T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜN İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ERHAN AKYOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU

EDİRNE-2011

T. C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜN İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ERHAN AKYOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Bu tez 17/08/2011 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU
(Danışman)

Doç. Dr. Kamil KAHVECİ
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Mesut BOZ
(Üye)

ÖNSÖZ

Hızla gelişen tekstil sektöründe kalite ve üretim hızı önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde tekstil sektörü ihracat ve istihdam açısından önemli bir yere sahiptir. Artan rekabet ortamında sektörün ilerleyebilmesi için düşük maliyette, kaliteli ve zamanında üretim yapmak şart olmuştur. Düşük maliyetli üretim yapmanın en uygun yolu ise enerji tasarrufu ve enerji verimliliği uygulamaları ile sağlanabilmektedir. Günümüzde enerji maliyetlerinin hızla artması ve işletme maliyetlerinde enerjinin payının artması, verimlilik çalışmalarının da önemini artırmaktadır.

Yüksek lisans danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarıma yön veren hocam Sayın Yrd.Doç. Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU'na, değerli katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Kamil KAHVECİ'ye, deneysel çalışmalarıma katkıda bulunan ağabeyim Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL'a, manevi desteklerinden dolayı yanımda olan kıymetli arkadaşlarım Arş.Gör.Tolga AKSENCER'e, Öğr.Gör. Seçkin FİLİZ'e, Mak. Yük. Müh. Anıl ŞAHİN'e ve beni bugünlere kadar getiren, desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜN İPLİK BOBİNLERİNİN KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tekstil endüstrisinde iplik bobinlerinin boyama işleminden sonra kurutulması oldukça masraflı ve zaman alıcı bir proses olup, sıcak havanın kurutulacak olan malzeme üzerinden geçirilerek kurutmanın yapıldığı ısıl işlemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı ve kütle transferinin eşzamanlı olarak gerçekleştiği bu tür işlemlerde ısı kurutulacak olan malzemeye zorlanmış konveksiyon yoluyla transfer edilirken, hava akımı vasıtasıyla buharlaşan nem malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmaktadır. Bu işlem kurutma havası sıcaklığı ve nemine bağlı olarak denge durumu oluşuncaya kadar devam eder.

Bu çalışmada yün bobinlerinin kuruma davranışı literatürde bulunan ampirik ve yarı ampirik kuruma modelleri kullanılarak simule edildi. Öncelikle yün iplik bobinlerinin deneysel kuruma davranışı hesaplandı ve daha sonra her bir model için, yün iplik bobininin kuruma davranışını ifade etmedeki uygunluğunu belirlemek amacıyla korelasyon katsayısı r, standart hata e_s ve ortalama karesel sapma $\chi 2$ hesaplanarak elde edilen deneysel verilerle uygunluğu karşılaştırıldı. Bunun sonucunda ise en uygun kuruma modelinin Verma olduğu tespit edildi.

Anahtar kelimeler: Kurutma, bobin, yün, model

2011, 76 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF DRYING BEHAVIOR OF WOOL YARN BOBBINS

Trakya University Faculty of Engineering and Architecture
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

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 widely used in the textile industry consist of passing a hot air stream over the surface of the material to be dried. Air flow transfers heat to the material by forced convection, and at the same time, carries away evaporated water. The process continues until equilibrium is attained, depending upon drying air temperature and humidity.

In this master thesis, the drying behavior of wool bobbins was simulated by empirical and semi-empirical drying models available in the literature. Firstly, experimental drying behavior of wool bobbins was determined on an experimental bobbin dryer setup which was designed and manufactured based on hot-air bobbin dryers used in textile industry. Then, drying models considered were fitted to the experimental data. The fit was performed by selecting the values of coefficients in the models in such a way that these values make the sum of the squared differences between the experimental and the model results for moisture ratio minimum. Suitability of fitting was specified as comparing the correlation coefficient, standard error and mean square deviation. It is concluded that the most appropriate model in describing the drying curves of wool yarn bobbins is the Verma Model.

Anahtar kelimeler: Drying, Bobbin, Wool, Model

2011, 76 page

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
SİMGELER DİZİNİ viii
1.GİRİŞ 1
2. KURUTMA 10
2.1 Nem Oranı 11
2.2 Kuruma Süreci 12
2.2.1. Sabit hızda kuruma süreci 16
2.2.2. Azalan hızda kuruma süreci 17
2.3. Hava Sıcaklığının Etkisi 18
2.4. Hava Nem Miktarının Etkisi 19
2.5. Hava Akış Hızının Etkisi 19
2.6. Higroskopiklik 20
3. İPLİĞİN KURUTULMASI 22
3.1. Tekstil Lifleri 22
3.2. İplik ve İplikte Aranan Özellikler 22
3.3. İplikte Bulunan Nemin Durumu 23
3.4. Ön Kurutma 24
3.4.1. Sıkma 25
3.4.2. Santrifüjleme 25
3.4.3. Emme ve püskürtme 25
3.5. Esas Kurutma 25
3.6. Tekstil Ürünlerinin Nem Çekme Özelliği 27
4. MATERYAL VE METOT 28
4.1. Materyal 28
4.1.1. Yün iplik bobini 28
4.1.2. Santrifüj fan 29
4.1.3. Isıtma eşanjörü 29
4.1.4. Portmantiyer 30

4.1.5. Soğutma eşanjörü 31
4.1.6. Seperatör 32
4.1.7. Debimetre 32
4.1.8. Kompresör 33
4.1.9. Loadcell 33
4.1.10. Nem sensörü 34
4.1.11. Termokupllar 34
4.1.12. PLC 35
4.2. Metot 35
5. MODELLER ve ANALİZ 39
5.1. Korelasyon Katsayısı 40
5.2. Standart Hata 40
5.3. Ortalama Karesel Sapma 41
5.4. Sıcak Hava ile Kurutmada Deneysel Kuruma Davranışı 42
5.5. Sıcak Hava ile Kurutmada Modelleme 50
6. SONUÇ 55
KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nem oranının zamanla değişimi 13
Şekil 2.2. Kuruma hızının zamana göre değişimi 14
Şekil 2.3. Kuruma hızının nem oranına göre değişimi 15
Şekil 3.1. İplik bobinlerine ait bazı fotoğraflar 23
Şekil 4.1. Bobin kurutma deney düzeneğinin genel görünümü 28
Şekil 4.2. Santrifüj fan 29
Şekil 4.3. Isıtma eşanjörü 29
Şekil 4.4. Portmantiyerin izolasyonlu gövdesi 30
Şekil 4.5. Portmantiyerin izolasyonlu gövdesi 31
Şekil 4.6. Soğutma eşanjörü 31
Şekil 4.7. Seperatör 32
Şekil 4.8. Debimetre 32
Şekil 4.9. Kompresör 33
Şekil 4.10. Loadcell 33
Şekil 4.11. Nem sensörü 34
Şekil 4.12. Termokupllar 34
Şekil 4.13. PLC 35
Şekil 4.14. Su havuzuna konulan yün iplik bobinleri 36
Şekil 4.15. Süzülmeye bırakılan yün iplik bobinleri 36
Şekil 4.16. İplik bobini kurutma deney düzeneğinin şematik görünümü 37
Şekil 4.17. Otomatik klape sistem 38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Kuruma davraşını ifade etmede kullanılan bazı ampirik ve yarı ampirik modeller 39
Çizelge 5.2. Farklı basınç ve sıcaklıklardaki bobinlerin özellikleri 41
Çizelge 5.3. P_{eff}=0,5 bar ve T=90˚C için deneysel sonuçlar 42
Çizelge 5.4. P_{eff}=0,5 bar ve T=100˚C için deneysel sonuçlar 43
Çizelge 5.5. P_{eff}=1 bar ve T=80˚C için deneysel sonuçlar 44
Çizelge 5.6. P_{eff}=1 bar ve T=90˚C için deneysel sonuçlar 45
Çizelge 5.7. P_{eff}=1 bar ve T=100˚C için deneysel sonuçlar 46
Çizelge 5.8. P_{eff}=2 bar ve T=80˚C için deneysel sonuçlar 47
Çizelge 5.9. P_{eff}=2 bar ve T=90˚C için deneysel sonuçlar 48
Çizelge 5.10. P_{eff}=3 bar ve T=80˚C için deneysel sonuçlar 49
Çizelge 5.11. P_{eff}=0,5 bar için regrasyon analiz sonuçları 50
Çizelge 5.12. P_{eff}=1 bar için regrasyon analiz sonuçları 51
Çizelge 5.13. P_{eff}=2 bar için regrasyon analiz sonuçları 53
Çizelge 5.14. P_{eff}=3 bar için regrasyon analiz sonuçları 54

SİMGELER DİZİNİ

a : Ampirik sabit

b : Ampirik sabit

D : Difüzyon katsayısı [m^2/s]

e_s : Standart hata

g : Ampirik sabit

h' : Kütle transfer katsayısı

k : Ampirik sabit

m : Kütle [kg]

mr : Boyutsuz nem oranı

n : Ampirik sabit

n_c : Parametre sayısı

n_o : Ölçüm sayısı

P : Basınç [bar]

R : Gaz sabiti [J/(kgK)]

r : Korelasyon katsayısı

Rh : Bağıl nem

T : Mutlak sıcaklık [K]

t : Zaman

X : Nem oranı

χ^2 : Ortalama karesel sapma

Ψ_e : Denge nem miktarı

δ : Derişiklik sınır tabaka kalınlığı [m]

Alt indisler

b : Su buharı

d : Deneysel

e : Denge durumu

eff : Efektif

exp : Deneysel

k : Kuru

o : Başlangıç durumu

pre : Tahmini

s : Su

t : Teorik

y : Yaş

1.GİRİŞ

Tekstil sanayinde boyama işlemlerinden sonra iplik bobinlerinin kurutulması gelmektedir. Kurutma işlemi, tekstil endüstrisinin temel bileşenlerinden olan iplikçilik ve dokumacılık sektöründe terbiye işlemlerinden sonra yüksek miktarda enerji gerektiren, pahalı ve zaman alıcı prosestir. Kurutmanın amacı bu işlemler sırasında bobinin bünyesine aldığı nemin bobinden uzaklaştırılmasıdır.

Tekstil ürünlerinin kurutulması ürün üzerindeki nemin alınma şekline göre; mekanik yöntemlerle yapılan ön kurutma ve mamul üzerinde bulunan higroskopik (doğal) nemin kaybedilmeden, ısı transferi ile gerçekleşen esas kurutma şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Kurutulan ürünler için mekanik yöntemler olarak tanımlanan filtrasyon, presleme, santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi işlemler daha az güç gereksinimi ve birim uzaklaştırılan su için daha az maliyet gerektirmektedir. Ön kurutma ne kadar iyi yapılırsa, kazanılan enerji miktarı da o kadar yüksek olacaktır. Ön kurutmada mamulden uzaklaştırılacak su miktarı, büyük oranda mamulü oluşturan lif cinsi ve kumaş konstrüksiyonuna bağlı olmaktadır.

Mamulün ısı enerjisi ile kurutulması (esas kurutma) hem ürünün kurutma işlemi sırasında yapısına zarar verebilmekte hem de ekonomik değerinin azalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, tekstil ürünlerinin kurutulmasında esas kurutma zorunlu olup, ürüne zarar vermeden kurutma aşamaları etkin bir şekilde uygulanmak durumundadır. Esas kurutma sonrasında tekstil malzemesinde kalması gereken nem miktarı, higroskopik nem miktarıdır. Bu miktarın altına düşülmesi, tekstil materyalinin tutumunu bozar ve gereksiz enerji harcanır.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı, kurutma öncesi ısıl yöntemler dışında diğer yöntemlerle bobinden suyun mümkün olduğunca uzaklaştırılması daha ekonomik bir kurutma işlemi olacaktır. Bu nedenle bobin içindeki suyun bir kısmı ön kurutma yardımı ile bobinden atılır. Mekanik olarak yapılan bu işlem, bobin içerisindeki suyun

tamamının atılması için yeterli değildir. Mekanik kurutmayı takiben genelde sıcak hava yardımı ile kurutma işlemi yapılmaktadır.

Kurutmanın, sıcak havanın kurutulacak olan malzeme yüzeyi üzerinden geçirilerek yapıldığı cihazlarda, sıcak hava akımı, ısının malzemeye taşınım yoluyla geçmesini sağlarken, buharlaşan suyu da ortamdan uzaklaştırır. 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. Son yıllarda enerji maliyelerinin iyice artması ile birlikte bu tür faktörlerin kuruma hızına etkisinin matematiksel modeller yardımı ile belirlenmesi ve minimum enerji tüketimi ile malzemelerin kalitesini ve yapısını bozmadan, kuruma süresini en aza indirecek şekilde optimum kuruma proseslerinin tasarlanarak kurutma metotlarının geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır.

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 yönteme göre 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^oC, 70^oC, 80^oC ve 90^oC, 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 düzenekte 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 almış ve göz önünde bulundurulan iki bölgeli, 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 taşınımla ısı transferine maruz kalmaktadır. Ortaya konan problem silindirik geometride iki bölgeli, 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., (2002) 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 laboratuar 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 kullanmıştır. Sistemde kurutma havası elektrikli bir ısıcı 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.

Laboratuar 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^{o}C ve 116^{o}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 ısıl ve kütle dirençleri kullanılmıştır. İpliğin kuruması sırasında, dış kısmından 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 ısıl iletkenliğe sahip olduğu ve bu nedenle kurumuş olan bu kısımların ısı ve kütle transferine karşı yüksek direnç gösterdiği varsayılmıştır. Göz önünde bulundurdukları 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 noktasındaki 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 denklemine ve kütle difüzyonu ile ilgili olarak iki boyutlu Fick kanunları üzerine kurulmuştur. Fick denklemi, ısı iletimi için kullanılan Fourier

denklemine benzemektedir. Sadece Fourier denklemi içerisindeki sıcaklık ve ısıl difüzivite ifadelerinin yerini, Fick denkleminde sırasıyla nem içeriği ve nem difüzivitesi 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 ısıl 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 anlaşılmaya 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 Zhoungxuan, 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 içersinde bulunduğu ve malzeme yüzeyine kapiler hareket neticesinde taşındığı varsaymışlardır.

Akyol (2007) 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 ısısı 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 çözülerek hem ortaya konan matematiksel modelin, hem de belirlenen termofiziksel özelliklerin doğrulukları kontrol edilmiştir.

