

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAM KURUTMA MAKİNELERİNDE GERÇEKLEŞEN HAVA AKIŞININ VE  
KUMAŞ SOĞUTMA İŞLEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ  
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet Tibet SİĞİRCİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERDOĞAN**

**HAZİRAN 2022**

**T.C  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAM KURUTMA MAKİNELERİNDE GERÇEKLEŞEN HAVA AKIŞININ VE  
KUMAŞ SOĞUTMA İŞLEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ  
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet Tibet SİĞİRCİ  
(36193618077)**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERDOĞAN**

**HAZİRAN 2022**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca beni bilgisiyle aydınlatan, tecrübelerinden ziyadesiyle faydalandığım, gerek ders dönemimde gerek tez dönemimde desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERDOĞAN'a,

Fikirleriyle, desteğiyle ve öğretici olgusuyla bana yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Erkan BAHÇE'ye,

Değerli bilgilerini, yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nün değerli Öğretim Üyeleri'ne,

Beni bugünlere getiren, maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olup bana destek veren kıymetli aileme,

sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FKP-2021-2425 kodlu Üniversite-Sanayi İşbirliği Projesi kapsamında Ilsan Tekstil Tic. ve San. A.Ş. ortaklığıyla desteklenmiştir. İnönü Üniversitesi BAP Birimi'ne ve Ilsan Tekstil Tic. ve San. A.Ş.'ye

teşekkürlerimi sunarım.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Ram Kurutma Makinelerinde Gerçekleşen Hava Akışının ve Kumaş Soğutma İşleminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi İle Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığıın bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Muhammet Tibet Sığırıcı



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....	i
ONUR SÖZÜ .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>9</b>
3.1 Türkiye’de Tekstil Endüstrisi .....	10
3.2 Tekstil Sektöründe Kumaş Üretimi ve Tekstil Ürünlerinin Kurutma İşlemi.....	12
3.2.1 Kumaş üretimi .....	12
3.2.2 Tekstil ürünlerinin kurutma işlemi .....	13
3.3 Kurutma Makineleri.....	14
3.3.1 Radyo frekanslı kurutucular .....	15
3.3.2 Taşıma bantlı kurutucular .....	15
3.3.3 Ram (Ramöz) kurutma makineleri .....	16
3.4 Ram Makinelerinde Kurutma Sistemi .....	18
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>23</b>
4.1 Hava Akışı Modellemeleri.....	26
4.2 Kumaş Soğutma Analizleri.....	31
4.2.1 Deneysel ölçümler .....	31
4.2.2 Kumaş soğutma prosesinin modellenmesi .....	33
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>38</b>
5.1 Hava Akışı Analizleri .....	38
5.2 Kumaş Soğutma Prosesi Analizleri .....	55
5.2.1 Porozitenin (B) kumaş soğutma prosesine etkisi.....	57
5.2.2 Düze açısının ( $\alpha$ ) kumaş soğutma prosesine etkisi.....	58
5.2.3 Kumaş hızının ( $V_k$ ) kumaş soğutma prosesine etkisi .....	60
5.2.4 Hava hızının ( $V_a$ ) kumaş soğutma prosesine etkisi .....	62
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>69</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 4.1</b> : Ölçüm cihazları ve hassasiyetleri. ....	<b>32</b>
<b>Çizelge 4.2</b> : Kumaş yüzey sıcaklıklarının her bir düzenin giriş ve çıkışında sahip oldukları yüzey sıcaklıkları. ....	<b>33</b>
<b>Çizelge 4.3</b> : Referans kumaşın özellikleri .....	<b>35</b>
<b>Çizelge 4.4</b> : Türbülans modeli karşılaştırmaları. ....	<b>36</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Tekstil ürünleri üretim şeması. ....	10
Şekil 3.2 : Bölgesel üretim haritası. ....	11
Şekil 3.3 : Tekstil ürünlerinin kurutma grafiği. ....	14
Şekil 3.4 : Radyo frekanslı kurutucu.....	15
Şekil 3.5 : Taşıma bantlı kurutucu. ....	16
Şekil 3.6 : Ram makinesinin genel görünümü .....	17
Şekil 3.7 : Mamul yüzeyi ile kurutma gazı arası kütle ve ısı transferi- 1. Aşama .....	19
Şekil 3.8 : Mamul yüzeyi ile kurutma gazı arası kütle ve ısı transferi- 2. Aşama .....	21
Şekil 4.1 : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyon adımları .....	24
Şekil 4.2 : Doğalgaz yakıtlı ram makinesinin kurutma prensibi .....	26
Şekil 4.3 : Düze diliminin şematik görüntüsü.....	27
Şekil 4.4 : Sayısal modelin sınır şartları ve ağ yapısı .....	27
Şekil 4.5 : Düze üzerinde deliklerin bulunduğu yüzeyin yatayla yaptığı açı ( $\alpha$ ) .....	29
Şekil 4.6 : Soğutma prosesinin gerçekleştiği bölge .....	31
Şekil 4.7 : Soğutma prosesinin gerçekleştiği bölgede kumaş yüzey sıcaklıkları ölçümlerinin yapıldığı noktalar .....	33
Şekil 4.8 : Soğutma prosesi modellemelerinde kullanılan katı model.....	34
Şekil 4.9 : Soğutma prosesi modellemelerinin ağ yapısı .....	36
Şekil 5.1 : Porozitenin $B_1=0.05$ olduğu durumdaki akım çizgileri. ....	39
Şekil 5.2 : Porozitenin $B_2= 0.1$ olduğu durumdaki akım çizgileri. ....	39
Şekil 5.3 : Porozitenin $B_3= 0.2$ olduğu durumdaki akım çizgileri. ....	40
Şekil 5.4 : Porozitenin $B_4= 0.3$ olduğu durumdaki akım çizgileri. ....	40
Şekil 5.5 : Porozitenin $B_5= 0.4$ olduğu durumdaki akım çizgileri. ....	41
Şekil 5.6 : Düze açısının $\alpha_1=0^\circ$ olduğu durumdaki akım çizgileri.....	42
Şekil 5.7 : Düze açısının $\alpha_2=10^\circ$ olduğu durumdaki akım çizgileri.....	42
Şekil 5.8 : Düze açısının $\alpha_3=20^\circ$ olduğu durumdaki akım çizgileri.....	43
Şekil 5.9 : Düze açısının $\alpha_4=30^\circ$ olduğu durumdaki akım çizgileri.....	43
Şekil 5.10 : Porozitenin $B_1= 0.05$ olduğu durumdaki hız konturları.....	44
Şekil 5.11 : Porozitenin $B_2= 0.1$ olduğu durumdaki hız konturları.....	44
Şekil 5.12 : Porozitenin $B_3= 0.2$ olduğu durumdaki hız konturları.....	44
Şekil 5.13 : Porozitenin $B_4= 0.3$ olduğu durumdaki hız konturları.....	45
Şekil 5.14 : Porozitenin $B_5= 0.4$ olduğu durumdaki hız konturları.....	45
Şekil 5.15 : Düze açısının $\alpha_1=0^\circ$ olduğu durumdaki hız konturları. ....	45
Şekil 5.16 : Düze açısının $\alpha_2=10^\circ$ olduğu durumdaki hız konturları. ....	46
Şekil 5.17 : Düze açısının $\alpha_3=20^\circ$ olduğu durumdaki hız konturları. ....	46
Şekil 5.18 : Düze açısının $\alpha_4=30^\circ$ olduğu durumdaki hız konturları. ....	46
Şekil 5.19 : $B_1= 0.05$ porozite hava akışının akım çizgileri.....	47
Şekil 5.20 : $B_2= 0.1$ porozite hava akışının akım çizgileri.....	47
Şekil 5.21 : $B_3= 0.2$ porozite hava akışının akım çizgileri.....	48
Şekil 5.22 : $B_4= 0.3$ porozite hava akışının akım çizgileri.....	48
Şekil 5.23 : $B_5= 0.4$ porozite hava akışının akım çizgileri.....	49
Şekil 5.24 : $\alpha_1= 0^\circ$ düze açısı hava akışının akım çizgileri. ....	50
Şekil 5.25 : $\alpha_2= 10^\circ$ düze açısı hava akışının akım çizgileri. ....	50
Şekil 5.26 : $\alpha_3= 20^\circ$ düze açısı hava akışının akım çizgileri. ....	51
Şekil 5.27 : $\alpha_4= 30^\circ$ düze açısı hava akışının akım çizgileri. ....	51
Şekil 5.28 : $B_1= 0.05$ porozite için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları. ....	52
Şekil 5.29 : $B_2= 0.1$ porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları. ....	52
Şekil 5.30 : $B_3= 0.2$ porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları. ....	52

Şekil 5.31 : $B_4= 0.3$ porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları. ....	53
Şekil 5.32 : $B_5= 0.4$ porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları. ....	53
Şekil 5.33 : $\alpha_1= 0^\circ$ düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.....	53
Şekil 5.34 : $\alpha_2= 10^\circ$ düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.....	54
Şekil 5.35 : $\alpha_3= 20^\circ$ düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.....	54
Şekil 5.36 : $\alpha_4= 30^\circ$ düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.....	54
Şekil 5.37 : Kumaş soğutma prosesi için oluşturulan modelin doğrulama çalışması .....	55
Şekil 5.38 : Kumaş soğutma prosesinde farklı zamanlarda kumaşın hareketi.....	56
Şekil 5.39 : Porozitenin kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi .....	57
Şekil 5.40 : Farklı porozite değerleri için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları .....	58
Şekil 5.41 : Düze açısının kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi.....	59
Şekil 5.42 : Farklı düze açısı değerleri için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları .....	60
Şekil 5.43 : Farklı kumaş hızı değerlerinin kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi .....	61
Şekil 5.44 : Farklı kumaş hızları için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları .....	62
Şekil 5.45 : Farklı soğutma havası hız değerlerinin kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi .....	63
Şekil 5.46 : Farklı soğutma havası hızları için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları.....	64



## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<b>HAD</b>	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
<b>CFD</b>	: Computational fluid dynamics
<b>k</b>	: Türbülanslı kinetik enerji
<b><math>\varepsilon</math></b>	: Türbülanslı kinetik enerjinin yayılma hızı
<b>RANS</b>	: Reynold Ortalamalı Navier- Stokes Denklemleri
<b>YBH</b>	: Yüksek başarımlı hesaplama
<b>HPC</b>	: High performance computing
<b><math>\alpha</math></b>	: Düze açı değeri
<b>B</b>	: Düze porozite değeri
<b><math>V_k</math></b>	: Kumaş hızı
<b><math>V_a</math></b>	: Soğutma havası hızı
<b>m/d</b>	: Metre/dakika
<b>m/s</b>	: Metre/saniye

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## RAM KURUTMA MAKİNELERİNDE GERÇEKLEŞEN HAVA AKIŞININ VE KUMAŞ SOĞUTMA İŞLEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

MUHAMMET TİBET SİĞİRCİ

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

69+IX sayfa

2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERDOĞAN

Bu tez çalışmasında, tekstil endüstrisinde işlevsellik bakımından önemli bir yere sahip olan ram kurutma makinesindeki hava akışı ve ram makinesinin son aşamasında yer alan kumaş soğutma prosesi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi ile incelenmiştir. Hava akışı analizlerinde akış alanına ait değişkenlerden hız konturları ve akım çizgileri elde edilerek kumaş kurutmaya olabilecek etkileri ortaya konmuştur. Kumaş soğutma prosesi analizlerinde ise sayısal modellerin geçerliliğini ortaya koymak için bir tekstil fabrikasında aktif olarak kullanılan ram makinesinden kumaş sıcaklığı, soğutma havası sıcaklığı ve soğutma havası hızı ölçümleri gerçekleştirilerek referans endüstriyel veriler elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak soğutma prosesi için oluşturulan sayısal modelin ağ kalitesi ve seçilen türbülans modelinin uygunluğu geçerli kılınmıştır. Daha sonra porozite (B), düze açısı ( $\alpha$ ), kumaş hızı ( $V_k$ ) ve soğutma havası hızı ( $V_a$ ) gibi parametrelerin kumaş çıkış sıcaklığı ve kumaş yüzeyindeki sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Sayısal modellemeler ANSYS-Fluent programında simüle edilmiştir. Hava akışı analizleri daimi akış koşullarında Standart k- $\epsilon$  modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kumaş soğutma prosesi analizleri ise zamana bağlı olarak Realizable k- $\epsilon$  modeli kullanılarak çözdürülmüştür. Hava akışı analizlerine ait hız verileri görsellerle sunulmuş, hava hızı dağılım konturları ve akım çizgileri elde edilmiştir. Kumaş soğutma prosesi analizlerinde ise kumaşın düze dilimi çıkışındaki sıcaklık değerleri ile kumaş yüzey sıcaklık dağılımları sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ram makinesi, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Hava akışı, Kumaş soğutma

## ABSTRACT

Master Thesis

### ANALYSIS OF THE AIR FLOW AND THE FABRIC COOLING PROCESS WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD IN STENTER DRYER MACHINES

Muhammet Tibet SİĞIRCI

Inonu University  
Graduate School of Nature and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

69+IX pages

2022

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet ERDOĞAN

In this thesis, the air flow in the stenter dryer which has an important place in terms of functionality in the textile industry and the fabric cooling process in the last stage of the stenter machine were examined with Computational Fluid Dynamics. In the air flow analysis, velocity contours and streamlines were obtained from the variables of the flow area and their effects on fabric drying were revealed. In fabric cooling process analysis, in order to demonstrate the validity of numerical models reference industrial data were obtained by measuring fabric temperature, cooling air temperature and cooling air velocity from a stenter machine actively used in a textile factory. By using these data, the mesh quality of the numerical model created for the cooling process and the suitability of the selected turbulence model have been validated. Then the effects of parameters such as porosity ( $B$ ), nozzle angle ( $\alpha$ ), fabric velocity ( $V_k$ ) and cooling air velocity ( $V_a$ ) on the fabric outlet temperature and temperature distribution on the fabric surface were revealed. Numerical models were simulated in ANSYS-Fluent program. Airflow analysis were performed using the Standard  $k$ - $\epsilon$  model under steady flow conditions. Fabric cooling process analysis were solved by using Realizable  $k$ - $\epsilon$  model depending on time. The velocity data of the air flow analysis are presented with visuals, the air velocity distribution contours and streamlines are obtained. In the fabric cooling process analysis, the temperature values at the exit of the nozzle slice of the fabric and the fabric surface temperature distributions are presented.

**Keywords:** Stenter machine, Computational fluid dynamics, Air flow, Fabric cooling

## 1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde birçok sektörde insani ihtiyaçları karşılamak adına farklı kullanımlara yönelik üretimler gerçekleştirilmektedir. Tekstil sektörü de bu üretim zincirinin bir halkası olarak uzun yıllardır gündelik yaşantımızda bizlere fayda sağlamaktadır. Geçmiş insanoğlunun yaradılışından günümüze kadar dayanan tekstil endüstrisi tıpkı diğer sektörlerde olduğu gibi araştırma ve geliştirme projeleri çerçevesinde her geçen gün farklı ihtiyaçları karşılamaya yönelik yenilikler geliştirmektedir. Hammadde olarak pamuk kullanılmakta olup çeşitli işlemler sonucu pamuk işlenerek iplik, iplikler ise yuvarlak örgü ve dokuma makinelerinde işlenerek kumaş haline gelmektedir.

Tekstil sektörü, gelişen teknolojiye paralel olarak temel gereksinim kollarından biri olan giyinme olgusunu daha ileri bir seviyeye taşımış, bu olguya ek olarak farklı sanayi kollarında faaliyet gösteren insanların yaşam kalitesini arttırmaya, iş güvenliği açısından daha sağlam ürünler üretmeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Enerji sarfiyatını önlemeye yönelik olarak izolasyon ürünleri, savunma sanayi için yüksek donanımlı askeri uniformalar, ulaşım sektöründe kullanılan hava yastıkları gibi teknik tekstil alanında da ilerlemeler kaydedilmiştir.

Birçok üretim kolları bulunan bu endüstride bizlere kullanım ve arz-talep durumunda sergilediği olumlu süreci, üretim aşamalarında gerek yarattığı çevresel kirlilikler gerek ise mamül üretiminde faaliyet gösteren makinelerin tükettiği yüksek enerji bazında düşündüğümüzde olumsuz bir süreç olarak da sergileyebilmektedir. Tekstil sektörü geniş bir ürün yelpazesine sahip olduğu için tükettiği enerji göz önüne alındığında işlem aşamalarında enerji tüketimi bazında farklılıklar gösterebilmektedir.

Tekstil endüstrisinde üretim ve üretim sonrası işlem prosesleri olarak farklılık göstermektedir. Mamüller, üretim esnasında farklı işlemlere tabii tutulmaktadır. Kurutma prosesi ise bu işlemlerin bir kolunu oluşturmaktadır. Sektörde Apre Bölümü olarak adlandırılan alanda kurutma işlemi makineler tarafından yapılmakta olup oluşan nemin mamülden uzaklaştırılması işlemine ek olarak gramaj, en-boy ve tuşe ( yumuşaklık) ayarı da yapılmaktadır. Ramöz makineleri, zincirli kurutma makineleri gibi makineler kumaş

kurutma işlemini üstlenirken radyofrekanslı kurutma makineleri ise bobinlere sarılmış ipliklerin kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Kumaş için kurutma sistemi göz önüne alındığında kurutma makinelerinin farklılık göstermelerindeki en büyük fark; ramöz makinelerinin sahip olduğu sistemde kurutulacak olan ürün köşelerinden iğnelenerek hareketli bir sistem üzerinde sabit bir şekilde kurutmaya tabii tutulmakta, zincirli (egalize) kurutma makinelerinde ise kumaş hareket yönünde herhangi bir sabitlemeye ihtiyaç duymadan kendi salınımını gerçekleştirerek kurutma prosesini tamamlamaktadır. Kumaş kurutma proseslerinde kurutma makineleri kapalı kabin içerisinde sahip oldukları sistemler aracılığıyla mamüle alt ve üst kısımdan sıcak hava üfleyerek mamülün üzerindeki nemi almaktadırlar. Bu makineler kurutma işlemi için ihtiyacı olan sıcak havayı farklı şekillerde temin edebilmektedir. Doğalgaz sistemi kurulu kurutma makinelerinde brülörler sayesinde doğalgazın yakılmasıyla buhar elde edilip kapalı kabin içerisinde üretilen sıcak havayı fanlar sayesinde kumaşa nüfuz ettirmektedir. Buhar teminini direkt olarak alan kurutma makineleri de mevcut olup ihtiyacı olan buharı işletmede faaliyet gösteren akışkan yataklı kömür yakıtlı kazandan ya da doğalgaz yakıtlı scotch tip buhar kazanı gibi endüstriyel buhar kazanlarından almaktadır. Bir başka buhar temini olarak kızgın yağ sistemi kullanılmakta olup bu sistemde kazanda ısıtılan yağ makinenin içerisinde dolaşarak kızgın yağ serpantinlerinden geçen havanın ısınmasıyla kumaşa direkt teması gerçekleştirilmektedir. Kumaş kurutma için kullanılan bu sistemler verim, enerji tüketimi bazında gerekli fizibilite yapılarak tercih edilmektedir.

Ramöz kurutma makineleri apre bölümünde dokuma ve örgü kumaşların kurutulmasına olanak sağlayıp bu ürünlere teknik ayar yapabilmektedir. Bu kurutma makineleri üretim yapan firmaya göre değişkenlik göstermekle beraber 3000 mm genişliğe kadar kumaşların kurutma işleminin yapılmasına ve kumaş üzerinde teknik ayar yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ramöz makinelerinin uzunlukları 50 metreye kadar çıkabilmekte, yapılacak işlemin türüne göre kabin sayılarında( 6 kabin, 8 kabin, 10 kabin) artış olabilmektedir. Kumaş kurutma makinelerinin en önemli temsilcilerinden olan ram (ramöz) makineleri işlem yapacağı mamül üzerinde mukavemet artırımı sağlamak ve mamülün sahip olduğu iç gerilmeleri en aza indirmek amacıyla termofiksaj işlemine de olanak sağlamaktadır. Normal bir kurutma makinesi 6 veya 8 kabin olabilirken termofiksaj işlemi yapabilen ramözler 10 kabine kadar çıkmaktadır. Yüksek işlevselliği ve iyileştirme aşamalarına şeffaf olarak kontrol imkanı sağlayabilecek olan ramöz kurutma makinelerindeki kurutma prosesi hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmiştir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği; ısı transferi, kütle transferi, türbülans modellemeleri, etkileşim analizleri gibi çözümlerinin matematiksel denklemler ile bilgisayar yardımıyla çözümlenmesinin yapıldığı uygulamalar bütünüdür. Aerodinamik çözümlerinin yapılması için çeşitli hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları kullanılmaktadır.

Bu tez çalışması, iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, ANSYS-Fluent ticari Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı kullanılarak ram kurutma makinelerinin kabin içerisinde yer alan düze dilimlerindeki hava akışı incelenmiştir. Yapılan modellemelerde akış alanındaki hız değerleri görsellerle sunulmuş, akışın verimliliğini etkileyen geometrik parametreler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise ram kurutma makinelerinin en sonunda bulunan kumaş soğutma prosesi ANSYS-Fluent programı ile modellenmiştir. Bu aşamada, porozite, düze açısı, kumaş hızı ve besleme havası hızı gibi parametrelerin soğutma prosesine etkileri ortaya konulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmalar incelendiğinde tekstil ürünlerinin kurutma işlemlerinin gerçekleştiği aşamalar ve bu aşamalarda kullanılan makineler, kurutma parametrelerinin termodinamik analizleri ve enerji geri kazanımı üzerine çalışmaların yapıldığı görülmüştür.

Park ve Baik (1997), gergi çerçevesindeki kumaşın geçici sıcaklık ve nem konsantrasyonunu belirlemek için önceden geliştirilmiş matematiksel modeli değiştirmiş olup sıcaklık ve nem konsantrasyonlarının dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Geliştirilen matematiksel model kullanılarak gergi havası sıcaklığı, nem, kumaşın ilk nem içeriği ve kumaş özellikleri gibi birçok çalışma parametrelerinin etkisini incelemişlerdir.

Oğulata ve diğ. (2000), tekstil endüstrisinde üretim aşamasında önemli bir yere sahip olan kurutma aşamaları hakkında çalışmalar yapmışlardır. Tekstil ürünlerinin kurutulması nemin alınma şekline göre mekanik yöntemlerle yapılan ön kurutma ve ısı transferi ile gerçekleşen esas kurutma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Esas kurutma aşaması hem kumaşın yapısına zarar verecek potansiyelde hem de ekonomik değeri azaltacak yönde bir uygulamadır fakat tekstil ürünlerinin kurutulmasında esas kurutma zorunlu olup ürüne zarar vermeden tüm aşamalarının uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada esas kurutmanın önemi anlatılmış olup esas kurutma yapılırken hangi yöntem ve makinelerin kullanıldığı hakkında bilgiler vermişlerdir.

Diñer ve Şahin (2004), bu çalışmada kurutma süreçlerinin termodinamik değerlendirmelerinde ekserji analizinin avantajlarını gösterilmiş, performanslarının ve verimliliklerinin hakkında fikir vermeyi amaçlamışlardır. Hava ile kurutmaya tabii nemli katıların kurutma işleminin ekserji açısından termodinamik analizi için yeni bir model sunulmuştur. Kütle; enerji ve ekserji denge denklemleri yazılıp ekserji verimleri ısı ve kütle transfer parametrelerinin fonksiyonları olarak türetilmiştir.

Çay ve diğ. (2010), iki bölümden oluşan bu çalışmada doğrudan gazla ısıtılan ve yağla ısıtılan germe makinelerinin ekserji analizleri ve bu analizlerin değerlendirmelerini ele almışlardır. Germe makinesinin her odası için ekserjetik parametrelerin varyasyonları detaylı kontrol hacmi ile yapılmıştır. Yağla ısıtılan germe makinelerinin toplam ekserji yok

etme ve kayıp oranlarının doğrudan gazla ısıtılan germe makinelerine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Santos ve diğ. (2015), ram makinesinde kurutma işlemi uygulanan pamuklu kumaşı gözenekli ortam olarak ısı ve kütle transfer parametreleri hesaplamaları için hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu uygulanmıştır. Ortam koşullarının ramöz kurutma makinesinin performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca bu araştırma egzoz ısıyı geri kazanıldığında ne kadar doğalgaz tasarrufu sağlanabileceğini öngörmüştür. Simülasyon sonuçlarında simülasyon rampasının soğuk havada çalıştığını temsil ettiğinde doğalgaz tüketiminde %5.3 oranında bir artış görülmüştür. Egzoz havasının geri kazanıldığında doğalgazdan %19-64 değer aralıklarında tasarruf sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Fiaschi ve diğ. (2017), tekstil endüstrisinde kurutma işlemi için kullanılan ramöz makinelerinde düşük sıcaklıkta egzoz ısı geri kazanım ağının iyileştirilmesini sağlamışlardır. Bu sistem ısı geri kazanım hücrelerini orijinal seri konfigürasyonunu paralel manifoldlara sahip bir sisteme dönüştürerek iyileştirmiştir. OpenFOAM CFD programı kullanılarak gerçekleştirilen ısı eşanjör modüllerinin ikinci aşama iyileştirme tasarımı, modülün tüm uzunluğu boyunca sürekli olmayan ancak iç tarafta kademeli olan kanat boyutu ve düzeninin nihai tanımına ve optimizasyonuna izin vermiştir.

Juraeva ve diğ. (2017), tekstil endüstrisinde kullanılan ramöz kurutma makinelerinin kabinlerinin içinde kurulu olan enjeksiyon kanalı sistemi, kanallara ve hava enjeksiyon deliklerine sahiptir. Bu çalışmada hava enjeksiyon deliklerinde düzgün hava akışı elde etmek için uçak tipi enjeksiyon kanalı sistemlerini incelemişlerdir. Enjeksiyon kanalı sistemlerinin akış alanını, kanal ucunun farklı yükseklikleri ve hava enjeksiyon delikleri için farklı şekillerle Ansys Cfx programını kullanarak hesaplamışlardır. Yapılan incelemelerde hava enjeksiyon deliklerinde yüksek bir kütle akış hızı ve uçlarda hem uçak tipi hem de dağ tipi kanalların içinde konumlanan yüksek hava akışı sirkülasyonlarına rastlamışlardır. Enjeksiyon kanalı sistemlerini farklı hava enjeksiyon delikleri şekilleri ile analiz etmişlerdir. Bununla beraber hava püskürtme deliklerinde eşit bir kütle akış hızı elde edilerek enjeksiyon kanalını geliştirmişlerdir.

Qian ve diğ. (2018), ince pamuklu kumaşların termofiksaj işlemleri sırasında enerji tüketimini azaltmak için kurutma özelliklerini incelemek amacıyla darbeli kurutma koşulu



altında yanal ısı ve nem iletimini dikkate alan iki boyutlu bir ısı ve nem transfer modeli geliştirmişlerdir.

