T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKİL İPLİK ÜRETİM HATTINDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN İPLİK ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mert PATKAVAK

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Hakan DEMİR

Temmuz, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKİL İPLİK ÜRETİM HATTINDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN İPLİK ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mert PATKAVAK tarafından hazırlanan tez çalışması 30.06.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hakan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hakan DEMİR, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Özden AĞRA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA, Üye
Trakya Üniversitesi _____

Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Hakan DEMİR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Tekil İplik Üretim Hattında Soğutma Sisteminin İplik Üzerine Etkisinin İncelenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mert PATKAVAK

İmza

Bu çalışma, TÜBİTAK 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı ile desteklenmiştir.

Aileme,

biricik eşime

ve

dostlarıma...

TEŞEKKÜR

Bu doktora tez çalışmasına olanak sağlayan, yorumları ve eleştirileriyle çalışmaya yön veren, çalışmanın farklı aşamalarında bilgi ve tecrübesini paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hakan DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öneri ve yorumlarıyla çalışmama destek olmasının yanında kariyer anlamında da birçok konuda yardım eden hocalarım Sayın Prof. Dr. Özden AĞRA ve Sayın Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Isı Proses Dalı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında desteğini hiç eksik etmeyen, bilgi ve becerileriyle her zaman yol gösteren değerli hocam Sayın Arş. Gör. Alişan GÖNÜL'e teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışma konusu seçiminde beni yönlendiren ve çalışmama olanak sağlayan Sayın Murat GÖKTEN'e, çalışmamı destekleyen ve beni bu yönde teşvik eden Sayın Zayim SAYGILI ve Sayın Devrim ÖZAYDIN'a teşekkür ederim.

Varlıklarıyla her zaman bana güç veren, her şeyi yapabileceğime beni inandıran, eğitim hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği sağlayan ve bana bir kere olsun hayır demeyen biricik aileme sonsuz teşekkür ediyorum.

Hayata daha kararlı devam etmemi sağlayan, tüm zorlukları benimle paylaşan, bugüne kadar tanıdığım en özel insana, Sayın Derya PATKAVAK'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, doktora çalışmalarım boyunca beni maddi açıdan destekleyen, ülkemizde her zaman bilimin destekçisi olan TÜBİTAK' a teşekkürü borç bilirim.

Mert PATKAVAK

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1 GİRİŞ 20
1.1 Literatür Özeti 20
1.2 Tezin Amacı 20
1.3 Hipotez 21
2 GENEL BİLGİLER 22
2.1 İplik Üretim ve Çekme Prosesi 22
2.2 Deney Tasarımı 26
2.3 Modelleme Çalışmaları 28
3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 31
3.1 İplik Çekme Prosesi Makale Araştırması 31
3.2 İplik Soğutma Sistemleri Makale ve Patent Araştırması 35
3.3 Silindirik Yüzeyler Etrafındaki Taşınım Katsayıları Makale Araştırması 42
4 TEORİK ÇALIŞMALAR 47
4.1 Tel Yüzey Sıcaklığı Hesaplamaları 47
4.2 Bir Boyutlu Newtonian Akışkan Hesaplamaları 48
4.2.1 Kütle Dengesi 49
4.2.2 Enerji Dengesi 52
4.2.3 Kuvvet Dengesi 54
4.2.4 Akış Denklemi 55
4.2.5 Sayısal Modelin Oluşturulması 57
4.3 Bir Boyutlu Newtonian Olmayan Akışkan Hesaplamaları 58
5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 64
5.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması 64
5.2 Deneylerin Yapılışı 67
5.3 Ölçüm Belirsizliği Analizleri 67
5.4 Deney Setinin Hazırlanması 75
5.5 Deney Sonuçları 78
5.5.1 Paralel Akış İçin Deney Sonuçları 76

5.5.2 Çapraz Akış İçin Deney Sonuçları 79
6 MODEL GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI 85
6.1 Newtonian Akış İçin Model Geliştirme Çalışmaları 85
6.2 Newtonian Olmayan Akış İçin Model Geliştirme Çalışmaları 88
6.3 Hava ve Sıvı Soğutmalı Newtonian Olmayan Akış İçin Model Geliştirme Çalışmaları 91
7 SONUÇ VE ÖNERİLER 98
7.1 Sonuç ve Öneriler 98
KAYNAKÇA 104
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 109

SİMGE LİSTESİ

I	Akım (Amper)
ρ	Akışkan Özkütlesi (kg/m^3)
α	Alfa Işınımı
P	Basınç (Pa)
β	Beta Işınımı
T_g	Camsı Geçiş Sıcaklığı (K)
T_∞	Çevre Sıcaklığı (K)
$\dot{m}_{çıkan}$	Çıkan Kütle Debisi (kg/s)
μ	Dinamik Viskozite (Pa·s)
R	Direnç (Ω)
$\dot{Q}_{elek}$	Elektrik Gücü (W)
H	Entalpi (J)
e	Geçen Işınım
$\dot{m}_{giren}$	Giren Kütle Debisi (kg/s)
$\dot{V}$	Hacimsel Debi (L/s)
v	Hız (m/s)
Q	Isı (J)
k	Isı İletim Katsayısı (W/m·K)
$\dot{Q}_{ış}$	Işınım Isı Transferi (W)
U	İç Enerji (J)
R_0	İlk Direnç Değeri (Ω)
D	Karakteristik Uzunluk (çap) (m)
G	Kesme Modülü (dyn/cm^2)
KE	Kinetik Enerji (J)
m	Kütle (kg)
W	Kütlesel Debi (kg/s)
W_s	Mil İşi (J)
Nu	Nusselt Sayısı
C_P	Özgül Isı (kJ/kg·K)
π	Pi sayısı
PE	Potansiyel Enerji (J)
Pr	Prandtl Sayısı
Re	Reynolds Sayısı
T	Sıcaklık (K)
W_T	Sistem Üzerine Yapılan İş (J)
P	Sistemin risk değeri
R_f	Son Direnç Değeri (Ω)
σ	Stefan-Boltzmann Sabiti (W/m^2·K^4)
$\dot{Q}_{taş}$	Taşınım Isı Transferi (W)
h	Taşınım Isı Transfer Katsayısı (W/m^2·K)
T_f	Telin İlk Sıcaklık Değeri (K)
T_m	Telin Ortalama Sıcaklık Değeri (K)
T_w	Telin Son Sıcaklık Değeri (K)
a	Telin Sıcaklık Katsayısı (1/K)
ε_v	Uzanımsal Deformasyon

V	Voltaj (V)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
ε_o	Yönelimsel Deformasyon
A	Yüzey Alanı (m^2)
T_s	Yüzey Sıcaklığı (K)

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current – Alternatif Akım
AR-GE	Research and Development – Araştırma ve Geliştirme
CFD	Computational Fluid Dynamics – Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
DC	Direct Current – Doğru Akım
DOE	Design of Experiment – Deney Tasarımı
IBM	Immersed Boundary Method – Daldırılmış Sınır Metodu
LIB	Liquid Isothermal Bath – Sıvı İzotermal Banyo
NY	Naylon
PA	Poliamid
PDE	Partial Differential Equations – Kısmi Diferansiyel Denklemler
PET	Polietilen Teraftalat
R&R	Repeatability&Reproducibility – Tekrar Edilebilirlik&Yeniden Üretilebilirlik
TLC	Thermochromic Liquid Crystal – Termokromik Sıvı Kristal
VPM	Virtual Physical Model – Sanal Fiziksel Metod

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Eriyik İplik Çekme Prosesi [3] 24
Şekil 2.2 Düzeden Çıkan Polimerin İlk Sarım Valsine Gelişi 25
Şekil 2.3 İplik Molekül Yapısı (a)Moleküllerin İplik İçerisinde Dağılımı (b)Polimer Zincirlerinin Çekme Sonrası İplik İçerisinde Yönelenmesi [5] 25
Şekil 2.4 Modelleme Çalışmalarında Genel Akış Diyagramı [9] 30
Şekil 3.1 Soğutmalı Sıvı Banyosu Sistemi [26] 36
Şekil 3.2 Kilian Sıvı Banyosu Sistemi [28] 37
Şekil 3.3 Toyo Boseki Sıvı Banyosu Sistemi [30] 38
Şekil 3.4 Cuculo Sıvı Banyosu Sistemi [31] 39
Şekil 3.5 Cuculo LIB Sistemi [32] 40
Şekil 3.6 Soğutma Banyosu Olan ve Olmayan Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması [35] 41
Şekil 4.1 İplik Çekme Hattı Modellemesi İçin Belirlenen Fiziksel Sınırlar 50
Şekil 4.2 Akan Bir İplik Etrafında Kütle Transferi İçin Kontrol Hacmi 50
Şekil 4.3 Enerji Dengesi İçin Kontrol Hacmi 52
Şekil 4.4 Kuvvet Dengesi İçin Kontrol Hacmi 54
Şekil 4.5 Modelin Kesikli Hale Getirilmesi (a)Çözüm Alanı (b)Sonlu Fark Gösterimi 58
Şekil 4.6 Kayma Hızı ve Kayma Gerilmesi Grafiği 60
Şekil 4.7 Viskoz ve Elastik Komponent Gösterimi 61
Şekil 5.1 Hava Tüneli Deney Düzeneği Şematik Çizimi 64
Şekil 5.2 Çapraz Akış İçin Direnç Teli Yerleşimi Şematik Çizimi 65
Şekil 5.3 Direnç Telleri Sabitleme Mekanizması 65
Şekil 5.4 AATech Marka ADM 3303 DD Model Güç Kaynağı [76] 66
Şekil 5.5 AATech Marka ADM 3055 Model Multimetre [77] 66
Şekil 5.6 Siemens Marka Frekans Konvertörü 67
Şekil 5.7 Hava Tüneli Test Düzeneği 68
Şekil 5.8 Fanın Frekans-Hız Grafiği 69
Şekil 5.9 Gage R&R Deney Planı Hazırlama 70
Şekil 5.10 Gage R&R Deney Setinin Oluşturulması 70
Şekil 5.11 Gage R&R analizi 72
Şekil 5.12 Gage R&R Analizi Veri Seti Seçimi 72
Şekil 5.13 Ölçüm Belirsizliği Analiz Sonuçları 74
Şekil 5.14 DOE-Faktoriyel Dizayn Modülü 75
Şekil 5.15 Faktoriyel Dizayn Seçimleri 76
Şekil 5.16 Faktörlerin Seviyelerini Belirleme 76
Şekil 5.17 Faktörlerin Seviyelerinin Değeri 76
Şekil 5.18 DOE-Faktöriyel Dizayn Analizi 78
Şekil 5.19 Paralel Akış İçin Hız ve Çap Ana Etki Grafiği 79
Şekil 5.20 Paralel Akış İçin *Nu-Re* Sayıları Grafiği 80
Şekil 5.21 Farklı Tel Çaplarında Çapraz Akış İçin *Re-h* Grafiği 81
Şekil 5.22 0,2 mm Çapındaki Direnç Teli İçin Çapraz Akışta *Re-h* Grafiği 82
Şekil 5.23 Çapraz Akış İçin *Nu-Re* Sayıları Grafiği 82
Şekil 6.1 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Sıcaklık Dağılımı (a)Simulasyon Sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71] 86

Şekil 6.2 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Çap Değişimi 87
Şekil 6.3 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Gerilme Dağılımı (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71] 88
Şekil 6.4 Farklı Çekme Hızları İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Sıcaklık Dağılımı (a) Simulasyon sonuçları (b) Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71] 89
Şekil 6.5 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Gerilme Dağılımları (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71] 90
Şekil 6.6 Newtonian ve Maxwell Akışı İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Hız Değişimi (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71] 91
Şekil 6.7 Newtonian ve Maxwell Akışı İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Çap Değişimi (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71] 92
Şekil 6.8 Newtonian ve Maxwell Akışı İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Sıcaklık Değişimi 93
Şekil 6.9 Tekil İplik Üretim Hattı Su Banyosu 94
Şekil 6.10 Hava ve Sıvı Soğutmalı Tekil İplik Üretim Hattı Şematik Çizimi 94
Şekil 6.11 Soğutma Hattı Boyunca Tekil İpliğin Sıcak Değişimi 95
Şekil 6.12 Sıvı Banyosu Soğutucu Sistemi (8 °C) 96
Şekil 6.13 Su Banyosu Sıcaklık Ölçüm Noktaları 96
Şekil 7.1 Yazılım Arayüzü Oluşturma Çalışmaları 102

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Düşük Reynolds sayılarında silindir için Nusselt sayısı korelasyonları. 46
Tablo 5.1 Gage R&R Çalışması Deney Planı 71
Tablo 5.2 Ölçüm Yeterliliği Analiz Sonuçları 73
Tablo 5.3 Deney Planı 77
Tablo 5.4 Analiz Sonuçları 78
Tablo 5.5 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Paralel Akış İçin % Sapma Miktarları ... 80
Tablo 5.6 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Çapraz Akış İçin % Sapma Miktarları ... 83
Tablo 6.1 Farklı Debiler İçin Simulasyon Koşulları 85
Tablo 6.2 Farklı Çekme Hızları İçin Simulasyon Koşulları 85
Tablo 6.3 Newtonian ve Newtonian Olmayan Akış İçin Simulasyon Koşulları 91

ÖZET

Tekil İplik Üretim Hattında Soğutma Sisteminin İplik Üzerine Olan Etkisinin İncelenmesi

Mert PATKAVAK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hakan DEMİR

Üniversiteler ve AR-GE merkezleri, mevcut ürünleri iyileştirme ve yeni ürünleri geliştirme çalışmalarına odaklanmıştır. Bu çalışmalardan önce, yeni ürün geliştirme faaliyetleri deneme yanılma yoluyla ve tecrübeye dayalı olarak gerçekleştirilmekteydi. Deneme ve yanılma yoluyla, genellikle optimum sonucu elde etmek, oldukça güçtür. Bu denemeler, çok kaynak ve zaman harcanmasına neden olmaktadır. Araştırmacılar, iplik üretim tesislerinde optimum proses şartlarını bulabilmek için çalışmaktadır. İplik çekme prosesinde, polimerin özelliklerini etkileyecek birçok parametre bulunmaktadır. Ancak, iplik soğutma prosesindeki sıcaklık ve hava hızı parametreleri, iplik fiziksel özelliklerini doğrudan etkileyen ve kontrol edilebilir başlıca parametrelerdir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının amacı, iplik soğutma proses şartlarında, iplik sıcaklık profilinin ortaya konulması için taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayılarının belirlenmesidir.

Tez çalışması yedi ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmaya başlama nedenleri ve ulaşılmak istenen sonuçlar genel olarak açıklanarak giriş yapılmıştır. İkinci bölümde, iplik çekme prosesi, deneysel tasarım ve modelleme çalışmaları hakkında genel bilgiler paylaşılmıştır. Ardından, çalışmada referans alınan şartların

daha iyi anlaşılabilmesi için, iplik soğutma prosesi tanıtılmıştır. Ardından, deneysel tasarım mekanizmaları ve deneysel sonuçların incelenmesine yönelik araç ve gereçler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, konu ile ilgili önceki araştırmacıların yayınları verilmiştir. Bu yayınların tez konusu ile ilgili kısımları vurgulanmış, tez çalışmasının bu yayınlardan farkı belirtilmiştir. Literatür çalışması temel olarak, iplik çekme prosesi, iplik soğutma prosesi ve taşınım ısı transfer katsayılarının belirlenmesi konu başlıklarından oluşmaktadır. Literatür araştırmasının ardından konu ile ilgili ticari patentlere ve patent başvurularına da yer verilmiştir. Gerçekleştirilen literatür çalışmalarında araştırmacılar, kendi çap aralığı ve hız aralığında deneylerini gerçekleştirmiştir. Literatürdeki hiçbir çalışma, çap değerinin 0,2 mm ile 1,0 mm aralığında, hat hızının 120 m/dk'dan düşük olduğu durum için çalışmalar gerçekleştirmemiştir. Daha yüksek hat hızları (5000 m/dk'ya kadar) ve daha düşük iplik çap değerleri (10-100 μm) üzerine çalışıldığı için, Reynolds sayısı aralığı da oldukça yüksektir. Bu tez çalışmasında ise tekil iplik üretim hattı referans alınarak parametreler seçilmiştir.

Dördüncü bölümde, tel yüzey sıcaklığı hesaplamasıyla ilgili teorik çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca, bir boyutlu Newtonian ve Newtonian olmayan akış denklemleri, kütle dengesi, enerji dengesi ve kuvvet dengesi kullanılarak ortaya konulmuştur. Denklemler, Euler metoduyla nümerik olarak çözülmüştür.

Beşinci bölümde, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deney düzeneğinin kurulumu, ekipmanları ve deneylerin nasıl gerçekleştirildiği açıklanmıştır. Deneysel çalışmalardan önce, test düzeneğinin ve ölçüm sisteminin belirsizlik analizleri yapılmıştır. Test düzeneğinin ilgili parametreleri anlamlı bir şekilde ölçüp, ölçemeyeceği irdelenmiştir.Deneysel tasarımlar ve analizler, ticari bir yazılım olan Matlab programında gerçekleştirilmiştir. 0,2 mm ile 1,0 mm aralığındaki çaplarda 5 farklı direnç teli ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan hava hızları 0,5 ile 5,0 m/sn aralığında değişmektedir. Tel çapı ve hava hızı değerleri, tekil iplik üretim prosesinin soğutma sistemi referans alınarak belirlenmiştir. Deneyler hem çapraz hem de paralel akış için gerçekleştirilmiştir. Literatür çalışmaları kapsamında, paralel akış için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, Kase ve Matsuo, Golzar,

Okoshi, Zieminski, Glicksman, Copley ve Brünig korelasyonları ile karşılaştırılmıştır. Çapraz akış kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları, literatürde bulunan Churchill ve Bernstein, Hilpert, Fand ve Keswani, Mc Adams, Dito, Kase ve Matsuo ve Brünig korelasyonları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bunların, deneysel çalışmadan % olarak sapma miktarları verilmişir. Deney sonuçları, benzer Reynolds sayısı aralığında, literatürdeki çalışmalar ile uyum içerisindedir.

Altıncı bölümde, Matlab ticari yazılımı ve dördüncü bölümde elde edilen denklemler kullanılarak, iplik hızı, iplik çapı ve gerilme değerlerinin elde edildiği simulasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Model sınırları, düzeden çıkan polimer ile ilk sarım godeti arasıdır. Polimer akışı, bir boyulu Newtonian ve Newtonian olmayan akış olarak kabul edilerek, her iki durum için simulasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, polimerin moleküler yapısı ve kristalizasyon etkileri dikkate alınmamıştır. Kurulan modelin doğrulanması için, gerçekleştirilen simulasyon sonuçları ile aynı zamanda Kordsa Teknik Teksil A.Ş.'nin de danışmanı olan Dr. Kikutani'nin çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yedinci bölümde sonuçlar değerlendirilerek öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taşınım ısı transfer katsayısı, Nusselt sayısı, Reynolds sayısı, rüzgar tüneli, iplik çekme prosesi

ABSTRACT

An Investigation Effects of Cooling System on Yarn in Monofilament Production Line

Mert PATKAVAK

Department of Mechanical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hakan DEMİR

Universities and R&D centers focuses on the improvement of existing products and new product development as well as research on new materials. Before these studies, new product developments were carried out by trial and error and process experience. It is almost impossible to find optimum solution for a product through trial and error. So, these trials took too much time and too much expense. The researchers have examined how to determine the appropriate yarn line modifications and corresponding optimum operating conditions associated with these modifications. As we know, there are a lot of parameters that may influence the development of the fiber structure in the melt spinning process. However, temperature is the main parameter in the melt spinning process and it affects directly mechanical properties of yarn. Yarn temperatures are easily controlled with air flow on cooling proses of yarn production. The purpose of this thesis is to determine a convective heat transfer coefficients in order to understand the temperature profile of a monofilament yarn on cooling process.

The thesis is composed of seven major parts. In the introduction section, the reasons for initiating this study, as well as the goal of the work are presented. In the second part, general informations thats are related with yarn spinning process, design of experiments and modelling studies are shared. Then, yarn cooling process is explained for understanding of reference conditions at this study. Also, design of experiment mechanism and some tools for evaluating experiment results are explained.

The third part is literature survey on topic. Related subjects of these studies are highlighted and difference between these studies and this Ph.D. study is indicated. This literature survey has three subheads: yarn spinning process, yarn cooling process and determination of convective heat transfer coefficient on yarn cooling process. Also patents and patent applications are given at the end of third part of this study. There are many correlations to predict the heat transfer coefficient in the literature. Literature are mainly focused on high speed multifilament yarn production conditions which has lower diameter (10-100 μm) and high yarn production speed (up to 5000 m/min). Yarn speed and yarn diameter play an important role on convective heat transfer coefficient. But, there isn't any study that fit diameter values of our monofilament yarn properties which has a higher diameter from 0,2 mm up to 1,0 mm and production speed which is lower than 120 m/min during cooling process.

In fourth part of this study, calculation of wire's surface temperature is given. Then, one dimensional Newtonian Fluid and Non-Newtonian Viscoelastic Fluid equations with including mass balance, energy balance and force balance are explained. Then, equations solved numerically by Euler method.

In fifth part of this study, experimental studies that are performed at Yildiz Technical University's Laboratories are given. Installation stages of experimental setup and counducting of experiments are explained. Components specifications of experimental setup are mentioned. Uncertainty analysis has been realized before experimental study. Also, design of experiments which are prepared on Minitab software are given. Convective heat transfer coefficient around small diameter circular wires is determined in an effort to obtain main parameters affecting monofilament cooling process. The different diameter wires and air velocities were

employed for detailed research in parallel and cross flow by using a wind tunnel. The wire diameters which were used in the experiments are vary from 0,2 mm to 1,0 mm while air velocities 0,5 m/s to 5,0 m/s as well. The convective heat transfer coefficients were obtained by subtracting the radiation heat transfer from total heat transfer. The experiments were carried out with different Reynolds numbers. Finally, the resulting Nusselt correlations were compared with the correlations reported by Glicksman, Copley, Fand and Keswani, Churcill and Bernstein, Hilpert, Mc Adams, Dito, Brünig and, Kase and Matsuo. Results are in good agreement with literature for the same range of Reynolds numbers.

In the sixth chapter, the simulation studies are carried out to predict yarn velocity, temperature and stress profiles along the spinline on Matlab software. Boundary of current model starts from spinneret exit to take up roll. The polymer flow was assumed to one-dimensional, Newtonian and also Non-Newtinian Fluid. In the study, crystallization and orientation of the polymer were not taken into consideration at this stage of the study. So, in order to verify the model, simulation results of the mathematical model were compared with results of models published in literature. It was seen that simulation results were in good agreement with model outputs of Dr. Kikutani's results for the same assumptions.

In the seventh chapter, conclusions and advices have been presented.

Keywords: Convective heat transfer, Nusselt number, Reynolds number, wind tunnel, melt spinning process

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İstenilen özelliklere sahip iplik elde edebilmek amacıyla iplik üretim hattı için literatürde farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Döner silindirler vasıtasıyla ipliğin çekilirken ısıtılması, buhar yardımıyla ipliğin ısıtılması, hava veya sıvı yardımıyla ile ipliğin soğutulması gibi çeşitli operasyonlar yapılmaktadır. İpliklerin soğutulması işlemi, ipliğin doğrudan mukavemet gibi fiziksel özelliklerini etkileyen temel proseslerden biridir. Ekstrüderde basınçlandırılarak düzelerden çıkan polimerin soğutulması için genellikle hava ile veya sıvı ile gerçekleştirilen soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Hava ile soğutmanın yetersiz kaldığı, uniform soğutmanın yapılamadığı tekil iplik ve yüksek hat hızına sahip iplik üretim proseslerinde genellikle sıvı soğutma sistemleri kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Endüstride, iplik soğutma sistemlerindeki önemli parametreler (hava sıcaklığı, hava ile su arasındaki mesafe, su sıcaklığı, su banyosunun uzaklığı vb.) deneme yanılma yoluyla veya tecrübe ile belirlenmektedir. Bu konularda yapılan çalışmalarda genellikle ipliğin fiziksel özelliklerine (kopma mukavemeti, kopmada uzama, kısalma kuvveti vb.) göre tersine mühendislik çalışmaları yapılmaktadır. Bu noktada bir bilinmezlik yaşanmakta ve değişen polimer malzemesi, polimer debisi ve polimerin düzeden çıkış sıcaklığı gibi değişkenlere göre istenen bu fiziksel özellikleri sağlamak için birden çok testler yapılmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile birlikte değişen iplik polimer malzemesi, polimerin düzeden çıkış sıcaklığı, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, hava ve su hareketi (çapraz akış, paralel akış), ipliğin hava içerisinde ve su içerisinde aldığı yol gibi parametrelerin değişmesiyle ipliğin ısı transferi yönünden hangi konumda hangi sıcaklıkta olduğunu açıklayan bir model oluşturması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın diğer amacı ise, süreç ve ekipman tasarımının optimizasyonudur. Daha önceden de belirtildiği gibi, soğutma

hattının iplik özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. İstenen iplik özelliklerine sahip olabilmek için, soğutma sistemi parametreleri, kurulacak bu modelden elde edilebilecektir.

1.3 Hipotez

Taşınım ısı transferi ile gerçekleştirilen bir soğutma prosesinde taşınım ısı transfer katsayıları büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda kendi sistemine uygun şartlarda, bu taşınım ısı transfer katsayılarının belirlenmesi daha doğru sonuçlar vermektedir. Tekil iplik üretim hattındaki soğutma prosesini çeşitli parametreler ile ortaya koyacak bir çalışma, uzun soluklu üretim denemelerinin, yanlış tasarımların, malzeme ve iş gücü kaybının önüne geçecektir.

2
GENEL BİLGİLER

2.1 İplik Üretim ve Çekme Prosesi

İplik çekme işlemi, hem doğal hem de sentetik iplikler için farklı anlamlara sahiptir. Doğal iplikler için çekme işlemi, kısa filamanların sürekli filamanlara sahip olması için bükülmesi anlamına gelir. Bununla birlikte, sentetik ipliklerin çekme işlemi, herhangi bir yolla sürekli filamanların üretilmesi anlamına gelmektedir. İplik, birçok filamanın birlikte bükülmesiyle elde edilir [1]. "Çekme İşlemi" deyimi tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğal ve sentetik olmak üzere iki tür iplik vardır. İplik çekme işleminin amacı, düzgün çap ve istenen fiziksel özelliklere sahip ipliklerin üretilmesidir [2]. Sentetik iplikler aşağıdaki adımlarla üretilmektedir.

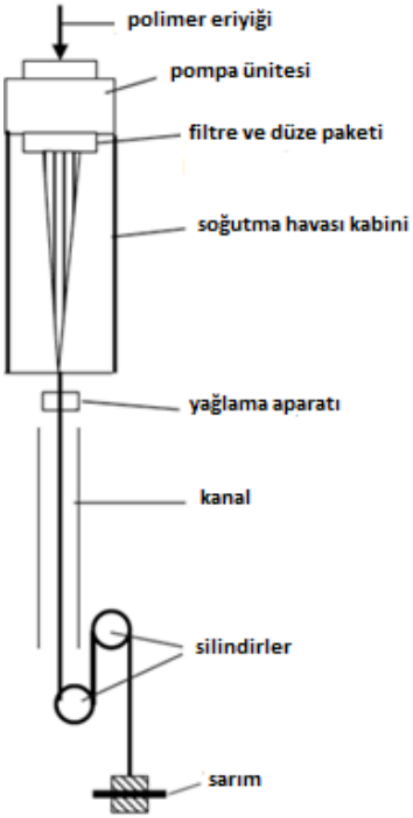
- Polimer sentezi,
- Çekme işleminin polimerinin hazırlanması,
- Polimerin iplik haline getirilmesi (polimerin ekstrüzyonu, katılaşması ve deformasyonu),
- Çekme işlemi (dönen valsler arasındaki devir farkı ile ipliği uzatmak ve çekme işlemi sayesinde, yönlendirme derecesini ve gerilimini arttırmak, mukavemet, elastikiyet modülü ve liflerin uzaması),
- Isıl işlem (kristalleşme),
- Tekstil işleme (bükme, boyama vb. işlemler).

İplik çekme prosesi temelde üç farklı yöntem ile gerçekleştirilebilir: Eriyik çekme prosesi, kuru çekme prosesi ve solüsyon-ıslak çekme prosesidir. Eriyik iplik çekme prosesi, diğerlerine kıyasla en kolay ve en ekonomik tekniktir. Sadece ısı transferi ve daralması ve iplik deformasyonu adımlarını içerir. Öte yandan, diğer işlemler kütle transferi ve difüzyon işlemlerini de içermektedir. Eriyik çekme prosesindeki polimerlerin tipik örnekleri, Poliamidler (PA), yani Naylon (NY), Polyester (PET), Polistiren, Poliolefin ve inorganik camlardır [2]. Ayrıca literatürde geçen ve yaygın

olarak kullanılmayan diğer iplik çekme işlemi yöntemleri vardır. Bunlar: faz ayrımı ile çekme prosesi, emilsiyon çekme prosesi, jel çekme prosesi ve reaksiyon çekme prosesidir. Bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan konu eriyik iplik çekme prosesidir.

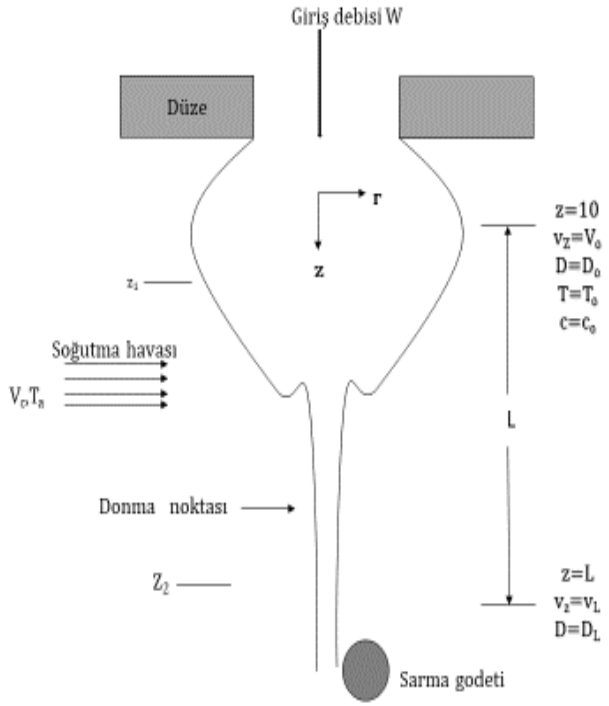
Eriyik iplik çekme prosesinde polimer, bir ekstrüzyon presinde ergitilir ve sonra dişli pompa vasıtasıyla sabit bir akışla pompalanır. Ardından kum katmanları boyunca polimerin filtrelendiği bir yapıdan geçerek, birçok küçük delik içeren bir plaka olan (nozul) vasıtasıyla birçok deliğe bölünmesi sonucu atmosfer ortamına ulaşır. Bu plakanın delikleri dairesel, trilobal, kare veya çapraz gibi farklı şekillerde tasarlanabilir. Bu çalışmada dairesel kesitli, tek delikli nozul yapısı incelenmiştir. İpliğin kesit alanı, eriyik bölgede çekme işlemi hattı boyunca, iplik uzadıkça azalmaktadır. Nozuldan sonra ekstrüde edilmiş iplikler, soğutma bölümünde koşullandırılmış hava akışına maruz bırakılır. Bu, iplik çekme prosesinin en önemli bölümlerinden biridir. Soğutmanın yetersiz kaldığı, ısıl kapasitesi yüsek olan tekil iplikler için veya yüksek hızdaki iplik çekme prosesinde daha etkin bir soğutma işlemi için ise su banyoları kullanılmaktadır.

Soğutma işlemi, ipliğin son özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. İstenilen iplik fiziksel özelliklerine göre hava sıcaklığı, hava nemi ve hava akış hızı, su sıcaklığı, ipliğin su içerisinde kalma süresi vb. parametreler farklı değerlerde ayarlanabilmektedir. Ardından soğutulmuş ve katılaşmış polimer, sıcak veya soğuk olarak değişebilen valslerin etrafına sarılır. Birbirinden farklı devir hızlarında dönen valsler vasıtasıyla ipliğe son özellikleri kazandırılarak, iplik sarıcıya sarılır ve iplik bobini elde edilir [3]. Bu elde edilen iplik, kord bezi üretilmek üzere sırasıyla büküm, dokuma ve terbiye işlemlerinden geçer. Ardından lastik üreticisi firmalarına satılarak, taşıt lastiklerinin içerisinde kullanılır.



