. Tekstil Mamülü Üzerindeki Suyun Uzaklaştırılması.....	32
3.3.1. Ön (mekanik) kurutma.....	32
3.3.1.1. Sıkma.....	33
3.3.1.2. Santrifujlama.....	34
3.3.1.3. Emme ve püskürtme.....	35
3.3.2. Esas (ısı ile) kurutma.....	35
3.3.2.1. Isı taşınımı (konveksiyon) ile kurutma.....	36
3.3.2.2. Delikli tamburlu kurutucular.....	41
3.3.4. Isı taşınımı ile çalışan kurutucularda ısıtma sistemleri.....	42
3.3.4.1. Basınçlı buhar ısıtması.....	42
3.3.4.2. İndirekt fuel-oil ısıtması.....	43
3.3.4.3. Kızgın yağ devir daim ısıtması.....	43
3.3.4.4. Kızgın buharla ısıtma.....	44
3.3.4.5. Direkt doğalgaz ısıtması.....	44

3.3.4.6. Soğutarak ısıtma.....	45
BÖLÜM 4.	
PİLOT BİR DÖNER KAZANLI TEKSTİL TİPİ KURUTMA	46
MAKİNESİNİN İNCELENMESİ.....	
4.1. Döner Kazanlı Kurutucunun Yapısı.....	46
4.2. Makine Bağlantıları.....	47
4.2.1. Hava püskürtme.....	47
4.2.2. Buhar boru hattı ve yoğuşmanın giderilmesi.....	48
4.2.3. Buhar yoğuşma kanalı.....	49
4.3. Makinenin Fiziksel Görünümü ve Parçaların Tanımı.....	49
4.4. Kurutucu Çalışma Mekanizmasının İncelenmesi.....	57
4.5. Kurutucu Test Sonuçlarının Yorumlanması.....	59
4.6. Mevcut Sistemin ve Önerilen Sistemin Modellenmesi.....	61
4.6.1. Mevcut sistemin modellenmesi ve matematiksel	61
formülizasyonu.....	
4.6.2. Önerilen Geri Kazanım Sisteminin Modellenmesi.....	63
4.6.2.1. Sistemin matematiksel formülizasyonu.....	64
4.6.2.2. Isı değiştirici seçimi.....	66
4.6.2.3. Isıl verimin hesaplanması.....	68
4.6.2.4. Enerji tasarrufunun hesaplanması.....	69
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	70
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	78
EK-1.....	80
EK-2.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

s^*	Difüzyon yolu, m
\dot{G}	Mutlak kuru maddenin ağırlığı, kg
δB	Buhar geçirgenlik (difüzyon) katsayısı, m/s
A	Isı transferinin gerçekleştiği alan, m ²
D	Difüzyon katsayısı, m/s
E_T	Enerji tasarruf değeri, %
G	Kurutulmuş maddenin ağırlığı, kg
g	Kurutulmuş maddenin ağırlık kaybı, kg
h	Isı taşınım katsayısı, W/m ² K
h_{sb}	Buharlaştırma gizli ısı, j/kg
$h_{t,\ç}$	Taze hava çıkış entalpisi, kJ/kg
$h_{t,g}$	Taze hava giriş entalpisi, kJ/kg
k	Kurutma değeri, %
m	Birim zamanda buharlaşan su miktarı, kg/s
m_h	İşlem havası miktarı, kg/s
m_s	Üründen buharlaşan su miktarı, kg/h
$m_{ü,\ç}$	Kurutma sonrası ürün miktarı, kg
$m_{ü,g}$	Kurutucuya yüklenen ürün miktarı, kg
P_b	Kısmi buhar basıncı, kPa
$P_{b,s}$	Su buharı kısmi basıncı, kPa

$P_{b\infty}$	Kurutma havasındaki su buharının kısmi basıncı, kPa
P_{bm}	Trkstil mamülü yüzeyindeki su buharının kısmi basıncı, kPa
P_d	Doyma basıncı, kPa
Q	Mevcut (gerçek) ısı geçişi, kW
Q_C	Çevreden transfer edilen ısı, kW
Q_I	Işınım ile ısı geçişi, kW
Q_K	Kurutucu tamburundaki ısı geçişi, kW
Q_{max}	Mümkün olan en yüksek ısı geçişi, kW
Q_R	Geri kazanım cihazındaki ısı geçişi, kW
Q_S	Serpantinindeki ısı geçişi, kW
Q_T	Taşıyım ile ısı geçişi, kW
R	Gaz sabiti, kJ/kgK
s	Kurutmanın olduğu nokta ile yüzey arasındaki uzaklık, m
s_1	Sınır tabaka kalınlığı, m
T	Mutlak sıcaklık, K
t	Zaman, h
$T_{e,\phi}$	Eksoz çıkış havası sıcaklığı, K
$T_{e,g}$	Eksoz giriş havası sıcaklığı, K
$T_{h,\phi}$	Taze hava çıkış sıcaklığı, K
$T_{h,g}$	Taze hava giriş sıcaklığı, K
$T_{t,\phi}$	Kurutucu tamburundan çıkan havanın sıcaklığı, K
$T_{t,g}$	Kurutucu tamburuna giren havanın sıcaklığı, K

V_B	Kaba hacim, m^3
V_p	Gözenek hacmi, m^3
V_s	Katı hacmi, m^3
w	Özgül nem, kg su buharı / kg kuru hava
w_m	Ortalama özgül nem, kg su buharı / kg kuru hava
β	Kütle transferi katsayısı, m/s
ϵ	Geri kazanım cihazının etkinliği, %
η_T	Isıl verim, %
μ	Viskozite, N.s/ m^2
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
φ	Havanın bağıl nemi, kg nem/kg kuru hava

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Higroskopik olmayan malzemede nem dağılımı.....	5
Şekil 2.2.	Higroskopik olmayan malzemede kurutma hızının değişimi.....	6
Şekil 2.3.	Higroskopik malzemede nem dağılımı.....	7
Şekil 2.4.	Higroskopik malzemede kuruma hızının değişimi.....	8
Şekil 2.5.	Gözeneksiz malzemede kurutma hızının zamanla değişimi.....	8
Şekil 2.6.	Isı ve kütle transferinin bir arada olması hali.....	9
Şekil 2.7.	Gözenekli yapı modelleri.....	11
Şekil 2.8.	Gözenekli yapının iç yapı modeli.....	12
Şekil 2.9.	İpliklerin sorpsiyon izotermi.....	13
Şekil 2.10.	Kurutmanın aşamaları.....	15
Şekil 2.11.	Kısmi buhar basınç farkının kurutma hızına etkisi.....	21
Şekil 2.12.	Malzeme kalınlığının kuruma hızına etkisi.....	22
Şekil 2.13.	Malzeme yüzeyinden enerji akışı.....	23
Şekil 2.14.	Havanın bağıl nemi ile katının denge nemi arasındaki ilişki.....	26
Şekil 2.15.	Kurutma işleminin psikrometrik diyagramda gösterilmesi.....	27
Şekil 2.16.	Kurutma işlemlerinde kurutma havasının geri besleme yapılması	28
Şekil 3.1.	Sıkma-emme (Q-S) tekniğine göre ön kurutma.....	33
Şekil 3.2.	Isı taşınım ile kurutmada mamüldeki nem miktarına göre kurutmanın adımları ve kumaş sıcaklığının değişimi.....	37
Şekil 3.3.	Isı taşınımı ile kurutmada ikinci adım.....	39
Şekil 3.4.	Delikli tamburlu kurutucunun çalışma prensibi.....	41
Şekil 4.1.	Makine bağlantıları.....	48
Şekil 4.2.	Makinenin arkadan görünümü.....	49
Şekil 4.3.	Makinenin önden görünümü.....	50
Şekil 4.4a.	Yük boşaltma sırasındaki ayrıntılı görünüm.....	51
Şekil 4.4b.	Yük boşaltma sırasındaki ayrıntılı görünüm.....	52

Şekil 4.5a.	Parça tanımları.....	53
Şekil 4.5b.	Parça tanımları.....	54
Şekil 4.5c.	Parça tanımları.....	55
Şekil 4.6.	Döndürme mekanizması birimi.....	56
Şekil 4.7.	Kurutucu kazanı içerisindeki ısı ve kütle transfer rotaları.....	57
Şekil 4.8.	Kurutucu içerisindeki sıcaklık nem dağılımının zamanla değişimi.....	58
Şekil 4.9.	Kurutucu içerisindeki sıcaklık nem dağılımının zamanla değişimi.....	58
Şekil 4.10.	Kurutucu içerisindeki sıcaklık nem dağılımının zamanla değişimi.....	59
Şekil 4.11.	Kurutucu test sonuçlarının yorumlanması.....	59
Şekil 4.12.	Mevcut kurutucunun modellenmesi.....	62
Şekil 4.13.	Kurutma değerinin buharlaşan suyun kütlesine karşı dağılımı.....	63
Şekil 4.14.	Önerilen geri dönüşüm modeli.....	64
Şekil 4.15.	Kanatlı levha tipi ısı değiştiricisi.....	66
Şekil 4.16.	Levha kenarları aynı yönlü çift kıvrımlı ısı değiştiricisi modeli...	68
Şekil 4.17.	Isıl verimin şematik gösterilmesi.....	69
Şekil 5.1.	Serpantine giren taze hava sıcaklığının sistemin toplam ısı geçiş miktarına karşı dağılımı.....	72
Şekil 5.2.	Rekuperatörden çıkan taze hava sıcaklığının serpantinindeki ısı geçiş miktarına karşı dağılımı.....	72
Şekil 5.3.	Serpantine giren taze hava sıcaklığının geri kazanım cihazındaki ısı geçiş miktarına karşı dağılımı.....	73
Şekil 5.4.	Serpantine giren taze hava sıcaklığının geri kazanım cihazının etkenliğine karşı dağılımı.....	73
Şekil 5.5.	Serpantine giren taze hava sıcaklığının, ısı geri kazanım sisteminin tasarrufuna karşı dağılımı.....	73
Şekil 6.1.	Kurutma işlemlerinde kurutma havasının geri besleme yapılması	77

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Kurutucu kazanı içerisindeki ısı transfer rotaları.....	57
Tablo 5.1.	Isı geri kazanım cihazı boyutlandırma sonuçları.....	71
Tablo 5.2.	Geri kazanım cihazı boyut ve özellikleri.....	75
Tablo 5.3.	Isı geri kazanım cihazının enerji tasarruf miktarları.....	76

ÖZET

Anahtar kelimeler: Döner Kazanlı Çamaşır Kurutucu, Tekstil Kurutma, Atık Isı, Enerji Tasarrufu

Günümüzde enerji kaynaklarındaki azalmaların, enerji maliyetlerinin artmasına neden olacağından; enerjinin üretiminden tüketimine kadar tüm evrelerde verimli kullanılması gerekmektedir. Bu noktada enerji tasarrufu oldukça önemlidir.

Kurutma sistemleri tasarlanırken; sistemin hem ekonomikliğine hem de nemli ve kurutulmuş malzemenin fiziksel özellikleri, kurutma işleminin başlangıcında içerdikleri nem yüzdesi, uzaklaştırılacak nem miktarı, kurutma sıcaklığı, saatte işlenecek malzeme miktarı gibi parametreler önemlidir. Kısaca kurutma işlemi sırasında dikkate alınması gereken temel özellik istenilen özelliklere sahip ürünün eldesinde minimum enerji tüketimi ve maksimum kurutma hızına ulaşmaktır.

Bu çalışmada bir tekstil fabrikasında kullanılan tambur tipi kurutma makinesi incelenmiştir. Mevcut sisteme geri kazanım cihazı ilave edilerek; taze hava geri kazanım cihazında atık hava akımı ile ısıtılarak sisteme verilmiştir.

HEAT RETRIEVAL APPLICATION FOR TEXTILE TUMBLE DRIER

SUMMARY

Key Words: Tumbler Dryer, Textile Drying, Waste Heat, Energy Saving, Heat Recovery

Decreasing with the energy sources, energy costs will show increase, therefore energy must use very effective from production to consumption and in that point energy saving is so important.

When designing a dryer, some parameters like economicities of the process, physical properties both wet and dry materials, moisture content (%) of material before the beginning drying process, drying temperature are important. Shortly in a drying process the most important characteristic is max drying velocity and min energy consumption.

In that study one tumbler dryer which using in a textile factory is examine. With addition a recovery to the present system, fresh air transmit to system after heating with the waste heat at the recovery.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tekstil ürünleri üretim sürecinde bir takım yaş işlemlere tabi tutulmakta ve bu nedenle değişik aşamalarda kurutulması gerekebilmektedir. Tekstil endüstrisinde ürünlerin kurutulması, malzemedeki nemin alınmış şekline göre ön kurutma ve esas kurutma olarak sınıflandırılmaktadır. Ön kurutma işlemi; mekanik yöntemlerle kurutma olup, ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından ekonomik olmakta ancak ürün üzerindeki nemin tamamı bu yöntemlerle giderilememektedir. Bu nedenle esas kurutma olarak bilinen ısı enerjisiyle kurutmada; yaş tekstil ürünleri maliyeti düşürmek için önce ön kurutmaya tabi tutulmakta, daha sonra esas kurutmaya gönderilmektedir. Ön kurutma ile tekstil malzemesi üzerindeki damlayan suyun tamamı, yüzey suyu ile kapılar suyun ancak belirli miktarı sıkma, santrifüjlama ve emme-püskürtme gibi yöntemlerden biriyle uzaklaştırılabilmektedir. Isı enerjisi ile kurutmada ise nemli tekstil ürünü üzerinde bulunması gereken doğal nemin (higroskopik nem) kaybedilmeden istenilen oranda kurutmanın yapılması sağlanabilmektedir.

BÖLÜM 2. KURUTMA VE KURUTMA TEORİSİ

Kurutma, katı veya katı hale yakın durumdaki maddelerden uygun miktarda suyun uzaklaştırılması işlemidir. Kurutulacak malzemeler iç yapılarına göre;

I. Gözenekli (heterojen) malzemeler

- Higroskopik (ince kılcallı)
- Higroskopik olmayan (kaba kılcallı)

II. Gözeneksiz (homojen) malzemeler

olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gözenekli malzemelere örnek olarak tekstil ürünleri, kağıt, ağaç ve diğer gözenekli, taneli ve lifli malzemeler, gözeneksiz malzemelere örnek olarak da jelatin, sabun, macun ve hamur gibi malzemeler verilebilir. Bu malzemelerin kurutulması esnasında;

- Sıcak gazdan, katı bünyesinden buharlaşan sıvıya doğru 'ısı transferi'
- Katının iç kısımlarından dış yüzeyine doğru, sıvı ya da buhar olarak; dış yüzeyden sıcak gaz içine doğru ise sadece buhar olarak 'kütle transferi' işlemleri gerçekleşmektedir.

Bu işlemleri belirleyen koşullar aynı zamanda kurutma işlemini de belirleyen koşullardır. Bunlar iki kısımda incelenebilir;

- Katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi süresince oluşan; iç difüzyon, kılcallık gibi iç koşullar.
- Kurutucu olarak kullanılan sıcak gazın; akım hızı, sıcaklığı, nemi gibi dış koşullar[1].

2.1. Kurutmada Gözenekli Ortamların Özellikleri

Doğal ve yapma gözenekli maddelerin büyük bir kısmı dağınık bir boşluk yapısı gösterirler. Gerçekte bu maddelerin yapıları sadece istatistiksel olarak belirtilebilir. Buna karşın akışkanların gözenekli maddelerdeki akışını makroskobik esasta ayrıntılı bir şekilde inceleme olanağı vardır. Bu durum, gazların kinetik teorisindeki çok benzemektedir; sayıların çok ve karışık oluşlarından dolayı göz önüne alınan değişkenler mikroskobik ölçekte ise sistem az sayıdaki tamamen saptanabilen büyüklüklerle incelenmelidir.

Gözenekli maddelerin makroskobik özelliklerini, mikroskobik yapılarının istatistiksel özelliklerine bağlamak amacıyla birçok teori atılmıştır. Bu teorilerin birçoğu gözenek büyüklüğü dağılımını maddenin makroskobik özelliklerine bağlamaya çalışır. Tane büyüklüğü dağılımını iyi katılaşmamış maddelerde makroskobik özelliklere bağlayan bazı çalışmalar da yapılmıştır. Bu teoriler gözenekli ortamdaki temel fiziksel olayları anlamakta yardımcı olmakla beraber, genellikle problemin makroskobik ölçekte çözümü için yetersizdir. Makroskobik olayın anlaşılması için mikroskobik işlemlerin gerekli olduğu yerlerde gözenekli maddelerin yapılarının ayrıntıları irdelenir [1].

2.2. Gözeneklilik (Porozite)

Gözenekli bir maddenin porozitesi boşlukların kaba hacme oranıdır. Bu parametre için kullanılan simge ϵ' dir. Böylece

$$\epsilon = \frac{V_p}{V_B} = \frac{\text{Gözeneklerin hacmi}}{\text{Kaba hacim}} \quad (2.1)$$

olup boyutsuz bir büyüklüktür. Gözeneklerin bulunmadığı katı hacim kısmında ise maddenin katı taneleri veya matrisi bulunup,

$$1 - \epsilon = \frac{V_s}{V_B} = \frac{\text{Katı hacmi}}{\text{Kaba hacim}} \quad (2.2)$$

yazılabilir.

Mutlak veya toplam ve etkin olmak üzere iki tip porozite tanımlanabilir. Mutlak porozite, gözenek ilişkileri düşünülmezsizin kaba hacme göre oransal boşluk hacmidir. Etkin porozite ise kaba hacimde birbirleriyle ilişkili boşlukların meydana getirdiği orandır [1].

2.3. Geçirgenlik (Permabilite)

Geçirgenlik, uygun bir basınç gradyeni ile akışkanın gözenekli ortamdaki akış kolaylığını karakterize eden, gözenekli maddenin bir özelliğidir. Gözenekli maddenin akışkan geçirgenliğini karakterize eden parametrenin anlamlı bir şekilde tarif edilebileceği Darcy tarafından gösterilmiştir. Geçirgenliği ölçülebilen büyüklüklerle ifade eden kanun; Darcy Kanunu olarak bilinir.

λ uzunluğunda F kesit alanında gözenekli bir örnekte sıkıştırılmaz akışkanın doğrusal yatay akışı meydana getirilirse, ortamın K geçirgenliği,

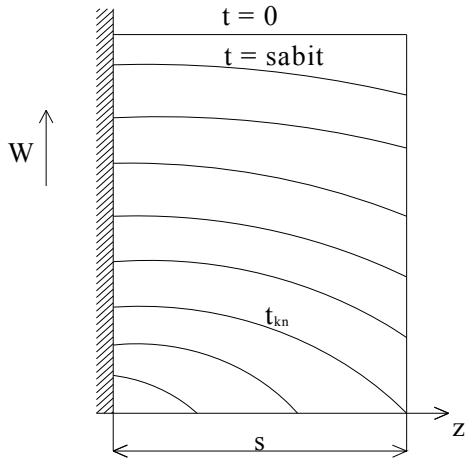
$$K = \frac{j\mu}{F(\Delta p/\lambda)} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Burada j, birim zamanda hacim olarak akış debisi, μ akışkanın viskozitesi ve Δp de λ örnek uzunluğu boyunca uygulanan basınç farkıdır.

K geçirgenlik değeri gözenekli maddenin yapısı yardımıyla saptanır. (2.3) denkleminde görüleceği gibi geçirgenlik; uzunluğun karesi boyutundadır.

Darcy Kanunu ile tanımlanan gözenekli maddenin geçirgenliği makroskobik bir özelliktir. Dolayısıyla, birçok gözenekleri bulunan oldukça büyük örnekleri için bir anlamı vardır [1].

2.4. Higroskopik Olmayan Gözenekli Malzemelerin Kurutulması



Şekil 2.1. Higroskopik olmayan malzemede nem dağılımı [2]

Kapiler gözenekli yaş malzemenin kurutulmasında, genellikle başlangıçta kurutma hızı bir süre sabit ($m_{bl} = \text{sabit}$) kalır. Bu süreye kurutmanın birinci aşaması denir. Bu aşama süresince malzeme yüzeyine kapiler sıvı hareketi aşağıdaki denkleme göre gerçekleşir (Şekil 2.1).

$$m_s = -A k_p \rho_s \frac{dP_e}{dZ} \quad (2.4)$$

Bu denklemde;

A: Yüzey alanı, m^2

k_p : Transport katsayısı ($k_p = r^2 / 8\eta$)

ρ_s : Sıvı yoğunluğu, kg/m^3

P_e = Efektif basınç, Pa

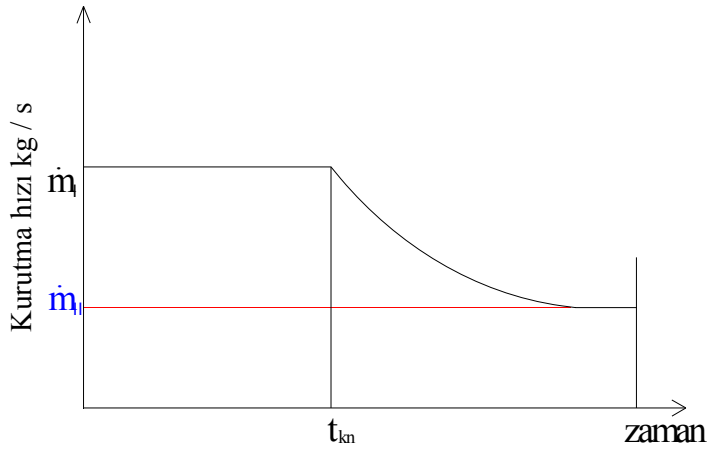
Bu koşullarda kurutma olayı sıvı yüzeyinden buharlaşma şeklinde gerçekleşir ve olay tamamen bir ısı ve kütle transferi problemi olur.

Kurutma başlangıcındaki buharlaşma hızına ve kapiler kuvvetlerin şiddetine bağlı olarak, belirli bir t_k anında malzeme yüzeyindeki sıvı miktarı sıfır olur. Bu noktaya kritik nokta denir ve kurutmanın birinci aşaması bu noktada sonuçlanır. Bu noktadan

sonra malzeme içindeki kapiler akış hareketi yavaşlar ve kuruma hızı azalmaya başlar.

Eğer kurutma her iki yüzeyden yapılıyorsa buharlaşan son sıvı birimi malzemenin ortasında, eğer kurutma tek yüzeyden yapılıyorsa buharlaşan son sıvı birimi malzemenin alt yüzeyinde bulunur.

Sonuç olarak sabit dış koşullarda kurutma olayı; kurutma hızını yalnız dış koşulların etkilediği ve kurutma hızının sabit olduğu kurutmanın I. aşaması ve bunun sonunda erişilen kritik noktadan sonra kurutma hızını yalnız, malzemenin kapiler yapısının etkilediği ve kurutma hızının azaldığı kurutmanın II. aşamasından oluşur [3].



Şekil 2.2. Higroskopik olmayan malzemede kurutma hızının değişimi [2]

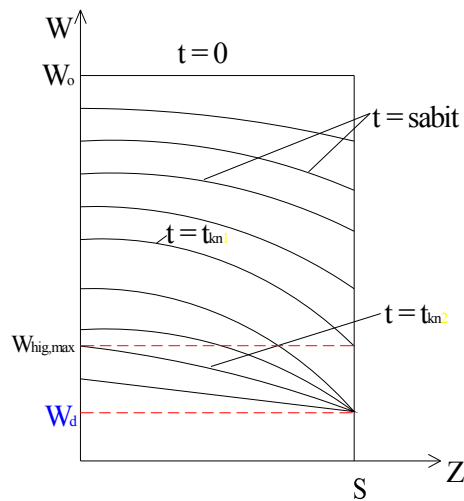
Kurutma sonunda ise malzemenin difüzyon ve ısı transferi özellikleri ile dış koşulların bir sonucu olarak kurutma hızı bulunur.

Kurutmanın başlangıcındaki ve sonundaki kurutma hızları hesaplanırsa ve de kritik noktayı tayin eden t_k anı bilinirse kurutmanın seyrini belirleyen karakteristik eğri çizilebilir (Şekil 2.2).

2.5. Higroskopik Gözenekli Malzemenin Kurutulması

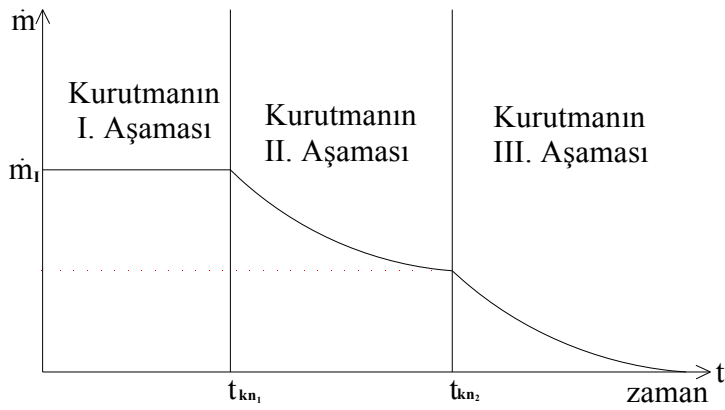
Bu tip malzemeler; tahta, selüloz, kağıt, yaş meyve gibi nem içeriği düşük olduğu zaman higroskopik özellik gösteren malzemelerdir. Bu malzemelerin kurutma karakteristikleri higroskopik olmayan malzemelerin kurutma karakteristiğinden farklıdır. Bunun nedeni higroskopik malzemenin sıfır nem içeriğine kadar kurutulamayacağıdır. Bu tip malzemeler ancak denge nemi olarak adlandırılan nem miktarına kadar kurutulabilirler.

