

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HELİSEL DÖNEN TÜRBÜLANSLI AKIŞA SAHİP MODÜLER BİR DÜZE
TASARIMI OPTİMİZASYONU VE NÜMERİK SİMÜLASYONU**

Ekrem GÜLSEVİNÇLER

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa Reşit USAL**

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2020**

© 2020 [Ekrem GÜLSEVİNÇLER]

TEZ ONAYI

Ekrem GÜLSEVİNÇLER tarafından hazırlanan "**Helisel Döner Türbülanslı Akışa Sahip Modüler Bir Düzey Tasarımı Optimizasyonu ve Nümerik Simülasyonu**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Prof. Dr. Mustafa Reşit USAL**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Ali BOLATTÜRK**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Ahmet KABUL**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Arzu ŞENCAN ŞAHİN**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Demet YILMAZ**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ekrem GÜLSEVİNÇLER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Akışkanlar Mekaniğinin Temel Diferansiyel Denklemleri.....	2
1.1.1. Kütlenin korunumu	3
1.1.2. Doğrusal momentumun korunumu.....	4
1.1.3. Navier-Stokes denklemleri	8
1.1.4. Açısal momentumun korunumu.....	8
1.1.5. Enerjinin korunumu.....	9
1.1.6. İstatistiksel türbülans modelleri ve kapama	9
1.1.7. Türbülanslı akım denklemleri.....	10
1.1.8. Türbülans kayma gerilmesi.....	12
1.1.9. Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemleri	14
1.1.10. Çalkantı viskozitesi	16
1.1.11. Türbülans modelinin seçimi.....	17
1.1.12. SST türbülans modeli	19
1.1.13. Efektif difüzyon modeli	20
1.2. Dönen Akışların Matematiği.....	22
1.2.1. Sirkülasyon	22
1.2.2. Vortisite.....	22
1.2.3. Helisite.....	23
1.2.4. Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısı.....	23
1.2.5. Resirkülasyon bölgeleri ve vorteks bozulmaları.....	24
1.2.6. Vorteks çekirdeğinin devinimi	25
1.3. Hava Düzeleri	25
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	27
2.1. Helisel Dönen Akışlar, Swirl Sayısı ve Vorteks Bozulması ile İlgili Çalışmalar	27
2.2. Hava Düzelerinin Kullanılmasına Dayanan Eğirme Sistemleri ile İlgili Çalışmalar	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM	43
3.1. Materyal	43
3.2. Yöntem.....	44
3.2.1. Konvansiyonel hava düzeleri.....	48
3.2.2. Konvansiyonel hava düzeleri yapısal parametreleri	51
3.2.3. İplik özelliklerinin tespiti	53
3.2.3.1. İplik düzgünsüzlüğü	53
3.2.3.2. İplik tüylülüğü	55
3.2.3.3. İplik mukavemeti ve kopma uzaması.....	56
3.2.4. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği.....	57
3.2.4.1. Parametrik çalışma planı ve geometrinin oluşturulması	57

3.2.4.2. Sonlu elemanlar analizi için örülen ağın tanıtılması	59
3.2.4.3. Sınır şartları.....	61
3.2.4.4. Başlangıç şartları.....	63
3.2.5. Modüler hava düzesi tasarımı	64
3.2.5.1. Modüler düze hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ..	72
3.2.6. Deneysel kurulum ve ölçüm sistemleri.....	73
3.2.6.1. Bağlı nem ve ortam sıcaklığı ölçümü	74
3.2.6.2. Kompresörden beslenen hava basıncının ölçümü ve ayarlanması.....	75
3.2.6.3. Kütle ve hacimsel debi ölçümü.....	76
3.2.6.4. Parametrik deney sisteminin kurulumu	77
3.2.6.5. Kondisyonlanmış (%100 bağlı neme sahip) havanın deney sistemine entegrasyonu	80
3.2.7. Kullanılan istatistikî yöntem ve sonuçların analizi	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	85
4.1. Konvansiyonel Ring İplik Eğirme Makinesinde Üretilen İpliklerin İplik Özellikleri Referans Değerleri	85
4.2. Düze Tasarımının İplik Özellikleri Üzerine Etkisi.....	85
4.2.1. Lineer/2FI cevap yüzey metodu analizi	85
4.2.1.1. İplik tüylülüğü sonuçları	87
4.2.1.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları	90
4.2.1.3. Kopma uzaması sonuçları	92
4.2.1.4. İplik mukavemeti sonuçları	92
4.2.2. Kuadratik cevap yüzey metodu analizi	93
4.2.2.1. İplik tüylülüğü sonuçları	95
4.2.2.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları	101
4.2.2.3. Kopma uzaması sonuçları	102
4.2.2.4. İplik mukavemeti sonuçları	104
4.2.3. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu analizi.....	106
4.2.3.1. İplik tüylülüğü sonuçları	108
4.2.3.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları	109
4.2.3.3. Kopma uzaması sonuçları	111
4.2.3.4. İplik mukavemeti sonuçları	113
4.2.3.5. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu optimizasyonu.....	114
4.2.4. Basınç değişiminin iplik özellikleri üzerine etkisi.....	116
4.2.4.1. İplik tüylülüğü sonuçları	117
4.2.4.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları	118
4.2.4.3. Kopma uzaması sonuçları	119
4.2.4.4. İplik mukavemeti sonuçları	121
4.3. Kondisyonlanmış Havanın İplik Özellikleri Üzerine Etkisi	123
4.3.1. İplik tüylülüğü sonuçları.....	123
4.3.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları	125
4.3.3. Kopma uzaması sonuçları	126
4.3.4. İplik mukavemeti sonuçları.....	128
4.4. Modüler ile Konvansiyonel Düze Kullanılarak Üretilen İpliklerin İplik Özelliklerinin Karşılaştırılmaları	129
4.4.1. İplik tüylülüğü sonuçları.....	130
4.4.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları	131

4.4.3. Kopma uzaması sonuçları	131
4.4.4 Kopma uzaması sonuçları	132
4.5. Konvansiyonel Düzeler Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği Analiz	
Sonuçları	133
4.5.1. Kütleli debi karşılaştırılması.....	134
4.5.2. Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısı karşılaştırılması.....	137
4.5.3. Toplam basınç ve akış basıncı karşılaştırılması	138
4.5.4. Reynolds sayısı karşılaştırılması.....	139
4.5.5. Hız ve z yönündeki hızın karşılaştırılması.....	140
4.5.6 Vortisite değerinin karşılaştırılması	141
4.5.7 Helisite gerçek öz değerinin karşılaştırılması.....	141
4.5.8 Konvansiyonel düze yapısal parametre değişiminin HAD	
sonuçları üzerindeki etkilerinin incelenmesi	142
4.6. Konvansiyonel Düze HAD Analiz Sonuçları – İplik Tüylülüğü	
Karşılaştırılması	143
4.7. Modüler Düze Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği Analiz Sonuçları	155
4.7.1. Kütleli debi karşılaştırılması.....	156
4.7.2. Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısı karşılaştırılması.....	157
4.7.3. Toplam basınç ve akış basıncı karşılaştırılması	158
4.7.4 Reynolds sayısı karşılaştırılması	159
4.7.5. Hız ve z yönündeki hızın karşılaştırılması.....	159
4.7.6 Vortisite değerinin karşılaştırılması	160
4.7.7 Helisite gerçek öz değerinin karşılaştırılması.....	160
4.7.8 Modüler düze yapısal parametre değişiminin HAD analiz sonuçları	
üzerindeki etkilerinin incelenmesi	161
4.8. Modüler ve konvansiyonel düzelerin Hesaplamalı akışkanlar	
Dinamiği Analiz Karşılaştırmaları.....	162
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	177
KAYNAKLAR	184
EKLER.....	192
EK A. Düze Konfigürasyonları	193
EK B. Modüler Düze Mil Tegetlik Ayarlama Braketi Delik Açısının	
Belirlenmesi	197
EK C. Geometrik Swirl Sayısından Faydalanılarak Modüler Düze	
Çevresel Enjektör Adedinin Belirlenmesi	198
EK D. Konvansiyonel Hava Düzeleri İşletme Maliyetleri	202
EK E. Kompresör İçerisindeki Havanın Bağlı Nem Değerinin Tespiti	204
EK F. Lineer/2FI Cevap Yüzey Metodolojisi İstatistik Veriler	205
EK G. Kuadratik Cevap Yüzey Metodolojisi İstatistik Veriler	208
EK H. Dördüncü Seviyeden Kuadratik Cevap Yüzey Metodolojisi	
İstatistik Veriler	212
EK I. Konvansiyonel Düzeler HAD Akış Parametreleri ile İplik	
Tüylülüğü Ölçümünün Kıyaslanması	217
EK J. Modüler Düze HAD Ölçümleri.....	234
ÖZGEÇMİŞ.....	239

ÖZET

Doktora Tezi

HELİSEL DÖNEN TÜRBÜLANSLI AKIŞ SAHİP MODÜLER BİR DÜZE TASARIMI OPTİMİZASYONU VE NÜMERİK SİMÜLASYONU

Ekrem GÜLSEVİNÇLER

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Reşit USAL

Bu tez çalışmasında, tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılan hava düzelerinin konvansiyonel ring iplik eğirme makinelerine ilave bir proses olarak entegre edilmesi, konvansiyonel hava düzelerinin modüler bir yapıya dönüştürülmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca hava düzeleri içerisindeki akışkan akışına ait sayısal simülasyonları araştırılmıştır.

Belirlenen yapısal parametrelerdeki konvansiyonel ve modüler düzelerin 150 farklı konfigürasyondaki hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri, ANSYS CFX 18.0 programı kullanılarak ve parametrik çalışma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde giriş sınır şartı olarak enjektör hava girişinden 225 kPa basınç değeri tanımlanmıştır. İplik girişinden açıklık sınır şartı ve düze çıkışından çıkış sınır şartı belirlenmiştir. Türbülans modeli olarak SST, akışkan türü olarak 25 °C'deki hava seçilmiştir.

Tez çalışmasının deneysel analiz bölümünde, konvansiyonel ve modüler düzeler Merlin SP43 konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine entegre edilmiştir. Belirlenen yapısal konfigürasyonlarda, 75 kPa ve 125 kPa olmak üzere iki farklı gösterge basıncı değerinde iplik üretimi yapılmıştır. İplik eldesinde yaygın olarak kullanılan elyaf türlerinden biri olan %100 pamuk lifleri kullanılarak, Ne 30/1 iplik inceliğine sahip tek katlı Jetring iplikler üretilmiştir. Düzeye ait yapısal parametrelerin tüylülük, düzgünsüzlük, mukavemet ve kopma uzaması gibi iplik özellikleri üzerindeki etkisinin belirlemesi için elde edilen test sonuçları cevap yüzey metodolojisi yöntemi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Tez çalışmasının devamında, konvansiyonel düzeler ile üretilen ipliklerin tüylülük sonuçları ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi akış parametreleri birlikte değerlendirilmiştir. İplik kalitesini belirleyen önemli bir özellik olan iplik tüylülüğünün azaltılması için hangi akış parametrelerinin etkili olduğu ve bu akış parametrelerini istenilen değerde elde etmek için nasıl bir yapısal parametre değişimine ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümünde ise, konvansiyonel düze ile modüler düzeye ait hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri karşılaştırılmış, düzeler arasındaki benzerlik ve farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. İplik tüylülüğü – hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizinden elde edilen akış parametreleri karşılaştırıldığında, yüksek vortisite ya da helisite gerçek öz değerlerine sahip modüler/konvansiyonel düzelerin düşük iplik tüylülük değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Yüksek vortisite ya da helisite gerçek öz değerlerini elde etmek için de modüler düzeye ait büküm odası çapının minimum değerinde ve enjektör çapının ise maksimum değerinde seçilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düze, modüler düze, yapısal özellikler, iplik kalitesi, iplik eğirme, iplik özellikleri, iplik tüylülüğü, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, sonlu hacimler metodu, cevap yüzey metodu.

2020, 239 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

MODULAR DÜZE DESIGN OPTIMIZATION AND NUMERICAL SIMULATION WITH SWIRLING TURBULENT FLOW

Ekrem GÜLSEVİNÇLER

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Reşit USAL

In this thesis, it is aimed to integrate air nozzles commonly used in textile sector as an additional process to conventional ring spinning machines and to convert conventional air nozzles to a modular structure. In addition, numerical simulations of fluid flow in air nozzles were investigated.

Computational fluid dynamics analyzes of conventional and modular nozzles in 150 different configurations were performed by using ANSYS CFX 18.0 program and parametric study. In computational fluid dynamics analysis, 225 kPa pressure value from injector air inlet is defined as inlet limit condition. The clearance limit condition at the yarn inlet and the exit boundary condition at the nozzle outlet are determined. SST was selected as the turbulence model and air at 25 °C was chosen as the fluid type.

In the experimental analysis section of the thesis, conventional and modular nozzles are integrated into the Merlin SP43 conventional ring spinning machine. In the specified structural configurations, two different gauge pressures of 75 kPa and 125 kPa were produced. Single ply Jetring yarns with Ne 30/1 yarn fineness were produced by using 100% cotton fibers, which is one of the widely used fiber types in yarn production. Test results obtained to determine the effect of nozzle structural parameters on yarn properties such as hairiness, irregularity, strength and elongation at break were analyzed statistically with the response surface methodology.

In the continuation of the thesis, hairiness results of the yarns produced with conventional nozzles and flow parameters of computational fluid dynamics analysis were evaluated together. It has been determined which flow parameters are effective for reducing yarn hairiness, which is an important feature determining yarn quality and how a structural parameter change is needed to obtain these flow parameters at the desired value.

In the last part of the thesis, computational fluid dynamics analysis of conventional nozzle and modular nozzles were compared and similarities and differences between nozzles were revealed. Comparing the flow parameters

obtained from the yarn hairiness - computational fluid dynamics analysis, it was found that modular / conventional nozzles with high vorticity or helicity real eigen values had low yarn hairiness values. In order to obtain of high vorticity or helicity real eigen values, it is recommended that the bending chamber diameter of the modular nozzle be selected at the minimum value and the injector diameter at the maximum value.

Keywords: Nozzle, modular nozzle, structural properties, yarn quality, yarn spinning, yarn properties, yarn hairiness, computational fluid dynamics, finite volume method, response surface method.

2020, 239 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bana öneren, çalışmalarımın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Reşit USAL'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Literatür araştırmalarımnda, deneysel çalışmalarımın her aşamasında, deney sonuçlarının değerlendirme sürecinden tezin tamamlanmasına kadar her türlü sorunumda beni sabırla dinleyen ve bana yardımını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Demet YILMAZ'a teşekkür ederim.

Doktora tez dönemi sürecinde, TİK çalışmalarımı titizlikle inceleyen değerli tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ali BOLATTÜRK ve Prof. Dr. Ahmet KABUL'e teşekkür ederim.

Doktora sürecinde bana her türlü yardımı ve kolaylığı sağlayan Kastamonu Üniversitesi Abana Sabahat Mesut Yılmaz Meslek Yüksekokulu Müdürü Doç. Dr. Korhan ENEZ'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım konusunda her türlü desteği sunan Adım Tekstil Sanayi ve Ticaret A. Ş. Genel Müdürü H. Hüsnü IŞIK'a, Üretim Müdürü Ayşe KORKUT'a ve emeği geçen tüm Adım Tekstil üretim mühendisi, kalite mühendisi, formen ve ustalarına teşekkür ederim.

4995-D1-17 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Doktora çalışmamın çeşitli aşamalarında kendisine danıştığım ve kendisinin birçok fikrinden faydalandığım, özellikle tez çalışması kapsamındaki kompresör havasının bağıl nem ölçüm aparatı, düze sabitleme aparatı ve modüler düze sabitleme aparatlarının tarifi, tasarımı, imalatı ve tadilatında bana destek veren değerli mesai arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Ahmet Ümit TEPE'ye teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının en önemli safhalarından olan, modüler hava düzesinin tasarım sürecinde ve konvansiyonel düzelerin imalat aşamasındaki değerli katkılarından dolayı Ümit TAŞDELER'e teşekkür ederim.

Ekrem GÜLSEVİNÇLER
ISPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türbülanslı akışta belirli bir konumdaki u hız bileşeninin zamana bağlı çalkantıları.....	10
Şekil 3.1. Jetring veya Nozzle-ring iplik eğirme sistemi.	49
Şekil 3.2. Rieter G10 konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde Jetring (sağda) ve konvansiyonel ring iplik (solda) üretimi.....	50
Şekil 3.3. Düze montajı a), düze gövdesi b) ve düze başlığı (c).....	50
Şekil 3.4. Tez çalışmasında kullanılan düze teknik resmi.	52
Şekil 3.5. Tez çalışmasında kullanılan düze numuneleri.....	52
Şekil 3.6. İplikte düzgünsüzlük dağılımı.	54
Şekil 3.7. Yüksek düzgünsüzlük değerine sahip ipliklerden yapılan farklı iki renkteki örme kumaşlar.....	55
Şekil 3.8. Yüksek tüylülük değerindeki ipliklerden yapılan farklı iki renge sahip örme kumaşlardaki boncuklanma problemi.....	55
Şekil 3.9. Ansys Design Modeller 18.0 programı ile parametrik düze geometrisinin oluşturulması.	58
Şekil 3.10. Ansys Design Modeller 18.0 programı ile oluşturulan düze akış hacmi.....	58
Şekil 3.11. Parametrik düzenin örülen ağ topolojisi.	60
Şekil 3.12. Sınır şartları atanmış düze geometrisi	63
Şekil 3.13. Modüler hava düzesi tasarımı.....	65
Şekil 3.14. Minimum a) ve maksimum enjektör açısı (b).....	66
Şekil 3.15. Saat yönü helis konfigürasyonu a) ve saat yönünde helisel dönen hava akımı görselleştirilmesi (b)	67
Şekil 3.16. Saatin ters yönü helis konfigürasyonu a) ve saatin ters yönünde helisel dönen hava akımı görselleştirilmesi (b)	67
Şekil 3.17. Teğetlik ayarlama braketi açı değişimi a) enjektörlerin büküm odasına 0.08 mm'lik mesafe ile konumlandırılması b) a'daki enjektör konumlandırılması için kullanılan teğetlik ayarlama braketi c) enjektörlerin büküm odasına 0.72 mm'lik mesafe ile konumlandırılması d) c'deki enjektör konumlandırılması için kullanılan teğetlik ayarlama braketi.....	68
Şekil 3.18. Modüler düze alt ve üst mil ana delik çapı değişimi görünümü.	69
Şekil 3.19. Modüler düze alt milinin revize olmuş hali	70
Şekil 3.20. Modüler düze K7X10X8 iğne rulmanlı montajı.....	71
Şekil 3.21. Modüler düze K7X10X8 iğne rulmanlı komple detay görünümü.....	72
Şekil 3.22. Düze kontrol panosu.....	73
Şekil 3.23. EE160 sıcaklık ve bağıl nem ölçüm sensörü.	74
Şekil 3.24. PT100 sıcaklık sensörü.....	74
Şekil 3.25. HMI kontrol paneli.	75
Şekil 3.26. Festo VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 oransal basınç regülatörü.....	76
Şekil 3.27. Alicat Scientific Marka M serisi kütleli debimetreler ile kütleli ve hacimsel debi ölçümlerinin yapılması.	77
Şekil 3.28. Merlin marka konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine 10 adet konvansiyonel hava düzesinin entegre edilmesi.....	78

Şekil 3.29. Merlin marka konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine modüler hava düzesinin entegre edilmesi.	78
Şekil 3.30. Festo VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 oransal basınç regülatörü hacimsel debi-basınç kaybı grafiği.	80
Şekil 3.31. Pnömatik şartlandırıcı ile düzelere %100 bağıl nem'e sahip kondisyonlanmış havanın verilmesi.....	81
Şekil 4.1. Çevresel enjektör adedi ve basınç değişiminin tüylülük üzerine etkisi: enjektör açısı a)20°, b)25°, c)30°, d)35°, e)40°	89
Şekil 4.2. Çevresel enjektör adedi ve basınç değişiminin düzgünsüzlük üzerine etkisi: enjektör açısı a)20°, b)25°, c)30°, d)35°, e)40°	91
Şekil 4.3. Enjektör çapı ve açısının tüylülük üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm	97
Şekil 4.4. Büküm odası çapı faktörü Ø2 mm'de sabit tutularak, enjektör açısının tüylülük üzerine değişimi: enjektör çapı a) Ø0.6 mm, b) Ø0.7 mm, c) Ø0.8 mm, d) Ø0.9 mm, e) Ø0.1 mm.....	98
Şekil 4.5. Enjektör çapı Ø0.5 mm ve enjektör açısı 35° de gerlerindeki büküm odası çapı-tüylülük değeri tek faktör grafiği.....	99
Şekil 4.6. Büküm odası çapı faktörü Ø2 mm'de sabit tutularak, enjektör çapının tüylülük üzerine değişimi: enjektör açısı a)20°, b)25°, c)30°, d)35°, e)40°	100
Şekil 4.7. Enjektör çapı ve açısının düzgünsüzlük üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm	102
Şekil 4.8. Enjektör çapı ve açısının kopma uzaması üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm	104
Şekil 4.9. Enjektör çapı ve açısının iplik mukavemeti üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm	106
Şekil 4.10. Enjektör çapı ve açısının tüylülük üzerindeki değişimi.....	109
Şekil 4.11. Enjektör çapı ve açısının düzgünsüzlük üzerindeki değişimi.....	110
Şekil 4.12. Enjektör çapı ve açısının kopma uzaması üzerindeki değişimi ...	112
Şekil 4.13. Enjektör çapı ve açısının iplik mukavemeti üzerindeki değişimi.....	114
Şekil 4.14. Hava basıncı - iplik tüylülüğü karşılaştırılması.....	118
Şekil 4.15. Hava basıncı - iplik düzgünsüzlüğü karşılaştırılması	119
Şekil 4.16. Hava basıncı - kopma uzaması karşılaştırılması	121
Şekil 4.17. Hava basıncı - iplik mukavemeti karşılaştırılması.....	122
Şekil 4.18. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik tüylülüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm).....	124
Şekil 4.19. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik tüylülüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm).....	124
Şekil 4.20. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik düzgünsüzlüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm).....	125
Şekil 4.21. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik düzgünsüzlüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm).....	126

Şekil 4.22. Normal ve kondisyonlanmış havanın kopma uzamasına etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm).....	127
Şekil 4.23. Normal ve kondisyonlanmış havanın kopma uzamasına etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm).....	127
Şekil 4.24. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik mukavemetine etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm).....	128
Şekil 4.25. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik mukavemetine etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm).....	129
Şekil 4.26. Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik tüylülüğü karşılaştırılmaları.....	130
Şekil 4.27. Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik düzgünsüzlüğü karşılaştırılmaları.....	131
Şekil 4.28. Modüler ve konvansiyonel düzelerin kopma uzaması karşılaştırılmaları.....	132
Şekil 4.29. Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik mukavemeti karşılaştırılmaları.....	133
Şekil 4.30. 3 enjektörlü bir düzeye ait düzlemlerin görünümü	134
Şekil 4.31. Şekil 4.44. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58	148
Şekil 4.32. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56.....	148
Şekil 4.33. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58 ..	149
Şekil 4.34. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56	149
Şekil 4.35. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58	150
Şekil 4.36. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56.....	150
Şekil 4.37. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58	151
Şekil 4.38. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk	

skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56	151
Şekil 4.39. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58	152
Şekil 4.40. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56	152
Şekil 4.41. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58	153
Şekil 4.42. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56	153
Şekil 4.43. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58	154
Şekil 4.44. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 66, c) 3E DP 51, d) 4E DP 72, e) 3E DP 61, f) 4E DP 56	154
Şekil 4.45. Modüler düzeye ait düzlemlerin görünümü.....	155
Şekil 4.46. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	166
Şekil 4.47. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	167
Şekil 4.48. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	167
Şekil 4.49. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	168
Şekil 4.50. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	168
Şekil 4.51. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak	

basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	169
Şekil 4.52. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	169
Şekil 4.53. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	170
Şekil 4.54. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	171
Şekil 4.55. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	172
Şekil 4.56. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	173
Şekil 4.57. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	174
Şekil 4.58. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	175
Şekil 4.59. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°	176
Şekil C.1. Düze geometrisi için geometrik swirl sayısı (Sg) hesaplaması.	199
Şekil C.2. Düze geometrisi için geometrik swirl sayısı (Sg) grafiği	200
Şekil E.1. Bağlı nem ölçüm aparatı	204
Şekil E.2. Bağlı nem ölçüm sonucu	204

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Parametrik düze ve modüler düze performans deneylerinde kullanılan Ne 30/1 numara %100 pamuk liflerine ait elyaf özellikleri.....	43
Çizelge 3.2. Ne 30/1 incelikteki tek katlı iplik üretiminde kullanılan çalışma parametreleri	44
Çizelge 3.3. Düze yapısal parametreleri ve deneme planı	51
Çizelge 3.4. İplik testlerine ait parametreler.....	53
Çizelge 3.5. Cevap yüzey metodunda kullanılan polinom mertebeleri ve faktör seviyeleri	82
Çizelge 4.1. Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde düze kullanılmadan üretilen numunelere ait iplik özellikleri ve ortalama değerleri.	85
Çizelge 4.2. Hava düzeleri için yapılan lineer/2FI cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler	87
Çizelge 4.3. Lineer/2FI cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları	87
Çizelge 4.4. Çevresel 4 adet enjektöre sahip hava düzeleri için yapılan kuadratik cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler	93
Çizelge 4.5. Kuadratik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları	93
Çizelge 4.6. Çevresel 4 adet enjektöre sahip hava düzeleri için yapılan kuadratik cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler	107
Çizelge 4.7. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları.....	107
Çizelge 4.8. Cevap yüzey metodu kullanılarak optimum düze konfigürasyonu seçimi	115
Çizelge 4.9. Cevap yüzey metodu iplik özellikleri optimizasyon sonuçları...	116
Çizelge 4.10. Düze yapısal parametrelerin değişiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuç parametreleri üzerindeki etkileri.....	142
Çizelge 4.11. İplik tüylülüğü en düşük çıkan 5 farklı düze konfigürasyonu - HAD analizi akış parametreleri karşılaştırmaları (225 kPa mutlak basınç)	144
Çizelge 4.12. İplik tüylülüğü en yüksek çıkan 5 farklı düze konfigürasyonu - HAD analizi akış parametreleri karşılaştırmaları (225 kPa mutlak basınç).....	145
Çizelge 4.13. Modüler düze yapısal parametrelerin değişiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuç parametreleri üzerindeki etkileri.....	161
Çizelge 4.14. Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm ve çevresel 3 enjektöre sahip konvansiyonel düzelerin HAD analiz sonuçları (225 kPa mutlak basınç).....	162
Çizelge 4.15. Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm olan modüler düzelerin HAD analiz sonuçları (225 kPa mutlak basınç)	163

