TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE KURUMANIN MODELLENMESİ

DİNÇER AKAL

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN: PROF.DR. AHMET CİHAN
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2011 EDİRNE

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE KURUMANIN MODELLENMESİ

DİNÇER AKAL

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF.DR. AHMET CİHAN

2011
EDİRNE

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE KURUMANIN MODELLENMESİ

DİNÇER AKAL

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez ..19.08.2011.. Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

.....	**.....**
...Prof.Dr. Ahmet Cihan...	**...Prof.Dr. Ayşen Haksever...**
Danışman	

.....	**.....**	**.....**
..Doç.Dr. Kamil Kahveci..	**..Doç.Dr. Semiha Öztuna..**	**..Yrd.Doç.Dr. Uğur Akyol..**

ÖNSÖZ

Tekstil ürünleri ülkemizin ihracatında önemli bir yer tutmaktadır. Son zamanlarda bu sektörde artan rekabet üretimin her aşamasının planlanarak belirli bir bilinçle yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kurutma işlemi ise tekstil endüstrisinde çoğu boyama ve/veya terbiye işlemlerinden sonra yüksek miktarda enerji gerektiren, pahalı ve zaman alıcı bir proseslerden birini oluşturmaktadır. Bu çalışmada da tekstil ürünleri içerisinde temel kalemlerden biri olan pamuk iplik bobinlerinin kuruma davranışı incelenmiş ve kuruma modellenmiştir. Deneysel çalışma tekstil sanayinde kurutmada kullanılan makinenin bir prototipi olan bir deney tesisatı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar kuruma üzerinde pek çok faktörün önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Kurutma işleminin bu etkiler dikkate alınarak yapılmasının kurutma zamanının azaltılması veya enerji tüketiminin azaltılması hususunda önemli katkılar ortaya çıkaracağını düşünmekteyim.

Doktora tezimin yapılması sırasında her türlü katkı ve desteği sağlayan danışmanım Sayın Prof.Dr. Ahmet CİHAN'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Yine tez çalışmam sürecinde önemli katkılarından dolayı Sayın Doç.Dr. Kamil KAHVECİ ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Uğur AKYOL'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu doktora çalışması "Bobin kurutma makinesinin modellenmesi, optimizasyonu ve otomasyonu" isimli ve 108M274 numaralı Tübitak 1001 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle TÜBİTAK'a da teşekkürü bir borç bilirim

Ağustos 2011

Dinçer AKAL
Mak.Yük.Müh.

ÖZET

Bu çalışmada pamuk iplik bobinlerinin basınçlı sıcak hava ile kuruma davranışı deneysel olarak incelenmiştir ve kuruma modellenmiştir. Deneysel çalışma tekstil sanayinde kurutmada kullanılan makinenin bir prototipi olan deney tesisatı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma parametreleri olarak bobin çapı, kurutma havası sıcaklığı ve basıncı göz önüne alınmıştır. Her bir parametrenin değişik değerleri için deneysel kuruma davranışı belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar bu üç parametrenin de kuruma davranışı üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Bobin çapının azaltılması ve kurutma havası sıcaklığı ve basıncının artmasıyla kuruma hızı önemli oranlarda artmaktadır. Deneysel çalışmanın tamamlanmasından sonra kuruma davranışı modellenmiştir. Kuruma olayının tam olarak modellenmesi genellikle kurutulan malzemenin yapısının kompleksliği ve kurumanın pek çok farklı mekanizma ile gerçekleşebilmesi nedeniyle oldukça güçtür. Bu nedenle kurumayı ifade etmede genellikle ampirik ve yarı ampirik modeller sıkça kullanılır. Bu çalışmada hem bu ampirik ve yarı ampirik modellerin kuruma davranışını ifade etmedeki uygunluğu tespit edilmiş hem de kuruma difüzyon modeli kullanılarak teorik olarak modellenmiştir. Modelleme sonuçları önerilen teorik modelin pamuk iplik bobininin kuruma davranışını ifade etmede iyi bir uygunluk sergilediğini göstermektedir. Sonuçlar ayrıca ampirik ve yarı ampirik modellerden Diffusion Approach modelinin deneysel verileri tanımlamada en uygun model olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, iplik bobini, pamuk, difüzyon, nem oranı.

ABSTRACT

In this study, pressurized hot air drying behaviour of cotton based yarn bobbins has been investigated experimentally and drying is simulated. The experimental study has been carried out using a bobbin dryer that is a prototype of dryers used in the textile industry. The bobbin outer diameter, drying air temperature and pressure have been selected as drying parameters. The experimental results show that all these parameters have a significant effect on drying. The drying rate increases considerably with a decrease at the bobbin diameter and with an increase at the drying air temperature and pressure. After the experimental study, drying behaviour has been modelled. The modelling of drying is generally rather difficult because of the complexity of drying and structure of dried material. For this reason, empirical and semi empirical models are often used for simulation of drying. In this study, both the suitability of empirical and semi-empirical models in defining drying behaviour have been analyzed and drying has stimulated theoretically by the diffusion model. The modelling results show that proposed theoretical model defines the drying behaviour of cotton based yarn bobbins well. The results also show that the most suitable model among the empirical and semi-empirical model is the Diffusion Approach model.

Keywords: Drying, yarn bobbin, cotton, diffusion, moisture ratio.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ..... i
ÖZET..... ii
ABSTRACT..... iii
İÇİNDEKİLER..... iv
SEMBOLLER..... v
ŞEKİL LİSTESİ..... vi
TABLO LİSTESİ..... vii

BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
1.1 Tekstil Lifleri..... 1
1.2 Tekstil Liflerinin Temel Özellikleri..... 1
1.3 Tekstil Sanayinde Kullanılan Lifler..... 2
1.4 Tekstil Liflerinin Yapısı..... 4
1.5 Tekstil Liflerinin Kuruma Davranışı..... 5
1.6 İplik Bobinini Kurutma Yöntemleri..... 6

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI..... 9

BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYSEL PROSEDÜR..... 12
3.1 Deney Düzeneği..... 12
3.2 Deneysel Prosedür..... 22

BÖLÜM 4 ANALİZ..... 25
4.1 Teorik Model..... 25
4.2 Ampirik ve Yarı-Ampirik Modeller..... 29

BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME..... 30
5.1 Deneysel Sonuçlar..... 30
5.2 Teorik Model..... 50
5.3 Ampirik ve Yarı-Ampirik Modeller..... 60

KAYNAKLAR..... 78
ÖZGEÇMİŞ..... 81

SEMBOLLER

A, B	sıcaklık fonksiyonu sabitleri
a, b, k, n	kurutma model sabitleri
C	volumetrik nem konsantrasyonu
C_e	denge nemi konsantrasyonu
C_o	başlangıç nemi konsantrasyonu
c	boyutsuz nem konsantrasyonu
D_{eff}	efektif difüzyon katsayısı
H	bobin yüksekliği
J_k	k. mertebe birinci tip Bessel fonksiyonu
M	bobinlerin kütlesi
M_e	bobinlerin denge nemindeki kütlesi
M_d	bobinlerin kuru kütlesi
M_o	bobinlerin kurutma başlangıcındaki kütlesi
m	iplik kütlesi
m_e	ipliğin denge nemindeki kütlesi
m_o	ipliğin kuruma başlangıcındaki kütlesi
mr	boyutsuz nem oranı
r	iplik için radyal koordinat
R	iplik yarıçapı
RH	bağıl nem
T	sıcaklık
T_a	mutlak sıcaklık
t	zaman
x	bobin için radyal koordinat

Yunan harfleri

α	$J_k(x)$ in j. kökü
τ	boyutsuz zaman
ζ	boyutsuz radyal koordinat
ψ_e	pamuk için denge nem içeriği

ŞEKİL LİSTESİ **Sayfa**

Şekil 1.1	Gözenekli bir maddede farklı gözenek türleri.....	5
Şekil 1.2	Higroskopik ve higroskopik olmayan madde.....	5
Şekil 1.3	Tipik kuruma davranışı.....	6
Şekil 1.4	İplik kurutma makinesine ait fotoğraflar.....	7
Şekil 1.5	İplik kurutma makinelerinde taşıyıcının değiştirilmesi sayesinde, çeşitli tür ipliklerin paket formlarında kurutulması.....	7
Şekil 1.6	Aynı makine içinde, değişik taşıyıcılar üzerinde bulunabilen bobin, elyaf ve tops halindeki tekstil ürünleri.....	8
Şekil 1.7	Yüksek frekanslı bobin kurutma makinesinin şematik görünümü....	8
Şekil 3.1	İplik bobini kurutma deney tesisatının şematik görünümü.....	14
Şekil 3.2	İplik bobini kurutma deney tesisatının genel görünümüne ait fotoğraflar.....	15
Şekil 3.3	Hava fanı ve fan motoru.....	16
Şekil 3.4	Isıtma eşanjörü.....	16
Şekil 3.5	Sürücü (İnvertör).....	16
Şekil 3.6	Debi ölçer.....	16
Şekil 3.7	Basınç sensörü.....	16
Şekil 3.8	Portmantiyerin farklı açılardan görünümü.....	17
Şekil 3.9	Pnömatik pistonlar.....	17
Şekil 3.10	PLC.....	17
Şekil 3.11	Termokupllar.....	18
Şekil 3.12	Nem sensörü.....	18
Şekil 3.13	PT100.....	18
Şekil 3.14	Soğutma eşanjörü.....	19
Şekil 3.15	Seperatör.....	19
Şekil 3.16	Su seviye elektrotu.....	19
Şekil 3.17	Kompresör.....	19
Şekil 3.18	Loadcell (Elektronik terazi).....	20
Şekil 3.19	Elektrik panosu (operatör kumanda paneli).....	20
Şekil 3.20	Portmantiyer üzerindeki su seviye elektrodu.....	20
Şekil 3.21	Portmantiyer üzerindeki sıcaklık ölçüm sensörü.....	20

Şekil 3.22	Portmantiyer üzerindeki nem sensörü.....	21
Şekil 3.23	Portmantiyer üzerindeki basınç ve sıcaklık ölçüm göstergeleri.....	21
Şekil 3.24	Emniyet ventili.....	21
Şekil 3.25	Acil durum butonu.....	21
Şekil 3.26	Otomatik kontrollü kurutma tesisatına veri girişinin yapıldığı bilgisayar	21
Şekil 3.27	Konikler.....	22
Şekil 3.28	Bobin geometrisi.....	22
Şekil 3.29	Bobinlerin su banyosunda ıslatılması.....	23
Şekil 3.30	Bobinlerdeki fazla suyun süzülme aracılığı ile uzaklaştırılması.....	23
Şekil 3.31	Bobinlerin portmantiere yerleştirilmesi.....	24
Şekil 4.1.	İplik geometrisi ve koordinat sistemi.....	25
Şekil 4.2	Bobin geometrisi.....	28
Şekil 5.1	D=10cm ve P_{eff}=1bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.....	56
Şekil 5.2	D=10cm ve P_{eff}=2bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.....	57
Şekil 5.3	D=14cm ve P_{eff}=1bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.....	58
Şekil 5.4	D=14cm ve P_{eff}=2bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.....	59
Şekil 5.5	D=10cm ve P_{eff}=1bar için Diff. Appr. modeline dayalı kuruma eğrileri	73
Şekil 5.6	D=10cm ve P_{eff}=2bar için Diff. Appr. modeline dayalı kuruma eğrileri	74
Şekil 5.7	D=14cm ve P_{eff}=1bar için Diff. Appr. modeline dayalı kuruma eğrileri	75
Şekil 5.8	D=14cm ve P_{eff}=2bar için Diff. Appr. modeline dayalı kuruma eğrileri	76

TABLO LİSTESİ **Sayfa**

Tablo 3.1	Bobin boyutları.....	23
Tablo 4.1	$J_o(x)$ in kökleri.....	27
Tablo 4.2	Ampirik veya yarı ampirik kurutma modelleri.....	29
Tablo 5.1	D=10cm ve P_{eff}=1bar için deneysel kuruma davranışı.....	32
Tablo 5.2	D=10cm ve P_{eff}=2bar için deneysel kuruma davranışı.....	32
Tablo 5.3	D=14cm ve P_{eff}=1bar için deneysel kuruma davranışı.....	33
Tablo 5.4	D=14cm ve P_{eff}=2bar için deneysel kuruma davranışı.....	34
Tablo 5.5	Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=1 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	35
Tablo 5.6	Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=1 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki	36

	değişimi.....	
Tablo 5.7	Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=1 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	37
Tablo 5.8	Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=2 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	38
Tablo 5.9	Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=2 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	39
Tablo 5.10	Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=2 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	40
Tablo 5.11	Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=1 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi	41
Tablo 5.12	Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=1 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	42
Tablo 5.13	Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=1 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi	43
Tablo 5.14	Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=2 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişim.....	44
Tablo 5.15	Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=2 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	45
Tablo 5.16	Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=2 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi.....	46
Tablo 5.17	Bobinlerin kuru kütlesi ve kurutma havası ile denge durumundaki kütleleri.....	46
Tablo 5.18	D=10cm ve P_{eff}=1bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı.....	47
Tablo 5.19	D=10cm ve P_{eff}=2bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı.....	47
Tablo 5.20	D=14cm ve P_{eff}=1bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı.....	48
Tablo 5.21	D=14cm ve P_{eff}=2bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı.....	49

Tablo 5.22	D=10cm için sıcaklık denklemine ait katsayıların değerleri.....	52
Tablo 4.23	D=14cm için sıcaklık denklemine ait katsayıların değerleri.....	53
Tablo 5.24	Sıcaklık denklemine ait katsayıların değerleri.....	54
Tablo 5.25	Değişik kurutma şartları için γ sabitinin değeri.....	54
Table 5.26	Page modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	60
Table 5.27	Henderson and Pabis modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	61
Table 5.28	Geometric modele ait istatistiksel analiz sonuçları.....	62
Table 5.29	Wang and Singh modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	63
Table 5.30	Two Term Exponential modeline ait istatistiksel analiz sonuçları....	64
Table 5.31	Logartithmic modele ait istatistiksel analiz sonuçları.....	65
Table 5.32	Logistic modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	66
Table 5.33	Diffusion Approach modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	67
Table 5.34	Two Term modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	68
Table 5.35	Midilli et al. modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	69
Table 5.36	Jena and Das modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	70
Table 5.37	Weibull Distribution modeline ait istatistiksel analiz sonuçları.....	71

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Tekstil Lifleri [1]

Belirli uzunluğu, inceliği ve mukavemeti olan, eğrilme ve bükülme 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. Birbirleri üzerine sarılarak bükülmeleri suretiyle iplikleri oluşturan elyaf lifleri çok büyük uzunluk-çap oranlarına sahiptir. Pamuk liflerinin uzunlukları 25 ile 75 mm arasında değişirken, yün lifleri 100 mm değerinin üzerinde değişen uzunluklarda bulunur. Keten liflerinin uzunlukları ise 1 m'ye kadar çıkabilmektedir. Tekstil liflerinin çapları ise 3 ile 500 μm arasında değişmektedir. Liflerin kesit alanları, hem doğal lifler için hem de suni olarak elde edilmiş olan yapay lifler için farklılıklar gösterebilmektedir. Yün lifleri genellikle yuvarlak kesit alanına sahipken, pamuk lifleri eliptik kesit alanına sahiptir. Erime büküm yöntemi ile elde edilen sentetik lifler ise istenilen kesit şeklinde biçimlendirilebilirler. Liflerin sahip oldukları kesit şekilleri, liflerin bir dokuma malzemesi içerisinde bir arada bulunma durumlarını da etkiler. Örneğin üçgen şeklinde kesit alanına sahip olmaları nedeniyle ipek lifleri bir araya getirildiğinde daha küçük çapa sahip, fakat daha yoğun olan ipliği oluşturur. Pamuk ve yün lifleri doğal olarak helisel kıvrımlara sahiptir.

1.2 Tekstil Liflerinin Temel Özellikleri [1]

Tekstil endüstrisinde kullanılmaya elverişli materyallerin değeri bu materyallerin sahip olduğu özelliklere bağlıdır. Bir tekstil lifinde veya hammaddesinde lifin ince oluşu, esneme kabiliyeti, boya çekme yeteneği, kulanım kolaylığı, nem çekme özelliği, ışığa karşı duyarlılık gibi özellikleri o tekstil materyalinin değerini artırır. Kaliteli bir tekstil materyalinin aşağıdaki şu özelliklere sahip olması gerekir;

• İncelik
• Uzunluk
• Parlaklık
• Eğrilme yeteneği
• Dayanıklılık
• Uzama ve esneme kabiliyeti
• Yoğunluk
• Nem çekme yeteneği
• Isıdan etkilenme özelliği
• Işıktan etkilenme özelliği
• Kimyasallardan etkilenme özelliği
• Elektriksel özelliği

1.3 Tekstil Sanayinde Kullanılan Lifler [1]

Tekstil sanayinde kullanılan lifler elde edildikleri kaynaklara ve yapılarına göre farklılıklar gösterirler. Lifler doğal lifler ve yapay lifler olmak üzere iki kısma ayrılırlar.

1.3.1 Doğal Lifler

Doğal lifler bitkilerden elde edilen ve doğrudan tekstilde kullanılabilen liflerdir. Doğada var olan bu lifler en çok tüketilen liflerdir. Bu liflerin ana maddesi selülozdur. Selüloz, doğada bitkilerin sentez yoluyla oluşturdukları organik bir madde olup kağıt ve giyecek üretiminde kullanılır. Odun ve pamuğun ana maddesi selülozdur. Pamuk hemen hemen saf selülozdan oluşmaktadır. Odundaki selüloz miktarı %50 civarındadır ve 150oC'ye kadar olan sıcaklıklardan etkilenmez. Doğal liflerin en önemlisi ve en çok bulunanı, pamuk bitkisinden elde edilen pamuk elyafıdır. Üretilen doğal liflerin %90'ını pamuk, %8'ini ise yün ve ipek oluşturmaktadır. Doğal lifler üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

a) Bitkisel lifler,
b) Hayvansal lifler,
c) Anorganik liflerdir.

a) Bitkisel Lifler

Bu lifler bitkilerden elde edilir. Yapılarında %60-90 arasında selüloz bulunur. Bitkilerin tohumundan, gövdesinden ve yapraklarından lif elde edilir. Bitkisel liflerin en önemlisi pamuktur. Bitkisel lifler dörde ayrılır;

Bitki tohumdan elde edilen lifler: Bu lifler bitki tohumunun üzerinde bulunur. Bunlarda tek bir lifçik bir tek hücreden ibarettir. Bu bakımdan "tek hücreli elyaf" olarak da isimlendirilir. (Pamuk, kapok).

Bitki gövdesinden elde edilen lifler: Bir tek lif, birkaç bitki hücresinden oluşmuş bir demettir. Bu yüzden bu liflere "çok hücreli elyaf" da denilmektedir. (Keten, kenevir, rami, jüt).

Bitki yaprağından elde edilen lifler: Geniş yapraklı tropikal bitkilerden elde edilir. (Sisal kendiri, Manila keneviri, Yeni Zelanda keteni).

• Meyveden ede edilen lifler: Hindistan cevizi meyvesinden koko elyafı elde edilir.

b) Hayvansal lifler

Kimyasal olarak protein yapısında olduklarından "protein elyaf" olarak da isimlendirilirler. Hayvanlardan elde edilen lifler ikiye ayrılır. Bunlar;

Yün lifleri: Bu sınıftan olan hayvan türleri kıllarının kullanımı çok eskilere dayanır. (Koyundan yün, tiftik keçisinden elde edilen moher, kaşmir, angora, alpaka, deve tüyü v.b.).