Higroskopik gözenekli malzemenin kurutulmasında, kritik nokta malzeme yüzeyinde nem miktarı $w = 0$ olmadan daha önce malzeme nem içeriği kısmen maksimum nem içeriği $w_{\text{hig,max}}$ altına düşünce meydana gelir. 1. kritik nokta olarak adlandırılan bu noktadan sonra malzeme içerisinde belirli bir derinliğe kadar higroskopik nem bulunurken, malzemenin diğer kısmında bulunan nem ise higroskopik nem üstü durumundadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Higroskopik malzemede nem dağılımı [2]

Malzemenin alt yüzeyindeki nem miktarı maksimum higroskopik nem içeriğine eşit olunca 2. kritik nokta meydana gelir ve kurutmanın III. Aşaması başlar. Bu aşama süresince kurutma hızı asimtotik olarak sıfır değerine yaklaşır ve malzemenin nem içeriği denge nemine (w_d) eşit olunca kuruma olayı son bulur (Şekil 2.4).

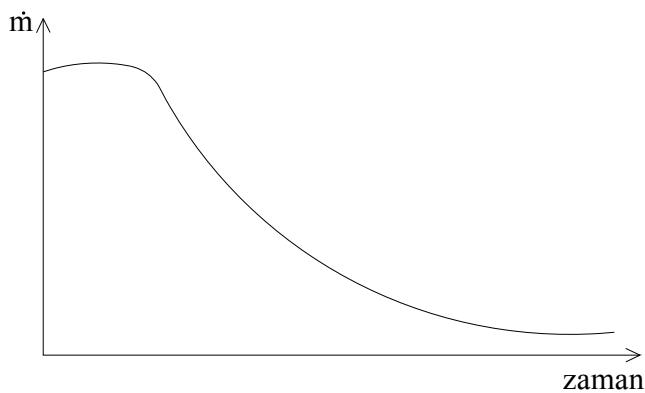


Şekil 2.4. Higroskopik malzemede kuruma hızının değişimi [2]

Şekillerden de görüldüğü gibi malzemenin kurutulması üç aşamada gerçekleşmektedir. Kurutma olayı sonunda malzeme içinde denge nemi (w_d) kadar nem kalır [3].

2.6. Gözenekli Olmayan Malzemenin Kurutulması

İç yapısında gözenek bulunmayan (sabun, jelatin vb.) malzemelerin kurutulmasında, kurutmanın ayrı safhaları için kesin hesaplar yapmak mümkün olmaz. Bu tür malzemelerin içerisinde buhar difüzyonu olmaz ve sıvı hareketi sıvı difüzyonu şeklinde meydana gelir. Gözeneksiz malzemede buharlaşma yalnız malzeme yüzeyinde meydana gelir. Kuruma hızı başlangıçtaki en yüksek değerinden başlayarak zamanla sıfıra kadar düşer (Şekil 2.5).

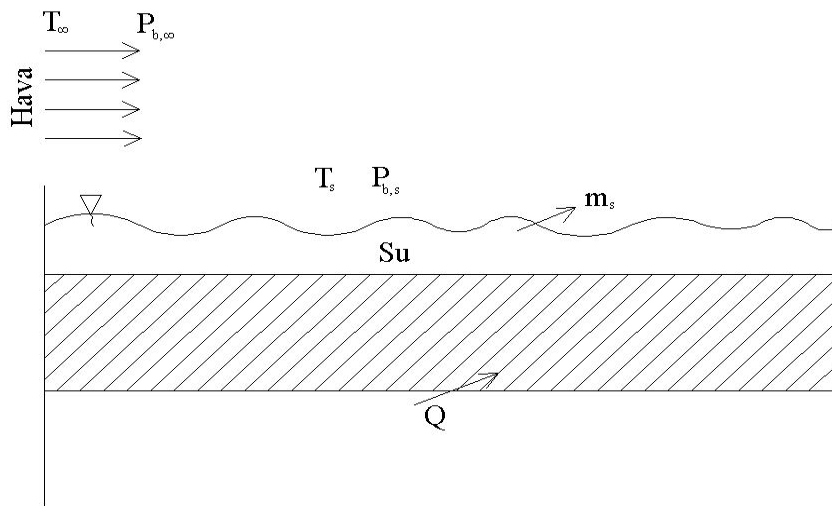


Şekil 2.5. Gözeneksiz malzemede kurutma hızının zamanla değişimi [2]

Kurutma başlangıcındaki kurutma hızını hesaplamak için kütle transfer katsayısı ile ısı taşınım katsayısının ve malzeme üzerindeki başlangıçtaki buhar basıncının bilinmesi gerekir.

2.7. Isı ve Kütle Transferi

İki veya daha fazla bileşenin bulunduğu bir karışımda; bileşenlerden biri veya birkaçının yoğuşması veya buharlaşması esnasında, karışımın sıcaklığının değiştiği durumlara rastlanır. Yoğuşma ve buharlaşma işlemleri kütle geçişi olarak göz önüne alınır ve bu olaya birleştirilmiş ısı ve kütle transferi denir. Isı ve kütle geçişinin bir arada olması halindeki durum şematik olarak Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Isı ve kütle transferinin bir arada olması hali [4]

Burada; T_{∞} sıcaklığında ve içindeki su buharının kısmi basıncı $P_{b,\infty}$ olan havanın bir su yüzeyinden aktığı göz önüne alınmaktadır. Suyun sıcaklığı T_s ve bu sıcaklıktaki doymuş buhar basıncı ise $P_{b,s}$ olsun. Sisteme dışarıdan Q değerinde bir miktar ısı verilsin. Hava ile su arasındaki sıcaklık farkından dolayı meydana gelen ısı transferi ile suyun buharlaşması için gerekli toplam ısı miktarı

$$Q = h A (T_s - T_{\infty}) + m_s h_{sb} \quad (2.5)$$

değerindedir [4].

2.7.1. Kütle transferi

Maddenin difüzyonla bir yüzeyden, yüzey üzerinde hareket halindeki bir ortama taşınması veya ters yönde ortamdan yüzeye taşınması olayına kütle transferi denir. Yaş yüzey üzerinde meydana gelen buharın akmakta olan bir gaza karışması veya higroskopik bir malzemenin, üzerinde bulunan bir buharı absorbe etmesi olayları birer kütle transferi olayıdır. Kütle transferinde, buharın gaza difüzyonu gaz akışına dik yönde olur ve buharın konveksiyon ile taşınması gaz akışı yönünde olur ve bu iki olay bir arada meydana gelir [3].

2.7.2. Yaş malzemedeki ısı ve kütle hareketi

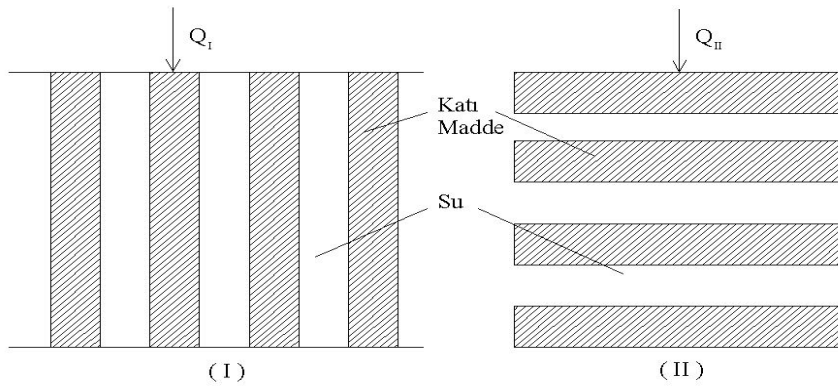
Gözenekli malzemenin nemli olması ısı iletkenliği iki şekilde etkileyecektir;

1. Malzemenin kapiler boşluklarında sıvı kabuğu veya sıvı sütunu oluşunca, sıvının ısı iletkenliğinin gözeneklerde bulunan havanın ısı iletkenliğinden daha büyük olması nedeniyle, yaş malzemenin ısı iletkenliği daha fazla olur. Bu duruma ısı köprüsü oluşumu denir.
2. Hava dolu gözeneklerin duvarları yaş olduğu zaman, sıcaklık farkının sebep olduğu bir kısmi buhar basıncı gradyanı oluşur ve bunun sonucu olarak da bir buhar difüzyonu meydana gelir.

2.7.3. Yaş malzemenin ısı iletkenliği

Yaş malzemenin ısı iletkenliğinin kuru malzemedekinden farkı, gözenek havasındaki iletimle ısı transferinin yerine gözenek sıvısında iletimle ısı transferinin söz konusu olmasıdır [3].

Malzeme içindeki gözeneklerin geometrisi karışık olmasına rağmen, ısının akış yönü dikkate alınarak gözenek yapısı için iki farklı modelden söz edilebilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Gözenekli yapı modelleri [2]

- I. Katı yapının paralel yerleştirilmiş levhalar ve levha arasındaki boşluklardan oluşması (refrakter malzeme).
- II. Katı yapının birbiri arkasına seri yerleştirilmiş levhalar ve boşluklardan oluşması (tane kümeleri, elyafli malzeme).

Gözenek ve boşlukları tamamen sıvı ile dolu olan yaş malzemenin ısı iletkenliğini hesaplamak için, Krischer iki farklı içyapı modeli için aşağıdaki bağıntıları önermiştir [3].

$$k_I = (1 - \Psi)k_k + \Psi k_s \quad (2.6)$$

$$k_{II} = \frac{1}{\frac{1 - \Psi}{k_k} + \frac{\Psi}{k_s}} \quad (2.7)$$

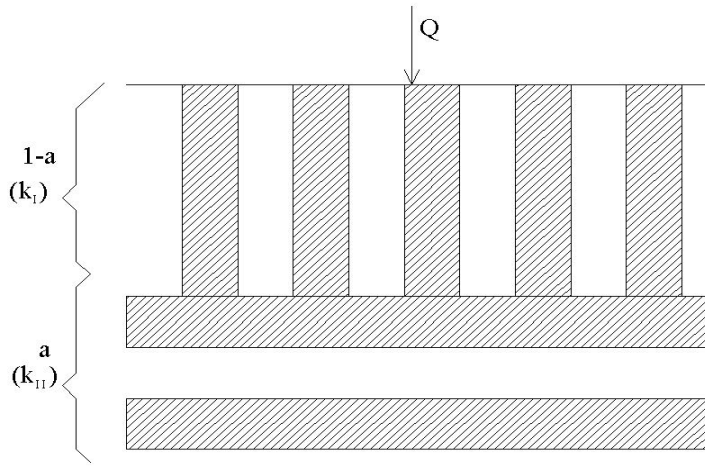
Bu denklemlerde;

Ψ : Gözenek yoğunluğu

k_k : Malzemenin katı kısmının termik iletkenliği

k_s : Gözeneklerdeki sıvının termik iletkenliği

genellikle gerçek malzemede iki farklı gözenek yapısı bir arada bulunabileceği ve I ve II modelinin birbiri arkasına bağlı olduğu düşünülebilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Gözenekli yapının içyapı modeli [2]

Gözenekli malzemenin iç yapısında model II nin payı a ile gösterilirse model I'in payı da $(1-a)$ olur. Böyle bir malzemenin kuru haldeki ısı iletkenliği k_{ku} ve yaş haldeki ısı iletkenliği k_{ya}

$$k_{ku} = \frac{1}{\frac{1-a}{k_{I\ ku}} + \frac{a}{k_{II\ ku}}} \quad (2.8)$$

$$k_{ya} = \frac{1}{\frac{1-a}{k_{I\ ya}} + \frac{a}{k_{II\ ya}}} \quad (2.9)$$

olmak üzere bağıntılar yazılabilir.

2.7.4. Yaş malzemede kütle hareketi

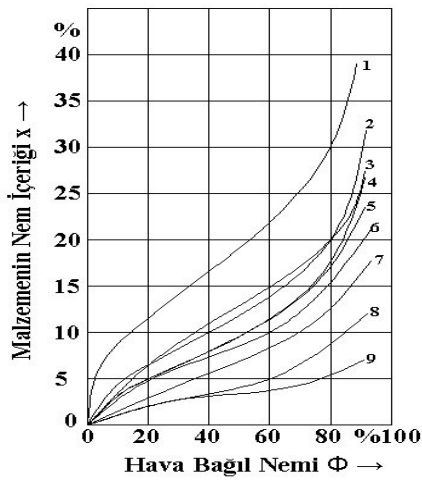
Yaş malzemenin gözeneklerinde difüzyon meydana gelir. Difüzyonu doğuran itici kuvvet gaz fazındaki kısmi buhar basıncı farkıdır. Absorbe edilen fazdaki kütle hareketi ise; gerek gözenek yüzeyindeki absorpsiyon ve gerekse kapiler sıvı hareketi olsun, katı fazındaki nem gradyeni neticesinde meydana gelir. Gaz fazındaki kütle hareketiyle buhar fazındaki kütle hareketi birbirine bağlıdır. Bu nedenle gaz boşluğundaki buhar basıncı ile gözenek yüzeyindeki nem oluşumu arasında bir denge

meydana gelir. Absorbsiyon halinde bu denge durumu çok kısa bir zaman zarfında (10^{-5} s) kurulur. Kurutma halinde (desorbsiyon) denge durumunun oluşmasına kadar geçen süre hakkında yeterli bilgi olmamasına rağmen, bu sürenin tüm kurutma için gerekli zamana oranla çok kısa olabileceği düşünülebilir.

Gerek gaz fazındaki gerekse buhar fazındaki kütle hareketinin birbirini etkilemesi sebebiyle, geçici rejimde absorbsiyon ve desorbsiyon hızını tayin için D ve w (özgül nem) gibi transport katsayıları yeterli olmaz. Bu durumda denge şartlarını belirleyen sorbsiyon izotermelerinin, yani $w = f(\phi)$ bağıntısının bilinmesi gerekir. Kütle akışının hesaplanması için gaz fazının bağıl nemine bağlı olarak gözenek yüzeyindeki denge nemi miktarının da belirlenmesi gerekir [3].

2.7.5. Kurutulacak malzemenin sorpsiyon izotermeleri

Belirli koşullarda katıda bulunabilecek sıvı miktarının tayini için sorpsiyon kavramı kullanılır. Belirli bir sıcaklıkta malzemenin nem içeriği (w) ile malzeme üzerinde su buharı-gaz karışımının bağıl nemi (ϕ) arasındaki ilişkiyi, başka bir deyişle malzemedeki sıvı miktarı ile gazdaki buhar basıncı arasındaki dengeyi gösteren eğriye sorpsiyon izotermi denir. Deneysel olarak elde edilen iplikler için sorpsiyon izotermi eğrileri aşağıda görülmektedir.



Şekil 2.9. İpliklerin Sorpsiyon İzotermeleri [2]

1.Suni ipek; 2.Viskon; 3.Merinos; 4.Jüt; 5.Merсерize pamuk, ipek; 6.Keten, kanaviçe 7.Pamuk; 8.Asetat; 9.Perlon, naylon

Sıvının katı yapıya bağlı kaldığı higroskopik malzemede kurutma sonunun tayininde, sorpsiyon izotermelerinin bilinmesi büyük kolaylık sağlar. Maddenin içyapısı değişik olunca, sorpsiyon izotermeleri de farklı olur ve bu eğriler ancak deneysel olarak elde edilir. Malzemenin çevreden sıvı alması (adsorpsiyon) veya kurutmada olduğu gibi, malzemedan sıvının çekilmesi (desorpsiyon) hali için elde edilen $w = f(\phi)$ sorpsiyon eğrileri farklı olur. Bunun sebebi, gözeneklerde sıvının artması veya azalmasına göre kapiler sıvı hareketinin farklılık göstermesidir.

Sıcaklığın artması genellikle sorpsiyon eğrilerinin aşağıya doğru kaymasına neden olur. Belirli bir ϕ değeri için sıcaklığın artmasının sebep olacağı, nem içeriğinin (w) değişmesi yaklaşık olarak aşağıdaki lineer bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\left(\frac{\partial w}{\partial T}\right)_{\phi} = -A w \quad (2.10)$$

Burada orantı faktörü (A) malzemenin cinsine göre çeşitli değerler alır. A katsayısının değeri havadaki nem miktarına bağlı olarak değişir. Havanın bağıl nemi (ϕ) yüksek olunca A katsayısının değeri daha küçük olur.

Sorpsiyon izotermeleri $\phi = f(w)$ olarak çizildikleri zaman, genellikle S eğrileri şeklini alırlar. Alt kısmı aşağıya doğru iç bükey olan eğrilerin bu kısmının Langmuir'in tek moleküllü tabakada adsorpsiyonu ifade eden

$$w = w_{\max} \frac{c\phi}{1 + c\phi} \quad (2.11)$$

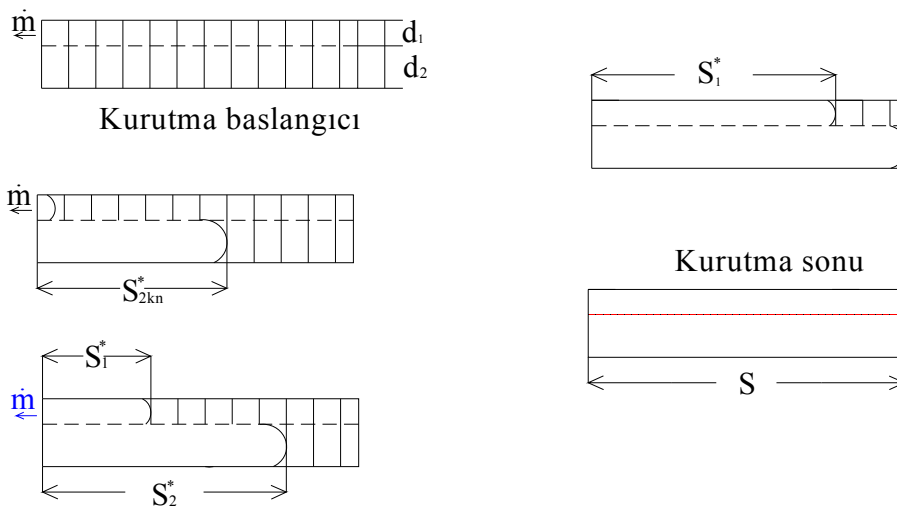
bağıntısına uyduğu görülür. Burada c adsorpsiyon katsayısıdır. Havadaki bağıl nem artınca gözeneklerde sıkışan su buharı yoğunlaşır ve eğrilerin bu kısmında kapiler yoğunlaşmanın etkileri görülür.

Kurutulacak malzemelerin sorpsiyon izotermi bilinmezse, içyapı bakımından benzer bir malzemenin sorpsiyon izotermi kullanarak hesap yapmak mümkündür[3].

2.8. Kurutma Mekanizması

Buhar difüzyonu ve kapiler sıvı akışını incelemek için basitliği nedeniyle birbiriyle irtibatlı ve farklı çaplarda iki kapilerden oluşan bir model ele alalım. Kurutulacak malzemelerde genellikle dar kapillerlerin sayısı geniş kapillerlerin sayısından çok fazladır.

2.8.1. Kurutmanın birinci aşaması



Şekil 2.10. Kurutmanın aşamaları [2]

Kurutmanın muhtelif aşamaları modelimizde (Şekil 2.10) görülmektedir. Başlangıçta 1. kapilerde düzlemsel bir sıvı yüzeyi bulunur. Bu yüzeyde meydana gelen buharlaşma miktarı

$$\dot{m}_{b1} = \frac{\beta}{R_b T} (P_d - P_b) \quad (2.12)$$

denklemini yardımıyla bulunabilir. Bu buharlaşma olayı sonucunda 2. kapilerden 1. kapilere sıvı emilir. Malzeme yüzeyinin hemen altında dar kapilerde menisk oluştuğu zaman kritik noktaya erişilmiş olur ve bundan sonra meydana gelen buharlaşma

$$\dot{m}_b = \frac{1}{R_b T} \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu s^*}{D}} \quad (2.13)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Burada;

β : D/s Kütle transfer katsayısı

μ : Viskozite

s^* : Difüzyon yolu

P_d : Doyma basıncı

P_b : Kısmi buhar basıncı

Kurutma başlangıcındaki kurutma hızı

$$\dot{m}_{bl} s_{2k}^* = \frac{\sigma}{4\eta} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) r_2^4 \pi \rho_s = \frac{\sigma \rho_s}{\eta} C_k \quad (2.14)$$

denklemini ile bulunur. Burada C_k kapiler sistemin özelliğini kapsayan bir sabittir.

2.8.2. Kritik nokta

n sayıda iki kapilerin bulunduğu bir malzemenin, kurutma başlangıcında birim hacimdeki sıvı miktarı

$$m_{so} = n \left[s \pi (r_1^2 - r_2^2) \right] \rho_s \quad (2.15)$$

denklemini ile hesaplanabilir. Benzer şekilde kritik noktadaki ortalama özgül sıvı miktarı;

$$(m_{sm})_k = n \left[(s_1 - s_{2k}^*) \pi r_2^2 + s \pi r_1^2 \right] \rho_s \quad (2.16)$$

olur ve malzeme nem içeriği oranı (nemlilik derecesi)

$$\left(\frac{m_{sm}}{m_{so}} \right) = \left(\frac{w_m}{w_o} \right)_k = 1 - \frac{s_{2k}^*}{s} \frac{r_2^2}{r_1^2 + r_2^2} \quad (2.17)$$

bağıntısı elde edilir. s_{2k}^* değeri (2.14) denkleminde çekilirse;

$$\left(\frac{w_m}{w_o} \right) = 1 - \frac{\sigma \rho_s}{\eta} \frac{C_k}{m_{bl} s} \frac{r_2^2}{r_1^2 + r_2^2} \quad (2.18)$$

denklemini elde edilir. Belirli bir sistemde $\frac{C_k r_2^2}{r_1^2 + r_2^2}$ oranı sabit bir değer olacağından bu

oran D_k ile gösterilirse başlangıçtaki kurutma hızı ile nemlilik derecesi arasındaki ilişkiyi ifade eden;

$$m_{bl} s = \frac{\sigma \rho_s}{\eta} \frac{D_k}{1 - \frac{w_m}{w_o}} \quad (2.19)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı sabit kuruma hızının devam edeceği nemlilik derecesinin sınırını verir.

2.8.3. Kurutmanın ikinci aşaması

Kritik noktadan sonra dar kapilerdeki menisk alçalır ve difüzyon yolu s_1^* olur. Bu yüzeyde meydana gelen buharın kapiler dışındaki havaya taşınmasında buhar akışı veya kurutma hızı (2.13) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Ayrıca başlangıçtaki kuruma hızı (2.12) denkleminde

$\dot{m}_{bI} = \frac{\beta}{R_b T} (P_d - P_b)$ olur. Bu son iki bağıntıdan s_1^* çekilirse;

$$s_1^* = \frac{\beta (P_d - P_b)}{\mu R_b T} \left(\frac{1}{m_b} - \frac{1}{m_{bI}} \right) \quad (2.20)$$

elde edilir. Kapiler akış için (2.14) bağıntısına benzer şekilde

$$\dot{m}_b (s_2^* - s_1^*) = \frac{\sigma \rho_s C_k}{\eta} \quad (2.21)$$

denklemini elde edilir ve kurutmanın ikinci aşamasında herhangi bir anda malzemenin nemlilik derecesinin kurutmanın başlangıcındaki nemlilik derecesine oranı

$$\left(\frac{w_m}{w_o} \right) = 1 - \frac{s_1^*}{s} \frac{r_1^2}{r_1^2 + r_2^2} - \frac{s_2^*}{s} \frac{r_2^2}{r_1^2 + r_2^2} \quad (2.22)$$

olarak bulunur. Elde edilen bu bağıntıda s_1^* (2.20) ve s_2^* (2.21) bağıntılarına göre yerleştirilirse ve (2.19) bağıntısında yapıldığı gibi, kapiler yapının özelliğini D_k ile ifade edersek kurutmanın II. Aşamasında kurutma hızı;

$$(\dot{m}_b s)_{II} = \frac{\frac{D(P_d - P_b)}{\mu R_b T} + \frac{\sigma \rho D_k}{\eta}}{1 - \frac{w_m}{w_o} + \frac{D(P_d - P_b)}{\mu R_b T} \frac{1}{m_{bI} s}} \quad (2.23)$$

olarak elde edilir. Bu bağıntı kurutma hızı, kapiler akış ve buhar difüzyonu arasındaki ilişkiyi vermesi açısından önemlidir.

