

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAMAŞIR KURUTMADA VAKUMLU ORTAM İNCELEMESİ

Engin ARSLAN

TEMMUZ 2013

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Engin ARSLAN tarafından hazırlanan ÇAMAŞIR KURUTMADA VAKUMLU ORTAM İNCELEMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı Standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yahya DOĞU
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Yahya DOĞU _____
Üye (Danışman) : Prof. Dr. Ali ERİŞEN _____
Üye : Yrd. Doç. Dr. Battal DOĞAN _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıŐtır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Sevgili Aileme

ÖZET

ÇAMAŞIR KURUTMADA VAKUMLU ORTAM İNCELEMESİ

ARSLAN, Engin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Temmuz 2013, 82 sayfa

Çamaşır Kurutmada Vakumlu Ortam İncelemesi adlı bu yüksek lisans tezinde; mevcut çamaşır kurutma makinaları ve çalışma prensipleri, ısı-kütle transferi arasındaki benzeşimler ve ilgili bilgiler verilmiştir. Deneysel çalışmada ise; hava sızdırmazlığı çok iyi yapılmış bir kurutma kabini imal edilerek toplam 5 deney yapılmıştır. İlk üç deney sırasıyla 80 kPa-93 kPa, 75 kPa-93 kPa, 67 kPa-93 kPa basınçlarında son iki deney ise 48 kPa-93 kPa basınçlarında gerçekleştirilerek, 2 farklı numune kurutulmaya bırakılmış, 10'ar dakika aralıklarla kütle kayıpları, sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür.

Elde edilen veriler ışığında kütle kaybının en fazla olduğu basınç değeri 48 kPa-93 kPa değeridir. En düşük değer ise 80 kPa-93 kPa basınç değeridir. Deneysel veriler kullanılarak oluşturulan çizelgeler ve grafikler tezin sonunda yorumlanarak verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çamaşır kurutma makinesi, vakum, vakumlu kurutma, ısı ve kütle transferi

ABSTRACT

VACUUMED MEDIUM INVESTIGATION FOR CLOTHES DRYING

ARSLAN, Engin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ali ERİŞEN

July 2013, 82 pages

In this master thesis title: Vacuumed medium investigation for clothes drying ; actual clothes drying machines and their operating principles, analogies between heat and mass transfer and concerned theoretical bases are given. In the experimental study firstly an airtight drying cabinet was made and total of 5 experiments were carried. The first three experiments, respectively, 80 kPa-93 kPa, 75 kPa-93 kPa, 67 kPa-93 kPa pressure carried out, in the last two experiments 48 kPa-93 kPa pressure carried out and two different samples to be dried. In every experiment, with the duration mass losses from samples, temperature and relative humidity values were measured observed and recorded.

In the light of the acquired data; for the pressure 48 kPa-93 kPa the highest loss in mass has been realized. The minimum loss value was for the pressure of 80 kPa-93 kPa. Tables and graphics which are composed by using experimental data and their interpretations are given at the end of and of the thesis.

Key Words: Tumble dryer, vacuum, vacuumed drying, heat and mass transfer

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlarken yaptığım araştırmalar ve deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi, tecrübe ve görüşlerinden yararlandığım değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ali ERİŞEN Bey ile bütün öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri anlayış ve yardımları ile birlikte, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kuruma Süreci.....	1
1.2. Kurutma Sistemi Tipleri	2
1.2.1. Morötesi Radyasyonla Kurutma.....	2
1.2.2. İnfrared (Kızılötesi) Radyant Kurutma	2
1.2.3. Vakumda Kurutma	2
1.2.4. Dondurarak Kurutma.....	3
1.2.5. Karıştırmalı Yatakta Kurutma	3
1.2.6. Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma	3
1.2.7. Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma	3
1.2.8. Flaş Kurutma	4
1.2.9. Tünel Kurutucu.....	4
1.2.10. Püskürtmeli Kurutucu.....	4
1.2.11. Kabinet ve Kompartıman Kurutucular	4
1.2.12. Mikrodalga Kurutma	5
1.2.13. Dielektrik Kurutma.....	5

1.3. Tekstil Ürünlerinde Kurutma	5
1.4. Kaynak Özetleri.....	12
2. ÇAMAŞIR VE TEKSTİL KURUTMA MAKİNELERİ	18
2.1. Çamaşır Kurutma Makineleri ve Çalışma Sistemleri.....	18
2.1.1. Bacalı Kurutma Makineleri	18
2.1.2. Yoğuşturuculu Kurutucular	19
2.1.3. Isı Pompalı Kurutucu.....	19
2.2. Tekstil Ürünlerinde Kurutma	21
2.2.1. Taşınım ile Kurutma	21
2.2.2. İletimle Kurutma	21
2.2.3. Işınım ile Kurutma.....	21
2.2.4. Yüksek Frekansla Kurutma	21
2.2.5. Taşıma Bantlı Kurutucular	22
2.2.6. Radyo Frekanslı Kurutucular	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Isı Transferi	25
3.1.1. İletimle Isı Transferi	25
3.1.2. Taşınım ile Isı Transferi	25
3.1.3. Işınım ile Isı Transferi	26
3.2. Kütle Transferi	26
3.3. Psikrometrik Tanımlar.....	27
3.4. Havanın Özgül Nemi ve Bağıl Nemi.....	28
3.5. Isı-Kütle Transferi Arasındaki Benzeşim ve İlgili Formüller	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
4.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	35
4.1.1. Kurutma Kabini	35
4.1.2. Hassas Teraziler.....	36

4.1.3. Vakum Pompası	37
4.1.4. Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçüm Cihazı	37
4.2. Deneyleerin Yapılmasında İzlenen Yol	38
5. DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	40
5.1. Deney No 1	41
5.2. Deney No 2	46
5.3. Deney No 3	51
5.4. Deney No 4	56
5.5. Deney No 5	60
5.6. Tüm Basınç Değerleri İçin, Kütle Geçişinin Zamanla Değişimi ve Kütle Kayıplarının Yüzdeliği Grafikleri	65
5.7. Deneysel Veriler İçin Kütle Taşınım Hesaplamaları	71
5.7.1. Kütle Taşınım Hesaplamaları İle Deneysel Sonuçlar Arasında Ortaya Çıkan Önemli Farkın Nedenleri	76
6. SONUÇ	78
KAYNAKLAR	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Kurutmada eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi	1
1.2. Tekstil ürünlerinde kurutma aşamaları.....	6
1.3. Tekstil materyali için tipik bir nem içeriği profili.....	8
1.4. Tekstil materyali için tipik bir kuruma hızı profili.....	9
1.5. Kumaş yüzey sıcaklığına oran sabitinin etkisi	10
1.6. Kumaşın yüzey ve merkez sıcaklık değişimi	11
1.7. Kumaşın yüzeydeki ve merkezindeki nem değişiklikleri	12
2.1. Bacalı çamaşır kurutucusunun çalışma şeması	18
2.2. Yoğuşturuculu çamaşır kurutucusunun çalışma şeması.....	19
2.3. Isı pompalı çamaşır kurutucusunun çalışma şeması	20
2.4. Taşıma bantlı kurutucu.....	22
2.5. Radyofrekanslı kurutma makinesi.....	23
2.6. Taşıma bantlı radyofrekanslı kurutma makinesi	24
4.1. Deney düzeneği şematik resmi.....	34
4.2. Deney seti genel görünümü.....	35
4.3. Kurutma kabini.....	36
4.4. Hassas terazi.....	36
4.5. Vakum pompası	37
4.6. Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı	38
5.1. 80-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi.....	44
5.2. 80-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi	44
5.3. 80-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi	45
5.4. 80-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği	45
5.5. 75-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi.....	49
5.6. 75-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi	49
5.7. 75-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi	50
5.8. 75-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği	50
5.9. 67-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi.....	54
5.10. 67-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi	54

5.11. 67-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi	55
5.12. 67-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği	55
5.13. 48-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi.....	58
5.14. 48-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi	59
5.15. 48-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi	59
5.16. 48-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği	60
5.17. 48-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi.....	63
5.18. 48-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi	64
5.19. 48-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi	64
5.20. 48-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği	65
5.21. 80-75-67-48 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi	66
5.22. 80-75-67-48 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği	67
5.23. 4. ve 5. Deneylerde 48 kPa Basınçlarında Kütle Kayıplarının Yüzdeliği.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. RF kurutucuda bazı tekstil ürünlerinin kurutma süreleri	24
5.1. Çalışma kapsamında yapılan deneylere ilişkin karakteristik bilgiler.....	40
5.2. 80 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler.....	42
5.3. 80 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler	43
5.4. 75 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler.....	47
5.5. 75 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler	48
5.6. 67 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler.....	52
5.7. 67 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler	53
5.8. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler.....	57
5.9. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler	57
5.10. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen veriler	62
5.11. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler	62
5.12. Tüm deneylerde gerçekleşen toplam ve ilgili basınç değerlerindeki toplam kütle kayıpları ile yüzdeler değeri.....	70
5.13. İlk 4 deneyde ilk 6 ölçüm sonunda toplam ve ilgili basınç değerlerindeki kayıpları ile yüzdeler değeri.....	71
5.14. Deney 1 için hesaplanan kütle taşınım değeri.....	72
5.15. Deney 2 için hesaplanan kütle taşınım değeri.....	73
5.16. Deney 3 için hesaplanan kütle taşınım değeri.....	73
5.17. Deney 4 için hesaplanan kütle taşınım değeri.....	74
5.18. Deney 5 için hesaplanan kütle taşınım değeri.....	74
5.19. Tüm deneyler için yapılan kütle taşınım hesaplamaları ile deneysel sonuçlar .	75

SİMGELER DİZİNİ

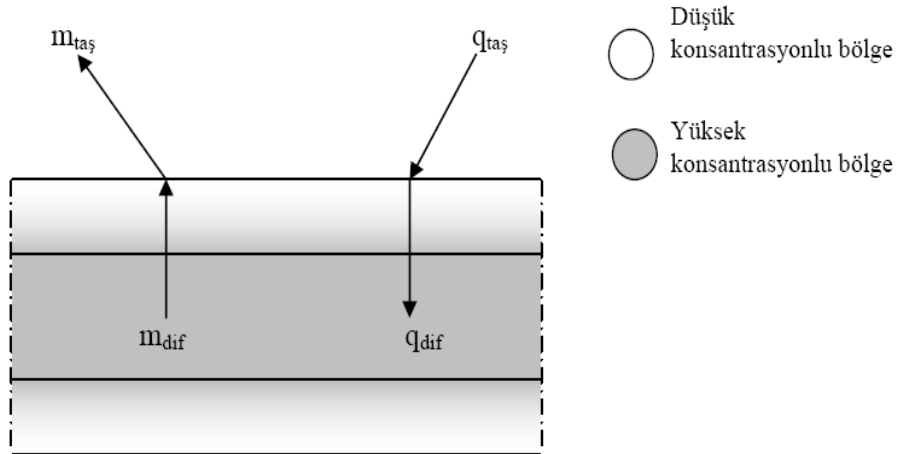
A	Alan (m^2)
A_s	Isı transferini gerçekleştirdiği yüzey alanı (m^2)
C	Molar derişim miktarı ($kmol/m^3$)
C_f	Kumaş ipliklerinin nem içeriği (kg/m^3)
c_p	Sabit basınç özgül ısısı (kJ/kgK)
D_{AB}	Kütle yayınım katsayısı (m^2/s)
E_b	Siyahcisim ışırma akısı (W/m^2)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
$h_{küt\le}$	Kütle taşınım katsayısı (m/s)
$h_{taşınım}$	Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
K	Geçirgenlik
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
L_C	Karakteristik uzunluk (m)
m	Kütle (kg)
m_v	Su buharı kütlesi (kg)
$\dot{m}_{yayınım}$	Kütle akış debisi (kg/s)
P	Basınç (Pa)
P_a	Havanın kısmi basıncı (Pa)
P_{atm}	Atmosfer basıncı (kPa)
$P_{doy@T}$	Herhangi bir sıcaklıktaki doyma basıncı (Pa)
P_v	Su buharının kısmi basıncı (Pa)
T	Sıcaklık (K)
T_s	Yüzey sıcaklığı (K)
T_∞	Serbest akım sıcaklığı (K)
V	Hacim (m^3)
V	Hız (m/s)
y_A	Kumaş gözeneklerinde bulunan havanın bağıl nemi
y_f	Kumaş ipliklerinin bağıl nemi
Gr	Grashof sayısı
Pr	Prandtl sayısı

Re	Reynolds sayısı
Sc	Schmidt sayısı
Sh	Sherwood sayısı
St	Stanton sayısı
$St_{k\ddot{u}tle}$	K\ddot{u}tle transferinde Stanton sayısı
X	Malzemenin kuru baza g\ddot{u}re nem oranı (kg nem/kg kuru madde)
Nu	Nusselt sayısı
RF	Radyofrekans
\dot{W}	G\ddot{u}ç (kW)
$\frac{dC_A}{dx}$	Derişim basamağı
$\frac{dT}{dx}$	Sıcaklık basamağı
Q	Toplam ısı transferi (kJ)
\dot{Q}	Isı transfer hızı (kW)
ϵ	G\ddot{u}zeneklilik
σ	Stefan-Boltzmann sabiti= $5,670400 \times 10^{-8}$ (W / m ² K ⁴)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ρ_s	Numune y\ddot{u}zeyindeki karışımın (hava ile su buharı) yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_∞	Numune y\ddot{u}zeyinden uzakta karışımın (hava ile su buharı) yoğunluğu (kg/m ³)
$\rho_{a,s}$	Numune y\ddot{u}zeyinde bulunan kuru havanın yoğunluğu (kg/m ³)
$\rho_{v,s}$	Numune y\ddot{u}zeyinde bulunan su buharının yoğunluğu (kg/m ³)
$\rho_{a,\infty}$	Numune y\ddot{u}zeyinden uzakta bulunan kuru havanın yoğunluğu (kg/m ³)
$\rho_{v,\infty}$	Numune y\ddot{u}zeyinden uzakta bulunan su buharının yoğunluğu (kg/m ³)
$P_{a,s}$	Numune y\ddot{u}zeyinde bulunan kuru havanın kısmi basıncı (kPa)
$P_{a,\infty}$	Numune y\ddot{u}zeyinden uzakta bulunan kuru havanın kısmi basıncı (kPa)
$P_{s,\infty}$	Numune y\ddot{u}zeyinden uzakta bulunan su buharının kısmi basıncı (kPa)
R_a	Havanın ideal gaz sabiti (kJ/kgK)
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
ω	Özg\dd{u}l nem (kg H ₂ O/kg kuru hava)

$\delta_{\text{ısı}}$	Isıl sınır tabaka kalınlığı (m)
$\delta_{\text{kütle}}$	Kütlesel sınır tabaka kalınlığı (m)
ν	Kinematik viskozite (m^2/s)
β	Hacimsel genişleme katsayısı ($1/\text{K}$)
ρ_{∞}	Serbest akım yoğunluğu (m^3/kg)
ρ_s	Yüzey yoğunluğu (m^3/kg)
α	Isıl yayılım katsayısı (m^2/s)
ϕ	Bağıl nem

1. GİRİŞ

Kurutma; bir eş zamanlı ısı ve kütle transferi prosesidir. Şekil 1.1’de kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle transferi gösterilmiştir. Kurutma havasından kurutulan ürün yüzeyine taşınım ile ısı transferi gerçekleşirken ($q_{taş}$), ürünün iç kısmına ise difüzyonla (iletim) ısı transferi (q_{dif}) gerçekleşir. Nem transferi ise, ısı transferinin tam tersi bir yol izler. Nem, iç kısımdan ürün yüzeyine difüzyonla (m_{dif}), ürün yüzeyinden kurutma havasına taşınım ile ($m_{taş}$) transfer olur. Nem, ürün merkezinden yüzeye doğru ya sıvı difüzyonu ya da kılcal kuvvetlerin etkisiyle hareket eder. Genel olarak kılcal kuvvetlerin etkisi gözenekli maddelerde, sıvı difüzyonu ise gözenekli olmayan maddelerde meydana gelir [1].



Şekil 1.1. Kurutmada eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi [1]

1.1. Kuruma Süreci

Kurutma işlemine tabi tutulan nemli bir malzemenin belli bir nem seviyesine kadar kuruma hızının sabit kaldığı, yani kurutma şartlarının değişmediği sürece, birim zamanda malzemeden alınan nemin sabit kaldığı görülmektedir. Bu sürece sabit hızda kuruma süreci denir. Bu süreçten sonra kuruma hızı azalmaya başlar, kuruma

hızının azalmaya başladığı bu noktadaki nem oranına kritik nem oranı denir. Kritik nem seviyesinden daha az nem içeren malzemelerde, kuruma zamanı ilerledikçe malzemedeki sürekli azalan miktarda nem alınır. Bu süreçte de azalan hızda kuruma süreci adı verilir. Bazı malzemelerde azalan hızda kuruma süreci birkaç süreçte gerçekleşir. Bu süreçler 1. azalan hız süreci, 2. azalan hız süreci gibi adlandırılmaktadır [2].

Kuruma hızı, birim zamanda üründen transfer edilen nem miktarı olarak tanımlanır. Herhangi bir ürünün kuruma oranı, o ürünün nem içeriğine, kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemine bağlıdır [1].

1.2. Kurutma Sistemi Tipleri

1.2.1. Morötesi Radyasyonla Kurutma

Morötesi kurutmada elektromanyetik radyasyon kullanılır. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddeler UV radyasyon etkisiyle kurutulmuş olarak işlenir.

1.2.2. İnfrared (Kızılötesi) Radyant Kurutma

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısıdığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur. Bu yöntem kağıt, tekstil gibi üzerinde motif desen içeren ürünlerin kurutulmasında kullanılır.

1.2.3. Vakumda Kurutma

Düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda kaynaması gibi avantaja sahiptir. Kağıt sanayinde kısmen kullanılır.

1.2.4. Dondurarak Kurutma

Farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde kullanılabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırıcısı ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğunlaşır, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır.

1.2.5. Karıştırmalı Yatakta Kurutma

Titreşimli raf veya konveyör kullanılarak malzemenin sürekli ve belli aralıklarla titreştirilmesi sonucu üniform bir kuruma elde edilir. Aynı sonuç delikli raf veya konveyör üzerindeki yatağın kısmi akışkanlaştırılması ile elde edilir. Tahıl kurutulması için uygundur.

1.2.6. Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma

Akışkanlaştırılmış yatakta, tanecik yapısındaki maddeler arasından, kurutma ortamı gaz akımı geçirilir. Toz veya taneli yapıdaki kurutucular malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Akışkanlaştırılmış yatak kömür, kireçtaşı, şiş, fosfat, plastik ilaç tabletlerinin kurutulması için uygundur.

1.2.7. Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma

Bir malzemenin kurutulmasında hava veya diğer gazlar kullanıldığında, uzaklaştırılan nem buharları kitlesel gaz akımına ulaşana dek durgun bir gaz filminde

difüzenir. Bu filmin kütle transferine direnci büyük olduğundan, kuruma hızı nem buharının difüzyon hızına bağlı olur. Kurutma ortamı olarak nem buharı kullanılırsa buhar fazındaki kütle transfer direnci önlenir ve kurutma hızı sadece ısı transfer hızına bağlı olur. Nem buharındaki kuruma hızları, kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlara göre daha büyüktür. Bu yöntemde verim daha yüksektir ve nemin geri kazanımı da daha kolaydır. Ticari olarak örnekler tekstil ve kimya sanayilerinde görülmektedir.

1.2.8. Flaş Kurutma

Çok küçük yapıdaki malzeme, sıcak gaz akımında dağıtılmıştır. Pigment, sentetik, reçine, gıda ürünleri ve kağıt üretiminde uygulama örnekleri vardır.

1.2.9. Tünel Kurutucu

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucu modifiye edilmiş kompartıman kurutucudur. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava yanma gazları fan yardımı ile sistemde dolaştırılır. Malzeme raf veya bantlar üzerinde kurutulur.

1.2.10. Püskürtmeli Kurutucu

Genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Bu sistemlerde sıcak kurutma ortamına, malzeme bir püskürtücü yardımıyla gönderilir.

1.2.11. Kabinet ve Kompartıman Kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutulacak malzeme temas yüzeyini arttıracak şekilde raflara dizilir.

1.2.12. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutmada çok yüksek frekanslı güç kaynağı kullanılır. Mikrodalga kurutma, şerit şeklindeki ince malzemelere uygulanır.

1.2.13. Dielektrik Kurutma

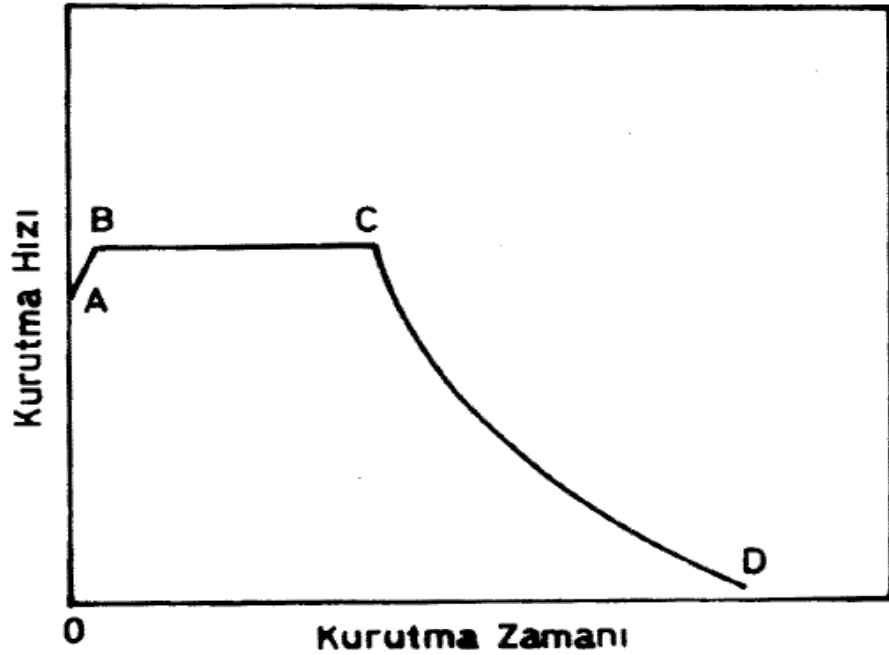
Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilir ve malzeme içinde ısı üretilir. Nemli bölgelerde, kuru bölgelere göre daha fazla ısı üretilir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik düzenlenir. Su, malzeme aşırı derecede ısıtılmaksızın buharlaşır.

1.3. Tekstil Ürünlerinde Kurutma

Tekstilde herhangi bir yaş işlem sonucu nem içeren bir ürünün kurutulması, üründen nemin alınış şekline göre ön kurutma ve esas kurutma biçiminde yapılabilmektedir. Genel olarak mekanik yöntemlerle ön kurutması yapılmış tekstil ürünleri, higroskopik (doğal) nemi korunarak istenilen nem değerine kadar esas kurutma ile kurutulmaktadırlar [4].

Herhangi bir tekstil malzemesinin kurutma işlemi süresince kurutma hızı-kurutma zamanı değişimi şematik olarak Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Burada AB bölgesi ısınmaya hazırlık kısmı olmakta ve mamul üzerindeki fazla sıvı nedeniyle kurutma hızı artış göstermektedir. Bu aşamada kurutma havası sıcaklığı, nemi ve hızı kurutma hızını etkileyen parametreler olmaktadır. BC bölgesi ise sabit hızda kurutma devresi olup, kurutmanın dengede olduğu, kurutma hızının ise kurutma havasının özelliklerinin değişimine bağlı olduğu kısımdır. BC bölgesinde kütle transfer olayı ısı transferi ile dengelenmiş bulunmaktadır. Ancak malzemedeki nem miktarı azalmaya başladıkça, kılcal boşluklardaki sürtünme direncinin artması, iç dokunun yüzeye sıvı transferini güçleştirmekte ve böylece yüzeyin sürekli nemli kalması zorlaşmaktadır.

Sabit hızda kurutma devresinin sona erdiği C noktası, kritik nokta olarak ifade edilmekte ve bu noktadan sonra kütle transferinde sürekli bir azalma gözlenmektedir. CD bölgesi azalan kurutma devresi olmakta ve burada tekstil mamulü içerisinde bulunan şişme suyu ve higroskopik nemin mamulün yüzeyine transferi gerçekleşmektedir. Oldukça yavaş bir kurutma hızının elde edildiği azalan kurutma devresinde, mamul yüzeyinde kurulukların oluşması ve yüzey sıcaklığının yüksek değerlere çıkması ile kritik nem değerinin aşılması sonucu higroskopik nem kaybı, üründe yapı ve kalite bozuklukları görülebilmektedir. Özellikle higroskopik nem kaybının geri kazanımının güç olduğu tekstil ürünlerinde, kritik nem değerinin aşılmadığı BC bölgesinde (sabit hızda kurutma devresi) kurutma işleminin yapılması gerekli olmaktadır.