Salgı lifleri: İpek böceğinden elde edilen doğal ipek, hayvanın salgısından elde edilir.

c) Anorganik lifler

Doğada bitkisel ve hayvansal kökenli organik yapıdaki lifler dışında ayrıca anorganik yapıda ve lif şeklinde kristal yapıya sahip maddeler de vardır. Asbest veya amyant adı verilen materyal bu sınıftandır.

1.3.2 Yapay Lifler

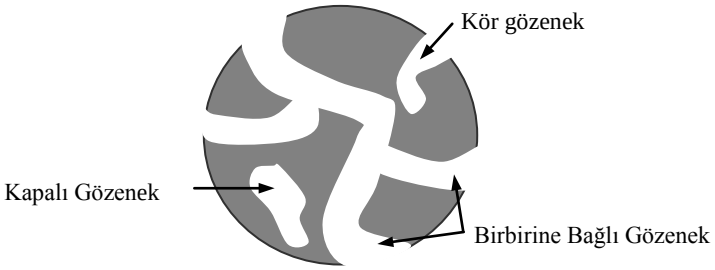
Cam lifi veya cam yünü gibi kimyasal işlemler sonucu elde edilen lifler, yapay lifler olarak adlandırılır. Yapay lifler ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

Rejenere lifler: Genelde kumaş/giysi kesilip biçilirken çıkan firelerin ki bunlara kırpıntı (clips) denir, toplanıp, renklerine göre gruplanıp, harmanlanıp, dört/altı tamburlu büyük makinelerde tekrar lif/elyaf haline getirilmesi ile yapılırlar. (Viskoz lifleri, selüloz nitrat lifleri, bakır amonyum lifleri, selüloz asetat lifleri).

Sentetik lifler: Sentetik lifler doğada, lif halinde bulunmayan bileşiklerden meydana getirilmişlerdir. Sentetik liflerin temel maddeleri kömür, petrol, su, azot gibi son derecede basit maddelerdir. Bu basit maddeler kimyasal olarak değişik şekillerde birleştirilerek lif haline dönüştürülürler. (Polyester lifi, poliamid, poliüretan, polivinil lifleri).

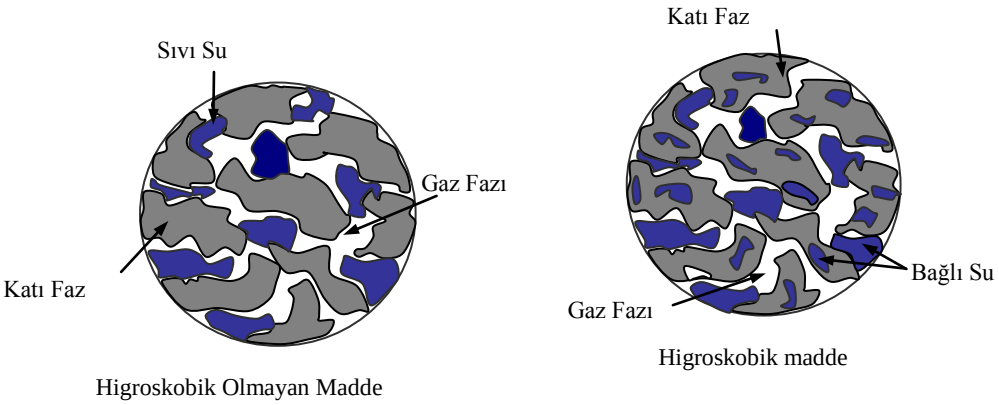
1.4 Tekstil Liflerinin Yapısı

Tekstil lifleri gözenekli ve higroskopiktirler ve yapıları kuruma davranışını önemli ölçüde etkiler. Gözenekli maddeler bir katı faz ve gözenekleri dolduran bir veya daha fazla akışkan fazından oluşur [2]. Ayrıca gözenekleri birbirlerine bağlayan boğazlar mevcuttur. Gözenek ve boğazlar, gözenekli maddeler içerisinde gelişigüzel olarak dağılı durumdadırlar ve düzensiz şekillere sahiptirler (Şekil1.1). Bu nedenle, iplik bobinleri gibi gözenekli olan maddelerin yapıları çok karmaşıktır.



Şekil 1.1 Gözenekli bir maddede farklı gözenek türleri [2].

Daha önce ifade edildiği gibi tekstil lifleri aynı zamanda higroskopiktirler. Higroskopik olmayan maddelerde gözenekler eğer madde doymuş halde ise su ile dolu eğer tam olarak kuru ise hava ile doludur. Higroskopik maddeler ise önemli miktarlarda bağlı su içerirler.

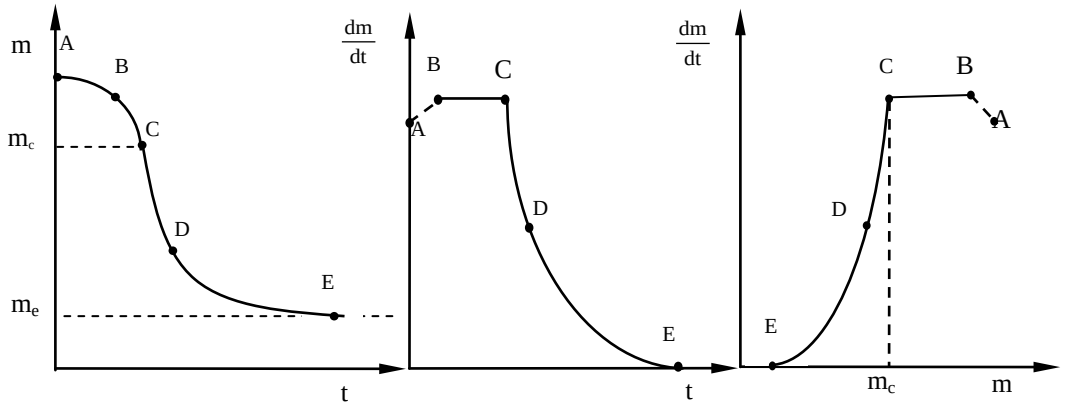


Şekil 1.2 Higroskopik ve higroskopik olmayan madde [2]

1.5 Tekstil Liflerinin Kuruma Davranışı [2]

Tekstil lifleri gibi gözenekli higroskopik maddelerin Şekil 1.3 de gösterildiği gibi tipik bir kuruma davranışı söz konusudur. Kurumanın değişik aşamalarında genellikle farklı kuruma davranışları görülür. Kurumanın başlangıcında kuruma hızının sabit kaldığı ve sabit hızda kuruma süreci adı verilen bir kuruma periyodu söz konusu olur. Bu genellikle nem oranının çok yüksek olduğu durumlarda söz konusu olur. Bu periyodun sonundaki nem içeriğine kritik nem içeriği (m_c) adı verilir. Eğer madde kritik nem

içeriğinden daha düşük bir nem içeriğine sahip ise, ki bu çalışmada göz önüne alınan iplik bobinleri için de durum aynıdır, kuruma sürecinde kuruma hızında bir azalma söz konusu olur. Bu kuruma periyodu azalan hızda kuruma periyodu olarak adlandırılır. Pek çok madde için bu periyot değişik aşamalara sahiptir ve "birinci azalan hızda", "ikinci azalan hızda", ... periyodu şeklinde adlandırılırlar.



Şekil 1.3 Tipik kuruma davranışı [1, 2]

1.6. İplik Bobinini Kurutma Yöntemleri

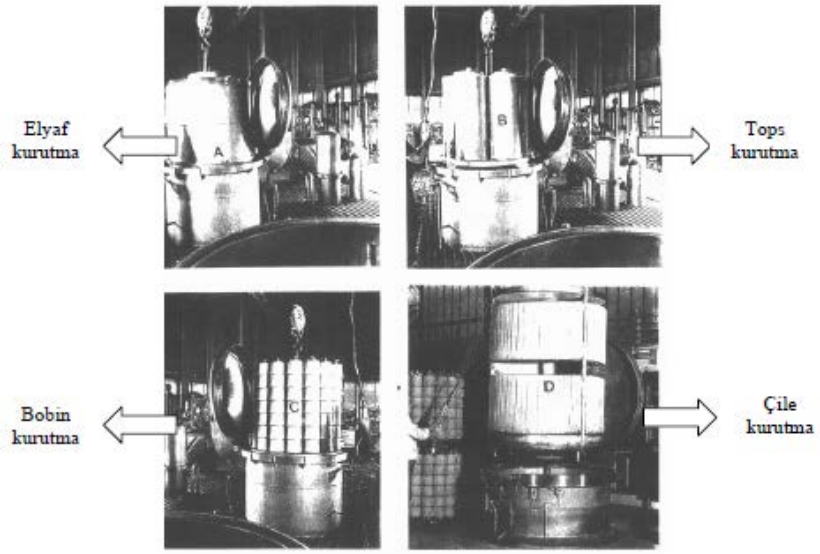
1.6.1. Sıcak Hava ile Kurutma

Kurutmanın sıcak hava ile yapıldığı iplik kurutma makineleri, günümüz teknolojisine göre her türlü iplik bobini, elyaf ve tops gibi tekstil materyallerini boya makinesinden sonra aynı taşıyıcıları kullanarak ek bir santrifüj makinesine ihtiyaç duymadan, ön sıkma işlemi ile tekstil ürünlerinin formunu bozmadan iç ve dış nem farkı olmaksızın sıkmak ve kurutmak için dizayn edilmiş makinelerdir. Şekil 1.4 te bu tip iplik kurutma makinelerine ait bazı fotoğraflar görülmektedir. İplik bobinleri kurutulurken, makinede belli bir basınç ve sıcaklıktaki hava, bir süre bobinlerin dışından içine doğru, bir müddet sonra içinden dışına doğru geçirilerek, bobinlerin dengeli bir şekilde kuruması sağlanır. Bobin kurutma ünitesinden 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 buharla çalışan ısıtma eşanjörüne gönderir. Isıtma eşanjöründe ısınan hava tekrar bobin kurutma ünitesine gider. Kurutma havasının özgül nemi belli bir süre sonra oldukça artar. Özgül nemi belli bir seviyeye gelen kurutma havası deşarj edilir ve makineye yeniden taze hava alınır. Bobinlerin başlangıç nem oranları %65-70 civarındadır. Bobin kurutma makinesinde ısıtma, kurutma, soğutma işlemleri yapılmaktadır. Aynı makine içine değişik taşıyıcılar konarak elyaf, tops ve diğer materyallerin ön sıkma ve kurutulma işlemleri mümkündür (Şekil 1.5 ve Şekil 1.6). 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 1.4 İplik kurutma makinesine ait fotoğraflar



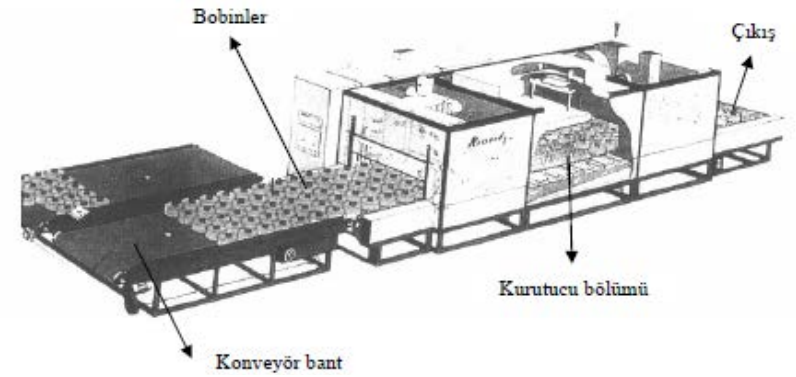
Şekil 1.5 İplik kurutma makinelerinde taşıyıcının değiştirilmesi sayesinde, çeşitli tür ipliklerin paket formlarında kurutulması



Şekil 1.6 Aynı makine içinde, değişik taşıyıcılar üzerinde bulunabilen bobin, elyaf ve tops halindeki tekstil ürünleri

1.6.2 Yüksek Frekanslı Kurutma

Yüksek frekanslı kurutma makineleri, tekstil materyallerinin iç kısımları ile yüzeylerinin eşit derecede hızlı bir şekilde kurumasını sağlayan makinelerdir. Yüksek frekanslı kurutma makinelerinin çalışma prensibi, tekstil materyalinin yüksek frekanslı alternatif akıma bağlı iki kondansatör levhası arasına konulmasına, su moleküllerinin bu levhaların + ve – yük durumuna göre dipol oluşturarak belirli bir yerleşme şekli almalarına dayanmaktadır. Levhalarının yükü devamlı olarak (saniyede milyonlarca kez) değiştirildiğinden su moleküllerinin yerleşme şekli de değişmekte, bu sırada moleküllerin sürtünmesinden açığa çıkan ısı, suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Bu tip makinelerde santrifüjden çıkan bobinler taşıma çubukları ile alınır ve ray üzerinde sürekli olarak makineye girer ve kurutucudan çıkar. Bu sistemin bantlı kurutuculara nazaran bazı avantajları vardır. Bunlar; materyalin kirlenmemesi, yer gereksiniminin az olması, materyalin yerleştirilmesinin kolaylığı ve daha az zaman almasıdır.



Şekil 1.7 Yüksek frekanslı bobin kurutma makinesinin şematik görünümü

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde çeşitli tekstil lifleri ve malzemelerindeki ısı ve kütle transfer mekanizmalarının anlaşılmaya ve açıklanmaya çalışıldığı, bunlara ait matematiksel modellerin sunulduğu, bu modellere ait problemlerin çözüldüğü, bazılarının deneysel çalışmalarla desteklendiği, ayrıca bazı faktörlerin ısı ve kütle transferi üzerine olan etkilerinin araştırıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte özellikle bobin halinde bulunan tekstil ipliklerinin kurutulması ile ilgili olarak yapılmış bilimsel çalışma yok denecek kadar azdır.

İplik bobinlerinin kurutulması ile ilgili olarak literatürde yer alan nadir çalışmalardan birinde, Ribeiro ve Ventura [3], yün iplik bobinlerinin sıcak hava ile kurutulmasını araştırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır.

Haghi [4] 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.

Akyol [1] yün iplik bobininin sıcak hava ile kurutulması ile ilgili olarak yaptığı çalışmasında kurutma işlemine ait matematiksel bir model oluşturduktan sonra, invers çözüm yöntemiyle iplik bobinine ait bilinmeyen efektif termofiziksel özellikleri belirlemiştir.

Li vd. [5] ve Zhu ve Li [6] malzeme kalınlığı, gözenek oranı, gözenek boyut dağılımı ve lif çapı gibi faktörlerin tekstil malzemelerinde ısı ve nem transferi üzerine olan etkilerini incelenmişler ve bunlara uygun modeller geliştirilmişlerdir.

Gibson ve Charmchi [7] yün, ipek, pamuk, polyester ve naylon türündeki tekstil malzemelerinin termofiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Li ve Zhu [8], gözenekli tekstil malzemelerindeki nem transferini simüle etmek için yerçekimi etkisini de göz önünde bulunduran matematiksel bir model geliştirmişler,

oluşturdukları modelde sıvı halde bulunan suyun gözenekli tekstil malzemesinin kılcal ağ yapısı içersinde bulunduğu ve malzeme yüzeyine kapiler hareket neticesinde taşındığı varsaymışlardır.

Stephen Lee H. ve ark. [9] tarafından yapılan bir diğer çalışmada halı yapımında kullanılan iplik kümesinin sıcak hava ile kuruma davranışını ifade etmek üzere iki boyutlu matematiksel bir model geliştirilmiştir. Gözenekli ortam içerisi ve çevre havası iki ayrı sistem olarak göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak ortaya çıkan üç adet non-lineer diferansiyel denklem sistemi sonlu farklar yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür.

Giyim eşyası gibi katmanlı dokumalar içerisindeki ısı ve nem transferi için bir modelin geliştirildiği çalışmada, Fohr vd. [10], dokumaya ait higroskopik özelliği, malzeme içerisindeki nem oranının fonksiyonu olan difüzyon katsayısı ile ifade etmişlerdir.

Gözenekli ortamın sıcak hava ile kurutulması sırasında meydana gelen ısı ve kütle transferi mekanizmasını inceleyen Nasrallah ve Perre [11] çeşitli ipli türlerinin kuruma davranışı için bir model geliştirmişlerdir.

Sousa vd. [12] tarafından çeşitli doğal tekstil liflerinin denge nem isotermleri deneysel olarak tespit edilmiş ve literatürde denge nemi için önerilen modellerin ele alınan lifler için denge nemini belirlemede ki uygunluğu incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları doğal lifler için Henderson modelinin en iyi uygunluk sağlayan model olduğunu göstermektedir.

Stemmelen vd. [13] kumaşların doğal gazla ısıtılan silindirler üzerinde kuruma davranışını modellemişlerdir. Sonuçlar geliştirilen modelin deneysel veriler ile iyi bir uygunluk sergilediğini göstermektedir.

Langrish [14] turunçgillerden elde edilmiş selülozik liflerin tepside sıcak hava ile kuruma davranışını incelenmiştir. Sonuçlar selüloz kaynağının kuruma davranışını önemli ölçülerde etkilemediğini göstermektedir.

V.R. Borowskii ve ark. [15] tarafından direkt temasla kurutmanın yapıldığı bir roller da hareket halinde olan ipliğin kuruma davranışı incelenmişler ipliğin aşırı ısınmaması için sıcaklığın 80°C u geçmemesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

G.S.Khorovodnov ve ark. [16] tarafından ipliğin nem içeriğinin değişiminin tekstil yardımcı çözeltilerinin konsantrasyonuna bağımlılığı incelenmiştir. Sonuçlar yardımcı çözeltinin %1 den %20 ye değiştirilmesinin ipliğin nem oranında %25 oranında bir düşüşe neden olduğu kuruma zamanında ise %7 düşüş söz konusu olduğunu göstermektedir.

A. Ghazanfari ve ark. [17] tarafından flaks fiber in kuruma davranışı değişik kurutma sıcaklıkları için incelenmiştir. Kuruma davranışı Ficks kanunu ile modellenmiştir. Sonuçlar modelin kurumanın ilk kısımlarını deneysel nem oranından daha düşük son kısımlarını ise daha büyük verdiğini göstermektedir. A. Ghazanfari ve ark. [18] ayrıca flaks fiber in kuruma davranışını yarı-ampirik ve ampirik kuruma modelleri ile de modellemiş ve korelasyonlar ve deneysel veriler arasında iyi bir uygunluk elde etmişlerdir.

Cihan vd. [19], Akyol vd. [20], Akyol vd. [21], Kahveci vd. [22] ve Akyol vd. [23] değişik türden iplik bobinlerinin basınçlı sıcak hava ile kuruma davranışını değişik kurutma sıcaklıkları için incelemişler ve sıcaklığın kurutma üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmalarda ayrıca kuruma davranışı değişik modeller ile modellenmiştir.

Görüldüğü gibi tekstil materyallerinin kuruma davranışı konusunda yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Kurumayı etkileyen çeşitli parametrenin bir arada göz önünde bulundurulduğu detaylı çalışmalar da yapılmamıştır. Bu nedenle bu konu üzerinde daha kapsamlı, daha detaylı ve daha yoğun bir çalışma yapılması gerekliliği söz konusudur.