2.8.4. Kurutmanın üçüncü aşaması (kurutma sonu)

İkili kapiler sistemde (Şekil 2.10) geniş kapilerdeki sıvı tamamen emildiği zaman ve menisk kapiler tabanına, s derinliğine kadar alçalınca 2. kritik nokta belirir. Bu durumda kapilerler arasındaki basınç farkı $\Delta P_k = 0$ olur ve ince kapilerdeki buharlaşmayı yalnız difüzyon etkiler. Gerçek malzemede çok sayıda farklı çapta kapilerler bulunacağı düşünülürse, kurutmanın III. aşaması ile kurutmanın sonunun aynı zamanda meydana geleceği anlaşılır. Dar kapilerde son sıvı parçasının s derinliğinde buharlaşması anındaki kurutma sonu kurutma hızı \dot{m}_{bs} ; (2.13) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Kurutma sonundaki kurutma hızı;

$$\dot{m}_{bs} = \frac{1}{R_b T} \frac{1}{\frac{1}{\beta s} + \frac{\mu}{D}} (P_d - P_b) \quad (2.24)$$

gerekli düzenlemeler yapıldığında;

$$\dot{m}_{bs} s = \frac{1}{\frac{1}{\dot{m}_{bl} s} + \frac{1}{\frac{D(P_d - P_b)}{\mu R_b T}}} \quad (2.25)$$

denklemini elde edilir.

2.9. Kurutma Olayının Değerlendirilmesi

Kurutmanın seyrini göstermek için, kurutma hızı \dot{m}_b ile malzeme kalınlığı (s)'nin çarpımının malzemenin ortalama nem içeriği (w_m)'nin fonksiyonu olarak çizildiği bir diyagram kullanılır. Her gözenekli malzeme için;

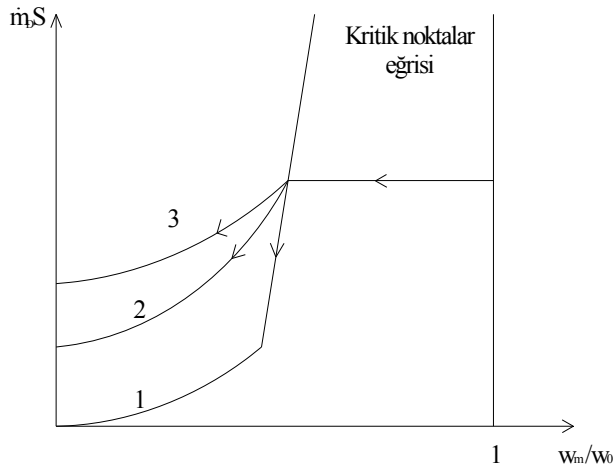
$$(\dot{m}_{bl} s)_k = f\left(\frac{w_m}{w_o}\right) \quad (2.26)$$

şeklinde bir fonksiyonla ifade edilen kritik noktalara ait eğri demeti tespit edilebilir. Bu eğrilerin şeklini sadece malzemenin kapiler yapısı tayin eder. Bu eğriler kurutmanın birinci aşamasının sonunu tespit etmek için kullanılır ve bu suretle yaklaşık sabit kabul edilen kurutma hızı (m_{bl})'nın maksimum devam edebileceği malzeme nem içeriği bulunur.

Malzeme yüzeyindeki ince kapilerde menisk oluşumunun ilerlemesi ile difüzyon koşulları değişecek ve bu da kuruma hızının tam olarak sabit kalmasını engelleyecektir. Kritik noktaya yaklaştığımızda, dar kapilerde menisk oluşumu başlarken, buhar basıncında bir düşmenin meydana gelmesi beklenir. Bu durum da difüzyon koşullarını etkiler.

Kurutmanın I. aşamasından sonra kurutma hızı sürekli olarak azalacaktır. Bu azalmayı etkileyen faktörler; difüzyon direnç katsayısı ile ifade edilen malzemenin difüzyon özelliği ve kütle transferi katsayısı (β) ile kısmi buhar basıncı farkı ($P_d - P_b$)'nin tayin ettiği malzeme dışındaki difüzyon koşullarıdır. Kritik nokta ile kurutmanın sonu arasındaki kurutma hızını; kurutma yüzeyinin durumu, kapiler akış ve malzeme içi difüzyon karşılıklı olarak etkiler. Kurutmanın sonunda, kurutma yüzeyi s derinliğine ulaştığında sıcaklıklar sabit olunca, kurutma hızını yalnızca difüzyon koşulları etkiler. Eğer difüzyon direnç katsayısı (μ) bilirse, kurutma sonu kurutma hızı önceden hesaplanabilir. Belirli bir malzeme nem içeriği için teorik olarak en düşük kuruma hızı, kurutmanın küçük basınç farkı altında yapıldığı zaman elde edilir. Kısmi buhar basınç farkı o kadar küçük olmalıdır ki, kurutma yüzeyi daima malzemenin yüzeyinde bulunsun. Bu koşullarda kurutma sonu kurutma hızı sifıra yaklaşır.

Kurutmanın II. aşamasında kısmi buhar basınç farkı büyüdükçe, kuruma hızı eğrileri de kritik noktalar eğrisinden yukarıya doğru uzaklaşır. Kısmi buhar basınç farkının kurutma eğrisine etkisi Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11. Kısmi buhar basınç farkının kurutma hızına etkisi [2]

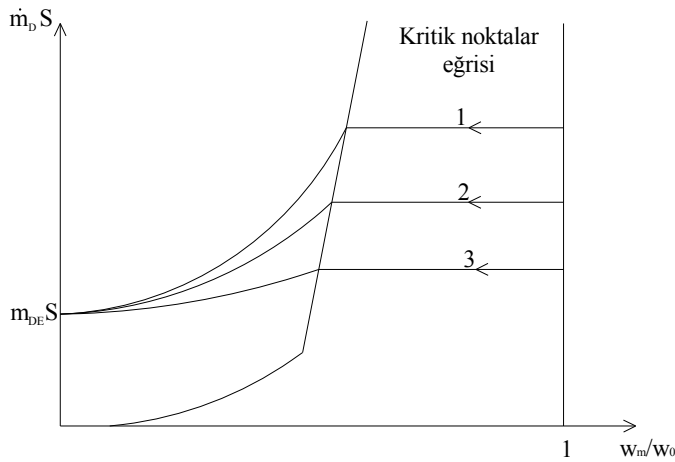
Eğri 1: En küçük ($P_d - P_b$) ve kurutma havası hızı

Eğri 2: Orta ($P_d - P_b$) ve kurutma havası hızı

Eğri 3: Büyük ($P_d - P_b$) ve kurutma havası hızı

Kurutmanın birinci aşamasında değişen ($P_d - P_b$) farkı karşısında ($\dot{m}_{bl} s$)'i sabit tutabilmek için kurutma havası hızı ve dolaylı olarak kütle transferi katsayısı (β) değiştirilir ve bu suretle kritik noktaya kadar $\dot{m}_{bl} s = \text{sabit}$ için tek bir doğru elde edilir. Kurutmanın II. aşamasında malzeme içi difüzyonun etkisi görülür. $w_m = 0$ için kurutma sonu kurutma hızı (2.24) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Kritik noktalar eğrisi üzerine düşen 1. eğri ($P_d - P_b$) = 0 ve $\beta \rightarrow \infty$ durumunu içerir. 2. eğri orta değerler ve 3. eğri büyük kısmi basınç farkı ve küçük β değerlerini içerir. Difüzyon direnç katsayısının büyük olması kurutma eğrilerinin aşağıya doğru kaymasına neden olur. Yukarıda da belirtildiği gibi $\mu \rightarrow \infty$ olunca kurutma, kritik noktalar eğrisini takip eder. Böylece malzemede difüzyon olayı oluşmaz ve kütle hareketi yalnız sıvı fazında gerçekleşir. Çeşitli malzemelerin kurutulmasındaki farklı davranışlar öncelikle kurutmanın II. aşamasında kendisini gösterir ve bu farklılıklar kurutmanın sonunda en büyük değerlerine ulaşırlar [3].

2.9.1. Malzeme kalınlığının kuruma hızına etkisi



Şekil 2.12. Malzeme kalınlığının kuruma hızına etkisi [2]

Eğri 1: Kalın malzeme

Eğri 2: Orta kalınlıktaki malzeme

Eğri 3: İnce malzeme

Malzeme kalınlığının kurutmaya etkisi Şekil 2.12’de görülmektedir. Bu eğrilerin tespitinde dış koşullar sabit ve $\beta(P_d - P_b) = \text{sabit}$ tutulmuştur. Kurutma hızındaki düşüş, kritik noktalar eğrisinden sonra başlayacaktır. (2.24) bağıntısına göre kurutma sonu kurutma hızını, malzeme kalınlığı s ’nin etkilemesi beklenir. Ancak başlangıçtaki kurutma hızı malzeme içerisindeki buhar difüzyonundan daha büyük olunca; yani

$$\left(m_{bI} s \right) \frac{D(P_d - P_b)}{\mu R_b T} \text{ olduğunda malzeme kalınlığının etkisi giderek azalır ve}$$

kurutma sonunda farklı kalınlıktaki malzemelerin eğrileri aynı $m_{bI} s$ değerlerini alırlar. Bu durum $\beta \gg D / \mu s$ şartlarının sağlanması halinde oluşur.

2.9.2. Kurutma havası hızının kurutmaya etkisi

Kurutma havası hızının kurutmaya etkisi Şekil 2.12’deki eğriler ile açıklanabilir. Belirli kalınlıktaki bir malzemede, sıcaklık ve kısmi buhar basıncı farkı sabit tutulursa, kurutma havası hızının değiştirilmesiyle kütle transferi katsayısı β değişecek ve bunun sonucu olarak 1, 2 ve 3 eğrilerinden görüldüğü gibi farklı

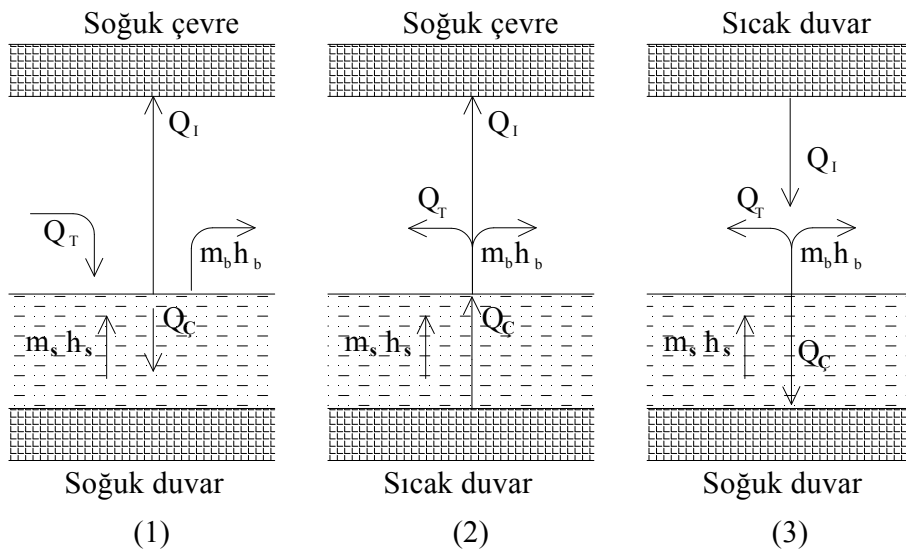
başlangıç kurutma hızları elde edilecektir. Kurutmanın ikinci aşamasında malzeme içindeki kurutma azaldıkça

$$\dot{m}_b = \frac{1}{R_b T} \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu s^*}{D}} (P_d - P_b)$$

devamlı olarak büyüyecektir ve hava hızına bağlı olarak değişen kütle transferi katsayısının etkisi azalacaktır. Malzemenin kalın olması ve difüzyon direncinin büyük olması bu etkiyi daha da azaltacaktır. Kurutma işlemlerinde genellikle en uygun kurutma süresi kurutmanın son aşamasında görülür ve bu aşamada kurutma havası hızının artırılması kurutma işleminde fazla etkili olmaz.

2.9.3. Malzeme yüzeyinde enerji akışı

Kurutma yöntemini seçerken, bunun malzemenin özelliğine uygun olmasına dikkat edilir. Kurutma yönteminin değişik olması, kurutulan malzemenin yüzeyi üzerindeki enerji akışını etkileyeceğinden kurutma olayının gelişmesi de farklı olur. Şekil 2.13'de buharlaşmada; malzeme yüzeyi ile çevresi arasında iletim, taşınım ve ışınım sonucu meydana gelen ısı geçişinin farklı şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.13. Malzeme yüzeyinden enerji akışı [3]

Şekil 2.13’de 1. taşınım ile kurutma, 2. temasla kurutma ve 3. ışınım kurutma olup; her üç kurutma olayında malzeme yüzeyinden uzaklaştırılan buharın aynen sıvı olarak malzeme içerisinde yüzeye yükseldiği, yani $m_b = m_s$ olduğu ve belirli süre içinde yüzey üzerinde basınç ve sıcaklığın sabit kaldığı kabul edilecektir. Burada;

Q_C : Çevreden transfer edilen ısı (W)

Q_T : Taşınım ile ısı geçişi (W)

Q_I : Işınım ile ısı geçişi (W)

olarak ifade edilmektedir.

Isı taşınımı ile kurutmada; sıcak hava Q_T ısısını taşınım yolu ile malzeme yüzeyine verecek, malzemeden soğuk çevre yönünde Q_C ısısı iletim yolu ile geçecek ve ayrıca çevrede bulunan soğuk yüzeylere, malzeme yüzeyinden Q_I ışınım ısısı yayılacaktır. Neticede enerji dengesi:

$$Q_T - Q_C - Q_I = m_b (h_b - h_s) \quad (2.27)$$

olarak yazılır.

Temasla kurutmada ısıtılmış sıcak duvarın etkisi ile Q_C ısısı iletim yolu ile malzemeden geçerek yüzey üzerindeki soğuk havaya ve soğuk çevreye taşınacaktır. Bu durumda enerji dengesi:

$$Q_C - Q_T - Q_I = m_b (h_b - h_s) \quad (2.28)$$

olarak yazılır.

Işınım ile kurutmada ise; sıcak duvarlardan yayılan Q_I ışınım ısısı malzeme yüzeyi üzerindeki soğuk havaya ve malzemeye taşınacaktır. Bu şartlarda ısı dengesi:

$$Q_I - Q_T - Q_C = m_b (h_b - h_s) \quad (2.29)$$

olarak yazılır. [3]

2.9.4. Kurutmada psikrometrik diyagramdan yararlanma

Kurutma, bir katının içerdği nemin ısı işlem sonucu buharlaştırma yolu ile istenilen düzeye kadar indirilmesidir. Katı halde bulunan tarımsal ve sanayi ürünlerinin içerdikleri nem; katının yarıklarında, kılcal borularda veya yüzey tarafından yutulmuş olarak bulunmaktadır.

Sıcak bir gaz akımı vasıtası ile yapılan kurutma esnasında buharlaşmanın meydana geldiği sıcaklık, malzemeyi çevreleyen bu gaz içindeki konsantrasyonuna bağlıdır. Teknik uygulamalarda sıcak gaz genelde hava ve transfer edilen sıvı da su olduğuna göre, neme doymuş durumdaki katının sabit kurutma hızı sürecinde yüzey sıcaklığı kurutucu havanın nem konsantrasyonuna bağlıdır. Sabit kurutma hızı sürecinde katının neme doymuş durumdaki dış yüzeyi bir hava film tabakası ile temasta ve eş sıcaklıktadır. Öte yandan katı yüzeyi ile temasta bulunan hava filmi aynı zamanda su ile de temasta olduğuna göre bu film de neme doymuş durumdadır. Bu durumda sıcaklığının da adyabatik doyma sıcaklığı olması gerekir. Böylece katı yüzeyindeki sıcaklığının da havanın adyabatik doyma sıcaklığına eşit olması gerekir.

Adyabatik doyma sıcaklığı; hava için çok yüksek olmayan sıcaklıklarda ve çevre basıncında yaş termometre sıcaklığına eşittir. Buna göre sabit kuruma hızı sürecinde yaş katının yüzey sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığına eşittir. Diğer taraftan kurutma olayında, katıyı saran havanın kısmi su buharı basıncı, aynı sıcaklıktaki doymuş nemli havanın kısmi su buharı basıncına göre ne kadar az ise, hava bünyesine nem almaya o kadar elverişli olacaktır.

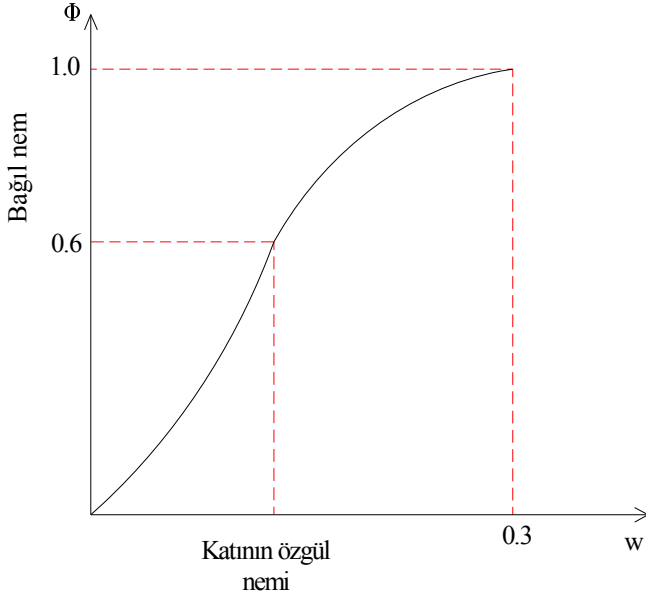
$$\varphi = \frac{P_b}{P_{dT}} \quad (2.30)$$

P_b : Nemli havanın su buharı kısmi basıncı

P_{dT} : Aynı sıcaklıktaki doymuş havanın kısmi su buharı basıncı

ϕ : Havanın bağıl nemi

Havanın bağıl nemi, katının denge neminin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinde, Şekil 2.14'deki gibi bir eğri elde edilmektedir.[5]

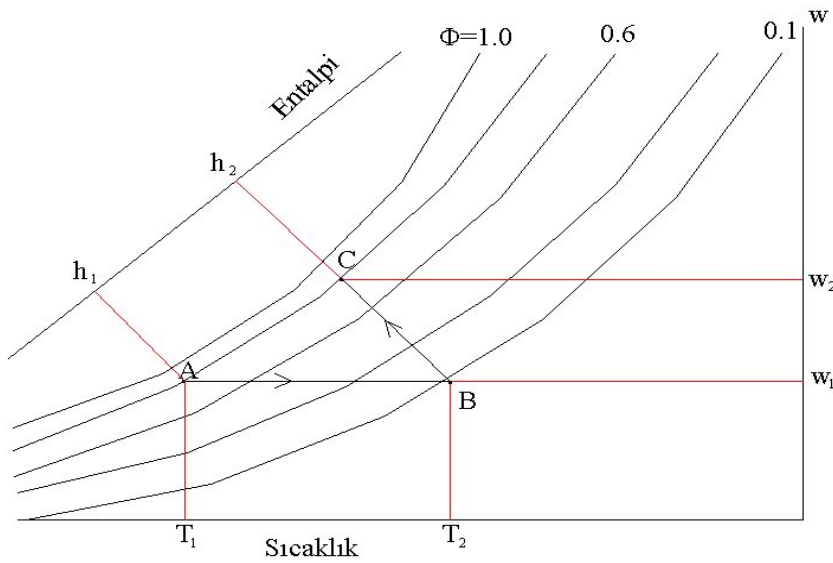


Şekil 2.14. Havanın bağıl nemi ile katının denge nemi arasındaki ilişki [5]

Bu grafik farklı katılar için çizildiğinde, farklı eğrilerin elde edilmesi doğal karşılanmalıdır. Çünkü farklı katıların fiziksel yapıları ve su molekülleri ile olan fiziksel ve kimyasal bağılıkları farklı olmaktadır. Örneğin; 0,3 kg su/kg katı, mutlak neme sahip bir katı düşünelim ve bu katı bağıl nemi 0,60 olan hava akımının etkisinde bulunsun. Bu durumda katı A noktasına karşı gelen 0,12 kg su/kg katı, denge nemine kadar su kaybedecektir. Bunun tersi de doğrudur. Yani 0,08 kg su/kg katı, mutlak neme sahip bir ürün, bağıl nemi 0,60 olan hava akımının etkisinde kalırsa, denge nemi 0,12 kg su/kg katı oluncaya kadar havadan nem alabilecektir. O halde A noktası, ne katıdan havaya ne de havadan katıya nem transferinin olmadığı denge durumunu açıklamaktadır. Benzeri olaylar doğada her zaman kendiliğinden oluşmaktadır. Bu açıklamalara göre, katının denge neminin 0,12 kg su/kg katıdan az olması isteniyorsa, katıyı saran havanın bağıl neminin 0,60'dan az olması gerekmektedir. Bu durum aşağıda açıklanacağı gibi havanın ısıtılmasıyla sağlanabilmektedir.

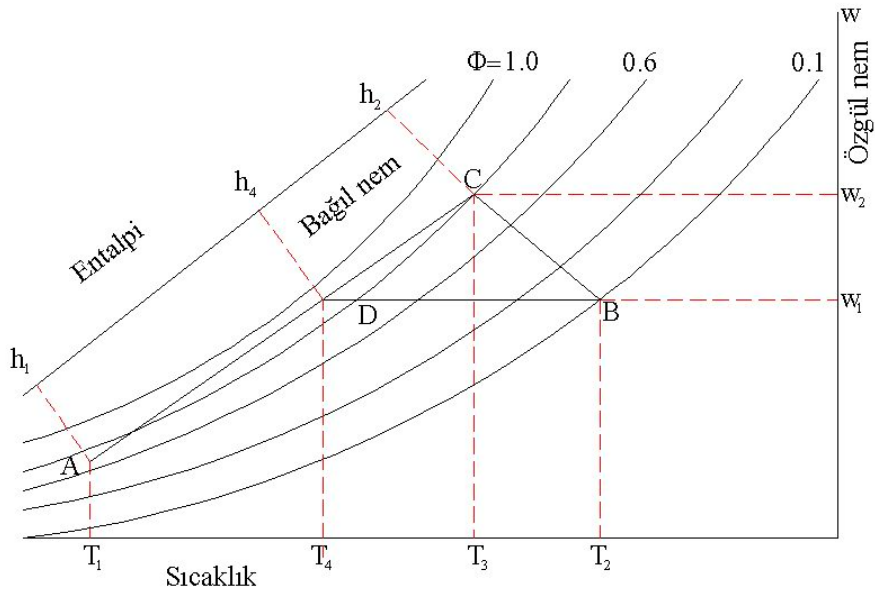
Kurutma prosesinde işlem sırası şu şekilde özetlenebilir:

1. Isıtılan hava kurutulacak ürün üzerine gönderilir.
2. Ürünle temas eden hava soğur ve bu sırada üründen buharlaşan nem havaya karışır.
3. Nemli ve soğuk hava sistemden dışarı atılır.



Şekil 2.15. Kurutma işleminin psikrometrik diyagramda gösterilmesi [5]

Şekil 2.15’de AB doğrusu havanın ısıtılma işlemini göstermektedir. Böylece ısıtılan havanın bağıl nemi azalmakta, nem alma yeteneği artmaktadır. BC doğrusu ise, kurutma sırasında havanın soğuma ve üründen nem alma işlemlerini belirtmektedir. Rejim halindeki bir kurutma olayında, sabit kurutma hızı sürecinde tamamen yalıtılmış bir kurutucu için havanın durum değiştirmesi bir adyabatik doyma olayıdır. Adyabatik doyma olayı ise hava ve su için atmosferik basınçlarda sabit yaş termometre sıcaklığı eğrileri üzerindedir. Yani havanın kurutma esnasında yaş termometre sıcaklığı değişmez. Sıcak havadan yaş malzemeye transfer edilen ısı miktarı suyun buharlaşması için gerekli ısı miktarını karşılayacağından, bu duruma uygun Δm miktarında nemi bünyesine alarak, yani yaş malzemeyi kg kuru hava başına Δw kadar kurutarak kurutucuyu terk eder [5].



Şekil 2.16. Kurutma işlemlerinde kurutma havasının geri besleme yapılması [5]

Nemli ve soğuk havanın, bazı uygulamalarında bu havanın bir kısmı geri beslenerek taze havaya karıştırılmaktadır (Şekil 2.16). Çünkü bu uygulamalarda C koşullarındaki havanın sıcaklığı, dolayısı ile entalpisi yüksek olabilmektedir. Bu nedenle, C koşullarındaki havanın bir kısmını A koşullarındaki hava ile karıştırmak ve sonra ısıtarak sisteme göndermek, ısı ekonomisi bakımından yararlı olmaktadır. [5]

BÖLÜM 3. TEKSTİL KURUTMASI

3.1. Tekstil Mamülünün Nem Çekme Özelliği

Tekstil mamülünün en önemli özelliklerinden biri belirli sıcaklık ve bağıl nemde su absorplama yeteneğidir. Tekstil mamülünün absorpladığı nem miktarı elyafın türüne, şartlara ve atmosferdeki neme göre değişir. Elyafın nem çekmesi ve buharlaşma yolu ile geri vermesi sağlık ve rahatlık yönünden önemli bir faktördür.

Nemli havaya bırakılan kuru bir kumaş, üzerine su toplar; fakat nemli veya ıslak bir kumaş kuru havada bırakıldığında ise su kaybeder. Bu su emme ve kaybı denge kuruluncaya kadar devam eder. Absorplanan su miktarı kadar absorplama hızı da göz önüne alınmalıdır. Absorplama hızı, absorplanan suyun havaya geri verilme hızına eşittir. Yani bir tekstil mamülü ne kadar çabuk su absorpluyorsa o kadar çabuk kurur, fakat bunu nem çekme özelliği ile karıştırmamak gerekir. Örneğin; yün miktar olarak en fazla nem çeken tekstil mamülü olduğu halde nem çekme hızı ve kuruması selülozik tekstil mamüllerine göre yavaştır.

