

**İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK
BELİRLENMESİ**

Sevgi TORAMAN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL
2011**

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL
OLARAK BELİRLENMESİ**

Sevgi TORAMAN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL

TEKİRDAĞ-2011

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL danışmanlığında, Sevgi TORAMAN tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof Dr. Ahmet CİHAN

Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

Doç. Dr. Kamil KAHVECİ

Yrd. Doç. Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı
kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Fatih Konukçu
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Sevgi TORAMAN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç Dr. Uğur AKYOL

Tekstil endüstrisinin temel bileşenlerinden olan iplikçilik ve dokumacılık sektöründe kurutma işlemi, tekstil terbiye işlemleri arasında en yüksek maliyet kalemlerinden birini teşkil etmektedir. Tekstil sanayinde, kurutmanın, sıcak havanın kurutulacak olan malzeme yüzeyi üzerinden geçirilerek yapıldığı sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tezde, yün iplik bobinlerinin değişik kuruma şartları altında kuruma davranışı literatürde mevcut ampirik ve yarı ampirik kuruma modelleri kullanılmak suretiyle simüle edilmiştir. Bu amaçla öncelikle yün iplik bobinlerinin deneysel kuruma davranışı tespit edilmiştir. Deneyler tekstil endüstrisinde kullanılan basınçlı sıcak hava ile çalışan kurutucuların prototipi niteliğindeki bir iplik bobini kurutma deney düzeneğinde yapılmıştır. Daha sonra literatürde mevcut kuruma modellerinin, elde edilen deneysel verilere uygunluğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kuruma davranışı, iplik bobini, yün, matematiksel model

2011, 68 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DRYING BEHAVIOR OF WOOL BOBBINS

Sevgi TORAMAN

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Uğur AKYOL

Inevitable after most dyeing or/and finishing processes, drying is a time consuming, energy intensive and expensive process and constitutes one of the major cost elements among the textile finishing operations. Thermal processes are widely used in textile industry; consist of passing a hot air stream over the surface of the material to be dried. In this study drying behavior of polyester based yarn bobbins for different drying conditions was simulated by empirical and semi-empirical drying models available in the literature. For this purpose, firstly experimental drying behavior of wool yarn bobbins has been determined. The experiments were conducted on an experimental hot-air bobbin dryer designed and manufactured based on hot-air bobbin dryers used in textile industry. Then, drying models have been fitted to the experimental data.

Keywords: Drying behavior, yarn bobbin, wool, mathematical model

2011, 68 page

ÖNSÖZ

Tekstil sanayinde çoğu boyama ve/veya terbiye işlemlerinden sonra iplik bobinlerinin kurutulması gerekmektedir. Kurutma işlemi ise oldukça pahalı ve zaman alıcı bir prosestir. Dünyada enerji kaynaklarının hızla tükendiği ve tekstil sektörünün ülkemiz ekonomisinde çok önemli bir yere sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, özellikle tekstil sektöründe kurutma işlemi gibi yüksek miktarda enerji tüketimi gerektiren, masraflı bir prosesin matematiksel modeller yardımıyla simüle edilerek tekstil ürünlerinin kuruma davranışlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL'a, değerli katkılarından dolayı Doç. Dr. Kamil KAHVECİ'ye, Prof. Dr. Ahmet CİHAN'a ve Arş. Gör. Soner ÇELEN'e teşekkür ederim.

SİMGELER DİZİNİ

D	: İplik bobini dış çap [cm]
d	: İplik bobini iç çap [cm]
H	: Bobin yüksekliği [cm]
Ø	: Çap [mm]
mr	: Boyutsuz nem oranı
m	: Herhangi bir andaki su miktarı [kg]
m _{yb}	: Yaş baz kütlesi [kg]
m _{kb}	: Kuru baz kütlesi [kg]
m _s	: Nemli kütle [kg]
m _k	: Kuru kütle [kg]
m _d	: Denge kütlesi [kg]
m _e	: Kurutma koşullarındaki su miktarı [kg]
m _o	: Kurutmaya başlamadan önceki malzemenin içerdiği nem miktarı [kg]
r	: Korelasyon katsayısı
s _t	: Kalanların kareleri toplamı
e _s	: Standart hata
P	: Basınç [bar]
P _{eff}	: Efektif basınç [bar]
n _o	: Ölçüm adedi
T	: Sıcaklık [°C]
mr _t	: Teorik kuruma nem oranı
mr _d	: Deneysel kuruma nem oranı

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Kurutma.....	2
1.1.1 Kurutmanın mekanizması.....	2
1.1.2 Kurutma sürecinin temelleri.....	3
1.1.3 Kurutma zamanının belirlenmesi.....	3
1.2 Kurutma Sistemi Tipleri.....	4
1.2.1 Taşınım ile kurutma.....	4
1.2.2 Morötesi radyasyon kurutma.....	5
1.2.3 İletimle kurutma.....	6
1.2.4 İnfrared (kızılötesi) radyant kurutma.....	6
1.2.5 Dondurarak kurutma.....	7
1.2.6 Vakumda kurutma.....	7
1.2.7 Karıştırmalı yatakta kurutma.....	8
1.2.8 Akışkan yataklı kurutma.....	8
1.2.9 Kızgın buhar atmosferinde kurutma.....	9
1.2.10 Flaş kurutma.....	9
1.2.11 Tünel kurutucular.....	10
1.2.12 Püskürtmeli kurutucular.....	11
1.2.13 Döner kurutucular.....	11
1.2.14 Kabinet ve kompartıman kurutucular.....	12
1.2.15 Mikrodalga kurutma.....	12
1.2.16 Dielektrik kurutma.....	13
1.3 Kurutmanın Safhaları.....	13
1.4 Yün İplikçiliği.....	15
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1 Materyal.....	23
3.1.1 Yün iplik bobini.....	23
3.1.2 Fan.....	23
3.1.3 Isıtma eşanjörü.....	24

3.1.4 Portmantiyer.....	25
3.1.5 Soğutma eşanjörü ve seperatör.....	26
3.1.6 Debimetre.....	27
3.1.7 Loadcell.....	28
3.1.8 Nem sensörü.....	29
3.1.9 Kompresör.....	29
3.1.10 Termokupllar.....	30
3.1.11 PLC.....	32
3.2 Yöntem.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	41
4.1 Nem İçeriği.....	41
4.2 Kuruma Davranışının Modellenmesi.....	42
4.3 Sıcak Hava ile Kurutmada Deneysel Kuruma Davranışı.....	44
4.4 Sıcak Hava ile Kurutmada Modelleme	52
5. SONUÇ.....	57
6. KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Taşınımlı kurutma makinesine (iplik kurutucu) ait bir fotoğraf.....	5
Şekil 1.2 Morötesi kurutma makinası.....	6
Şekil 1.3 Vakumlu kurutucu.....	7
Şekil 1.4 Karıştırmalı yatakta kurutma makinası.....	8
Şekil 1.5 Akışkan yataklı kurutucu.....	9
Şekil 1.6 Flaş kurutma makinası.....	10
Şekil 1.7 Döner kurutucu.....	12
Şekil 1.8 Karakteristik kurutma eğrileri.....	14
Şekil 1.9 Kuruma evresinde sıcaklık değişimi.....	14
Şekil 3.1 Fan.....	23
Şekil 3.2 Isıtma eşanjörü.....	24
Şekil 3.3 Portmantiyer: Dış görünüm.....	25
Şekil 3.4 Portmantiyer: İzolasyonlu gövde.....	25
Şekil 3.5 Portmantiyer: İç kısım.....	25
Şekil 3.6 Seperatör ve soğutma eşanjörü.....	26
Şekil 3.7 Debimetre.....	27
Şekil 3.8 Portmantiyer altında loadcell.....	28
Şekil 3.9 Nem sensörü.....	29
Şekil 3.10 Kompresör.....	30
Şekil 3.11 Termokupllar.....	31
Şekil 3.12 Termokupl tüm görünüm.....	31
Şekil 3.13 PLC dış görünüm - Elektrik panosu.....	32
Şekil 3.14 Sürücü (İnvertör).....	33
Şekil 3.15 PLC iç görünüm (operatör kumanda paneli).....	33
Şekil 3.16 Bobin geometrisi.....	34
Şekil 3.17 Su banyosundaki yün iplik bobinleri.....	35
Şekil 3.18 Süzölmeye bırakılan yün iplik bobinleri.....	35
Şekil 3.19 İplik bobinlerinin içerisine yerleştirilen termokupllar.....	36
Şekil 3.20 Deneylede kurutulan iplik bobininin şematik gösterimi.....	37
Şekil 3.21 Otomatik klape sistemi.....	37
Şekil 3.22 Bobin kurutma deney düzeneğinin şematik görünümü.....	38
Şekil 3.23 Bobin kurutma deney düzeneğinin genel görünümü.....	39

Şekil 3.24 Bilgisayar ve PLC kontrollü deney düzeneği.....	39
Şekil 3.25 Otomatik kontrol sistemi ekranı.....	40
Şekil 4.1 D=18 cm T=80°C için kuruma davranışı.....	49
Şekil 4.2 D=18 cm T=90°C için kuruma davranışı.....	49
Şekil 4.3 D=18 cm T=100°C için kuruma davranışı.....	50
Şekil 4.4 D=14 cm T=80°C için kuruma davranışı.....	50
Şekil 4.5 D=14 cm T=90°C için kuruma davranışı.....	51
Şekil 4.6 D=14 cm T=100°C için kuruma davranışı.....	51
Şekil 5.1 D=14 cm $P_{eff}=1$ bar T=80°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	58
Şekil 5.2 D=14 cm $P_{eff}=1$ bar T=90°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	58
Şekil 5.3 D=14 cm $P_{eff}=1$ bar T=100°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	59
Şekil 5.4 D=14 cm $P_{eff}=2$ bar T=80°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	59
Şekil 5.5 D=14 cm $P_{eff}=2$ bar T=90°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	60
Şekil 5.6 D=14 cm $P_{eff}=2$ bar T=100°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	60
Şekil 5.7 D=18 cm $P_{eff}=0,5$ bar T=90°C’de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	61
Şekil 5.8 D=18 cm $P_{eff}=0,5$ bar T=100°C’de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	61
Şekil 5.9 D=18 cm $P_{eff}=1$ bar T=80°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	62
Şekil 5.10 D=18 cm $P_{eff}=1$ bar T=90°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	62
Şekil 5.11 D=18 cm $P_{eff}=1$ bar T=100°C’de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	63
Şekil 5.12 D=18 cm $P_{eff}=2$ bar T=80°C’de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	63
Şekil 5.13 D=18 cm $P_{eff}=2$ bar T=90°C’de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	64
Şekil 5.14 D=18 cm $P_{eff}=2$ bar T=100°C’de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Bobin boyutları	34
Çizelge 4.1 Kuruma davranışını ifade etmede kullanılan bazı amprik ve amprik modeller.....	42
Çizelge 4.2 D=18 cm ve D=14 cm çapındaki bobinler için denge kütleleri.....	43
Çizelge 4.3 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=0,5$ bar için deneysel sonuçlar.....	44
Çizelge 4.4 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=1$ bar için deneysel sonuçlar.....	45
Çizelge 4.5 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=2$ bar için deneysel sonuçlar.....	46
Çizelge 4.6 D=14 cm, $P_{\text{eff}}=1$ bar için deneysel sonuçlar.....	47
Çizelge 4.7 D=14 cm, $P_{\text{eff}}=2$ bar için deneysel sonuçlar.....	48
Çizelge 4.8 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=0,5$ bar için regresyon analiz sonuçları.....	52
Çizelge 4.9 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=1$ bar için regresyon analiz sonuçları.....	53
Çizelge 4.10 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=2$ bar için regresyon analiz sonuçları.....	54
Çizelge 4.11 D=14 cm, $P_{\text{eff}}=1$ bar için regresyon analiz sonuçları.....	55
Çizelge 4.12 D=14 cm, $P_{\text{eff}}=2$ bar için regresyon analiz sonuçları.....	56

1. GİRİŞ

Belirli uzunluğu, inceliği ve mukavemeti olan, eğrilme ve bükölme kabiliyetine sahip, boyanabilen ve tekstil endüstrisinde kullanılmaya uygun materyallere lif denmektedir. Liflerin çoğuluna ise elyaf adı verilmektedir. Tekstil ürünleri elyaf adı verilen bu hammaddeden elde edilmektedir. Tekstil ise, elyafın elde edilmesinden, iplik ve kumaş haline getirilmesine, elde edilen bu ürünlerin boyanmasına, baskı ile renklendirilmesine ve tüketicinin istediği özelliklere sahip bir ürün haline getirilmesine kadar geçirmiş olduğu tüm aşamaları kapsayan bir kavramdır. İnsanların giyinmek ve barınak yerlerini oluşturmak için kullandıkları materyaller tekstil ürünlerinden oluşan materyalleridir.

Yün, tekstil liflerinin sınıflandırılmasında doğal elyaf sınıfına giren, hayvansal lifler grubunun bir üyesidir. Yün, yazılı tarih başlangıcından çok seneler önce eğirilmiş ve kumaş haline getirilmiştir. Yünlü giysiler vücudu sıcak tutar. Bunun nedeni, kalın olmaları değil, yün lifleri arasına sıkışmış bir hava kütesinin varlığıdır. Bu kütle vücudun doğal ısısının kaybolmasını önler.

Tekstil sanayinde, boyama işlemlerinden sonra iplik bobinlerinin kurutulması gerekmektedir. Kurutma işlemi, çoğu boyama işleminden sonra yüksek miktarda enerji gerektiren pahalı bir süreçtir. Kurutmanın amacı, bobin içindeki nemin bobinden uzaklaştırılmasıdır. Tekstil sektöründe iplik bobinlerinin kurutulması için bir kaç yöntem bulunmakla birlikte, sıcak hava kullanılarak kurutmanın gerçekleştirildiği sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sıcak hava ile kurutmada, iplik bobini üzerinden sıcak hava geçirilmek suretiyle, ısının malzemeye taşınım yoluyla geçmesi ve bu ısıyla buharlaşan sıvının ortamdan uzaklaşması sağlanır. Bu işlem, kurutma havasının sıcaklığı ve nemine bağlı olarak bobin içerisinde denge nemi oluşuncaya kadar devam eder. Kuruma süresi ve hızı, kurutulan malzemenin yapısına, yüzey alanına, kurutma havasının sıcaklığına, hızına ve nemine bağlıdır. Bu sebeple minimum enerji harcayarak, malzeme yapısını ve kalitesini bozmadan kurutma yapılacak uygun şartların tespit edilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, yün iplik bobinlerinin değişik kuruma şartları altında kuruma davranışı literatürde mevcut ampirik ve yarı ampirik kuruma modelleri kullanılmak suretiyle simüle edilmiştir. Bu amaçla öncelikle, yün iplik bobinlerinin deneysel kuruma davranışı, tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılan basınçlı ve sıcak hava ile çalışan kurutucuların prototipi niteliğindeki bir iplik bobini kurutma deney düzeneğinde tespit edilmiş, daha sonra literatürde mevcut kuruma modellerinin, elde edilen deneysel verilere uygunluğu belirlenmiştir.

1.1. Kurutma

Kurutma işlemi; gazlardan, sıvıların veya katılardan su ve diğer sıvıların giderilmesidir. Bununla birlikte genel olarak kurutma terimi, katı maddelerden ısı yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin uzaklaştırılması anlamına gelmektedir.

1.1.1 Kurutmanın mekanizması

Bir katı maddenin kuruması esnasında iki işlem birden oluşur. İlki sıvının buharlaşması için ısının kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi, diğeri iç sıvı ve buhar geçişi olarak gerçekleştirilen kütle transfer işlemidir. Isı ve kütle transferi işlemlerinin her ikisi de kuruma hızının çözümlenmesinde etken kullanılan faktörlerdendir.

Ticari kurutucularda birinci hedef, kurutucuda gerekli ısının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Kurutucularda gerçekleştirilen ısı transferi, kurutucu tipine göre değişmek üzere, taşınım, iletim veya bunların kombinasyonları şeklinde olabilir. Genelde ısı, katı maddenin dış yüzeyinden iç kısımlarına doğru geçer. Yalnızca yüksek frekanslı elektrik akımlı kurutmada yüksek sıcaklık katı maddenin içinde oluşturulur ve ısı dış yüzeye akar, bu esnada gerçekleşen kütle transferi ile kurutma işlemi gerçekleşir.

Kurutma olayına etki eden bazı parametreler; ısı transferi, kurutma atmosferi, katı sıvı sisteminin genel fiziksel özelliği ve gözenekler içindeki yüzey alanının sıvı hacmine oranıdır.

Kurutma işlemleri uygulamalarında kurutma havasının sürekli dolaşımı ısı verimliliği artırmaktadır. Optimum miktarda dolaştırılan hava kesrinin çözümlenmesi için daha fazla dolaştırılan hava ile düşük ısı kaybı ve daha az dolaştırılan hava (taze havanın fazla olduğu durum) ile yüksek kuruma hızı arasındaki denge araştırılmalıdır.

1.1.2 Kurutma sürecinin temelleri

Kurutma sürecinin temel hedefi katı içerisindeki suyun (nemin) uzaklaştırılmasıdır. Nem iki gruba ayrılır: Bağlı nem ve bağlı olmayan nem. Katı içinde sıvı formda hapsedilmiş olarak bulunan neme bağlı nem denir ve bu nemin buhar basıncı saf suyunkinden azdır. Bağlı nemin katı içinde aşırı miktarda bulunması durumundaki fazla neme de bağlı olmayan nem adı verilir. Maddenin taşıdığı suyun kuru maddeye oranı nem kesri olarak adlandırılır. Kurutmanın, eş zamanlı ısı-kütle-momentum transferini içeren ve faz değişikliklerini barındıran bir işlem olması, onun modelleştirilmesini oldukça güç hale getirir. Dolayısıyla kurutmanın ana mekanizmasının belirlenmesi modelleme açısından oldukça önemlidir.

Kurutmanın ana mekanizması, malzemenin nem içeriğinin yapısının bir fonksiyonudur. Bu mekanizma, kurutma işleminin çalışmaları sırasında değişebilir. Kurutmanın ana mekanizmasının belirlenmesi, modelleme çalışmaları açısından önemli olduğundan, işlem sırasındaki mekanizma değişimleri de önem arz eder ve kurutma belirli periyotlarda tanımlanır.

Kurutucu içinde havanın nemliliğinin fiziksel olarak kurutulacak üründen alınacak nemi uzaklaştırabilmesi gerekmektedir. Kullanılan kurutma havasının maksimum nem alma kapasitesi havanın yaş termometre sıcaklığındaki doyma özgül nemi ile kurutma havası özgül nemi arasındaki fark kadardır (kg nem/kg kuru hava). Gerçek nem alma miktarı; ısı ve kütle transferi hızları ile çözümlenmekte olup, her zaman maksimum ulaşılabilecek nem alma hızından daha az değerdedir. (Çit, 2006)

1.1.3 Kurutma zamanının belirlenmesi

Kurutma zamanının belirlenmesinde kullanılabilecek üç yöntem aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- ✓ Davranış testi; bir laboratuvarında, ticari bir kurutucudaki koşulların sağlandığı durumlarda deneysel çalışmalar yaparak veya direkt olarak ticari bir kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde verimlilik verilerinin elde edilmesi ile kuruma zamanının belirlenmesiyle gerçekleştirilir.

- ✓ Yapay madde testi; eğer kurutulacak özel maddenin temini güçse, yukarda belirtilen davranış testleri benzer özelliklerdeki yapay bir maddeye uygulanır. Bu konu araştırmacının deneyim ve değerlendirilmesiyle uygun sonuçlar verebilir.
- ✓ Teorik tahmin; kuruma zamanı literatürde verilen uygun eşitliklerin kullanımı ile teorik olarak belirlenebilir.