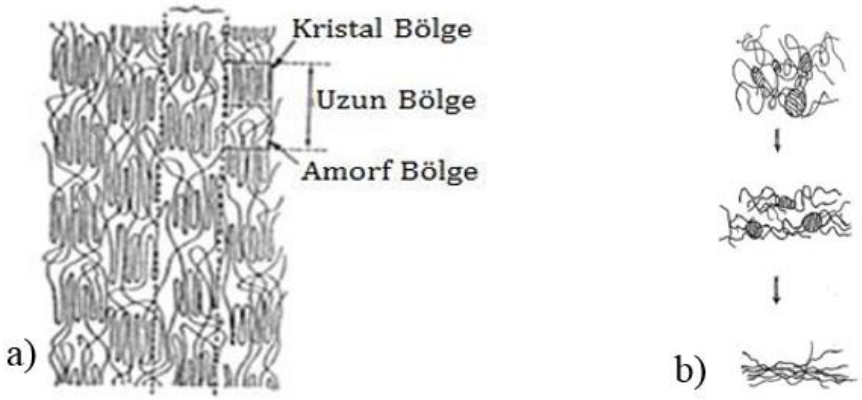
Şekil 2.1 Eriyik İplik Çekme Prosesi [3]

Tipik bir Eriyik Çekme İşlemi Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Bir düze içinden ekstrüze edilmiş polimerin atmosfer ortamına ulaşması, soğutulması, polimerin katılaştırılması ve katılaştırma noktasından ilk sarım valsine sarılması işlemi Şekil 2.2'de gösterilmektedir [4].



Şekil 2.2 Düzeden Çıkan Polimerin İlk Sarım Valsine Gelişi

Çekme işlemi gerçekleştirilmemiş ipliklerin boyuna olan kesitleri mikroskop kullanılarak incelendiğinde, içerisindeki polimer zincirlerin önce karışık ve amorf karakterde olduğu, çekme işlemi uygulandıktan sonra ise iplik çekme yönü boyunca kristalin bölgelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Çekme işlemi ile birlikte, ipliğin mukavemeti arttırılmakta ve ipliğe istenilen özellikler kazandırılmaktadır [5]. Şekil 2.3'de bu durum şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3 İplik Molekül Yapısı (a)Moleküllerin İplik İçerisinde Dağılımı (b)Polimer Zincirlerinin Çekme Sonrası İplik İçerisinde Yönelenmesi [5]

2.2 Deney Tasarımı

Deneysel çalışmalardaki en önemli ve kritik konu, zamanın ve kaynakların sınırlı olmasından dolayı, mümkün olduğunca az deney gerçekleştirerek, maksimum bilgi elde etmektir. “Arzu edilen çıktıya ulaşmak için ne kadar test yapılmalıdır?” ve “Minimum kaynak ile maksimum bilgiye nasıl ulaşılabilir?” sorularının yerine “Bu çalışmada esas hedeflenen amaç nedir?” ve “Bu deneyler ile asıl olarak bulunmaya çalışılan nedir?” gibi sorularının cevaplanması, testlerin planlanmasının önünü açmakta ve yardımcı olmaktadır [6].

Gerçekleştirilen birçok test çalışmasının amacı, genel olarak aşağıdakilerden biri ya da birkaçı olabilmektedir:

- Belirlenen şartlarda yapılan ölçüm sonuçlarındaki farklılıkların asıl nedenlerinin belirlenebilmesi,
- Bir sistemde erişilebilecek minimum veya maksimum değerlerin elde edilebilmesi için gerekli şartların belirlenebilmesi,
- Bağımsız değişkenlerin farklı değerlerinde yapılan ölçüm sonuçlarının karşılaştırılabilmesi,
- Birbirine benzeyen sistemler için, ileride yapılabilecekcak değişikliklerin etkisinin daha önceden tahmin edilebilmesi için gerekli modellerin elde edilebilmesi [6].

Deneylerin düzenli ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesiyle, yukarıda belirtilen amaçlara ulaşmak mümkündür. Gerçekleştirilecek deney tasarımı (DOE) sonucu, değişkenlerin tekli ve çoklu etkilerinin, sonuç üzerindeki etkisi incelenebilmektedir. Bu yüzden, hedefe yönelik farklı düzeylerde deneyler tekrarlanarak, sonucun değişimi üzerine çalışılmaktadır. Deney tasarımı sayesinde, daha az test sayısı ile sonuca ulaşılabilmektedir [6].

Endüstride, deney tasarımı çalışmalarına özellikle AR-GE faaliyetlerinde yoğun olarak başvurulmaktadır. Özellikle ürünün kalitesine doğrudan veya dolaylı olarak etki eden parametreler belirlendikten sonra iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Kaynakların sınırlı olmasından dolayı, minimum test sayısıyla maksimum bilgiye ulaşlabilmesi oldukça önemlidir. Üzerine yoğun emek sarfedilmiş deney

tasarımlarıyla, bunlar sağlanabilmektedir. Ayrıca, bu deney tasarımları, parametrelerin tekli, ikili ve üçlü gibi etkileşimlerinin de değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [7].

Deney tasarımı 4 farklı aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar: planlama, perdeleme, optimizasyon ve doğrulama aşamalarıdır [6,7].

Planlama aşaması, testler gerçekleştirilirken olası karşılaşılabilecek sorunların önlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Planlama aşamasında, dikkat edilmesi gereken birden çok konu bulunmaktadır. Testler ile elde edilmek istenen sonuç açıkça ifade edilmeli ve buna ulaşmak için cevaplanması gereken sorular belirlenmelidir. Deney tasarımında (DOE) üzerine çalışılacak parametrelerin, testlerin gerçekleştirileceği birimin, gürültü ve kovaryansdaki değişikliklerin belirlenmesi ve bu değişikliklerin nedenlerinin ortaya konulması gerekmektedir. İrdelenecek parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla uygulanacak metoda, bu aşamada karar verilmelidir.

Test metodunun, incelenecek faktörlerin ve karşılaşılabilecek zorlukların belirlenmesi oldukça önemlidir. Deney tasarımında bulunan tüm testlerde aynı prosedürün uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, test sonunda elde edilecek veriler ve bunların hassasiyetleri ile deney boyunca karşılaşılabilecek olası problemler önceden belirlenmelidir. Pilot deneyler olarak adlandırılan öncül testler ile gözlem yapılması, öngörülemeyen sorunların tahmin edilmesine imkan vermektedir.

Testler sonunda elde edilen verilerin değerlendirileceği modele, planlama aşamasında karar verilmeli, bu modele uygun hipotez testlerinin ve güven aralığının belirtildiği taslak hazırlanmalıdır. Buna ek olarak, yapılması gereken test sayısına karar verilmelidir. Gereğinden az test yapılması durumunda, elde edilen sonuç yeterli olmayacaktır. Fazla sayıda deney yapılması durumunda ise iş gücü, para ve zaman kaybına sebep olacaktır. Son olarak, alınan bütün kararlar dikkatle incelenmeli ve gerekli ise düzenlemeler yapılmalıdır.

Perdeleme aşaması, çıktı üzerinde etkili olabilecek önemli değişkenleri belirleyerek, bu değişkenlerin sayısının azaltılmasında rol oynamaktadır. Bu aşama, belirlenen değişkenler ile optimum sonuca yaklaştırmakta ve elde edilen modelde eğrisellik

olup olmadığını göstermektedir. Ayrıca, optimizasyon metotları ile en iyi şartların sağlanmasına ve eğer sistemde eğrisellik varsa, bunun nereden kaynaklandığının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Perdeleme safhasında faydalanılacak yöntemler; iki düzeyli faktöriyel veya kesirli faktöriyel deney tasarımları, Plackett-Burman tasarımları ve tam faktöriyel tasarımlardır.

Optimizasyon aşaması, perdeleme aşamasından sonra gelen, iyileştirmelerin ve ufak dokunuşların yapıldığı önemli bir safhadır. Perdeleme aşamasında parametrelerin sayısı, öncül deneylere ve tecrübeye istinaden azaltıldıktan sonra, deneysel faktörler için en optimum değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Optimizasyon safhasında başvurulan, sık kullanılan yöntemler; deneysel faktöriyel tasarımlar (factorial designs), cevap yüzeyleri (response surfaces), karışım tasarımları (mixture designs), cevap optimizasyonları (response optimizations) ve Taguchi tasarımlarıdır.

Doğrulama aşaması, bir önceki optimizasyon aşamasında elde edilen sonuçlarının kontrol edilebilmesi için uygun parametrelerin tahmin edildiği ve kontrol deneylerinin yapıldığı adımdır. Doğru sonuca ulaşabilmek için en ideal ayarlarda, bir veya birden çok doğrulama testleri yapılmaktadır. Çıkan sonuçlara göre, ortalama değerler için güven aralıkları tespit edilmektedir [8].

Tam veya yarım faktöriyel deney tasarımları oluşturularak gerçekleştirilen ürünlerin ticarileştirilme çalışmaları, endüstride ve AR-GE merkezlerinde sıkça başvurulan metodlardandır. Böylelikle ürünlerin kalitelerinde yükseliş ve maliyetlerinde düşüş elde edilebilmektedir. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen modeller ile birlikte, bağımlı çıktılar, bağımsız parametreler cinsinden tanımlanabilmektedir. Böylelikle, daha az test sayısı ile daha az kaynak kullanılarak optimum sonuçlar elde edilebilmektedir.

2.3 Modelleme Çalışmaları

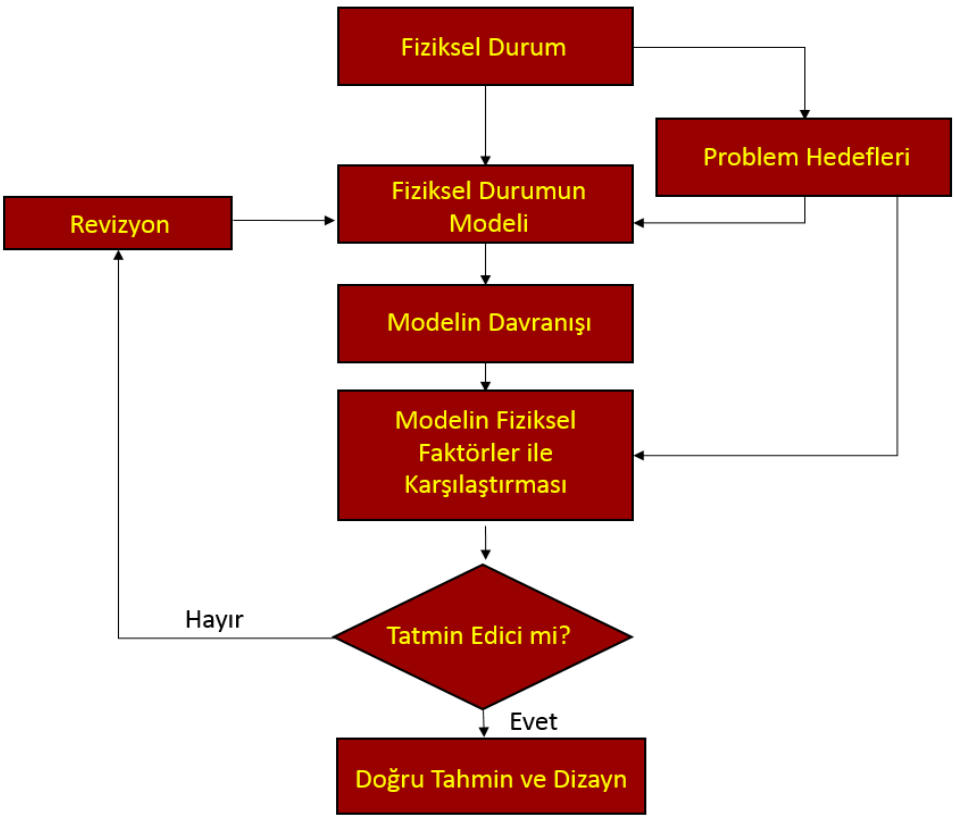
Teknik tekstil sektöründe dünyada birçok firma bulunmaktadır. Bunların bazıları lastik güçlendirmekte, bazıları inşaat güçlendirmekte, bazıları ise savunma sanayisindeki kıyafetler, konveyör, kayış vb. malzemeleri güçlendirmektedir. Bu tez

çalışmasının amacı, gerçekleştirilecek araştırma ve geliştirme çalışmalarının önünü açmaktadır. Kısaca;

- Yeni ürün geliştirme,
- Müşterilere kısa cevap süresi,
- Proses ve ekipmanın optimizasyonu ve tasarımı,
- Az deneme maliyeti,
- Bilgi birikimi gibi faydaları olacaktır.

Endüstride, yeni ürün geliştirme çalışmaları deneme yanılma ve tecrübeler ile gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen deneme çalışmalarında, çekilen polimerin morfolojik özellikleri, düze ile sarma valsleri arasındaki değişimi bilinmemektedir. Deneme yanılma içeren bir ürün için en uygun çözümü bulmak ise imkânsız hale gelmektedir. Dolayısıyla, bu denemeler çok fazla zaman ve maliyetle sonuçlanmaktadır. Bu noktada ortaya konulacak bir model, bazı parametreleri değiştirerek, daha kısa sürede ve daha az maliyetle yeni ürün çalışmalarının yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bunun sonucunda da müşteri isteklerine daha kısa sürede yanıt verilebilecektir. Bu çalışmanın diğer amacı ise, süreç ve ekipman tasarımının optimizasyonudur. Daha önceden de belirtildiği gibi, soğutma hattının iplik özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. İstenen iplik özelliklerine sahip olabilmek için, soğutma sistemi parametreleri kurulacak bu modelden elde edilebilecektir.

Genel bir modelleme süreci için mantıksal akış şeması Şekil 2.4'de verilmiştir. Akış şemasındaki ana sütun, klasik bilimsel yöntemlerle benzer özelliktedir. Öncelikle fiziksel durum ortaya konulur ve buna bağlı olarak modeller kurulur. Ardından modelin davranışı incelenir. Bu yöntemde tahminler yapılır ve deneylerle karşılaştırılır. Arada çıkan farka göre modelin tatmin edici olup olmadığı belirlenir. Eğer tatmin edici olmaz ise revizyonlar yapılır. Revizyonlar sonucu incelenen model karşılaştırmalara göre istenen seviyeye gelir ise dizayn aşamasına geçilir. Bir model geliştirme için modelin gelişimini herhangi bir aşamada hedeflerden ayırmak olanaksızdır. Aksi taktirde sorun çözümü, sorun hedeflerine göre farklı olabilmektedir [9].



Şekil 2.4 Modelleme Çalışmalarında Genel Akış Diyagramı [9]

Verilen bir süreç için yalnızca bir tek doğru model yoktur. Problemin hedeflerine göre birçok model oluşturabilmektedir. Bunun için ilk olarak modellenecek fiziksel problem kararlaştırılmaktadır. Örneğin, bu çalışmada, "İplik Çekme İşlemi" modellenmek üzere seçilmiştir. Ardından, fiziksel problem, her işlemi anlatan ilgili fiziksel denklemler ile modellenmiştir. Bundan sonra, modeli çalıştırarak model davranışı gözlemlenmiştir. Modelin doğruluğunu anlamak için model sonuçları, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır. Model çıktıları istenen seviyede doğrulanıncaya kadar revizyonlar gerekli olmaktadır [9].

3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1 İplik Çekme Prosesi Makale Araştırması

İplik çekme prosesiyle ilgili teoriyi tanımlama ve anlamaya yönelik çalışmalar, 1960 yılında Ziabicki [10] ile başlamıştır. Bu çalışmada, polimerin düzeden, sarım valsine kadar olan soğutma işlemi boyunca ipliğin yapısı incelemiştir. İplik çapının, düzeden olan uzaklığın bir fonksiyonu olarak bilindiği durumda, ısının çekme hattı boyunca dağılımını elde etmek için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Öte yandan Ziabicki 1960 ve 1961'de [11, 12] erimiş bir polimerin çapını deneysel olarak ölçmüş ve iplik çapının eğimi ile iplik üzerine etki eden çekme gerilmesi arasında bir denklem elde etmiştir.

1965'de, Toyo Spinning Co. Ltd. üyeleri olan Kase ve Matsuo [13], Ziabicki'nin [10] üzerine çalıştığı üç parametreyi, "iplik çapı", "çekme gerilimi" ve "sıcaklığı" eşzamanlı kısmi diferansiyel denklemlerle ilişkilendirerek incelemişlerdir. Denklemlerde iplik çapı, sıcaklık ve çekme gerilimi düzeden olan uzaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilmiş ve eriyik çekme İşlemlerinde geçişlerin analizini sağlayan ikinci bağımsız değişken olarak zamanı da bu denklemler içerisinde değerlendirmişlerdir. Temel olarak yaptıkları, herhangi bir radyal sıcaklık dağılımı, dairesel kesit, çekme işlemi boyunca eşit sıcaklık dağılımı gibi basitleştirilmiş diferansiyel denklemleri (ısı denkliği denklemi, kuvvet denkliği denklemi, süreklilik denklemi) birkaç basit varsayımla türetmektir. Isı hattı boyunca ihmal edilebilir ısı iletimi, sıcaklığa bağlı viskozite ve viskoz akışa göre ihmal edilebilir elastik uzama bir karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca bu teorik çalışmanın ardından, Kase ve Matsuo, temel denklemlerin kararlı durum ve geçici çözümleri ile deney sonuçlarını, fiber doğrusal yoğunluk ve sıcaklık ile karşılaştırarak 1967'de [14] ikinci makalelerini yayınlamışlardır. Diğer çalışmalara ek olarak model geçerliliği için polimer özelikleri de detaylı olarak incelenmiştir. Eriyik iplikten çevreleyen ortama olan ısı transferi, katılaşma noktasında bükülmüş iplikte gerilme dağılımını

etkileyen önemli bir faktör olduğu için ve sıcaklık dağılımında hem radyal hem de açısal değişiklikleri içermesi açısından bunu eksenel sıcaklık modeli ile sağlamışlardır [14].

Daha doğru bir model oluşturmak için, Hutchenson 1984'te [15] eriyik çekme İşlemi sırasında bir iplikte sıcaklık dağılımını tahmin etmek için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Oluşturdukları diferansiyel denklemlerin çözümü için örtülü Cranck Nicholson Metodu kullanılmıştır. Çeşitli çalışma parametrelerinin tahmin edilen çap profili, çekme gerilimi ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini belirlemek için çeşitli çalışma koşulları ile simülasyonlar yapmışlardır. Düze çapı, debi, ortam sıcaklığı, çekme sıcaklığı ve uzama viskozitesinin iplik üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Fakat modelin deneysel olarak doğrulanması yapılmamıştır [15].

1985 yılında Ziabicki [16], yüksek hızlı çekme işlemi konusunda çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bir editör olarak, bu konuyla ilgili bilgileri, konferanslardan, bilimsel dergilerden ve kitaplardan yararlanarak kitabında birleştirmiştir. Çekme hattında özellikle yüksek hızlı çekme işleminde, iplik oluşum mekanizmasına bir ipucu bulmak için Ziabicki [10], Kase ve Matsuo tarafından analiz edilen ısı kütlesi ve momentum transfer denklemlerini uygulayarak eriyik çekme işlemini matematiksel olarak tarif etmiştir [16].

Yukarıda bahsedilen çalışmaların hepsi, düzeden tek bir polimerin iplik şeklinde ekstrüzyonlandığı durumla ilgili olup, bir iplik demeti içindeki tüm ipliklerin gördüğü soğutma koşullarının aynı olduğu ve çekilmiş iplik kalitesinde bir değişiklik olmadığı varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak pratikte her iplik, soğutma kaynağının asimetrik konumu nedeniyle farklı soğutma koşulları yaşamaktadır. 1987 yılında [17], çekilmiş iplik özelliklerini kontrol etmede farklı çekme koşullarının rolünü ve bunların çoğul iplik eriyik çekme varyasyonlarını anlamak için A. Dutta, çalışmasında yeni bir yaklaşım önermiştir. Çoğul ipliklere, tek bir iplik model yaklaşımı geliştirmiş ve farklı soğutma ve çekme koşullarıyla simülasyonlar yapmıştır. Sunulan çalışma, hem hava sürüklenmesi, hem de ısı transferi etkilerini içermektedir. PET malzeme için model geliştirilen bu çalışmada, düze çıkış çapları 0,2 ile 0,5 mm arasında, çekme hızı 1200 m/dk, düze çıkış sıcaklığı 285 °C ve soğutma havası 25 °C için çalışmalar gerçekleştirilmiştir [17].

Ziabicki [18], zamanında yeterince dikkate alınmamış veya ihmal edilen diğer etkileri belirlemek için eriyik çekme işlemi dinamiklerini yeniden düşünmeye karar vermiştir. Eriyikteki viskoz sürtünmeye bağlı olarak, ısı üretimiyle birlikte temel dinamik denklemlerin yanı sıra deformasyonları yeniden formüle etmiştir. Viskoelastik etkileri için Maxwell Akışkan Modeli uygulamış ve farklı çapraz darbe hızı ve soğutma ortamının sıcaklığı ile farklı soğutma-ısıtma bölgelerini araştırmıştır [18].

Süreç parametreleri ile yapı arasındaki ilişkiyi anlamak için bazı araştırmacılar, süreç koşulları, yapı ve nihai malzeme özellikleri arasındaki yakın bağlantıları tanımlamak maksadıyla veri modelleme yaklaşımını kullanma eğilimi göstermişlerdir. Akzo Nobel Araştırma Merkezi'nden Dr. Weijer [19] bu ilişkileri, 1998'de toplanan deneysel verilerle tanımlamak için bazı hesaplama tekniklerini kullanmıştır. Ortalama polimer zincir yöneliminin bir fonksiyonu olarak, gerilme zorlamasını öngörmüş, PET ipliklerinin yapısı ve özellikleri arasındaki ilişki için Yapay Sinir Ağı metodunu kullanmışlardır. Ayrıca, özelliklerin ve süreç parametrelerinin ters ilişkisi için en uygun çözümleri incelemiş, bu metod ile kombine edilmiş bir optimizasyon tekniği olan Genetik Algoritma'sını geliştirmiştir [19].

Makroskobik devamlılık modeli ile mikroskobik kristalizasyon etkilerini birleştirmek için daha detaylı ve teorik çalışmalar 1999-2001 yılları arasında A. Doufas ve A. McHugh [20,21] tarafından yapılmıştır. İzotermal koşullar altında, homojen akış alanlarında, polimer eriyiklerinin akışla indüklenen kristalleşmesini simule etmek için, Avrami Denklemi ile bir model geliştirmişlerdir. Elde edilen model, yarı kristal sistemlerin reolojik davranışının yanı sıra, kristalleşme kinetiğini de öngörmektedir. Polimer içerisindeki amorf faz, modifiye edilmiş Giesekus sıvısı olarak modellenmiş ve kristalin faz, akış alanında büyüyen ve yönlendiren çok boncuklu sert çubuklardan oluşan bir yapı olarak incelenmiştir [20].

2000 yılında geliştirilen modelin farklı simülasyonları da dahil olmak üzere ikinci çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Modelin, geniş bir proses koşulları aralığında ve girdi parametreleri üzerinde tutarlı olduğunu ve tüm çekme koşullarında yarı-

kristalin polimerler için gözlemlenen malzeme davranışı ile tutarlı malzeme davranışlarını sergileyebildiği ortaya konulmuştur [21].

Dutta tarafından 2007 yılında [22] önerilen soğutma modeline dayanarak, Çinli araştırmacılar, iplik etrafındaki soğutma havası sıcaklığının üstel bir dağılıma uyduğu varsayımıyla, PET iplik çekme işlemi için uygun bir çoklu iplik modeli önermişlerdir. Ayrıca, çekme işlemi koşullarının ve düze tasarımının çekilmiş iplik özellikleri üzerine etkilerini de incelemişlerdir [22].

Yıldırım, Ulcay ve Kopmaz'ın 2009 yılında [23] yayınladığı makalede, PET ipliğin üretim parametrelerinin kristalinite derecesi üzerinde etkileri, lineer olmayan matematiksel regresyon modeli ile incelenmiştir. İplik fiziksel özelliklerine birçok parametre etki etse de, çalışma kapsamında soğutma havası sıcaklığı ve hızı, sarıcı hızı parametreleri seçilmiştir. 27 farklı üretim gerçekleştirilerek ampirik formüller elde edilmiştir. Elde edilen regresyon modelinin R^2 değeri 0,8 olarak bulunmuştur [23].

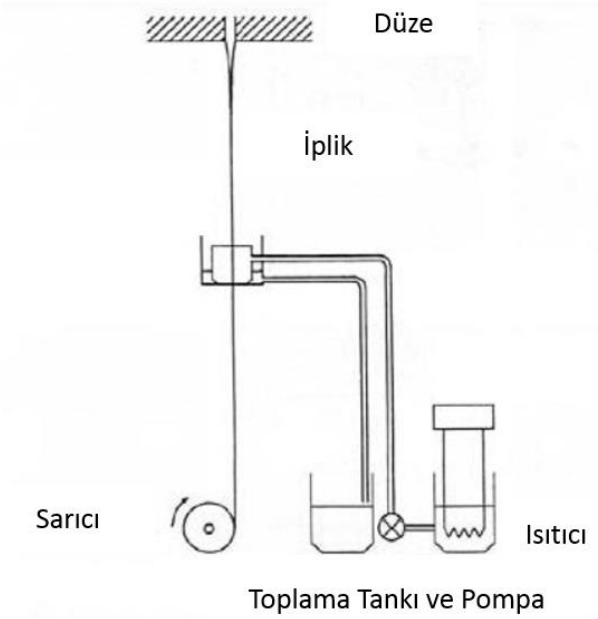
Perera'nın 2009 yılında [24] yayınladığı çalışmasında, iplik çekme hattını viskoelastik olarak kabul ederek, polimer malzemenin reolojisini Maxwell-Oldroyd modeli baz alarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın diğer önceki çalışmalardan farkı, istenilen sonuca göre modelin kendisini optimize etmesidir. Böylelikle girilen sonucu sağlayacak şekilde, soğutma hava hızı ve sıcaklığı, ekstrüzyon hızı ve sıcaklığı, çekme hattı uzunluğu parametreleriyle beklenen sonuçlar elde edilmiştir [24].

Teke ve Altun'un 2012 yılında [25] gerçekleştirdiği çalışmada, farklı soğutma hızlarında ve sıcaklıklarında, farklı debilerde ve farklı hızlarda PET'in çekilmesi üzerine çalışılmıştır. Proses parametrelerinin çekme işlemi üzerindeki etkilerini simüle edebilmek için bir fiber modeli kullanılmış olup, bu model CFD (Computational Fluid Dynamics) hesaplamaları ile birleştirilmiştir. Newtonian akış modelinin kullanıldığı bu çalışmalarda modelin sayısal tahminleri, litaratürdeki deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Çekme hızı, kütlesel debi ve sıcaklığı, simülasyon ve deneysel sonuçlar için fiber özelliklerine etkiyen en önemli parametreler olarak ortaya konuşmuştur [25].

3.2 İplik Soğutma Sistemleri Makale ve Patent Araştırması

Çekme prosesinde iplik yapısını etkileyen bir çok parametre bulunmaktadır. Sıcaklık, çekme kuvveti ve çekme hızı, iplik çekme prosesindeki ana parametrelerdir. Bu parametrelerin ikili ve üçlü etkileşimleri de göz önünde bulundurulmaktadır. İstenilen özelliklere sahip iplik elde edebilmek amacıyla, çekme sistemi içerisinde literatürde farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Döner silindirler vasıtasıyla ipliğin çekilirken ısıtılması, buhar yardımıyla ipliğin ısıtılması, hava yardımıyla ile ipliğin soğutulması gibi çeşitli operasyonlar yapılmaktadır. İpliklerin soğutulması işlemi, ipliğin fiziksel özelliklerini etkileyen temel proseslerden biridir. Bu operasyonlardan biri de sıvı banyosu ile ipin soğutulması işlemidir. Özellikle sıvı banyosu, hava ile soğutmanın yetersiz kaldığı, uniform soğutmanın yapılamadığı tekil iplik ve yüksek hat hızına sahip iplik üretiminde kullanılmaktadır.

Sıvı banyoları, 1960 yılından itibaren tekil ipliklerin soğutulmasında etkin olarak kullanılmaktadır. Sıvı banyosu ile birlikte ipliklerin daha kısa mesafede, daha uniform bir şekilde soğutulması sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak ipliklerin fiziksel özellikleri doğrudan etkilenmektedir. Sıvı izotermal banyo (LIB) konusunda ilk kapsamlı çalışma John Cuculo (North Carolina State University) ve diğerleri tarafından 1991 yılında [26] yapılmıştır. Bu sıvı banyosuyla birlikte, tank içerisindekı sıvının sıcaklığı istenildiği gibi kontrol edilebilmektedir. Bunun sonucunda ipliğin özellikleri şekilde kontrol edilebilmektedir. Şekil 3.1'de örnek bir sıvı soğutma banyosunun şematik görüntüsü verilmiştir. İplikler izotermal bir banyonun içinden geçmekte ve sıvı sıcaklığı, sıvının derinliği ana parametreler olup, proses boyunca sabit kalmaktadır. Aynı zamanda sıvının türü ve sıvı banyosunun konumu, yani düzelerden çıkan polimerin sıvı banyosuna olan uzaklığı önemli diğer parametrelerdir [26].

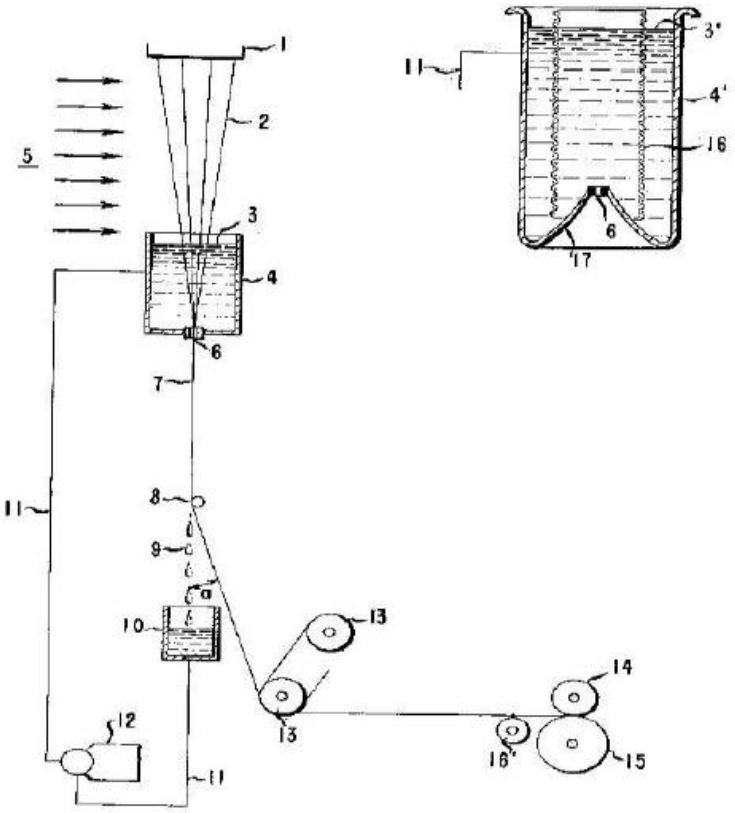


Şekil 3.1 Soğutmalı Sıvı Banyosu Sistemi [26]

Kikutani ve çalışma arkadaşlarının 1996 yılında [27] yayınladığı bir çalışmada, PET malzemenin hava ile olan soğutma sistemini modifiye ederek, propilen glikol sıvı içeren bir banyo vasıtasıyla soğutulması incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında düze ile sıvı banyosu arası mesafe 150 ile 200 cm aralığında ve çekme hızı 1000 ile 7000 m/dk olacak şekilde, parametrelerin ipliğin sıcaklık proili ve mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sıvı banyosunun sıcaklığı 150 °C, erimiş polimerin ekstrüderden çıkış sıcaklığı 293 °C, düzenin çapı 1 mm ve polimer debisi 5,4 g/dk olacak şekilde çalışmalar yapılmıştır. Aynı zamanda proses için nümerik bir model oluşturularak, model sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı kütle geçişlerine ve kristalizasyon derecesinin ihmal edilebileceği çekme hızlarına sahip bir model, PET ipliğin davranışını açıklamak için ortaya konulmuştur. Proses parametrelerinin, iplik çekme prosesine etkilerini simüle etmek için bir fiber model kullanılmış olup, soğutma hava akışı CFD analizleri ve hesaplamaları ile birleştirilmiştir. Bu çalışmada, enerji, momentum ve kütle dengesi denklemleri polimer kütle akışı için çözülmüştür [27].