Tekstil mamülündeki su miktarı iki yolla tayin edilir. Birincisinde kumaş veya elyaftaki su miktarı (ağırlığı) bütün ağırlığa bölünür. Örneğin; 5 kg ham yünün 0,5 kg su içerdiği tespit edilirse, yündeki nem miktarı;

$$\frac{0,5}{5} \times 100 = \%10 \text{ dur.}$$

Bu şekilde hesaplanan nem miktarı % nem olarak verilir. Halbuki yukarıdaki örnekte 5 kg yün, 0,5 kg su ve 4,5 kg yün içermektedir. Bu durumda nem miktarı hesaplanırsa;

$$\frac{0,5}{4,5} = \%11,1$$

bulunur. Bulunan bu nem mutlak nem olarak ifade edilir. Birinci yöntem olan % nemde havada kurutulmuş malzeme, ikinci yöntem olan % mutlak nemde ise tamamen kurutulmuş malzeme esas alınır.

$$\frac{g}{G} \times 100 = \% \text{ nem} \quad (3.1)$$

$$\frac{g}{G} \times 100 = \% \text{ mutlak nem} \quad (3.2)$$

g : Kg olarak kurutulmuş maddenin ağırlık kaybı

G : Kg olarak havada kurutulmuş maddenin ağırlığı

G : Kg olarak mutlak kuru maddenin ağırlığı

Tekstil mamülünün nem çekme yeteneği dokuma yapısı ve çeşitli apre işlemleri ile arttırılabilir. Gevşek dokunmuş ve tüylü yüzeyli kumaşlar, düzgün yüzeyli kumaşlara göre daha fazla nem çekerler.

En fazla nem çeken tekstil mamülü yündür. Bundan sonra sırasıyla ipek, rayon, keten, pamuk, asetat ipeği, poliamid, akrilik ve polyester gelir. Cam elyafı ise hiç nem çekmez [12].

3.2. Tekstil Mamülü Üzerindeki Su

Yıkamış bir tekstil mamülü hiç sıkılmadığında üzerinde ağırlığının %150-%700 kadar su bulundurmaktadır. Bu suyun nasıl uzaklaştırılabileceğini incelemeden önce, suyun tekstil mamülünün neresinde bulunduğunu bilmekte fayda vardır.

Yaş bir tekstil mamülünün üzerindeki suyun hepsi aynı durumda bulunmayıp, bulunduğu yere ve tekstil mamülü ile arasındaki bağ durumuna göre şu sınıflandırma yapılabilir.

3.2.1. Damlayan su

Liflere hiçbir şekilde bağlı olmayan bu su kısmı, kendi ağırlığının etkisi ile aşağıya doğru akar ve tekstil mamülünün alt tarafından damlar. Bu tip suyun mamülden mekanik yollarla (ön kurutma ile) uzaklaştırılması mümkündür.

3.2.2. Yüzey suyu

İpliklerin yüzeyine adhezyon kuvvetleri ile bağlı olan bu suyun uzaklaştırılması için, daha yoğun mekanik kuvvetlere gerek vardır. Fakat genellikle bu suyun tamamı ön kurutma sırasında uzaklaştırılabilir.

3.2.3. Kapiler suyu

İpliklerin içerisinde liflerin yüzeyine adhezyon kuvvetleri ile bağlı olan bu suyun ön kurutma sonucu ancak bir kısmı uzaklaştırılabilir.

3.2.4. Şişme suyu

Liflerin içerisinde miseller arasında bulunan bu su, lif kesitlerinin şişmesine yol açmaktadır. Lif moleküllerine dipol kuvvetleri ile bağlı olan bu suyun mekanik kuvvetlerle (ön kurutma ile) uzaklaştırılması mümkün değildir. Şişme suyu liflerden ancak ısı enerjisi yardımı ile (esas kurutma) uzaklaştırılabilir.

3.2.5. Kristal suyu (higroskopik nem)

Şişme suyu gibi liflerin içerisinde miseller arasında bulunan bu su, normal halde kuru bir tekstil mamülünde bulunması gereken nemdir. Bu nedenle; iyi bir kurutma sonunda bu su kısmının liflerde kalması sağlanmalıdır. Higroskopik nemi

uzaklaştırılan bir mamülün tutumu bozulur ve bu su bir kere uzaklaştırıldığı zaman lifler tarafından higroskopik olarak bir daha aynı miktarda alınamaz.

Tekstil mamülünün kurutulması sırasında unutulmaması gereken önemli bir nokta da suyun ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılmasının, mekanik kuvvetler yardımıyla uzaklaştırılmasına nazaran çok daha pahalı olduğu hususudur. Bu nedenle suyun mümkün olan kısmı (damlayan su, yüzey suyu ve kapiler suyunun bir kısmı) mekanik yolla uzaklaştırılmalı ve ancak bu şekilde uzaklaştırılamayan kapiler suyun diğer kısmı ile şişme suyu ısı enerjisi ile uzaklaştırılmalıdır [8].

3.3. Tekstil Mamülü Üzerindeki Suyun Uzaklaştırılması

Tekstil terbiyesindeki üç temel işlemde biri olan kurutma; ön (mekanik) ve esas (ısı enerjisi ile) kurutma olmak üzere iki ana bölümde incelenmektedir. Ön kurutmanın mutlaka etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Çünkü ısı enerjisi ile yapılan esas kurutmaya geçmeden önce mamül üzerinde ne kadar fazla miktarda su daha ucuz olan mekanik yöntemlerle uzaklaştırılırsa işletmenin kurutmada sarf edeceği enerji miktarı da o oranda azalmış olacaktır. Öyle ki, enerji sarfiyatı açısından ön ve esas kurutma arasında 1/40 oranında bir fark söz konusudur. Ancak ön kurutmada mamülden uzaklaştırılacak olan su miktarı büyük oranda mamülü oluşturan lif cinsi ve kumaş konstrüksiyonu ile sınırlı kalmaktadır. Örneğin; pamuk ve yün gibi yapısında su tutma yeteneği fazla olan mamüllerde en etkin ön kurutma yöntemleri de kullanılsa su uzaklaştırmada %50-%60'ın altına pek düşülememektedir. Bu değer viskonda daha da yüksektir [9].

3.3.1. Ön (mekanik) kurutma

Son yıllarda kurutma konusundaki en belirgin gelişme, ısı enerjisi ile uzaklaştırılacak su miktarının mümkün mertebede düşük tutma esasına dayanmaktadır. Bu ise iki ana prensibe göre sağlanabilmektedir:

- I. Az flote aldirarak aplikasyon (aktarma, püskürtme, köpükle aplikasyon) yöntemlerinin uygulanması

II. Daha etkin ön kurutma yöntemlerinin uygulanması.

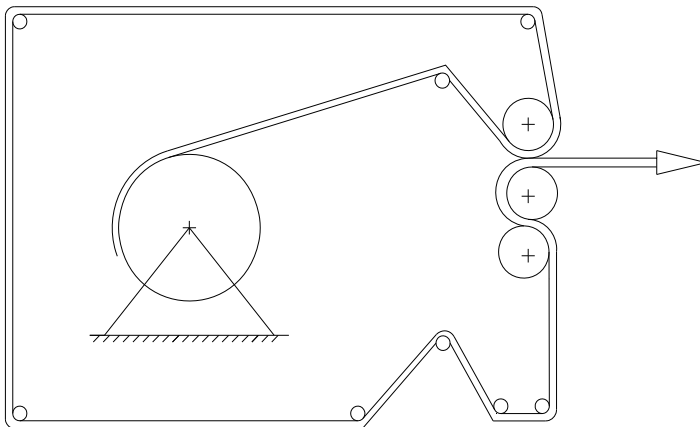
Ön kurutma;

- Sıkma
- Santrifüjlama
- Emme veya püskürtme yöntemlerine göre yapılabilmektedir.

3.3.1.1. Sıkma

Sıkma özellikle açık en kumaşlarda en fazla uygulanan ön kurutma yöntemidir. Suyu uzaklaştırılacak mamül, belirli bir basınç altında bulunan merdanelerin arasından geçirmek esasına dayanır. Bu iş için kullanılan merdanelerden en önemlileri; halat sıkma merdaneleri ve su kalandırlarıdır.

Üzeri yapay reçinelerle yapıştırılmış liflerle kaplanmış özel merdaneler kullanılarak veya Q-S (sıkma-emme) Tekniği uygulayarak sıkma sonucu mamülde kalacak su miktarı düşürülebilir. Q-S Tekniğinde kuru bir kumaşla, emdirilmiş ve sıkılmış kumaş beraberce merdaneler arasından geçirilip, bir kere daha sıkılmaktadır. Bu arada yaş kumaştaki suyun bir kısmı, kuru kumaş tarafından emilmektedir. Böylece kısmen ıslanan kuru kumaş, müteakiben flotteden geçirilmekte, sıkılmakta ve yaş kumaş olarak yeni kuru kumaş ile birlikte sıkılıp kurutucuya gönderilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Sıkma-emme (Q-S) tekniğine göre ön kurutma [10]

Q-S Tekniğine göre sıkma 3 merdaneli fulardla veya iki tane çift merdaneli fulardla yapılabilir. Kesintisiz çalışmak mümkün olduğu gibi, yaş kumaşla birlikte sıkılıp ıslanan kumaş önce sarılıp sonra bu sargı alınıp flotteden (kimyasal sulu çözelti) ve merdaneler arasından geçirilebilir.

Q-S Tekniği, kumaşta kalan flotte (kimyasal sulu çözelti) miktarını azaltarak kurutma giderlerini ve ara kurutmada migrasyon (açık renkli boyar maddelerin kumaşta homojen dağılmaması) tehlikesini azalttığı gibi, kumaşın daha iyi ve düzgün bir şekilde ıslanmasını (penetrasyonunu) sağlaması bakımından da faydalıdır.[10]

3.3.1.2. Santrifujlama

Kesikli çalışmalarda yaş tekstil mamülü üzerindeki yüzey ve kapiler suyun en etkin şekilde uzaklaştırılması santrifuj yardımı ile sağlanabilir. Santrifujların iyi bir ön kurutma yapma avantajlarının yanı sıra, kesikli çalışma ve kırıxıklık meydana gelme tehlikesi olan mamüllerde kullanılmama sakıncaları vardır.

Tekstil sanayinde kullanılan santrifujların devir sayısı genellikle 500-1000 dev/dak civarındadır. Piyasada çok değişik büyüklükte santrifujlar bulunmakta olup, taşıma tamburunun büyüklüğüne göre 10-600 kg'a kadar kuru tekstil mamülü alabilmektedir [10].

3.3.1.3. Emme ve püskürtme

Emme makineleri genellikle kırıxıklık meydana gelme tehlikesi fazla ve bastırmaya karşı hassas olan mamüllerin ön kurutmasında kullanılmaktadır. Bunlarda geniş (enine açık) durumdaki kumaş bir veya birkaç tane emme yarığının üzerinden geçirilmektedir. Vakum pompaları yardımıyla bu yarıklardan 5000-6000 l/dak kadar çıkabilen miktarlarda hava emilmektedir. Kumaş içerisinden emilen hava, beraberinde suyun bir kısmını da alıp götürmektedir. Ön kurutma makineleri içerisinde en fazla enerji gerektiren emme makineleridir (15-40 kW). Bu nedenle geniş bir kullanım alanı bulamayıp ancak hassas kumaşların ön kurutmasında kullanılmaktadır.

Son yıllarda kumaş içerisinde havayı emerek geçirmek yerine, basınç altındaki hava veya buharı kumaşlardan geçirerek veya paralel püskürterek ön kurutmayı sağlayan ön kurutma makineleri de ortaya çıkarılmıştır.

3.3.2. Esas (ısı ile) kurutma

Tekstil mamülleri oda sıcaklığında kurutulabilirler; fakat böyle bir kurutma çok uzun süreceğinden işletmelerde kurutma daha yüksek sıcaklıklarda ve daha kısa zamanda yapılmaktadır. Bu esnada bir ısı transferi meydana gelmektedir. Isı enerjisi ile yapılan kurutmada beş ana prensip uygulanmaktadır.

1. Isı taşınımı (konveksiyon) ile kurutma: Genellikle gaz halindeki bir maddedeki (örneğin havadaki) ısının, bu gazın kurutulacak olan mamüle değerek geçmesi sırasında mamüle, mamüldeki su buharının da kurutma gazına transferi şeklinde tarif edilebilir. Bu prensibe göre çalışan kurutucular: ramöz, emme tamburlu, elekli taşıma bandlı, hava yastıklı ve hot-flue kurutuculardır. Bu tezde emme tanburlu kurutucu incelendiğinden diğer kurutucular üzerinde durulmayacaktır.

2. Temasla (kontakt) kurutma: Maddelerin (sıcak bir yüzeyle kurutulacak mamülün) birbirine değmesi (teması) sonucu ısının sıcak maddeden daha soğuk olan maddeye transferi prensibi kullanılarak yapılan kurutma işlemlerine denir. Bu tip kurutuculara en iyi örnek silindirli (baraban) kurutucular gösterilebilir.

3. Işınım (radyasyon) ile kurutma: Isının, elektromanyetik dalgalar halinde, daha sıcak olan maddeden daha soğuk olan maddeye transferi prensibine göre çalışan kurutuculardır.

4. Yüksek frekansla (mikro dalgalarla) kurutma: Yüksek frekanslı alternatif akım alanında kalan su moleküllerinin, sürekli olarak yer değiştirmesi sırasında oluşan sürtünme ile mamül içerisinde ortaya çıkan ısı enerjisi ile yapılan kurutma şekline denir.

5. Yakarak kurutma: Mamül içerisinde bulunan sıvının bir kısmının yanıcı olması halinde, bu sıvının buharlarının yakılmasıyla, doğrudan kurutulacak mamülün çevresinde ısı açığa çıkarmak suretiyle yapılan kurutma işlemine denir. Bu tip kurutuculara en iyi örnek remaflam kurutucu verilebilir [11].

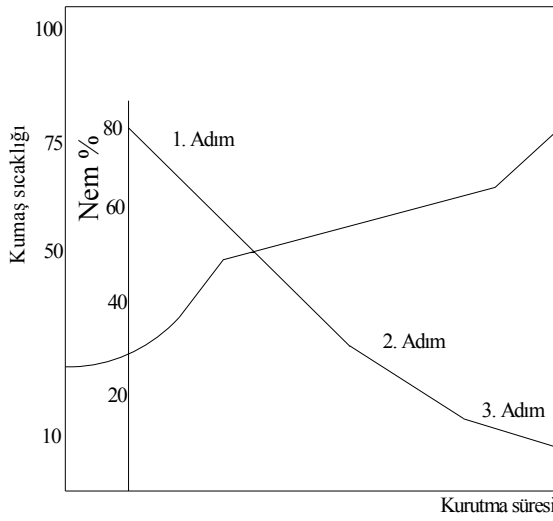
Isı transferinin farklı şekillerde sağlanabilmesine rağmen, her durumdaki (elyaf, tekstil yüzeyi, şekillendirilmiş mamül) tekstil mamüllerinin kurutulmasında en fazla kullanılan yöntem, ısı taşınımı yöntemidir.

3.3.2.1. Isı taşınımı (konveksiyon) ile kurutma

Isı taşınımı ile kurutma ve bu esasa göre çalışan makineler işletmelerde en çok kullanılan makinelerdir. Bu kurutmada ısı enerjisinin mamüle taşınması, herhangi bir şekilde ısıtılmış olan sıcak kurutma gazı (genellikle hava) ile olmaktadır. Sıcak kurutma gazının tekstil mamülüne teması ile karşılıklı ısı ve kütle transferi olayları gerçekleşmektedir. Dolayısı ile ısı taşınımı ile kurutmanın esası; sıcak kurutma gazından yaş tekstil mamülüne ısı, yaş tekstil mamülünden sıcak kurutma gazına nem şeklinde kütle transferinin gerçekleşmesidir [9].

Bir pamuklu kumaşın kurutmasını örnek alarak, ısı taşınımı ile kurutmada ısı ve kütle transferi olaylarını açıklayalım: Mamül üzerindeki suyun bulunduğu, dolayısıyla buharlaşmanın olduğu yere göre kurutma, üç değişik adımda incelenmektedir (Şekil 3.2).

1. Adım: Kurutma başlangıcında kumaşın, ipliklerin yüzeyinde yeterli miktarda nem bulunduğu sürece kurutma gazının sıcaklığı kaç derece olursa olsun, tekstil mamülünün sıcaklığı; yüzeydeki su buharı-hava karışımının yaş termometre sıcaklığında sabit kalmaktadır. Bu sıcaklık ise, karışımdaki su buharı miktarına bağlı olarak 55-80 °C arasında değişir.



Şekil 3.2. Isı taşınımı ile kurutmada mamüldeki nem miktarına göre kurutmanın adımları ve kumaş sıcaklığının değişimi [9]

Bu adımda suyun buharlaşması mamülün yüzeyinde meydana gelmekte, ısı ve kütle transferi için sadece yüzeydeki ince bir hava sınır tabakasının aşılması gerekmektedir. Bir pamuklu mamülde 1. adım sonunda, mamül üzerindeki nem % 35-40 değerine düşmektedir.

Bu adımda kumaşın yüzeyinden, kurutma gazına su buharının transferi kütle transferi kanunlarına uymaktadır.

Kütle transferi:

$$m = A \frac{\beta}{RT} (P_{bm} - P_{b\infty}) \quad , \quad \beta = \frac{D}{s_1} \quad (3.3)$$

Burada;

- m : Birim zamanda buharlaşan su miktarı (kg/s)
- A : Transfere katılan yüzey (m²)
- β : Kütle transferi katsayısı (m/s)
- D : Difüzyon katsayısı (m/s)
- s₁ : Sınır tabakanın kalınlığı (m)
- R : Gaz sabiti (kJ/kgK)
- T : Mutlak sıcaklık (K)

P_{bm} : Tekstil mamülü yüzeyindeki su buharının kısmi basıncı (kPa)

$P_{b\infty}$: Kurutma havasındaki su buharının kısmi basıncı (kPa)

Isı geçisi:

$$Q = A h (T_h - T_m) \quad , \quad h = \frac{k L}{s_1} \quad (3.4)$$

Burada;

Q : Transfer edilen ısı miktarı (W)

h_T : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)

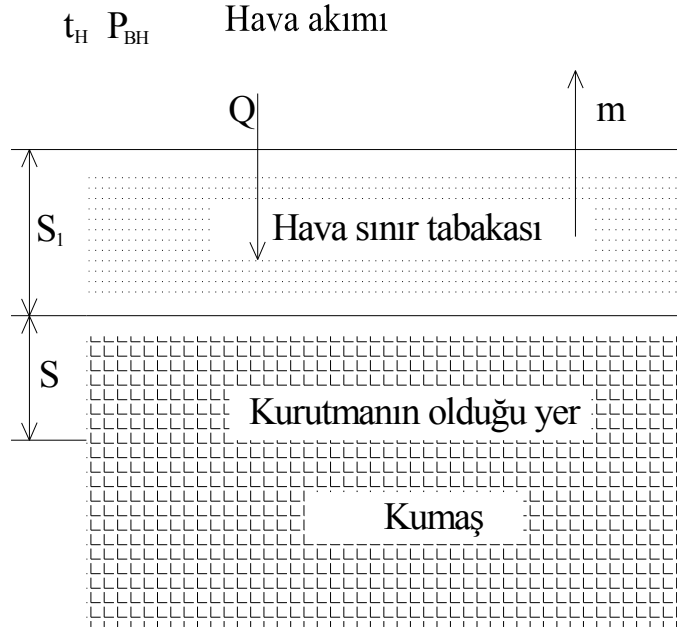
T_h : Kurutma havasının sıcaklığı (K)

T_m : Tekstil mamülünün sıcaklığı (K)

k_1 : Sınır yüzeydeki ısı iletim katsayısı (W/mK)

Bu adımda, kurutma hızı kurutucunun çalışma şartlarına (kurutma gazının sıcaklığı, hızı, su buharı basıncı gibi) bağlı olup kurutulacak mamülün özellikleri ile değişmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi ısı ve kütle transferi için sadece yüzeydeki sınır hava tabakasının aşılması gerektiğinden en hızlı kurutma (suyun uzaklaştırılması) bu adımda gerçekleşmektedir.

2. Adım: Kurutma ilerledikçe, önce geniş sonra ince kılcal borulardaki su emilip yüzeye gelir ve buharlaşıp gider. Sonunda kılcal borulardaki sürtünme direnci o kadar artar ki, kılcal borular vasıtası ile mamülün yüzeyine yeterince su taşınmaz. Bu aşamadan sonra buharlaşma artık mamül yüzeyinde değil, mamülün iç kısımlarında meydana gelmeye başlar ve su buharının taşınması difüzyon yolu ile olur. Şekil 3.3'de ısı taşınımı ile kurutmada 2. adım görülmektedir.



Şekil 3.3. Isı taşınımı ile kurutmada ikinci adım [9]

Bu adımda ısı ve kütle transferi için yalnızca yüzeydeki sınır tabaka değil, mamülün kurumuş olan kısmının, yani yüzey ile mamül içerisinde buharlaşmanın meydana geldiği nokta arasındaki mesafenin de kat edilmesi gerekmektedir. Böylece ısı iletimi ve difüzyon için aşılması gereken yol; buharlaşmanın meydana geldiği nokta, mamülün içerisine doğru ilerledikçe artmaktadır.

Kütle ve ısı transferi eşitliklerinde, kütle ve ısı transferi katsayılarının yerini, ısı geçirgenliği ve buhar geçirgenliği (difüzyon) katsayıları almaktadır.

Kütle transferi;

$$m = \frac{A \delta B}{R T} (P_{b1} - P_{b\infty}) \quad (3.5)$$

Isı geçişi:

$$Q = A h_T (T_\infty - T_1) \quad (3.6)$$

$$\delta B = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu_D s}{D}}, \quad h_T = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{s}{k_s}} \quad (3.7)$$

Burada;

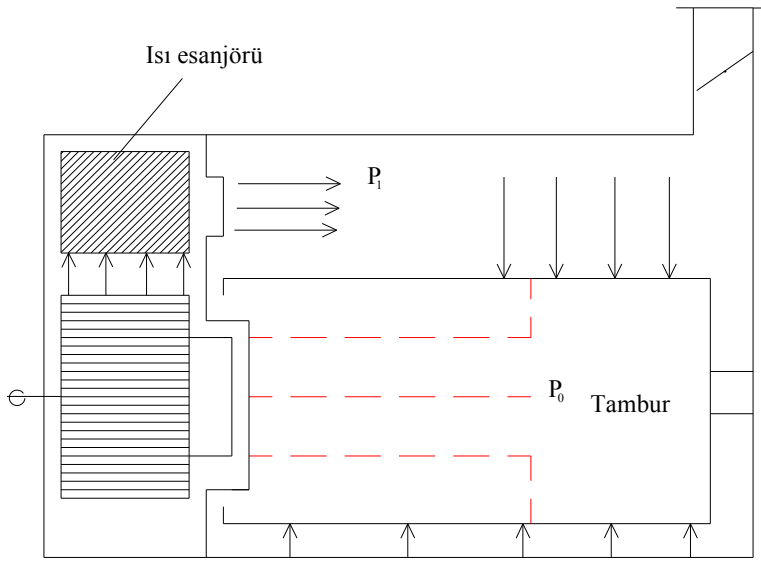
- δB : Buhar geçirgenlik (difüzyon) katsayısı (m/s)
- P_{b1} : Kurutmanın olduğu noktadaki su buharının kısmi basıncı (kPa)
- μ_D : Difüzyon direnç katsayısı
- s : Kurutmanın olduğu nokta ile yüzey arasındaki uzaklık (m)
- h_T : Toplam ısı taşınım katsayısı (W/m²K)
- T_1 : Kurutmanın olduğu noktadaki mamül sıcaklığı (K)
- k_s : Mamül içindeki ısı iletim katsayısı (W/mK)

Bu adımda ısı ve kütle transferi için aşılması gereken yol uzadığından ve zorlaştığından, kurutma hızı birinci adıma göre oldukça yavaştır. Kurutucunun çalışma şartları (kurutma gazının sıcaklığı, hızı vs.) kadar, mamülün yapısının da (μ_D , k_s , s) bu adımdaki kurutma hızının üzerinde etkisi vardır. Bu kurutma adımının sınırlarını mamül üzerindeki nemin %35-40'lardan %15-17'lere düşmesi şeklinde göstermek mümkündür.

3. Adım: Kılcal suyun uzaklaştırılması tamamlandıktan sonra, liflerin içerisindeki şişme suyunun, higroskopik nemin önce liflerin içerisinden liflerin yüzeyine, oradan da mamülün yüzeyine difüzyonu başlar ve kurutmanın en yavaş adımı budur. Birim zamanda buharlaşan su miktarının azalması nedeniyle, bu adımın sonuna doğru mamül sıcaklığı artmaya başlar. Gerek bu ısınma gerekse suyun uzaklaştırılmasının yavaş olması nedeniyle, liflerde kalan son suyun (higroskopik nem) uzaklaştırılması yani aşırı kurutma, yalnız kaliteyi olumsuz etkilemekle kalmaz, kurutma maliyetini de önemli ölçüde artırır. Bu nedenle normal bir pamuklu mamülde kurutma %7 nemle bitirilmelidir. Bu değer yünde %16, viskonda %12.5, naylonda %4, polyesterde %0.5 tir.