Akan ve Özkan (2019), bu çalışmada 10 kabinli ramöz kurutma makinesini gerçek üretim koşulları altında çalıştırarak üç farklı kurutma havası sıcaklığında (110-130-150°C) ve 10 m/d kumaş ilerleme hızında, %95 pamuk+ %5 likra içerikli kumaş kullanarak deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kurutma havası sıcaklığının 110°C'den 130 °C'ye yükseltilmesiyle ısı transfer katsayısının yaklaşık %6 düzeyinde arttığını, enerji veriminde %4 azalma olduğunu, kurutma havası sıcaklığı 130 °C'den 150 °C'ye yükseltildiğinde ısı transfer katsayısı yaklaşık %26 artarken enerji veriminin %5 azaldığı sonuçlarını ortaya koymuşlardır.

Gelir (2019), doğalgaz yakıtını kullanarak kurutma işlemlerini gerçekleştiren ramöz makinelerinin konvektif kurutma aşamasını enerji tasarrufu açısından incelemiştir. Ramöz makinesinin egzoz havasından ısı geri kazanımı olan yünlü kumaşın kurutma işlemindeki yakıt tüketimlerini belirlemiştir. Kurutma makinesinin yakıt tüketiminin ısı geri kazanım eşanjörleri kullanılmasıyla iyi bir seviyede düşürülebileceğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında en düşük yakıt tüketimini 180°C giriş sıcaklığında ve 0.08 egzoz havası mutlak nem değerinde gözlemlemiştir. Bu durumda yakıt tüketimini ısı geri kazanım eşanjörü kullanılarak 205.3 m<sup>3</sup>/h değerinden 177.3 m<sup>3</sup>/h değerine indirgemmiştir ve böylece kurutma sisteminin yakıt tüketimini %13.6 oranında azaltmıştır.

Ciappi ve diğ. (2019), önceden ısıtılmış hava kullanılarak hem makine yalıtımı hem de enerji tasarrufunu iyileştirmenin yolunu sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Kurutma makinesinin hem girişinde hem çıkışında kapılar oluşturmak için kumaşa çapraz bir hava akımı uygulamışlardır. Bu uygulamayı yaparak ısının ve nemli kirli havanın çalışma ortamına yayılmasının azaltılması, dışarıdan hava alımının sınırlandırılması ve kumaş etrafında tek tip bir sıcaklık profiline bağlı ısı geri kazanımı elde edilmesi avantajı elde etmişlerdir. Hava perdelerinin yalıtım kabiliyetini kütle ve enerji aktarımı açısından incelemek için makinenin iki boyutlu bir CFD modelini gerçekleştirmişlerdir. Üç olası kumaş hızını 20, 40 ve 60 m/d, üç eğim açısını -15, 0 ve 15 derece, dört kütle akış hızını hava perdesiz % 0, % 3, %5 değerlerini içeren bir test matrisi ile hava perdelerinden çıkan akımın % 5'i ortamdan yutulmuş akış hızına eşdeğer olduğu durumda makine içerisindeki toplam akış hızının iki sıcaklığını 15 °C ve 70 °C olarak geniş bir olası uygulama yelpazesini kapsayacak şekilde düşünmüşlerdir. Elde edilen sonuçların, hem giriş hem de

çıkıştaki sıcak hava perdelerinin 40 m/d'ya kadar bir kumaş hızı aralığında çok etkili olduğunu göstermişlerdir.

Öz (2019), bu çalışmada ramöz kurutma makinelerinin çıkışındaki koku ve kirliliğe sebep olan uçucu organik bileşenleri taşıyan sıcak atık hava için atık kanalı ile ramöz kurutma makinesinin çıkışına yerleştirilen baca filtrelerini incelemiştir. Birbirinden farklı filtreleme sistemler ile atık ısının ne kadarının geri kazanım yapılabileceğini teorik olarak araştırarak termoeconomik karşılaştırmasını yapmıştır. Maliyet değerlendirmesi yaparak üç farklı filtre modeli ortaya koymuştur. Bunlar elektrostatik filtreli sistem, yoğuşturuculu hibrit filtre sistemi ve ısı değiştiricili elektrostatik filtre sistemidir. Yakıt tasarrufu açısından incelediğinde sıralamayı elektrostatik filtreli sistem, ısı değiştiricili elektrostatik filtre sistemi ve yoğuşturuculu hibrit filtre sistemi olarak belirlemiştir.

Wang ve diğ. (2019), çeşitli pamuklu kumaşların fiziksel kurutma özelliklerini ortaya çıkarmak ayrıca kurutma ekipmanı tasarlamak ve kurutma teknolojilerini geliştirmek için teorik kılavuzlar sağlamak amacıyla kumaşlar ve çevre arasındaki kurutma işleminin birleştirilmesini tanımlayabilen sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Kumaşların konveksiyonla ısı transferi ve termodinamik özelliklerinin hesaplanması için formüller de geliştirmiş ve ilgili deneylerle doğrulamışlardır. Kurutma işlemlerine bağlı ısı ve kütle transferinin sıvı faz geçişinden etkilendiğini göstermişlerdir. Ayrıca daha yüksek rüzgâr sıcaklığı ile kumaşların içindeki su buharlaşma hızının daha hızlı olduğunu ve kurutma sürecinde kumaş içindeki su içeriği azaldığında suyun buharlaşma hızının azaldığını belirtmişlerdir.

Lianos ve diğ. (2020), bir ramöz kurutma makinesinin kurutma performansını belirlemek için üç farklı simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Hareketli kumaş kısımlarını gözenekli ortam olarak tanımlamış ve sıcak kurutma havası akışını modellemek için k-ε türbülans modelini kullanmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanarak Comsol paket programında hazırladıkları sayısal modelleri önce gerçek işletme şartlarında doğrulamışlardır. Daha sonra kumaş hızının ve sıcak kurutma havası hızının kumaş kurutma hızına etkisini ortaya koymuşlardır.

Wang ve diğ. (2020), farklı türden kumaşların sürekli kurutma işleminin özelliklerini ortaya çıkarmak, üretkenliği artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak, işlem parametrelerini optimize etmek ve kumaş kurutma sürecini simüle etmek için bir sonlu

elemen modeli oluşturmuşlardır. Aynı başlangıç ve teknolojik koşullar altında, sürekli kurutma işleminde kumaşların kurutma hızı ve yüzey sıcaklığının aralıklı kurutma işleminden daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Kumaş hızı ve rüzgâr sıcaklığının sürekli kurutma işlemi üzerindeki etkileşim etkisinin, bağımsız etkilerinden daha önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Dzaferovic ve Hasecic (2021), ramöz makinelerindeki spesifik kurutma yöntemleri bilimsel metotlar kullanılarak incelemiş ve kurutma odasının içerisindeki sıcaklığın enerji tüketimiyle önemli ölçüde ilişkili olduğunu yaptıkları iki ve üç boyutlu sayısal model simülasyonları ile gerçekleştirmişlerdir.

Ramic ve diğ. (2022), endüstriyel bir ram kurutma makinesi içerisinde kurutma işleminin gerçekleştiği bölgede hava sıcaklığının ve yoğunluğunun dağılımını tekstil ürünü içerisindeki nem difüzyonunu analiz etmek için gözenekli ortam modellemesi yapmışlardır. Fluent programında çok fazlı hava akışı, türbülanslı akış, gözeneklilik ve buharlaşma modelleri kullanılarak kurutma sistemine yönelik ayrıntılı veri oluşturmuşlardır.

Bu çalışmada ram kurutma makinelerinde gerçekleşen kumaş kurutma işlemleri ile ilgili literatürde bulunan çalışmalardan farklı olarak kurutma işlemlerinden sonra uygulanan kumaş soğutma prosesi incelenmiş olup yapılan analizler neticesinde belirlenen değerler sağlandığında kumaş soğutma sürecinde daha düzgün hız ve sıcaklık dağılımlarının gerçekleşebileceği görülmüştür.

### 3. GENEL BİLGİLER

İnsanoğlu yaratılışından itibaren birçok yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için barınma, beslenme, giyinme gibi temel yaşam gereksinimlerine ihtiyaç duymuştur. İnsanların ilk çağ dönemlerinde doğal hayattan korunmak için giyinme olgusunu çeşitli hayvan postlarını kullanarak gerçekleştirdiği bilinmektedir. Bu durum ilk zamanlarda sadece giyinme ihtiyacına bir çözüm getirmek için ortaya çıkmış ise de gelişen teknoloji sayesinde farklı metotlar kullanılmıştır.

Eđirme tekniği kullanılarak iplik elde edilmiş ve bu iplikler yardımı ile örgü ve dokuma kavramları ortaya çıkararak tekstil sistematığının temelleri kurulmuştur. Makineleşme öncesinde el işçiliği ile gerçekleştirilen tekstil ürünlerinin üretimi sanayi devrimi ile farklı bir yola girerek seri üretime geçiş aşamasıyla beraber günümüz tekstil sanayisinin temellerini atmıştır. Tarihte 18. yüzyıl sonlarında, 19. yüzyıl başlarında yaşanan bu devrim tekstil sanayisini doğrudan ve detaylı bir şekilde etkileyen durum sinsilesinin başlangıcını oluşturmaktadır. Tekstil kavramı Latince bir kelime olan 'Texere' kelimesinden türetilmiş olup örme ya da dokuma diye tabir edilen işlevleri içermektedir.

Gerilme, kopma dayanımı ve birbiri arasında birleşme işlevi gerçekleştiren, eni boyuna göre çok daha kısa olan lif topluluğuna elyaf denilmektedir. Tekstil teknolojisi, her türlü elyaftan bir yüzey elde etme işlevi olarak tanımlanabilmektedir. Tekstil liflerinden bir araya gelen elyaflar büküm işlemine tabii tutularak bir araya getirilir ve sürtünme kuvvetinin etkisi ile birbirlerine kenetlenerek düzgünlük sağlanmış olur.

Tekstil Sanayisi'nde makineleşme fikrinin ortaya çıkması ve imalatının gerçekleştirilmesinden sonraki dönemlerde boyar madde kullanarak çeşitli ihtiyaçların karşılanması hedeflenmiştir. Böylece tekstil artık kendi içerisinde farklı üretim kollarına ayrılmaya başlamıştır. Bu gelişim hazır giyim, ev tekstili, dekorasyon tekstili gibi alanlarda faaliyet göstererek insanoğlunun artık temel yaşam faaliyetlerine ek olarak sosyal hayatında farklılık getiren olguları karşılamaya başlamıştır.

Hammadde olarak kullanılan liflerin üretilmesi, temin edilmesi aşamasından nihai ürün elde edilip tüketiciye ulaştırılana kadar geçen aşamalar tekstil endüstrisinin üretim adımlarını içermektedir. Döşeme, halı, teknik tekstil, hazır giyim ürünleri gibi elde edilen

ürünler nihai ürün olarak nitelendirilmektedir. Tekstil ürünleri üretim şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).



**Şekil 3.1 :** Tekstil ürünleri üretim şeması.

Üretim için gerekli hammaddeler doğal ve yapay liflerden oluşmaktadır. Üretilen ürünün içeriğini kullanım alanına göre doğal, yapay veya karışım lif türü belirlemektedir. Doğal lifler; pamuk, keten, yün, ipek gibi bitkisel ve hayvansal türler olarak, yapay lifler ise kimyasal bileşimler ve polimer sentezlerine göre değişkenlik göstermektedir. Liflerin elde edilmesinden sonra iplik üretimi aşamasına geçilmektedir.

### 3.1 Türkiye’de Tekstil Endüstrisi

İhracata yönelik kalkınma politikasının 1980 yılında uygulamaya koyulması ve sektörel yatırımların artması ile tekstil ve hazır giyim sektörü ülkemizde hızla büyümeye başlamıştır. Hazır giyim ve tekstil sektörü; gayri safi yurt içi hâsıla ve endüstri üretimindeki oran, ihracat, ekonomiye katma değer oluşturan döviz girdileri gibi yüksek önem arz eden durumlar göz önüne alındığında ülkemizde önemli bir endüstri dalı olarak yerini almaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Devleti 2019 yılı itibarı ile %3,3 ihracat payı oranı ile dünyanın yedinci büyük hazır giyim sektörü ihracatçısı unvanını almaya hak kazanmıştır. Tekstil endüstrisi, içerisinde gerçekleştirdiği üretim esaslarına göre çeşitli ürün gamlarına sahip olmaktadır. İplik, yün, kumaş gibi hammadde ihtiyaçları ulusal firmalardan tedarik edilerek ihtiyaçlar karşılandığı için hazır giyim ürünleri göz önüne alındığında ürünlerin büyük bir kısmını pamuklu ürünler oluşturmaktadır. Elbette ki üretim harici bir de tüketim bandını göz önüne aldığımızda tekstil sektörü olarak tüketim oranının

en fazla pamukta olduğu görülmektedir. Her ne kadar 2018 ve 2019 yılları döneminde dünyanın altıncı büyük pamuk üreticisi olsak bile dünya pamuk tüketiminde beşinci sırada yer almamızdan dolayı iç piyasa hareketliliği bu talepleri tam anlamıyla karşılayamamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2020).

Tekstil Sektörü; Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) bazında sahip olduğu oran, iş gücünün ekonomik faaliyetlerdeki sürekliliği ve ihracat alanındaki kuvvetli konumu göz önüne alındığında ülkemiz ekonomisinin kalkınmasında öncülük eden sektörlerden biridir. İmalat Endüstrisi'nde üretim değerleri bütünü göz önüne alınırsa bu alanın %8,8'i yine aynı endüstride katma değer ise %9,9'u tekstil sektörü tarafından sağlanmaktadır. Avrupa Birliği Ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri pazarlarına gerçekleştirilen ihracatlar ile birlikte sektör yükseliş göstermiştir. Türkiye Cumhuriyeti; Avrupa Birliği ile yaptığı Gümrük Birliği Anlaşması sonrasında Avrupa Birliği ticaret pazarına kotasız bir şekilde ihracat yapma hakkına sahip olmuştur. Kotasız ihracat imkanına 2007 yılı sonrasında hak kazanan Çin Halk Cumhuriyeti genel olarak bir rekabet durumu sergilemiştir fakat Türkiye Cumhuriyeti bu durum karşısında fiyat endeksli bir rekabetten ziyade moda endeksli, katma değer açısından zengin ürünlerin üretimini sağlayarak ticaret hayatına devam etmiştir (Uyanık ve Çelikel, 2019).

Tekstil, hazır giyim ve deri ürünleri bağlamında ülkemizde bölgesel olarak üretim haritası Şekil 3.2' de verilmiştir (Uyanık ve Oğulata, 2013).



Şekil 3.2 : Bölgesel üretim haritası.

## 3.2 Tekstil Sektöründe Kumaş Üretimi ve Tekstil Ürünlerinin Kurutma İşlemi

### 3.2.1 Kumaş üretimi

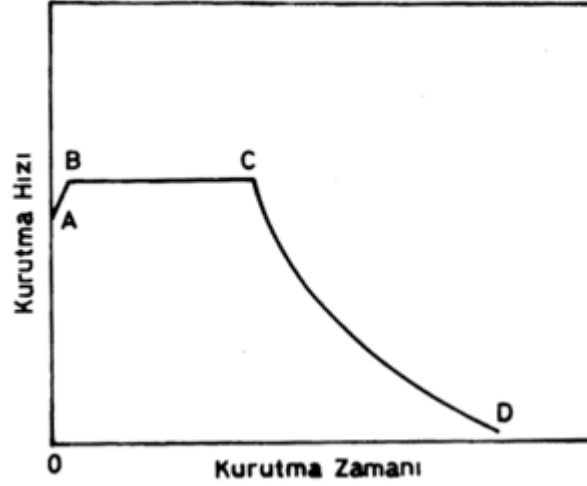
Kumaşlar, ipliklerin belirli standartlarda çeşitli tekstil makineleri yardımı sayesinde bir araya getirilerek işlenmesiyle elde edilen bir tekstil ürünüdür. Dik ve paralel durumda bulunan ipliklerin birbirlerinin üstlerinden ve altlarından geçirilip işlenmesiyle kumaş yüzeyi oluşup keten, pamuklu, yünlü, ipek vb. çeşitte kumaşların üretimi gerçekleştirilmektedir. Temel anlamda kumaş üretimi dokuma ve örme yöntemleri ile gerçekleşmektedir. Dokuma kumaşlar; dokuma tezgâhında atkı ve çözgü olarak adlandırılan iki ipliğin birbirleri arasından geçirilmesiyle oluşmaktadır. Dokuma sistemi; belirli bir sayıda paralel bir şekilde dokumanın yapıldığı yöne doğru ilerleyen çözgü ipliğinin arasından atkı ipliğinin geçirilmesi ile sürekli tekrarlanan bir işlem bütünüdür. Örme kumaş ise yuvarlak örgü makinesi diye adlandırılan kumaş üretim makinesinde üretilmektedir. İğnelerin dairesel yatak üzerine dizilerek diğer üretim takımlarının da iğnelere uygun bir şekilde yerleştirildiği makineler yuvarlak örgü makinesi olarak adlandırılmaktadır. Yuvarlak örgü makinelerinin çalışma sisteminde iplikler sabit iğneler ise hareketli bir şekilde üretim aşaması sergilemektedir. Böylece dairesel düzlemde bir kumaş tüpü oluşmaktadır. Örme makineleri dairesel bir üretim elemanı olduğu için üretimin gerçekleştiği silindirik bölgeye sabit kamlar yerleştirilip iğnelerin üzerindeki silindir döndürülerek örgü işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde iplikler yuvarlak örgü makinelerinin üzerinde konumlandırılarak cihaza yukarıdan bir besleme yapılır örülen kumaş bir tüp şeklinde plastik masuralara biriktirilerek makinenin alt kısmında muhafaza edilir. Üretilen kumaşlar kumaş bitim işlemleri ünitelerinde şekillenerek son halini almaktadır. Genel olarak kumaş bitim işlemleri ön fikse, boya ve baskı, sanfor diye adlandırılan üretim dairelerinde gerçekleştirilmektedir. Ön fikse ve sanforlama işlemi kuru bölüm diye adlandırılan apre ünitesinde, boya ve/veya baskı işlemleri ise ıslak bölüm diye adlandırılan ünitelerde gerçekleşmektedir. Ön fikse işleminde; kumaşın iç gerilmelerinin azaltılmasını, yapısal eşitliğinin oluşturulması ve boyutsal kararlılığının sağlanması için uygulanan yöntem ön fikse işlemi olarak adlandırılmaktadır. Bu işlemde olası kumaş deformasyonlarının önlenmesi sağlanmaktadır. Boya ve baskı işleminde; tekstil endüstrisinde ürünlerin renklendirme işlemi boya ya da baskı yöntemleri ile yapılmaktadır. Boyar maddelerin kullanılarak renklendirme makinelerinde kumaşa homojen bir şekilde renk verme işlemi yapılarak tekstil ürünlerinin yüzeyi üzerinde kalıcı bir boyama durumu sağlanmaktadır. Baskı işlemi ise ürün yüzeyinin belirli yerlerinde farklı renk ve desen

oluşturularak yapılmaktadır. Sanfor işlemi ise ürün haline gelen kumaşın en ve boy durumlarının kararlılığı sağlanarak kumaşa daha yumuşak bir doku hissiyatı kazandırmak amacıyla yapılan ütüleme işlemlerinin bütünü olarak adlandırılmaktadır.

### 3.2.2 Tekstil ürünlerinin kurutma işlemi

Elyaf, iplik, kumaş gibi tekstil gereçlerinin kullanılış amacı ve tüketici istemlerine göre değişiklik yapmak için uygulanan işlemlere tekstil terbiyesi adı verilmektedir. Tekstil hammaddelerinin işlenmesiyle üretilen tekstil ürünleri birçok terbiye aşamalarından geçmektedir. Tekstil ürünlerinin terbiye aşamalarında yapısına aldıkları nemin kurutulması; mekanik yöntemlerle yapılan ön kurutma ve ürün yapısında bulunan doğal nemin kaybedilmeden, ısı transferi ile gerçekleşen esas kurutma olarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Fakat tekstil mamülüne uygulanan esas kurutma işlemi kurutma esnasında mamülün doğal yapısına zarar verip maddi değerinin azalmasına neden olabilmektedir. Tekstil mamüllerinin kurutulmasında esas kurutma işlemi temel gereksinim olup mamüle negatif yönde etki etmeden kurutma aşamalarının etkin bir şekilde uygulanması gereklidir. Yapısında nem içeren tekstil mamüllerinin kurutma proseslerinde kurutma işlemi süresi boyunca ısı transferi ile birlikte, mamülden mevcut durumdaki bulunduğu hava alanına kütle transferi işlemi gerçekleşmektedir. Kurutma işlemi uygulanan gereçlerin yapısına ve nem değerine bağlı olarak kütle transferi, ısı transferinden bağımsız olarak değişim sağlamaktadır. Şekil 3.3’de bir tekstil mamülünün kurutma prosesi boyunca kurutma hızı-kurutma zamanı değişim grafiği gösterilmiştir. AB bölgesi ısınma sürecine hazırlık evresidir. Kurutulacak ürünün üzerindeki sıvı miktarının çok olması nedeniyle kurutma hızı buna paralel olarak artış sergilemektedir. Bu evrede kurutma hızını etkileyen faktörler; kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası nemi ve kurutma havasının hızı’dır. BC bölgesi ise sabit hızda kurutmanın gerçekleştiği bölümdür. Kurutma işleminin dengede olduğu, kurutma hızının ise kurutma havasının özelliklerinin değişimine bağlı kaldığı evredir. BC bölgesinde kütle transfer olayı ısı transferi ile dengelenmiştir. Fakat mamülün içerdiği nem miktarı azalmaya başladıkça, kılcal boşluklardaki sürtünme direncinin artması, iç yüzeye sıvı iletim işlemini zora sokmakta ve bunların neticesinde yüzeyin devamlı nemli kalması zor bir hale gelmektedir.





**Şekil 3.3 :** Tekstil ürünlerinin kurutma grafiği.

Sabit hızda kurutma işleminin bittiği C noktası, kritik nokta olarak adlandırılmaktadır. C noktasından sonra kütle transferinde sürekli azalma grafiği gözlemlenmektedir. CD bölgesi aşağı yönlü bir kurutma evresidir. Bu bölgede tekstil malzemesi bünyesinde mevcut olan su ve doğal nemin malzemenin yüzeyine transfer işlemi gerçekleşmektedir. Yavaş bir kurutma hızının elde edildiği azalan kurutma evresinde malzeme yüzeyinde kurulukların ortaya çıkması ve yüzey sıcaklığının artış göstermesi ile kritik nem değerinin aşılması sonucu doğal nem kaybı, malzemedeki yapısal ve kalite bozuklukları görülebilmektedir. Doğal nem kaybının geri kazanımının oldukça zor olduğu tekstil malzemelerinde, kritik nem değerinin aşılmadığı BC evresinde yani sabit hızda kurutma işleminin gerçekleştiği yerde kurutma işleminin yapılması gerekli olmaktadır (Perry, 1997).

### 3.3 Kurutma Makineleri

Tekstil endüstrisinde birçok işlem parametreleri bulunmaktadır. Burada ürünün nem kazanmasıyla sonuçlanan birtakım işlemler gerçekleşmektedir. Tekstil ürününün cinsine göre ürünün yüzeyinde bulunması gereken nemin değişkenlik gösterme durumu gibi sıcaklıktan dolayı oluşan yapısal bozukluğun gerçekleşmemesi için daha sağlıklı bir kurutma sistemi gerekmektedir. Mekanik sistemlerle çalışan ön kurutma metotlarına göre daha farklı yapı ile ilk yatırım ve işletme giderlerine sahip olan esas kurutma makineleri farklı tiplerde üretilmektedir. Tekstil işletmelerinde içerdiği endüstriyel önem bakımından yaygın olarak kullanılan tekstil kurutma makinelerine örnek verecek olursak bunlar; taşıma bantlı kurutucular (zincirli kurutma makinesi), radyo frekanslı kurutucular

(yüksek frekanslı kurutma makineleri), ramöz kurutma (gergili kurutma) makineleridir. Bu tez çalışmasında asıl olarak ramöz kurutma makineleri üzerinde durulacaktır. Kısaca diğer kurutma makinelerini tanımlamaları şu şekildedir:

### 3.3.1 Radyo frekanslı kurutucular

Yüksek frekanslı kurutucular, tekstil ürünlerinin düzenli bir şekilde istenilen nem değerine göre kurutulmasını sağlamaktadır. Açık elyaf, bobin, hazır giyim vb. ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurutma makinesine ait görüntü Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu kurutma sisteminin maliyetinin az olması için mamülün yüzeyindeki su değerinin ön kurutma yöntemi ile uzaklaştırılarak radyo frekanslı kurutma makinesinde esas kurutma işleminin gerçekleşmesi sağlanmalıdır. Yüksek frekanslı kurutucular pamuk, viskon, yün, kaşmir ve gevşek elyafların kurutulmasında önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 3.4 : Radyo frekanslı kurutucu.

### 3.3.2 Taşıma bantlı kurutucular

Taşıma bantlı kurutucular ya da tekstil endüstrisindeki ismi ile zincirli kurutma makineleri özellikle örme kumaşların kurutulmasında, taşınım yoluyla kurutma yöntemine göre çalışan ve ramöz (gergili) kurutma makinesinin kurutma yapamadığı hassas yüzeyli kumaşların kurutulmasında kullanılan kurutma makineleridir. Makinenin genel görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir. Kumaş, kurutucu içerisinde sonsuz taşıma bandı ile taşınıp serbest açma silindiri ile kurutucuya yönlendirilmektedir. Bu işlemin yapılmasının sebebi ise ürüne buhar teması sağlanarak yumuşatılmasını sağlamak ve ürüne istenilen tutumu sağlamaktır. Zincirli kurutma makinesinin taşıyıcı bantlarından geçen kumaş makinenin

kabinleri içerisinde alt ve üst yüzeylerden düze diye tabir edilen kısımlardan kumaşa buhar gönderimi yaparak kurutmanın gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Örülmüş ürünlerin kurutulması 100-200°C aralığında yapılmaktadır. Hassas yüzeyli örme kumaşların kurutulması işlemlerinde zincirli kurutma makineleri ideal bir kurutma makinesi olarak işlem göstermektedir.