Çizelge A.1. 3 enjektöre sahip düze konfigürasyonları.....	193
Çizelge A.2. 4 enjektöre sahip düze konfigürasyonları.....	195
Çizelge B.1. Mil teğetlik ayarlama braketi delik açısı belirleme tablosu.....	197
Çizelge D.1. 5.5kW (7.5hp) gücünde seçilen pistonlu kompresörün teknik verileri	202
Çizelge F.1. İplik tüylülüğü model seçim özet tablosu.....	205
Çizelge F.2. İplik tüylülüğü lineer model istatistikleri.....	205
Çizelge F.3. Lineer model için yapılan iplik tüylülüğüne ait ANOVA analizi..	205
Çizelge F.4. İplik düzgünsüzlüğü model seçim özet tablosu	205
Çizelge F.5. İplik düzgünsüzlüğü lineer model istatistikleri	205
Çizelge F.6. Lineer model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi.....	206
Çizelge F.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu	206
Çizelge F.8. Kopma uzaması lineer model istatistikleri	206
Çizelge F.9. İplik mukavemeti model seçim özet tablosu.....	206
Çizelge F.10. İplik mukavemeti lineer model istatistikleri.....	207
Çizelge F.11. Lineer model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi.....	207
Çizelge G.1. İplik tüylülüğü model seçim özet tablosu	208
Çizelge G.2. İplik tüylülüğü kuadratik model istatistikleri	208
Çizelge G.3. Kuadratik model için yapılan iplik tüylülüğüne ait ANOVA analizi.....	208
Çizelge G.4. İplik düzgünsüzlüğü model seçim özet tablosu.....	209
Çizelge G.5. İplik düzgünsüzlüğü kuadratik model istatistikleri.....	209
Çizelge G.6. Kuadratik model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi.....	209
Çizelge G.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu.....	209
Çizelge G.8. Kopma uzaması kuadratik model istatistikleri.....	210
Çizelge G.9. Kuadratik model için yapılan kopma uzamasına ait ANOVA analizi.....	210
Çizelge G.10. İplik mukavemeti model seçim özet tablosu.....	210
Çizelge G.11. İplik mukavemeti kuadratik model istatistikleri.....	211
Çizelge G.12. Kuadratik model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi.....	211
Çizelge H.1. İplik tüylülüğü model seçim özet tablosu	212
Çizelge H.2. İplik tüylülüğü dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri.....	212
Çizelge H.3. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik tüylülüğüne ait ANOVA analizi.....	212
Çizelge H.4. İplik düzgünsüzlüğü model seçim özet tablosu.....	213
Çizelge H.5. İplik düzgünsüzlüğü dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri.....	213
Çizelge H.6. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi	213
Çizelge H.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu	214
Çizelge H.8. Kopma uzaması dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri.....	214
Çizelge H.9. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan kopma uzamasına ait ANOVA analizi	214

Çizelge H.10. İplik mukavemeti model seçim özet tablosu	215
Çizelge H.11. İplik mukavemeti dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri.....	215
Çizelge H.12. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi.....	215
Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması.....	217
Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması.....	225
Çizelge J.1. Modüler düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 44 mm ilerideki kesitte)	234

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANOVA	Varyans analizi
BSL	Baseline türbülans modeli
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
C.V.	Varyasyon katsayısı
CV m	Düzensizlik
CYM	Cevap yüzey metodolojisi
d	Enjektör çapı [mm]
D	Büküm odası çapı [mm]
$\frac{D}{Dt}$	Maddesel türev operatörü
df	Serbestlik derecesi
div	Diverjans
DS_{max}	Maksimum beslenebilecek düze sayısı
D_{ω}	Çapraz difüzyon terimi
D_{ω}^{+}	Çapraz difüzyon terimi pozitif parçası
$E_{düze}$	Bir adet hava düzesine harcanan elektrik enerjisi
$E_{düze_top}$	Düzeler için harcanan toplam elektrik enerjisi
E_{komp}	Kompresörün harcadığı elektrik enerjisi
f	Fonksiyon
F	Kuvvet [N]
F_1	Birinci harmanlama fonksiyonu
F_2	İkinci harmanlama fonksiyonu
$\tilde{f}_r$	Ortalama döndürme fonksiyonu
H	USTER tüylülük endeksi
H_e	Helisite
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
HMI	İnsan makine arayüzü
H_p	Beygir gücü
$\vec{g}$	Yerçekimi ivmesi
grad	Gradyan
$G_{A\text{çıs\al}}$	Açısal momentumun eksenel akısı
$G_{E\text{ksenel}}$	Eksenel momentumun eksenel akısı
G_k	Ortalama hız gradyanları nedeniyle üretilen türbülans kinetik enerjisi
G_{ω}	ω üretimi
G_k	Ortalama hız gradyanları nedeniyle üretilen türbülans kinetik enerjisi
G_x	Eksenel momentumun eksenel akısı
G_{θ}	Açısal momentumun eksenel akısı
k	Türbülans kinetik enerjisi
L	Uzunluk ölçeği
LDA	Lazer doppler anemometresi
Mean	Tüm yanıt verisi varyasyon katsayısının genel ortalamasıdır
m_t	Enjektörlerdeki toplam kütleli debi [kg/s]
m_T	Test kesitindeki (büküm odası) toplam kütleli debi
N	Enjektör sayısı
Ne	Fitil numarası
P	Basınç [kPa]
p'	Modifiye edilmiş basınç [kPa]
$P_{atmosfer}$	Atmosfer basıncı [kPa]

$P_{\text{gösterge}}$	Gösterge basıncı [kPa]
P_k	Türbülans üretim hızı
P_{komp}	Kompresörün gücü [kW]
P_{mutlak}	Mutlak basınç
Pr_t	Türbülans Prandtl sayısı
PIV	Parçacık görüntülemeli hız (akış) ölçüm cihazı
PVC	Vorteks çekirdeği presesyonu
r	Delik merkezine göre alınan radyal koordinat
R	Yarıçap
RANS	Reynolds ortalama Navier Stokes denklemleri
Re	Reynolds sayısı
$\text{rot } \vec{V}$	Hız vektörünün rotasyoneli
RSM	Reynolds gerilme modeli, Cevap yüzey metodolojisi
Q	Isı
$\dot{Q}$	Birim zamandaki ısı
S	Gerinme hızı, deformasyon tansörü
S_3	ZWEIGLE tüylülük endeksi
S_{ij}	Gerinme hızı tansörü
S	Gerinme hızı
SCI	İplik eğirme istikrar indeksi
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
$\sin$	Sinüs
Sn	Swirl sayısı
Sg	Geometrik swirl sayısı
SST	Kayma gerilimi taşınımı
Std Dev	Standart sapma
t	Zaman [s]
u	Hız vektörünün x yönündeki bileşeni
$\bar{u}$	Hız vektörünün x yönündeki zaman ortalama bileşeni
u'	Hız vektörünün x yönündeki çalkantı bileşeni
$\overline{u'}$	Hız vektörü x yönündeki çalkantı bileşeni zamana göre ortalaması
u_z	Eksenel hız bileşeni
u_θ	Teğetsel hız bileşeni
U.I.	Uniformite İndeksi
URANS	İstikrarsız Reynolds ortalama Navier Stokes denklemleri
v	Hız vektörünün y yönündeki bileşeni
$\bar{v}$	Hız vektörünün y yönündeki zaman ortalama bileşeni
v'	Hız vektörünün y yönündeki çalkantı bileşeni
$\overline{v'}$	Hız vektörü y yönündeki çalkantı bileşeni zamana göre ortalaması
ν	Kinematik viskozite
V	Akış alanı hacmi
$\vec{V}$	Hız vektörü
w	Hız vektörünün z yönündeki bileşeni
$\bar{w}$	Hız vektörünün z yönündeki zaman ortalama bileşeni
w'	Hız vektörünün z yönündeki çalkantı bileşeni
$\overline{w'}$	Hız vektörü z yönündeki çalkantı bileşeni zamana göre ortalaması
W	İş [kJ]
$\dot{W}$	Güç [kW]

y	Bir sonraki yüzeye olan mesafe
y^+	Boyutsuz duvar mesafesi
Y_k	Türbülans nedeniyle k 'nın harcanımı
Y_ω	Türbülans nedeniyle ω 'nın harcanımı
ν	Kinematik viskozite
$\tilde{\nu}$	Kinematik Eddi viskozitesi
$\tilde{\nu}_t$	Türbülans kinematik Eddi viskozitesi
∂	Kısmi türev işareti
ϵ_{ij}	Şekil değiştirme hızı tansörü
λ	Öz değer
τ	Kayma gerilmesi
$\tau_{laminer}$	Laminer kayma gerilmesi
$\tau_{türbülans}$	Türbülanslı kayma gerilmesi
$\bar{\tau}$	Kayma gerilmesi zaman ortalaması
τ_{ij}	Viskoz gerilme tansörü
σ	Normal gerilme
σ_k	k için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ω	ω için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_{ij}	Gerilme tansörü
Δ	Diskriminant operatörü
Δt	Zaman ölçeği
∇	Gradyen vektör (diverjans) operatörü
∇^2	Laplace operatörü
$^\circ$	Derece
θ	Delik merkezine göre alınan açısal koordinat, enjektör açısı
ω	Açısal hız
ζ	Vortisite
Ω	Vortisite oranı, antisimetrik spin tansörü
Ω_{ij}	Vortisite tansörü
Γ	Sirkülasyon
Γ_t	Eddi yayını
Γ_k	k yayını
Γ_ω	ω yayını
$\emptyset$	Çap işareti
μ	Dinamik vizkozite
μ_t	Eddi (türbülans) viskozitesi
μ_{eff}	Efektif vizkozite
ρ	Yoğunluk
$\rho \overline{u_i u_j}$	Reynolds gerilme tansörü
$\rho u_j \phi$	Reynolds akısı

1. GİRİŞ

Akış mekanizmalarındaki birçok uygulama helisel dönen (swirling) akışları kapsar. Turbomakineler ve onların beraber bulunduğu sistemlerde ve siklon ayrıştırıcılarda dönerek ilerleyen ve literatürde genellikle “swirling flow” olarak adlandırılan bir akış gözlenir. Helisel dönen akışlar, kasırga ve tayfunlar gibi doğal akışlarda gözlenmekte ve havacılık, ısı değiştiricileri, püskürterek kurutma, ayırma, yanma gibi vb. teknik uygulamalarda uzun yıllar yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda bunların önemi ve karmaşıklığı yeni araştırmaları oldukça meşgul etmektedir (Lucca-Negro ve O’Doherty, 2001).

Gaz türbinli motorlar, dizel motorlar, endüstriyel brülörler ve kazanlar gibi yanma sistemlerinde, belirli proses uygulamalarına uygun alev geometrileri elde etmek için yakıt ve oksijen akışları arasındaki karışım oranını iyileştirmek ve kontrol etmek için helisel dönen akışlar kullanılmıştır (Weber vd., 1986). Yeterli derecede bir helisel dönen akışta yanma ürünleri resirkülasyona girdiğinden ve gelen yakıt / oksijen akışlarını tutuşturduğu için, bir iç resirkülasyon bölgesi oluşturulur. Bu, kararlı ve etkili bir alev sağlamaktadır (Swithebank ve Chigier, 1969). Karbonlu malzemeler ve kalitesiz gazlar için iyi bir yanma performansı sunar (Syred ve Beér, 1974).

Dönen akışların önemli bir özelliği Ranque (1933) tarafından ileri sürülmüştür. Vorteks tüplerinin basınçlı havayı sırasıyla çevre ve tüp merkez çizgisi yakınında bulunan sıcak ve soğuk hava akışlarına ayırma yeteneğini keşfetmiştir. Ranque-Hilsch vorteks tüpü farklı molekül ağırlıklı gazların ayrılması, soğutma düzeni, siklon ayırma, gaz türbinli siklon, yanma odası ve püskürtücü kurutucuları gibi bu akış davranışını kullanan çok sayıda mühendislik uygulamasında kullanılmıştır (Lucca-Negro ve O’Doherty, 2001).

Helisel dönen akışlar farklı parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerin çoğu yapılan çalışmalar sonucunda formülüle edilmiş ve bulunmuştur. Bunlardan en önemlisi “Swirl sayısı”dır. Swirl sayısı akış içerisindeki momentumların oranlarıyla ilgili bir sayıdır ki bu yüzden helisel dönen akışlar üzerinde hızın

rolü çok büyüktür. Ancak helisel dönen akışları karakterize eden tek parametre hız değildir. Hızın yanında basınç da helisel dönen akışlar için önemli bir değişkendir. Bunlarla birlikte, giriş basınç değerleri, girişteki helisel dönüş yoğunluğu, akışın olduğu geometrideki şayet var ise teğetsel enjektörlerin yoğunluğu helisel dönüşü etkileyen diğer parametrelere örnek olarak gösterilebilir. Helisel dönüş olayı kaotik bir süreç olduğu için, akış içerisinde meydana gelen değişimler de kaotik bir sürecin sonuçlarıdır ki bunlar genellikle akışın karakterize edilmesinde ve akışın optimum düzeyde tutulmasının istendiği durumlarda dikkatle incelenmelidir (Öz, 2013).

1.1. Akışkanlar Mekaniğinin Temel Diferansiyel Denklemleri

Akışkan (gaz ve sıvı) akışları, kütle, momentum ve enerji için korunum yasalarını sağlayan kısmi diferansiyel denklemlerle yönetilir. Akışkanlar dinamiği problemlerinin temeli akışkan akışlarını tanımlayan Navier-Stokes denklemleridir. Navier-Stokes denklemlerinin çözümü zor olmasına rağmen bu denklemler, Euler denklemlerini elde etmek için viskoz eylemleri tanımlayan terimler kaldırılarak basitleştirilebilir. Daimi akış ve sıkıştırılamaz akış kabulleri yapılırsa yararlı çözümler elde edilebilir. Daha da basitleştirilirse, vortisiteyi tanımlayan terimler de kaldırarak tam potansiyel akış denklemleri elde edilir. Son olarak, ses altı ve süpersonik akışlardaki (transonik veya hipersonik olmayan) küçük bozulmalar için, bu denklemler potansiyel denklemleri elde etmek için doğrusallaştırılabilir.

Korunum kanunlarının diferansiyel halini elde etmenin en basit yolu diverjans teoremini kullanmaktır. Diverjans teoremi, Alman matematikçi Johann Carl Friedrich Gauss'un (1777-1855) adına atfen Gauss teoremi olarak da adlandırılır. $\vec{G}$ 'nin diverjansı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{div}(\vec{G}) = \vec{\nabla} \cdot \vec{G} \quad (1.1)$$

Burada, $\vec{\nabla}$ del operatörüdür. Diverjans teoremi bir vektörün diverjansının hacim integralini, bu hacmi oluşturan yüzey boyunca bir alan integraline dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır (Çengel vd., 2008).

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{G} dV = \oint_A \vec{G} \cdot \vec{n} dA \quad (1.2)$$

Diverjans teoreminde kullanılan $\vec{\nabla}$ del operatörü, aşağıda verilmiştir.

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (1.3)$$

1.1.1. Kütlenin korunumu

Daimi sıkıştırılamaz kabul edilen bir akışta kütlenin korunumu aşağıdaki şekildedir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad ; \quad \vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k} \quad (1.4)$$

Kartezyen koordinatlarda daimi sıkıştırılamaz akış aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.5)$$

Sıkıştırılabilir daimi bir akışta kütlenin korunumunun diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1.6)$$

Sıkıştırılabilir ve daimi olmayan bir akışta kütlenin korunumunun diferansiyel denklemi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho(\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = 0 \quad (1.7)$$

Burada, ∂ kısmi türev işareti, ρ yoğunluk, t zaman, $\vec{V}$ ise vektörel hızdır.

1.1.2. Doğrusal momentumun korunumu

Bir akış korunumu için momentum denklemlerinde söz etmek gerekmektedir. En basit haliyle sürtünmesiz akış kabulü olan Reynolds transport teoremi kullanılarak türetilen Euler denklemi yazılabilir (White vd., 2006):

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \cdot \vec{g} + \vec{\nabla} p \equiv \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} \vec{V} \quad (1.8)$$

Sürtünmesiz akışta viskoz gerilmeler olmadığından herhangi bir gerilme tansörü bulunmamaktadır, yani $\sigma_{ij} = 0$ 'dır. Akıştaki viskoz gerilmeler de dikkate alındığında Cauchy denklemi olarak da bilinen doğrusal momentumun korunumu elde edilmektedir (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \cdot \vec{g} + \vec{\nabla} \cdot \vec{\sigma} \quad (1.9)$$

Burada, σ_{ij} gerilme tansörü, $\vec{g}$ ise yerçekimi ivmesidir. İkinci mertebeden bir tansörün diverjansı olan denklem (1.9)'un son terimini açarsak kartezyen koordinatlarda Cauchy denkleminin üç bileşeni aşağıdaki şekilde elde edilir (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{Du}{dt} = \rho g_x \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \quad (1.10a)$$

$$\rho \frac{Dv}{dt} = \rho g_y \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} \quad (1.10b)$$

$$\rho \frac{Dw}{dt} = \rho g_z \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \quad (1.10c)$$

Denklem (1.9)'un x bileşeni denklem (1.10a)'da, y bileşeni denklem (1.10b)'de, z bileşeni ise denklem (1.10c)'de verilmiştir. Cauchy denklemi bu haliyle kullanışlı değildir. Şimdiye kadar elimizde süreklilik denklemi (kütlenin korunumu) ve Cauchy denklemi (3 bileşeni ile) toplam dört adet denklem bulunmaktadır. Fakat gerilme tansörünün 6'sı bağımsız olmak üzere

(simetriden ötürü) 9 bileşeni, hızın 3 bileşeni ve yoğunluk olmak üzere toplam 10 adet bilinmeyen ($\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zz}, u, v, w, \rho$) bulunmaktadır. Matematiksel olarak çözülebilir olması için bilinmeyen sayısı kadar denklem olması gerekmektedir. Bu yüzden altı adet denkleme daha ihtiyaç vardır. Bu denklemlere bünye denklemleri adı verilir ve gerilme tansörü bileşenlerini hız alanı ve basınç alanı cinsinden ifade edebilmemize olanak verir. Durgun haldeki bir akışkanın gerilme tansörü aşağıda verilmiştir. (Çengel vd., 2008).

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} \quad (1.11)$$

Hareketli akışkan içerisinde viskoz gerilmeler de bulunabilir. O halde denklem aşağıdaki hale gelir:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad (1.12)$$

Burada, P basınç ve τ_{ij} viskoz gerilme tansörüdür. Bu dönüşüm ile σ_{ij} 'nin 6 bilinmeyeni yerine τ_{ij} 'nin 6 bilinmeyeni ile değiştirilmiştir. Üstelik P basınç olarak yeni bir bilinmeyen de eklenmiş oldu. İzotermal, sıkıştırılamaz kabul edilen ($\rho = \text{sbt}$) sabit dinamik viskozite kabulü ile newtonyen bir akışkanın viskoz gerilme tansörü aşağıda verilmiştir (Çengel vd., 2008):

$$\tau_{ij} = 2\mu\epsilon_{ij} \quad (1.13)$$

Burada, ϵ_{ij} şekil değiştirme hızı tansörüdür. Kartezyen koordinatlarda doğrusal şekil değiştirme hızı:

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (1.14a)$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1.14b)$$

$$\epsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1.14c)$$

Kartezyen koordinatlarda kayma şekil değıştirme hızı:

$$\epsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (1.15a)$$

$$\epsilon_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (1.15b)$$

$$\epsilon_{wx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1.15c)$$

Doğrusal şekil değıştirme hızı ile kayma şekil değıştirme hızını matematiksel olarak şekil değıştirme hızı tansörü denilen ikinci mertebeden simetrik bir tansör altında birleştirebiliriz (Çengel vd., 2008):

$$\epsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.16)$$

Denklem (1.13), denklem (1.16)'daki değerler kullanılarak yeniden yazıldığında viskoz gerilme tansörü aşağıdaki şekilde daha anlaşılır hale gelmektedir (Çengel vd., 2008):

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.17)$$

Denklem (1.12), denklem (1.17)'deki değerler kullanılarak yeniden yazıldığında gerilme tansörü aşağıdaki son halini alır (Çengel vd., 2008):

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.18)$$

Denklem (1.18)'deki gerilme tansörünü Cauchy denkleminde yerine yazalım. Önce x bileşenini ele alalım. Buna göre denklem aşağıdaki şekli alır (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \cdot g_x + 2\mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1.19)$$

Denklem (1.19)'daki viskoz terimler yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki şekli alır (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (1.20)$$

Sıkıştırılamaz akış için süreklilik denklemi gereği parantez içi ifade sıfır olur. Ayrıca son üç terimin, u hız bileşeninin Laplace'ı olduğu görülmektedir. Kartezyen koordinatlarda Laplace operatörü aşağıda verilmiştir (Çengel vd., 2008).

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (1.21)$$

Denklem (1.21)'de verilen Laplace operatörünü denklem (1.20)'de yerine yazarsak momentum denkleminin x bileşeni aşağıdaki hale gelir (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \mu \nabla^2 u \quad (1.22a)$$

Benzer şekilde momentum denkleminin y ve z bileşenleri sırasıyla aşağıda verilmiştir (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \cdot g_y + \mu \nabla^2 v \quad (1.22b)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho \cdot g_z + \mu \nabla^2 w \quad (1.22c)$$

1.1.3. Navier-Stokes denklemleri

Denklem (1.22)'de verilen bu üç bileşeni tek bir vektör denkleminde toplanırsa, elde edilen sonuç sabit viskoziteli sıkıştırılamaz bir akış için Navier-Stokes denklemini verecektir (Çengel vd., 2008):

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho\vec{g} + \mu\nabla^2\vec{V} \quad (1.23)$$

Süreklilik denklemi ve Navier-Stokes denklemi, kartezyen koordinatlarda (x,y,z) ve (u,v,w) cinsinden açılabilir: (Çengel vd., 2008).

Sıkıştırılamaz Navier-Stokes denkleminin x-bileşeni:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1.24a)$$

Sıkıştırılamaz Navier-Stokes denkleminin y-bileşeni:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \cdot g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (1.24b)$$

Sıkıştırılamaz Navier-Stokes denkleminin z-bileşeni:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho \cdot g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (1.24c)$$

1.1.4. Açısal momentumun korunumu

Uygulamada, jetler, hidrolik çarklar, türbinler vb. akış makinaları ve sistemleri temel olarak kütle, momentum ve enerjinin korunumu ilkeleri uygulanarak analiz edilirler. Şimdiye kadar süreklilik denklemi ve doğrusal momentumun korunumu verilmiş fakat açısal momentumun korunumu ve enerjinin korunumundan bahsedilmemişti. Açısal momentumun korunumu aşağıda verilmiştir (White vd., 2006):

$$\Sigma M_0 = \frac{\partial}{\partial t} \left[\int_{KH} (\vec{r}_x \vec{V}) \rho dV \right] + \int_{KY} (\vec{r}_x \vec{V}) \rho (\vec{V}_x \vec{n}) dA \quad (1.25)$$

1.1.5. Enerjinin korunumu

Reynolds transport teoremi kullanılarak yazılmış enerjinin korunumu denklemi aşağıda verilmiştir:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{d}{dt} \left(\int_{KH} e \rho dV \right) + \int_{KY} \left(e + \frac{p}{\rho} \right) \rho (\vec{V}_x \vec{n}) dA \quad (1.26)$$

1.1.6. İstatistiksel türbülans modelleri ve kapama

Yeterince küçük ölçekler ve yeterince düşük hızlarda, yani Reynolds sayısının (Re) çok büyük olmadığı durumlarda viskoz akışkanın hareket denklemleri süreklilik yaklaşımıyla kolayca çözülebilir. Bu tip akışlar girdap ve momentumun viskoz difüzyonu ile kontrol edilir. Doğada da deneysel olarak rahatça gözlemlenebilen böyle akışlara laminar akış denir. Yüksek Reynolds sayılarında, atalet kuvvetleri viskoz gerilmeleri yener ve akış kararsız hale gelir. Akışın hız ve basınç değerlerinde ani dalgalanmalar görülür ve akış üç boyutlu olup süresizleşir (daimi olmayan akış). Söz konusu bu durum oluşmaya başladığında akış artık türbülanslıdır (Bayraktar, 2008; Wilcox, 2002).

Zaman ölçeklerine bakarken, türbülanslı dalgalanmaların zaman ölçeğinin çok daha büyük olduğunu görürüz. Türbülanslı akışın ek bir zaman değişkeni ile dalgalanan bileşeninin ortalama özelliklerini sergilediği söylenebilir. Örnek olarak, bir hız bileşeninin bir zaman bileşeni ile farklı bir ortalama bileşenine bölünebilir (Ansys Inc, 2017).

Genellikle türbülans modelleri ortalama ve değişken miktarlarda Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerini üretmek için orijinal kararsız Navier-Stokes denklemlerini değiştirmek isterler. Bu denklemler çalkantılı dalgalanmanın çözümü için bir ihtiyaç olmadan türbülans etkileri modellemek istediklerinde sadece ortalama akış miktarlarını temsil ederler (tüm ölçeklerde

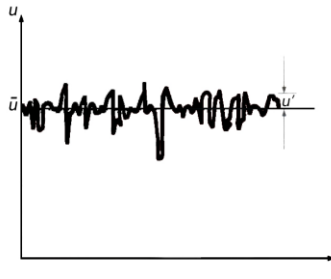
türbülanslı alanlar modellenmektedir). Türbülans modelleri denklemleri elde etmek için kullanılan istatistiksel ortalama prosedürü nedeniyle RANS denklemi tabanlı istatistiksel türbülans modelleri olarak isimlendirilirler (Ansys Inc, 2017).

RANS denklemlerinin simülasyonları doğrudan sayısal simülasyonlara göre hesaplama çabasını büyük ölçüde azaltmakta ve genellikle pratik mühendislik hesaplamalarında benimsenmektedir (Ansys Inc, 2017).

Reynolds gerilmelerinin bilinen bir miktarda ilave denklemler elde ederek kapatmak için modellenmeleri gerekmektedir. Kapatma prosedürü, Reynolds gerilme tansörü dâhil bilinmeyen sayısı kadar yeterli denklemin olmadığını ima etmektedir. Denklemler sistemi kapatarak türbülans modelinin tipini tanımlamaktadır (Ansys Inc, 2017).