3.3.2.2. Delikli tamburlu kurutucular

Tekstil mamülü bir veya daha fazla kumaş hareketi yönünde dönen delikli bir tambur üzerinden geçirilmektedir. Kurutucunun yan tarafında bulunan vantilatörlerden gönderilen sıcak hava, delikli tamburların içindeki emme donanımından emilir. Emilen sıcak hava tambur üzerindeki tekstil mamulünün içerisinden de geçeceğinden mamül ile sıcak havanın teması en iyi şekilde sağlanabilmektedir (Şekil 3.4). Bu nedenle delikli tambur kurutucuların ısı taşınım katsayıları ($1701-11945 \text{ W/m}^2\text{K}$) ramözlerin ısı transferi katsayılarından ($729-1215 \text{ W/m}^2\text{K}$) oldukça yüksektir. Dolayısıyla tekstil mamulünün ısınması için gerekli süre ramözlerde 10-20 saniye civarında değişirken, bu rakam delikli tamburlu kurutucularda 2-3 saniyeye kadar düşmektedir.



Şekil 3.4. Delikli tamburlu kurutucunun çalışma prensibi [12]

Bu kurutucularda emilen sıcak hava, tekstil mamulünün delikli tambura yapışmasını da sağladığından, başka herhangi bir tutucuya, taşıyıcıya gerek olmadan, tekstil mamulünün hareketi tamburun dönmesi ile sağlanmaktadır. Bu şekildeki harekette bir çekme, germe söz konusu olmadığından, gerilmeye karşı hassas kumaş ve trikotajların kurutulmasında iyi sonuçlar alınmaktadır.

Emme tamburlu kurutucuların bu avantajları yanında geçirgenliği iyi olmayan mamüllerde kullanılamama ve en-boy kontrolünün iyi yapılamaması gibi bazı

sakıncaları vardır. Fakat son yıllarda emme tamburlu kurutucuların girişine ramözlerdeki benzeyen taşıma zincirleri ve avans verme sistemleri koyularak en ve boy kontrolleri sağlanmıştır.

Normal delikli tambur kurutucularda tambur çapı 150 cm civarında olup, halı kurutulmasında kullanılan kurutucular ile delikli tamburlu ramözlerdeki tamburların çapı 250 cm'e kadar çıkmaktadır.

3.3.4. Isı taşınımı ile çalışan kurutucularda ısıtma sistemleri

Bu tip kurutucularda değişik ısıtma sistemleri kullanılabilir ve bu sistemlerin verim dereceleri ile kullanıldıkları yakıtların fiyatları büyük farklılıklar gösterdiğinden, kullanılan ısıtma sistemine bağlı olarak birincil enerji tüketimi ve maliyeti de önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir.

3.3.4.1. Basınçlı buhar ısıtması

Bu sistemde normal kurutmalar için 6 atülük buhar yeterli olabilmekteyse de özellikle ilk bölmelerde 10 atülük buhar kullanılmasında kurutucunun veriminin artırılması bakımından fayda vardır. Eğer kurutucuda kondenzasyon (buruşmazlık yüksek terbiyesi) işlemenin yapılması düşünülüyorsa, kullanılacak buharın en az 10 atülük olması zorunludur.

Kurutucu ayrıca sentetik liflerin termofiksajında veya termosol yöntemine göre boyanmasında da kullanılacak ise; bunun için gerekli yüksek sıcaklıklar (200-230 °C) ancak 40 atülük buhar kullanılarak sağlanabilir. Genellikle terbiye uygulayan işletmelerde bu kadar yüksek basınçta buhar kullanılmadığından da, yüksek sıcaklıklar buhar ısıtmasına ek olarak elektrikli ısıtma da uygulanarak sağlanabilmektedir.

Basınçlı buhar ısıtmanın, kurutucularda uygulanabilen diğer sistemlere nazaran en büyük avantajı, bu sistemde yakıt olarak ülkemizde ucuz ve bol olarak bulunan linyit kömürünün kullanılmasıdır [8].

3.3.4.2. İndirekt fuel-oil ısıtması

Buhar kapasitesi yeterli olmayan işletmelerde, yeni bir kurutucu alındığında buhar tesisini büyütmek yerine, kurutucuya ilave edilecek yakma donanımı ile doğrudan kurutucuda ısı enerjisi sağlama yoluna gidilebilir. Bu sistem için yakıt olarak fuel-oil ve doğalgaz kullanılmaktadır.

Sistemin esasını, kurutucunun her bölmesine yerleştirilen brülörler oluşturmaktadır. Bu brülörlerden çıkan alevler doğrudan radyatörlerin içine yönelik olup, radyatörlerin içinden geçen özel vantilatörler tarafından emilen sıcak yanma gazları, radyatörlerin dışından geçen kurutma havasını ısıtmaktadır.

Sistem buharla ısıtmaya nazaran dağıtım borularında ve kondens suyu dönüşünde ısı kayıpları olmaması bakımından avantajlıdır. Fakat yanma gazları bütün ısı enerjisini vermeden dışarı atıldığından, yine de verim derecesi %70-80'i pek geçmez.

Merkezi buhar sistemine bağlı olmaması nedeniyle, fazla mesai yapılırken veya buhar kazanlarının bir kısmının kapatıldığı gece vardiyalarında da rahatlıkla kullanılabilen bir sistemdir [8].

3.3.4.3. Kızgın yağ devir daim ısıtması

Özellikle termofiksaj yapılan kurutucularda 230 °C'ye kadar yükselen sıcaklıkların sağlanmasında veya buhar kapasitesi yeterli olmayan işletmelerde uygulanan bu yöntemde, ısıtma kurutucularındaki radyatörler içerisinde kızgın yağ sirküle ederek sağlanmaktadır. Yağın ısıtılması, kurutucunun yanına konan fuel-oil veya doğal gazla çalışan kazanlarda yapılmaktadır.

Sıcak baca gazlarındaki ısı enerjisi ve pompalardaki elektrik enerjisi kaybı nedeniyle sistemin verim derecesi % 70-80 civarında kalmaktadır. İndirekt fuel-oil ısıtmasında olduğu gibi, yağ devirdaim ısıtmalarda da buharla ısıtmadan farklı olarak, ateşleme yapıldıktan kısa bir süre sonra kurutucu kullanılmaya başlanabilir [8].

3.3.4.4. Kızgın buharla ısıtma

Kurutmanın sıcak hava veya baca gazları yerine, kızgın buharla yapılabilmesi de mümkündür. Ancak sıcak hava ile çalışan kurutuculara nazaran %50 daha yüksek yatırım gerektiren bu sistemde sağlanan enerji tasarrufu çok fazla olmadığından pek uygulama alanı bulamamış bir yöntemdir [8].

3.3.4.5. Direkt doğalgaz ısıtması

Diğer sistemlerde buhar, yanma gazları veya kızgın yağ yardımıyla radyatörlerde havayı ısıtmakta ve bu ısıtılmış hava kurutmayı sağlamaktadır. Direkt ısıtmada ise, kurutma doğrudan sıcak yanma gazları tarafından sağlanmaktadır. Burada radyatörlere, ısı iletimine gerek kalmadığından, baca gazlarındaki enerji kayıpları hariç % 100'e yakın bir verim derecesiyle çalışabilmektedir. Kullanılan brülörler kapalı yanma odacıklarına yerleştirilir ve böylece kontrolsüz sekonder hava akımının yanma odacıklarına girmesi önlenirse, %7'lik bir baca kaybıyla sistemde %93 ısıtma verimi sağlanabilmektedir. Fakat diğer taraftan direkt ısıtmanın bazı mahzurları da vardır;

1. Yakma sisteminde meydana gelecek bozukluklar veya ayarsızlıklar sonucu, kurutulan tekstil mamülünün kirlenme (is) tehlikesi vardır.
2. Yanma gazlarındaki CO₂ ve SO₂... gibi asidik veya indirgen etki gösteren maddeler, boyar maddelere olumsuz etki gösterebilmektedir.
3. Yanma gazlarındaki CO₂, SO₂, SO₃... gibi kurutucu içerisinde korozyona yol açabilmektedir.
4. Yakıtta ve brülörde meydana gelebilecek oynamalar, kurutma gazının sıcaklığının da değişmesine yol açmaktadır. Yani sıcaklığın sabit tutulması zordur.

Yanma basınçlı hava püskürtme prensibine göre çalışan brülörde kapalı yanma odacıklarında yapıldığında, elde edilen alev tamamen mavi, ıssız bir alevdir. Özel bir donanım yardımıyla kurutucudan geçmiş atık (dolayısıyla biraz nemlenmiş ve soğumuş) kurutma gazı (baca gazı-hava karışımı) ile yeni elde edilen baca gazları istenilen oranlarda karıştırıldıktan sonra tekstil mamülüne püskürtülmektedir.

Elektrik ve pnömatik otomatik ayar sistemleri sayesinde de kurutucudaki sıcaklık $\pm 1,5$ °C hassasiyetle sabit tutulmaktadır [8].

3.3.4.6. Soğutarak ısıtma

Düşük sıcaklıklardaki (75-90 °C) havayla yapılan kurutmalar için söz konusu olan bu sistem, halen tamburlu kurutucuların (bitmiş parçaların kurutulmasında kullanılan bir makinedir) ısıtılmasında uygulanmaktadır.

Kurutucudan atılan sıcak nemli hava, kurutucunun yan tarafındaki soğutma kulesinde bir “ön soğutucu” ile “kondensatör yoğuşturucudan geçilerek 70-75 °C’a kadar ısıtılmakta ve kurutucuya gönderilmektedir.

Ön soğutucu ile ön ısıtıcı kapalı bir su sirkülasyon devresi ile birbirine bağlı olup, nemli havanın soğutulmasıyla alınan ısı enerjisi, ön ısıtıcıda kuru havanın ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Soğutucuda ve kondensatörde ise kapalı birer “soğutma gazı” (örneğin freon) devresi bulunmaktadır. Kompresörde sıkıştırılan sıvı soğutma gazı, soğutucunun serpantinlerinde genişirken buharlaşmakta ve buradan geçmekte olan nemli havadan ısı enerjisi (buharlaşma enerjisi) alarak, havayı soğutmaktadır.

Soğutucudan gelen genişmiş soğutma gazı kompresörde yoğuşma basıncına kadar sıkıştırılmakta ve bu esnada bir kısım tahrik enerjisi de ısıya dönüşmektedir. Sıkıştırılmış soğutma gazı (kızgın buhar şeklindedir) kondensatöre gönderildiğinde ısının büyük kısmını burada geçmekte olan ılık, kuru havaya vermekte ve yoğuşmaktadır. Yoğuşma soğutma maddesi soğutucuya gönderilerek orada genişleme ve çalışmaya bu şekilde devam edilmektedir [8].

BÖLÜM 4. PİLOT BİR DÖNER KAZANLI TEKSTİL TİPİ KURUTMA MAKİNESİNİN İNCELENMESİ

Döner kazanlı çamaşır kurutucuları, özellikle açık havada kurutma alanının sınırlı olduğu durumlarda ıslak çamaşırları kurutmak için hızlı ve kullanışlı bir metot sağlamaktadır. Ayrıca genel olarak şu da kabul edilen bir gerçek ki kurutma makinesinde kurutulan çamaşırlar diğer metotlara nazaran daha yumuşak ve ütülmesi kolay bir hal almaktadır. Bu kurutucuların kullanımında ortaya çıkan kaygılar ise kurutma esnasındaki malzeme daralması ve diğer metotlara göre daha yüksek maliyette olması şeklinde sıralanmaktadır. Kurutucuların çalışma maliyetleri; düşük ve yetersiz yüklemelerle kullanılmaları ile yükselebilmektedir. Bütün bunlara rağmen döner kazanlı kurutucuların kullanımları önemlidir ve gittikçe artan bir oranla büyümektedir.

4.1. Döner Kazanlı Kurutucunun Yapısı

Bu araştırmada üzerinde çalışılan tekstil tipi döner kazanlı kurutucu Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu makinede denim kumaştan yapılmış pantolonlar diğer tekstil işlemlerinden sonra son olarak kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Döner kazan ve havayı yönlendirmekte kullanılan düz ağızlı fan ortak bir elektrik motoru ile çalıştırılır. Sağ tarafta bulunan fan motoru 2,2 kw 1400 d/dk, sol tarafta bulunan devir motoru 2,2 kw 1400 d/dk ve redüktör motoru 3 kw dır. Kıyafetlerin kazan içinde karışık bir hal almasını azaltmak ve her seferinde kumaşın farklı yüzeyinde kurutma sağlamak amacıyla fan ve kazan dönüşü her 60 sn de bir tersi yönde çalışmaktadır. Tambur hacmi 2700 lt, tambur çapı 1540 mm, tambur derinliği 1440 mm olup 2 mm Cr-Ni malzemedен yapılmıştır. Ayrıca tambur içinde dalgakıran olarak tabir ettiğimiz kurutma esnasında kıyafetlerin her seferinde farklı bir yerine hava üflenmesini sağlayan 4 adet dalgakıran mevcuttur. Hava; kabinenin yan tarafından içeri emilir, kazanın dış yüzeyi çevresinde akar. Kazandan dışarı atılacak olan hava; birimin arkasındaki eksoz borusundan dışarı atılmadan önce bir iplik / tüy

ayırma düzeneği kanalından geçer. Bu kanal paslanmaz çelikten yapılmış olup filtresistemi geçirgenliği arttırarak kurutma performansını arttırmakta ve paslanmaz filtre sistemi ile nemli havanın filtreye zarar vermesini engellemektedir.

Pnömatik olarak çalışan kapak ve devirme sistemi mevcuttur. Motor ve tahrik sistemi makinenin arka kısmında olup yoğun kaskak sistemi yerine redüktör ile sadeleştirilmiş tahrik sistemi bulunmaktadır. Mevcut buhardan en yüksek verimin alınması amacıyla ısıtma sisteminde bakır – alüminyum serpantinler kullanılmıştır. Makine üzerinde sağ ve sol tarafa yerleştirilen bu serpantinlerin hava emişlerinde paslanmaz çelikten oluşan sökölüp temizlenebilen filtreler bulunmaktadır. Böylece havadaki toz ve pamukçukların serpantin kanatlarını tıkayarak verimin düşmesi önlenmektedir. Ön koruyucu paslanmaz elek; kızaklı sistem sayesinde serpantin daha kolay sökölüp temizlenmesini sağlamıştır. İki bağımsız fan ve egzoz sistemi ile tamburun her noktasında eşit ısı elde edilerek nemli havanın kurutma ortamından hızla uzaklaşması sağlanmaktadır.

4.2. Makine Bağlantıları

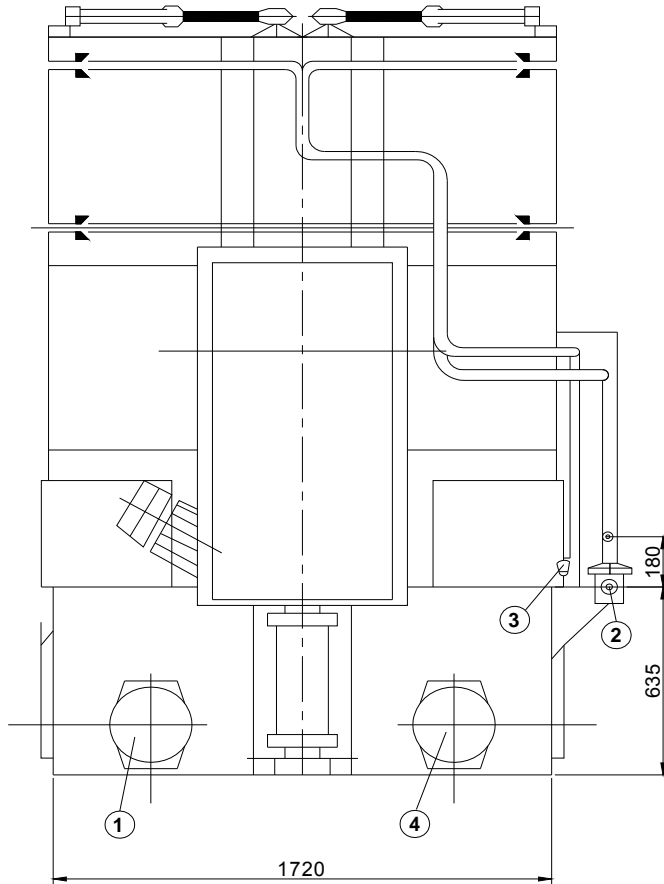
4.2.1. Hava püskürtme

Hava, çalışma devri sırasında iki adet emiş çıkışına yönlendirilerek eksozdan atmosfere atılmaktadır.(Şekil 4.1: 1 ve 4 nolu noktalar). Bahsedilen bu çıkışlar çapı 250 mm'den küçük olmayan borular aracılığıyla merkezi boru hattına bağlanmıştır. Hava çıkış borularının karşısında hava basıncına karşı gelecek hiçbir direnç olmamasına ve boruların dirseksiz olmasına dikkat edilmiştir. Eğer hava çıkışı uzun olursa yoğunlaşma olabilir ve bu makinenin çalışmasına zarar verebilir. Bu nedenle yoğunlaşmanın oluştuğu yerlerde drenaj yapılmıştır.

4.2.2. Buhar boru hattı ve yoğuşmanın giderilmesi

Makinenin sağ tarafında iki boru bağlantısı vardır. Bunlardan ilki nem tahliye, ikincisi ise buhar girişi içindir (Şekil 4.1: 2 ve 3 noktaları). Boru hattı 2 ve 3 bağlantı noktalarından ana sisteme bağlanmıştır. İyi bir ısıtma verimi alabilmek için aşağıdaki talimatlara uyulması sağlanmıştır;

1. Makinede 1" pnömomatik valfin üzerinde ulaşılması kolay bir manuel valf bakım işlemleri sırasında ani buhar kesimini sağlamak için bulundurulmuş ve bu yolla aynı ana hat üzerindeki diğer aletlerin kullanımına devam edilebilmesi sağlanmıştır.
2. Valf açıkken basınç hattının asla 5 barın altına inmemesi sağlanmıştır. Aksi takdirde ısı değiştirici verimi ciddi olarak etkilenecektir.
3. Valf kapalıyken ise basınç hattı 10 barın üzerinde olmamalıdır.

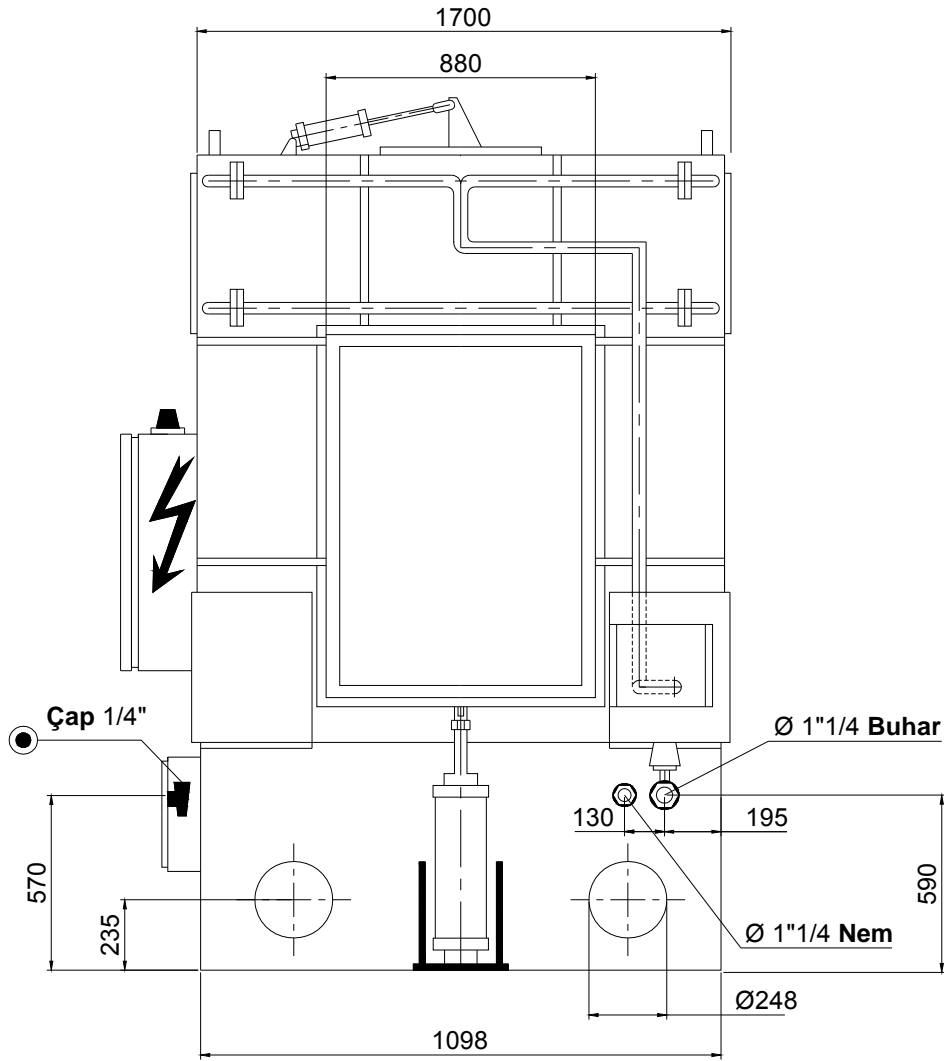


Şekil 4.1. Makine bağlantıları

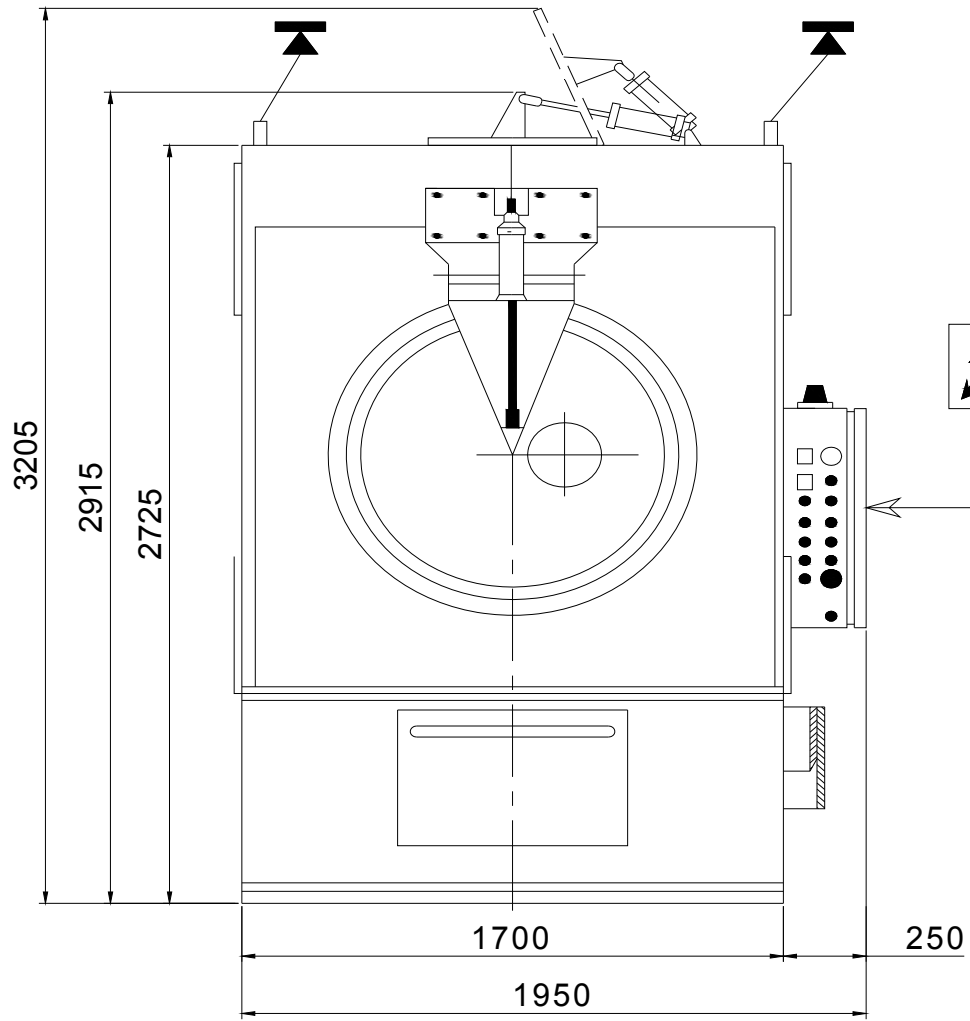
4.2.3. Buhar yoğuşma kanalı

Buhar kapan bağlantısı yoğuşmanın giderilmesini sağlayan bütün cihazlara vidalanmış 1" lik boru parçasını içermektedir. Buhar hattının basıncına bağlı olarak uygun çalışma basıncında 1" lik devrik buhar kapanı kullanılmıştır. Buhar kazanıyla beraber termostatik basınç kapanı (by-pass yoluyla bağlantı) kullanılmaktadır. Buhar kazanı çıkışında her halukarda dönmeyen bir valf bulunmaktadır. Bu ana geri alma hattının başlangıç noktasından önce bir yere yerleştirilmiştir.