**Şekil 3.5 : Taşıma bantlı kurutucu.**

### **3.3.3 Ram (Ramöz) kurutma makineleri**

Ramöz kurutma makineleri, tüp ya da açık en kumaşların makine içerisinde enine bir biçimde, makine üzerinde bulunan iğneli paletlere kumaşların kenar bölgelerinden tutularak bir çift hareketli zincir aracılığıyla kumaşa hareket kazandırıldığı ve bu esnada kapalı kabinler içerisinde kumaşa sıcak hava püskürtülerek kurutmanın gerçekleştirildiği kurutma makineleridir. Tekstil endüstrisinde kurutma işlemlerinin gerçekleştirilmesi terbiye dairelerindeki en önemli iş adımlarından birini oluşturmaktadır. Yüksek oranda enerjinin kullanıldığı termofiksaj işlemleri, bitiş işlemleri sonrası kurutma işlemi gibi parametrelerin de rahatlıkla gerçekleştiği bu birimde ramöz kurutma makineleri önemli bir konuma sahiptir. Bir ramöz kurutma makinesinin genel görünümü Şekil 3.6'da verilmiştir.



**Şekil 3.6 : Ram makinesinin genel görünümü**

Kurutulacak olan kumaşlar kumaş teknesi içinde ramöz makinelerinin ön (giriş) kısmına konumlandırılarak manuel bir şekilde girişte bulunan fular diye adlandırılan hareketli silindirlere, kumaş üzerindeki nemi ön kurutma olarak almak üzere temas ettirilir. Makinenin otomasyon sistemine işlem göreceğ olan kumaşın yapısı göz önünde bulundurularak istenilen en, boy, sıcaklık, ilerleme hızı vb. gibi değerler manuel olarak girilmektedir. Harekete başlayan kumaş iğne ve palet sistemi yardımıyla kurutma işleminin gerçekleşeceği kabinler içerisine yönlendirilmektedir. Kabinlerin içerisinde kumaşın hem alt hem de üst yüzeyine sıcak hava püskürtme işlemi düze diye adlandırılan lüle takımları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu düzeler her kabin içerisinde takım halinde sabit olarak konumlandırılmıştır. Kabin içerisinde kumaşa püskürtülen basınçlı sıcak hava sayesinde nemli kumaşta bulunan su, buhar haline geçerek ramöz makinesinin sahip olduğu fanlar aracılığıyla kabinden uzaklaştırılmaktadır. Bu fanlar belirli bir yüzdelik oranda çalıştırılarak işlevini gerçekleştirmektedir. Kabin içerisinde kurutmaya tabii tutulan kumaşlar kabin çıkışında yüksek kuruluk durumuna ulaşmaması için makine çıkışı öncesi bir soğutma düzeneği sayesinde soğutulmaktadır. Bu işlemler sonrası kumaş, çıkış silindirlere sayesinde katlanarak kurutma işlemini tamamlamaktadır. Kurutma işlemleri

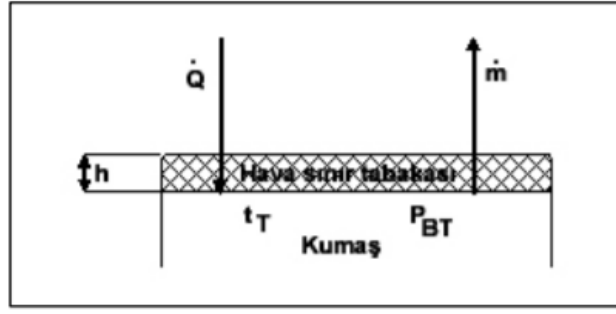
yapılırken tekstil mamüllerinin fiziksel boyut durumlarının da zarar görmemesi, düzenli bir kontrol sağlanması gerekmektedir. Sentetik elyaf karışımlarından oluşan iç lif gerilimlerini önlemek amacıyla yapılan termofiksaj işlemi, ramöz kurutma makinelerinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum tekstil endüstrisi içinde fikse ya da fiksaj işlemi olarak nitelendirilmektedir. Ramöz kurutma makinelerinin bu ve bunun gibi önemli işlemlerde yetkinlik sahibi olmasından dolayı yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olması makinenin temin edilmesine bir engel teşkil etmemektedir. Talep durumlarına göre açık en ve tüp kumaşların istenilen en ve boy değerlerinde ayarlanması, mamül üzerindeki kırışıklıkların giderilmesi ve iğne palet tutucular haricinde herhangi bir temas noktasının bulunmamasından dolayı faydalı bir kurutma makinesidir.

### **3.4 Ram Makinelerinde Kurutma Sistemi**

Ramöz kurutma makinelerinde kurutma işlemi taşınım (konveksiyon) yolu ile kurutma esasına dayanmaktadır. Taşınım yolu ile gerçekleşen bu işlemde sıcak kuru hava ile nemli tekstil ürünü birbirlerine temas etmekte olup bu temas sonucunda sıcak kurutma havasından nem ihtiva eden tekstil ürününe ısı transferi gerçekleşirken nemli tekstil ürününden kurutma havasına da kütle transferi gerçekleşmektedir. Kurutma aşamasında gerçekleşen ısı ve kütle transferi işlemleri aynı hız ve oranda gerçekleşmemektedir. Bunun sebebi tekstil ürünüde mevcut durumda bulunan suyun tamamının ürünün yüzeyinde bulunmayıp ürüne zayıf kuvvetlerle bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Tekstil ürününün lifleri içerisinde bulunan suyun üründen uzaklaştırılması işlemi zorlu bir süreç olduğundan tekstil ürünündeki taşınım yoluyla kurutma esaslı üç aşamada gerçekleştirilmektedir.

#### **1.Aşama**

Kurutulacak olan tekstil ürünün yapısında bulunan ipliklerin yüzeyi yeterli miktarda su içerdiğinden sıcaklık değeri ne olursa olsun kumaşın sıcaklığı yüzeyde bulunan su buharı-hava karışımının soğuma sınır sıcaklığını geçmemektedir. Bu sıcaklık değeri kumaştaki su miktarına bağlı olarak 50-80°C geçmemektedir. Kumaş yüzeyi ile kurutma gazı arasındaki su buharı transferi kütle transferi kuralına uymaktadır.



**Şekil 3.7 :** Mamul yüzeyi ile kurutma gazı arası kütle ve ısı transferi- 1.Aşama

Birim zamanda buharlaşan su miktarı ve kütle transferi katsayısı (m/s) Denklem 3.1’de ve Denklem 3.2’de gösterilmiştir (Karaaslan, 2006).

$$\dot{m} = A \cdot \frac{\beta}{R \cdot T} (P_{BT} - P_{BH}) \quad (3.1)$$

$$\beta = \frac{D}{h} \quad (3.2)$$

$\dot{m}$ = Birim zamanda buharlaşan su miktarı

$A$ = Transfere katılan yüzey ( $m^2$ )

$\beta$ = Kütle transferi katsayısı (m/s)

$D$ = Difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ )

$h$ = Sınır tabakanın kalınlığı (m)

$R$ = Gaz sabiti

$T$ = Mutlak sıcaklık (K)

$P_{BT}$ = Tekstil ürününün yüzeyindeki su buharının kısmi basıncı ( $N/m^2$ )

$P_{BH}$ = Kurutma havasındaki su buharının kısmi basıncı ( $N/m^2$ )

Tekstil ürünü ile kurutma gazı arasındaki ısı transferi ise Denklem 3.3'de ve Denklem 3.4'de gösterilmiştir (Karaaslan, 2006).

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot (T_h - T_t) \quad (3.3)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_L}{h} \quad (3.4)$$

$\dot{Q}$ = Birim zamanda meydana gelen ısı transferi

$\alpha$ = Isı transferi katsayısı ( W/m<sup>2</sup>K)

$T_h$ = Kurutma havasının sıcaklığı (°C)

$T_t$ = Tekstil ürününün sıcaklığı (°C)

$\lambda_L$ = Sınır yüzeyindeki ısı iletkenliği (W/mK)

Kurutma hızı; kurutma gazı sıcaklığı, hızı, su buharı basıncı gibi faktörleri içeren kurutucunun çalışma şartlarına bağlıdır. Kurutma hızı, kurutulacak olan tekstil ürününün özellikleri ile değişmemektedir. Suyun uzaklaşması yani kurutma bu evrede en hızlı adımdır. Çünkü yüzeydeki hava sınır tabakasının aşılması kütle ve ısı transferi için gereklidir. Bu kurutma pamuklu bir kumaş üzerinde %35 ile %40 oranlarında nem miktarı kalana kadar devam etmektedir (Karaaslan, 2006).

## 2. Aşama

Kurutma sürecinin devam etmesiyle birlikte tekstil ürünündeki kılcal borularda su emilerek yüzeye gelip yüzeyde buharlaşmaktadır. Belirli bir süre sonra kılcal borularda direnç artmasından dolayı suyun yüzeye taşınması zorlanmaktadır. Suyun buharlaşıp sıcak hava geçişi için gerekli olan mesafe arttığından dolayı kurutma işlemi yavaşlamaktadır. Sıcak havanın hava sınır tabakasını ve tekstil ürününün kurumuş olan bölümü bir başka türden ifade etmek gerekirse mamul ve yüzey içerisindeki buharlaşmanın meydana geldiği alan arasındaki mesafeyi de geçmesi gerekmektedir. Difüzyon ve ısı iletimi için çözümlenmesi gereken metot, buharlaşmanın gerçekleştiği nokta ürünün içerisine doğru yol aldıkça artmaktadır. Isı transferi ve kütle transferi eşitliğinde ısı ve kütle transfer katsayılarının yerini ısı ve buhar geçirgenliği katsayıları almaktadır (Karaaslan, 2006).



**Şekil 3.8 :** Mamul yüzeyi ile kurutma gazı arası kütle ve ısı transferi- 2. Aşama

Birim zamanda buharlaşan su miktarı Denklem 3.5’de ve Denklem 3.6’da, mamul ile kurutma gazı arasındaki ısı transferi ise Denklem 3.7’de ve Denklem 3.8’de gösterilmiştir.

$$\dot{m} = \frac{A \cdot \sigma_B}{R \cdot T} (P_{Bi} - P_{BH}) \quad (3.5)$$

$$\sigma_B = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu_D \cdot s}{D}} \quad (3.6)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda_s}} \quad (3.7)$$

$$\dot{Q} = A \cdot k (t_H - t_i) \quad (3.8)$$

$\sigma_B$ = Buhar geçirgenlik katsayısı

$P_{Bi}$ = Kurutmanın meydana geldiği noktada su buharının kısmi basıncı

$\mu_D$ = Difüzyon direnci sayısı

$s$ = Kurutmanın meydana geldiği nokta ile yüzey arasındaki mesafe

$k$ = Isı geçiş katsayısı

$t_i$ = Kurutmanın meydana geldiği noktada mamul sıcaklığı

$\lambda$ = Mamul içerisindeki ısı iletkenliği

İkinci aşamada kurutma hızı düşüktür. Kütle transferi ve ısı transferi için gerekli olan yolun uzaması kurutma hızının da düşük olmasına yol açmaktadır. Tekstil ürününün yapısı, kurutucunun işlev gereksinimleri kadar kurutma hızı üzerinde önemli ve etkilidir.



### 3. Aşama

Doğal nem ve şişme suyu, kılcal su uzaklaştırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra uzaklaştırılmaktadır. Üçüncü aşama kurutmanın zor ve en yavaş adımıdır. Bunun sebebi lif içerisinde mevcut olan suyun önce lifin yüzeyine sonrasında ise tekstil ürününün yüzeyine difüzyon işlemi gerçekleştirmesidir. Tekstil ürününde yani kumaşta bulunan suyun miktarının az olması, ürünün sıcaklığının kurutma havasının sıcaklığına yaklaşmasına sebep olmaktadır. Kumaşın ısınması ve suyun uzaklaşmasının yavaş olması sebebiyle liflerdeki doğal nemin uzaklaştırılma işlemi hem ürünün kalitesini azaltmakta hem de kurutma maliyetini önemli ölçüde yükseltmektedir. Dolayısıyla aşırı kurutma işlemi olumsuz yönde sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Karaaslan, 2006).



#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

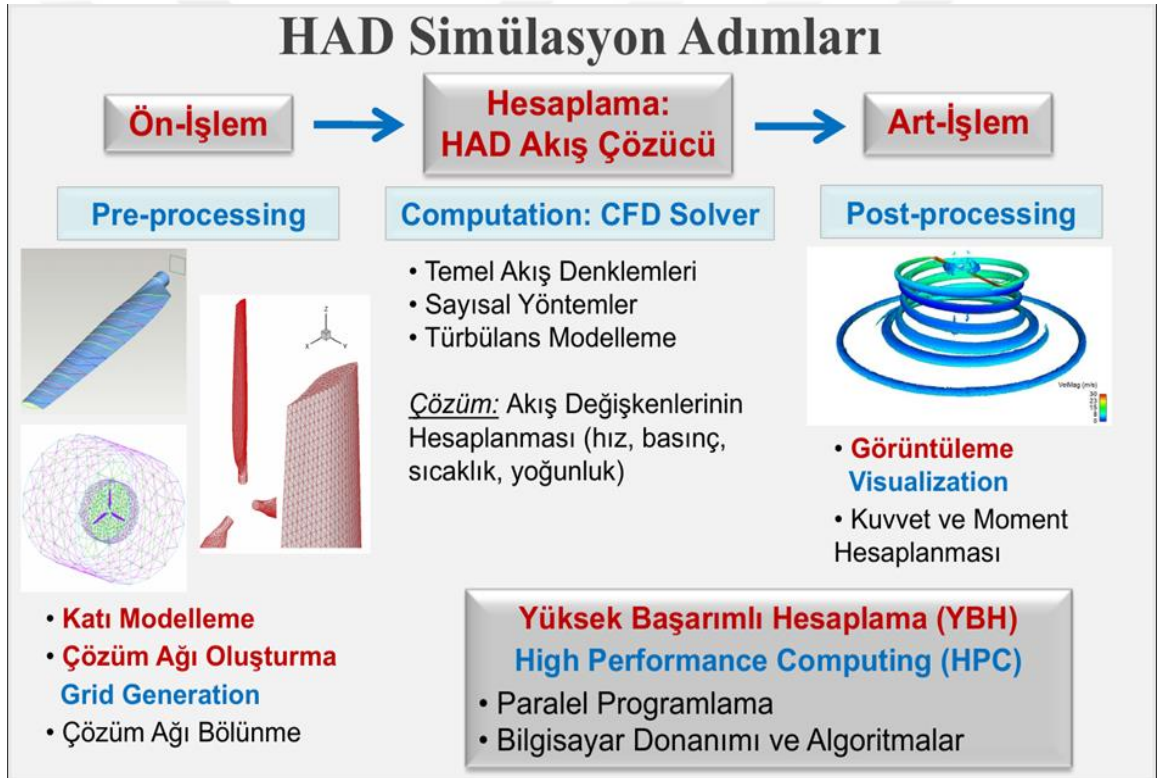
Bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada tekstil endüstrisinde kullanılan ram makinesi içerisindeki hava akışı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi ile modellenmiştir. Porozite ( $B$ ), düze açısı ( $\alpha$ ) gibi düze geometrik parametrelerinin hava akışına olan etkileri ortaya konmuştur. İkinci aşamada ise ram makinesinin son kısmında bulunan kumaş soğutma prosesi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi ile modellenmiştir. Kumaş soğutma prosesi analizlerinde düze porozitesi ( $B$ ), düze açısı ( $\alpha$ ), kumaş hızı ( $V_k$ ) ve soğutma havası hızı ( $V_a$ ) gibi parametrelerin soğutma prosesine olan etkileri incelenmiştir.

Mühendislik alanında yapılan çalışmalarda akış denklemlerinin bir veya paralel olarak çalışan birçok bilgisayar kullanılarak çözümleri yapılmaktadır. Direnç, basınç düşüşü, kaldırma gibi genel özellikler deneysel olarak elde edilebilmektedir fakat kayma gerilmeleri, hız-basınç profilleri ve akış sistemine ait olan akım çizgileri gibi detayları elde etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri uygulanmaktadır (Çengel ve Cimbala, 2015).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği; sayısal yöntem ve algoritmalar kullanılarak ısı transferi ve akışkanlar mekaniği problemlerinin gerek analiz gerek ise çözümlemesinin yapıldığı akışkanlar dinamiğine ait bir bilim dalıdır. Gazların ve sıvıların katı yüzeyler eksenindeki akış alanları bilgisayar yardımıyla çözülmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen simülasyonlar matematiksel model ve sayısal analiz yöntemlerine bağlı olarak belirli bir doğruluk payına sahip olmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları ön işlem, çözücü ve hesaplama sonuçları gibi adımlar sonucu gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.1'de işlem basamakları gösterilmiştir (Uzol, 2021). Bu adımlar şu şekilde ilerleme kaydetmektedir;

- 1- Ön işlem basamakları
  - Katı modelleme ve cisim geometrisi tanımlama işlemi
  - Çözüm ağı oluşturulması
  - Çözüm ağı bölünmesi
- 2- Akış çözücü hesaplamaları
  - Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları
- 3- Son işlem basamakları
  - Hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi
  - Sonuçların görüntülenmesi



**Şekil 4.1 :** Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyon adımları

Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapılırken akışa ait temel korunum denklemleri kullanılmaktadır. Temel fizik korunum yasalarını ifade eden bu denklemler süreklilik yani kütle korunumu ve momentumun korunumu denklemleridir.

Kütlenin korunumu denklemi; birim zamanda kontrol hacminin yüzeyinden geçen kütle miktarının toplamıyla kontrol hacmindeki kütle miktarının değişiminin sıfır olduğunu

ifade etmektedir. Zamana bağlı, sıkıştırılabilir akış için üç boyutta süreklilik denklemi Denklem 4.1’de gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (4.1)$$

Kartezyen koordinatlar için diverjans işlemi Denklem 4.2’de uygulanmıştır (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.2)$$

Daimi akış kabulüyle süreklilik denklemi Denklem 4.3’te ki gibi yazılabilmektedir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.3)$$

Tanımlaması ve formülasyonu yazılan süreklilik denkleminde;  $\rho$ : Akışkan yoğunluğunu,  $V$ : Akışkanın hızını ifade etmektedir. Denklemdaki  $u, v, w$  ise sırasıyla x,y,z eksenlerindeki hız bileşenlerini tanımlamaktadır.

Newton’un ikinci yasası; bir cismin ivmesi ona etkiyen bileşke kuvvetle doğru orantılı olup kütlesi ile ters orantılıdır. Viskoz, sıkıştırılamaz Newton tipi akışkanın daimi, laminer akışı için hareket denklemlerinden birisi de Navier-Stokes denklemi olup Denklem 4.4’te gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \rho g + \mu \nabla^2 V \quad (4.4)$$

olarak ifade edilmektedir. Navier-Stokes denkleminde  $\mu$ : akışkanın dinamik viskozitesidir. Kartezyen koordinatlarda Navier-Stokes denklemi;

x- momentum olarak Denklem 4.5’te gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4.5)$$

y- momentum olarak Denklem 4.6'da gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (4.6)$$

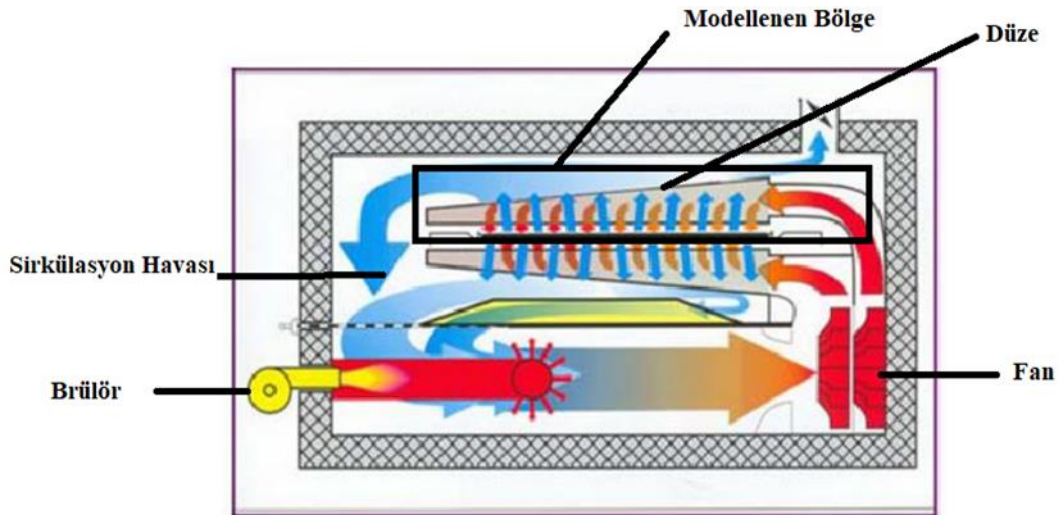
z- momentum olarak Denklem 4.7'de gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4.7)$$

Bu denklemlerde  $\nu$  akışkanın kinematik viskozitesini ifade etmektedir.

#### 4.1 Hava Akışı Modellemeleri

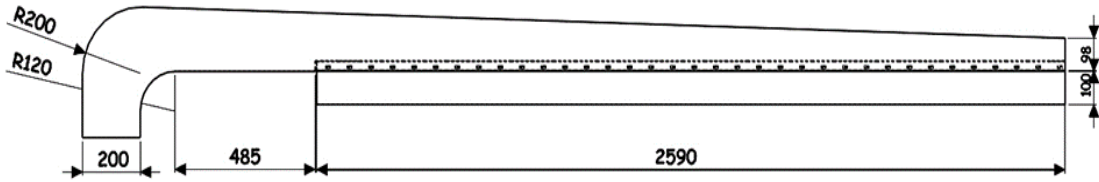
Hava akışı modellemelerinde, Malatya ilinde faaliyet gösteren bir fabrika bünyesinde aktif olarak çalışan ram makinesinin düze dilimleri örnek alınmıştır. Modellenen bölge Şekil 4.2'de verilmiştir (Uçak, 2010). Referans düze dilimlerinin SolidWorks paket programında katı modelleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.2 : Doğalgaz yakıtlı ram makinesinin kurutma prensibi

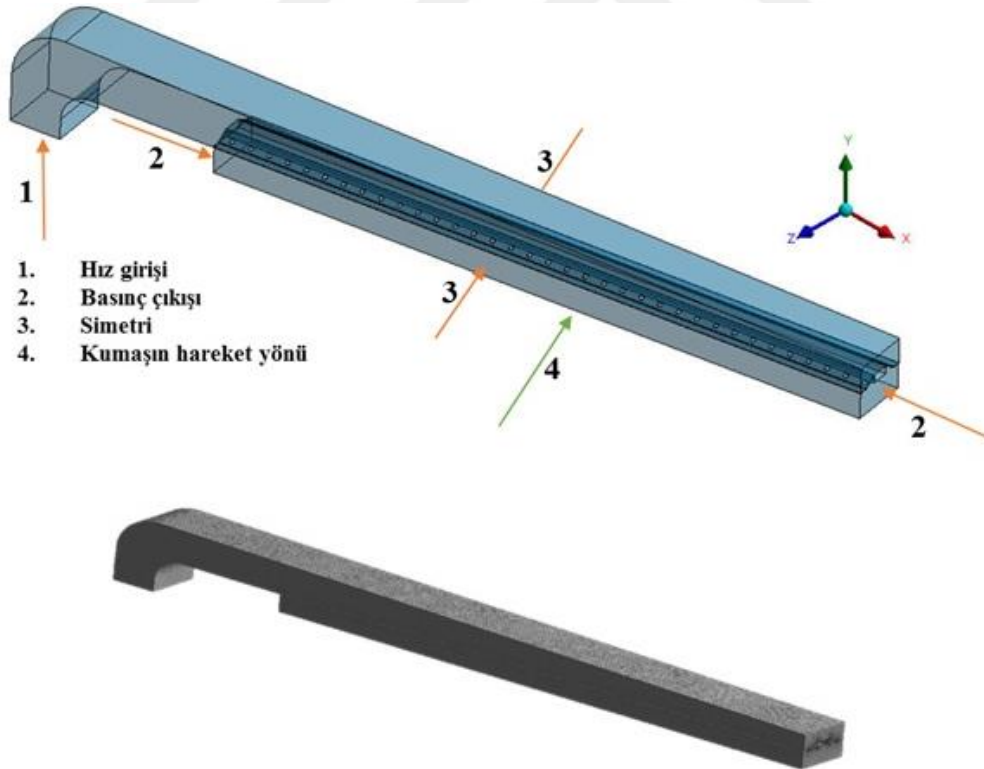
Hava akışı analizi yapılan ram kurutma makinesinin düze diliminin iki boyutlu şematik görüntüsü Şekil 4.3'te verilmiştir. Ram kurutma makineleri kapasite ve işlevsellik bakımından farklı uzunluklara, kabin sayısına ve işlevselliğe sahiptir. Üzerinde çalışma

yapılan ram kurutma makinesinde 10 adet kabin, her bir kabin içerisinde 4 adet düze sehpa ve sehpların her birinde de 6 adet düze dilimi mevcuttur. Endüstriyel olarak tüm düze dilimlerdeki akış analizini incelemek yüksek maliyet ve uzun hesaplama süresi gerektirdiği için bir dilim üzerinde hesaplamalar ve simülasyonlar yapılmıştır. Düze diliminde mevcut olan düze delikleri kare geometriye ve 15mm\*15mm boyutlara sahiptir.



Şekil 4.3 : Düze diliminin şematik görüntüsü.

Yapılan analizler üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiş olup katı model tasarım programında alınan gerçek ölçüler neticesinde model oluşturulmuş, ANSYS- Fluent paket programı içerisinde gerekli değerler girilerek üç boyutlu model oluşturulmuştur. Sayısal modelin sınır şartları ise Şekil 4.4'te verilmiştir (Sığırcı ve Erdoğan, 2021).



Şekil 4.4 : Sayısal modelin sınır şartları ve ağ yapısı

Şekil 4.4'te tasarımı yapılan sayısal modelde; 1 numaralı kısımda kabin içinden gelen hava düze diliminin iç alanına doğru hareket etmeye başlamaktadır. Alt ve üst düze

diliminin içerisindeki hava akışı dilimin yüzeyindeki açık kesitlerden geçerek kumaşa nüfuz ettirilmektedir. Ardından 2 ile gösterilen simetrik bölge üzerinden düzeden çıkmaktadır.

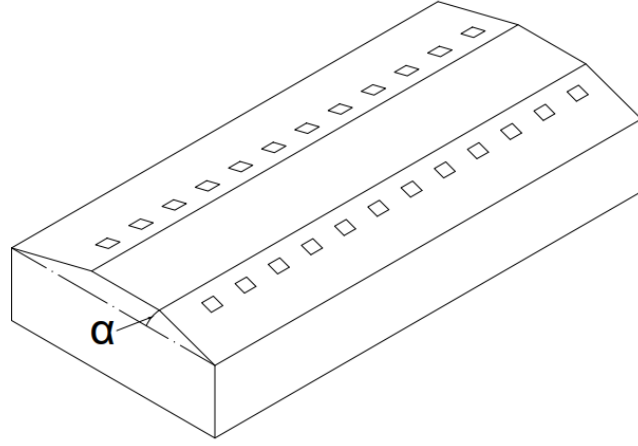
1 numaralı kesit yani sıcak havanın hazneye alınmasını sağlayan kısım olmakla beraber kesit ölçüleri: (200 mm)\*(235 mm)'dir. Bu kesit modelde ise hız girişi (Velocity-Inlet) olarak tanımlanmıştır. Modellerin tüm aşamasında havanın giriş hızı değeri genellikle endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi 5 m/s olarak alınmıştır. Sayısal modelde 2 numaralı kısım; simetrik iki yüzeyin basınç çıkışı (pressure outlet) olarak tanımlanmıştır. Çıkış yüzeyindeki hava atmosferik koşullardadır. 3 numaralı bölge ise simetri ve diğer tüm yüzeyler için duvar sınır şartı (wall) olarak tanımlanmıştır. 4 numaralı kısım ise kurutma işlemine tabii tutulan kumaşın hareket ettiği konumu belirtmektedir.