1.1.7. Türbülanslı akım denklemleri

Türbülans modelleri, modifiye edilmiş bir dizi ortalama ve dalgalanan bileşenler ortaya koyarak taşınım denklemlerini çözmeye çalışmaktadır (Gülsevinçler, 2013). Türbülanslı akış içerisinde verilen herhangi bir noktada, anlık hız ve tüm diğer anlık sürekli özelliklerin konum ve zamana göre ortalama bir değer etrafında hızla ve düzensiz olarak salındıklarını gözlemlemiştir. Türbülanslı akışın teorik analizinde u gibi bir anlık değişkenin zamana göre ortalama bileşeni ($\bar{u}$) ve çalkantı bileşeni (u')'nün toplamıdır (Yüksel, 2013) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Türbülanslı akışta belirli bir konumdaki u hız bileşeninin zamana bağlı çalkantıları (Çengel vd., 2008)

$$u = \bar{u} + u' \quad (1.27a)$$

Benzer olarak hızın diğer bileşenleri ve basınç ortalama ve çalkantı bileşenlerine ayrılabilir:

$$v = \bar{v} + v' \quad (1.27b)$$

$$w = \bar{w} + w' \quad (1.27c)$$

$$p = \bar{p} + p' \quad (1.27d)$$

Kararlı bir akışta $\bar{u}$ zamanla değişmez (Yüksel, 2013):

$$\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u \cdot dt \quad (1.28)$$

Hızın çalkantı bileşeninin zamana göre değişimi ise sıfırdır (Yüksel, 2013):

$$\bar{u}' = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u' \cdot dt = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} (u - \bar{u}) dt = \bar{u} - \bar{u} = 0 \quad (1.29)$$

Bir çalkantı bileşeninin zamana göre ortalaması her ne kadar sıfır olsa da $\overline{u'^2}$, $\overline{u'v'}$, $\overline{u'w'}$ gibi iki çalkantı bileşeninin çarpımının zamana göre ortalaması sıfır olmayacaktır. Denklem (1.29)'da verilen notasyon sıkıştırılmaz türbülanslı akıma uygulandığında süreklilik denklemi aşağıdaki hale gelir (Yüksel, 2013):

$$\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u') + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v} + v') + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{w} + w') = 0 \quad (1.30)$$

Yukarıdaki denklemin her bir teriminin Δt zaman aralığı için ortalaması (Yüksel, 2013):

$$\overline{\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u')} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} + u') \right] dt \quad (1.31)$$

İntegrasyonun zaman ile ilişkisi diferansiyelden bağımsızdır buna karşın konuma bağlıdır, o halde ifade şöyle yazılabilir (Yüksel, 2013):

$$\overline{\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u} + u')} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} (\bar{u} + u') dt \right] \quad (1.32)$$

Denklem (1.29)'a göre, çalkantı bileşeninin zamana göre ortalaması sıfır olacağından, sıkıştırılamaz türbülanslı akımın zamana göre ortalaması alınmış süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir (Yüksel, 2013):

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (1.33)$$

Eğer bu denklem, denklem (1.30)'dan çıkartılırsa aşağıdaki denklem elde edilir (Yüksel, 2013):

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (1.34)$$

1.1.8. Türbülans kayma gerilmesi

Türbülanslı akımda, türbülans tarafından oluşan kayma gerilmesinin daha iyi anlaşılabilmesi için $dx dz$ alanından dt süresinde y doğrultusunda v hızıyla geçen akışkan kütlesini $\rho dx dz v dt$ ve bu kütlenin x doğrultusundaki momentumu $\rho(dx dz v dt)u$ olarak yazılırsa, Birim zamandaki momentum değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Yüksel, 2013):

$$\frac{d(mu)}{dt} = F_x = \rho dx dz v \quad (1.35)$$

Burada, F_x bu momentum değişimine neden olan dış kuvvettir. Buna göre akışkanın oluşturduğu kuvvet (Yüksel, 2013):

$$K = -F_x = -\rho dx dz v \quad (1.36)$$

Buna göre akışkanın birim alanda oluşturduğu gerilme aşağıdaki gibidir (Yüksel, 2013):

$$\tau = \frac{K_x}{dx dz} = -\rho uv \quad (1.37)$$

Bu sonuç birbirine dik hızların varlığının bir çeşit kayma gerilmesi oluşturacağını göstermektedir. Bu kayma gerilmesinin Δt süresince ortalaması ise (Yüksel, 2013):

$$\bar{\tau} = -\frac{\rho}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u(t)v(t)dt \quad (1.38)$$

Türbülanslı akım alanı için hız bileşenlerini açarsak (Yüksel, 2013):

$$\bar{\tau} = -\frac{\rho}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} (\bar{u} + u')(\bar{v} + v') dt \quad (1.39)$$

Sadece x doğrultusunda meydana gelen bir boyutlu akım için yukarıdaki ifadeyi açalım. x doğrultusunda $\bar{v}=0$ olacağından (Yüksel, 2013):

$$\bar{\tau} = -\frac{\rho}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \bar{u}v' dt - \frac{\rho}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u'v' dt \quad (1.40)$$

yazılabilir. Çalkantı hızının zamana göre ortalaması sıfır olacağından (Yüksel, 2013):

$$\bar{\tau} = -\frac{\rho}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u'v' dt \quad (1.41)$$

Çalkantı bileşenlerinin çarpımlarının zamansal ortalamasını tanımı yapıldığında denklem aşağıdaki hale gelir (Yüksel, 2013):

$$-\frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} u'v' dt = \overline{u'v'} \quad (1.42)$$

Denklem (1.42)'deki eşitlik denklem (1.41)'de yerine konulduğunda aşağıdaki hale gelir (Yüksel, 2013):

$$\overline{\tau_{xz}} = -\rho \overline{u'v'} \quad (1.43)$$

Böylece, türbülanslı kayma gerilmesi elde edilmiş olur. Toplam kayma gerilmesi ise laminar kayma gerilmesi ile türbülanslı kayma gerilmelerin toplamıdır:

$$\tau = \tau_{laminar} + \tau_{türbülans} = \mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \rho \overline{u'v'} \quad (1.44)$$

1.1.9. Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemleri

Türbülanslı akıma ait hareket denklemlerini elde etmek için Navier-Stokes denklemlerindeki hız bileşenleri, hızın ortalama ve çalkantı bileşenleri ile değiştirilerek yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

x doğrultusunda Navier-Stokes denklemi (Yüksel, 2013):

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial t} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \mu \nabla^2 u \quad (1.45)$$

Denklem (1.45)'deki hızın Kartezyen koordinatlardaki bileşenleri denklem (1.22)'deki gibi çalkantı ve ortalama bileşenlerine ayrılırsa (Yüksel, 2013):

$$\begin{aligned} \rho (\bar{u} + u') \frac{\partial}{\partial x} + (\bar{u} + u') + \rho (\bar{v} + v') \frac{\partial}{\partial y} + (\bar{u} + u') + \rho (\bar{w} + w') \frac{\partial}{\partial z} + (\bar{u} + u') + \\ \rho \frac{\partial}{\partial t} (\bar{u} + u') = \rho \cdot g_x + \mu \nabla^2 u \end{aligned} \quad (1.46)$$

Denklem (1.46)'nın her bir terimi açılır. Örneğin birinci terim açılırsa (Yüksel, 2013):

$$\rho (\bar{u} + u') \frac{\partial}{\partial x} + (\bar{u} + u') = \rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \bar{u} \frac{\partial u'}{\partial x} + \rho \overline{u'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \overline{u'} \frac{\partial u'}{\partial x} \quad (1.47)$$

Her terimin zaman göre ortalaması alınırsa, birinci terimin zaman göre ortalaması değişmez. İkinci ve üçüncü terimde yer alan çalkantı bileşeninin ortalaması denklem (1.27)'de de gösterildiği gibi sıfırdır. Bu yüzden ikinci ve üçüncü terimler sıfır olur. Son terim ise iki çalkantı bileşeninden ibarettir ve

zamana göre ortalaması sıfır olamaz. Bu şekilde tüm terimler açıldıktan sonra Navier-Stokes denklemi aşağıdaki hale gelir (Yüksel, 2013):

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \mu \nabla^2 \bar{u} - \left(\rho \bar{u}' \frac{\partial \bar{u}'}{\partial x} + \rho \bar{v}' \frac{\partial \bar{u}'}{\partial x} + \rho \bar{w}' \frac{\partial \bar{u}'}{\partial x} \right) \quad (1.48)$$

Bu ifadenin son terimi aşağıdaki gibi yazılırsa (Yüksel, 2013):

$$-\left(\rho \bar{u}' \frac{\partial \bar{u}'}{\partial x} + \rho \bar{v}' \frac{\partial \bar{u}'}{\partial x} + \rho \bar{w}' \frac{\partial \bar{u}'}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\rho \overline{u'^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\rho \overline{u'v'} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-\rho \overline{u'w'} \right) \quad (1.49)$$

Sonuç olarak sıkıştırılamaz bir viskoz akışkana ait türbülanslı akımın x doğrultusundaki Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemini elde ederiz (Yüksel, 2013):

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \mu \nabla^2 \bar{u} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-\rho \overline{u'^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\rho \overline{u'v'} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-\rho \overline{u'w'} \right) \quad (1.50)$$

Benzer olarak y ve z doğrultularında da denklem yazılabilir. y doğrultusundaki Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemi:

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \rho \cdot g_y + \mu \nabla^2 \bar{v} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-\rho \overline{v'u'} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\rho \overline{v'^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-\rho \overline{v'w'} \right) \quad (1.51)$$

z doğrultusundaki Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemi:

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \rho \cdot g_z + \mu \nabla^2 \bar{w} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-\rho \overline{w'u'} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\rho \overline{w'v'} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-\rho \overline{w'^2} \right) \quad (1.52)$$

Bu denklemlerdeki türbülans çalkantı bileşenleri ile ilgili terimlere Reynolds gerilmeleri ya da Eddy gerilmeleri olarak isimlendirilirler. Gerçekte bunlar gerilme değil, taşınım ivmesi terimleridir, fakat gerilmenin matematiksel etkisine sahiptirler. Bu yüzden literatürde gerilme olarak adlandırılmışlardır (White vd., 2006). Aşağıda tariflenmiş olan ikinci dereceden T_{ij} tansörünün toplam dokuz tane Reynolds gerilmesi bulunmaktadır (Yüksel, 2013):

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\overline{\rho u'^2} & -\overline{\rho u'v'} & -\overline{\rho u'w'} \\ -\overline{\rho u'v'} & -\overline{\rho v'^2} & -\overline{\rho v'w'} \\ -\overline{\rho u'w'} & -\overline{\rho v'w'} & -\overline{\rho w'^2} \end{bmatrix} \quad (1.53)$$

Reynolds denklemleri vektör-tansör formunda yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir (Yüksel, 2013):

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla} \bar{p} + \rho \cdot \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} + \vec{\nabla} T \quad (1.54)$$

Türbülans modelleri, Reynolds ortalamalı denklemleri kapatarak Reynolds gerilmelerinde ve Reynolds akıllarında hesaplanması için modeller sağlamaktadır. HAD modelleri genel olarak iki sınıfa ayrılabilir. Eddi viskozite modelleri ve Reynolds gerilim modelleridir (Ansys Inc, 2017).

1.1.10. Çalkantı viskozitesi

Türbülans sürekli oluşturulan ve gönderilen küçük girdaplar içermektedir. Bununla birlikte Reynolds gerilmeleri için de ortalama hız gradyanları ile orantılı olduğu varsayılır. Bu önerme Eddi viskozite modeli olarak tanımlanır (Ansys Inc, 2017):

Eddi viskozite hipotezi ortalama hız gradyanlarına ve gradyan difüzyon hipotezi tarafından Eddi türbülans viskozitesi ile ilişkili Reynolds gerilmeleri olduğunu varsaymaktadır. Benzer bir şekilde laminar newtonyen akıştaki gerilme ve gerilme tansörleri arasındaki ilişki (Ansys Inc, 2017):

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} K \delta_{ij} \quad (1.55)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Burada, μ_t Eddi (türbülans) viskozitesidir. Normal gerilmelerin toplamı süreklilik gereği sıfırdır (Yüksel, 2013):

$$K = \frac{1}{2} \left(\overline{u_1'^2} + \overline{u_2'^2} + \overline{u_3'^2} \right) \quad (1.56)$$

Burada, K kinetik enerjidir. Eddi vizkozite hipotezine benzer olarak, Reynolds akısı da bir Eddi yayılım hipotezidir (Ansys Inc, 2017):

$$\text{Reynolds akısı} = -\rho \overline{u_i \Phi} = \Gamma_t \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \quad (1.57)$$

Burada, Γ_t Eddi yayılımıdır, Eddi yayılımı aşağıdaki şekilde yazılabilir (Ansys Inc, 2017):

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{Pr_t} \quad (1.58)$$

Burada, Pr_t türbülans Prandtl sayısıdır. Yukarıdaki denklemler türbülanslı değişkenlerin ortalama fonksiyonları açısından sadece türbülanslı vizkozite dalgalanmalarını, μ_t ifade edebilir. k- ϵ ve k- ω gibi iki denklem modelleri bu değişkeni kullanır (ANSYS Inc., 1970).

1.1.11 Türbülans modelinin seçimi

Türbülanslı helisel dönen bir akışın hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizinde uygun türbülans modeli için Swirl sayısı belirleyici bir faktördür. Chen vd. (2006), çalışmalarında Swirl sayısı $Sn=0.03$ değerindeki akışa zayıf swirling akış, Swirl sayısı $Sn=0.26$ değerindeki akışa orta seviyede swirling akış, Swirl sayısı $Sn=0.8$ değerindeki akışa yüksek seviyede swirling akış olduğunu belirtmişlerdir. Parra-Santos vd. (2016), ise çalışmalarında Swirl sayısı $Sn=0.2$ değerindeki akışa zayıf swirling akış, Swirl sayısı $Sn=0.7$ değerindeki akışa orta

seviyede swirling akış, Swirl sayısı $Sn=1.2$ değerindeki akışa yüksek swirling akış olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde Swirl sayısı 0.5'den küçük ise zayıf ya da orta seviyede swirling akış olduğu, daimi akış analizlerinin yeterli olabileceği ve bununla birlikte $k-\epsilon$ türbülans modelinin kullanılabileceği (realizable $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ seçimleri ile) önerilmektedir. Fakat Swirl sayısı 0.5'den büyük ise yüksek swirling akışa sahip olduğu ve Reynolds gerilme modellerinin (RSM) tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Ansys Inc, 2001). Guo vd. (2009), çalışmalarında Reynolds gerilme modelinin genellikle iki denklemlilik modellerden daha güvenilir olduğunu fakat RSM modelinin büyük hafıza ve işlemci zamanına ihtiyaç duyduğunu ve yakınsamanın daha zor elde edildiğini bildirmişlerdir. Bunun alternatifi olarak kullanılan realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ise türbülanslı Navier-Stokes denklemlerini kapatmaktadır. Realizable $k-\epsilon$ modeli revize edilmiş bir $k-\epsilon$ türbülans modelidir. Standart $k-\epsilon$ türbülans modeli ile karşılaştırıldığında realizable $k-\epsilon$ modeli güçlü ters basınç gradyanları altında sınır tabakaları, akış ayrılmaları ve rotasyon içeren akışlar için üstün performans göstermektedir. Juraeva vd. (2016), hava girişi ve iplik yükleme yarığının, hava bükümlü düze performansına etkisi konulu çalışmasında Eddi viskozitesinin formülasyona dahil edilerek daha kesin sonuçların tahmin edilmesine katkı sunulduğundan dolayı SST (Kayma Gerilmesi Taşınımı) modelini kullanmışlardır. Diğer bir türbülanslı helisel dönen akış çalışmasında ise daimi akış analiz altında türbülans modelleri karşılaştırılmış ve SST (kayma gerilimi taşınımı) türbülans modeli deneysel çalışmaya en yakın sonuç verdiği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmada SST modeli içerdiği birinci harmanlama fonksiyonu sayesinde potansiyel akış ile sınır tabaka akışının arasındaki geçişi uygun bir şekilde sağlamakta, ikinci harmanlama fonksiyonu ile de hem ters basınç altındaki akışlara duyarlı olma hem de akış ayrılmalarının bulunduğu bölgelerde sonucun doğruluğunu artırmakta ve problemde var olan türbülansı modellemekte başarılı olduğu görülmektedir (Gölsevinçler, 2013).

İki denklem modelleri sıfır ve tek denklem modellerine göre çok daha karmaşıktır. Hız ve uzunluk skalaları ayrı ayrı transport denklemleri kullanılarak çözülmektedir. Bu nedenle iki denklem modeli denilmektedir.

İki denklem modellerinde, türbülans hız ölçeği transport denklemlerinin çözülmesi sonucunda çıkan türbülans kinetik enerjilerine göre hesaplanır. Türbülans uzunluk ölçeği ise türbülanslı alanının iki özelliği olan genellikle türbülans kinetik enerjisi ve yayılım oranı ile tahmin edilmektedir. Türbülans kinetik enerjisi yayılım oranı transport denkleminin çözümünü sağlamaktadır.

İki denklemlili türbülans modellerinden olan BSL (baseline) modeli Wilcox k- ω ve k- ϵ modellerinin avantajlı kısımlarını kombine eder. Ama yinede düzgün pürüzsüz yüzeylerde akışın ayrılmasının başlangıcını ve miktarını tahmin etmekte başarısızdır. Bu başarısızlığın nedenleri Menter (1993) tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir. Sonuçların hassasiyetinin düşük olmasının ana nedeni türbülanslı kayma gerilimi taşınımı modelini çözmemesidir. Bu sonuçlar Eddi viskozite üzerinden tahmin edilmektedir.

k- ω tabanlı SST modeli BSL modelinde olduğu gibi k- ω ve k- ϵ modellerinin avantajlı kısımlarını kombine ederek akışın başlangıcından itibaren ters basınç gradyanları altında ayrılan akış durumlarında çok doğru tahminler verir (Gülsevinçler, 2013). SST türbülans modeli, ω denkleminde bir çapraz difüzyon teriminin eklenmesi ile model denklemlerinin hem yakın-duvar hem de uzak alan bölgelerinde uygun şekilde davranmasını sağlamak için bir harmanlama fonksiyonunu içerir.

1.1.12. SST türbülans modeli

SST türbülans modeli temelde k- ω modeliyle aynı tanımlamaya sahiptir (Ansys Inc, 2001; Pandey vd., 2015):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (1.59)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (1.60)$$

Burada, G_k ortalama hız gradyanları nedeniyle üretilen türbülans kinetik enerjisidir. G_ω , ω üretimidir. Γ_k and Γ_ω , k ve ω 'nın etkili yayılımıdır (difüzyon). Y_k ve Y_ω , türbülans nedeniyle k ve ω 'nın harcanımıdır (disipasyon). D_ω , denklem (1.77)'de formüle edilmiş çapraz difüzyon terimidir. S_k and S_ω , kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir (Ansys Inc, 2001).

1.1.13. Efektif difüzyon modeli

SST k - ω efektif difüzyon modeli aşağıda verilmiştir (Ansys Inc, 2001):

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (1.61)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \quad (1.62)$$

Burada, σ_k ve σ_ω , k ve ω için türbülanslı Prandtl sayılarıdır. Türbülanslı viskozite, μ_t aşağıdaki gibi hesaplanır (Akansu, 2006; Ansys Inc, 2001):

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \frac{1}{\max\left[\frac{1}{\alpha^*}, \frac{\Omega F_2}{a_1 \omega}\right]} \quad (1.63)$$

Burada,

$$\Omega \equiv \sqrt{2\Omega_{ij}\Omega_{ij}} \quad (1.64)$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\frac{F_1}{\sigma_{k,1}} + \frac{1-F_1}{\sigma_{k,2}}} \quad (1.65)$$

$$\sigma_\omega = \frac{1}{\frac{F_1}{\sigma_{\omega,1}} + \frac{1-F_1}{\sigma_{\omega,2}}} \quad (1.66)$$

Düşük Reynolds sayısı düzeltmesi nedeniyle α^* türbülans viskozitesini azaltır. α^* aşağıdaki gibi hesaplanır (Ansys Inc, 2001):

$$\alpha^* = \alpha_\infty^* \left(\frac{a_\infty^* + Re_t/Re_k}{1 + Re_t/Re_k} \right) \quad (1.67)$$

Burada,

$$Re_t = \frac{\rho k}{\mu \omega} \quad (1.68)$$

$$R_k = 6 \quad (1.69)$$

$$\alpha_0^* = \frac{\beta_i}{3} \quad (1.70)$$

$$\beta_i = 0.072 \quad (1.71)$$

Yüksek Reynolds sayılarındaki k- ω modelinde, $\alpha^* = \alpha_\infty^* = 1$. Ω_{ij} rotasyon tansör ortalama oranı ve harmanlama fonksiyonları, F_1 ve F_2 aşağıda verilmiştir (Ansys Inc, 2001).

$$F_1 = \tanh(\Phi_1^4) \quad (1.72)$$

$$\Phi_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right), \frac{4\rho k}{\sigma_{\omega,2} D_{\omega}^+ y^2} \right] \quad (1.73)$$

$$D_{\omega}^+ = \max \left[2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega,2}} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right] \quad (1.74)$$

$$F_2 = \tanh(\Phi_2^2) \quad (1.75)$$

$$\Phi_2 = \max \left[2 \frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right] \quad (1.76)$$

Burada, D_{ω}^+ , çapraz difüzyon teriminin pozitif parçalarıdır, y ise bir sonraki yüzeye olan mesafedir. SST modeli hem standart k- ω modeline hem de standart k- ϵ modeline dayanmaktadır. Standart k- ϵ modeli, bir çapraz difüzyon terimi kullanılarak k ve ω temelli denklemlere dönüştürülmüştür. Denklem (1.60)'daki D_{ω} terimi kullanılarak iki türbülans modelini bir araya getirmektedir. D_{ω} , aşağıda tanımlanmıştır (Ansys Inc, 2001; Lee ve Lim, 2013; Soltanipour vd., 2010).

$$D_{\omega} = 2(1 - F_1)\rho\sigma_{\omega,2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (1.77)$$

SST Türbülans modeli sabitleri aşağıda verilmiştir:

$$\sigma_{k,1} = 1.176 \quad (1.78a)$$

$$\sigma_{\omega,1} = 2.0 \quad (1.78b)$$

$$\sigma_{k,2} = 1.0 \quad (1.78c)$$

$$\sigma_{\omega.2} = 1.168 \quad (1.78d)$$

$$a_1 = 0.31 \quad (1.78e)$$

$$\beta_{i.1} = 0.075 \quad (1.78f)$$

$$\beta_{i.2} = 0.0828 \quad (1.78g)$$

Diğer tüm model sabitleri ($\alpha_{\infty}^*, \alpha_{\infty}, \alpha_0, \beta_{\infty}^*, R_{\beta}, R_k, R_{\omega}, \xi^*$ ve M_{t0}) standart k- ω modeli ile aynı değerlere sahiptir.

1.2. Dönen Akışların Matematiği

Birim zamandaki dönme vektörü, açısal hız vektörüne eşittir. Aynı zamanda çevrinti hızı olarak da isimlendirilmektedir (Yüksel, 2013). Kartezyen koordinatlarda açısal hız vektörü aşağıda verilmiştir:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \nabla \times \vec{V} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \vec{i} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \vec{j} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \vec{k} \quad (1.79)$$

1.2.1. Sirkülasyon

Kapalı bir eğri boyunca teğetsel hızın integraline sirkülasyon denmektedir (Yüksel, 2013).

$$\Gamma = 2\pi r^2 \omega \quad (1.80)$$

1.2.2. Vortisite

Yarıçapı r olan küçük bir akışkan elemanının ω ortalama açısal hızı ile dönmesi durumunda sirkülasyon aşağıdaki gibi yazılır (Yüksel, 2013):

$$\Gamma = \int_0^{2\pi} \omega r ds \quad ; \quad ds = r d\theta \quad (1.81)$$

$$\Gamma = \int_0^{2\pi} \omega r^2 d\theta = 2\pi r V_{\theta} \quad (1.82)$$

Dönen akışkanın alanı:

$$A = \pi r^2 \quad (1.83)$$

Olmak üzere, vortisite bir noktada birim alandaki sirkülasyon olarak tanımlanır. (Yüksel, 2013).

$$\vec{\zeta} = \frac{2\omega A}{A} = 2\vec{\omega} \quad (1.84)$$

Vortisite vektör notasyonunda hız vektörü $\vec{V}$ 'nin rotasyoneli olarak tanımlanmaktadır. Buna aynı zamanda çevrinti vektörü de denilmektedir (Çengel vd., 2008).

$$\vec{\zeta} = \text{rot } \vec{V} = \text{curl } \vec{V} = \vec{\nabla} \times \vec{V} \quad (1.85)$$

1.2.3. Helisite

Dönümün momentum yönündeki yaptığı helis şeklindeki izdüşüme helisite denilmektedir. Üç boyutlu helisite tanımı skalerdir.

$$H = \zeta \cdot \vec{V} = (\vec{\nabla} \times \vec{V}) \cdot \vec{V} \quad (1.86)$$

1.2.4. Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısı

Esnek bir akım çizgisi, esnekliğine, en-boy oranına ve ortam akış alanına bağlı olarak çeşitli karmaşık dönme paternlerinden geçebilir (Forgacs ve Mason, 1959; Goldsmith ve Mason, 1967). Teğetsel olarak enjekte edilen swirling boru akışları için, teğetsel girişlerle oluşturulan ve Swirl sayısı ile nicelendirilen girdap yoğunluğu akışkan davranışlarını, dolayısıyla lif hareketini etkiler. Akış alanlarında büyük ölçüde etkisi olan Swirl sayısı açisal momentumun eksenel akısının, eksenel momentumun eksenel akısı ve yarıçap çarpımına oranı olarak ifade edilmektedir (H. F. Guo, Xu, vd., 2011).

$$S_n = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^R u_z u_\theta r^2 dr d\theta}{R \int_0^{2\pi} \int_0^R u_z^2 r dr d\theta} \quad (1.87)$$

Burada, R ana deliğin yarıçapı, u_z aksenal hız bileşeni, u_θ teğetsel hız bileşeni, r ve θ ana delik merkezine göre alınan radyal ve açısal koordinatlarıdır. Bu hızlar önceden bilinemediğinden büküm odası ve giriş kesit alanlarındaki kütle akışlarının oranına dayanan bir geometrik swirl sayısı da tanımlanabilir (Chang ve Dhir, 1994).

$$S_g = \left(\frac{m_t}{m_T}\right)^2 \left(\frac{D}{d}\right)^2 \frac{\sin\theta}{N} \quad (1.88)$$

Burada, m_t ve m_T enjektörlerdeki ve test kesitindeki (büküm odası) toplam kütleli debi, D büküm odası çapı, d enjektör çapı, θ enjektör açısı ve N enjektör sayısıdır.

Türbülanslı jetlerde helisel dönen akış, jetin büyümesinde, sürüklenme hızında ve jetin bozunum hızında artışa neden olur. Helisel dönme seviyesi arttıkça bu etkiler de artmaktadır (Lucca-Negro ve O'Doherty, 2001).

1.2.5. Resirkülasyon bölgeleri ve vorteks bozulmaları

Swirl sayısı (S_n) 0.6 değerinin altında, herhangi bir aksenal konumda santrifüj etkileri nedeniyle belirgin radyal basınç gradyanı meydana gelebilir. Ancak bunlar eksensel resirkülasyona neden olacak kadar uzunlamasına (eksenel) basınç gradyanını oluşturmazlar. Eksenel ve teğetsel hız bileşenleri arasında hiçbir bağlantı yoktur. Helisel dönme seviyesi arttığında ise, aksenal ve radyal hız bileşenleri arasında güçlü bir birleşme meydana gelir. Bir noktaya gelindiğinde, nozul eksenini boyunca ters basınç gradyanı (akışın ters yönünde oluşan, statik basıncın arttırılması sonucu kinetik enerjinin azalmasına ve hızın düşmesine yol açan basınç gradyanı) aksenal yönde akan akışkan parçacıkların kinetik enerjisi ile üstesinden gelinemediğinde jetin orta bölümünde bir resirkülasyon akışı gözlenmeye başlanır. Resirkülasyon akış bölgesinin oluşumu

bir vorteks bozulması formudur (Syred ve Beér, 1974). Leibovich (1978), ise vorteks bozulmasını teğetsel ve eksenel hız bileşenleri oranı karakteristik değişimi ile başlatılan bir vorteksin yapısındaki bir değişiklik olarak açıklamıştır.

1.2.6. Vorteks çekirdeğinin devinimi

Vorteks bozulması genellikle sadece asimetric olmayıp aynı zamanda zamana bağımlıdır (Chanaud, 1965; O'Doherty vd., 1999; Syred ve Beer, 1972a, 1972b; Vonnegut, 1954). Bu durum, akışın zorunlu vorteks bölgesinin kararsız hale gelmesinin sonucudur. Helisel dönen akış, simetri eksenini etrafında devinmeye (presesyon, bir dönme ekseninin başka bir eksen etrafında da dönmesi) başlar. Bu duruma vorteks çekirdeği devinimi adı verilir (Syred ve Beer, 1972b; O'Doherty vd., 1999).