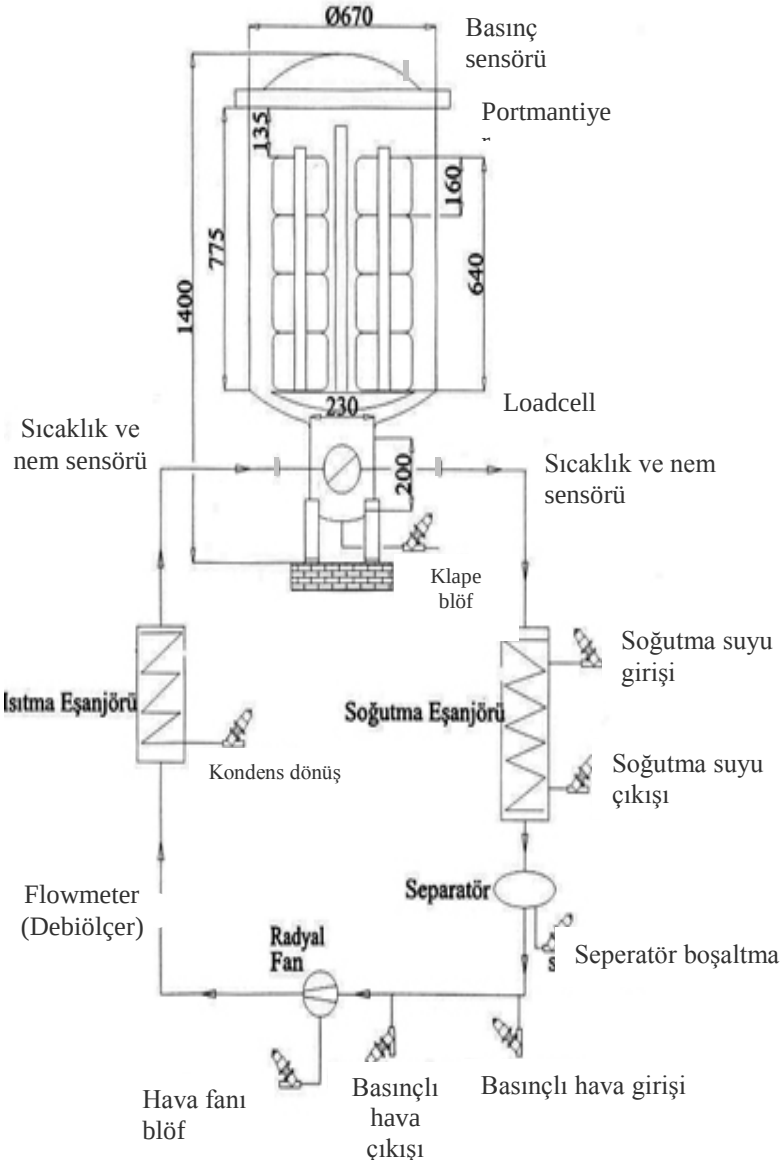
Bu çalışmada pamuk iplik bobinlerinin basınçlı sıcak hava ile kuruma davranışı bobin çapı, kurutma havası sıcaklığı ve basıncı gibi çeşitli kuruma parametreleri göz önüne alınarak deneysel olarak incelenmiş ve kuruma davranışı matematiksel olarak modellenmiştir.

BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYSEL PROSEDÜR [24]

3.1 Deney Düzeneği

Bu proje çalışmasında kullanılan deney düzeneğinin şematik şekli ve düzeneğe ait çeşitli fotoğraflar Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 de görülmektedir. Deney tesisatı tekstil sanayinde kullanılan bobin kurutma makinesi göz önüne alınarak modellenmiştir. Deney düzeneğinde çevreden alınan kurutma havası bir fan (Şekil 3.3) vasıtasıyla ısıtma eşanjörü (Şekil 3.4) içerisinde bulunan ve toplam ısıtma gücü 25 kW olan elektrikli ısıtıcılara gönderilmektedir. Fan debisi özel frekans ayarlı bir sürücü (Şekil 3.5) ile ayarlanabilmekte, havanın debisi bir debi ölçer (Şekil 3.6), basıncı ise bir basınç sensörü (Şekil 3.7) yardımıyla tespit edilmektedir. Isıtıcılar PID kontrollü olup, bu algoritmaya göre sıcaklık kontrolü yapılmaktadır, yani kurutma havasının sıcaklığı oransal olarak kontrol edilmektedir. Hava ısıtıcısından çıkan kurutma havası, içerisinde bobinlerin yerleştirildiği ve portmantiyer (Şekil 3.8) olarak adlandırılan bir hazneye gelmektedir. Portmantiyerde ise dört kısım bulunmaktadır. Her bir kısma üst üste dört bobin olmak üzere toplam 16 bobin yerleştirilebilmektedir. Portmantiyer kapağını açma, kapama ve kilitleme işlemleri portmantiyer kapağına bağlı pnömatik pistonlar (Şekil 3.9) aracılığıyla sağlanmaktadır. Bobin içindeki sıcaklık değişiminin ölçülmesi, iplik bobinleri içerisine radyal doğrultuda eşit aralıklarla, bobinin alt ve üst tarafından eşit mesafelerde ve farklı azimut açılarında yerleştirilen direkt PLC (Şekil 3.10) bağlantılı termokupllar (Şekil 3.11) yardımıyla yapılabilmektedir. Ayrıca portmantiyerin giriş ve çıkış kısımlarına yerleştirilen nem sensörleri (Şekil 3.12) yardımıyla kurutma havasının sahip olduğu nem miktarı ve PT100 sıcaklık sensörleri (Şekil 3.13) yardımıyla da sıcaklığı ölçülebilmektedir. Portmantiyerde kurutma havası bir süre iplik bobinlerinin iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru geçirildikten sonra belirli bir süre de dış yüzeyden iç yüzeyine doğru geçirilebilmektedir. Bu ise, bobinin içinden-dışına ve dışından-içine havayı yönlendiren özel bir klape sistemi vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Portmantiyerden çıkan havanın özgül nemini düşürmek için kurutma havası önce bir soğutma eşanjörüne (Şekil 3.14) alınmaktadır. Soğutma eşanjörü deney düzeneğinin kurulu olduğu Fakültenin hidrofor tesisatından beslenen soğuk suyla çalışmaktadır.

Kurutma havasının içindeki nemin bir kısmı eşanjör yüzeyinde yoğuşmaktadır. Soğutucudan çıkan kurutma havası seperatöre (Şekil 3.15) gelmektedir. Seperatörde hava içerisinde asılı durumda bulunan su damlacıkları ayıklanmaktadır. Seperatörün alt kısmında bir su seviye elektrotu (Şekil 3.16) bulunmaktadır. Bu elektrot yardımıyla seperatörde yoğuşan suyun seviyesi tespit edilebilmekte ve su seviyesi yükseldiğinde elektrot uyarı vererek yoğuşan su tahliye edilmektedir. Tahliye esnasında sistemdeki kurutma havasının bir kısmı dışarıya atılmakta ve tesisattaki işletme basıncı düşmektedir. İşletme basıncını eski seviyesine getirmek için bir kompresör (Şekil 3.17) yardımıyla sisteme taze hava alınmaktadır. Seperatörden sonra kurutma havası tekrar hava fanına gönderilmektedir. Sistem bu şekilde çalışmasına devam etmektedir. Tekstil endüstrisinde kullanılan bobin kurutma makinelerinin büyük kısmı bu şekilde çalışmaktadır. Deney tesisatında, deney sürecinde bobinlerin ağırlıkları bir elektronik terazi (loadcell) (Şekil 3.18) vasıtasıyla ölçülmektedir. Proses ile ilgili tüm bilgiler (basınç, makine içerisindeki havanın sıcaklığı, bobin içerisindeki sıcaklıklar, nem miktarı, hava debisi, bobin ağırlıkları, vb.) operatör panelinden (Şekil 3.19) okunabilmektedir edilebilmektedir. Deney düzeneği üzerinde ayrıca değişik ölçüm cihazları (Şekil 3.20-3.23) ve emniyet ventili ve acil durum butonu gibi (Şekil 3.24-3.25) emniyet sağlayıcı sistemler de mevcuttur.



Şekil 3.1 İplik bobini kurutma deney tesisatının şematik görünümü









Şekil 3.2 İplik bobini kurutma deney tesisatının genel görünümüne ait fotoğraflar



Şekil 3.3 Hava fanı ve fan motoru



Şekil 3.4 Isıtma eşanjörü



Şekil 3.5 Sürücü (İnvertör)



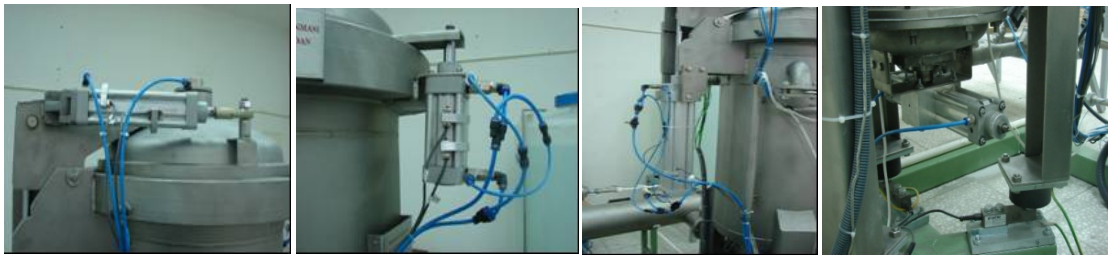
Şekil 3.6 Debi ölçer



Şekil 3.7 Basınç sensörü

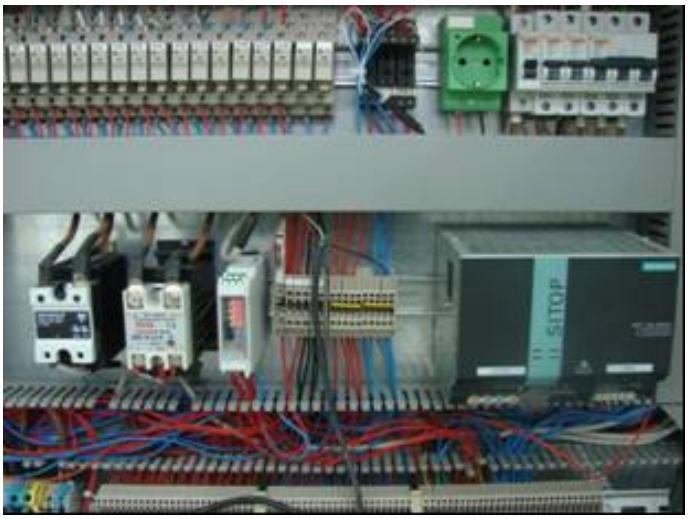


Şekil 3.8 Portmantiyerin (bobin kurutma haznesinin) farklı açılardan görünümü

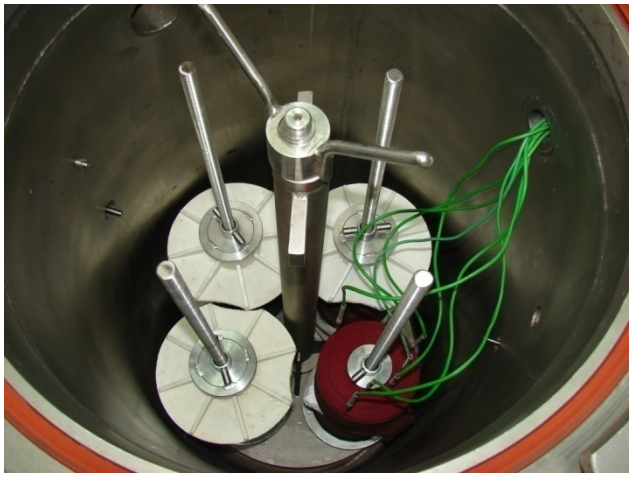


(a) (b) (c) (d)

Şekil 3.9 Pnömatik pistonlar:
(a) Kapak açma, (b) Kapak kilitleme, (c) Kapak kaldırma, (d) Klape pistonu



Şekil 3.10 PLC



Şekil 3.11 Termokupllar



Şekil 3.12 Nem sensörü



Şekil 3.13 PT100



Şekil 3.14 Soğutma eşanjörü



Şekil 3.15 Seperatör



Şekil 3.16. Su seviye elektrotu



Şekil 3.17 Kompresör




Şekil 3.18 Loadcell (Elektronik terazi)




Şekil 3.19 Elektrik panosu (operatör kumanda paneli)



Şekil 3.20 Portmantiyer üzerindeki su seviye elektrodu



Şekil 3.21 Portmantiyer üzerindeki sıcaklık ölçüm sensörü



Şekil 3.22 Portmantiyer üzerindeki nem sensörü





Şekil 3.23 Portmantiyer üzerindeki basınç ve sıcaklık ölçüm göstergeleri

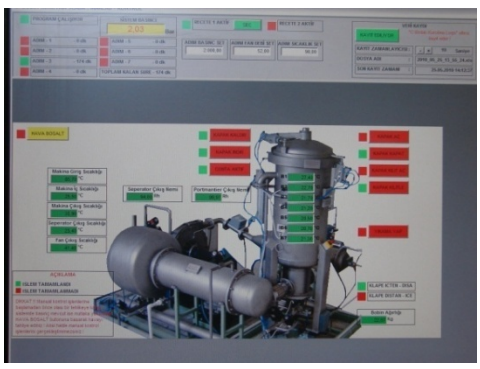


Şekil 3.24 Emniyet ventili



Şekil 3.25 Acil durum butonu

Deney tesisatında kuruma parametreleri piyasada yaptırılmış özel bir bilgisayar yazılım programı aracılığıyla takip edilebilmekte ve otomatik kontrol devresi aracılığı ile prosese müdahale edilebilmektedir. Deney başlangıcında kuruma parametreleri Şekil 3.26 da görüldüğü gibi bir bilgisayar aracılığı ile istenilen değerlere ayarlanarak otomatik kontrol aracılığı ile kuruma başladıktan sonra bu parametrelere uygun olarak kuruma işlemi gerçekleşmektedir.





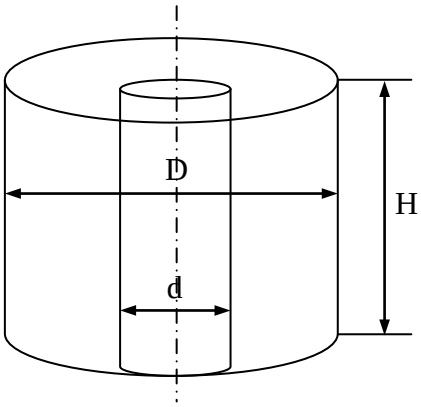
Şekil 3.26 Otomatik kontrollü kurutma tesisatına veri girişinin yapıldığı bilgisayar

2.2.Deneysel Prosedür

Deneysel çalışmada pamuk iplik kullanılmıştır. İplikler, içinden hava akışı sağlanacak şekilde dizayn edilmiş koniklere sardırılmıştır (Şekil 3.27). Bu konikler standart çap ve uzunluklarda üretilmektedir. Kullanılan bobinlerin şematik şekli Şekil 3.28 de geometrik boyutları ise Tablo 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.27 Konikler



Şekil 3.28 Bobin geometrisi

Tablo 3.1 Bobin boyutları

H (cm)	d (cm)	D (cm)
15.5	3.3	7
		14

Deneylerde kullanılacak bobinler içerlerinden sıcak hava akışını sağlayacak olan bobin koniklerine sardırılmıştır. Kurutma başlamadan önce bobinler 12 saat süreyle Şekil 3.29 da görüldüğü gibi bir su banyosu içinde tutulmuştur. Bobinleri ıslatma süresinin uzun tutulmasının nedeni nemin iplik lifleri arasına yeterince nüfuz etmesinin sağlanmasıdır.



Şekil 3.29 Bobinlerin su banyosunda ıslatılması

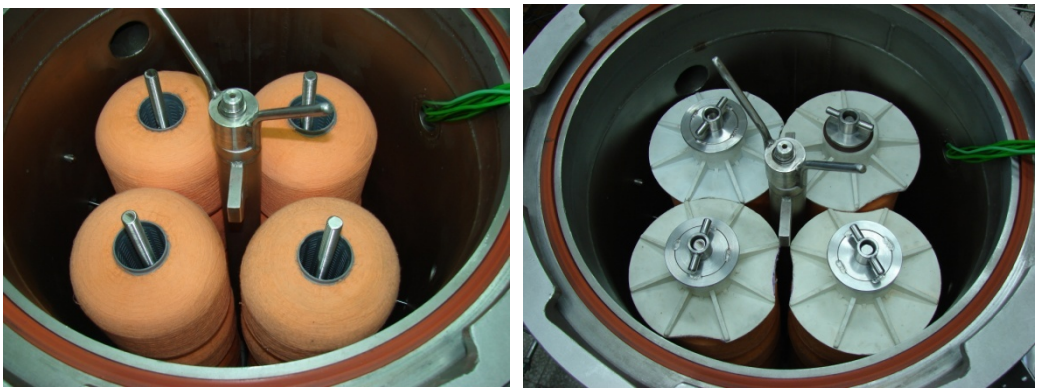
Su havuzunda tutulan bobinler daha sonra içerisindeki fazla nemin süzülmesi amacıyla Şekil 2.30 da gösterildiği gibi bir ızgara üzerinde 60 dakika süreyle bekletilmiştir.



Şekil 3.30 Bobinlerdeki fazla suyun süzülme aracılığı ile uzaklaştırılması

Sanayide söz konusu olan kurutma proseslerinde süzülme işleminden sonra bobinler bir santrifüj makinesine konularak üzerindeki nemin bir kısmı uzaklaştırılmaktadır. Sıcak hava ile kuruma maliyetli olduğundan atılabilecek nemin bir kısmı bu yöntemle atılmaktadır. Santrifüjün olmadığı yerlerde bobin içerisindeki nemin bir kısmının atımı bobin kurutma makinesi hava ısıtılmadan çalıştırılarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada da bu yöntem kullanılmış olup bobin iplik boyutlarına göre değişik sürelerde ısıtıcılar çalıştırılmadan soğuk hava ile bir ön kurutma yapılarak nemin bir kısmı bobinden uzaklaştırılmıştır.

Daha sonra sisteme set edilen şartlarda kuruma işlemi başlatılmıştır. Polyester bobinler ipliğin kaygan olması nedeniyle kurutma sürecinde dağılmaması için Şekil 3.31 de de (sağdaki resim) görüldüğü gibi çoraplara sarılarak kurutulmuştur.



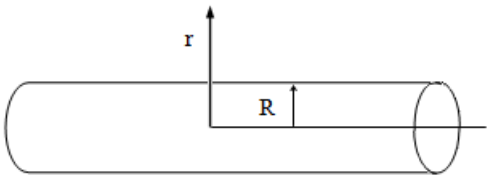
Şekil 3.31 Bobinlerin portmantiere yerleştirilmesi

BÖLÜM 4. ANALİZ

Kuruma olayının tam olarak modellenmesi genellikle kurutulan malzemenin yapısının kompleksliği ve kurumanın pek çok farklı mekanizma ile gerçekleşebilmesi nedeniyle oldukça güçtür. Bu nedenle kurumayı ifade etmek üzere önerilmiş pek çok kurutma modeli söz konusudur. Bunlardan bir kısmı kuruma olayının fiziğini dikkate alarak önerilmiş teorik modeller bir kısmı ise kuruma zamanı ile nem oranı arasında direkt ilişki kuran ampirik ve yarı-ampirik modellerdir. Bu tez çalışmasında pamuk bobinlerinin kuruma davranışını ifade etmek üzere hem bir teorik model geliştirilecektir hem de ampirik ve yarı-ampirik modellerin uygunluğu belirlenecektir.