Hava akışı analizleri sürekli akış şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ayırıklaştırma işlemi Sonlu Hacimler Yöntemi ile yapılmıştır. Akış hacmi, geometrik nüanslar olmakla birlikte tüm modellerde yaklaşık  $5 \cdot 10^6$  sayıda dört yüzlü eleman kullanılmıştır. Oluşturulmuş ağ ayrıntıları incelendiğinde en yüksek çarpıklık (skewness) değerinin 0.80 düzeyinde olduğu görülmüştür.

Düze deliklerinin bulunduğu yüzeyde eleman boyutu en büyük 0.002 m, tüm akış hacminde ise en büyük eleman boyutu 0.015 m olarak atanmıştır. Modellerde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Hava'nın yoğunluğu  $1.225 \text{ kg/m}^3$  viskozitesi ise  $1.7894 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ 'dir. Ayrıca akış hacmi değişkenlerini ayırıklaştırmak için Simple algoritmasından yararlanılmıştır. Mekânsal ayırıklaştırma işleminde ise ikinci mertebeden ileri gidişli şema olan Second Order Upwind Scheme seçilmiştir ve her bir analiz için paralel olacak şekilde 8 işlemcide simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Ram kurutma makinelerinde üretilen makinenin markasına göre düzelerin fiziksel yapıları değişkenlik gösterebilmektedir. Bazı modeller açılı bir düze geometrisi kullanırken bazı modeller ise düz yüzeye sahip düze dilimleri kullanabilmektedir.

Şekil 4.3'te gösterilen düze dilimine daha yakından bakmak gerekirse düzenin yatak içine konumlandırılma durumu ve yatayla yaptığı açının izometrik çizimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



**Şekil 4.5** : Düze üzerinde deliklerin bulunduğu yüzeyin yatayla yaptığı açı ( $\alpha$ )

Hava akışı analizlerinde düze açısı ( $\alpha$ ) ve düze porozite (B) değerlerinin akış üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Düze açısı ( $\alpha$ ) kabin içerisinde bulunan düzelerde düze diliminin üzerindeki deliklerin düzenin yatay ile yaptığı açığı ifade eder. Düze porozite (B) değerleri ise düze deliklerinin bulunduğu belirli bir açığa sahip olan yüzeyde delikli alanın toplam yüzey alanına oranını temsil etmektedir.

Düze açısı için incelenen değerler sırasıyla  $\alpha_1=0^\circ$ ,  $\alpha_2=10^\circ$ ,  $\alpha_3=20^\circ$ ,  $\alpha_4=30^\circ$  dur. Düze'nin porozite değerleri ise sırasıyla  $B_1=0.05$ ,  $B_2=0.1$ ,  $B_3=0.2$ ,  $B_4=0.3$  ve  $B_5=0.4$  olarak belirlenmiştir. Düze porozite (B) değerleri arttıkça hem x-doğrultusundaki delik sayısı artmakta hem de z-doğrultusunda bir sıra daha delik geometrisi eklenmektedir. Bu örnek düzeler  $\alpha_4=30^\circ$ lik açığa ve  $B_1=0.05$  porozite değerine sahiptir. Hava akışı analizlerinde, sıkıştırılamaz akış koşulları altında hava akışının gerçekleştiği ve havanın  $25^\circ\text{C}$  sıcaklığa sahip olduğu ANSYS Fluent programına tanıtılmıştır. Sayısal analizler Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes Denklemleri çözülürken gerçekleştirilmiştir. Bu denklemlerde, hız ve basınç büyüklükleri zaman ortalamalı ve çalkantı terimleri cinsinden ifade edilir. Sürekliliği ve momentumun korunumunu Denklem 4.8'de ve Denklem 4.9'da gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.8)$$



$$\rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (4.9)$$

Bu denklemlerde;  $i$  ve  $j$  alt simgeleri, akışın üç boyutlu olarak gerçekleştiğini dikkate almak için 1, 2 ve 3 değerlerini alabilir.  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $U$  kartezyen koordinatlardaki herhangi bir hız bileşenini,  $P$  akışkanın statik basıncını,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini, ve  $u'$  hızın türbülans çalkantı bileşenini ifade etmektedir.  $\rho \overline{u'_i u'_j}$  ifadesi Reynolds gerilmelerini temsil etmektedir. Reynolds gerilmelerini modelleyebilmek için ilave türbülans modeli denklemlerinin çözümüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Hava akışı analizleri sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olup analizlerde enerji denklemi kullanılmamıştır. Literatürde ram makinelerindeki hava akışı modellenirken Standart  $k$ - $\varepsilon$  türbülans modelinin yeterli çözüm sunacağı görülmüştür (Juraeva ve diğ., 2017). Standart  $k$ - $\varepsilon$  türbülans modeli, iki denklemlilik türbülans modelleri arasında ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Türbülans kinetik enerjisi ( $k$ ) ve disipasyon (kayıp) oranı ( $\varepsilon$ ) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümü ve türbülans viskozitesinin ( $\mu_t$ ) hesabını içermektedir. Kaldırma kuvvetleri etkisi ihmal edildiğinde transport denklemleri sırasıyla  $k$  ve  $\varepsilon$  için Denklem 4.10'da ve Denklem 4.11'de gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.11)$$

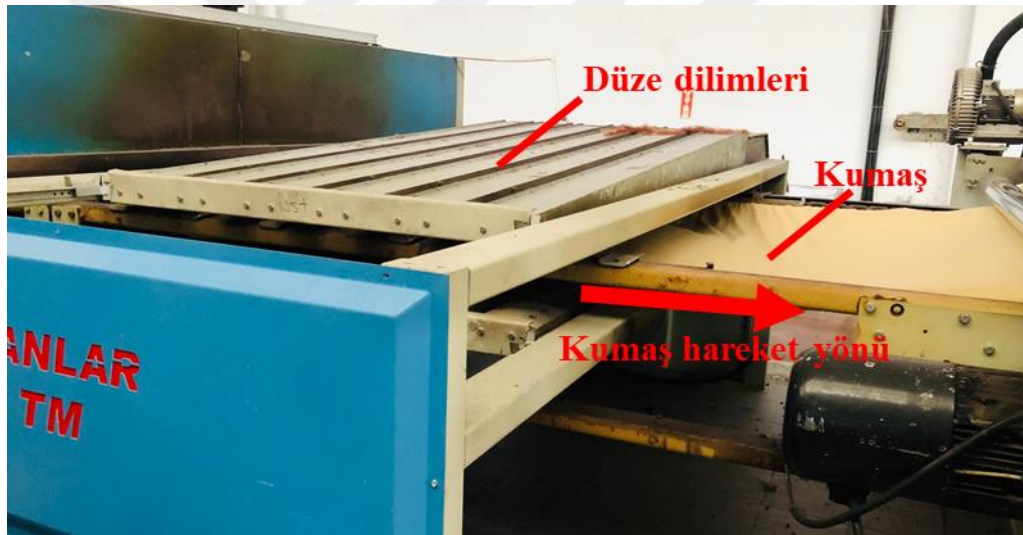
Bu denklemlerde yer alan türbülans viskozitesi ( $\mu_t$ ) Denklem 4.12'de ki gibi hesaplanmaktadır (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.12)$$

Bu denklemlerde;  $k$  türbülans kinetik enerjisini,  $\varepsilon$  türbülans yitim oranını ifade etmektedir. Denklemlerde bulunan sabitler  $\sigma_k=1$ ,  $\sigma_\varepsilon=1.3$ ,  $C_{1\varepsilon}=1.44$ ,  $C_{2\varepsilon}=1.92$  ve  $C_\mu=0.09$  değerlerini almaktadırlar (ANSYS-Fluent, 2013).

## 4.2 Kumaş Soğutma Analizleri

Ram kurutma makinelerinde kumaş kurutma işlemi bittikten sonra ram makinesi çıkışında kabin içerisinde olduğu gibi düze dilimlerinden iletilen hava akışı kumaşa çarptırılarak kumaşın soğutulması sağlanır. Bu aşamada kurutma prosesinden gelen kumaş yüksek sıcaklığa sahiptir. Düşük sıcaklıkta hava akışı kumaşla temas ettirilerek yüksek sıcaklıktaki kumaşın bir an önce soğutulması sağlanmaktadır. Eğer kumaş hızlı bir şekilde soğutulmazsa yüksek sıcaklıktaki kumaş esneme yaparak kalitesini ve özelliğini yitirecektir. Soğutma prosesinin gerçekleştiği kısım Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Soğutma prosesinin gerçekleştiği bölge

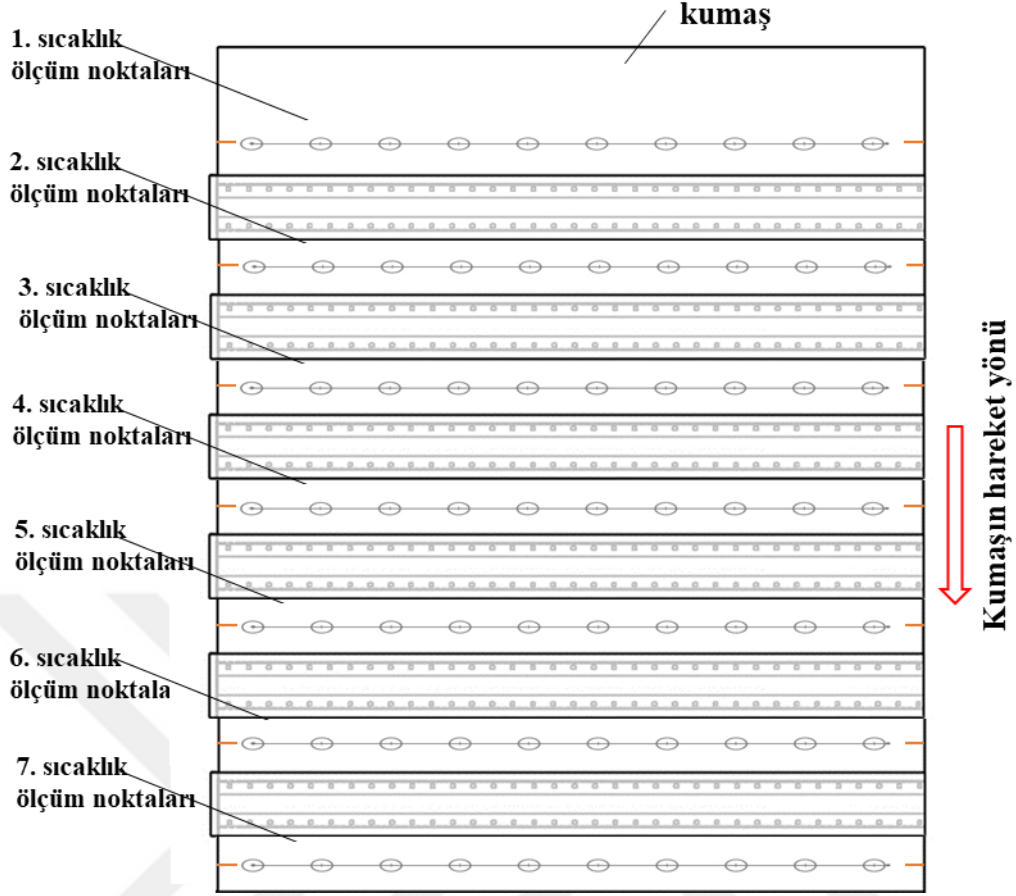
### 4.2.1 Deneysel ölçümler

Kumaş soğutma analizleri gerçekleştirilirken öncelikle sayısal modelin doğrulama çalışmasında kullanılmak üzere endüstriyel veriler elde edilmiştir. Tekstil fabrikasında bulunan ram makinesinin kumaş soğutma kısmında hava hızı ve kumaş yüzey sıcaklığı ölçümleri elde edilmiştir. Ölçümlerde kullanılan cihazlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Ölçüm cihazları ve hassasiyetleri**

Cihaz adı	Cihaz kodu	Doğruluk
Hızölçer-pitot tüpü entegre	Testo 435-4	$\pm 0.01$ m/s
Sıcaklıkölçer-entegre prob	Testo 435-4	$\pm 0.3$ °C
Termal kamera	Testo 870-2	$\pm \%2$ °C

Düzeyle giren havanın hız ölçümleri pitot tüpü entegreli (Testo 435-4) cihaz ile yapılmıştır. Ölçümler yapılırken düzeyle beslenen havanın bulunduğu kanalda (235mm\*200mm) hava giriş kesitinde ASHRAE Standard-111'e uygun olarak kesit üzerinde belirlenen yirmi beş farklı noktada gerçekleştirilmiştir. ASHRAE Standart-111'e göre dörtgen kesitli kanallarda kesit alanının kenar uzunlukları 0.762 m'den küçük ise standarda göre belirlenen yirmi beş noktadan yapılan hız ölçümü, kesitteki ortalama hava hızını belirlemede yeterlidir (ASHRAE, 1998). Soğutma prosesi modellemelerinde kullanılmak üzere elde edilen düzeyle beslenen havanın ortalama hızı  $V_a=0.5$  m/s'dir. Düzeyle beslenen havanın sıcaklığı Testo 435-4 çok fonksiyonlu ölçüm cihazına entegre sıcaklık probuyla ölçülmüştür. Beslenen havanın sıcaklığı 26.8 °C olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler sayısal modellerde sınır şartı olarak kullanılmıştır. Soğutma prosesi modellerinde her bir düze dilimine giren ve çıkan kumaşın giriş ve çıkış sıcaklıkları termal kamera (Testo 870-2) ile Şekil 4.7'de gösterilen 10 farklı noktadan ölçülmüştür. Her bir düze diliminin giriş ve çıkışında kumaş yüzeyinde 10 farklı noktadan termal kamera ile yapılan sıcaklık ölçümleri ile elde edilen giriş ve çıkış sıcaklık ortalamaları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Kumaş soğutma prosesinde hareketli kumaşın hızı ram makinesinin otomasyon ekranından 18 m/d (0.3 m/s) olarak elde edilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı kumaşın türü 30/150 penye 40 Dn Full Likra 2 iplik olarak firma tarafından kodlanmıştır.



Şekil 4.7 : Soğutma prosesinin gerçekleştiği bölgede kumaş yüzey sıcaklıkları ölçümlerinin yapıldığı noktalar

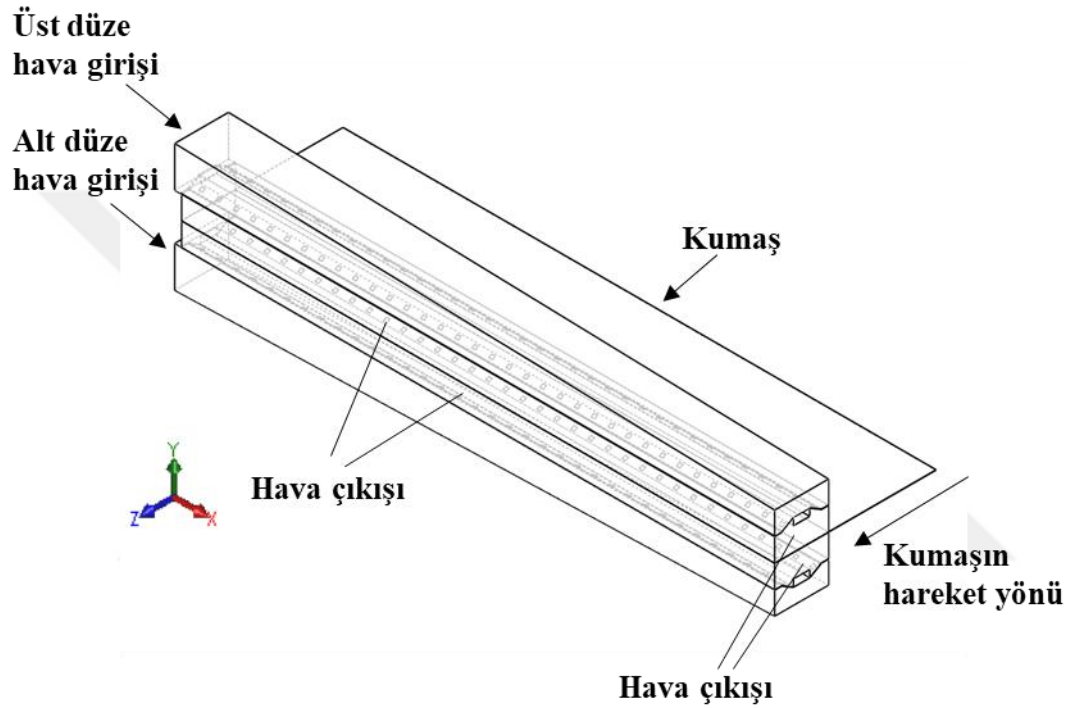
Çizelge 4.2 : Kumaş yüzey sıcaklıklarının her bir düzenin giriş ve çıkışında sahip olduğu yüzey sıcaklıkları

Ölçüm noktaları	1	2	3	4	5	6	7
Sıcaklık (°C)	129.64	122.82	115.10	106.15	102.18	94.36	86.17

#### 4.2.2 Kumaş soğutma prosesinin modellenmesi

Hava akışı modellemelerinden farklı olarak soğutma prosesi modellemelerinde geometri, farklılık göstermektedir. Hava akışı analizlerinde kumaşın hareketinin olduğu bölge dikkate alınmamış sadece düzeden gelen hava akışı dikkate alınmıştır. Ayrıca hava akışı analizlerinde sadece kumaşın üst kısmında bulunan düze dilimi modellenmiştir. Fakat soğutma prosesi modellenirken kumaş ve kumaşın hareketi de modellemeye dahil edilmiş aynı zamanda kumaşın hem üst kısmına hem de alt kısmına birer düze dilimi eklenmiştir.

Soğutma prosesi modellemelerinde kullanılan katı model Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi kumaş, biri altta biri üstte olmak üzere iki adet düze dilimi arasında +z yönünde 0.3 m/s hızla hareket etmektedir. Soğutma prosesi analizlerinde, hava akışı analizlerinin aksine kumaş, kumaş hareketi ve alt düze eklenmiş dolayısıyla katı modelin hacmi artmıştır. Hesaplama süresi ve maliyeti açısından hava akışı analizlerinde daha uzun olan hava besleme kanalı uzunluğu bu analizlerde kısaltılarak geometri basitleştirilmiştir.



**Şekil 4.8** : Soğutma prosesi modellemelerinde kullanılan katı model

Soğutma prosesi analizlerinde Şekil 4.8’den görüldüğü üzere alt ve üst düzeyi besleyen iki adet hava giriş yüzeyi ‘velocity inlet’ sınır şartı ile düze deliklerinden geçtikten sonra kumaşla temas eden havanın akış hacminden çıkış yaptığı 8 adet yüzeyde ise ‘pressure outlet’ sınır şartı tanımlanmıştır. Hava çıkışta atmosferik şartlara sahiptir. 4.1 başlığı ile ifade edilen hava akışı analizleri sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiş dolayısıyla analizlerde daimi akış şartlarında Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemleri çözdürülmüş fakat enerji denklemi çözdürülmemiştir. Soğutma prosesi analizlerinde ise kumaştan havaya ısı transferi gerçekleştiği için kütle ve momentumun korunumu denklemlerinin yanı sıra enerji denklemi de çözdürülmüştür. Enerji denklemi Denklem 4.13’te verilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

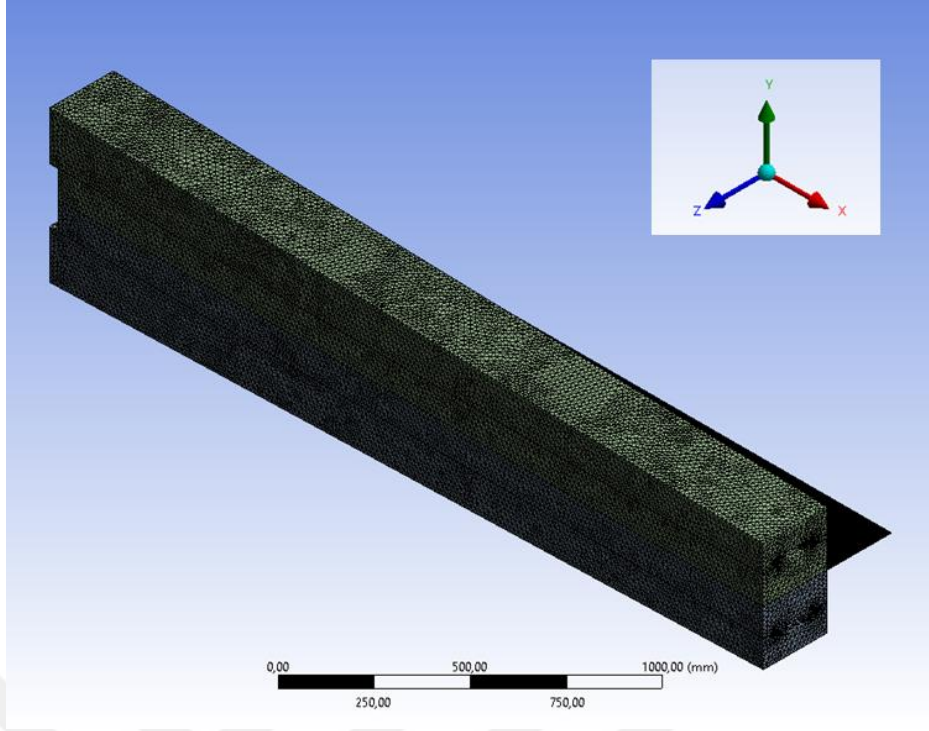
$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{V}(\rho E + p)) \\ & = \nabla \cdot ((k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{V}))) + S_h \end{aligned} \quad (4.13)$$

Kumaş soğutma prosesi analizlerinde kumaşın hareketini ve gözenekli yapısını doğru tanımlamak oldukça önemlidir. Bu sebeple 1 mm kalınlığa sahip kumaşın +z yönündeki 0.3 m/s'lik hızını modelde oluşturabilmek için Fluent programında kumaş bölgesi hareketli ağ (mesh motion) seçeneği aktif hale getirilmiş ve +z yönünde 0.3 m/s'lik hız tanımlanmıştır. Hareketli ağ çözümlerinde modelin zamana bağlı analizi gerekmektedir. Bu sebeple kumaş soğutma analizleri zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Modellerde kumaşın kat edeceği mesafe 0.47 m ve kumaş hızı 0.3 m/s olduğundan 1.57 s'lik ( $0.47 \text{ m} / 0.3 \text{ m.s}^{-1} = 1.57 \text{ s}$ ) çözümler gerçekleştirilmiştir. Zaman adımı büyüklüğü (time step size) 0.001 s ve dolayısıyla zaman adımı sayısı 1570 olarak elde edilmiştir. Kumaş hızının etkisinin incelendiği diğer iki analizde ise kumaş hızına bağlı olarak zaman adımı sayısı değişiklik göstermektedir. Deneysel ölçümlerde kullanılan kumaşın termofiziksel özellikleri Fluent programına aktarılmış ve modellerde kumaş bölgesi gözenekli ortam (porous zone) olarak tanımlanmıştır. Firma tarafından 30/150 penye 40 Dn Full Likra 2 iplik adıyla kodlanan kumaşın literatürden elde edilen termofiziksel özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir (Ertekin ve diğ, 2018).

**Çizelge 4.3 : Referans kumaşın özellikleri**

Kumaş Kodu	Kalınlık (mm)	Porozite	Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	Özgül ısı ( $\text{kJ/kg.K}$ )	Isı iletim katsayısı ( $\text{W/m.K}$ )
30/150 penye 40 Dn Full Likra 2 iplik	1 mm	0.5	266.39	1989.37	0.0555

Hava akışı simülasyonları geometrik tasarım parametrelerine bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık  $1.85 \cdot 10^6$  ağ sayısında gerçekleştirilmiştir. Düz deliklerinden geçen akışın çözüm hassasiyetini arttırmak için bu bölgede kenar boyutlandırması yapılmış ve ağların en fazla 5 mm kenar uzunluğuna sahip olması sağlanmıştır. En yüksek çarpıklık değeri 0.8 düzeylerinde tutulmuştur. Soğutma prosesi analizlerini gerçekleştirmek için oluşturulan modelin ağ yapısı Şekil 4.9'da verilmiştir.



**Şekil 4.9** : Soğutma prosesi modellemelerinin ağ yapısı

Soğutma prosesi analizleri modellenirken ısı geçişi hesaplamaları da yapıldığından çözüm hassasiyetini arttırmak için uygun türbülans modelinin seçimi önemli olmaktadır. Uygun türbülans modelini tespit edebilmek için bir doğrulama çalışması yapılmıştır. Soğutma prosesinin gerçekleştiği altlı üstlü altışar düze diliminin birincisinin çıkışında (Şekil 4.7’de 2. ölçüm noktaları olarak gösterilen) gerçekleştirilen kumaş sıcaklık ölçümü sonuçları ile bu sınır şartlarına uygun bir şekilde modellenen soğutma simülasyonları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.4’te verilmiştir.

**Çizelge 4.4** : Türbülans modeli karşılaştırmaları

Analiz adı	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C)	Hata (%)
Deneysel	122.82	-
Standart k-ε	111.99	8.81
RNG k-ε	107.56	12.42
Realizable k-ε	117.97	3.94
Standart k-ω	112.58	8.33
SST k-ω	112.81	8.15

Realizable k-ε diğer k-ε türbülans modellerine göre göreceli olarak yeni bir model olmasına rağmen ilk çalışmalar bu türbülans modelinin belirli doğrulama çalışmalarında

daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (ANSYS-Fluent, 2013). Çizelge 4.4 incelendiğinde kumaş soğutma analizlerinde Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel ölçümlere %3.94'lük bir hata oranı ile daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple kumaş soğutma prosesinin analizlerinde Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Realizable k-ε türbülans modelinde türbülans *k*-kinetik enerjisi ve ε-türbülans yitim oranını veren denklemler sırasıyla Denklem 4.14'de ve Denklem 4.15'de gösterilmiştir (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_j)}{\partial x_j} = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\varepsilon} S_\varepsilon - C_{2\rho} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \\ & + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (4.15)$$

Bu denklemlerde yer alan türbülans viskozitesi ( $\mu_t$ ) Denklem 4.16 ve Denklem 4.17'de ki gibi hesaplanmaktadır (ANSYS-Fluent, 2013).