1.3. Hava Düzeleri

Hava düzelerinin çeşitli eğirme sistemlerinin daha iyi iplik özelliklerine yönelik olarak modifiyesi amacıyla kullanımı konusundaki denemeler ilk olarak Wang vd. (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında başlık ve gövde bölümünden oluşan dairesel bir forma sahip bir düze kullanılmıştır. Bu çalışmayı takiben pek çok araştırmacı bu konuda denemeler yapmış ve benzer bir forma sahip olan düze tasarımını incelemiştir (Jeon, 2000; Zeng ve Yu, 2004; Guo vd., 2009; Guo, Xu, vd., 2011; Yılmaz ve Usal, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Qiu vd., 2016; Ahmed vd., 2018;). Patnaik vd. (2008, 2005), Rengasamy vd. (2006) ve Guo, Yu, vd. (2011) konik büküm odasına sahip bir düze tipi ile çalışmışlardır. Guo vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada ise dairesel form yanında çıkışı yarıklı konfigürasyona sahip konik formu düzeler içerisindeki hava akımı olayları sayısal metotlarla incelenmiştir.

Araştırmacılar, düze tasarımı ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda yoğun olarak büküm odası çapının hava akımı yapısı ve iplik özelliklerine özellikle iplik tüylülüğüne etkisini analiz etmişlerdir. Düzeden oluşan eğirme sisteminin iplik

özelliklerine etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarda büküm odası çapı olarak Ø1.6-Ø3.0 mm aralığında, 1-6 çevresel enjektör adedine, Ø0.2-Ø0.8 mm enjektör çapı aralığına ve 0°, 15°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50° ve 55° enjektör açısı değerlerine odaklanmışlardır (Oxenham ve Basu, 1993; Jeon, 2000; Zeng ve Yu, 2003, 2004; Rengasamy vd., 2005, 2008; Patnaik vd., 2005, 2006, 2007, 2008; Guo vd., 2007, 2008, 2009; Yılmaz ve Usal, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Shang vd., 2015; Qiu vd., 2016; Sun ve Pei, 2016; Ahmed vd., 2018;). Her çalışmada kısıtlı bir yapısal parametre ve farklı akışkan özellikleri (basınç, kütleli debi, nem, sıcaklık, vb.) ile çalışılmıştır. Yapısal parametrelerin iplik özellikleri üzerindeki etkisini araştıran kısıtlı çalışmalar olsa da, sistematik bir çalışma literatürde yer almamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Helisel Dönen Akışlar, Swirl Sayısı ve Vorteks Bozulması ile İlgili Çalışmalar

Harvey (1962), bir boru içerisinde dönen akışlar üzerine deneyler gerçekleştirmiştir. Ters akış olmayan ve hızlı helisel dönen sütunlu akış tersinmelerine sahip bir akışta helisel dönme seviyesini değiştirerek vorteks bozulmasının zayıf dönen helisel akışlar arasında bir ara safha olduğunu keşfetmiştir. Ters akış, kritik bir fenomenin göstergesi olarak kabul edilmiştir. Vorteks bozulmasını vorteksin ekseninde sanal bir küresel gövde bulunduğu ve akışkanın etrafından akması zorunluluğu izlenimi veren bir yapı olarak açıklamıştır. Uygulamada hayali cisim, aşağı akım durgunluk noktasında biraz uzatılmış küre şeklini alan bir kabarcıktır. Benzer koşullarda bu vorteks bozulmasının önünde olanlar ikinci bir vorteks bozulması meydana gelene kadar kısa bir mesafe içinde eski haline döndüğünü gözlemlemiştir.

Chanaud (1963), düşük Reynolds sayılarında ($Re_{\text{boru}} < 300$) laminar ve kararlı akışta salınım hareketi görünümü gözlemlemiştir. $Re_{\text{boru}} \sim 300$ 'de kararlı ters akış bölgesi ortaya çıkmış ve Re_{boru} biraz arttıkça büyümeye başlamıştır. Dört teğetsel girişten birinin hızlı sıkıştırılmasından kaynaklanan bir rahatsızlık (disturbasyon), düzenli bir geçici periyodik hareket meydana getirmiş ve birkaç döngüden sonra gözden kaybolmuştur. Re_{boru} 'da ölçülemeyecek kadar çok küçük bir artıştan sonra periyodik hareketin sönümlenmesi daha uzun sürmüştür. Yüksek Reynolds sayılarında, Periyodik hareketin genliği artmış ve sarmala benzeyen bir akış gözlemlediğini belirtmiştir.

Lowson (1964), delta kanatların kanat uzunluğu iki katına çıkarsa, vorteks bozulmasının konumu uç noktasından iki kat daha uzakta olduğunu fark etmiştir. Arka kenardan kaynaklanan kanat üzerindeki basınç geri kazanımının bozulmanın nihai konumunu düzenleyen birincil faktör olduğunu belirtmiştir.

Swithebank ve Chigier (1969), uygun koşullarda transonik jetlerde $Sn=0.1$, subsonik jetlerde ise $Sn=0.6$ swirl sayılarında ters akışın mümkün olduğunu göstermişlerdir. Karıştırma hızı, enjektör açısı ve iç ters akış bölgesinin büyüklüğünün, Swirl sayısının değişmesiyle kontrol edilebildiğini belirtmişlerdir.

Cassidy ve Falvey (1970), çalışmalarında herhangi bir probun akış üzerine yerleştirildiğinde vorteks bozulmasının hızlı bir yukarı akım hareketini gözlemlemiştir. Vorteks bozulması içeren akışlarda fiziksel prob kullanımı, vorteks bozulmasının yaşandığı konumun tahminini engellediğini ortaya koymuşlardır. Deneylerinde borunun çıkışı kısmen tıkanırsa helisel vorteksin eksenel dönme frekansını önemli ölçüde arttırdığını gözlemlemiştir.

Sarpkaya (1971(a)), hafifçe genişleyen silindirik bir boru içine sistematik ve bağımsız olarak değişen akış hızı ve sirkülasyonda akışkan (su) uygulamış ve çift sarmal, spiral ve eksenel simetrik (kabarcık) olmak üzere üç tip vorteks bozulması gözlemlemiştir.

Hall (1972), helisel dönen akışlardaki eksenel basınç gradyanlarının iki bileşenden oluştuğunu ilk kez ortaya koymuştur. Birinci bileşen uygulanan dış basınç gradyanı, ikinci bileşen ise helisel dönüş katkısı nedeniyle olduğunu belirtmiştir. Vorteks çekirdek kenarında uygulanan basınç gradyanlarına yüksek helisel dönüş hızları uygulandığında bu gradyanlar merkez hattı üzerinde güçlendiğini, böylece, belirli koşullar altında, uygulanan basınç gradyanının negatif olması durumunda bile pozitif bir eksenel basınç gradyanı mevcut olabileceğini ortaya koymuştur.

Syred ve Beer, (1972b), çalışmasında vurguladığı ve Kurosaka (1982) çalışmasında doğruladığı Ranque-Hilsch tüpü içerisinde bir vorteks çekirdeği devinimi varlığı ve bu fenomenin enerji ayırma işlemine önemli bir katkısı olduğu sonucuna varmışlardır. Benzer olarak, vorteks çekirdeği deviniminin varlığı yanıcılar ve toz ayırma / sınıflandırma sistemleri içinde de gözlenmiştir.

Escudier ve Zehnder (1982), sirkülasyon sayısı arttıkça vorteks bozulmasının giderek istikrarlı hale geldiğini, helisel dönüşün daha da artması akış deseninde başka bir değişiklik yapmadığını ve sadece yukarı akım sınırına ulaşınca kadar bozulmayı yukarıya doğru ilerlettiğini gözlemlemişlerdir.

Krause (1985), vorteks bozulması noktasının yukarı akım için momentum denklemlerinin basit bir analizini gerçekleştirmiştir. Analizde akış sıkıştırılmaz, sabit ve eksenel simetrik olarak kabul edilmiştir. Vorteksin başlama noktası ile vorteks bozulması arasındaki mesafe, maksimum azimut (açısal konum) hızının karesiyle ters orantılı olduğu ve serbest akış hızının karesi ile doğrudan doğruya orantılı olduğu sonucuna varmıştır. Bu durum vorteks bozulmasının, birincisinin azaltarak ve ikincisinin arttırarak ertelenebildiği anlamına gelmektedir.

Payne vd. (1988), vorteks bozulma formlarından iki formun (veya daha fazlasının) aynı anda akış içerisinde var olabileceği ve kendiliğinden birbirlerine dönüşebildiği akış ayarlarının çok sayıda sınır çizgisi aralığı olduğunu belirtmiştir. Çalışmalarında kabarcık ve spiral tip bozulmalar arasında periyodik bir geçiş bile gözlenmiştir. Sarpkaya (1971(b)), bu bölgeyi histerezis (kesiklik, gecikme) bölgesi olarak adlandırmıştır. Çünkü gözlemci helisel dönüş seviyesini arttırmak veya azaltmak suretiyle korunan spiral ya da kabarcık biçimdeki başlangıç formunu gözlemlemiştir.

Chang ve Dhir (1994), çalışmalarında çekirdek ve halka şeklindeki bölgeleri sırasıyla zorlanmış vorteks ve serbest vorteks tipleri ile karakterize etmişlerdir. Bununla birlikte, zorlanmış vorteks bölgesi ve serbest vorteks bölgesi arasında oldukça büyük bir geçiş bölgesi vardır. Çekirdek ve halka şeklindeki bölgelerin kapsamı, yerel swirl yoğunluğuyla ilişkilendirilmiştir.

Panda ve McLaughlin (1994), swirling jetler ile 20000-60000 Reynolds sayısı aralığında ve $Sn=0.5$ nominal Swirl sayısında duman ile görselleştirme, sıcak tel anemometrisi ve akustik uyarıcı kullanarak deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Doğal jetin akış görselleştirme fotoğrafları, çekirdekte

vorteks bozulması ve kesme katmanının enjektör çevresinde yuvarlanıp zayıf, düzensiz, büyük ölçekli organize yapılara döndüğünü göstermektedir. Akustik uyarma ile zorlandığında bu yapılar enerjik ve periyodik hale gelmiştir. Akış vorteks bozulması ile etkileşime girdikten sonra, enjektör çevresi boyunca kayma tabakası organize yapısını kaybettiğini belirtmişlerdir.

Sheen vd. (1996), çeşitli Reynolds sayıları ve çeşitli kanat açısı koşulları altında radyal tipteki bir swirl jeneratörünün Swirl sayısı üzerinde bir korelasyon elde etmek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Halka şeklindeki bir döner jet akışını üretmek için 16 döner kılavuz kanadına sahip radyal tipte bir swirl jeneratörü kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında Reynolds sayıları 60 ile 6000 arasında kanat açısı ise 0° ile 56° arasında değişmiştir. Hızlar için kantitatif ölçümler, optik bir lazer-doppler anemometrisi (LDA) kullanılarak yapılmıştır. Swirl jeneratörü için değiştirilmiş bir Swirl sayısı elde edilmiş, düşük Reynolds sayı durumlarında Swirl sayısının Reynolds sayısına güçlü şekilde bağlı olduğu bulunmuştur.

Champagne ve Kromat (2000), çalışmalarında dönen eş-eksenli hava enjektörlerinin akış alanını akış görselleştirmesi ve sıcak tel anemometrisi kullanarak ölçmüşlerdir. Özel deneysel kurulumları için, bir iç devridaim bölgesinin oluştuğu swirl sayıları aralığını ve kütleli debi oranlarını gösteren bir şema sağlamışlardır. İç jetin Reynolds sayıları (düze çapına bağlı olarak) 10^3 sırasına göre sıralamışlardır. Akışta resirkülasyonların oluşması için gereken minimum Swirl sayısını yaklaşık $Sn=0.55$ olduğunu, kütleli debi değeri düştükçe resirkülasyonların oluşması için bu swirling sayının artması gerektiğini grafik yardımıyla göstermişlerdir.

Rocklage-Marliani vd. (2003), Swirl sayısını kütleli debi ortalama azimut hızının ortalama eksenel hıza oranıyla tanımlandığı gibi hız profillerinden bağımsız olan vorteks bozulmasının başlatılması için kritik Swirl sayısını $Sn \cong 1.2-1.3$ aralığında olduğunu belirtmiştir.

Chen vd. (2006), teğetsel olarak enjekte edilen swirling akışın sayısal ve deneysel bir çalışması gerçekleştirmişlerdir. Aşağı akımda 0.03 ile 0.8 aralığında değişen swirl sayıları üzerinde HAD simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Swirl sayısı 0.8'de güçlü bir şekilde dönen bir eksenel simetrik akış alanını elde etmenin Swirl sayısı 0.26 olan akışa göre daha kolay olduğunu göstermişlerdir. Deneylerde, farklı eksenel konumlardaki akış düzeninin değişmesi orta seviyede swirle sahip akışta ($Sn=0.26$) belirgindir, ancak yüksek swirle sahip akışta bu durum ($Sn=0.8$) gözlenmemiştir. Düşük helisel dönme seviyesinde ($Sn < 0.6$), herhangi bir eksenel konumda santrifüj etkileri nedeniyle belirgin radyal basınç gradyanı meydana gelebilir. Ancak bunlar eksensel resirkülasyona neden olacak kadar uzunlamasına basınç gradyanını oluşturamazlar. Eksenel ve teğetsel hız bileşenleri arasında hiçbir bağlantı yoktur. Helisel dönme seviyesi arttığında ise, eksenel ve radyal hız bileşenleri arasında güçlü bir birleşme meydana gelir. Bir noktaya gelindiğinde, nozul eksenini boyunca ters basınç gradyanı (akışın ters yönünde oluşan, statik basıncın arttırılması sonucu kinetik enerjinin azalmasına ve hızın düşmesine yol açan basınç gradyanı) eksenel yönde akan akışkan parçacıklarının kinetik enerjisi ile üstesinden gelinemediğinde jetin orta bölümünde bir resirkülasyon akışı gözlenmeye başlanır. Resirkülasyon akış bölgesinin oluşumu bir vorteks bozulması formudur.

Giannadakis vd. (2008), çalışmalarında vorteks bozulmasının başlaması için yaygın olarak kullanılan kritik bir değer $Sn = 0.57$ olduğunu belirtmişlerdir. Teğetsel olarak enjekte edilen girdap akışları için, teğetsel toplam momentum akı oranına, eksenel momentum akışını bağımsız olarak kontrol etmek mümkün olmadığından benzerlik parametresi olarak kullanılmıştır.

Guo vd. (2008), çalışmalarında ipliğe büküm verilen düzenin büküm odası çıkışına doğru 4 adet yarık açmışlardır. Slotlu büküm odası ile slotsuz olanın simülasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmada, slotlu büküm odası slotsuz olan büküm odasına göre, yukarı akımda resirkülasyon gücü ve büyüklüğünün aşağı akımda ise vorteks bozulması büyüklüğünün arttığını gözlemlemişlerdir. Slotlu düze kullanılarak üretilen ipliklerin, iplik mukavemetinin artacağını düşünmektedirler. Yüksek düze basınçlarının yüksek

akış hızlarına neden olacağı, dolayısıyla daha güçlü vorteks bozulmaları meydana getireceği belirtilmiştir. Eğer basınç belirli bir düzeyin üzerine çıkarılırsa, lif bükümünün rastgele olacağı ve tam tersi olarak iplik mukavemetinin düşeceğinden bahsedilmiştir.

Ashrul Ishak vd. (2009), çalışmalarında palmye yağı yanmasının NO_x ve CO emisyonları üzerinde vorteks sayısı etkisinin deneysel bir araştırması yapılmıştır. 1.911 Swirl sayısında NO_x emisyonlarında %12 civarında bir azalma sağlanmıştır. Diğer emisyonlarda da Swirl sayısı yükseldikçe emisyonlarda düşüş gözlenmiştir. Bu durum swirl oluşturunucuların ateşlemeden önce havanın ve biyo-yakıtın karışım işlemini iyileştirdiğini göstermektedir.

Singh ve Ramamurthi (2009), keskin kenarlı bir koanda nozulu üzerinde PIV (parçacık görüntülemeli akış ölçüm cihazı) kullanarak helisel dönen gaz deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Koanda nozulunun hem Reynolds sayısından hemde gaz jetinin Swirl sayısından etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Hem laminar hem de türbülanslı akışlarda Koanda nozulu ile oluşturulan akışın Reynolds sayısı arttıkça Swirl sayısının da artmakta olduğunu gözlemlemişlerdir.

Luginsland ve Kleiser (2015), giriş ve çıkış sınır koşullarına vorteks bozulmasına uğrayan swirling nozul akışlarının sayısal simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Sıkıştırılabilir akışkan rejiminde, Ma=0.6 hız ve Re=5000 değerlerinde simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Swirl sayısının 0.75 değerinin aşması ile vorteks bozulmasının başladığını ortaya koymuşlardır.

Parra-Santos vd. (2015), çalışmalarında, vorteks sayısının iki sınırlı eş-eksenli jetin karıştırılması üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Vorteks jeneratörü halka şeklindeki düzeye yerleştirilmiş bir dizi sabit kanattır. Farklı arka kenar açıları, 0.14 ila 0.95 arasında değişen vorteks sayılarına neden olmuştur. Düşük dönen akış, sıvının karıştırma odasının merkezine doğru dönmesini desteklememektedir, bu da zayıf gradyanlara sahip daha büyük karıştırma bölgeleri ile sonuçlanmaktadır. Orta ve daha büyük Swirl sayısındaki akışlar (Sn

0.74-0.95) için basınç dağılımı, odanın eksenine yakın bir vorteks ampulünün oluşumunu desteklemektedir. Ayrıca, bu durgunluk noktasının yakınındaki iç sirkülasyon noktasının dışbükey veya içbükey şekli, kütle ve ısı transferi üzerinde önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Wannassi ve Monnoyer (2015), akışkan akışı ve birleşik helisel dönen ve düz darbeli nozul dizilerinin konvektif ısı transferi çalışmalarında helisel dönüş jeneratörleri saat yönünün tersine çift yönlü olarak yerleştirmişlerdir. Helisel dönen nozul düzeneği, bıçak tipi bir helisel dönüş jeneratöründen oluşur. Farklı bıçak yönleri, farklı helisel dönüş yoğunluklarına sahip jetleri oluşturmaktadır. Deney sonuçlarında 45° lik bıçak açısına sahip jeneratörün helisel dönüş oranı için en önemli açı değeri olduğu ortaya konmuştur.

Parra-Santos vd. (2016), Swirl sayısının yarı kapalı alevlere etkisi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, stokiyometrik metan-hava dönen alevi, Reynolds ortalamalı Navier Stokes denklemleri ve basitleştirilmiş reaksiyon mekanizmaları kullanılarak modellenmiştir. Reaksiyon bölgesi, swirl yoğunluğundan güçlü bir şekilde etkilenmiştir. Swirl sayısı ne kadar yüksek olursa, reaksiyon bölgesinin o kadar dar olduğunu belirtmişlerdir. Reaksiyon ürünlerinin termodinamik durumu, sabit basınçtaki denge durumunkine ile iyi eşleştiğini gözlemlemişlerdir.

2.2. Hava Düzesinin Kullanılmasına Dayanan Eğirme Sistemleri ile İlgili Çalışmalar

Patnaik vd. (2006), çalışmalarında Nozzle-ring iplik eğirme esnasındaki iplik tüylülüğünün azaltılmasındaki düze parametrelerinin, yani enjektör açısı ve çapının etkisini analiz etmişlerdir. Değişken enjektör açıları 40°, 45° ve 50° ve sabit büküm odası çapı Ø2.2 mm olan üç enjektörlü ve Ø2.6 mm büküm odası çaplı 40° enjektör açılı düzeleri kullanmışlardır. Düze içindeki hava akımını HAD modellemesi, 45° enjektör açısına ve Ø2.2 mm büküm odası çapına sahip düzenin, S3 tüylülük değerlerinin azaltılması açısından en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Nozzle-ring ipliklerinden yapılan kumaşlar, düze kullanılmadan

eğrilen ipliklerden üretilenlere kıyasla daha az boncuklanma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Guo vd. (2009), geometrik parametrelerin teğet olarak enjekte edilen dönen boru hava akımı üzerindeki etkisinin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Enjeksiyon açısı arttıkça, enjektörlerin giriş yönünde hızın belirgin şekilde arttığı ve enjektörlerin akış yönünde vorteks bozulmasının yeri hızla aşağı akıma doğru hareket ettiği belirlenmiştir. Daha büyük bir enjeksiyon açısı daha büyük bir ters jete neden olacaktır. Bu halde lifleri düzeye çekmek kötüdür. Bununla birlikte, çok küçük bir enjeksiyon açısı büyük dış eğimi oluşturabilir ve düşük büküm torkuna yol açabilir. Enjektörlerin çapı ve sayısı etkileşimli ve birbirine bağlıdır. Toplam enjeksiyon alanı sabit tutulduğunda, enjektör sayısındaki artış, enjektör çapının azalması anlamına gelir, enjektörün aşağı akım yönündeki vorteks bozulmasının gücü bir miktar artmaktadır. Büküm odası çapının en önemli parametrelerden biri olduğunu belirtmişlerdir.

Guo, Xu, vd. (2011), hava düzelerinde üç boyutlu teğet olarak enjekte edilen dönen hava akışında iplik dinamiklerini simüle etmek için iplik liflerinin partikül seviyesindeki simülasyonu için sayısal bir model kullanmışlardır. Lif, kütlesiz çubuklarla birbirine bağlanmış boncuk zincirleri olarak modellenmiş ve esnekliği, bükülme ve bükülme yer değiştirmeleri ile tanımlanmıştır. İplik başlangıç konumu, enjeksiyon açısı ve enjektör çapı gibi bazı parametrelerin iplik hareketi ve iplik özellikleri üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Küçük enjektör açılarında aşağı akımda kendiliğinden dolaşma iplik hareketini gözlemlemiştir. Model ayrıca, küçük bir enjektör çapına sahip olan düzede karmaşık helisel konfigürasyonu da öngörmüştür. İplik özelliklerinin öngörülmesi, bazı araştırmacılar tarafından bildirilen deneysel sonuçlarla örtüşmektedir.

Guo, Yu, vd. (2011), enjektör çapı, açısı ve konumu gibi bazı geometrik parametrelerin, konik bir büküm odasına sahip düzede 3D sıkıştırılabilir sönümlenen helisel dönen akış içindeki iplik hareketleri üzerindeki etkilerini incelemek için parçacık seviyesi simülasyon yöntemi kullanmışlardır. Elyafın esnekliği, bükülme ve kıvrılma yer değiştirmeleri ile tanımlanmıştır. Enjektör

apındaki artışla birlikte, ipliğin deformasyon derecesi artmıştır. Enjeksiyon açısı ne kadar artarsa, elyaf da o kadar erken kıvrılmaya başladığı ve dönüş sayısı o kadar büyük olduğu belirtilmiştir. Dolaşma ile karmaşık kıvrılmış yapılandırmalar küçük enjeksiyon açısı altında gözlenmiştir. Özellikle, daha büyük enjeksiyon açısı ve enjeksiyon konumunda bir "zigzag" konfigürasyonu oluşturulmuştur.

Yılmaz (2011), tez çalışmasında, düze, basınçlı hava ve iplik olmak üzere üç temel bileşenin bir arada kullanıldığı bir eğirme sisteminin, tek ve çift katlı iplik üretiminde kullanımı sonucunda iplik özelliklerinde meydana gelen değişimin analiz edilmesi ve iplik özellikleri açısından optimum çalışma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada öncelikle, farklı tasarım parametrelerine sahip düzeler ile düzelerin kullanımı için tasarlanan bir destekleme aparatı, konvansiyonel ring ve sirospun iplik eğirme sistemlerine yerleştirilip, farklı hava basıncı değerinde %100 pamuk iplikler üretilmiştir. Hava düzesi kullanarak üretilen tek katlı iplikler “Jetring”, ift katlı iplikler ise “siro-jet” olarak adlandırılmıştır. Düze ve basınçlı hava kullanarak üretilen ipliklerin yapı ve özellikleri, düze kullanılmadan üretilen ipliklerle karşılaştırılmıştır. Elektronik kütlesel debimetre ve basınç kontrolörü gibi ölçüm cihazları ile düze girişindeki basınçlı havaya ait kütlesel debi ve basınç gibi değerler ölçülmüştür. Elde edilen değerler kullanarak, her bir düze içerisinde meydana gelen hava akımı tipi ve hava akımına ait hız ve basınç gibi zellikler ANSYS CFX programı kullanarak sayısal olarak analiz edilmiştir. İplik retimi ve iplik özelliklerinin analizine dayanan deneysel çalışmalar ile hava akımının simülasyonuna dayanan sayısal analiz sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma, başta düze ve basınçlı havanın kullanımına dayanan çift katlı iplik eğirme sisteminin geliştirilmesi olmak üzere, geniş bir aralıkta değişim gösteren tasarım parametrelerine sahip düzelerin kullanımı ve sonuçta elde edilen iplik yapı ve özellikleri, basınçlı havaya ait kütlesel debi ve basınç ölçümleri, her bir düze içerisinde meydana gelen farklı hava akımı davranışlarının simülasyonu ve iplik çevresindeki hava akımı yapısı ve bu yapının iplik özelliklerine etkisi açısından literatüre pek çok bulgu kazandırmıştır.

İpek (2011), tez çalışmasında, hava düzesi problemi üzerinde farklı çözüm ağı örme metodları kullanarak doğru çözüm ağı yönteminin belirlenmesini amaçlamıştır. Analizde, düzenin hava girişinden 114.521 kPa değerine sahip basınçlı hava verilip, çıkış ve açıklık sınır şartları tanımlanmıştır. Daha sonra, akışkan tipi olarak 21°C ortam sıcaklığında ideal gaz olan hava akışkanı seçilip, türbülans modeli olarak SST (kayma gerilmesi taşınımı) kullanılmıştır. Daha önce deneysel olarak elde edilen (Yılmaz, 2011) kütleli debi sonuçları karşılaştırılarak, elaman sayısı, çözüm ağı türü, çözüm ağı yöntemi, kullanılan çözüm ağı programı gibi parametreler ile bu sonuca en yakın kütleli debi değerini bulmanın amaçlandığı bu tezin sonuçları incelendiğinde, seçilen problemde deneysel çalışmaya en yakın çözüm ağının "CFX hexa 3" olduğu ortaya çıkmıştır.

Pei vd. (2012), çalışmalarında vorteks düzesi içindeki hava akışından dolayı meydana gelen lif hareketini simüle etmek için sayısal bir model sunmuşlardır. Çalışmalarına göre elyaf-duvar teması ile elyaf-hava akışı arasındaki bağlantı çözülmüştür. Sayısal modele dayanarak, vorteksli eğirme ağzının içindeki hava akışındaki dört tip lifin (pamuk, viskon rayon, liyosel ve polyester elyaf) hareket karakteristikleri simüle edilmiş ve analiz edilmiştir. Vorteks iplik yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenmiş ve farklı tipteki liflerden bükülen vorteks ipliklerinin lif mukavemet kullanım faktörleri, yapay benzetim ile elde edilen vorteks ipliklerinde farklı tipteki liflerin sarma etkilerini doğrulamak için karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki uygunluk, bu araştırmada önerilen sayısal modelleme metodolojisinin hava akışındaki iplik dinamiklerini araştırmanın güvenilir bir yolunu ve akışkan içeren polimer / tekstil imalat işlemlerinde mekanik sorunlara etkin bir çözüm getirdiğini göstermişlerdir.