Ticari bir cihaz tasarlandığında, laboratuvar kurutucusundaki davranış testi, ticari kurutucudaki çalışma koşullarıyla benzeşir. Laboratuvar testlerinde kullanılan malzemelerin, ticari kurutucuda kurutulacak madde ile benzeşmesi (veya aynı malzeme olması) gerekir. Birçok denemedeki sonuçlar uygunluk için karşılaştırılır. Aksi durumda test sonuçları ticari malzemenin kuruma karakteristiklerinin hassas olarak yansıtmayabilir.

Laboratuvar testleri pratik değilse, ticari kuruma verileri cihaz imalatçısının (önemli bir veri kaynağı) deneyimlerine dayanmış olabilir.

Teorik eşitliklerden kurutma zamanının tahmin edilmesi yalnızca yaklaşım değerlerini verir. Bu yöntemin kullanılmasında bu konuya dikkat edilmelidir. (Oğulata, 2007)

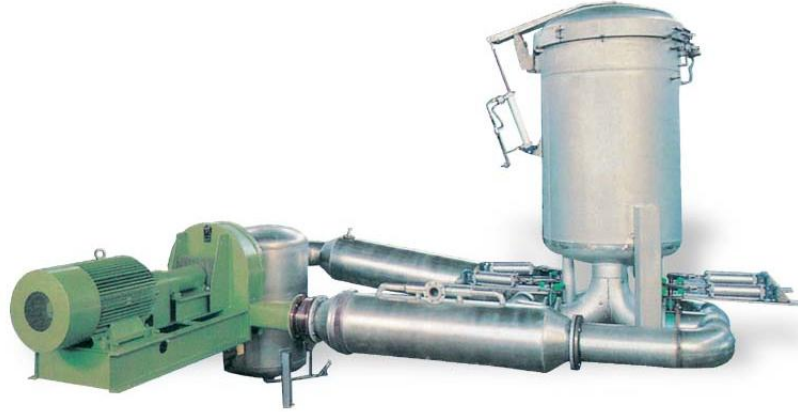
1.2 Kurutma Sistemi Tipleri

1.2.1 Taşınımla Kurutma

Taşınımla kurutma, tüm kurutucularda gözlenmekle birlikte, ısı kaynağı olarak sıcak hava veya diğer gazların kullanıldığı kurutucular bu sınıfa girer. Taşınımla kurutmanın prensibi, ısıtılmış ve nem içeriği az olan havanın, kurutulacak nemli ürün ile çeşitli şekillerde irtibatlandırılarak kurutulmasıdır. Sıcak hava, kurutulacak olan materyalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak sıcak hava ile kurutma tekniği olarak bilinir. Nemli üründen havaya kütle transferinin gerçekleştiği taşınımla kurutma, özellikle hassas yüzeyli kumaşların ve kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tekstil sanayinde iplik bobinleri kurutulurken, kurutma makinesinde belli bir basınç ve sıcaklıktaki hava, belirli bir süre bobinlerin dışından içine, belirli bir süre içinden dışına doğru geçirilmek suretiyle iplik bobinlerinin dengeli bir şekilde kuruması sağlanır. Bobin

kurutma haznesinden çıkan nemli hava bir soğutma eşanjöründe belli bir sıcaklığa kadar soğutulmak suretiyle içindeki nem yoğuşturularak havadan ayrıştırılır, akabinde bir serpantinden geçirilerek hava fanına gelir. Hava fanı, havayı belirli bir basınç değerine kadar çıkartarak, havanın tekrar ısınması için ısıtma eşanjörüne gönderir. Isıtma eşanjöründe ısınan hava tekrar bobin kurutma haznesine gider. Kurutma havasının özgül nemi belli bir süre sonra oldukça artar. Özgül nemi belli bir seviyeye gelen kurutma havası deşarj edilir ve kurutma makinesine yeniden taze hava alınır. Bobinlerin başlangıç nem oranları %65-70 civarındadır. Bobin kurutma makinesinde ısıtma, kurutma, soğutma işlemleri yapılmaktadır. Bu kurutma yönteminde düşük enerji sarfiyatı sistemin en avantajlı yönüdür. Ayrıca beyaz ve açık renk boyanmış materyallerde, düşük sıcaklıkta kurutma yapıldığı için sararma tehlikesi, koyu renklerde ise migrasyon tehlikesi oluşmaz. Migrasyon, tekstil materyalinin boyanması ile kuruması arasında oluşan, istenmeyen boyarmadde göçüdür.



Şekil 1.1 Taşınımlı kurutma makinesine (iplik kurutucu) ait bir fotoğraf.

1.2.2 Morötesi radyasyon kurutma

Morötesi kurutmada elektromanyetik radyasyon kullanılır. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddeler UV (Ultraviyole) radyasyon etkisinde kurutulmuş olarak işlenirler. Morötesi kurutmanın uygulanmasında en büyük sorun yüksek yatırım maliyetidir.



Şekil 1.2 Morötesi kurutma makinası

1.2.3 İletimle kurutma

İletimle kurutmada ısıtılan yüzey, malzeme ile temastadır ve malzemenin aşırı ısınmasını önlemek, ısıtmanın homojen olmasını sağlamak için gereken önlemler alınmalıdır. İletimle kurutma, kağıt ürünlerinin kurutulması ve üretiminde yaygın olarak kullanılır. Ancak iletimle kurutmada yüksek kuruma hızlarına ulaşmama, uniform olmayan ısı ve kütle transfer koşulları, kontrol problemleri, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Tüm bu olumsuzluklara karşı iletimle kurutmanın diğer kurutma sistemlerine dönüştürülmesi ilk yatırım, işletme ve bakım maliyet nedeniyle tercih edilmemektedir.

1.2.4 İnfrared (Kızılötesi) radyant kurutma

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur. Isı transferi termal radyasyon yayan malzemenin yapısı ve karakteristiği ile kurutulan maddenin özelliklerin bağlıdır ve ısı verim düşüktür.

Radyant kurutma; kâğıt, tekstil gibi üzerinde motif desen içeren ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Kurutulacak malzemenin yanabilir olması durumunda ürün ısı kaynağına yakın tutulmamalıdır.

1.2.5 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma; farmolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur, ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırucusu 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. Dondurarak kurutma genellikle -10°C ile -40°C arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur.

1.2.6 Vakumda kurutma

Vakumda kurutma, düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda (buharlaşması) kaynaması gibi avantaja sahiptir. Vakum kurutucuda düşük sıcaklıklarda ısıl deformasyona sebebiyet vermeden, kaliteli ve hızlı kurutmayı yapabilmek mümkündür.

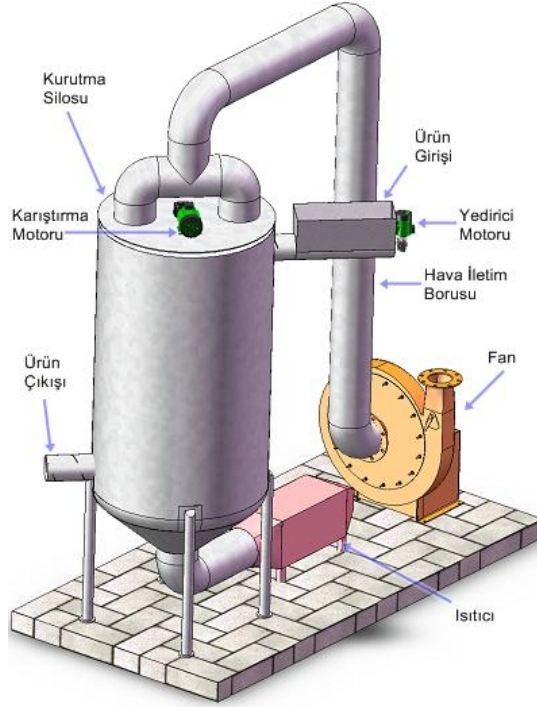
Vakumda kurutma işleminin dezavantajı düşük hacimli kapasitelerde hızlı kurumayı sağlamasıdır. Genellikle $1-20\text{ m}^3$ kapasitelidir. Genellikle ceviz, meşe, çam, kayın, kiraz gibi kerestelerin kurutulmasında kullanılır.



Şekil 1.3 Vakumlu kurutucu

1.2.7 Karıştırılmalı 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



Şekil 1.4 Karıştırılmalı yatakta kurutma makinesi

Karıştırılmalı yatakta; fındık, kabak çekirdeği, pirinç, çeltik, mermer tozu, kum, buğday, arpa, tuz, mısır vb. küçük taneli ürünler kurutulmaktadır.

1.2.8 Akışkan yataklı kurutma

Akışkan yataklı kurutmada, tanecik yapısındaki maddeler arasından kurutma ortamına gaz akımı geçirilir. Gaz hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki kurutucular malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğunda, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemeleri kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli avantajı kurutma işlemi kısa sürede tamamlamasıdır.



Şekil 1.5 Akışkan yataklı kurutucu

1.2.9 Kızgın buhar atmosferinde kurutma

Bir malzemenin kurutulmasında hava veya diğer gazlar kullanıldığında, uzaklaştırılan nem buharları kütleli gaz akımına ulaşana dek durgun bir gaz filminde diffüzyonlanır. Bu filmin kütle transferine direnci büyük olduğundan, kurutma 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 kolaydır. Ayrıca kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlarda görülen oksidasyon ve diğer tepkimeler söz konusu değildir. Ancak yüksek sıcaklık nedeniyle ısıya duyarlı malzemelere uygulanması sakıncalıdır. Ticari olarak örnekler tekstil ve kimya sanayilerinde görülmektedir.

1.2.10 Flaş kurutma

Flaş kurutmada, sıcak hava jeneratöründen alınan baca gazı, bir fan vasıtası ile bir boruya basılır. Ürün bu boru içerisine helezon konveyör ile nakledilir. Boru içerisinde sıcak hava ile pnömatik taşıma yapılırken ürün yüzeyindeki suyun ısı şoklanması ile kısa sürede evaporasyonu sağlanır. Seperatör ile nemi düşürülmüş ürün, sistemden alınır. Yeterli nem düşümü sağlanamayan uygulamalarda çıkan ürün yeniden kurutucuya beslenerek, nihai istenen nem değerine ulaşılır. Besleme hızı frekans konverteri ile ayarlanabilir.

Bu sistem ile yoğunluğu 7 [gr/cm³] e kadar olan "toz ve granül" madenlerin kurutulması mümkündür. Madencilik haricinde gıda ve kimya endüstrisinde de kullanılmaktadır. Kurutulabilecek malzemeler toz, kek, granül, pul, macun, jel ve çamur şeklinde olabilir.



Şekil 1.6 Flaş kurutma makinesi

1.2.11 Tünel kurutucular

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucu modifiye edilmiş kompartıman kurutucudur. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava, yanma gazları fan yardımıyla sistemde dolaştırılır.

Malzeme raf veya bantlar üzerinde kurutulur. Hava akımı, malzeme ile paralel zıt akışlı veya her ikisinin birlikte uygulanması olarak sistemden geçirilir. Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanım ile sistemden çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanabilir.

Tünel kurutucularda havanın değişik hava hız ve yönü, sıcaklık, nem uygulamaları mümkündür. Giriş ve çıkışta sıcak hava kayıplarını önlemek için gereken önlemler alınmalıdır.

1.2.12 Püskürtmeli kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Kurutulan ürünler uniformdur ve kuruma süreleri 5–15 saniye arasında değişir. Bu sistemlerde sıcak hava kurutma ortamına, püskürtme yardımıyla gönderilir. Giriş gaz sıcaklığı 93°C ile 760°C arasında değişir. Isıl verimlilik; kurutma ortamı giriş sıcaklığı ile arttığından, yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle, ısıya duyarlı malzemelerin kurutulması için de uygundur. Kurutuma ortamı, besleme akımı ile paralel veya zıt yönde sistemden geçirilebilir. Çıkış gazı ile sürüklenabilen toz halindeki malzeme siklon seperatör veya torba filtrelerde tutulur.

Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü, yoğunluğu gibi kitlesel özellikleri kurutma gazının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir. Ürünün son nemliliği çıkış gaz akımının sıcaklık nemi ile kontrol edilir.

1.2.13 Döner kurutucular

Döner kurutucularda, ürünün nemini azaltmak için kurutucu içine sıcak hava gönderilir. Döner kurutucuların genel yapısı; geniş çaplı, uzun silindirik bir boru ve bunun beton ayaklar üzerine mesnetlenmesiyle oluşturulur. Döner kurutucu içerisinde ürünün akışını sağlayabilmek amacıyla fırın belirli bir açıda çalışır. Kurutulması istenen ürün, fırın içerisinde bulunan kanatlarda harmanlanarak, iyi bir kuruma elde edilir. Gövde iç çeperindeki bu kanatlar, ürünün dönüş etkisiyle kayarak ilerlemesini sağlar.

Döner kurutucular; kum, betonit, kömür, asfalt ve benzeri ürünlerin kurutulmasında kullanılır.



Şekil 1.7 Döner kurutucu

1.2.14 Kabinet ve kompartıman kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutulacak malzeme, temas yüzeyini arttıracak şekilde raflara serilir. Eğer kurutma olan ürünün içerdiği nem buharı, patlayıcı–yanıcı özellikte ise kurutma işleminin başında veya yüksek hızda buharlaşmanın gözlemlendiği anlarda çıkış havasının tamamı sisteme geri gönderilmeden dışarı verilmelidir. Normal çalışma koşullarında ise çıkış havasının bir bölümünü sisteme geri göndermek ekonomik bir yöntemdir.

1.2.15 Mikrodalga kurutma

Mikrodalga kurutmada çok yüksek frekanslı (900 ile 5000 Mhz) güç kaynağı kullanılır. İletken olmayan maddelerin ısıtılmasına uygulandığından bir dielektrik kurutma formu olarak nitelenebilir. Mikrodalga kurutma şerit şeklindeki ince malzemeler uygulanır.

Sanayinin kurutma ve ısıtmaya ihtiyaç duyduğu her alanda kullanılabilmesine imkan vermektedir. Genellikle; çay, tuz ve biber kurutma işlemlerinde; tıbbi ve katı atıkların hijyeninin sağlanmasında, gıda maddelerinin kurutulmasında vb. kullanılmaktadır.

Sistem giriş ve çıkışında alınması gerekli koruyucu önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikrodalga kurutmayı, daha pahalı hale getirir.

1.2.16 Dielektrik kurutma

Dielektrik kurutma, en çok 10-100 Mhz aralığında gerçekleştirilir. Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilirse, malzeme içinde ısı üretilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelere göre daha fazla ısı üretilir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik olarak düzenlenir. Su, malzeme aşırı derece ısıtılmaksızın buharlaşır. (Güngör, 1997)

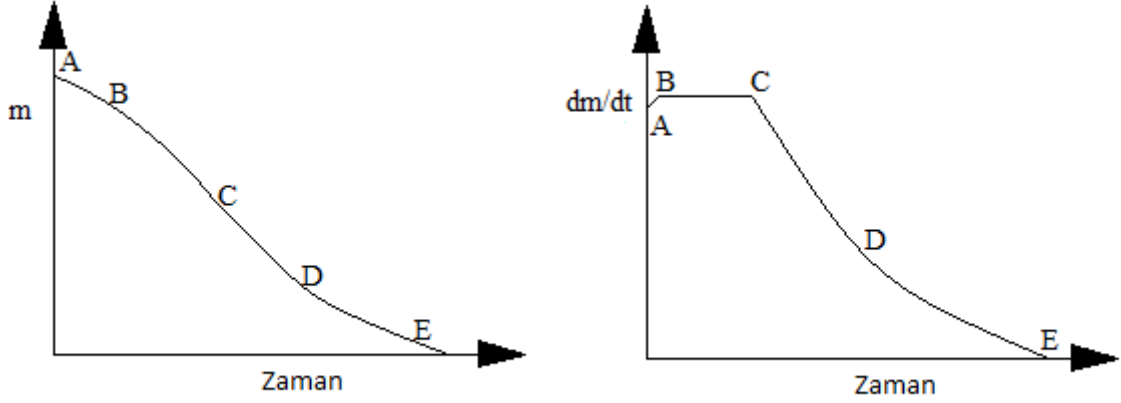
Ağaç, tekstil, kağıt, boya, plastik ve seramik sanayilerinde çeşitli kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır.

1.3 Kurutmanın Safhaları

Kurutma amacıyla yeterli ısının bulunduğu bir ortama konan nemli bir maddenin kuruma sürecinde, genel olarak üç dönem vardır. Bunlar ısınma dönemi, sabit kuruma hızı ve azalan kuruma hızı dönemleridir.

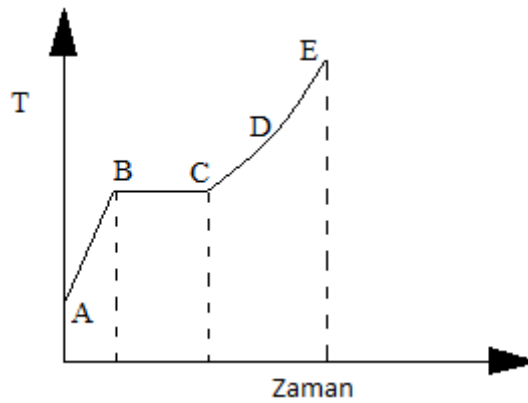
Kurumakta olan bir maddenin nemliliğinde olan değişim, Şekil 1.8’de verilmiştir. Şekillerdeki AB ile gösterilen ısınma döneminde, ürünün sıcaklığı kurutma havasının sıcaklığı ile dengeye ulaşmaya kadar sürer.

Sabit kuruma hızı evresi, Şekil 1.8’de BC çizgisiyle birleştirilmiştir. Burada ürünün üzeri ince bir su tabakası ile kaplı olduğundan, önce bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Aslında bu durgun bir su yüzeyinden olan serbest buharlaşmaya benzer. Başlangıçta çok hızlı olan bu buharlaşma, bir süre sonra yüzeyin hemen üzerinde olan buhar tabakası nedeniyle yavaşlar. Kurumanın devam etmesi için, bu buhar filminin, bir hava akımı ile dağılıp taşınması gerekir. Şekil 1.8’deki C noktası, bu ürünün yüzeyindeki serbestçe buharlaşabilen nem sona erdiği zaman, sabit hızda kuruma sona erer ki bu noktada ‘kritik nem’ olarak bilinir. C noktasının görülebilmesi için ürünün başlangıç nemi, kritik nem değerinden daha yüksek olmalıdır.



Şekil 1.8 Karakteristik kuruma eğrileri

Şekil 1.8'deki CDE eğrisi, sabit kuruma eğrisinden sonra başlayan azalan hızda kuruma evresini göstermektedir. Bu evrede buharlaşma ürünün içinde başlar. Su yüzeye difüzyon ile ulaşır. Yüzeğe yakın bölümler, hem doğrudan yüzeye ve hem de kapilerlere nem verdiklerinden, iç katmanlara göre daha çok su kaybeder. Bu evrede kuruma süresi azaldıkça, birim zamanında buharlaşan nem miktarı azalmaktadır. Bu nedenle bu evreye azalan hızda kuruma evresi denir ve nem uzaklaşması sona erene kadar (E) devam eder. Birinci azalan hız evresinde, hem yüzeyden serbest buharlaşma ve hem iç kısımlardaki buharlaşan suyun hareketi etkili olmaktadır. Bu bölüm bir geçiş aşamasıdır (CD arası). Hava hızı, sıcaklık ve nem bu bölümde etkili olmaktadır. İkinci bölümde kuruma hızı, bütünüyle içsel nem hareketine bağlı olarak oluşur. DE ile gösterilen bu bölüm denge nemine ulaşmaya kadar devam eder (Çelen, 2010). Kurumakta olan bir maddenin sıcaklığında olan değişim, Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9 Kuruma evresinde sıcaklığın değişimi

1.4. Yün İplikçiliği

Hayvansal bir tekstil materyali olan yünü, birtakım işlemlerle iplik haline dönüştürmeye yün iplikçiliği denir.