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.16)$$

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{k U^*}{\varepsilon}} \quad (4.17)$$

Bu denklemlerde; *k* türbülans kinetik enerjisini, ε türbülans yitim oranını ifade etmektedir. Denklemlerde bulunan sabitler  $\sigma_k=1$ ,  $\sigma_\varepsilon=1.2$ ,  $C_{1\varepsilon}=1.44$  ve  $C_2=1.9$  değerlerini almaktadırlar (ANSYS-Fluent, 2013).



## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

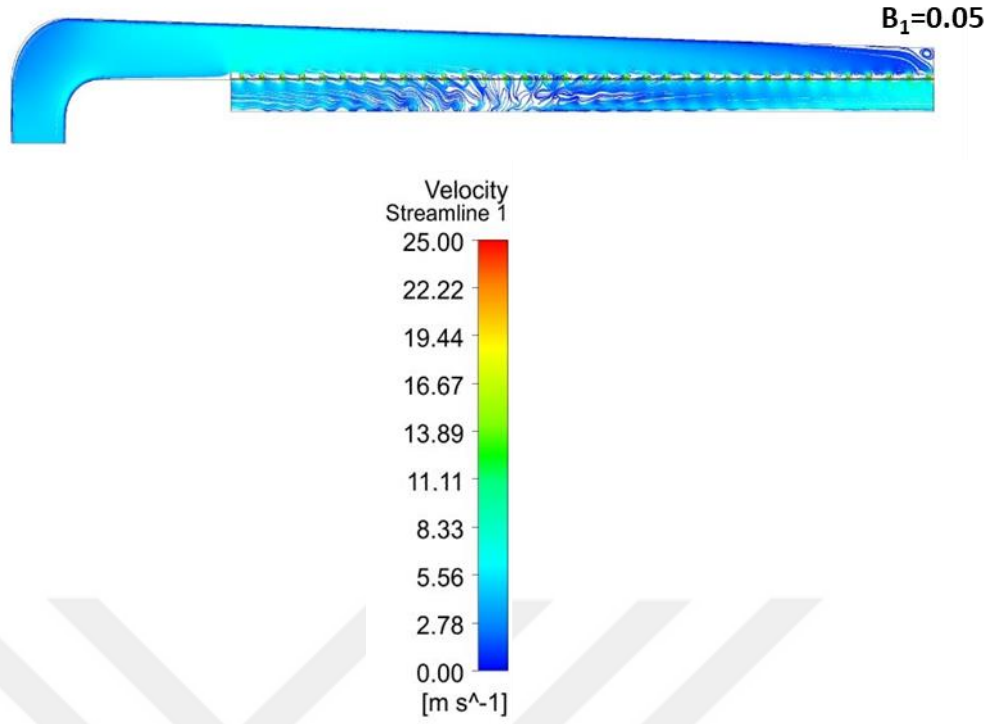
Çalışmanın ilk aşamasında ANSYS Fluent programı kullanılarak gerçekleştirilen hava akış simülasyonları aracılığıyla ram makinesindeki hava akışı ile ilgili veriler elde edilmiştir. Porozite (B) ve düze açısı ( $\alpha$ ) gibi geometrik parametrelerin kabin içi hava akışına olan etkileri araştırılmıştır. Veriler incelenirken özellikle hız alanları ile ilgili değişkenler göz önünde bulundurulmuştur. Simülasyonların sonuçları farklı kesitlerden alınan akım çizgileri ve hız konturları olarak verilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise porozite (B), düze açısı ( $\alpha$ ), soğutma havası hızı ( $V_a$ ) ve kumaş hızı ( $V_k$ ) gibi parametrelerin kumaş soğutma prosesine olan etkileri ortaya konmuştur. Kumaş soğutma prosesi deneysel doğrulama çalışması ile beraber sayısal olarak incelenmiş ve düze dilimlerinden geçen kumaşın ne ölçüde soğutulabildiği incelenmiştir. Göz önüne alınan veriler kumaşın çıkış sıcaklık değerleri ile sıcaklık dağılım görselleridir.

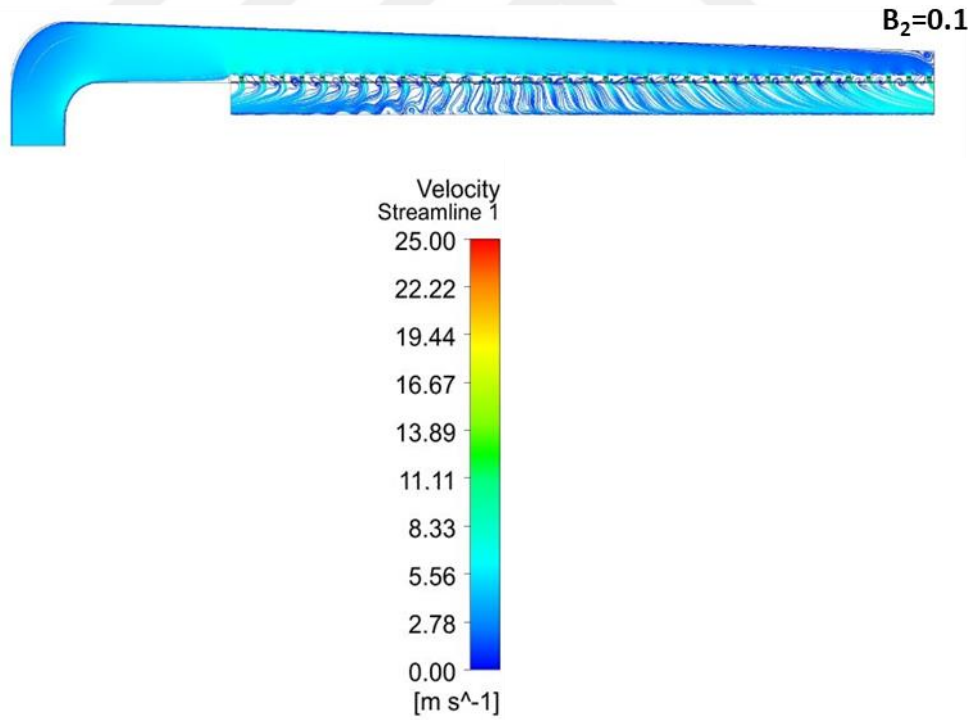
### 5.1 Hava Akışı Analizleri

Şekil 4.4'te verilen HAD modelinin x-y düzlemi üzerinde belirtilen yüzey üzerindeki akım çizgileri tüm geometrik parametrelerin akış üzerindeki etkilerini görebilmek adına sunulmuştur. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda tüm simülasyon sonuçları incelendiğinde düze boyunca hava akışının bu doğrultuda tam olarak homojen yayılmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Geometrik parametrelerin ve parametre değerlerinin tamamında akışın büyük bölümü düze deliklerinden geçtikten sonra kumaşa çarpmakta ve özellikle düze sonundaki çıkışa doğru (Şekil 4.4'te düze sonunda "2" ile gösterilmiştir.) yönelmektedir. Akış, düzenin üst kısmında pozitif x-doğrultusunda gerçekleştiği için düze deliklerinden geçtikten sonra akışın büyük bölümünün pozitif x-doğrultusuna yöneldiği düşünülmektedir.

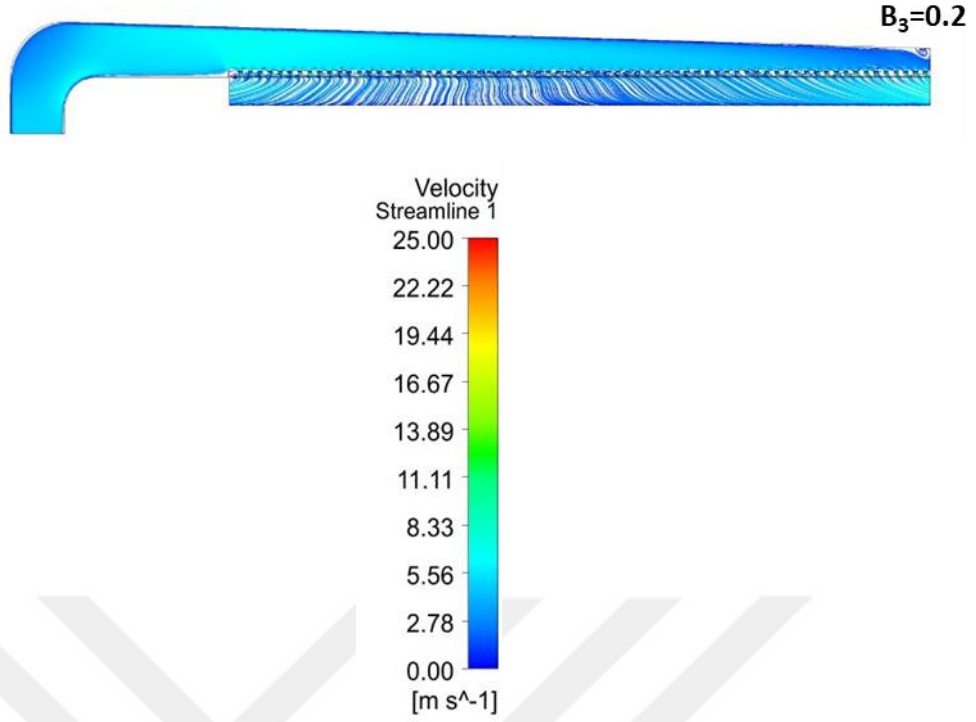
Farklı porozite değerleri ve farklı düze açıları için düze deliklerinden geçen akışın akım çizgileri görüntüleri şu şekildedir;



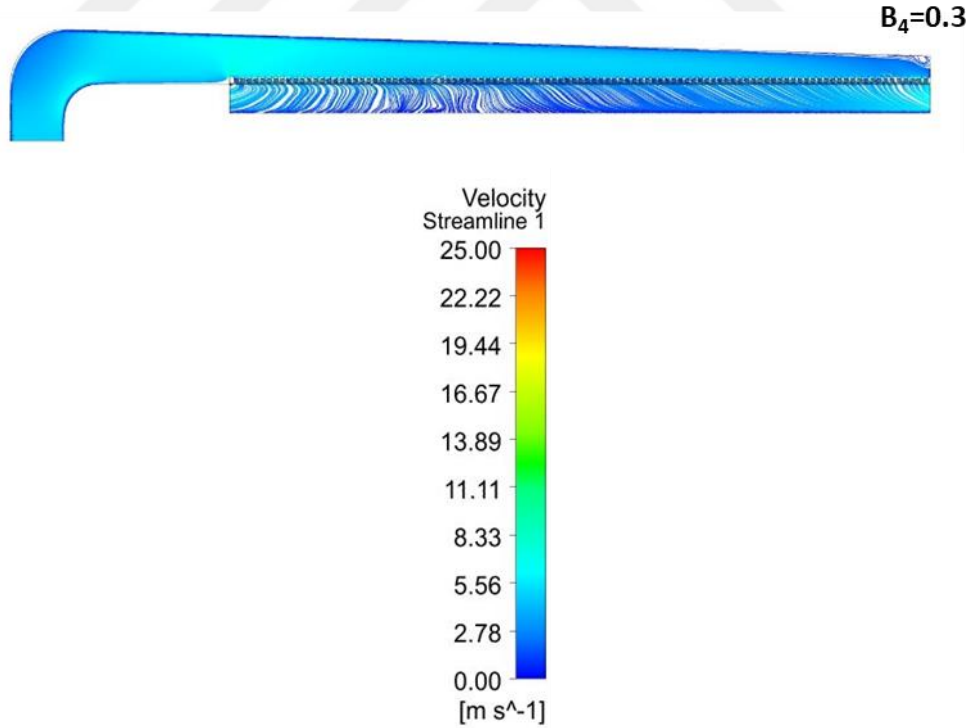
Şekil 5.1 : Porozitenin  $B_1=0.05$  olduğu durumdaki akım çizgileri.



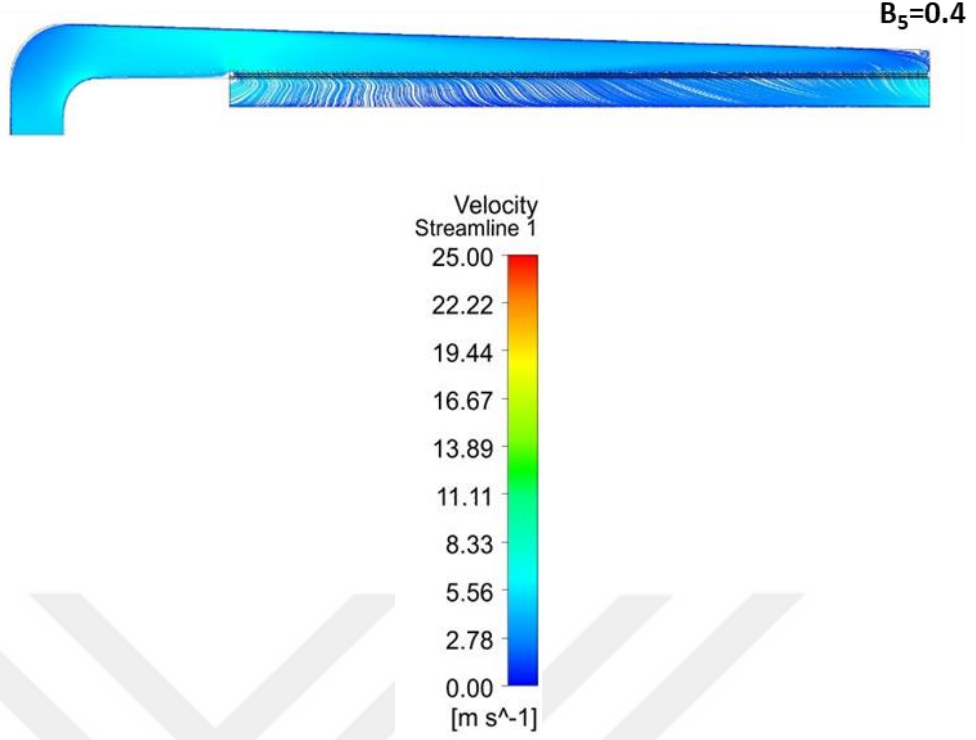
Şekil 5.2 : Porozitenin  $B_2=0.1$  olduğu durumdaki akım çizgileri.



Şekil 5.3 : Porozitenin  $B_3=0.2$  olduğu durumdaki akım çizgileri.

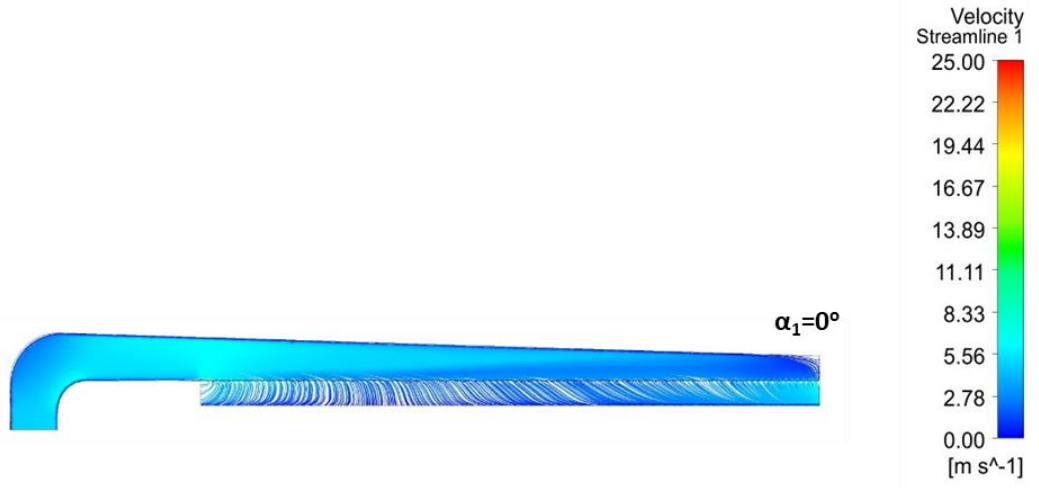


Şekil 5.4 : Porozitenin  $B_4=0.3$  olduğu durumdaki akım çizgileri.

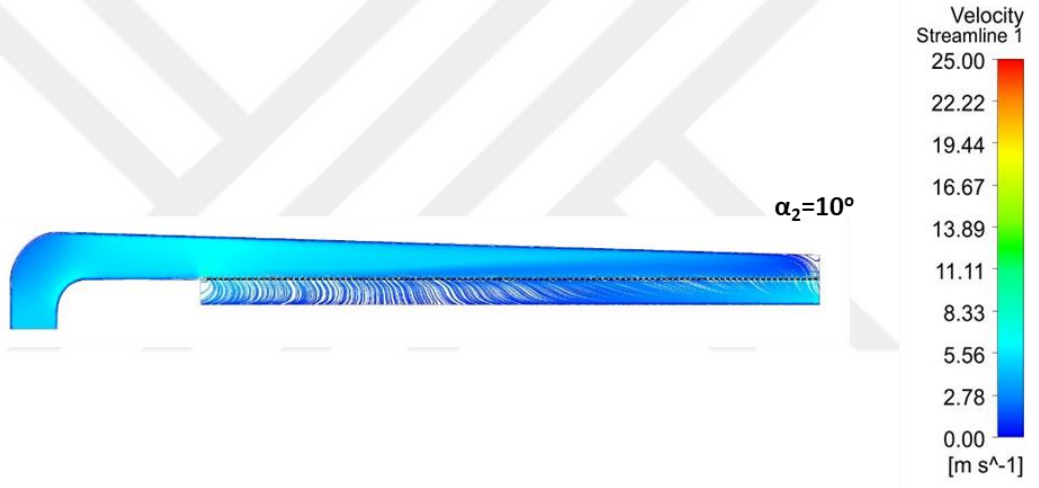


**Şekil 5.5 :** Porozitenin  $B_5=0.4$  olduğu durumdaki akım çizgileri.

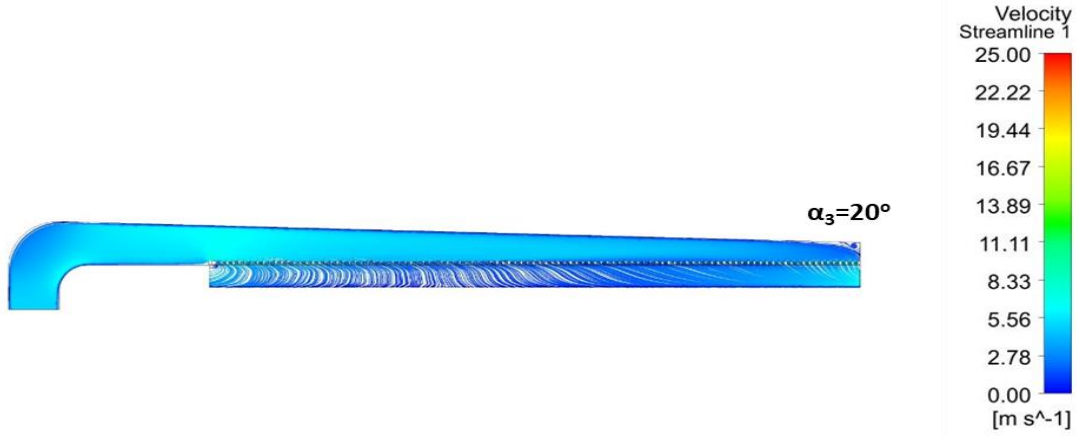
Düze porozite değerinin ( $B$ ) yüksek olduğu durumlar göz önüne alındığında düze deliklerinden geçen hava akışının hızı daha düşük kalmaktadır.  $B_1=0.05$  değeri için düze deliklerinden geçen hava hızı 20 m/s değerlerine kadar arttığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte düze porozite değerlerinin artmasıyla düze deliklerinin alt bölümlerinde bulunan deliklere yakın kısımlarda daha homojen hız dağılımı oluşmaktadır. Porozitenin artışı ile beraber deliklerden geçen hava hızı düşmektedir. Havanın bir kısmı en alt yüzeydeki kurutulacak kumaşa temas etmeden, bir kısmı ise kumaşa daha fazla yatay açıyla temas ederek akış bölgesini terk etmektedir. Bu durumun kurutma performansının düşüşüne yol açabileceği düşünülmektedir. Ayrıca çok düşük porozite değerlerinin yani  $B_1=0.05$  olduğu durumlarda ise kumaşın orta bölgelerinde çok düşük hızlar olduğu gözlemlenmektedir.



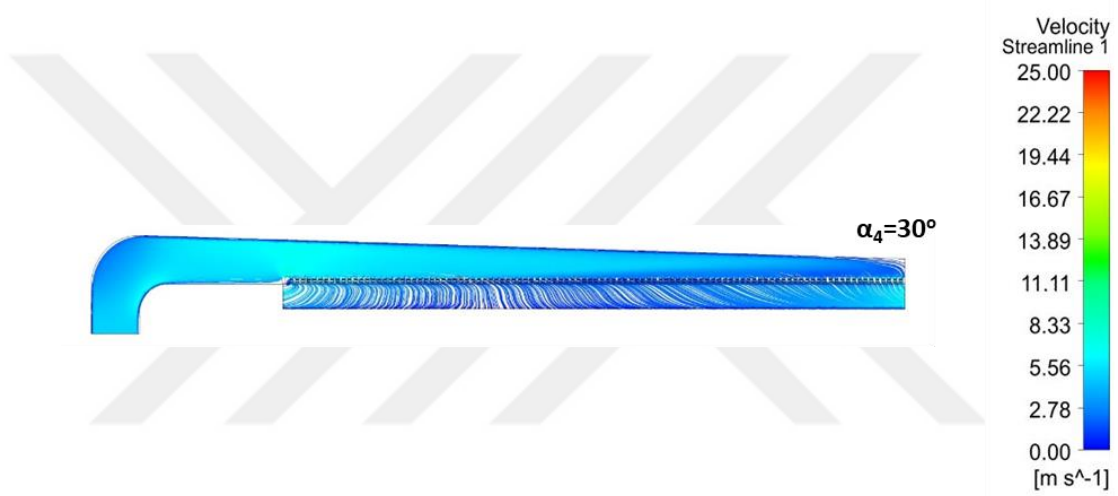
Şekil 5.6 : Düze açısının  $\alpha_1=0^\circ$  olduğu durumdaki akım çizgileri.



Şekil 5.7 : Düze açısının  $\alpha_2=10^\circ$  olduğu durumdaki akım çizgileri.

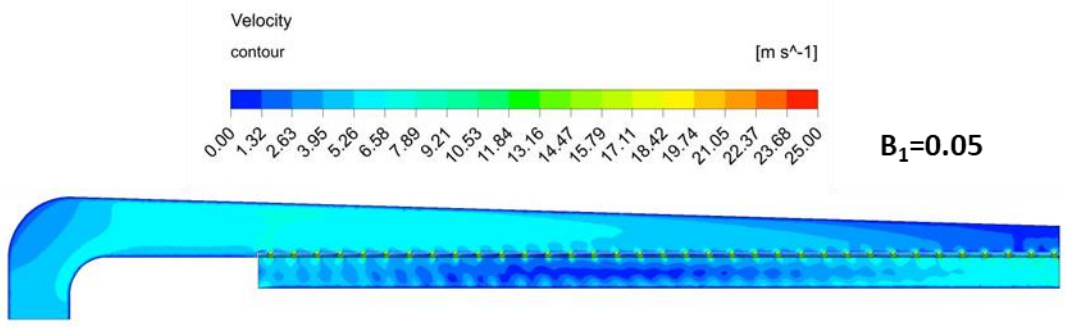


Şekil 5.8 : Düze açısının  $\alpha_3=20^\circ$  olduğu durumdaki akım çizgileri.

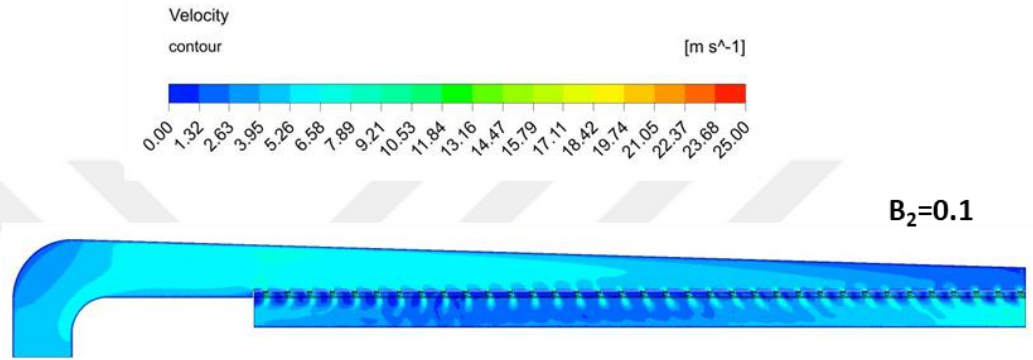


Şekil 5.9 : Düze açısının  $\alpha_4=30^\circ$  olduğu durumdaki akım çizgileri.

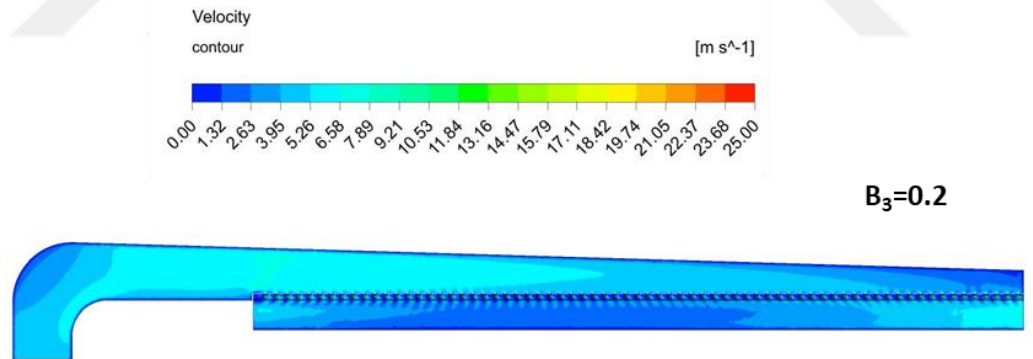
Farklı düze açılarının analizleri gerçekleştirilerek elde edilen akım çizgileri incelendiğinde ise düze açılarının azalmasıyla düze deliklerinden geçen hava akımının kumaşa biraz daha geniş açıyla temas ettiği görülmektedir. Düze açılarının azalması sonucunda yüzeyin orta kısımlarında akış hızının arttığı gözlemlenmektedir. Akış hızı düşüşleri, kurutma işleminin yapıldığı evrelerde verimin düşük olacağına bir işarettir. Hem düze porozite değerlerinin hem de düze açılarının farklılık gösterdiği bu durumlarda ortaya çıkan parametreler hız konturları analizleri incelendiğinde çıkarımların doğruluğunu kanıtlamaktadır. Farklı porozite değerlerinin hava akışının hız konturları incelendiğinde ise elde edilen bulgular şu şekildedir;



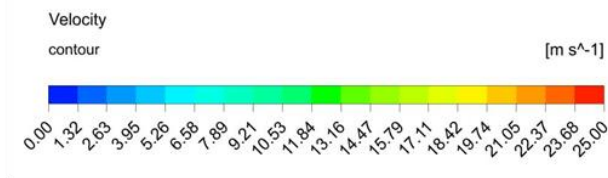
Şekil 5.10 : Porozitenin  $B_1= 0.05$  olduğu durumdaki hız konturları.