4.1 Teorik Model

Kuruma davranışını ifade etmede sıkça kullanılan teorik modellerden biri difüzyon modelidir. Bu model iplik bobinleri gibi kuruması bağıl olarak uzun süren maddelerin kuruma davranışını ifade etmede tercih edilen bir modeldir. Bu modelde kurumanın difüzyon ile gerçekleştiği kabul edilir ve diğer kuruma mekanizmalarını etkileri difüzyon katsayısı içinde düşünülür. Böylece modelde yer alan difüzyon katsayısı efektif difüzyon katsayısı halini alır. Bu çalışmada da bobinlerin kurumasının ipliklerden olan difüzyonun kümülatif etkisi ile gerçekleştiği varsayılmıştır. Bobinde yığın halinde bulunan ipliğin Şekil 4.1 de görüldüğü gibi R yarıçaplı bir sonsuz silindir geometriye sahip olduğu kabul edilebilir.



Şekil 4.1. İplik geometrisi ve koordinat sistemi.

Çalışmada kuruma başlangıcında ipliklerin yüzeylerinin ani olarak denge nemine ulaştığı kabul edilmiştir. Ayrıca iplik içerisinde kuruma başlangıcındaki nem konsantrasyonunun uniform olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda difüzyon denklemi

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{eff}\left[\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial C}{\partial r}\right] \tag{3.1}$$

şeklini alır. Burada C hacimsel nem konsantrasyonu, D_{eff} efektif difüzyon katsayısı, t zaman, r ise radyal yöndeki boyutlu koordinattır.

Difüzyon denklemini boyutsuz hale getirmek için aşağıdaki boyutsuz değişkenler kullanılabilir:

$$c = \frac{C - C_e}{C_o - C_e} \quad , \quad \xi = \frac{r}{R} \, , \quad \tau = \frac{D_{eff}}{R^2} t \tag{3.2}$$

Bu durumda difüzyon denklemi aşağıdaki hale gelmektedir:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial^2 c}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi}\frac{\partial c}{\partial \xi} \tag{3.3}$$

Boyutsuz difüzyon denklemi aşağıdaki başlangıç ve sınır şartlarına bağlıdır:

$$c(0, \xi) = 1 \quad , \quad \left.\frac{\partial c}{\partial \xi}\right|_{\xi=0} = 0 \quad , \qquad c(\tau, 1) = 0 \qquad \tau > 0 \tag{3.4}$$

Denklem (2) nin (3) denklemlerindeki şartları sağlayan çözümü aşağıdaki şekildedir [19, 20]:

$$c = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\alpha_n J_1(\alpha_n)} e^{-\alpha_n^2 \tau} J_o(\alpha_n \xi) \tag{3.5}$$

Burada $J_k(x)$ k. mertebe Bessel fonksiyonudur. α_n (n=1, 2, …) ise $J_0(x)$ in kökleridir. Bu köklerden ilk 20 si Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1 $J_0(x)$ in kökleri [25]

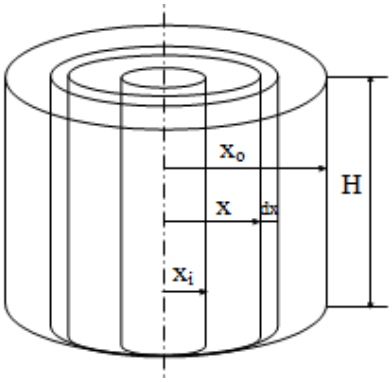
n	**α_n**
1	2.405
2	5.520
3	8.654
4	11.792
5	14.931
6	18.071
7	21.212
8	24.352
9	27.493
10	30.635
11	33.776
12	36.917
13	40.058
14	43.200
15	46.341
16	49.483
17	52.624
18	55.766
19	58.907
20	62.048

Kuruma eğrisinin elde edilebilmesi için ortalama nem içeriğini ifade eden bir denkleme ihtiyaç duyulur. Böylece, hesaplanan ortalama nem içeriği karşılık gelen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılabilir. Böyle bir denklem aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [19, 20]:

$$\frac{m - m_e}{m_o - m_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_n^2} e^{-\alpha_n^2 \tau} \tag{3.6}$$

burada m, m_o ve m_e anlık, başlangıç ve denge nem içerikleri veya kuru kütle eklendiğinde karşılık gelen toplam kütlelerdir.

Şekil 4.2 de görüldüğü gibi iplik bobininde diferansiyel kalınlıkta bir iplik tabaka göz önüne alınsın. Bu diferansiyel tabakadaki iplik sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:



Şekil 4.2 Bobin geometrisi

$$N = \frac{H}{\pi R^2} dx \tag{3.7}$$

burada H bobinin yüksekliğidir. Böylece diferansiyel tabakayı kaplayan iplik katmanının anlık kütlesi aşağıdaki gibi yazılabilir [19, 20]:

$$dM = Km_e dx + K(m_o - m_e)\left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_n^2} e^{-\alpha_n^2 \tau}\right] dx \tag{3.8}$$

Burada $K = \frac{H}{\pi R^2}$ dir. Denklem (3.8) integre edilirse:

$$M - M_e = K \int_{x_i}^{x_o} (m_o - m_e)\left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\alpha_n^2} e^{-\alpha_n^2 \tau}\right] dx \tag{3.9}$$

yazılabilir. Burada

$$M_e = K \int_{x_i}^{x_o} m_e dx \tag{3.10}$$

bobinlerin denge nemindeki kütlesidir. M ve M_o ise bobinlerin anlık ve kuruma başlangıcındaki toplam kütlesidir.

4.2 Ampirik ve Yarı-Ampirik Modeller

Kuruma olayının ve kurutulan malzemenin yapısının karmaşıklığı nedeniyle kuruma olayını ifade etmede genellikle ampirik veya yarı ampirik modeller kullanılır. Bu modellerden sıkça kullanılanları Tablo 4.2 de verilmiştir. Tabloda yer alan mr boyutsuz nem oranıdır.

Tablo 4.2 Ampirik veya yarı-ampirik kurutma modelleri [2]

Model adı	**Model denklemi**	**S.S.**
Page	$mr = \exp(-kt^n)$	2
Henderson and Pabis	$mr = a\exp(-kt)$	2
Geometric	$mr = at^{-n}$	2
Wang and Singh	$mr = 1 + at + bt^2$	2
Two Term Exponential	$mr = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$	2
Logarithmic	$mr = a_0 + a\exp(-kt)$	3
Logistic	$mr = a_0/(1 + a\exp(kt))$	3
Diffusion Approach	$mr = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	3
Verma et al.	$mr = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	3
Two Term	$mr = a_1\exp(-k_1t) + a_2\exp(-k_2t)$	4
Midilli et al.	$mr = a\exp(-kt^n) + bt$	4
Jena and Das	$mr = a\exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	4
Weibull Distribution	$mr = a - b\exp(-(kt^n))$	4

BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Deneysel Sonuçlar

Deneylerde tekstil sektöründe sıkça kullanılan bir iplik türü olan pamuk iplik bobinlerinin kuruma davranışı tespit edilmiştir. Bobin başına kuruma havası debisi olarak 55m^3/h seçilmiştir. Daha düşük debilerde kuruma hızı önemli miktarlarda düşmekte, daha yüksek debilerde ise havanın bobin içinden akışı bozulmaktadır. Debinin bu değerde seçilmesinin nedeni bahsedilen bu etkilerdir. Pamuk bobinlerinin deneysel kuruma davranışı P_{eff}=1bar ve P_{eff}=2bar efektif kuruma havası basınçları ve T=70°C, T=80°C ve T=90°C kurutma havası sıcaklıkları için elde edilmiştir. Deneysel kuruma davranışı portmantier içerisine yerleştirilen 8 adet bobinin kuruma sürecindeki kütleleri takip edilerek belirlenmiştir. Deneysel kuruma davranışına ait sonuçlar Tablo 5.1-5.4 de verilmiştir. Ayrıca deney sürecinde hava akışının olduğu radyal doğrultuda bobin boyunca ölçülen sıcaklıklar Tablo 5.5-5.16 da verilmiştir. Bobin ekseni boyunca sıcaklık değişimleri ihmal edilebilir boyutlardadır. Bu nedenle sadece radyal doğrultudaki değişim göz önüne alınmıştır. Radyal doğrultudaki sıcaklık ölçümleri eşit aralıklı olmak üzere D=10cm için 5 farklı noktada D=14cm için 7 farklı noktada yapılmıştır.

Kuruma davranışı genellikle aşağıdaki şekilde tanımlı boyutsuz nem oranı cinsinden ifade edilir.

$$\mathrm{mr} = \frac{\mathrm{M} - \mathrm{M_e}}{\mathrm{M_o} - \mathrm{M_e}} \tag{4.1}$$

Burada M, M_o, M_e bobinlerin anlık, başlangıçtaki ve kurutma havası ile denge durumundaki kütleleridir. İplik bobinlerinin denge durumundaki kütlesi

$$\mathrm{M_e} = (1 + \psi_e)\mathrm{M_d} \tag{4.2}$$

eşitliği ile ifade edilebilmektedir. Burada ψ_e pamuk ipliğinin denge nem içeriği, M_d ise bobinlerin kuru kütlesidir. Bobinlerin kuru kütlesi bobinler 24 saat süre ile 100°C sıcaklığında bir fırında bekletilerek tespit edilmiştir. Sousa [12], pamuk için denge nem içeriğinin deneysel verilere dayalı olarak geliştirilen aşağıdaki eşitlikle ifade edilebileceğini belirtmiştir:

$$\psi_e = 5.96\left[\frac{1}{T_a}\ln\left(\frac{1}{1-RH}\right)\right]^{0.74} \quad (4.3)$$

Burada T_a kurutma havasının mutlak sıcaklığı, RH ise bağıl nemidir. Bu çalışmada da pamuk iplik bobinlerinin denge nem içeriği için Sousa tarafından geliştirilen bu eşitlik kullanılmıştır. Pamuk iplik bobinlerinin deneysel ölçümle belirlenen kuru kütleleri ve (4.2) ve (4.3) denklemleri kullanılarak elde edilen kurutma havası ile denge durumundaki kütleleri Tablo 5.17 de verilmiştir.

Bobinlerin kurutma havası ile denge durumundaki kütlelerinin belirlenmesinden sonra (4.1) denklemi kullanılarak bobinlerin kuruma sürecinde boyutsuz nem oranları değişik kurutma şartları için tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.18-5.21 de verilmiştir.

Tablo 5.1 D=10cm ve P_{eff}=1bar için deneysel kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	6824	6910	6790
15	0.25	5251	5273	5162
30	0.50	4427	4429	4341
45	0.75	4047	4025	3933
60	1.00	3834	3789	3678
75	1.25	3630	3575	3460
90	1.50	3489	3423	3304
105	1.75	3361	3286	3169
120	2.00	3256	3185	3046
135	2.25	3163	3089	
150	2.50	3082		

Tablo 5.2 D=10cm ve P_{eff}=2bar için deneysel kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	6810	6930	6780
15	0.25	5133	5185	5025
30	0.50	4322	4351	4237
45	0.75	3916	3948	3865
60	1.00	3747	3767	3651
75	1.25	3550	3536	3433
90	1.50	3396	3367	3237
105	1.75	3260	3218	3057
120	2.00	3138	3082	
135	2.25	3039		

Tablo 5.3 D=14cm ve P_{eff}=1bar için deneysel kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	16680	15890	16010
15	0.25	13202	12578	12555
30	0.50	11382	10871	10814
45	0.75	10405	9904	9780
60	1.00	9752	9233	9003
75	1.25	9146	8639	8360
90	1.50	8691	8184	7857
105	1.75	8262	7757	7403
120	2.00	7905	7439	6973
135	2.25	7576	7120	6572
150	2.50	7282	6839	6256
165	2.75	6987	6563	
180	3.00	6740	6334	
195	3.25	6476		

Tablo 5.4 D=14cm ve P_{eff}=2bar için deneysel kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	15920	15730	16740
15	0.25	12374	12202	12647
30	0.50	10673	10530	10841
45	0.75	9647	9570	9841
60	1.00	9178	9084	9154
75	1.25	8622	8443	8457
90	1.50	8141	7932	7755
105	1.75	7700	7462	7074
120	2.00	7290	7013	6579
135	2.25	6942	6668	
150	2.50	6653	6377	
165	2.75	6377		

Tablo 5.5 Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=1 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	**3.30cm**	**3.73cm**	**4.15**	**4.58cm**	**5.00cm**
0	38.1	38.4	38.8	38.7	38.4
10	38.1	38.2	38.3	38.1	38.5
20	38.2	38.3	38.3	39.2	65.2
30	38.2	38.5	38.5	38.5	64.2
40	38.2	38.3	38.3	39.2	66.2
50	38.2	38.5	38.5	38.5	65.2
60	38.1	38.1	38.1	65.2	67.5
70	38.2	38.4	38.5	64.2	66.4
80	38.1	38.1	38.2	66.2	67.6
90	38.4	38.6	38.5	66.0	66.5
100	38.7	38.6	48.2	67.2	67.6
110	38.4	38.6	48.2	67.0	66.6
120	38.6	38.2	66.8	67.1	67.7
130	38.4	38.2	66.3	67.6	67.1
140	38.4	64.4	67.1	67.4	67.7
150	42.1	66.2	67.1	67.4	67.3

Tablo 5.6 Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=1 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	**3.30cm**	**3.73cm**	**4.15**	**4.58cm**	**5.00cm**
0	40.1	41.1	40.7	40.5	40.1
10	39.8	40.2	39.8	40.6	40.5
20	40.1	40.5	40.6	40.4	75.3
30	40.1	40.3	40.4	41.2	73.5
40	40.4	41.3	40.5	40.7	75.5
50	40.8	40.1	40.8	41.4	74.5
60	40.5	41.3	40.5	74.7	76.5
70	40.2	40.7	40.2	74.0	75.7
80	40.5	41.2	41.2	75.4	76.1
90	40.7	40.8	40.8	74.4	75.8
100	40.5	41.4	61.2	76.8	77.8
110	40.6	40.8	60.0	77.0	77.0
120	40.5	40.8	77.5	78.4	76.6
130	40.5	50.4	77.2	78.3	78.1
140	56.4	70.4	78.6	78.6	78.1

Tablo 5.7 Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=1 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	**3.30cm**	**3.73cm**	**4.15**	**4.58cm**	**5.00cm**
0	42.4	42.5	42.1	42.1	42.3
10	42.1	42.2	42.4	42.6	42.6
20	42.4	42.6	42.1	42.1	83.1
30	42.4	42.7	42.8	42.9	82.6
40	42.4	42.8	42.8	42.5	84.7
50	42.0	42.8	42.1	42.4	83.8
60	42.4	42.8	42.8	82.2	86.2
70	42.1	42.1	42.6	81.5	85.6
80	42.4	42.6	47.6	84.1	86.4
90	42.7	42.6	53.5	83.7	86.2
100	42.4	42.6	71.5	86.7	87.7
110	42.7	42.6	72.6	86.5	87.2
120	42.4	42.6	85.2	87.8	88.4
130	42.4	63.8	87.0	87.5	88.2
140	64.2	81.2	88.2	88.3	88.4

Tablo 5.8 Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=2 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	**3.30cm**	**3.73cm**	**4.15**	**4.58cm**	**5.00cm**
0	41.0	41.1	41.6	41.4	41.4
10	41.4	41.4	41.6	41.6	41.7
20	41.5	42.1	42.1	41.5	65.5
30	42.6	42.6	42.1	42.1	64.7
40	42.6	42.3	42.2	42.6	66.7
50	42.7	42.8	41.8	41.8	65.5
60	42.4	42.4	42.8	62.6	67.5
70	43.3	43.3	43.8	61.8	66.1
80	43.8	43.8	49.8	66.4	67.4
90	43.4	43.6	48.7	65.1	67.1
100	44.4	44.6	49.8	66.6	67.6
110	44.6	44.7	50.7	65.6	67.5
120	45.8	44.2	66.1	67.4	68.2
130	45.7	53.4	66.8	67.0	68.1
140	50.5	65.6	67.7	68.6	68.4

Tablo 5.9 Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=2 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	**3.30cm**	**3.73cm**	**4.15**	**4.58cm**	**5.00cm**
0	43.9	43.9	44.6	44.6	44.6
10	44.1	44.2	44.6	44.6	44.6
20	44.7	44.7	44.8	44.4	76.3
30	45.1	45.1	45.6	45.8	75.8
40	45.7	45.8	45.8	45.8	76.5
50	46.4	46.4	46.6	45.8	76.1
60	46.7	46.6	46.6	73.1	77.7
70	47.4	47.4	47.4	72.7	76.4
80	47.8	47.8	60.6	74.1	77.4
90	47.6	47.4	56.5	73.1	76.8
100	48.8	70.8	74.5	77.5	78.5
110	48.7	70.4	73.3	74.4	78.4
120	63.8	74.6	76.3	78.6	78.6

Tablo 5.10 Sıcaklığın D=10cm, P_{eff}=2 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	**3.30cm**	**3.73cm**	**4.15**	**4.58cm**	**5.00cm**
0	46.8	46.8	46.8	47.1	67.1
10	46.6	46.8	46.9	47.1	66.1
20	48.3	48.3	48.0	48.0	76.1
30	48.3	48.2	48.4	48.4	75.1
40	48.5	48.5	53.5	70.4	80.1
50	49.8	49.1	53.4	70.4	80.1
60	49.6	49.6	77.6	75.1	87.4
70	49.2	49.2	76.2	74.2	87.0
80	50.3	70.3	86.3	85.1	87.6
90	50.1	69.3	85.8	85.1	87.6
100	50.2	85.0	88.6	88.9	88.4
110	77.6	84.8	88.8	89.2	88.7

Tablo 5.11 Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=1 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	3.30cm	3.92cm	4.53	5.15cm	5.77cm	6.38cm	7.00cm
0	37.7	37.7	38.0	38.2	37.5	38.2	38.1
10	38.7	37.8	38.1	38.2	37.6	38.6	38.5
20	38.7	38.7	38.1	38.2	38.6	38.2	38.7
30	38.7	38.6	38.8	38.8	38.7	38.4	38.5
40	38.0	38.8	39.1	38.7	38.8	38.5	38.5
50	38.0	38.3	38.1	38.5	39.0	39.5	38.5
60	38.8	38.7	38.8	38.7	38.7	38.5	38.5
70	38.2	38.7	38.3	38.5	38.5	39.6	38.0
80	38.8	38.7	38.7	38.5	38.7	38.6	38.7
90	38.7	38.7	38.6	38.5	38.6	38.6	38.7
100	38.4	38.4	38.3	38.4	38.5	38.5	42.8
110	38.0	38.4	38.0	38.2	38.5	38.7	47.8
120	38.8	38.5	38.4	38.5	38.6	38.8	50.5
130	38.9	38.7	38.5	38.6	38.4	46.2	65.2
140	38.3	38.5	38.5	38.6	48.8	67.2	67.2
150	38.6	38.7	38.5	38.6	40.3	68.3	67.4
160	38.5	38.4	38.3	38.5	64.2	67.5	67.5
170	38.2	38.0	38.3	38.5	67.2	68.2	68.0
180	38.6	38.7	38.4	50.3	68.3	67.1	68.6
190	38.8	38.8	62.3	67.6	67.8	68.0	68.0
200	38.9	38.5	68.2	68.4	68.5	68.8	68.7
210	53.2	65.4	68.6	68.1	68.6	68.4	68.8
220	69.7	69.6	69.5	69.7	69.6	69.6	69.1