İpliklerin soğutulması amacıyla sıvı banyosunun kullanılması ilk olarak Du Pont De Nemours and Company çalışanı Josep J. Killian tarafından 1961 yılında [28] patent başvurusu yapılmıştır. Bu patent, ipliklerin düzenli bir şekilde soğutularak, oryante

olmuş iplikler elde edebilmek amacıyla kurulan sistem üzerinedir [28]. Şekil 3.2'de Killian suvu banyolu soğutma sisteminin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 3.2 Kilian Sıvı Banyosu Sistemi [28]

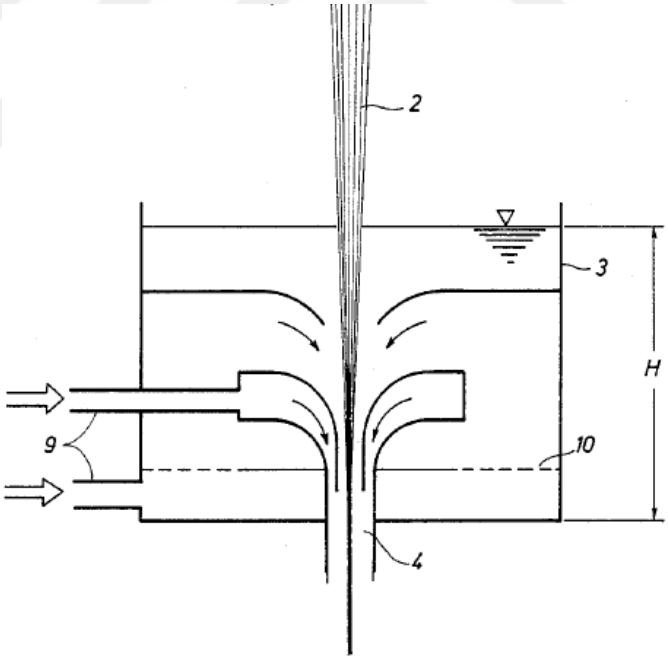
İplikler, ilk olarak havaya maruz kalarak bir miktar soğutulmakta ve ardından su banyosuna girmektedir. Bu kısımda ipliğin su banyosuna girmeden önce maruz kaldığı hava sıcaklığı 100 °C olarak önerilmektedir. 6 numaralı orifisten çıkan iplikler, 8 numaralı yön değiştirme rollünden geçerek çekme sistemine ilerlemektedir. Burada iplik üzerindeki fazla sıvılar 10 numaralı toplama kabına gelerek, 12 numaralı pompa vasıtasıyla sıvı banyo sistemine geri kazandırılmaktadır. Böylelikle banyo içerisindeki sıvı kaybı minimuma indirilerek, sıvı seviyesinin sabit kalması sağlanmaktadır [28].

Killian, gerçekleştirdiği çalışmalarda sıvı banyosu sıcaklığı, sıvı yüksekliği, hava soğutma şartları, düzelere olan uzaklık ve sarma hızının iplik fiziksel özellikleri üzerine olan etkisini Naylon 66 ve PET polimer malzemeleri için incelemiştir. Geçekleştirilen çalışmalar sonucunda, sıvı banyosunun sıcaklığı arttırıldığında, sabit polimer debisinde oryantasyonun arttığı ve daha yüksek iplik mukavemet

değerlerine ve daha düşük kopma uzaması değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Sıvı yüksekliğinin artması sonucunda çekme kuvvetinin arttığı ve kopma uzamasının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Düzeler ile sıvı banyosu arasındaki mesafenin artması sonucunda havanın soğutucu etkisi sonucunda, mukavemet ve kopma uzaması değerlerinin arttığı görülmüştür [28].

Du Pont, 1984 yılında George Vassalitos [29] tarafından bir diğer patentini yayınlamıştır. Bu patent, PET iplik üretiminin 5000 m/dk üzerinde olduğu durumlarda efektif soğutmanın sağlandığı ve istenen mekanik özelliklerde ipliklerin elde edilebildiği sıvı soğutma banyosu üzerinedir [29].

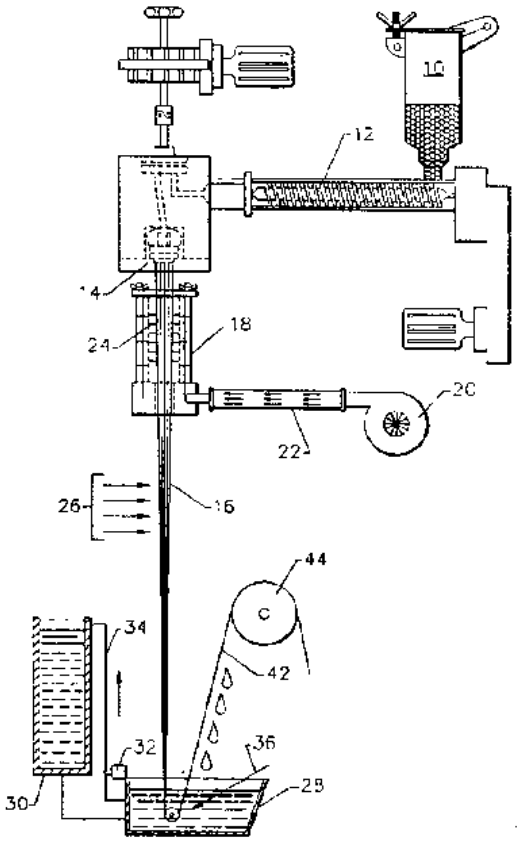
Toyo Boseki firması, 1990 yılında Kazuo Kurita ve Yoshihiko Teramoto [30] tarafından su banyosu içerisinde, iplik üzerine soğutma sıvısı akışının sağlandığı sistem ve bu sistemle ait dğer parametrelerin yer aldığı bir patent yayınlanmıştır. 9 numaralı kanaldan giren soğuk sıvı, sıvı banyosuna 4 numaralı kanal boyunca ilerlemektedir. Buluş ile ilgili şematik resim Şekil 3.3'de gösterilmektedir [30].



Şekil 3.3 Toyo Boseki Sıvı Banyosu Sistemi [30]

Cuculo ve çalışma ekibi, 1992 yılında [31], LIB konusunda ilk patentini yayınlamıştır. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi, proseste ilk olarak polimer düzeden çıkarak ipliğe dönüşmekte ve sonrasında soğutularak iplik sıcaklığı 40-60 °C aralığında ayarlanmaktadır. Soğutulmuş iplik, camsı geçiş sıcaklığından daha büyük

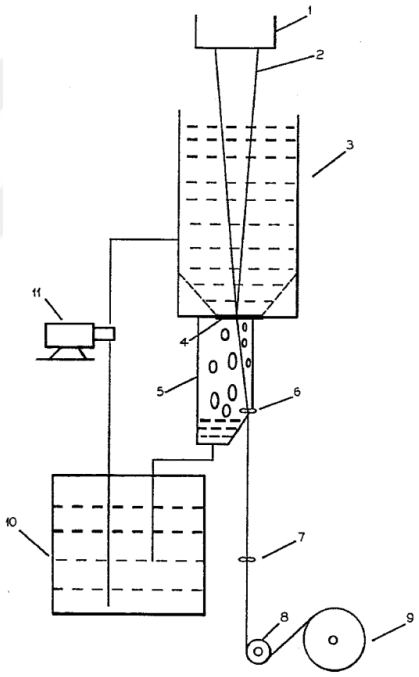
sıcaklıktaki hidrolik sürükleme banyosundan geçirilerek ipliğin gerilmesinde ve çekilmesinde önemli bir artış gerçekleştirilmektedir. Düzeden çıkan polimerler, ani soğumayı önleyen termal iklimlendirme bölgesine geçerler. Fan ve ısıtıcı ile radyal olarak düzenli hale getirilmiş sıcak hava, buraya yönlendirilmektedir. İplikler daha sonra bir katı soğutma bölgesinden geçirilmekte ve camsı geçiş sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa kadar katılaşırılarak ve soğutulmaktadır. Soğutma banyosunda kullanılan sıvı, 1,2-propandiol olup, yaklaşık 150 °C yüksek kaynama noktasına sahiptir. Bu sıvı, silikon yağı, mineral ya da hidrokarbon yağı gibi bileşenler içeren malzemeler olabilmektedir. Tercih edilen iplik gerilmesi, ipliklerin banyodan çıktığı noktada ölçülen 2-3 gram/dakika civarındadır. Ana işlem parametreleri, IV 0,95 dl/g , bükme bloğu sıcaklığı 305 °C, 0,6 mm çaplı hiperbolik düze ve sıvı banyoların yüzeyine 420 cm uzaklıkta bulunmaktadır [31].



Şekil 3.4 Cuculo Sıvı Banyosu Sistemi [31]

Aynı ekip 1995 yılında [32], ultra-odaklı kristal filamentler üretmek için dikey tip LIB'nin kullanıldığı ikinci patentini yayınlamıştır. Çalışmanın şematik resmi Şekil

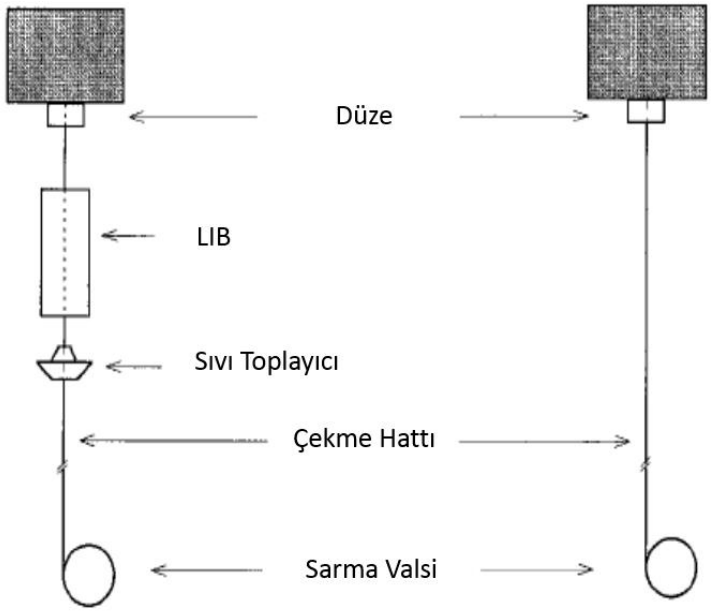
3.5'de gösterilmektedir. Tek veya çok delikli düzelerden ekstrüzyon yapıldıktan sonra polimerler, hava boşluğundan geçerek bir soğutma banyosuna yönlendirilmektedir. Kristalize olmuş iplik daha sonra, LIB'nin tabanında kayan bir valf (4) bulunan bir açıklıktan çekilmekte ve kapalı bir sıvı alıcı cihaz (5), kılavuzlar (6,7) boyunca geçmektedir. En az 3000 m/dk'lık bir çekme hızı ile sarılmaktadır. İplikler vidalanıp çekildikten sonra, valf (4) iplik demetinin serbestçe geçmesine izin verecek kadar büyük bir orifis bırakarak kapanmaktadır. Bu banyo içerisindeki sıvı rezervuarda (10) önceden ısıtılmış sıvı (yine karşılaştırma için 1,2 propandiol ve su) ile doldurulmuştur. Sıvı, LIB'de istenen sabit seviyede ve sabit sıcaklıkta tutulmaktadır. Sıvı yüksekliği 40 cm olarak seçilmiş ve sıvı sıcaklığı 90-140 °C aralığında değiştirilmiştir [32].



Şekil 3.5 Cuculo LIB Sistemi [32]

Bu çalışmalara ek olarak, Cuculo ve çalışma ekibi, LIB süreci hakkında 1995 [33] ve 1997 yıllarında [34] Journal of Applied Polymer Science dergisinde iki çalışma yayınlamıştır. İlk çalışmada [33], sadece LIB'nin yapı ve özellikler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Diğer çalışmada [34] ise soğutma banyosu olan ve olmayan iki farklı çekme sistemi karşılaştırılmıştır. 1998 yılında Cuculo ve ekibi bu iki çalışmanın ortak sonucu olarak başka bir patent başvurunda daha bulunmuştur

[35]. İki farklı işlemle çekme işleminin şematik diyagramı Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Soğutma Banyosu Olan ve Olmayan Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması [35]

Avcı ve diğerlerinin 2017 yılında [36] yayınlanan çalışmasında, viskozite değeri 1.05 dl/g olan PET malzeme için yatay izotermal banyo ile işleme çalışmalar geçekleştirilmiştir. PET iplik numunelerinin çekme özellikleri bu yatay sıvı banyosu kullanarak yüksek oranda arttırılmıştır. Sıvı banyosu kullanmaz iken ve sıvı banyosu kullanıldığı durumda çekme gerilme testi, kalorimetre testi ve kısalma testleri yapılarak karşılaştırılmalar yapılmıştır. Çekme sonrası işleme tabi tutulan soğutma amaçlı sıvı banyosu kullanılmış iplik numunelerinin, yüksek derecede bir moleküler zincir oryantasyonuna, yani yüksek bir kristal yapıya sahip oldukları görülmüştür. Bir yatay izotermal sıvı banyosu ile çekilmiş PET iplik numunesinden elde edilen en iyi çekme mukavemeti 10,24 g/denier, kopma esnasında uzama değeri %13,49 olarak ölçülmüştür. Sıvı soğutmalı iplik üretim hatları, teknik tekstil uygulamaları için endüstrilerde kullanılabilecek yüksek bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir [36].

3.3 Silindirik Yüzeyler Etrafındaki Taşınım Katsayıları Makale Araştırması

Ravi ve diğerlerinin 2014 yılında [37] gerçekleştirdği çalışmada, iki boyutlu bir dairesel silindirin kararsız akış rejimi içindeki hava akışı ve ısı transferi incelenmiştir. Reynolds sayısının 50 ile 180 aralığında olduğu çapraz akışta, Reynolds sayısının sürüklenme ve kaldırma katsayılarına, Strouhal sayısına ve uzun bir dairesel silindirin ısı transfer karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda, CFD (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği) çözücü Fluent programı kullanılarak simulasyon çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı akış analizleri, anlık akış çizgisi, girdap büyüklüğü, hız ve basınç değişimi detaylı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların, literatürdeki dairesel silindir için geçerli olan deneysel ve sayısal verileriyle uyumlu olmuştur. Nusselt sayısı, Reynolds sayısının artmasıyla birlikte artış göstermektedir. Aynı zamanda Reynolds sayısı arttıkça sürüklenme katsayısı da artmaktadır. Sonuç olarak, belirtilen çalışma aralığı için ortalama sürüklenme katsayısı ve Nusselt sayısı, Reynolds sayısının bir fonksiyonu olacak şekilde bağıntılar elde edilmiştir [37].

Manohar ve Ramroop'un 2010 [38] yılında gerçekleştirdiği çalışmada, 34 mm ve 49 mm çaplarındaki iki farklı çelik boru, 1,1 m/s ve 2,5 m/s'lik hava akışı boyunca, yatay eksen ile 30° ve 60° açı yapacak şekilde akış ve ısı transferi karakteristiği incelenmiştir. Bu deneysel çalışmalar, literatürdeki çapraz akıştaki yatay borular için verilen bağıntılar ile karşılaştırılmıştır. 30° derece eğim ve hava hızı 1,1 m/s'deki Nu değerlerinin literatür ile iyi bir şekilde uyuştuğu gözlemlense de, 60° derece eğim ve hava hızı 2,5 m/s'de oldukça büyük farklılıklar gözlemlenmiştir. 30° derece eğim durumu için deneysel olarak belirlenen Nusselt sayısının hava hızı 1,1 m/s'de sapması %2 ile %18 aralığında, hava hızı 2,5 m/s'de ise %12 ile %41 aralığında değişmiştir. 60° derece eğim durumu için deneysel olarak belirlenen Nusselt sayısının hava hızı 1,1 m/s'de sapması %19 ile %45 aralığında, hava hızı 2,5 m/s'de ise %29 ile %65 aralığında değişmiştir [38].

Nakamura ve Igarashi'nin 2014 yılında [39] gerçekleştirdiği çalışmada, çapraz akışta dairesel silindirin arkasındaki ayrılmış akıştaki Nusselt sayısı, değişen Reynolds sayılarına göre incelenmiştir. Dairesel silindir arkasında bulunan

durgunluk noktasındaki Nusselt sayısı, laminer akış rejiminde (Re<150) Reynolds sayısıyla birlikte artmaktadır. Buna karşın, dalgalanmanın olduğu kısımlardaki Nusselt sayısı, daha türbülanslı bir akışa dönüşen rejimde (300<Re<1500) Reynolds sayısıyla birlikte azalmaktadır [39].

1960 yılında Yuge [40] tarafından, küre için taşınım ısı transferinin bulunmasına ilişkin çalışmalar 1,44x10^5 ile 3,5x10^5 Reynolds sayısı aralığında ve 1 ile 10^5 Grashof sayısı aralığında gerçekleştirilmiştir. Zorlanmış, doğal ve birleştirilmiş taşınım ısı transferine için ampirik formüller elde edilmiş, literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile uyumlu olarak bulunmuştur [40].

Wiberg ve Lior'un 2003 yılında [41] gerçekleştirdği çalışmada, 150 mm çapındaki silindirin üzerindeki lokal ısı transfer katsayısı dağılımları, 9 m/s ile 63 m/s hava akış hızı aralığında, Reynolds sayısı 8,9x10^4<Re<6,17x10^5 aralığında, kapalı çevrimli hava tünelinde incelenmiştir. 150 mm çapındaki silindir, akış hattına paralel olarak konumlandırılmıştır. Deneyler, bir türbülans oluşturma ızgarası kullanarak , akış türbülans seviyesini değiştirerek ve silindirin önündeki akış yönlendirici modülleri kullanarak ayarlanan farklı akış koşullarında gerçekleştirilmiştir. Silindirin yüzey sıcaklığı Thermochromic Liquid Crystal (TLC) tekniği ile ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntılar verilmiştir [41].

Yousif ve Jassim [42], 200–2000 Reynolds sayıları aralığındaki serbest akışta, silindir üzerinde iki boyutlu akışı nümerik olarak incelemiştir. Nusselt sayısı, basınç ve durgunluk noktası arasındaki ilişki belirlenmiştir. Daha sonra farklı şekiller için tekrarlanan çalışmalalar, dairesel silindir için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Maksimum ısı transfer katsayısı, altıgen şekil üzerinde ve minimum basınç düşüşü üçgen şekil üzerinde olduğu belirlenmiştir [42].

Yousif'in 2013 yılında [43] gerçekleştirdiği çalışmada, 500 ile 1500 aralığındaki Reynolds sayısı ve tam gelişmiş laminer akış için farklı boyutlara sahip kare köşeli silindirler etrafındaki ısı transfer katsayıları üzerine çalışmıştır. Farklı Reynolds sayıları için köşe kesme yönünün (ön tarafta, arka tarafta ve iki tarafta) ve boyutlarının basınç düşüşü ve ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisi incelemiştir.

Sonuçlar, ön ve iki tarafın köşe kesikli kare silindir için basınç düşüşünün, kare ve arka yan silindirler ile karşılaştırıldığında %17'ye kadar azaldığını göstermektedir. Ayrıca, kare ve arka yan silindirlere kıyasla ön ve iki tarafın kesik köşeli kare silindir etrafındaki ısı transferi %20'ye kadar artmaktadır [43].

Mueller ve Abu-Mulaweh'in 2004 yılında [44] gerçekleştirdiği çalışmada, bir ucu sabit yüksek sıcaklıkta tutulan yatay, uzun silindir kesitli bir çubuğun etrafındaki ısı taşınım katsayıları araştırılmıştır. Ortaya konulan korelasyon, yatay izotermal silindir ve ışınım ısı transferi de göz önünde bulundurularak taşınım ısı transferlerinin bulunması için kullanılabilmektedir. Korelasyon sonuçları, deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış olup, sonuçlar tutarlıdır [44].

Oetelaar ve Johnston'ın 2012 yılında [45] gerçekleştirdiği çalışmada, sıcaklık değeri 60, 70, 80, 90 ve 100 °C olan 5 farklı basınçlı oda içerisindeki doğal taşnım katsayıları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ısı transfer katsayıları 6,2 ile 7,6 $W/m^2 \cdot K$ arasında değişmekte olup, ortalama değeri 7,0 $W/m^2 \cdot K$ 'dir. Nusselt değerleri $1,3 \times 10^2$ ile $1,6 \times 10^2$ arasında değişmektedir [45].

Muralidhar ve diğerlerinin 2005 yılında [46] gerçekleştirdiği çalışmada, düz ve kanatlı yüzeyler için yerel Nusselt sayısı değişimi sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Yüzeye edilmiş kanatlı ve düz plaka içeren iki geometri üzerine çalışılmıştır. Yüzey sıcaklıkları Thermocromic Liquid Crystal (TLC) tekniği ile ölçülmüştür. Reynolds sayısı, kanat yüksekliğine bağlı olarak 160 ile 260 arasında değişmektedir [46].

Totala ve diğerlerinin 2013 yılında [47] gerçekleştirdiği çalışmada dikey silindir üzerindeki ortalama taşınım ısı transfer katsayıları incelenmiştir. Üzerine çalışılan silindir şeklindeki pirinç alaşımlı malzeme uzunluğu 450 mm ve çapı 32 mm'dir. Isı transfer katsayısı, sınır tabakasının gelişmesi nedeniyle başlangıç noktasında maksimum değerdedir. Deney sonuçları, teorik çalışmalarla karşılaştırılmış olup, literatürdeki sonuçlar ile de uyumlu olduğu görülmüştür [47].

Shiri ve George'nin 2012 yılında [48] gerçekleştirdiği çalışmada, dikey silindirler için doğal taşınım katsayıları deneysel olarak incelenmiştir. Deney düzeneği, dikey silindir, termokupl ve Lazer Doppler anemometresinden oluşur. Deneyler üç farklı

uzunluktaki silindir için gerçekleştirilmiştir. Akışın değişken özelliklerini temsil etmek için sınır tabaka denklemleri ile ortaya çıkan yeni denklemler elde edilmiştir [48].

Ana ve Sandro'nun 2014 yılında [49] gerçekleştirdiği çalışmada, dairesel silindirlerin etrafındaki taşınım ısı transferini incelemek maksadıyla, ısı eşanjörlerinde, ısıtıcılarda, elektronik devrelerde olan silindirik boyutlar göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada, izotermal silindirlerin çevresindeki iki boyutlu sıkıştırılamaz Newtonian çapraz akış için, daldırılmış sınır metodu (IBM) ve sanal fiziksel model (VPM) motodu kullanılmıştır. IBM ve VPM dinamik simülasyonu kodu iki özel durum için geliştirilmiştir. İlk durumda, 3 farklı silindir etrafındaki zorlanmış ve karışık taşınım ısı transfer katsayıları incelenmiştir. İkinci durumda ise, farklı sayılarda yanyana dizilmiş ve aralarında farklı uzaklıklar bulunan silindirler için taşınım ısı transfer katsayıları incelenmiştir. Navier-Stokes ve enerji denklemleri, sonlu farklar yöntemi ile çözümlenmiştir. Sonuçlar, silindirler arasındaki mesafelerin taşınım ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı üzerindeki etkisini nümerik olarak ortaya koymaktadır [49].

Tablo 3.1'de literatürde iplik soğutma prosesi modellemesinde kullanılan, paralel ve çapraz akış için geliştirilmiş Nusselt-Reynolds sayısı korelasyonları verilmiştir. Literatürdeki çalışmalar geniş Reynolds sayısı aralığında gerçekleştirilmiş ve bu aralıkta hesaplanan ortalama değerler sonucunda elde edilen korelasyonlar verilmiştir.

Tablo 3.1 Düşük Reynolds sayılarında silindir için Nusselt sayısı korelasyonları

Nusselt Sayısı Korelasyonları	Referans ve Koşullar
Paralel Akış	
$3{,}0Re^{-0{,}22}$	Golzar [50]
$0{,}25 + 0{,}15Re^{0{,}36}$	Zieminski [51]
$0{,}325Re^{0{,}3}$	Glicksman [52]
$0{,}53Re^{0{,}33}$	Copley [53]
$0{,}42Re^{0{,}334}$	Kase, Matsuo [54]
$0{,}28(Re^2)^{0{,}17}$	Brünig [55]
$0{,}16(Re)^{0{,}50}$	Ohkoshi [56]
$0{,}76Re^{0{,}38}$	Andrews [57]
$0{,}76Re^{0{,}41}$	Conti [58]
Çapraz Akış	
$0{,}989Re^{0{,}33}\mathrm{Pr}^{1/3}$	$0{,}4<Re<4$, Pr>0,7, Hilpert [59]
$0{,}911Re^{0{,}385}\mathrm{Pr}^{1/3}$	$4<Re<40$, Pr>0,7, Hilpert [59]
$0{,}683Re^{0{,}466}\mathrm{Pr}^{1/3}$	$40<Re<4000$, Pr>0,7, Hilpert [59]
$0{,}821Re^{0{,}385}$	$4<Re<40$, Dito [60]
$0{,}615Re^{0{,}466}$	$40<Re<4000$, Dito [60]
$0{,}32+0{,}67Re^{0{,}52}$	$0{,}1<Re<10^3$, McAdams [61]
$0{,}42(64Re^2)^{0{,}167}$	Kase, Matsuo [54]
$0{,}28(1024Re^2)^{0{,}17}$	Brünig [55]
$0{,}795Re^{0{,}384}\mathrm{Pr}^{1/3}$	$4<Re<35$, Fand, Keswani [62]
$0{,}583Re^{0{,}471}\mathrm{Pr}^{1/3}$	$35<Re<50000$, Fand, Keswani [62]
$0{,}57Re^{0{,}52}$	$70< Re<200$, Nakamura [63]
$0{,}97Re^{0{,}42}$	$200<Re<2000$, Nakamura [63]
$0{,}21Re^{0{,}62}$	$2000<Re<20000$, Nakamura [63]
$0{,}3+[(0{,}62Re^{0{,}5}\mathrm{Pr}^{1/3})/(1+((0{,}4/\mathrm{Pr})^{2/3})^{0{,}25})]\mathrm{x}$ $[1+(Re/282000)^{5/8}]^{4/5}$	Pr>0,2, Churchill, Bernstein [64]

4
TEORİK ÇALIŞMALAR

Teorik çalışmalar kapsamında sıcak polimerin nozuldan (düze) çıktıktan sonra havaya maruz kalması, hava ile soğutulması sırasında gerçekleşen soğutma işlemi sayısal olarak modellenmiştir. İpliğin hangi konumda hangi sıcaklıkta olduğu değişen parametrelere (iplik polimer malzemesi, polimerin düzeden çıkış sıcaklığı, hava sıcaklığı, hava hareketi, akış türü, ipliğin hava içerisinde aldığı yol) göre belirlenmiştir. Modellemede kullanılacak ısı taşınım katsayıları (h) farklı koşullarda deneysel olarak elde edilmiş ve denklemlerde kullanılmıştır. Ayrıca deneylerde kullanılan direnç telinin ısıtıldıktan sonraki denge durumundaki yüzey sıcaklığı teorik hesaplamalar sonucu elde edilmiştir.

4.1 Tel Yüzey Sıcaklığı Hesaplamaları

Isı transferi, sıcaklık farkından dolayı meydana gelmekte ve her zaman yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir. İki ortam aynı sıcaklığa eriştiğinde, termal olarak dengeye geldiğinde enerjinin ısı olarak transferi durur. Isı transferi üç farklı yol ile meydana gelebilmektedir: iletim, taşınım ve ışınım [65].

Bu tez çalışmasında kullanılan ısıtılmış bir direnç telinden ortama olan ısı transferi taşınım ve ışınım ısı transfer mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir. Yüksek tel yüzey sıcaklığı sebebiyle ışınım ısı transferi ihmal edilmemiştir.

Silindirik bir yüzey üzerinden, kendisinden daha düşük sıcaklıkta geçen hava arasında gerçekleşen taşınım ısı transferi:

$$\dot{Q}_{taş} = h.A.(T_s - T_\infty) \tag{4.1}$$

Işınım ile gerçekleşen ısı transferi ise Denklem 4.2'deki gibi ifade edilmektedir:

$$\dot{Q}_{ış} = e.\sigma.\mathrm{A}.(T_s{}^4 - T_\infty{}^4) \tag{4.2}$$

Isı transfer miktarı, Reynolds sayısının değişimiyle birlikte artıp, azalmaktadır.

$$Re = \rho.\mathrm{V}.\mathrm{D}/\mu \tag{4.3}$$

Prandtl sayısı ise,

$$Pr = \mu.\mathrm{C}_P/\mathrm{k} \tag{4.4}$$

Denklem 4.4'deki gibi ifade edilmektedir. Burada ρ, akışkan yoğunluğu, V, hız, μ, dinamik viskozite, k, iletim ısı transfer katsayısı, C_P, özgül ısıdır. D, karakteristik uzunluk ve A yüzey alanı olarak tanımlanmaktadır. Nusselt sayısı,

$$Nu = h.D/k \tag{4.5}$$

Denklem 4.5'deki gibi ifade edilmektedir. Taşınım ısı transfer katsayısı (h), Nusselt sayısı denkleminden elde edilmektedir [65].

R_0, telin ilk direnç değeri (Ω) ve k_t termal iletim katsayısı (W/m.K), 20 ºC oda sıcaklığında (T_f) tedarikçi tarafından verilmektedir. T_f, telin ilk sıcaklığı (K) oda sıcaklığı olarak kabul edilir. T_w, telin denge durumundaki sıcaklığı (K), denklem 4.6'den elde edilmektedir. Testler sırasında, R_f telin son direnç değeri (Ω) sabit bir değere ulaştıktan sonra, multimetre ve güç kaynağından okunun akım (I) ve voltaj (V) değerlerinden elde edilmektedir (Denklem 4.6).

$$\mathrm{V} = I.R \tag{4.6}$$

Telin son direnç değeri denklem 4.7'den elde edilmektedir.

$$R_f = R_0.(1 + \mathrm{a}.(T_w - T_f)) \tag{4.7}$$

T_w, telin denge durumundaki son yüzey sıcaklığı (K), yukarıdaki denklemden hesaplanmaktadır. Aynı zamanda taşınım ısı transfer katsayısını bulmak için aşağıdaki denklemde T_s, telin yüzey sıcaklığı (K) olarak kullanılmaktadır.