Şekil 5.11 : Porozitenin  $B_2= 0.1$  olduğu durumdaki hız konturları.



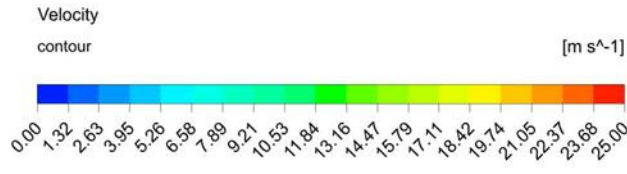
Şekil 5.12 : Porozitenin  $B_3= 0.2$  olduğu durumdaki hız konturları.



$B_4=0.3$



**Şekil 5.13 :** Porozitenin  $B_4= 0.3$  olduğu durumdaki hız konturları.

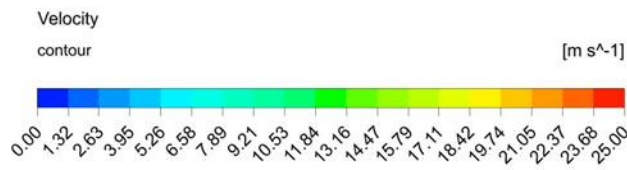


$B_5=0.4$



**Şekil 5.14 :** Porozitenin  $B_5= 0.4$  olduğu durumdaki hız konturları.

Düze açılarının  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  olduğu durumlardaki hız konturları incelendiğinde ise şu bulgular elde edilmiştir.

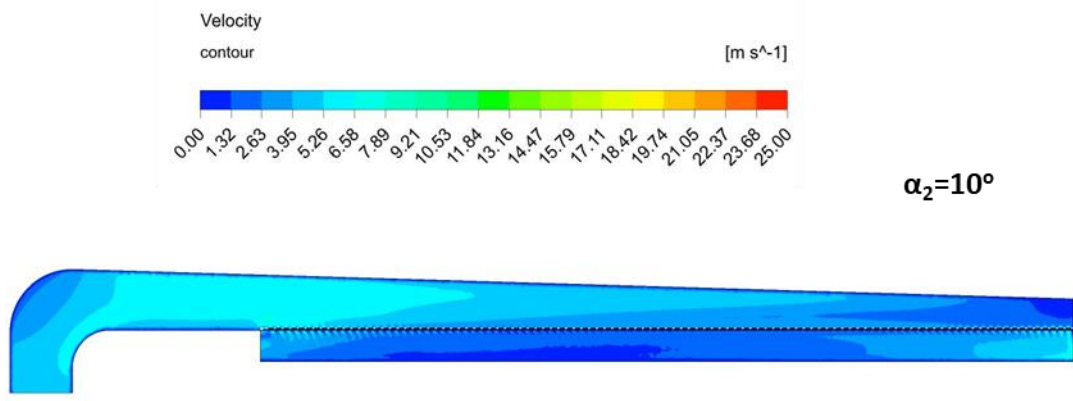


$\alpha_1=0^\circ$

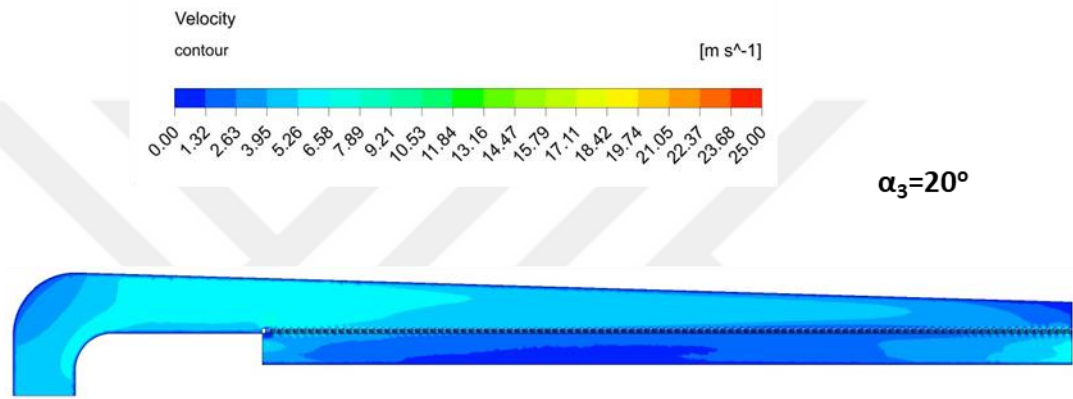


**Şekil 5.15 :** Düze açısının  $\alpha_1=0^\circ$  olduğu durumdaki hız konturları.

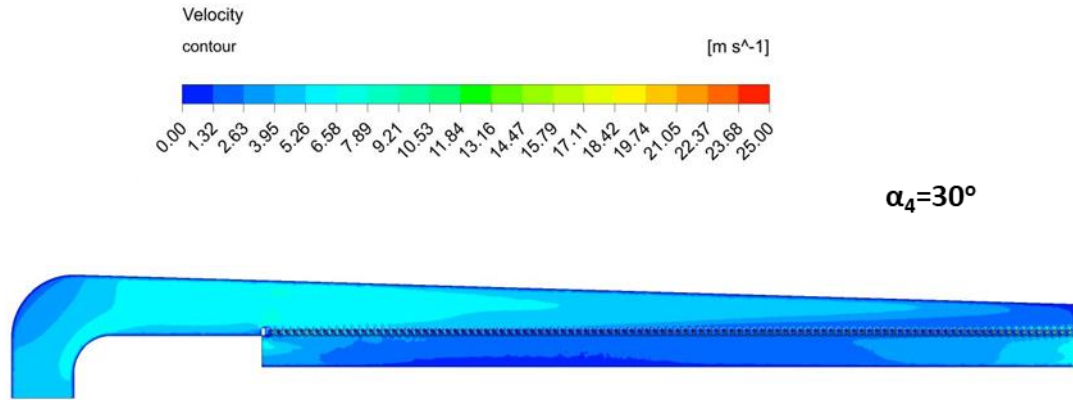




Şekil 5.16 : Düze açısının  $\alpha_2=10^\circ$  olduğu durumdaki hız konturları.



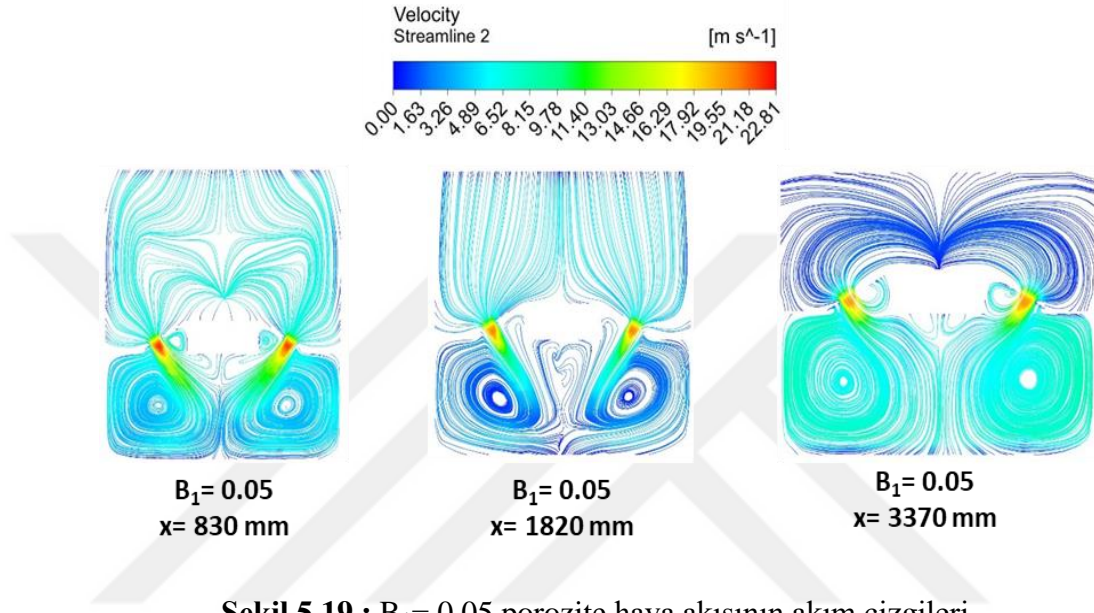
Şekil 5.17 : Düze açısının  $\alpha_3=20^\circ$  olduğu durumdaki hız konturları.



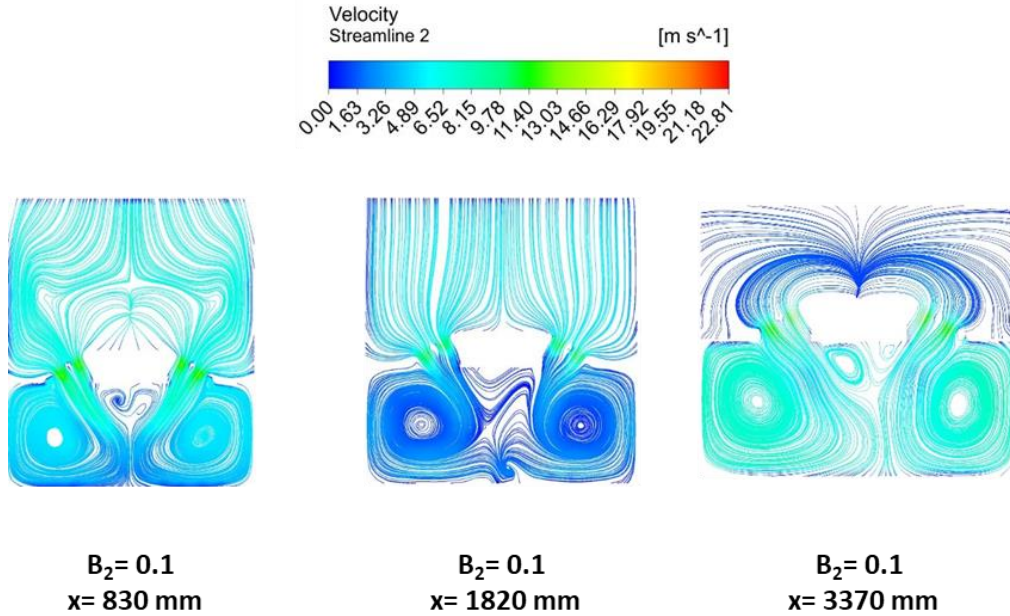
Şekil 5.18 : Düze açısının  $\alpha_4=30^\circ$  olduğu durumdaki hız konturları.

Farklı porozite değerlerinin, farklı düze açıları ve farklı y- mesafeleri bağlamında düze deliklerinden geçen akışın akım çizgileri saptanması için yapılan analizlerde Şekil 4.4'te tanımlanan sınır şartları göz önüne alınarak y-z düzleminde x eksenini doğrultusunda düze deliklerinin başlangıç bölgesi, orta bölgesi ve son bölgesini ifade eden yüzeyler üzerinde akım çizgileri elde edilmiştir. Porozite değerlerinin ve farklı y eksenini mesafeleri için deliklerden geçen akışın akım çizgileri incelendiğinde hava akışı, düzenin son

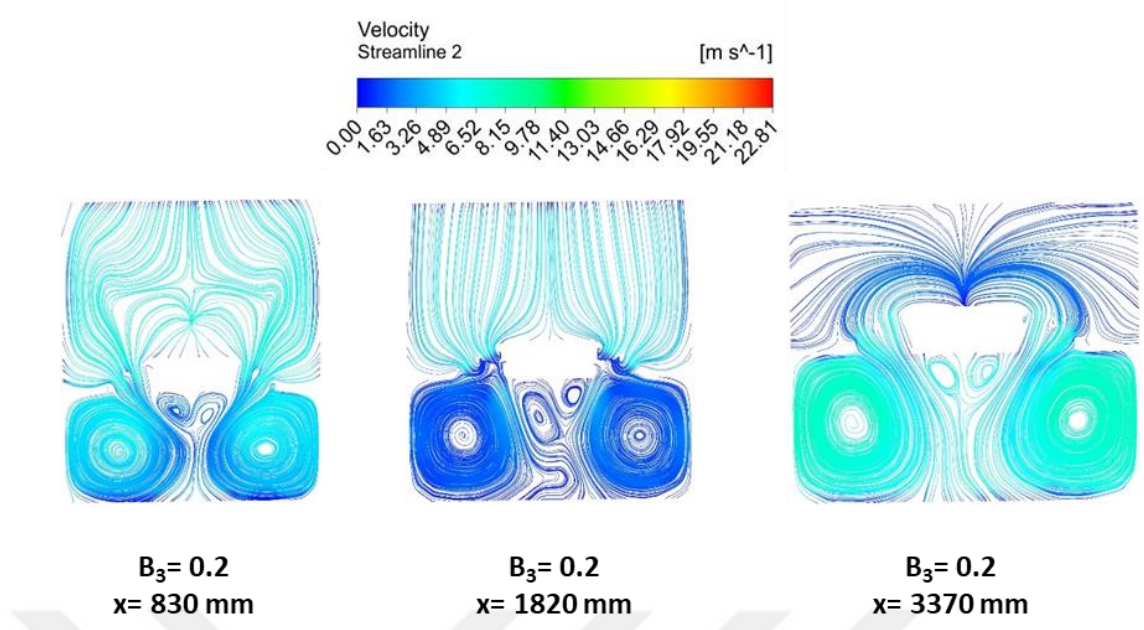
kısımlarına ilerledikçe deliklerden geçen akış debisinin azaldığı tüm parametreler için akım çizgilerinden anlaşılmaktadır. Porozite değerlerinin artmasıyla beraber düze deliklerinden geçen hava hızı azaldığı için kısa mesafede vorteksler olduğu görülmektedir. Bu durum hava akışının kumaşa daha düşük yüzey alanında temas etmesine sebebiyet vermektedir. Düze porozitesindeki artış düze deliklerinden geçen hava akımının iki yönde vorteks oluşturmasına neden olmaktadır.



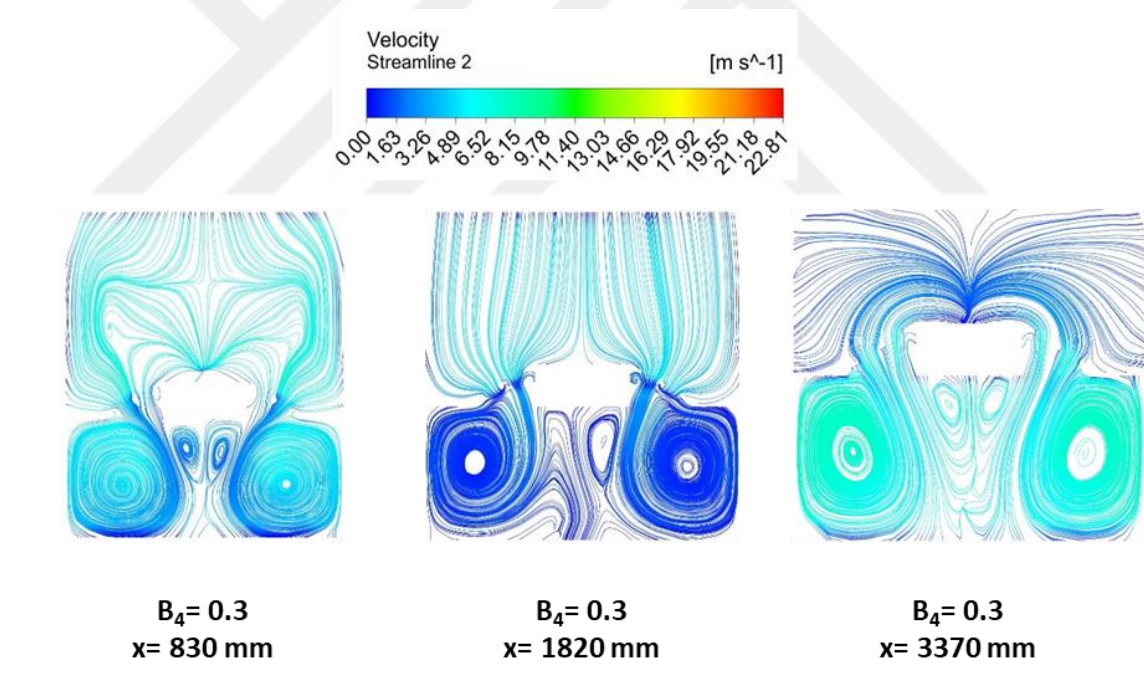
Şekil 5.19 :  $B_1 = 0.05$  porozite hava akışının akım çizgileri.



Şekil 5.20 :  $B_2 = 0.1$  porozite hava akışının akım çizgileri.

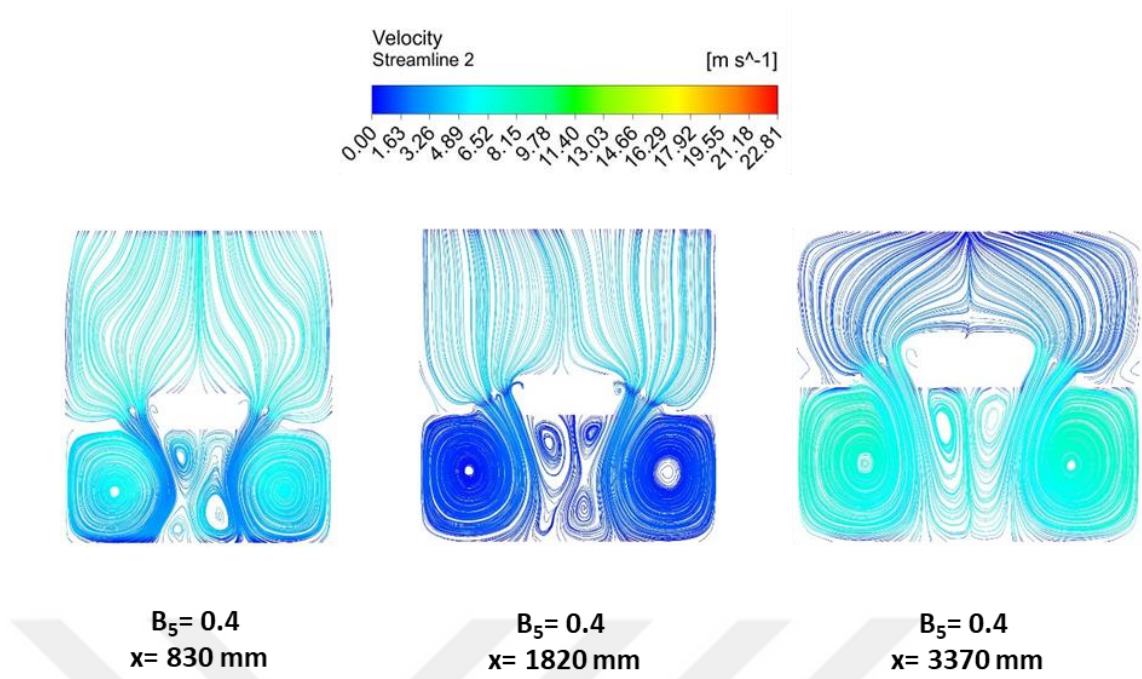


Şekil 5.21 : B<sub>3</sub>= 0.2 porozite hava akışının akım çizgileri.



Şekil 5.22 : B<sub>4</sub>= 0.3 porozite hava akışının akım çizgileri.

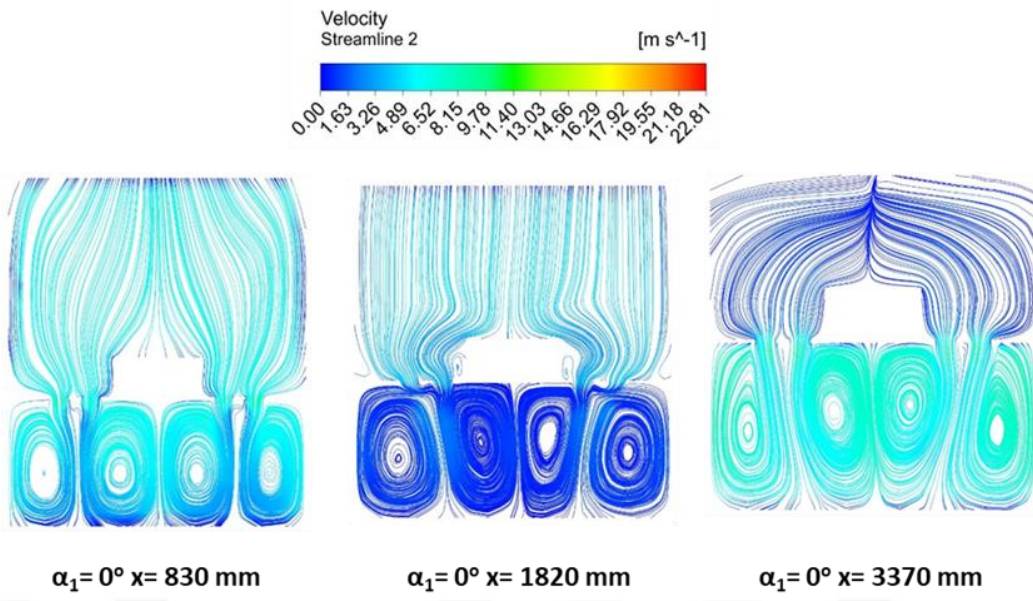




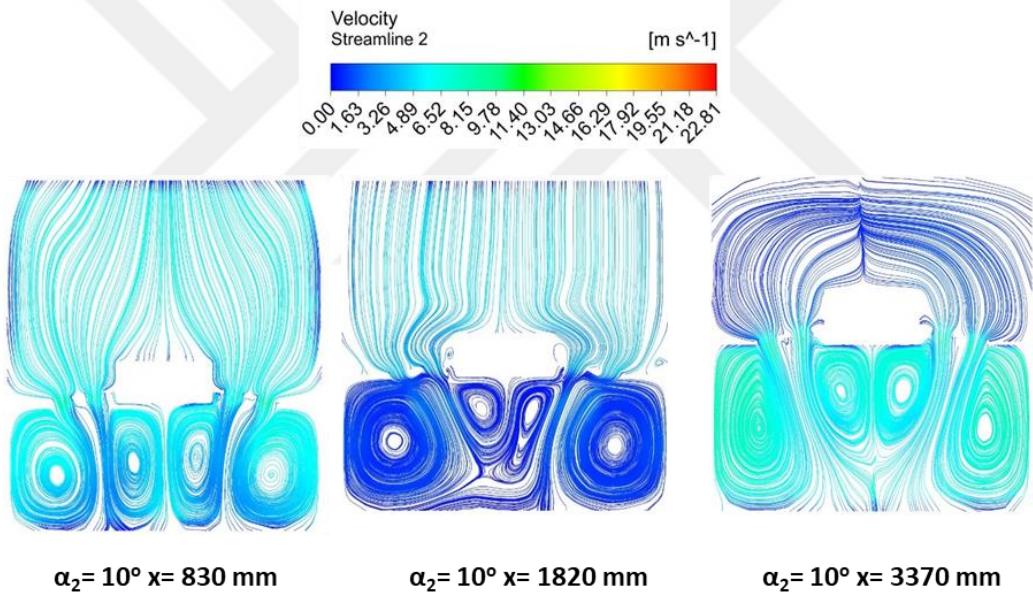
**Şekil 5.23 :** B<sub>5</sub>= 0.4 porozite hava akışının akım çizgileri.

Düze açılarının artışı ile beraber iç kesimlerde kalan deliklerden geçen hava akışın kumaşla temas alanının azaldığı görülmektedir. Bu durumun kurutma performansına negatif etki edeceği düşünülmektedir. Düze açısı arttıkça iç kesimlerde kalan deliklerin kurutma bölgesine yönlendirdiği hava akışı birbirleri ile çarpışmaktadır. Bu durumda akışın sahip olduğu enerjide bir kayıp yaşanabilir. Burada değinilmesi gereken nokta deliklerden geçen hava akışının olabildiğince yüksek hızla, kumaşa olumsuz bir etki bırakmayacak şekilde kumaşa temas etmesidir.

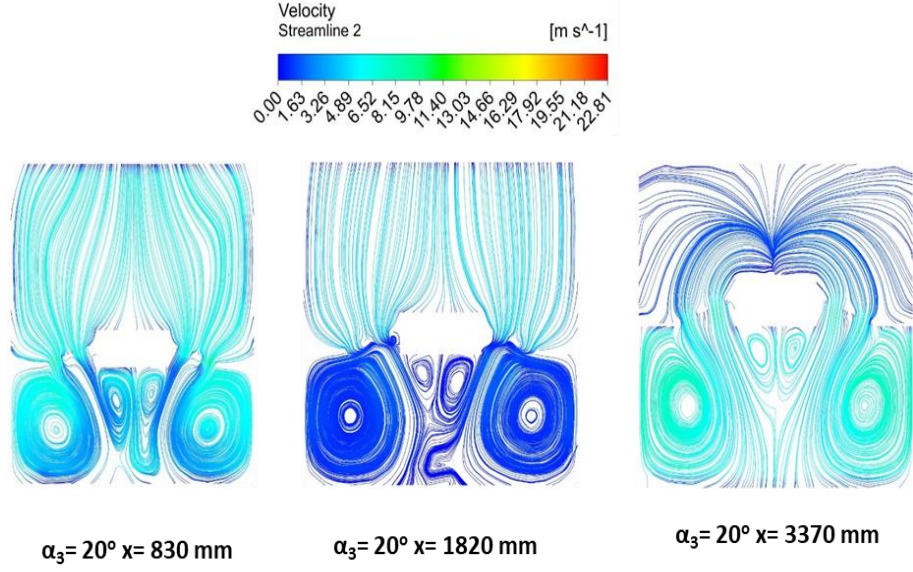
Düze açısının  $\alpha_1 = 0^\circ$ ,  $\alpha_2 = 10^\circ$ ,  $\alpha_3 = 20^\circ$ ,  $\alpha_4 = 30^\circ$  olduğu durumlarda, düze açısının kumaş üzerinde net bir fark oluşturmamakla beraber düze açısının düşük olması yani deliklerin bulunduğu yüzeyin daha fazla yatay açıda bulunmasıyla beraber nispeten daha homojen bir dağılım oluşturduğu gözlemlenmektedir.