Şekil 1.2. Tekstil ürünlerinde kurutma aşamaları [4]

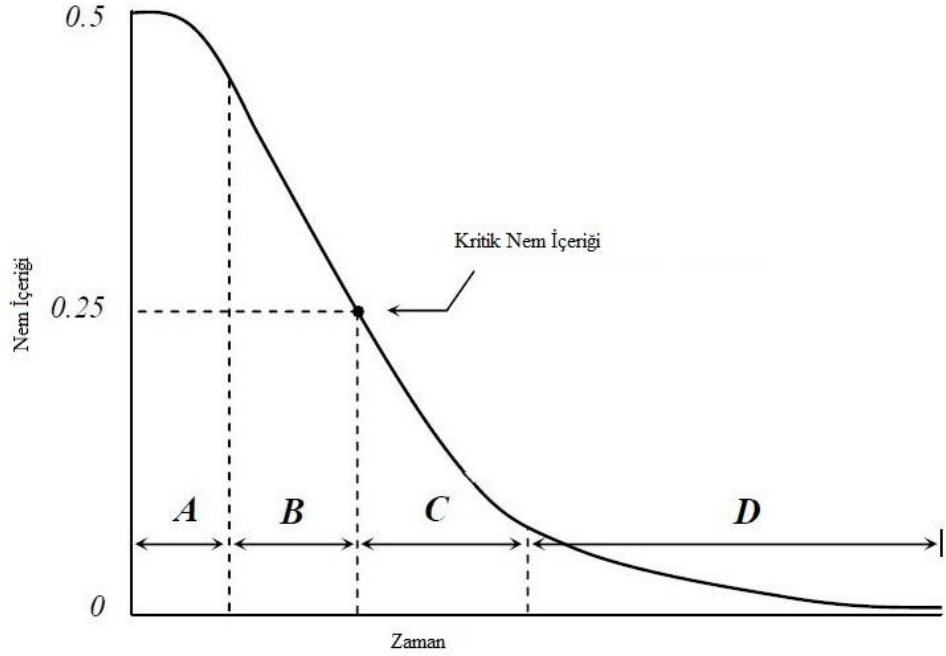
Tekstil malzemeleri taşınım ile kurumaya maruz kaldığında nem, üç ana mekanizma ile transfer edilir [13]. Bunlar; Serbest suyun kapiler akışı, bağlı suyun hareketi ve buhar transferidir.

Tekstil malzemelerinde serbest suyun kapiler akışını, gözeneklerde bulunan kılcal boşluklar sağlar. Kapiler akış için itici güç, basınç ya da gerilim basamağıdır. Sıvı hareketinde itici kuvvet kapiler çekme kuvvetidir. Bu kuvvet, gözenek içerisindeki katı yapı ile sıvı gaz boşluğu arasındaki sınır yüzeylerin gerilmesinden doğan bir iç kuvvettir. Gözenek ne kadar küçük olursa sıvıdaki çekme kuvveti o oranda büyük olur. Bağlı suyun hareketi, emilme difüzyonu olarak bilinmektedir. Emilme bölgesinde hem bağlı su hareketi hem de buhar aktarımı, nem iletiminde önemli rol oynar. Kurutma işleminde su buharı, taşınım ve difüzyon ile tekstil malzemelerinin gözenekleri üzerinden akar.

Tekstil materyalinin başlangıçtaki nem içeriği yeterince yüksek ise yüzey sürekli bir serbest su tabakası ile kaplanır ve buharlaşma büyük ölçüde yüzeyde gerçekleşir. İç nemin aktarımı temel olarak serbest suyun gözeneklerden kapiler olarak akışına bağlanabilir. Bu yüzden, kuruma hızı yalnızca sıcaklık, rutubet ve kurutma havasının akış hızı gibi dış nedenler tarafından belirlenecek, sabit bir kuruma hızı periyodu gözlemlenecektir. Kuruma ilerledikçe, yüzeydeki nem içeriğinin azalması ile birlikte ıslak alanın kesri de düşecektir. Yüzeydeki serbest su içeriği kritik düzeyden az ise yüzeyde sürekli olmayan ıslak parçalar oluşacaktır. Kütle aktarım katsayısı yüzeydeki serbest su içeriği ile birlikte azalır ve 1. azalan hız periyodu başlar. 1. azalan hız periyodunda yüzeyde yeni bir enerji dengesine ulaşılır. Yüzey nem içeriği maksimum değerine ulaştığında serbest su yoktur. 2. azalan hız periyodu başlar ve yüzey sıcaklığında artış meydana gelir.

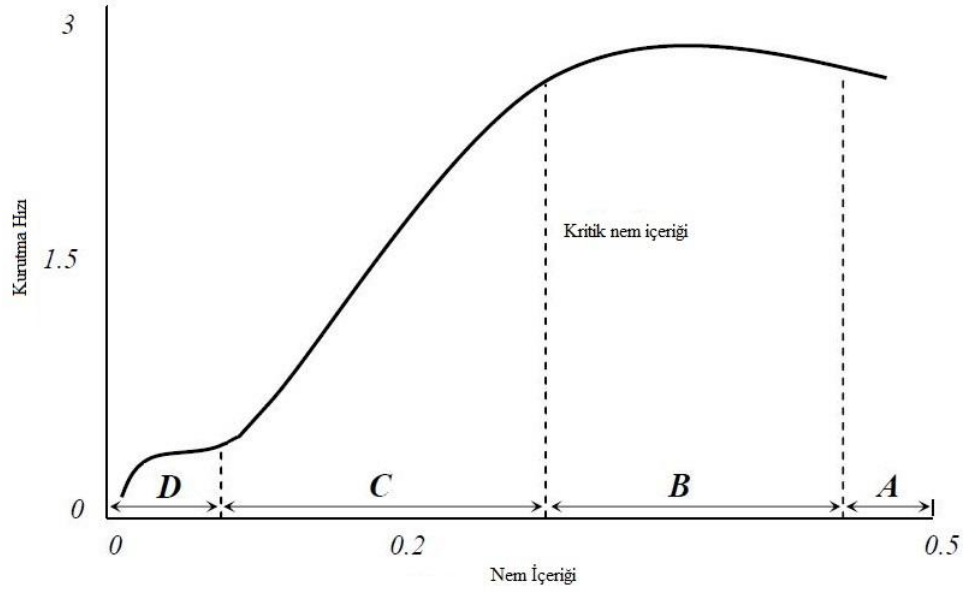
Nem içeriğinin zamanla değişimini gösteren tipik bir kuruma eğrisi Şekil 1.3'de verilmiştir. Burada A; ısınma periyodu, B; sabit hız periyodu, C; 1. azalan hız periyodu, D ise 2. azalan hız periyodudur. Bu eğrinin eğimi, kuruma hızıdır. Eğri, materyalin ısıtıldığı ve kuruma hızının genellikle düşük olduğu bir ısınma periyodu ile başlamaktadır. Materyaldeki nem içeriği kritik nem içeriği olarak bilinen bir düzeye geriler, burada yüksek buharlaşma oranı korunamamaktadır. Bu azalan hız periyodunun başlangıcıdır. Azalan hız periyodu boyunca yüzeye doğru nem akışı yüzeyde doyumluğun korunması için yetersizdir. Bu periyot 1. ve 2. azalan hız periyotları olarak ayrılabilir. 1. azalan hız periyodu sabit hız periyodu ve 2. azalan hız periyodu arasında bir geçiştir. Sabit hız periyodunda, kurutma havasının

nemliliği, sıcaklığı ve akış hızı gibi dış etkenler baskındır. 2. azalan hız periyodunda ise nem ve tekstil materyaldeki enerji aktarımı gibi iç faktörler baskındır.



Şekil 1.3. Tekstil materyali için tipik bir nem içeriği profili [13]

Suyun büyük bölümü kuruma sürecinin sabit hız periyodunda yok olsa da üründeki nemin istenen düzeye düşürülmesi için gereken süre, azalan hız periyoduna bağlı olabilir. Hedeflenen nem içeriğinin, kritik nem içeriğinden önemli ölçüde düşük olması halinde azalan hız periyodundaki kuruma hızları önemli hale gelir. Kuruma süreci Şekil 1.4’de gösterildiği gibi nem içeriği karşısında kuruma hızı ile de temsil edilebilir. Bu şekilde zaman sağdan sola doğru ilerler. Isınma periyodu en sağdadır, sabit hız periyodu ise düz bölgeye karşılık gelir. Azalan hız periyodu düz bölge ve orijin arasındaki kısımdır.

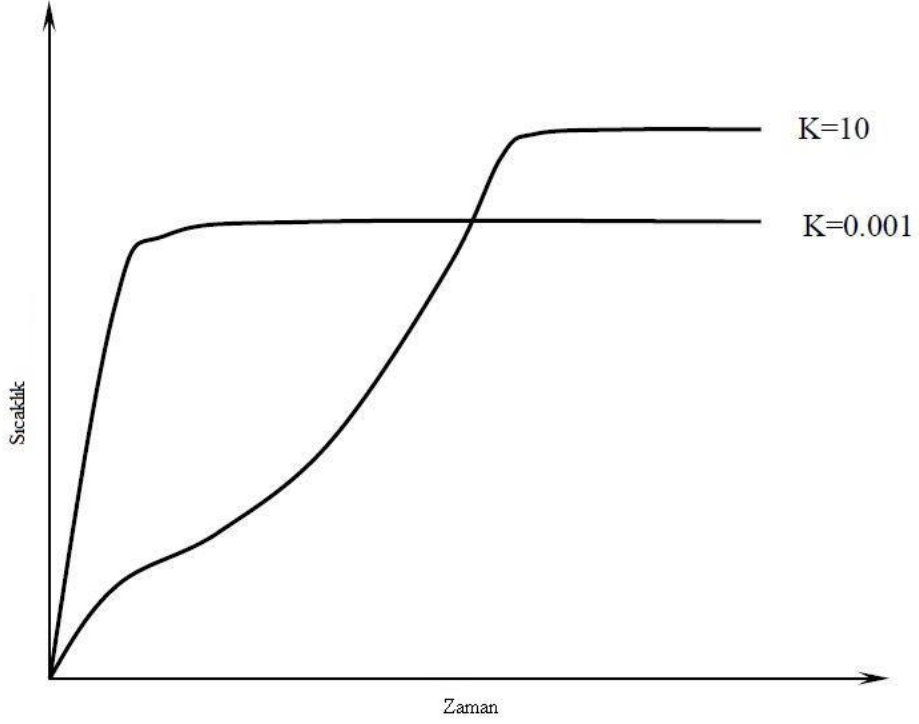


Şekil 1.4. Tekstil materyali için tipik bir kuruma hızı profili [13]

Şekil 1.5’de kumaş yüzey sıcaklığına, K oran sabitinin etkisi verilmiştir. Burada K geçirgenlik olarak tanımlanır ve denklem 1.1 ile verilen ampirik bağıntı ile bulunan bir sabittir. Geçici kumaş sıcaklıkları K oran sabitinin çeşitli değerleri var sayılarak hesaplanabilir. Oran sabitinin değeri 0.01 ve 10 arasında değişebilir. Oran sabiti küçük olduğunda buharlaşma oranı düşüktür ve nem içeriği oldukça yavaş azalır. Başlangıçta yüzey sıcaklığı hızla yükselir ancak sonrasında bu oran düşer.

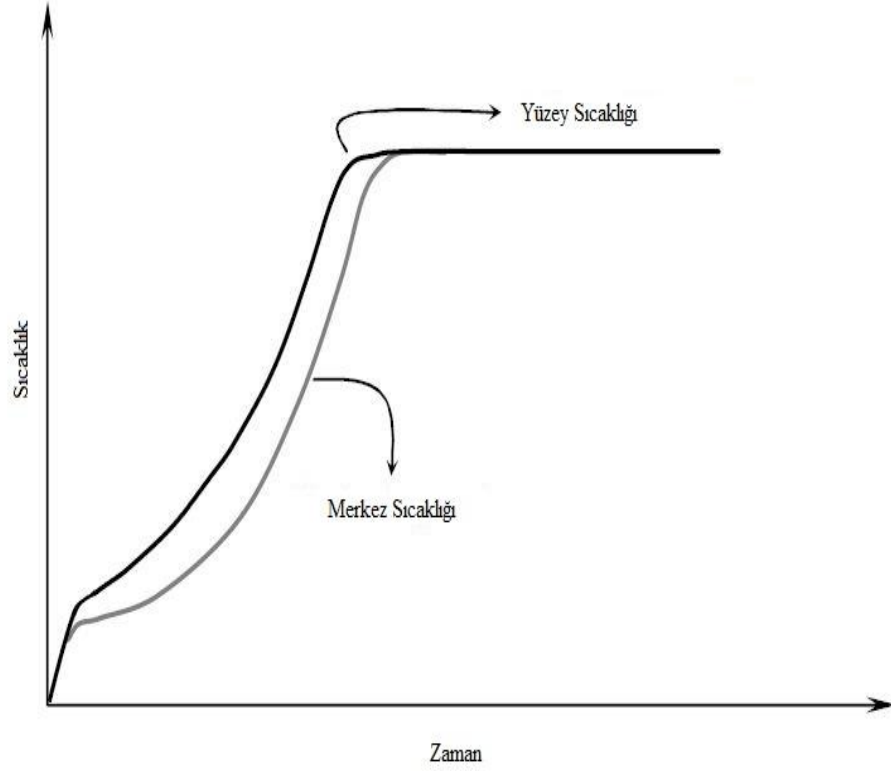
$$\frac{1}{\rho(1-\varepsilon)} \frac{\partial C_f}{\partial t} = K(y_A - y_F) \quad (1.1)$$

Burada ρ yoğunluk, ε gözeneklilik, C_f kumaşta bulunan ipliklerin nem içeriği, y_A ve y_F ise sırasıyla kumaşın gözeneklerinde bulunan havanın bağıl nemi ile kumaşta bulunan ipliklerinin bağıl nemidir.



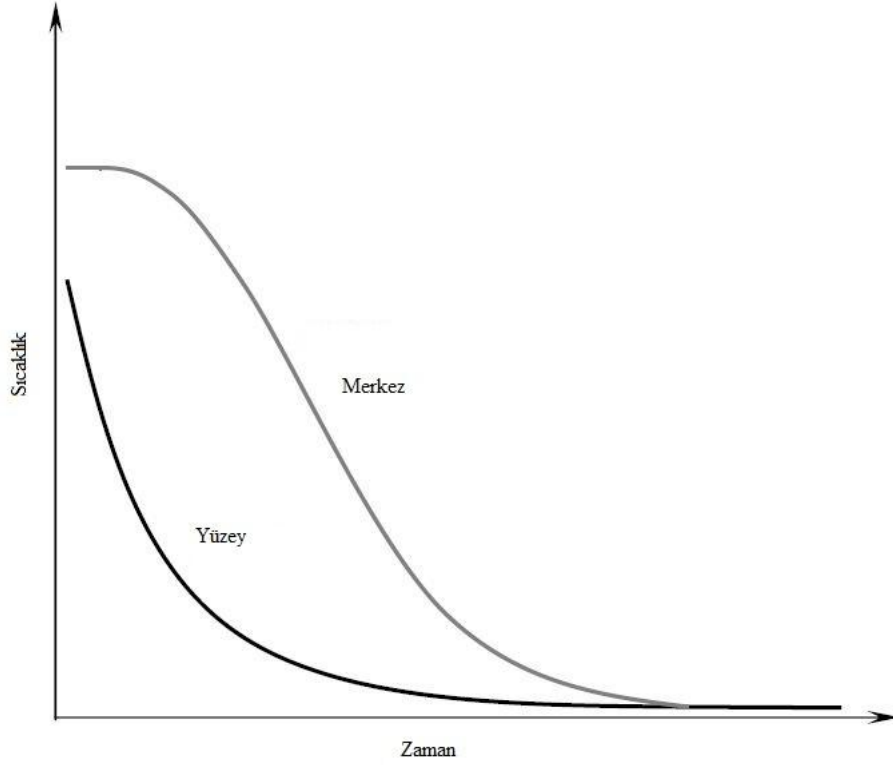
Şekil 1.5. Kumaş yüzey sıcaklığına oran sabitinin etkisi [13]

K 1'den büyük olduğunda ise oran sabitinin, yüzey sıcaklık dağılımındaki etkisi o kadar yüksek değildir. Şekil 1.6'da kumaş malzemesinin, kuruması sürecinde yüzey ve merkez sıcaklık değişimi verilmiştir. Yüzey ve merkezdeki nem içeriğinin farklı olmasından dolayı, yüzey sıcaklığı ve merkez sıcaklığı arasında fark mevcuttur. Kumaş yüzeyden kurumaya başlar ve içerideki nem kumaşın yüzeyine doğru aktarılır. Ardından kumaşın kuruması esnasında nem içeriği azalır. Bundan sonra yüzey ve merkez sıcaklıkları dış hava sıcaklığına erişmek üzere birbirlerine yakınsar.



Şekil 1.6. Kumaşın yüzey ve merkez sıcaklık değişimi [13]

Kumaş malzemesinin yüzeyindeki ve merkezindeki nem değişiklikleri Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Kuruma sürecinin başlangıcında, yüzeydeki nem içeriği hızla düşer. Merkezdeki nem içeriği ise kısa bir süre için sabit kalır. Bir süre sonra yüzey ile kumaşın iç kısmındaki nem içeriği farkı büyüdüğü için merkezden yüzeye doğru nem aktarımı gerçekleşir ve merkezdeki nem içeriği hızla azalır. Kurumadan sonra hem merkezdeki hem de yüzeydeki nem içerikleri dış havadaki nem içeriğine ulaşmak üzere birbirlerine yakınsarlar.



Şekil 1.7. Kumaşın yüzeydeki ve merkezindeki nem değişiklikleri [13]

1.4. Kaynak Özetleri

A. Kaya [1], kurutmada ısı ve kütle transferini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Teorik çalışma kapsamında; dikdörtgen, silindir ve küre şekilli gıda ürünlerinin kurumasını karakterize eden ısı ve kütle transferi denklemlerini teorik olarak çözmüştür. Deneysel çalışma kapsamında, test bölgesi yatay ve düşey olmak üzere iki farklı taşıyım kurutucuda, kurutma havası hızı, sıcaklığı ve bağıl neminin, kivi ve taflanın kuruma davranışı üzerine etkisini incelemiştir.

U. Akyol [2], boyanmış iplik bobinlerinin sıcak hava ile kurutulması işlemine ait teorik bir çalışma yapmıştır. İplik bobininin kurutulması prosesi için ortaya konulan matematiksel modele ait problemin çözümüne geçmeden önce, çözüm hassaslığına tesir edebilecek bazı faktörleri incelemek amacıyla bir invers ısı transferi problemi çözmüştür. Daha sonra kurutulan yün iplik bobini için literatürden alınan deneysel

sonuçları kullanarak, sonlu farklar şemasının kullanıldığı doğrudan yöntemle invers (ters) ısı transferi problemini çözmüş, böylece iplik bobininin termofiziksel özelliklerini belirlemiştir. İvers problemin çözümü sonucu belirlenen termofiziksel özelliklerin doğruluğunu ise elde edilen model sıcakları ile kontrol etmiştir.

A. Güngör, N. Özbalta [3], çalışmalarında endüstride kullanılan kurutucuların sınıflandırılması, seçimine etki eden parametreler, kurutma sistemlerinde kütle ve enerji dengeleri, kurutma hızının belirlenmesi, malzemenin nem içeriğinin saptanmasını incelemiş ve kurutma sistemlerinde enerji tasarrufu ie kurutucu tasarımında dikkate alınması gereken önemli noktaları vermişlerdir.

R.T. Oğulata, F. Doba Kadem ve E. Koç [4], çalışmalarında ülkemiz sanayisinde önemli bir yere sahip olması nedeniyle tekstil endüstrisinde, esas kurutma işleminin nasıl gerçekleştiği ve genel olarak kullanılan kurutma yöntem ve makineleri üzerinde durmuşlardır. Özellikle tekstilde yaygın kullanılan kurutma makinelerinden gergili kurutma makineleri, taşıma bandlı kurutucular ve yüksek frekanslı kurutucuların tanıtılmasını yapmışlardır.

M. Kayabaşı [5], çalışmasında çamaşır kurutma makineleri açısından enerji tüketimi ve su toplama verimini doğrudan etkileyen yoğuşturucu üzerine çalışmıştır. Yapılan kabuller ışığında yoğuşturucu ait kurutma havası akış kanalı için matematik model oluşturmuştur. Korunum denklemleri uygun sınır şartları ve hız profilleri kullanılarak integral forma dönüştürülmüş ve sayısal olarak çözmüştür. Sayısal çözümden yoğuşturucu kanalı içerisinde yoğuşan sıvı filmi kalınlığını hesaplamıştır. Ayrıca giriş şartları değiştirilerek yoğuşan sıvı filmi kalınlığına olan etkilerini araştırmıştır. Son olarak, verilen çalışma şartları ve seçilen kanat geometrisi için örnek bir yoğuşturucu tasarımı yapmış, yapılan tasarım hesabında matematik modelden elde edilen sıvı filmi kalınlığı da ısıl direnç olarak hesaba katmıştır.

G. Huelsz, L. Urbiola-Soto, F. López-Alquicira, R. Rechtman, G. Hernández-Cruz [6], çalışmalarında bacalı elektrikli çamaşır kurutucusu için toplam enerji dengesi metodu geliştirmişler ve deneysel metodoloji ile hesaplama detaylarını sunmuşlardır. Yükteki suyun buharlaşması için gerekli olan enerji; suyun, kumaşın ve kurutucunun

ısıtılması için gereken enerji; taşınım ve ışınlım yoluyla enerji kaybı ve süreçte kullanılmayan enerji, toplam enerji çıktısını hesaplamak için göz önüne alınmışlardır. Bu yöntemi evlerde kullanılan bir bacalı elektrikli kurutucuya uygulanmışlardır. Yöntemin sağladığı sonuçlar iyileştirme yapılacak alanları ortaya koymuş ve kurutucuda değişiklikler yapmışlardır. Yöntemi değişiklik yapılan kurutucu koşullarına da uygulanmışlardır. Her kurutucu için beş adet enerji testi yapmışlardır. Ölçülen toplam girdi enerjisi ve hesaplanan toplam çıktı enerjisi arasındaki fark %1.7, azami fark ise %2.6'dır. Bu sonuç geliştirilen yöntemin hassasiyetini göstermektedir. Değişiklik yapılan kurutucu, kabindeki hava girişinde bulunan elektrik rezistanslarının konumlandırılmasında değişiklikler yapılan ve elektrik rezistanslara sağlanan güçte azaltma yapılan aynı referans kurutucudur. Sonuçlar yapılan değişikliklerin enerji tüketiminde %10,8'lik bir düşüş sağladığını, yalnızca kurutma süresinde 0,8 dakikalık bir uzamanın olduğunu göstermektedir. Referans kurutucunun verimliliği $63,1 \pm 0,7$ iken değişiklik yapılmış kurutucunun verimliliği $68,1 \pm 0,6$ olmuştur. Referans kurutucunun nem çıkarım oranı $7.34 \pm 0.07 \text{ kWh/kg}$ iken değişiklik yapılmış kurutucuda aynı değeri $6.94 \pm 0.02 \text{ kWh/kg}$ olarak bulmuşlardır.

P. Demirbaş [7], çalışmasında ısı pompası destekli bir çamaşır kurutucusunda farklı zaman ve ağırlık parametrelerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Isı pompalı kurutucuda kurutucunun değişik nem ve sıcaklık değerlerindeki verimini yapılan deneylerle incelemiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kurutucunun elektrik harcamı, belirli zaman aralıklarındaki kütle kayıpları, kurutma havasının nem ve sıcaklık değerleri veri toplayıcı (data logger) tarafından bilgisayara otomatik olarak kaydetmiştir. Elde edilen değerleri, tabloları ve grafikleri, sonuç kısmında vermiştir. Deneysel çalışmaları göstermiştir ki, ısı pompası uygulamaları çamaşır kurutmada enerji tüketiminde önemli tasarruflar sağlamakta olup firmalarımızın Ar-Ge çalışmalarında ısı pompalı çamaşır kurutma teknolojisine yönelmeleri önemli enerji tasarrufları sağlayacağı sonucuna varmıştır.

M. Durmuş, K. Bilen, İ. Uzun [8], çalışmalarında farklı kuru tekstil kütlelerinde ve bu tekstilin farklı nemlendirilme oranlarında kurutma havası debisi değişiminin ısı pompalı kurutucu performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan 36

adet deneyden her biri için belirli zaman aralıkları sonunda, soğutucu akışkan tarafındaki sıcaklık değerleri ile kurutma havası tarafındaki bağıl nem ve sıcaklık değerleri veri toplama sistemi aracılığıyla kaydetmişlerdir. Ayrıca; her bir deney için deneylerin sonunda, uzaklaştırılan nem kütlesi ve makinenin harcadığı enerjiyi tespit etmişlerdir. Deneysel veriler kullanılarak oluşturulan grafikleri son bölümde yorumlayarak vermişler ve son olarak, belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak bütün deneyler için hata analizi yapmışlardır.