Enerjinin korunumu yasasından, telin ısıtılması için harcanan elektrik gücü ($\dot{Q}_{elek}$), tel yüzeyinden gerçekleşen taşınım ısı transferi ($\dot{Q}_{taş}$) ve ışınım ısı transferi ($\dot{Q}_{ış}$) toplamına eşittir (Denklem 4.8).

$$\dot{Q}_{elek} = \dot{Q}_{taş} + \dot{Q}_{ış} \tag{4.8}$$

Elektrik gücü;

$$\dot{Q}_{elek} = I^2.R \tag{4.9}$$

Denklem 4.9'dan elde edilmektedir. Toplam ısı transfer miktarı aşağıdaki denklem 4.10 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{elek} = h.A.(T_s - T_\infty) + e.\sigma.\mathrm{A}.(T_s{}^4 - T_\infty{}^4) \quad (4.10)$$

Yukarıdaki eşitlikte h ifadesi yalnız bırakılırsa,

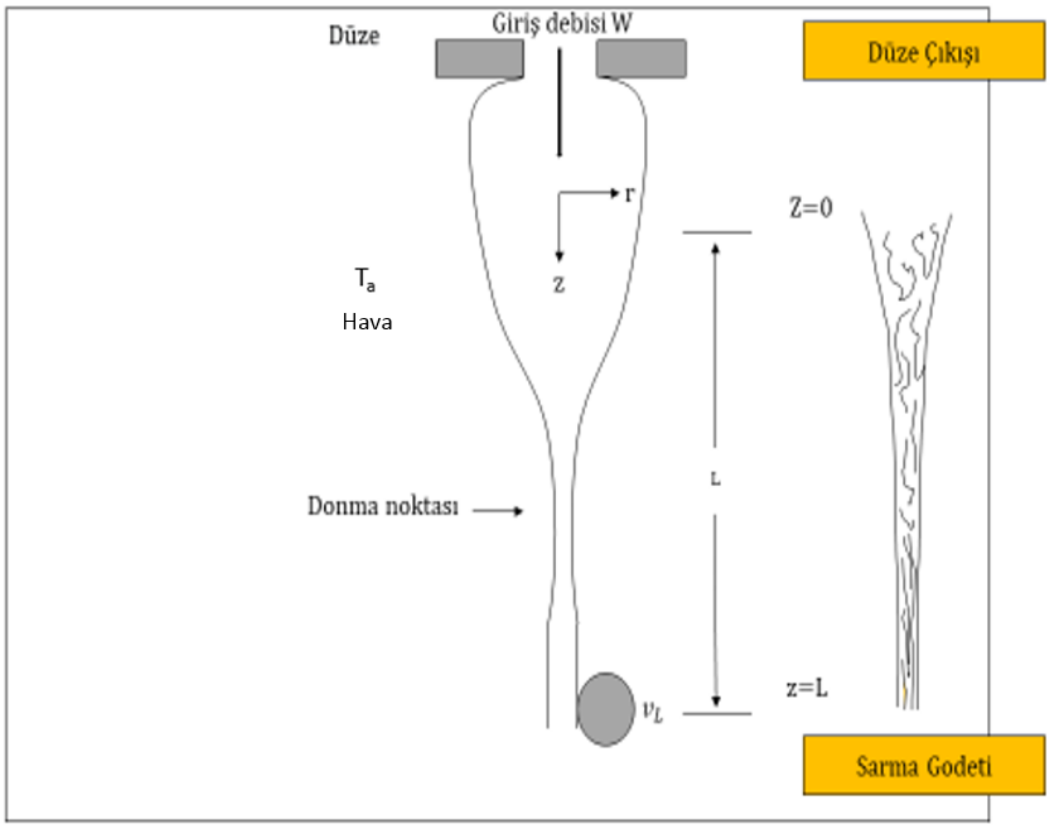
$$h = (I^2.R - e.\sigma.\mathrm{A}.(T_s{}^4 - T_\infty{}^4))/(A.(T_s - T_\infty)) \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'den taşınım ısı transfer katsayısı elde edilmektedir.

4.2 Bir Boyutlu Newtonian Akışkan Hesaplamaları

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, geçmişte birçok araştırmacı iplik üretim hattında çekme prosesi modelleme çalışmalarında bulunmuştur. Bunlar, Denn, Ziabicki, Petrie, White, Han, Kikutani, Katayama, George vb. araştırmacılardır. Bu araştırmacıların çalışmalarında birbirinden farklar bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar PET polimer malzeme, bazı araştırmacılar Naylon polimer malzeme, bazı araştırmacılar akışı Newtonian, bazıları Newtonian olmayan akış olarak modellemiş, bazı araştırmacılar hava taşınım katsayısını bir diğerine göre farklı kullanmış, bazı araştırmacılar ise yoğunluk değişiminin etkisini incelememiştir [66-71].

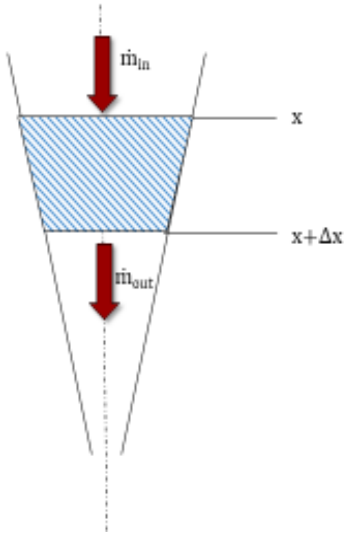
Bu tez kapsamında, çalışmalar arasında tüm dünyada kabullenilmiş en güvenilir bilim adamlarından biri olarak bilinen ve aynı zamanda Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.'nin danışmanı olan Dr. Kikutani'nin denklemlerinden faydalanılmıştır. Bu modelleme çalışmasında fiziksel sınır olarak eriyik polimerin ince deliklerden geçerek atmosfer ortamına ilk olarak açıldığı düze (nozul) çıkışından, sarım valsine (sarma godeti) kadar olan proses incelenmiştir. Sınır koşulları; nozul deliği çapı, iplik çekme işlemi hızı, polimer sıcaklığı, soğutma havası sıcaklığı, soğutma havası üfleme yönü, soğutma havası hızı, soğutma hattı uzunluğu olarak belirlenmiştir. Sistem, zamana bağlı değişmeyen, kimyasal reaksiyonların ihmal edildiği, izotermal olmayan, kinetik ve potansiyel enerji değişiminin ihmal edildiği newtonian akış olarak kabul edilmiştir. Bu kapsamda kütle, ısı, momentum dengesi ve düzeltici denklemler sisteme uygulanmıştır.



Şekil 4.1 İplik Çekme Hattı Modellemesi İçin Belirlenen Fiziksel Sınırlar

4.2.1 Kütle Dengesi

Kütlenin korunumu ilkesi, şekilde gösterilen kontrol hacmi etrafında sisteme uygulanmıştır.



Şekil 4.2 Akan Bir İplik Etrafında Kütle Transferi İçin Kontrol Hacmi

Kontrol hacmi etrafındaki kütle dengesi,

$$\begin{pmatrix} \text{belirli bir} \\ \text{andaki kütle} \\ \text{miktarı} \\ t+\Delta t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{belirli bir} \\ \text{andaki kütle} \\ \text{miktarı} \\ t \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta t \\ \text{süresi} \\ \text{boyunca} \\ \text{sisteme} \\ \text{giren kütle} \\ \text{miktarı} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta t \\ \text{süresi} \\ \text{boyunca} \\ \text{sistemden} \\ \text{çıkan kütle} \\ \text{miktarı} \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} t+\Delta t \text{ süresi boyunca} \\ \text{kimyasal reaksiyon} \\ \text{sonucu oluşan} \\ \text{kütle miktarı} \end{pmatrix} \tag{4.12}$$

Denklem 4.12 Δt'ye bölünür.

$$\frac{\begin{pmatrix} \text{belirli bir} \\ \text{andaki kütle} \\ \text{miktarı} \\ t+\Delta t \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{belirli bir} \\ \text{andaki kütle} \\ \text{miktarı} \\ t \end{pmatrix}}{\Delta t} = \frac{\begin{pmatrix} \Delta t \text{ süresi} \\ \text{boyunca sisteme} \\ \text{giren kütle miktarı} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta t \text{ süresi} \\ \text{boyunca sistemden} \\ \text{çıkan kütle miktarı} \end{pmatrix}}{\Delta t}$$

$$+ \frac{\begin{pmatrix} t+\Delta t \text{ süresi boyunca} \\ \text{kimyasal reaksiyon} \\ \text{sonucu oluşan kütle} \\ \text{miktarı} \end{pmatrix}}{\Delta t} \tag{4.13}$$

Δt → 0'a gittiği durumda;

$$\begin{pmatrix} \text{kütle birikim} \\ \text{oranı} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{kütle akışı} \\ \text{giriş} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{kütle akışı} \\ \text{çıkış} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{net kimyasal} \\ \text{üretim oranı} \end{pmatrix} \tag{4.14}$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right) = \dot{m}_{giren} - \dot{m}_{\text{çıkan}} + \dot{m}_{kimyasal} \tag{4.15}$$

Kimyasal reaksiyonların olmadığı kabul edilirse, zamana bağlı değişmeyen sürekli hal için;

$$\left(\frac{dm}{dt}\right) = 0 \tag{4.16}$$

$$\dot{m}_{giren} - \dot{m}_{\text{çıkan}} = 0 \tag{4.17}$$

$$\dot{m}_{giren} = \dot{m}_{\text{çıkan}} = W \tag{4.18}$$

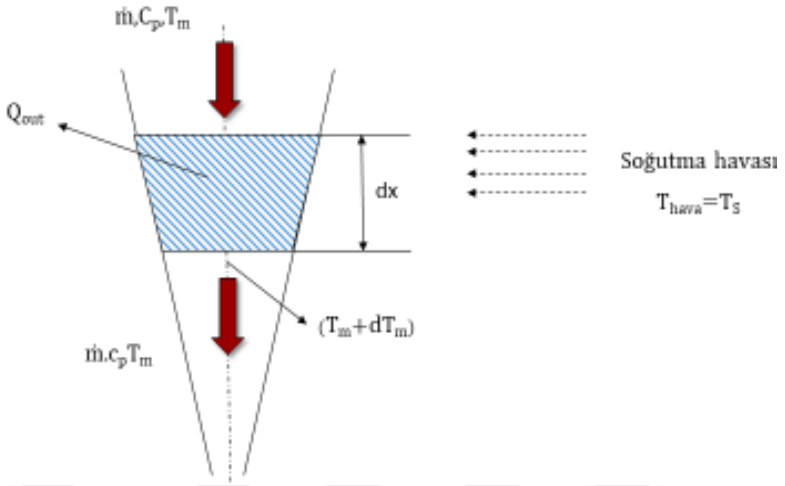
$$W = \rho . \dot{V} \tag{4.19}$$

$$W = \rho . A . v = \rho . \pi . D^2 . v/4 \tag{4.20}$$

Denklem 4.20 elde edilir. Eşitlik içerisinde W, v, D, ρ ve $\dot{V}$ sırasıyla kütlesel debi, eksenel hız, iplik çapı, polimer yoğunluğu ve hacimsel debidir.

4.2.2 Enerji Dengesi

Enerjinin korunumu ilkesi aşağıdaki şekilde gösterilen kontrol hacmi etrafında sisteme uygulanmıştır.



Şekil 4.3 Enerji Dengesi İçin Kontrol Hacmi

Kontrol hacmi etrafındaki enerji dengesi;

$$\binom{Enerjideki}{değişim} = \binom{Enerji}{giriş} - \binom{Enerji}{çıkış} + \binom{Isı}{giriş} + \binom{Sistemin}{yaptığı\ iş} \quad (4.21)$$

$$\Delta\,(U + KE + PE) = (U + KE + PE)_{giren} - \,(U + KE + PE)_{çıkan} + Q + W_T \quad (4.22)$$

Denklem 4.21'de verilen U, KE , PE , Q ve W_T ifadeleri sırasıyla; iç enerji, kinetik enerji, potansiyel enerji, kontrol hacmi sınırı boyunca ısı transferi, sistem üzerinde yapılan işler $P\dot{V} + W_s$'dir.

Potansiyel ve kinetik enerjideki değişimler ihmal edilerek, denklem 4.22 birim zamana bölünürse;

$$\frac{dU}{dt} = \left(\dot{U}_{giren} + P\dot{V}_{giren}\right) - \left(\dot{U}_{çıkan} + P\dot{V}_{çıkan}\right) + \dot{Q} + \dot{W}_s \quad (4.23)$$

halini alır. Burada $P\dot{V}_{giren}$ ve $P\dot{V}_{çıkan}$ terimleri giriş ve çıkıştaki basınçtan kaynaklanmaktadır. Bu terimler, kontrol hacmi boyunca basınç düşümünü ifade etmek için eklenmiştir.

Eğer $\dot{U}$+P $\dot{V}$ terimi yerine ental entalpi ifadesi kullanılırsa Denklem 4.24 ve 4.25 elde edilir.

$$\dot{U}+\mathrm{P}\dot{V}=\dot{H} \tag{4.24}$$

$$\frac{d\dot{U}}{dt} = \dot{H}_{giren} - \dot{H}_{çıkan} + \dot{Q} + \dot{W}_s \tag{4.25}$$

Seçilen kontrol hacminde sistemde herhangi bir iş yapılmaz ve sistem zamana bağlı değişmemektedir.

$$\dot{H}_{giren} - \dot{H}_{çıkan} = -\dot{Q} \tag{4.26}$$

$$\Delta\dot{H} = -\dot{Q} \tag{4.27}$$

Sisteme olan ısı girişi taşınım ısı transferi ile gerçekleştirilmekte olup, ışınım ihmal edilmektedir (Deklem 4.28).

$$\underbrace{\mathrm{W}.C_p\,.\mathrm{T(x)}}_{\text{ısı }girişi} - \underbrace{W.C_p.T(x+\Delta x)}_{\text{ısı çıkışı}} = \underbrace{h.\mathrm{A}.\Delta\mathrm{T}}_{\text{hacimden olan ısı kaybı}} \tag{4.28}$$

$$\underbrace{\mathrm{W}.C_p.\mathrm{T(x)}}_{\text{ısı }girişi} - \underbrace{W.C_p.T(x+\Delta x)}_{\text{ısı çıkışı}} = \underbrace{\pi.\mathrm{D}.h.\Delta\mathrm{x}.(\overline{\mathrm{T}}-\mathrm{T_s})}_{\text{hacimden olan ısı kaybı}} \tag{4.29}$$

Burada,

$$\bar{T} \cong \frac{T(x)-T(x+\Delta x)}{2} \tag{4.30}$$

$\Delta x \to 0\ ve\ lim_{\Delta x\to 0}\bar{T}(x) \to T(x)$ olursa,

$$W.C_p\frac{(T(x+\Delta x)-T(x))}{\Delta x} = \pi.D.h.(\bar{T}-T_s) \tag{4.31}$$

$$W.C_p\frac{dT}{dx} = -\pi.D.h.(T(x)-\ T_s) \tag{4.32}$$

Denklem 4.32, aşağıdaki hali alır.

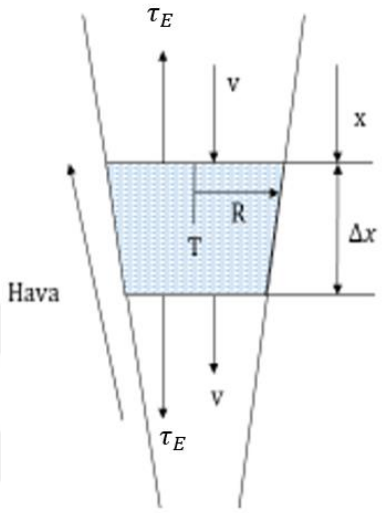
$$\frac{dT}{dx} = \frac{-\pi.D.h}{W.C_p}(T(x)-T_s) \tag{4.33}$$

Dr. Kikutani ve arkadaşlarının 1985 yılında [71] gerçekleştirdiği çalışmada ipliklerin radyal yönde de sıcaklıkları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında 5000, 7000, 9000 m/dk çekme hızlarında, iplik sıcaklığının 200 °C olarak ölçüldüğü bölgede, çekirdek bölge ile merkez arasında yaklaşık 5-6 °C'lik bir sıcaklık farkının olduğu belirlenmiştir [71]. Bu tez çalışması kapsamında, daha uniform soğutmanın sağlandığı sistem üzerine çalışıldığı için ve daha düşük iplik üretim hızları

incelendiği için radyal yönde sıcaklık dağılımının hesaplanması çalışmalara dahil edilmemiştir.

4.2.3 Kuvvet Dengesi

Dr. Kikutani'nin çalışmalarında da olduğu gibi sadece doğrusal momentumun korunumu dikkate alınarak çekme işlemi yönünde bir boyutlu olarak kuvvet dengesi denklemi oluşturulmuştur [71].



Şekil 4.4 Kuvvet Dengesi İçin Kontrol Hacmi

Bu şematik gösterimde τ_E , kontrol hacmi üzerine polimer tarafından gelen çekme gerilmesidir. Diğer kuvvetler ise akış yönünün tersine havanın uyguladığı sürtünme kuvveti ve aşağıya doğru olan yer çekimi kuvvetleridir. Dolayısıyla lineer momentumun korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t}\pi R^2 \Delta x \rho v = \overbrace{\pi R^2 \rho v^2|_x}^{momentum\ girişi} - \overbrace{\pi R^2 \rho v^2|_{x+\Delta x}}^{momentum\ çıkışı} + \overbrace{\pi R^2 \tau_E|_{x+\Delta x}}^{gerilme\ kuvveti} - \overbrace{\pi R^2 \tau_E|_x}^{gerilme\ kuvveti}$$

$$- \underbrace{\left(\frac{1}{2}\rho_{hava} v^2\right)(2\pi R \Delta x) C_D}_{direnç\ kuvveti} + \underbrace{\rho \pi R^2 \Delta x g}_{yer\ çekimi\ kuvveti} \qquad (4.34)$$

Denklem 4.34'de verilmiştir. Buradaki C_D ve g ifadeleri sırasıyla çekme işlemi yönünde aerodinamik sürükleme katsayısı ve yerçekimi ivmesidir. Eşitliğin her iki tarafı Δx ile bölünerek ve limiti $\Delta x \to 0$ alınırsa, Denklem 4.35'deki gibi ifa edilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}R^2\pi\rho v = -\frac{\partial}{\partial x}R^2\pi\rho v^2 + \frac{\partial}{\partial x}R^2\pi\tau_E - \rho_{hava}\pi v^2 R C_D + \rho\pi R^2 g \qquad (4.35)$$

Denklem basitleştirilirse,

$$\pi R^2\rho\frac{\partial v}{\partial t} = -\pi R^2\rho V\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\pi R^2\tau_E - \pi\rho_{hava}v^2 R C_D + \pi\rho R^2 g \qquad (4.36)$$

Denklem 4.36 elde edilir. Sistem zamana bağlı değişmeyen kararlı durum için,

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \text{ ve } \pi R^2\rho v = \rho A v = W \qquad (4.37)$$

$$0 = -W\frac{dv}{dx} + \frac{d}{dx}\pi R^2\tau_E - \pi\rho_{hava}v^2 R C_D + \pi\rho R^2 g \qquad (4.38)$$

Denklem 4.38'deki gibi ifade edilir.

$$\tau_E = \frac{F}{A} \qquad (4.39)$$

Denklem 4.39'de verilen eşitlik, aşağıdaki Denklem 4.40'e aktarılırsa,

$$\frac{dF}{dx} = W\left(\frac{dv}{dx} - \frac{g}{v}\right) + \pi\rho_{hava}v^2 R C_D \qquad (4.40)$$

olarak son halini alır.

4.2.4 Akış Denklemi

Bu çalışmada polimer Newtonian akışkan olarak kabul edilmiş olup, Denklem 4.41'de verilmiştir. İplik, sabit kesitli bir silindir olarak kabul edilmiştir.

$$\tau_E = 3\mu\frac{\partial v}{\partial x} \qquad (4.41)$$

Burada, μ ve τ_E sırasıyla kesme viskozitesi ve çekme gerilmesidir. Kesme viskozitesi ile uzama viskozitesi arasında $\eta=3\mu$ bağıntısı bulunmaktadır [72].

$$\tau_E = F\frac{\rho v}{W} = \eta\frac{\partial v}{\partial x} \qquad (4.42)$$

Denklem 4.43-4.46'da eşitliklerin son hali toplu olarak verilmiştir.

Kütle dengesi:

$$W = \rho.\pi.D^2.V/4 \qquad (4.43)$$

Enerji dengesi:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{-\pi.D.h}{W.C_p}(T(x) - T_s) \tag{4.44}$$

Kuvvet dengesi:

$$\frac{dF}{dx} = W\left(\frac{dv}{dx} - \frac{g}{v}\right) + \pi\rho_{hava}v^2RC_D \tag{4.45}$$

Akış ifadesi:

$$\tau_E = F\frac{pv}{W} = \eta\frac{\partial v}{\partial x} \tag{4.46}$$

Ayrıca, PET malzeme için sayısal modelde gerekli olan bazı katsayılar aşağıdaki gibi Kikutani'nin çalışmalarından alınmıştır [71]. Taşınım ile olan ısı transferi için *Nu-Re* korelasyonu olarak, hava tüneli deneyleri sonucunda elde edilen korelasyon kullanılmıştır (Denklem 4.53).

$$\rho = 1{,}356 - 5{,}0 \times 10^{-4}\,T \tag{4.47}$$

$$\eta = \begin{cases} 0{,}73exp\left(\frac{5300}{T+273}\right) & T \geq 70°\text{C} \\ \infty & T < 70°\text{C} \end{cases} \tag{4.48}$$

$$C_P = 0{,}3 + 0{,}6 \times 10^{-4}\,T \tag{4.49}$$

$$\tau_f = \frac{1}{2}\rho_a v^2 C_D \tag{4.50}$$

$$C_D = 0{,}5Re_d^{-0{,}61} \tag{4.51}$$

$$h = \frac{k_{hava}}{D}Nu \tag{4.52}$$

$$Nu = 0{,}1516Re^{\,0{,}5368} \tag{4.53}$$

Burada, $\rho_{hava}, k_{hava}, \mu_{hava}$ ve C_D sırasıyla hava yoğunluğu, havanın ısıl iletkenliği, havanın dinamik viskozitesi ve havanın sürtünme katsayısıdır. Nu, Nusselt sayısı, Re ise, Reynolds sayısıdır. Yerçekim ivmesi (g) ve havanın (20 °C, 1 bar) fiziksel özellikleri ise aşağıdaki gibi alınmıştır.

$$g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$$

$$\rho_{hava} = 1{,}204x10^{-3}\ \text{g/cm}^3$$

$$k_{hava} = 2{,}587x10^{-5}\ \text{kW/m·K}$$

$$\mu_{hava} = 18{,}13x10^{-6}\ \text{Pa·s}$$

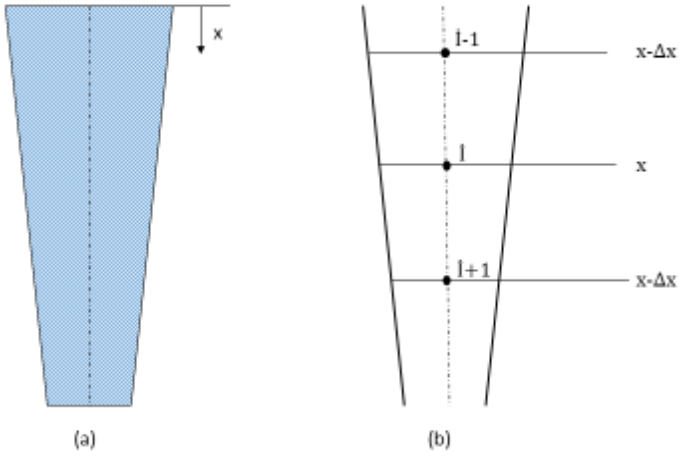
4.2.5 Sayısal Modelin Oluşturulması

Bir matematiksel model, bir fiziksel sistemin veya işlemin temel özelliklerini matematiksel terimlerle ifade eden bir formülasyon ya da denklem olarak tanımlanmaktadır. Genel anlamda bir bağımlı değişken, Denklem 4.54'de de verildiği gibi, bağımsız değişkenlere, parametrelere ve zorlayıcı fonksiyonlara göre ifade edilebilmektedir.

$$\begin{matrix} Bağımlı \\ değişken \end{matrix} = f\left(\begin{matrix} bağımsız \\ değişken \end{matrix}, parametreler, \begin{matrix} zorlayıcı \\ fonksiyon \end{matrix}\right) \tag{4.54}$$

Bağımlı değişken, sistemin davranışını veya durumunu yansıtan bir karakteristik özelliktir. Bağımsız değişkenler genellikle sistemin davranışının belirlendiği zaman ve uzay gibi boyutlardır. Parametreler sistemin özelliklerini veya bileşimini yansıtmakta, zorlayıcı fonksiyon ise ona etki eden dış etkenlerdir [73]. Fiziksel bir sorunun gerçek matematiksel ifadesi, basit bir cebirsel ilişki veya büyük karmaşık diferansiyel denklemler kümeleriyle ifade edilebilmektedir. Bir önceki bölümde, iplik çekme hattı probleminin bağımsız değişkenleri, parametreleri ve yönetim denklemleri tanımlanmıştı. Bu bölümde ise, nümerik ifadeleri üzerine odaklanılmıştır.

İplik çekme hattı denklemlerini çözebilmek adına Ziabicki, Kase ve Matsuo vb. araştıracılar birbirinden farklı sonlu fark yöntem metodlarını kullanmışlardır [66-71]. Bu yöntemlerde, çözüm alanı veya kontrol hacmi, noktalardan veya düğümlerden oluşan küçük alanlara bölünmüştür. PDE (Partial Differential Equations) her düğüm için yazılır ve çözümlenir. Bu tür çözüm metodları kavramsal olarak anlaşılması kolay olsa da, Sonlu Elemanlar Metodu ile karşılaştırıldıklarında bazı eksiklikleri vardır. Özellikle, düzensiz geometri, olağandışı sınır koşulları veya heterojen bileşim olan sistemlerde çözümlerde yetersizdir. Ancak iplik çekme hattı modelinde sistem simetrik eksenli, homojen ve sınır koşulları hakkında yeterli bilgi bulunmaktadır. Bu nedenle, denklemlerin çözümleri sonlu fark yöntemi ile elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Modelin Kesikli Hale Getirilmesi (a)Çözüm Alanı (b)Sonlu Fark Gösterimi

Problemin çözüm alanı Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Buradaki amaç, mevcut denklemleri sonlu fark yöntemiyle çözümleyerek, cebirsel probleme dönüştürmektir. Aşağıdaki aşamalar uygulanmıştır:

1. Sürekli bir fiziksel alanı bağımsız sonlu kısımlara bölme,
2. Cebirsel sonlu fark yaklaşımının uygulanması,
3. Bir cebirsel sonlu fark denklemi elde edilmesi,
4. Elde edilen cebirsel ifadenin çözümü.

Sonlu fark çözüm alanının çözümlenebilmesi için Taylor Serisi yaklaşımı kullanılılabilmektedir. Taylor Serisi yaklaşımı çeşitli şekillerde uygulanabilir ve hepsi diğer sonlu fark yaklaşımlarına neden olabilir. Bu çalışmada, işlem kolaylığı ve modele uygunluğu açısından Explicit Euler yöntemi kullanılmıştır.

$$f(x_{i+1}) = f(x_i) + \frac{f'(x_i)}{1!}\Delta x + \frac{f''(x_i)}{2!}\Delta x^2 + \frac{f'''(x_i)}{3!}\Delta x^3 + \cdots + \frac{f^n(x_i)}{n!}\Delta x^n \quad (4.55)$$

İplik çekme hattı modelinde, en yüksek denklem derecesi 1'dir. Birinci türevin çözümü için ileriye doğru Taylor genişlemesi düzenlenirse, birinci türev Denklem 4.56'daki gibi olur:

$$f'(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{\Delta x} \quad (4.56)$$

Bu ifadeye göre, iplik çekme hattı probleminin diferansiyel yönetim denklemlerinin sonlu fark çözümleri, sürekli çözüm alanını ayrık hale getirerek ve diferansiyel

denklemdeki türevlere, sonlu fark yaklaşımı uygulanarak elde edilir. Daha önce elde edilen denklemler (Denklem 4.44-4.46) sonlu fark yaklaşımlarıyla değiştirilirse,

$$\frac{dT(x_i)}{dx} = \frac{-\pi.D(x_i).h(x_i)}{W.C_P(x_i)}(T(x_i) - T_s) \tag{4.57}$$

$$F(x_i)\frac{\rho(x_i).v(x_i)}{W} = \eta(x_i)\frac{\partial v(x_i)}{\partial x} \tag{4.58}$$

$$\frac{dF(x_i)}{dx} = W\left(\frac{dv(x_i)}{dx} - \frac{g}{v(x_i)}\right) + \pi D(x_i).\tau_E(x_i) \tag{4.59}$$

denklemleri elde edilir. Taylor Serisi genişlemesinden elde edilen yaklaşık birinci türev bir sonraki adımda çözüm ile ilgili olarak düzenlenmiştir.

$$f(x_{i+1}) = f(x_i) + f'(x_i).\Delta x \tag{4.60}$$

İplik çekme hattı modelinin denklemleri Exclicit Euler Yöntemi'ne göre yazılırsa bir sonraki aşamadaki çözüm şu şekilde ifade edilir:

$$T(x_{i+1}) = T(x_i) + \left(\frac{-\pi.D(x_i).h(x_i)}{W.C_p(x_i)}(T(x_i) - T_s)\right).dx \tag{4.61}$$

$$v(x_{i+1}) = v(x_i) + \left(F(x_i)\frac{\rho(x_i).v(x_i)}{W.\eta(x_i)}\right).dx \tag{4.62}$$

$$F(x_{i+1}) = F(x_i) + \left(W\left(\frac{dv(x_i)}{dx} - \frac{g}{v(x_i)}\right) + \pi D(x_i).\tau_E(x_i)\right).dx \tag{4.63}$$

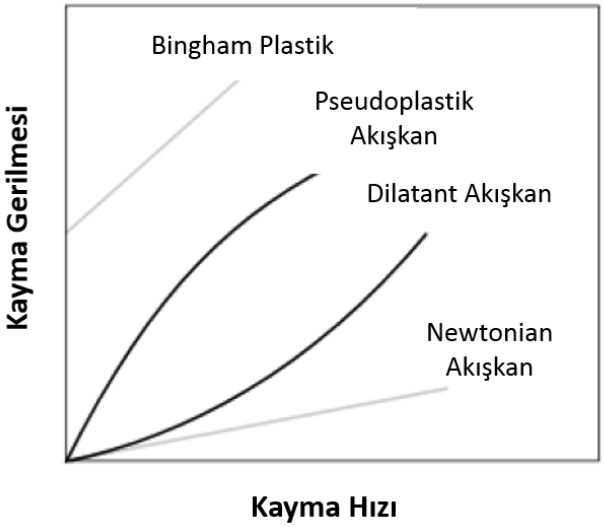
Yukarıda bir boyutlu izotermal olmayan, newtonian çekme hattı modeli elde edilen denklemler (Denklem 4.61-4.63) görülmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ise bir boyutlu izotermal olmayan, Newtonian akış olmayan (Maxwell) modeli için çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.3 Bir Boyutlu Newtonian Olmayan Akışkan Hesaplamaları

Bölüm 4.1'de geliştirilen model, tekil iplik çekme hattı boyunca, akışın Newtonian yani tamamen viskoz akış olduğu varsayılmıştır. Ancak bu kısımda daha kesin sonuçlar elde etmek için Newtonian olmayan akış üzerine çalışılmıştır.

Kesme gerilmesi ve şekil değiştirme hızı bağlı olarak farklı çeşit akışkanlar tanımlanabilmektedir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, bu iki parametrenin belirli bir oranda lineer olarak değişen akış türü, Newtonian akış olarak adlandırılmaktadır.

Bu iki parametrenin lineer olarak değişmediği akışkanlara ise Newtonian olmayan akışkan olarak tanımlanmakdır. Bu eriyik haldeki polimerler hem viskoz sıvı özelliği hem de elastik bir katı davranışı göstermektedir. Bu yüzden polimer eriyik haldeki polimerlerin akışı Newtonian olmayan bir akışkan türü olup, visko-elastik malzeme davranışına sahiptir.

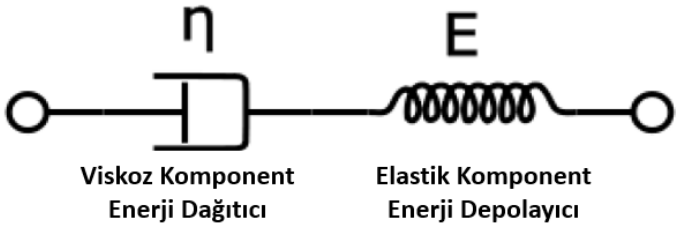


Şekil 4.6 Kayma Hızı ve Kayma Gerilmesi Grafiği

Katı halde ekstrüdere gelen polimer, burada ısı ve mekanik deformasyona maruz kalarak eriyik haline getirilir ve basınçlandırılır. Ardından dağıtım kollarına ilerleyerek, dişli pompalar vasıtasıyla daha önceden belirlenlenen kütlesel debi oranında ilgili yerlere basılmaktadır. Polimer, atmosfer ortamına ulaşmadan önce bir filtre yapısından geçirilerek, düze olarak adlandırılan küçük deliklerden hava ortamına aktarılır. Yaklaşık 300 ^{o}C'de düzeden çıkan polimer, hava sayesinde soğutulmaktadır. Polimer, düzeden çıktığı yerden katılaşıncaya kadar, sarım valslerinin etkisiyle uzamaya maruz kalır.