2. KURUTMA

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların giderilmesidir. Bununla birlikte kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısıl yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemlerini tanımlamaktadır.

Isıl yöntemler (termik kurutma) ile yapılan kurutmada öncelikle malzemedeki sıvı, buhar haline getirilir ve sonradan buhar malzemeden uzaklaştırılır. Bu işlemde bir hal değişikliği söz konusudur. Bu değişim buharlaşma veya buğulaşma şeklinde gerçekleşir.

Buharlaşmada malzeme üzerinde yalnız sıvının serbest kalan kendi buharı vardır ve buharın basıncı toplam basıncına eşittir. Bunu uzaklaştırmak için bir basınç farkına ihtiyaç vardır. Bu aspiratör veya vakum pompası olabilir. Buğulaşmada ise buhar gazla karışım halindedir; yani kurutulan malzeme üzerinde bir gaz bulunur ve serbest kalan buhar difüzyon yolu ile bu gaza karışarak uzaklaştırılır. Bu koşularda toplam basınç, karışım gazlarının kısmi basınçları toplamına eşittir. Buharın basıncı toplam basınçtan küçüktür. Buharın gaz içindeki hareketini, gaz içinde bulunan kısmi buhar basıncı farkı sağlar.

Kurutma işlemi için kullanılan sistemler, yani kurutucular sanayinin birçok dalında yaygın olarak (örneğin gıda, kimya, tekstil, kağıt, çimento, kereste sanayilerinde) kullanılmaktadır. Proses sırasında birden fazla değişik kurutucuda birkaç kez kurutma gerektiren ürünler de vardır. Örneğin süt tozu ve hazır çorba üretiminde olduğu gibi bir çözeltinin sıcak bir gaz akımı içerisine damlacıklar halinde püskürtülmesi ve sıvının buharlaştırılarak alınması bir prosesle gerçekleştirilen kurutma yöntemidir. Tekstil sanayinde kullanılan elyafların nemlerinin bir kısmı önce bir preste veya santrifüjde çıkarıldıktan sonra, kalan nemin bir kısmı da sıcak hava ile alınmaktadır.

Kurutma işlemi ve kurutucu seçiminde dikkate alınması gerekli temel etken istenen niteliklere sahip ürünün elde edilmesinde minimum enerji tüketimi ve mümkün maksimum kuruma hızına ulaşmaktır.

Kurutma işleminin uygulanması ile malzemenin taşıma, kullanım ve daha sonra uygulanması gereken işlemler vb. ekonomik olması için hacim ve ağırlığının azaltılması, kullanım, pazarlama vb. için istenen koşulları sağlayan malzemelerin üretilmesi, ürünlerin sterilizasyonu veya korunması, çözeltilerden veya atık sulu karışımlardan yan ürünlerin geri kazanılması gerçekleştirilebilir.

2.1 Nem Oranı

Islak bir malzemenin nem oranı, yaş ve kuru baza göre iki şekilde tanımlanır. Malzeme içerisindeki nem kütlesinin toplam malzeme kütlesine oranına yaş baza göre nem oranı denir.

$$X_y = \frac{m_s}{m_y} \tag{2.1}$$

Burada;

X_y : Malzemenin yaş baza göre nem oranı, kg nem/kg yaş madde

m_s : Malzemenin içerdiği su kütlesi, kg

m_y : Yaş malzemenin kütlesi, kg

Malzeme içerisindeki nem kütlesinin, malzemenin kuru kütlesine oranına kuru baza göre nem oranı denir.

$$X = \frac{m_s}{m_k} \tag{2.2}$$

Burada;

X : Malzemenin kuru baza göre nem oranı, kg nem/kg kuru madde

m_k : Malzemenin kuru kütlesi, kg

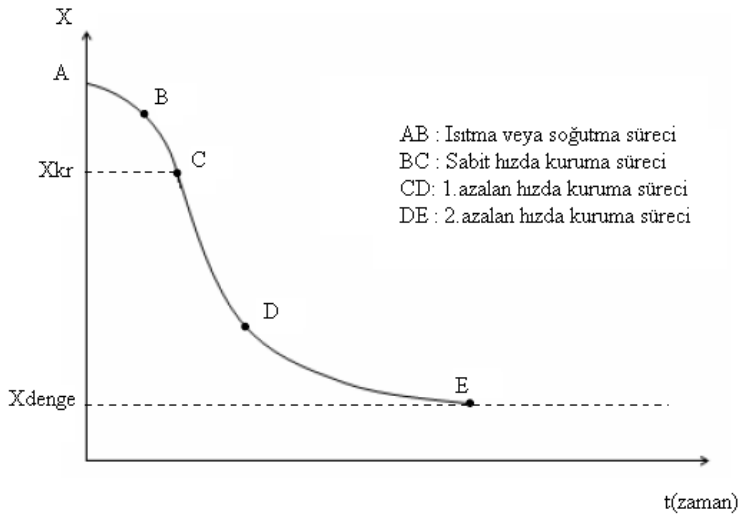
$m_s = m_y - m_k$ olduğundan, kuru baza göre nem oranı ile yaş baza göre nem oranı arasında aşağıdaki bağıntı vardır:

$$X = \frac{X_y}{1 - X_y} \tag{2.3}$$

2.2 Kuruma Süreci

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

Kritik nem seviyesinden daha az nem içeren malzemelerde, kuruma zamanı ilerledikçe malzemeden sürekli azalan miktarda nem alınır. Bu sürece de azalan hızda kuruma süreci adı verilir. Bazı malzemelerde azalan hızda kuruma süreci birkaç süreçte gerçekleşir. Bu süreçler 1.azalan hız süreci, 2.azalan hız süreci gibi adlandırılmaktadır.



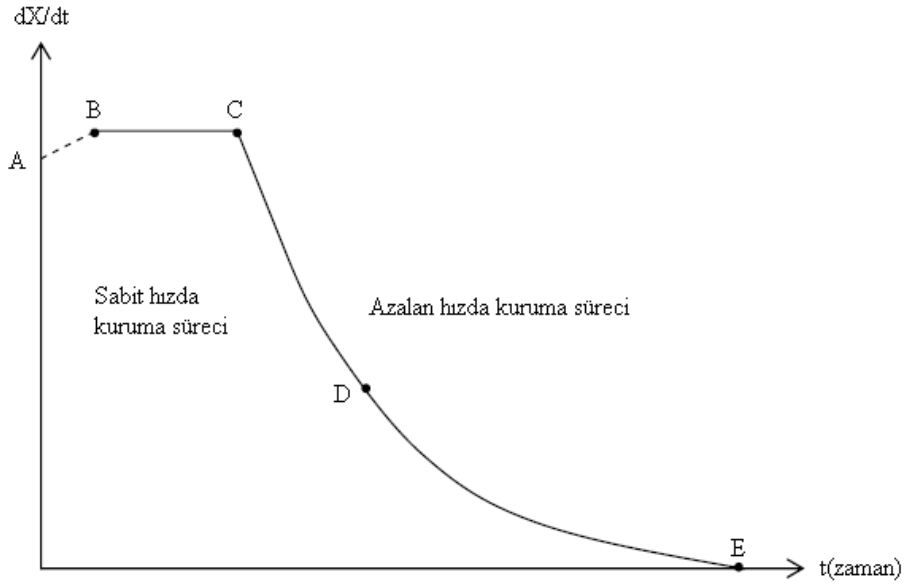
Şekil 2.1. Nem oranının zamanla değişimi

Nem oranının zamanla değişimi Şekil 2.1.'de gösterilmektedir. Bir ilk sıcaklık yükselmesini (AB) takiben pek çok durumda belli bir zaman süresince sabit hızda buharlaşma gerçekleşir (BC). Bu buharlaşma işlemi, buharlaşma oluşan yüzeydeki ısı transfer miktarının ayarlanması yoluyla kontrol edilebilir. Bu kademede, malzeme içerisindeki buhar veya sıvı şeklinde oluşan kütle transferi yüzeyi sıvıca doygun tutmak için yeterli olmakta ve buharlaşma işleminin hızını etkilememektedir. Bu mekanizma "Sabit Hızda Kuruma Süreci" olarak adlandırılmaktadır. Sabit hızda kuruma süreci, madde yüzeyinden buharlaşmayı sağlayacak miktarda nemin, iç kısımlardan madde yüzeyine transferi gerçekleştiği sürece devam eder. Nemli malzemelerin dış yüzeylerinde, bütün sıvı yüzeylerinde olduğu gibi, bir doymuş hava filmi oluşur. Madde yüzeyinin sıcaklığı, film mevcut iken temas ettiği havanın yaş termometre sıcaklığına eşittir.

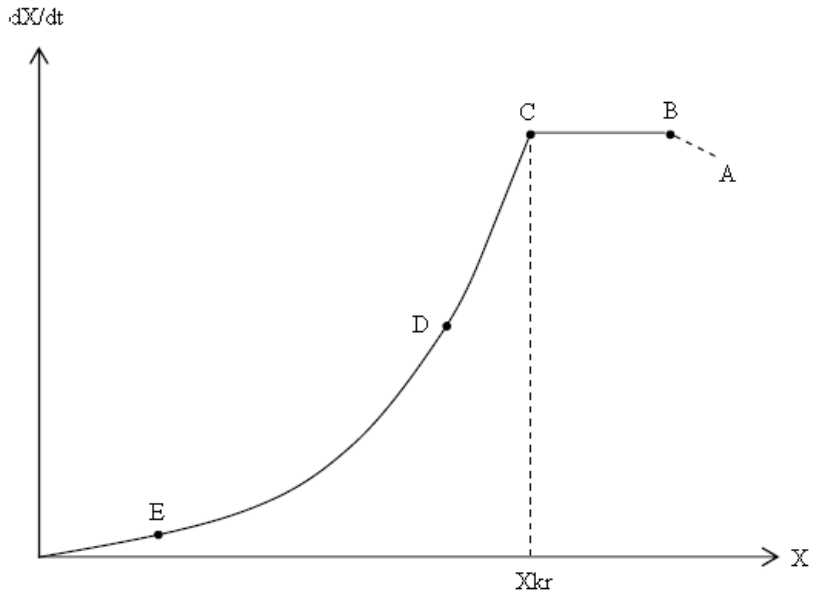
Şekil 2.2'de herhangi bir tekstil malzemesinin kurutma işlemi süresince kurutma hızı-kurutma zamanı değişimi gösterilmiştir. Burada AB bölgesi ısınmaya hazırlık kısmı olmakta ve mamul üzerindeki fazla sıvı nedeniyle kurutma hızı artış göstermektedir. Bu aşamada kurutma havası sıcaklığı, nemi ve hızı kurutma hızını etkileyen parametreler olmaktadır. BC bölgesi ise sabit hızda kurutma devresi olup, kurutmanın dengede

olduğu, kurutma hızının ise kurutma havasının özelliklerinin değişimine bağlı olduğu kısımdır. BC bölgesinde kütle transfer olayı ısı transferi ile dengelenmiş bulunmaktadır. Ancak malzemedeki nem miktarı azalmaya başladıkça, kılcal boşluklardaki sürtünme direncinin artması, iç dokunun yüzeye sıvı transferinin güçleştirmekte ve böylece yüzeyin sürekli nemli kalması zorlaşmaktadır.

Sabit hızda kurutma devresinin sona erdiği C noktası, kritik nokta olarak ifade edilir. Bu noktadan sonra kütle transferinde sürekli bir azalma gözlenir. CE bölgesi azalan kurutma devresi olmakta ve burada tekstil mamulü içerisinde bulunan şişme suyu ve higroskopik nemin mamulün yüzeyine transferi gerçekleşmektedir.



Şekil 2.2. Kuruma hızının zamana göre değişimi



Şekil 2.3. Kuruma hızının nem oranına göre değişimi

Kuruma ilerledikçe katı içerisindeki nem miktarında devamlı olarak azalma meydana gelir. Sonuçta madde içerisinden yüzeye nem transferi, sabit kuruma sürecinin sürmesini sağlayacak değerin altına iner. Yüzeyde ilk kuru noktanın görülmesi sabit kuruma hızı sürecinin sonunu belirler. Bu andaki nem içeriği (C) kritik nem olarak adlandırılır ve kritik nem; kurutulan malzemenin cinsine, boyutlarına, şekline ve kuruma hızına bağlıdır. Sabit kuruma sürecini, buharlaşma hızının sürekli olarak değiştiği "Azalan Hızda Kuruma" (CD) süreci takip eder. Azalan hız sürecinde kuruma hızını, katı maddenin iç gözenek yapısı ve içerisindeki nemin yüzeye akış modeli belirlemektedir. Kurutma havasının özelliklerinin kuruma hızı üzerine etkisi sabit hız sürecine göre daha az olur.

2.2.1. Sabit hızda kuruma süreci

Nemli veya ıslak olan malzemelerin dış yüzeyinde, bütün sıvı yüzeylerinde olduğu gibi doymuş hava filmi oluşur. Bu doymuş havanın sıcaklığı, havanın yaş termometre sıcaklığıdır. Doymuş hava içindeki su buharının kısmi basıncı P_{bo}, dış hava içindeki (malzemeyi kurutan) su buharının kısmi basıncı da $P_{b\infty}$ olsun. Birim malzeme yüzeyinden, birim zamanda buharlaşan nem miktarı şöyle hesaplanır:

$$\dot{m}_b = \frac{h'}{R_b T}(P_{bo} - P_{b\infty}) \tag{2.4}$$

Burada;

h': Kütle transfer katsayısı olup

$$h' = \frac{D}{\delta} \tag{2.5}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Burada;

δ : Derişiklik sınır tabaka kalınlığı, m

D : Difüzyon katsayısı, m^2/s

Dış şartlar sabit kaldığı sürece, buna bağlı olarak P_{bo}, $P_{b\infty}$ sabit kalır ve kuruma sabit bir hızda devam eder. Malzeme yüzeyine gelen sıvı beslemesi azalmaya başladığı an azalan hız süreci başlar.

2.2.2. Azalan hızda kuruma süreci

Azalan hız süreci, sabit hız sürecinin ardından başlar. Kritik nem oranı bu iki süreç arasında meydana gelir. Malzemenin nem oranı kritik nem oranından daha düşük olduğundan kuruma azalan hız sürecinde gerçekleşmektedir. Azalan hız süreci malzeme tarafından kontrol edilmektedir, büyük ölçüde dış şartlardan bağımsız olarak gerçekleşir.