P. Bansal, S. Islam, K. Sharma [9], çalışmalarında yeni bir ev tipi tamburlu çamaşır kurutucusu tasarımının fizibilitasını incelemişler; bu tasarımda standart tamburlu çamaşır kurutucusu A'nın (bacalı çamaşır kurutucusu) tambur girişine su-hava arasında ısı geçişini sağlayan kanatlı boru tipi ısı eşanjörü (Kurutucu B) ile değiştirilmiştir. Çalışmalarında iki kurutucunun (A ve B kurutucuları) deneysel performansları aynı işlem koşulları altında değerlendirilmiştir. Değiştirilen B kurutucusunun kurutma süresi, aynı güç girişinde 15 – 18 dakika daha kısa sürmüştür ve bu durum geleneksel kurutucudan (A kurutucusundan) önemli ölçüde daha verimli (yaklaşık %11 oranında) olduğu sonucuna varmışlardır. Bu kurutucu tipi gelecekte endüstri tarafından daha düşük maliyet, daha yüksek enerji verimliliği ve çevreye sağladığı faydalar için kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

I. Tarakçıoğlu ve A. Cay [10], çalışmalarında vakumla çekme ve ısı taşınımı kurutma yöntemlerini kombine eden yeni bir kumaş kurutma yöntemini ortaya koymuşlardır. Bu yeni yöntem ısı enerjisi ve mekanik kuvvetlerin sinerji etkisinden dolayı hızlı bir kurutma sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu pamuklu kumaşlarda vakumlu uygulama yoluyla %30-35 oranında ön kurutma elde edilebildiğini bildirmişlerdir. Vakumla çekme esnasında sıcak hava ya da yüksek derecede ısıtılmış buhar, oda sıcaklığındaki havanın yerine vakum olarak uygulanmakta ve şoklu ön kurutma olarak adlandırılmaktadır. Pamuklu kumaşlara yapılan vakumlu uygulama ve şoklu ön kurutma 1 ve 30 m min⁻¹ arasındaki farklı çalışma hızlarında gerçekleştirilmiştir ve kurutma etkileri karşılaştırılmıştır. Şoklu ön kurutma yöntemiyle 1/3 veya daha kısa sürede verimli ön kurutma elde etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. Yöntemin suyu yok etme verimliliği temel olarak, çalışma hızına ve sıcak hava ya da yüksek derecede ısıtılmış buhar sıcaklığına bağlı olduğunu

vurgulamışlardır. Tekstil sanayinin yanında bu teknik kağıt üretiminde de önem kazanmış ve vakumlu su alım tekniği olarak adlandırılmıştır. Vakumlu yöntem bağlı bulunan suyu mekanik olarak gidermek üzere kullanılmaktadır. Vakumlu uygulamanın temel ilkesi, kumaş, ağızlığın dar kısmından geçerken havanın yüksek hızda kumaştan geçmesine bağlıdır. Hava akışı, vakumlu ağızlığa bağlı olan vakum pompasından gelmektedir. Bu teknik kumaşın gözeneklerinde yüksek hızlı bir hava akışı meydana getirir ve burada oluşan kuvvetler kumaş yüzeyinden suyun ayrılmasını sağlar. Hava ıslak kumaştan geçerken mekanik kuvvetlerle bağlı olan suyu söker. Çalışmalarının sonuç kısmında elde edilen ana noktaları sıralayarak vermişlerdir ve bu yeni yöntemin ticarileştirilmesi enerji kullanımının ve nihai olarak tekstil üretim maliyetlerinin düşürülmesinde kullanışlı olabileceği kararına varmışlardır.

B. Das, A. Das, V.K. Kothari, R. Fanguiero, M. de Araújo [11], iki bölümden oluşan çalışmalarının birinci bölümünde tekstil materyallerinde nem aktarımına açıklamışlar ve nem aktarımında meydana gelen süreçler ile konforun sürdürülmesinde rol oynayan kilit faktörleri tartışmışlardır. Nem aktarımında önemli rol oynayan süreçlerin kumaşın nem içeriğine, kullanılan materyalin türüne, terleme oranına ve rutubet, sıcaklık ve rüzgâr hızı gibi hava koşullarına bağlı olduğunun altını çizmişlerdir. Çalışmalarının ikinci bölümünde ise, konforu etkileyen kumaş faktörlerinin belirlenmesinde çok önemli olan ölçüm tekniklerinin seçiminden bahsetmektedirler. Ayrıca çeşitli bilim insanları tarafından geliştirilen, kumaşlarda sıvı ve buhar aktarımına dair matematiksel modellere de değinmişlerdir.

H. Doğan [12], çalışmasında kurutma süresini kısaltmak ve kurutulacak materyalin, güneş ışınlarının doğrudan etkisine maruz kalmasını önlemek amacıyla prototip bir kurutma sistemi geliştirmiştir. Hava ilk önce soğuk bir yüzeyden geçirilerek içindeki nem yoğunlaştırılmış, daha sonra düşük sıcaklıktaki hava bir güneş kollektöründen geçirilerek sıcaklığı, dolayısıyla nem alma kabiliyeti arttırılmıştır. Böylece sistem içerisinde gölgede kurutulan ürünler, kuru ve sıcak hava etkisiyle daha çabuk kurdukları gibi, güneşin de radyasyon etkisinden korundukları için renk olarak daha canlı durduğunu gözlemlemiştir.

Bu yüksek lisans çalışmasında; tekstil malzemelerinde kuruma süreçleri, çamaşır ve tekstil kurutma makineleri ile ısı ve kütle transferi hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Deneysel çalışmalarda, kurutma kabini iç basıncını düşük değerlere çekerek, doğal taşınım şartlarında kurutma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, ısı-kütle transferi arasındaki benzeşim eşitlikleri ve deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak kütle taşınım hesaplamaları yapılmış ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. ÇAMAŞIR VE TEKSTİL KURUTMA MAKİNELERİ

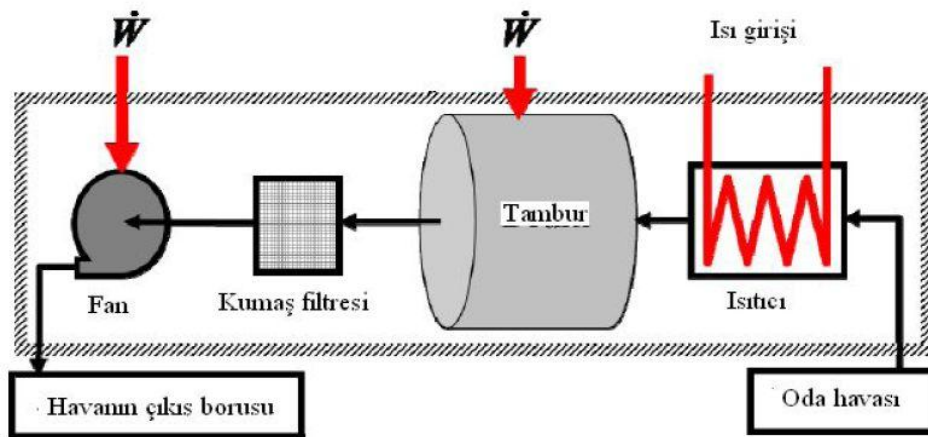
2.1. Çamaşır Kurutma Makineleri ve Çalışma Sistemleri

Çamaşır kurutma makineleri, çamaşırlar yıkandıktan sonra çamaşırlarda bulunan nemi istenilen seviyeye kadar azaltan, yani kurutma işleminin kontrollü yapılmasını sağlayan ve bu işlemi geleneksel kurutma işlemlerine göre daha hızlı gerçekleştiren elektrikli ev aletleridir [5].

Piyasada üç tip çamaşır kurutucu vardır. Bunlar: bacalı, yoğuşturuculu ve ısı pompalı kurutuculardır.

2.1.1. Bacalı Kurutma Makineleri

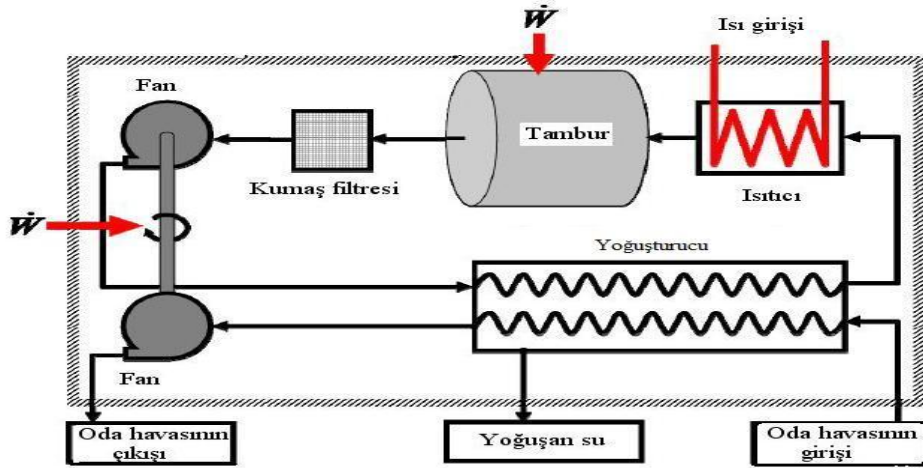
Şekil 2.1'de bacalı çamaşır kurutucusunun çalışma şeması verilmiştir. Bacalı kurutucuda çamaşırı kurutmak için kullanılan hava ortamdan alınır, ısıtıcıda ısıtılan hava tambura verilir, çamaşırın nemi alınır ve en son olarak hava ortama geri verilir.



Şekil 2.1. Bacalı çamaşır kurutucusunun çalışma şeması [7]

2.1.2. Yoğuşturuculu Kurutucular

Şekil 2.2'de yoğuşturuculu çamaşır kurutucusunun çalışma şeması verilmiştir. Bacalı kurutucudaki dış hava çıkış yeri ihtiyacını önlemek için bir yoğuşturucu sistemi kullanılmıştır. Bacalı kurutucu ile yoğuşturuculu kurutucu arasındaki ana fark, tüm kurutma sistemi boyunca aynı havanın çamaşırını kurutmak için kullanılmasıdır. Çamaşırını kurutmak için kullanılan hava kapalı çevrim içinde dolaşır. Isıtıcılardan geçen hava tambura verilir, çamaşırın nemi alınır. Hava filtreden geçtikten sonra yoğuşturucuya gelir ve havanın aldığı nem burada yoğuşur. Hava yeniden ısıtılır, sürekli bir hava çevrimiyle çamaşırlar kurutulmuş olur. Yoğuşma hava soğutması ile gerçekleştirilir. Bu durumda ikinci bir fan, yoğuşturucu içinde hava akımını sağlar. Soğutucu havasıyla, kurutucu hava arasındaki sıcaklık farkı, su buharının yoğuşmasını sağlar. Yoğuşan su bir haznede toplanarak boşaltma gözüne iletilir.

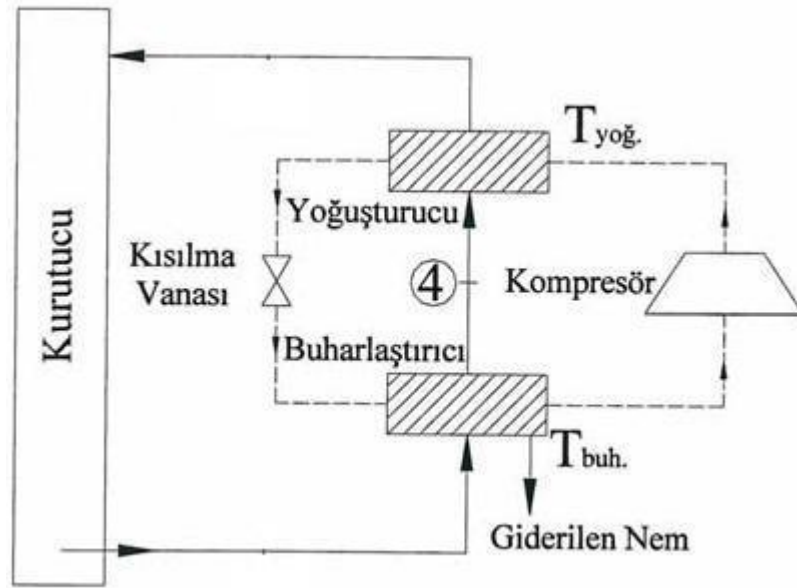


Şekil 2.2. Yoğuşturuculu çamaşır kurutucusunun çalışma şeması [7]

2.1.3. Isı Pompalı Kurutucu

Şekil 2.3'de ısı pompalı çamaşır kurutucusunun çalışma şeması verilmiştir. Isı pompalı çamaşır kurutma makinelerini diğerlerinden ayıran en büyük fark, diğer kurutucularda mevcut olan ve enerji tüketiminin artmasında önemli bir rol oynayan

ısıtıcının, ısı pompalı kurutucuda olmamasıdır. Bu makinelerde gerçek anlamda enerji tasarrufu olmaktadır. Isı pompalı çamaşır kurutma makinesi, kurutma havasından nemi uzaklaştıran kapalı devreli bir kurutma sistemidir. Isı pompalı çamaşır kurutma makinesinde ilk önce, tamburdan gelen nemli hava, evaporatör borularının üzerinden geçerek içerisindeki nem yoğunlaşır. Böylece hava, ısını ve nemini buharlaştırıcının üzerine bırakarak yoğunlaştırucuya geçer. Kurutma havası yoğunlaştırucudan geçerken ısınır. Isınmış olan hava, bir fan yardımıyla tamburun içine üflenir. Tamburun hareketiyle nemli tekstil ile temas eden sıcak hava, tekstil içerisindeki nemin buharlaşmasını sağlar, böylece hava tekrar nemlenir. Tamburdan gelen nemli hava, kanaldan buharlaştırıcıya geçer. Kurutma işlemi süresince bu olaylar sürekli olarak tekrarlanır. Isı pompalı çamaşır kurutma makinesinde dolaşan havanın sıcaklığının diğer kurutuculara göre düşük olmasından dolayı kurutulan tekstil, bunlarda zarar görmez [8].



Şekil 2.3. Isı pompalı çamaşır kurutucusunun çalışma şeması [8]

2.2. Tekstil Ürünlerinde Kurutma

Esas kurutma, ısı transferi oluş biçimine göre taşınım (konveksiyon), iletimle (kondüksiyon), ışınım (radyasyon) ve yüksek frekansla kurutma olmak üzere başlıca dört farklı biçimde gerçekleştirilmektedir [4].

2.2.1. Taşınım Kurutma

Taşınım kurutmanın prensibi, ısıtılmış ve nem içeriği az olan havanın, kurutulacak nemli tekstil mamulü ile çeşitli şekilde irtibatlandırılarak kurutulmasıdır.

2.2.2. İletim Kurutma

Ürünün, buhar veya kızgın yağ ile ısıtılmış silindir veya levhalarla teması sağlanarak ürün bünyesindeki suyun buharlaşması ile kurutma gerçekleşmektedir.

2.2.3. Işınım Kurutma

Yüksek sıcaklıkta bulunan yüzeyden nemli tekstil malzemesine ısının elektromanyetik dalgalar şeklinde transferi ile gerçekleşen ışınım kurutma yönteminde, iki tarafında ışınlayıcıların olduğu dikey bir kanal içerisinde ürünün geçirilerek kurutulması sağlanmaktadır.

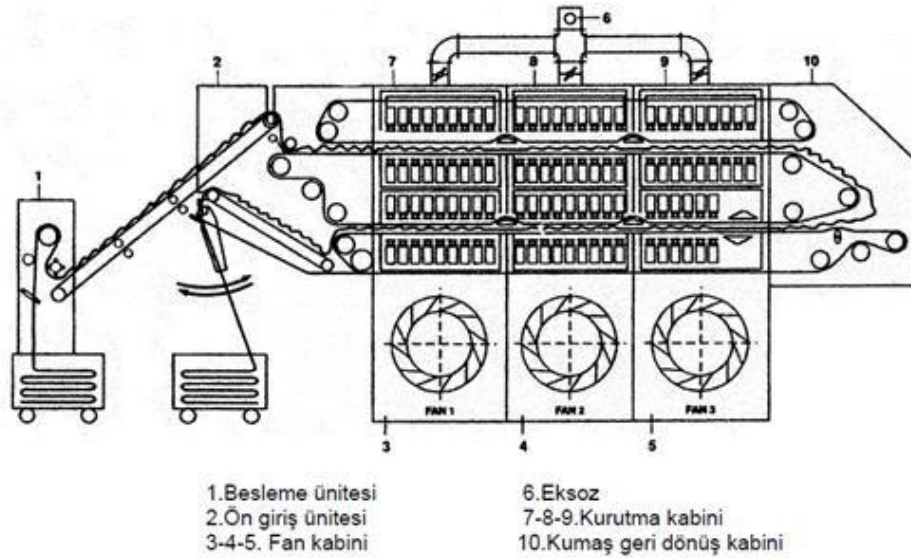
2.2.4. Yüksek Frekansla Kurutma

Bu kurutma yönteminde kurutulacak tekstil malzemesine dışarıdan ısı transferi yapılmamaktadır. Yağ tekstil malzemesinin yüksek frekanslı alternatif akıma bağlı iki kondansatör levhası arasından geçirilmesi ile kurutma işlemi yapılmaktadır. Bu durumda yüksek frekanslı alternatif akımdan ötürü kondansatör levhalarının yükü

sürekli olarak değiştiğinden, mamul içindeki su moleküllerinin de yeri sürekli değişmektedir. Bunun sonucunda su moleküllerinin sürtünmeleri nedeniyle meydana gelen ısı, ürün üzerindeki suyun buharlaşmasını sağlamaktadır.

2.2.5. Taşıma Bantlı Kurutucular

Taşıma bantlı kurutucular, taşınım ile kurutma prensibine göre çalışan, germeli kurutmanın yapılmadığı, hassas yüzeyli kumaşların özellikle örme mamullerin kurutulmasında kullanılan kurutma makineleridir. Kumaş, kurutucu içerisinde sonsuz bir taşıma bandı ile taşınmakta olup, serbest halde açma silindiri ile kurutucuya beslenmektedir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, kumaşın kurutulması 3 ayrı kabinde buharlama ile yumuşatılarak gerçekleştirilmekte ve böylece mamule istenilen tutum verilebilmektedir. Taşıma bantlı kurutucuda kumaş, taşıma bandı üzerinden nakledilirken alt ve üst yüzeylerinden düzelerle basınçlı ısıtılmış hava püskürtülmekte ve oluşan hava akımı arasında kumaş periyodik kavisler oluşturmaktadır.



Şekil 2.4. Taşıma bantlı kurutucu [4]

2.2.6. Radyo Frekanslı Kurutucular

Şekil 2.5’de Radyofrekanslı kurutma makinesi verilmiştir. Bu makineler, hacimli tekstil mamullerinin üniform bir biçimde kısa sürede ve istenilen nem oranına uygun olarak kurutulabildiği, açık elyaf, tops, çile, bobin ve hazır giyim ürünlerinin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan kurutma makineleridir. Kurutmanın ekonomik olabilmesi için ürünün üzerindeki serbest su, ön kurutma ile uzaklaştırılarak radyofrekanslı (RF) kurutucuda esas kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Çizelge 2.1. ‘de görüldüğü gibi tekstil ürünleri kısa sürede üniform bir biçimde kuruyabilmektedir. Klasik kurutma makinelerinde bu süre oldukça uzun olup, uzun kurutma süresi hem kurutma verimliliğini azaltmakta hem de mamul kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Temel olarak bir RF kurutucu jeneratör, kurutma odası, soğutma fanı ve kontrol panelinden oluşmaktadır.



Şekil 2.5. Radyofrekanslı kurutma makinesi [4]

Çizelge 2.1. RF kurutucuda bazı tekstil ürünlerinin kurutma süreleri [4]

Tekstil Ürünü	Kurutma Süresi (dak.)
Akrilik ve polyester	10-20
Yün Karışımları	15-25
Yün	20-30
Pamuk	30-45
Viskoz rayon	35-40

RF sistemlerinde kurutulacak ürünler kurutma kabini içerisindeki elektrotlara temas edilerek ısıtılabilirdiği gibi bir taşıma bandı üzerinde taşınarak elektrotlara değmeden de ısıtılabilir. Şekil 2.6'da taşıma bantlı radyofrekans kurutucu verilmiştir. Bu tip sistemlerde taşıma bandı, hızı değiştirilebilen sonsuz bir banttandır ve bantla elektrot arasındaki hava boşluğu minimumda tutulmaktadır. Taşıma bantlı RF kurutucularda, tekstil materyali, taşıma bandı üzerinden kurutucu içerisindeki elektrik alanına sevk edilmekte ve buradaki kutupsallığın değişimi su moleküllerinde aynı frekansla titreşimine neden olmaktadır. Su moleküllerinin sürtünmeleri nedeniyle meydana gelen ısı, ürün bünyesindeki suyu buharlaştırmakta ve soğutma fanı yardımıyla ürün üzerinden buharın uzaklaştırılması neticesinde tekstil materyali kurutulmaktadır.



Şekil 2.6. Taşıma bantlı radyofrekanslı kurutma makinesi [4]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Isı Transferi

Isı transferinin olması için temel gereklilik bir sıcaklık farkının olmasıdır. Aynı sıcaklıktaki iki ortam arasında net ısı transferi olmaz. Belirli bir yöndeki ısı transfer hızı, o yöndeki sıcaklık basamağının (birim uzunluk başına sıcaklık farkı) büyüklüğüne bağlıdır. Sıcaklık basamağı ne kadar büyükse, ısı transfer hızı o kadar büyük olur. Isı transferini üç temel mekanizması bulunmaktadır. Bunlar; iletimle, taşınım ve ışınım ile ısı transferidir.

3.1.1. İletimle Isı Transferi

Isı iletimi, ısı enerjisinin bir ortamdaki yüksek enerjili parçacıklardan bitişiklerindeki daha az enerjili parçacıklara transferi olarak tanımlanır. Isı iletimi, Fourier ısı iletimi kanunu ile ifade edilir. Fourier ısı iletim kanunu, ortam içindeki sıcaklık farkı ve ısı transfer doğrultusuna dik alan ile doğru, o doğrultudaki uzaklıkla ters orantılıdır ve tek boyutlu olarak denklem 3.1 ile ifade edilir:

$$\dot{Q} = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (3.1)$$

Burada \dot{Q} ısı transfer hızı, k malzemenin ısı iletim katsayısı, A ısı transferi doğrultusuna dik alan, $\left(\frac{dT}{dx} \right)$ ise sıcaklık eğrisinin eğimi olan sıcaklık basamağıdır.

3.1.2. Taşınım ile Isı Transferi

Taşınım ısı transferi, Newton'un soğuma kanunu ile ifade edilir:

$$\dot{Q} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de \dot{Q} ısı transfer hızı, h taşınım ısı transfer katsayısı, A_s ısı transferini gerçekleştiği yüzey alanı, T_s yüzey sıcaklığı, T_∞ ise serbest akım sıcaklığıdır.

3.1.3. Işınlama Isı Transferi

Isıl ışınlama, bir maddenin molekül, atom ve elektronlarının enerji değiştirmesinin bir sonucu olarak elektromanyetik dalga şeklinde yayılır. Işınlama enerjisi, siyah cisim ışıma akısı E_b olarak bilinir ve Stefan-Boltzmann kanunuyla denklem 3.3 ile ifade edilir:

$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (3.3)$$

Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti, T ise K biriminde sıcaklığı ifade eder.

3.2. Kütle Transferi

Kütle transferi bir kimyasal bileşenin yüksek derişimli bir bölgeden düşük derişimli bir bölgeye doğru, ortamda bulunan diğer kimyasal bileşenlere göre hareketidir. Isı ve kütle transferi birbirine benzer ve aralarında birçok paralellikler çıkarılabilir. İtici güç ısı transferinde sıcaklık farkı, kütle transferinde ise derişim farkıdır. Kütle yayılımındaki Fick kanunu ile ısı transferindeki Fourier kanunu aynı biçimdedir. Homojen reaksiyonlar sebebiyle bir ortamda meydana gelen bileşen üretimi ısı üretimine benzer. Ayrıca yığın akışkan hareketi sebebiyle olan kütle taşınımı ısı taşınımının benzeridir. Sabit yüzey sıcaklığı yüzeyde sabit derişime, yalıtımlı duvar ise geçirgen olmayan duvara karşılık gelir. Isıl ışınlamadan farklı olarak, kütle ışınlama yoktur.

Fick yayılım kanunu denklem 3.4 ile ifade edilir:

$$\dot{m}_{\text{yayınım}} = -D_{AB}A(dC_A/dx) \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'de $\dot{m}_{yayınım}$ kütle yayılım hızı, D_{AB} kütle yayılım katsayısı, A kütle yayılımının gerçekleştiği alan, C_A değeri o yerde karışımdaki bileşen derişimidir. Fick kanunu; bir gaz karışımı (veya sıvı ya da katı çözeltisi) içinde bir yerdeki bir kimyasal bileşenin yayılım hızının, o bileşenin o yerdeki derişim basamağı ile doğru orantılı olduğunu söyler. Aynı zamanda Fick yayılım kanunu kütle ve mol esaslı olarak da yazılabilir.

Kütle esaslı olarak (ρ =sabit ise) $\dot{m}_{yayınım}$ denklem 3.5 ile ifade edilir:

$$\dot{m}_{yayınım} = - \rho A D_{AB} (dw_A/dx) = - \rho A D_{AB} [d(\rho_A/\rho)/dx] = - A D_{AB} (d\rho_A/dx) \quad (3.5)$$

Burada w_A , A bileşenin kütle kesridir ve A bileşenin kısmi yoğunluğunun, karışımın toplam yoğunluğuna oranıdır.

Mol esaslı olarak (C =sabit ise) $\dot{N}_{yayınım}$ denklem 3.6 ile ifade edilir:

$$\dot{N}_{yayınım} = - C A D_{AB} (dy_A/dx) = - C A D_{AB} [d(C_A/C)/dx] = - A D_{AB} (dC_A/dx) \quad (3.6)$$

Burada $\dot{N}_{yayınım}$ molar yayılım hızı, y_A , A bileşenin mol kesridir ve A bileşenin kısmi molar derişiminin, karışımın toplam molar derişimine oranıdır.