Eskiçağlardan beri insanların soğuktan korunmak için yararlandıkları yün, günümüzde de giysi yapımında ve dokumacılıkta yaygın olarak kullanılır. İlk insanlar önceleri hayvanın postuna sarınarak soğuktan korunurken, daha sonra bu kıllardan iplik yapmayı ve kumaş dokumayı öğrendiler. Yün, uzun ve kaba kılların altında, hayvanın derisini ince bir katman olarak örten çok yumuşak lif ya da kıllardır.

Zamanla, özellikle yünü için üretilen koyunlar ıslah edilmiş, üsteki kaba ve uzun kıl katmanı yok edilerek, yumuşak tüylü koyunlar üretilmiştir. Yün, iklim koşullarına göre, koyunlar yılda bir ya da iki kez kırılarak elde edilir. Bir yün lifi mikroskop altında incelendiğinde iğ biçiminde hücrelerden oluştuğu ve birbiri üzerine bitmiş pullarla kaplı olduğu görülür. Yünün bazı üstünlükleri ile bazı sakıncalarının nedeni bu pullardır. Pullar, sıcak sabun köpüğünde yünün çekmesine ve keçeleşmesine yol açar. Yünün bu yapısal özelliği keçe yapımını olanaklı kılar. Buna karşılık, aynı durum yünlü giysilerin yıkanmasında büyük güçlükler doğurur. Ama bugün kimyasal işlemlerle pulları yok ederek bu güçlüğün üstesinden gelinebilmektedir.

Yünlü giysiler vücudu sıcak tutar. Bunun nedeni kalın olmaları değil, yün lifleri arasına sıkışmış bir hava kütesinin varlığıdır. Bu kütle, vücudun doğal ısısının kaybolmasını önler. Sıradan bir pamuklu giysi aynı ölçüde hava tutmaz. Kabartılmış pamuklu bir battaniye ise yün battaniye kadar vücudu sıcak tutabilir. Ama yün lifleri yay gibi esnek olduğundan, yün battaniye yıkansa bile kabarıklığını korur. Öte yandan pamuklu battaniye kısa zamanda ezilir ve kabarıklığını yitirerek eskisi kadar ısıtmaz. Yünün bir başka üstünlüğü, ıslaklık duygusu yaratmaksızın oldukça yüksek miktarda nem tutabilmesidir. Yün bir kurutma fırınında kurutulduktan sonra sıradan bir oturma odasına alınsa, kısa zaman içinde ağırlığının nerdeyse %20 oranında artıracak kadar nem emer. Yün bu nemi emerken açığa ısı çıkarır. Bu nedenle nemli havada yün palto ile dışarıya çıkan kişi ısındığını hisseder.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İplik gibi gözenekli higroskopik malzemelerin kurutulması, eşzamanlı ısı ve kütle transferini ihtiva eden karmaşık bir prosestir. Yapılmış olan çalışmaların birçoğunda, kuruyan malzeme içerisinde ve bu malzeme ile malzemenin etrafını çevreleyen kurutma havası arasında meydana gelen ısı ve kütle aktarım prosesleri genellikle enerji ve kütle transferi denklemleri yardımı ile ifade edilmektedir.

Araştırmacılar, malzemenin geometrisi, fiziksel yapısı ve kuruma olayı hakkında değişik kabuller yaparak modeller ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşımlardan birisi, gözenekli malzemelerin kurutulması sırasında, malzeme içerisinde faz değişiminin meydana geldiği ve bu durum için ısı ve kütle transferinin hareketli bir buharlaşma ara yüzeyi ile ifade edildiği hareketli sınır modelidir. Bu düşünceye göre gözenekli, katı malzemelerin kurutulması sırasında kurumaya bağlı olarak suyun malzeme yüzeyinden, malzemenin iç kısımlarına doğru geri çekilmekte olan hareketli bir ara yüzey üzerinde buharlaştığı göz önünde bulundurulmaktadır. Bu yöntemle oluşturulan modeller daha sonra uygun başlangıç ve sınır koşulları yardımıyla analitik olarak veya sayısal teknikler kullanılarak çözülebilmektedir.

Ribeiro ve Ventura (1995), yün iplik bobinlerinin paralel hava sirkülasyonu ve içten dışa doğru hava sirkülasyonu yardımıyla olmak üzere iki şekilde kurutulmasıyla ilgili olarak iki ayrı bölümden oluşan deneysel bir çalışma yapmışlardır.

Birinci bölümde bir adet yün iplik bobini sıcak hava ile kurutulmuştur. Ortam havası bir fan vasıtası ile rüzgar tüneli içerisine alınarak burada bir elektrikli ısıtıcı yardımı ile ısıtılmakta ve bobin üzerinden geçirilmektedir. Sıcak hava bobin eksenine paralel şekilde, aynı anda bobinin hem içinden hem de dışından geçmektedir. Deneylerde kurutma havası sıcaklıkları 60°C, 70°C, 80°C ve 90°C, hava hızları 2 m/s, 3 m/s ve 4 m/s olarak seçilmiştir.

Kurutmanın başlamasıyla birlikte, bobin içerisinde iki adet hareketli buharlaşma sınırı meydana gelmektedir. Bu sınırlar kuru bölge ile nemli bölgeyi ayıran, kuruma ilerledikçe birbirlerine doğru yaklaşan ve kuruma sonunda birbirleri üzerine çakışarak ortadan kaybolan hareketli buharlaşma sınır çizgileridir.

Çalışmanın ikinci bölümünde üst üste beş adet iplik bobininin yerleştirilmiş olduğu, basınçlı havanın kullanıldığı ve bu havanın bobinin içerisinden, radyal doğrultuda bobinin iç kısmından dışına doğru geçirildiği bir deney düzeneği kurulmuştur. Bu durumda bobinlerin iç kısmından dış kısmına doğru hareket eden sadece bir adet hareketli buharlaşma sınırı meydana geldiği göz önünde bulundurulmuştur. Bu düzende bobinlerin sahip oldukları toplam nem içerik değerleri, kurutucuya giren hava ile kurutucudan çıkan havanın sahip olduğu nem miktarları arasındaki farkın ölçülmesiyle tespit edilmiştir.

Çözeltilerin vakumlu ortamda kurutulmasıyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada (Nastaj, 2000), ısı ve kütle transferi, silindirik geometri için radyal doğrultuda bir boyutlu olarak ele alınmış ve göz önünde bulundurulmuş iki bölge, parabolik, hareketli sınır değer problemi sayısal olarak çözülmüştür. Silikajel ve sülfamerazin çözeltilerinin kurutulduğu döner tamburlu silindirik bir kurutucu üzerinde yeni bir nümerik model geliştirilmiştir.

Çalışmada tambur kurutucuların, ısıya duyarlı ürünleri yüksek sıcaklıklarda kısa bir süre içerisinde kurutmak için uygun olduğu ifade edilmiştir. Silindir şeklindeki tambur iç kısmından ısıtılmakta, dış yüzeyi doğrudan çözelti ile temas etmekte ve burada çözelti ile tambur arasında iletimle ısı transferi meydana gelmektedir. Çözeltinin diğer tarafı da üzerinden sıcak hava akımı geçirilmek suretiyle zorlanmış taşınım ile ısı transferine maruz kalmaktadır. Ortaya konan problem silindirik geometride iki bölge, parabolik, hareketli sınır koşuluna sahip sınır değer problemi olarak nitelendirilmiştir.

Çalışmada aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Isı ve kütle transferi radyal doğrultudadır,
- Buharlaşma sadece hareketli sınırlar üzerinde meydana gelmektedir,
- Kuru bölgeler üniform olup, sabit termofiziksel özelliklere sahiptir,
- İdeal bir yalıtım yapıldığı varsayılmıştır.

Fiziksel model oluşturulurken öncelikle uygun diferansiyel denklemler ve sınır şartları belirlenmiştir. Kuruma sırasında iç ve dış taraflarda iki adet kuru bölge ve bunların arasında kalan bir nemli bölge oluşmaktadır. Hareketli sınırlar üzerinde eşitlik yazılmıştır.

Bütün bu bölgeleri ayıran sınırlar için sınır şartları yazıldıktan sonra ifadeler boyutsuzlaştırılarak problem integral transform tekniği ile çözülmüştür.

Lee, vd., (2000) tarafından yapılan bir araştırmada boyanmış halı ipliklerinin kurutulmasıyla ilgili iki boyutlu matematiksel bir model geliştirilmiştir. Gözenekli silindirik ortam üzerinden eksene paralel şekilde sıcak hava geçirilmiş, ortamın enerji ve kütle korunumu göz önünde bulundurularak, ısı ve kütle transferi hesaplanmıştır

Model oluşturulurken, elde edilen üç adet non-lineer diferansiyel denklemler sistemi sonlu farklar metodu yardımı ile sayısal olarak çözülmüştür. Oluşturulan bu modeli doğrulamak amacıyla deneysel olarak iki ayrı tipte deneysel yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birisi manyetik görüntüleme sistemi, diğeri ise bir laboratuvar ortamında kurulmuş bir deney düzeneğidir. Çalışmada her ikisinden elde edilen sonuçlarla, nümerik yöntemle elde edilen model sonuçlarının uyum içerisinde oldukları görülmüştür. İplikler, deney düzeneğinde kurutulmadan önce vakumlanmış ve sahip oldukları nem içerikleri kurumaya başlamadan önce %50 değerine kadar düşürülmüştür. Manyetik görüntüleme sisteminin kullanıldığı düzenekte halı iplikleri hava akımına paralel bir şekilde yerleştirilmiştir. Bunun için 1,5 mm yarıçapında, 19 mm uzunluğunda ve 2 mm yarıçapında, 11,7 mm uzunluğunda silindirik geometriye sahip iki tür halı iplik parçası kullanılmıştır. Sistemde kurutma havası elektrikli bir ısıtıcı ile ısıtılmış; iplikler ise, deney düzeneği içerisine birbirlerine paralel duracak şekilde bir arada küme halinde kurumaya maruz bırakılmıştır. Halı ipliği içerisindeki nem, manyetik rezonans görüntüleme vasıtası ile iki boyutlu olarak görüntülenmiştir.

Kurumanın ilerlemesiyle nemin iplik merkezine doğru çekilmekte olduğu varsayılarak, sistem modellenmiştir.

Laboratuvar ortamında hazırlanmış olan ve çalışmanın ikinci bölümünü oluşturan deney düzeneğinde ise, kuruma sırasında iplikler tartılmış ve nem içeriğinin zamanla değişimi belirlenmiştir. Deneyler, farklı çap ve uzunluklara sahip iki tür halı ipliği üzerinde yapılmıştır. Deneylerde hava hızı 20 m/dk ve 30 m/dk, hava sıcaklığı ise 80°C ve 116°C olarak alınmıştır. Kuruma işlemlerinin en fazla 180 s ile 190 s kadar sürdüğü bu çalışmada, ipliklerdeki toplam nem içeriği %5 değerinin altına düştüğünde ipliğin tamamen kuruduğu kabul edilmiştir.

Model oluşturulurken, iplik kesitinde kuruma sırasında oluşan nemli ve kuru bölgelere ait ısı ve kütle transferi göz önünde bulundurmuş, ısı ve kütle transferinin sadece radyal doğrultuda gerçekleştiği varsayılmıştır. Matematiksel modelleme yapılırken iplik için ayrı bir model, iplik üzerinden geçen hava akımı için de ayrı bir model oluşturulmuştur. İpliğin kuruma prosesi modellenirken ısı ve kütle dirençleri kullanılmıştır. İpliğin kuruması sırasında, dış kısımdan ipliğin iç kısmına doğru hareket eden ve kuruma sonunda iplik merkezinde kaybolan hareketli bir buharlaşma sınırı göz önünde bulundurularak, bu durum için iplik içerisindeki enerji dengesi ifade edilmiştir.

Havanın nem oranı ve sıcaklığı için başlangıç şartları belirlenmiş, daha sonra bu denklemler sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Basitleştirilmiş bu matematiksel model yardımı ile halı ipliklerinin kuruma miktarları ve kuruma süreleri tespit edilebilmektedir.

Smith ve Farid (2004), deneysel çalışmalarında silindirik geometriler için hareketli sınır teorisini göz önünde bulundurarak malzemelere ait kuruma sürelerinin tespit edilmesine olanak sağlayan bağıntılar elde etmişlerdir. Bu çalışmalarında kuruma sırasında malzemenin kuru hale gelen kısımlarının düşük ısı iletkenliğe sahip olduğu ve bu nedenle kurumuş olan bu kısımların ısı ve kütle transferine karşı yüksek direnç gösterdiği varsayılmıştır. Göz önünde bulundukları modelde, silindirik malzeme içerisinde nemli bir çekirdek bölge, bu bölgeyi çevreleyen kuru bir kabuk bölge ve bu iki bölgeyi birbirinden ayıran hareketli bir buharlaşma sınır bölgesi mevcuttur. Bu hareketli sınır bölgesinin sıcaklığı yaş termometre sıcaklığındadır. Burada kuruma düzeni üç aşama ile karakterize edilmektedir. Bunlar sırasıyla ilk olarak nemli malzemenin duyulur ısısı, bunu takip eden ve faz değişimi ile ilgili olan gizli ısı ve son olarak da malzemenin kuruyan kısmının duyulur ısısıdır. Bu kuruma düzenine göre malzemenin herhangi bir noktadaki sıcaklık ani bir şekilde kritik sıcaklığa yükselmekte ve bu noktadaki suyun tamamı buharlaşana kadar bu kritik sıcaklık değerinde sabit olarak kalmaktadır. Bu noktadaki suyun tamamı buharlaştıktan sonra ise kuru noktanın sıcaklığı ısıtma havasının sıcaklığına doğru yaklaşmaktadır. Kuruma sırasında nemli bölge içerisindeki duyulur ısı uygulamaların birçoğunda ihmal edilebilmektedir. Kurumuş olan bölgede ise duyulur ısı buharlaşma gizli ısısına nazaran oldukça düşüktür.

Hussain ve Dinçer tarafından yapılmış olan bir çalışmada, sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak silindirik bir cismin kurutulması sırasındaki ısı ve nem transferine ait iki boyutlu sayısal bir analiz yapılmıştır. Farklı zaman periyotları için nemli cisim içerisinde sıcaklık ve nem dağılımları elde edilmiştir. Kuruma simülasyonunu ortaya koymak için kullanılan matematiksel model, ısı iletimi ile ilgili olarak iki boyutlu Fourier kanunu ve kütle difüzyonu ile ilgili olarak iki boyutlu Fick kanunları üzerine kurulmuştur. Fick denklemi, ısı iletimi için kullanılan Fourier denkleminde benzerdir. Sadece Fourier denklemi içerisindeki sıcaklık ve ısı difüzyon hızı ifadelerinin yerini, Fick denkleminde sırasıyla nem içeriği ve nem difüzyon hızı almaktadır.

Dietl vd. (1998), küresel, silindirik ve düz levha şeklindeki geometrilere sahip, kapiler gözenekli higroskopik malzemelerin kuruma davranışlarını tespit etmek amacıyla sayısal bir model geliştirmişler, invers prosedür yardımıyla iletkenlik ve buhar difüzyon direnç katsayılarını belirlemişlerdir. Model, diferansiyel bir kontrol hacmi için sıvı ve buhar hallerindeki enerji ve kütle dengesi üzerine kurulmuştur. Malzeme içerisinde meydana gelen ısı transferi için gözenekler içerisinde buhar hareketinin başlattığı hava akışı ve ısı difüzyon ihmal edilmiş, malzeme içerisinde ısı üretiminin veya kimyasal reaksiyonun olmadığı göz önünde bulundurulmuş ve problem tek boyutlu hale getirilmiştir. Enerji ve kütle dengesi, malzemenin nem içeriği ve sıcaklığı için bir dizi kısmi diferansiyel denklemin yazılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu model denklemleri, konu ile ilgili bütün katsayılar bilindiğinde sayısal olarak çözülebilmektedir.

Literatürde çeşitli tekstil lifleri veya tekstil malzemelerindeki ısı ve kütle transferi mekanizmalarının anlaşılmasına ve açıklanmaya çalışıldığı, bunlara ait matematiksel modellerin sunulduğu, ayrıca bazı faktörlerin ısı ve kütle transferi üzerine olan etkilerinin araştırıldığı çalışmalar da mevcuttur.

Bu çalışmalardan bazılarında malzeme kalınlığı, gözeneklilik miktarı, gözenek boyut dağılımı ve lif çapı gibi faktörlerin gözenekli tekstil malzemelerinde meydana gelen ısı ve nem transferi üzerine olan etkileri incelenmiş ve bunlara uygun modeller geliştirilmiştir (Zhu ve Li, 2003; Li, vd., 2002).

Atmosfer şartlarının dokumalar içerisinde meydana gelen ısı, su ve gaz transferi üzerine olan etkisinin araştırıldığı bir çalışmada eşzamanlı ısı ve kütle transferi için dinamik bir model ortaya konmuştur (Zhongxuan, vd., 2004). Yün dokuma malzemesi için nem difüzyonu ve ısı transferinin ele alındığı başka bir çalışmada ise matematiksel bir simülasyon geliştirilerek bu model sonlu farklar yardımı ile nümerik olarak çözülmüştür (Li ve Zhongxuan, 1999).

Haghi (2003) ise halıların sıcak hava yardımı ile kurutulmasında kuruma davranışını araştırmıştır. Yapılan bu çalışmada ele alınan halıya ait nem sorpsiyon mekanizması tanımlanmış, kurutma işlemi sırasında çeşitli parametrelerin etkisi göz önünde bulundurularak kuruma prosesini ifade eden matematiksel bağıntılar geliştirilmiştir.

Li ve Zhu (2003) tarafından yapılan deneysel bir araştırmada ise çeşitli tekstil malzemeleri için nem sorpsiyonu, yoğuşma, nem ve ısı transferini içerisinde barındıran dinamik bir model geliştirilmiştir.

Gibson ve Charmchi (1997) yün, ipek, pamuk, polyester ve naylon türündeki tekstil malzemelerinin termofiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Li ve Zhu (2003), gözenekli tekstil malzemelerindeki nem transferini simüle etmek için yerçekimi etkisini göz önünde bulunduran matematiksel bir model geliştirmişler, oluşturdukları modelde sıvı halde bulunan suyun gözenekli tekstil malzemesinin kılcal ağ yapısı içerisinde bulunduğu ve malzeme yüzeyine kapiler hareket neticesinde taşındığı varsaymışlardır.

Akyol (2004) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, yün iplik bobininin sıcak hava ile kurutulması işlemi teorik olarak incelenmiştir. Bu amaçla iplik bobinin kurutulması ile ilgili literatürdeki deneysel sonuçlar kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, iplik bobininin kuruma prosesinin silindirik koordinatlarda radyal doğrultuda bir boyutlu olarak modellenebileceğini göstermiştir. Kurutma prosesi ile ilgili oluşturulan matematiksel modelin çözümü için, bobin içerisindeki nemin buharlaşma gizli ısı ile kurutma işlemi sırasında meydana gelen kütle taşınımının etkileri efektif termofiziksel özellikler yardımıyla ifade edilmiştir. Problem çözümüne geçmeden önce, bir invers ısı transferi problemi çözülerek, çözüm hassaslığına tesir edebilecek bazı faktörlerin etkisi incelenmiştir. Daha sonra kurutulan yün iplik bobininin sıcaklığa bağlı efektif termofiziksel özellikleri belirlenmiş ve iplik bobini içerisindeki

sıcaklığın zamanla değişimi bulunmuştur. Termofiziksel özellikler belirlendikten sonra, modele ait düz problem çözümlenerek hem ortaya konan matematiksel modelin, hem de belirlenen termofiziksel özelliklerin doğrulukları kontrol edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Yün iplik bobini

Bu çalışmada, Türkiye’de üretimi yapılan, tekstil için kullanılan farklı ebatlardaki yün iplik bobinleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yün iplik bobinlerinin içeriğinde %65 yün, %35 orlon bulunmaktadır.