Gülsevinçler (2013), tez çalışmasında, sıkıştırılabilir akışkan içeren uygun bir mühendislik problemi üzerinde farklı türbülans modelleri kullanılarak probleme en uygun türbülans modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için seçilen problem bir hava düzesi üzerinde yüksek hızlı hava akışının sayısal olarak modellenmesi ve oluşan türbülanslı akışın farklı türbülans modelleri

yaklaşımlarıyla çözümüne yöneliktir. Bu çalışma kapsamında Solidworks, Flow Simulation ve ANSYS CFX ticari yazılımlar kullanılarak, seçilen karmaşık geometrili hava düzesi üzerinde çalışılmıştır. Seçilen hava düzesi Ø3 mm ana delik, Ø0.5 mm yardımcı delik çaplı, çevresel 3 delikli, 15° de lik açılı bir geometriye sahiptir. Analizde düzenin hava girişine 114.521 kPa değerinde basınçlı hava verilip, çıkış ve açıklık sınır şartları tanımlanmıştır. Akışkan tipi olarak 21°C ortam sıcaklığında ideal gaz olan hava seçilmiştir. Türbülans modeli dışındaki tüm analiz parametreleri sabit tutulup, analizler ANSYS CFX programı ile ayrı ayrı çözülmüştür. Türbülans modelleri olarak ANSYS CFX'de var olan 14 adet türbülans modeli kullanılmıştır. Bu modellerin bazıları incelediğimiz problemi çözememiş, bazı modeller problemde uygun yakınsamayı elde edememiştir. Ancak SST, k-epsilon, RNG k-epsilon, k-omega, Eddi viskozite taşınım denklemi ve baseline modelleri ise problemi başarılı bir şekilde çözebilmiştir. Daha önceki çalışmalarda deneysel olarak elde edilen kütleli debi sonuçları referans alınarak, türbülans modelleri değiştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda sonuca en yakın kütleli debi değerini bulmanın amaçlandığı bu tezde, SST türbülans modeli en doğru sonucu vermiştir. Yapılan çalışma sonucunda SST modelinin, içerdiği birinci harmanlama fonksiyonu sayesinde potansiyel akış ile sınır tabaka akışının arasındaki geçişi uygun bir şekilde sağlamakta, ikinci harmanlama fonksiyonu ile de hem ters basınç altındaki akışlara duyarlı olma hem de akış ayrılmalarının bulunduğu bölgelerde sonucun doğruluğunu artırmakta ve problemde var olan türbülanslı modellemekte başarılı olduğu görülmektedir. Grafik sonuçlarının diğer modeller ile karşılaştırılmasına istinaden, daha mantıksal sonuç üretmesi ve kütleli debi değerinin deneysel değerlerle örtüşmesi bu modelin deneysel sonuca en yakın bir çözüm ürettiğinin göstergesidir.

Öz (2015), tez çalışmasında, geometrik boyutları önceden belirlenmiş silindirik bir hava düzesi içerisindeki dönerek ilerleyen hava akımının genel davranışları incelenmiştir. Akış analizleri daimi akış (statik) ve transient (dinamik) olarak ANSYS CFX programıyla yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Bu çalışmada, seçilen hava düzesi için ana delik çapı Ø2.5 mm, enjektör çapları Ø0.5 mm, düze uzunluğu 24 mm, çevresel 4 delikli, 15° açılı bir geometri kullanılmıştır. Düze

geometrisi giriş ve çıkış alanları dışarısındaki alanda bulunan akışın incelenmesi için iç çapı $\varnothing 0.2$ mm, dış çapı $\varnothing 20$ mm ve uzunluğu 20 mm olan iki kontrol hacmi düze giriş ve çıkışlarına yerleştirilmiştir. Analizde düzenin hava giriş basıncı 110 kPa değerinden başlayıp 250 kPa değerine kadar her 10 kPa'lık değer artışı için başlangıç giriş basınç değeri arttırılarak uygulanmış, çıkış ve açıklık sınır şartları tanımlanmıştır. Akışkan tipi olarak 25 °C ortam sıcaklığında ideal hava seçilmiştir. Türbülans modeli SST türbülans modeli olarak belirlenmiş ve basınç değerleri dışında diğer tüm parametreler sabit tutulup analizler ayrı ayrı çözülmüştür. Statik analiz zamandan bağımsız olduğu için Transient (zamana bağlı) analiz ile akıştaki dinamik davranışlar belirlenmiştir. Statik analizden elde edilen sonuçlar dinamik analiz için kullanılmış ve akış 3×10^{-3} saniyelik bir süreçte, her 1×10^{-5} saniyelik zaman dilimleri için toplam 10 adımda incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu akış içerisinde radikal değişiklik gösteren ve buna bağlı olarak vortisitelerin, vortekslerin, vorteks yırtılmalarının, vorteks bozulmalarının ve akış ayrılmalarının farklı şekillerde meydana geldiği ve hatta kaybolduğu 4 farklı kritik giriş basınç değeri bulunmuş ve bu basınç değerlerindeki akış hareketleri incelenmiştir. Vorteks bozulmalarının yapılan tüm basınçlarda gerçekleştiği görülmüştür. Basıncın artmasıyla birlikte eksenel hızın arttığı gözlenmiş ve bu durumda Swirl sayısının düşük basınç değerlerine göre daha büyük olduğu durumlar görülmüştür. Yüksek Swirl sayısının olduğu durumlarda eksenel simetrik vorteks bozulmasının daha kolay yakalandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan analizlerden akışın ters yönde hız azalmalarına neden olduğu ve ters basınç gradyanları oluşturarak akışın ters yönde ilerlemesine sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Vorteks yırtılmalarının hız değerindeki dalgalanmaların sonucu olarak meydana geldiği görülmüştür. Hız gradyanlarının cidarda en güçlü olduğu ve buna bağlı olarak durgunluk basınç gradyanlarının da cidarda en güçlü olduğu belirlenmiştir. Vortisitelerinin ve swirl mukavemeti değerlerinin yüksek giriş basıncı değerlerinde düşük giriş basıncı değerlerine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Vorteks bozulmalarının, akış yönüne ters akım oluşmasına etki ettiği ve vorteks bozulmalarının sonucu akışta durgunluğun meydana geldiği görülmüştür. Aynı şekilde vorteks

bozulmalarının, her basınç seviyesi için, durgunluğun bir sonucu olduğu belirtilmiştir.

Shang vd. (2015), vorteks iplikçiliğin düze yapısını optimize etmek için, düze yapı parametrelerinin ayarlanması ve belirli bir referans sağlayan eğirme deneylerini yapmak üzere kılavuzlu gövde, vorteks tüpü ve koni gövdesi gibi düze bileşenlerinin yapısını birleştirmişlerdir. Çalışmalarında iplik malzemesi olarak viskon elyaf kullanılmıştır. Sonuçlar, düzenin optimum yapı parametrelerinin şu şekilde olduğunu göstermiştir: gövdenin sarmal açısı 35°, kılavuzlu iğne uzunluğu 1 mm, enjektör delik açısı 50°, enjektör delik çapı Ø0.4 mm, enjektör delik sayısı 5, koni gövdesinin uç konik derecesi 10° ve ön iç çap: yaklaşık 20 tex viskoz iplik için Ø1.3 mm'dir.

Han vd. (2016), çalışmalarında MVS861 ve MVS870 tipi iki farklı hava düzesi üzerinde düzenin içyapısı, düzenin iç akış alan dağılımı ve iplik özellikleri olmak üzere üç konu üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. İplik oluşum süreci ile iplik özellikleri arasındaki ilişki teorik olarak tartışılmış ve tasarlanan deneylerle doğrulanmıştır. İplik oluşum süreci ile iplik yapısı arasındaki korelasyonun incelenmesinin oldukça önemli olduğu, söz konusu korelasyonun bir yandan iplik oluşum sürecini optimize edilebilmesine ve iplik oluşturmak için kullanılan temel bileşenlerin yapısının iyileştirebilmesine katkı sağlayacağı, diğer yandan da iplik yapısının tasarımını teorik olarak yönlendirebilebileceğini belirtilmiştir.

Li (2016), çalışmasında enjektör orifisi ile hava düzesi arasındaki çeşitli mesafelerin havalı vorteksi ile üretilmiş ipliklerinin özellikleri üzerindeki etkisine odaklanmaktadır. Mesafenin dört seviyesi belirli bir aralıkta tasarlanmıştır. Üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği modellerini oluştururken, düzenin iç akışkan alanını hesaplamak için sayısal simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, mesafenin tipik olarak teğetsel hızdaki hava akışı hareketlerini etkilediğini ve daha küçük orifis çapının, hava akışını düzgün bir şekilde dağıttığı ve havalı vorteksi ile üretilmiş ipliklerinin kalitesini artırmak için yararlı olduğunu göstermiştir. %100 viskon iplikler havalı vorteksi

kullanılarak eğrilmiş ve fiziksel özellikleri test edilmiştir. Eğirme deneyi sonuçları, koni gövdesiyle çarpışan enjektör deliklerinden çıkan yüksek hızlı hava akımının önlenmesi koşulu altında mesafe minimum olduğunda, kopma mukavemetinin asgari düzeye ulaşırken iplik kuvvetinin maksimum değere ulaştığını kanıtlamaktadır.

Qiu vd. (2016), çalışmalarında helisel dönen akışa sahip düzelerin iç yapılarını optimize etmek için farklı enjektör açıları olan yedi adet düze tasarlamışlardır. Bir enjektör açısının, tüylülük, kopma kuvveti ve düzgünsüzlük de dâhil olmak üzere ipliğin performans özelliklerini değerlendirerek iplik özellikleri üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Karşılaştırma sonuçları, yedi adet helisel dönen akışa sahip düzenin de ring iplik kalitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. İplik özellikleri ayrıca yedi farklı enjektör açısının hava akışlarındaki farklılıklarından dolayı çeşitli şekillerde etkilenmişlerdir. Benzer eğirme parametrelerinde, 40° enjektör açısına sahip olan düze, diğer enjektör açılarına sahip düzeler arasında 3 mm ve üzerindeki tüy sayısını ifade eden S3 iplik tüylülüğü, kopma kuvveti ve iplik düzgünsüzlüğü göz önüne alındığında en iyi iplik üretildiğini belirtmişlerdir.

Eldeeb ve Moučková (2017), Rieter hava jetli eğirme düzesi içindeki hava akımı alanının üç boyutlu bir sayısal simülasyonunu sunmuşlardır. Çalışmalarında iplik oluşum ilkesini tanımlamak için hız ve basınç dağılımlarını analiz etmişlerdir. Hız bileşenlerinin ve statik basıncın analizi, hava girdaplarının düze içinde nasıl oluşturulduğunu ortaya çıkarmışlardır. Düze basıncının hava jeti ile üretilen ipliğin iplik mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel doğrulama ile birlikte teorik bir çalışma yapılmış ve sonuçlar iyi bir uyum içinde ortaya konulmuştur. Araştırma sonucunda, artan düze basıncının başlangıçta iplik mukavemetinin iyileştirilmesine yol açtığını, ancak yüksek basıncın mukavemette bozulmalarına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Optimum düze basıncının ise 500 kPa olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Liu ve Su (2017), çalışmalarında ring iplik eğirme sisteminin modifikasyonu için vorteks kılavuz kanallı bir tür hava düzesi tasarlamışlardır. Tasarlanan hava

düzesi kullanılarak eğrilmiş ipliğin kalitesini ve düze içerisindeki hava akış alanını analiz etmişlerdir. Düzedeki üç boyutlu akış alanının sayısal simülasyonları Ansys Fluent yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Deneysel çalışmada ise düze takılıyken modifiye edilmiş ring iplik eğirme sisteminde Ne 10 ve Ne 20 olmak üzere iki farklı tipte iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. Hava akımı olarak basıncı 10 kPa, ve saat yönünün tersine ve saat yönünde olmak üzere iki farklı dönüş yönünde de denemeler yapılmıştır. Eğrilmiş ipliklerin tüylülük, mukavemet ve düzgünsüzlük özellikleri analiz edilmiştir. Yüksek vorteks hava akışının düzede üretilebildiği ve ardından karşılık gelen bükümün üretilebileceği gösterilmiştir.

Ahmed vd. (2018), çalışmalarında enjektör açısı, düze uzunluğu ve hava basıncı seviyesindeki bazı hava jetli düze yapısal parametrelerinin düze içinde üretilen dönen akış üzerindeki etkilerini incelemek için bir hesaplamalı akışkan dinamiği modeli sunmuşlardır. Bunu takiben Jetring ve modifiye Jetring ipliklerinin üretilmesi için bir mekanizmanın tasarımı ve yapımı izlenmiştir. Son olarak, bazı düzelerin ve hava akışı parametrelerinin Jetring ve modifiye edilmiş Jetring iplik özellikleri üzerindeki etkileri üzerine deneysel çalışmalar sunulmuştur. Çalışmanın sonunda, hava düzesi enjektör açısı, düze uzunluğu ve hava basıncının düze içerisindeki hava akış özellikleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Uzun büküm odasına sahip düzeler için önerilen enjektör açısı 35° - 55° ve kısa düzeler için 45° - 55° olarak önerilmiştir. Hava basıncı değerlerinin ise 250 kPa gösterge basınç değerini geçmemesi gerektiği tavsiye edilmiştir.

Kim ve Kim (2018), çalışmalarında mikro modal ve modal lifleri kullanılarak ve ring, kompakt ve hava düzeli vorteks eğirme makinelerinde eğrilen ipliklerden elde edilen örme kumaşlarının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mikro modal havalı vorteks ile üretilen ipliklerin, ring ve kompakt ipliklere göre iplik düzgünsüzlüğü daha kötü değerlere sahip olduğu belirtilmiş, fakat havalı vorteks ipliği yüzeyinde ring ve kompakt ipliklerdekinden önemli ölçüde daha az sayıda ve daha kısa tüylü liflerin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, havalı vorteks ipliklerinin neps (iplik demetinin düğümlerini oluşturan, nispeten daha

küçük çaplı bölgeler) değerleri, ring ve kompakt ipliklerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yüksek iplik düzgünsüzlüğü nedeniyle, havalı vorteks ipliklerinin mukavemet ve kopma uzaması değerlerinin ring ve kompakt ipliklerdekenden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Havalı vorteks ipliklerinin ıslak ve kuru termal büzülmesi, ring ve kompakt ipliklerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Havalı vorteks ipliklerden örülmüş kumaşların, ring ve kompakt iplikten üretilen kumaşlardan biraz daha şekillendirilebilirlik ile daha yüksek eğilme sertliği ve düşük sıkıştırılabilirliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, ince mikro modal elyaflarından dolayı daha az tüylü ve hacimli olmayan bir yapıya sahip olan vorteks iplik yapısından kaynaklandığı ile açıklanmıştır.

Türksoy vd. (2018), çalışmalarında hava jetli ipliklerin özelliklerini hem tek katlı hem de katlı iplik formlarda eşdeğer ring ipliklerinin özellikleri ile karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Rieter ve Murata firmasına ait hava jeti kullanılarak üretilen ipliklerin fiziksel özellikleri bakımından önemli farklılıklar göstermediği belirlenmiştir. Özel yapıları nedeniyle, hava jetli iplikler eşdeğer ring iplikleri ile karşılaştırıldığında düşük tüylülük ve mukavemet değerleri gösterdiğini tespit etmişlerdir..

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Helisel dönen akışlara bir örnek de tekstil sektöründe iplik eğirme makinalarında kullanılan hava düzelerinde ortaya çıkan akış verilebilir. Hava düzeleri içerisinde oluşan türbülanslı helisel dönen akış, iplik üzerinde yalancı büküm oluşturmakla birlikte iplik tüylülüğü üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Wang vd., 1997; Jeon, 2000; Cheng ve Li, 2002; Ramachandralu ve Dasaradan, 2003; Zeng ve Yu, 2004a; Patnaik vd., 2007; Subramanian vd., 2007; Patnaik vd., 2008; Rengasamy vd., 2008; Hoseinpour vd., 2012; Qiu vd., 2012; Yılmaz, 2011; Ahmed vd., 2018). Bu tez çalışmasında, tekstil sektöründe iplik üretiminde yaygın olarak kullanılan konvansiyonel ring iplik eğirme makinelerine ilave bir proses olarak uygulanan hava düzelerinin modüler bir yapıya dönüştürülmesi ve geliştirilen düzelerin akışkan ortam üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Hava düzelerinin modüler hale gelmesinden önce konvansiyonel düzeler üzerinde optimizasyon yapmak ve bu sonuçlar doğrultusunda modüler düzenin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

3.1. Materyal

Hava düzesinin tek katlı iplik üretiminde kullanımı ile ilgili denemelerde, tekstil ürünlerinde yaygın olarak kullanılan tekstil liflerinden biri olan %100 pamuk lifleri kullanılarak Ne 30/1 iplik inceliğine sahip tek katlı iplikler üretilmiştir. Kullanılan pamuk elyafına ait özellikler, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Parametrik düze ve modüler düze performans deneylerinde kullanılan Ne 30/1 numara %100 pamuk liflerine ait elyaf özellikleri

Elyaf Özellikleri	
Ştapel uzunluğu (mm)	30.53
Mikroner	4.52
Uniformite indeksi (U.I.)	85.7
Mukavemet (gf/tex)	35.2
Kopma uzaması (%)	6.4
Kısa elyaf indeksi (SFI)	6.9

Çizelge 3.1. Parametrik düze ve modüler düze performans deneylerinde kullanılan Ne 30/1 numara %100 pamuk liflerine ait elyaf özellikleri (devam)

Elyaf Özellikleri	
Saflık derecesi (+b)	7.9
Parlaklık değeri (R(d)	72.1
Renk derecesi (CG)	41-2
İplik eğirme istikrar indeksi (SCI)	160

Bu çalışmada da hava düzesi kullanılarak konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminde üretilen iplikler literatürdekine benzer şekilde “Jetring iplik” olarak isimlendirilmiştir (Yılmaz, 2011). Gerek yalancı bükümün etkisini, gerekse de hava düzelerinin performansını değerlendirmek amacıyla referans kalite değeri olarak aynı şartlarda üretilen konvansiyonel ring iplikler dikkate alınmıştır. Bu nedenle, Jetring ve konvansiyonel ring iplik üretimi sırasında aynı fitiller kullanılmış, aynı büküm katsayısı, çekim, iğ devri ve kopça tipleri ile çalışılmasına dikkat edilmiştir (Çizelge 3.2). Tek katlı iplik üretim denemeleri Isparta Adım Tekstil Sanayii ve Ticaret A.Ş. şirketinde bulunan Merlin marka konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Ne 30/1 incelikteki tek katlı iplik üretiminde kullanılan çalışma parametreleri

Parametereler	Değerler
Büküm (t/m)	830
Ortalama iğ devri (dev/dak)	13000

3.2. Yöntem

Yöntem olarak ilk aşamada, konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde hava düzesi kullanılmadan üretilen Ne 30/1 ipliklerin iplik özelliklerine ait (iplik tüylülüğü, iplik düzgünsüzlüğü, kopma uzaması ve iplik mukavemeti) referans değerlerinin tespit edilmesiyle başlanmıştır.

İkinci aşamada, konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine konvansiyonel düzeler monte edilerek, konvansiyonel düzelerin iplik özellikleri istatistiki

yöntemler kullanılarak incelenmiştir. İstatistiki yöntemler sonucunda belirlenen önem yüklerine göre optimizasyon yapılmış ve optimum sonucu veren düze tipleri ve optimum hava basıncı belirlenmiştir. Yine bu aşamada 125 kPa basıncın üzerindeki hava basıncı değerlerinde (200 kPa, 250 kPa ve 300 kPa) üretilen Ne 30/1 ipliklerin iplik özellikleri de ayrıca incelenmiştir. Çizelge 3.3’de yer almayan bu basınç değerleri optimum hava basıncının belirlenebilmesi için yapılmıştır.

Üçüncü aşamada, kondisyonlanmış (nemlendirilmiş) havanın iplik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu aşamada hava basıncı değeri bir önceki aşamada belirlenen $P_{gösterge} = 125 \text{ kPa}$ değerinde sabit tutulmuştur.

Dördüncü aşamada, modüler düze ile konvansiyonel düzelerde üretilmiş ipliklerin iplik özellikleri karşılaştırılmaları yapılmıştır. Bu aşamada modüler düze ile konvansiyonel düzeler kıyaslanmıştır.

Beşinci aşamada, deneysel çalışmaları yapılan bu konvansiyonel düze tiplerinin parametrik HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada konvansiyonel düze yapısal parametre değişiminin HAD sonuçları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Altıncı aşamada, ise konvansiyonel düze HAD sonuçları ile iplik tüylülüğü üzerindeki bağlantı araştırılmıştır. En düşük iplik tüylülük değerlerine sahip olan düze tiplerinin HAD analizi sonuçlarında ne gibi değişiklikler meydana geldiği irdelenmiştir.

Yedinci aşamada, modüler düzenin parametrik HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, modüler düze yapısal parametre değişiminin HAD sonuçları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Sekizinci aşamada, HAD sonuçlarına göre modüler düze ile konvansiyonel düzeler kıyaslanmıştır.

Yöntem basamakları detaylı liste olarak aşağıda verilmiştir:

- ❖ Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesi üzerinde düze kullanılmadan Ne 30/1 iplikler üretilerek iplik özellikleri incelenmiştir.
- ❖ Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesi üzerine konvansiyonel düzeler bağlanarak Ne 30/1 iplikler üretilmiştir. Üretilen iplikler istatistiki bir yöntem olan cevap yüzey metodu kullanılarak incelenmiştir.
 - Lineer/2FI cevap yüzey metodunun kullanılması (Kuatratik cevap yüzey metodu için bir ön çalışma olan lineer/2FI cevap yüzey metodu ile 2 seviyeye sahip çevresel enjektör adedi (4) ve hava basıncı ($P_{gösterge} = 125$ kPa) faktörlerine ait optimum değer veren parametreler belirlenmiştir)
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik tüylülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik düzgünsüzlüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin kopma uzaması üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik mukavemeti üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Kuadratık cevap yüzey metodunun kullanılması (düze yapısal parametreleri olan büküm odası çapı, enjektör çapı ve enjektör açısı parametrelerinin iplik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır)
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik tüylülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik düzgünsüzlüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin kopma uzaması üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik mukavemeti üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodunun kullanılması (bir önceki aşama olan kuadratık cevap yüzey metodu analizinde optimum sonuç veren büküm odası çapı $\varnothing 2.5$ mm değerinde sabit tutularak, 5 seviyeye sahip enjektör çapı ve enjektör açısı faktörleri üzerinde 5.

seviyeden bir polinom fonksiyon kullanılarak daha hassas bir ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir)

- Düze yapısal parametrelerinin iplik tüylülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
- Düze yapısal parametrelerinin iplik düzgünsüzlüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
- Düze yapısal parametrelerinin kopma uzaması üzerindeki etkisinin araştırılması
- Düze yapısal parametrelerinin iplik mukavemeti üzerindeki etkisinin araştırılması
- Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu optimizasyonu yapılması (Bu optimizasyon sonucunda belirlenen önem derecelerine göre optimum konvansiyonel nozul tipleri belirlenmiştir)
- Hava basınç değişiminin iplik özellikleri üzerine etkisi
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik tüylülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik düzgünsüzlüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin kopma uzaması üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik mukavemeti üzerindeki etkisinin araştırılması
- ❖ Kondisyonlanmış havanın iplik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik tüylülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik düzgünsüzlüğü üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin kopma uzaması üzerindeki etkisinin araştırılması
 - Düze yapısal parametrelerinin iplik mukavemeti üzerindeki etkisinin araştırılması
- ❖ Modüler ile konvansiyonel düze kullanılarak üretilen ipliklerin iplik özelliklerinin karşılaştırılmaları
- ❖ Konvansiyonel düzelerin HAD analizlerinin yapılması

- Konvansiyonel düze yapısal parametre değişiminin HAD sonuçları üzerindeki etkilerinin incelenmesi
- ❖ Konvansiyonel düze HAD sonuçları – iplik tüylülüğü üzerindeki bağıntının kurulması
- ❖ Modüler düzenin HAD analizlerinin yapılması
- ❖ Modüler düze ile konvansiyonel düzelerin HAD analizlerinin karşılaştırılması

3.2.1. Konvansiyonel hava düzeleri

Hava düzeleri içerisinde oluşan türbülanslı helisel dönen akışın iplik üzerinde yalancı büküm oluşturmaları ile birlikte iplik tüylülüğü üzerinde de olumlu bir etki oluşturmaktadır (Yılmaz, 2011). Tekstil sektörünün iplik eğirme iş kolu üzerinde iplik tüylülüğü ve tüylülük varyasyonunun ölçümü ve değerlendirmesi, bir ipliğin toplam kalite kontrolünün oldukça önemli bir bölümüdür. Özellikle, çeşitli teknolojik gelişmeler sonucunda makine hızlarının artması ve kalite beklentisinin yükselmesi sonucu iplik tüylülüğü ölçülerek kontrol edilmesi gereken önemli bir iplik parametresi haline gelmiştir.

Özellikle 1950’li yıllardan itibaren çeşitli firmalar veya araştırmacılar tarafından ipliğe yalancı büküm vermek amacıyla çeşitli hava düzeleri tasarlanmış ve söz konusu düzeleri içeren eğirme sistemleri farklı isimler altında iplikçilerin kullanımına sunulmuştur. İplikçilikte uygulamaya geçmemiş olsa da, son yıllarda hava jetli eğirme sistemine ait düzelerden birinin konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminde kullanımı ile ilgili denemeler yapılmaktadır. Konvansiyonel ring iplik eğirme sistemindeki çekim sisteminin çıkışı ile iplik kılavuzu arasına hava jetli iplik eğirme sisteminde kullanılan hava düzelerinin yerleştirilmesine dayanan bu sistem “Jetring veya Nozzle-ring” olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1) (Yılmaz, 2011).



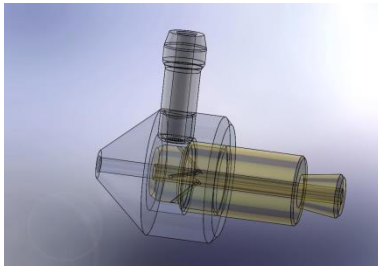
Şekil 3.1. Jetring veya Nozzle-ring iplik eğirme sistemi

Yılmaz (2011), tarafından yapılan çalışmalarda, konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminde, hava düzesi içerisine beslenen basınçlı havanın meydana getirdiği yalancı bükümün iplik özelliklerine etkisi değerlendirilerek, düze performansının belirlenmesi amacıyla orta iplik lineer yoğunluğunu temsil edebilecek Ne 30/1 iplik numarasında iplikler üretilmiştir. Hava düzesi kullanılarak konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminde üretilen iplikler literatürdekine benzer şekilde “Jetring iplik” olarak isimlendirilmiştir. Gerek yalancı bükümün etkisini, gerekse de hava düzelerinin performansını değerlendirmek amacıyla referans kalite değeri olarak aynı şartlarda üretilen konvansiyonel ring iplikler alınmıştır. Bu nedenle, Jetring ve konvansiyonel ring iplik üretimi sırasında aynı fitiller kullanılmış, aynı büküm katsayısı, çekim, iğ devri ve kopça tipleri ile çalışılmasına dikkat edilmiştir. Tek katlı iplik üretim denemeleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Penye İplik Uygulama Laboratuvarında bulunan Rieter G10 konvansiyonel ring iplik makinesinde gerçekleştirilmiş olup, önce konvansiyonel ring iplikler ve daha sonra Jetring iplikler üretilmiştir. Jetring, kompakt-jet ve siro-jet iplik eğirme sistemleri, basınçlı hava, düze sistemi ve iplik olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Çalışmanın devamında hava düzeleri kompakt (kompakt-jet) ve sirospun (siro-jet) sistemlerinde de kullanılmıştır.