3.3. Psikrometrik Tanımlar

Atmosfer içindeki hava bir miktar su buharı içerir ve bu nedenle atmosferik hava diye adlandırılır. İçinde su buharı bulunmayan hava ise kuru hava diye adlandırılır. Atmosferik hava basıncı, kuru havanın ve su buharının kısmi basınçları toplamı olan ideal bir gaz karışımı olarak incelenebilir.

İdeal gaz denklemi denklem 3.7 ile ifade edilir:

$$PV=RT \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'de P basınç, V hacim, R ideal gaz sabiti ve T ise sıcaklıktır.

Su buharı ve kuru hava için ideal gaz denklemleri, denklem 3.8 ve denklem 3.9 ile ifade edilir:

$$P_v V = R_v T \quad (3.8)$$

Burada P_v su buharının kısmi basıncı, R_v su buharının ideal gaz sabitidir.

$$P_a V = R_a T \quad (3.9)$$

Burada P_a kuru havanın kısmi basıncı, R_a ise havanın gaz sabitidir.

3.4. Havanın Özgül Nemi ve Bağlı Nemi

Birim kuru hava kütlelerine eşlik eden su buharı kütlelerine özgül nem denir ve ω ile gösterilir. Havanın içerdiği su buharı miktarının, aynı sıcaklıktaki havada bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranına bağlı nem denir ve ϕ ile gösterilir.

$$\omega = m_v/m_a \quad (3.10)$$

Burada ω özgül nem, m_v ve m_a ise sırasıyla su buharı ve kuru havanın kütleleridir.

$$\phi = m_v/m_g \quad (3.11)$$

$$\omega = m_v/m_a = [(P_v V)/(R_v T)] / [(P_a V)/(R_a T)] = (P_v/R_v) / (P_a/R_a) = 0.622(P_v/P_a) \quad (3.12)$$

$$P_a = P - P_v \quad (3.13)$$

Burada P_a kuru havanın kısmi basıncı, P toplam basınç, P_v ise su buharının kısmi basıncıdır.

$$\omega=(0.622P_v)/(P-P_v) \quad (3.14)$$

$$\phi=m_v/m_g=[(P_vV)/(R_vT)]/[(P_gV)/(R_gT)]=P_v/P_g \quad (3.15)$$

Denklemler birleştirilirse:

$$\phi=(\omega P)/[(0.622+\omega)P_g] \quad (3.16)$$

$$\omega=(0.622\phi P_g)/(P-\phi P_g) \quad (3.17)$$

ifadesi elde edilir.

3.5. Isı-Kütle Transferi Arasındaki Benzeşim ve İlgili Formüller

Bu bölümde, bu yüksek lisans çalışması kapsamında yapılan deneylerde kullanılan numuneler yatay bir plaka olarak düşünülmüş ve yatay bir plakanın üst yüzeyi için doğal taşınım ile ısı ve kütle transfer bağıntıları verilmiştir. Isı taşınımında kullanılan Nu sayısı, kütle transferinde Sh sayısı olarak, ısı transferindeki Pr sayısı, kütle transferinde Sc sayısı olarak kullanılır. Çizelge 3.1'de ısı taşınımı ve kütle taşınımının formülasyonu ve çözümünde ortaya çıkan nicelikler arasındaki benzeşimler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Isı taşınımı ve kütle taşınımının formülasyonu ve çözümünde ortaya çıkan nicelikler arasındaki benzeşim [14]

Isı taşınımı	Kütle taşınımı
T	C, y, ρ, w
$h_{\text{taşınım}}$	$h_{\text{kütle}}$
$\delta_{\text{ısı}}$	$\delta_{\text{değişim}}$
$Re = \frac{VL_c}{\nu}$	$Re = \frac{VL_c}{\nu}$
$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2}$	$Gr = \frac{g(\rho_\infty - \rho_s)L_c^3}{\rho\nu^2}$
$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$
$St = \frac{h_{\text{taşınım}}}{\rho V c_p}$	$St_{\text{kütle}} = \frac{h_{\text{kütle}}}{V}$
$Nu = \frac{h_{\text{taşınım}}L_c}{k}$	$Sh = \frac{h_{\text{kütle}}L_c}{D_{AB}}$
$Nu = f(Re, Pr)$	$Sh = f(Re, Sc)$
$Nu = f(Gr, Pr)$	$Sh = f(Gr, Pr)$

Hesaplamlarda kullanılacak bağıl nem değerleri, deneyler sonunda ölçülen maksimum ve minimum bağıl nem değerlerinin aritmetik ortalamaları olarak alınacaktır. Aynı şekilde hesaplamalarda kullanılacak sıcaklık değerleri de, deneyler sonunda ölçülen maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamaları olacaktır. Eşitlik olarak yazmak gerekirse bağıl nem ve sıcaklık için denklem 3.18 ve 3.19 kullanılacaktır.

$$\phi = (\phi_{\text{max}} + \phi_{\text{min}}) / 2 \quad (3.18)$$

$$T = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2 \quad (3.19)$$

T ve ϕ değerlerinin sabit kaldığı varsayımı yapılarak hesaplamalara geçilecektir. Doğal taşınımında, yatay bir plakanın üst yüzeyi için ısı taşınım formülü denklem 3.20'de verilmiştir.

$$Nu=0.54(GrSc)^{1/4}, 10^4 < GrSc < 10^7 \quad (3.20)$$

Tüm GrSc değerleri, $10^4 < GrSc < 10^7$ aralığındadır. Benzer olarak doğal taşınımında, yatay bir plakanın üst yüzeyi için kütle taşınım formülü denklem 3.21 ile ifade edilir:

$$Sh=0.54(GrSc)^{1/4}, 10^4 < GrSc < 10^7 \quad (3.21)$$

Burada Gr Grashof sayısı, Sc Schmidt sayısı ve Sh Sherwood sayısıdır.

$$Gr=[g(\rho_{\infty}-\rho_s)L_c^3]/\rho v^2 \quad (3.22)$$

Burada g, yerçekimi ivmesini ifade eder.

$$\rho_{\infty} = \rho_{v,\infty} + \rho_{a,\infty} \quad (3.23)$$

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} \quad (3.24)$$

$$\rho = \rho_s + \rho_{\infty} \quad (3.25)$$

ρ_{∞} ve ρ_s değerleri sırasıyla, numune yüzeyinden uzaktaki karışımın (hava ile su buharı) ve numune yüzeyindeki karışımın (hava ile su buharı) yoğunluğunu ifade etmektedir. ρ ise, ρ_s ve ρ_{∞} değerlerinin toplamını ifade eder.

Yüzeyden uzakta bulunan su buharının yoğunluğu ($\rho_{v,\infty}$) için, yüzeyden uzakta bulunan su buharının kısmi basıncı hesaplanır (denklem 3.26 ile) ve bu basınçtaki su buharının yoğunluğu alınır. Yüzeyde bulunan su buharının yoğunluğu ($\rho_{v,s}$), denklem 3.19 ile hesaplanacak olan sıcaklık değerlerindeki doymuş su buharının yoğunluğudur ve termodinamik tablolardan alınarak hesaplamalara katılacaktır.

$$P_{v,\infty} = \phi P_{v,T} \text{ da doyma} \quad (3.26)$$

Yüzeyden uzakta ve yüzeyde bulunan kuru havanın yoğunlukları ($\rho_{a,\infty}$ ve $\rho_{a,s}$), hava için ideal gaz denklemi kullanılarak hesaplamalara katılacaktır.

$$\rho_{a,\infty} = P_{a,\infty} / (R_a T) \quad (3.27)$$

$$\rho_{a,s} = P_{a,s} / (R_a T) \quad (3.28)$$

Denklem 3.27 ile 3.28’de, R_a havanın üniversal gaz sabitidir, $P_{a,s}$ ile $P_{a,\infty}$ değerleri ise sırasıyla yüzeyde ve yüzeyden uzakta bulunan kuru havanın kısmi basınçlarını ifade eder.

$$P_{a,s} = P - P_{v,s} \quad (3.29)$$

$$P_{a,\infty} = P - P_{v,\infty} \quad (3.30)$$

Burada P toplam basınç (kabin iç basıncı), $P_{v,s}$ ise, T sıcaklığındaki yüzeyde bulunan suyun doyma basıncıdır (yüzeyde hava doymuş halde olduğu için, yüzeyde bulunan su buharının kısmi basıncı, suyun yüzey sıcaklığındaki doyma basıncına eşittir). $P_{v,\infty}$ ise denklem 3.26 ile hesaplanacaktır.

L_c ifadesi, karakteristik uzunluğu ifade eder ve denklem 3.31 ile ifade edilir:

$$L_c = A_s / p \quad (3.31)$$

Burada A_s yüzey alanını, p ise çevreyi ifade eder.

ν havanın kinematik viskozitesini ifade eder ve denklem 3.32 ile ifade edilir:

$$\nu = \nu_{a,T} / P \quad (3.32)$$

Burada $\nu_{a,T}$, havanın T sıcaklığındaki kinematik viskozitesi, P ise toplam basıncın (kabin iç basıncının) atm cinsinden değeridir.

Denklem 3.21’de verilen Sc sayısı denklem 3.33 ile ifade edilir:

$$Sc = \nu / D_{AB} \quad (3.33)$$

Burada D_{AB} hava ile su buharının ikili yayılım katsayısıdır ve denklem 3.34 ile ifade edilir:

$$D_{AB}=1.87(T^{2.072}/P)10^{-7} \quad (3.34)$$

Burada T sıcaklığı K biriminde, P basıncı atm birimindedir. Denklem 3.21 ile verilen Sh sayısı denklem 3.35 ile ifade edilir:

$$Sh=(h_{k\u00fctle}L_c)/ D_{AB} \quad (3.35)$$

Burada $h_{k\u00fctle}$, k\u00fctle ta\u015fınım katsayısıdır.

K\u00fctle ta\u015fınım hızı ise denklem 3.36 ile ifade edilir:

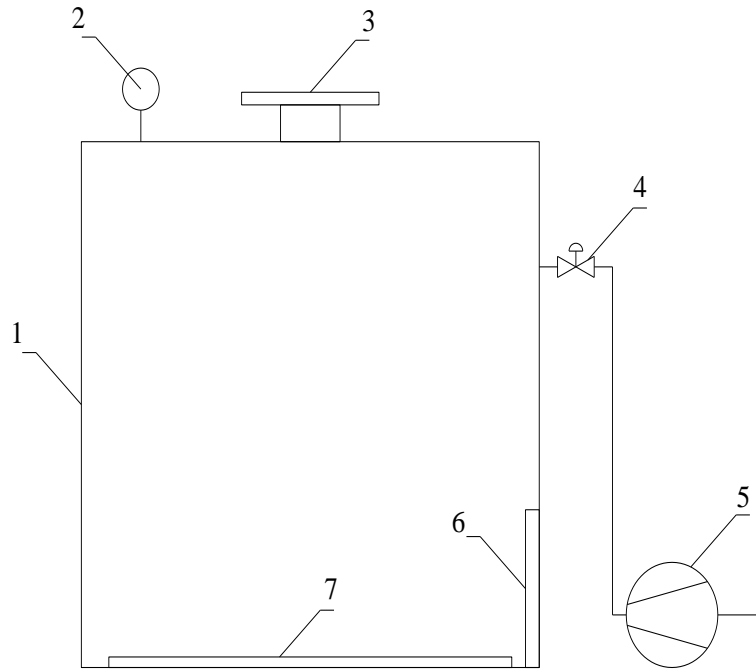
$$\dot{m}=h_{k\u00fctle}A_s(\rho_{v,s}- \rho_{v,\infty}) \quad (3.36)$$

$$\Delta m=\Delta t \dot{m} \quad (3.37)$$

Basıncın artması veya azalması suyun kaynama noktası sıcaklığının artmasına veya azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca basıncın d\u00fc\u015fmesi denklem 3.34 ile ifade edilen D_{AB} ikili yayılım katsayısını arttırmakta ve bu artış denklem 3.35'de bulunan $h_{k\u00fctle}$ ta\u015fınım katsayısını arttırmaktadır. Artan $h_{k\u00fctle}$ ta\u015fınım katsayısı denklem 3.36 ile ifade edilen k\u00fctle ta\u015fınım hızı olan \dot{m} ifadesini arttırmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kullanılmak üzere imal edilen deney düzeneğinin şematik resmi ile deney setinin genel görünümü Şekil 4.1 ile Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu çalışma sistemine göre, kurumaya bırakılacak numunelerle birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı, kurutma kabininin içine konulduktan sonra vakum pompası çalıştırılmış olup, manometre değeri istenilen basınç değerine gelince vakum pompası durdurulmuştur. Tekstil numuneleri doğal taşınım ile kurumaya bırakılmış daha sonra 10’ar dakika aralıklarla numuneler çıkarılıp tartılmış aynı zamanda bağıl nem ile sıcaklık değerleri okunmuştur.



Şekil 4.1. Deney düzeneği şematik resmi

1-Kurutma kabini, 2-Vakum manometresi, 3-Kapak, 4-Vana, 5-Vakum pompası
6-Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı, 7-Numune



Şekil 4.2. Deney seti genel görünümü

4.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

4.1.1. Kurutma Kabini

Deneylerde kullanılmak üzere Şekil 4.3’de gösterilen, 50x50x50 cm boyutlarında bir kabin imal edilmiştir. Sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kaynaklı imalat yapılmış olup, kapak kısmının sızdırmazlığı flanş ile sağlanmıştır. Flanş 8 adet cıvata ile kabine bağlanmıştır. Basınç değerini okumak amacıyla kurutma kabininin üst kısmına mm Hg ve in Hg birimlerinde okuma imkanı sağlayan bir vakum manometresi bağlanmıştır. Manometre ölçek olarak, 0 ile -760 mm Hg, 0 ile -30 in Hg değerlerinde ölçümler yapmaktadır.



Şekil 4.3. Kurutma kabini

4.1.2. Hassas Terazı

Kurutma kabininden alınan numunelerin kütlesini ölçmek amacıyla Şekil 4.4'de gösterilen, maksimum 5000 g kapasiteli ve ± 2 g hassasiyete sahip Oertling marka hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Hassas terazi

4.1.3. Vakum Pompası

Deneysel çalışmada kullanılmak amacıyla Şekil 4.5’de gösterilen, tek kademeli en düşük 5 Pa basınç değeri, 3 m³/h hacimsel debili, 1/4 HP gücünde Artiko marka bir vakum pompası kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Vakum pompası

4.1.4. Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçüm Cihazı

Deneysel çalışmada kullanılmak amacıyla Şekil 4.6’da gösterilen, kurutma kabininin içine deney numuneleriyle birlikte her bir deneyde yerleştirilen, minimum ve maksimum bağıl nem ile sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı cihaz.



Şekil 4.6. Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı

4.2. Deneilerin Yapılmasında İzlenen Yol

Deneilerde ilk olarak kurutma işlemi yapılacak numuneler (havlu) hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra numunelere belirli miktarlarda (10 g) su ilave edilmiştir. Kabin içerisine yatay pozisyonda konulmuş olan numunenin yanına, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı konulmuş ve numune, doğal taşınım ile kurumaya bırakılmıştır. Kabin kapağı kapatılarak vakum pompası, tartım no tek sayı olan ölçümlerde çalıştırılmış, tartım no çift sayı olan ölçümlerde çalıştırılmamıştır. Örneğin 1 nolu deneyde, tartım no 1,3,5,7,9,11 olan ölçümler, 80 kPa basınç değerinde, tartım no 2,4,6,8,10,12 ölçümler ise 93 kPa basınç değerinde gerçekleştirilmiştir.

Sırasıyla deney no 1 80 kPa-93 kPa basınç değerlerinde, deney no 2 75 kPa-93 kPa basınç değerlerinde, deney no 3 67 kPa-93 kPa basınç değerlerinde, deney no 4 ve 5 ise 48 kPa-93 kPa basınç değerlerinde yapılmıştır. İlk dört deney aynı numune ile 5 nolu deney ise ilk dört numuneden daha kalın bir numune ile yapılmıştır.

İlk üç deneyde 12'şer ölçüm, son iki deneyde ise 6'şar ölçüm yapılmıştır. Tüm deneyler, anlatılan bu yolla gerçekleştirilmiştir. Deneilerde böyle bir yolun izlenme

sebebi ise; vakum pompasının aşırı ısınmasından kaynaklanmaktadır. Deneilerde vakum yapmadan gerçekleştirilen ölçümlerde geçen süre zarfında, vakum pompası dinlendirilmiş olup, ısınmasıyla gerçekleşecek olan zararın önüne geçilmiştir. Benzer sebeple 4 ve 5 nolu deneilerde 6'şar ölçüm yapılmasının nedeni de, vakum pompasının ısınmasından kaynaklanacak zararın önüne geçme isteği olmuştur.

5. DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu deneysel çalışmada 80 kPa-93 kPa, 75 kPa-93 kPa, 67 kPa-93 kPa, 48 kPa-93 kPa basınç değerlerinde, 2 farklı numune kurumaya bırakılmıştır. İlk üç deney sırasıyla 80 kPa-93 kPa, 75 kPa-93 kPa, 67 kPa-93 kPa basınç değerlerinde, son iki deney ise 48 kPa-93 kPa basınç değerlerinde yapılmıştır. Deneylerde numunelerin, 10'ar dakika aralıklarda kütleleri ile kabin içine numuneler ile birlikte yerleştirilen sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı ile, kuruma işlemi sırasında gerçekleşen kabin içi minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür. Deneylerin sistematigi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalışma kapsamında yapılan deneylere ilişkin karakteristik bilgiler

Deney No	Kuru tekstil kütlesi (g)	Islak tekstil kütlesi (g)	Kurutma süresi (dak)	Ölçülen değerler
1	20,6	30,6	10	m, T, ϕ
2	20,6	30,6	10	m, T, ϕ
3	20,6	30,6	10	m, T, ϕ
4	20,6	30,6	10	m, T, ϕ
5	57,8	67,8	10	m, T, ϕ

İlk 4 deneyde kullanılan numuneler 440x320x1 mm boyutlarında ve 20,6 g kuru ağırlığında, 5. deneyde kullanılan numune 440x320x4 mm boyutlarında ve 57,8 g kuru ağırlığında olup ilk numuneye göre daha kalın bir materyaldir. 5 no'lu deneyde, kalınlık artışının, kuruma hızına yapacağı etki incelenmiştir. Deneylerde ölçülen değerler kullanılarak hesaplanan ω_{\max} , ω_{\min} , $P_{v\max}$, $P_{v\min}$ ve KKY büyüklükleri sırasıyla denklem 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ile verilmiştir.

$$\omega_{\max}=(0.622P_{v\max})/(P-P_{v\max}) \quad (5.1)$$

$$\omega_{\min}=(0.622P_{v\min})/(P-P_{v\min}) \quad (5.2)$$

$$P_{vmax}=\phi P_{gmax} \quad (5.3)$$

$$P_{vmin}=\phi P_{gmin} \quad (5.4)$$

$$KKY=[(m_{d\ddot{o}}-m_{ds})/m_{d\ddot{o}}]100 \quad (5.5)$$

Burada KKY kütfe kaybı yüzdesi, $m_{d\ddot{o}}$ deney öncesine numune kütlesi, m_{ds} ise deney sonrası numune kütlesidir.

5.1. Deney No 1

1. deneyde 440x320x1 mm boyutlarında ve kuru olarak 20,6 g ağırlığındaki numuneye 10 g su eklenmiştir. Numune, yatay pozisyonda kabin içerisine konulmuş aynı zamanda sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı da numunenin yanına konularak kabin kapağı kapatılmıştır. Vakum pompası çalıştırılarak kabin iç basıncı, 80 kPa'a ($P_{atm}=93$ kPa'dan, 80 kPa'a kadar geçen süre 75 s'dir.) getirildikten sonra 10 dakika bekleyip, 10 dakika sonra numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Daha sonra numune ile sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı, kabin içerisine tekrar konularak kabin kapağı kapatılmış ve vakum pompası çalıştırılmadan atmosfer basıncında ($P_{atm}=93$ kPa) 10 dakika bekleyip bu süre sonunda numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her deney öncesinde, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine konmadan, reset tuşuna basılarak değerler sıfırlanmıştır. 10 dakika ($P=80$ kPa) + 10 dakika ($P=P_{atm}=93$ kPa) ikili grup şeklinde 6 defa tekrarlanan deney sonunda 12 ölçüm yapılarak, kütfe kayıpları, minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür. 1 nolu deneyde tartım no'su 1,3,5,7,9,11 olan ölçümler vakum pompası çalıştırılarak 80 kPa basınç değerinde gerçekleştirilmiş olup, tartım no'su 2,4,6,8,10,12 ölçümler ise vakum pompası çalıştırılmadan 93 kPa atmosfer

basıncında gerçekleşmiştir. Kırıkkale ili için atmosfer basıncı 93 kPa değerindedir. Deney sonunda numuneden toplamda 5,8 g kütle kaybı gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.2’de vakum yapılarak basıncın 80 kPa olduğu ölçümlerde, toplamda 4,3 g kütle kaybı gerçekleşirken, vakum yapılmadan, basıncın 93 kPa olduğu atmosfer basıncında yapılan ölçümlerde ise toplamda 1,5 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. 80 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybının 2,87 katıdır. Deney sonunda numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının %74,1’lik kısmı vakumun yapıldığı 80 kPa basınç değerinde gerçekleşmiş olup, numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının % 25,9’luk kısmı da vakum yapılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Çizelge 5.2’de kütle kaybının en fazla olduğu değer 1 g ile 1. tartımda 80 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.2’de kütle kaybının en az olduğu değer 0,2 g ile 4. , 8. ve 12. tartımlarda 93 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.2 ile verilmiş olan değerler kullanılarak hesaplanan büyüklükler Çizelge 5.3 ile verilmiştir.

Çizelge 5.2. 80 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler

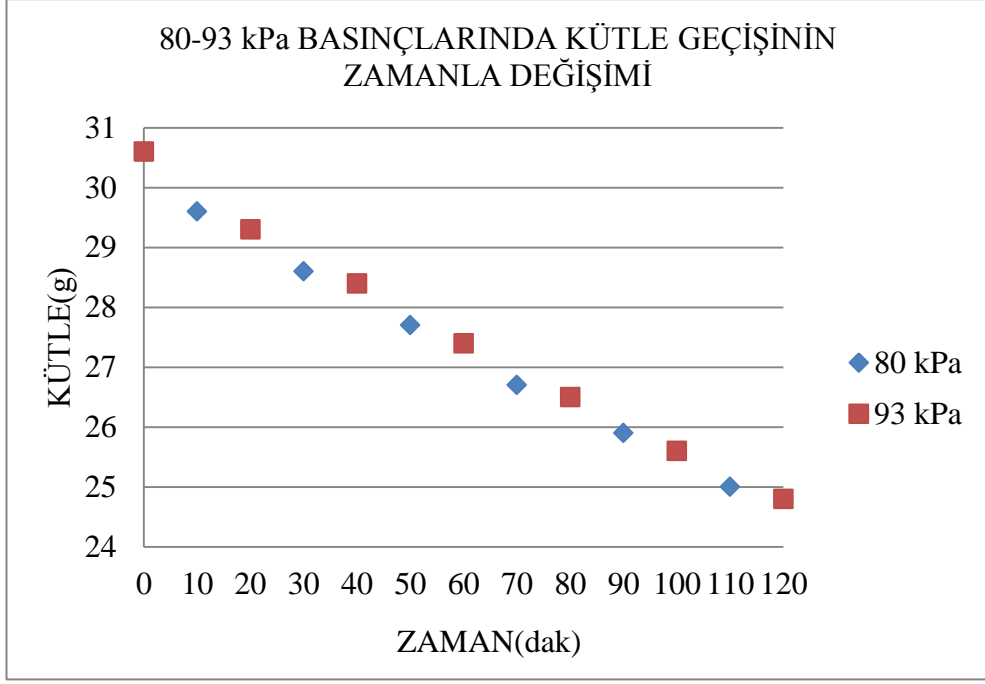
TARTIM NO:	KÜTLE (g)	FARK (g)	ZAMAN (dk.)	BASINÇ (kPa)	ϕ (%) max	ϕ (%) min	T (°C) max	T (°C) min
1	29,6	1	10	80	64	39	20	20
2	29,3	0,3	10	93	63	52	20	20
3	28,6	0,7	10	80	70	53	21	20
4	28,4	0,2	10	93	70	64	21	20
5	27,7	0,7	10	80	73	61	21	20
6	27,4	0,3	10	93	71	63	21	20
7	26,7	0,7	10	80	73	62	21	21
8	26,5	0,2	10	93	74	67	21	21
9	25,9	0,6	10	80	75	65	21	20
10	25,6	0,3	10	93	74	69	21	21
11	25	0,6	10	80	76	65	21	20
12	24,8	0,2	10	93	79	67	21	21
TOPLAM		5,8	120					

Çizelge 5.3. 80 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler

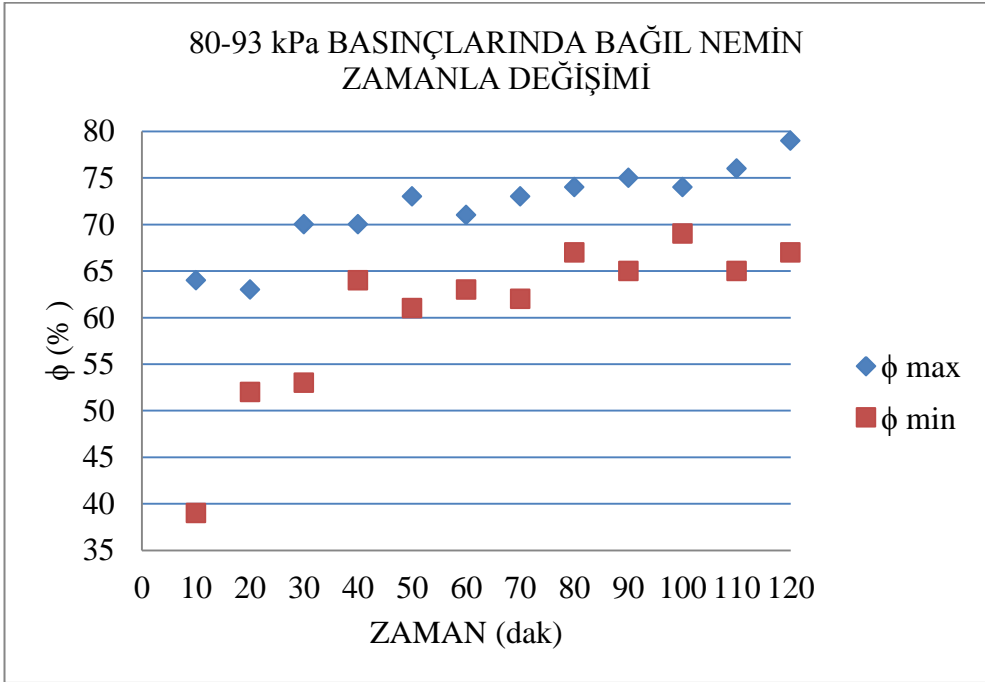
TARTIM NO:	ω_{max} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	ω_{min} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	P _v (kPa) max	P _v (kPa) min	KKY (%)
1	0,0118	0,0071	1,49	0,91	3,26
2	0,01	0,0082	1,47	1,21	1,01
3	0,0139	0,0097	1,75	1,23	2,38
4	0,0119	0,0101	1,75	1,49	0,69
5	0,0145	0,0112	1,82	1,42	2,46
6	0,0121	0,01	1,77	1,47	1,08
7	0,0145	0,0123	1,82	1,55	2,55
8	0,0126	0,0114	1,85	1,67	0,74
9	0,0149	0,0120	1,87	1,52	2,26
10	0,0126	0,0117	1,85	1,728	1,15
11	0,0151	0,012	1,9	1,52	2,34
12	0,0135	0,0114	1,97	1,67	0,8

Şekil 5.1’de grafiğin eğimi kuruma hızını göstermektedir. 1. ölçümde gerçekleşen kütle kaybının diğer ölçümlerden fazla olması, 1. ölçümün eğiminin diğer ölçümlerin eğiminden fazla olmasına sebep olmuştur. Tartım no 4,8 ve 12 olan ölçümlerde grafiğin eğimi en düşük değerdedir. Şekil 5.3 ile Şekil 5.4, Çizelge 5.3 kullanılarak hazırlanmıştır.