Kurutmada amaç malzeme içindeki nemin uzaklaştırılması olduğuna göre malzemedeki nemin hangi şekil ve koşullarda hareket ettiğinin bilinmesi önem kazanır. Nemin iç hareketini kontrol eden mekanizmalar kapiler sıvı hareketi, sıvı difüzyon hareketi ve buhar difüzyonudur.

2.2.2.1. Kapiler sıvı hareketi

Sıvı hareketinde itici kuvvet kapiler çekme kuvvetidir. Bu kuvvet gözenek içerisindeki katı yapı ile sıvı gaz boşluğu arasındaki sınır yüzeylerin gerilmesinden doğan bir iç kuvvettir. Gözenek ne kadar küçük olursa sıvıdaki çekme kuvveti o oranda büyük olur.

2.2.2.2. Sıvı difüzyon hareketi

Sıvı difüzyonu, katının iç kısmında yüksek olan nem konsantrasyonu ile katı yüzeyinde daha düşük olan nem konsantrasyonu arasındaki farktan dolayı meydana gelir. Bu fark kuruma sırasında yüzeyde meydana oluşur (nem içeren gözeneksiz malzemelerin kuruma davranışı sıvı difüzyon hareketine dayanır). Bu mekanizmaya ait nem hareketi, tek fazlı katı çözeltilerin nemle birlikte bulunduğu sabun, tutkal ve jelatin gibi gözeneksiz malzemelerle ve suyun son kısmının kurumasında olduğu gibi bağıl nemin kurutulduğu kil, un, tekstil ürünleri, kağıt ve ağaç gibi belirli durumlarla sınırlıdır.

2.2.2.3. Buhar difüzyonu

Kısmi basınç farkının veya derişiklik farkının sebep olduğu moleküler harekete buhar difüzyonu denmektedir. Buhar difüzyonuna neden olan itici kuvvet malzeme içerisindeki suyun buhar basıncı ile ortam havası içerisindeki su buharının kısmi basıncı arasındaki farktır.

2.3. Hava Sıcaklığının Etkisi

Hava sıcaklığının yükselmesiyle birlikte, havanın içerisindeki su buharı tutulma özelliği de üstel olarak artış gösterir. Ayrıca yüksek hava sıcaklıkları yüzey suyu ve malzemeye ısı transfer hızlarının artmasını sağlar ve bunun sonucunda yüksek buharlaşma hızları oluşur. Bu durum ise malzeme içindeki nemin daha kolay ve hızlı bir şekilde yüzeye çıkmasını sağlayan itici, zorlayıcı bir etki yaratır.

Bu nedenle kurutulacak malzemeye herhangi bir zarar vermeksizin uygulanabilecek maksimum hava sıcaklığına bağlı olarak yüksek kurutma hızları elde edilebilir. Hava sıcaklığı, kurutma havasını ısıtmak için kullanılacak olan akışkan sıcaklığı ile de sınırlanmaktadır. Bununla birlikte yüksek hava sıcaklıklarının kurutma sistemine verilen enerji miktarının ve maliyetinin yükselmesi anlamını taşıdığı da unutulmamalıdır.

2.4. Hava Nem Miktarının Etkisi

Yüksek kurutma hızları, kurutma havasındaki nem miktarının minimum olması halinde elde edilir. Herhangi bir kuru termometre sıcaklığındaki hava içindeki nem miktarının artması, bu havanın ilave su buharı tutma kapasitesinde azalma oluşturur. Bu durum malzeme yüzeyinden buharlaşma miktarını azaltacak yönde etki de yapar.

Bu etkiler, düşük hava sıcaklıklarında ve havadaki nem miktarını doyma noktası yakınlarına ulaştığı durumlarda oldukça önem kazanır; ama sıcaklık yükselmesiyle bu etkiler zayıflamaya başlar.

2.5. Hava Akış Hızının Etkisi

Islak yüzeyden buharlaşma hızı, suya ısı akışına ve nemli yüzeydeki düzgün tabaka yoluyla yayılan buhar miktarına bağlıdır. Yüzey üzerinden geçen oldukça yüksek akış hızına sahip hava akımı, bu düzgün tabakanın kalınlığını azaltıcı yönde etki eder ve ısı transferinin ve aynı zamanda buharlaşma hızının artmasını sağlar. Hem su yüzeyinin hem de hava akımının türbülanslı olması buharlaşma miktarını artırır.

2.6. Higroskopiklik

Tekstil malzemelerinde tekstil liflerinin büyük bir kısmı belli bir dereceye kadar nem absorbe etme kabiliyetine sahiptir. Buna higroskopiklik özelliği adı verilmektedir. Bir başka ifadeyle higroskopiklik bir malzemenin kendi nem içeriğini lifleri vasıtasıyla ortam havasındaki nem durumuna göre dengeye ulaştıracak şekilde nem absorbsiyonu (nem tutma) veya desorbsiyonu (nemi bırakma) yardımı ile ayarlayabilme kabiliyetidir.

Higroskopik bir malzemede nem, malzemenin katı tanecikleri arasındaki boşluklarda hapsolmuştur (Keey,1972). Pek çok doğal ve el yapımı tekstil malzemesi bir dereceye kadar higroskopiktir. Bunların fiziksel özellikleri, fiziksel yapıları ve geçici davranışları yapılarında absorbe edilmiş toplam su miktarına bağlıdır.

Örneğin yün lifi kendi ağırlığına oranla %38 oranında nem absorbe edebilir (Fan vd.,2000). İnce gözenekli malzemeler ısı ve kütle transfer miktarlarında artışa sebep olan daha büyük özgül yüzey alanlarına sahiptirler. Pamuk yüne nazaran daha az miktarda nem absorbe eder. Ayrıca pamuk için absorbsiyon sırasında serbest kalan ısı miktarı yündekine oranla daha düşüktür. Naylon lifi doyma şartlarında %10 oranında nem absorbe eder. Naylon lifinin absorbe ettiği nem miktarı yünün absorbe ettiğinin yaklaşık olarak 10'da 1'i kadardır. Polyester bir lif tarafından absorbe edilen maksimum nem miktarı ise %1'in altındadır. Bu nedenle polyester, su absorbe etmeyen (higroskopik olmayan) bir malzeme olarak nitelendirilebilir (Le, vd., 1995).

Higroskopik olmayan malzemelerde, malzeme neme tamamen doymuş halde ise gözenek boşlukları sıvı ile, malzeme tamamen kuru ise hava ile doludur. Fiziksel olarak bağlı olan su miktarı ihmal edilebilir. Isıtma esnasında bu tür bir malzemede büzülme meydana gelmez. Higroskopik olmayan malzemelerde buhar basıncı sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Bazı seramik malzemeler, polimer partikülleri ve kum, higroskopik olmayan kapiler gözenekli malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Higroskopik malzemelerde büyük miktarda bağlı su mevcuttur ve ısıtma sırasında malzemede çoğunlukla büzülme meydana gelir. Higroskopik malzemelerde, iç buhar basıncının, doyma ve sıcaklığın fonksiyonu olduğu bir nem doygunluk seviyesi mevcuttur. Bu

ilişkiler denge nem izotermi olarak adlandırılır. Bu nem doygunluk seviyesinin üzerinde, buhar basıncı sadece sıcaklığın bir fonksiyonu olup, nem seviyesinden bağımsızdır. Bu nedenle belli bir nem seviyesinin üzerindeki bütün malzemeler higroskopik olmayan bir malzeme gibi davranır. Suyun higroskopik malzemeler içerisindeki transportu oldukça karmaşıktır. Bu tür malzemelerde bağlı olmayan serbest su malzemeden uzaklaştırılsa bile malzeme içerisinde önemli miktarda bağlı su kalır. Bu bağlı su katı yüzeyinin altından, kademeli olarak buharlaşarak uzaklaşır. Bu buharlaşma ise katı içerisindeki su buharının difüzyonu vasıtasıyla gerçekleşir.

Gözenekli bir higroskopik tekstil malzemesi; katı, sıvı ve gaz fazlarından oluşan bir karışım şeklinde düşünülebilir. Katı faz, katı malzemesinin kendisi (genelde yün, pamuk veya benzeri bir polimer) ile katı matriksinin içerisinde absorbe edilmiş olan bağlı sudan meydana gelir. Bu nedenle burada katı faz, katı ile sıvının bir karışımı olarak düşünülebilir. Katı fazın bu tanımı, bu fazdaki yoğunluğun, katının içerdiği su miktarına bağlı olduğu anlamına gelir. Sıvı faz, gözenekli katının yapısı içerisinde bulunabilen serbest sıvı sudan oluşur. Bu faz ayrıca katının gözenekleri arasındaki boşluklarda bulunan, fakat polimerik matriks içerisinde tutulmamış (absorbe edilmemiş) suyu da ihtiva edebilir. Gaz fazı ise sıvının buharı (su buharı) ile hareketsiz haldeki havanın birleşiminden meydana gelir. Bu faz su buharı ile havanın bir karışımı olduğundan, bu fazın yoğunluğu sabit olmayacak ve sıcaklık ile konsantrasyon gibi özelliklerin bir fonksiyonu olacaktır. Buhar yoğunluğu, buhar doyma yoğunluğundan daha yüksek olduğunda yoğuşma meydana gelir. Yoğuşma miktarı, gaz fazındaki buhar yoğunluğu ile yoğuşma yüzeyindeki buhar yoğunluğunun arasındaki fark ile orantılıdır.

3. İPLİĞİN KURUTULMASI

3.1. Tekstil Lifleri

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 üretilmektedir. 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.

3.2. İplik ve İplikte Aranan Özellikler

Tekstil liflerinin onlarcasının veya yüzlercesinin bir araya getirilip bükülerek, birbirleri üzerlerine sarılarak tutturulmaları sonucu iplikler oluşturulur. Delikli içi boş silindirik veya konik şeklindeki malzemeler üzerine ipliklerin belirli bir sarım sıklığı ile sarılmasıyla oluşturulan materyallere iplik bobini denmektedir. Şekil 3.1'de iplik bobinlerine ait bazı fotoğraflar bulunmaktadır.

İyi bir iplikte bulunması gereken özellikler aşağıda verilmiştir

- Düzgünlük: Düzgünlük, ince ve uzun liflerin kullanımı ile elde edilir.
- Sağlamlık: Kullanılan liflerin uzunluğuna bağlıdır. Büküm ile artırılabilir.
- Sertlik: İpliğin sertliği kumaşın kalitesini etkiler.
- Esneklik: İpliğin esneme kabiliyeti kullanım rahatlığı sağlar. İpliğin bu özelliği kullanım alanlarının seçiminde önemlidir.



Şekil 3.1. İplik bobinlerine ait bazı fotoğraflar

3.3. İplikte Bulunan Nemin Durumu

Bir tekstil ürünü ağırlığının yaklaşık olarak %150-300'ü kadar su tutabilir. Yaş bir tekstil ürününün üzerindeki suyun hepsi aynı durumda bulunmayıp, bulunduğu yere ve tekstil ürünüyle arasındaki bağ durumuna göre şu ayrım yapılabilir:

a) Damlayan su: Liflere hiçbir şekilde bağlı olmayan bu su kısmı, kendi ağırlığının etkisiyle aşağıya doğru akar ve tekstil ürününün alt tarafından damlar. Bu su kısmının mekanik yollarla uzaklaştırılması kolaylıkla mümkündür.

b) Yüzey suyu: İpliklerin yüzeyine adhezyon kuvvetleriyle bağlı olan bu su kısmının uzaklaştırılması için daha yoğun mekanik kuvvetlere gerek vardır. Fakat genellikle bu suyun da tamamı ön kurutma sırasında uzaklaştırılabilir.

c) Kapiler su: İpliklerin içerisinde liflerin yüzeyine adezyon kuvvetleriyle bağlı olan bu suyun ön kurutma sonucu ancak bir kısmı uzaklaştırılabilir.

d) Şişme suyu: Liflerin içerisinde miseller (tekstil liflerini oluşturan ince yapılar) arasında bulunan bu su kısmı, lif kesitlerinin şişmesine yol açmaktadır. Lif moleküllerine dipol kuvvetleriyle bağlı olan bu su kısmının mekaniksel

kuvvetlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Şişme suyu liflerden ancak ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılabilir.

e) Higroskopik su: Şişme suyu gibi liflerden içerisinde miseller arasında bulunan bu su, normal kuru bir tekstil mamulünde bulunması gereken nemdir. Bu nedenle, iyi bir kurutmanın sonunda, bu su kısmının liflerde kalması sağlanmaktadır. Higroskopik nemi uzaklaştırılan bir ürünün tutumu bozulur ve bu su bir kere uzaklaştırıldıktan sonra, lifler tarafından higroskopik olarak bir daha aynı miktarda alınamaz.

Tekstil mamullerinin kurutulmaları sırasında unutulmaması gereken önemli bir nokta, suyun ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılmasının, mekanik kuvveler yardımıyla uzaklaştırmaya nazaran çok daha pahalı olduğu konusudur. Bu nedenle suyun mümkün olan kısmı mekanik yolla uzaklaştırılmalı ve ancak bu şekilde uzaklaştırılamayan kapiler suyunun diğer kısmı ile şişme suyu ısı enerjisi yoluyla uzaklaştırılmalıdır.

Suyun uzaklaştırılma işlemi iki adımda yapılmaktadır:

1- Ön kurutma
2- Esas kurutma

3.4. Ön Kurutma

Tekstil mamulündeki mekanik yollarla uzaklaştırılabilecek olan suyun daha az enerji harcanarak uzaklaştırılması işlemine ön kurutma denir. Ön kurutma üç şekilde yapılmaktadır:

1- Sıkma
2- Santrifüjlama
3- Emme ve püskürtme

3.4.1. Sıkma

Yaş tekstil mamulünün belirli bir basınç altında kendi ekseni etrafında belirli bir hızda dönen merdaneler arasından geçirilmesiyle yapılır. Günümüzde en çok uygulanan ön kurutma yöntemidir.

3.4.2. Santrifüjleme

Yaş tekstil mamulündeki yüzey ve kapiler suyunun en etkin bir şekilde uzaklaştırılması santrifüj yardımıyla sağlanabilir. Santrifüjlerin iyi bir ön kurutma yapma avantajlarının yanında kırışıklık meydana gelme tehlikesi olan mamullerde kullanılmama sakıncaları vardır.