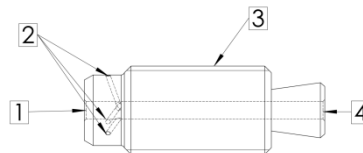


Şekil 3.2. Rieter G10 konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde Jetring (sağda) ve konvansiyonel ring iplik (solda) üretimi

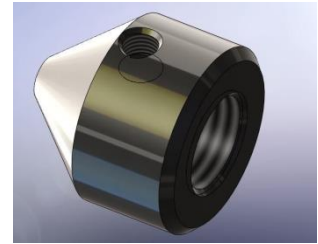
Kompresörden çıkan belirli bir değere sahip basınçlı hava, düzeye taşınmakta ve iplik düze içerisinden geçirilmektedir. Düze ise oldukça basit bir yapıya sahip olup, bir başlık ile gövde kısmından oluşmaktadır (Şekil 3.3). Gövde kısmı, iplik girişi (1), enjektörler (2), düze başlığı bağlantı dişi (3) ile düze çıkışından (4) oluşmaktadır (Şekil 3.3. (b)). İplik girişi ile hava çıkışı arasında boydan boya uzanan delik ipliğe yalancı bükümün verildiği bölge olduğu için büküm odası olarak da isimlendirilmektedir. Enjektörler büküm odasına tam teğet olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu şekilde büküm odasında hava dönmekte ve helisel dönen hava akımı oluşmaktadır. Düze başlığı (Şekil 3.3c), kompresörden gelen basınçlı havayı düze gövdesine beslemektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Düze montajı a), düze gövdesi b) ve düze başlığı (c)

Yılmaz (2011) tarafından yapılan çalışmada en düşük tüylülük değerleri veren tek bir düze tipinin olmadığı tespit edilmiştir. Tüylülük değerlerindeki iyileşme oranının, düze yapısal parametreleri ve hava basıncı değerine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Bununla birlikte, iplik tüylülüğü yanında iplik kalitesini belirleyen diğer iplik özellikleri üzerinde farklı düze tiplerinin etkili olduğu tespit edilmiştir.

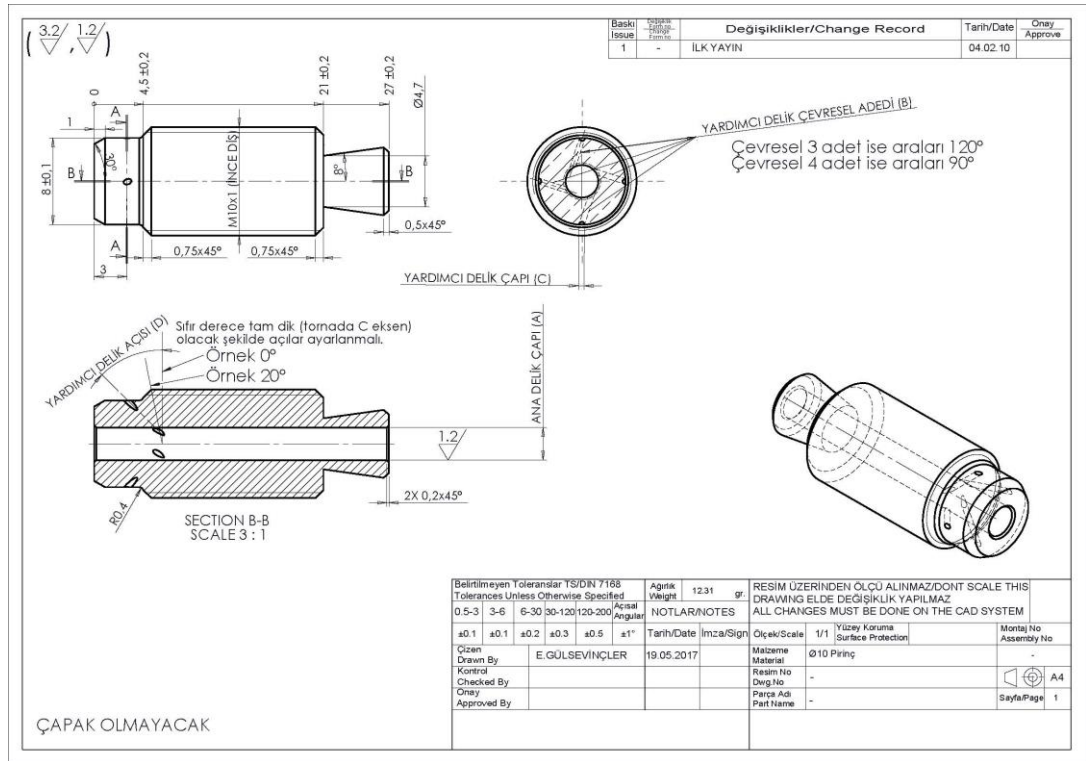
3.2.2. Konvansiyonel hava düzeleri yapısal parametreleri

Düze yapısal parametrelerin iplik özellikleri üzerindeki etkisini doğru tahlil edebilmek için parametrik bir çalışma yapılması gerekmektedir. Sistematik deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizinden oluşan çalışmalar için belirlenen parametreler, Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Düze yapısal parametreleri ve deneme planı

Parametre	Değer aralığı	İncelenecek aralık
Enjektör açısı (°)	20-40	20-25-30-35-40
Büküm odası çapı (mm)	2-3	2-2.5-3
Enjektör çapı (mm)	0.5-0.9	0.5-0.6-0.7-0.8-0.9
Çevresel enjektör sayısı (-)	3-4	3-4
Basınç (kPa)	25-300	75-125

Çizelge 3.3’de yer alan ve Şekil 3.4’deki düze teknik resminde belirtilen düze yapısal parametreleri A, B, C ve D değişkenleri ile temsil edilerek Ek A’da bu yapısal parametrelerin kombinasyonu ile oluşturulmuş düze konfigürasyonları sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.4. Tez çalışmasında kullanılan düze teknik resmi

Ek A'da sınıflanan düze numuneleri, 4995-D1-17 nolu Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında üretilmiştir. Üretilen numuneler, Ek A'da yer alan düze numune numaralandırılmaları ile etiketlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Tez çalışmasında kullanılan düze numuneleri

3.2.3. İplik özelliklerinin tespiti

Eğrilmiş ipliklerin kaliteleri, tüylülük, düzgünsüzlük, kopma uzaması ve mukavemet özellikleri ile karakterize edilmektedir. Çalışmada üretilen iplikler kops halinde test edilmiştir. Kops, konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde içi boş konik bir silindir üzerine sarılmış iplik paketidir. Düzgünsüzlük ve tüylülük özellikleri Uster Tester 4, mukavemet ve kopma uzaması özellikleri ise Uster Tensorapid test cihazlarında test edilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı laboratuvar koşulları, %75±5 bağıl nem ve 25±2 °C sıcaklık şeklinde olup, numuneler test öncesi bu şartlarda 24 saat süre ile kondisyonlanmıştır. Testlere ait ölçüm parametreleri, Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. İplik testlerine ait parametreler

Test edilen iplik özelliği	Test cihazı	İlgili test standardı	Test uzunluğu (m)	Test sayısı (adet)	Toplam uzunluk (m)
İplik düzgünsüzlüğü	Uster Tester 4	TS 628	400	1	400
İplik tüylülüğü					
İplik mukavemeti	Uster Tensorapid	TS 245 EN ISO 2062	0.5	5	2.5
Kopma uzaması					

3.2.3.1. İplik düzgünsüzlüğü

İplik düzgünsüzlüğü iplik inceliğindeki değişikliklerle ilgilidir. İplik uzunluğu boyunca birim uzunluktaki kütle değişiminin, iplik ve ipliğe ait kumaşın diğer birçok özelliğini etkileyebileceği için ölçülüp değerlendirilmektedir. Tekstil liflerinin genel yapısından dolayı lif özellikleri, dolayısıyla iplik ve kumaş özellikleri değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, iplik düzgünsüzlüğü de değişim göstermektedir. Bu çeşitlilikler kaçınılmazdır, çünkü bunlar tekstil elyaflarının temel yapısından ve ortaya çıkan düzenlemelerinden kaynaklanmaktadır. Ancak iplik düzgünsüzlüğünün belirli bir sınır içerisinde kalması istenmektedir. Düzgünsüzlük, %U ve %CVm olarak ifade edilmektedir.

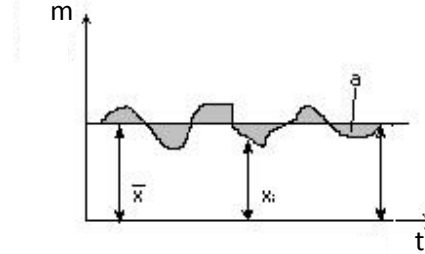
İplik düzgünsüzlüğü iplik uzunluğu boyunca iplik kütlesinde meydana gelen değişimdir. Kütle değişimi %U veya %CV m olarak ifade edilmektedir. Kütle değişimi spektrogram olarak adlandırılan bir diyagram ilde de gösterilmektedir. Spektrogram, özellikle kütle değişiminin nedenini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

1. %U: Malzemenin birim uzunluğunun kütle sapmasının yüzdesidir ve iplik uzunluğu boyunca eşit olmayan elyaf dağılımından kaynaklanmaktadır. (Taşgetiren, 2019)

2. %CV m: İplik uzunluğu boyunca kütledeki varyasyondur. Günümüzde düzgünsüzlük daha çok %CV m olarak ifade edilmektedir.

$$\%U = \frac{a}{\bar{m} \cdot t} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Burada, $\bar{m}$ ortalama kütle, a tek değer ile ortalama arasında kalan alan, t deney süresidir (Taşgetiren, 2019) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. İplikte düzgünsüzlük dağılımı (Taşgetiren, 2019)

Değişim (varyasyon) katsayısı yüzde değişimi %CV aşağıda verilmiştir (Taşgetiren, 2019):

$$\% CV m = \frac{\text{Std Dev}}{\bar{m}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Burada, “Std Dev” standart sapmadır. İplik düzgünsüzlüğü, ciddi bir kalite problemidir. Yüksek düzgünsüzlüğe sahip iplikler kullanılarak üretilen

kumaşlarda, görünüm problemi meydana gelmektedir (Taşgetiren, 2019) (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Yüksek düzgünsüzlük değerine sahip ipliklerden yapılan farklı iki renkteki örme kumaşlar (Uster Technologies AG, 2013)

3.2.3.2. İplik tüylülüğü

İplik tüylülüğü, iplik gövdesinden dışarı doğru çıkan lif miktarı veya liflerin uzunluğudur. Günümüzde tüylülük, örme ve dokuma iplikten üretilen kumaşın kalitesini önemli bir şekilde etkilediğinden iplik kalitesine erişimde hayati bir rol oynamaktadır. Boncuklanma ve aşınma direnci gibi temel kumaş özellikleri iplik tüylülüğünden etkilenir (Şekil 3.8). Ayrıca çözgü makinelerinin, yüksek hızlı örme ve dokuma makinelerinin performansı da iplik tüylülüğünden etkilenmektedir.



Şekil 3.8. Yüksek tüylülük değerindeki ipliklerden yapılan farklı iki renge sahip örme kumaşlardaki boncuklanma problemi (Uster Technologies AG, 2013)

Tüylülük iki yöntemle ölçülmektedir;

1. Tüylülük Endeksi (H): USTER marka tüylülük ölçüm cihazları iplik tüylülüğünü H ile ifade etmektedir. Ölçümde H değeri, 1 cm iplik uzunluğundaki iplikten dışarı çıkan liflerin toplam uzunluğunu temsil etmektedir.
2. Tüylülük Endeksi (S3): ZWEIGLE marka tüylülük ölçüm cihazlarında farklı uzunluklardaki çıkıntılı liflerin sayısını ayrı ayrı saymaktadır. Kalite ve prosesler üzerinde önemli derecede etkili olan 3 mm ve 3 mm'den daha uzun çıkıntı liflerinin sayısı, S3 değeri ile ifade edilmektedir.

3.2.3.3. İplik mukavemeti ve kopma uzaması

Mukavemet, ipliğin nihai kopma kuvveti (bir iplik veya iplik kopma noktasına gerildiğinde) ve doğrusal yoğunluk kullanılarak hesaplanmaktadır. Farklı malzemelerin veya farklı boyuttaki malzemelerin karşılaştırılmasında kullanılabilir.

Bir dokuma ya da örme makinesinde uygulanan yüksek kuvvetlerin karşısında ipliğin kopmaması için yüksek mukavemete sahip olması gerekmektedir. Diğer taraftan, iplikler dokuma ve örme makinelerinde işlenirken yüksek çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Dolayısıyla, ipliğin yüksek çekme kuvveti yanında yüksek uzama özelliğine de sahip olması gerekmektedir. İplik mukavemeti ve kopma uzaması özellikleri, çekme prensibine göre çalışan ve sabit bir çene ile hareketli bir çene arasına sıkıştırılan ipliğin kopartılması prensibine dayanan çeşitli test cihazlarında test edilmiştir. İplik mukavemeti, belirli yük altında kalan ipliğin kopma noktasındaki kopma kuvvetinin iplik numarası veya iplik inceliğine oranı ile ifade edilmektedir (cN/tex). Kopma uzaması ise kopma kuvvetine ulaşıldığında test numunesinin başlangıçtaki test uzunluğuna göre göstermiş olduğu uzama miktarıdır (%).

3.2.4. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

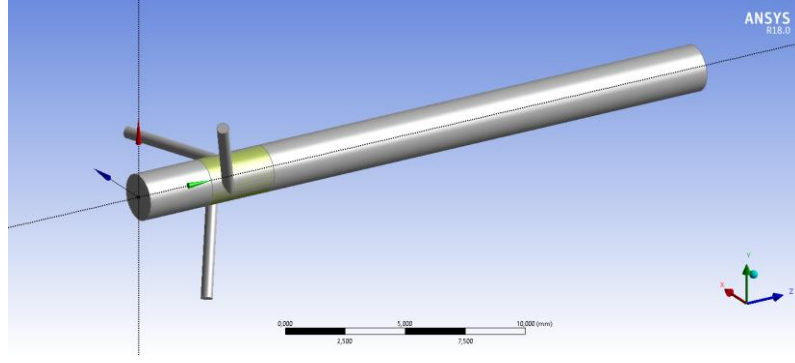
Helisel dönen akışa sahip düzeler içerisinde yer alan ve lokal bir alanda transonik, türbülanslı, helisel dönen ve sıkıştırılabilir akışkanların akışını direk nümerik yöntemle çözmek hem zor hem de uzun zaman alacağından doğru çözümü elde etmek neredeyse imkansızdır. Bu tür problemler, bilgisayar ortamında modellenip çözülmeli fakat mutlaka deneysel çalışmalar ile de desteklenmelidir.

Çalışmanın sayısal çözümleme kısmını oluşturan bu bölümde Ansys CFX 18.0 hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanılmış ve düze içerisindeki hava akımının simülasyonu, hava akımının iplik özelliklerine etkisi ve böylece düze performansı analiz edilmiştir.

Çizelge 3.3’de verilen düze yapısal parametreleri ve deneme planı’na göre yapısal parametrelerin kombinasyonu sonucunda oluşturulan 150 farklı düze konfigürasyonunun denenmesi her bir basınç değeri için 150 adet analizin yapılması anlamına gelmektedir. Her bir analize ait geometrilerin ayrı ayrı oluşturulması, meshlerinin ayrı ayrı örülmesi, başlangıç şartları, sınır şartları vb. diğer parametrelerin ayrı ayrı girilmesi hem gereksiz zaman kaybı oluşturmakta hem de hata yapma ihtimalini oluşturmaktadır. Bunun önüne geçmek için Ansys Workbench 18.0 içerisinde yer alan parametrik çalışma fonksiyonundan faydalanılmıştır.

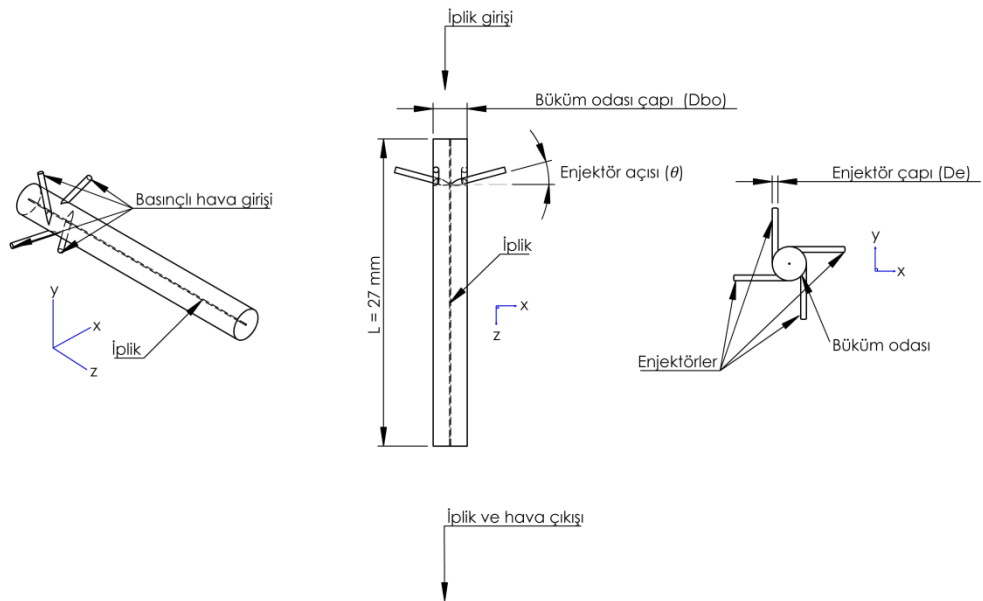
3.2.4.1. Parametrik çalışma planı ve geometrinin oluşturulması

Ansys Workbench 18.0 içerisinde parametrik çalışmanın aktif hale gelmesi için geometrinin mutlaka Ansys ortamında çizilmesi gerekmektedir. Ansys Workbench 18.0 içerisinde geometri tasarımı yapmak için Design Modeller ve Space Claim olmak üzere iki adet tasarım sihirbazı mevcuttur. Bu tez çalışmasında parametrik düze tasarımını gerçekleştirmek için Design Modeller 18.0 programı tercih edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Ansys Design Modeller 18.0 programı ile parametrik düze geometrisinin oluşturulması

Geometri çizilirken daha ince bir ağ örülmesi istenilen düze büküm odasının enjektörler ile çakıştığı bölgeye bir katı silindir daha çizilmiştir. Bu silindir, enjektörlerin büküm odasına bağlandığı noktadan 1 mm geride başlayıp, 2 mm ileride son bulmaktadır. Silindirin çap parametresi ise büküm odası çapı parametresi ile aynı tutulmuştur. Design Modeller 18.0 programında çizilen ve parametreleri verilen geometrinin analiz kombinasyonunun belirlenmesi için Çizelge 3.2’de verilen sınıflandırılmış düze konfigürasyonları Ansys Workbench parametrik çalışma içerisinde yer alan parametre konfigürasyon tablosuna işlenmiştir. Ansys Design modeller 18.0 programı ile parametrik olarak çizilen düze akış hacmi Şekil 3.10.’da verilmiştir.



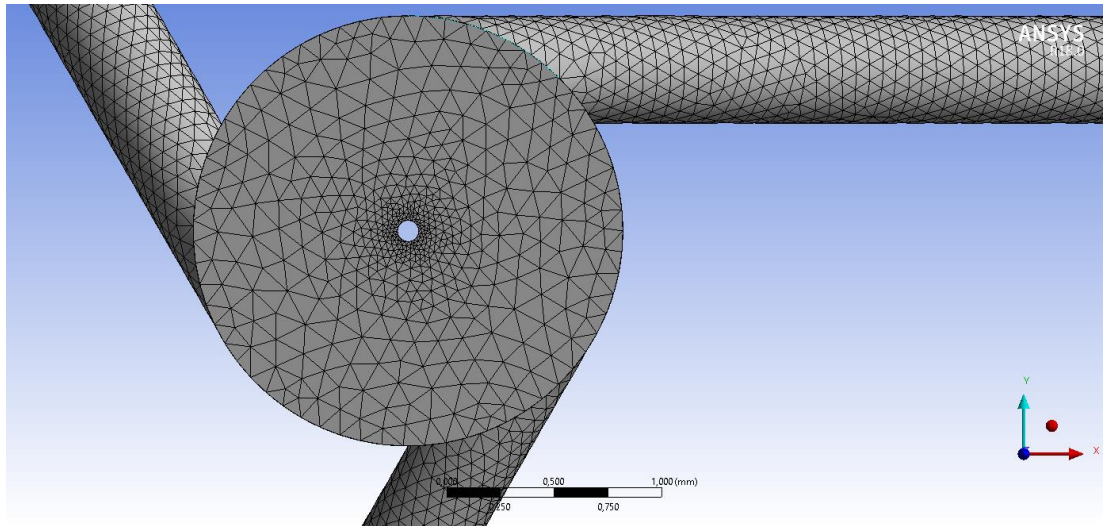
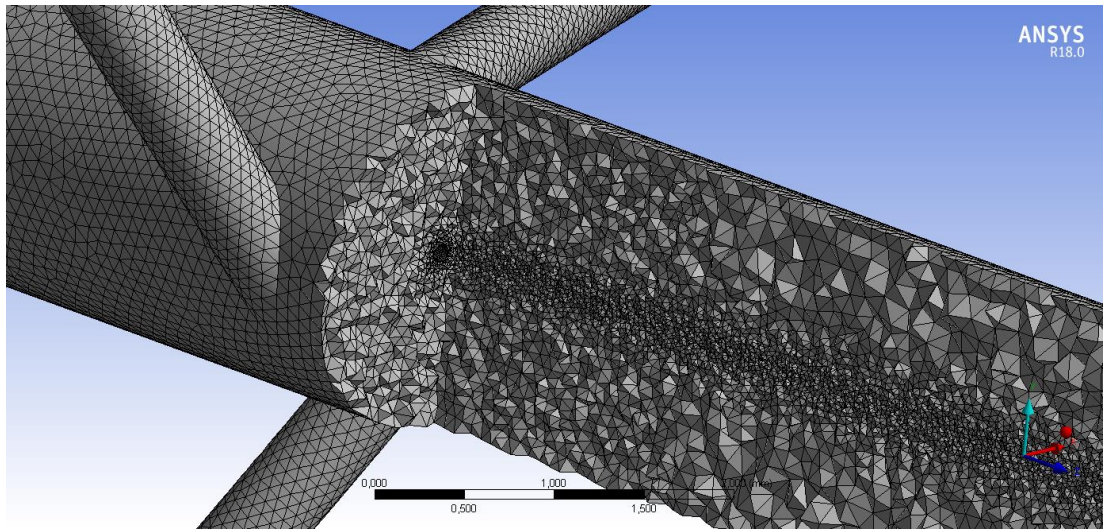
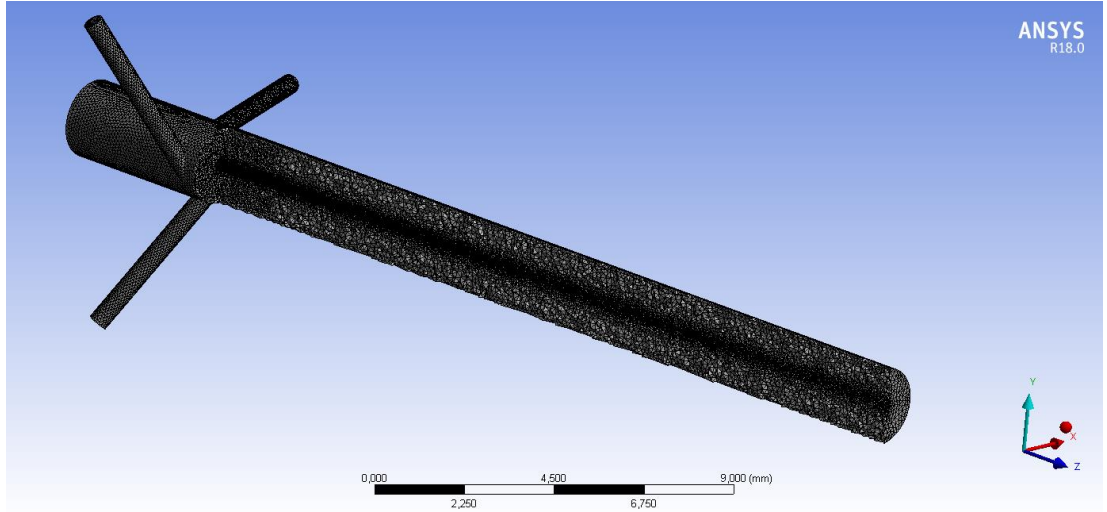
Şekil 3.10. Ansys Design Modeller 18.0 programı ile oluşturulan düze akış hacmi

3.2.4.2. Sonlu elemanlar analizi için örülen ağın tanıtılması

Bir geometrinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için elemanlara bölünmesi gerekmektedir. Analiz programlarında bu işlem ağ örme (mesh) olarak isimlendirilmektedir.

Yüksek nitelikli bir ağ, doğru hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü için oldukça önemlidir. Eleman sayısı arttıkça daha doğru bir çözüm elde edilebilir gibi gözükse de, aslında yüksek sayıdaki elemandan oluşan geometrilerde çözüm süreci uzamaktadır. Ayrıca, zaman zaman farklı hücre sayıları benzer çözümleri vermektedir. Bu nedenle, çözüm süreci açısından optimum sonucun alındığı eleman sayıları tercih edilmelidir. Yılmaz (2011), çalışmasında düze geometrisine bağlı olarak 400,000 civarındaki eleman sayısının yeterli doğrulukta sonuçlar ürettiğini belirtmiştir.

Ağ örme işlemi Ansys CFX 18.0 içerisinde çalışan Ansys ICEM CFD 18.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Ağ örme işlemi öncesinde, geometrinin oluşturması kısmında anlatılan ince bir ağ yapısının örülmesi istenilen düze büküm odası bölgesindeki silindir katı cisme 0.07 mm eleman boyutu tanımlanmıştır. Düzenin büküm odası sınır tabakasına ise 0.1 mm eleman boyutu tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar ile örülen ağ yapısı ile yaklaşık 2,300,000 tetrahedral eleman kullanılarak ağ örme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 3.11). Bu ağ yapısı her parametre değişimi ile oluşturulan farklı düze konfigürasyonları için Ansys CFX 18.0 üzerinde çalışan ICEM CFD 18.0 programı ile otomatik olarak örülmüştür. Parametrik çalışmada istikrarlı olunması için geometri ve ağ yapısına elle müdahale edilmemiş, bütün adımlar bilgisayar kontrolünde ve parametre tablosuna göre yapılmıştır.



Şekil 3.11. Parametrik düzenin örülen ağ topolojisi

3.2.4.3. Sınır şartları

Sınır şartları, sınır değer probleminin çözümü için gerekli kısıtlardır. Bir sınır değer problemi, sınırları bir dizi koşulun bilindiği bir alanda çözülmesi gereken bir diferansiyel denklemdir (veya diferansiyel denklem sistemi). Sınır değer problemleri, katı mekaniğinden ısı transferine, akışkanlar mekaniğinden akustik difüzyona kadar çok sayıda olayı ve uygulamaları modelledikleri için son derece önemlidir.

Bir akışkanlar mekaniği problemine ait Navier-Stokes ve süreklilik denklemlerinin çözülebilmesi için sadece akış hacminin tanımlanması yeterli değil, akış hacmi içerisinde meydana gelen akışın başlangıç şartları ve sınır şartları koşullarının da tanımlanması gerekmektedir. Sınır şartları ele alındığında kontrol hacmi içerisinde akışın giriş ve çıkış sınır şartlarının mutlaka tanımlanması gerekmektedir.