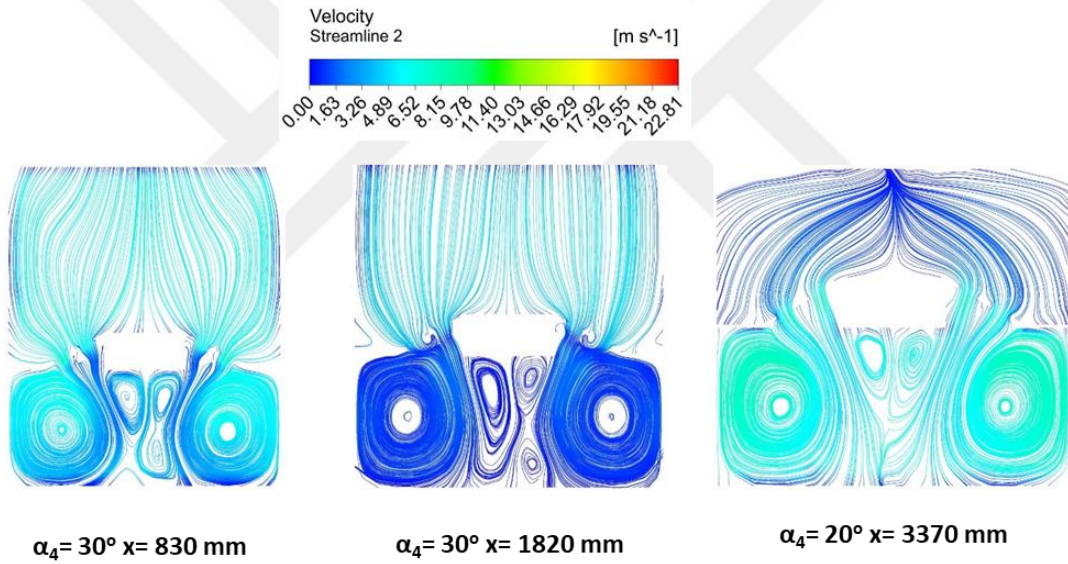
Şekil 5.24 :  $\alpha_1 = 0^\circ$  düze açısı hava akışının akım çizgileri.



Şekil 5.25 :  $\alpha_2 = 10^\circ$  düze açısı hava akışının akım çizgileri.



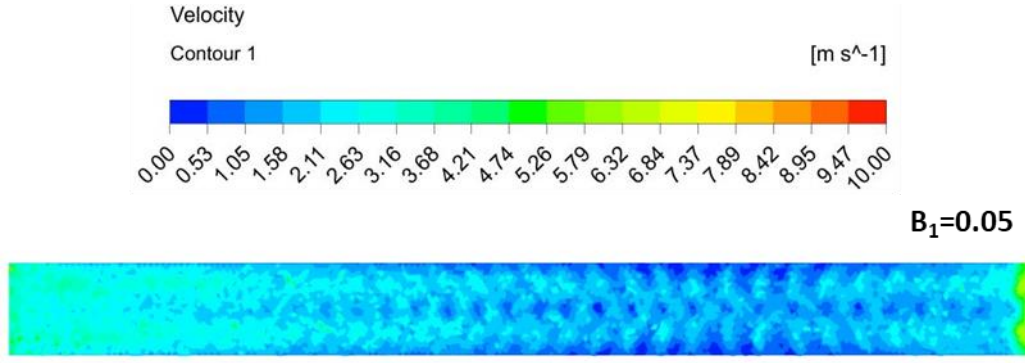
Şekil 5.26 :  $\alpha_3 = 20^\circ$  düze açısı hava akışının akım çizgileri.



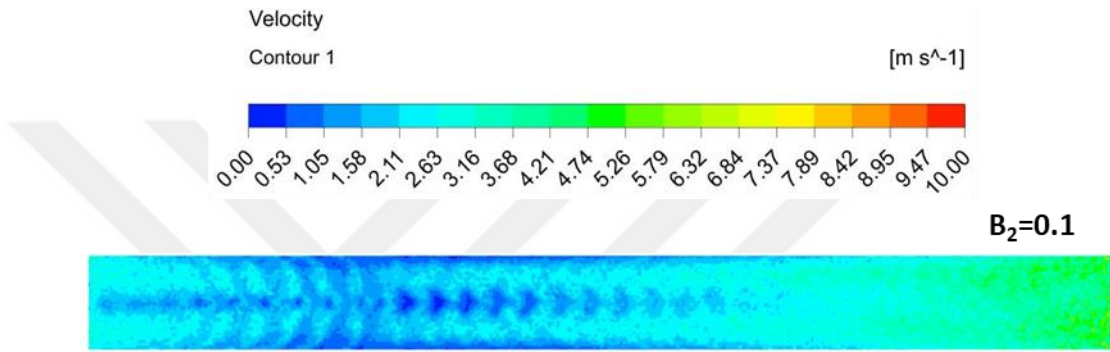
Şekil 5.27 :  $\alpha_4 = 30^\circ$  düze açısı hava akışının akım çizgileri.

Geometrik parametreler için kumaşın üzerindeki hava hızı akımını görmek amacıyla hız konturları belirlenmiştir. Tüm geometrik parametrelerde düze giriş ve çıkış bölgelerine karşılık gelen akış hacimlerinde daha yüksek hava akış hızları oluşmaktadır.  $B_1=0.05$ ,  $B_2=0.1$  ve  $B_5=0.4$  porozite değerlerinde belirgin bir hız dağılımı farkı oluşmaktadır.  $B_3=0.2$  ve  $B_4=0.3$  porozite değerlerinde nispeten daha düzgün bir hız dağılımı olduğu görülmüştür.

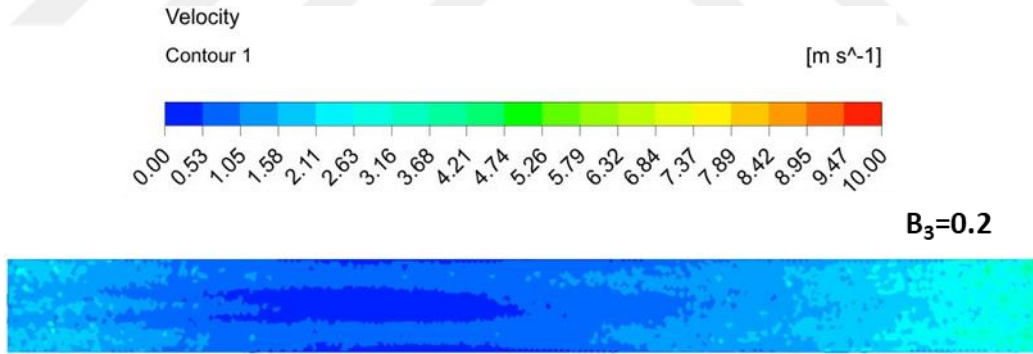




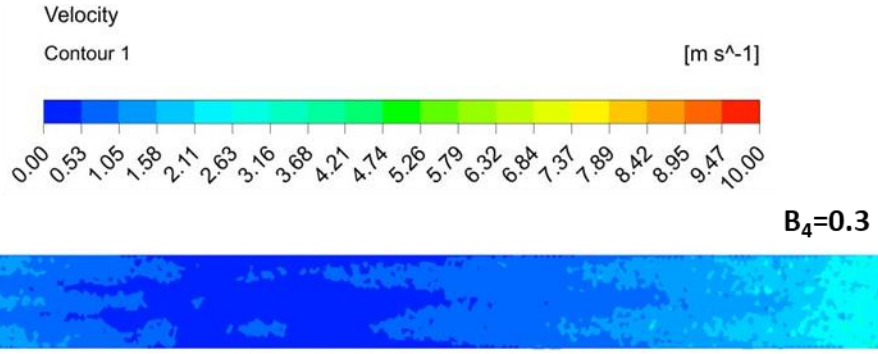
Şekil 5.28 :  $B_1=0.05$  porozite için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.



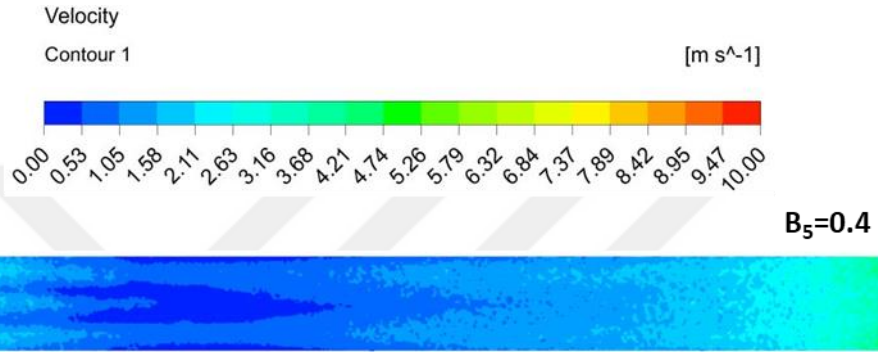
Şekil 5.29 :  $B_2=0.1$  porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.



Şekil 5.30 :  $B_3=0.2$  porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.

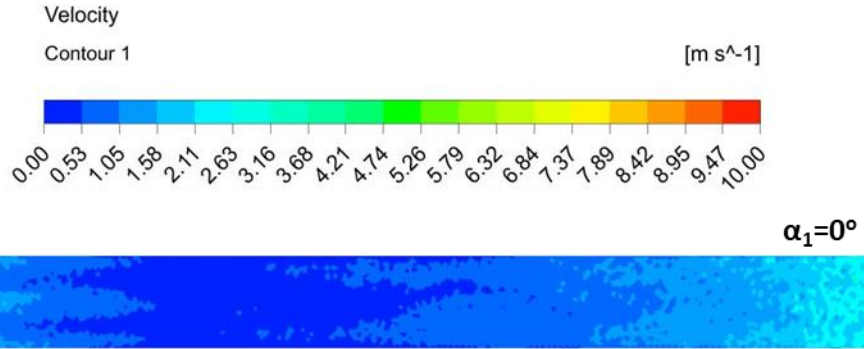


Şekil 5.31 :  $B_4=0.3$  porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.



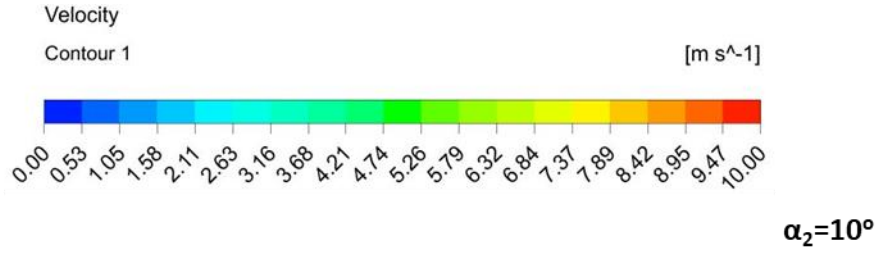
Şekil 5.32 :  $B_5=0.4$  porozite değeri için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.

Düze açılarının farklılıkları sonucu kumaşa çarpan hava akışının hız konturları incelemesi ise şu şekildedir:

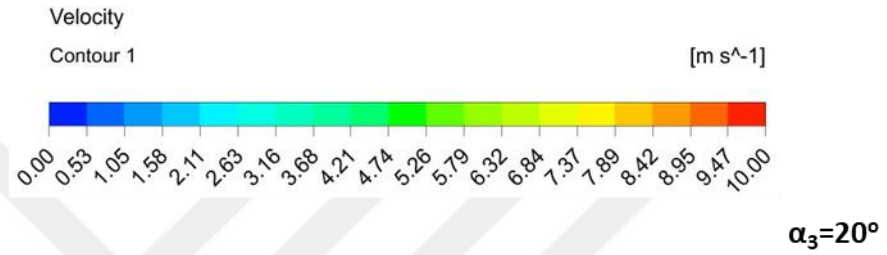


Şekil 5.33 :  $\alpha_1=0^\circ$  düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.

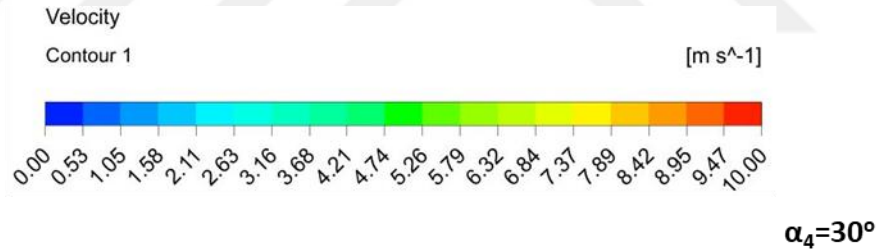




Şekil 5.34 :  $\alpha_2= 10^\circ$  düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.



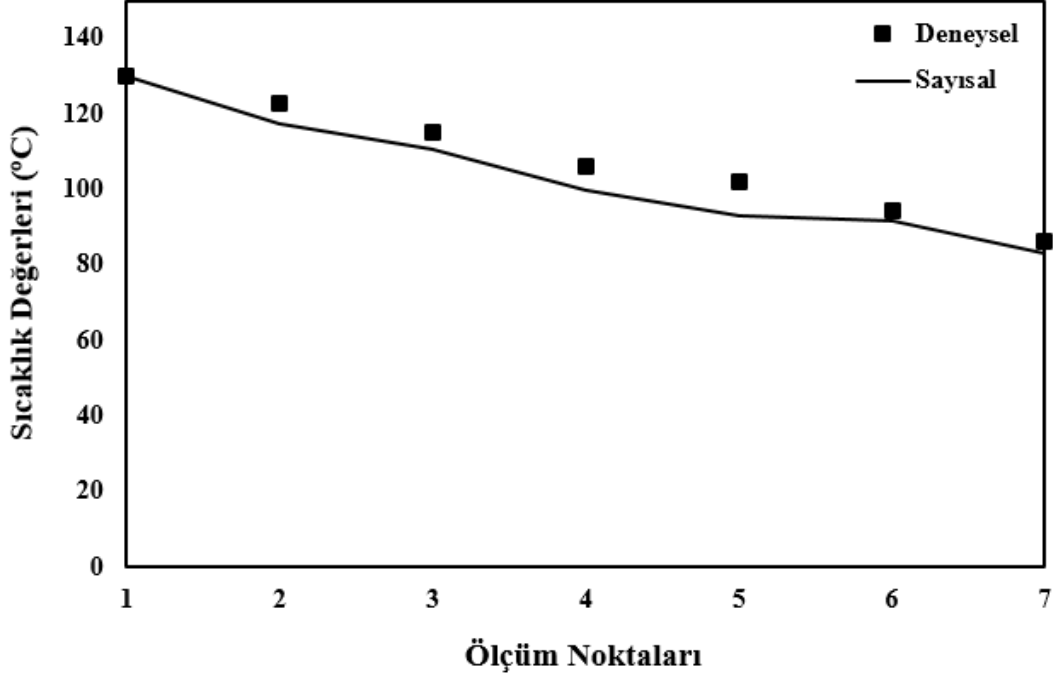
Şekil 5.35 :  $\alpha_3= 20^\circ$  düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.



Şekil 5.36 :  $\alpha_4= 30^\circ$  düze açısı için kumaşa çarpan hava akışının hız konturları.

## 5.2 Kumaş Soğutma Prosesi Analizleri

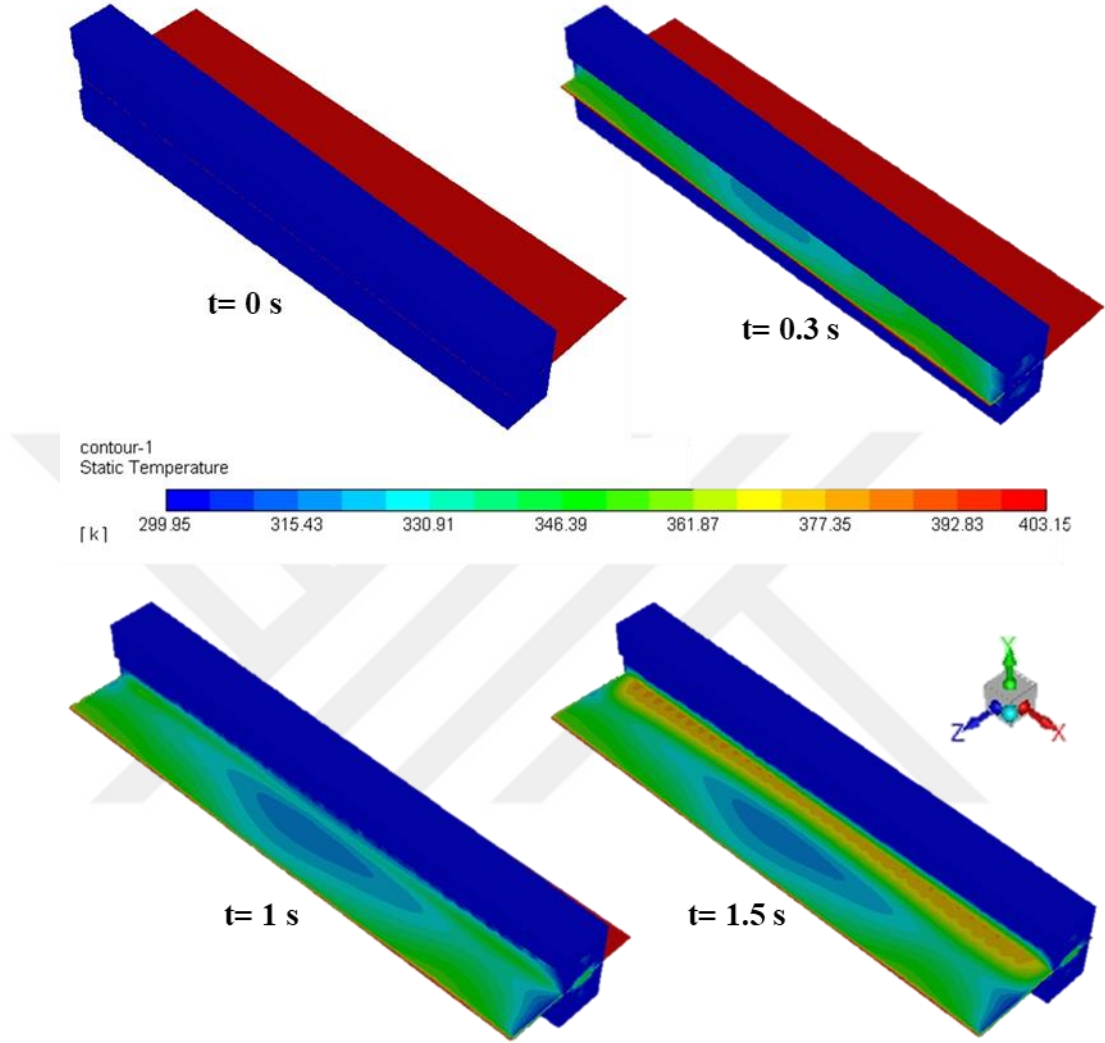
Kumaş soğutma prosesi analizlerinde öncelikle deneysel ölçümler kullanılarak sayısal modeller geçerli kılınmıştır. Şekil 5.37’de sayısal modelin doğrulama çalışması verilmiştir.



Şekil 5.37 : Kumaş soğutma prosesi için oluşturulan modelin doğrulama çalışması.

Şekil 5.37’de soğutma prosesinin gerçekleştiği bölümde her bir düze diliminin girişi ve çıkışında ölçülen sıcaklık değerleri ile oluşturulan sayısal modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında sayısal modelin her bir noktada (1 numaralı nokta hariç) daha düşük sıcaklık değerleri verdiği görülmektedir. 1 numaralı nokta kumaşın soğutma prosesine başladığı noktayı ifade etmektedir. Bu noktada deneysel olarak yapılan sıcaklık ölçümü sayısal modelde de birinci düze diliminin modellemesinde aynı şekilde kumaşın başlangıç sıcaklık şartı olarak tanımlanmıştır. 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı düze dilimlerinin her birinin girişinde yapılan sıcaklık ölçümü bu düzeler kumaşın girişinde sahip olduğu sıcaklık olarak modelde tanımlanmıştır. Sayısal modelden elde edilen sıcaklık değerlerinin deneysel verilere göre daha düşük çıkmasının sebebi sayısal modelde ortamın sıcaklığı 25 °C olarak varsayılan bir değerde tutulmuştur. Fakat deneysel ölçümlerde fabrika ortamının biraz daha yüksek sıcaklıkta olduğu düşünülmektedir. Bu sıcaklık farkı sebebiyle deneysel olarak soğumanın biraz daha düşük olduğu fakat sayısal olarak soğumanın daha fazla gerçekleştiği söylenebilir.

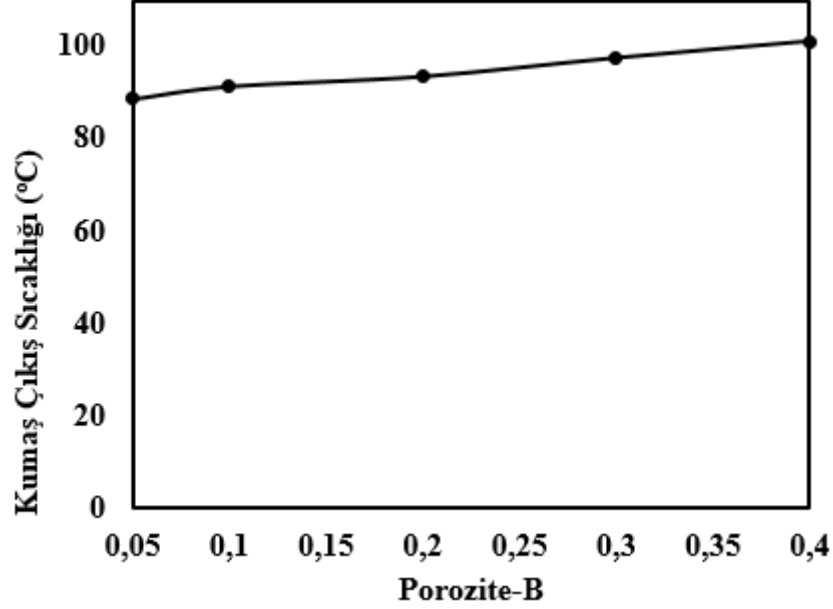
Şekil 5.38 kumaş soğutma prosesinde zamana bağlı olarak gerçekleştirilen analizler için farklı zamanlarda kumaşın hareketini temsil etmektedir.



Şekil 5.38 : Kumaş soğutma prosesinde farklı zamanlarda kumaşın hareketi

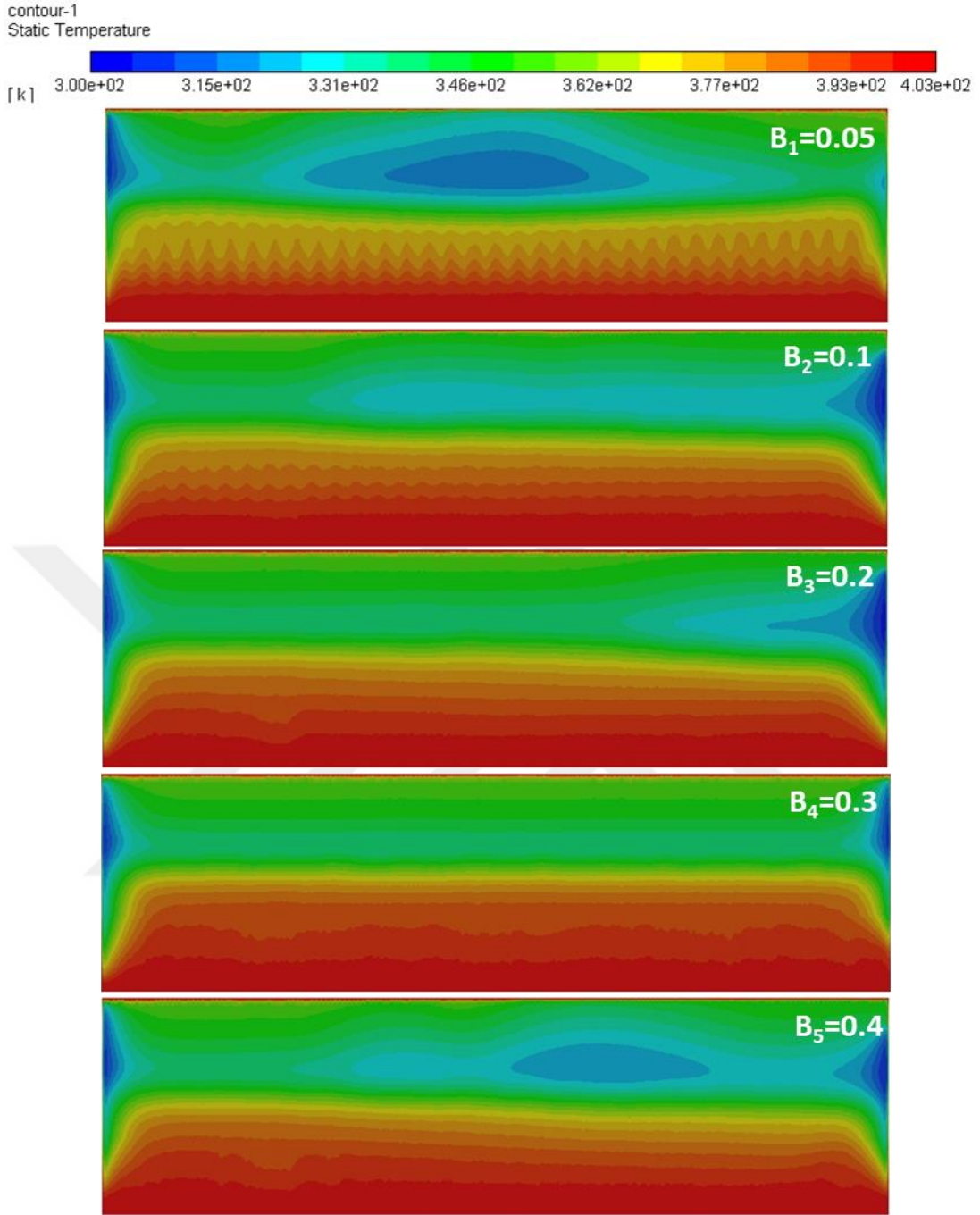
### 5.2.1 Porozitenin (B) kumaş soğutma prosesine etkisi

Kumaş soğutma prosesinde beş farklı porozite (B) değeri (0.05, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) ile sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Her bir porozite değeri için düze dilimi çıkışında elde edilen sıcaklık değerlerini veren grafik Şekil 5.39'da verilmiştir.