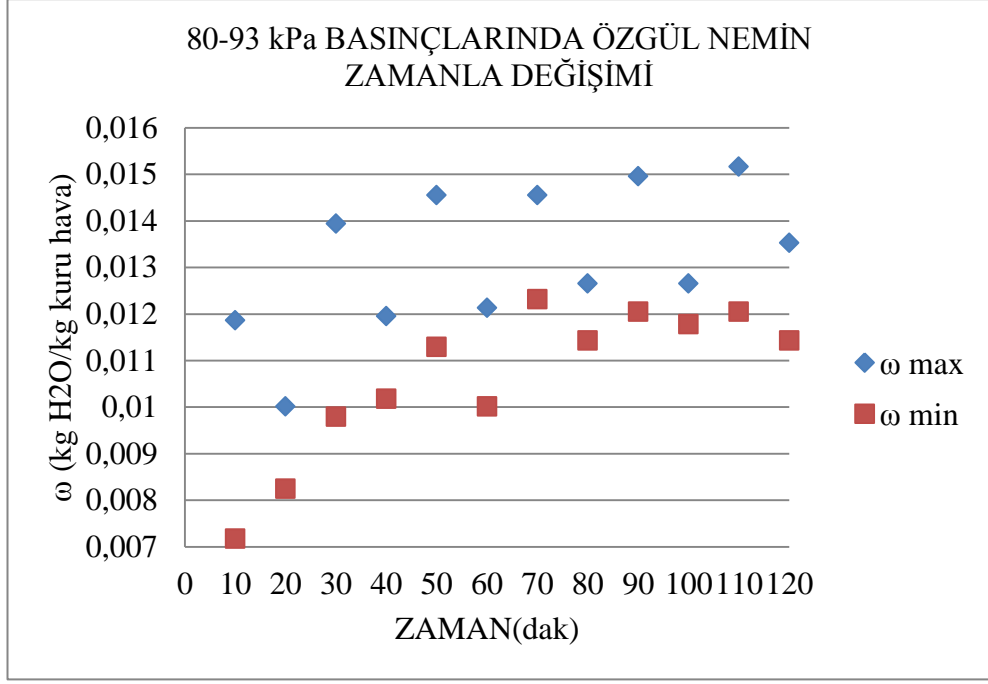
Şekil 5.2’de en yüksek bağıl nem değeri % 79 değeri ile 12. tartımda ölçülmüş olup, en yüksek özgül nem Şekil 5.3’de 0,0151 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.2’de en düşük bağıl nem değeri % 39 değeri ile 1. tartımda ölçülmüş olup, en düşük özgül nem Şekil 5.3’de. 0,0071 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.2’de minimum ve maksimum bağıl nem değerleri arasındaki en büyük fark 1. tartımda gerçekleşirken, bu farkın en küçük olduğu değer ise 10. tartımda gerçekleşmiştir. Şekil 5.4 kütle kayıplarının yüzdeliği grafiğinde 93 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %1 civarında iken 80 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %2,5 civarındadır.



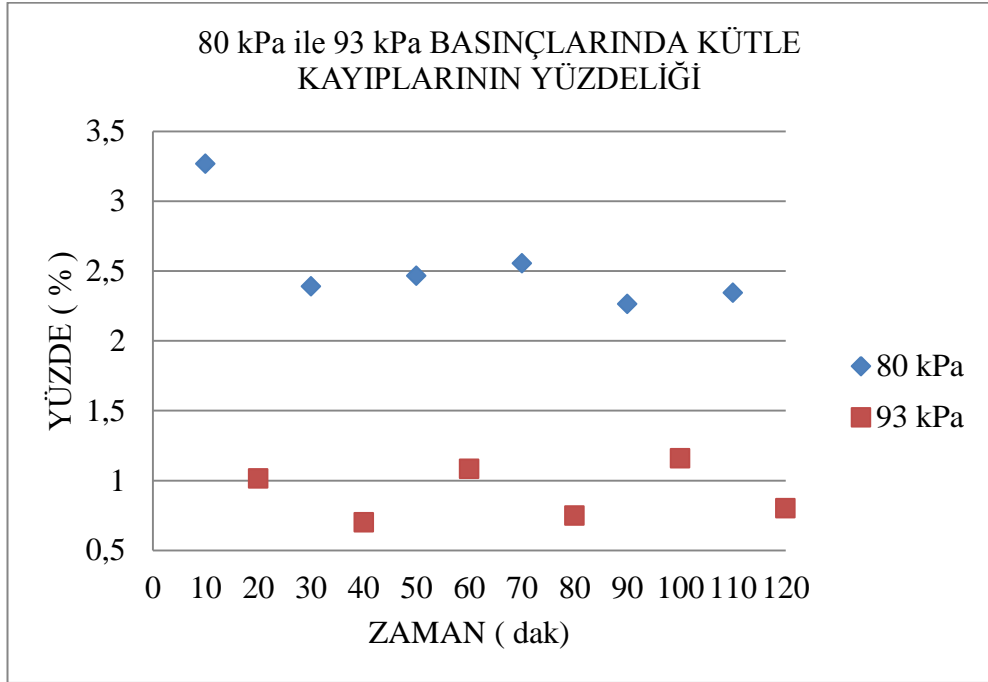
Şekil 5.1. 80-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi



Şekil 5.2. 80-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi



Şekil 5.3. 80-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi



Şekil 5.4. 80-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği

5.2. Deney No 2

2. deneyde 440x320x1 mm boyutlarında ve kuru olarak 20,6 g ağırlığındaki numuneye 10 g su eklenmiştir. Numune, yatay pozisyonda kabin içerisine konulmuş aynı zamanda sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı da numunenin yanına konularak kabin kapağı kapatılmıştır. Vakum pompası çalıştırılarak kabin iç basıncı, 75 kPa'a ($P_{atm}=93$ kPa'dan, 75 kPa'a kadar geçen süre 98 s'dir.) getirildikten sonra 10 dakika bekleyip, 10 dakika sonra numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Daha sonra numune ile sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine tekrar konularak kabin kapağı kapatılmış ve vakum pompası çalıştırılmadan atmosfer basıncında ($P_{atm}=93$ kPa) 10 dakika bekleyip bu süre sonunda numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her deney öncesinde, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine konmadan, reset tuşuna basılarak değerler sıfırlanmıştır.

10 dakika ($P=75$ kPa) + 10 dakika ($P=P_{atm}=93$ kPa) ikili grup şeklinde 6 defa tekrarlanan deney sonunda 12 ölçüm yapılarak, kütle kayıpları, minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür.

2 nolu deneyde tartım no'su 1,3,5,7,9,11 olan ölçümler vakum pompası çalıştırılarak 75 kPa basınç değerinde gerçekleştirilmiş olup, tartım no'su 2,4,6,8,10,12 ölçümler ise vakum pompası çalıştırılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Deney sonunda numuneden toplamda 6,5 g kütle kaybı gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.4'de vakum yapılarak basıncın 75 kPa olduğu ölçümlerde, toplamda 5 g kütle kaybı gerçekleşirken, vakum yapılmadan, basıncın 93 kPa olduğu atmosfer basıncında yapılan ölçümlerde ise toplamda 1,5 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. 75 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybının 3,33 katıdır. Deney sonunda numuneden

gerçekleşen toplam kütle kaybının %76,9'luk kısmı vakumun yapıldığı 75 kPa basınç değerinde gerçekleşmiş olup, numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının % 23,1'lik kısmı da vakum yapılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.4'de kütle kaybının en fazla olduğu değer 1,2 g ile 1. tartımda 75 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.4'de kütle kaybının en az olduğu değer 0,2 g ile 6. , 8. ve 12. tartımlarda 93 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.4 ile verilmiş olan değerler kullanılarak hesaplanan büyüklükler Çizelge 5.5 ile verilmiştir.

Çizelge 5.4. 75 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler

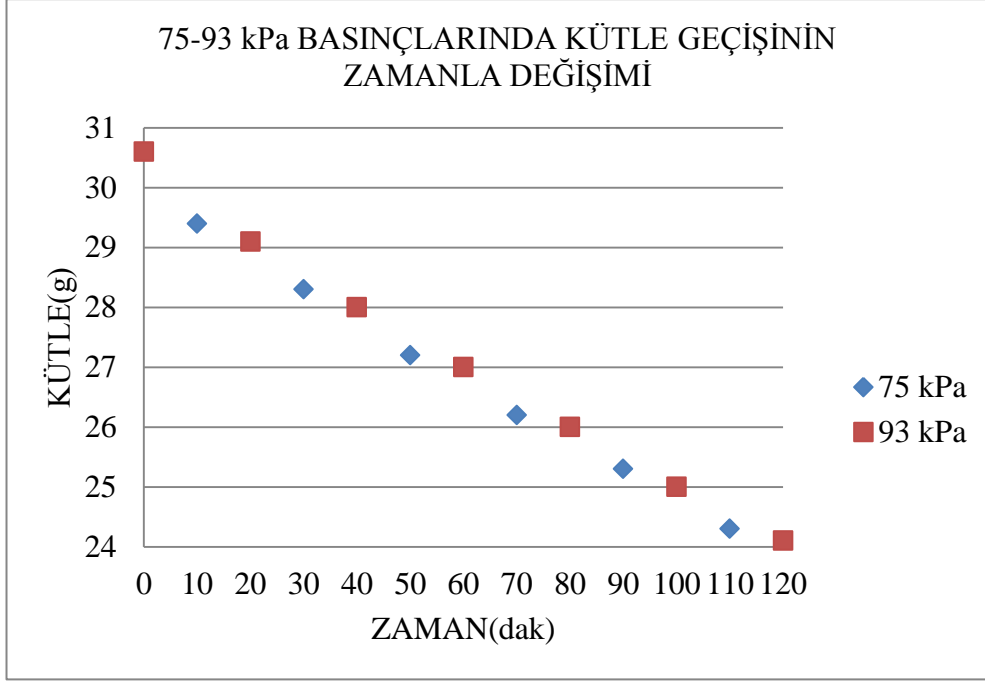
TARTIM NO:	KÜTLE (g)	FARK (g)	ZAMAN (dk.)	BASINÇ (kPa)	ϕ (%) max	ϕ (%) min	T (°C) max	T (°C) min
1	29,4	1,2	10	75	69	44	21	20
2	29,1	0,3	10	93	70	57	21	21
3	28,3	0,8	10	75	76	60	21	20
4	28	0,3	10	93	73	65	21	21
5	27,2	0,8	10	75	77	63	21	20
6	27	0,2	10	93	74	68	21	21
7	26,2	0,8	10	75	77	63	21	20
8	26	0,2	10	93	75	68	21	21
9	25,3	0,7	10	75	76	65	21	21
10	25	0,3	10	93	73	66	21	21
11	24,3	0,7	10	75	75	62	21	21
12	24,1	0,2	10	93	71	66	21	21
TOPLAM		6,5	120					

Çizelge 5.5. 75 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler

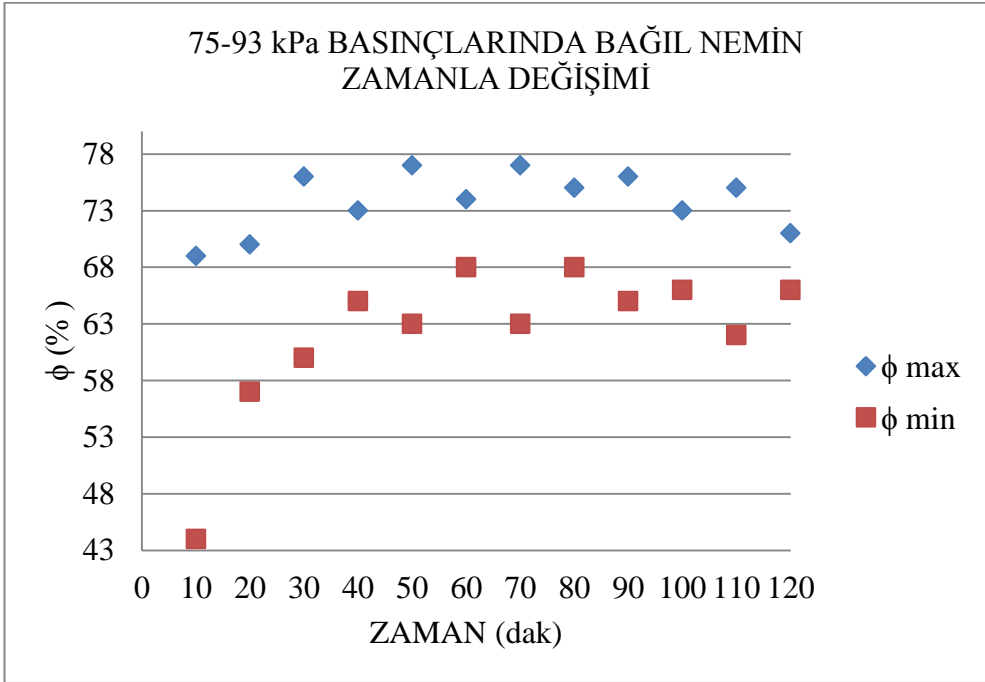
TARTIM NO:	ω_{max} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	ω_{min} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	P _v (kPa) max	P _v (kPa) min	KKY (%)
1	0,0146	0,0096	1,72	1,15	3,92
2	0,0119	0,0101	1,75	1,49	1,02
3	0,0162	0,0132	1,90	1,56	2,74
4	0,0124	0,0115	1,82	1,7	1,06
5	0,0164	0,0139	1,92	1,64	2,85
6	0,0126	0,0121	1,85	1,77	0,73
7	0,0164	0,0139	1,92	1,64	2,96
8	0,0128	0,0121	1,87	1,77	0,76
9	0,0162	0,0144	1,9	1,7	2,69
10	0,0124	0,0117	1,82	1,72	1,18
11	0,0159	0,0137	1,87	1,62	2,8
12	0,0121	0,0117	1,77	1,72	0,82

Şekil 5.5’de grafiğin eğimi kuruma hızını göstermektedir. 1. ölçümde gerçekleşen kütle kaybının diğer ölçümlerden fazla olması, 1. ölçümün eğiminin diğer ölçümlerin eğiminden fazla olmasına sebep olmuştur. Tartım no 6,8 ve 12 olan ölçümlerde grafiğin eğimi en düşük değerdedir. Şekil 5.7 ile Şekil 5.8, Çizelge 5.5 kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 5.6’da en yüksek bağıl nem değeri % 77 değeri ile 5. ve 7. tartımlarda ölçülmüş olup, en yüksek özgül nem Şekil 5.7’de 0,0164 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6’da en düşük bağıl nem değeri % 44 değeri ile 1. tartımda ölçülmüş olup, en düşük özgül nem Şekil 5.7’de 0,0096 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6’da minimum ve maksimum bağıl nem değerleri arasındaki en büyük fark 1. tartımda gerçekleşirken, bu farkın en küçük olduğu değer ise 12. tartımda gerçekleşmiştir.

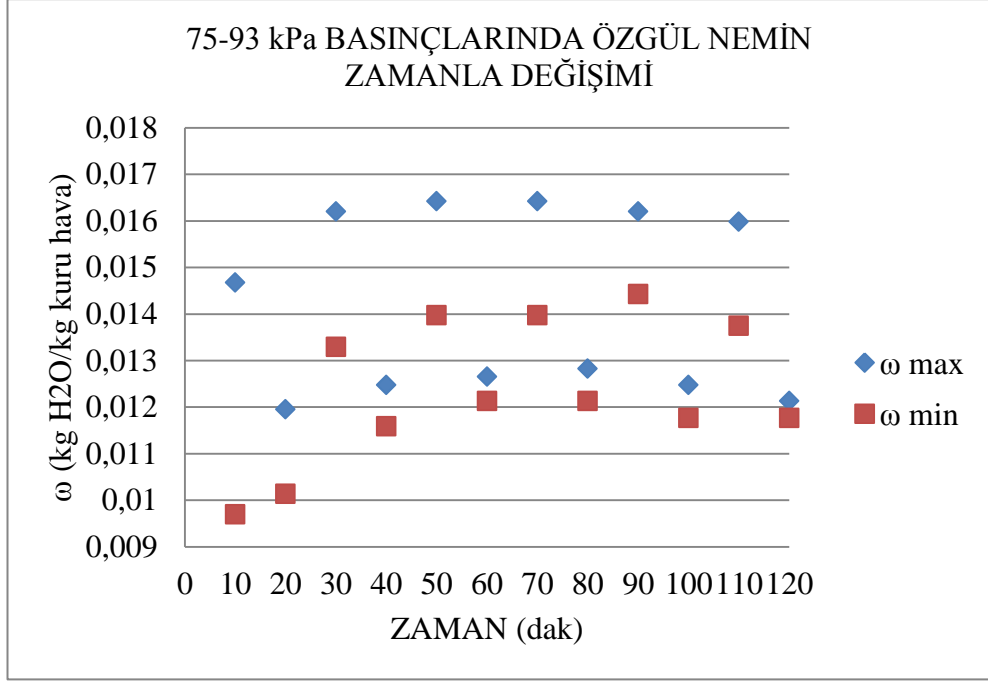
Şekil 5.8 kütle kayıplarının yüzdeliği grafiğinde de görüldüğü gibi, 93 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %1 civarında iken 75 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %3 civarındadır.



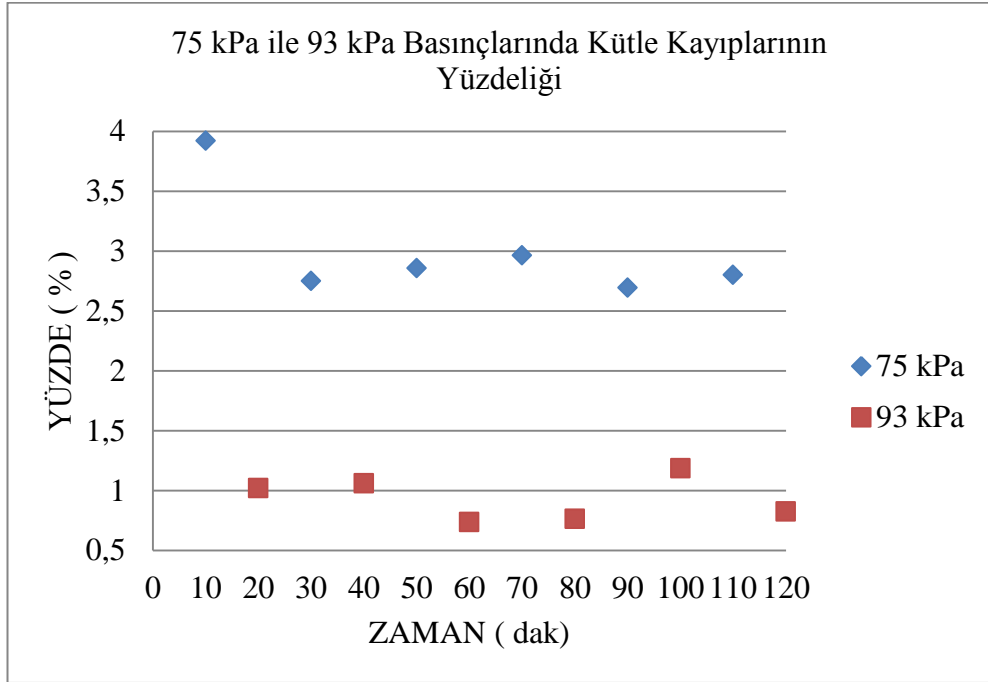
Şekil 5.5. 75-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi



Şekil 5.6. 75-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi



Şekil 5.7. 75-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi



Şekil 5.8. 75-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği

5.3. Deney No 3

3. deneyde 440x320x1 mm boyutlarında ve kuru olarak 20,6 g ağırlığındaki numuneye 10 g su eklenmiştir. Numune, yatay pozisyonda kabin içerisine konulmuş aynı zamanda sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı da numunenin yanına konularak kabin kapağı kapatılmıştır. Vakum pompası çalıştırılarak kabin iç basıncı, 67 kPa'a ($P_{atm}=93$ kPa'dan, 67 kPa'a kadar geçen süre 130 s'dir.) getirildikten sonra 10 dakika bekleyip, 10 dakika sonra numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Daha sonra numune ile sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine tekrar konularak kabin kapağı kapatılmış ve vakum pompası çalıştırılmadan atmosfer basıncında ($P_{atm}=93$ kPa) 10 dakika bekleyip bu süre sonunda numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her deney öncesinde, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine konmadan, reset tuşuna basılarak değerler sıfırlanmıştır.

10 dakika ($P=67$ kPa) + 10 dakika ($P=P_{atm}=93$ kPa) ikili grup şeklinde 6 defa tekrarlanan deney sonunda 12 ölçüm yapılarak, kütle kayıpları, minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür.

3 nolu deneyde tartım no'su 1,3,5,7,9,11 olan ölçümler vakum pompası çalıştırılarak 67 kPa basınç değerinde gerçekleştirilmiş olup, tartım no'su 2,4,6,8,10,12 ölçümler ise vakum pompası çalıştırılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Deney sonunda numuneden toplamda 7,5 g kütle kaybı gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.6'da vakum yapılarak basıncın 67 kPa olduğu ölçümlerde, toplamda 5,9 g kütle kaybı gerçekleşirken, vakum yapılmadan, basıncın 93 kPa olduğu atmosfer basıncında yapılan ölçümlerde ise toplamda 1,6 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. 67 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybının 3,68 katıdır. Deney sonunda numuneden

gerçekleşen toplam kütle kaybının %78,6'lık kısmı vakumun yapıldığı 67 kPa basınç değerinde gerçekleşmiş olup, numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının % 21,4'lük kısmı da vakum yapılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Çizelge 5.6'da kütle kaybının en fazla olduğu değer 1,2 g ile 1. ve 5. tartımlarda 67 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.6'da kütle kaybının en az olduğu değer 0,2 g ile 2. ve 12. tartımlarda 93 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.6 ile verilmiş olan değerler kullanılarak hesaplanan büyüklükler Çizelge 5.7 ile verilmiştir.