Giriş sınır şartı: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarında, giriş sınır şartı olarak genellikle basınç ya da hız olmak üzere iki farklı sınır şartı tanımlanması yapılmaktadır. Hız sınır şartı yerine hız verisinden türetilen hacimsel debi, kütsel debi sınır şartı ve aynı grup sınır şartı tanımlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, parametrik hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapılacak düze geometrisine ait enjektör ve büküm odası çapları parametrik olarak değiştiğinden düze konfigürasyonları arasında basınç kaybına bağlı olarak kütsel/hacimsel debi ve debiye bağımlı olarak kesitten akan akış hızı değişmektedir. Bu sınır şartı yapılması istenilen parametrik analiz için verilmesi/hesaplanması güç ve hata yapma olasılığı yüksektir. Bu yüzden bu tez çalışmasında, diğer bir giriş sınır şartı olan basınç parametresi kullanılmıştır.

Basınç sınır şartı bir fonksiyon olarak yazılmış ve parametre listesine eklenmiştir. Ansys CFX 18.0 programına tanımlanan basınç giriş sınır şartı mutlak basıncı ifade etmektedir.

$$P_{mutlak} = P_{gösterge} + P_{atmosfer} \quad (3.3)$$

Burada, $P_{gösterge}$ kompresörden çıkan havanın herhangi bir basınç ölçüm aparatı ile (manometre saati, elektronik basınç göstergesi, vb.) ölçülen basınç değerini, $P_{atmosfer}$ ise deney yapılan ortamdaki atmosfer basıncını göstermektedir. Deney yapılan ortam için atmosfer basıncı 100 kPa değerinde belirlenmiştir.

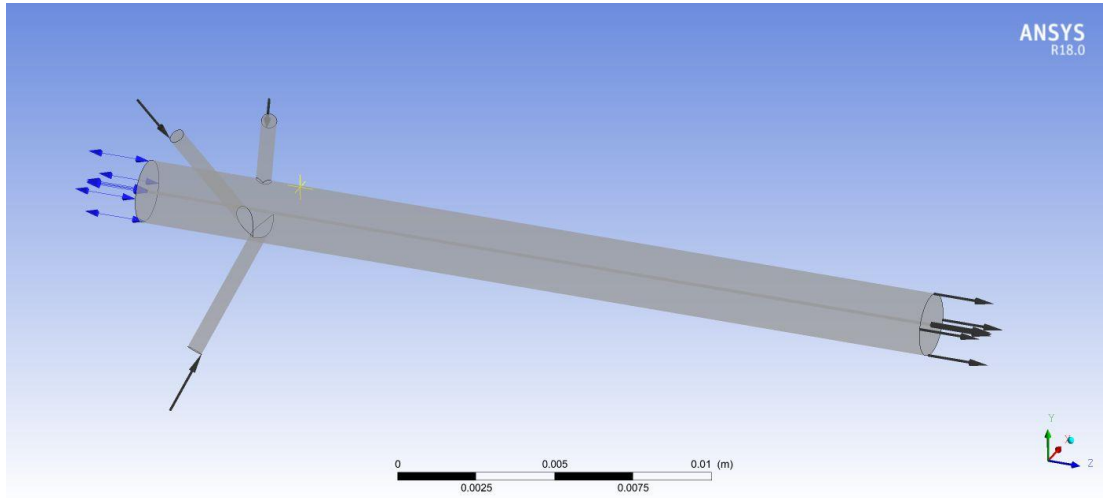
$$P_{atmosfer} = 100 \text{ kPa} \quad (3.4)$$

Parametrik düze çalışmasında giriş sınır şartı olarak kütle ve momentum tanımlamasında toplam basınç seçilmiş ve basınç değeri olarak "BASINC" fonksiyonu girilmiştir. BASINC fonksiyonu ise Ansys Workbench 18.0 parametrik çalışma tablosunda mutlak değerler olarak tanımlanmıştır. Türbülans tanımlamasında ise orta yoğunluklu türbülans (%5), akış rejimi ise subsonic (ses altı) olarak seçilmiştir. Hava akış hızı enjektörlerin büküm odasına açıldığı çok küçük bir lokasyonda ses hızının üstüne çıkabilmektedir (~1.2-1.3 Mach). Fakat genellikle ses altı hızda seyrettiği için ses üstü hızlar için özel çözüm fonksiyonlarının aktif hale getirilmesinin gerekli olmadığı kanaatine varılmıştır.

Çıkış sınır şartı: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarında çıkış sınır şartı olarak genellikle akışın ulaştığı ortamın atmosfer şartları tarif edilmektedir. Özellikle sıkıştırılabilir akışlar için kütle ve hız parametrelerinin kullanılması önerilmemektedir. İplik ve havanın çıktığı düze büküm odasının çıkış kesidine çıkış sınır şartı atanmıştır. Çıkış sınır şartı kütle ve momentum seçeneği olarak ortalama statik basınç seçilmiş ve rölatif basınç "0" kPa değerinde tanımlanmıştır. Basınç ortalama opsiyonu ise bütün çıkış üzerinden ortalama (average over whole outlet) olarak tanımlanmış, akış rejimi ise ses altı (subsonic) olarak seçilmiştir.

Açıklık sınır şartı: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarında genellikle opening sınır şartı olarak adlandırılan bu sınır şartı kontrol hacmi içerisinde

kütle giriş ve çıkışının serbest olduğu bölgeleri ifade etmek için kullanılan bir sınır şartı çeşitlerinden biridir. İpliğin büküm odasına girdiği düze açıklığının, açıklık (opening) sınır şartı olarak tanımlanması gerekmektedir. Açıklık sınır şartı kütle ve momentum opsiyonu olarak “opening pres. and dirn” seçilmiş ve rölatif basınç “0” kPa değerinde tanımlanmıştır. Türbülans tanımlamasında ise orta yoğunluklu türbülans (%5), akış rejimi ise subsonic (ses altı) olarak seçilmiştir. Sınır şartlarının CFX programında tanımlanması, Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Sınır şartları atanmış düze geometrisi

3.2.4.4. Başlangıç şartları

Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemindeki korunum denklemlerinin çözülebilmesi için kontrol hacmi ve sınır şartlarına ilaveten başlangıç şartlarının da tanımlanması gerekmektedir. Parametrik düzenin ANSYS CFX 18.0 programına ait başlangıç şartları tanımlamaları aşağıda verilmiştir:

Analiz tipi: Zaman bağımsız, kararlı durum, sürekli hal (steady-stat(e))

Akışkan tipi: 25 °C sıcaklığa sahip hava, ideal gaz

Akışkan sıcaklığı: 25 °C

Akışkan morfolojisi: Sürekli akış

Referans basınç: 100 kPa

Isı transferi: İzotermal

Türbülans modeli: SST

Duvar fonksiyonu: Otomatik

Türbülans yoğunluğu: Orta Yoğunluklu, %5

Minimum iterasyon: 5

Maksimum iterasyon: 500

Yakınsama artık (residual) tipi: RMS

Artık hedefi (çözüm hassasiyeti): 1e-05

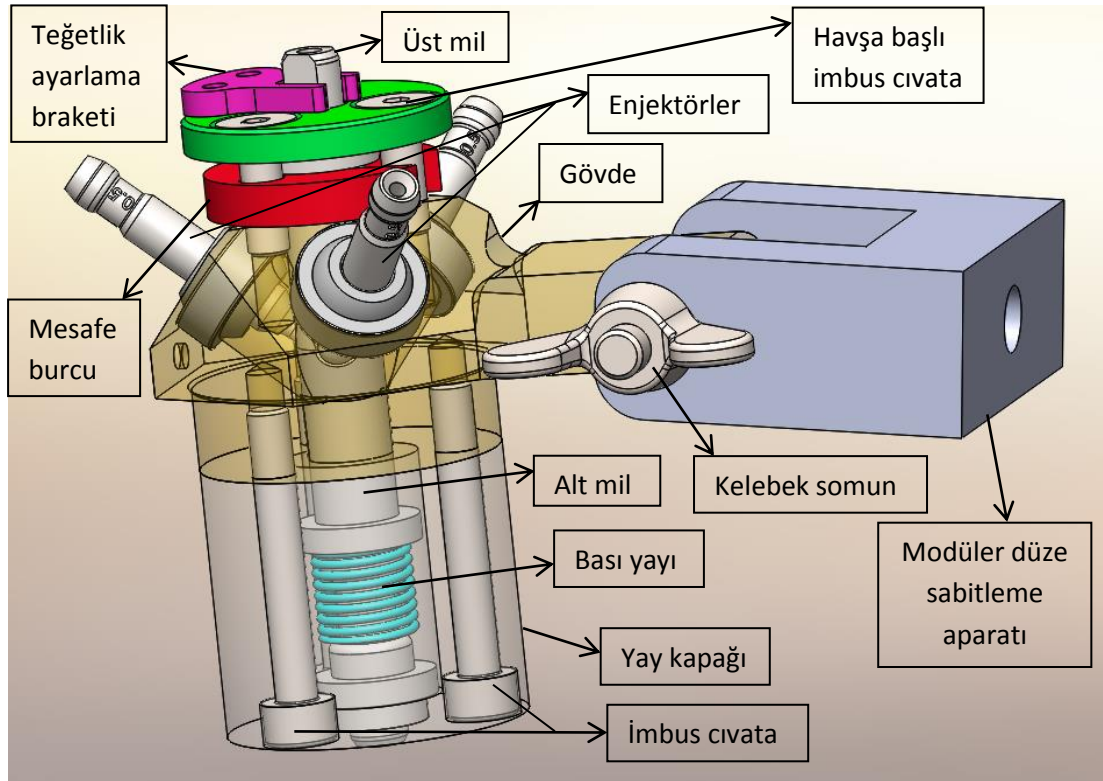
3.2.5. Modüler hava düzesi tasarımı

Bu tez çalışmasının nihai amacı, tek bir yapı üzerinde farklı parametrelerle çalışmaya imkân sağlayan, modüler ve ergonomik bir düze aparatının geliştirilmesidir. Literatürde yer alan çalışmalarda konvansiyonel imalat yöntemleri ile üretilen düzeler kullanılmıştır. Her bir parametre için tek tek düze değişimi yapılmıştır. Kullanım kolaylığı, hızlılık, sürdürülebilirlik, sonuçların tekrarlanabilirliği, sistematik ve detaylı analizlerin yapılabilirliği açısından düze tasarımının revize edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Önerilen bu tez çalışması ile her bir parametre için imalat yapma ihtiyacını ve kullanım sırasında tek tek düze değişimi zorunluluğunu ortadan kaldıracak bir düze tasarımının kullanılabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Düzeler, düze eksenine belirli bir açıyla yerleştirilmiş ve teğetsel olarak uzanan enjektörlerden oluşan parçalardır. Gerek deliklerin belirli bir açığa sahip olması gerekse de delik çaplarının küçük olması nedeniyle düzelerin üretimi oldukça hassas ve zordur. İstenilen çap ve açı değerindeki enjektör deliklerini, düze üzerinde istenilen sayıda ve istenilen konumda oluşturmak, üretim esnasında özel bir çaba gerektirmektedir. Söz konusu durumlar, konvansiyonel imalat yöntemleri ile yapılan üretimlerde hata payını ve imalat süresini arttırmaktadır. Ayrıca, yapısal parametrelerde değer aralığı düzenli aralıklarla ayarlanamamakta ve bu nedenle parametrelerin etkisi sistematik şekilde incelenememektedir. Bununla birlikte, her bir yapısal parametre için düzelerin tek tek çıkartılıp takılması gerekmektedir. Takıp çıkarma gerek modifiye

sistemlerin kullanımını olumsuz etkilemekte gerekse de hata yapma riskini arttırmaktadır.

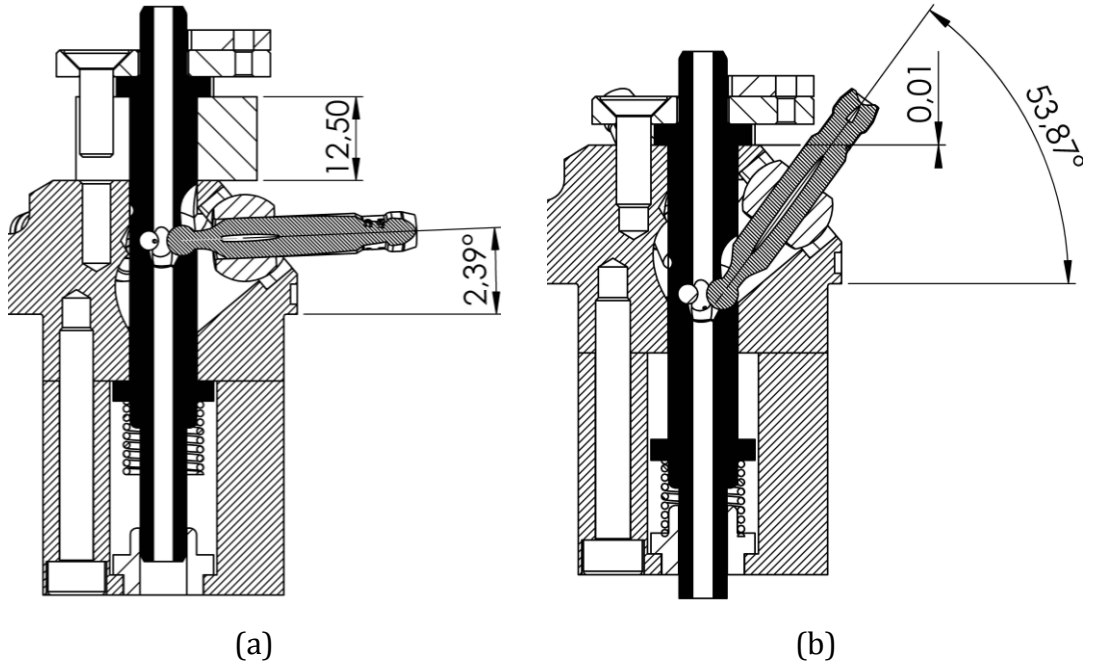
Bu eksiklikleri gidermek üzere tasarımı yapılan modüler hava düzesi Şekil 3.13’de görülmektedir. Yüksek yapısal konfigürasyon çeşidine sahip hava düzeleri için farklı düze üretimleri yapmak yerine açıları ayarlanabilir, parçaları modüler olarak değişip yeni bir şekil alabilen bir hava düzesi, iplik eğirme işleminde düze kullanımının çok daha kolaylaşmasını sağlayacaktır. Modüler hava düzesi, değişebilen modüler alt ve üst mil, değişebilen modüler enjektörler, değişebilen modüler mil teğetlik ayarlama braketi ve değişebilen modüler bir gövdeden oluşmaktadır.



Şekil 3.13. Modüler hava düzesi tasarımı

Enjektör açılarının değişimi: Enjektörlerin açısı, büküm odasını oluşturan modüler düze milinin gövde içerisinde ileri geri hareketi ile ayarlanmaktadır. Düze milinin konumu ise mesafe burcu kullanılarak ayarlanabilmektedir. Her açı değeri için farklı bir mesafe burcu kullanılmaktadır. Farklı kalınlığa sahip mesafe burcunun değiştirilmesi ile açı değerleri de değişmektedir. Modüler

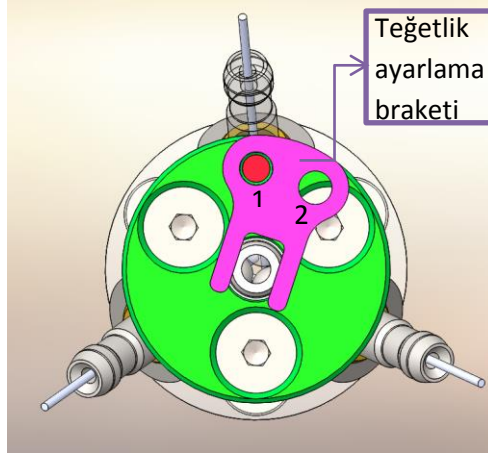
düze tasarıma göre minimum ve maksimum enjektör açı değerleri 2.39° - 53.87° aralığındadır (Şekil 3.14). Literatürde hava düzeleri ile ilgili çalışmalar 0° - 55° aralığında yoğunlaşmaktadır (Oxenham ve Basu, 1993; Jeon, 2000; Zeng ve Yu, 2003, 2004; Rengasamy vd., 2005, 2008; Patnaik vd., 2005, 2006, 2007, 2008; Guo vd., 2007, 2008, 2009; Yilmaz ve Usal, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Shang vd., 2015; Qiu vd., 2016; Sun ve Pei, 2016; Ahmed vd., 2018;). Bu nedenle enjektör açı aralığı, bu değerler (0° - 55°) hedeflenerek tasarlanmıştır.



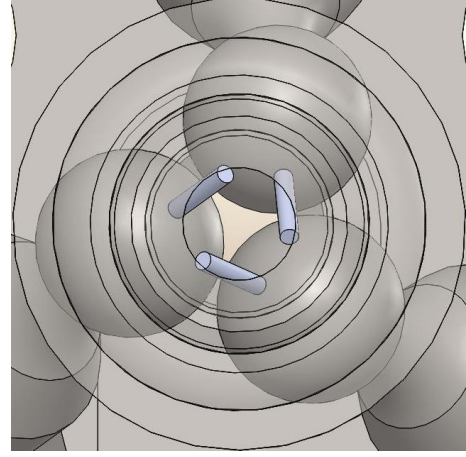
Şekil 3.14. Minimum a) ve maksimum enjektör açısı b)

Mesafe burçlarının minimum ve maksimum değerleri: 0.01 mm ile 12.5 mm aralığındadır. Bu sınır değerlerde enjektörler, düze gövdesine dayanmaktadır. 0.01 mm'lik bir mesafe burcu konduğunda açı değeri 53.87° den, 12.5 mm'lik mesafe burcu konduğunda açı değeri 2.39° ye kadar düşmektedir (Şekil 3.14).

Büküm odasına açılan enjektörlerin teğetlik derecesinin ayarı ve helisel dönüş yönünün ayarlanması: Enjektörlerin büküm odasına olan helis yönü, teğetlik ayarlama braketi vasıtasıyla saat yönünde veya saatin ters yönünde ayarlanabilmektedir.



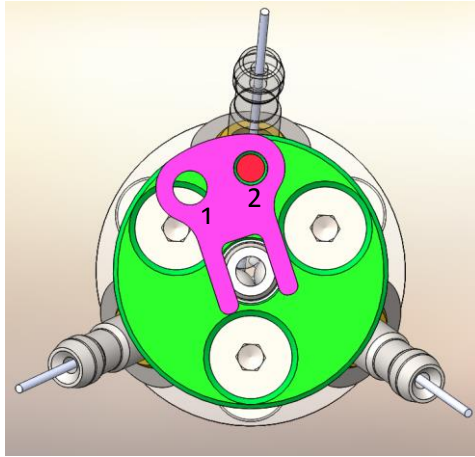
(a)



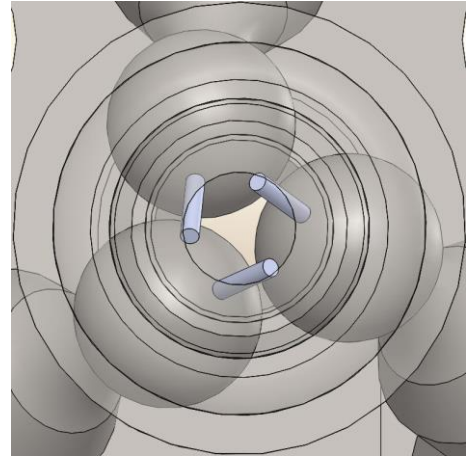
(b)

Şekil 3.15. Saat yönü helis konfigürasyonu a) ve saat yönünde helisel dönen hava akımı görselleştirilmesi b)

Şekil 3.15’de görülen mil teğetlik ayarlama braketi 1 numaralı deliğe takıldığında (Şekil 3.15a), ipliğe Z büküm vermek için saat yönünde (Şekil 3.15b), 2 numaralı deliğe takıldığında ise (Şekil 3.16a) ipliğe S büküm vermek için saat yönünün tersi akış helisi (Şekil 3.16b) meydana getirmektedir.



(a)

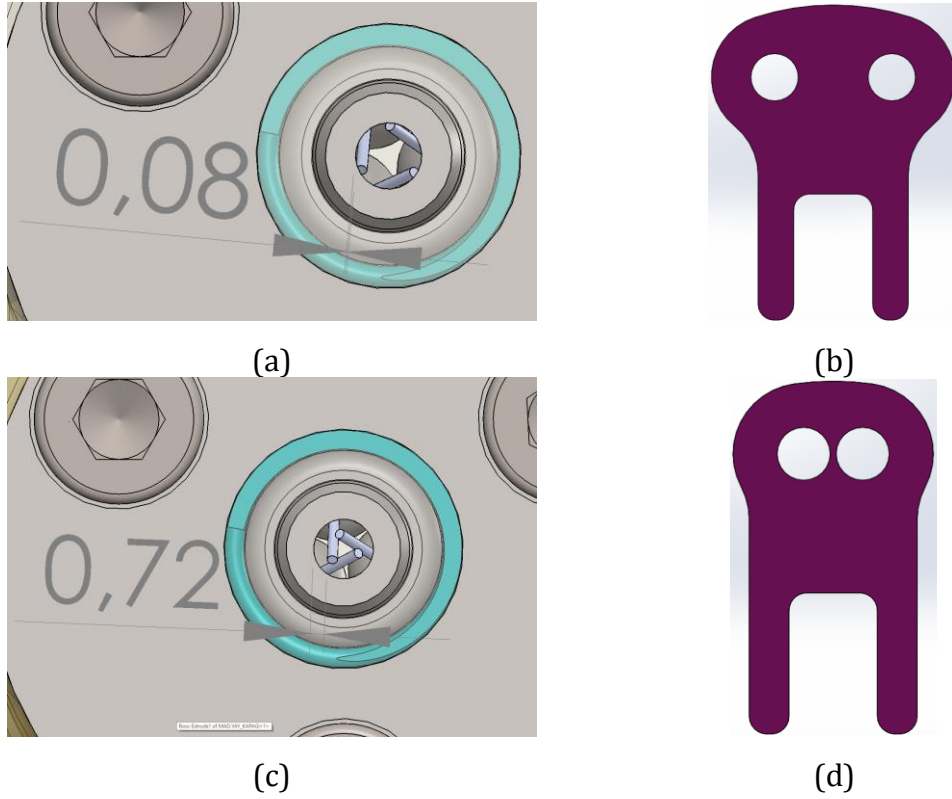


(b)

Şekil 3.16. Saatin ters yönü helis konfigürasyonu a) ve saatin ters yönünde helisel dönen hava akımı görselleştirilmesi b)

Şekil 3.15’de büküm odası içerisinde enjektörlerin saat yönü ve saatin ters yönü olmak üzere tam teğet bir şekilde konumlandırıldığı görülmektedir. Enjektörlerin büküm odasına bağlantı konumu istenildiğinde büküm odası

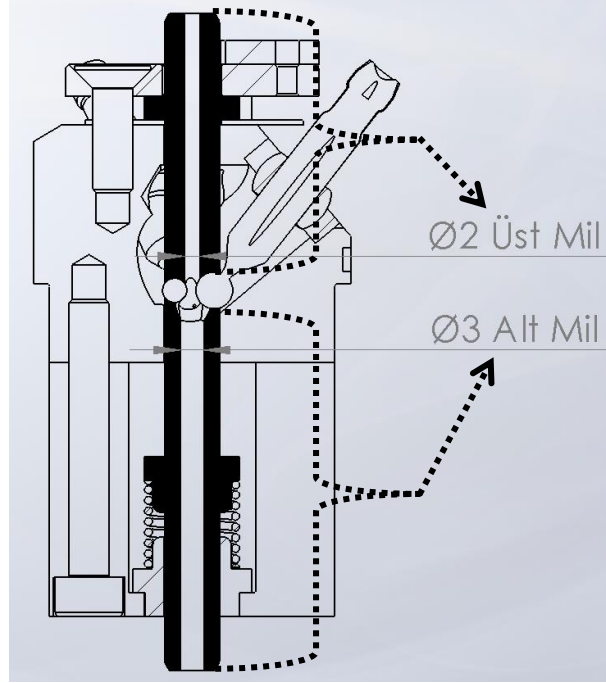
merkezinine doğru yaklaştırılabilmektedir (Şekil 3.17). Literatürde rastlanmayan bu durum bu çalışmanın özgün değerlerinden birini oluşturmaktadır.



Şekil 3.17. Teğetlik ayarlama braketini açı değişimi a) enjektörlerin büküm odasına 0.08 mm'lik mesafe ile konumlandırılması b) a'daki enjektör konumlandırılması için kullanılan teğetlik ayarlama braketini c) enjektörlerin büküm odasına 0.72 mm'lik mesafe ile konumlandırılması d) c'deki enjektör konumlandırılması için kullanılan teğetlik ayarlama braketini

Mil teğetlik ayarlama braketindeki deliklerin açısı, enjektörlerin büküm odasına tam teğet olacak bir şekilde konumlandırılmasını sağlamaktadır. Büküm odası çapı ve/veya enjektör çapları değiştiğinde ise bu teğetlik açısı değişecek ve yeni konfigürasyona göre tekrar ayarlanması gerekecektir. Bu durumda gereken açı değeri, Ek B'de yer alan mil teğetlik ayarlama braketini delik açısı belirleme tablosu'ndan (Çizelge B.1) seçilerek ilgili açı değerine sahip mil teğetlik ayarlama braketini modüler düzeye takılacak ve istenilen tam teğetlik ayarlanabilecektir.

Büküm odası çapı değişimi: Büküm odası çapın değiştirmesi için alt milin değişmesi yeterlidir. Arzu edildiğinde, alt ve üst miller farklı çapta da olabilir (Şekil 3.18).



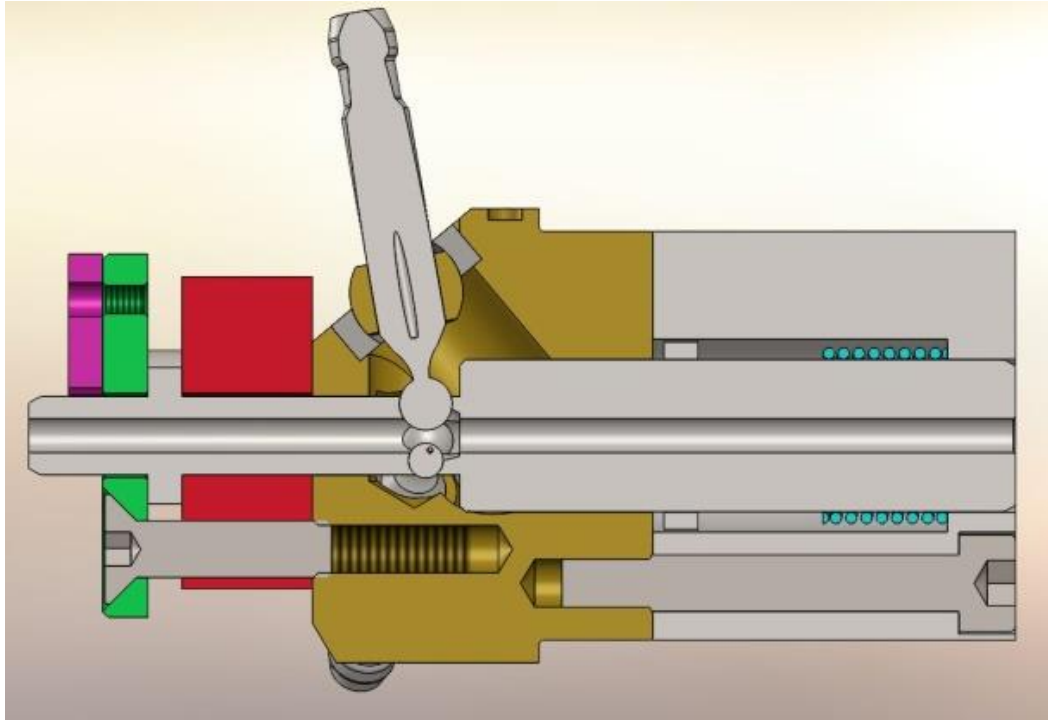
Şekil 3.18. Modüler düze alt ve üst mil ana delik çapı değişimi görünümü

Enjektör çapı değişimi: Modüler enjektör değişimi ile çap değiştirilebilmektedir. Arzu edildiğinde, 3 enjektör çapı da birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durumda mil teğetlik ayarlama braketi minimum en büyük enjektör açısına tam teğet olacak şekilde uygun braket ile değiştirilmelidir.