3.4.3. Emme ve püskürtme

Emme makineleri özellikle, kırışıklık meydana gelme tehlikesi fazla ve bastırmaya karşı hassas olan mamullerin ön kurutmalarında kullanılmaktadır.

3.5. Esas Kurutma

Mamul üzerindeki suyun ısı yardımıyla uzaklaştırılmasına kurutma veya esas kurutma denilmektedir. Tekstil yüzeylerinin kurutma işlemi dört esasa dayanır:

1- Konveksiyon kurutma: Bu kurutma yönteminde tekstil ürünü, yalnızca ısıtılmış hava veya kurutma gazı ile temas eder. Bu yöntemle daha çok ısıtılmış hava kullanılır. Ürün sıcaklığı daha düşük olduğu için havadan ürüne ısı transferi gerçekleşir ve ürün üzerindeki su buharlaşarak havaya geçer. Konveksiyon kurutma, bugün tekstilde en fazla kullanılan kurutma prensibidir. Günümüzde kullanılan makinelerin birçoğu bu prensiple çalışır.

2- Kontakt kurutma: Yaş tekstil mamulünün, ısıtılmış bir yüzeye direkt olarak değdirilerek ısı transferinin sağlanması ve suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır.

3- Yüksek frekanslı (radyasyonlu) 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. Levhaların yükü devamlı olarak (saniyede milyonlarca kez) değiştirildiğinden su moleküllerinin yerleşme şekli de değişmekte, bu sırada moleküllerin sürtünmesinden açığa çıkan ısı, suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Bu tür makinelerde santrifüjden çıkan bobinler taşıma çubukları ile alınır ve ray üzerinde sürekli olarak makineye girer ve kurutucudan çıkar.

4- IR (kızıl ötesi) ışınlarıyla kurutma: Işınlama yoluyla kurutmanın esasını, ısının, elektromanyetik dalgalar halinde daha sıcak olan maddeden daha soğuk olan maddeye doğru transferi oluşturmaktadır. Gözün görebileceği dalga boyundan daha uzun olan ışınlara IR yani enfraruj ışınları denir. IR ışınlarının mamul tarafından absorblanması sırasında ısı transferi gerçekleşir. Bu özellik nedeniyle kurutmalarda IR ışınlarından yararlanılmaktadır. IR kurutmada, mamulün absorblama derecesine bağlı olarak verimlilik artar. Bu nedenle tekstil mamullerinin açık veya koyu renkte boyanması, elyafın cinsi ve mamulün formu kurutmayı etkiler. Ayrıca bu mekanizma ile

malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur.

3.6. Tekstil Ürünlerinin Nem Çekme Özelliği

Tekstil mamullerinin önemli özelliklerinden biri belirli sıcaklık ve nemde su absorbe etme yeteneğidir. Tekstil ürününün absorbe ettiği nem miktarı elyafın türüne, şartlara ve atmosferdeki neme göre değişir.

Nemli bir ortama bırakılan kuru bir tekstil mamulü üzerine su toplanırken, nemli veya ıslak bir mamul kuru bir ortama bırakıldığında su kaybeder. Bu su absorbsiyonu ve kaybı bir denge durumu oluşuncaya kadar devam eder. Absorbe edilen su miktarı kadar absorblama hızı da göz önünde bulundurulmalıdır. Absorblama hızı, absorbe edilen suyun havaya geri verilme hızına eşittir. Yani bir tekstil mamulü ne kadar çabuk su absorbe ediyorsa, o kadar çabuk kurur; fakat bunu nem çekme özelliği ile karıştırmamak gerekir. Örneğin yün, miktar olarak en fazla nem çeken tekstil mamulü olduğu halde nem çekme hızı ve kuruması selülozik tekstil mamulüne göre yavaştır.

En fazla nem çeken tekstil mamulü yündür. Bundan sonra sırasıyla ipek, rayon, keten, pamuk asetat ipeği, pliamid, akrilik ve polyester gelir. Cam elyafı ise hiç nem çekmez.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Yün iplik bobini

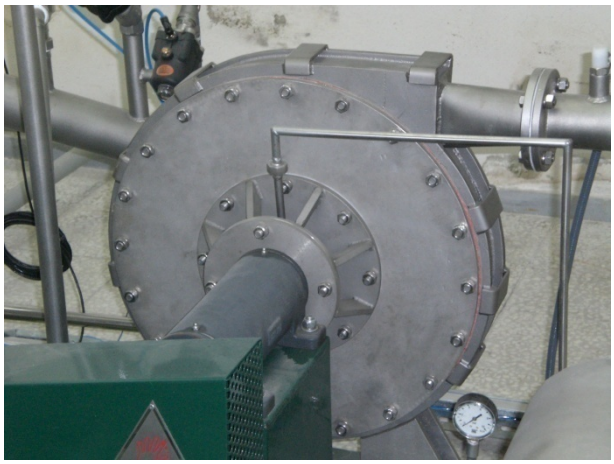
Çalışmamızda kullanılan içi boş silindirik geometriye sahip %65 yün ve %35 orlon karışımından oluşan yün iplik bobinleri kullanılmıştır. İç ve dış yarıçapları sırasıyla 33 mm ve 90 mm, yükseklikleri ise 155 mm'dir. Her bir deneyde 8'er adet yün ipliği kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan iplik bobinlerinin her birinin ortam şartlarıyla denge halindeki kütleleri yaklaşık olarak 1060±20 g'dır.



Şekil 4.1. Bobin kurutma deney düzeneğinin genel görünümü

4.1.2. Santrifüj fan

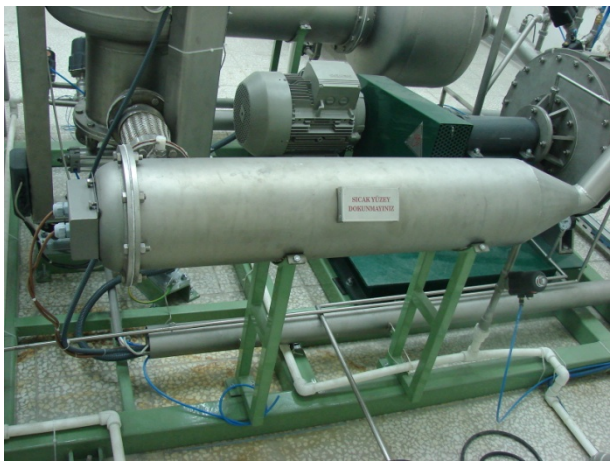
550 m^3/h hacimsel debi kapasitesine sahip hava fanı kurutucu içerisinde havanın sirkülasyonunu sağlamaktadır. Fan hızını kontrol eden frekans dönüştürücüsü ile fan devri, dolayısıyla sistemdeki kurutma havasının hızı ayarlanmaktadır. Bunun kontrolü ise PLC yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.2. Santrifüj fan

4.1.3. Isıtma eşanjörü

Isıtma kapasitesi max. 25 kW olan elektrikli ısıtıcılar kurutma havasını ısıtmakta olup sistemdeki havanın sıcaklığı PLC yardımıyla kontrol edilmektedir.



Şekil 4.3. Isıtma eşanjörü

4.1.4. Portmantiyer

İçerisine bobinlerin yerleştirildiği ve kurutulduğu haznedir. Portmantiyerde sıcak hava bobinlerin iç yüzeyinden girerek dış yüzeyini terk etmekte ve bu şekilde kuruma gerçekleşmektedir. Çalışma sıcaklığı max 130 ºC ve kapasitesi 16 bobindir.



Şekil 4.4. Portmantiyerin izolasyonlu gövdesi



Şekil 4.5. Portmantiyerin izolasyonlu gövdesi

4.1.5. Soğutma eşanjörü

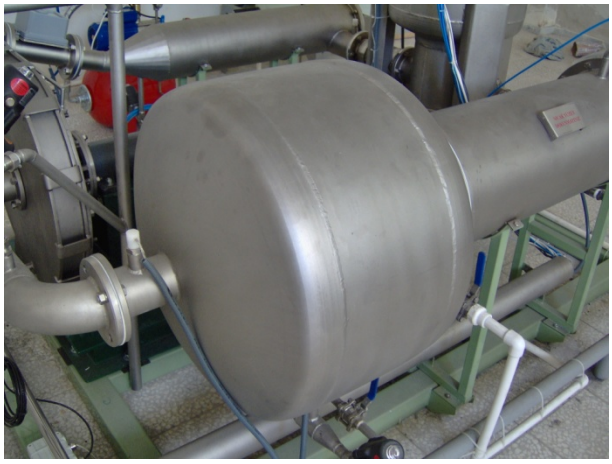
Portmantiyeri terk eden hava, soğuk su ile çalışan soğutma eşanjörüne girmektedir. Bu eşanjörde havanın sıcaklığı düşürülerek, kurutma havası içerisindeki nemin yoğuşması sağlanmaktadır.



Şekil 4.6. Soğutma eşanjörü

4.1.6. Seperatör

Seperatör yardımıyla havada asılı halde bulunan su damlacıkları ayıklanmak suretiyle kurutma havası içerisindeki nem uzaklaştırılmaktadır. Seperatörün alt kısmında bir su seviye elektrotu bulunmaktadır. Bu elektrot yardımıyla seperatörde yoğuşan suyun seviyesi tespit edilebilmekte ve su seviyesi yükseldiğinde elektrot uyarı vererek yoğuşan su tahliye edilmektedir.



Şekil 4.7. Seperatör

4.1.7. Debimetre

Sistemdeki kurutma havasının akış miktarını ölçer. Max. Debi 550 m^3/h



Şekil 4.8. Debimetre

4.1.8. Kompresör

Kurutucuya basınçlı hava kompresör yardımıyla gönderilmektedir. Maksimum gücü 15 kW'dır.



Şekil 4.9. Kompresör

4.1.9. Loadcell

Maksimum 600 kg ölçüm kapasitesine sahip loadcell kurutma işlemi boyunca iplik bobinlerinin ağırlıklarını tespit etmektedir. Böylece deney sırasında iplik bobinlerinden uzaklaştırılan nem miktarı da tayin edilmektedir.





Şekil 4.10. Loadcell

4.1.10. Nem sensörü

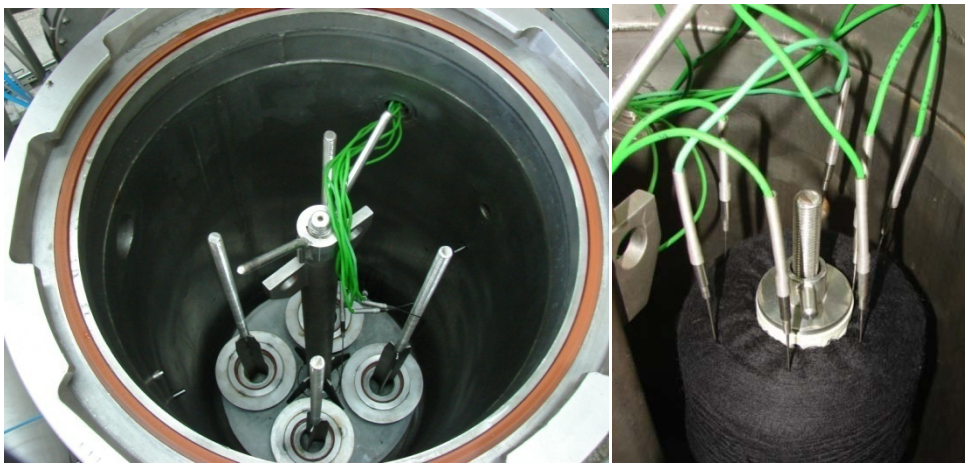
Kurutma havası içerisinde bulunan nem miktarını tespit etmektedir. Sensörün çalışma sıcaklık aralığı 40 ºC-200 ºC aralığındadır.



Şekil 4.11. Nem sensörü

4.1.11. Termokupllar

Bobin içindeki sıcaklık değişiminin ölçülmesi, iplik bobinleri içerisine radyal doğrultuda eşit aralıklarla, bobinin alt ve üst tarafından eşit mesafelerde yerleştirilen direkt PLC bağlantılı termokupllar yardımıyla yapılabilmektedir.



Şekil 4.12. Termokupllar

4.1.12. 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 4.13. PLC

4.2. Metot

Kurutmaya başlamadan önce bobinler 12 saat süreyle su havuzu içerisinde tutulmak suretiyle nemin iplikler arasına yeterince nüfuz etmesi sağlanmıştır. Su havuzunda tutulan bobinler daha sonra içerisindeki fazla nemin süzülmesi amacıyla 30 dakika süreyle bir ızgara üzerinde bekletilmiştir. Sanayide söz konusu olan kurutma proseslerinde süzülme işleminden sonra bobinler bir santrifüj makinesine konularak üzerindeki nemin bir kısmı uzaklaştırılmaktadır. Sıcak hava ile kurutma 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 ısıtıcılar çalıştırılmadan soğuk hava ile 10 dakikalık bir ön kurutma yapılarak nemin bir kısmı bobinden uzaklaştırılmıştır.