Yüksek hızlarda viskoelastisitenin etkisi, çekme hızı nedeniyle önem kazanmakta ve sonuç olarak, artan çekme hızıyla viskozite azalması sonucu, ipliğin zayıflaması üzerindeki etkisi artmaktadır. İpliğin bu bölgedeki akışıyla ilgili geçmişte birtakım çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda polimer viskoz ve elastik olarak kabul edilmiş olup, akış denklemleri olarak Maxwell, Pan Thein Tanner, Geisekus, and Kelvin-Voight vb. modeller kullanılmıştır [54,60,66-71,74]. Bu çalışmada, viskoelastik akış denklemi olarak Maxwell tercih edilmiştir.

Newtonian akışkan (tamemen viskoz akışkan) ve Hookean katı (elastik katı) kavramsal şematiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Piston ve yay, sırasıyla viskoz akışkan ve elastik katı olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.7 Viskoz ve Elastik Komponent Gösterimi

Newtonian akışkan, sönümleyici piston bir malzeme gibi hareket etmektedir ve sürekli halde akışta gerilme eşitliği Denklem 4.64'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\sigma = \eta \frac{\partial v}{\partial x} \tag{4.64}$$

Newtonian olmayan viskoelastik akış modelinde ise malzeme davranışı, aynı lineer hareketi göstermeyerek, sanki bir piston ve yay hareketi gibi davranmaktatır. Uygulanan gerilme altında yay, anlık bir yönelimsel deformasyona ε_o uğramaktadır. Aynı gerilme altında piston, uzanımsal bir deformasyona ε_v uğramaktadır. Yayın kesme modulü ise G ile ifade edilmektedir. Malzemenin toplam deformasyonu ise Denklem 4.65'de verilmiştir.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_v \tag{4.65}$$

Kurulan bu modeldeki akış denklemi ise;

$$\eta \frac{\partial v}{\partial x} = \sigma + \frac{v}{G}\frac{d\sigma}{dx} \tag{4.66}$$

olarak ifade edilmektedir. Nozul (düze) çapı, çekme hızı, polimer sıcaklığı, soğutma havası sıcaklığı, soğutma havası hızı, çekme hattı uzunluğu, katılaşma sıcaklığı ve çekme hızı bu modelin sınır koşullarıdır. Tüm bunlar dikkate alınarak, Bölüm 4.1'de kuvvet gradyanı ve hız gradyanı için tanımlanan denklemlere bu akış eşitliği (Denklem 4.66) uygulanır.

$$\frac{dF}{dx} = \left[W\left(-\frac{G}{v.\eta} + \frac{\pi.D.h}{W.C_p}(T - T_s)\frac{\partial\rho}{\rho\partial T} \right) - \left(\frac{W.g}{v} - \pi.D\tau_f \right).\frac{1 - W.\frac{G}{\rho}.F.v}{v} \right] . \left[\frac{W}{F} + \frac{1 - W.\frac{G}{\rho}.F.v}{v} \right]^{-1} \quad (4.67)$$

$$\frac{dv}{dx} = \left[-\frac{G}{v.\eta} + \frac{\pi.D.h}{W.C_p}(T - T_s)\frac{\partial\rho}{\rho\partial T} + \frac{\frac{W.g}{v} - \pi.D.\tau_f}{F} \right] . \left[\frac{W}{F} + \frac{1 - W.\frac{G}{\rho}.F.v}{v} \right]^{-1} \quad (4.68)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{-\pi.D.h}{W.C_p}(T(x) - T_s) \quad (4.69)$$

Bu eşitliklerde (Denklem 4.67-4.69) verilen kesme modülü G, 10^9 dyn/cm^2 olarak, sabit kabul edilmiştir. Katılaşmadan önce iplik sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığından yüksek olduğundan, viskozite terimi daha baskındır. Viskoz etki, deformasyon sıcaklığın azalması ile birlikte azalmaktadır. Elastik deformasyon ise katılaşmadan sonra baskın hale gelmektedir. Sistemin sayısal modelini elde etmek için, iplik çekme hattı diferansiyel yönetim denklemlerinin sonlu fark çözümleri, sürekli çözüm alanının ayrık hale getirilerek ve diferansiyel denklemdeki tam türevlerinin sonlu fark yaklaşımları ile değiştirilmesi sonucu elde edilir. Tam ve sürekli türevler sonlu fark yaklaşımlarıyla değiştirilip, çözüm sırasına konulursa aşağıdaki denklemler (Denklem 4.70-4.72) elde edilir.

$$T(x_{i+1}) = T(x_i) + \frac{-\pi.D(x_i).h(x_i)}{W.C_p(x_i)}(T(x_i) - T_s) \, . \, dx \quad (4.70)$$

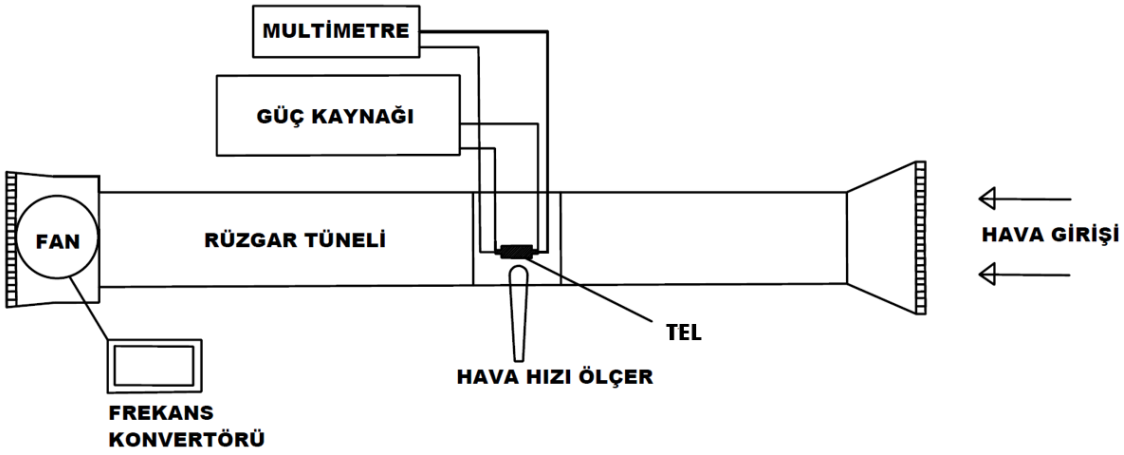
$$v(x_{i+1}) = v(x_i) + \left\{ \left[-\frac{G}{v(x_i).\eta(x_i)} + \frac{\pi.D(x_i).h(x_i)}{W.C_p(x_i)}\left(T(x_i) - T_s(x_i)\right)\frac{\partial\rho}{\rho\partial T} + \frac{\frac{W.g}{v(x_i)} - \pi.D(x_i).\tau_f(x_i)}{F(x_i)} \right] . \left[\frac{W}{F(x_i)} + \frac{1 - W.\frac{G}{\rho}(x_i).F(x_i).v(x_i)}{v(x_i)} \right]^{-1} \right\} \quad (4.71)$$

$$F(x_{i+1}) = F(x_i) + \left\{ \left[W\left(-\frac{G}{v(x_i).\eta(x_i)} + \frac{\pi.D(x_i).h(x_i)}{W.C_p(x_i)}\left(T(x_i) - T_s(x_i)\right)\frac{\partial\rho}{\rho\partial T}\right) - \left(\frac{W.g}{v(x_i)} - \pi.D(x_i).\tau_f(x_i)\right).\frac{1-W.\frac{G}{\rho(x_i)}.F(x_i).v(x_i)}{v(x_i)} \right].\left[\frac{W}{F(x_i)} + \frac{1-W.\frac{G}{\rho(x_i)}.F(x_i).v(x_i)}{v(x_i)} \right]^{-1} \right\}.dx \quad (4.72)$$

5
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

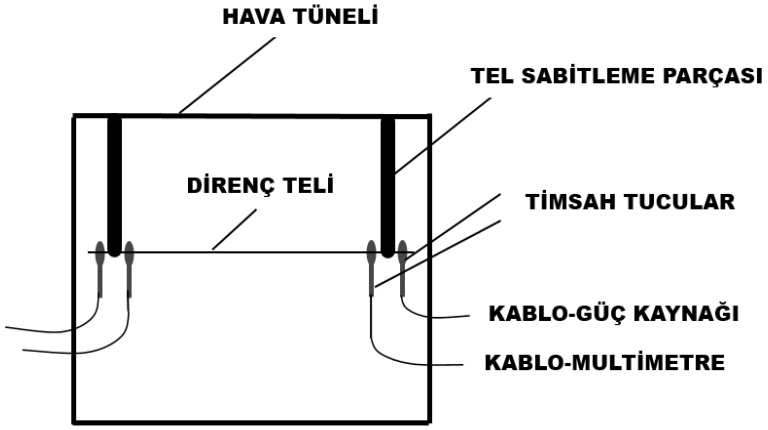
Bir tekil iplik üretim hattında bulunan soğutma sistemindeki *h* taşınım ısı transfer katsayılarını belirlemek maksadıyla, paralel ve çapraz akış için deneylerin gerçekleştirildiği test düzeneği üzerinde çalışılmıştır. Çalışmalar, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan hava tüneli test düzeneğinde yapılmış olup, deney düzeneği revizyonları Kordsa Teknik Tekstil A.Ş. teknisyenleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1'de hava tüneli deney düzeneğinin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 5.1 Hava Tüneli Deney Düzeneği Şematik Çizimi

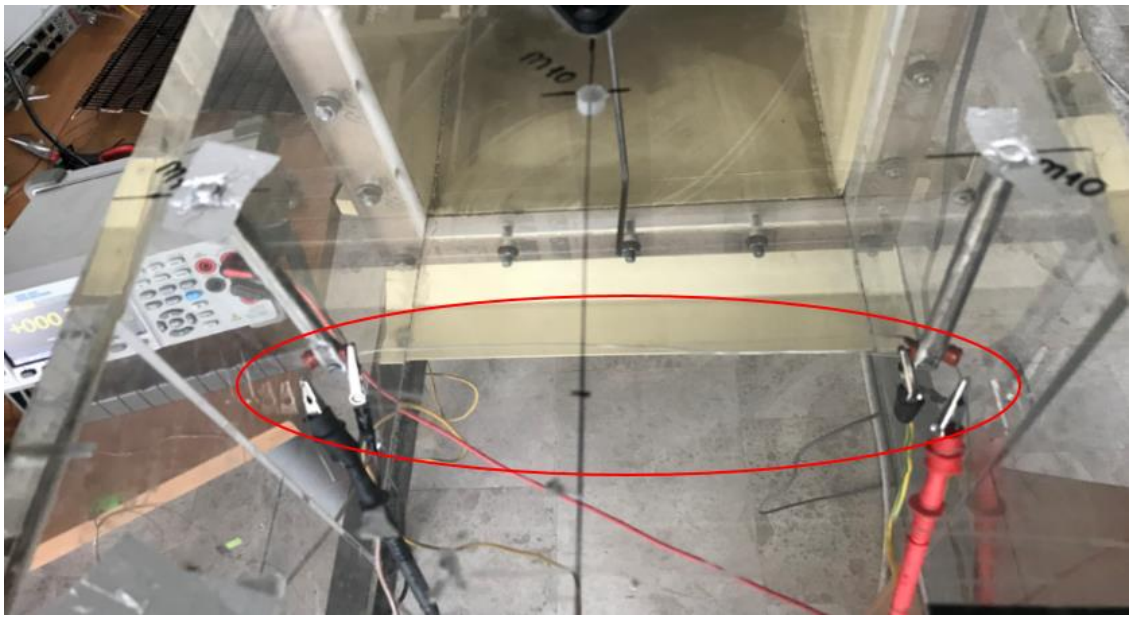
Hava tüneli deney düzeneği 300x300 mm bir kanal kesitine sahip olup, multimetre, güç kaynağı, hava hızı ölçer, fan ve frekans konvertörü ekipmanlarından meydana gelmektedir. Frekans konvertörü vasıtasıyla fanın çalışma gücü ayarlanarak kanal içerisinden geçen havanın hızı ayarlanabilmektedir. Yapılan deneylerde hava hızının 0,5 m/s ile 5 m/s aralığında olduğu durumda ısı taşınım transfer katsayıları incelenmiştir. Hava hızı ölçümleri, hava hızı ölçer (debimetre) ile gerçekleştirilmiştir.

Çapları 0,2 mm ile 1,0 mm aralığında değişen Resistohm 30 model direnç telleri temin edilmiştir. Ni-Cr-Fe içeren bu alaşımlı direnç telleri ASTM B 344 standartına uygun olarak üretilmektedir. Alaşımlı direnç tellerinin özdirenci 1,04 Ohm·mm^2/m, 20 ile 1000 °C sıcaklık aralığındaki sıcaklık katsayısı 250x10^{-6}/°K, yoğunluğu 7,90 g/cm^3 olup, maksimum operasyon sıcaklığı 1200 °C'dir [75].



Şekil 5.2 Çapraz Akış İçin Direnç Teli Yerleşimi Şematik Çizimi

Şekil 5.2'deki şematik çizimde görüldüğü gibi direnç teli, iki tel sabitleme parçası arasına gerdirilerek yerleştirilmiştir. Direnç tellerinin uçları, iletken olmayan ve yüksek sıcaklığa dayanabilir bir yalıtım malzemesi ile sarılarak metal çubuklara civata, somun vasıtasıyla gerdirilmesi sonucu sabitlenmiştir.



Şekil 5.3 Direnç Telleri Sabitleme Mekanizması

Direnç tellerinin, güç kaynağına ve multimetreye bağlantısını yapabilmek için başında timsah tutucu olarak adlandırılan iletken parçalar kullanılmıştır (Şekil 5.3). Hesaplamalarda bunların etkisi çıkartılarak, sonuçların doğruluğu arttırılmıştır.

Isı taşınım katsayısının belirlenebilmesi için direnç telinin ısıtılması ve bu andaki akım ve voltaj değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için güç kaynağı ve multimetre kullanılmıştır. AATech marka ADM 3303 DD model güç kaynağı vasıtasıyla bakır tel kablo çeşitli güç değerlerinde, üzerinden akım geçirilerek, ısıtılmaktadır. Güç kaynağı 0 ile 30 Volt değerleri arasında gerilime sahip olup, verilebilecek akım değeri 0 ile 3 Amper arasında değişmektedir [76].



Şekil 5.4 AATech Marka ADM 3303 DD Model Güç Kaynağı [76]

AATech marka ADM 3055 model multimetre vasıtasıyla, direnç teli üzerinden geçen akım ve voltaj değerleri okunmaktadır. Rüzgar tüneli çalışırken, belirli bir zaman sonra multimetrede okunan değerler sabit kalmakta ve bu değerler not edilmektedir. Multimetre, 200 mV ile 1000 V arasında DC gerilim ölçüm kademesine ve 200 mV ile 750 V arası AC ölçüm kademesine sahiptir. Maksimum okuma kapasitesi ise 150 adet/saniye'dir [77].



Şekil 5.5 AATech Marka ADM 3055 Model Multimetre [77]

Deneyler farklı hava hızlarında gerçekleştirilmiş olup, tünelinde hava hızlarının ayarlanmasında Siemens marka frekans konvertörü kullanılmıştır. Farklı frekans değerlerinde hava hızlarının bulunabilmesi için Testo marka 435 model hava hızı ölçer cihazı kullanılmıştır. Pervaneli tip olan bu modelde 0 ile 60 m/sn aralığında hava hızları, 0,01 m/s hassasiyet ile ölçülebilmektedir. Bu cihaz ayrıca, çalışma sıcaklığı -20 °C ile 50 °C hava sıcaklığı arasında ölçüm kaabiliyetine sahiptir [78].



Şekil 5.6 Siemens Marka Frekans Konvertörü

5.2 Deneylerin Yapılışı

0,2 mm ile 1,00 mm aralığındaki çaplarda 5 farklı direnç teli ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan hava hızları 0,5 ile 5 m/sn aralığında değişmektedir. Bu tel çapı ve hava hızı değerleri, tekil iplik üretim prosesinin soğutma sistemi referans alınarak, Kordsa Teknik Tekstil A.Ş. şirketinin uzman mühendislerine danışılarak belirlenmiştir.

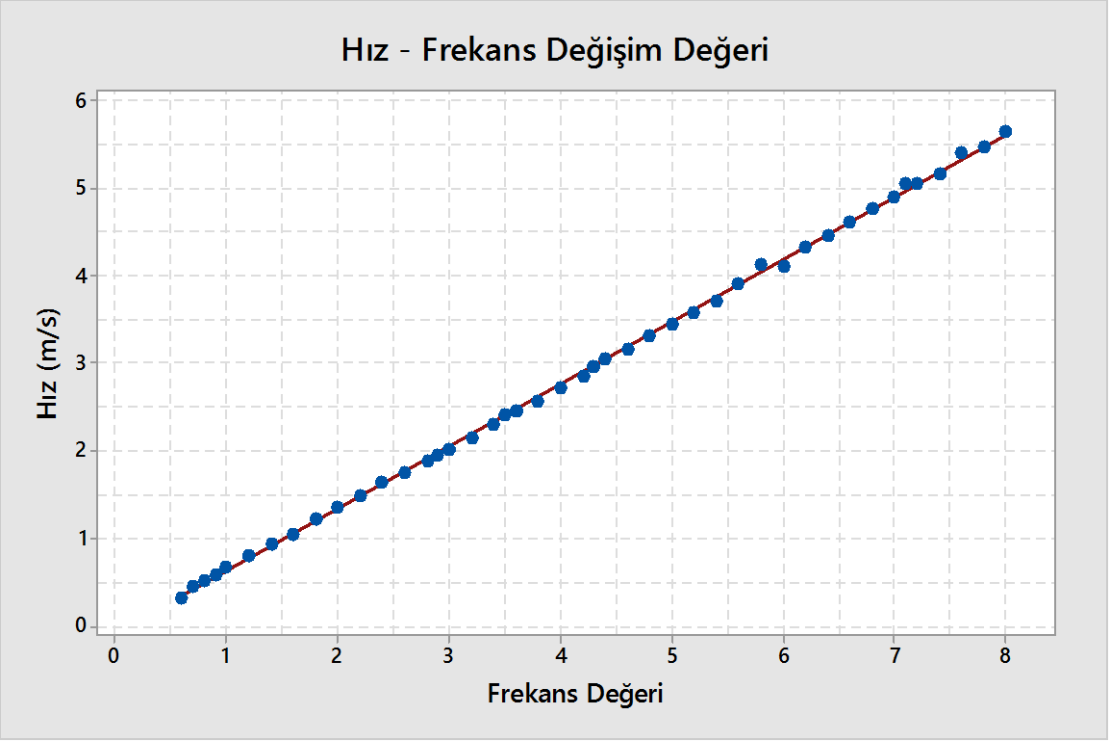


Şekil 5.7 Hava Tüneli Test Düzeneği

Hava tüneli test düzeneğinde testlere başlamadan önce direnç teli sisteme yerleştirilir. Çapraz veya paralel akış durumuna göre direnç telinin konumu ayarlanır. Ardından timsah tutucular vasıtasıyla direnç tellerinin güç kaynağı ve multimetre ile olan bağlantıları yapılır. Fan çalıştırılarak, fan devri istenen konuma getirilir, hava hızının istenen değere gelmesi ve stabil duruma gelmesi beklenir. Dışarıdan alınan havanın sıcaklık değeri anlık olarak ölçülür ve bilgisayar ortamında kaydedilir. Ardından güç kaynağı çalıştırılarak, direnç teli üzerinden akım geçirilir. Bir yandan tel, üzerine verilen akım ile ısıtılırken, diğer yandan üzerinden hava geçirilerek soğutulur. Multimetre vasıtasıyla direnç teli direnç değeri ve voltaj değerleri kontrol edilir. Değerler stabil duruma geldikten sonra 10 dk boyunca üzerinden hava geçirilir. Sistem rejime oturduğunda okunan değerler kaydedilerek, hesaplamalarda kullanılır. Benzer çalışma 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm ve 1,0 mm'lik direnç telleri için 0,5 m/s, 1,0 m/s, 1,5 m/s, 2,0 m/s, 2,5 m/s, 3,0 m/s 3,5 m/s, 4,0 m/s, 4,5 m/s ve 5,0 m/s hava hızlarında tekrarlanır. Tüm bu çalışmalar,

hem çapraz hem de paralel akış için tekrarlanır. Bölüm 4.1'deki teorik çalışmalar yardımıyla *h* taşınım ısı transfer katsayıları hesaplanır, ardından Nu-Re grafikleri çizilir.

Hava hızının istenen değere getirilmesi frekans konvertör vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup, belirtilen çalışma aralığında frekans değişimine bağlı olarak hız değerleri ölçülmüştür. Deneyler çok kez gerçekleştirilerek, bir grafiğe aktarılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda Şekil 5.8'daki hız ve frekans değişim grafiği elde edilmiştir. Bu aralıktaki hava hızları, Hava_hızı=0,713xFrekans_Degeri-0,0973 formülü ile elde edilebilmektedir.

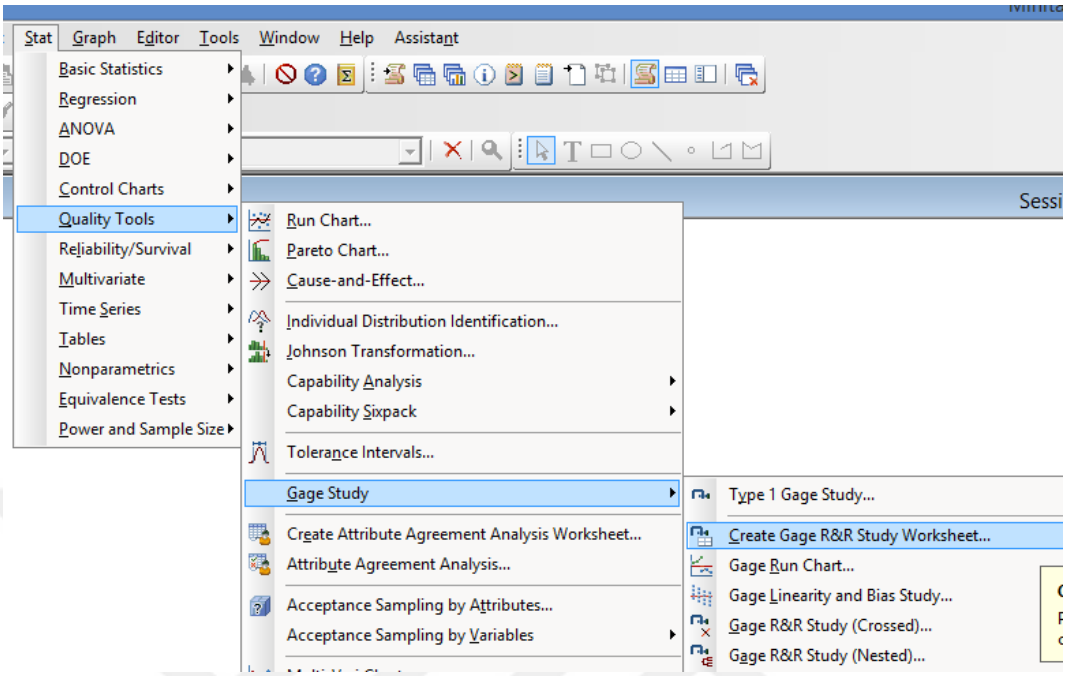


Şekil 5.8 Fanın Frekans-Hız Grafiği

5.3 Ölçüm Belirsizliği Analizleri

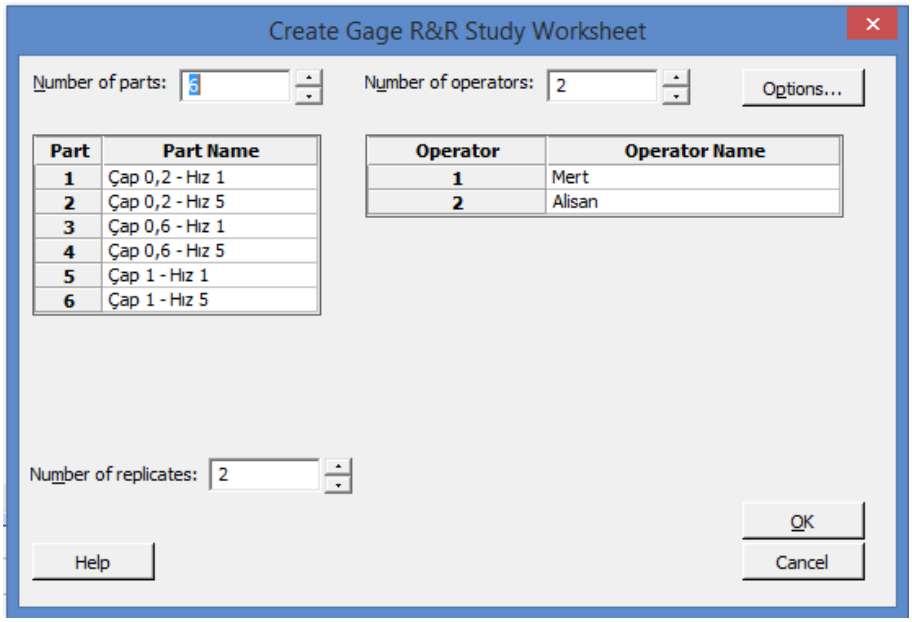
Ölçüm belirsizliği analizi öncesinde çalışmanın tanımlanması gerekmektedir. İlk olarak bir önceliklendirme matrisi oluşturulmuş ve literatür incelenmesi sonucu, tel çapı ve hava hızı parametreleri diğer parametrelere göre öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada hedef olarak, tel çapı ve hava hızı parametrelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ölçüm belirsizliği analizlerinde, test düzeneğinin bu parametreleri anlamlı bir şekilde ölçüp, ölçemeyeceği incelenmiştir. Tel uzunluğu,

ortam nemi ve basıncı gibi parametrelerin sonucu değiştirmeyeceği kabul edilmiştir. Tüm analizler Minitab ticari yazılımında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.9 Gage R&R Deney Planı Hazırlama

Ölçüm yeterliliği analizi için deney seti oluşturabilmek amacıyla "Quality Tools-Gage Study" aracı kullanılmıştır (Şekil 5.9).



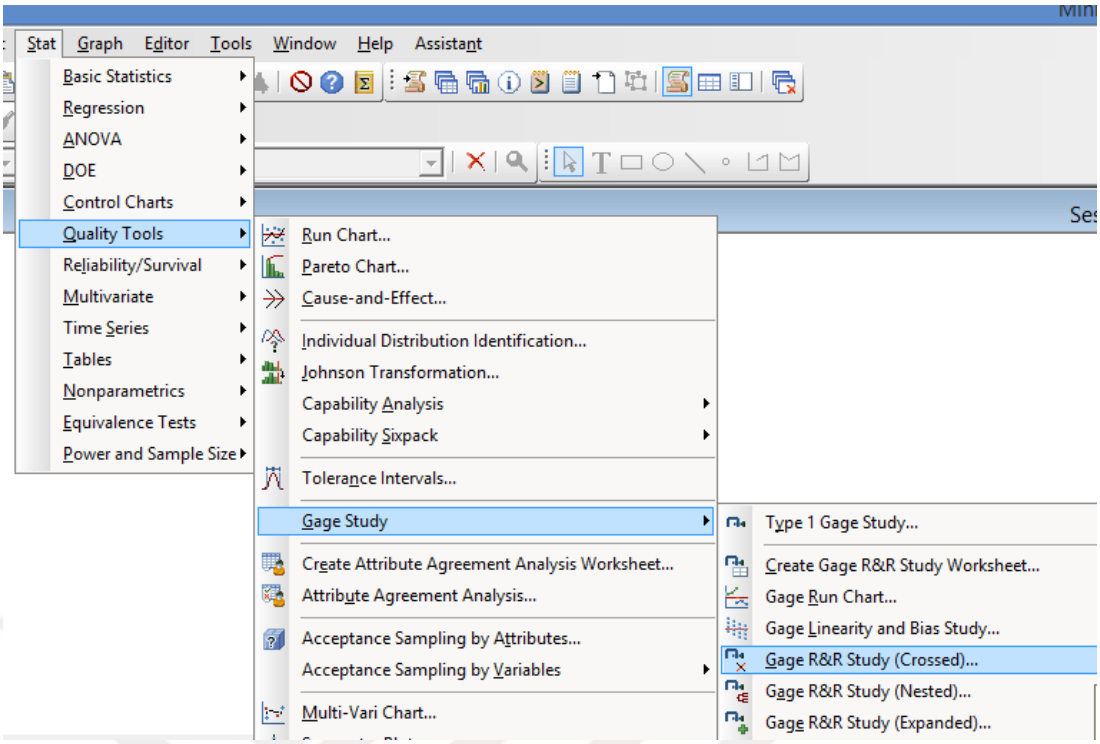
Şekil 5.10 Gage R&R Deney Setinin Oluşturulması

Gerçekleştirilen çalışmada 3 farklı tel çapı için 5 farklı hava hızı olacak şekilde, 6 ayrı parça hazırlanmıştır. Bu deneyler iki farklı operatör tarafından, çift tekrarlı olarak gerçekleştirilecek şekilde kurgulanmıştır. Ayrıca ara hız değerleri de deney setine eklenmiştir.

Tablo 5.1 Gage R&R Çalışması Deney Planı

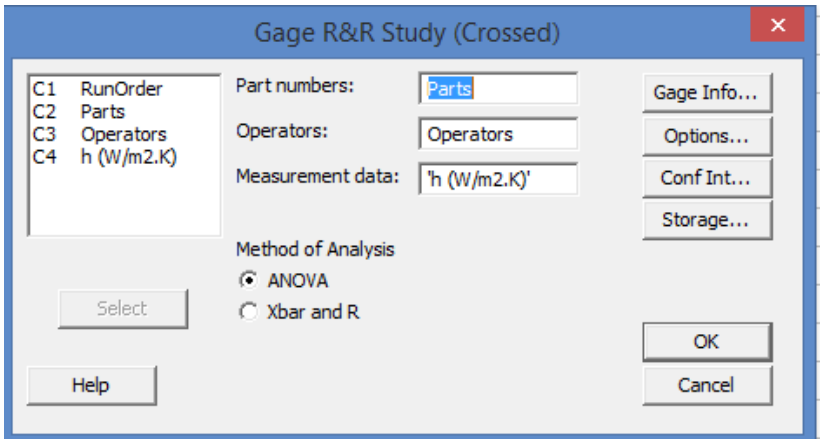
Deney No	Hava hızı(m/s)	Operatorler
1	2,0	Mert
2	1,0	Mert
3	5,0	Mert
4	4,0	Mert
5	3,0	Mert
6	1,0	Alisan
7	4,0	Alisan
8	5,0	Alisan
9	3,0	Alisan
10	2,0	Alisan
11	1,0	Mert
12	4,0	Mert
13	5,0	Mert
14	3,0	Mert
15	2,0	Mert
16	2,0	Alisan
17	3,0	Alisan
18	5,0	Alisan
19	1,0	Alisan
20	4,0	Alisan

Tablo 5.1'deki ölçüm belirsizliği deney planına göre testler gerçekleştirilerek, hesaplanan taşınım ısı transfer katsayıları kaydedilmiştir.



Şekil 5.11 Gage R&R analizi

Yapılan deneyler sonucunda ölçüm yeterliliği analizi yapabilmek amacıyla "Quality Tools-Gage R&R Study (Crossed)" aracı kullanılmıştır. Bu analiz için gerekli seçimler Şekil 5.12'de görüldüğü gibi yapılmıştır.