Tablo 5.12 Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=1 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	3.30cm	3.92cm	4.53	5.15cm	5.77cm	6.38cm	7.00cm
0	40.0	39.9	40.0	40.2	40.5	40.5	40.7
10	40.5	40.2	40.3	40.2	40.3	40.5	40.9
20	40.7	40.5	40.3	40.5	40.5	40.2	40.3
30	40.7	40.4	39.6	39.8	41.2	40.1	40.2
40	40.7	40.3	40.2	40.6	40.8	40.2	40.3
50	40.3	40.1	40.6	40.7	40.8	40.8	40.3
60	40.8	40.3	40.3	40.5	40.7	40.1	40.1
70	40.8	40.3	40.3	40.6	40.9	40.3	40.3
80	40.3	40.3	40.5	40.7	40.9	40.7	40.7
90	40.9	40.4	40.4	40.5	40.8	40.1	42.0
100	40.8	41.1	41.5	40.4	40.7	40.1	40.1
110	40.8	40.5	40.3	40.1	41.4	41.1	45.1
120	40.1	41.4	40.5	41.1	40.3	40.1	48.1
130	40.8	40.2	40.4	40.2	41.4	45.4	50.1
140	40.3	40.2	40.6	41.2	40.4	50.4	65.1
150	40.3	40.3	41.6	40.2	44.7	68.4	67.6
160	40.4	40.4	40.2	40.4	46.6	77.5	77.8
170	40.2	40.2	40.2	77.4	75.6	77.5	77.8
180	40.4	40.4	73.2	75.3	75.7	78.4	78.6
190	40.6	72.4	74.4	77.6	77.7	78.6	78.6
200	57.4	74.4	76.4	78.6	78.7	78.6	78.6
210	78.4	78.6	78.4	78.9	79.2	79.5	78.9

Tablo 5.13 Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=1 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	3.30cm	3.92cm	4.53	5.15cm	5.77cm	6.38cm	7.00cm
0	42.5	43.1	42.4	42.5	42.2	42.9	42.7
10	42.5	42.1	42.8	42.9	42.5	42.9	42.9
20	42.7	42.7	42.8	42.5	42.3	43.1	42.3
30	42.7	42.4	42.2	43.2	42.8	42.2	42.3
40	42.2	42.4	42.6	42.4	42.9	42.4	42.3
50	42.0	42.1	42.4	42.7	42.9	42.8	42.7
60	42.2	43.4	43.2	42.4	42.9	42.2	42.4
70	42.3	42.2	42.2	42.0	42.3	42.4	42.3
80	42.6	42.6	42.4	42.0	42.1	42.0	42.3
90	42.3	43.1	42.2	42.4	42.2	42.4	45.1
100	42.3	42.1	42.3	42.4	45.4	45.4	56.1
110	42.4	42.4	42.3	42.4	45.4	55.4	66.1
120	42.3	42.1	42.3	47.6	48.6	60.1	81.4
130	42.4	42.1	48.2	53.7	70.1	78.9	82.1
140	42.8	42.5	50.2	63.7	75.1	82.9	82.1
150	42.4	46.3	85.5	85.3	85.7	86.1	86.6
160	42.6	72.0	87.6	87.6	87.4	87.9	87.4
170	51.6	82.2	87.6	88.0	88.2	88.9	88.4
180	89.0	88.8	89.4	89.4	89.1	89.5	89.2

Tablo 5.14 Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=2 bar ve T=70°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	3.30cm	3.92cm	4.53	5.15cm	5.77cm	6.38cm	7.00cm
0	41.3	41.1	41.4	41.8	41.6	42.4	42.1
10	41.6	41.1	41.4	41.7	42.6	41.6	42.1
20	41.2	42.1	41.3	41.7	41.7	41.6	41.5
30	41.1	41.3	41.4	41.4	41.7	42.3	42.0
40	41.1	41.5	41.4	42.4	41.8	41.1	41.5
50	41.0	42.4	41.4	41.5	41.4	41.0	41.2
60	41.4	41.4	41.3	41.5	41.1	41.1	41.6
70	41.6	42.3	41.4	41.5	41.6	42.1	41.3
80	41.4	41.0	42.0	41.5	41.2	41.0	41.1
90	41.4	41.3	41.5	41.3	41.4	42.1	41.5
100	41.5	41.4	41.5	41.4	41.4	41.3	50.1
110	41.5	41.0	41.0	41.4	41.4	41.3	54.3
120	41.5	41.4	41.3	41.5	41.5	46.3	57.4
130	41.4	41.4	41.2	41.5	45.6	67.1	67.1
140	41.4	41.4	41.2	41.5	50.6	68.6	68.6
150	41.4	41.0	41.2	65.6	68.8	68.6	68.6
160	41.3	65.4	68.6	68.1	68.7	68.4	68.6
170	58.2	68.4	68.6	68.8	69.0	68.8	69.6
180	69.5	69.6	69.5	69.7	69.4	69.6	69.4

Tablo 5.15 Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=2 bar ve T=80°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	3.30cm	3.92cm	4.53	5.15cm	5.77cm	6.38cm	7.00cm
0	44.4	44.0	43.5	43.9	44.2	44.4	44.2
10	44.4	44.2	43.7	43.9	44.4	44.4	44.2
20	44.6	44.0	43.9	44.0	44.4	44.4	44.7
30	44.8	44.3	44.2	44.6	43.9	44.3	44.5
40	44.2	44.5	44.4	44.6	44.8	44.1	44.5
50	43.9	44.2	44.4	44.6	44.4	44.1	44.8
60	44.0	44.1	44.5	44.4	44.7	44.1	45.1
70	44.1	44.4	44.5	44.1	44.3	44.1	44.8
80	44.6	44.4	44.6	44.4	44.0	44.0	53.1
90	44.8	44.2	44.4	44.2	44.4	45.4	57.2
100	44.4	44.4	44.1	44.6	44.6	48.1	67.4
110	44.3	44.2	44.1	44.8	44.6	58.1	77.2
120	44.4	44.4	44.2	44.5	45.6	79.0	78.0
130	44.4	44.4	73.2	75.3	78.7	78.4	78.4
140	44.3	44.4	77.2	78.3	78.7	78.6	78.6
150	51.6	75.4	78.6	80.1	78.7	78.4	78.9
160	79.8	79.6	79.4	79.4	79.2	79.5	79.3

Tablo 5.16 Sıcaklığın D=14cm, P_{eff}=2 bar ve T=90°C için radyal doğrultudaki değişimi

t (dak)	3.30cm	3.92cm	4.53	5.15cm	5.77cm	6.38cm	7.00cm
0	47.2	47.1	47.0	46.8	47.2	47.1	47.2
10	47.5	47.1	46.8	46.9	47.2	46.9	47.2
20	47.4	46.8	46.8	46.7	47.2	46.9	47.3
30	46.7	47.4	47.6	47.2	46.8	47.2	47.1
40	47.0	47.1	47.5	47.1	46.8	47.1	47.1
50	46.8	46.0	47.2	47.1	47.0	47.1	47.2
60	46.8	47.8	47.4	47.2	47.4	47.4	56.1
70	47.3	47.4	47.1	47.6	49.6	49.1	65.6
80	47.2	47.4	47.6	49.6	70.6	81.1	82.5
90	47.4	47.4	49.2	74.5	80.1	83.9	85.0
100	47.2	48.3	82.5	85.3	85.7	86.1	85.6
110	47.2	48.3	86.5	86.3	86.7	86.1	87.4
120	61.2	82.0	86.6	87.6	87.4	87.9	87.4
130	88.0	88.8	89.4	89.4	89.1	89.2	89.7

Tablo 5.17 Bobinlerin kuru kütlesi ve kurutma havası ile denge durumundaki kütleleri

D	P_{eff}	T	RH	ψ_e	M_d	M_e
10	1	70	0.0749	0.0120	2664	2696
		80	0.0491	0.0085	2664	2687
		90	0.0332	0.0062	2664	2680
	2	70	0.0743	0.0119	2664	2696
		80	0.0488	0.0085	2664	2687
		90	0.0330	0.0062	2664	2680
14	1	70	0.0749	0.0120	5480	5546
		80	0.0491	0.0085	5480	5527
		90	0.0332	0.0062	5480	5514
	2	70	0.0743	0.0119	5480	5545
		80	0.0488	0.0085	5480	5526
		90	0.0330	0.0062	5480	5514

Tablo 5.18 D=10cm ve P_{eff}=1bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	1.0000	1.0000	1.0000
15	0.25	0.6189	0.6124	0.6038
30	0.50	0.4194	0.4125	0.4040
45	0.75	0.3273	0.3168	0.3048
60	1.00	0.2758	0.2611	0.2426
75	1.25	0.2264	0.2102	0.1898
90	1.50	0.1921	0.1744	0.1518
105	1.75	0.1610	0.1420	0.1188
120	2.00	0.1356	0.1181	0.0890
135	2.25	0.1131	0.0953	
150	2.50	0.0936		

Tablo 5.19 D=10cm ve P_{eff}=2bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	1.0000	1.0000	1.0000
15	0.25	0.5924	0.5888	0.5719
30	0.50	0.3954	0.3923	0.3796
45	0.75	0.2966	0.2972	0.2891
60	1.00	0.2556	0.2545	0.2367
75	1.25	0.2076	0.2001	0.1835
90	1.50	0.1702	0.1603	0.1358
105	1.75	0.1371	0.1252	0.0917
120	2.00	0.1076	0.0933	
135	2.25	0.0835		

Tablo 5.20 D=14cm ve P_{eff}=1bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	1.0000	1.0000	1.0000
15	0.25	0.6876	0.6804	0.6708
30	0.50	0.5242	0.5157	0.5050
45	0.75	0.4365	0.4224	0.4064
60	1.00	0.3778	0.3577	0.3324
75	1.25	0.3234	0.3003	0.2711
90	1.50	0.2824	0.2564	0.2232
105	1.75	0.2440	0.2152	0.1800
120	2.00	0.2119	0.1845	0.1390
135	2.25	0.1824	0.1537	0.1008
150	2.50	0.1560	0.1266	0.0707
165	2.75	0.1294	0.1000	
180	3.00	0.1073	0.0779	
195	3.25	0.0836		

Tablo 5.21 D=14cm ve P_{eff}=2bar için boyutsuz nem oranları cinsinden kuruma davranışı

		M (gr)		
t (dak)	**t (h)**	**T=70°C**	**T=80°C**	**T=90°C**
0	0.00	1.0000	1.0000	1.0000
15	0.25	0.6582	0.6542	0.6354
30	0.50	0.4942	0.4904	0.4746
45	0.75	0.3954	0.3963	0.3854
60	1.00	0.3501	0.3486	0.3243
75	1.25	0.2966	0.2859	0.2622
90	1.50	0.2502	0.2358	0.1996
105	1.75	0.2077	0.1898	0.1390
120	2.00	0.1681	0.1457	0.0949
135	2.25	0.1347	0.1118	
150	2.50	0.1067	0.0834	
165	2.75	0.0802		

5.2 Teorik Model

Bölüm 4.1 de verilen analiz bobinin kuruma sürecindeki kütlesinin difüzyon katsayısı. denge nemi ve ipliğin yarıçapı cinsinden ifade edilebileceğini göstermiştir. İplik yarıçapının yapılan ölçümler sonucunda 0.05mm olduğu tespit edilmiştir. Pamuk ipliğinin denge nemi daha önce de ifade edildiği gibi kurutma havasının bağıl nemine ve kurutma havası sıcaklığına bağlıdır ve Sousa [12] tarafından aşağıdaki ilişki ile verilebileceği ifade edilmiştir:

$$\Psi_e = 5.96\left[\frac{1}{T_a}\ln\left(\frac{1}{1-RH}\right)\right]^{0.74} \tag{4.4}$$

Burada T_a mutlak sıcaklık RH kurutma havasının bağıl nemidir. Kurutma havasının sıcaklığı havanın bobinin içerisinde radyal hareketi sırasında değişmektedir. Değişik radyal mesafelerde termokupllar ile ölçülen sıcaklıklar Tablo 5.5-5.16 da verilmişti. Sıcaklığın değişimi bağıl nemle birlikte denge nemini de değiştirmektedir. Bu nedenle sıcaklık değişimleri hesaba katılmalıdır. Yapılan analizler sonucunda sıcaklığın zamanla değişiminin aşağıdaki formda ifade edilebileceği tespit edilmiştir:

$$T = A_1 + \frac{A_4 - A_1}{1 + (t/A_3)^{A_2}} \quad . \quad (t.h) \tag{4.5}$$

Yine yapılan analizler sonucunda a katsayılarının radyal doğrultudaki değişiminin aşağıdaki denklem formlarından biri ile ifade edilebileceğini göstermiştir:

$$A_i = B_{i1} + B_{i2}x + Bb_{i3}x^2 + B_{i4}x^3 + B_{i5}x^4 \qquad (x.cm) \tag{4.6}$$

$$A_i = Bb_{i1} + \frac{B_{i4} - B_{i1}}{1 + (x/B_{i3})^{B_{i2}}} \quad . \qquad (x.cm) \tag{4.7}$$

Regresyon analizi ile (4.5)-(4-7) denklemlerinde yer alan katsayıların deneysel verileri en iyi şekilde ifade edecek değerleri elde edilmiştir. Bu katsayıların değişik kurutma şartlarındaki değerleri Tablo 5.22 ve Tablo 5.23 de verilmiştir.

(4.4) denkleminden de görülebileceği gibi denge nem içeriği aynı zamanda kurutma havasının bağıl nemine bağlıdır. Deneylerde ortalama olarak T=25°C sıcaklık ve RH=%50 bağıl neme sahip çevre havası kullanılmıştır. İzolasyon nedeniyle kurutma havasının bobin içerisinden geçerken adyabatik bir prosese maruz kaldığı düşünülebilir. Bu durumda psikrometrik diyagramdan havanın bobin içerisinden geçerken düşen sıcaklığına bağlı olarak sahip olduğu bağıl nem değerleri tespit edilebilir. Bağıl nemin sıcaklığa bağımlılığı için üçüncü dereceden bir polinom kabul edilirse regresyon analizi sonucu Tablo 5.24 de verilen denklemler elde edilebilir. Böylece pamuk iplik için denge nemi denklem aracılığı ile elde edilebilir. Kurutma havası ile denge durumundaki bir sarımlık pamuk ipliğin kütlesi ise

$$m_e = (1 + \psi_e)m_d \qquad (4.8)$$

denklemi aracılığı ile elde edilebilir.

Tablo 5.22 D=10cm için sıcaklık denklemine ait katsayıların değerleri

P_{eff} (bar)	T (°C)		B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	
1	70	A_1	66.978	228.668	3.204	934156.515		(4.7)
		A_2	-645465.050	628795.249	-227847.564	36419.691	-2167.637	(4.6)
		A_3	318.935	-313.577	116.114	-18.990	1.152	(4.6)
		A_4	-197.753	242.372	-92.854	15.719	-0.991	(4.6)
	80	A_1	75.815	239.264	3.207	2248493.207		(4.7)
		A_2	-386114.733	374145.094	-134766.329	21403.140	-1265.334	(4.6)
		A_3	282.089	-280.140	104.675	-17.250	1.053	(4.6)
		A_4	-1769.090	1787.775	-657.318	106.619	-6.439	(4.6)
	90	A_1	86.290	182.977	3.184	30341812.481		(4.7)
		A_2	-13285.098	14291.322	-5628.976	970.044	-61.909	(4.6)
		A_3	243.640	-229.796	81.777	-12.871	0.752	(4.6)
		A_4	1215.375	-1165.193	429.753	-69.738	4.202	(4.6)
2	70	A_1	72.585	207.947	3.197	16716039.391		(4.7)
		A_2	-71485.375	70575.207	-25933.870	4205.090	-253.873	(4.6)
		A_3	8025.829	-7513.092	2627.484	-406.680	23.500	(4.6)
		A_4	-1039.043	1038.896	-371.299	58.564	-3.444	(4.6)
	80	A_1	76.203	211.813	3.198	23128219.783		(4.7)
		A_2	-96842.539	94989.135	-34654.906	5576.611	-334.069	(4.6)
		A_3	903.342	-856.062	303.201	-47.447	2.765	(4.6)
		A_4	-482.738	525.028	-193.459	31.372	-1.893	(4.6)
	90	A_1	89.429	215.651	3.200	27498688.672		(4.7)
		A_2	-43236.394	41784.997	-14985.889	2367.131	-139.089	(4.6)
		A_3	88.436	-59.351	13.308	-0.958	-0.007	(4.6)
		A_4	7487.970	-7632.976	2921.655	-494.435	31.210	(4.6)

Tablo 5.23 D=14cm için sıcaklık denklemine ait katsayıların değerleri

P_{eff} (bar)	T (°C)		B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	
1	70	A_1	108.451	-28.519	8.003	-1.030	0.05045	(4.6)
		A_2	-16475.334	13388.640	-3937.403	502.354	-23.57687	(4.6)
		A_3	9.490	-5.545	1.943	-0.299	0.01605	(4.6)
		A_4	39.749	0.810	-0.904	0.214	-0.01505	(4.6)
	80	A_1	235.803	-119.226	32.681	-3.900	0.17274	(4.6)
		A_2	27337.073	-24598.508	8047.434	-1125.438	56.88676	(4.6)
		A_3	15.244	-9.273	2.679	-0.345	0.01624	(4.6)
		A_4	73.323	-26.116	7.521	-0.933	0.04230	(4.6)
	90	A_1	681.772	-460.851	130.984	-16.162	0.73180	(4.6)
		A_2	669.328	-512.267	164.699	-23.880	1.27086	(4.6)
		A_3	8.234	-3.056	0.562	-0.039	0.00038	(4.6)
		A_4	58.248	-14.424	4.695	-0.644	0.03153	(4.6)
2	70	A_1	148.609	-65.534	19.942	-2.658	0.13107	(4.6)
		A_2	1440.861	-1941.866	937.273	-169.753	10.19258	(4.6)
		A_3	20.404	-14.429	4.347	-0.571	0.02725	(4.6)
		A_4	46.436	-3.425	0.725	-0.044	-0.00065	(4.6)
	80	A_1	100.793	-14.905	3.927	-0.479	0.02286	(4.6)
		A_2	14786.664	-11119.482	3103.962	-378.279	16.95756	(4.6)
		A_3	-9.698	11.299	-3.751	0.530	-0.02736	(4.6)
		A_4	37.857	6.860	-2.535	0.389	-0.02106	(4.6)
	90	A_1	-1126.366	968.058	-281.625	35.544	-1.647	(4.6)
		A_2	-908.039	926.685	-320.450	46.711	-2.452	(4.6)
		A_3	-26.310	24.164	-7.396	0.964	-0.046	(4.6)
		A_4	18.753	23.280	-6.906	0.879	-0.041	(4.6)