3.1.2 Fan

550 m³/h hacimsel debi kapasitesine sahip hava fanı kurutma havasının sistem içerisindeki sirkülasyonunu sağlamaktadır. Fan hızını kontrol eden frekans dönüştürücüsü ile fan devri, dolayısıyla sistemdeki kurutma havasının hızı ayarlanmaktadır. Bunun kontrolü ise PLC yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Deney düzeneğinde bulunan fana ait özellikler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.1 Fan

Fan ve fan motoruna ait teknik özellikler;

Fan Motoru Markası : Siemens

Güç : 15 kW

cos σ : 0.90

Devir : 2940 dev/dk

3.1.3 Isıtma eşanjörü

Isıtma eşanjörü, kurutma havasını toplamda 25kW gücünde rezistanslar yardımıyla ısıtmaktadır. Akım ve gerilim (güç) ayarı SSR (yarı iletken faz kontrolü triag) yardımıyla dalganın faz farkıyla oynanmasıyla sağlanmaktadır. Isıtma eşanjörü içerisinde bulunan her bir rezistansın hassasiyeti 0,20 mA (0-10 V)'tur. Isıtıcılar PID (oransal integral türev) kontrollü olup, bu algoritmaya göre sıcaklık kontrolü yapılmakta, geri besleme kontrolü ise bir adet bakır konstantan termokupl yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 3.2 Isıtma eşanjörü

3.1.4 Portmantiyer

Bobinlerin yerleştirildiği ve kurutmanın yapıldığı haznedir. Portmantiyer dört kısımdan oluşmaktadır. Her bir kısma üst üste dört bobin olmak üzere en fazla 16 bobin yerleştirilebilmektedir.



şekil 3.3 Portmantiyer: Dış görünüm



şekil 3.4 Portmantiyer: İzolasyonlu gövde



şekil 3.5 Portmantiyer: İç kısım

Portmantiyere ait teknik özellikler şöyledir;

Makine kapasitesi : 16 bobin

Makine çalışma sıcaklığı : 130°C (maksimum)

Makine gövdesi : 'O' şeklinde balon tip makine gövdesi

Makine üzerinde banyo ile temas eden bütün yüzeyler paslanmaz çelik

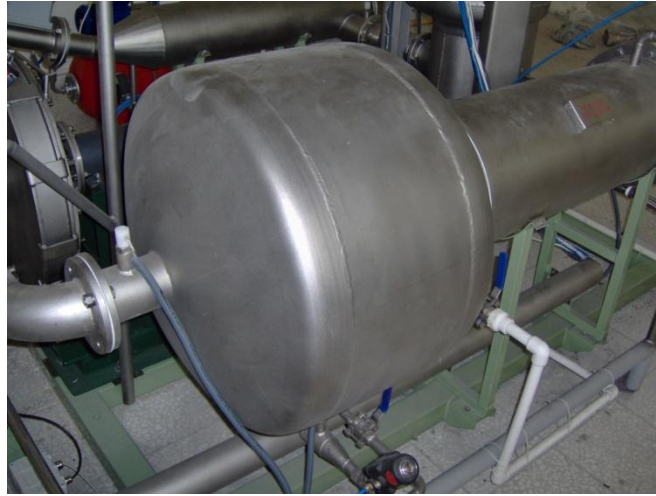
Bobinin içinden-dışına veya dışından-içine havayı yönlendiren özel klape sistemi

Bobin içindeki farklı noktalarda sıcaklık ölçme imkanı

Makine içini yıkama sistemi bulunmaktadır.

3.1.5 Soğutma eşanjörü ve seperatör

Soğutma eşanjöründe bobin haznesini terk eden sıcak ve nemli kurutma havası, yüzey alanı 3,89 m², soğutma gücü ise 35 kW olan soğutma eşanjörüne girmekte, burada soğutulmakta, böylece seperatöre girmeden önce kurutma havası içerisindeki nemin yoğuşması sağlanmaktadır.



Şekil 3.6 Seperatör ve soğutma eşanjörü

Seperatör ise; 550 m³/h debisinde, 140°C sıcaklıktaki hava içinde buharlaşmayan suyu havadan ayırabilecek kapasitede olup, kurutma havası içerisinde yoğuşan nemi ayrıştırarak makinenin dışına tahliye etmektedir.

3.1.6 Debimetre

Deneyde düzeneğinde kullanılan döküm gövdeli debi ölçüm cihazı, sistem içerisinde dolaşan kurutma havasının akış miktarını ölçmeye yarar. Debimetreye ait teknik doneler aşağıda verilmiştir.



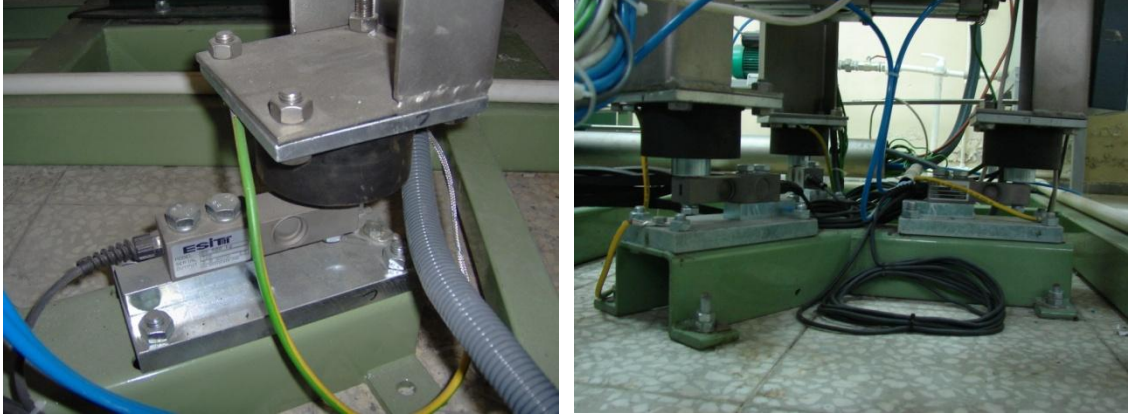
Şekil 3.7 Debimetre

Debimetreye ait teknik özellikler:

Marka	: ASA
Model	: C8-3100/38/T
P	: 3 bar
T	: 130°C
Akışkan	: Hava
Maksimum debi	: 530m ³ /h
Γ	: 1.205 kg/nmc
P_{max}	: 16 bar
Sıcaklık aralığı	: -30°C / +30°C

3.1.7 Loadcell

600 kg (200x3) ölçüm kapasitesine sahip loadcell, kurutma işlemi sırasında sürekli olarak iplik bobinlerinin kütlesini tespit edebilmekte, böylece deney sırasında iplik bobinlerinden uzaklaştırılan nem miktarı tayin edilebilmektedir. Portmantiyerden alınan bilgi, hemen sistem yanına monte edilecek göstergeden dijital olarak izlenebilir veya 0–10V/4–20mA analog çıkış veya dijital bilgiye çevrilerek uzak bir noktaya transfer edilebilmektedir. Deney düzeneğinde iplik bobininden uzaklaştırılan nem miktarı sürekli olarak bilgisayar ekranından takip edilebilmektedir.



Şekil 3.8 Portmantiyer altında loadcell

Loadcell'e ait özellikler:

Marka : ESIT
Model : BS200kg C3
Seri No : 2184
Doğruluk sınıfı : 1/700 – 1/3000

3.1.8 Nem sensörü

4-20 mA çıkışlı nem sensörü 0,1 gr/m³ hassasiyete sahip olup kurutma havası içerisinde bulunan nem miktarını tespit edebilmektedir. Sensörün çalışma sıcaklık aralığı 40°C-200°C'dir.



Şekil 3.9 Nem sensörü

Nem sensörüne ait teknik bilgiler:

Marka : E-E ELEKTRONİK

Seri No : EE29

3.1.9 Kompresör

Sisteme basınçlı hava basmakla beraber kompresörün çalışma prensibi şöyledir. Gaz karşılıklı vida boşluklarını doldurmak üzere içeri çekilir. Rotorlar döndükçe, vida arası boşluğu tecrit eden giriş ağzını geçerek hareket eder. Sürekli dönüş devamlı olarak gazın işgal ettiği alanı azaltır ki bu da sıkıştırmaya yol açar. Vidalar arası boşluk çıkış ağzıyla karşı karşıya gelince gaz boşalır.



Şekil 3.10 Kompresör

Kompresöre ait teknik bilgiler:

Marka-Model : ATLAS COPCO GA15

P_{max} : 15 bar

Tip : Vidalı

Seri No : HII 254693

$P_{max,iş}$: 8 bar

Kapasite : 41 lt/s

Motor Gücü : 15 kW

Brüt ağırlık : 375 kg

3.1.10 Termokupllar

Termokupllar endüstride sıcaklık ölçümünde kullanılan araçlardır. Termokupllar, iki farklı metalin kaynak ile birleştirilerek oluşturulan sıcaklık ölçüm elemanlarıdır. İki metalin uçları boncuk olacak şekilde birbirine kaynatılır. Oluşan bu boncuk, sıcak nokta; diğer iki açık uç ise soğuk nokta olarak adlandırılır. Sıcak nokta ısıtıldığında, soğuk nokta ile arasında sıcaklık farkından dolayı bir gerilim oluşur. Oluşan bu gerilim mV mertebesindedir. Sıcaklık ölçümü, oluşan bu mV değerinden yararlanılarak ölçülür. Endüstride termokupllar birçok uygulama alanına sahiptirler.



Şekil 3.11 Termokupllar



Şekil 3.12 Termokupl tüm görünüm

Termokupllar temel olarak iki metal telden oluşurlar. Ancak kullanılırken dış ortamdan, darbelerden ve korozyondan etkilenmemeleri uzun ömürlü olmaları için özel kılıflar içerisinde kullanılırlar.

Termokuplların kullanıldıkları uygulamaya göre tel kalınlıkları değişmektedir. Genellikle yüksek sıcaklıkta kullanılan termokuplların uzun ömürlü olması için kalın tel kullanılırlar. Düşük sıcaklıkta ise daha ince tellerden imal edilirler.

Kullanılan telin kalın olması hassasiyeti düşürmekte ve tepki süresini uzatmaktadır. Bu sebepten en uygun termokupl ve tel kalınlığı seçilmelidir. Uygulamalarda kullanılan termokuplların uzunlukları yeterli uzunlukta olmalıdır. Aksi takdirde kısa veya uzun olması tam verim alınmasını ve yanlış ölçüm yapılmasına sebep olur.

Deney düzeneğinde kullanılan termokupllar duyarga çapı $\text{Ø } 3\sim 4$ mm, duyarga boyu 10 mm, analog çıkışı 4-20 mA (10 - 350 Ω) olan termokupllar doğrudan PLC beslemeli olup, istenen noktalardaki sıcaklıkların ölçümü için kullanılmaktadır. Düzenekte kullanılan termokupllara ait teknik özellikler aşağıdaki gibidir.

Deney düzeneğinde kullanılan termokupllara ait teknik özellikler;

Marka	: MIC-CO
Model	: T
Kullanılan Eleman	: Bakır / Konstantan
Sıcaklık Aralığı	: $-200^{\circ}\text{C} / 350^{\circ}\text{C}$
Hata	: $\pm 1^{\circ}\text{C}$

3.1.11 PLC

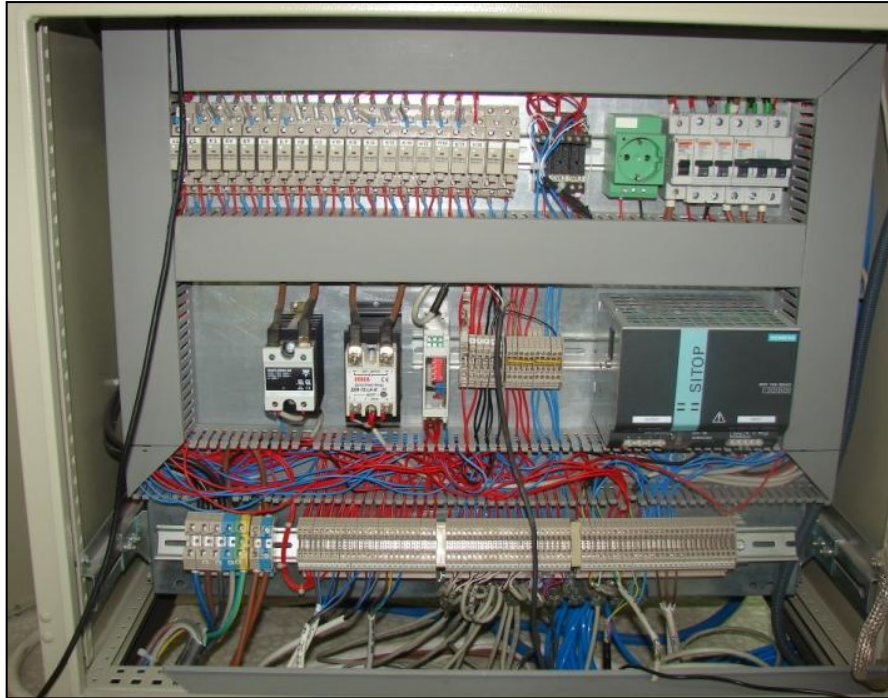
PLC, bobin kurutma cihazının otomasyon sisteminin kumanda ve kontrol devrelerini gerçeklemeye uygun yapıda giriş-çıkış birimleri ve iletişim arabirimleri ile donatılmış, kontrol yapısına uygun bir sistem programı altında çalışan endüstriyel bir bilgisayardır. Bu cihaz; kumanda devrelerinde lojik kontrolör, kontrol devrelerinde ise sayısal kontrolör işlevi görmektedir. PLC'nin kumanda ve kontrol devrelerindeki kullanımı, farklı yazılım ve donanım özelliklerini içermektedir



Şekil 3.13 PLC dış görünüm - Elektrik panosu (operatör kumanda paneli)



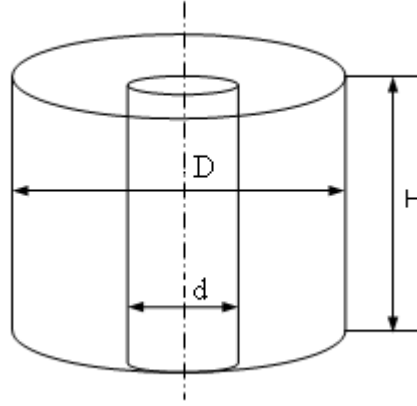
Şekil 3.14 Sürücü (İnvertör)



Şekil 3.15 PLC iç görünüm - Elektrik panosu (operatör kumanda paneli)

3.2 Yöntem

Bu çalışmada, Türkiye’de üretimi yapılan tekstil için kullanılan farklı ebatlardaki yün iplikler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan iplik bobinleri %65 yün, %35 orlon içermektedir. İçinden hava akışı sağlanacak şekilde dizayn edilmiş makaralara sarılan iplikler kullanılmıştır. Bobin dış çapı olarak iki farklı ölçü seçilmiştir. Kullanılan bobinlerin geometrik boyutları Çizelge 3.1 ‘de verilmiştir.



Şekil 3.16 Bobin geometrisi

Çizelge 3.1 Bobin boyutları

H (cm)	d (cm)	D(cm)
15.5	5.4	14
		18

Kurutmaya başlamadan önce bobinler 12 saat süreyle su banyosuna tabi tutulmuştur. (Şekil 3.17) Bobinleri ıslatma süresinin uzun tutulmasının nedeni, suyun iplik lifleri arasına yeterince nüfuz etmelerinin sağlanmasıdır.

Su banyosunda tutulan bobinler daha sonra üzerindeki fazla suyun süzülmesi amacıyla bir ızgara üzerinde 30 dakika süreyle bekletilmiştir (Şekil 3.18). İplik bobinleri ızgara üzerinde süzüldükten sonra yaklaşık olarak 10 dakika süreye ısıtıcılar alıştırılmadan soğuk hava ile ön kurutma yapılarak fazla suyun bir kısmı bobinden uzaklaştırılmıştır. Bunun nedeni ise, sıcak hava ile kurutma maliyetli bir işlem olduğundan, atılabilecek suyun bir kısmının bu şekilde bobinden uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Sanayide ise, bu işlem santrifüj makinesinde gerçekleştirilmektedir. Daha sonra sisteme ayarlanan şartlarda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.



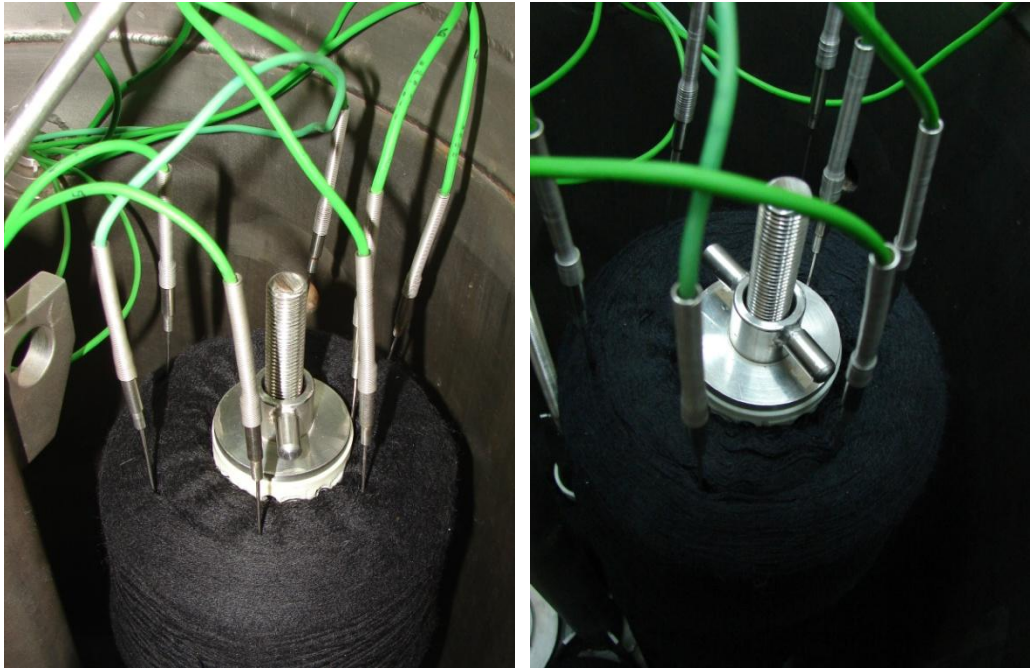
Şekil 3.17 Su banyosundaki yün iplik bobinleri



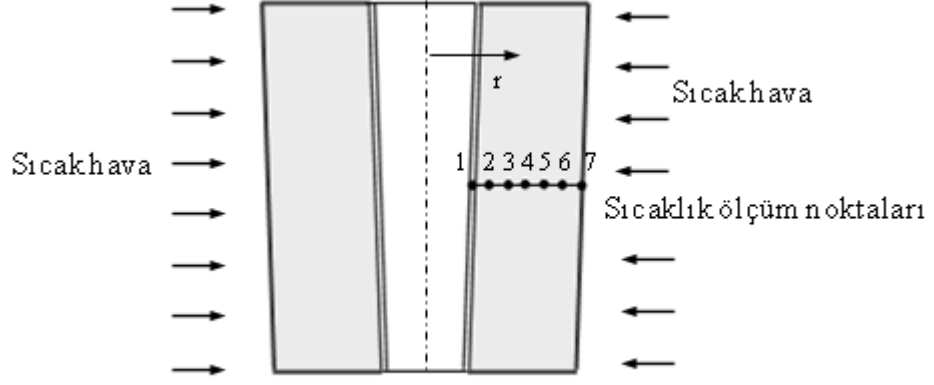
Şekil 3.18 Süzülmeye bırakılan yün iplik bobinleri

Bu tez çalışmasında deneyler, tekstil sanayinde kullanılan ve basınçlı sıcak hava ile çalışan bobin kurutma makinesinin bir prototipi niteliğindeki iplik bobini kurutma deney tesisatı üzerinde yapılmıştır. Deney düzeneğinde çevreden alınan kurutma havası, 15 kW gücündeki bir fan yardımıyla 25 kW ısıtma gücüne sahip elektrikli ısıtma eşanjörüne gönderilmektedir. Fan debisi özel frekans ayarlı bir sürücü ile ayarlanabilmekte, havanın debisi bir debi ölçer basıncı ise bir basınç sensörü yardımıyla tespit edilmektedir.