Çizelge 5.6. 67 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler

TARTIM NO:	KÜTLE (g)	FARK (g)	ZAMAN (dk.)	BASINÇ (kPa)	ϕ (%) max	ϕ (%) min	T (°C) max	T (°C) min
1	29,4	1,2	10	67	69	37	22	21
2	29,2	0,2	10	93	65	53	21	21
3	28,3	0,9	10	67	72	52	21	20
4	28	0,3	10	93	68	51	21	21
5	26,8	1,2	10	67	74	54	22	20
6	26,5	0,3	10	93	69	57	21	21
7	25,6	0,9	10	67	75	55	21	20
8	25,3	0,3	10	93	73	66	21	21
9	24,4	0,9	10	67	76	59	21	20
10	24,1	0,3	10	93	73	66	21	21
11	23,3	0,8	10	67	76	59	21	20
12	23,1	0,2	10	93	71	63	21	21
TOPLAM		7,5	120					

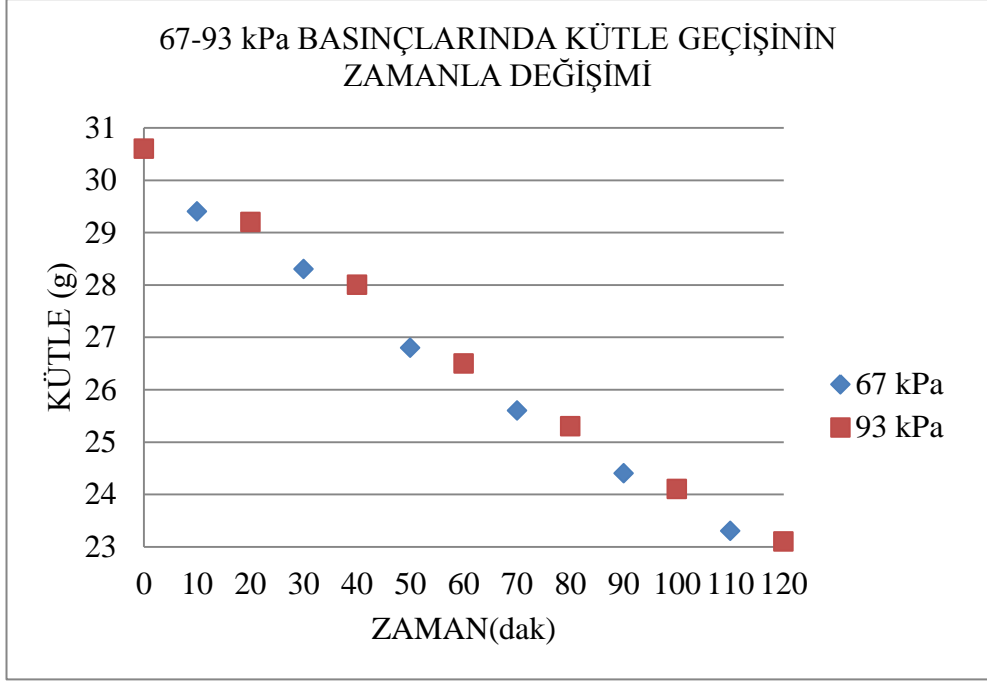
Çizelge 5.7. 67 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler

TARTIM NO:	ω_{max} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	ω_{min} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	P _v (kPa) max	P _v (kPa) min	KKY (%)
1	0,0175	0,0087	1,84	0,92	3,92
2	0,011	0,009	1,62	1,32	0,68
3	0,0172	0,0115	1,8	1,21	3,08
4	0,0116	0,0086	1,7	1,27	1,06
5	0,0189	0,0119	1,97	1,26	4,28
6	0,0117	0,0096	1,72	1,42	1,11
7	0,0179	0,0121	1,87	1,28	3,39
8	0,0124	0,0112	1,82	1,65	1,17
9	0,0181	0,013	1,9	1,38	3,55
10	0,0124	0,0112	1,82	1,65	1,22
11	0,0181	0,013	1,9	1,38	3,31
12	0,0121	0,0107	1,77	1,57	0,85

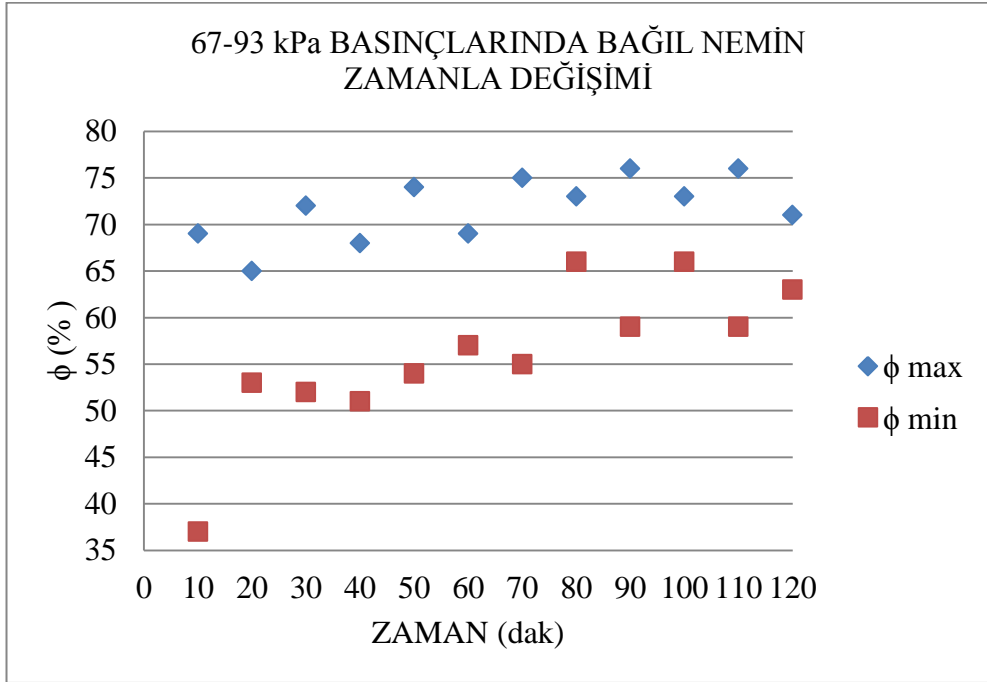
Şekil 5.9’da grafiğin eğimi kuruma hızını göstermektedir. 1. ve 5. tartımların eğimi en büyük değerdedir. Tartım no 2 ve 12 olan ölçümlerde grafiğin eğimi en düşük değerdedir. Şekil 5.11 ile Şekil 5.12, Çizelge 5.7 kullanılarak hazırlanmıştır

Şekil 5.10’da en yüksek bağıl nem değeri % 76 değeri ile 9. ve 11. tartımlarda ölçülmüş olup, en yüksek özgül nem Şekil 5.11’de 0,0189 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.10’da en düşük bağıl nem değeri % 37 değeri ile 1. tartımda ölçülmüş olup, en düşük özgül nem Şekil 5.11’de 0,0086 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.10’da minimum ve maksimum bağıl nem değerleri arasındaki en büyük fark 1. tartımda gerçekleşirken, bu farkın en küçük olduğu değer ise 8. ve 10. tartımda gerçekleşmiştir.

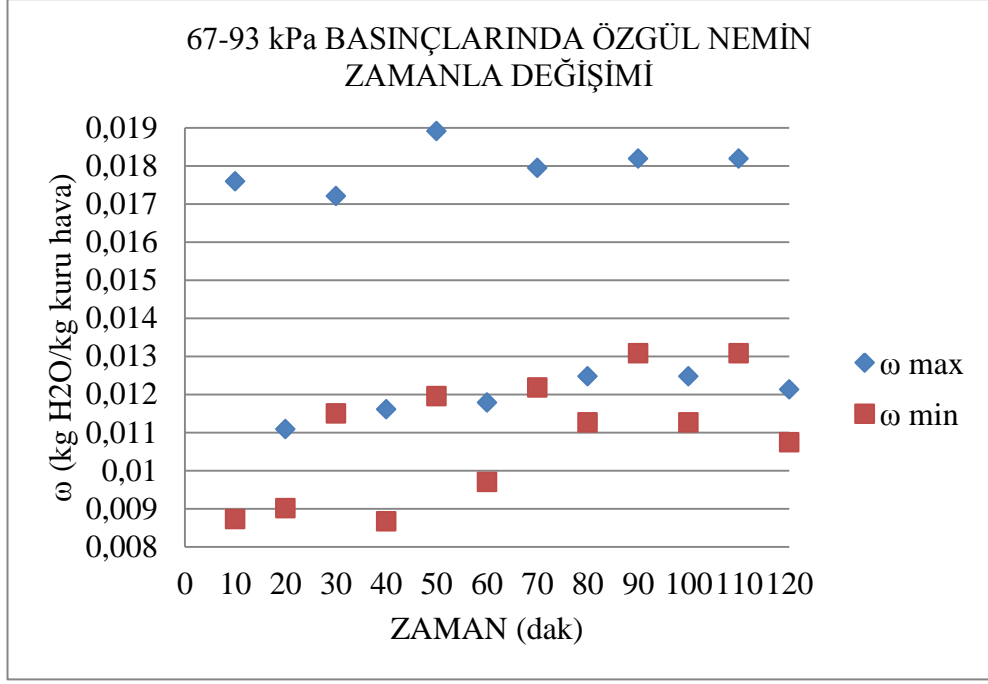
Şekil 5.12 kütle kayıplarının yüzdeliği grafiğinde de görüldüğü gibi, 93 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %1 civarında iken 67 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %3,5 civarındadır.



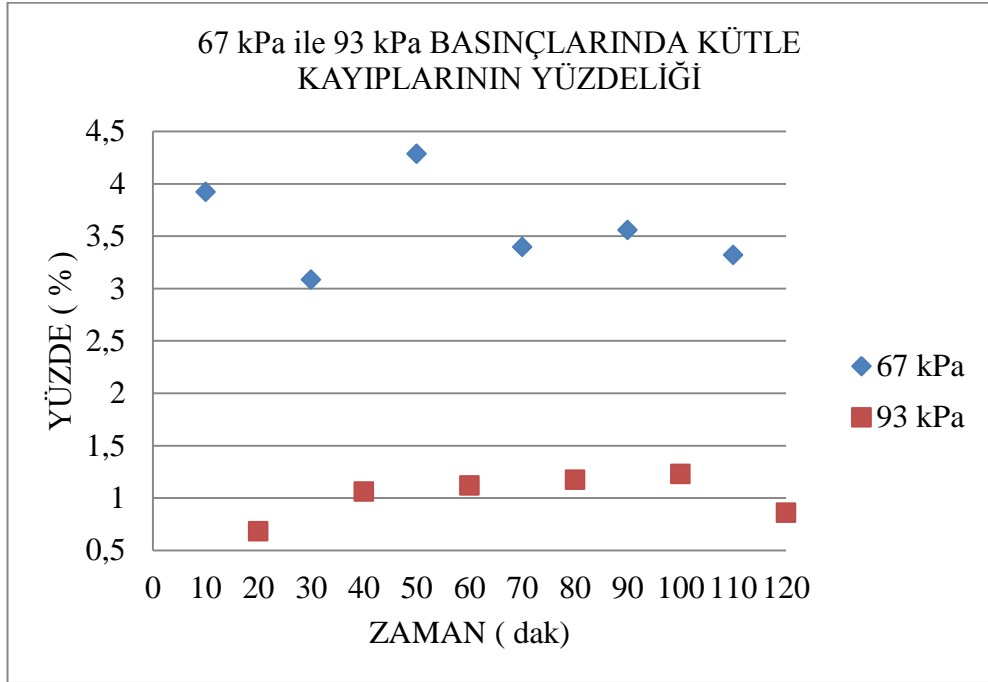
Şekil 5.9. 67-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi



Şekil 5.10. 67-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi



Şekil 5.11. 67-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi



Şekil 5.12. 67-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği

5.4. Deney No 4

4. deneyde 440x320x1 mm boyutlarında ve kuru olarak 20,6 g ağırlığındaki numuneye 10 g su eklenmiştir. Numune, yatay pozisyonda kabin içerisine konulmuş aynı zamanda sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı da numunenin yanına konularak kabin kapağı kapatılmıştır. Vakum pompası çalıştırılarak kabin iç basıncı, 48 kPa'a ($P_{atm}=93$ kPa'dan, 48 kPa'a kadar geçen süre 245 s'dir.) getirildikten sonra 10 dakika bekleyip, 10 dakika sonra numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Daha sonra numune ile sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine tekrar konularak kabin kapağı kapatılmış ve vakum pompası çalıştırılmadan atmosfer basıncında ($P_{atm}=93$ kPa) 10 dakika bekleyip bu süre sonunda numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her deney öncesinde, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine konmadan, reset tuşuna basılarak değerler sıfırlanmıştır.

10 dakika ($P=48$ kPa) + 10 dakika ($P=P_{atm}=93$ kPa) ikili grup şeklinde 3 defa tekrarlanan deney sonunda 6 ölçüm yapılarak, kütle kayıpları, minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür.

4 nolu deneyde tartım no'su 1,3,5 olan ölçümler vakum pompası çalıştırılarak 48 kPa basınç değerinde gerçekleştirilmiş olup, tartım no'su 2,4,6 ölçümler ise vakum pompası çalıştırılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Deney sonunda numuneden toplamda 4,9 g kütle kaybı gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.8'de vakum yapılarak basıncın 48 kPa olduğu ölçümlerde, toplamda 4,3 g kütle kaybı gerçekleşirken, vakum yapılmadan, basıncın 93 kPa olduğu atmosfer basıncında yapılan ölçümlerde ise toplamda 0,6 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. 48 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybının 7,17 katıdır. Deney sonunda numuneden

gerçekleşen toplam kütle kaybının %87,7'lik kısmı vakumun yapıldığı 48 kPa basınç değerinde gerçekleşmiş olup, numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının % 12,3'lük kısmı da vakum yapılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Çizelge 5.8'de kütle kaybının en fazla olduğu değer 1,7 g ile 1. tartımda 48 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.8'de kütle kaybının en az olduğu değer 0,2 g ile 2. , 4. ve 6. tartımlarda 93 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.8 ile verilmiş olan değerler kullanılarak hesaplanan büyüklükler Çizelge 5.9 ile verilmiştir.

Çizelge 5.8. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen değerler

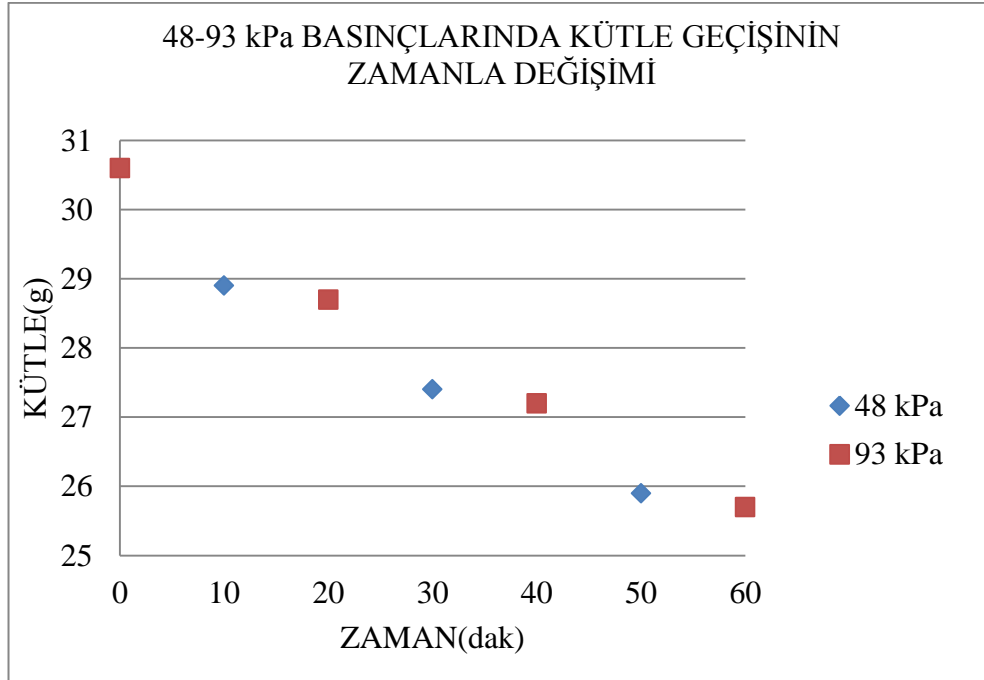
TARTIM NO:	KÜTLE (g)	FARK (g)	ZAMAN (dk.)	BASINÇ (kPa)	ϕ (%) max	ϕ (%) min	T (°C) max	T (°C) min
1	28,9	1,7	10	48	79	42	21	20
2	28,7	0,2	10	93	74	69	21	21
3	27,4	1,3	10	48	81	52	21	20
4	27,2	0,2	10	93	74	67	21	21
5	25,9	1,3	10	48	81	53	21	20
6	25,7	0,2	10	93	75	70	21	21
TOPLAM		4,9	60					

Çizelge 5.9. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler

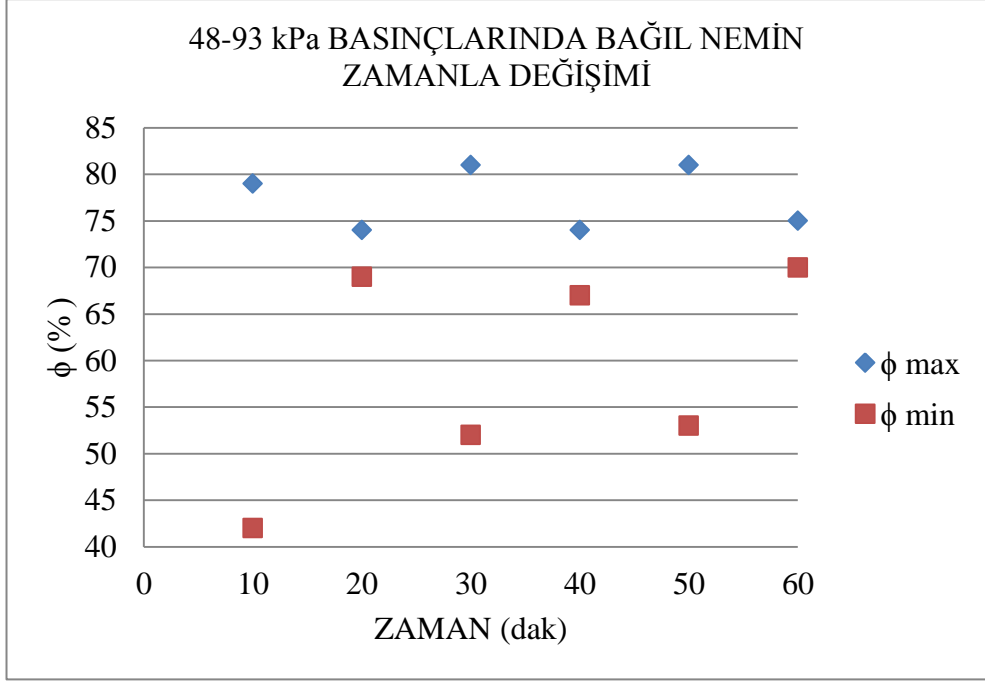
TARTIM NO:	ω_{\max} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	ω_{\min} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	P _v (kPa) max	P _v (kPa) min	KKY (%)
1	0,0267	0,0129	1,97	0,98	5,55
2	0,0126	0,0117	1,85	1,72	0,69
3	0,0274	0,0161	2,02	1,21	4,52
4	0,0126	0,0114	1,85	1,67	0,72
5	0,0274	0,0164	2,02	1,23	4,77
6	0,0128	0,0119	1,87	1,75	0,77

Şekil 5.13’de grafiğin eğimi kuruma hızını göstermektedir. 1. ölçümde gerçekleşen kütle kaybının diğer ölçümlerden fazla olması, 1. ölçümün eğiminin diğer ölçümlerin eğiminden fazla olmasına sebep olmuştur. Tartım no 2,4 ve 6 olan ölçümlerde grafiğin eğimi en düşük değerdedir. Şekil 5.15 ile Şekil 5.16, Çizelge 5.9 kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 5.14’de en yüksek bağıl nem değeri % 81 değeri ile 3. ve 5. tartımlarda ölçülmüş olup, en yüksek özgül nem Şekil 5.15’de 0,0247 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.14’de en düşük bağıl nem değeri % 42 değeri ile 1. tartımda ölçülmüş olup, en düşük özgül nem Şekil 5.15’de 0,0114 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır.

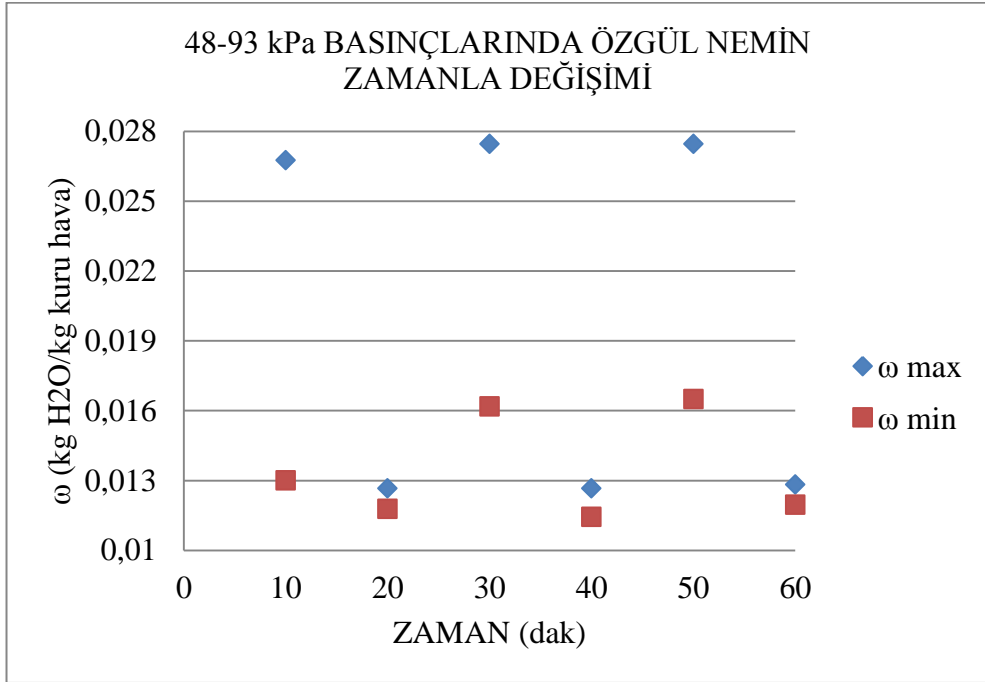
Şekil 5.14’de minimum ve maksimum bağıl nem değerleri arasındaki en büyük fark 1. tartımda gerçekleşirken, bu farkın en küçük olduğu değer ise 2. ve 6. tartımda gerçekleşmiştir. Şekil 5.16 kütle kayıplarının yüzdeliği grafiğinde de görüldüğü gibi, 93 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %1 civarında iken 48 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %5 civarındadır.



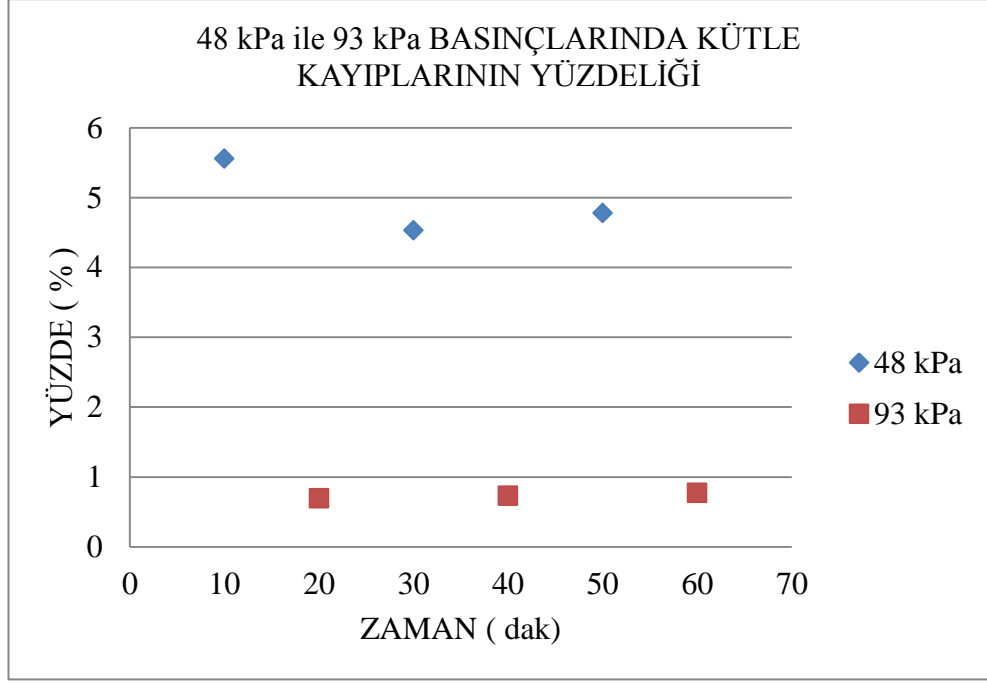
Şekil 5.13. 48-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi



Şekil 5.14. 48-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi



Şekil 5.15. 48-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi



Şekil 5.16. 48-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği

5.5. Deney No 5

5. deneyde 440x320x4 mm boyutlarında ve kuru olarak 57,8 g ağırlığındaki numuneye 10 g su eklenmiştir. Numune, yatay pozisyonda kabin içerisine konulmuş aynı zamanda sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı da numunenin yanına konularak kabin kapağı kapatılmıştır. Vakum pompası çalıştırılarak kabin iç basıncı, 48 kPa'a ($P_{atm}=93$ kPa'dan, 48 kPa'a kadar geçen süre 245 s'dir.) getirildikten sonra 10 dakika bekleyip, 10 dakika sonra numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Daha sonra numune ile sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine tekrar konularak kabin kapağı kapatılmış ve vakum pompası çalıştırılmadan atmosfer basıncında ($P_{atm}=93$ kPa) 10 dakika bekleyip bu süre sonunda numune ile birlikte sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı çıkarılmış ve numunenin tartımı yapılmıştır. Aynı zamanda kabin içi maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri, ölçüm

cihazı ile ölçülmüştür. Her deney öncesinde, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kabin içerisine konmadan, reset tuşuna basılarak değerler sıfırlanmıştır.