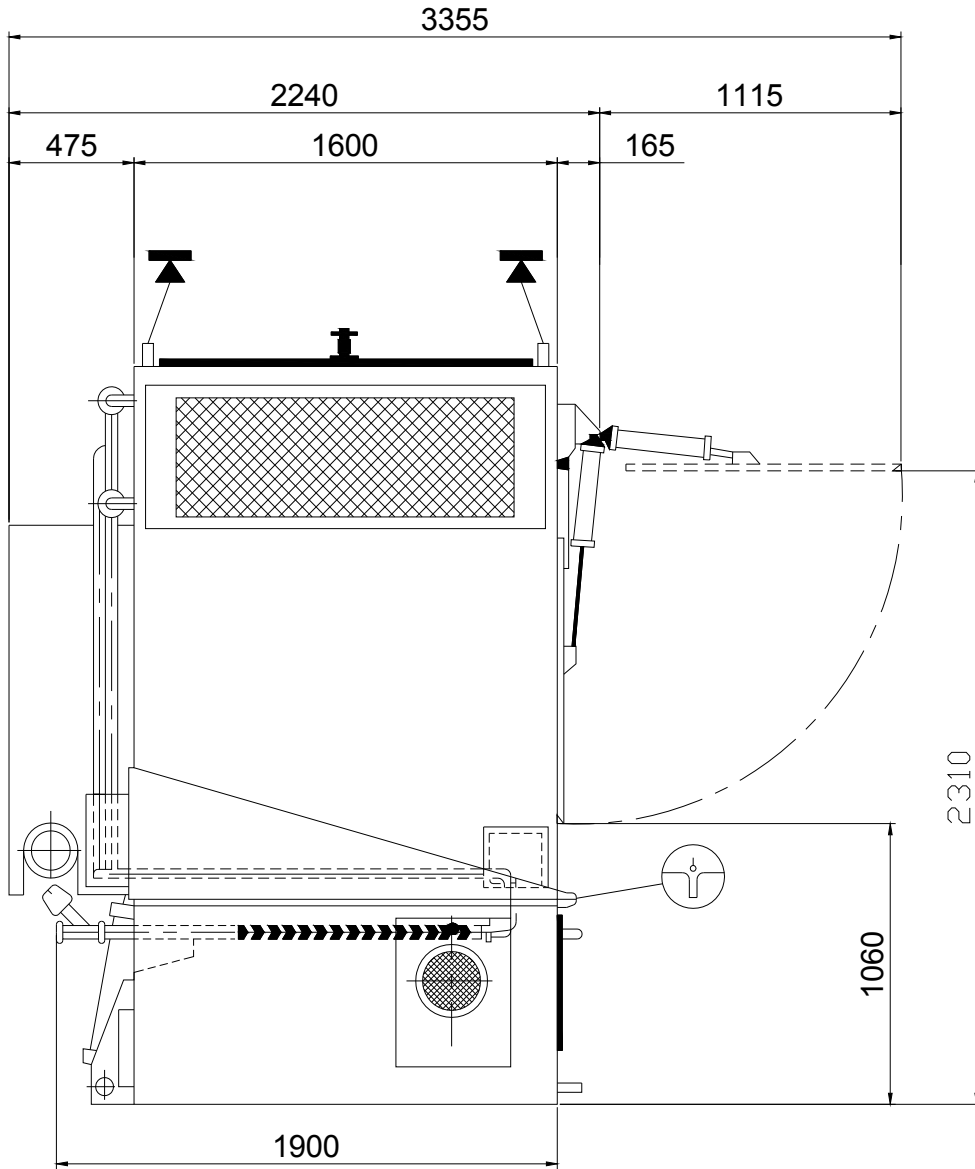
4.3. Makinenin Fiziksel Görünümü ve Parçalarının Tanımı



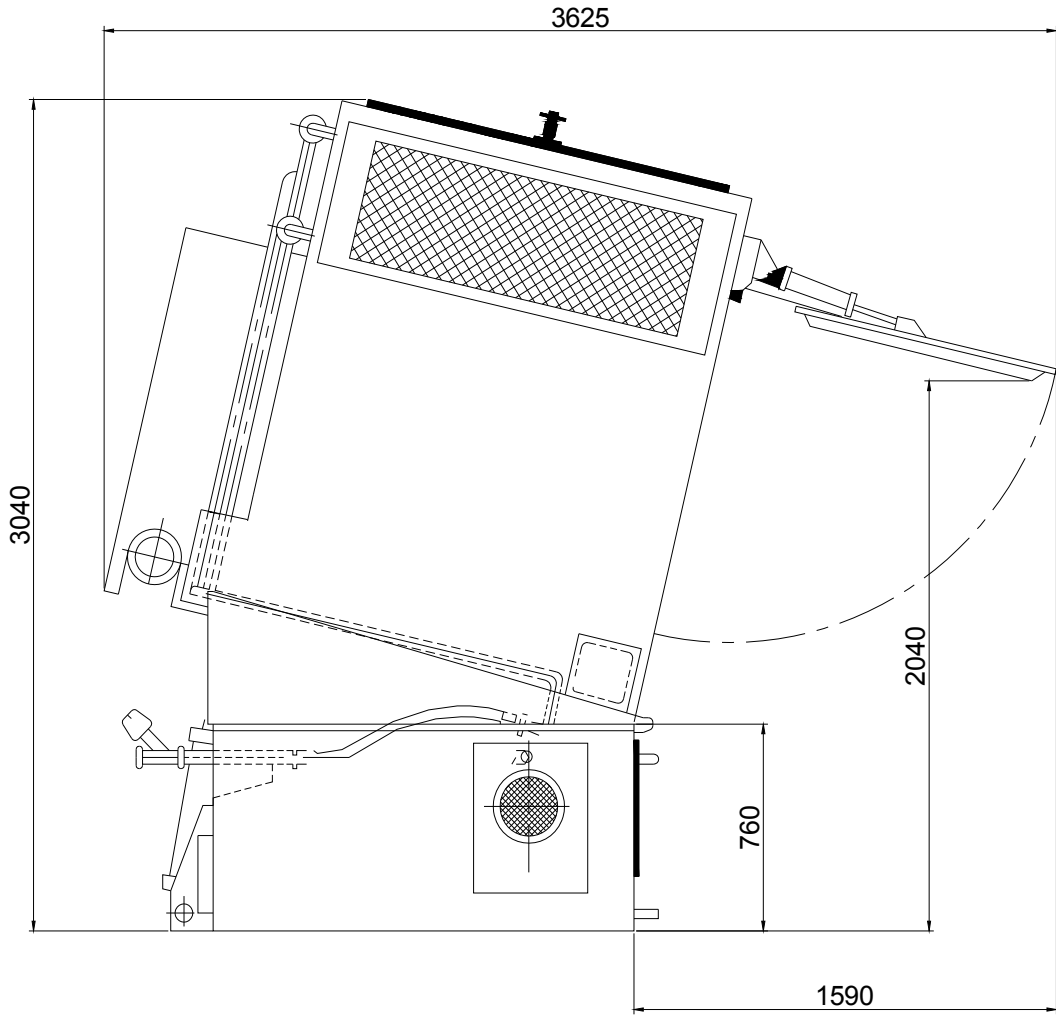
şekil 4.2. Makinenin arkadan görünümü



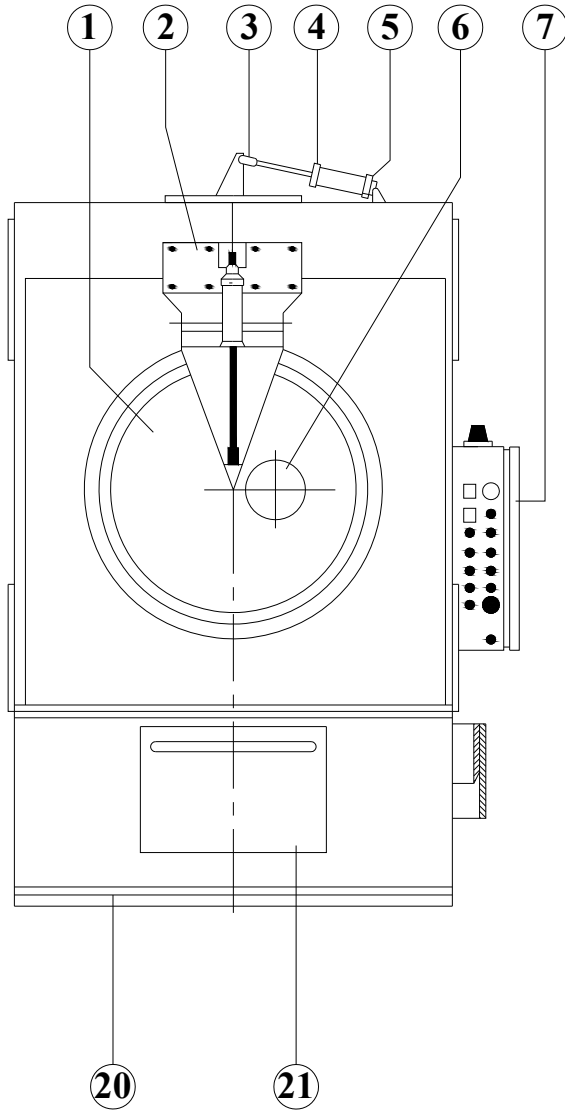
Şekil 4.3. Makinenin önden görünümü



Şekil 4.4a. Yük boşaltma aşamasındaki ayrıntılı görünüm

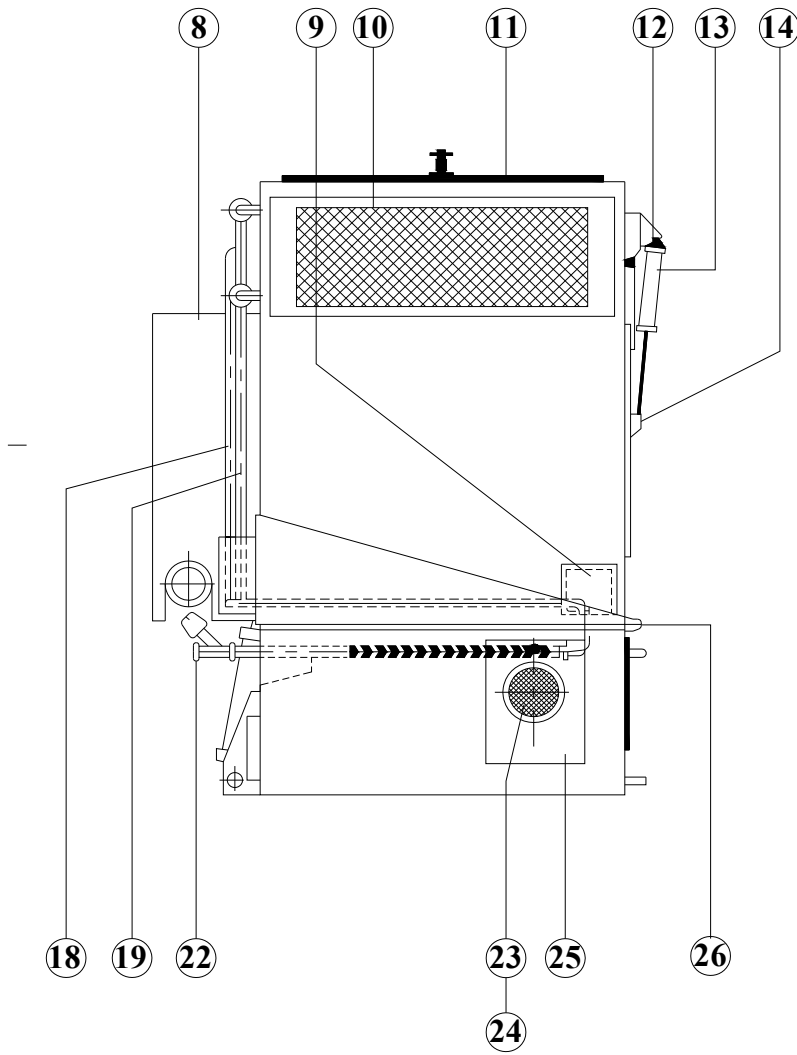


Şekil 4.4b. Yük boşaltma aşamasındaki ayrıntılı görünüm



Şekil 4.5a. Parça tanımları

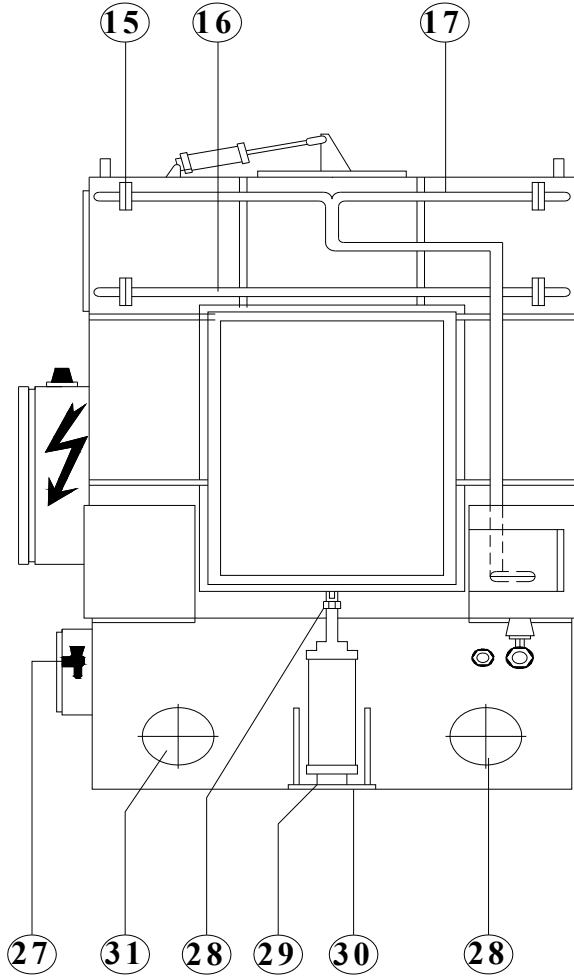
1. Kapak
2. Kapak dayanması
3. Soğutma kapağı açma maşası
4. Soğutma kapağı pnömatik silindiri
5. Soğutma kapağı silindir menteşesi
6. Buhar camı
7. Kontrol paneli
20. Koruyucu tampon
21. Filtre çekmeces



Şekil 4.5b. Parça tanımları

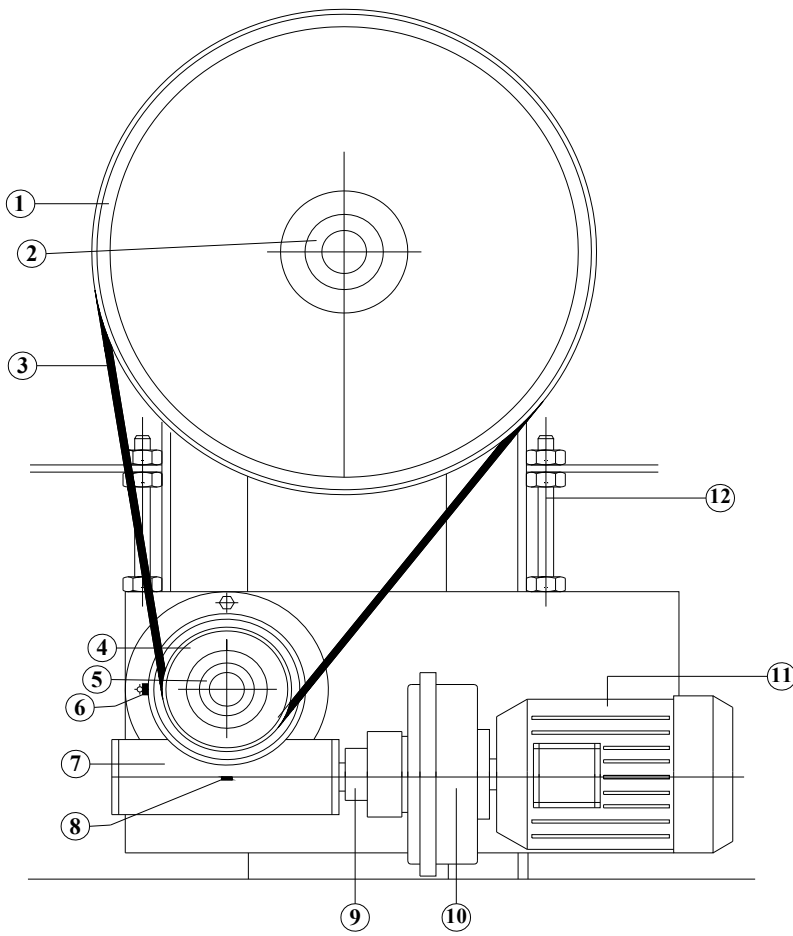
- 8. Tahrik birimi
- 9. Silindir menteşe bağlantısı
- 10. Hava – buhar eşanjörü
- 11. Soğutucu küçük kapak
- 12. Kapak açma menteşesi
- 13. Kapak açma pnömatik silindiri
- 14. Kapak açma silindir maşası
- 18. Elastik buhar borusu
- 19. Elastik nem borusu
- 22. Buhar valfi
- 23. Fan motoru

- 24. Fan pervanesi
- 25. Pervane koruyucu kasa
- 26. Menteşe mili



Şekil 4.5c. Parça tanımları

- 15. Halka conta
- 16. Nem borusu
- 17. Buhar borusu
- 27. Pnömatik vites kutusu
- 28. Silindir kaldırma maşası
- 29. Silindir kaldırma menteşesi
- 30. Pnömatik silindir kaldırma
- 31. Hava çıkış menfezi

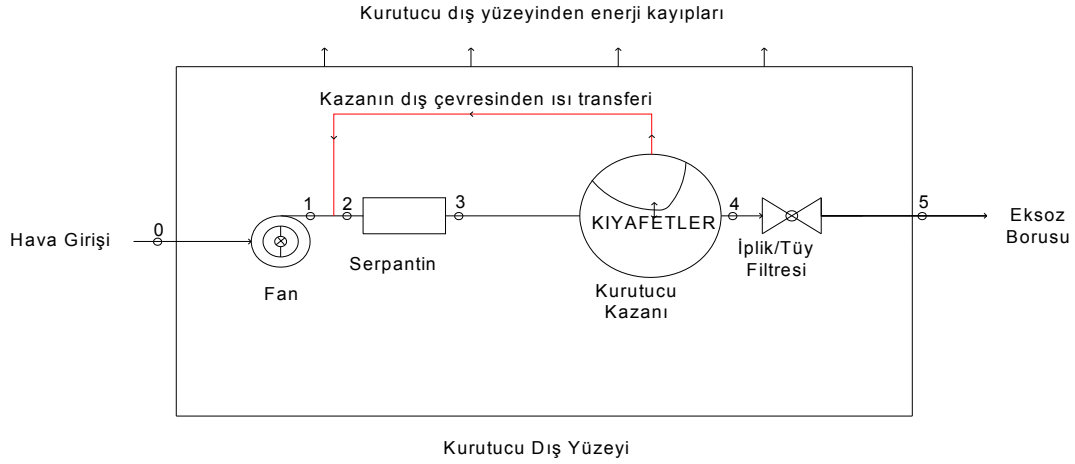


Şekil 4.6. Döndürme mekanizması birimi

1. Kasnak
2. Konik yatak
3. Kayış
4. Kasnak
5. Konik yatak
6. Yağ tıkaçı
7. Sonsuz vida redüktörü
8. Yağ boşaltma tapası
9. Esnek kavrama
10. Hidrolik kavrama
11. 220/380 V elektrik motoru
12. Kayış gerdirme vidası

4.4. Kurutucu Çalışma Mekanizmasının İncelenmesi

Kurutucu içerisindeki kıyafet kurutma sürecinin kinetiği, zamana bağlı olarak nem içeriğinde ve sıcaklık değerlerinde sürekli değişimler gösterir.



Şekil 4.7. Kurutucu kazanı içerisindeki ısı ve kütle transfer rotaları [14]

Tablo 4.1 Kurutucu kazanı içerisindeki ısı transfer rota tanımları [14]

0	Hava girişi	Havanın kurutucuya girdiği kısımdır.
0 - 1	Fan	Fan kurutucu motoru tarafından hareketlendirilir. Bu motor aynı zamanda kazanın dönüşünü de sağlar.
1 - 2	Kabine Atmosferi	Bu bölgedeki hava akışı dalgalıdır, fakat az bir basınç kaybı olmaktadır. Basınçlandırılmış hava, kurutucu kazanı ve eksoz borusundaki enerji kayıpları ile ısınmaktadır ve havanın kabine duvarlarına ısı döngüsünden dolayı enerji kaybı olmaktadır.
2 - 3	Serpantin	Havanın sıcaklığı serpantinden gelen ısı girişi ile yükselmektedir.
3 - 4	Kazan	Kurutucu kazanı içerisindeki kıyafetler karıştırılır ve havanın sıcaklığı düşerken kıyafetlerin nemlilik oranı düşer. Kıyafetlerin ve kazanın sıcaklığı hava akımının ıslak termometre sıcaklığındadır.
4 - 5	Tiftik / Tüy Ayırıcı	Bu ayrıca tiftik/tüy yığılması döngüde bir akış direnci oluşmasına neden olmaktadır. Değişen bu direnç hava akış oranını düşürür ve sonuç olarak da kazan basıncında ve hava giriş sıcaklığında bir artışa neden olur.
5	Hava Çıkışı (Eksoz)	Nemli havanın kurutucu eksozundan atmosfere verildiği yerdir.

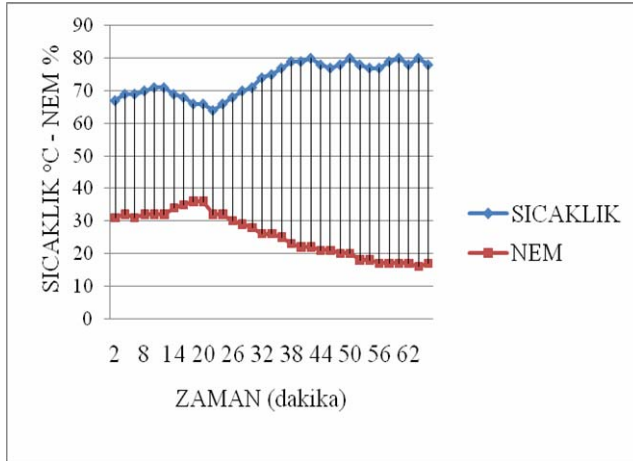
Test 1

Kumaş giriş kütlesi: 79 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 52,5 kg

Ortam sıcaklığı: 26 °C

Ortam nemi: % 41



Şekil 4.8. Kurutucu içerisindeki sıcaklık nem dağılımının zamanla değişimi (EK-1)

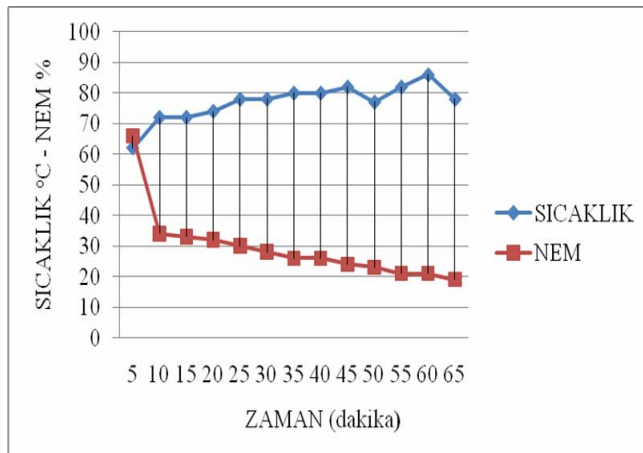
Test 2

Kumaş giriş kütlesi: 98,3 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 63,4 kg

Ortam sıcaklığı: 24 °C

Ortam nemi: % 36



Şekil 4.9. Kurutucu içerisindeki sıcaklık nem dağılımının zamanla değişimi (EK-1)

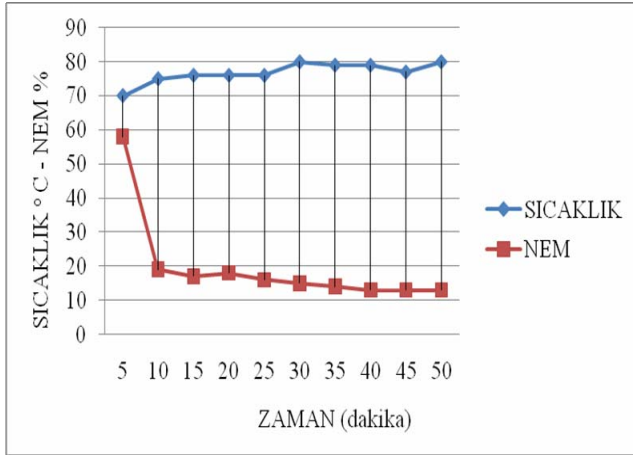
Test 3

Kumaş giriş kütlesi: 64,3 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 49,1 kg

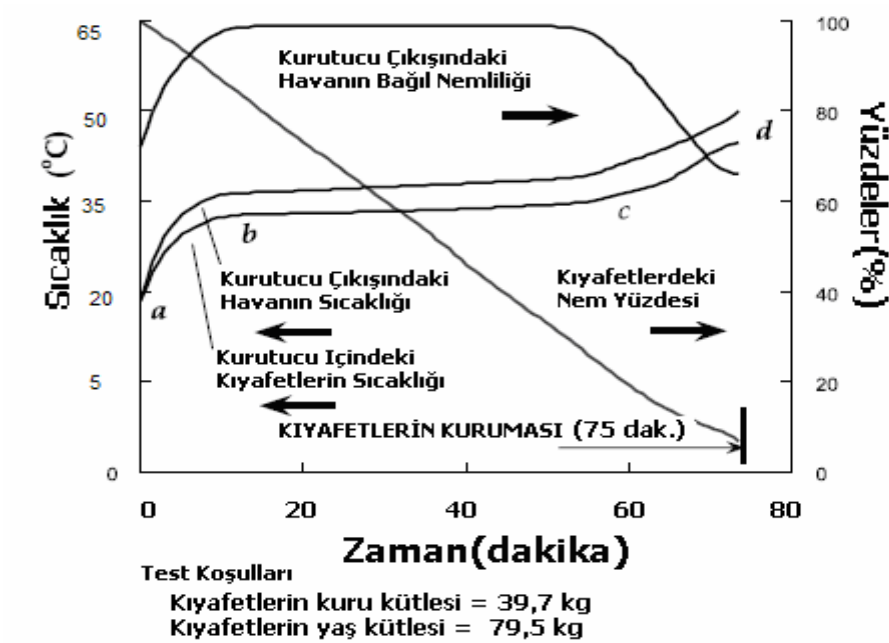
Ortam sıcaklığı: 24 °C

Ortam nemi: % 33



Şekil 4.10. Kurutucu içerisindeki sıcaklık nem dağılımının zamanla değişimi (EK-1)

4.5. Kurutucu test sonuçlarının yorumlanması



Şekil 4.11. Kurutucu test sonuçlarının yorumlanması [14]

Kurutucu performans testlerinden çıkan karakteristik sonuçlar Şekil 4.16'da verilmiştir. Makine içerisinde bulunan denim kumaşın sıcaklığındaki zamana bağlı değişimi kurutma sürecinin ana özelliğini gösterir. a ve b arasındaki periyotta serpantinden gelen enerji kullanılarak denim kumaşın ve kurutucu gövdesinin sıcaklığı arttırılır. Nemin denim kumaştan buharlaşması b ve c noktaları arasında gerçekleşir. Malzeme yüzeyindeki nem c noktasından sonra azalmaya başlar ve enerjinin bir kısmı da bu aşamada kazan ve içerdiklerinin sıcaklığını daha fazla arttırmak için kullanılır. Kurutma süreci bütün testlerde kıyafetlerden nem ayrılma oranının kritik değere ulaştığında tamamlandığı düşünülmüştür. Bu değer deneylerden elde edilen sonuçlar çerçevesinde kıyafetlerin kuru kabul edilebileceği bir nokta olarak belirlenmiştir. Bu koşulun ispatı Şekil 4.16'daki dışarıya atılan havanın bağıl nemlilik profili incelenerek görülebilir. Her bir test sonucunda, dışarıya atılan havanın bağıl nemlilik oranının, %50 ve %70 arasında, hemen hemen sabit bir değere düştüğü görülmüştür [14].