Isıtıcılar PID kontrollü olup, bu algoritmaya göre sıcaklık kontrolü yapılmaktadır, yani kurutma havasının sıcaklığı oransal olarak kontrol edilmektedir. Isıtılan hava, içinde bobinlerin yerleştirildiği portmantiyere gelmektedir. Bobin içindeki sıcaklık değişiminin ölçülmesi, iplik bobinlerinin içerisine radyal doğrultuda eşit aralıklarla yerleştirilen direkt PLC bağlantılı termokupullar yardımıyla yapılabilmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 İplik bobinlerinin içerisine yerleştirilen termokupullar

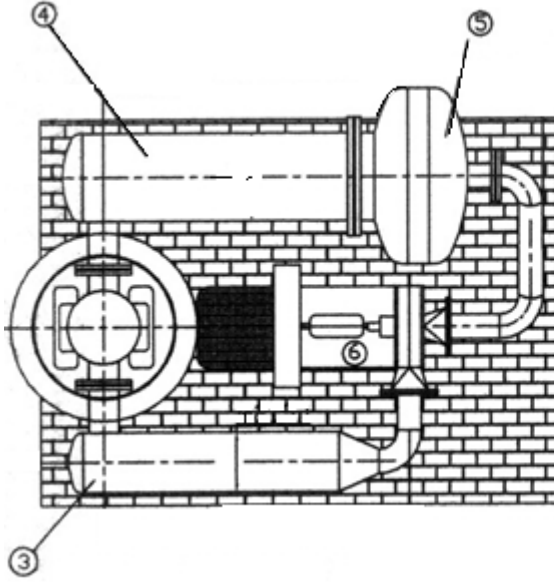


Şekil 3.20 Deneilerde kurutulan iplik bobininin şematik gösterimi.

Ayrıca portmantiyerin giriş ve çıkış kısımlarına yerleştirilen nem sensörleri yardımıyla kurutma havasının nem miktarı da ölçülebilmektedir. Portmantiyerde meydana gelen kuruma işlemi, kurutma havasının bobinlerin dış yüzeyinden girerek, iç yüzeyini terk edecek şekilde gerçekleşmektedir. Sıcak havanın bu hareketi, deney tesisatında bulunan ve havayı yönlendiren bir klape sistemi yardımıyla sağlanmıştır.



Şekil 3.21 Otomatik Klape sistem



Kapak	7
Fan	6
Seperatör	5
Soğutma Eşanjörü	4
Isıtma Eşanjörü	3
Klape	2
Makine	1

Şekil 3.22 Bobin kurutma deney düzeneğinin şematik görünümü.

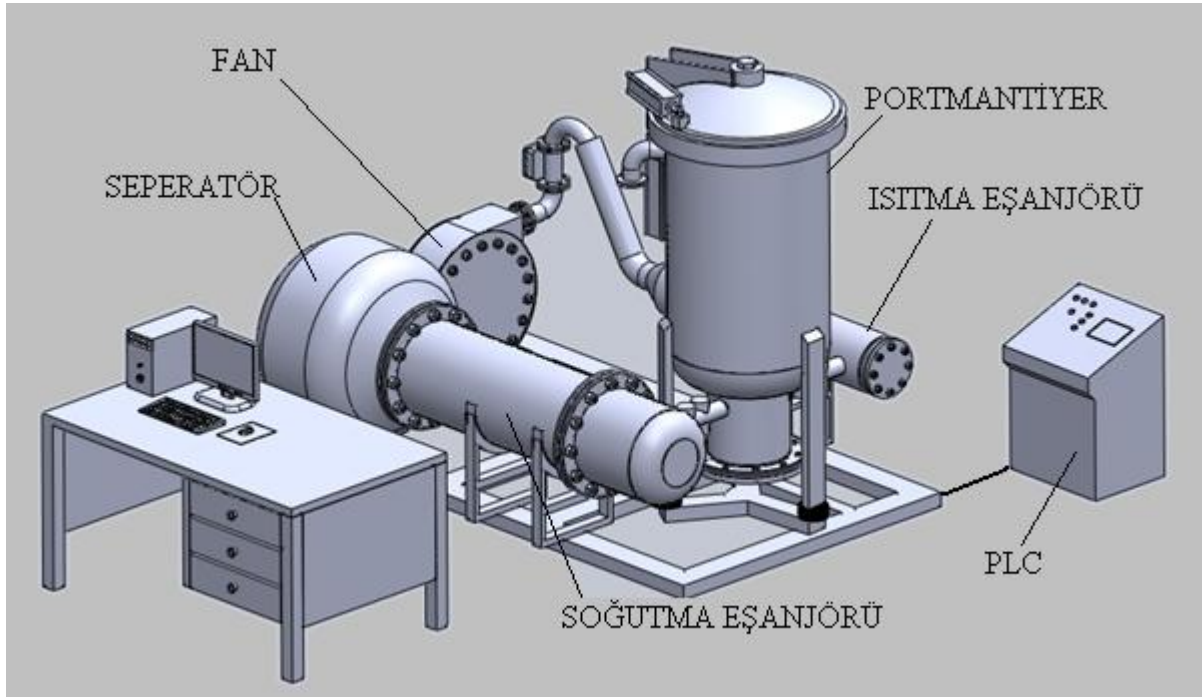
Portmantiyerden çıkan sıcak havanın özgül nemini düşürmek için kurutma havası öncelikle soğutma eşanjöründen geçirilmektedir. Soğutma eşanjörü deney düzeneğinin kurulu olduğu fakültenin hidrofor tesisatından beslenen soğuk suyla çalışmaktadır. Kurutma havasının içindeki nemin bir kısmı eşanjör yüzeyinde yoğuşmaktadır.

Soğutma eşanjöründen çıkan soğuk hava seperatöre gelmektedir. Seperatörde hava içindeki asılı durumda bulunan su damlacıkları ayıklanmaktadır. Seperatörün alt kısmında bir su seviye elektrotu bulunmaktadır. Bu elektrot sayesinde seperatörde yoğuşan suyun tahliye edilmesi sağlanmaktadır. Tahliye esnasında, sistemdeki kurutma havasının bir kısmı dışarıya atılmakta ve tesisattaki işletme basıncı düşmektedir. İşletme basıncını eski seviyeye getirmek için bir kompresör yardımıyla taze hava alınmaktadır. Seperatörden sonra, kurutma havası tekrar hava fanına gönderilmektedir. Sistem bu şekilde çalışmaya devam etmektedir.

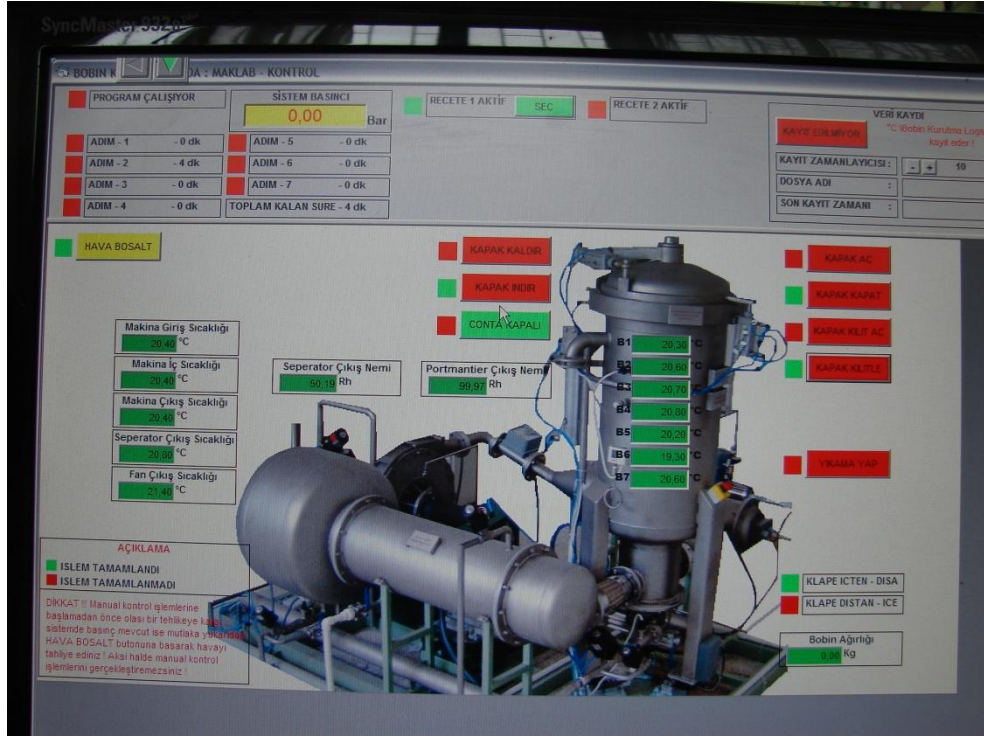
Deney tesisatında, ayrıca emniyet ventili, acil durum butonu gibi emniyet sağlayıcı sistemler de mevcuttur. Düzenek ile ilgili tüm bilgiler (basınç, makine içerisindeki havanın sıcaklığı, bobin içerisindeki sıcaklıklar, nem miktarı, hava debisi, bobin ağırlıkları, vb.) operatör panelinden veya düzeneğin bağlı olduğu bilgisayar ekranından okunabilmekte (Şekil 3.25) ve istenilen değerlere ayarlanarak otomatik kontrol aracılığı ile kurutma başladıktan sonra bu parametrelere uygun kuruma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.23 Bobin kurutma deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 3.24 Bilgisayar ve PLC kontrollü deney düzeneği



Şekil 3.25 Otomatik kontrol sistemi ekranı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Nem İçeriği

Malzemelerin nem içeriğini ifade etmede yaş baz (yb) ve kuru baz (kb) olmak üzere iki tanımdan biri kullanılmaktadır. Yaş baza göre nem içeriği malzemedeki su kütlesinin malzemenin tüm kütlesine oranı olarak tanımlıdır.

$$\%m_{yb} = \frac{m_s}{m_s+m_k} \times 100 \quad (4.1)$$

Kuru baza göre nem ise, malzemedeki su kütlesinin malzemenin kuru kütlesine oranıdır:

$$\%m_{kb} = \frac{m_s}{m_k} \times 100 \quad (4.2)$$

Kuru ve yaş baza göre nem içerikleri arasında aşağıdaki ilişki söz konusudur:

$$\%m_{kb} = \frac{m_{yb}}{100-m_{yb}} \times 100 \quad (4.3)$$

Boyutsuz nem oranı

$$mr = \frac{m-m_e}{m_o-m_e} \quad (4.4)$$

şeklinde tanımlıdır (Çelen,2010).

Burada ;

m: herhangi bir anda malzemenin kütlesi, [kg]

m_e: kurutma koşullarında malzemenin ortam koşullarıyla denge halindeki kütlesi, [kg]

m_o: malzemenin kurutulmaya başlamadan önceki başlangıç kütlesi, [kg]

4.2. Kuruma Davranışının Modellenmesi

Transport malzemelerin karmaşıklığından dolayı kuruma davranışları genellikle ampirik ve yarı-ampirik modeller ile simüle edilir. Bu amaçla sıkça kullanılan çok sayıda model bulunmaktadır. Bu çalışmada, iplik bobinlerinin kurutulmasının modellenmesinde kullanılan modeller Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ampirik ve yarı-ampirik modeller teorik modellere göre daha az karmaşık olmakla birlikte, içerdikleri parametrelerin, yalnızca ele alınan malzeme ve prosesle ilgili olması, yaygın kullanım alanı bulmalarını engeller.

Çizelge 4.1 Kuruma davranışını ifade etmede kullanılan bazı ampirik ve yarı ampirik modeller (Cihan vd., 2007)

MODEL ADI	MODEL DENKLEMİ
Page	$mr = \exp(-kt^n)$
Diffusion Approach	$mr = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$
Henderson and Pabis	$mr = a \exp(-kt)$
Two Term Exponential	$mr = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$
Logarithmic	$mr = a_0 + a \exp(-kt)$
Two Term	$mr = a_1 \exp(-k_1t) + a_2 \exp(-k_2t)$
Verma	$mr = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$

Regresyon analizi XLSTAT programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemelerde elde edilen veriler literatürde bulunan yedi farklı ayrılabilir nem içeriği modellerinden elde edilen değerler göre karşılaştırılmış; modellerin uygunluğu modellere ait korelasyon katsayısı (r), kalanların kareleri toplamı (S_t) ve standart hata (e_s) değerlerine göre belirlenmiştir.

$$r = \frac{\overline{S_t - S_r}}{S_t} \quad (4.5)$$

$$S_t = (mr_{\text{exp},i} - mr_{\text{ort}})^2 \quad (4.6)$$

$$S_r = (mr_{\text{exp},i} - mr_{\text{pre},i})^2 \quad (4.7)$$

$$e_s = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i} - mr_{exp,i})^2}{n_o} \quad (4.8)$$

Korelasyon katsayısı değeri 0 değerine yaklaştıkça, modelin verileri temsil etme yeteneği de kötüleşir. Belirtme katsayısı değerinin %95 veya üzeri bir değerde olması arzu edilir.

Doğal yün elyafı için, Henderson denklemi (Sousa ve ark., 2001) kullanılarak (4.9) ve (4.10) bağıntıları yardımıyla kurutma şartları için yün iplik bobinlerinin çevre ortamla denge durumundaki kütleleri belirlenmiştir.

$$x_e = 2,38 \frac{1}{T} \ln \frac{1}{1-RH}^{0,481} \quad (4.9)$$

$$m_e = m_{kuru}(1 + x_e) \quad (4.10)$$

D=18 cm çapındaki bobin için; $m_{dengeortam23^\circ C} = 1065$ gr ve $m_{kuru} = 968$ gr olduğu ve D=14 cm çapındaki bobin için; $m_{dengeortam23^\circ C} = 608$ gr ve $m_{kuru} = 554$ gr olduğu göz önünde bulundurularak; farklı basınç ve sıcaklıklarda bobinlerin denge kütleleri psikrometrik diyagram yardımıyla Çizelge 4.2’de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 D=18 cm ve D=14 cm çapındaki bobinler için denge kütleleri

Basınç - Sıcaklık	Denge Kütleleri (gram)	
	D=18 cm yün bobin	D=14 cm yün bobin
0,5 bar - 90°C	1003,48	
0,5 bar - 100°C	999,04	
1 bar - 80°C	1014,02	578,55
1 bar - 90°C	1007,30	574,72
1 bar - 100°C	1002,15	571,78
2 bar - 80°C	1020,71	582,37
2 bar - 90°C	1013,72	578,38
2 bar - 100°C	1007,38	574,76

4.3 Sıcak Hava ile Kurutmada Deneysel Kuruma Davranışı

D=18 cm ve D=14 cm çaplarındaki yün iplik bobinlerine ait deneysel sonuçlar Çizelge 4.3-Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 D=18 cm, $P_{\text{eff}}=0,5$ bar için deneysel sonuçlar

D=18 cm, $P_{\text{eff}}=0,5$ bar			
Zaman (dak)	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$ 90°C	Zaman (dak)	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$ 100°C
0	1,000	0	1,000
5	0,650	5	0,750
10	0,531	10	0,563
15	0,476	15	0,470
20	0,420	20	0,419
25	0,388	25	0,378
30	0,362	30	0,369
35	0,347	35	0,352
40	0,328	40	0,323
45	0,312	45	0,305
50	0,291	50	0,286
55	0,273	55	0,272
60	0,260	60	0,256
65	0,245	65	0,233
70	0,234	70	0,215
75	0,218	75	0,200
80	0,201	80	0,187
85	0,189	85	0,178
90	0,172	90	0,160
95	0,155	95	0,153
100	0,155	100	0,137
105	0,141	105	0,115
110	0,125	110	0,111
115	0,113	115	0,103
120	0,108	120	0,094
125	0,092	125	0,061
130	0,081	130	0,050
135	0,070	135	0,033
140	0,062		
145	0,054		
150	0,043		
155	0,038		

Çizelge 4.4 D=18 cm, P_{eff}=1 bar için deneysel sonuçlar

D=18 cm, P _{eff} =1 bar					
Zaman (dak)	80°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	90°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	100°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$
0	1,000	0	1,000	0	1,000
5	0,764	5	0,806	5	0,762
10	0,634	10	0,656	10	0,608
15	0,550	15	0,561	15	0,520
20	0,499	20	0,513	20	0,465
25	0,474	25	0,468	25	0,424
30	0,456	30	0,443	30	0,404
35	0,409	35	0,408	35	0,362
40	0,369	40	0,375	40	0,346
45	0,354	45	0,350	45	0,310
50	0,330	50	0,319	50	0,272
55	0,296	55	0,289	55	0,245
60	0,285	60	0,261	60	0,227
65	0,261	65	0,247	65	0,203
70	0,220	70	0,217	70	0,180
75	0,209	75	0,193	75	0,138
80	0,199	80	0,168	80	0,121
85	0,171	85	0,141	85	0,110
90	0,156	90	0,129	90	0,092
95	0,137	95	0,116	95	0,080
100	0,125	100	0,105	100	0,060
105	0,104	105	0,087	105	0,047
110	0,099	110	0,074	110	0,036
115	0,091	115	0,059		
120	0,079	120	0,059		
125	0,078	125	0,041		
130	0,066				
135	0,055				
140	0,052				
145	0,045				

Çizelge 4.5 D=18 cm, P_{eff}=2 bar için deneysel sonuçlar

D=18 cm, P _{eff} =2 bar					
Zaman (dak)	80°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	90°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	100°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$
0	1,000	0	1,000	0	1,000
5	0,762	5	0,781	5	0,680
10	0,614	10	0,643	10	0,543
15	0,542	15	0,536	15	0,464
20	0,487	20	0,488	20	0,420
25	0,454	25	0,436	25	0,370
30	0,425	30	0,407	30	0,341
35	0,391	35	0,368	35	0,301
40	0,365	40	0,341	40	0,275
45	0,332	45	0,308	45	0,241
50	0,305	50	0,299	50	0,219
55	0,273	55	0,265	55	0,193
60	0,250	60	0,239	60	0,161
65	0,221	65	0,222	65	0,145
70	0,204	70	0,196	70	0,119
75	0,190	75	0,177	75	0,113
80	0,167	80	0,161	80	0,091
85	0,144	85	0,141	85	0,074
90	0,132	90	0,123	90	0,054
95	0,119	95	0,106	95	0,041
100	0,116	100	0,090		
105	0,101	105	0,073		
110	0,085	110	0,062		
115	0,075	115	0,047		
120	0,070				
125	0,064				
130	0,056				
135	0,054				