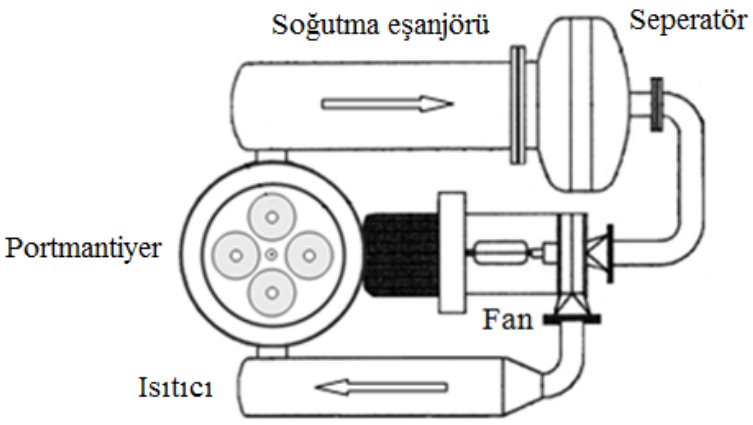
Şekil 4.14. Su havuzuna konulan yün iplik bobinleri



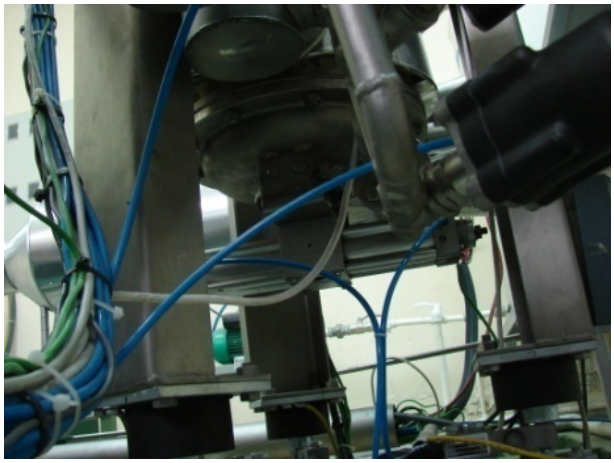
Şekil 4.15. Süzülmeye bırakılan yün iplik bobinleri

Deney tesisatı tekstil sanayinde kullanılan bobin kurutma makinesi göz önüne alınarak modellenmiştir. Deney düzeneğinde çevreden alınan kurutma havası bir fan vasıtasıyla ısıtma eşanjörü içerisinde bulunan ve toplam ısıtma gücü 25 kW olan elektrikli ısıtıcılara 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. Hava ısıtıcısından çıkan kurutma havası, içerisinde bobinlerin yerleştirildiği portmantiyer olarak adlandırılan bir hazneye gelmektedir. Portmantiyer kapağını açma, kapama ve kilitleme işlemleri portmantiyer kapağına bağlı pnömatik pistonlar aracılığıyla sağlanmaktadır. Bobin içindeki sıcaklık değişiminin ölçülmesi, iplik bobinleri içerisine radyal doğrultuda eşit aralıklarla, bobinin alt ve üst tarafından eşit mesafelerde yerleştirilen direkt PLC bağlantılı termokupllar yardımıyla yapılmaktadır. Ayrıca portmantiyerin giriş ve çıkış kısımlarına yerleştirilen nem sensörleri yardımıyla kurutma havasının nem miktarı da ölçülebilmektedir. Portmantiyerde meydana gelen kuruma işlemi, kurutma havasının bobinlerin iç yüzeyinden girerek, dış yüzeyini terk edecek şekilde gerçekleşmektedir. Sıcak havanın bu hareketi, deney tesisatında bulunan ve havayı yönlendiren bir klape sistemi yardımıyla sağlanmıştır. Portmantiyerden çıkan havanın özgül nemini düşürmek için kurutma havası önce bir soğutma eşanjörüne alınmaktadır. Soğutma eşanjörü soğuk suyla çalışmaktadır. Kurutma havasının içindeki nemin bir kısmı eşanjör yüzeyinde yoğuşmaktadır. Soğutucudan çıkan kurutma havası seperatöre gelmektedir. Seperatörde hava içerisinde asılı durumda bulunan su damlacıkları ayıklanmaktadır. Seperatörden sonra kurutma havası tekrar hava fanına gönderilmektedir. Sistem bu şekilde çalışmasına devam etmektedir.



Şekil 4.16. İplik bobini kurutma deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 4.17. Otomatik klape sistem

Deney tesisatında, deney süresince bobinlerin ağırlıkları bir elektronik terazi (loadcell) vasıtasıyla ölçülmektedir. Portmantiyer içindeki ve deney düzeneği üzerindeki değişik noktalarda havanın şartları ve iplik bobinlerinin ağırlıkları piyasada yaptırılmış özel bir bilgisayar yazılım programı aracılığıyla takip edilmekte ve otomatik kontrol aracılığı ile prosese müdahale edilmektedir. Proses ile ilgili tüm bilgiler (basınç, bobin içerisindeki sıcaklıklar, hava debisi, bobin ağırlıkları, vb.) pano üzerindeki operatör panelinden okunup kontrol edilebilmektedir.

5. MODELLER ve ANALİZ

Kuruma davranışları ampirik ve yarı ampirik modeller ile simule edilir. Literatürde kullanılan birçok model bulunmaktadır. Aşağıdaki çizelgede kullanacağımız modeller ve denklemleri yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Kuruma davranışını ifade etmede kullanılan bazı ampirik ve yarı ampirik modeller (Cihan ve Kahveci, 2008)

MODEL ADI	**MODEL DENKLEMİ**
Page	$mr=\exp(-kt^n)$
Henderson&Pabis	$mr=a\exp(-kt)$
Geometric	$mr=at^{-n}$
Wang&Singh	$mr=1+at+bt^2$
Two term	$mr=a_1\exp(-k_1t)+a_2\exp(-k_2t)$
Two term exponential	$mr=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$
Logarithmic	$mr=a_0+a\exp(-kt)$
Verma et al	$mr=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-gt)$
Midilli	$mr=a\exp(-kt^n)+bt$

Boyutsuz nem oranı mr;

$$mr = \frac{m - m_e}{m_o - m_e} \tag{5.1}$$

şeklinde tanımlıdır. (Sousa vd., 2001)

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]

5.1. Korelasyon Katsayısı

Korelasyon katsayısının fiziksel anlamı tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki uygunluğu gösterir. Pearson katsayısı olarak da bilinen bu katsayı genellikle r ile gösterilir. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında değişen değerler alabilir. Korelasyon katsayısının 0'a yakın ya da 0 olması demek tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasında hiçbir bağıntının olmadığı anlamına gelir. Genel olarak r>0,90 olduğunda tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasında bir uygunluk olduğu söylenebilir. Ayrıca korelasyon katsayısı hangi modelde 1'e daha yakın ise aynı zamanda standart hata ve ortalama karesel sapma da en küçük değerleri alacaktır. Bu ifade aşağıdaki şekilde tanımlıdır (Korkmaz, 2007).

$$r = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} mr_{\exp,i} - \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} \sum_{i=1}^{n_o} mr_{\exp,i}}{\sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} \left(mr_{pre,i}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i}\right)^2} \sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} \left(mr_{\exp,i}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{\exp,i}\right)^2}} \qquad (5.2)$$

Burada :

$mr_{pre,i}$: tahmin edilen nem oranı,

$mr_{exp,i}$: deneysel nem oranı,

n_o : ölçüm sayısı

5.2. Standart Hata

$$e_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} \left(mr_{pre,i} - mr_{exp,i}\right)^2}{n_o}} \qquad (5.3)$$

5.3. Ortalama Karesel Sapma

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_O} \left(mr_{pre,i} - mr_{exp,i}\right)^2}{n_o - n_c} \tag{5.4}$$

Burada n_c kurutma denklemindeki parametre sayısını ifade eder.

Deney kurutma sıcaklıklarında dokuz model için r, e_s ve χ^2 değerleri hesaplandı ve sonuçlar tablolarda verildi.

Yün iplik bobinleri için Henderson denklemi (Sousa vd., 2001) kullanılarak aşağıdaki bağıntılar yardımıyla, kurutma şartları için yün iplik bobinlerinin çevre ortamla denge durumundaki kütleleri hesaplanmıştır.

$$\Psi_e = 2{,}38\left(\frac{1}{T}\ln\left(\frac{1}{1-Rh}\right)\right)^{0{,}481} \tag{5.5}$$

$$m_e = m_{kuru}(1+\Psi_e) \tag{5.6}$$

D=18 cm çapındaki bobin için $m_{dengeortam,25^\circ C}$=997 g ve m_{kuru}=903 g olarak tespit edilmiştir. Farklı basınç ve sıcaklıklarda bobinlerin denge kütleleri psikrometrik diyagram yardımıyla Çizelge 5.2.' de hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Farklı basınç ve sıcaklıklardaki bobinlerin özellikleri

P(bar)	T(K)	Bağıl Nem(Rh)	m_{kuru}(g)	Ψe	m_e(kg)	$m_{e,toplam}$(kg)	m_o(kg)
0,5	363	0,02254	903	0,02267	0,92347	7,38774	17,33
0,5	373	0,01562	903	0,01873	0,91991	7,35928	16,95
1	353	0,03339	903	0,02783	0,92813	7,42503	16,55
1	363	0,02252	903	0,02266	0,92346	7,38767	16,59
1	373	0,01564	903	0,01873	0,91992	7,35933	16,40
2	353	0,03308	903	0,02770	0,92801	7,42411	16,18
2	363	0,02227	903	0,02253	0,92335	7,38679	16,21
3	353	0,03359	903	0,02791	0,92820	7,42563	16,90

5.4. Sıcak Hava ile Kurutmada Deneysel Kuruma Davranışı

D=18 cm çapındaki yün iplik bobinlerine ait deneysel sonuçlar çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. P_{eff}=0,5 bar ve T=90˚C için deneysel sonuçlar

0,5 bar 90˚C					
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**	**t(dk)**	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	17,33	1,0000	145	10,62	0,3246
5	16,32	0,8984	150	10,55	0,3178
10	15,49	0,8149	155	10,37	0,2996
15	15,25	0,7909	160	10,31	0,2936
20	14,73	0,7389	165	10,20	0,2824
25	14,56	0,7217	170	10,10	0,2726
30	14,35	0,7001	175	10,04	0,2667
35	13,95	0,6603	180	9,93	0,2554
40	13,75	0,6397	185	9,84	0,2471
45	13,42	0,6063	190	9,76	0,2382
50	13,27	0,5911	195	9,64	0,2264
55	13,04	0,5685	200	9,61	0,2230
60	12,95	0,5598	205	9,47	0,2097
65	12,68	0,5322	210	9,43	0,2054
70	12,63	0,5269	215	9,36	0,1980
75	12,43	0,5072	220	9,30	0,1920
80	12,23	0,4870	225	9,21	0,1837
85	12,06	0,4699	230	9,13	0,1753
90	11,94	0,4581	235	9,10	0,1719
95	11,83	0,4463	240	9,09	0,1714
100	11,70	0,4340	245	9,08	0,1700
105	11,60	0,4233	250	8,94	0,1562
110	11,41	0,4042	255	8,91	0,1528
115	11,31	0,3948	260	8,85	0,1469
120	11,24	0,3879	265	8,75	0,1366
125	11,18	0,3815	270	8,71	0,1332
130	10,98	0,3614	275	8,56	0,1174
135	10,88	0,3511	280	8,52	0,1139
140	10,76	0,3393	285	8,48	0,1096

Çizelge 5.4. P_{eff}=0,5 bar ve T=100˚C için deneysel sonuçlar

0,5 bar 100˚C					
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**	**t(dk)**	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,95	1,0000	105	10,72	0,3501
5	15,75	0,8748	110	10,54	0,3319
10	15,13	0,8107	115	10,51	0,3287
15	14,74	0,7695	120	10,44	0,3216
20	14,52	0,7465	125	10,31	0,3079
25	14,08	0,7002	130	10,14	0,2896
30	13,78	0,6697	135	9,98	0,2728
35	13,64	0,6550	140	9,82	0,2565
40	13,31	0,6204	145	9,74	0,2483
45	12,92	0,5796	150	9,69	0,2433
50	12,73	0,5598	155	9,57	0,2301
55	12,46	0,5313	160	9,42	0,2148
60	12,25	0,5094	165	9,23	0,1950
65	12,03	0,4870	170	9,10	0,1817
70	11,86	0,4697	175	9,01	0,1725
75	11,71	0,4540	180	8,98	0,1690
80	11,45	0,4260	185	8,93	0,1639
85	11,32	0,4133	190	8,78	0,1481
90	11,23	0,4031	195	8,68	0,1374
95	11,04	0,3833	200	8,60	0,1293
100	10,85	0,3644	205	8,51	0,1197

Çizelge 5.5. P_{eff}=1 bar ve T=80˚C için deneysel sonuçlar

1 bar 80˚C					
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**	**t(dk)**	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,55	1,0000	110	10,86	0,3762
5	16,05	0,9452	115	10,72	0,3607
10	15,82	0,9196	120	10,47	0,3339
15	15,35	0,8687	125	10,32	0,3168
20	15,03	0,8334	130	9,96	0,2778
25	14,72	0,7992	135	9,88	0,2691
30	14,60	0,7864	140	9,67	0,2462
35	14,30	0,7532	145	9,60	0,2381
40	13,85	0,7045	150	9,59	0,2371
45	13,55	0,6709	155	9,43	0,2199
50	13,23	0,6356	160	9,37	0,2136
55	13,11	0,6227	165	9,13	0,1868
60	12,88	0,5981	170	9,09	0,1820
65	12,57	0,5639	175	8,95	0,1676
70	12,37	0,5415	180	8,83	0,1536
75	12,25	0,5291	185	8,77	0,1473
80	11,81	0,4804	190	8,69	0,1382
85	11,75	0,4741	195	8,61	0,1296
90	11,54	0,4505	200	8,51	0,1189
95	11,24	0,4179	205	8,49	0,1168
100	11,13	0,4056	210	8,48	0,1156
105	10,89	0,3794	215	8,46	0,1135

Çizelge 5.6. P_{eff}=1 bar ve T=90˚C için deneysel sonuçlar

1 bar 90˚C		
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,59	1,0000
5	16,07	0,9429
10	15,42	0,8724
15	15,07	0,8348
20	14,74	0,7993
25	14,42	0,7642
30	14,13	0,7330
35	13,73	0,6894
40	13,34	0,6470
45	13,06	0,6168
50	12,62	0,5690
55	12,37	0,5415
60	12,07	0,5091
65	11,72	0,4710
70	11,54	0,4508
75	11,28	0,4226
80	11,21	0,4158
85	10,94	0,3856
90	10,76	0,3665
95	10,44	0,3315
100	10,26	0,3118
105	9,96	0,2790
110	9,80	0,2620
115	9,52	0,2317
120	9,40	0,2190
125	9,23	0,2005
130	9,13	0,1893
135	9,03	0,1785
140	8,86	0,1597
145	8,72	0,1448
150	8,70	0,1427
155	8,56	0,1278
160	8,41	0,1111