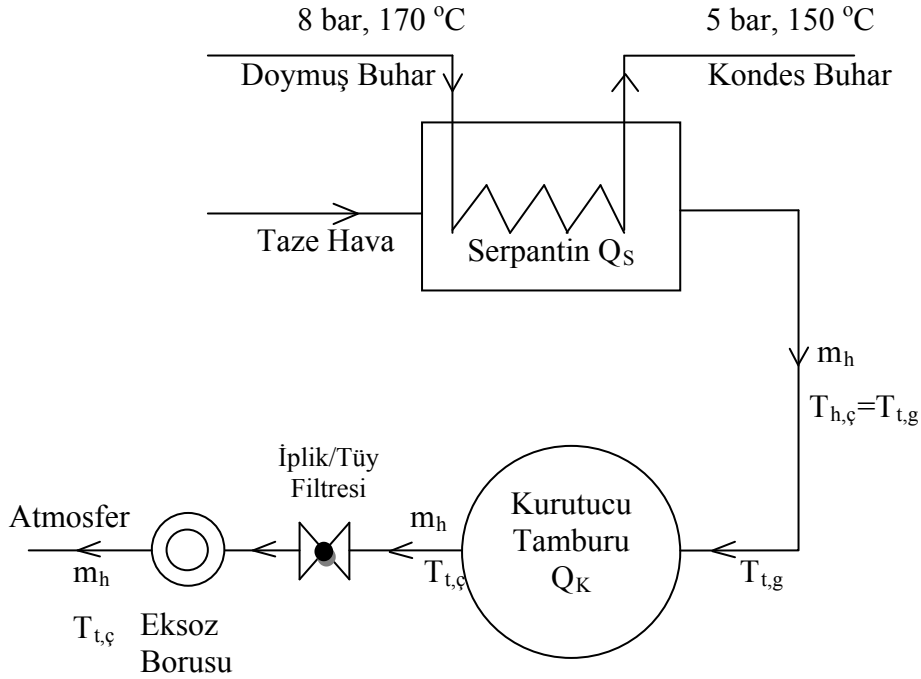
Testlerden çıkan sonuçlar göstermektedir ki, kurutucu içerisindeki kıyafetlerin dağılımı kurutulan kıyafetlerin kütle ve nem içeriğine bağlıdır. Kazana nem içeriği yüksek büyük kütlede bir kıyafet yüklendiğinde, kazanın dönüşü kıyafet tomarının kazanın alt kısımlarında döndüğü bir hareket yaratacaktır. Böyle bir tomar formunda kurutulmaya çalışılan kıyafetlerin tomarın dış yüzeylerine iletim ve buharlaşması da sınırlı olacaktır. Kıyafetler bu formda düzenlendiğinde, haliyle hava ve kazan duvarının sıcaklığı kıyafetlerin dış yüzeylerinin eriştiği sıcaklıktan yüksek olacaktır. Bu kurutma sürecinin bir sonraki aşamasında, kıyafet tomarının parça ve bileşenleri kazanın içinde dönen halkamsı bir yapıya bürünecektir. Bu durumda kurutucu kazanda kıyafetlerin kurutulmasının tercih edildiği merkezi bir bölge ekseninde hareket edecektir. Kıyafetlerin karıştırılma hareketi de başlangıçta bu bölge çevresinde sınırlı olacak, fakat kurutma sürecinin daha sonraki aşamalarında, kıyafetlerin hemen hemen hepsi bu karıştırılma hareketinde yer alacaktır. Performans testlerinde en sık olarak normal işleyiş ve ölçümlerin gözlemlendiği karıştırılma aşaması göstermektedir ki, kazan duvarının ve de ona yakın olan kıyafetlerin sıcaklığı benzer durumdadır. Kıyafetler bu karıştırma hareketi ile kurutulurken sıcaklık ölçümleri açıkça göstermektedir ki, kurutma bölgesi bir dalga gibi kazan ekseninde hareket etmektedir [14].

Kazandaki kıyafetlerin kütlesi az ve de kıyafetler hemen hemen kuru olduğunda, kazanın karıştırma hareketi bazı kıyafetlerin kazan eksenini üzerinde hareket etmesine olanak sağlamaktadır. Bu testlerde görülmektedir ki, kıyafetlerin ve kazan duvarının sıcaklığı hemen hemen sabit bir değerdedir ve de dışarı atılan havanın sıcaklığı da bu sıcaklığa yakın bir değer almaktadır [14].

4.6. Mevcut Sistemin ve Önerilen Sistemin Modellenmesi

4.6.1. Mevcut sistemin modellenmesi ve matematiksel formülisasyonu

Mevcut sistemde serpantine 170 °C, 8 bar basınçta gelen doymuş buhar havayı ısıtır ve 150 °C, 5 bar basınçta serpantinden çıkarak buhar hattına geri döner. Serpantinde buhar ile ısınan hava kurutucuya gönderilir. Kurutma esnasında belirli sıcaklık değerlerinde kurutucu tamburunun üst kapağı açılır ve iç denge sağlandıktan sonra yine otomatik olarak kapanır. Kondens toplarda yani buhar kapanında oluşan su kondens geri dönüş hattından geri döner ve bu da direkt kazana verilmez, kondens tankında toplanır. Kondens tankında biriken su kazanın ihtiyacına göre pompalarla (kazan besleme pompaları) kazana alınır. Kondens tankları üzerinde genleşmeyi önlemek için tahliye borusu bulunur. Kondens toplardan kaçan buhar buradan havaya tahliye olur. Kurutma esnasında oluşan nemli ve sıcak hava ise elyafla kirlenmiştir ve kirlenmiş olan bu hava iplik/tüy filtresinden geçirilerek atmosfere verilir. Aşağıda sistemin özeti basit olarak şematize edilmiştir.



Şekil 4.12. Mevcut kurutucunun modellenmesi

Test 1'den Test 5'e kadar olan ölçümlerde (EK 1) kurutucuya yüklenen ürün miktarına göre kurutma değeri hesaplanabilmektedir. Kurutma değeri kumaş özelliğine göre belirlenir ve bu değere ulaşıldığında kurutma işlemi biter [15]. Kurutma değeri şöyle ifade edilir;

$$k = 1 - \left(\frac{m_{ü,ç}}{m_{ü,g}} \right) \quad (4.2)$$

k : Kurutma değeri, %

$m_{ü,g}$: Kurutucuya yüklenen ürün miktarı, kg

$m_{ü,ç}$: Kurutma sonrası ürün miktarı, kg

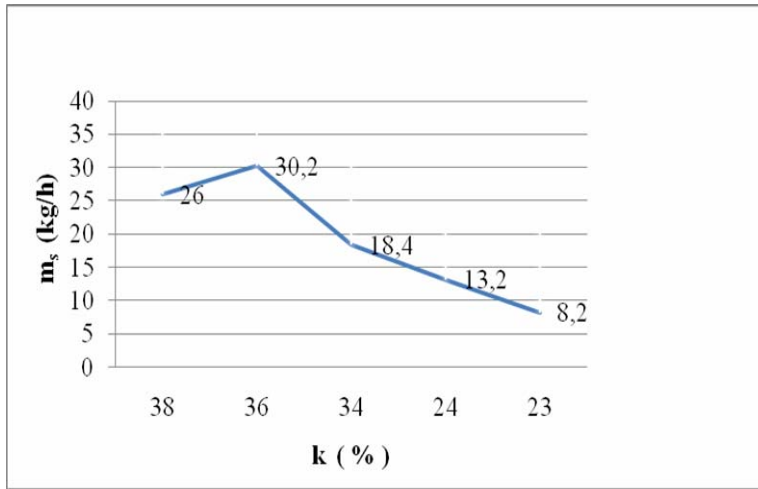
Üründen buharlaşan suyun kütlesi;

$$m_s = m_{ü,g} \left(\frac{k}{t} \right) \quad (4.3)$$

m_s : Üründen buharlaşan su miktarı, kg/h

t : Zaman, h

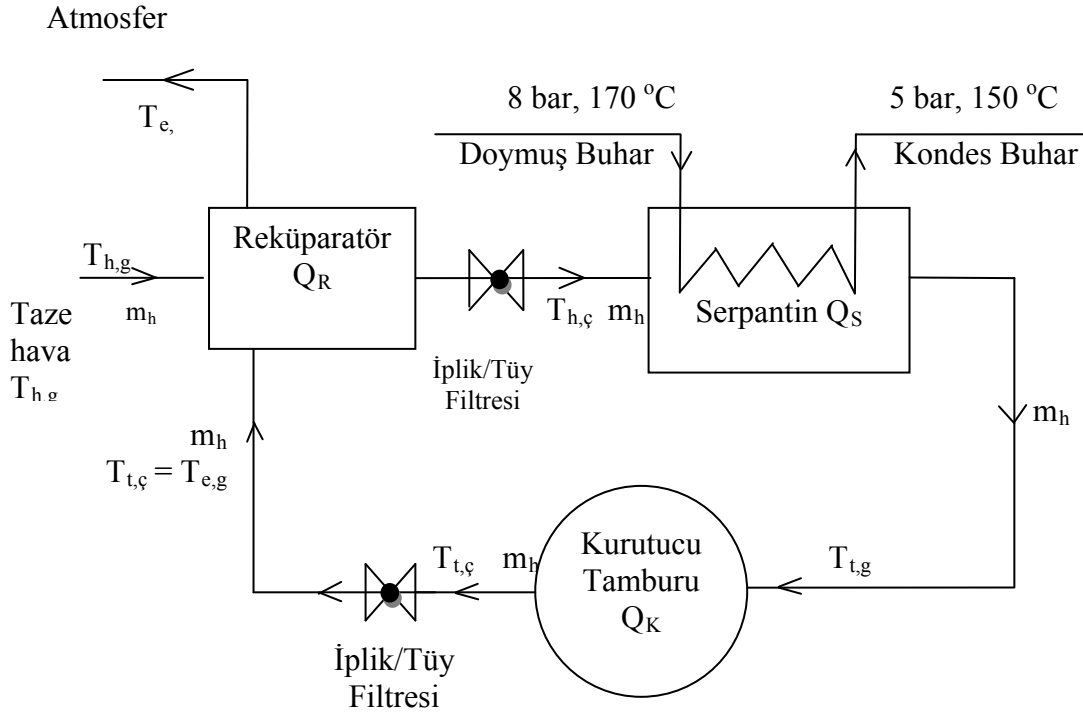
olarak ifade edilir.



Şekil 4.13. Kurutma değerinin buharlaşan suyun kütlesine karşı dağılımı

4.6.2. Önerilen geri kazanım sisteminin modellenmesi

Tekstil işlemlerinin büyük bir bölümünde kurutma en fazla enerji yoğunluğuna sahip işlemlerden biridir. Diğer işlemlere tabi tutulan nemli tekstil ürünü en son kurutma makinelerine gönderilerek nemi alınır. Kurutma sırasında oluşan nemli sıcak hava elyafla kirlenmiştir ve kirlenmiş bu hava tekrar işleme alınmadan atmosfere gönderilir. Halbuki atık hava tekrar sisteme katılarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu tasarrufu sağlamak için sistemde dolaştırılacak taze hava önce atık hava ile ısıtılır daha sonra sisteme verilir. Aşağıda sistemin özeti basit olarak şematize edilmiştir



Şekil 4.14. Önerilen geri kazanım sistemi modeli

Şekil 4.14'de mevcut kurutma sisteminde enerji tasarrufunu sağlamak amacıyla atık ısının geri kazanımı gösterilmektedir. Kurutma makinesinden çıkan nemli ve kirli hava geri kazanım cihazına (reküperatör) gönderilir. Levha tipi ısı değiştiriciler üzerinden ısı transferi ortamdaki taze hava ve atık hava arasında gerçekleştirilir. Atık hava bir kanaldan geçerken taze hava bitişik kanaldan geçer. Böylece taze havanın sıcaklığı arttırılarak ortama gönderilmiş ve atık hava soğutulmuş olur[16]. Atık hava ile ısıtılan taze hava serpantine gönderilerek burada 8 bar 170 °C' de doymuş buhar ile ısıtılarak 100 °C' de kurutucu kazana gönderilir. 5 bar 150 °C'de serpantinden çıkan doymuş buhar ise sistemine geri gönderilir.

4.6.2.1. Sistemin matematiksel formülizasyonu

Isı değiştiricinin etkenliği; bir akımdan diğerine olan mevcut ısı transferi değeri ile mümkün olan en yüksek ısı transferi arasındaki oran olarak tanımlanır [17]. Bu oran;

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (4.4)$$

olarak ifade edilir. Termodinamiğin birinci kanuna göre; adyabatik yalıtılmış bir ısı değiştiricisinde sıcak akışkanın verdiği ısı enerjisi, soğuk akışkanın aldığı ısı enerjisine eşit olur. Buna göre mevcut ısı transferi miktarı;

$$Q = (\dot{m}_h c_p)_{sıl} (T_{e,g} - T_{e,\varphi}) = (\dot{m}_h c_p)_{soğ} (T_{h,\varphi} - T_{h,g}) \quad (4.5)$$

Mümkün olan en yüksek ısı transferi miktarı Q_{max} ; $Q_{soğ,max}$ ve $Q_{sic,max}$ değerlerinden daha küçüktür[16].

$$Q_{max} = \min[Q_{soğ,max}; Q_{sic,max}] \quad (4.6)$$

$$Q_{max} = \varepsilon C_{min} (T_{e,g} - T_{e,\varphi}) \quad (4.7)$$

Serpantindeki ısı geçiş miktarı;

$$Q_S = \dot{m}_h c_p (T_{t,g} - T_{h,\varphi}) \quad (4.8)$$

olarak hesaplanır.

Geri dönüştürücüdeki ısı geçiş miktarı eşitlik (4.4)'den aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Q_R = \varepsilon (\dot{m}_h c_p) (T_{e,g} - T_{h,g}) \quad (4.9)$$

Sistemin toplam ısı transferi miktarı;

$$Q_T = Q_S + Q_R \quad (4.10)$$

Sistemin ısı korunumu;

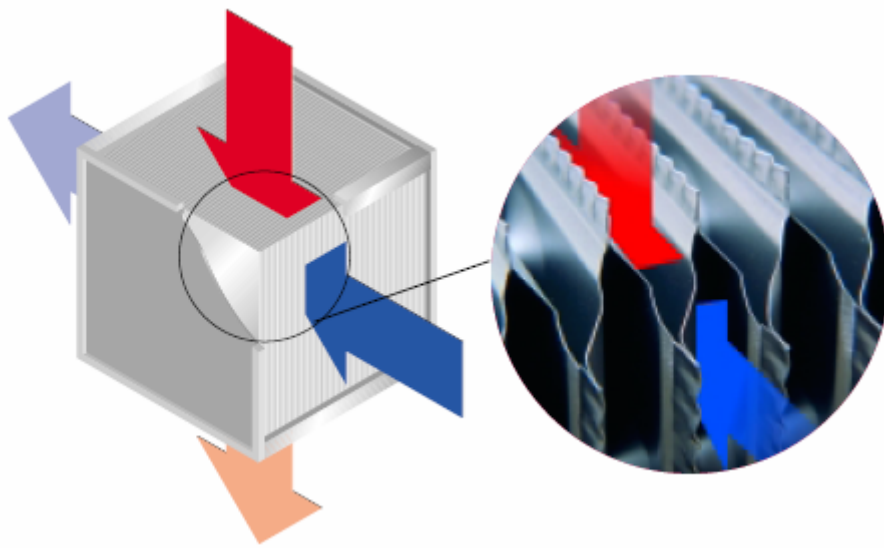
$$E_T = \left(\frac{Q_R}{Q_T} \right) * 100 \quad (4.11)$$

olarak hesaplanır [14].

4.6.2.2. Isı değiştirici seçimi

Farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimini sağlayan cihazlara ısı değiştiricisi denir. Gc retimi, proses, kimya ve gıda endüstrileri, elektronik, evre mühendisliği, üretim endüstrisi, iklimlendirme, soğutma ve uzay uygulamaları gibi geniş kullanım alanlarına sahiptir.

Isı değiştiricisi tipinin seğiminde temel kural, benzer fonksiyonları yerine getiren ve benzer proses koşullarında çalışan, başarısı deneyimlerle kanıtlanmış bir ısı değiştiricisi tipini seğmektir. İkinci aşamada ise, söz konusu olan ısı değiştiricisinin üretim kolaylığı ve toplam maliyeti ne çıkmaktadır. Isı değiştiricilerinin çalışma koşulları geniş sınırlar içinde değiştiğinden, yapılış amacı ve çalışma yerleri değişik isteklere göre belirlendiğinden, ısı değiştiricisi seğiminde dikkate alınacak faktörlerin tümü özel uygulamalara bağlıdır ve bu nedenle genel kurallar verilemez [18]. Bu çalışmada kullanılan ısı değiştiricisi tek geçişli çapraz akışlı kanatlı levhalı (plakalı) ısı değiştiricisi olduğu için diğer ısı değiştiricileri üzerinde durulmamıştır.

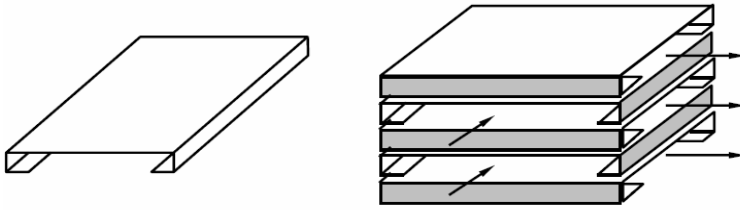


şekil 4.15. Kanatlı levha tipi ısı değiştiricisi [19]

Plakalı ısı değiştiricileri klasik uygulamaların yanı sıra çeşitli proseslerde oluşan atık ısının geri kazanımında, jeotermal enerjinin değerlendirilmesinde, güneş enerjisinin kullanımında ve ısı pompası enerjisinden faydalanılmasında kullanılır. Plakalı tip ısı değiştiricilerinin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Küçük ve işlevsel: Plakalı ısı değiştiricisi, aynı ısı yükündeki diğer ısı değiştiricilerinden çok daha az yer kaplar.
2. Uyarlanabilir: Kullanım alanı genişlediğinde, diğer ısı değiştiricilerine kıyasla çok düşük bir maliyetle kapasitesi arttırılabilir. Kısa bir süre içinde plakaların arttırılması, azaltılması ve ısıl rejime göre yeniden düzenlenmesi mümkündür. Hareket ettirilebilir çerçeve mekanizması dizaynı, kapasitenin kolaylıkla arttırılabilmesine imkan tanır.
3. Bakım kolaylığı: Plakalı ısı değiştiricilerinin bakımı gerektiğinde plakalar sökülerek temizliği kolaylıkla yapılabilir.
4. Titreşimi yutar: Contalar titreşimi yutarak kendi içinde titreşim kompanzasyonu sağlar, büyük basınçlarda rahatlıkla kullanılmasına olanak tanır.
5. Sökülmesi kolay: Plakalı tip ısı değiştiricilerinin sıkıştırma contaları sökülüp baskı plakası çıkarılarak temizlik, kontrol ve bakım için kolaylıkla açılabilir.
6. Büyük ısıl verim: İyi bir plaka tasarımı, yüksek türbülans, düşük kirlenme ve yüksek ısı geçişi sağlar. Ters akım içindeki bu yüksek türbülansa 2 °C yaklaşıklıkla ısı geçişi sağlanarak ısı ekonomisi sağlar. Isı geri kazanımında ekonomik çözümler sunar.
7. Kısa devre riskini önler: Yüzey işleme proseslerinde geleneksel metotla tank ısıtma ve soğutmasında, borular kısa devre riskini ve bunun ardından sistemin durmasına neden olur. Plakalı ısı değiştiricilerinin bu riskinin yanında kabuklaşma riskini de ortadan kaldırır [18].

Havadan havaya ısı değiştiricileri genellikle yekpare veya parçalı levha saclardan birleştirmek suretiyle imal edilirler. Malzeme olarak alüminyum, galvaniz kaplı elik, paslanmaz elik gibi metaller kullanılabilir. Sac levha kalınlıkları 0,15-0,50 mm arasında değişmektedir. Kanal aralıkları ise 5-30 mm arasında alınabilmektedir. Isı değiştirici seiminde verimlik ve temizlenebilme kolaylığı gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Şekil 4.21’de modelimizde kullanılan ısı değiştirici görölmektedir. Bu tip ısı değiştiricilerinde levhalar birbiri üzerine şaşırtmalı yerleştirilerek lehimlenir. Metal levha uçları aynı yönde 90 °C açılı ile kıvrılarak iki ayrı yönde hava kanalcıkları elde edilir. Eklenen bu levhaların oluşturduğu ısı değiştirici, ereve içinde yatay veya dikey yönde diagonal olarak yerleştirilir.

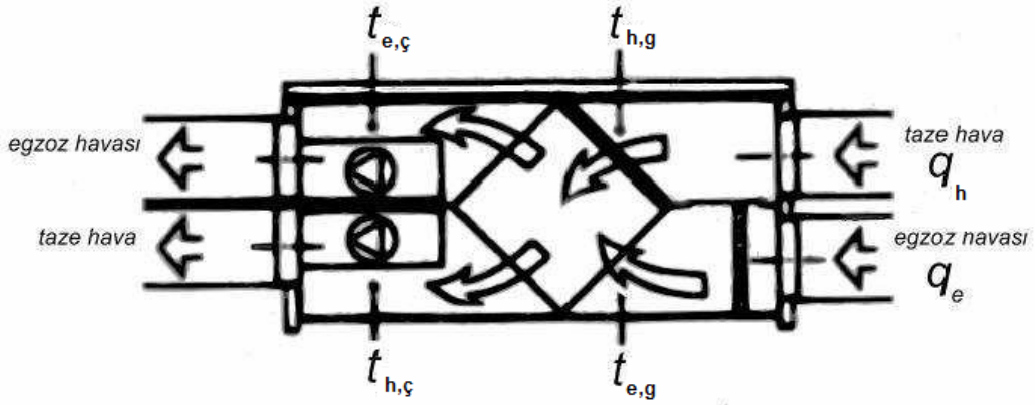


Şekil 4.16. Levha kenarları aynı yönlü çift kıvrımlı ısı değiştirici modeli [20]

Plakalı ısı değiştiricilerinde etkenlik; hava hızı, kanat biçimi, kanat aralığı ve basınç kaybına bağlı olarak değişir. Plaka boyutları büyüdükçe etkenlik artar, basınç kaybı ve hava hızı azalır. Tersine hava hızı arttıkça ısı değiştirici boyutları küçülür, etkenlik ve maliyet düşer; fakat basınç kayıpları ve gürültü artar. Bu sebepten ötürü ısı değiştiricilerinin etkenlik değerleri %50-%75 arasında, basınç kayıpları ise 100-250 Pa (10-25.4 mm SS) arasında tutulması tavsiye edilmektedir [20].