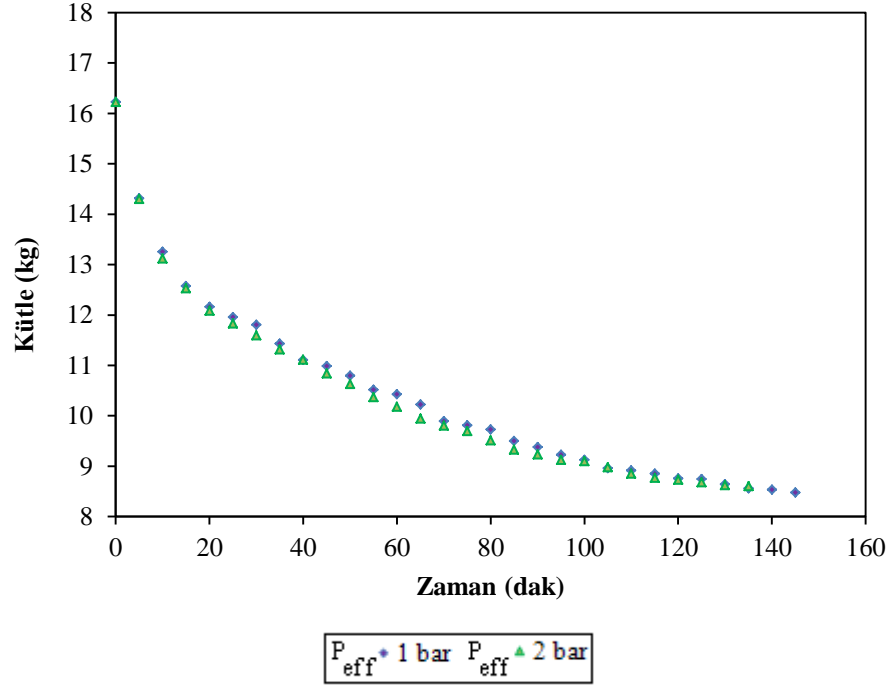
Çizelge 4.6 D=14 cm, P_{eff}=1 bar için deneysel sonuçlar

D=14 cm, P _{eff} =1 bar					
Zaman (dak)	80°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	90°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	100°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$
0	1,000	0	1,000	0	1,000
5	0,853	5	0,842	5	0,756
10	0,700	10	0,631	10	0,593
15	0,565	15	0,520	15	0,455
20	0,518	20	0,433	20	0,384
25	0,482	25	0,351	25	0,335
30	0,426	30	0,336	30	0,307
35	0,391	35	0,276	35	0,253
40	0,338	40	0,243	40	0,235
45	0,293	45	0,217	45	0,147
50	0,253	50	0,160	50	0,102
55	0,251	55	0,118	55	0,084
60	0,235	60	0,090	60	0,069
65	0,193	65	0,073	65	0,051
70	0,169	70	0,052	70	0,034
75	0,144	75	0,043		
80	0,138	80	0,033		
85	0,119				
90	0,069				
95	0,060				
100	0,052				
105	0,047				
110	0,042				

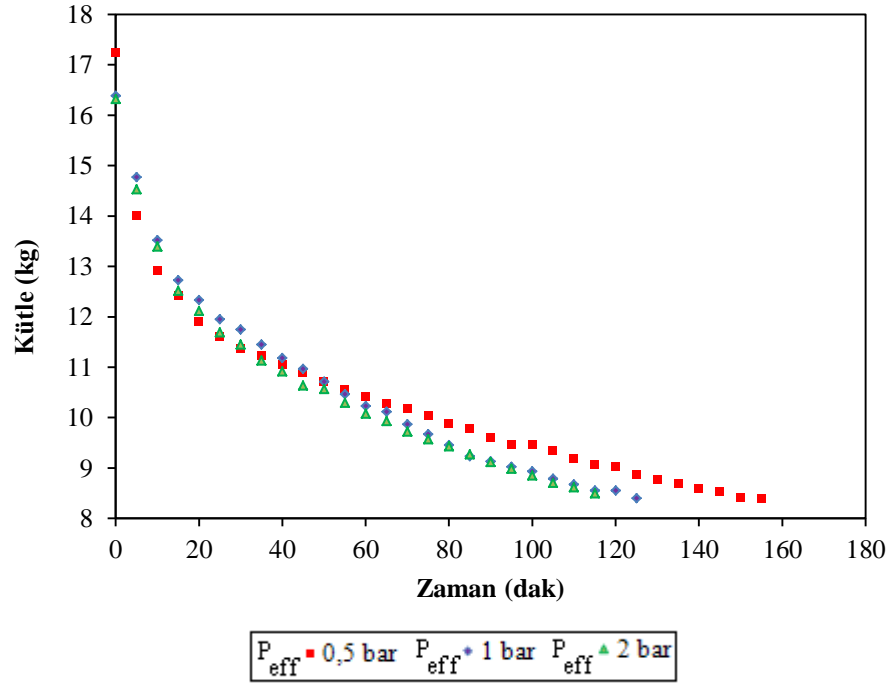
Çizelge 4.7 D=14 cm, P_{eff}=2 bar için deneysel sonuçlar

D=14 cm, P _{eff} =2 bar					
Zaman (dak)	80°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	90°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$	Zaman (dak)	100°C $\frac{(m - m_e)}{(m_0 - m_e)}$
0	1,000	0	1,000	0	1,000
5	0,717	5	0,776	5	0,677
10	0,622	10	0,571	10	0,571
15	0,461	15	0,480	15	0,423
20	0,449	20	0,389	20	0,309
25	0,429	25	0,337	25	0,264
30	0,347	30	0,299	30	0,251
35	0,303	35	0,226	35	0,190
40	0,264	40	0,192	40	0,144
45	0,233	45	0,157	45	0,112
50	0,217	50	0,121	50	0,079
55	0,194	55	0,099	55	0,051
60	0,161	60	0,072	60	0,036
65	0,121	65	0,048		
70	0,113	70	0,042		
75	0,093				
80	0,073				
85	0,070				
90	0,068				
95	0,066				
100	0,056				

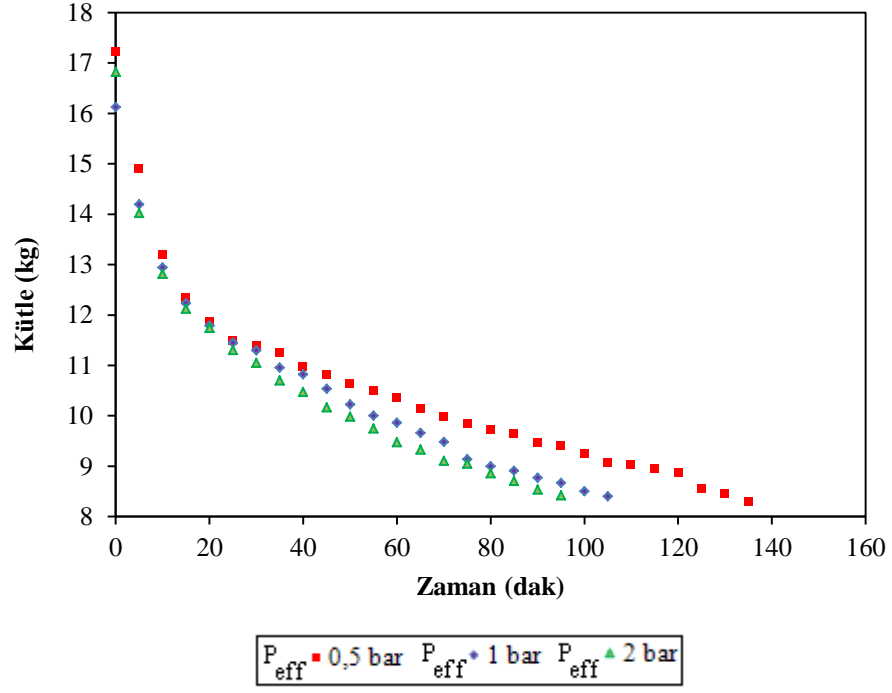
Deneysel sonuçlara ait farklı basınç ve sıcaklık aralıklarında kurutulan iplik bobinlerinin kuruma eğrilerini gösteren grafikler Şekil 4.1 - Şekil 4.6'da görülmektedir.



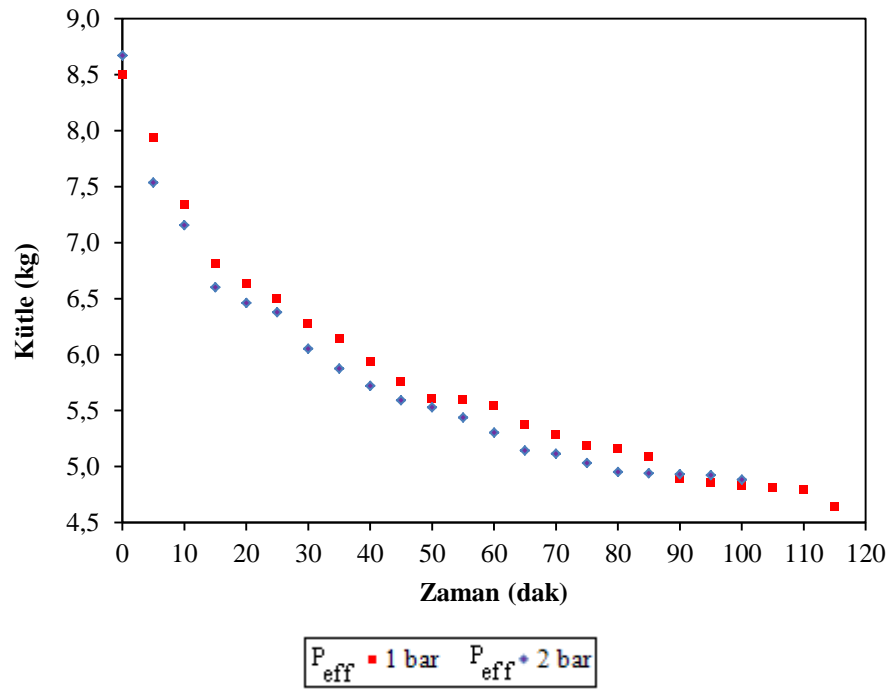
Şekil 4.1 D=18 cm T= 80°C için kuruma davranışı



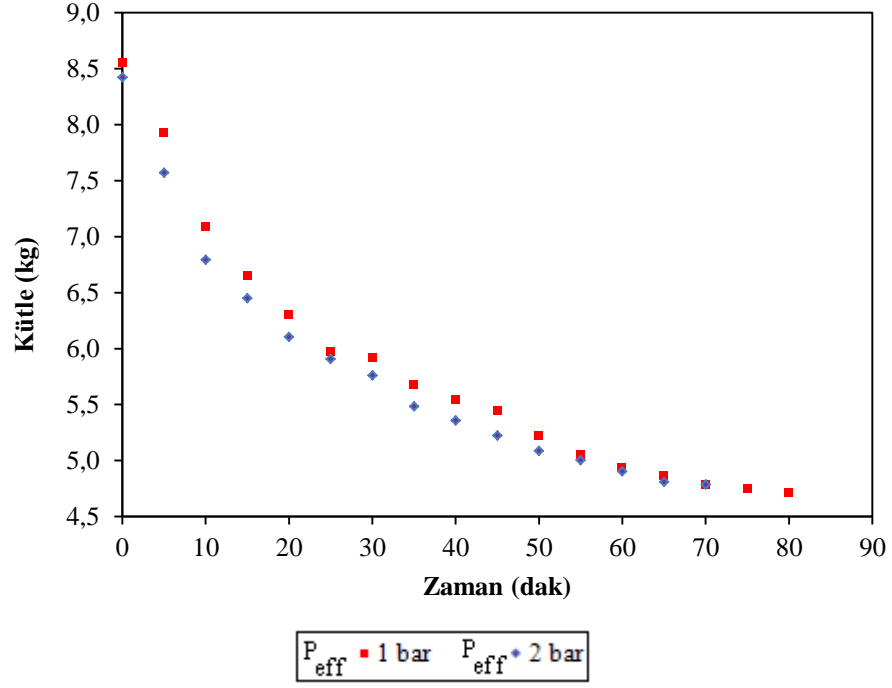
Şekil 4.2 D=18 cm T= 90°C için kuruma davranışı



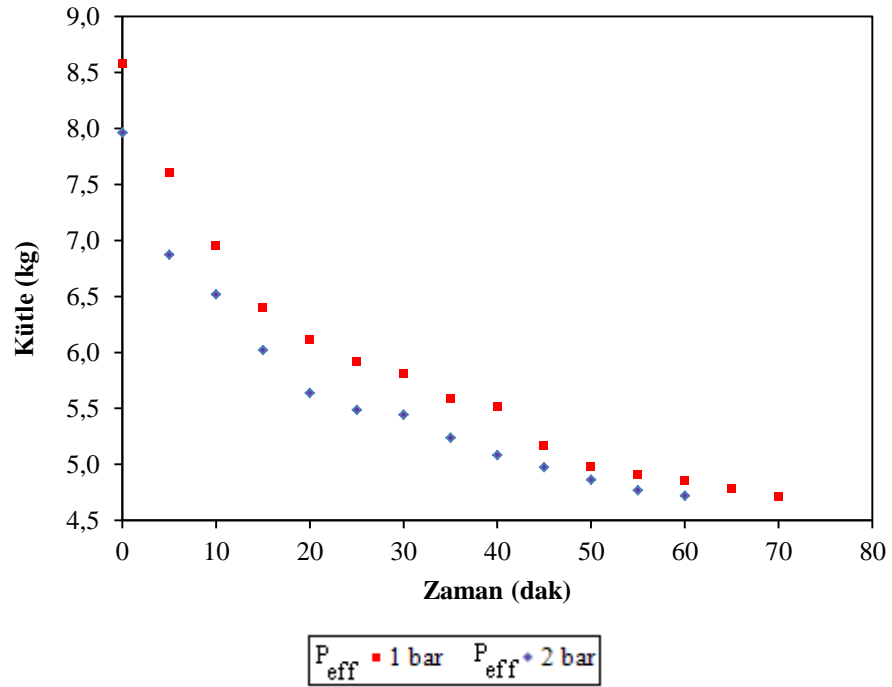
Şekil 4.3 D=18 cm T= 100°C için kuruma davranışı



Şekil 4.4 D=14 cm T= 80°C için kuruma davranışı



Şekil 4.5 $D=14$ cm $T= 90^{\circ}\text{C}$ için kuruma davranışı



Şekil 4.6 $D=14$ cm $T= 100^{\circ}\text{C}$ için kuruma davranışı

Şekillerden de görüleceği gibi iplik bobinlerinin kurutulmasında basıncın büyük bir önemi vardır. Doğal olarak en uzun kuruma süresi 0,5 bar'da, en kısa kuruma süresi ise 2 bar'da gerçekleşmektedir. Yüksek basınç, daha hızlı kuruma sağlamaktadır. Bunun sebebi ise daha yüksek basınç altında kurutucu içerisinde daha fazla miktarda kurutma havası dolaşmasıdır.

4.4 Sıcak Hava ile Kurutmada Modelleme

Sıcak hava ile kurutulan küçük iplik bobinlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 4.1'de verilen ampirik ve yarı-ampirik modeller kullanılmış, bu modellerin uygunluğu gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.8 - 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 D=18 cm $P_{eff}=0,5$ bar basınç için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	90 °C	k=1,471146 n=0,531065	0,983858	0,020946	0,000698
	100 °C	k=1,489589 n=0,582713	0,984319	0,020005	0,000769
Diffusion Approach	90 °C	a=-1286,238 k=1,603459 b=1,000001	0,925777	0,286266	0,009871
	100 °C	a=1418,538 k=1,657364 b=1,000000	0,938221	0,204443	0,008178
Henderson And Pabis	90 °C	a=0,737453 k=1,102411	0,911556	0,115658	0,003855
	100 °C	a=0,790029 k=1,243934	0,921935	0,102341	0,003936
Two Term Exponential	90 °C	a=0,209682 k=6,140587	0,950558	0,159842	0,005328
	100 °C	a=0,213893 k=6,195962	0,961622	0,102466	0,003941
Logarithmic	90 °C	$a_0=0,087486$ $a=0,718489$ k=1,717049	0,926174	0,094459	0,003257
	100 °C	$a_0=0,107554$ $a=0,768635$ k=2,094306	0,943085	0,072099	0,002884
Two term	90 °C	$a_1=0,567660$ $k_1=0,824594$ $a_2=0,432301$ $k_2=15,31157$	0,996325	0,004647	0,000172
	100 °C	$a_1=0,566852$ $k_1=0,871281$ $a_2=0,441867$ $k_2=10,021800$	0,993127	0,008861	0,000369
Verma	90 °C	a=0,570918 k=0,833267 g=15,550210	0,995864	0,005467	0,000357
	100 °C	a=0,566597 k=0,871025 g=9,869449	0,993171	0,005467	0,000188

Çizelge 4.9 D=18 cm $P_{\text{eff}}= 1$ bar basınç için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80 °C	k=1,389000 n=0,703595	0,988849	0,017935	0,000641
	90 °C	k=1,435464 n=0,758994	0,989366	0,016249	0,000677
	100 °C	k=1,605836 n=0,725728	0,986674	0,017857	0,029160
Diffusion Approach	80 °C	a=272,128500 k=1,436771 b=0,999996	0,973789	0,104710	0,003878
	90 °C	a=210,600700 k=1,500811 b=0,999991	0,978839	0,065120	0,002831
	100 °C	a=303,773300 k=1,759915 b=0,999997	0,971233	0,075161	0,003758
Henderson And Pabis	80 °C	a=0,849119 k=0,198125	0,972161	0,044248	0,001580
	90 °C	a=0,887097 k=1,317175	0,978127	0,032960	0,001373
	100 °C	a=0,874504 k=1,516844	0,969870	0,039909	0,001900
Two Term Exponential	80 °C	a=0,181302 k=6,580008	0,986316	0,038557	0,001377
	90 °C	a=0,172964 k=7,253108	0,989732	0,020215	0,000842
	100 °C	a=0,181702 k=8,028447	0,984939	0,027366	0,001303
Logarithmic	80 °C	$a_0=0,038622$ $a=0,831393$ $k=1,380547$	0,973955	0,040925	0,002884
	90 °C	$a_0=0,030034$ $a=0,871179$ $k=1,454801$	0,978935	0,031559	0,001372
	100 °C	$a_0=0,038097$ $a=0,855159$ $k=1,730583$	0,971261	0,037794	0,043471
Two Term	80 °C	$a_1=0,735037$ $k_1=1,2799620$ $a_2=0,267246$ $k_2=14,883710$	0,996704	0,005423	0,000208
	90 °C	$a_1=0,773819$ $k_1=1,279962$ $a_2=0,231045$ $k_2=12,64905$	0,994949	0,007906	0,000359
	100 °C	$a_1=0,993346$ $k_1=0,009127$ $a_2=0,261822$ $k_2=14,55425$	0,993346	0,009127	0,000480
Verma	80 °C	a=0,735047 k=1,032090 g=14,812830	0,996718	0,005429	0,000201
	90 °C	a=0,773947 k=1,146116 g=12,506160	0,994981	0,007931	0,000344
	100 °C	a=0,741362 k=1,280127 g=14,466820	0,993376	0,009137	0,000456