Tablo 5.24 Sıcaklık denklemine ait katsayıların değerleri

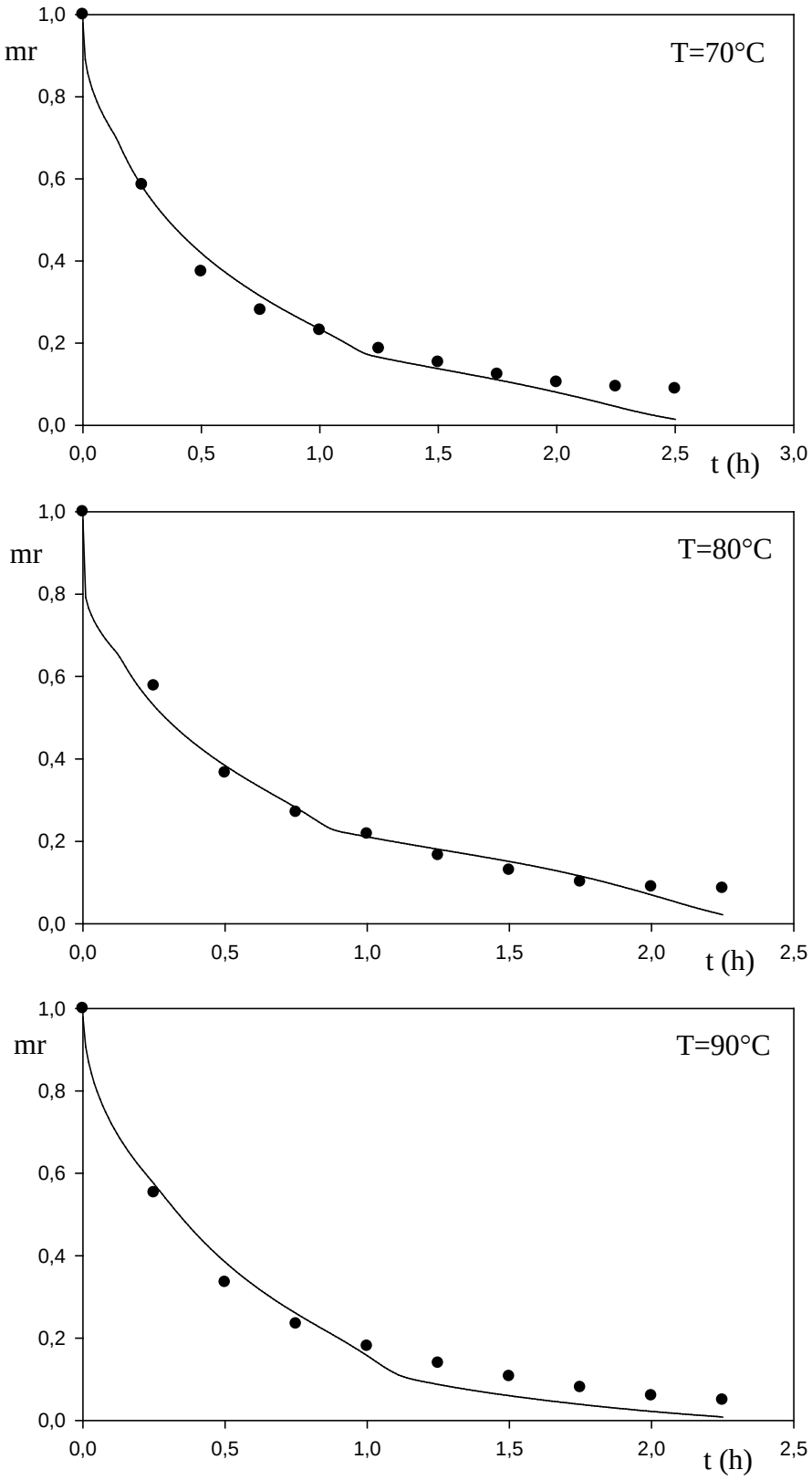
P_{eff} (bar)	T (°C)	Bağıl Nem
1	70	$RH=7.94-0.34T+0.49x10^{-2}T^2-0.25x10^{-4}T^3$
	80	$RH=7.31-0.28T+0.37x10^{-2}T^2-0.16x10^{-4}T^3$
	90	$RH=7.07-0.25T+0.31x10^{-2}T^2-0.13x10^{-4}T^3$
2	70	$RH=9.65-0.39T+0.56x10^{-2}T^2-0.27x10^{-4}T^3$
	80	$RH=-1.07+0.18T-0.41x10^{-2}T^2+0.27x10^{-4}T^3$
	90	$RH=8.77-0.30T+0.36x10^{-2}T^2-0.15x10^{-4}T^3$

Böylece denklem inde tek bilinmeyen difüzyon katsayısıdır. Difüzyon katsayısı için $D = e^{-\gamma/T}$ formunda Arrhenius tipi bir ilişki kabul edilebilir. Bu durumda deneysel nem oranı ile teorik nem oranı arasındaki hataların kareleri toplamı minimum olacak şekilde γ sabiti tespit edilebilir. Ele alınan değişik kurutma şartları için bu sabitin değeri Fortran programlama dilinde hazırlanan bir kod aracılığı ile tespit edilmiştir. Denklemde yer alan integral Simpson' ın 1/3 kuralı [26] kullanılarak nümerik olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.25 te verilmiştir. Tablo da yer alan E hataların kareleri toplamıdır.

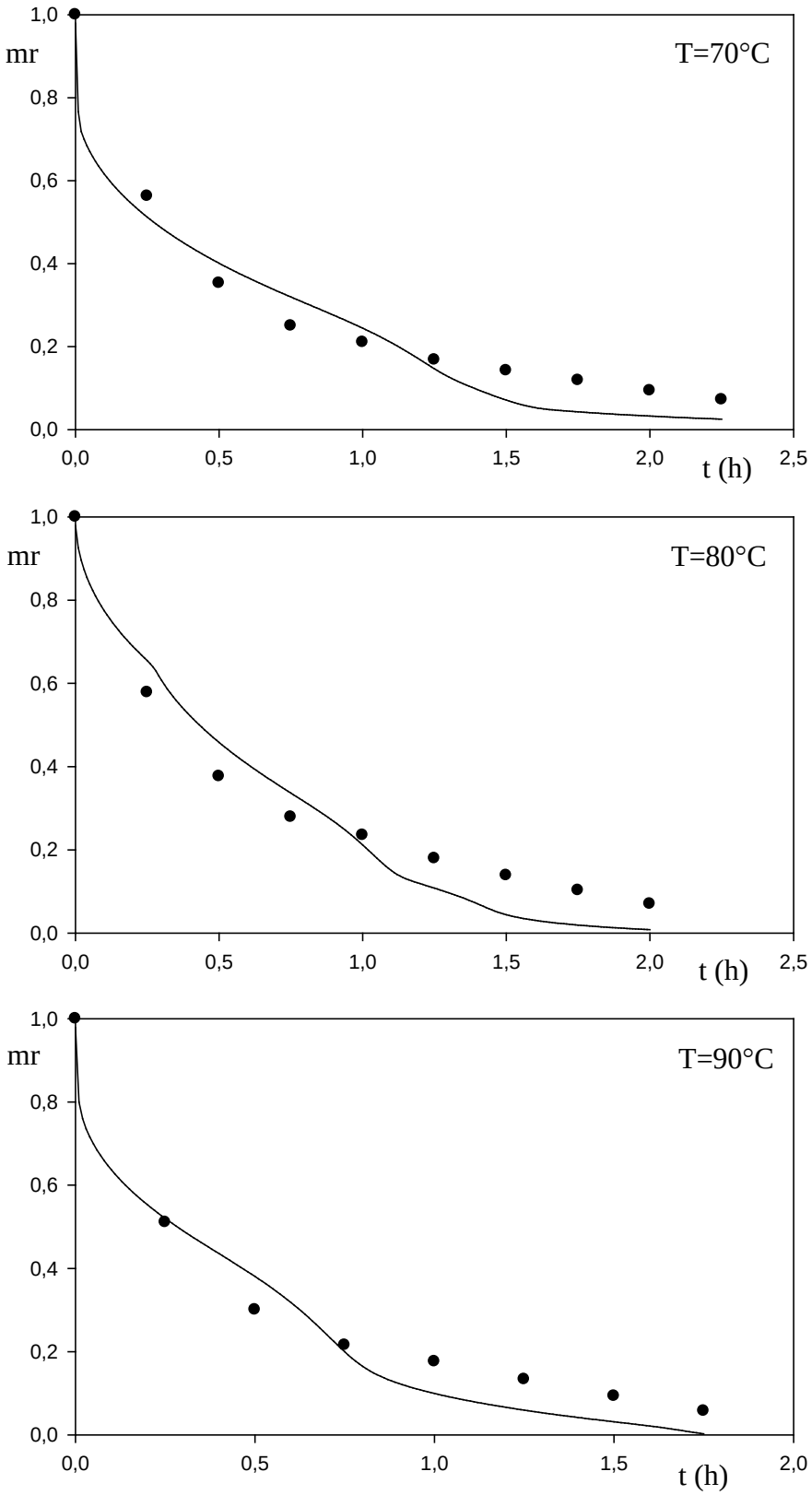
Tablo 5.25 Değişik kurutma şartları için γ sabitinin değeri

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	γ	E
10	1	70	847.9	$1.292x10^{-2}$
		80	903.9	$8.574x10^{-3}$
		90	916.4	$1.412x10^{-2}$
	2	70	930.7	$2.848x10^{-2}$
		80	990.6	$3.946x10^{-2}$
		90	1044.6	$2.522x10^{-3}$
14	1	70	850.0	$1.483x10^{-2}$
		80	890.4	$3.295x10^{-2}$
		90	916.8	$5.826x10^{-2}$
	2	70	902.2	$1.423x10^{-2}$
		80	954.0	$4.071x10^{-2}$
		90	1007.8	$8.807x10^{-3}$

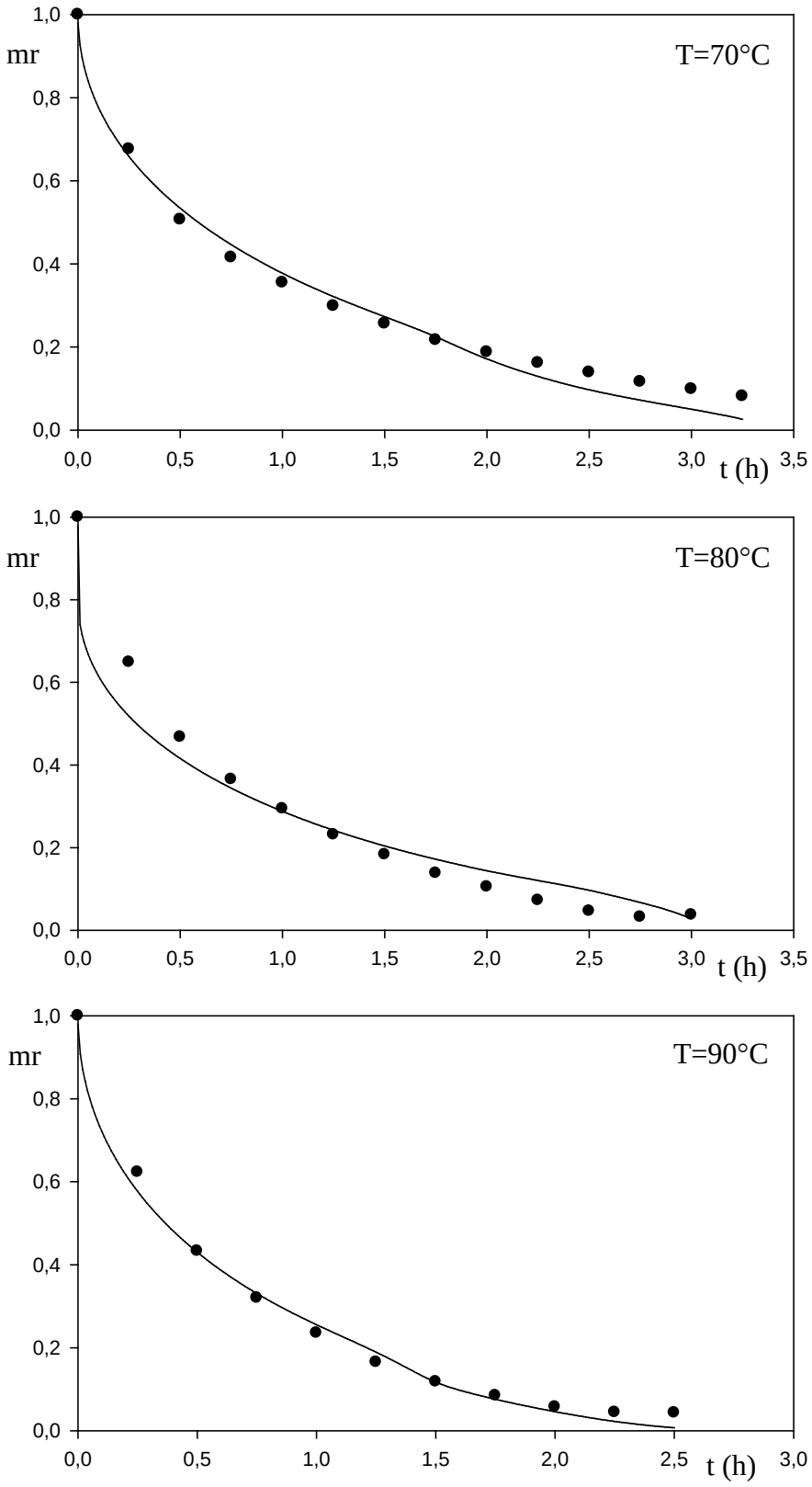
Göz önüne alınan teorik modele ait değişik kurutma şartlarındaki kuruma eğrileri deneysel kuruma davranışı ile birlikte Şekil 5.1-5.4 de verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi model deneysel verileri ifade etmede iyi bir uygunluk sergilemektedir. Şekillerden ayrıca kuruma hızının hem sıcaklıkla hem de kurutma havası basıncıyla önemli miktarlarda arttığı görülebilir. Kuruma havası sıcaklığının artmasıyla düşen bağıl neme bağlı olarak kuruma hızlanmaktadır. Kuruma basıncının artmasıyla da artan kurutma havası kütlesine bağlı olarak kuruma hızlanmaktadır.



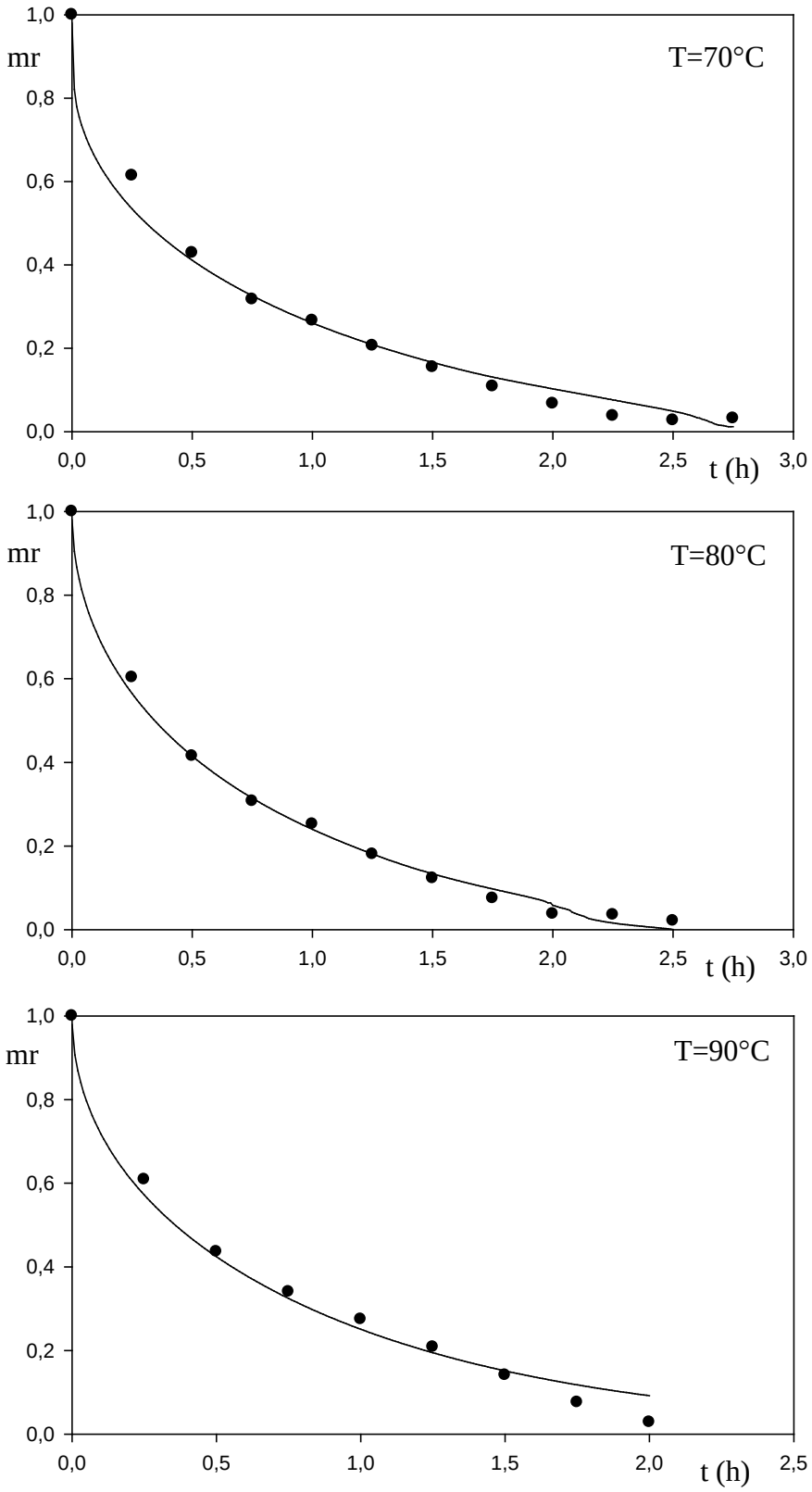
Şekil 5.1 D=10cm ve P_{eff}=1bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.



Şekil 5.2 D=10cm ve P_{eff}=2bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.



Şekil 5.3 D=14cm ve P_{eff}=1bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.



Şekil 5.4 D=14cm ve P_{eff}=2bar için teorik modele ait kuruma eğrileri.