10 dakika ($P=48$ kPa) + 10 dakika ($P=P_{atm}=93$ kPa) ikili grup şeklinde 3 defa tekrarlanan deney sonunda 6 ölçüm yapılarak, kütle kayıpları, minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür.

5 nolu deneyde tartım no'su 1,3,5 olan ölçümler vakum pompası çalıştırılarak 48 kPa basınç değerinde gerçekleştirilmiş olup, tartım no'su 2,4,6 ölçümler ise vakum pompası çalıştırılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Deney sonunda numuneden toplamda 4,0 g kütle kaybı gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.10'da vakum yapılarak basıncın 48 kPa olduğu ölçümlerde, toplamda 3,6 g kütle kaybı gerçekleşirken, vakum yapılmadan, basıncın 93 kPa olduğu atmosfer basıncında yapılan ölçümlerde ise toplamda 0,4 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. 48 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basınç değerinde gerçekleşen toplam kütle kaybının 9 katıdır. Deney sonunda numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının %90'lık kısmı vakumun yapıldığı 48 kPa basınç değerinde gerçekleşmiş olup, numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybının % 10'luk kısmı da vakum yapılmadan 93 kPa atmosfer basıncında gerçekleşmiştir. Çizelge 5.10'da kütle kaybının en fazla olduğu değer 1,4 g ile 1. tartımda 48 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Çizelge 5.10'da kütle kaybının en az olduğu değer 0,1 g ile 4. ve 6. tartımlarda 93 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.10 ile verilmiş olan değerler kullanılarak hesaplanan büyüklükler Çizelge 5.11 ile verilmiştir.

Çizelge 5.10. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında ölçülen veriler

TARTIM NO:	KÜTLE (g)	FARK (g)	ZAMAN (dk.)	BASINÇ (kPa)	ϕ (%) max	ϕ (%) min	T (°C) max	T (°C) min
1	66,4	1,4	10	48	62	32	24	22
2	66,2	0,2	10	93	55	44	23	23
3	65	1,2	10	48	68	38	23	22
4	64,9	0,1	10	93	61	49	23	23
5	63,9	1	10	48	70	42	23	22
6	63,8	0,1	10	93	62	48	23	23
TOPLAM		4	60					

Çizelge 5.11. 48 kPa-93 kPa kabin iç basıncında hesaplanan büyüklükler

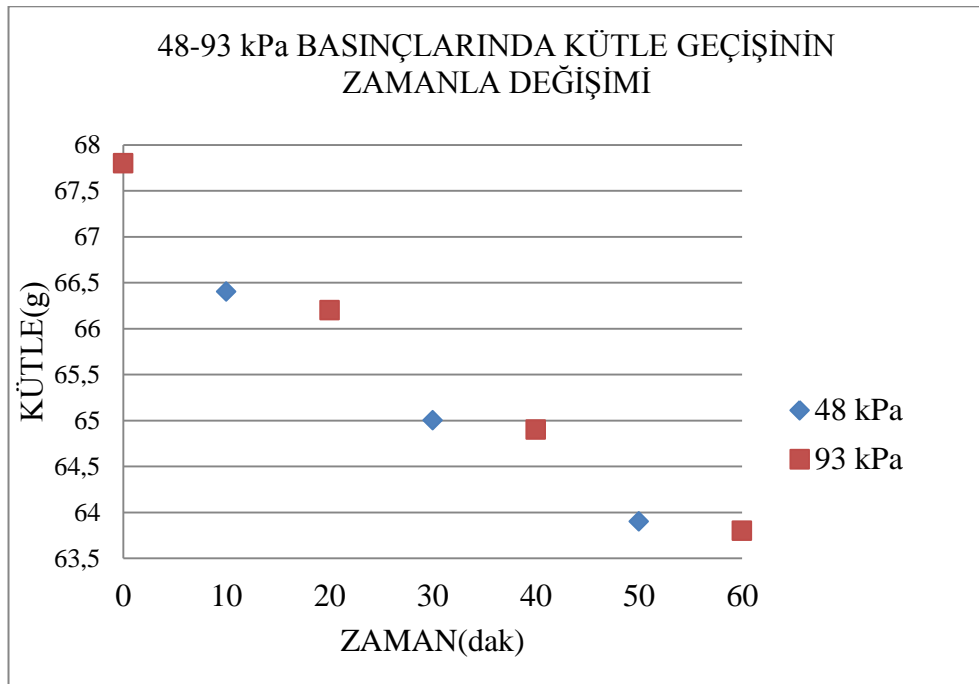
TARTIM NO:	ω_{\max} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	ω_{\min} (kg H ₂ O/kg kuru hava)	P _v (kPa) max	P _v (kPa) min	KKY (%)
1	0,0251	0,0112	1,86	0,85	2,06
2	0,0106	0,0084	1,56	1,24	0,30
3	0,0260	0,0134	1,92	1,01	1,81
4	0,0117	0,0094	1,73	1,39	0,15
5	0,0268	0,0148	1,98	1,12	1,54
6	0,0119	0,0092	1,75	1,36	0,15

Şekil 5.17’de grafiğin eğimi kuruma hızını göstermektedir. 1. ölçümde gerçekleşen kütle kaybının diğer ölçümlerden fazla olması, 1. ölçümün eğiminin diğer ölçümlerin eğiminden fazla olmasına sebep olmuştur. Tartım no 4 ve 6 olan ölçümlerde grafiğin eğimi en düşük değerdedir.

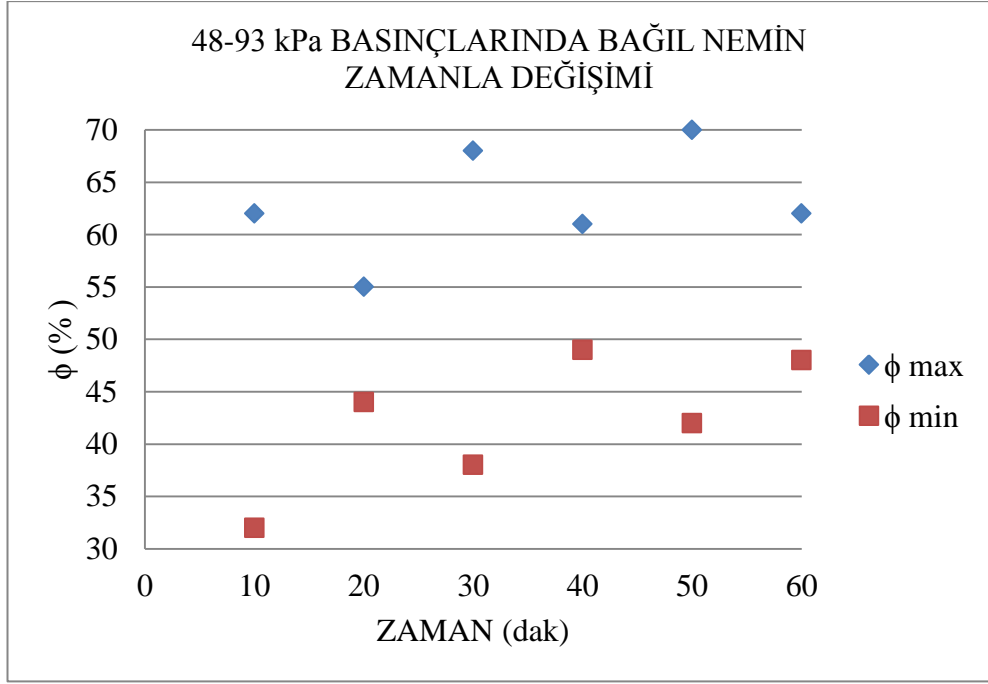
Şekil 5.19 ile Şekil 5.20, Çizelge 5.11 kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 5.18’de en yüksek bağıl nem değeri % 70 değeri ile 5. tartımda ölçülmüş olup, en yüksek özgül nem Şekil 5.19’da 0,0268 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.18’de en düşük bağıl nem değeri % 32 değeri ile 1. tartımda ölçülmüş olup, en

düşük özgül nem Şekil 5.19’da 0,0084 (kg H₂O/kg kuru hava) değeri olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.18’de minimum ve maksimum bağıl nem değerleri arasındaki en büyük fark 1. ve 3. tartımlarda gerçekleşirken, bu farkın en küçük olduğu değer ise 2. tartımda gerçekleşmiştir.

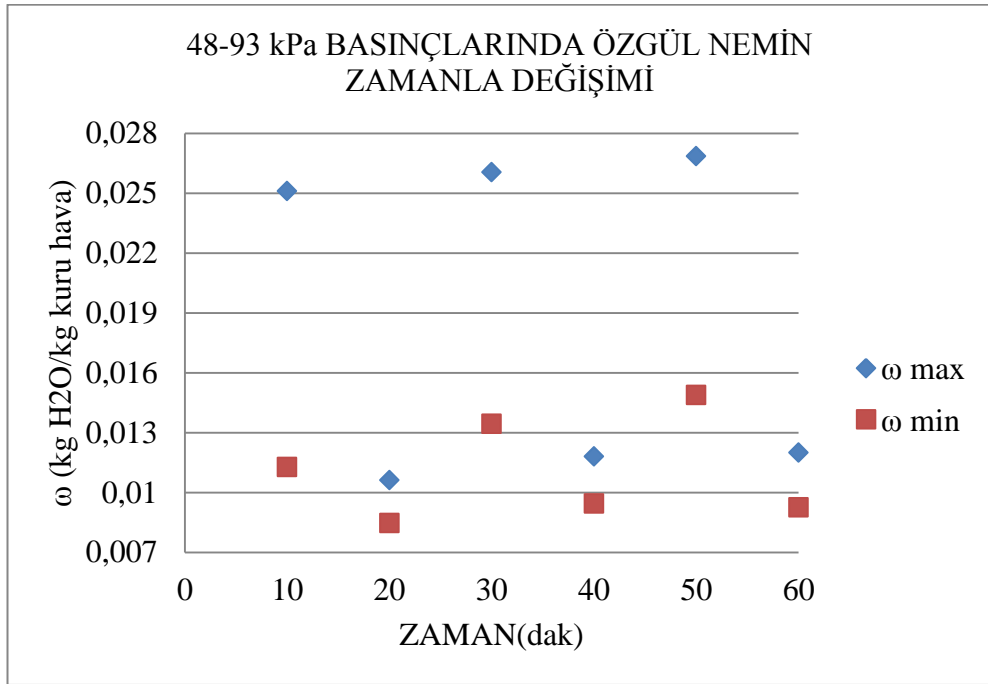
Şekil 5.20 kütle kayıplarının yüzdeliği grafiğinde de görüldüğü gibi, 93 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %0,25 civarında iken 48 kPa basıncındaki değerler ortalama olarak %1,75 civarındadır.



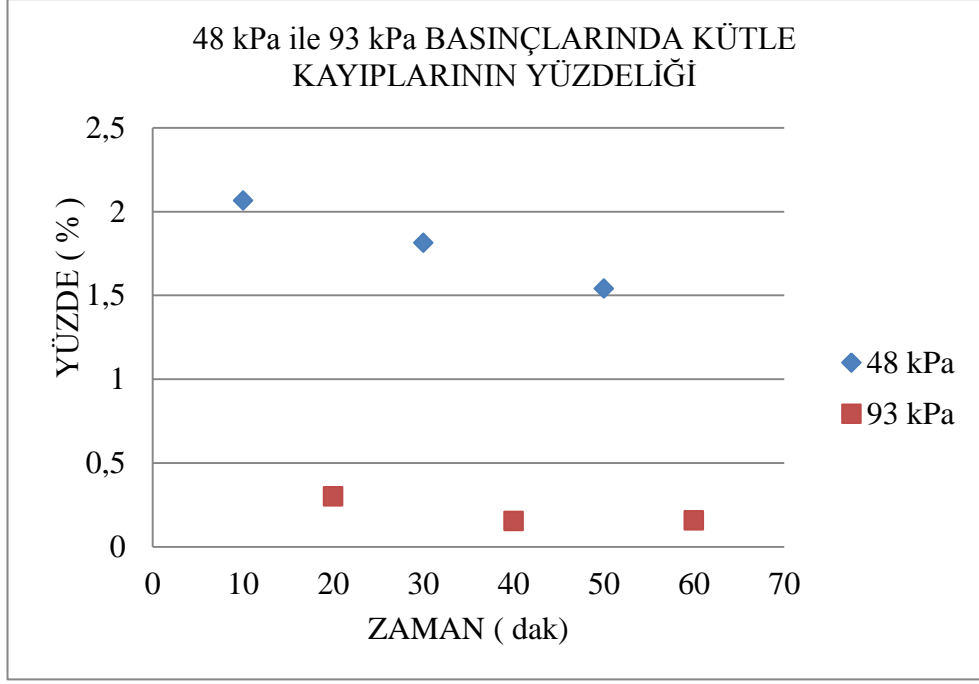
Şekil 5.17. 48-93 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi



Şekil 5.18. 48-93 kPa basınçlarında bağıl nemin zamanla değişimi



Şekil 5.19. 48-93 kPa basınçlarında özgül nemin zamanla değişimi



Şekil 5.20. 48-93 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği

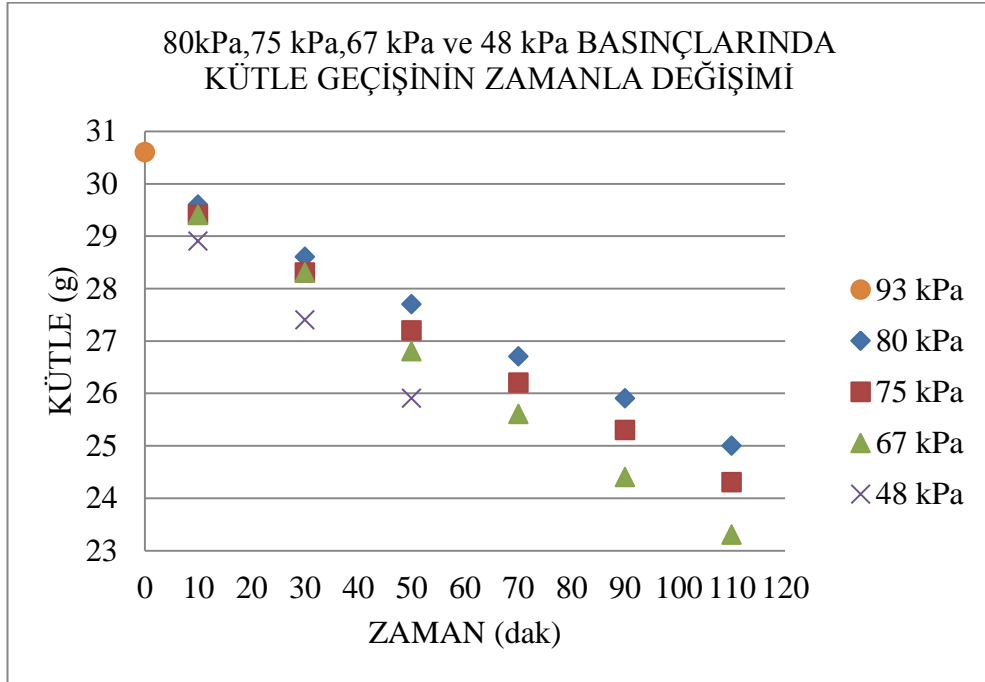
5.6. Tüm Basınç Değerleri İçin, Kütle Geçişinin Zamanla Değişimi ve Kütle Kayıplarının Yüzdeliği Grafikleri

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22 grafiklerine 1, 2, 3 ve 4. deneyler dahil edilmiştir. 5. deneyin Şekil 5.21 ile Şekil 5.22 grafiklerine katılmamasının nedeni; son deneyde kullanılan numunenin ilk dört deneyde kullanılan numuneden farklı olmasıdır. 4. ve 5. deneylerdeki kütle kayıplarının yüzdeliği grafiği Şekil 5.23’de verilmiştir.

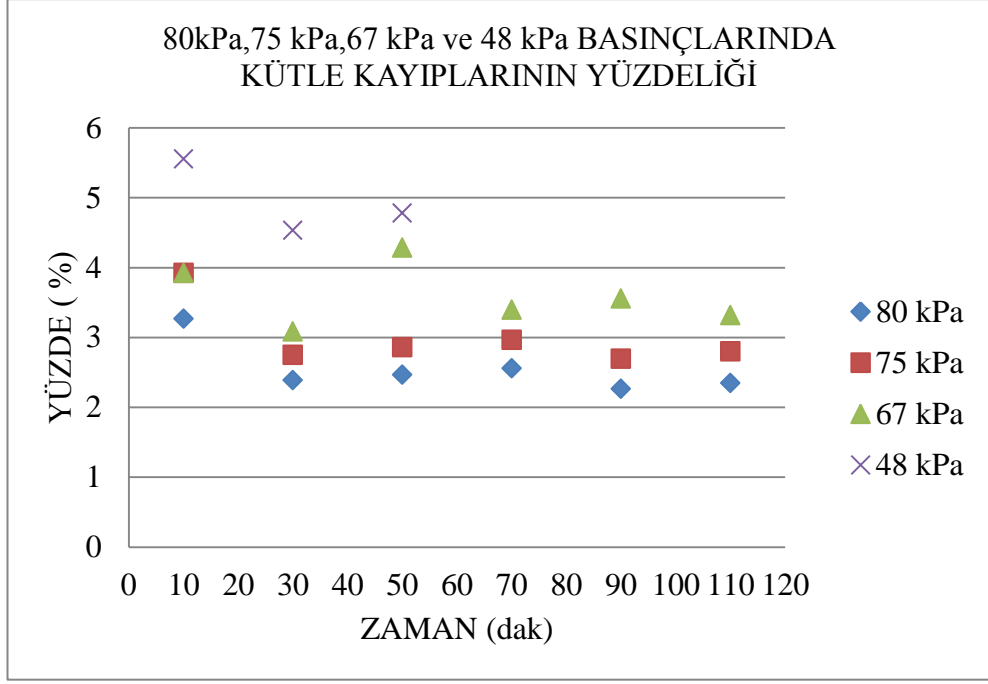
Şekil 5.21’de en hızlı kütle transferi 4. deneyde 48 kPa basıncında, en yavaş kütle transferi ise 1. deneyde 80 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Şekil 5.21’de eğrilerin eğimleri kuruma hızlarını vermektedir. En yüksek eğim 48 kPa basınç değerinde, en düşük eğim ise 80 kPa basınç değerinde gerçekleşmiştir. Basınç değerlerinin düşmesi kütle transfer hızını arttırarak kuruma hızının artmasına sebep olmuştur.

Şekil 5.22’de en yüksek kuruma yüzdeleri 4. deneyde 48 kPa basınç değerindedir. Şekil 5.22’de en düşük kuruma yüzdeleri ise 1. deneyde 80 kPa basınç değerindedir. Şekil 5.23’de en yüksek kuruma yüzdeleri 4. deneyde, en düşük kuruma yüzdeleri ise 5. deneyde gerçekleşmiştir. Basınç değerlerinin düşmesi kütle kayıplarının yüzdeliğini ilk 3 deneyde artırırken aynı basınç değerinde gerçekleştirilen 4. ve 5. deneylerde ise kalın numune ile yapılan 5. deneyde, kütle kayıplarının yüzdelikleri 4. deneyden daha azdır. Bu da artan malzeme kalınlığının kuruma hızını azalttığını göstermektedir.

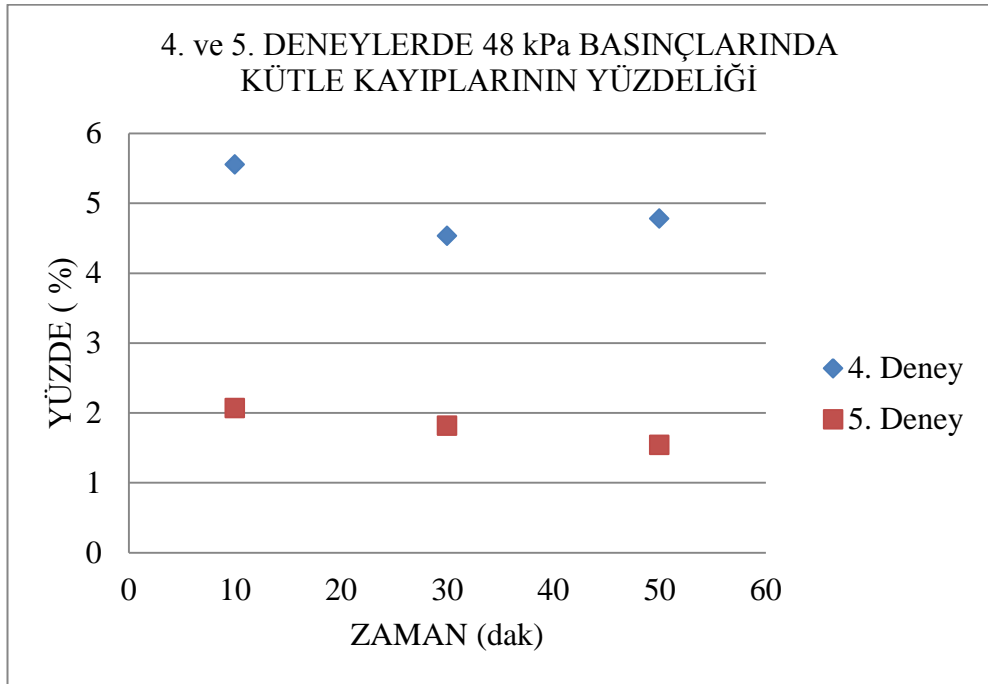
Şekil 5.21 ile Şekil 5.22’ye 93 kPa basınç değerlerinin verileri katılmamıştır. Katılmamasının sebebi olarak; deneylerde 93 kPa basınç değerinde ölçülen kütle kayıpları ile kütle kayıplarının yüzdeliği değerlerinde, farkların olmasıdır. Bu farkın grafiklere konması durumunda, grafikleri görsel olarak karmaşık ve okunması zor bir duruma sokmaktadır.



Şekil 5.21. 80-75-67-48 kPa basınçlarında kütle geçişinin zamanla değişimi



Şekil 5.22. 80-75-67-48 kPa basınçlarında kütle kayıplarının yüzdeliği



Şekil 5.23. 4. ve 5. Deneylerde 48 kPa Basınçlarında Kütle Kayıplarının Yüzdeliği

Çizelge 5.12’de deney no 1’de toplamda 5,8 g kütle kaybı gerçekleşmiş bu kaybın 4,3 g’lık kısmı 80 kPa basıncındaki ölçümlerde, 1,5 g’lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 80 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 2,8 katıdır.

Çizelge 5.12’de deney no 2’de toplamda 6,5 g kütle kaybı gerçekleşmiş bu kaybın 5 g’lık kısmı 75 kPa basıncındaki ölçümlerde, 1,5 g’lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 75 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 3,3 katıdır.

Çizelge 5.12’de deney no 3’de toplamda 7,5 g kütle kaybı gerçekleşmiş bu kaybın 5,9 g’lık kısmı 67 kPa basıncındaki ölçümlerde, 1,6 g’lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 67 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 3,6 katıdır.

Çizelge 5.12’de deney no 4’de toplamda 4,9 g kütle kaybı gerçekleşmiş bu kaybın 4,3 g’lık kısmı 48 kPa basıncındaki ölçümlerde, 0,6 g’lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 48 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 7,1 katıdır.

Çizelge 5.12’de deney no 5’de toplamda 4 g kütle kaybı gerçekleşmiş, bu kaybın 3,6 g’lık kısmı 48 kPa basıncındaki ölçümlerde, 0,4 g ‘lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 48 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 9 katıdır.

Çizelge 5.12’de deney no 1 de toplam kütle kaybının % 74,1’ü, deney no 2 de toplam kütle kaybının % 76,9’u, deney no 3 de toplam kütle kaybının % 78,6’sı, deney no 4 de toplam kütle kaybının % 87,7’si, deney no 5 de toplam kütle kaybının % 90’ı düşük basınçlarda gerçekleşen kuruma işlemleri sırasında olmuştur.