Çizelge 4.10 D=18 cm $P_{eff}= 2$ bar basınç için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80 °C	k=1,466719 n=0,699151	0,991871	0,012254	0,000471
	90 °C	k=1,513794 n=0,719094	0,992441	0,010200	0,000464
	100 °C	k=1,828802 n=0,659847	0,991536	0,009453	0,000525
Diffusion Approach	80 °C	a=341,828500 k=1,557249 b=0,999998	0,975648	0,095636	0,003825
	90 °C	a=229,379000 k=1,638463 b=0,999994	0,976303	0,073972	0,003522
	100 °C	a=312,951400 k=2,197984 b=0,999997	0,965209	0,087480	0,005146
Henderson And Pabis	80 °C	a=0,852913 k=1,302946	0,972098	0,042160	0,001622
	90 °C	a=0,875098 k=1,410419	0,972372	0,037635	0,001711
	100 °C	a=0,852563 k=1,831464	0,958854	0,046467	0,002582
Two Term Exponential	80 °C	a=0,187129 k=6,862431	0,988366	0,033344	0,001282
	90 °C	a=0,193349 k=6,929313	0,989513	0,022833	0,001038
	100 °C	a=0,197644 K=9,071731	0,982522	0,034635	0,001924
Logarithmic	80 °C	$a_0=0,051599$ $a=0,830821$ k=1,583628	0,975675	0,035902	0,001436
	90 °C	$a_0=0,065221$ $a=0,844290$ k=1,781895	0,976925	0,030691	0,001461
	100 °C	$a_0=0,073285$ $a=0,822459$ k=2,449919	0,966336	0,036883	0,002170
Two Term	80 °C	$a_1=0,724230$ $k_1=1,100492$ $a_2=0,278530$ $k_2=14,18118$	0,998006	0,003053	0,000127
	90 °C	$a_1=0,721225$ $k_1=1,156700$ $a_2=0,282466$ $k_2=10,90547$	0,996443	0,004874	0,000243
	100 °C	$a_1=0,683809$ $k_1=0,450734$ $a_2=0,316930$ $k_2=18,44359$	0,997475	0,002878	0,000179
Verma	80 °C	a=0,723226 k=1,098062 g=14,024760	0,997968	0,003012	0,000125
	90 °C	a=0,721129 k=1,156652 g=10,800060	0,996462	0,004889	0,000232
	100 °C	a=0,683809 k=1,450735 g=18,422820	0,997481	0,002879	0,000169

Çizelge 4.11 D=14 cm $P_{eff}= 1$ bar basınç için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80 °C	k=1,603272 n=0,868101	0,992660	0,011559	0,000550
	90 °C	k=2,257312 n=0,941877	0,993680	0,008468	0,000565
	100 °C	k=2,416206 n=0,870343	0,991417	0,009706	0,000747
Diffusion Approach	80 °C	a=240,961500 k=1,668484 b=0,999992	0,989143	0,023496	0,001175
	90 °C	a=263,8578 k=2,337575 b=0,999988	0,992665	0,010062	0,000719
	100 °C	a=232,467700 k=2,665230 b=0,999991	0,987809	0,016945	0,001412
Henderson And Pabis	80 °C	a=0,947077 k=1,577331	0,989003	0,017071	0,000813
	90 °C	a=0,984795 k=2,308389	0,992673	0,009645	0,000643
	100 °C	a=0,955874 k=2,547067	0,987694	0,013707	0,001054
Two Term Exponential	80 °C	a=-2,379738 k=-0,068805	0,885775	0,585602	0,027886
	90 °C	a=0,541560 k=3,167973	0,993154	0,009105	0,000607
	100 °C	a=-2,388071 k=-0,107417	0,878025	0,392182	0,030168
Logarithmic	80 °C	$a_0=0,0138130$ a=0,939473 k=1,645525	0,989166	0,016770	0,028957
	90 °C	$a_0=0,001880$ a=0,983707 k=2,321217	0,992676	0,009640	0,000689
	100 °C	$a_0=0,012040$ a=0,948670 k=2,641635	0,987820	0,013537	0,001128
Two Term	80 °C	$a_1=0,944808$ $k_1=1,528099$ $a_2=-6,47586$ $k_2=-16,95662$	0,988778	0,017975	0,000946
	90 °C	$a_1=0,602939$ $k_1=1,962473$ $a_2=0,389561$ $k_2=3,109969$	0,993140	0,009062	0,000697
	100 °C	$a_1=0,851701$ $k_1=2,284391$ $a_2=0,149942$ $k_2=15,01783$	0,992780	0,008232	0,000748
Verma	80 °C	a=0,852705 k=1,428231 g=9,696431	0,994320	0,009139	0,021377
	90 °C	a=0,902356 k=2,145740 g=8,630046	0,994191	0,007925	0,000566
	100 °C	a=0,851857 k=2,284763 g=14,945680	0,992794	0,008236	0,000686

Çizelge 4.12 D=14 cm $P_{eff}= 2$ bar basınç için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80 °C	k=1,603272 n=0,868101	0,992660	0,011559	0,000550
	90 °C	k=2,257312 n=0,941877	0,993680	0,008468	0,000565
	100 °C	k=2,416206 n=0,870343	0,991417	0,009706	0,000747
Diffusion Approach	80 °C	a=240,961500 k=1,668484 b=0,999992	0,989143	0,023496	0,001175
	90 °C	a=263,8578 k=2,337575 b=0,999988	0,992665	0,010062	0,000719
	100 °C	a=232,467700 k=2,665230 b=0,999991	0,987809	0,016945	0,001412
Henderson And Pabis	80 °C	a=0,947077 k=1,577331	0,989003	0,017071	0,000813
	90 °C	a=0,984795 k=2,308389	0,992673	0,009645	0,000643
	100 °C	a=0,955874 k=2,547067	0,987694	0,013707	0,001054
Two Term Exponential	80 °C	a=-2,379738 k=-0,068805	0,885775	0,585602	0,027886
	90 °C	a=0,541560 k=3,167973	0,993154	0,009105	0,000607
	100 °C	a=-2,388071 k=-0,107417	0,878025	0,392182	0,030168
Logarithmic	80 °C	$a_0=0,0138130$ a=0,939473 k=1,645525	0,989166	0,016770	0,028957
	90 °C	$a_0=0,001880$ a=0,983707 k=2,321217	0,992676	0,009640	0,000689
	100 °C	$a_0=0,012040$ a=0,948670 k=2,641635	0,987820	0,013537	0,001128
Two Term	80 °C	$a_1=0,944808$ $k_1=1,528099$ $a_2=-6,47586$ $k_2=-16,95662$	0,988778	0,017975	0,000946
	90 °C	$a_1=0,602939$ $k_1=1,962473$ $a_2=0,389561$ $k_2=3,109969$	0,993140	0,009062	0,000697
	100 °C	$a_1=0,851701$ $k_1=2,284391$ $a_2=0,149942$ $k_2=15,01783$	0,992780	0,008232	0,000748
Verma	80 °C	a=0,852705 k=1,428231 g=9,696431	0,994320	0,009139	0,021377
	90 °C	a=0,902356 k=2,145740 g=8,630046	0,994191	0,007925	0,000566
	100 °C	a=0,851857 k=2,284763 g=14,945680	0,992794	0,008236	0,000686

5. SONUÇ

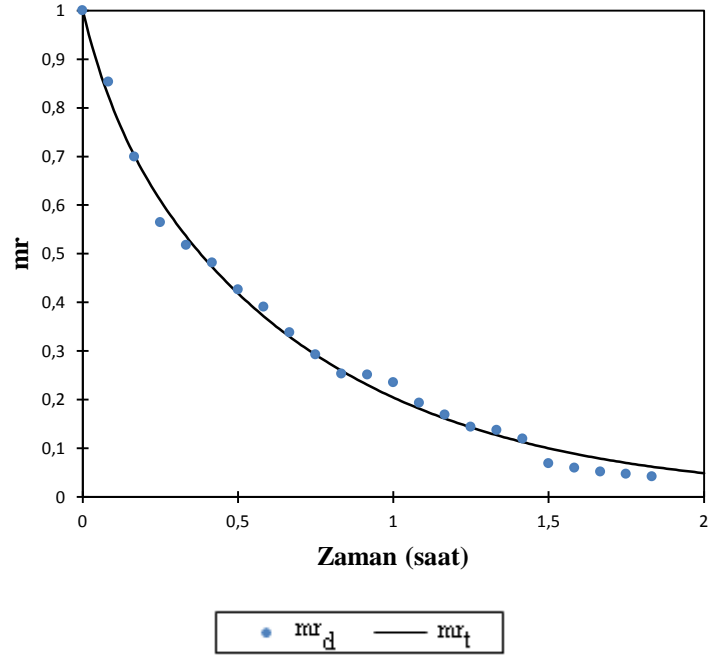
Yapılan deneysel çalışma sıcak hava ile kurutma işleminde yün iplik bobinleri için en uygun kurutma şartlarının belirlenmesinde önemli sonuçlar vermiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonuçları, kurutma havası sıcaklığı ve kuruma basıncının kurumayı önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Kurutma sıcaklıklarının ve kurutma basıncının artırılmasıyla, kuruma süresinde önemli mertebede düşüşler söz konusu olmaktadır. Aynı zamanda, yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre kurumanın ilk 10 dakikalık sürede çok hızlı bir şekilde gerçekleştiği, sonraki zaman dilimlerinde ise kademeli olarak azaldığı görülmektedir.

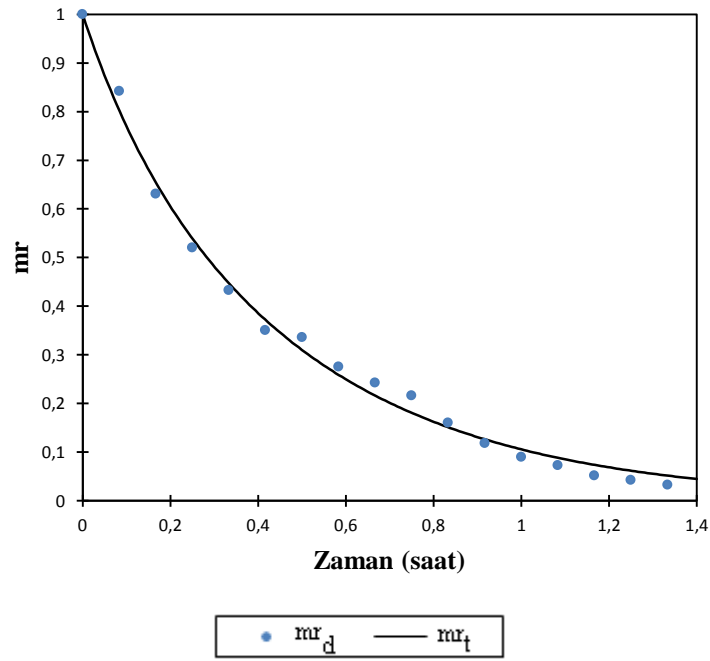
Regresyon analizine göre, deneysel veriler ile en iyi uygunluğu sağlayan modellerin Two-term ve Verma modeli olduğu görülmektedir. D=14 cm çaplı yün iplik bobinleri için Verma modeli, D=18 cm çaplı yün iplik bobinleri için Two-term modeline uyumu diğer modellere göre biraz daha iyidir.

En kısa kuruma süresi $P_{\text{eff}} = 2$ bar, $T=100^{\circ}\text{C}$ 'de söz konusu olmaktadır.

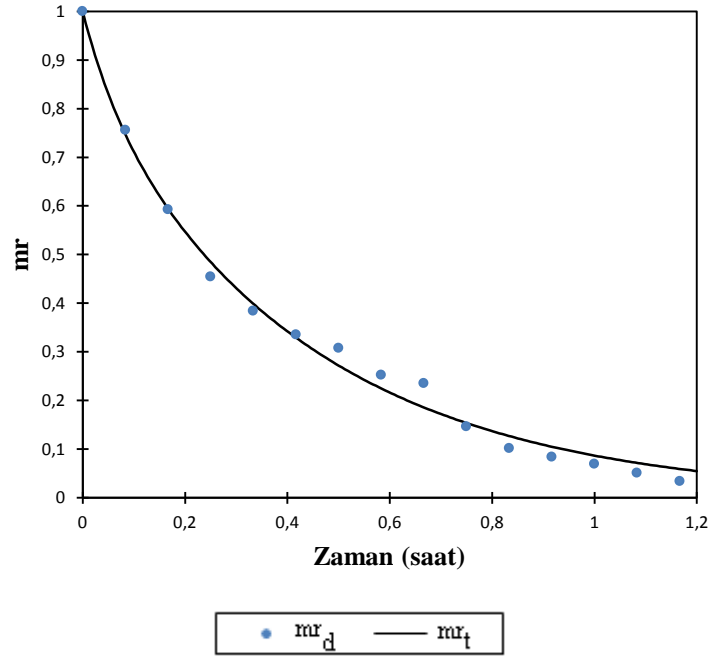
Regresyon analizi sonuçlarına göre, uygun olan modele ait kuruma eğrileri ve deneysel kuruma eğrileri Şekil 5.1 – Şekil 5.14'de görülmektedir. Çizelgelerden de bir kez daha görülebileceği gibi Two-term ve Verma modeli deneysel kuruma davranışını iyi bir şekilde ifade etmektedir.



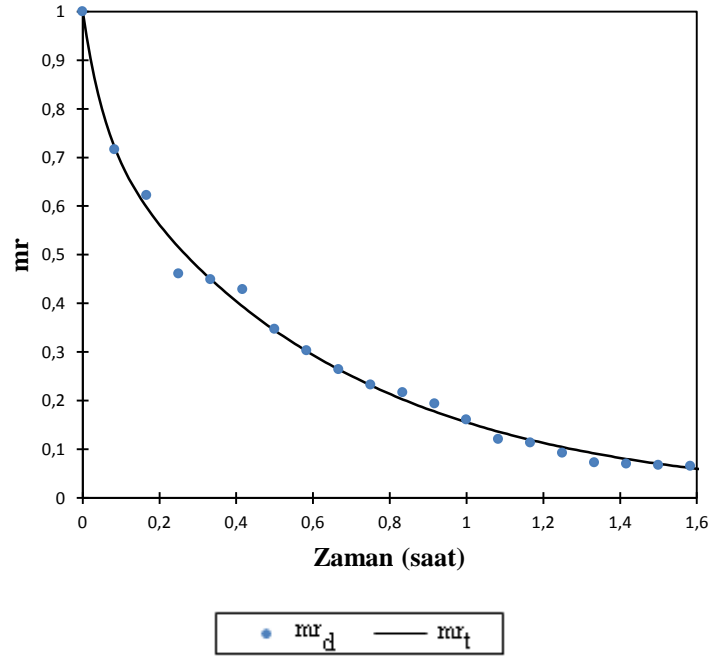
Şekil 5.1 D=14 cm $P_{\text{eff}}=1$ bar $T= 80^{\circ}\text{C}$ 'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



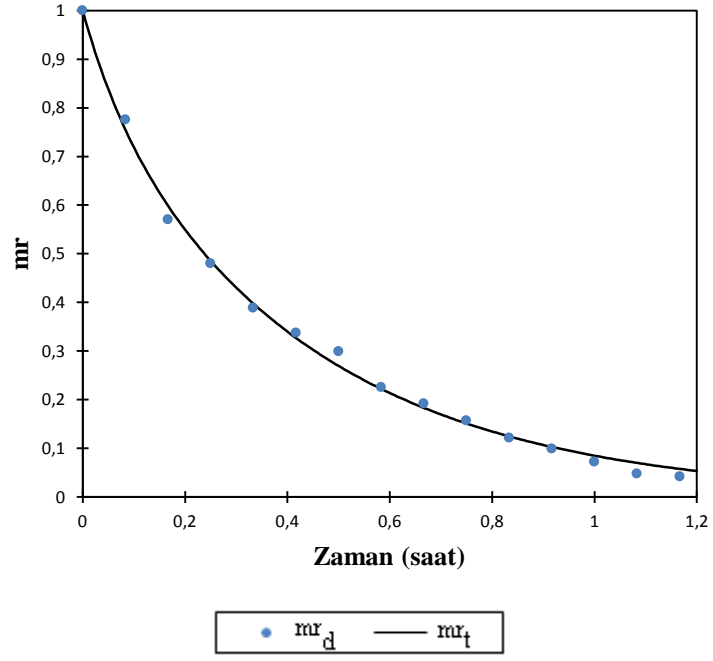
Şekil 5.2 D=14 cm $P_{\text{eff}}=1$ bar $T= 90^{\circ}\text{C}$ 'da Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



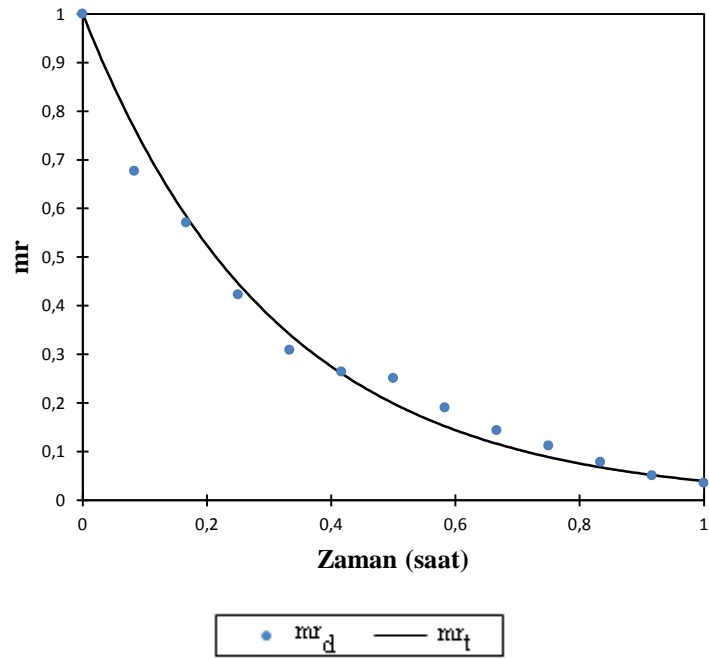
Şekil 5.3 D=14 cm $P_{eff}=1$ bar $T= 100^{\circ}C$ 'da C'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



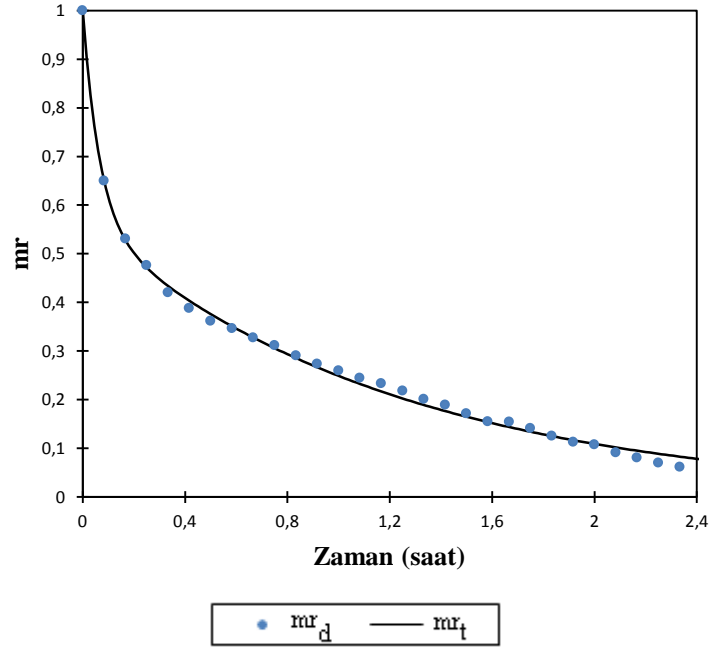
Şekil 5.4 D=14 cm $P_{eff}=2$ bar $T= 80^{\circ}C$ 'da C'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