Şekil 5.39 : Porozitenin kumaş soğutma süreci üzerindeki etkisi

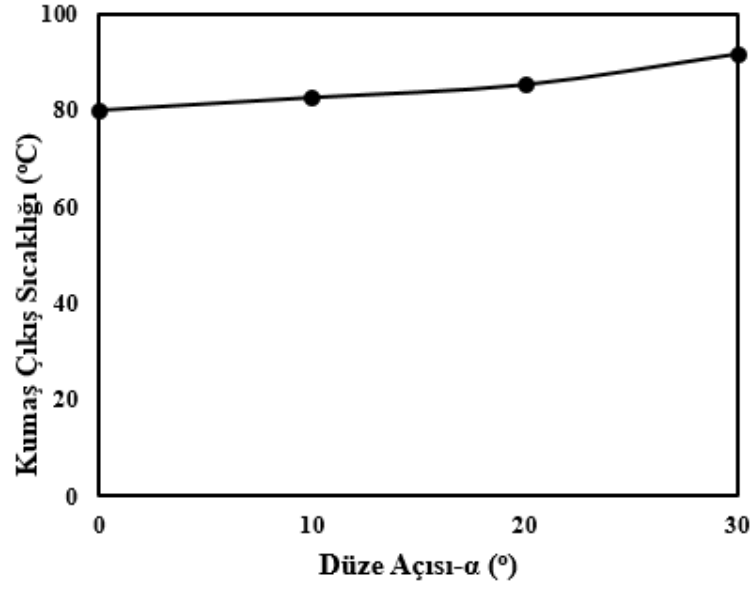
Şekil 5.40'ta ise farklı porozite değerleri için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları sunulmuştur. Şekil 5.39'da verilen grafik incelendiğinde porozite değeri arttıkça kumaşın çıkış yüzey sıcaklığı artmaktadır. Fakat bu durumun 0.5 m/s'lik hava hızında geçerli olduğu düşünülmektedir. Düze dilimleri üzerinde porozite değerini arttırmak için delik sayıları artırılmıştır. Delik sayıları arttıkça deliklerden geçen akışın hızı düşmektedir. 0.5 m/s'lik düşük bir hava besleme hızında akışın düze deliklerinden geçtikten sonra önemli bir kısmının kumaşla temas etmeden modelin çıkış kesitinden akış bölgesini terk ettiği yapılan analizlerden elde edilmiştir. Bu sebeple düşük bir besleme hızında düzelerin porozite değerlerinin artışı soğutma etkisini olumsuz etkilemiştir. Fakat Şekil 5.40 incelendiğinde ise her ne kadar düşük hava besleme hızlarında yeterli soğutma etkisi göstermese de porozite değerlerinin 0.2-0.3 düzeylerinde tutulmasının daha homojen bir sıcaklık dağılımı sergilediği görülmüştür. Bu durumun kumaşın kalitesinde bölgesel olarak farklılık oluşmamasını sağladığı söylenebilir.



**Şekil 5.40** : Farklı porozite değerleri için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları

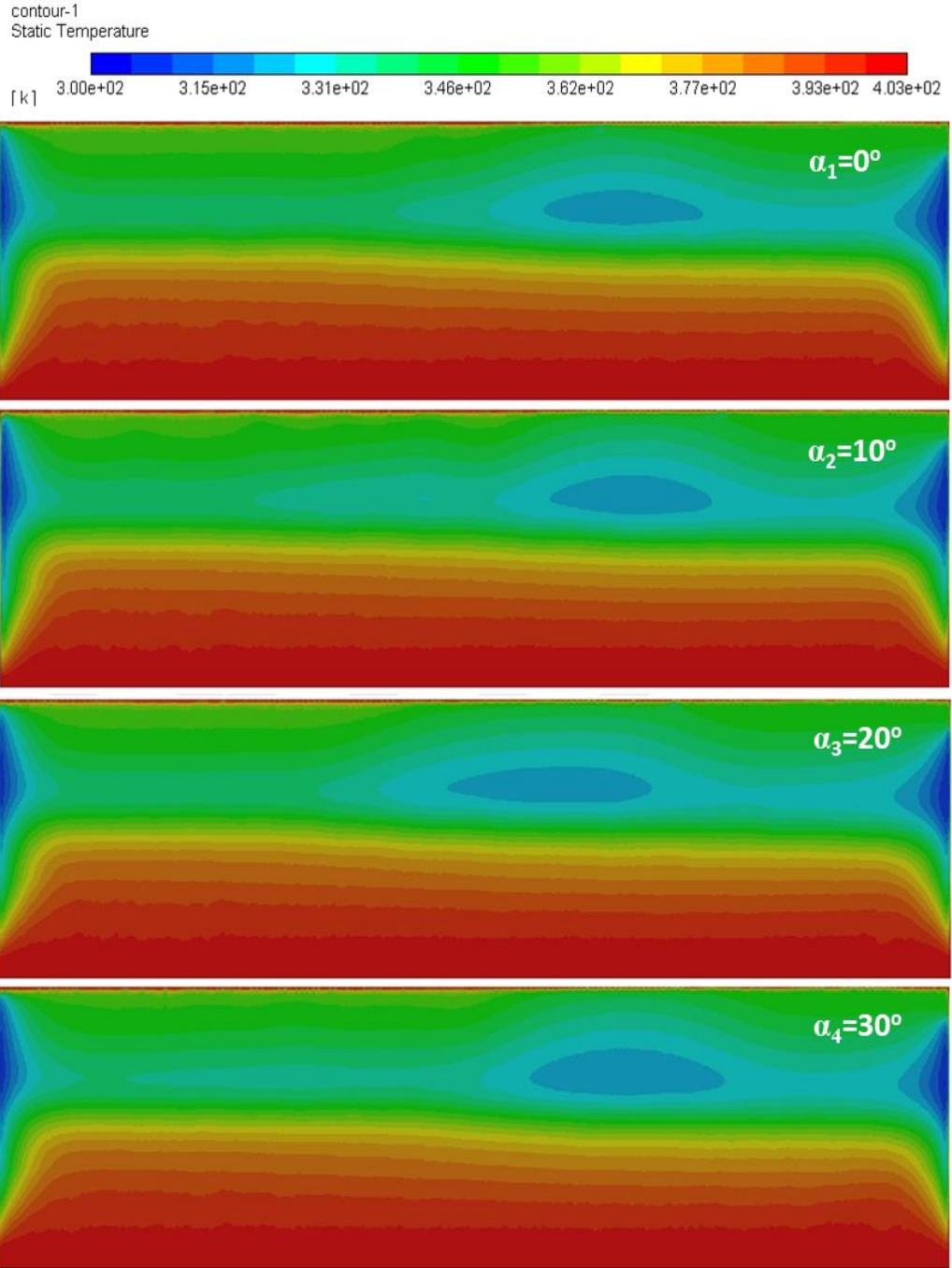
### 5.2.2 Düzey açısının ( $\alpha$ ) kumaş soğutma prosesine etkisi

Dört farklı düzey açısı ( $\alpha_1 = 0^\circ$ ,  $\alpha_2 = 10^\circ$ ,  $\alpha_3 = 20^\circ$ ,  $\alpha_4 = 30^\circ$ ) için yapılan kumaş soğutma prosesi analizleri neticesinde elde edilen kumaş çıkış sıcaklığı değerleri Şekil 5.41’de verilmiştir. Farklı düzey açıları için elde edilen kumaş yüzey sıcaklık dağılımlarını veren konturlar Şekil 5.42’de verilmiştir.



**Şekil 5.41** : Düze açısının kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi

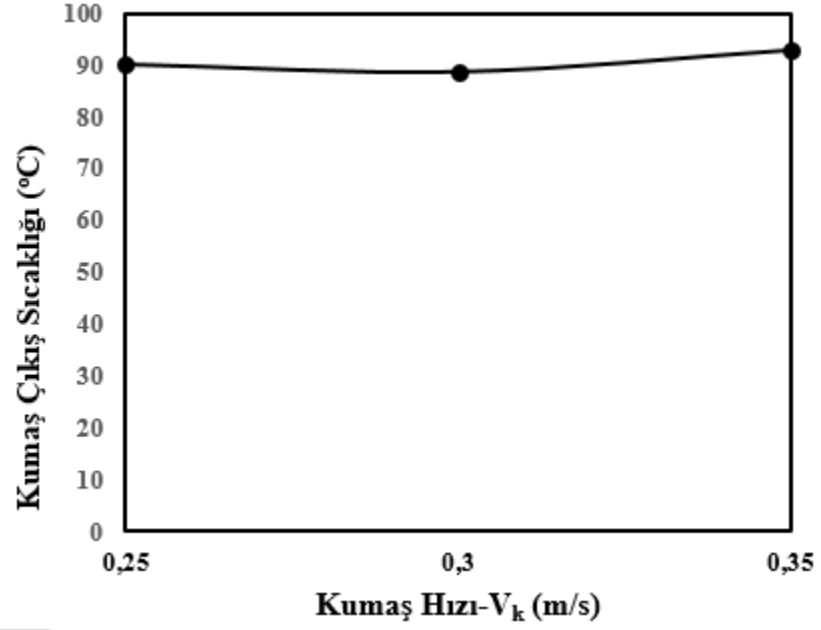
Şekil 5.41 incelendiğinde, düze açısı arttıkça hava akışının doğrudan kumaşla temas etmemesi ve bir kısmının düze çıkışına yönelmesi sebebiyle soğutma etkisini azalttığı söylenebilir. Şekil 5.42’de kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımlarını veren grafik incelendiğinde ise; düze açısı arttıkça hava akışının doğrudan kumaşla temas etmemesi ve bir kısmının düze çıkışına yönelmesi sebebiyle soğutma etkisini azalttığı söylenebilir.



**Şekil 5.42 :** Farklı düze açı değerleri için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları

### 5.2.3 Kumaş hızının ( $V_k$ ) kumaş soğutma prosesine etkisi

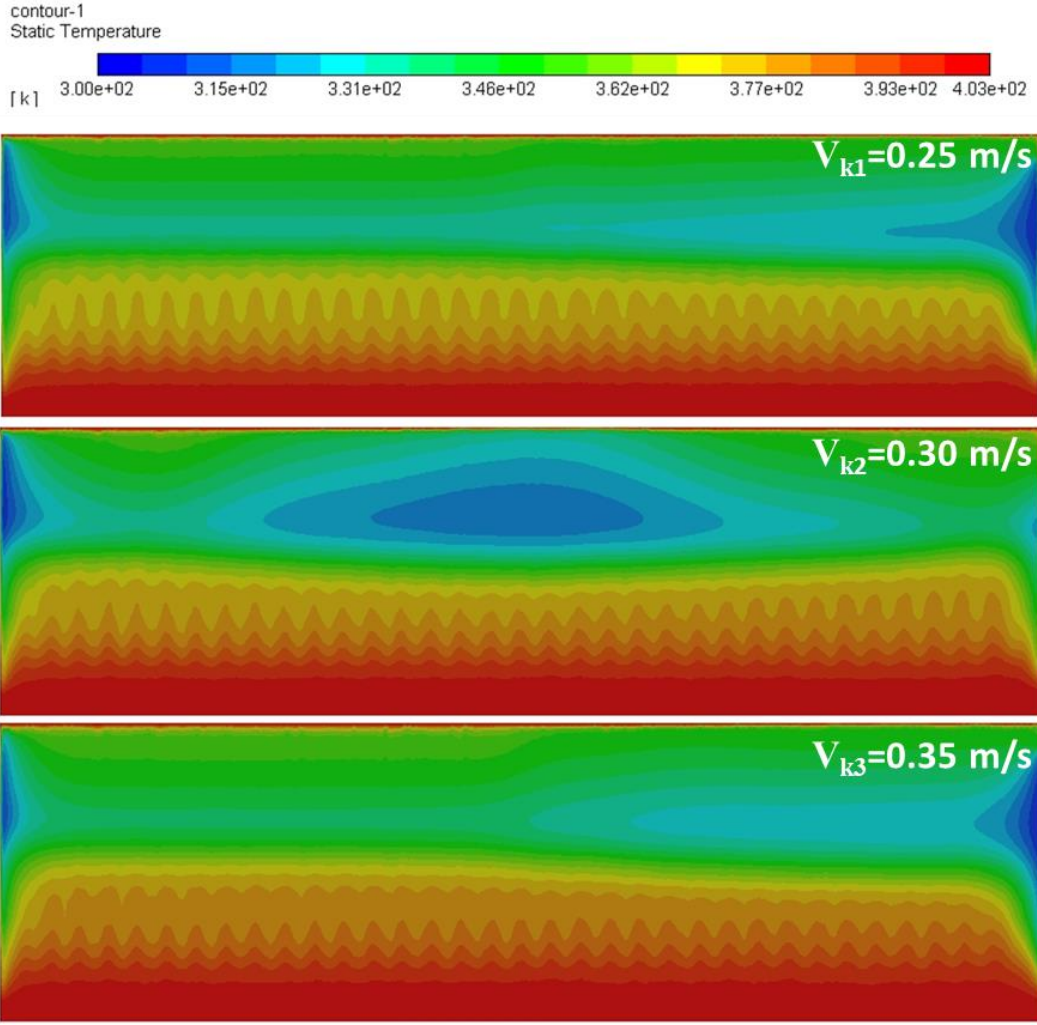
Kumaş hızının soğutma prosesine olan etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen analizlerde üç farklı  $V_{k1}=0.25$  m/s,  $V_{k2}=0.30$  m/s ve  $V_{k3}=0.35$  m/s kumaş hızı belirlenmiştir. Farklı kumaş hızlarının kumaş çıkış sıcaklığına etkisinin gösterildiği grafik Şekil 5.43'te verilmiştir.



**Şekil 5.43 :** Farklı kumaş hızı değerlerinin kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi

Şekil 5.43'te kumaş hızının değişiminin soğutma prosesi üzerinde belirgin bir değişikliğe sebep olmadığı görülmekle beraber Şekil 5.44'te verilen farklı kumaş hızları için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılım konturları incelendiğinde kumaş çıkış yüzeyi bölgelerinde  $V_{k1}=0.25$  m/s değeri için daha homojen bir sıcaklık dağılımı olduğu görülmektedir. Bu durum kumaş kalitesinin noktadan noktaya bozulmaması için bir avantaj oluşturabilmektedir.

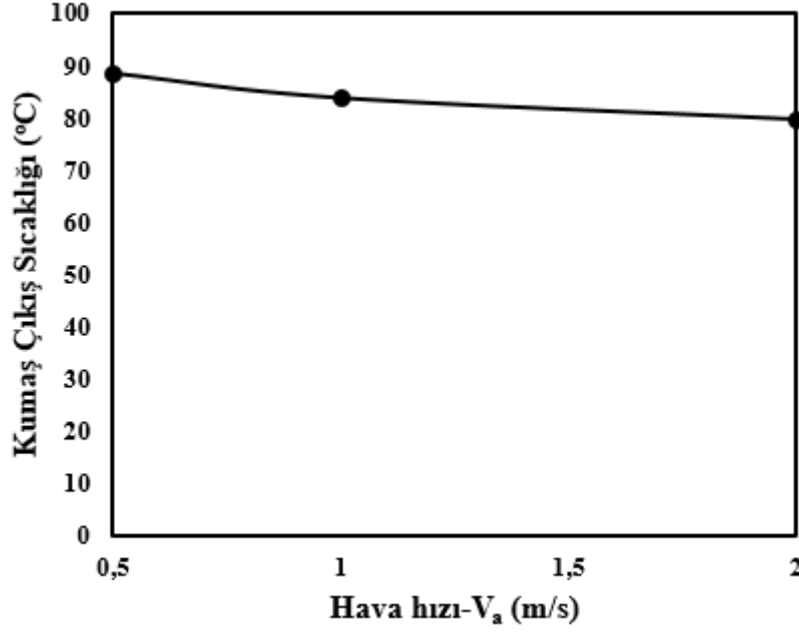




**Şekil 5.44 :** Farklı kumaş hızları için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları

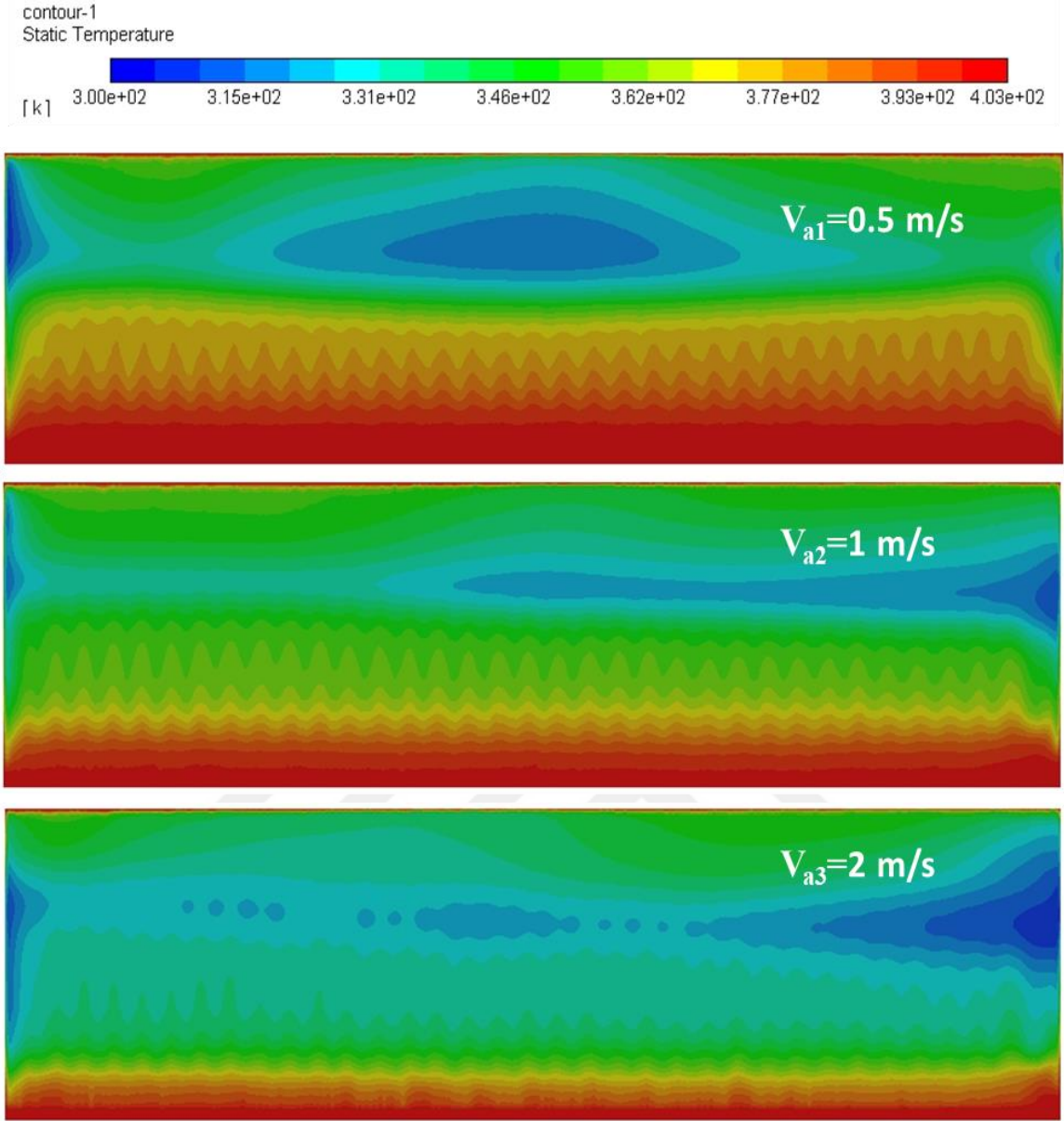
#### 5.2.4 Hava hızının ( $V_a$ ) kumaş soğutma prosesine etkisi

Halihazırda bir tekstil firmasında kullanılan ram makinesinin kumaş soğutma ünitesinde yapılan hava hızı ölçümleri neticesinde hava besleme hızının kanal girişinde 0.5 m/s olduğu tespit edilmiştir. Farklı düze porozite değerleri ve farklı düze açısı değerleri için yapılan simülasyonlarda hava besleme hızının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple hava besleme hızının arttırılarak 1 m/s ve 2 m/s olması durumları için iki ayrı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Hava hızı artışının kumaş soğutma prosesine olan etkilerini gösteren grafik Şekil 5.45'te verilmiştir.



**Şekil 5.45 :** Farklı soğutma havası hız değerlerinin kumaş soğutma prosesi üzerindeki etkisi

Şekil 5.46'da ise farklı soğutma havası besleme sıcaklıkları için elde edilen kumaş yüzey sıcaklığı dağılımları konturlar halinde verilmiştir. Şekil 5.45 ve Şekil 5.46 birlikte mevcut düze yapısında ( $B=0.05$  ve  $\alpha=30^\circ$ ) incelendiğinde soğutma havası hızının artışının hem soğutma etkisini arttırdığı hem de kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımının daha üniform olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.46 : Farklı soğutma havası hızları için kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımları

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılan ram makinelerindeki hava akışının incelendiği ilk aşamada ram makinesinin kabini içerisindeki düzelerin deliklerinin bulunduğu yüzeyde delikli alanın toplam yüzey alanına oranını ifade eden porozite değerlerinin ve düze açısının hava akışını nasıl etkilediği ortaya konmuştur. İkinci aşamada ise kabin dışında bulunan ve soğutma prosesinin gerçekleştiği bölgede kabin içerisindeki düzelerle aynı geometriye sahip düze dilimlerinin porozite, düze açısı gibi geometrik parametreleriyle birlikte kumaş hızı ve soğutma havası hızlarının kumaş soğutma prosesine olan etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular sırasıyla şu şekildedir;

- Düze deliklerinden geçen hava akışını besleyen kanalın havayı sadece bir taraftan yatay doğrultuda beslemesi, kumaş yüzeyine düşük bir etki göstermesine sebep olmaktadır. Özellikle x eksenini doğrultusunda hava akışının asimetric bir hız dağılımına sebep olduğu ortaya çıkmıştır.
- Ayrıca ram makinesinin hem kabin içinde bulunan düzelerin hem de kabin dışında soğutma prosesinde kullanılan düzelerin porozite değerlerinin (B) %20-30 seviyelerinde tutulmasının düzelerin iç kanalındaki hava akış dağılımını ve aynı zamanda kumaş soğutma prosesinde kumaş yüzeyi sıcaklık dağılımını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.
- Düze deliklerinin bulunduğu yüzeyin yatay konumlandırılması durumunda yani düze açısı ( $\alpha$ ) değerlerin  $0^\circ$ 'de tutulmasının düze deliklerinden kumaş bölgesine iletilen hava akışının kumaş ile daha iyi temas ettiği ve soğutma kapasitesini arttırdığı düşünülmektedir. Düze açısı arttıkça yan yana hizalı iki ayrı delikten çıkan hava jetinin doğrudan kumaşla temas etmek yerine birbirleri ile çarpıştığı ve bu durumun hem kabin içindeki kurutma kapasitesini hem de kabin dışındaki soğutma kapasitesini azaltacağı görülmüştür.
- Soğutma prosesi analizlerinde kumaş hızının 0.25 m/s, 0.30 m/s ve 0.35 m/s olması durumlarının soğutma kapasitesine belirgin bir etkisi olmadığı fakat 0.25 m/s'lik kumaş hızının, kumaş çıkış sıcaklık dağılımını iyileştirdiği görülmüştür.

- Yapılan deneysel ölçümler ve kumaş soğutma analizleri, soğutma prosesinde elde edilen hava hızının oldukça düşük olduğunu ortaya koymuştur. Kumaşı soğutmak için beslenen havanın hızı arttıkça kumaş soğutma kapasitesi artmış ve aynı zamanda kumaş çıkış yüzeyinde daha üniform bir hız dağılımı oluşmuştur.



## KAYNAKÇA

- Akan, A.E. ve Özkan, D. B.** (2019). Ram makinesinde kurutma prosesinin enerji verimliliği analizi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10, 157-167, 2019.
- Akan, A.E. and Ünal, F.** (2020) Thin-Layer Drying Modeling in the Hot Oil-Heated Stenter, International Journal of Thermophysics, 41, 2020.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M.** (2015). Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları. Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, s. 879.
- Dr. Nilay Sezer Uzol.** Erişim: 09 Şubat 2022, <https://docs.truba.gov.tr/education/cfd/about/index.html>
- Ertekin, G., Oğlakçoğlu, N., ve Marmaralı, A.** (2018). Pamuk/Elastan Örme Kumaşların Mukavemet ve Isıl Konfor Özellikleri <https://doi.org/10.7216/1300759920182511010>. 2018 (Cilt: 25), 110.
- Fluent, A. N. S. Y. S.** ANSYS fluent theory guide 15.0. ANSYS, Canonsburg, PA, 33, 2013
- Gelir, B. Ç.** (2017). *Tekstil sektöründe kullanılan ramöz makinelerinde ısı geri kazanımı ile enerji tasarrufu* (Yüksek lisans tezi) Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- Hazır giyim sektör raporu.** Erişim: 11 Şubat 2022, <http://www.ticaret.gov.tr/ihracat>
- Juraeva, M., Ryu, K. J. and Song, D. J.** (2017). Optimum design of the injection duct system of a stenter machine, Journal of Mechanical Science and Technology, 31, 2279-2285, 2017
- Karaaslan, M. A.** (2006). *Ramöz atık havasından ısı geri kazanımı* (Yüksek lisans tezi) Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Llanos, W. P., Santos, M. R., Quadri, B. M. and Martins, O. I.** (2020). Phenomenological modeling and simulation of a textile stenter, Textile Research Journal, 0, 1-18 2020.

**Oğulata R. T., Kadem, F.D. ve Koç, E.** (1998) Tekstilde kurutma yöntem ve makinaları, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, sayfa 803-810, İzmir, Türkiye, 04-07 Kasım 1999.

**Oğulata, R.T., Koç, E., Doba, F.** (1998) Tekstilde Kurutma ve Yaygın Kullanılan Kurutma Teknikleri, 71-75, Termodinamik

**Perry, R.** (1976). 'Perry's Chemical Engineer's Book', McGraw-Hill Book Comp.

**Sığırcı, M. T. & Erdoğan, A.** (2022). Ram makinelerindeki hava akışının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile modellenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (1), 207-216. DOI: 10.28948/ngumuh.955437

**Tekstil üretimi.** Erişim: 03 Ocak 2020, <http://www.webdosya.csb.gov.tr/db>

**Uçak, F.** (2010). *Tekstil terbiye işletmelerinde ramöz makinasında enerji tasarrufu* (Yüksek lisans tezi) Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

**Uyanık, S. & Çelikel, D. C.** (2019). Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu. Teknik Bilimler Dergisi, 9 (1), 32-41. Retrieved from

**Uyanık, S. & Oğulata, R. T.** (2013). Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sanayiinin Mevcut Durumu ve Gelişimi. Tekstil ve Mühendis, 20 (92), 58-78.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Muhammet Tibet Sığircı

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2019- (Devam Ediyor) Ilsan Tekstil Tic. ve San. A.Ş./ Ar-Ge Mühendisi

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Sığircı, M. T., Erdoğan, A, Bahçe, E.** (2021). Optimization of fabric drying and cutting in stenter machines used in textile industry, *International ICONTECH SYMPOSIUM-3 on Innovative Surveys in Positive Sciences*, Morocco: January 28-29.
- **Sığircı, M. T. & Erdoğan, A.** (2022). Ram makinelerindeki hava akışının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile modellenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (1), 207-216. DOI: 10.28948/ngumuh.955437