5.3 Ampirik ve Yarı-Ampirik Modelleme

Bu çalışma da pamuk iplik bobinlerinin kuruma davranışı literatürde ye alan ampirik ve yarı-ampirik modeller kullanılarak ta modellenmiştir. Bu amaçla Tablo 4.2 de verilen onüç adet model göz önüne alınmıştır. Bu modeller için istatistiksel analiz sonucu elde edilen katsayılar Tablo 5.26-5.37 de verilmiştir. Tablolarda yer alan R^2 determinasyon katsayısı olup. bu katsayı 1 e yakın ise modelin deneysel verileri ifade etmedeki uygunluğu o kadar iyidir. Tablolarda yer alan SSE ve RMSE ise sırasıyla standart hata ve genelleştirilmiş standart hata olup. SSE ve RMSE nin aldığı değer 0 a ne kadar yakın ise modelin deneysel verileri ifade etmedeki uygunluğu o kadar iyidir

Table 5.26 Page modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	k=1.291. n=0.657	0.998	0.001	0.013
		80	k=1.350. n=0.684	0.999	0.001	0.011
		90	k=1.435. n=0.725	0.999	0.001	0.009
	2	70	k=1.397. n=0.666	0.998	0.001	0.013
		80	k=1.422. n=0.680	0.998	0.001	0.013
		90	k=1.506. n=0.700	0.999	0.001	0.012
14	1	70	k=0.990. n=0.692	0.998	0.002	0.012
		80	k=1.049. n=0.723	0.999	0.001	0.010
		90	k=1.138. n=0.780	0.998	0.002	0.014
	2	70	k=1.099. n=0.703	0.997	0.003	0.016
		80	k=1.128. n=0.727	0.996	0.003	0.018
		90	k=1.213. n=0.746	0.995	0.003	0.022

Table 5.27 Henderson and Pabis modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=0.917. k=1.196	0.963	0.032	0.059
		80	a=0.931. k=1.303	0.971	0.024	0.055
		90	a=0.946. k=1.437	0.980	0.016	0.048
	2	70	a=0.927. k=1.359	0.967	0.027	0.059
		80	a=0.935. k=1.417	0.971	0.023	0.057
		90	a=0.946. k=1.553	0.976	0.017	0.054
14	1	70	a=0.898. k=0.801	0.969	0.028	0.049
		80	a=0.915. k=0.898	0.977	0.021	0.044
		90	a=0.940. k=1.048	0.985	0.012	0.037
	2	70	a=0.912. k=0.950	0.971	0.024	0.049
		80	a=0.923. k=1.009	0.975	0.019	0.046
		90	a=0.938. k=1.148	0.978	0.015	0.046

Table 5.28 Geometric modele ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=0.262. n=0.124	0.767	0.174	0.139
		80	a=0.263. n=0.123	0.773	0.163	0.143
		90	a=0.263. n=0.123	0.684	0.234	0.153
	2	70	a=0.253. n=0.127	0.778	0.153	0.138
		80	a=0.264. n=0.123	0.796	0.137	0.140
		90	a=0.266. n=0.122	0.811	0.119	0.141
14	1	70	a=0.301. n=0.112	0.672	0.281	0.153
		80	a=0.293. n=0.115	0.676	0.274	0.158
		90	a=0.295. n=0.113	0.684	0.234	0.153
	2	70	a=0.294. n=0.114	0.703	0.234	0.153
		80	a=0.299. n=0.112	0.707	0.220	0.157
		90	a=0.313. n=0.108	0.735	0.172	0.157

Table 5.29 Wang and Singh modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=-0.989. b=0.265	0.931	0.078	0.093
		80	a=--1.075. b=0.316	0.944	0.059	0.086
		90	a=--1.168. b=0.374	0.955	0.043	0.079
	2	70	a=-1.087. b=0.318	0.932	0.072	0.095
		80	a=-1.178. b=0.382	0.943	0.053	0.087
		90	a=-1.296. b=0.467	0.950	0.041	0.083
14	1	70	a=-0.707. b=0.139	0.941	0.086	0.085
		80	a=-0.769. b=0.163	0.949	0.071	0.080
		90	a=-0.877. b=0.213	0.962	0.045	0.071
	2	70	a=-0.825. b=0.189	0.942	0.072	0.085
		80	a=-0.875. b=0.215	0.950	0.057	0.080
		90	a=-1.012. b=0.295	0.956	0.039	0.074

Table 5.30 Two Term Exponential modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=0.239. k=4.312	0.992	0.013	0.033
		80	a=0.240. k=4.585	0.992	0.009	0.034
		90	a=0.239. k=4.985	0.96	0.004	0.025
	2	70	a=0.238. k=4.873	0.990	0.011	0.038
		80	a=0.236. k=5.060	0.992	0.008	0.035
		90	a=-0.233. k=-5.563	0.994	0.005	0.030
14	1	70	a=0.207. k=3.526	0.992	0.013	0.033
		80	a=1.000. k=0.994	0.982	0.032	0.054
		90	a=1.000. k=1.123	0.988	0.017	0.044
	2	70	a=0.204. k=4.172	0.992	0.010	0.032
		80	a=1.000. k=1.105	0.979	0.028	0.056
		90	a=-2.350. k=-0.057	0.876	0.195	0.167

Table 5.31 Logartithmic modele ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a_o=0.123. a=0.858 k=1.957	0.992	0.006	0.028
		80	a_o=0.118. a=0.867 k=2.030	0.994	0.004	0.025
		90	a_o=0.105. a=0.882 k=2.073	0.995	0.003	0.024
	2	70	a_o=0.116. a=0.867 k=2.137	0.991	0.006	0.030
		80	a_o=0.121. a=0.864 k=2.209	0.992	0.005	0.030
		90	a_o=0.116. a=0.870 k=2.322	0.992	0.005	0.031
14	1	70	a_o=0.111. a=0.842 k=1.201	0.984	0.013	0.035
		80	a_o=0.097. a=0.863 k=1.264	0.988	0.010	0.032
		90	a_o=0.073. a=0.894 k=1.320	0.990	0.008	0.031
	2	70	a_o=0.104. a=0.854 k=1.372	0.983	0.013	0.039
		80	a_o=0.097. a=0.864 k=1.391	0.984	0.012	0.039
		90	a_o=0.097. a=0.871 k=1.540	0.984	0.010	0.041

Table 5.32 Logistic modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a_o=-0.116a=-1.116 k=0.253	0.999	0.001	0.010
		80	a_o=-0.172 a=-1.172 k=0.363	0.999	0.000	0.008
		90	a_o=-0.289. a=-1.289 k=0.552	0.999	0.000	0.008
	2	70	a_o=-0.148. a=-1.148 k=0.342	0.998	0.001	0.013
		80	a_o=-0.170. a=-1.170 k=0.387	0.998	0.001	0.013
		90	a_o=-0.226. a=-1.226 k=0.508	0.998	0.001	0.015
14	1	70	a_o=-0.202. a=-1.205 k=0.257	0.995	0.004	0.019
		80	a_o=-0.300. a=-1.303 k=0.365	0.997	0.003	0.017
		90	a_o=-0.570. a=-1.576 k=0.578	0.996	0.003	0.019
	2	70	a_o=-0.246. a=-1.248 k=0.341	0.994	0.005	0.023
		80	a_o=-0.327. a=-1.331 k=0.424	0.993	0.005	0.025
		90	a_o=-0.398. a=-1.402 k=0.523	0.992	0.005	0.029

Table 5.33 Diffusion Approach modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=0.506. k=3.898 b=0.166	1.000	0.000	0.006
		80	a=0.494. k=3.941 b=0.184	1.000	0.000	0.005
		90	a=0.437. k=4.316 b=0.206	1.000	0.000	0.0050
	2	70	a=0.489. k=4.409 b=0.172	0.999	0.001	0.009
		80	a=0.457. k=4.706 b=0.176	0.999	0.001	0.009
		90	a=0.399. k=5.623 b=0.176	0.999	0.001	0.011
14	1	70	a=0.324. k=4.747 b=0.125	0.999	0.001	0.007
		80	a=0.299. k=5.020 b=0.136	1.000	0.000	0.006
		90	a=0.218. k=6.997 b=0.124	0.999	0.001	0.010
	2	70	a=0.304. k=5.862 b=0.122	0.998	0.001	0.012
		80	a=0.264. k=7.040 b=0.113	0.998	0.001	0.013
		90	a=0.223. k=10.258 b=0.091	0.997	0.002	0.017

Table 5.34 Two Term modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a_1=0.507. k_1=3.911 a_2=0.495. k_2=0.647	1.000	0.000	0.006
		80	a_1=0.495. k_1=3.952 a_2=0.506. k_2=0.725	1.000	0.000	0.005
		90	a_1=0.438. k_1=4.323 a_2=0.563. k_2=0.889	1.000	0.000	0.006
	2	70	a_1=0.489. k_1=4.422 a_2=0.512. k_2=0.759	0.999	0.001	0.009
		80	a_1=0.458. k_1=4.714 a_2=0.543. k_2=0.829	0.999	0.001	0.010
		90	a_1=0.399. k_1=5.634 a_2=0.601. k_2=0.92	0.999	0.001	0.0012
14	1	70	a_1=0.325. k_1=4.759 a_2=0.676. k_2=0.594	0.999	0.001	0.007
		80	a_1=0.300. k_1=5.029 a_2=0.701. k_2=0.684	1.000	0.000	0.006
		90	a_1=0.218. k_1=7.001 a_2=0.782. k_2=0.867	0.999	0.001	0.011
	2	70	a_1=0.305. k_1=5.870 a_2=0.696. k_2=0.715	0.998	0.001	0.012
		80	a_1=0.264. k_1=7.046 a_2=0.736. k_2=0.793	0.998	0.001	0.014
		90	a_1=0.223. k_1=10.256 a_2=0.777. k_2=0.931	0.997	0.002	0.0019

Table 5.35 Midilli et al. modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=1.002. k=1.345 n=0.693. b=0.009	0.998	0.001	0.013
		80	a=1.001. k=1.414 n=0.723. b=0.011	0.999	0.001	0.012
		90	a=1.001. k=1.467 n=0.741. b=0.005	0.999	0.001	0.010
	2	70	a=1.001. k=1.419 n=0.678. b=0.004	0.998	0.001	0.015
		80	a=1.001. k=1.430 n=0.683. b=0.001	0.998	0.001	0.015
		90	a=1.001. k=1.436 n=0.663. b=-0.013	0.999	0.001	0.014
14	1	70	a=1.002. k=0.929 n=0.618. b=-0.017	0.999	0.001	0.009
		80	a=1.001. k=0.984 n=0.653. b=-0.017	0.999	0.000	0.007
		90	a=1.001. k=1.006 n=0.665. b=-0.033	1.000	0.000	0.006
	2	70	a=1.001. k=0.981 n=0.593. b=-0.030	0.999	0.001	0.011
		80	a=1.001. k=0.965 n=0.587. b=-0.043	0.999	0.001	0.011
		90	a=1.001. k=0.916 n=0.534. b=-0.084	0.999	0.001	0.0011

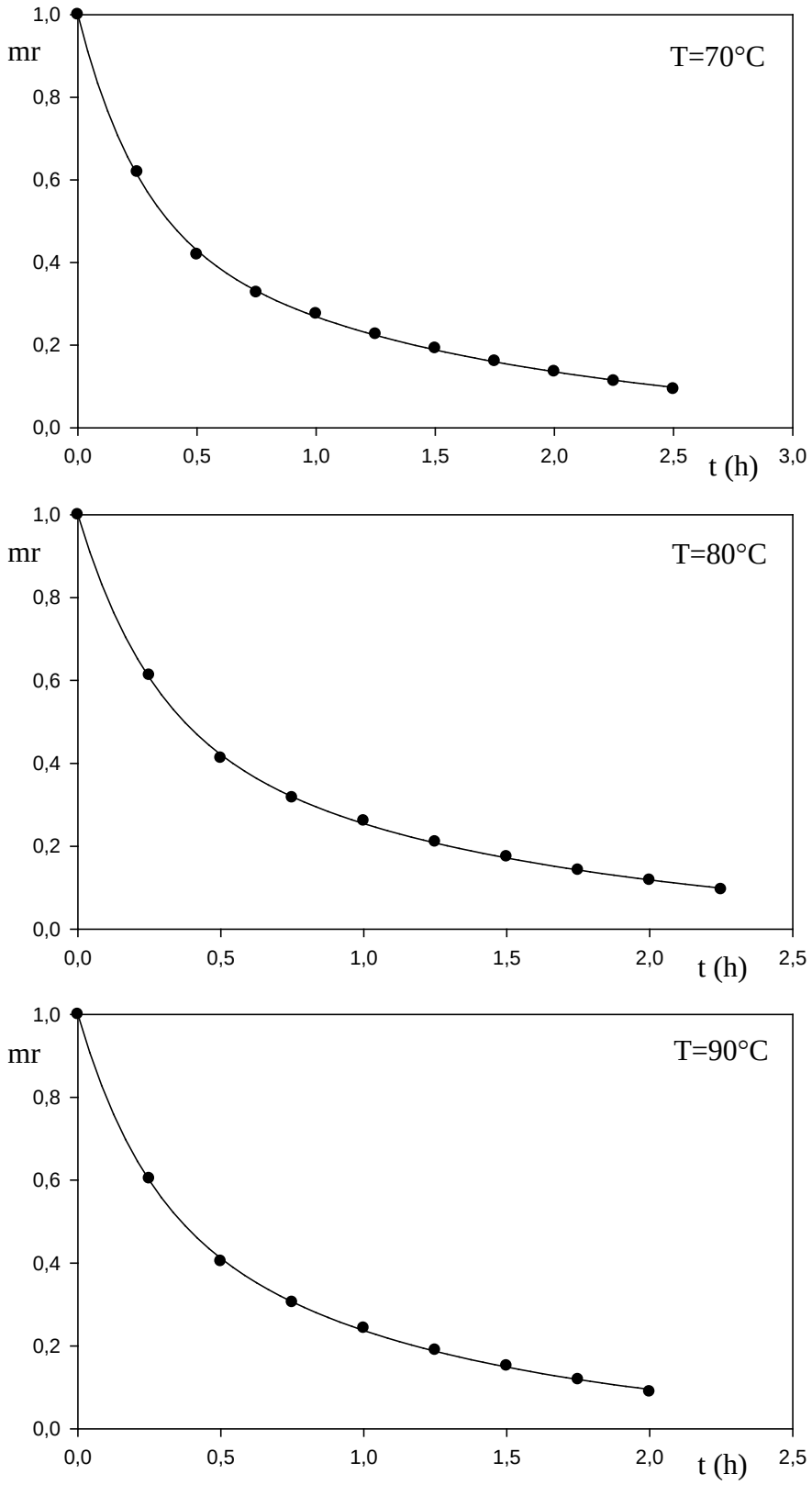
Table 5.36 Jena and Das modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

D (cm)	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
10	1	70	a=0.937. k=0.806 b=-0.716. c=-0.065	0.998	0.001	0.014
		80	a=0.937. k=0.958 b=-0.646. c=-0.064	0.999	0.001	0.013
		90	a=0.956. k=1.009 b=-0.608. c=-0.045	0.999	0.001	0.012
	2	70	a=0.957. k=0.767 b=-0.797. c=-0.045	0.998	0.002	0.017
		80	a=0.961. k=0.791 b=-0.780. c=-0.040	0.998	0.001	0.016
		90	a=1.003. k=-0.660 b=-0.829. c=--0.002	0.998	0.001	0.0016
14	1	70	a=1.075. k=0.225 b=-0.647. c=-0.069	0.999	0.001	0.010
		80	a=1.051. k=0.338 b=-0.615. c=-0.046	0.999	0.001	0.009
		90	a=1.118. k=0.352 b=-0.563. c=-0.114	0.999	0.000	0.008
	2	70	a=1.184. k=0.143 b=-0.670. c=-0.178	0.998	0.001	0.012
		80	a=1.289. k=0.112 b=-0.613. c=-0.284	0.999	0.001	0.012
		90	a=2.776. k=-0.015 b=-0.299. c=-1.773	0.999	0.001	0.0012

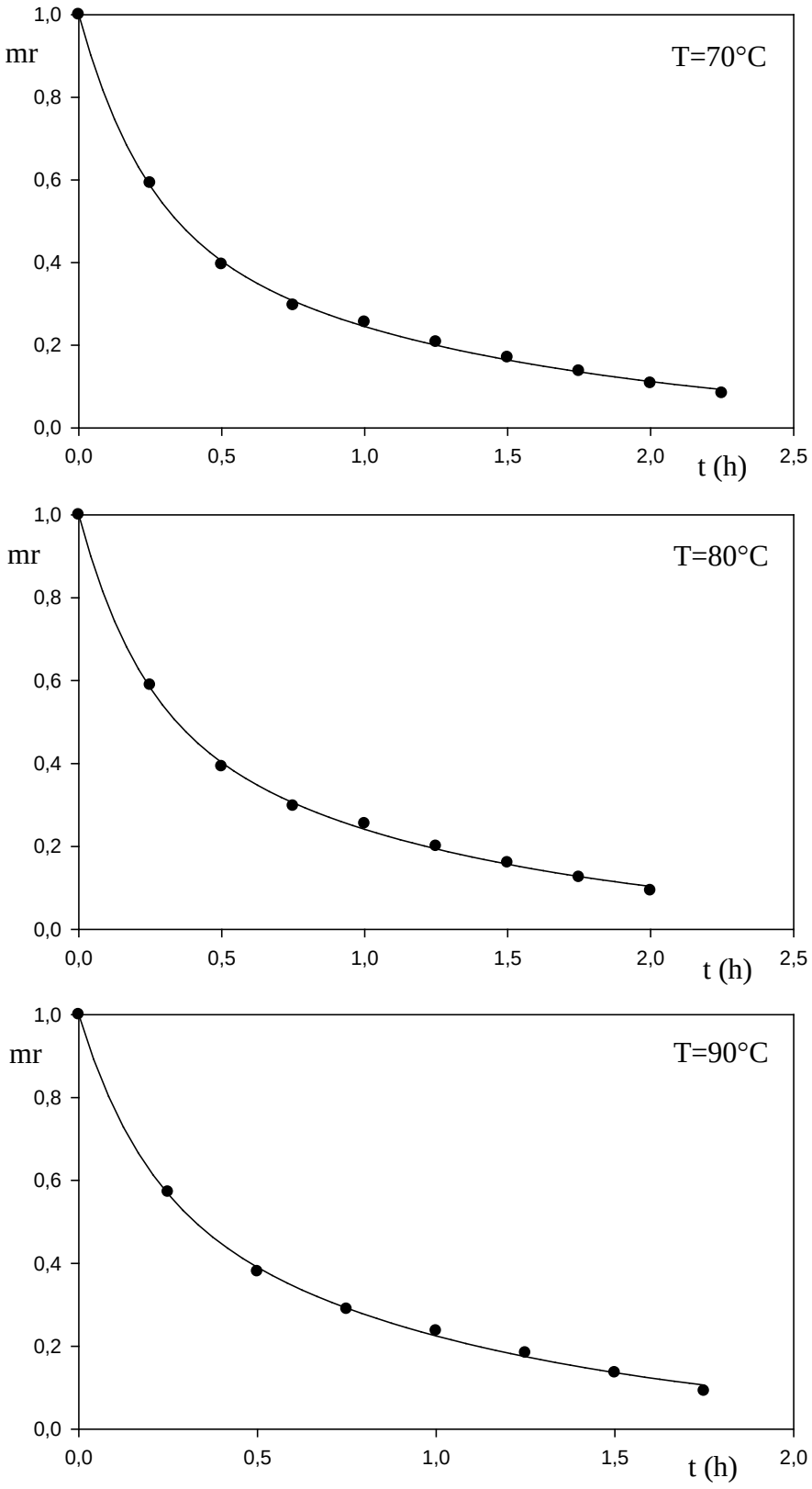
Table 5.37 Weibull Distribution modeline ait istatistiksel analiz sonuçları