Şekil 5.12 Gage R&R Analizi Veri Seti Seçimi

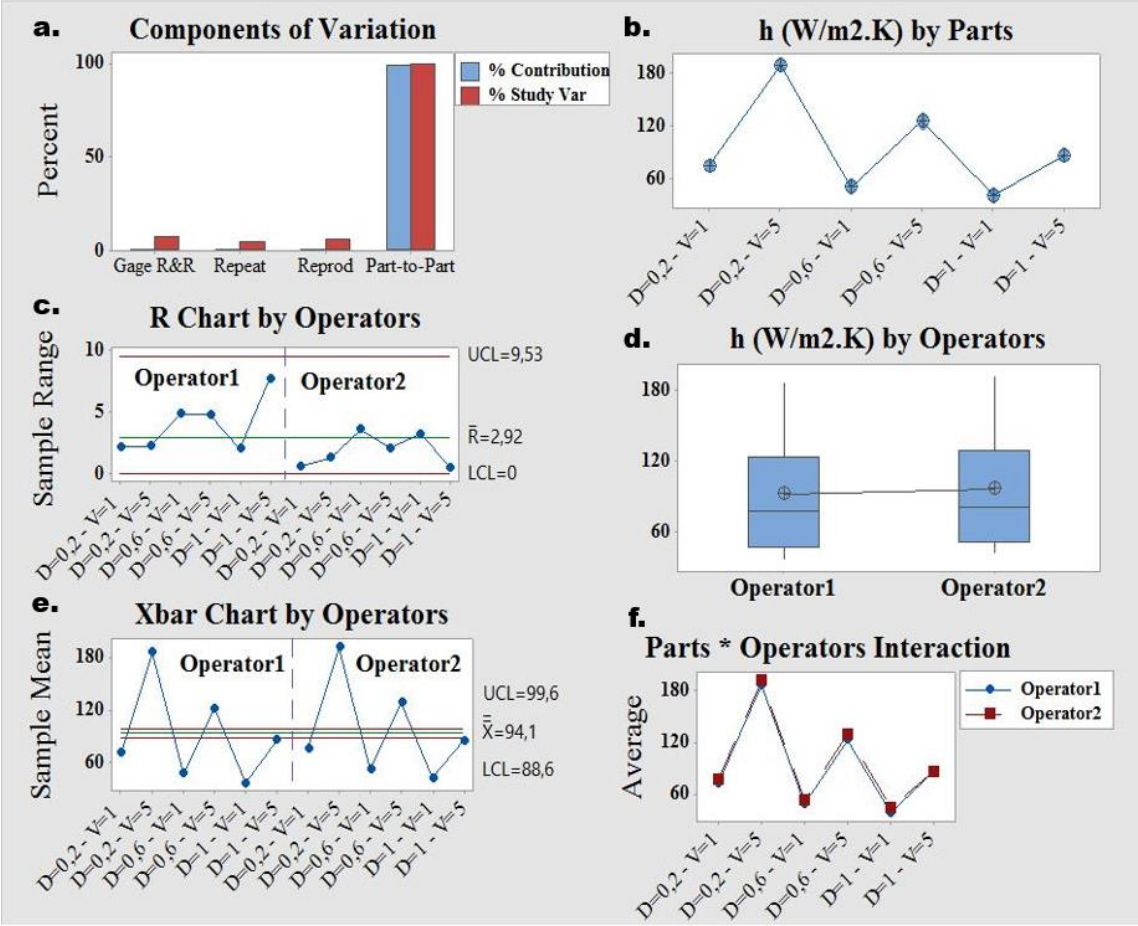
P değeri (P value), analiz sonucundaki tüm parameterelerin ve parametrelerin etkileşimleri için elde edilen olasılık değerlerinin, daha önceden belirlenmiş bir risk değeri ile karşılaştırılarak, üzerine çalışılan parametreler ve etkileşimlerinin sonuç üzerinde etkili olup olmadığına karar vermek için kullanılmaktadır. Bu risk değeri,

verilen karar ile alınacak riski ifade etmekte olup, çalışılan güven aralığını belirtmektedir. Çalışılan sektör ve konuya bağlı olarak risk seviyeleri değişmektedir. Literatürde ve endüstriyel alanların birçoğunda kullanıldığı gibi, bu çalışmada da risk değeri %5 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.2 Ölçüm Yeterliliği Analiz Sonuçları

Ölçüm Yeterliliği Analizi Varyasyon Kaynakları (Komponent)	Varyasyon (Komponent)	% Varyasyon (Komponent)	
Toplam Ölçüm Yeterliliği	36,17	1,18	
Tekrar Edilebilirlik	33,08	1,08	
Yeniden Üretilebilirlik	3,09	0,10	
Operatörlerden Gelen Değişkenlik	3,09	0,10	
Parçalardan Gelen Değişkenlik	3017,24	98,82	
Toplam Varyasyon	**3053,41**	**100,00**	
Varyasyon Kaynakları (Ölçüm)	Standart Sapma	Varyasyon (Ölçüm) (6 × SD)	% Varyasyon (Ölçüm) (%SV)
Toplam Ölçüm Yeterliliği	6,0138	36,083	10,88
Tekrar Edilebilirlik	5,7515	34,509	10,41
Yeniden Üretilebilirlik	1,7567	10,540	3,18
Operatörlerden Gelen Değişkenlik	1,7567	10,540	3,18
Parçalardan Gelen Değişkenlik	54,9294	329,576	99,41
Toplam Varyasyon	**55,2576**	**331,546**	**100,00**

Ölçüm yeterliliği analizi sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için toplam % Varyasyon (Ölçüm/Gage R&R) değeri göz önünde bulundurulmaktadır. Toplam ölçüm yeterliliği %10,88 olarak elde edilmiştir. Literatürde ve endüstriyel çalışmalarda analiz sonucunun %30'un altında çıkması durumunda, ölçüm yeterliliğinin olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 5.13 Ölçüm Belirsizliği Analiz Sonuçları

Şekil 5.13.a'daki grafik, ölçüm yeterliliği, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik değişkenliklerini göstermektedir. Genel ölçüm yeterliliği, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik değişkenliklerinin düşük olması, parçadan gelen değişkenliklerin ise yüksek olması beklenen ve istenen bir durumdur. Bu, değişkenliğe sebep olan parametrenin parçalar olduğunu göstermektedir. Yeniden üretilebilirlik ve tekrarlanabilirlik konularında değişkenlik olmadığı söylenebilmektedir.

Şekil 5.13.b'deki grafik, parçaların ölçüm sonuçlarını ifade etmektedir. Birbirinden farklı olan parçaların ölçüm sonuçları birbirinden farklıdır.

Şekil 5.13.c'deki grafikte iki farklı operatör tarafından gerçekleştirilen ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Her iki operatörün ölçüm sonuçları da alt ve üst kontrol limitinin içinde yer almaktadır.

Şekil 5.13.d'deki grafik operatörlerin ölçüm ortalamalarını göstermektedir. Kutucuklar içerisindeki daireler, operatörlere ait ölçümlerin ortalamasını temsil etmektedir. İki kutucuğu birbirine bağlayan düz çizgi ise ortalamaları ifade etmektedir. Bu çizginin, alt eksene paralel olması beklenen ve istenen bir durum olup, ölçümlerin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Bunun ile birlikte ölçüm yöntemi ve ölçüm sistemi, operatörden bağımsızdır.

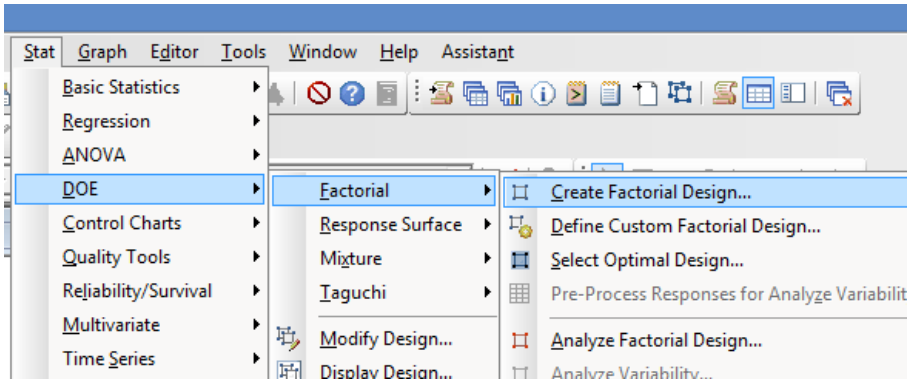
Şekil 5.13.e'deki grafik parçaların limitlerini ifade etmektedir. Parçalar rassal olarak seçildiğinden dolayı, alt ve üst kontrol limitinin dışında seyretmesi istenen bir durumdur.

Şekil 5.13.f'deki grafik operatörlerin ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Birbirinin aynısı olan testlerde aynı sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılan öncül testler ve analizler sonucunda, test düzeneğinin ve ölçüm sisteminin tekrarlanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, bu çalışma çift operatör ile çalışılıp, çalışılmaması gerekliliğini ortaya koymak için de gerçekleştirilmiştir. Operatörlerin değerlendirilmesinde, oldukça düşük risk değeri ile birbirleriyle benzer ölçümler aldıkları görülmekte ve aralarında önemli bir fark olmadığı söylenebilmektedir. Bundan sonraki deneyler için tek operatör ile ilerlenmiştir.

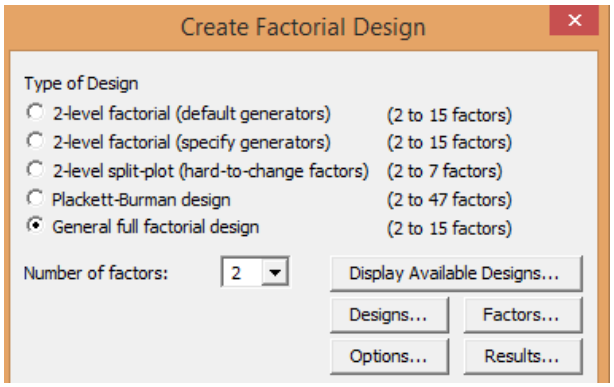
5.4 Deney Setinin Hazırlanması

Gerçekleştirilen test çalışmaları için bir deney tasarımı oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan parametrelerin, çıktı üzerindeki etkileri kontrollü bir biçimde ortaya konulmuştur. Bu istatistiksel çalışma için Minitab ticari yazılımında DOE (Design of Experiment) modülü kullanılmıştır (Şekil 5.14).



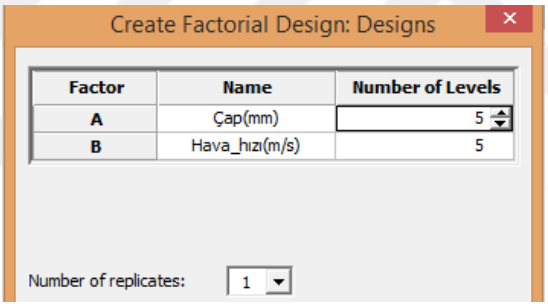
Şekil 5.14 DOE-Faktoriyel Dizayn Modülü

Şekil 5.15'de görüldüğü gibi, faktoriyel tasarımı "General full factorial design", faktör sayısı, parametreler tel çapı ve hava hızı olacak şekilde "2" olarak işaretlenmiştir.



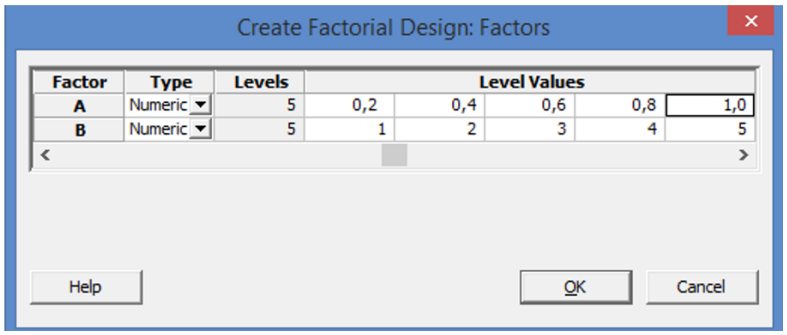
Şekil 5.15 Faktoriyel Dizayn Seçimleri

Şekil 5.16'de görüldüğü gibi, A ve B olmak üzere sırasıyla çap ve hava hızı faktörleri işaretlenmiştir. Her iki faktör için seviye sayısı "5" ve deneylerin tekrar sayısı "1" olarak seçilmiştir.



Şekil 5.16 Faktörlerin Seviyelerini Belirleme

0,2 mm ile 1,0 mm aralığındaki çaplarda 5 farklı direnç teli için, hava hızı 0,5 ile 5 m/sn aralığında değişecek şekilde, level değerleri şekil 5.17'deki gibi girilmiştir.



Şekil 5.17 Faktörlerin Seviyelerinin Değeri

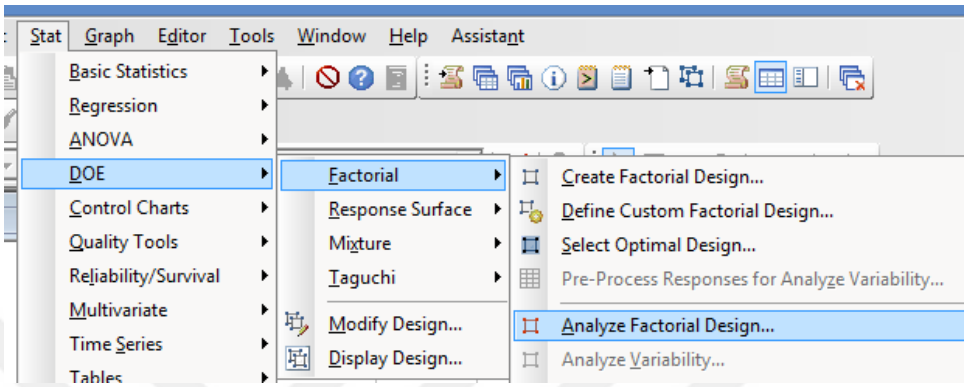
Yukarıdaki adımlar takip edilerek oluşturulan Tablo 5.3'deki deney planı, hem paralel hem de çapraz akış için kullanılmıştır.

Tablo 5.3 Deney Planı

Deney No	Çap (mm)	Hava_hızı (m/s)
1	0,2	1,0
2	0,2	2,0
3	0,2	3,0
4	0,2	4,0
5	0,2	5,0
6	0,4	1,0
7	0,4	2,0
8	0,4	3,0
9	0,4	4,0
10	0,4	5,0
11	0,6	1,0
12	0,6	2,0
13	0,6	3,0
14	0,6	4,0
15	0,6	5,0
16	0,8	1,0
17	0,8	2,0
18	0,8	3,0
19	0,8	4,0
20	0,8	5,0
21	1,0	1,0
22	1,0	2,0
23	1,0	3,0
24	1,0	4,0
25	1,0	5,0

5.5 Deney Sonuçları

Direnç telinin konumunun değiştirilmesiyle, hem çapraz akış hem de paralel akış için ölçümler gerçekleştirilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen deney sonuçlarını analiz etmek için "DOE-Analyze Factorial Design" aracı kullanılmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 DOE-Faktöriyel Dizayn Analizi

5.5.1 Paralel Akış İçin Deney Sonuçları

Paralel akış için analizler yapılmış olup, analizde etkisi düşük parametreler çıkarılmış ve etkili parametreler belirlenmiştir.

Tablo 5.4 Analiz Sonuçları

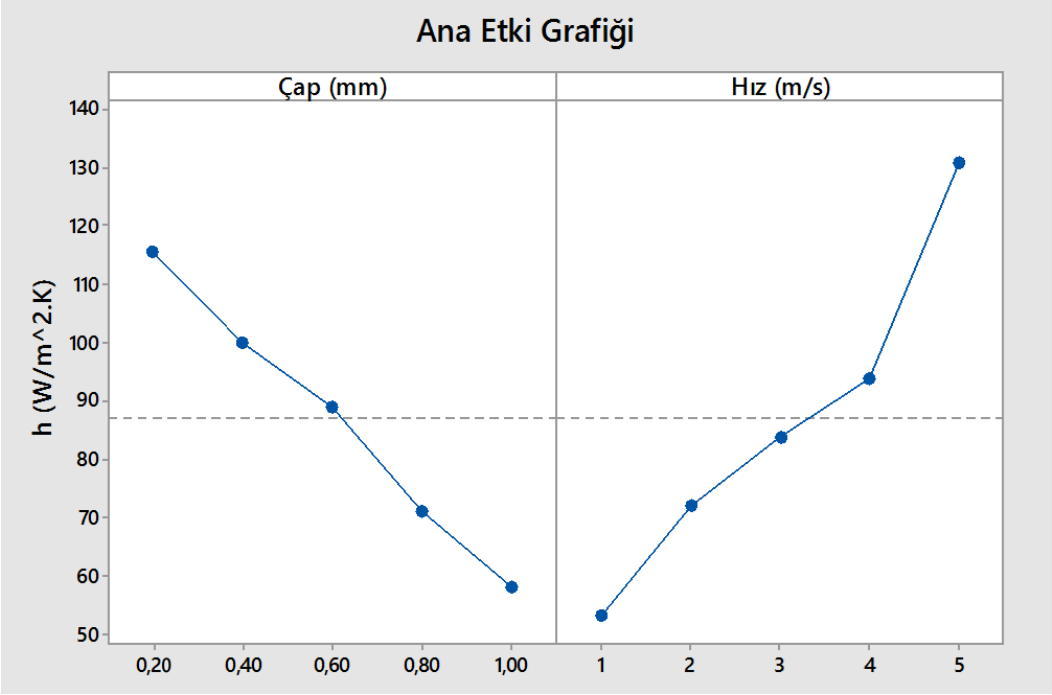
Varyans Analizi Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	8	27090	3386,3	23,20	0,00
Lineer	8	27090	3386,3	23,20	0,00
Çap (mm)	4	10403	2600,7	17,82	0,00
Hız (m/s)	4	16688	4171,9	28,58	0,00
Hata	16	2336	146,0		
Toplam	**24**	**29426**			

Model S	R-Sq	R-Sq(Adj)	R-Sq(Pred)
12,0820	92,06%	88,09%	80,62%

Tablo 5.4'deki analiz sonuçlarına bakılarak (R-Sq(adj)), parametrelerin %88,09'unu açıklayan bir model ortaya konulmuştur. Bu değer 0,7 değerinin üzerinde olduğu için literatüre göre deney sonuçları güvenilir ve anlamlı olarak yorumlanmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen regresyon formülü Denklem 5.1'de verilmiştir. Burada h taşınım katsayısı (W/m²·K), hız (m/s) ve çap (mm) değerlerinden elde edilmektedir.

$$h = 86{,}88 + 28{,}91 \times D_{0,2} + 13{,}14 \times D_{0,4} + 2{,}23 \times D_{0,6} - 15{,}54 \times D_{0,8} - 28{,}73 \times D_{1,0} - 33{,}40 \times V_{1,0} - 14{,}71 \times V_{2,0} - 3{,}15 \times V_{3,0} + 7{,}17 \times V_{4,0} + 44{,}09 \times V_{5,0} \quad (5.1)$$

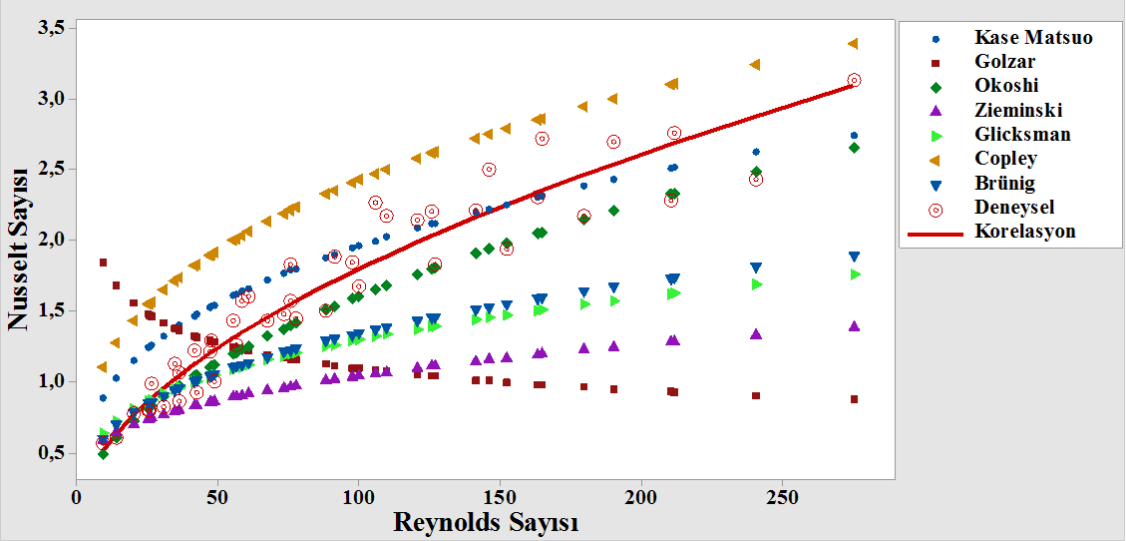
Şekil 5.19'daki ana etki grafiğine bakılarak parametrelerin değişiminin taşınım katsayısını nasıl değiştirdiği incelenebilmektedir. Yatay eksen parametreleri, dikey eksen ise taşınım katsayılarını ifade etmektedir. Ana etki grafiğinde de görüldüğü gibi, aynı hava hızı değeri için tel çap değerinin azalmasıyla birlikte, hava taşınım katsayıları artmaktadır. Aynı şekilde, benzer çap değerinde, hız değerinin artmasıyla birlikte hava taşınım katsayıları artmaktadır.



Şekil 5.19 Paralel Akış İçin Hız ve Çap Ana Etki Grafiği

Deneysel çalışmalarda paralel akış için hesaplanan hava taşınım katsayıları 24 W/m²·K ile 160 W/m²·K aralığında değişmektedir. Literatür çalışmaları

kapsamında, deneysel çalışmalar, Kase ve Matsuo, Golzar, Okoshi, Zieminski, Glicksman, Copley ve Brünig korelasyonları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.20).



Şekil 5.20 Paralel Akış Için *Nu-Re* Sayıları Grafiği

9 ile 275 Reynolds sayıları aralığında, $Nu=0{,}1516Re^{0{,}5368}$ korelasyonu elde edilmiştir. Bu korelasyonun r^2 değeri 0,933 olarak hesaplanmıştır.

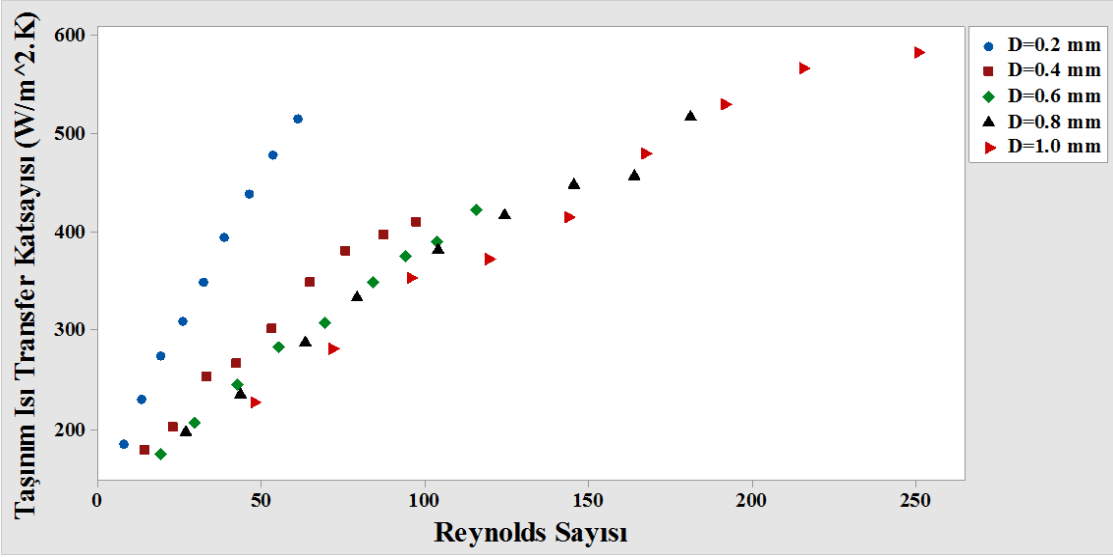
Tablo 5.5 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Paralel Akış İçin % Sapma Miktarları

	Paralel Akış İçin % Sapma Miktarları							
Re	**Kase M.**	**Golzar**	**Ohkoshi**	**Ziemin.**	**Glicks.**	**Copley**	**Brünig**	**Deneysel**
9	37	70	15	4	12	49	6	12
25	36	46	2	8	8	49	6	8
49	35	22	11	16	5	48	5	5
76	12	35	13	63	32	29	29	1
100	15	53	4	61	29	31	25	7
126	4	113	23	99	59	16	52	9
152	14	95	2	66	32	31	25	14
180	9	127	1	78	41	26	33	12
275	14	258	18	126	78	8	65	1

Tablo 5.5'de deneysel çalışmaların, çalışma sonucunda elde edilen ve literatürde verilen korelasyonlardan % olarak sapma miktarları verilmişir. Elde edilen sonuçlar, Ohkoshi, Kase ve Matsuo korelasyonları ile uyum içerisindedir. Reynolds sayısı yükseldikçe, Kase ve Matsuo korelasyonu ile olan % sapma miktarı azalmaktadır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, 70'den düşük Reynolds sayıları için Glicksman, Brünig ve Ohkoshi'nin önerdiği korelasyonlar ile benzerdir. Akışa dik yerleştirilen sabitleyici çubuk, telin önünde yer almasından dolayı akışı etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda bu etkiyi minimuma indirmek için, telin sabitlendiği çubuğun alt kısmı sıkıştırılarak, akışa paralel hale gelmesi ve akışa etkisinin minimize edilmesi sağlanmıştır. Deneyler bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

5.5.2 Çapraz Akış İçin Deney Sonuçları

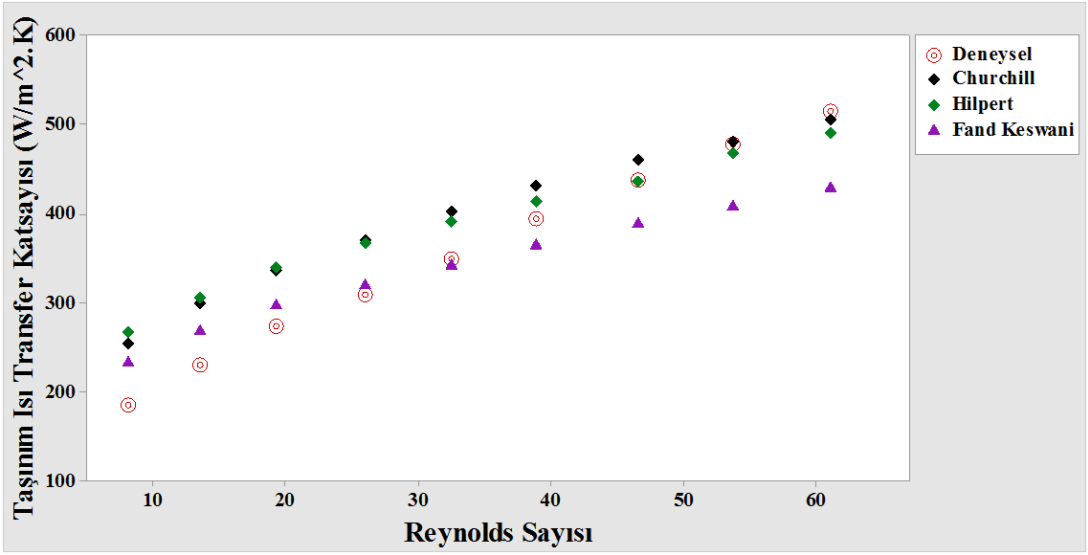
Çapraz akış için de deneyler ve analizler benzer şekilde tekrarlanmıştır. Şekil 5.21'de farklı tel çaplarında gerçekleştirilen deneyler için Reynolds sayısı ve taşınım ısı transfer katsayısı grafiği verilmiştir. Deneylerde 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 0,8 mm ve 1,0 mm çaplarında farklı direnç telleri kullanılmıştır. Hava hızı değerleri, frekans konvertörü yardımıyla ayarlanmış olup, 0,5 m/s ile 5 m/s aralığında deneyler tekrarlanmıştır.



Şekil 5.21 Farklı Tel Çaplarında Çapraz Akış İçin *Re-h* Grafiği

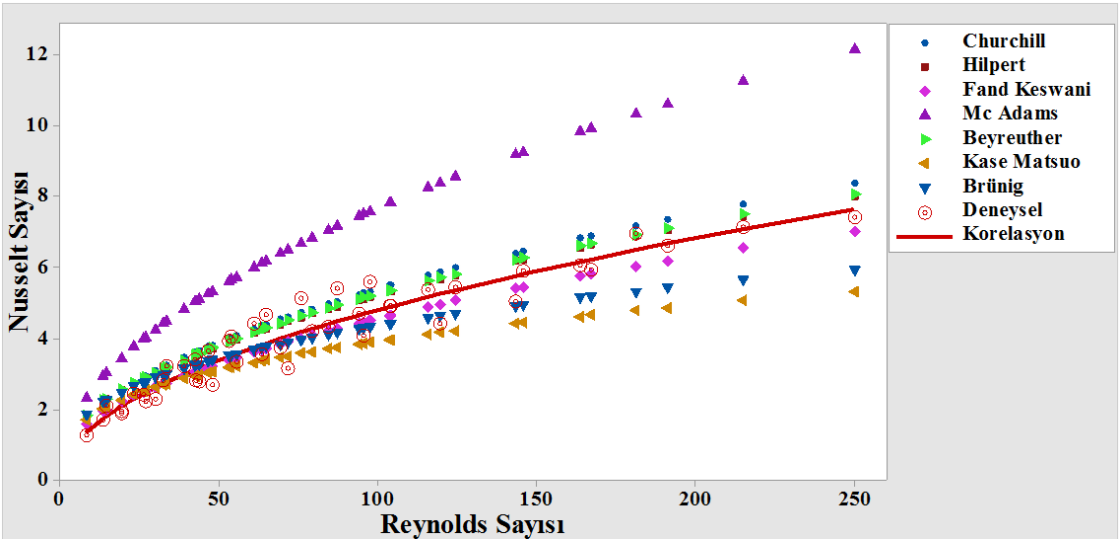
Farklı çaplar için gerçekleştirilen çalışmada, taşınım ısı transfer katsayıları 0,2 mm'lik tel için 183 W/m²·K ile 514 W/m²·K aralığında, 0,4 mm'lik tel için 177

W/m²·K ile 409 W/m²·K aralığında, 0,6 mm'lik tel için 173 W/m²·K ile 422 W/m²·K aralığında, 0,8 mm'lik tel için 195 W/m²·K ile 515 W/m²·K aralığında ve 1,0 mm'lik tel için 226 W/m²·K ile 582 W/m²·K aralığında değişmektedir.



Şekil 5.22 0,2 mm Çapındaki Direnç Teli İçin Çapraz Akışta *Re-h* Grafiği

Şekil 5.22'de çapraz akış koşulunda deney düzeneğine yerleştirilmiş 0,2 mm'lik direnç teli için elde edilen deneysel sonuçlar, Fand ve Keswani, Churchill ve Hilpert korelasyonları ile karşılaştırılmıştır. Hava hızlarının 0,5 m/s, 1,0 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3,0 m/s, 3,5 m/s, 4,0 m/s, 4,5 m/s ve 5,0 m/s olduğu durumda Reynolds sayıları 8 ile 61 aralığında değişmektedir. Elde edilen deneysel sonuçlar, literatürdeki bu korelasyonlar ile uyum içerisindedir.



Şekil 5.23 Çapraz Akış İçin *Nu-Re* Sayıları Grafiği

Çapraz akış kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları, literatürde bulunan Churchill ve Bernstein, Hilpert, Fand ve Keswani, Mc Adams, Dito, Kase ve Matsuo ve Brünig korelasyonları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.23).

Deneysel çalışmalar sonucu hesaplanan hava taşınım katsayıları 173 W/m²·K ile 582 W/m²·K aralığında değişmektedir. 8 ile 250 Reynolds sayıları aralığında, $Nu=0{,}4669Re^{0{,}5064}$ korelasyonu elde edilmiştir. Bu korelasyonun r^2 değeri 0,930 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.6 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Çapraz Akış İçin % Sapma Miktarları

	Çapraz Akış İçin % Sapma Miktarları							
Re	**Churchill and B.**	**Hilpert**	**Fand K.**	**Mc Adams**	**Dito**	**Kase M.**	**Brünig**	**Deneysel**
8	27	30	19	45	30	24	31	5
26	16	15	2	39	16	3	12	0
43	22	20	8	44	20	5	14	10
76	9	12	29	23	11	44	30	1
104	11	8	6	37	8	24	11	0
124	9	6	8	36	6	29	16	1
164	11	8	5	38	9	31	17	2
181	3	1	15	33	0	45	30	7
250	12	7	6	39	8	39	25	3

Tablo 5.6'da çalışma sonucunda elde edilen ve literatürde verilen korelasyonların deneysel çalışmadan % olarak sapma miktarları verilmişir. Elde edilen sonuçlar, Reynolds sayısının 100'den büyük olduğu değerlerde, Hilpert, Dito, Fand ve Keswani, Churchill ve Bernstein korelasyonları ile yüksek uyum içerisindedir. Reynolds sayısı arttıkça, Hilpert, Dito, Fand ve Kesvani, Churchill ve Bernstein korelasyonları ile % sapma miktarları azalmaktadr. Düşük Reynolds sayılarındaki deneysel çalışmalarda, Brünig, Kase ve Matsuo korelasyonları ile düşük % sapma miktarları görülmektedir.