Çizelge 5.7. P_{eff}=1 bar ve T=100˚C için deneysel sonuçlar

1 bar 100˚C		
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,40	1,0000
5	15,87	0,9409
10	15,36	0,8847
15	15,06	0,8519
20	14,73	0,8157
25	14,13	0,7492
30	13,83	0,7158
35	13,33	0,6608
40	13,14	0,6397
45	12,71	0,5922
50	12,36	0,5534
55	12,02	0,5150
60	11,70	0,4805
65	11,39	0,4458
70	11,02	0,4049
75	10,85	0,3860
80	10,61	0,3590
85	10,30	0,3255
90	10,15	0,3082
95	9,85	0,2753
100	9,77	0,2661
105	9,51	0,2376
110	9,27	0,2110
115	9,16	0,1986
120	9,05	0,1868
125	8,81	0,1603
130	8,66	0,1441
135	8,56	0,1323
140	8,56	0,1323
145	8,37	0,1122

Çizelge 5.8. P_{eff}=2 bar ve T=80˚C için deneysel sonuçlar

2 bar 80˚C					
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**	**t(dk)**	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,18	1,0000	100	10,87	0,3932
5	15,94	0,9729	105	10,73	0,3771
10	15,73	0,9484	110	10,59	0,3620
15	15,32	0,9021	115	10,38	0,3375
20	15,04	0,8692	120	10,21	0,3181
25	14,68	0,8291	125	10,06	0,3013
30	14,36	0,7924	130	9,90	0,2829
35	14,09	0,7616	135	9,72	0,2618
40	13,76	0,7238	140	9,59	0,2472
45	13,44	0,6875	145	9,40	0,2260
50	13,14	0,6525	150	9,28	0,2121
55	12,87	0,6217	155	9,16	0,1987
60	12,60	0,5911	160	9,04	0,1848
65	12,42	0,5700	165	8,96	0,1759
70	12,13	0,5371	170	8,93	0,1720
75	11,99	0,5215	175	8,78	0,1552
80	11,77	0,4963	180	8,70	0,1458
85	11,61	0,4780	185	8,62	0,1364
90	11,32	0,4451	190	8,51	0,1234
95	11,07	0,4162	195	8,46	0,1184

Çizelge 5.9. P_{eff}=2 bar ve T=90˚C için deneysel sonuçlar

2 bar 90˚C		
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,21	1,0000
5	16,01	0,9773
10	15,60	0,9309
15	15,28	0,8946
20	14,96	0,8583
25	14,60	0,8175
30	14,20	0,7722
35	13,79	0,7257
40	13,36	0,6770
45	12,98	0,6339
50	12,58	0,5886
55	12,28	0,5546
60	11,99	0,5215
65	11,63	0,4810
70	11,42	0,4573
75	11,12	0,4236
80	10,89	0,3965
85	10,64	0,3683
90	10,40	0,3412
95	10,15	0,3135
100	9,96	0,2913
105	9,76	0,2692
110	9,58	0,2482
115	9,39	0,2272
120	9,25	0,2112
125	9,04	0,1874
130	8,90	0,1718
135	8,79	0,1586
140	8,62	0,1392
145	8,49	0,1248

Çizelge 5.10. P_{eff}=3 bar ve T=80˚C için deneysel sonuçlar

3 bar 80˚C					
t(dk)	**m(kg)**	**mr(kg)**	**t(dk)**	**m(kg)**	**mr(kg)**
0	16,90	1,0000	115	10,98	0,3747
5	16,51	0,9584	120	10,84	0,3604
10	16,06	0,9116	125	10,63	0,3382
15	15,68	0,8708	130	10,45	0,3191
20	15,34	0,8353	135	10,23	0,2955
25	15,16	0,8162	140	10,10	0,2821
30	14,93	0,7915	145	10,00	0,2712
35	14,55	0,7519	150	9,92	0,2635
40	14,21	0,7158	155	9,72	0,2418
45	13,94	0,6880	160	9,64	0,2336
50	13,73	0,6658	165	9,56	0,2249
55	13,58	0,6494	170	9,44	0,2130
60	13,25	0,6143	175	9,28	0,1955
65	12,98	0,5865	180	9,27	0,1950
70	12,70	0,5566	185	9,12	0,1790
75	12,47	0,5319	190	8,94	0,1594
80	12,26	0,5097	195	8,90	0,1553
85	12,09	0,4927	200	8,77	0,1415
90	11,79	0,4603	205	8,70	0,1347
95	11,62	0,4428	210	8,66	0,1301
100	11,43	0,4227	215	8,56	0,1193
105	11,30	0,4088	220	8,50	0,1136
110	11,09	0,3872	225	8,31	0,0936

5.5. Sıcak Hava ile Kurutmada Modelleme

Sıcak hava ile kurutulan iplik bobinlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 5.1 ’ de verilen ampirik ve yarı ampirik modeller kullanılmış, bu modellerin uygunluğunu ifade eden analiz sonuçları Çizelge 5.11-5.14 ‘ de verilmiştir.

Çizelge 5.11. P_{eff}=0,5 bar için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	90˚C	k=0,593 n=0,764	0,99451	0,00827	0,01751
	100˚C	k=0,684 n=0,819	0,99510	0,00575	0,01739
Henderson&Pabis	90˚C	a=0,892 k=0,492	0,98797	0,01776	0,02565
	100˚C	a=0,926 k=0,568	0,99106	0,01029	0,02327
Geometric	90˚C	a=0,396 n=0,114	0,50081	0,73677	0,16519
	100˚C	a=0,406 n=0,109	0,51926	0,55419	0,17079
Wang&Singh	90˚C	a=-0,423 b=0,053	0,97133	0,09241	0,00342
	100˚C	a=-0,544 b=0,090	0,97865	0,04491	0,04862
Two term	90˚C	a_1=0,840 k_1=0,400 a_2=0,160 k_2=10,217	0,99930	0,00103	0,00642
	100˚C	a_1=0,885 k_1=0,537 a_2=0,115 k_2=25,301	0,99849	0,00175	0,01013
Two term exponential	90˚C	a=0,148 k=2,805	0,99549	0,01342	0,02229
	100˚C	a=1,000 k=0,623	0,99177	0,02542	0,03658
Logarithmic	90˚C	a_0=0,059 a=0,851 k=0,505	0,98954	0,01529	0,02425
	100˚C	a_0=0,047 a=0,891 k=0,638	0,99180	0,00938	0,02283

Verma	90˚C	a=0,840 k=0,400 g=10,219	0,99930	0,00103	0,00630
	100˚C	a=0,885 k=0,537 g=25,375	0,99849	0,00175	0,00985
Midilli	90˚C	a=0,998 k=0,532 n=0,602 b=-0,031	0,99934	0,00096	0,00620
	100˚C	a=1,000 k=0,578 n=0,644 b=-0,047	0,99916	0,00096	0,00751

Çizelge 5.12. P_{eff}=1 bar için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80˚C	k=0,529 n=1,110	0,99823	0,00288	0,01201
	90˚C	k=0,683 n=1,107	0,99679	0,00412	0,01656
	100˚C	k=0,743 n=1,173	0,99880	0,00142	0,01045
Henderson&Pabis	80˚C	a=1,026 k=0,580	0,99581	0,00712	0,01887
	90˚C	a=1,017 k=0,723	0,99402	0,00778	0,02278
	100˚C	a=1,036 k=0,805	0,99330	0,00802	0,02484
Geometric	80˚C	a=0,431 n=0,106	0,41021	0,94139	0,21696
	90˚C	a=0,425 n=0,104	0,44620	0,67752	0,21253
	100˚C	a=0,433 n=0,101	0,44434	0,62574	0,21939
Wang&Singh	80˚C	a=-0,459 b=0,059	0,99855	0,00272	0,01166
	90˚C	a=-0,574 b=0,092	0,99812	0,00317	0,01453
	100˚C	a=-0,625 b=0,057	0,99929	0,00080	0,00784

Two term	80˚C	a_1=0,898 k_1=0,580 a_2=0,127 k_2=0,580	0,99581	0,00712	0,01989
	90˚C	a_1=0,572 k_1=0,723 a_2=0,445 k_2=0,723	0,99402	0,00778	0,02447
	100˚C	a_1=0,455 k_1=0,805 a_2=0,581 k_2=0,805	0,99330	0,00802	0,02701
Two term exponential	80˚C	a=1,607 k=0,701	0,99851	0,00240	0,01095
	90˚C	a=1,603 k=0,906	0,99735	0,00338	0,01500
	100˚C	a=1,706 k=1,057	0,99904	0,00112	0,00926
Logarithmic	80˚C	a_0=-0,131 a=1,132 k=0,452	0,99894	0,00167	0,00939
	90˚C	a_0=-0,189 a=1,777 k=0,517	0,99885	0,00140	0,00999
	100˚C	a_0=-0,211 a=1,218 k=0,009	0,99868	0,00148	0,01112
Verma	80˚C	a=-0,868 k=0,216 g=0,371	0,99898	0,00162	0,00922
	90˚C	a=-0,043 k=-0,322 g=0,602	0,99875	0,00162	0,01075
	100˚C	a=-1,327 k=0,249 g=0,428	0,99876	0,00142	0,01089
Midilli	80˚C	a=0,444 k=-0,630 n=-0,030 b=-0,224	0,97258	0,04343	0,04912
	90˚C	a=0,993 k=0,580 n=0,974 b=-0,043	0,99886	0,00139	0,01033
	100˚C	a=0,150 k=-1,736 n=-0,010 b=-0,334	0,97968	0,02280	0,04553

Çizelge 5.13. P_{eff}=2 bar için regresyon analiz sonuçları

Model	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80˚C	k=0,513 n=1,186	0,99935	0,00096	0,00731
	90˚C	k=0,647 n=1,279	0,99967	0,00037	0,00536
Henderson&Pabis	80˚C	a=1,050 k=0,599	0,99449	0,00872	0,02202
	90˚C	a=1,063 k=0,751	0,98888	0,01347	0,03219
Geometric	80˚C	a=0,457 n=0,099	0,39620	0,89819	0,22338
	90˚C	a=0,468 n=0,093	0,40779	0,68005	0,22872
Wang&Singh	80˚C	a=-0,456 b=0,057	0,99931	0,00119	0,00814
	90˚C	a=-0,545 b=0,074	0,99832	0,00261	0,01416
Two term	80˚C	a_1=0,004 k_1=0,599 a_2=1,047 k_2=0,599	0,99449	0,00872	0,02335
	90˚C	a_1=0,455 k_1=0,751 a_2=0,608 k_2=0,751	0,98888	0,01347	0,03500
Two term exponential	80˚C	a=1,724 k=0,783	0,99927	0,00111	0,00785
	90˚C	a=0,996 k=0,697	0,99173	0,02290	0,04197
Logarithmic	80˚C	a_0=-0,195 a=1,216 k=0,429	0,99922	0,00116	0,00825
	90˚C	a_0=-0,366 a=1,392 k=0,443	0,99797	0,00232	0,01391
Verma	80˚C	a=-1,025 k=0,154 g=0,317	0,99902	0,00192	0,01063
	90˚C	a=-1,650 k=0,134 g=0,295	0,99761	0,00347	0,01700
Midilli	80˚C	a=0,288 k=-1,115 n=-0,014 b=-0,257	0,97624	0,03512	0,04685
	90˚C	a=1,001 k=0,631 n=1,253 b=-0,008	0,99972	0,00032	0,00542

Çizelge 5.14. P_{eff}=3 bar için regresyon analiz sonuçları

Modeller	Sıcaklık	Sabitler	r	e_s	χ^2
Page	80˚C	k=0,500 n=1,089	0,99864	0,00230	0,01047
Henderson&Pabis	80˚C	a=1,018 k=0,540	0,99678	0,00553	0,01622
Geometric	80˚C	a=0,438 n=0,104	0,41009	0,94858	0,21253
Wang&Singh	80˚C	a=-0,435 b=0,054	0,99868	0,00301	0,01197
Two term	80˚C	a_1=0,086 k_1=0,540 a_2=0,932 k_2=0,540	0,99678	0,00553	0,01706
Two term exponential	80˚C	a=-2,341 k=-0,030	0,96611	0,12890	0,07834
Logarithmic	80˚C	a_0=-0,125 a=1,120 k=0,425	0,99954	0,00074	0,00608
Verma	80˚C	a=-0,763 k=0,212 g=0,364	0,99952	0,00082	0,00641
Midilli	80˚C	a=0,994 k=0,465 n=1,013 b=-0,018	0,99952	0,00076	0,00634

6. SONUÇ

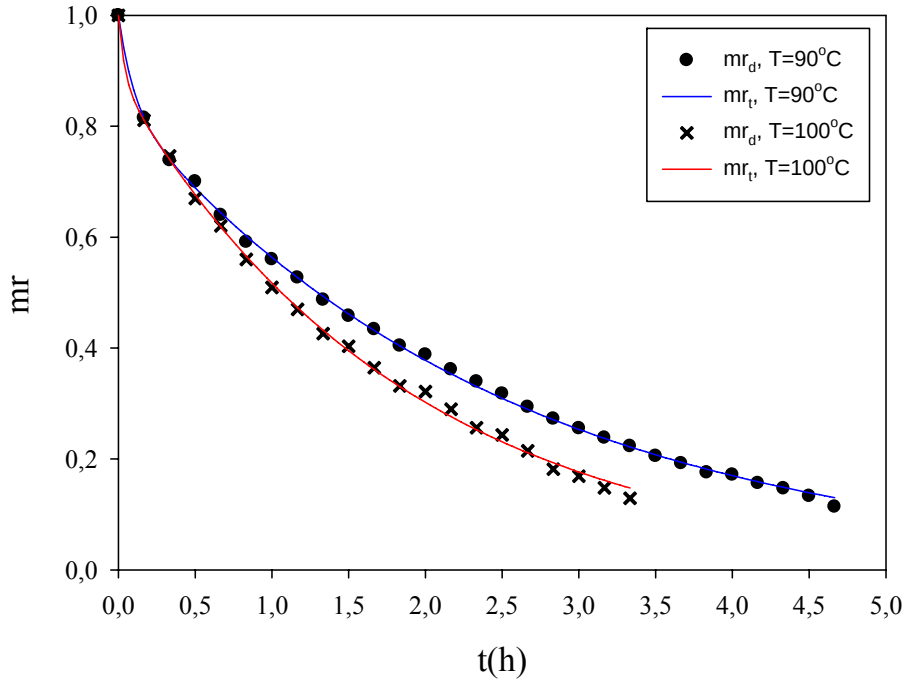
Yapılan bu deneysel çalışma sıcak hava ile kurutma işleminde, yün iplik bobininin en uygun kurutma şartlarının belirlenmesini ifade etmektedir.