İlk 3 deneyde 12’şer ölçüm, 4. deneyde ise 6 ölçüm yapılmıştır. 4. deneyde 6 adet ölçümün yapılması vakum pompasının ısınması sebebiyledir. İlk 4 deneyin ölçüm sayılarını eşitlenmek ve gerçekleşen kütle kayıplarını karşılaştırmak için Çizelge

5.13 verilmiş olup, ilk 3 deneyin sadece ilk 6 ölçümü alındığında sırasıyla; deney no 1'de ilk 6 ölçümde toplam 3,2 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu kütle kaybının 2,4 g'lık kısmı 80 kPa basıncındaki ölçümlerde, 0,8 g'lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 80 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 3 katıdır.

Çizelge 5.13'de deney no 2'de ilk 6 ölçümde toplam 3,6 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu kütle kaybının 2,8 g'lık kısmı 75 kPa basıncındaki ölçümlerde, 0,8 g'lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 75 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 3,5 katıdır.

Çizelge 5.13'de deney no 3'de ilk 6 ölçümde toplam 4,1 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu kütle kaybının 3,3 g'lık kısmı 67 kPa basıncındaki ölçümlerde, 0,8 g'lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 67 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 4,1 katıdır.

Çizelge 5.13'de deney no 4'de ilk 6 ölçümde toplam 4,9 g kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu kütle kaybının 4,3 g'lık kısmı 48 kPa basıncındaki ölçümlerde, 0,6 g'lık kısmı 93 kPa basıncındaki ölçümlerde gerçekleşmiştir. 48 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybı, 93 kPa basıncında gerçekleşen toplam kütle kaybının 7,1 katıdır. Görüldüğü gibi basınç değerinin düşmesi kuruma hızına artış olarak yansımaktadır.

Çizelge 5.13'de yüzdeler kısımlarda ise, deney no 1 için 80 kPa basınç değerindeki kütle kayıpları toplam kütle kayıplarının %75'i, deney no 2 için 75 kPa basınç değerindeki kütle kayıpları toplam kütle kayıplarının %77,7'si, deney no 3 için 67 kPa basınç değerindeki kütle kayıpları toplam kütle kayıplarının %80,5'i, deney no 4 için 48 kPa basınç değerindeki kütle kayıpları toplam kütle kayıplarının %87,7'sidir. Çizelge 5.13'de 93 kPa basınç değerlerinde gerçekleşen toplam kütle kayıpları ilk 3 deneyde 0,8 g iken, 4. deneyde 0,6 g'dır.

Çizelge 5.12. Tüm deneylerde gerçekleşen toplam ve ilgili basınç değerlerindeki toplam kütle kayıpları ile yüzdellik değerleri

Deney no	1	2	3	4	5
Toplam kütle kaybı	5,8	6,5	7,5	4,9	4
93 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 2,4,6,8,10,12 toplamı)	1,5	1,5	1,6	0,6	0,4
93 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)	25,9	23,1	21,4	12,3	10
80 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5,7,9,11 toplamı)	4,3				
80 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)	74,1				
75 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5,7,9,11 toplamı)		5			
75 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)		76,9			
67 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5,7,9,11 toplamı)			5,9		
67 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)			78,6		
48 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5 toplamı)				4,3	3,6
48 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)				87,7	90

Çizelge 5.13. İlk 4 deneyde ilk 6 ölçüm sonunda toplam ve ilgili basınç değerlerindeki kütle kayıpları ile yüzdelerdeki değerleri

Deney no	1	2	3	4
Toplam kütle kaybı	3,2	3,6	4,1	4,9
93 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 2,4,6 toplamı)	0,8	0,8	0,8	0,6
93 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)	25	22,3	19,5	12,3
80 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5 toplamı)	2,4			
80 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)	75			
75 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5 toplamı)		2,8		
75 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)		77,7		
67 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5 toplamı)			3,3	
67 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)			80,5	
48 kPa basıncında toplam kütle kaybı (g) (ölçüm no: 1,3,5 toplamı)				4,3
48 kPa basıncında gerçekleşen kütle kaybı yüzdeliği (%)				87,7

5.7. Deneysel Veriler İçin Kütle Taşınım Hesaplamaları

Bu bölümde, 3.5. numaralı alt bölümünde verilen kütle taşınım eşitlikleri ile 5. bölümde yer alan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplar verilmiştir. Hesaplanan bu değerler ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Tüm deneyler için hesaplanan D_{AB} , Sc , Gr , Sh , $h_{k\ddot{u}tle}$, \dot{m} ve Δm değerleri Çizelge 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan numuneler (440x320x1 mm ve 440x320x4 boyutlarında) yatay bir plaka olarak düşünülmüş ve 3.5. numaralı alt bölümünde verilen yatay bir plakanın üst yüzeyi için doğal taşınım ile kütle transfer bağıntıları kullanılarak kütle transfer hızları hesaplanmıştır. Çizelge 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18’de yer alan \dot{m} ve Δm değerleri

sırasıyla, kütle taşınım hesaplamaları sonucunda bulunan kütle transfer hızı ile toplam kütle kaybıdır.

Çizelge 5.14. Deney 1 için hesaplanan kütle taşınım değerleri

P (kPa)	ϕ (%)	T (°C)	D_{AB} (m ² /s)	Sc	Gr	Sh	$h_{k\ddot{u}tle}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)	Δm (g)
80	51,5	20	3,06E-05	0,62	121330	8,96	0,0029	3,37E-06	2,02
93	57,5	20	2,63E-05	0,62	123997,24	9,01	0,0025	2,54E-06	1,52
80	61,5	20,5	3,07E-05	0,62	100097,52	8,54	0,0028	2,63E-06	1,57
93	67	20,5	2,64E-05	0,62	99870,92	8,54	0,0024	1,93E-06	1,16
80	67	20,5	3,07E-05	0,62	86024,61	8,22	0,0027	2,16E-06	1,3
93	67	20,5	2,64E-05	0,62	99870,92	8,54	0,0024	1,93E-06	1,16
80	67,5	21	3,08E-05	0,62	87141,39	8,25	0,0027	2,21E-06	1,33
93	70,5	21	2,65E-05	0,62	91993,82	8,36	0,0023	1,75E-06	1,05
80	70	20,5	3,07E-05	0,62	78327,31	8,03	0,0026	1,92E-06	1,15
93	71,5	21	2,65E-05	0,62	88936,98	8,29	0,0023	1,67E-06	1
80	70,5	20,5	3,07E-05	0,62	77044,16	8	0,0026	1,88E-06	1,12
93	73	21	2,65E-05	0,62	84351,11	8,18	0,0023	1,56E-06	0,94
								Toplam	15,36

Çizelge 5.15. Deney 2 için hesaplanan kütle taşınım değerleri

P (kPa)	ϕ (%)	T (°C)	D_{AB} (m ² /s)	Sc	Gr	Sh	$h_{k\ddot{u}tle}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)	Δm (g)
75	56,5	20,5	3,27E-05	0,62	105570,63	8,65	0,0030	3,22E-06	1,93
93	63,5	21	2,65E-05	0,62	113382,38	8,81	0,0025	2,29E-06	1,37
75	68	20,5	3,27E-05	0,62	78292,89	8,03	0,0028	2,18E-06	1,31
93	69	21	2,65E-05	0,62	96578,45	8,46	0,0024	1,86E-06	1,11
75	70	20,5	3,27E-05	0,62	73479,32	7,9	0,0028	2,01E-06	1,21
93	71	21	2,65E-05	0,62	90465,44	8,33	0,0023	1,71E-06	1,02
75	70	20,5	3,27E-05	0,62	73479,32	7,9	0,0028	2,01E-06	1,21
93	71,5	21	2,65E-05	0,62	88936,98	8,29	0,0023	1,67E-06	1
75	70,5	21	3,29E-05	0,62	74342,73	7,93	0,0028	2,06E-06	1,23
93	69,5	21	2,65E-05	0,62	95050,32	8,43	0,0024	1,82E-06	1,09
75	68,5	21	3,29E-05	0,62	79280,47	8,06	0,0028	2,23E-06	1,34
93	68,5	21	2,65E-05	0,62	98106,49	8,5	0,0024	1,9E-06	1,14
								Toplam	15,02

Çizelge 5.16. Deney 3 için hesaplanan kütle taşınım değerleri

P (kPa)	ϕ (%)	T (°C)	D_{AB} (m ² /s)	Sc	Gr	Sh	$h_{k\ddot{u}tle}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)	Δm (g)
67	53	21,5	3,69E-05	0,62	107533,4	8,69	0,0034	4,2E-06	2,52
93	59	21	2,65E-05	0,62	127046,46	9,06	0,0025	2,65E-06	1,59
67	62	20,5	3,67E-05	0,62	82932,48	8,15	0,0032	2,95E-06	1,77
93	59,5	21	2,65E-05	0,62	125564,19	9,04	0,0025	2,61E-06	1,56
67	64	21	3,68E-05	0,62	80843,76	8,09	0,0032	2,88E-06	1,72
93	63	21	2,65E-05	0,62	114909,51	8,84	0,0025	2,33E-06	1,39
67	65	20,5	3,67E-05	0,62	76481,17	7,98	0,0031	2,66E-06	1,6
93	69,5	21	2,65E-05	0,62	95050,32	8,43	0,0024	1,82E-06	1,09
67	67,5	20,5	3,67E-05	0,62	71102,91	7,84	0,0031	2,42E-06	1,45
93	69,5	21	2,65E-05	0,62	95050,32	8,43	0,0024	1,82E-06	1,09
67	67,5	20,5	3,67E-05	0,62	71102,91	7,84	0,0031	2,42E-06	1,45
93	67	21	2,65E-05	0,62	102690,12	8,59	0,0024	2,019E-06	1,21
								Toplam	18,5

Çizelge 5.17. Deney 4 için hesaplanan kütle taşınım değerleri

P (kPa)	ϕ (%)	T (°C)	D_{AB} (m ² /s)	Sc	Gr	Sh	$h_{k\ddot{u}tle}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)	Δm (g)
48	60,5	20,5	5,12E-05	0,62	61928,18	7,57	0,0041	3,99E-06	2,39
93	71,5	21	2,65E-05	0,62	88936,98	8,29	0,0023	1,67E-06	1
48	66,5	20,5	5,12E-05	0,62	52717,29	7,27	0,004	3,24E-06	1,94
93	70,5	21	2,65E-05	0,62	91993,82	8,36	0,0023	1,75E-06	1,05
48	67	20,5	5,12E-05	0,62	51943,91	7,25	0,004	3,18E-06	1,91
93	72,5	21	2,65E-05	0,62	85879,82	8,22	0,0023	1,6E-06	0,96
								Toplam	9,27

Çizelge 5.18. Deney 5 için hesaplanan kütle taşınım değerleri

P (kPa)	ϕ (%)	T (°C)	D_{AB} (m ² /s)	Sc	Gr	Sh	$h_{k\ddot{u}tle}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)	Δm (g)
48	48	48	5,21E-05	0,62	93510,28	8,39	0,0047	7,06E-06	4,24
93	93	93	2,69E-05	0,62	171654,15	9,77	0,0028	4,03E-06	2,42
48	48	48	5,19E-05	0,62	81441,07	8,11	0,0045	5,84E-06	3,5
93	93	93	2,69E-05	0,62	153609,31	9,50	0,0027	3,49E-06	2,09
48	48	48	5,19E-05	0,62	76420,6	7,98	0,0044	5,37E-06	3,22
93	93	93	2,69E-05	0,62	153609,31	9,5	0,0027	3,49E-06	2,09
								Toplam	17,58

Tüm deneylerde elde edilen kütle kayıpları ile deneylere ait kütle taşınım hesaplamaları ile bulunan kütle kayıpları Çizelge 5.19’da verilmiştir. Çizelge 5.19’da m deneysel çalışmalar sonucu bulunan kütle kaybını, Δm ise kütle taşınım eşitlikleriyle hesaplanan kütle kaybını ifade eder.

Çizelge 5.19’da Deney no 1’de gerçekleşen toplam kütle kaybı 5,8 g olurken, kütle taşınım hesaplamaları ile Deney no 1 için bu değer 15,36 g olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, deneysel sonucun 2,64 katıdır.

Deney no 2’de gerçekleşen toplam kütle kaybı 6,5 g olurken, kütle taşınım hesaplamaları ile Deney no 2 için bu değer 15,02 g olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, deneysel sonucun 2,31 katıdır.

Deney no 3’de gerçekleşen toplam kütle kaybı 7,5 g olurken, kütle taşınım hesaplamaları ile Deney no 3 için bu değer 18,5 g olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, deneysel sonucun 2,4 katıdır.

Deney no 4’de gerçekleşen toplam kütle kaybı 4,9 g olurken, kütle taşınım hesaplamaları ile Deney no 4 için bu değer 9,27 g olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, deneysel sonucun 1,89 katıdır. Deney no 5’de gerçekleşen toplam kütle kaybı 4 g olurken, kütle taşınım hesaplamaları ile Deney no 5 için bu değer 17,58 g olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, deneysel sonucun 4,39 katıdır.

Çizelge 5.19. Tüm deneyler için yapılan kütle taşınım hesaplamaları ile deneysel sonuçlar

Tartım No	Deney No 1		Deney No 2		Deney No 3		Deney No 4		Deney No 5	
	m (g)	Δm (g)	m (g)	Δm (g)	m (g)	Δm (g)	m (g)	Δm (g)	m (g)	Δm (g)
1	1	2,02	1,2	1,93	1,2	2,52	1,7	2,39	1,4	4,24
2	0,3	1,52	0,3	1,37	0,2	1,59	0,2	1	0,2	2,42
3	0,7	1,57	0,8	1,31	0,9	1,77	1,3	1,94	1,2	3,5
4	0,2	1,16	0,3	1,11	0,3	1,56	0,2	1,05	0,1	2,09
5	0,7	1,3	0,8	1,21	1,2	1,72	1,3	1,91	1	3,22
6	0,3	1,16	0,2	1,02	0,3	1,39	0,2	0,96	0,1	2,09
7	0,7	1,33	0,8	1,21	0,9	1,6	-	-	-	-
8	0,2	1,05	0,2	1	0,3	1,09	-	-	-	-
9	0,6	1,15	0,7	1,23	0,9	1,45	-	-	-	-
10	0,3	1	0,3	1,09	0,3	1,09	-	-	-	-
11	0,6	1,12	0,7	1,34	0,8	1,45	-	-	-	-
12	0,2	0,94	0,2	1,14	0,2	1,21	-	-	-	-
Toplam	5,8	15,36	6,5	15,02	7,5	18,5	4,9	9,27	4	17,58

Kütle taşınım hesaplamaları (Δm) ile deneysel sonuçlar (m) arasında ortaya çıkan önemli farkın nedenleri, 5.7.1. alt bölümünde açıklanmaya çalışılmıştır.

5.7.1. Kütle Taşınım Hesaplamaları İle Deneysel Sonuçlar Arasında Ortaya Çıkan Önemli Farkın Nedenleri

- Yapılan hesaplamalarda numunelerin yüzey alanları 0,1408 m² olarak alınmıştır. Ancak numunelerin yüzey alanlarında, ipliklerin dokunması sırasında oluşan girinti ve çıkıntılar mevcuttur. Bu sebeple numunelerin yüzey alanları gerçekte 0,1408 m² değerinden farklıdır.

- Yapılan kütle taşınım hesaplamalarında bağıl nem, sıcaklık ve numunelerin yüzey nemliliği değerleri zamandan bağımsız olduğu ve sabit kaldıkları varsayımı ile kullanılmışlardır. Gerçekte ise; bağıl nem, sıcaklık ve numunelerin yüzey nemlilikleri zamana bağlı olarak değişmektedir. Deneysel çalışmalarda bağıl nem değerleri, deneylerin başlarında minimum değerlerindeyken, deneylerin sonlarına doğru numunelerden buharlaşan suyun etkisiyle artış göstermiştir. Benzer olarak numunelerin yüzeyindeki nemlilik miktarı kurutma işlemi sırasında sürekli olarak azalmaktadır. Deneylerin son ölçümlerindeki kütle kayıpları ilk ölçümlere göre azalmış durumdadır. Bağıl nem ve sıcaklığın deneyler sırasında sabit kalmaması hesaplamalar ile deney sonuçlarının farklı olmasına sebep olmuştur.

- Yapılan kütle taşınım hesaplamalarına, numunelerin iç kısmından yüzeyine doğru olan, difüzyonla gerçekleşen kütle transferi katılmamıştır. Sadece numunelerin yüzeyinden, doğal taşınım ile, havaya olan kütle transferi hesaplanmıştır. Deneylerde ise nem, numunelerin iç kısımlarından yüzeye doğru difüzyonla, yüzeyden kabin içerisindeki havaya ise doğal taşınım ile transfer olmaktadır.

- 4 ve 5 nolu deneylerde ise farklı kalınlıklarda, en ve boy ölçüleri aynı olan, iki farklı numune aynı basınç şartlarında kurumaya bırakılmıştır. Kalınlık farkı, numunelerin iç kısımlarından yüzeye olana difüzyonla kütle transferini etkilemiş ve bu iki deneyin sonlarında farklı kütle kayıpları ölçülmüştür. Bu iki deney sonunda 5

nolu deneyde kullanılan kalın numuneden gerçekleşen toplam kütle kaybı, 4 nolu deneyde kullanılan ince numuneden daha az olmuştur. Kütle taşınım hesaplamalarında ise tersi durum söz konusudur. Bunun sebebi olarak, bağıl nemlerin aritmetik ortalamalarının 5 nolu deneyde daha az olması ve difüzyonla gerçekleşen kütle transferinin hesaplamalara katılmaması düşünülmektedir. Hesaplamalarda, bağıl nemin sabit kaldığı düşünüldüğünde, düşük bağıl nem değerlerinde daha fazla kütle transferinin hesaplanmasını olağandır.

Kütle taşınım hesaplamaları ile deneysel çalışmalar arasındaki farkın sıralanan bu sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

6. SONUÇ

Çamaşır kurutmada vakumlu ortam incelemesi adlı bu yüksek lisans tezinde yapılan deneysel çalışmalar ile kütle taşınım hesaplamaları sonucunda; kurutma prosesinde basıncın, kütle transferine etkisi incelenmiştir. Elde edilen deneysel çalışmalar sonucunda, düşük basınçlarda gerçekleşen kurutma işleminde, kütle transferinde önemli ölçüde iyileşmeler sağlanmıştır.

Düşük basınç, D_{AB} ile ifade edilen kütle yarılanım katsayısını arttırıp, suyun kaynama noktasının düşürmektedir ve bu da kütle transfer hızını arttırmaktadır. Çizelge 5.13.'de ilk 4 deney sırasıyla 80 kPa-93 kPa, 75 kPa-93 kPa, 67 kPa-93 kPa, 48 kPa-93 kPa mutlak basınçlarında yapılmıştır. 48 kPa-93 kPa basınçlarında gerçekleşen deney no 4'de en fazla kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu da düşük basıncın kuruma hızını arttırdığını göstermektedir.

İlk dört deney aynı numune ile yapılmış olup son deneyde farklı bir numune kullanılmıştır. Son deneyde kurutma hızına malzeme kalınlığının etkisi incelenmiştir. 4. ve 5. deneyler aynı basınç şartlarında gerçekleştirilmiştir (48 kPa). 5. deneyde kullanılan malzeme 4. deneydeki malzemedan daha kalındır ve 5. deneyde, 4. deneyden daha az kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu da artan malzeme kalınlığının, kütle transferine negatif yönde etkisinin olduğunu göstermiştir.

Malzeme kururken, iç kesimlerden dış yüzey alanına doğru difüzyon ile bir kütle transferi mevcuttur. Kütle transferinin gerçekleştiği yüzey alanına dik olarak artan boyut (malzeme kalınlığı), kılcal boşluklardaki sürtünme direncini arttırarak, iç dokunun yüzeye sıvı transferini güçleştirmekte ve böylece yüzeyin sürekli olarak nemli kalmasını engellemektedir. Yüzeyin sürekli nemli kalmaması, yüzeyden havaya olan kütle taşınımını azaltmaktadır. Benzer olarak ısı iletiminde de, ısı transferinin gerçekleştiği yöne doğru artan boyut, ısı iletimine negatif yönde etki göstermektedir. Bu da, 5. deneyin sonunda gerçekleşen toplam kütle kaybının 4. deneydekinden daha az olmasına sebep olmuştur.

Şekil 5.1, 5.5, 5.9, 5.13, 5.17’de, düşük basınçlarda gerçekleşen kütle kayıpları, atmosfer basıncında gerçekleşen kütle kayıplarından büyük olmuştur. Bu grafiklerde düşük basınçlarda gerçekleşen kütle kayıplarının eğimi, atmosfer basınçlarında gerçekleşen kütle kayıplarının eğimlerinden fazladır. Eğim bu grafiklerde kuruma hızıdır ve eğimin artışı, kuruma hızının arttığını göstermektedir.

Tüm deneylerin ilk ölçümlerinde gerçekleşen kütle kayıpları, sonraki ölçümlerden fazla olmuştur. Tüm deneylerin bağıl nem ve özgül nem grafiklerinde tartım no 1’lerde ölçülen minimum ve maksimum bağıl nem ve özgül nem değerleri arasındaki fark, diğer ölçümlerdeki minimum ve maksimum bağıl nem ve özgül nem değerleri arasındaki farktan büyük olarak gerçekleşmiştir. Numunelerden gerçekleşen kütle transferi, kabin içerisindeki bağıl nem ile özgül nemi arttırmış ve ilk ölçümlerde kaydedilen bu yüksek kütle kayıpları, ilk ölçümlerde kaydedilen minimum ve maksimum bağıl nem ile özgül nem değerleri arasındaki farkın diğer ölçümlerdeki farktan fazla olmasına sebep olmuştur.

Çizelgeler 5.2, 5.4,5.6,5.8, 5.10’da görüldüğü gibi, genel olarak kütle kayıpları tezin giriş bölümünde bulunan Şekil 1.2’de belirtilen kuruma aşamalarına uygunluk göstermektedir. İlk ölçümlerdeki kütle kayıplarının fazlalığı, numune yüzeyinde bulunan nemin fazlalığından kaynaklanmaktadır. Daha sonraki ölçümlerde ise kütle kayıpları hemen hemen sabit olarak devam etmiştir. Son ölçümlerde elde edilen veriler, deneylerin sonlarına doğru kütle transfer hızının, ilk ölçümlere nazaran yavaşladığını göstermektedir. Bu olguya, son ölçümlerde numune yüzeyinin giderek nemliliğinin azalması ve iç dokuya hapsolan nemin hızlı bir şekilde yüzeye difüzyonla iletilememesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Deneysel çalışmalarda kurutma işlemi, doğal taşınım ve düşük hava sıcaklığında (20°C ile 24°C arasında) gerçekleştirilmiştir. Zorlanmış taşınım ve yüksek hava sıcaklığı, kurutma hızını arttıracaktır. İlerde otomasyonlu, yüksek hava hızı ve sıcaklığında, optimum basınç şartlarında yapılacak kurutma sistemleri, çamaşır kurutmada daha ekonomik, hızlı ve kaliteli kurutma işlemlerine sebep olacaktır.

Sonuç olarak kurutma hızının artması için düşük basınçlarda kurutma işleminin yapılması, kurutma hızını arttırmakta ve artan malzeme kalınlığı, kurutma işlemine negatif yönde etki ederek kurutma hızını azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Kaya, Kurutmada Isı ve KütLe Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2008.
- [2] U. Akyol, İplik Bobininin Kurutulmasının Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi. Trakya Üniversitesi, Edirne, 2007.
- [3] Güngör, A. ve Özbalta, N., Endüstriyel kurutma sistemleri. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Kasım 1997, İzmir, s. 734-747, 1997.
- [4] Oğulata, R.T., Kadem, F.D., Koç, E., Tekstilde kurutma yöntem ve makinaları, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Kasım 1999, İzmir, s. 803-810, 1999.
- [5] M. Kayabaşı, Çamaşır Kurutma Makinesi Kondanser Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [6] Huelsz, G., Urbiola-Soto, L., López-Alquicira, F., Rechtman, R., Hernández-Cruz, G., Total energy balance method for venting electric clothes dryers. *Drying Technology*. 31: 576–586, 2013.
- [7] P. Demirbaş, Isı Pompası Destekli Çamaşır Kurutucusu Tasarımı ve Deneysel Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2011.
- [8] Durmuş, M., Bilen, K., Uzun, İ., Isı pompalı tekstil kurutma makinelerinde kurutma havası debisinin kurutucu performansına etkisinin deneysel analizi. *Mühendis ve Makina*, Cilt 53, Sayı 635, s. 40-50, 2013.
- [9] Bansal, P., Islam, S., Karishma, S., A novel design of a household clothes tumbler dryer. *Applied Thermal Engineering* 30 (2010) 277–285, 2009.

- [10] Tarakçioğlu, I. And Cay, A., Experimental study of a new shock pre-drying method for cotton fabrics. *Int. J. Energy Res.* 2007; 31:886–894, 2006.
- [11] Das, B., Das, A., Kothari, V.K., Fanguiero, R., Araújo, M. de, Moisture transmission through textiles. *AUTEX Research Journal*, Vol. 7, No2, 100-110, 2007.
- [12] Doğan, H., Düşük nem oranlı hava ile kurutma. *Teknoloji.* s. 3-4, 23-29,2001.
- [13] Haghi, A.K., *Heat & Mass Transfer in Textiles.* Wseas, Montreal Canada, 2011.
- [14] Çengel, Y.A., *Isı ve Kütle Transferi.* İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2011.
- [15] Çengel, Y.A., Boles, M.A., *Termodinamik.* İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2008.