Deneysel çalışmalar ile literatürdeki korelasyonlar arasındaki ve korelasyonların kendi arasındaki % sapmalarının nedeni, özellikle küçük çap değerlerinde bulunan silindir yüzeyleri etrafında gerçekleşen eğrisellik etkisi (curvature effect) olduğu düşünülmektedir. Çap değerleri küçüldükçe bu etki artmakta ve % sapma miktarları yükselmektedir.

Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.'nin kendi bünyesinde ürettiği ipliklerin soğutma koşullarını referans alan bu deneysel çalışmalarda, 0,2 mm ile 1,0 mm çapları aralığındaki silindirik yüzeyli tellerde ve 0,5 m/s ile 5,0 m/s aralığındaki hava hızlarında, paralel ve çapraz akış koşullarında önerilen korelasyonlar aşağıdaki gibidir (Denklem 5.2 ve 5.3):

Paralel akış, $9<Re<275$ için, $Nu = 0{,}1516Re^{0{,}5368}$ (5.2)

Çapraz akış, $8<Re<250$ için, $Nu = 0{,}4669Re^{0{,}5064}$ (5.3)

6
MODEL GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

6.1 Newtonian Akış İçin Model Geliştirme Çalışmaları

Teorik çalışmalar sonucunda elde edilen denklemler kullanılarak Newtonian akış olarak geliştirilen bu modelleme çalışmasında, Tablo 6.1 ve 6.2'de bulunan parametreler için simulasyonlar gerçekleştirilmiş ve Dr. Kikutani'nin makelelerinde yer alan teorik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır [71]. Ticari bir yazılım olan Matlab programı vasıtasıyla, PET polimer malzemesi için 300 cm uzunluğundaki iplik çekme hattı, 300.000 çözüm noktasıyla simule edilmiştir.

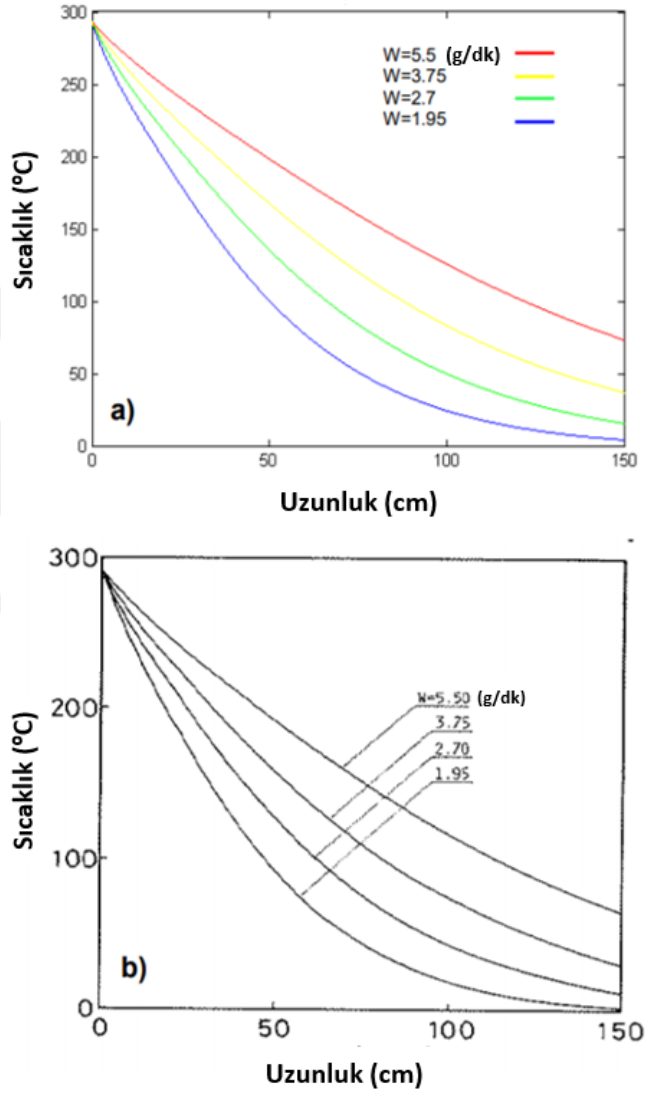
Tablo 6.1 Farklı Debiler İçin Simulasyon Koşulları

Çekme Hızı (m/dk)	Debi (g/dk)	Çıkış Sıc. (°C)	Delik Çapı (mm)	Soğutma Sıc. (°C)	Soğutma Hızı (cm/s)
1000	1,95	293	0,5	-2	40
1000	2,70	293	0,5	-2	40
1000	3,75	293	0,5	-2	40
1000	5,50	293	0,5	-2	40

Tablo 6.2 Farklı Çekme Hızları İçin Simulasyon Koşulları

Çekme Hızı (m/dk)	Debi (g/dk)	Çıkış Sıc. (°C)	Delik Çapı (mm)	Soğutma Sıc. (°C)	Soğutma Hızı (cm/s)
1000	2,70	293	0,5	-2	40
2000	2,70	293	0,5	-2	40
3000	2,70	293	0,5	-2	40
4000	2,70	293	0,5	-2	40

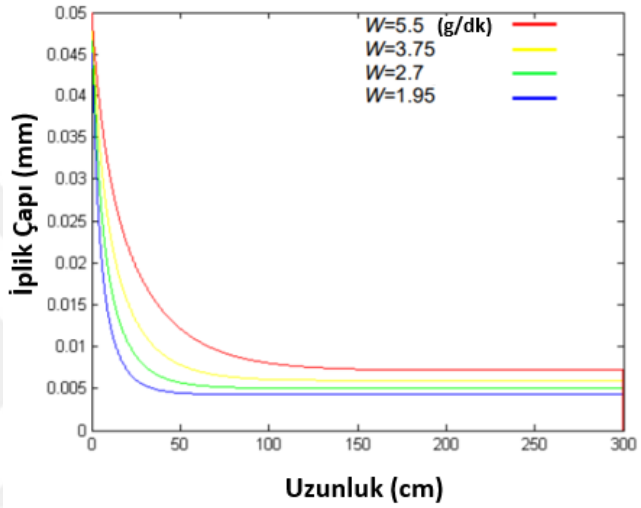
Bu koşullar altında PET malzemenin kristalleşmediği varsayılmakta olup, kristalizasyon etkileri dikkate alınmamıştır. Bu kısımda simulasyondan çalışmasından elde edilen sonuçlar ile Kikutani'nin sonuçları karşılaştırılmıştır [71]. Aşağıdaki tüm grafiklerdeki x ekseni, ipliğin düzeden çıktıktan sonra soğutmaya mağruz kaldığı soğutma kabinini ve ilk sarma godetine kadar olan mesafeyi belirtmektedir.



Şekil 6.1 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Sıcaklık Dağılımı (a)Simulasyon Sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71]

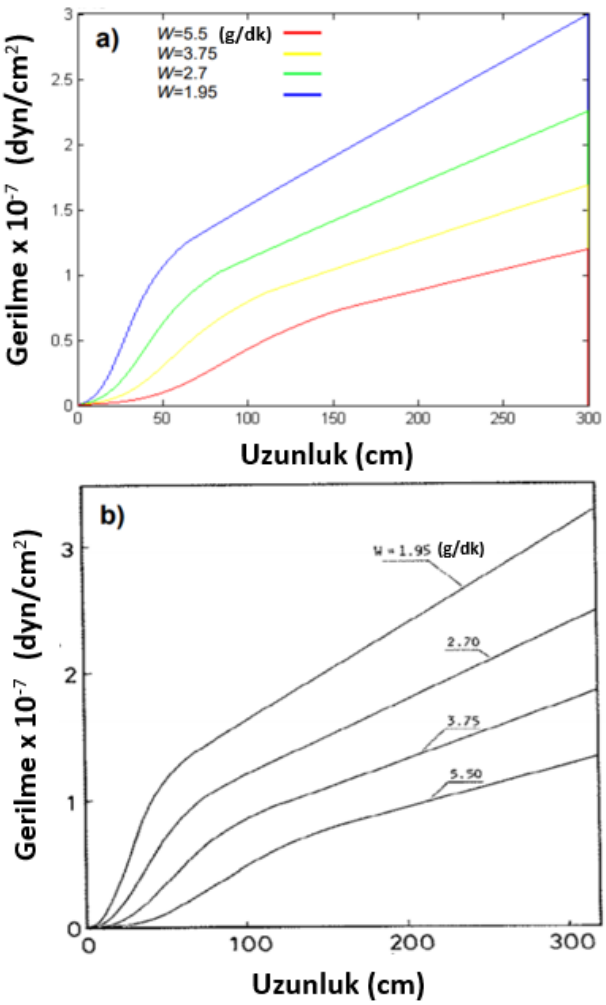
Şekil 6.1'de verilen grafikte, çeşitli debilerde soğutma hattı boyunca sıcaklık değişimleri görülmektedir. Çekme hattı boyunca soğutma gerçekleşmekte ve 293 °C'de ekstrüderden çıkan eriyik polimerin sıcaklığı azalmaktadır. Burada PET

malzeme için camsı geçiş sıcaklığı 70 °C olarak kabul edilmektedir. Düşük polimer debilerinde soğuma eğrisi daha keskin olup, daha kısa mesafede daha düşük sıcaklık değeri sağlanmaktadır. Bu etki aynı zamanda Şekil 6.2'deki çap değişimi ve soğutma hattı uzunluğu grafiğinden de açıkça görüldüğü gibi, en yüksek debi değerinde polimerin camsı geçiş sıcaklığı olan 70°C'e ulaşması 150 cm'de, en düşük debi değerinde olan polimerin ise yaklaşık 50 cm uzaklığında olmaktadır. Debi değeri arttıkça aynı mesafede soğutma yapabilmek için daha fazla ısı transferine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen sonuçlar, Kikutani'nin sonuçları ile benzerdir.



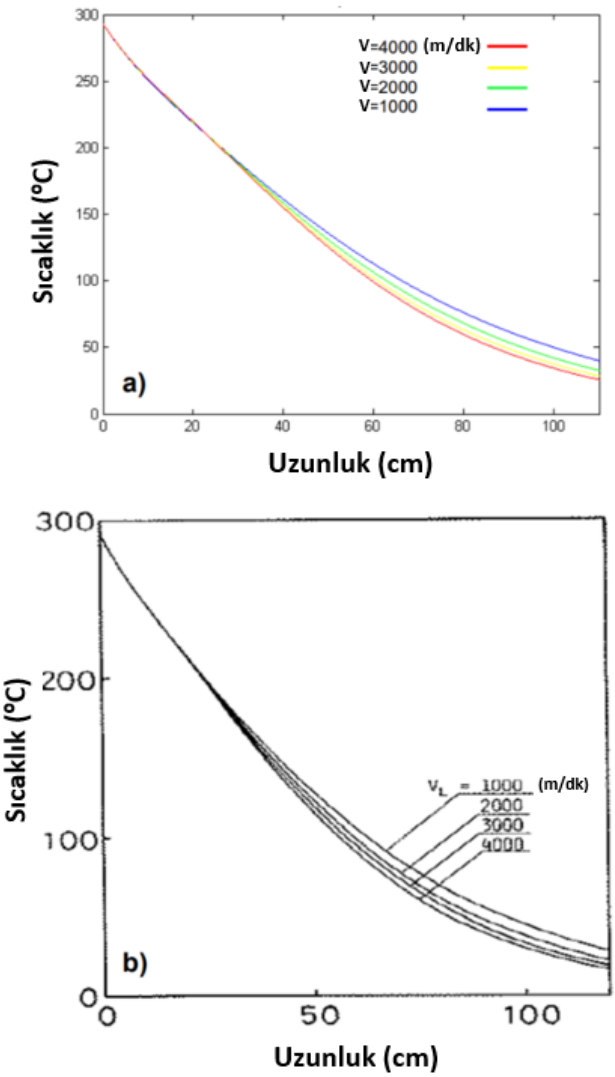
Şekil 6.2 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Çap Değişimi

Şekil 6.3'te soğutma hattı boyunca gerilme dağılımı verilmiştir. Artan ekstrüzyon debisi için aynı çekme hızında çekme gerilmesi değeri azalmaktadır. Aynı zamanda simülasyon sonuçları, Kikutani'nin teorik çalışma sonuçları ile tutarlı olduğu görülmektedir. Çekme hattı boyunca gerilme dağılımı, daha düşük debiler için daha yüksektir.



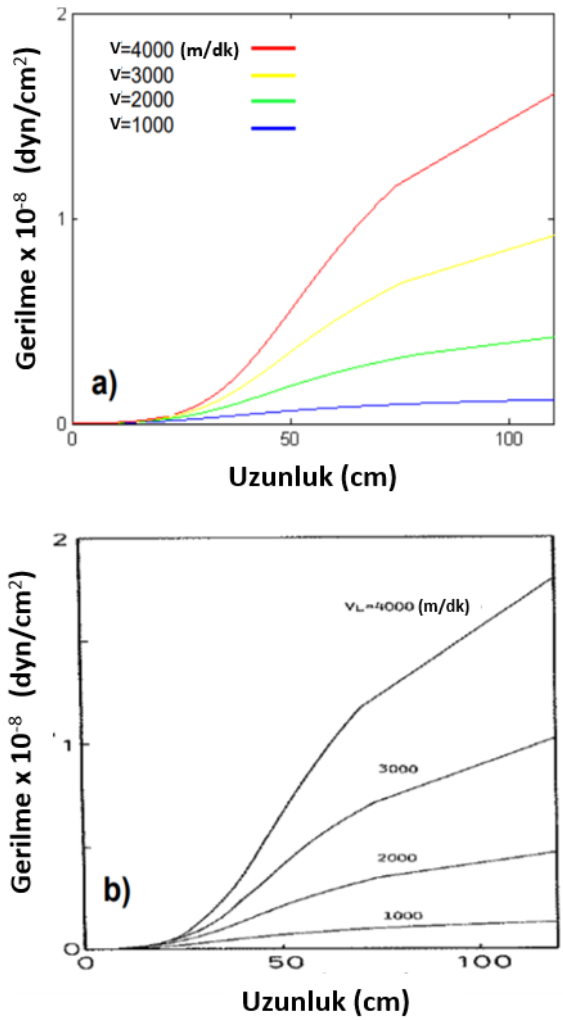
Şekil 6.3 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Gerilme Dağılımı (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71]

Şekil 6.4'te mevcut yapılan simulasyonlar ile Kikutani'nin farklı çekme hızları için konuma bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri görülmektedir. Çekme hızı arttıkça istenilen sıcaklık değerine daha kısa mesafede ulaşılabilmektedir. Aynı debi değeri (2,7 g/dk) için 4000 m/dk çekme hızında 50 °C sıcaklığa düzeden sonra 85 cm'de ulaşılırken, 1000 m/dk çekme hızında 50 °C sıcaklığa 100 cm mesafede ulaşılmaktadır. Ayrıca simulasyon sonuçları, Kikutani'nin gerçekleştirdiği çalışma sonuçlarıyla benzerdir.



Şekil 6.4 Farklı Çekme Hızları İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Sıcaklık Dağılımı (a) Simulasyon sonuçları (b) Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71]

Çekme hattı boyunca farklı çekme hızlarının iplik gerilmesine olan etkisi Şekil 6.5'te görülmektedir. Çekme gerilmesi, artan çekme hızı ile kuvvetli bir şekilde artmaktadır. Elde edilen simulasyon sonuçları, Kikutani'nin simulasyon sonuçlarıyla benzerdir. Artan çekme hızlarında, iplik gerilmesinde soğutma havasının sürükleme kuvveti hakim olmaktadır. Bu nedenle, çekme hızının artırılması, çekme hatı boyunca daha yüksek iplik gerilmesi ile sonuçlanmaktadır.



Şekil 6.5 Farklı Debiler İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Gerilme Dağılımları (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71]

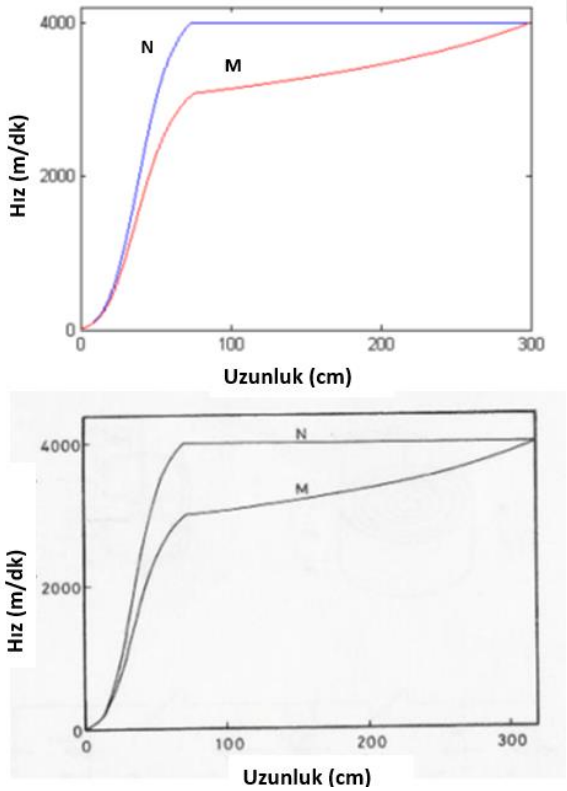
6.2 Newtonian Olmayan Akış İçin Model Geliştirme Çalışmaları

PET polimer malzeme için Newtonian olmayan, viskoelastik akış kabulüyle geliştirilen bu modelleme çalışmasında, Tablo 6.3'deki parametreler için simulasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda da 300 cm uzunluğundaki iplik çekme hattı, 300.000 çözüm noktasıyla çözümlenmiştir. Diğer kabuller de Bölüm 6.1'deki modeldeki gibi benzer şartlar kabul edilmiştir. Bu koşullar altında PET malzemenin kristalleşmediği varsayılmakta olup, kristalizasyon etkileri dikkate alınmamıştır.

Tablo 6.3 Newtonian ve Newtonian Olmayan Akış İçin Simulasyon Koşulları

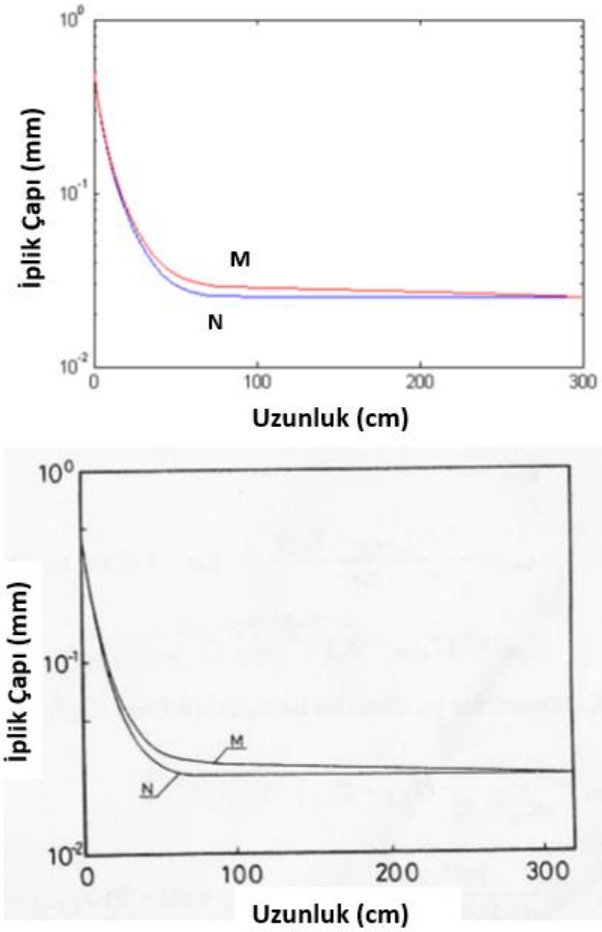
Çekme Hızı (m/dk)	Debi (g/dk)	Ekstrüzyon Sıc. (°C)	Delik Çapı (mm)	Soğutma Sıc. (°C)	Soğutma Hızı (cm/s)
4000	2,70	293	0,5	-2	40

Şekil 6.6'da farklı çekme hızlarında Newtonian ve Newtonian olmayan (Maxwell) akış modelleri için düzeden 293 °C'de çıkan polimerin ilerlemesine bağlı olarak hızları değişimleri verilmiştir. Maxwell akışında, viskoelastik deformasyon kaynaklı bir gecikme (yaklaşık %30) söz konusudur. Bu akış modelinde, çekme hızı arttıkça elastik deformasyon miktarının arttığı Şekil 6.6'daki grafiklerden görülmektedir. Bu farklılık elastik deformasyon kaynaklı olup, T_g camsı geçiş sıcaklığından sonra iki akış türü arasındaki fark etkisini göstermektedir. Newtonian olmayan akıştan Şekil 6.7'de de görüldüğü gibi çap düşümü devam etmekte, buna istinaden konuma bağlı hız değeri atmaktadır. Gerçekleştirilen simulasyon çalışması ile Kikutani çalışma sonuçları benzer grafiklere sahiptir.



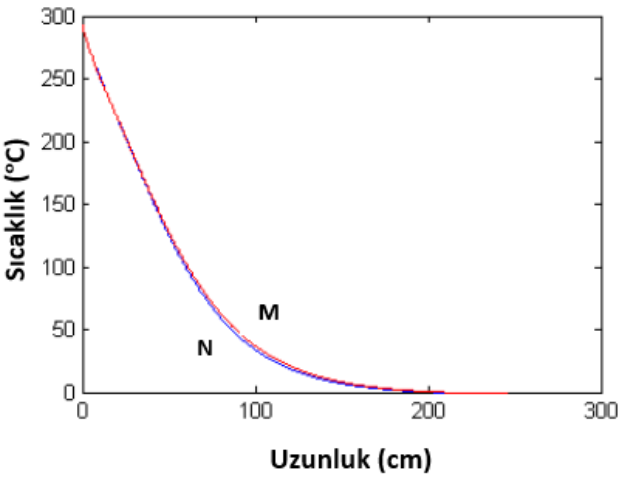
Şekil 6.6 Newtonian ve Maxwell Akışı İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Hız Değişimi (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71]

Elastik deformasyon etkisinden kaynaklanan fark, Şekil 6.7'deki çap değişimi grafiğinden de görülmektedir. Aynı çalışma koşulları için, 2 farklı akış modelinde simulasyon çalışması yapılmıştır. Çap değişimi, Maxwell viskoelastik modelinde daha az gerçekleşmiş olup, gerçekleştirilen simulasyon sonuçları ile Kikutani çalışma sonuçları uyum içerisindedir.



Şekil 6.7 Newtonian ve Maxwell Akışı İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Çap Değişimi (a)Simulasyon sonuçları (b)Kikutani Çalışmasının Sonuçları [71]

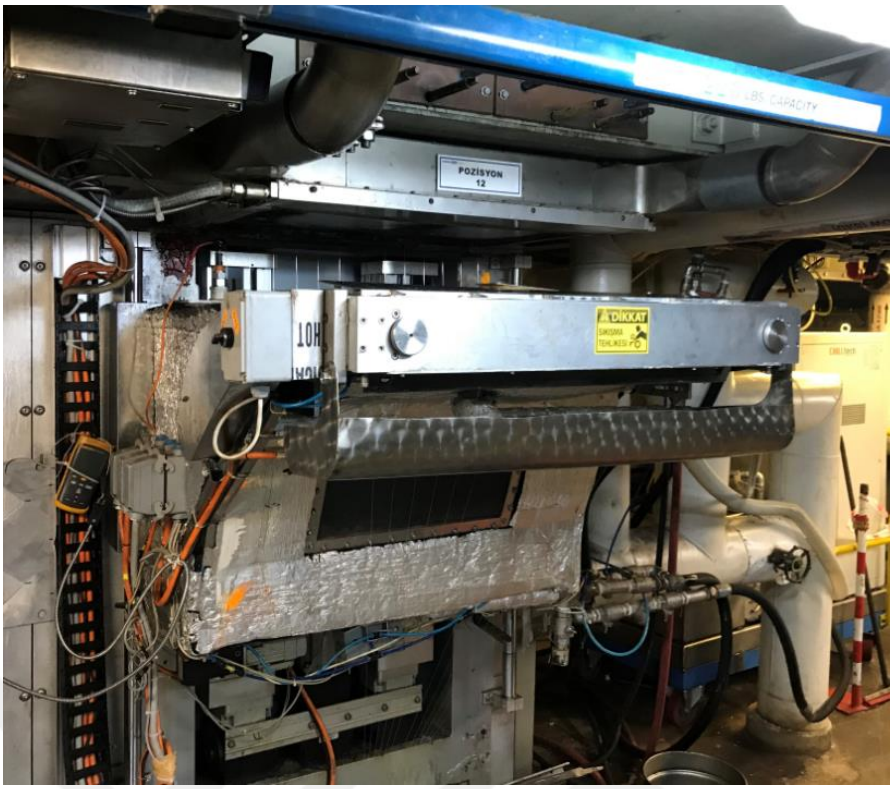
Her iki akış modelinde, çap ve hız değerleri farklı olsa da, ısı transfer mekanizmaları benzerdir. Fakat, malzeme özellikleri aynı olmasına karşın tek fark, çaplarından kaynaklanan taşınım ile gerçekleşen minör ısı transferi miktarlarıdır. Çap değeri daha geç rejime oturan Newtonian olmayan viskoelastik Maxwell modelinde, çap değerinin daha fazla olmasına karşın, hız değeri daha düşüktür. Boyutsuz Reynolds sayısı ifadesinden de anlaşılacağı gibi, bu iki etki birbirini dengelemektedir. Bundan dolayı sıcaklık ile uzunluk grafikleri benzer karakteristiktedir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 Newtonian ve Maxwell Akışı İçin İplik Çekme Hattı Boyunca Sıcaklık Değişimi

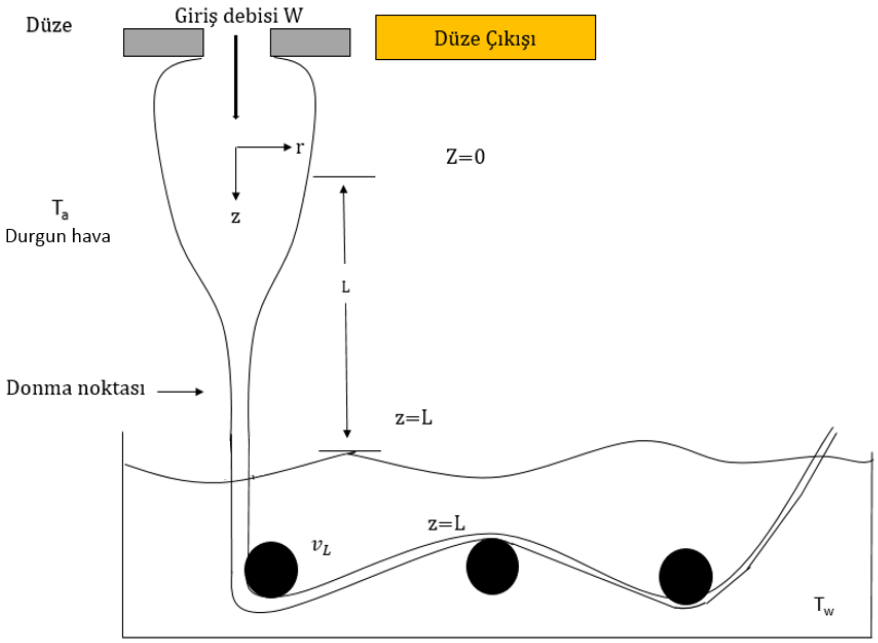
6.3 Hava ve Sıvı Soğutmalı Newtonian Olmayan Akış İçin Model Geliştirme Çalışmaları

Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.'de Naylon 66 polimer malzemeli tekil iplik soğutma sistemlerinde, sıvı (su) banyosu kullanılmaktadır (Şekil 6.9). Aynı zamanda yapılan teorik çalışmaların kontrol testlerinin yapılabileceği laboratuvar tipi bir iplik üretim hattı da bulunmaktadır. Yapılan teorik ve simulasyon çalışmalarını gerçek saha koşullarıyla karşılaştırabilmek amacıyla, daha önceki kısımlarda PET malzeme ile gerçekleştirilen teorik çalışmalar, Naylon 66 polimer malzemesi ile de geliştirilmiştir. Ayrıca, Matlab yazılımına tanımlanan denklemler hem hava hem de sıvı soğutmalı sistem olacak şekilde revize edilmiştir. Bu sayede değişen hava sıcaklığı, hava hızı, düze çıkışı ile sıvı banyosu arası mesafe, su sıcaklığı, sıvı banyosu uzunluğu ve iplik çekme hattı uzunluğuna bağlı olarak; iplik sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Bu elde edilen veriler, Kordsa Teknik Teksil A.Ş.'de seri üretim yapan tekil iplik üretim hattı ile karşılaştırılmıştır. Teorik çalışmalar kapsamında hava ile soğutma yapılan kısım için, bu tez çalışmasında elde edilen *Nu-Re* korelasyonları kullanılmıştır.



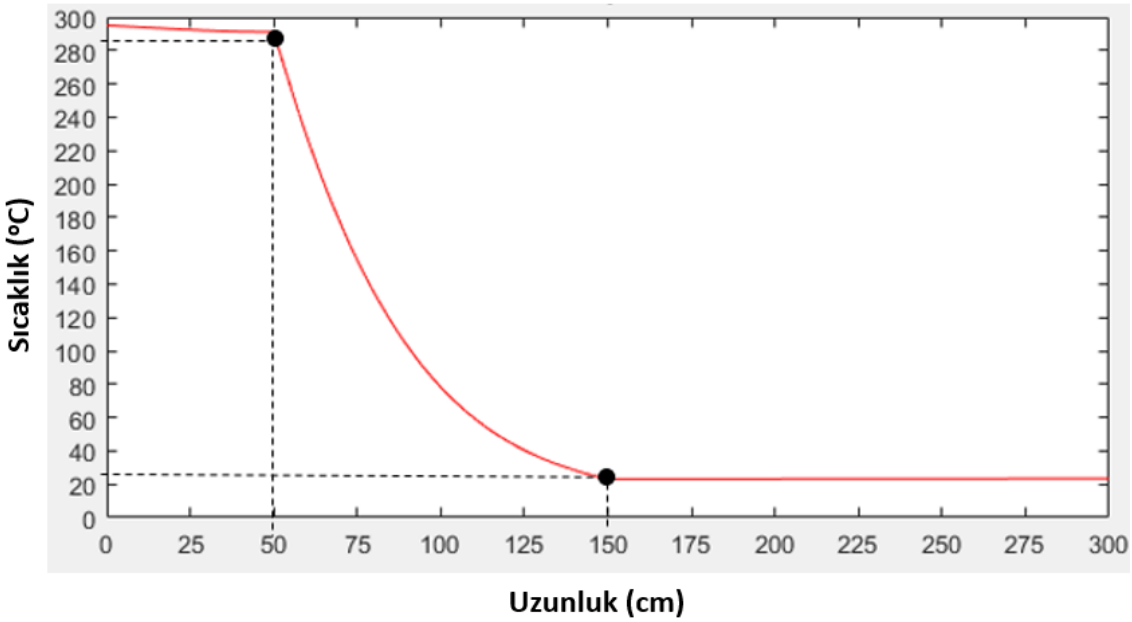
Şekil 6.9 Tekil İplik Üretim Hattı Su Banyosu

Hem hava hem de sıvı soğutmalı sistemin kullanıldığı tekil iplik üretim hattının şematik çizimi Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10 Hava ve Sıvı Soğutmalı Tekil İplik Üretim Hattı Şematik Çizimi

Gerçekleştirilen simulasyon çalışması sonucunda, 50 cm düze ile sıvı banyosu arası mesafesinde, 100 cm sıvı banyosu mesafesinde ve toplamda düze çıkışından, ilk çekme rolüne kadar 300 cm olan iplik çekme hattındaki sıcaklık değişimleri incelenerek Şekil 6.11'deki soğuma eğrisi elde edilmiştir. 295 °C'de düzeden çıkan Naylon 66 polimeri, 50 cm boyunca, 30 °C'de havaya maruz bırakıldığında, sıvı banyosu girişine geldiğinde polimer sıcaklığı 290 °C'ye düşmektedir. Ardından 100 cm boyunca, 8 °C su sıcaklığına sahip sıvı banyosu içerisinden geçirildiğinde, sıvı banyosunun çıkışında tekil iplik sıcaklığı 23,1 °C'ye ulaşmaktadır. Sıvı soğutmalı kısım için ise Dr. Kikutani'nin önerdiği korelasyonlar kullanılmıştır.