Sonuçlar kurutma havası sıcaklığının ve kurutma havası basıncının kurumayı önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Sıcaklığın artmasıyla kuruma süresinde düşüşler olduğu gözlenmiştir. Fakat basıncın artmasıyla kuruma önce hızlanmakta daha sonra yavaşlamaktadır.

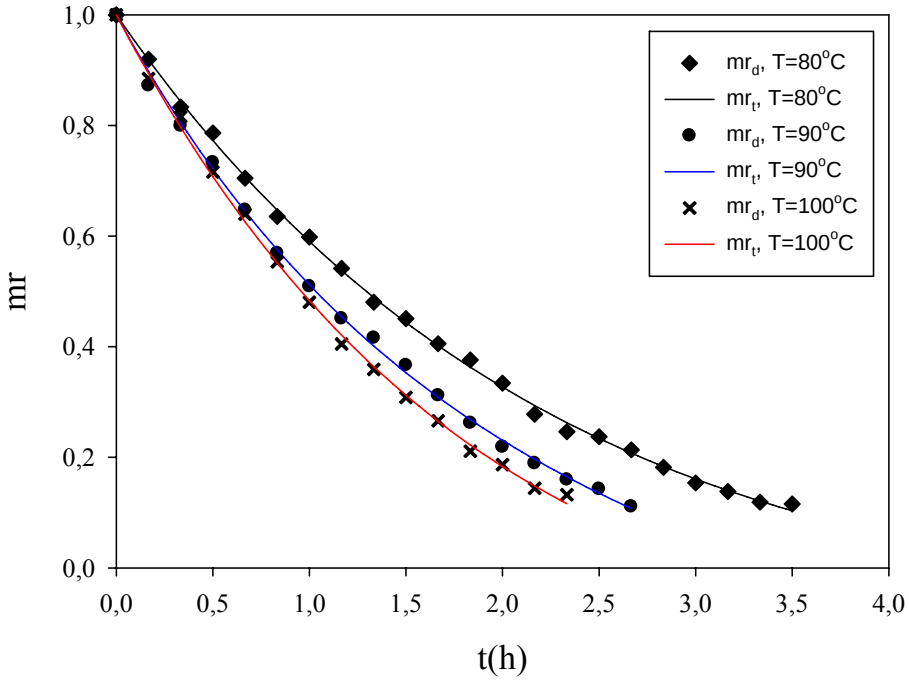
Kurutma basıncının artmasıyla artan kuruma havası kütlesi kuruma havası üzerinde pozitif bir etki yaratmaktadır. Ancak basıncın artmasıyla bobinden birim hava kütlesi başına alınan nemde de bir azalma söz konusu olmaktadır. Bu etkiler sonucunda basıncın artmasıyla kuruma hızında önce bir artış sonra bir azalış söz konusu olmaktadır. Şekillerden görüleceği üzere sıcaklığın 80˚C'de sabit kalıp basıncın artmasıyla birlikte kuruma sürelerinin önce azaldığı daha sonra arttığı görülmektedir. Ayrıca şekillerden de görülebildiği gibi, örneğin Şekil 6.1'e baktığımız zaman kurutma havası sıcaklığının 90˚C'den 100˚C'ye çıkarılması durumunda yaklaşık 80 dakikalık bir zaman farkının olduğu görülmektedir.

Regresyon analizine göre, deneysel verilerin en iyi uygunluğunu sağlayan modelin Verma modeli olduğu, bunun yanında Page modelinin de bu analize göre uygunluğu görülmektedir. Geometric modelin ise en kötü model olduğu, deneysel ve teorik verilerin birbiriyle örtüşmediği, açık bir şekilde görülmektedir.

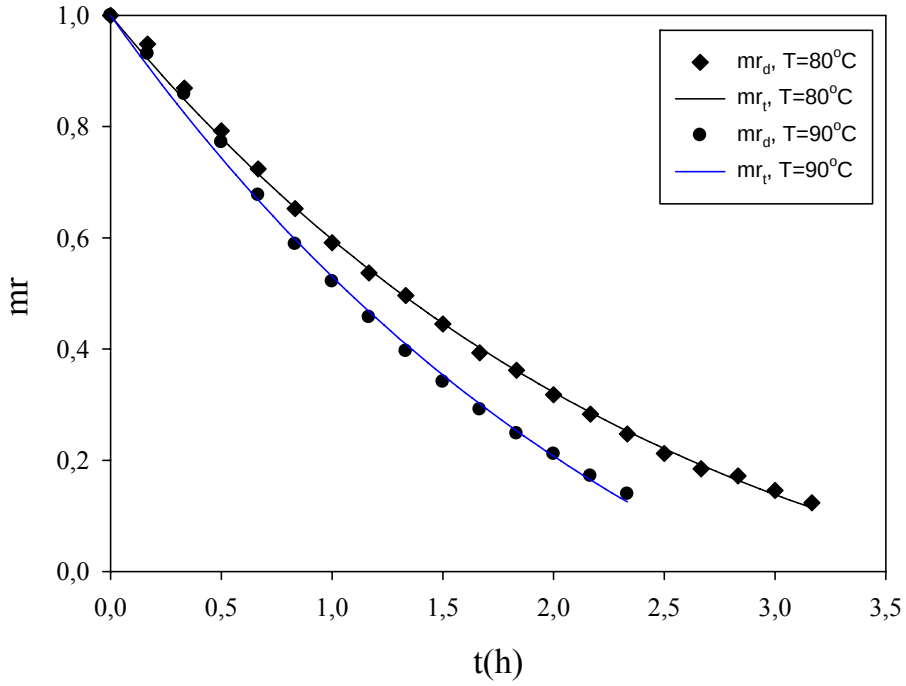
Regresyon analizi sonuçlarına göre, Verma, Page ve Geometric modellerine ait deneysel ve teorik kuruma eğrileri Şekil 6.1-6.12 ' de gösterilmiştir.



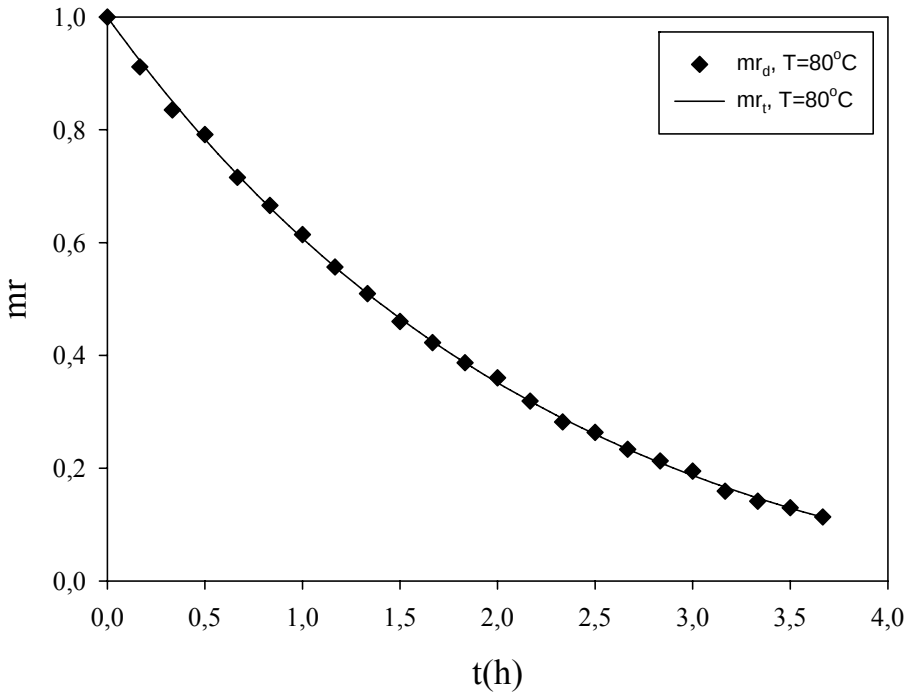
Şekil 6.1. P_{eff}=0,5 bar basıncında mr-t grafiği (Verma)



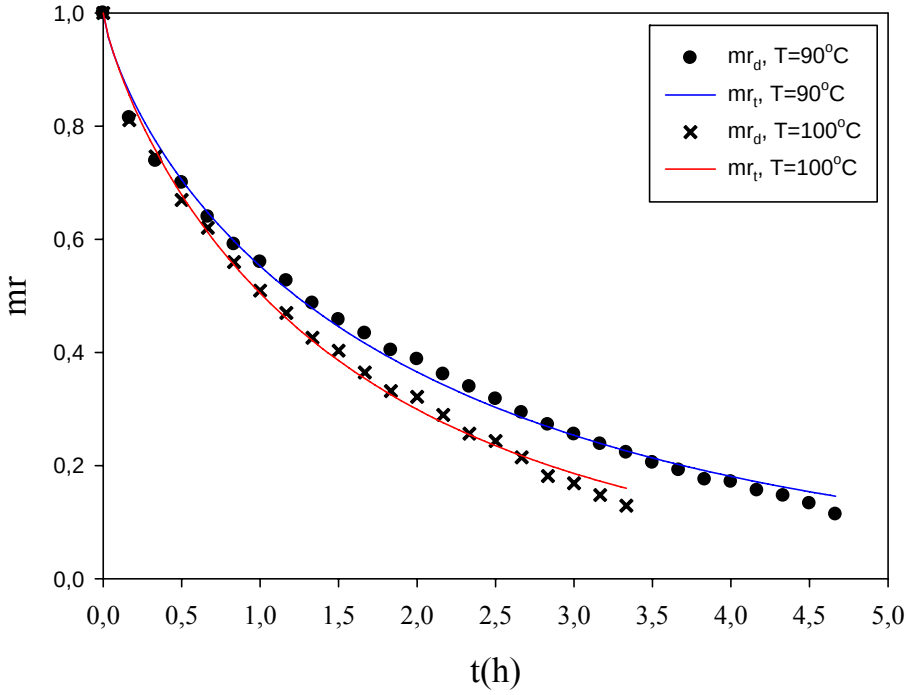
Şekil 6.2. P_{eff}=1 bar basıncında mr-t grafiği (Verma)



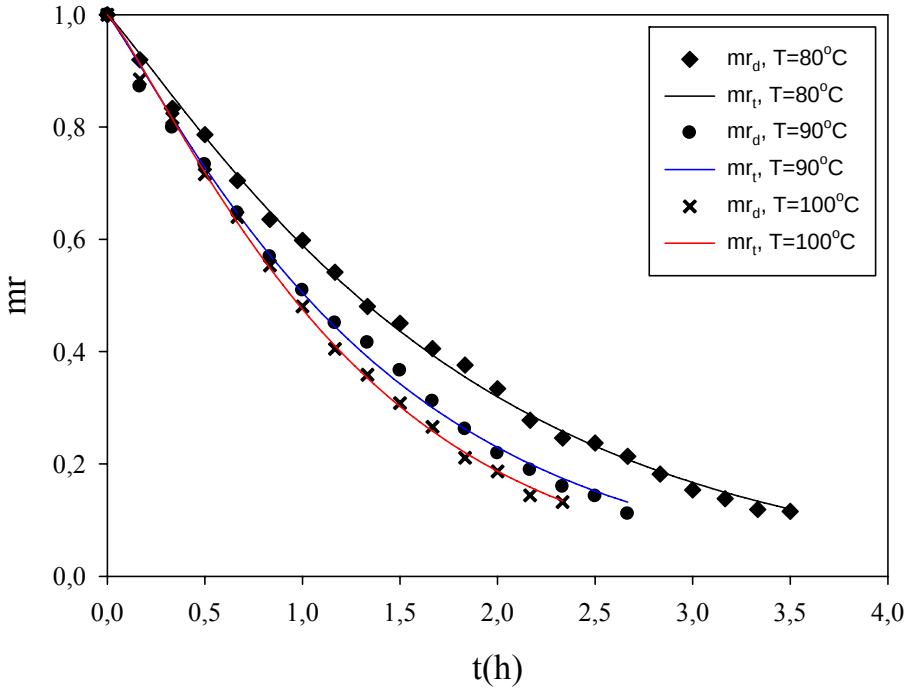
Şekil 6.3. P_{eff}=2 bar basıncında mr-t grafiği (Verma)



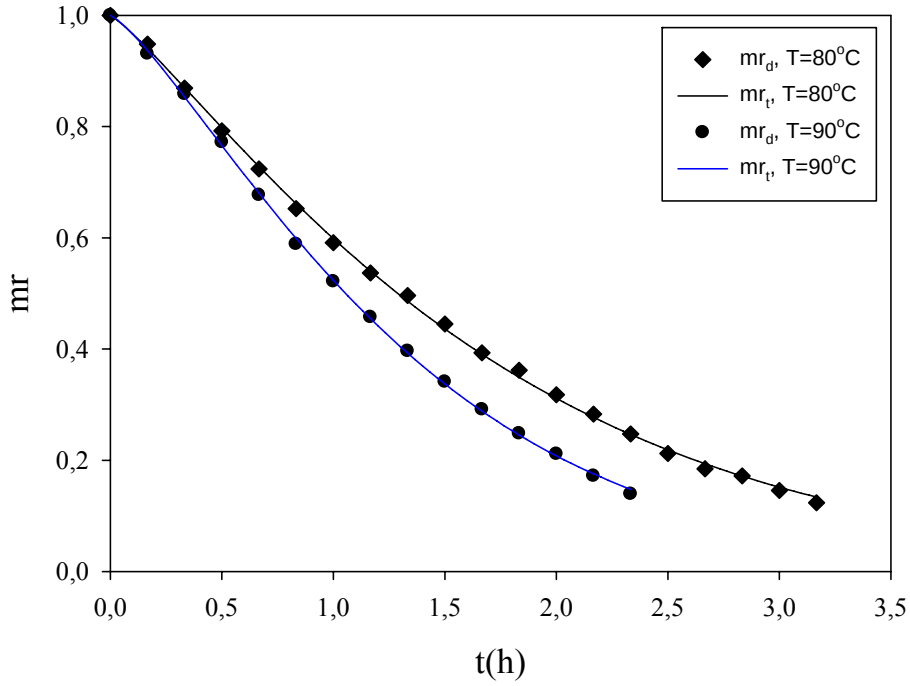
Şekil 6.4. P_{eff}=3 bar basıncında mr-t grafiği (Verma)