Model	P_{eff} (bar)	T (°C)	Katsayılar	R^2	SSE	RMSE
Weibull Distribution	1	70	a=-0.937. b=0.807 k=-0.716. n=0.065	0.998	0.001	0.014
		80	a=0.937. b=0.957 k=-0.646. n=0.064	0.999	0.001	0.013
		90	a=0.956. b=1.009 k=-0.608. n=0.045	0.999	0.001	0.012
	2	70	a=0.957. b=0.765 k=-0.798. n=0.044	0.998	0.002	0.017
		80	a=0.961. b=0.791 k=-0.779. n=0.040	0.998	0.001	0.016
		90	a=-1.003. b=0.660 k=-0.830. n=-0.002	0.998	0.001	0.0016
Weibull Distribution	1	70	a=-0.131. b=-1.134 k=0.799. n=0.602	0.999	0.001	0.009
		80	a=-0.108. b=-1.110 k=0.868. n=0.639	0.999	0.000	0.007
		90	a=-0.208. b=-1.210 k=0.805. n=0.643	0.999	0.000	0.008
	2	70	a=-0.244. b=-1.247 k=0.750. n=0.568	0.999	0.001	0.012
		80	a=-0.379. b=-1.382 k=0.655. n=0.555	0.999	0.001	0.011
		90	a=-1.496. b=-2.501 k=0.322. n=0.483	0.999	0.001	0.0012

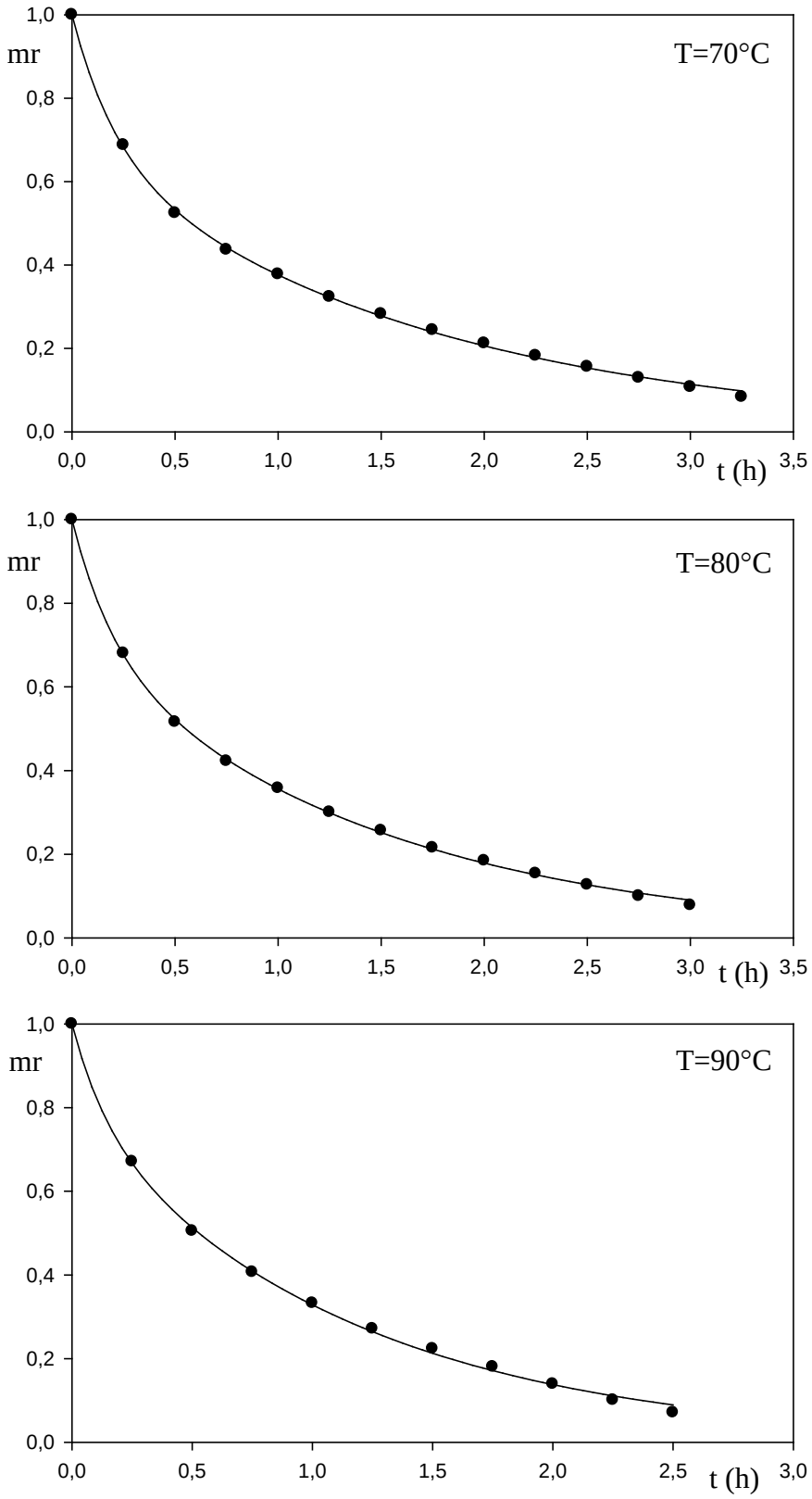
Tablo 5.26-5.37 deki sonuçlardan da görülebileceği gibi pamuk iplik bobinlerinin kuruma davranışını ifade etmede en uygun modeller Diffusion Approach ve Two term . modelidir. Bunun yanında Jena and Das ve Weibull modelleri de kuruma davranışını ifade etmede oldukça uygundur. Göz önüne alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en kötü uygunluk geometrik model için söz konusu olmaktadır. Diffusion Approach modeli Two term modeline kıyasla daha az sabit içerdiği için bu çalışmada pamuk ipik bobinlerinin kuruma davranışını ifade etmede Diffusion Approach modeli gözönüne alınmıştır. Diffusion Approach modeline dayalı kuruma eğrileri çalışmada ele alınan kurutma şartları için Şekil 5.5-5.8 de verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gimi model kuruma davranışını ifade etmede oldukça iyi bir uygunluk sergilemektedir.



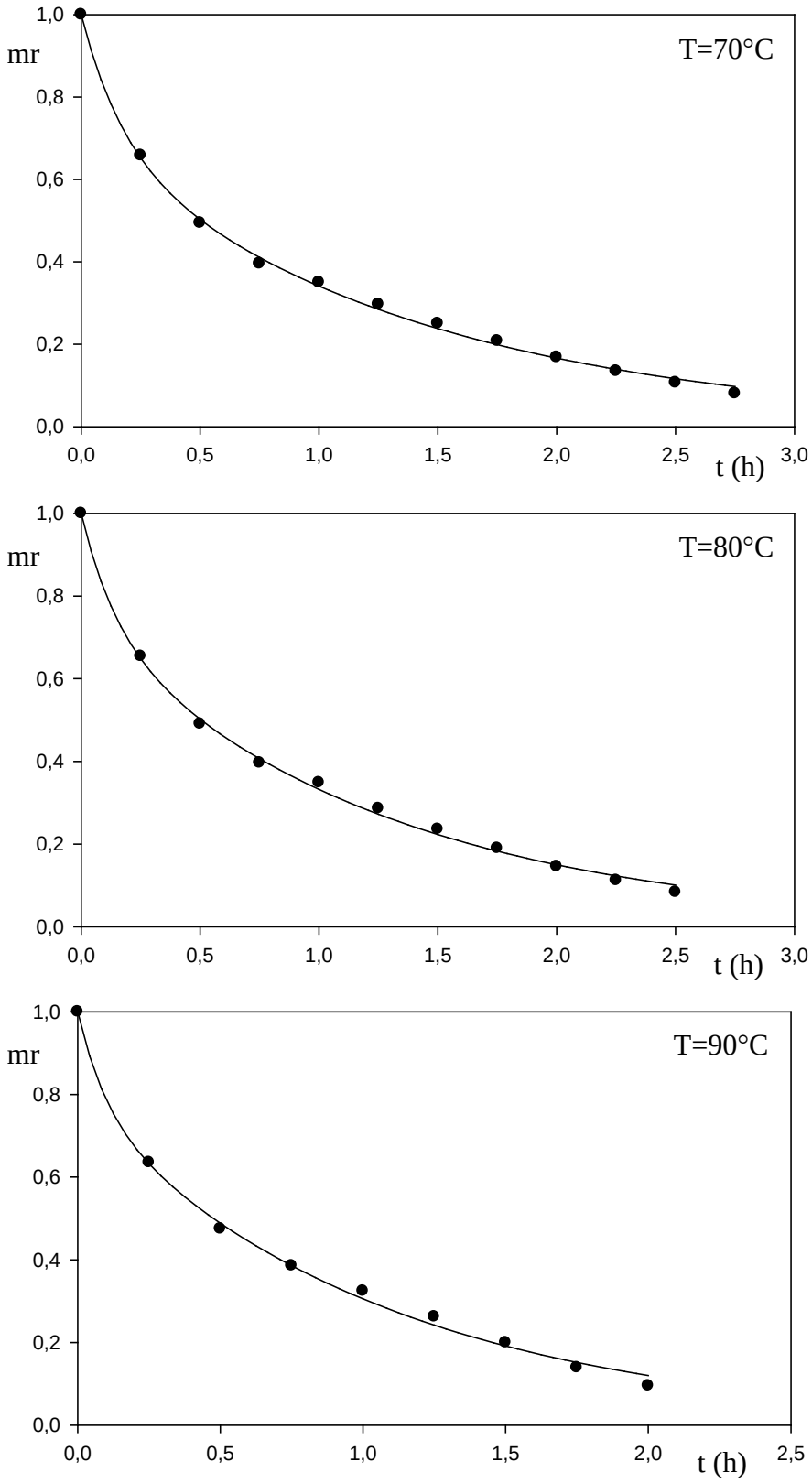
Şekil 5.5 D=10cm ve P_{eff}=1bar için Diffusion Approach modeline dayalı kuruma eğrileri.



Şekil 5.6 D=10cm ve P_{eff}=2bar için Diffusion Approach modeline dayalı kuruma eğrileri.



Şekil 5.7 D=14cm ve P_{eff}=1bar için Diffusion Approach modeline dayalı kuruma eğrileri.



Şekil 5.8 D=14cm ve P_{eff}=2bar için Diffusion Approach modeline dayalı kuruma eğrileri.

Değerlendirme

Bu çalışmada pamuk iplik bobinlerinin basınçlı sıcak hava ile kuruma davranışı değişik kurutma şartları için incelenmiştir. Kurutma parametreleri olarak bobin dış çapı, kurutma havası sıcaklığı ve basıncı alınmıştır. Artan çapla birlikte bobin içinden geçen havanın aldığı nemle giderek kurutma potansiyelinin azalması sonucu kuruma yavaşlamaktadır. Sonuçlar kuruma sıcaklığının ve basıncının artmasıyla kurumanın önemli ölçülerde hızlandığını göstermektedir. Kuruma havası sıcaklığının artmasıyla kurutma havasının bağıl nemi düşmektedir. Böylece kurutma havası nemi ile iplik nem konsantrasyonu arasında önnemli bir fark ortaya çıkmaktadır ki bu da kuruma hızı üzerinde önemli bir pozitif etki yaratmaktadır. Kurutma havasının basıncının artması da bobin başına kurutma havası kütlesini arttırmaktadır. Böylece bobin başına daha fazla kurutma havası kullanılmaktadır. Bu da sonuç olarak kuruma hızını arttırmaktadır. Bu sonuçlar kurumanın mümkün olduğu kadar yüksek hızda yapılabilmesi için kuruma havası sıcaklığının ve basıncının yüksek tutulması gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte nemin iplik merkezinden yüzeye doğru yürümesi için de belirli bir zaman gerektiği için çok yüksek sıcaklıklar ve basınçlar da kurutma yapılması önerilmez. Çalışmada kurutma hem difüzyon modeli kullanılarak teorik hem de ampirik ve yarı-ampirik modeller kullanılarak modellenmiştir. Teorik model sonuçları deneysel veriler ile çok iyi bir uygunluk olmasa da kabul edilebilir bir uygunluk sergilemiştir. Çok iyi bir uygunluk elde edilememesinin nedenleri şunlardır: Kullanılan model de kurumanın yalnızca difüzyon meknizmasıyla gerçekleştiği kabul edilmiş olup diğer etkiler difüzyon katsayısı içinde düşünülmüştür. Bu kabul iplik bobinleri gibi yavaş kuruyan materyaller için sıkça yapılan bir kabuldür. Diğer kurutma mekanizmalarının göz önüne alınması modellemeyi yapamayacak kadar problemi karmaşık hale getirmektedir. Kullanılan teorik modelde ayrıca ipliklerin kurutmanın başlamasıyla ani olarak denge nemine ulaştığı kabul edilmiştir. Kurutma havasının iplik içinden geçişi uniform olmadığından yapılan sıcaklık ölçümleri belirsizlikler içermektedir. Bu etkiler teorik modelin uygunluğuna negatif etki yapmaktadır. Ampirik ve yarı-ampirik modeller için deneysel veriler ile bu modellerin doğaları gereği daha iyi bir uygunluk elde edilmiştir. Ancak bu modeller kuruma olayının fiziğine dayalı değillerdir ve dolayısıyla sadece deneysel çalışmanın yapıldığı parametrelerin alındığı aralık için geçerlidirler.

KAY NAKLAR

1.	Akyol, U., 2007, "İplik Bobinlerinin kurutulmasının teorik incelenmesi", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi.
2.	Kahveci, K. ve Cihan, A., 2008, "Drying of food materials: transport phenomena", Nova Science, New York.
3.	Riberio, J. ve Ventura, J. M. P., 1995, "Evaluation of textile bobbins drying processes:experimental and modeling studies", Drying Technology, Cilt: 13 (1-2), Sayfa No: 239-265.
4.	Haghi, A. K., 2003, "Factors effecting water-vapor transport through fibers", Theoretical Applied Mechanics, Cilt: 30(4), Sayfa No: 277-309.
5.	Li, Y., Zhu, Q. ve Yeung, K.W., 2002, "Influence of thickness and porosity on coupled heat and liquid moisture transfer in porous textiles", Textile Research Journal, Cilt: 72(5), Sayfa No: 435-446.
6.	Zhu, Q. ve 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, Cilt: 46, Sayfa No: 5099-5111.
7.	Gibson, P. W. ve Charmchi, M., "Modeling convection/diffusion processes in porous textiles with inclusion of humidity-dependent air permeability", International Communications in Heat and Mass Transfer, Cilt: 24(5), Sayfa No: 709-724.
8.	Li, Y. ve Zhu, Q., 2003, "A model of coupled liquid moisture and heat transfer in porous textiles with consideration of gravity", Numerical Heat Transfer, Cilt: 43, Sayfa No: 501-523.
9.	Stephen Lee, H., Carr, W. W., Beckham, H. W. ve Leisen, J., 2002, "A model of through-air drying of tufted textile materials", International Journal of Heat and Mass Transfer, Cilt: 45, Sayfa No:357-366.
10.	Fohr, J. P., Couton, D. ve Treguier, G., 2002, "Dynamic heat and water transfer through layered fabrics", Textile Research Journal, Cilt: 72(1), Sayfa No: 1-12.
11.	Nasrallah, S. B. ve Perre, P., 1988, "Detailed study of a model of heat and mass transfer during convective drying of porous media", International Journal Heat Mass Transfer, Cilt: 31(5), Sayfa No: 957-967.

12.	Sousa, L. H. C. D., Pereira, N. C., Lima, O. C.M. ve Fonseca, E. V., 2001, "Equilibrium moisture isotherms of textiles materials", Acta Scientiarum Maringá, Cilt: 23(6), Sayfa No: 1363-1368, 2001.
13.	Stemmelen, D., Moyne, C., Perré, P. ve Lebois, P., 1997, "Drum drying of fabrics", Drying Technology, Cilt: 15(9), Sayfa No: 2089-2112.
14.	Langrish, T.A.G., 2008, "Characteristic drying curves for cellulosic fibres", Chemical Engineering Journal, Cilt: 137, Sayfa No: 677–680.
15.	Borovskii, V.R., Sharkova, N. A., Shelimanov, V.A., Boryak, L.A., Shimko, I.G., Mogilevskii, E. M. ve Baksheev, I.P., 1972, "The drying kinetics of a single yarn in motion", Fibre Chemistry, Cilt: 3(3), Sayfa No: 288-291.
16.	Khorovodnov, G. S., Androsova, T.B. ve Lapshina, R.I., 1986, "Effect of the concentration of the textile-auxiliary solution on the drying time of viscose fibres", Fibre Chemistry, Cilt: 17(6), Sayfa No: 411-412.
17.	Ghazanfari; A., Emami; S., Tabil, L. G. ve Panigrahi, S., 2006, "Thin-layer drying of flax fiber: I. Analysis of modeling using Fick's second law of diffusion", Drying Technology, Cilt:24(12), Sayfa No: 1631–1635.
18.	Ghazanfari, A., Emami, S., Tabil, L. G. ve Panigrahi, S., 2006, "Thin-layer drying of flax fiber: II. Modeling drying process using semi-theoretical and empirical models", Drying Technology, Cilt: 24(12), Sayfa No: 1637–1642.
19.	Cihan, A., Kahveci, K., Akyol, U. ve Akal, D., 2011, "Drying behavior of polyester based yarn bobbins in a hot-air bobbin dryer", Defect and Diffusion Forum, Cilt: 312-315, Sayfa No: 848-853.
20.	Akyol, U., Kahveci, K., Cihan, A. ve Akal, D., 2011, "Simulation of drying behavior of cotton bobbins by a simultaneous heat and mass transfer model", Defect and Diffusion Forum , Cilt: 312-315, Sayfa no: 854-859.
21.	Akyol, U., Cihan, A. ve Kahveci, K., 2010, "Experimental and theoretical investigation of drying kinetıcs of cotton bobbins", 7th International Conference - TEXSCI 2010, Liberec, Czech Republic.
22.	Kahveci, K., Cihan, A. ve Akyol, U., 2010, "Modelling of hot-air drying behavior of polyester based yarn bobbins", 7th International Conference - TEXSCI 2010, Liberec, Czech Republic.
23.	Akyol, E., Akyol, U., Kahveci, K. ve Cihan, A., 2010, "Investigation of drying

	behavior of wool based yarn bobbins", 7th International Conference - TEXSCI 2010, Liberec, Czech Republic.
24.	Kahveci, K., Cihan, A. ve Akyol, U., Doktorant: Akal, D., 2009-2010, "Bobin kurutma makinesinin modellenmesi, optimizasyonu ve otomasyonu", Tübitak 1001 Projesi, Proje No: 108M274.
25.	Abramowitz, M. ve. Stegun, I.A., 1965, "Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables", Dover Publications.
26.	Chapra, S. ve Canale, R., 2005, "Numerical methods for engineers", McGraw-Hill

ÖZGEÇMİŞ

Ad, Soyad:	Dinçer Akal
Doğum Tarihi:	23 Temmuz 1969
Medeni Hali:	Evli, bir çocuk
Email:	akal022@hotmail.com

Eğitimi:

Derece	**Alan**	**Üniversite**	**Yıl**
Lisans	Makine Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	1994
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	2005

Yüksek Lisans Tezi	Tuğlanın Kurutma Davranışının İncelenmesi

Deneyimleri:

Görev Ünvanı	**Görev Yeri**	**Yıl**
Servis Müdürü	Edirne Toyota Plaza	1995-2001
Öğretim Görevlisi	Trakya Üniversitesi Kırklareli Meslek Yüksekokulu	2002-2005
Öğretim Görevlisi	Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksekokulu	2005-2006
Öğretim Görevlisi	Kırklareli Üniversitesi Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu	2007-