4.6.2.3. Isıl verimin hesaplanması

Isı değiştiricilerde ısı verim taze havadaki sıcaklık farkının, egzoz havası ile taze hava giriş sıcaklıkları farkına bölünmesi ile elde edilir [20].



Şekil 4.17. Isıl verimin şematik gösterilmesi[20]

$$\eta_T = \frac{T_{h,\ç} - T_{h,g}}{T_{e,g} - T_{h,g}} \quad (4.12)$$

4.6.2.4. Enerji tasarrufunun hesaplanması

Mevcut kurutma sistemine reküperatör (ısı geri kazanım) cihazı ilave edilmesi ile sistemin saatlik enerji kazancı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [20].

$$Q = m_h (h_{t,g} - h_{t,\ç}) \cdot t \quad (4.13)$$

$h_{t,g}$: Taze hava giriş entalpisi, kJ/kg

$h_{t,\ç}$: Taze hava çıkış entalpisi, kJ/kg

t : Zaman, h

BÖLÜM 5. SONUÇ

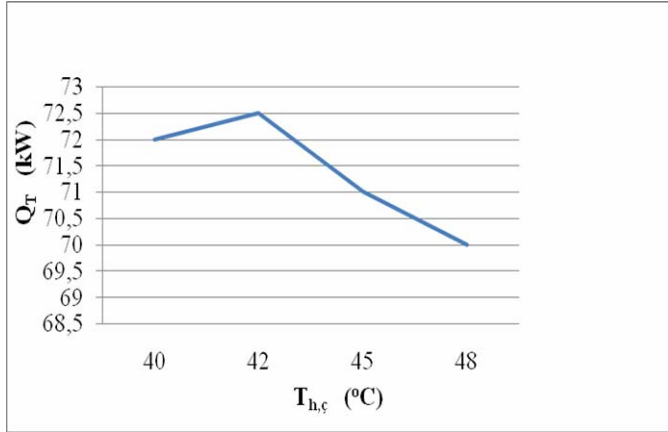
Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferi, ısınmış havanın nemli tekstil kumaşı boyunca akması ile kumaşın nemi havaya geçer. Tekstil kumaşı ile teması sonucu kirlenen hava nemi artmış olarak kurutucudan ayrılır. Mevcut sistemden 66 °C’de kurutucunun eksozundan atılan nemli ve sıcak havanın ısı geri kazanım cihazına aktarılarak sistemin enerji ekonomisinin sağlanması amaçlanmıştır. Tablo 5.1’de ısı geri kazanım cihazının sağlaması gereken özelliklerinin tespit edilmesi amacı ile yapılan hesap sonuçları görülmektedir. Boyutlandırma yapılırken;

1. Yoğuşma olmadığı kabul edildi.
2. Atık hava ve ortam havasının belirlenen sıcaklıklardaki atmosfer basıncındaki termofiziksel özellikleri alındı.
3. Atık hava ile ortam havasının kütleli debileri eşit alındı.

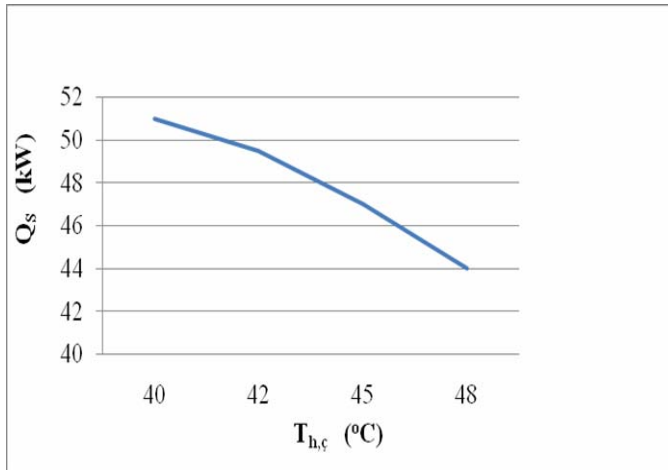
Tablo 5.1. Isı geri kazanım cihazı boyutlandırma sonuçları (EK-2)

Hesap No	ϵ	$T_{e,\zeta}$ (°C)	$T_{h,\zeta}$ (°C)	A_d (m ²)	Q_S (kW)	Q_R (kW)	Q_T (kW)	E_s (%)	η_T (%)
1	0,6	51	40	29	51	21	72	29	37
2	0,65	49	42	43	49,5	23	72,5	31,5	41
3	0,7	46	45	54,5	47	24	71	34	49
4	0,75	43	48	85	44	26	70	37	56

Tabloda boyutlandırma sonucu üzerinde çalışılan değerler görülmektedir. Aşağıda seçilen dört hesaplamanın grafik olarak yorumu görülmektedir.



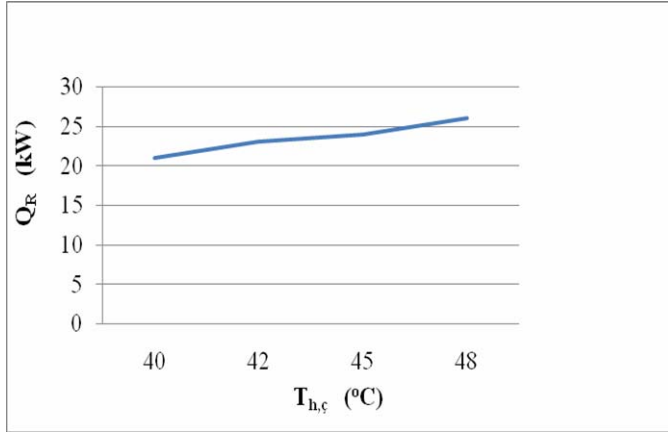
Şekil 5.1. Serpantine giren taze hava sıcaklığının sistemin toplam ısı geçiş miktarına karşı dağılımı



Şekil 5.2. Reküperatörden çıkan taze hava sıcaklığının serpantinindeki ısı geçiş miktarına karşı dağılımı

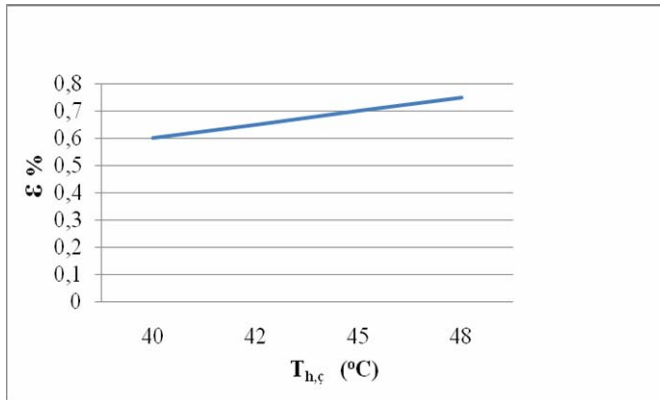
Şekil 5.2.'de reküperatörden çıkan taze hava sıcaklığının serpantin kapasitesine (Q_S)'ne karşı dağılımı görülmektedir. Yüksek $T_{h,\text{ç}}$ değerleri serpantin kapasitesindeki gerekli azalmaları sağlayacağı görülmektedir.

Şekil 5.3'de serpantine giren taze hava sıcaklığının diğer bir deyişle ısı geri kazanım cihazından çıkan ısıtılmış taze havanın ($T_{h,\text{ç}}$) ısı geri kazanım cihazının (reküperatör) ısı transferi miktarına karşı dağılımı görülmektedir. $T_{h,\text{ç}}$ 'nin yüksek değerleri ısı geri kazanım cihazının ısı transferi miktarında artışlara neden olacağı görülmektedir.

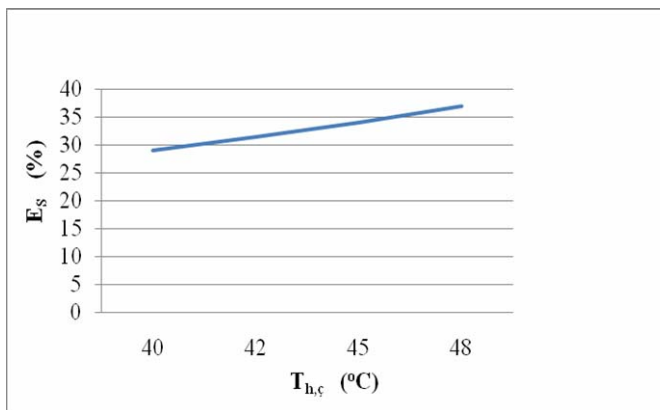


Şekil 5.3. Serpantine giren taze hava sıcaklığının geri kazanım cihazındaki ısı geçiş miktarına karşı dağılımı

Şekil 5.4'deki grafikten de görüleceği gibi yüksek $T_{h,\text{ç}}$ değerleri geri kazanım cihazının etkenliğinde artışlara neden olacaktır.



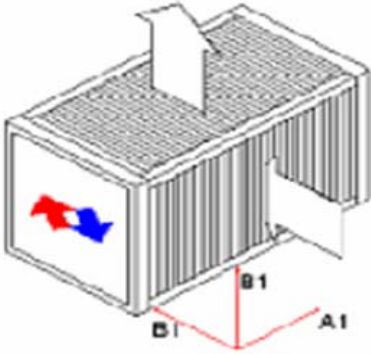
Şekil 5.4. Serpantine giren taze hava sıcaklığının geri kazanım cihazının etkenliğine karşı dağılımı



Şekil 5.5. Serpantine giren taze hava sıcaklığının, ısı geri kazanım sisteminin enerji tasarrufuna karşı dağılımı

Boyutlandırma sonucu hesaplanan değerler çerçevesinde çizilen grafikler yorumlandığında ve tasarımın kullanılabilirliği açısından Tablo 5.1'deki 3 nolu hesaplamada verilen kriterlerin uygulanabilir olduğuna ve Recuperator firmasının BQ AL 06 N 600 M 1 AR CD SC alüminyum kanatlı levha tipi ısı geri kazanım cihazının kurutma sistemindeki enerji geri kazanımı için uygun olacağına firmanın onayı ile karar verildi.

Tablo 5.2. Geri kazanım cihazı boyut ve özellikleri [19]

ISI DEĞİŞTİRİCİ PERFORMANSI			BOYUTLAR		
Geri kazanım	kw	21,2	Yükseklik (B1)	mm	1050
Yaş verimlilik	%	52,4	Uzunluk (A1)	mm	1050
Yaş sıcaklık oranı	%	52,4	Derinlik (B1)	mm	600
Kuru verimlilik	%	52,4	Diagonal	mm	849
Kuru sıcaklık oranı	%	52,4	Kanat uzunluğu	mm	560
İSTENİLEN TAZE HAVA ŞARTLARI					
Standart akış hızı	m ³ /h	2952			
Kütleli hava debisi	kg/h	3542			
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	25			
Bağıl nem	%	42			
Taze hava çıkış sıcaklığı	°C	46,5			
Bağıl nem	%	13			
Basınç kaybı	Pa	150			
EGSOZ HAVASI ŞARTLARI					
Standart akış hızı	m ³ /h	2952			
Kütleli hava debisi	kg/h	3542	Ortam basıncı : 1013 mbar		
Taze hava giriş sıcaklığı	°C	66	Çekilen güç : 0,727 kW x2		
Bağıl nem	%	5	Çekilen amper : 2A x 2		
Taze hava çıkış sıcaklığı	°C	44,5	Motor gücü : 0,75 kW, 1500 d/dk		
Bağıl nem	%	14,6	Üfleme ağız ölçüsü : 400 x 600 mm		
Basınç kaybı	Pa	155	Emiş ağız ölçüsü : 400 x 600 mm		

Tabloda görülen özelliklerdeki ısı geri kazanım cihazı dikey tipte olup %52 verimle çalışmaktadır. Tablo 5.3'de ısı geri kazanım cihazının tek vardiya (8 h/gün), iki vardiya (16 h/gün) ve üç vardiya (24 h/gün) çalışma durumlarına göre enerji tasarrufu miktarı görülmektedir.

Tablo 5.3. Isı geri kazanım cihazının enerji tasarruf miktarları

ENERJİ TASARRUFU	GÜNLÜK	AYLIK	YILLIK
8 h/gün	170 kWh	5100 kWh	61200 kWh
16 h/gün	339 kWh	10170 kWh	122040 kWh
24 h/gün	501 kWh	15030 kWh	180360 kWh

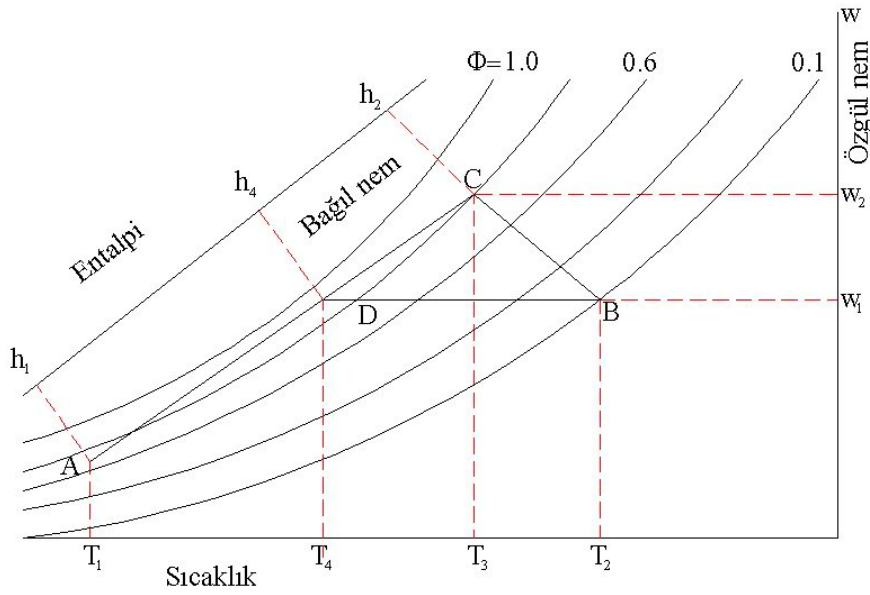
Tablo 5.3’de verilen enerji tasarrufu değerleri incelendiğinde sisteme dahil edilecek %52 verimle çalışan bir ısı geri kazanım cihazının sistemdeki enerji tasarrufu açısından avantajlı olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Tekstil ürünleri, üretim sürecinde çeşitli terbiye işlemlerine tabi tutularak bünyelerindeki nem kurutma yolu ile uzaklaştırılmaktadır. Tekstil ürünlerinin kurutulması; önce mekanik yöntemlerle ön kurutma yapılması ve sonrasında mamül üzerinde bulunması gereken higroskopik nemi kaybetmeden ısı transferi ile gerçekleşen esas kurutma ile sağlanır. Kurutma işlemleri tasarlanırken; işlemin hem ekonomikliğine hem de nemli ve kurutulmuş malzemenin fiziksel özellikleri, kurutma işleminin başlangıcında içerdikleri nem yüzdesi, uzaklaştırılacak nem miktarı, kurutma sıcaklığı, saatte işlenecek malzeme miktarı gibi parametreler önemlidir. Kısaca kurutma işlemi sırasında dikkate alınması gereken temel özellik; istenilen özelliklere sahip ürün eldesinde minimum enerji tüketimi ve maksimum kurutma hızına ulaşmaktır.

Tekstil terbiyesi, farklı şekil ve formlarda tekstil ürünlerine değer katmak ve kaliteyi arttırmak amacı ile uygulanan işlemler olup; burada en önemli, enerji taşıyıcı buhardır. Kurutma esnasında büyük miktarlarda sıcak ve nemli hava tüketilmektedir. Bu kapsamda ısı geri kazanım sistemleri, kurutma işleminde kullanılan enerji miktarı ve maliyetleri bakımından önem arz etmektedir. Ayrıca daha az yakıt tüketimi olması sebebiyle hava kirliliğinde azalma, atık sıcak suyun düşük olması sebebiyle termal kirlenmede azalma gibi çevreye faydaları da mevcuttur.

Kurutma prosesinde ısıtılan hava kurutulacak ürün üzerine gönderilir, ürünle temas eden hava soğur ve bu sırada üründen buharlaşan nem havaya karışır. Son olarak ise nemli ve soğuk hava sistemden dışarı atılır. Bu noktada çalışmamıza konu olan kurutma havasının geri besleme ile sisteme kazandırılması ortaya çıkmaktadır ve bunun özeti Şekil 6.1'de görülmektedir. C koşullarındaki havanın sıcaklığı, dolayısı ile entalpisi yüksek olduğu için A koşullarındaki hava ile karıştırılarak taze havanın ön ısıtmasının gerçekleştirilmesi ısı ekonomisi bakımından önemlidir.



Şekil 6.1. Kurutma işlemlerinde kurutma havasının geri besleme yapılması [5]

Bu çalışmada Sakarya'nın Akyazı ilçesinde bulunan bir tekstil fabrikasındaki tambur tipi kurutma makinesinden elde edilen gerçek verilerden yararlanılarak kurutma havasının sisteme geri besleme yapılabilmesi için gerekli olan ısı geri kazanım cihazının boyutlandırılması ve bu cihazın kullanılması sonucu elde edilecek enerji tasarrufu hesaplanmıştır. Kurutma makinesi egzozundan, ortalama 66°C sıcaklıkta atılan sıcak havanın ısısından yararlanmak amacıyla sisteme Recuperator firmasının BQ AL 06 N 600 M 1 AR CD SC alüminyum kanatlı levha tipi ısı geri kazanım cihazının kullanılması önerilmiştir. Egzozdan atmosfere atılan sıcak hava geri dönüştürücüye (ısı değiştiriciye) gönderilerek ortamdaki taze hava atık hava ile ısıtılıp serpantine gönderilmiştir. Böylece taze havanın sıcaklığı artırılarak kurutma sistemine gönderilirken atık hava soğutulmuştur. Yapılan boyutlandırma ve hesaplamalar neticesinde ısı geri kazanım cihazının %52 verimle çalışacağı ve geri kazanım cihazının sistemde %34 lik bir enerji tasarrufunu sağlayacağı hesaplanmıştır. Makinenin çalışma süresine göre geri kazanım cihazının sisteme sağlayacağı enerji tasarrufu miktarı hesaplandığında; ısı geri kazanım sisteminin kullanılmasının avantajlı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] AKARSLAN, F., “Tekstil Mamül Özelliklerinin Kurutma Etkinliğine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2002.
- [2] KRISCHER, O., “Die Wissenschaftlichen Grundlagen Der Trocknungstechnik”, Erster Band, Springer-Verlang, New York, 1978.
- [3] AYBER, R., “İTÜ Yayınlanmamış Ders Notları”
- [4] GENCELİ, O., “İklimlendirme Esasları” Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, 1984.
- [5] COŞKUN, S., “Kurutma İşlemlerinde Isı Pompası İle Enerji Tasarrufu Sağlanmasının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, U.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1993.
- [6] TELLİ, Z.K., Termodinamik, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 19, Isparta, 1997.
- [7] PULAT, E., “Tekstil Endüstrisi Kurutma Sistemlerinde Enerji Tüketimi ve Tasarrufu”, Yüksek Lisans Tezi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1990.
- [8] TARAKÇIOĞLU, I., “Tekstil Terbiye İşletmelerinde Atık Su ve Enerji Yönetimi, 1986.
- [9] ÇOBAN, S., “Konveksiyon Kurutmanın Esasları ve Ramözlerde Sağlanan Yeni Gelişmeler”, Tekstil & Teknik, Sayı 2, 1991.
- [10] TARAKÇIOĞLU, I., “Tekstil Terbiyesi ve Makinaları”, Cilt 1, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, 1979.
- [11] TARAKÇIOĞLU, I., “Tekstil Terbiye İşlemlerinde Enerji Tüketimi ve Tasarrufu”, U.Ü. Basımevi, Bursa, 1984.
- [12] TÜMAY, L., “Terbiye Makinaları Ders Notları”, U.Ü. Basımevi, Bursa, 1992.
- [13] YADAV, V., MOON, C.G., “Fabric-Drying Process In Domestic Dryers”, Energy 2008; 85:143-158

- [14] DEANS, J., “The Modelling Of A Domestic Tumbler Dryer”, Thermal Engineering 2001; 21:977-990
- [15] OĞULATA, R.T., “Utilization Of Waste-Heat Recovery In Textile Drying” Energy 2004; 79:41-49
- [16] HALICI, F., GÜNDÜZ, M., “Örneklerle Isı Geçişi” Sakarya, 2001.
- [17] SAN, J-T., JAN, C-L. “Second-Law Analysis Of A Wet Crossflow Heat Exchanger, Energy 2000; 25:939-955
- [18] PEHLİVAN, H., “Tek Geçişli Çapraz Akışlı Plakalı Isı Değiştiricisi Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
- [19] RECUPERATOR Firması, Ürün Katalogu
- [20] BULGURCU, H., “Lokal Isı-Enerji Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazların Tasarımı”

EKLER

EK-1

Test 1

Kumaş giriş kütlesi: 79 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 52,5 kg

Ortam sıcaklığı: 26 °C

Ortam nemi: % 41

SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ZAMAN (dk)
67	31	2
69	32	4
69	32	6
70	32	8
71	32	10
71	32	12
69	34	14
68	35	16
66	36	18
66	36	20
64	32	22
66	32	24
68	30	26
70	29	28
71	28	30
74	26	32
75	26	34
77	25	36
79	23	38
79	22	40
80	22	42
78	21	44
77	21	46
78	20	48
80	20	50
78	18	52
77	18	54
77	17	56
79	17	58
80	17	60

Test 2

Kumaş giriş kütlesi: 98,3 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 63,4 kg

Ortam sıcaklığı: 24 °C

Ortam nemi: % 36

SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ZAMAN (dk)
62	0,66	5
72	0,34	10
72	33	15
74	32	20
78	30	25
78	28	30
80	26	35
80	26	40
82	24	45
77	23	50
82	21	55
86	21	60
78	19	65

Test 3

Kumaş giriş kütlesi: 64,3 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 49,1 kg

Ortam sıcaklığı: 24 °C

Ortam nemi: % 33

SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ZAMAN (dk)
62	56	2
62	29	4
62	31	6
64	29	8
64	26	10
65	28	12
68	26	14
69	25	16
69	25	18
69	26	20
71	23	22
73	23	24
76	22	26
78	20	28
76	19	30
78	17	32
78	16	34
76	17	36
79	16	38
77	16	40
77	14	42
80	14	44
80	14	46
77	15	48
77	14	50
80	14	52
77	15	54
80	14	56
79	14	58
79	14	60

Test 4

Kumaş giriş kütlesi: 79,4 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 49,3 kg

Ortam sıcaklığı: 25°C

Ortam nemi: % 42

SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ZAMAN (dk)
64	37	2
68	35	4
66	34	6
69	36	8
70	36	10
71	36	12
70	37	14
69	37	16
70	37	18
68	37	20
67	35	22
71	33	24
72	31	26
70	32	28
72	32	30
73	32	32
74	31	34
74	30	36
75	28	38
77	27	40
78	27	42
79	26	44
77	26	46
80	42	48
77	26	50
80	25	52
80	24	54
79	23	56
80	25	58

Test 5

Kumaş giriş kütlesi: 79,4 kg

Kumaş çıkış kütlesi: 49,3 kg

Ortam sıcaklığı: 25°C

Ortam nemi: % 30

SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ZAMAN (dk)
70	58	5
75	19	10
76	17	15
76	18	20
76	16	25
80	15	30
79	14	35
79	13	40
77	13	45
80	13	50

EK - 2

Hesap No	ϵ	$T_{e,\zeta}$ (°C)	$T_{h,\zeta}$ (°C)	A_d (m ²)	Q_s (kW)	Q_R (kW)	Q_T (kW)	E_s (%)	η_T (%)
1	0,2	64	27	4,26	62	7	69	10	4,9
2	0,3	62	29	6,8	61	10	71	15	10
3	0,35	61	30	8,52	60	12	72	17	12
4	0,4	59	32	12	58	14	72	19,4	17
5	0,45	58	33	13,6	57	16	73	21,6	20
6	0,5	56	35	18,7	55	17	72	24	24
7	0,55	54	37	24	54	19	73	26	29
8	0,6	51	40	29	51	21	72	29	37
9	0,65	49	42	43	49,5	23	72,5	31,5	41
10	0,7	46	45	54,5	47	24	71	34	49
11	0,75	43	48	85	44	26	70	37	56

ÖZGEÇMİŞ

Esra DEVAY, 18.02.1981'de Düzce'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Düzce'de tamamladı. 1999 yılında Düzce Lisesi Yabancı Dil Ağırlıklı Program'dan mezun oldu. 2001 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.