Şekil 6.11 Soğutma Hattı Boyunca Tekil İpliğin Sıcak Değişimi

Sıvı banyosu içerisinde bulunan suyun soğutulması işlemi, Şekil 6.12'deki harici bir soğutucu cihaz ile gerçekleştirilmektedir. Bu soğutucuda set edilen su sıcaklığı 8 °C olup, devamlı olarak suyun sıcaklık kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 6.12 Sıvı Banyosu Soğutucu Sistemi (8 °C)

Naylon 66 iplik üretim hattı için, aynı polimer kütlesel debisi ve hat hızında, benzer ortam sıcaklık koşullarında ve sıvı banyosu sıcaklığında termal kamera ile saha ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.13 Su Banyosu Sıcaklık Ölçüm Noktaları

Sıvı banyosu içerisinde sıcaklıklar ölçülememektedir. Sıvı banyosu girişinde iplik sıcaklığı 287 °C ve sıvı banyosu çıkışında 25 °C, deneysel olarak ölçümlenmiştir (Şekil 6.13). Simulasyon sonuçları ile sahada gerçekleştirilen çalışma sonuçları arasında benzerlik görülmektedir. Bu tekil iplik üretim hattında kullanılan sıvı banyosunun, seri üretim hattı ekipmanının bir parçası olması sebebiyle, set edilen ayarlar değiştirilemediğinden dolayı tek bir nokta için ölçümler gerçekleştirilmiştir.

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1 Sonuç ve Öneriler

İplik çekme prosesinde polimer, bir ekstrüzyon presinde ergitilir ve sonra dişli pompa vasıtasıyla sabit bir akışla pompalanır. Ardından kum katmanları boyunca polimerin filtrelendiği bir yapıdan geçerek, birçok küçük delik içeren bir plaka (nozul) vasıtasıyla birçok deliğe bölünmesi sonucu atmosfer ortamına ulaşır. Nozuldan sonra ekstrüde edilmiş iplikler, soğutma bölümünde koşullandırılmış hava akışına maruz bırakılır. Bu, iplik çekme prosesinin en önemli bölümlerinden biridir. Ardından soğutulmuş ve katılaşmış polimer, sıcak veya soğuk olarak değişebilen valsleri etrafına sarılır. Birbirinden farklı devir hızlarında dönen valsler vasıtasıyla ipliğe son özellikleri kazandırılarak, iplik sarıcıya sarılır ve iplik bobini elde edilir.

İpliklerin soğutulması işlemi, ipliğin fiziksel özelliklerini etkileyen temel proseslerden biridir. İstenilen iplik fiziksel özelliklerine göre hava sıcaklığı, nem ve akış hızı, su sıcaklığı, ipliğin su içerisinde kalma süresi vb. parametreler farklı değerlerde ayarlanabilmektedir. Soğutmanın yetersiz kaldığı, ısıl kapasitesi yüsek olan tekil iplikler (monofilament) için veya yüksek hat hızındaki iplik çekme prosesinde daha uniform bir soğutma işlemi için ise su banyoları kullanılmaktadır.

Gerçekleştirilen literatür çalışmalarında her bilim adamı, kendi çap aralığı ve hız aralığında deneylerini gerçekleştirmiştir. Literatürdeki hiçbir çalışma, çap değerinin 0,2 mm ile 1,0 mm aralığında, hat hızının 120 m/dk ve daha düşük olduğu durum için çalışmalar gerçekleştirmemiştir. Daha yüksek hat hızları (5000 m/dk'ya kadar) ve daha düşük iplik çap değerleri (10-100 μm) üzerine çalışıldığı için, Reynolds sayısı aralığı da oldukça yüksektir. Bu tez çalışmasında ise tekil iplik üretim hattı referans alınarak parametreler seçilmiştir. Daha düşük Reynolds sayıları aralığında hem çapraz hem de paralel akış için daha doğru sonuçların elde edildiği çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.'nin kendi bünyesinde ürettiği ipliklerin soğutma koşullarını referans alan 0,2 mm ile 1,0 mm çapları aralığındaki silindirik yüzeyli tellerde ve 0,5 m/s ile 5,0 m/s aralığındaki hava hızlarında, paralel ve çapraz akış koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Aynı hava hızı değeri için tel çap değerinin azalmasıyla birlikte, hava taşınım katsayıları artmaktadır. Aynı şekilde, benzer çap değerinde, hız değerinin artmasıyla birlikte hava taşınım katsayıları artmaktadır. Gerçekleştirilen deneylerde direnç teli yüzey sıcaklıkları 200-250 °C, ölçülen güç değerleri de 3-30 Watt aralığında değişmekte ve sabitlenmektedir. Deneysel çalışmalarda paralel akış için hesaplanan hava taşınım katsayıları 24 $W/m^2 \cdot K$ ile 160 $W/m^2 \cdot K$, çapraz akış için hesaplanan hava taşınım katsayıları 173 $W/m^2 \cdot K$ ile 582 $W/m^2 \cdot K$ aralığında değişmektedir.

Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.'nin tekil iplik soğutma hatlarında, taşınım ısı transfer katsayılarını farklı şartlar için tayin edebileceği, kendi çalışma şartlarına uygun korelasyonlar elde edilmiştir. Bu korelasyonlar ile birlikte, bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmaların önü açılmıştır.

$9<Re<275$ aralığındaki paralel akış için,

$$Nu = 0{,}1516 Re^{0{,}5368} \tag{7.1}$$

$8<Re<250$ aralığındaki çapraz akış için,

$$Nu = 0{,}4669 Re^{0{,}5064} \tag{7.2}$$

Nu-Re korelasyonları elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen korelasyonlar, teorik çalışmalar sonucu elde edilen denklemler ile birleştirilerek, Matlab ticari yazılımındaki simulasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

Paralel akış için edilen korelasyonlar, Ohkoshi, Kase ve Matsuo korelasyonlarının sonuçlarıyla benzerdir. Reynolds sayısı yükseldikçe, Kase ve Matsuo korelasyonu ile olan % sapma miktarı da azalmaktadır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, 70'den düşük Reynolds sayıları için Glicksman, Brünig ve Ohkoshi'nin önerdiği korelasyonlar ile yüksek uyum içerisindedir. Çapraz akış için edilen korelasyonlar, Reynolds sayısının 100'den büyük olduğu değerlerde, Hilpert, Dito, Fand ve Keswani, Churchill ve Bernstein korelasyonları ile yüksek uyum içerisindedir. Reynolds sayısı arttıkça, Hilpert, Dito, Fand ve Kesvani, Churchill ve Bernstein

korelasyonları ile % sapma miktarları azalmaktadr. Düşük Reynolds sayılarındaki deneysel çalışmalarda, Brünig, Kase ve Matsuo korelasyonları ile düşük % sapma miktarları görülmektedir. Paralel akış için gerçekleştirilen çalışmalardaki % sapma miktarları, çapraz akış için gerçekleştirilen çalışmalardaki % sapma miktarlarından daha fazladır. Akışa dik yerleştirilen sabitleyici çubuk, telin önünde yer alması sebebiyle, akışın uniformluğunu bozmaktadır. Bu durum varyasyonları arttırmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmalarda bu etkiyi minimuma indirmek için, telin sabitlendiği çubuğun alt kısmı sıkıştırılarak, akışa paralel hale gelmesi ve akışa etkisinin minimize edilmesi sağlanmıştır.

Deneysel çalışmalar ile literatürdeki korelasyonlar arasındaki ve korelasyonların kendi arasındaki % sapmalarının nedenlerinden biri, özellikle küçük çap değerlerinde bulunan silindir yüzeyleri etrafında gerçekleşen eğrisellik etkisi (curvature effect) olduğu düşünülmektedir. Çap değerleri küçüldükçe bu etki artmakta ve % sapma miktarları yükselmektedir. Bir diğer sebebi ise, literatürdeki çalışmaların geniş Reynolds sayısı aralığında gerçekleştirilmiş olmasıdır. Daha geniş bir çalışma aralığında hesaplanan ortalama değerler ve bunun sonucunda elde edilen korelasyonlar, bu tezdeki dar çalışma aralığı kadar hassas değildir. Bu durum özellikle düşük Reynolds sayılarında sapma miktarlarını arttırmaktadır. Literatürdeki çalışmalar geniş Reynolds sayısı aralığında gerçekleştirilmiş ve bu aralıkta hesaplanan ortalama değerler sonucunda elde edilen korelasyonlar verilmiştir.

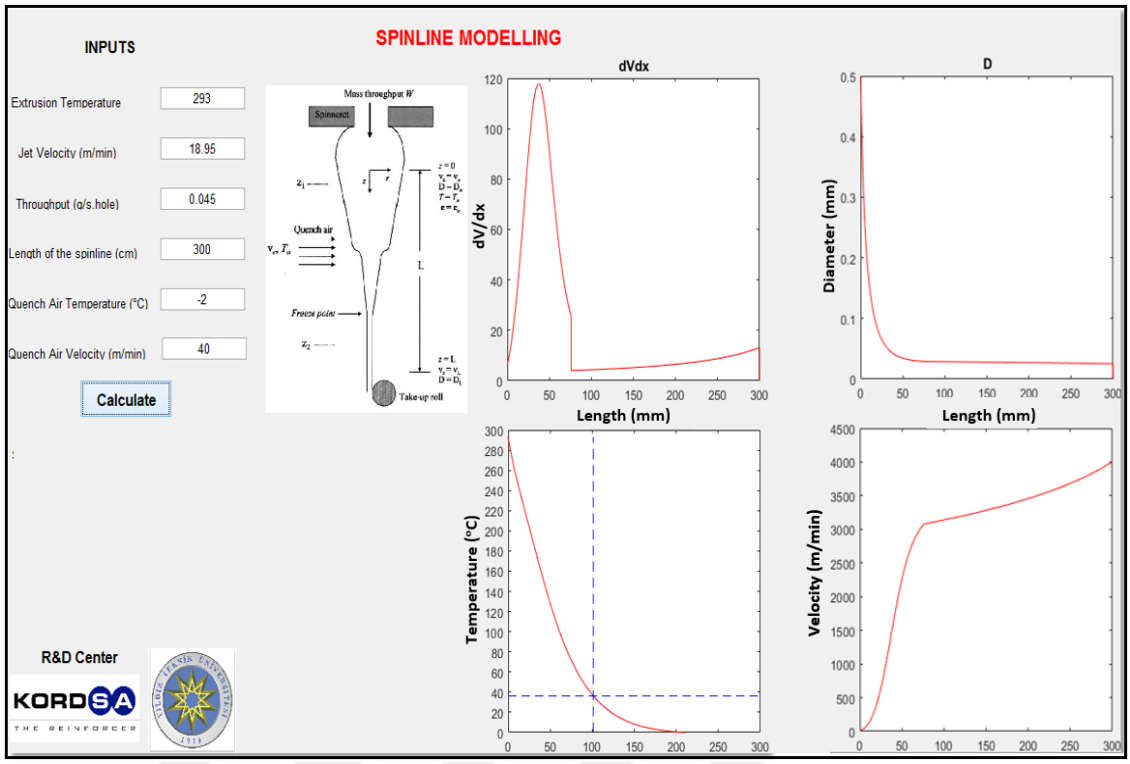
Bu tez çalışmasında, teorik çalışmalar sonucunda elde edilen denklemler kullanılarak, hem Newtonian hem de Newtonian olmayan akış için modeller geliştirilmiştir. Matlab ticari yazılımı vasıtasıyla, PET polimer malzemesi için 300 cm uzunluğundaki iplik çekme hattı, 300.000 çözüm noktasıyla simule edilmiştir.

Geliştirilen modelleme çalışmasında, değişen çekme hızı, debi, ekstrüzyon sıcaklığı, delik çapı, soğutma sıcaklığı ve soğutma hızı parametreleri için simulasyonlar gerçekleştirilmiştir. İplik çekme hattı boyunca, gerilme miktarının, iplik çapının, iplik hızının ve iplik sıcaklığının değişimi detaylı olarak incelenmiş ve Kordsa Teknik Teksil A.Ş.'nin danışmanı olan Dr. Kikutani'nin makalelerinde yer alan teorik çalışma

sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Simulasyon çalışmaları sonucu elde edilen grafikler ile Dr. Kikitani'nin çalışma sonuçları, yüksek uyum içerisindedir.

Gerçekleştirilen simulasyon çalışmalarını gerçek saha koşullarıyla karşılaştırabilmek amacıyla, daha önceki kısımlarda PET malzeme ile gerçekleştirilen teorik çalışmalar, Naylon 66 polimer malzemesi ile değiştirilmiştir. Ayrıca, Matlab yazılımına tanımlanan denklemler hem hava hem de sıvı soğutmalı sistem olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu sayede değişen hava sıcaklığı, hava hızı, düze çıkışı ile sıvı banyosu arası mesafe, su sıcaklığı, sıvı banyosu uzunluğu ve iplik çekme hattı uzunluğuna bağlı olarak; iplik sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Bu elde edilen veriler, Kordsa Teknik Teksil A.Ş.'de seri üretim yapan Naylon 66 tekil iplik üretim hattı ile karşılaştırılmıştır. Aynı polimer kütlesel debisi ve hat hızında, benzer ortam sıcaklık koşullarında ve sıvı banyosu sıcaklığında termal kamera ile saha ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Simulasyon sonuçları ile sahada gerçekleştirilen çalışma sonuçları benzerdir. Ölçümlerde kullanılan bu tekil iplik üretim hattı ekipmanları, seri üretimin bir parçası olması sebebiyle, ayarlar değiştirilememiştir ve tek bir nokta için ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen modelleme çalışmaları kapsamında, Kordsa Teknik Tekstil A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Departmanı mühendislerinin, daha kolay bir şekilde parametreleri değiştirerek çalışmalar gerçekleştirmesi ve bilgisayarında Matlab ticari yazılımının kurulması gerekmeden simülayonlar yapabilmesi için bir arayüz oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Bu kapsamda, Matlab programının "Guide" eklentisi vasıtasıyla arayüz oluşturularak ".exe" programı kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 7.1). Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.'nin çok uluslu bir şirket olması ve dört farklı kıtada fabrikalarının bulunması sebebiyle, arayüz İngilizce olarak hazırlanmıştır.



Şekil 7.1 Yazılım Arayüzü Oluşturma Çalışmaları

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdaki çalışmaların yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir:

- Gerçekleştirilen modelleme çalışmasında polimer, viskoelastik akışkan olarak ele alınmış ve bir boyutlu hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Özellikle kalın çaplı tekil ipliklerde, iplik dış yüzeyi ile çekirdek bölgesi arasında sıcaklık farkı oluşabilmektedir. Gerçekleştirilecek iki boyutlu modelleme çalışmaları ile tekil ipliğin eksenel ve radyal yöndeki sıcaklık dağılımı incelenebilir.
- Bu tez çalışmasında, tekil ipliğin çekme hattı boyunca konuma bağlı olarak sıcaklık dağılımının incelenmesi maksadıyla kurulan deney düzeneğinde, tek bir direnç telinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çoklu filament ipliklerin de incelenebilmesi için rüzgar tünelinde gerçekleştirilen deneylerin, birden çok direnç telinin deney düzeneğine yerleştirilmesi ile tekrarlanabilir. Yapılacak olası çalışma, tekil iplik üretim hatlarının dışında, çoklu filament iplik üretim hatları için de faydalı olabilir.
- Paralel akış için gerçekleştirilen çalışmalardaki sapma miktarlarını azaltmak için, daha ufak boyutlarda sabitleme çubuğu kullanılabilir. Böylelikle akış daha

az etkilenecektir. Aynı zamanda daha uzun tel boyu da kullanılarak % sapma miktarları azaltılabilir.

- Değişen hava hızı ve direnç teli çapına göre, hava taşınım katsayılarının bulunması için kurulan rüzgar tüneli deney düzeneğinin benzeri su içerisindeki taşınım katsayılarının bulunması için de gerçekleştirilebilir. Bunun için tasarlanacak yeni bir deney düzeneğinde su içersindeki *Nu*-*Re* korelasyonlarının elde edilmesi, sonuçların doğruluğunu arttırması açısından faydalı olabilir.
- Deney düzeneğinde yapılan testlerin sonuçları bir başka yöntem (neural algorithms vb.) ile analiz edilip, modellenebilir.
- Matlab ticari yazılımda oluşturulan hesaplamaların kullanıcı dostu olabilmesi için "Guide" eklentisinde bir arayüz oluşturulmuştur. Bu arayüz, Visual Basic'de de oluşturularak, geliştirilebilir. Ayrıca, İngilizce dışında farklı dillerde de hazırlanabilir.

KAYNAKÇA

[1] M.M. Denn, "Process Modeling", Longman Inc., New York, 1986.

[2] A. Kumar, R. K. Gupta,"Fundamentals of Polymer Engineering", Third Edition, CRC Press, Taylor&Francis Group, 2019.

[3] Z. Toker, "Taguchi Yöntemi ile Yapışma Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 2008.

[4] A. Doufas, J. McHugh, Journal of Rheology , vol. 45, no. 2, pp. 403, 2001.

[5] V. B. Gupta, V. K. Kothari, "Manufactured Fibre Technology", Chapman & Hall, no. 14, pp. 271-317, 1997.

[6] Arçelik A.Ş., "Altı Sigma Karakuşak Eğitim Notları", Çamaşır Makinesi İşletmesi, İstanbul, 2008.

[7] E. O. Doebelin, "Engineering Experimentation Planning Execution Reportin", McGraw Hill, New York, 1995.

[8] Minitab 15, Tutorials, Yazılım programı, 2007.

[9] D.G. Baird, D.I. Collias, "Polymer Processing Principles and Design", Butterworth Heinemann, 1995.

[10] A. Ziabicki, "Studies on the orientation phenomena by fiber formation from polymer melts",. II. Theoretical considerations., J. Appl. Polym. Sci. Vol. 2, no. 24, 1959.

[11] A. Ziabicki, K. Kedzierska, "Mechanical aspects of fibre spinning process in molten polymers", I. Stream diameter and velocity distribution along the spinning way. Kolloid-Z., no. 171, pp. 51–61, 1960.

[12] A. Ziabicki, K. Kedzierska, "Mechanical aspects of fibre spinning process in molten polymers", III. Tensile force and stress. Kolloid-Z., no. 175, pp. 14–27, 1961.

[13] K. Susumu, T. J. Matsuo, Apply. Polymer: Part A, vol. 3, pp. 2541, 1965.

[14] K. Susumu, T. J. Matsuo, Apply. Polymer: Part B, vol. 11, pp. 251, 1967.

[15] K. W. Hutchenso, Journal of Applied Polymer Science, vol. 29, pp. 3621-3640, 1984.

[16] A. Ziabicki, H. Kawai, High speed Fiber Spinning: Science and Engineering Aspects, Chapter 7, pp. 163, 1985.

[17] A. Dutta, Polymer Engineering and Science, Mid-August, vol. 27, no. 14, pp. 1050,1987.

[18] A. Ziabicki, Computational and Theoretical Polymer Science, vol. 8, no. 12, pp. 143, 1998.

[19] Workshop on "Intelligent Processing of High Performance Materials", Belgium, RTO AVT MP-9, 1998.

[20] S. I. Dairanieh, Journal of Rheology , vol. 43, pp. 85, 1999.

[21] A. Doufas, J. McHugh, C. Miller, Journal of Non-Newtonian Fluids Mechanics, vol. 92, pp. 27, 2000.

[22] C. Zhang, C. Wang, H. Wang, Y. Zhang, Journal of Macromolecular Science , Part B, Physics, pp. 793, 2007.

[23] K. Yıldırım, Y. Ulcay, O. Kopmaz, "Forming Regression-based Mathematical Models to Predict PET POY Yarn Properties in the Case of Changing Production Parameters", Textile Reasrch Journal, vol. 80, no. 5, pp.411-421, 2009.

[24] S. S. N. Perera, "Optimal Control of Viscoelastic Melt Spinning Processes", International of Applied Mathematics and Computer Sciences, vol. 5, no. 1, pp. 55-59, 2009.

[25] T. Sengul, S. Altun, "CFD Modeling of the Melt Spinning of Poly (Ethylene terepthalate) at Low Take-up Velocities", Scientific Research and Essays, vol. 7, pp. 372-386, 2012.

[26] J. A. Cuculo, P.A. Tucker, G.Y. Chen, J Appl. Polym. Sci. Appl. Polym. Symp., vol.47, pp. 223, 1991.

[27] T. Kikutani, J. Radhakrishan, M. Sato, N. Okui, A. Takaku, "High-speed Melt Spinning of PET", Intern. Polymer Processing XI, pp. 42-49, 1996.

[28] US Patent, 3,002,804, J. J. Kilian, V. Covington, E.I. du Pont de Nemerous and Company, "Process of Melt Spinning and Stcreching Filaments by Passing Them Through Liquid Drag Bath", 1961,

[29] US Patent, 4,425,293, G. Vassilatos, E.I. du Pont de Nemerous and Company, "Preperation of Amorphous Ultra-High-Speed Spun Polyethylene Terephtalate Yarn for Texturing", 1984.

[30] US Patent, 4,4923,662, K. Kazuo, Y. Teramoto, ToyoBoseki Kabushiki Kaisha, "Process for Producing Polyester Fibers", 1990.

[31] US Patent, 5,171,504, "Process for Producing High Strength, High Modulus Thermoplastic Fibers", J. A. Cuculo, P. A. Tucker, North Carolina State University, Raleigh, 1992.

[32] US Patent, 5,405,696, "Ultra Oriented Crystalline Filaments", J. A. Cuculo, P.A. Tucker, North Carolina State University, Raleigh, 1995.

[33] J. A. Cuculo, "The effect of a Liquid Isothermal Bath in the Threadline on the Structure and Properties of Poly(ethylene terephthalate) Fibers", J. Applied Poly Sci., vol. 55, pp. 1275-1289, 1995.

[34] J. A. Cuculo, "High-Performance PET Fibers Via Liquid Isothermal Bath High Speed Spinning:Fiber Properties and Structure Resulting from Threadline Modification and Postreatment ", J. Applied Poly Sci., vol. 66, pp. 2441-2455, 1997.

[35] US Patent, 5,733,653, "Ultra Oriented Crystalline Filaments and Method of Making Same", J. A. Cuculo, P.A. Tucker, North Carolina State University, Raleigh, 1998.

[36] H. J. Yoon, H. Avci, M. Najafi, L. Nasri, M. Hudson, R. Kotek, "Development of High Tenacity, High Modulus PET Filaments via Next Generation Wet Melt Spinning Process, Polymer Engineering and Science, pp. 224-230, 2017.

[37] G. Ravi, A. K. Dhiman, "Fluid flow and heat transfer across a circular cylinder in the unsteady flow regime" , The International Journal Of Engineering And Science IJES no. 2319, pp. 1805, 2014.

[38] M. Krishpersad, R. Kimberly, "A Comparison of Correlations for Heat Transfer from Inclined Pipes" , International Journal of Engineering (IJE), no. 4, pp. 269-278, 2010.

[39] N. Hajime, I. Tamotsu, "Variation of Nusselt Number with Flow Regimes behind a Circular Cylinder for Reynolds Numbers from 70 to 30000" , International Journal of Heat and Mass Transfer vol. 47, no. 23, pp. 5169-5173, 2014.

[40] T. Yuge, "Experiments on Heat Transfer From Spheres Including Combined Natural and Forced Convection", Transactions of the ASME, pp. 214-220, 1960.

[41] W. Roland, L. Noam, "Convection heat transfer coefficients for axial flow gas quenching of a cylinder", Proceedings of the Fourth International Conference on Quenching and the Control of Distortion, 2003.

[42] A.H. Yousif, K.D. Jassim, "Effect of cylinder shape on heat transfer and fluid flow", Al-Qadisiya J. Eng. Sci., vol. 3, no. 3, 2010.

[43] A.H. Yousif, "Effect of corner cutoffs on flow and heat transfer around square cylinder", Al-Taqani, vol. 26, no. 5, pp. 134-143, 2013.

[44] D.W. Mueller, H.I. Abu-Mulaweh, "Estimation of the average heat transfer coefficient for a long horizontal cylindrical fin rod" Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference& Exposition, no. 9, 2004.

[45] T.A. Oetelaar , C.R. Johnston, "Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues", Trans. Can. Soc. Mech. Eng., vol. 36, no. 4, pp. 413-427, 2012.

[46] K. Muralidhar , A. Tariq, M.K. Das, P.K. Panigrahi, "Estimation of convective heat transfer coefficient from transient liquid crystal data using an inverse technique", Inverse Probl. Sci. Eng., vol. 13, no. 2, pp. 133-155, 2005.

[47] N.B. Totala, M.V. Shimpi, N.L. Shete, V.S. Bhopate, "Natural convection characteristics in vertical cylinder", Int. J. Eng. Sci., vol. 3, no. 8, pp. 27-31, 2013.

[48] A. Shiri , W.K. George, "Experimental study of the near wall region of a natural convection driven flow next to a vertical cylinder", Springer Proc. Phys. no. 141, pp. 287-291, 2012.

[49] L. F. Ana , M. M. Sandro, "Convection heat transfer around a single row of cylinders", Computational Thermal Sciences, vol. 6, no. 6, pp. 477-492, 2014.

[50] M. Golzar, "Melt spinning of fine PEEK filaments" PhD. thesis, Univ. Of Technology Dresden, Dresden, 2004.

[51] K. F. Zieminski, E. Spruiell, “A mathematical model of the melt spinning of synthetic fibers applicable to crystallizable polymers”, Int. Conf. Man Made Fibers, Beijing, pp. 18-22, 1985.

[52] L. R. Glicksman, “The dynamics of a heated free jet of variable viscosity at low Reynolds numbers”, J. Amer. Soc. Mechan. Eng., no. 90, pp. 343-354, 1968.

[53] M. Copley, N. H. Chamberlain, “Filament attenuation in melt spinning and its effect on axial temperature gradient”, Appl. Polym. Symp., pp. 27-50, 1967.

[54] S. Kase, T. Matsuo, “Studies on melt spinning. I. Fundamental equations on the dynamics on melt spinning”, J. Polym. Sci., A3, pp. 2541-2554, 1695.

[55] H. Brunig, R. Beyreuther, H. Hofmann, “The influence of quench air on fibre formation and properties in the melt spinning process” Intern. Fiber J., vol. 14, no. 4, pp 104-107, 1999.

[56] Y. Ohkoshi, T. Kikutani, A. Konda, J. Shimizu, “Melt spinning of polyether-ether ketone (PEEK) – cooling, thinning, and structure development on spin-line”, Sen-i Gakkaishi, vol. 49, pp. 211-219, 1993.

[57] E. H. Andrews, “Cooling a spinning thread-line”, Brit. J. Appl. Phys., no. 10, pp. 39-43, 1959.

[58] W. Conti, E. Sorta, “Uber die Abkuhlung des spinnenden Fadens”, Faserforsch. U. Textiltechnik, no. 21, pp. 509-513, 1970.

[59] R. Hilpert, “Wärmeabgabe von geheizten Drähten und Rohren im Luftstrom”, Forschung, no. 4, 1933.

[60] R. Beyreuther, H. Brünig, “Dynamics of Fibre Formation and Processing”, Modelling and Application in Fibre and Textile Industry, no. 55, 2007.

[61] I. McAdams, V. Gnielinski, “Berechnung mittlerer Warme und Stoffubergangs koeffizienten Forsch”, Ing. Wes., no. 41, pp. 145-153, 1975.

[62] R. M. Fand, K. K. Keswani, “A Continuous Correlation Equation for Heat Transfer from Cylinders to Air in Crossflow for Reynolds Numbers from 10^{-2} to $2x10^{5}$”, International Journal of Heat and Mass Transfer, no. 15, pp. 559-562, 1972.

[63] H. Nakamura, T. Igairashi, “Variation of Nusselt Number with Flow Regimes behind a Circular Cylinder for Reynolds Numbers from 70 to 30000”, International Journal of Heat and Mass Transfer, no. 47, pp. 5169-5173, 2004.

[64] S.W. Churchill, M. Bernstein, “A Correlating Equation for Forced Convection from Gases and Liquids to a Circular Cylinder in Cross Flow”, J. Heat Transfer, no. 99, pp. 300-306, 1977.

[65] T.L Bergman, A.S. Lavine, F.P. Incropera, D.P. Dewitt, “Fundamentals Of Heat And Mass Transfer”, 7th Edition, pp 2-128, 2011.

[66] M. M. Denn, “Fiber Spinning in Computers in Polymer Processing”, J. R. A. Pearson and S. M. Richardson, Eds., 1976.

[67] A. Ziabicki, “Fundamentals of Fibre Formation”, Wiley, London, 1976.

[68] C. J. S. Petrie, Denn, M. M., "Fiber Spinning Modeling", AIChE, no. 22, pp. 2019, 1976.

[69] J. L. White, "Dynamics Heat Transfer and Rheological Aspects of Melt Spinning: A Critical Review", PATRA Rep., no.169, Univ. Tennessee, Knoxville, TN, 1981.

[70] C. D. Han, "Rheology in Polymer Processing", Academic Press, New York, 1976.

[71] T. Kikutani, N. Okui, J. Shimizu, "Simulation of Dynamics and Structure Formation In High Speed Melt Spinning", High Speed Fiber Spinning, no. 7, pp. 173-201, 1985.

[72] F.T. Trouton, "On the coefficient of viscous traction and its relation to that of viscosity", Proc. Roy. Soc., A77, pp. 426-440, 1906.

[73] Chapra S. C., Canade R. P, "Numerical Methods for Enginners with programming and Software", McGraw Hill, 1998.

[74] Ziabicki, A., Kawai, H., "High speed Fiber Spinning Science and Engineering Aspects", Krieger, Florida, 1991.

[75] http://www.aperam.com/alloys-rescal, "Resistohm 30 Direnç Teli", Erişim: 30.10.2017.

[76] http://www.netes.com.tr/urundetay.asp?id=1163, "AATech marka ADM 3303 DD model güç kaynağı", Erişim: 02.10.2017.

[77] http://www.netes.com.tr/urundetay.asp?id=1748, "AATech marka ADM 3055 model multimetre", Erişim: 05.10.2017.

[78] https://www.testo.com/en-US/testo-435-1/p/0560-4351, "Testo 435 Çoklu Fonksiyonlu Hava Hızı Ölçer", Erişim: 15.11.2017.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: mert.patkavak@kordsa.com

Makale ve Yayınlar

1. M. Patkavak, H. Demir, "An Experimental Study For Determination Of Convective Heat Transfer Coefficients On Cooling Monofilament", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 149, 2020, https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119255

2. M. Patkavak, "The Determination Of Convective Heat Transfer Coefficents On Quenching Monofilament", The Reinforcer, No:10, pp:5-6, 2019 https://www.kordsa.com/en/images/pdf/thereinforcer_issue_10.pdf

Konferans Bildirileri

1. M. Patkavak, H. Demir, "An Experimental Study For Determination Of Convective Heat Transfer Coefficients On Yarn Production Line", 35th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS35), Çeşme, İzmir, Turkey, 2019, Yayın: AIP Conference Proceedings 2205, 020011 (2020), https://doi.org/10.1063/1.5142926

2. M. Patkavak, H. Demir, "An Experimental Study Of Nusselt And Reynolds Numbers Correlations For Determination Of Convective Heat Transfer Coefficents On Quenching Monofilament", International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME18), YTU, Istanbul, Turkey, 2018.