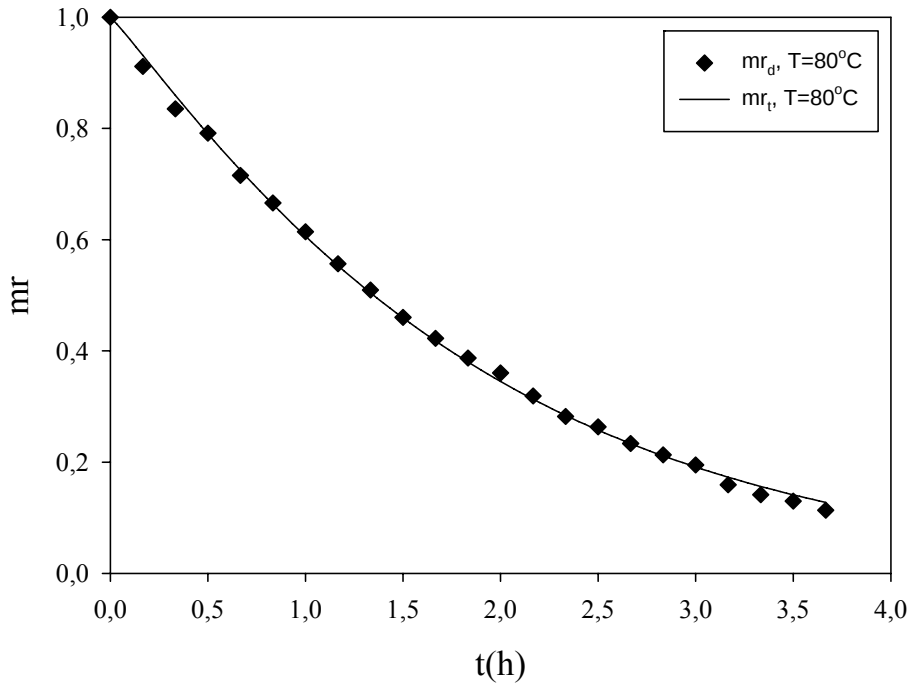
Şekil 6.5. P_{eff}=0,5 bar basıncında mr-t grafiği (Page)



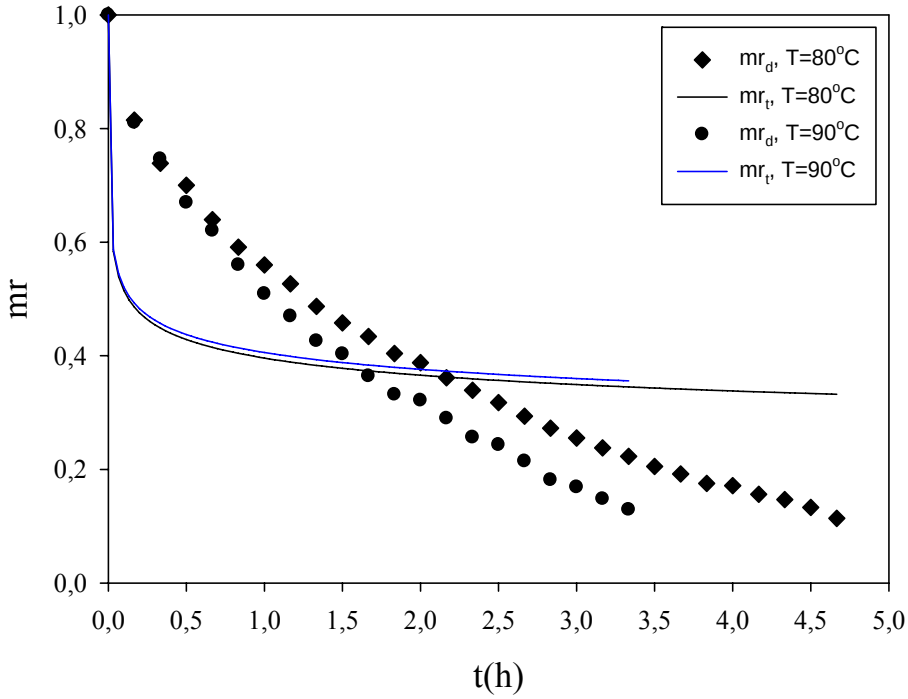
Şekil 6.6. P_{eff}=1 bar basıncında mr-t grafiği (Page)



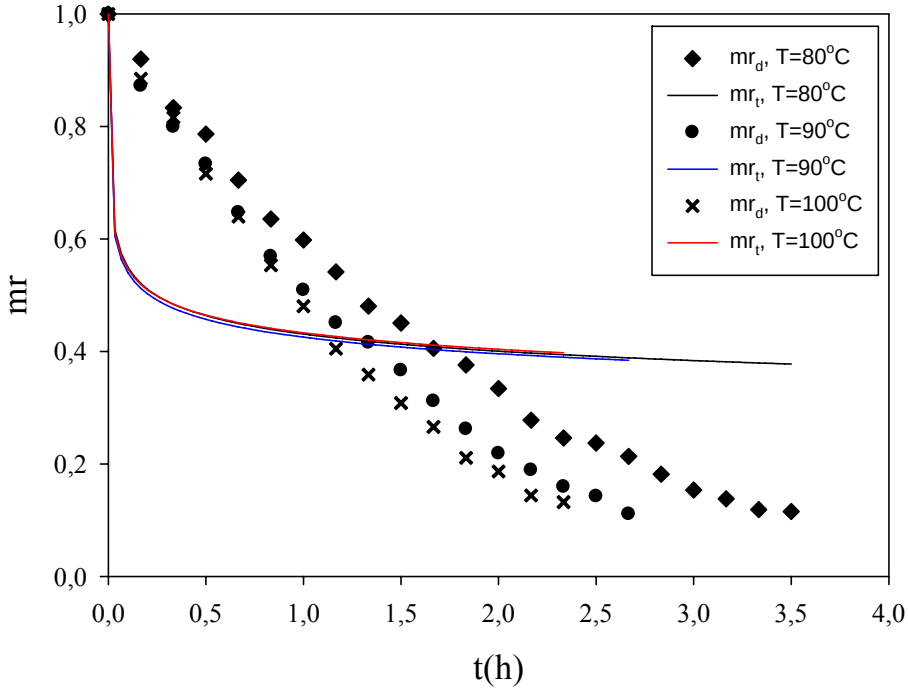
Şekil 6.7. P_{eff}=2 bar basıncında mr-t grafiği (Page)



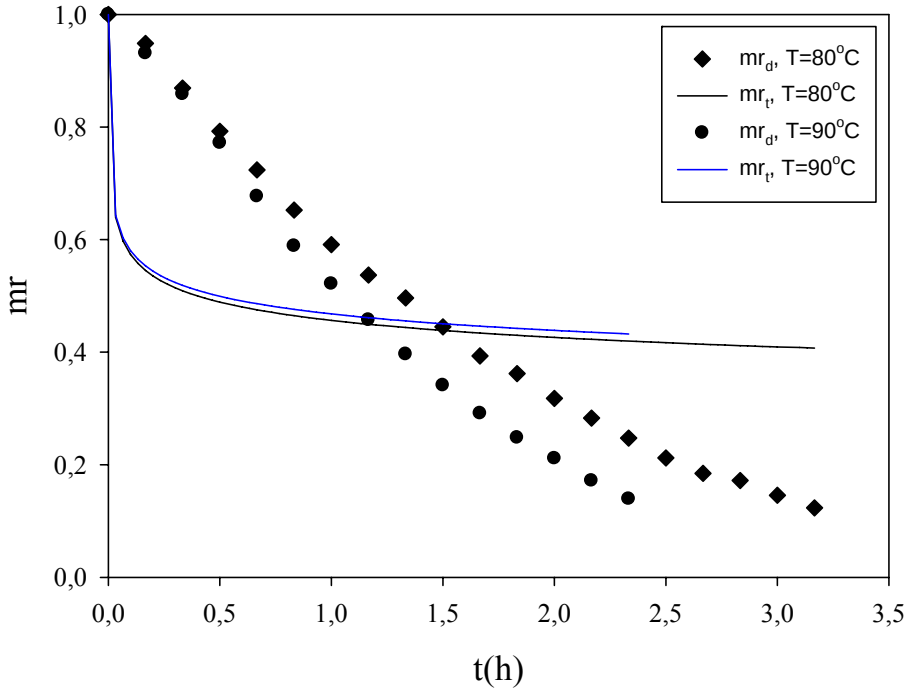
Şekil 6.8. P_{eff}=3 bar basıncında mr-t grafiği (Page)



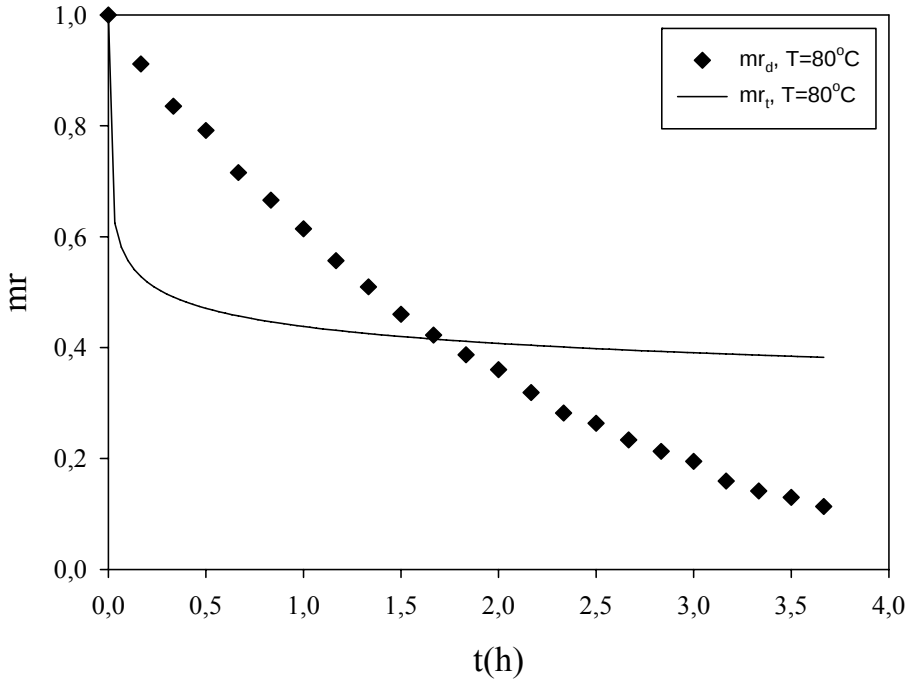
Şekil 6.9. P_{eff}=0,5 bar basıncında mr-t grafiği (Geometric)



Şekil 6.10 P_{eff}=1 bar basıncında mr-t grafiği (Geometric)



Şekil 6.11 P_{eff}=2 bar basıncında mr-t grafiği (Geometric)



Şekil 6.12 P_{eff}=3 bar basıncında mr-t grafiği (Geometric)

KAYNAKLAR

Akarslan F, 2002, "Tekstil Mamul Özelliklerinin Kurutma Etkinliğine Etkisi", 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.

Cihan A, 1991, "Çeltik Kurutmasının Deneysel ve Teorik Araştırılması", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Cihan A, Kahveci K, 2008, "Drying of Food Materials Transport Phenomena, Nova

Cihan A, Kahveci K, Hacıhafızoğlu O, 2007, "Modelling of Intermittent Drying of Thin Layer Rough Rice", Journal of Food Engineering, 79, 293-298.

Çelen S, Kahveci K, Akyol U, Haksever A, 2010, "Drying Behavior of Cultured Mushrooms", Journal of Food Processing and Preservation, 34, 27-42.

Dietl C, Winter ERF, Viskanta R, 1998, "An Efficient Simulation of the Heat and Mass Transferr Processes during Drying of Capillary Porous Hygroscopic Materials", International Journal of Heat and Mass Transfer, 41, 3611-3625.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2009, "Sanayide Enerji Yönetimi Esasları", 4, 1-14.

Fan J, Luo Z, Li Y, 2000, "Heat and Moisture Transfer with Sorption and Condensation in Porous Clothing Assemblies and Numerical Simulation", International Journal of Heat and Mass Transfer, 43, 2989-3000.

Gibson PW, Charmchi M, 1997, "Modeling Convection/Diffusion Processes in Porous Textiles with Inclusion of Humidity Dependent Air Permeability", International Communications in Heat and Mass Transfer, 24, 5, 709-724.

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.

Haghi AK, 2003, "Thermal Analysis of Drying Process: A Theoretical Approach", Journal of Thermal Analysis, 74, 827-842.

Hussain MM, Dinçer İ, 2003, "Two-Dimensional Heat and Moisture Transfer Analysis of a Cylindrical Moist Object Subjected to Drying: A Finite-Difference Approach", International Journal of Heat and Mass Transfer, 46, 4033-4039.

Kahveci K, 1998, "Çeltiğin Yığın Halinde Kuruma Davranışı", Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Keey RB, 1972, "Drying Principles and Practice", Pergamon Press.

Korkmaz C, 2007, "Mısırın Kuruma Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi ve Değişik Modellerle Simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Le CV, Ly G, Postle R, 1995, "Heat and Moisture Transfer in Textile Assemblies, Part I: Steaming of Wool, Cotton, Nylon, and Polyester Fabric, Textile Research Jouırnal, 65, 4: 203-212.

Lee HS, Carr WW, Beckham HW, 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, Zhoungxuan 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 KW, 2002, "Influence of Thickness and Porosity on Coupled Heat and Liquid Moisture Transfer in Porous Textiles", Textile Research Journal, 72, 5, 435-446.

Nastaj JF, 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 RT, Kadem FD, Koç E, 1999, "Tekstilde Kurutma Yöntem ve Makinaları", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 2, 803-809.

Ribeiro J, Ventura JMP, 1995, "Evaluation of Textile Bobbins Drying Processes: Experimental and Modelling Studies", Drying Technology, 13, 1-2, 239-265.

Smith MC, Farid M, 2004, " A Single Correlation fort he Prediction of Dehydration Time in Drying and Frying of Samples Having Different Geometry and Size", Journal of Food Engineering, 63, 265-271.

Sousa LHCD, Pereira NC, Lima OCM, Fonseca EV, 2001, "Equilibrium Moisture Isotherms of Textile Materials, 23, 6, 1363-1368.

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

Erhan Akyol, 1984 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladıktan sonra 2003 yılında giriş yaptığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya başladı. 2009 yılından bu yana Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.