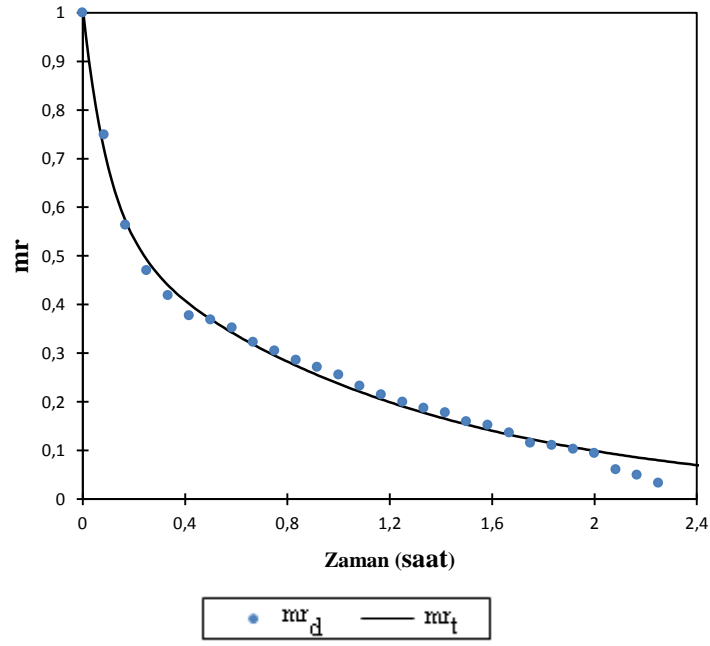
Şekil 5.5 D=14 cm $P_{eff}=2$ bar $T= 90^{\circ}C$ 'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



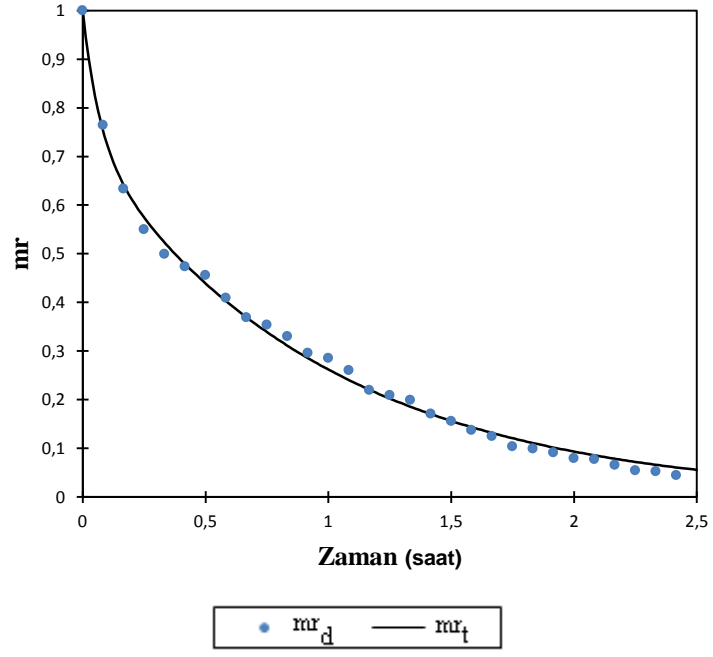
Şekil 5.6 D=14 cm $P_{eff}=2$ bar $T= 100^{\circ}C$ 'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



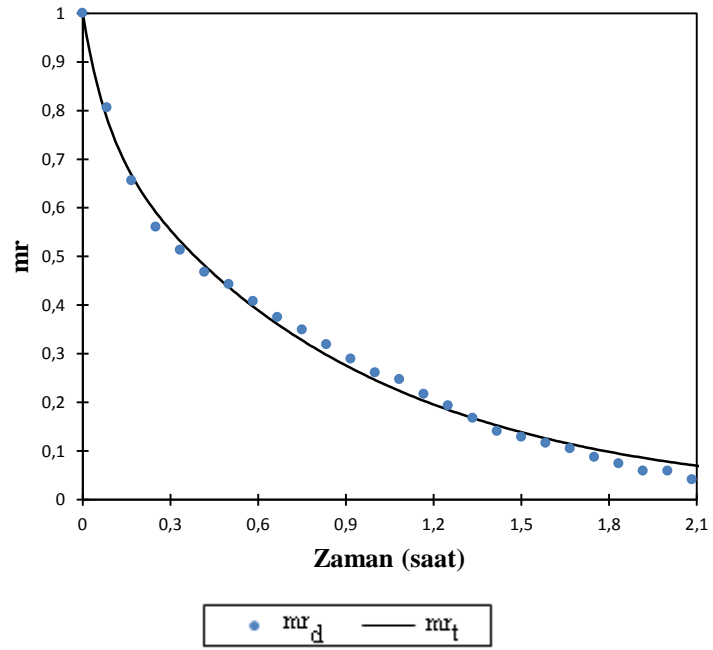
Şekil 5.8 D=18 cm $P_{eff}=0,5$ bar $T= 90^{\circ}C$ 'de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



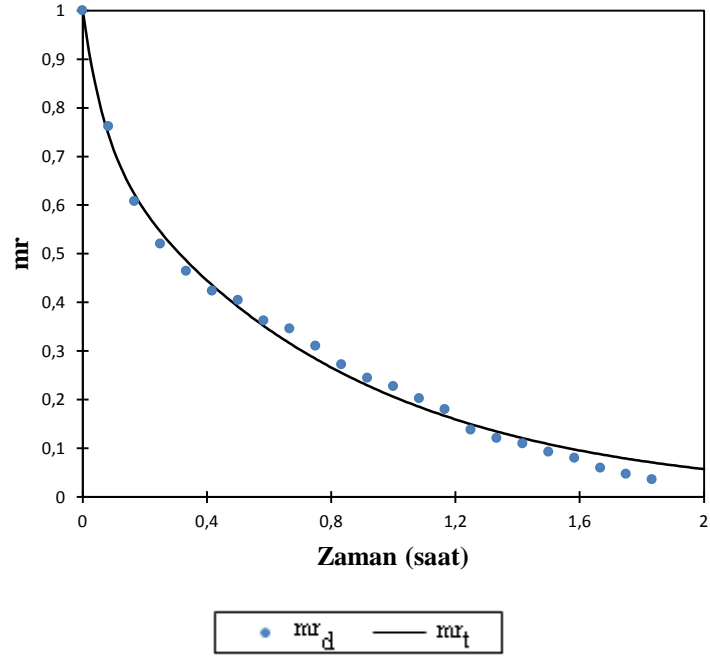
Şekil 5.8 D=18 cm $P_{eff}=0,5$ bar $T= 100^{\circ}C$ 'de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



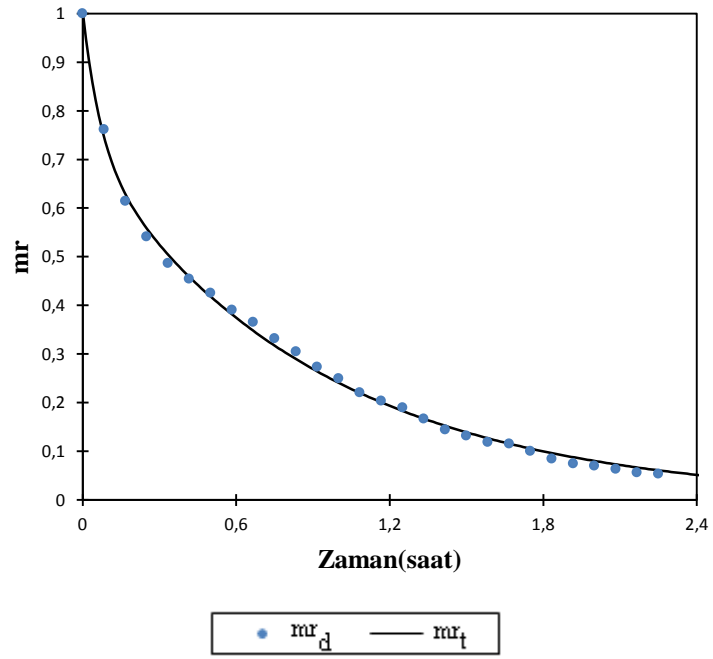
Şekil 5.9 D=18 cm $P_{eff}=1$ bar $T= 80^{\circ}C$ 'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



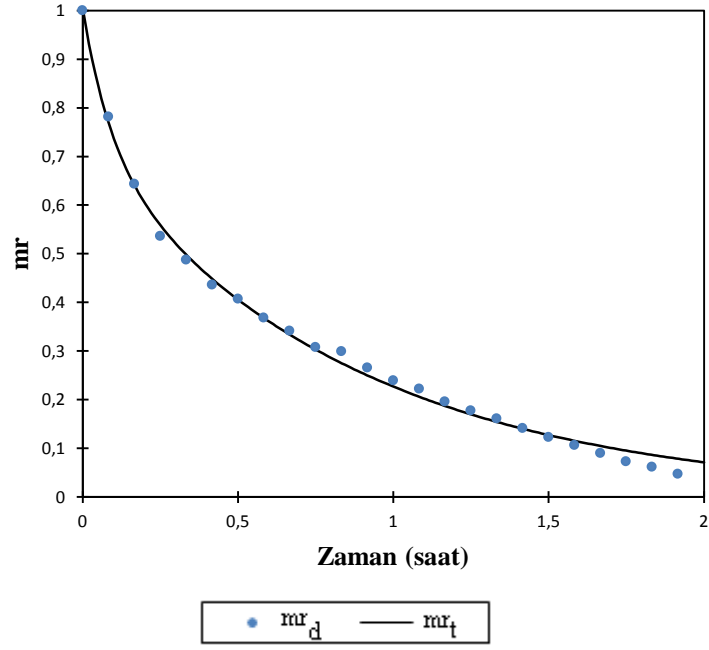
Şekil 5.10 D=18 cm $P_{eff}=1$ bar $T= 90^{\circ}C$ 'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



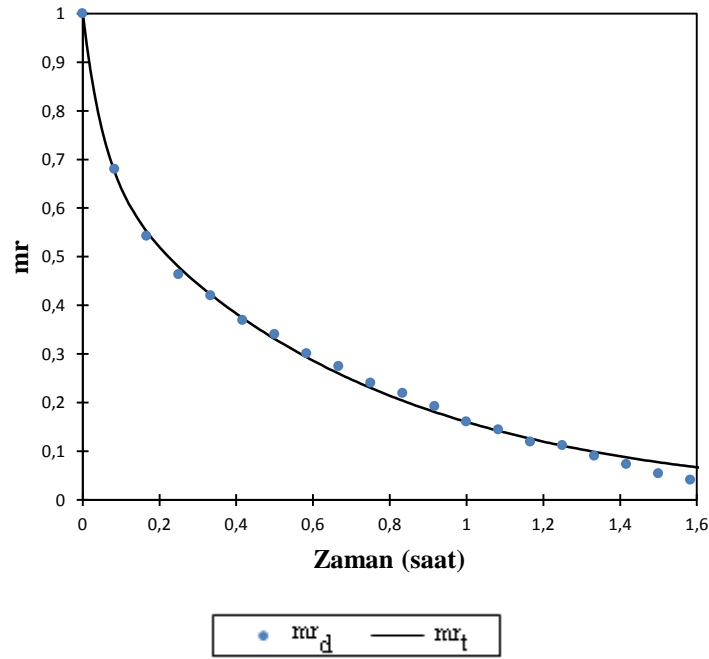
Şekil 5.11 D=18 cm $P_{eff}=1$ bar $T= 100^{\circ}C$ 'de Verma kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



Şekil 5.12 D=18 cm $P_{eff}=2$ bar $T= 80^{\circ}C$ 'de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



Şekil 5.13 D=18 cm $P_{\text{eff}}=2$ bar $T= 90^{\circ}\text{C}$ 'de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı



Şekil 5.14 D=18 cm $P_{\text{eff}}=2$ bar $T= 100^{\circ}\text{C}$ 'de C'de Two-term kuruma modeline dayalı kuruma davranışı

6. KAYNAKLAR

- Akarsalan F (2002). Tekstil Mamul Özelliklerinin Kurutma Etkinliğine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Akat M (2007). Keçi Derisi Kurutma Eğrilerinin Deney Yoluyla Elde Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Akyol U (2007). İplik Bobininin Kurutulmasının Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Akyol U, Cihan A, Shaliyev R (2010). Thermophysical Parameter Estimation of a Wool Bobbin during Convective Drying Process. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 18: 227-240.
- Alifanov OM (1994). *Inverse Heat Transfer Problems*, Springer-Verlag, Berlin.
- Cihan A (1991). Çeltik Kurutmasının Deneysel ve Teorik Araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çil B. (2006). Tarım Ürünlerinin Akışkan Yatakta Kurutma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Demirtaş C (1996). Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dietl C, Winter E.R.F, Viskanta R (1998). An Efficient Simulation of the Heat and Mass Transfer Processes during Drying of Capillary Porous Hygroscopic Materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41: 3611-3625.
- Dinçer İ, Hussain M.M (2002). Development of a New Bi-Di Correlation for Solids Drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 3065-3069.
- Doğan H (2001). Düşük Nem Oranı ile Kurutma. *Teknoloji Dergisi*. 4: 23-30
- Doymuş O, Onat A, Yılmaz Ş (2005). Tekstil Fabrikalarındaki Bağlı Nemin Yapay Sınır Ağları Yöntemi ile Kontrolü. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1): 53-59.
- Efremov G.I (2005). Calculation of the Effective Diffusion Coefficient in Drying of Polymics, Fibres and Composite Materials with a Quasistationary Method. 37: 67-72.
- Erbay Z (2008). Zeytinyağı Yaprağının Sıcak Hava ile Kurutulmasının Modellemesi, Optimizasyonu ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Erentürk S, Gülaboğlu M.S (2004). The Thin-Layer Drying Characteristics of Rosehip. *Biosystems Engineering*, 89-2: 159-166.

- Ertürk S, Erentürk K (2006). Comparison of Genetic Algorithm and Neural Network Approaches for the Drying Process of Carrot. Elsevier Journal of food, 78: 9105-912.
- Güneban H (2005). Endüstriyel Kurutma Sistemleri. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 13: 1-11
- Güneş M (1994). Bilgisayar Destekli Olarak Çeşitli Geometrik Şekillere Sahip Gözenekli Ortamlarda Kurutma Prosesinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Güngör A, Özbalta N (1997). Endüstriyel Kurutma Sistemleri. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 2: 737-746, İzmir.
- Hadgi A.K. (2003). Thermal Analysis of Drying Process: A Theoretical Approach. Journal of Thermal Analysis, 74: 827-842.
- Hadgi A.K (2011). A Mathematical Model of Drying Process. Acta Polytechnica, Vol.41 No.3: 20-23
- Hussain M.A, Bala B.K, Satter M.A (2003). Simulation of Natural Air Drying of Maize a Cribs. Simulation Modelling Practice and Theory, 11: 571-583.
- Hussain M.M, Dinçer İ (2003). Two-Dimensional Heat and Moisture Transfer Analysis of a Cylindrical Moist Object Subjected to Drying: A Finite-Difference Approach. International Journal of Heat and Mass Transfer, 46: 4033-4039.
- İsaeva J (2007). Kayısı Kurutulmasının Deneysel ve Teorik olarak Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karaaslan S, Tunçer İ.K (2009). Kırmızıbiberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. KSÜ Doğa Bilim Dergisi, 12(2): 9-16.
- Le C.V, Ly G, Postle R (1995). Heat and Moisture Transfer in Textile Assemblies, Part I: Steaming of Wool, Cotton, Nylon, and Polyester Fabric, Textile Research Journal, 65, 4: 203-212.
- Lee H.S, Carr W.W, Beckham H.W, Leisen J. (2002).A Model of Through Air Drying of Tufted Textile Materials, International Journal of Heat and Mass Transfer, 45: 357-366.
- Li Y, Plante A.M, Holcombe B.V (1995). Fiber Hygroscopicity and Perceptions of Dampness, Part II: Physical Mechanisms. Textile Research Journal, 65, 6: 316-324.
- Li Y, Zhongxuan L (1999). An Improved Mathematical Simulation of the Coupled Diffusion of Moisture and Heat in Wool Fabric. Textile Research Journal, 69, 10: 760-768.
- Li Y, Zhu Q (2003). A Model of Coupled Liquid Moisture and Heat Transfer in Porous Textiles with Consideration of Gravity. Numerical Heat Transfer, 43: 501-523.

- Li Y, Zhu Q, Yeung K.W. (2002). Influence of Thickness and Porosity on Coupled Heat and Liquid Moisture Transfer in Porous Textiles. *Textile Research Journal*, 72, 5: 435-446.
- Nastaj J.F (2000). Numerical Model of Vacuum Drying of Suspensions on Continuous Drum Dryer at Two-region Conductive-Convective Heating. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 27, 7: 925-936.
- Oğulata R.T, Kadem F. D, Koç E (1999). Tekstilde Kurutma Yöntem ve Makinaları. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 803-809, İzmir.
- Özerdem A (2007). Basılacak Kumaş Özelliklerinin Baskı Boyasındaki Çeşitli Parametrelerin ve Fiksaj Yöntemlerinin Baskı Kalitesine ve Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Radishevskii M.B, Kolacheva A.V, Serkou A.T (2003). Semicontinuous Production of Viscose Textile Fibres. *Fibre Chemistry*, 35: 426-428.
- Ribeiro J, Ventura J.M.P. (1995). Evaluation of Textile Bobbins Drying Processes: Experimental and Modelling Studies. *Drying Technology*. 13, 1-2: 239-265.
- Selbaş R (1998). Akışkan Yataklı Kurutma Sistemlerinin Analizi ve Sunta Kurutulmasında Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Smith M.C, Farid M (2004). A Single Correlation for the Prediction of Dehydration Time in Drying and Frying of Samples Having Different Geometry and Size. *Journal of Food Engineering*, 63: 265-271.
- Sousa, N.C. Pereira, O.C.M. Lima and E.V. Fonseca, (2001). Equilibrium Moisture Isotherms of Textile Materials. *Acta Scientiarum, Maringá*, Vol. 23, 6: 1363-1368.
- Şekerden F (2000). İplik Üretiminin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uslu M.K, Certel M (2006). Dielektrik Isıtma ve Gıda İşlemede Kullanımı. *Teknolojik Araştırmalar*, 3: 61-69
- Yüzgeç U (2005). Kurutma Sürecinin Modellenmesi ve Öngörülü Denetimi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Zaitsev V.P, Panin I.N. Nozarov D.I (1999). Fibres on Cross-Winding Bobbins, Improvement of Rewinding of Chemical, *Fibre Chemistry*, 31: 132-135.
- Zhoungxuan L, Fengzhi L, Yingxi L, Yi L (2004). Effect of the Environmental Atmosphere on Heat, Water and Gas Transfer within Hygroscopic Fabrics. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 163: 199-210.

Zhu Q, Li Y (2003). Effects of Pore Size Distribution and Fiber Diameter on the Coupled Heat and Liquid Moisture Transfer in Porous Textiles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46: 5099-5111.

ÖZGEÇMİŞ

Sevgi Toraman, 01.08.1985 yılında Kiğı/ Bingöl'de doğdu. 2003 yılında Pertevniyal Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2004 yılında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne giriş yaptı ve 2008 yılında mezun oldu. Mezun olduktan sonra aynı yıl Erensan Isı Sanayi A.Ş.'de proje mühendisi olarak görev yapmaya, aynı zamanda Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya başladı. Halen Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmekte ve aynı şirkette proje mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

İletişim Bilgileri;

Adres : Merkez mah. Barışkent sit. E-2 Blok D:22 Yenibosna-B.evler / İSTANBUL

Tel : (0539)5968810

e-mail : sevgi-toraman@hotmail.com