Enjektör çevresel adedinin değişimi: Modüler düze tasarımı, çevresel 3 adet enjektör içerecek şekilde tasarlanmıştır. Çevresel enjektör adedinin değişmesi mümkündür. Fakat bu durum, bütün tasarımı etkilemektedir. Modüler hava düzesi tasarımındaki üst ve alt millerin dış çapı Ø10 mm'dir. Ø10 mm'lik miller 3 enjektör küresini yataklayabilmektedir. Kaç adet enjektör yataklanacaksa mil çaplarının bu oranda artırılması gerekmektedir. Çevresel enjektör sayısının artırılması, enjektörü yataklayan gövdenin de değiştirilmesini gerektirmektedir. Tamamen yeniden tasarlanan enjektör gövdesinin mil kapama burç delikleri değişeceği için yeni tasarım gövdeye uygun mil kapama

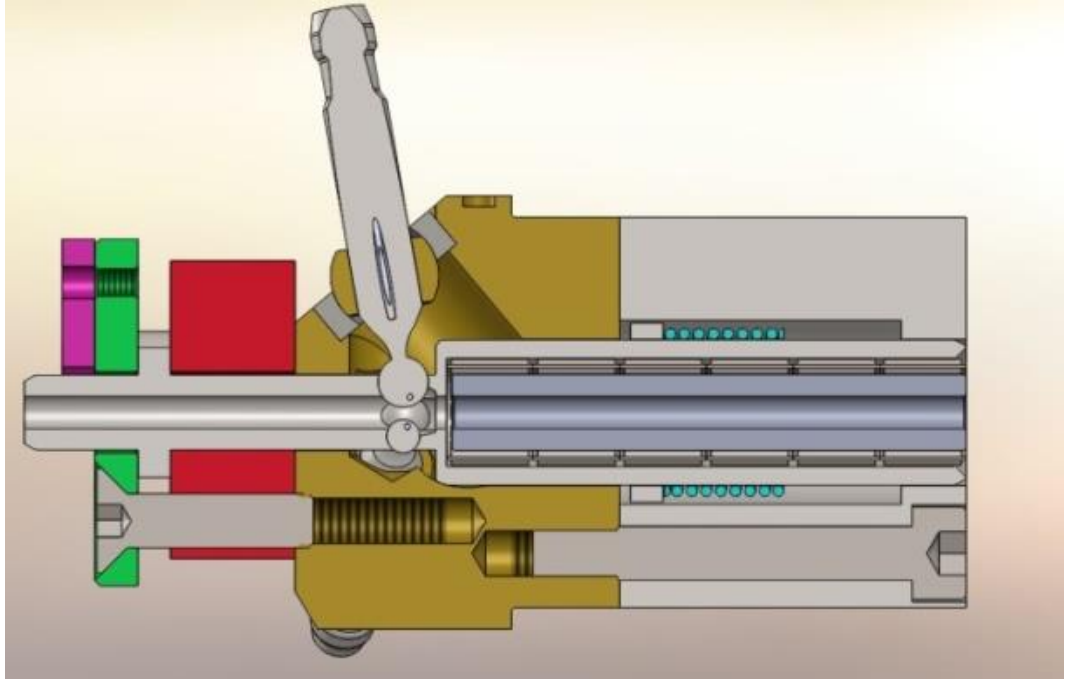
burcu ve mesafe burçlarının buna uygun şekilde tasarımlarının da değiştirilmesi gerekmektedir. Mil ve gövdenin büyümesi, yay kapağı tasarımının da değiştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Geometrik swirl sayısından faydalanılarak modüler çevresel enjektör adedinin belirlenmesi ve neden çevresel 3 adet olarak tasarlandığı EK C’de ayrıntılı olarak verilmektedir.

Serbest dönebilen büküm odası: Modüler düzede hava akımının açısai momentumunun dengelenmesi amacıyla beslenen hava akımıyla birlikte serbest dönebilen bir büküm odasının tasarlanması hedeflenmiştir. Rulman ile yataklanacak serbest dönebilen bahsedilen mil tasarımı ile helisel dönen akışın açısai momentumunun dengeleneceğı, akış kuvvetinin tek bir noktadan daha geniş bir alana yayılacağı düşünülmektedir. Bu şekilde optimize bir helisel dönen akışın meydana gelmesi, daha yüksek hava akımı basınç değerlerine çıkılabilmesi ve iplik kopuşlarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Helisel dönen akış alt milde oluştuğı için rulman yataklı düzenin sadece alt milde oluşturulması yeterlidir. Alt milde rulman yataklaması yapmak için gereken mil çapı mevcut tasarımda yeterli değildir. Bu yüzden alt mil çapı, Ø10 mm’den Ø13.4 mm’ye çıkarılmıştır (Şekil 3.19).



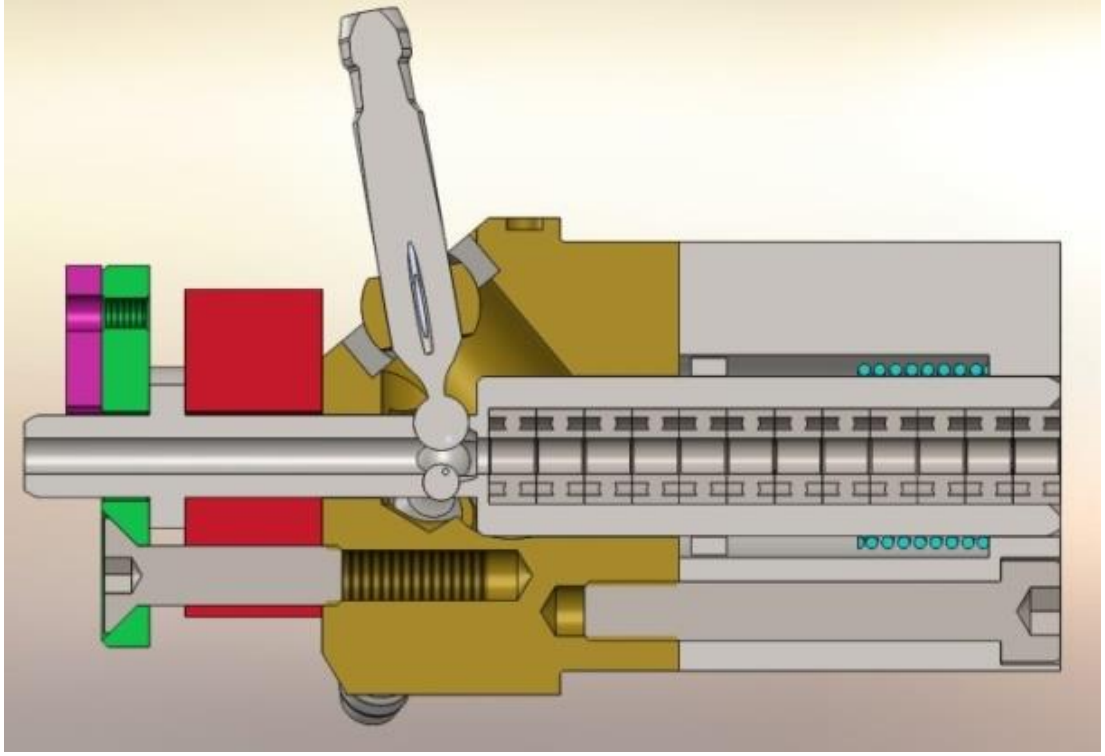
Şekil 3.19. Modüler düze alt milinin revize olmuş hali

Şekil 3.20'deki alt mil içerisinde $\varnothing 10$ mm çapında 40 mm uzunluğunda bir kanal açılarak içerisine yan yana 5 adet K7X10X8 tipi iğne rulman yerleştirilmiştir (Şekil 3.20). Bu iğne rulmanların dış çapı $\varnothing 10$ mm iç çapı $\varnothing 7$ mm kalınlığı ise 8 mm'dir. İğne rulmanların içine de serbest dönmesi için istenilen büküm odası çapında mil yerleştirilebilir. Bu tasarımın avantajı, normalde her büküm odası çapı değişiminde alt milin komple yeniden üretilmesi gerekirken bu rulmanlı tasarımda sadece içerisindeki boru kesitte düz basit bir milin değişimi yeterli olması ve komple alt mil'e göre düşük maliyetle imal edilebilmesidir.



Şekil 3.20. Modüler düze K7X10X8 iğne rulmanlı montajı

Alternatif olarak radyal rulmanlar kullanılarak, radyal rulmanların içi büküm odası olarak kullanılabilir (Şekil 3.21). Fakat, her büküm odası çapı için farklı bir rulman takımı kullanılması gerekmektedir. Radyal rulman kullanmanın birçok avantajı vardır. Rulman, milin en soluna yaslı olsa bile milin iç kısmı dönebilir. Rulmanın iç kısmı sac metalden üretildiği ve düşük pürüzlülükte parlatıldığı için düşük hava direnci oluşturacaktır. Ayrıca, bu düşük sürtünme ipliğın sürtünmeden dolayı kopma problemlerinin önüne geçebilecektir. Talaşlı imalat ile üretilen millerde, yüzey pürüzlülük değerinin düşürülmesi zor ve ekstra yüzey iyileştirme operasyonları gerektirmektedir (raybalama, fırçalama, madison çekme, honlama vb.).



Şekil 3.21. Modüler düze K7X10X8 iğne rulmanlı komple detay görünümü

Rulmanlı büküm odası tasarımına literatürde rastlanmamıştır. Rulmanlı büküm odası tasarımı için modüler düze tasarımında da olduğu gibi Türk Patent ve Marka kurumuna “Büküm odası serbest dönebilen hava düzesi” buluş başlığı ile patent başvurusu yapılmış olup, söz konusu başvuru tez çalışmasının özgün yönlerinden biridir.

3.2.5.1. Modüler düze hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri

Geliştirilen modüler düze tasarımı da konvansiyonel düzelerde olduğu gibi Ansys Workbench 18.0 programı içerisinde Design Modeller 18.0 programı kullanılarak parametrik modüler düze akış hacmi oluşturulmuş, konvansiyonel düzelerdeki yapısal ve akış parametreleri aynı şekilde modüler düze için de atanmıştır. Konvansiyonel düzelerde olduğu gibi aynı sınır şartları ve başlangıç şartları modüler düze analizi için de atanmıştır. Örülen çözüm ağı eleman sayıları da, konvansiyonel düze analizlerinde olduğu gibi yaklaşık 2,300,000 tetrahedral elemandan oluşmaktadır.

3.2.6. Deneysel kurulum ve ölçüm sistemleri

Hava düzesi ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların birçoğunda düze sistemlerine beslenen havanın hangi mekanik ya da elektronik cihazlarla sağlandığı, sıcaklığın ve bağıl nem'in nasıl ölçüldüğü, basıncın nasıl ve hangi hassasiyetle ayarlandığı belirtilmemektedir. Belirtilen çalışmaların çoğunda hassasiyeti güvenilmeyen manometre saatleriyle ölçüm ve ayarlama yapıldığı gözlenmektedir. Kompresörde meydana gelen dalgalanmalar ve el yordamıyla ayarlanan basınç ile yapılacak parametrik çalışmaların hata payı yüksek olacaktır. Bu yüzden bu tez çalışması kapsamında, sıcaklık ve bağıl nem ölçümü ile hava basıncının ayarlanması tamamen elektronik kontrollü cihaz ve sensörler ile gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında düzeye beslenen havanın sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi ve düzeye beslenen havanın basıncının HMI (insan makine arayüzü, dokunmatik ekran) üzerinden ölçülmesi ve ayarlanabilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Düze kontrol panosu

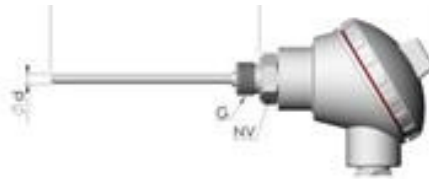
3.2.6.1. Bağıl nem ve ortam sıcaklığı ölçümü

İplik tüylülüğünün %25-35 aralığında düşürüldüğü literatürdeki çalışmaların çoğunluğunda, deney yapılan ortamın sıcaklığı 20 - 25 °C, bağıl nemi ise %65 olarak belirtilmiştir (Subramanian vd., 2007; Dabirian ve Hosseini, 2009; Yılmaz, 2011; Hoseinpour vd., 2012; Pei vd., 2012; Qiu vd., 2012; Xue vd., 2012; Shang vd., 2015; Li, 2016; Han vd., 2016). Bu tez çalışmasında da, literatürdeki verilerle karşılaştırma yapılabilmesi için E+E marka EE160 sıcaklık ve bağıl nem sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.23).



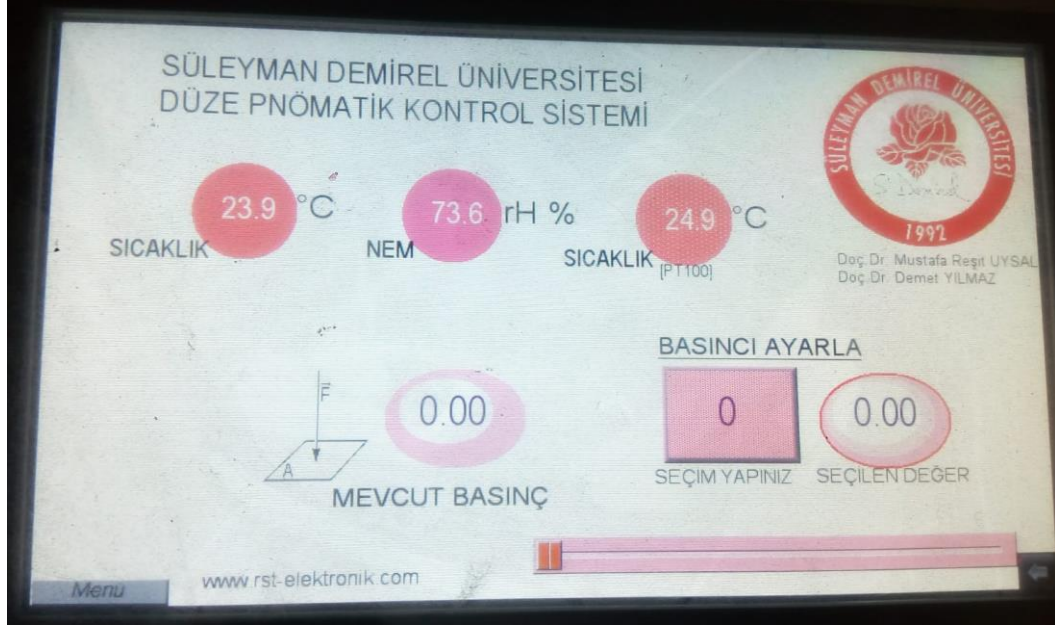
Şekil 3.23. EE160 sıcaklık ve bağıl nem ölçüm sensörü

Kullanılan EE160 sıcaklık ve bağıl nem sensörü, ortam sıcaklığını ± 0.3 °C ve bağıl nemi ise $\pm$ %2.5 hassasiyetle ölçebilmektedir. Sonuçlar sahip olduğu analog/modbus çıkışı ile PLC (programlanabilir mantıksal kontrolcü) ya da HMI (İnsan Makine Arayüzü, dokunmatik ekran) sistemlerine sayısal veri olarak aktarabilmektedir. EE160 dışında kızgın buhar kullanılarak yapılacak düze deneyleri için kullanılmak üzere bir PT100 sıcaklık sensörü de MHI sistemine entegre edilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. PT100 sıcaklık sensörü

Hava düzeleri ile iplik bükümü yapılan ortamın HMI üzerinden sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri Şekil 3.25’de verilmiştir. Bu sistem kullanılarak deney esnasında ortalama sıcaklık 25 ± 1.5 °C ve ortalama bağıl nem ise $\%75 \pm 2.5$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.25. HMI kontrol paneli

3.2.6.2. Kompresörden beslenen hava basıncının ölçümü ve ayarlanması

Genellikle basınç düşürücü valfler olarak adlandırılan basınç regülatörleri, basınçlı hava sistemlerinde giriş basıncındaki veya çıkış akışındaki değişikliklerden bağımsız olarak sabit çıkış basıncını korumaktadır. Regülatörler, entegre yükleme, algılama, çalıştırma ve kontrol bileşenlerini içeren özel bir valf sınıfıdır.

Genel amaçlı veya yardımcı düzenleyiciler, çoğu endüstriyel basınçlı hava uygulamasının gereksinimlerini karşılayan akış ve düzenleme özelliklerine sahiptir. Bu tür düzenleyiciler, rekabetçi hizmetlerde uzun hizmet ömrü ve bakım kolaylığı sağlamaktadır. Hassas regülatörler, ayar basıncının yakın toleranslarla kontrol edilmesi gereken uygulamalar içindir. Bu tür düzenleyiciler, bir işlemin veya bir testin sonuçları doğru basınç kontrolüne bağlı durumlarda kullanılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, düzelere sağlanan havanın basıncının hassas bir şekilde ayarlanması için Festo marka VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 model 6 kPa çözünürlüğünde, 6-600 kPa basınç aralığında, 0-800 lt/dak hacimsel debi kapasitesinde, 4-20 mA giriş ve çıkış sinyallerinde çalışan oransal basınç regülatörü kullanılmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Festo VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 oransal basınç regülatörü

3.2.6.3. Kütlesel ve hacimsel debi ölçümü

Düze enjektörlerine beslenen ve düze büküm odasını terkeden hava giriş çıkışlarının ölçümleri, Alicat Scientific Marka M serisi kütlesel debimetre cihazları ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.27). Kütlesel debimetreler, gaz akışını ölçmek için doğru, çok yönlü, güvenilir ve uygun maliyetli bir çözümdür. Geleneksel kütle akış ölçerlerinden farklı olarak, Alicat Scientific kütle akış ölçerler, ısınma süresi ve eşsiz çok yönlülük olmadan son derece hızlı, doğru bir sayaçla sonuçlanan laminar akış ve fark basınç teknolojisini kullanmaktadır. Alicat Scientific marka M Serisi kütlesel debimetrenin, 0-5000 lt/dak hacimsel debi aralığında ölçüm yapabilmektedir. Ölçüm hassasiyeti $\pm 0.8\%$ 'dir. Oldukça hızlı bir başlatma ve sadece 10 milisaniyelik bir yanıt süresine sahiptir. Alicat Scientific M Serisi kütlesel debimetre çok yönlü bir alettir. Kütlesel debi ölçümlerine ek olarak basınç, sıcaklık ve hacimsel debiyi de ölçer. Alicat'ın patentli teknolojisi, kütlesel debimetrelerin çok az hareketli parçaya sahip olmasını sağlamaktadır. Dâhili bileşenlerin tümü, kütlesel debimetrenin içinde çok az fiziksel değişime yol açan yerine sabitlenmiştir.



Şekil 3.27. Alicat Scientific Marka M serisi kütleli debimetreler ile kütleli ve hacimsel debi ölçümlerinin yapılması

3.2.6.4. Parametrik deney sisteminin kurulumu

Çizelge A.1 ve A.2’de sınıflandırılan toplam 150 farklı konvansiyonel hava düzesi Çizelge 3.3’de bahsedilen ve incelenmesi planlanan 2 farklı gösterge basıncı değerinde (75 kPa ve 125 kPa) ve dolayısıyla toplam 300 farklı düze konfigürasyonu kullanılarak iplik üretilmesi gerektirmektedir. Her bir yapılandırılmada üretilen ipliklerin fiziksel özelliklerinin tespiti için Çizelge 3.5’de de görüldüğü gibi, yaklaşık 800 m uzunluğunda ipliğin üretilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. 800 m uzunluğunda bir numune iplik üretimi için konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinin yaklaşık 3 saat çalışması gerekmektedir. İplik üretiminin yapıldığı işletmenin iş yoğunluğu nedeniyle herhangi bir aksamaya sebep olunmaması için iplik üretim sürelerini düşürmek amacıyla işletmede bulunan Merlin SP43 konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine aynı anda 10 adet hava düzesini sisteme entegresini sağlayan bir düze konumlandırma aparatı tasarlanmış ve ring iplik eğirme makinesine bağlanmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Merlin marka konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine 10 adet konvansiyonel hava düzesinin entegre edilmesi

Bu tez çalışması kapsamında, tasarlanan modüler düzenin de konvansiyonel düzeler ile aynı anda test edilebilmesi için 10'lu düze konumlama aparatının hemen yanına kendi montaj aparatı kullanılarak ring iplik eğirme makinesine bağlanması sağlanmıştır (Şekil 3.29).

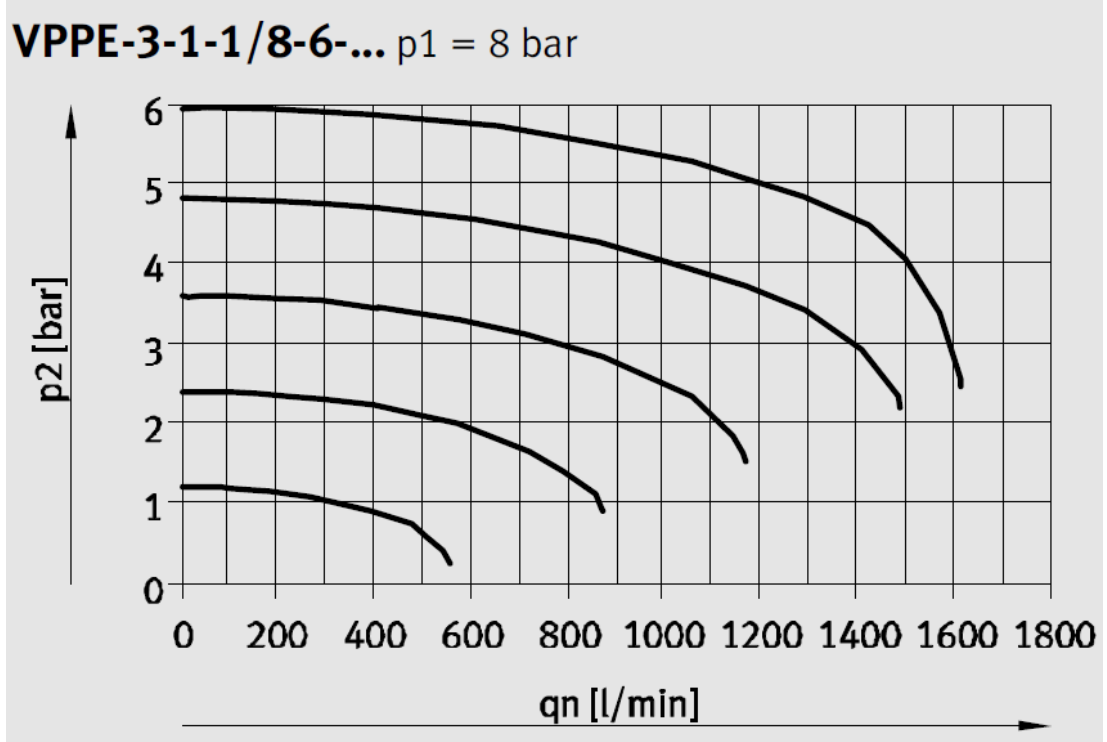


Şekil 3.29. Merlin marka konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine modüler hava düzesinin entegre edilmesi

Merlin marka konvansiyonel ring iplik eğirme makinesine bağlanan 10 adet düze ve modüler düzenin enjektörlerine, hava beslemesi için 6'lık pnömatik hortumlar bağlanmış, bu pnömatik hortumlar tek bir dağıtıcıda birleştirilerek Festo oransal basınç regülatörü çıkışı ile irtibatlandırılmıştır. Yani Festo oransal basınç regülatöründe (Şekil 3.26) ayarlanan hava basıncı, 10 adet konvansiyonel hava düzesi ve 1 adet modüler hava düzesini aynı anda beslemektedir.

75 kPa gösterge basınç değerleri için enjektörlere beslenen hacimsel debi ortalama değerleri 75 kPa için 29.2 lt/dak, 125 kPa için ise 31.4 lt/dak debi tüketmektedirler. 10 adet düze ortalama 300 lt/dak, modüler düzeye beslenen hava da dikkate alınırsa, yaklaşık 350 lt/dak mertebesinde hava beslemesi gerekmektedir.

Şekil 3.30'daki Festo VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 oransal basınç regülatörü teknik spesifikasyonlarında verilen hacimsel debi-basınç kaybı grafiğine göre, 350 lt/dak hacimsel debi değerinde bir hava tüketiminin yaklaşık 40-50 kPa (0.4-0.5 bar) değerinde basınç kaybı meydana getirdiği anlaşılmaktadır. Şekil 3.30'daki p1 değeri oransal basınç regülatörüne beslenen hava basıncının 800 kPa (8 bar) olması gerektiğini, p2 değeri oransal basınç regülatöründen çıkan havanın basıncını, giderek değeri düşen eğriler ise, o basınç değerinde meydana gelen basınç kaybı miktarını göstermektedir. Az da olsa pnömatik hortumlar ve dağıtıcıdan geçen havanın da bir miktar basınç kaybı meydana getireceği (~10 kPa) göz önüne alınarak, bu sistemin toplam basınç kaybının 50 kPa (0.5 bar), hata payının ise ± 10 kPa (± 0.1 bar) olacağı varsayılmıştır.



Şekil 3.30. Festo VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 oransal basınç regülatörü hacimsel debi-basınç kaybı grafiği (Festo, 2017)

Dolayısıyla hava düzelerine 75 kPa hava beslenmesi için oransal basınç regülatörü 75+50=125 kPa gösterge basınç değerine, 125 kPa hava beslenmesi için de 125+50=175 kPa gösterge basınç değerine ayarlanması gerektiğinden iplik üretimleri bu basınç değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Tüketilen hava miktarına ilişkin hava düzeleri işletme maliyetleri EK D’de verilmiştir.

3.2.6.5. Kondisyonlanmış (%100 bağıl neme sahip) havanın deney sistemine entegrasyonu

Tekstil prosesleri sırasında özellikle iplikhanelerde, dokuma ve örme dairelerinde uçuntu oluşumunu ve iplik kopuşlarını azaltmak amacıyla belirli nem değerine sahip kondisyonlanmış hava kullanılmaktadır. Günümüzde üretim hızlarının artması ile birlikte iplikteki nem düşmekte ve böylece ipliğin mukavemet özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu sebepten dolayı ipliklerin üzerindeki nem miktarının arttırılması ve gerilimlerin yok edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, iplikhanelerin iç ortamı yanında eğirme

makinelerinde de kondisyonlanmış havanın uygulamasına yönelik çalışmalar mevcuttur (Dabirian ve Hosseini, 2009; Kim ve Kim, 2018).

Kompresörden hava düzesine beslenen hava kurudur. Kompresörden beslenen havanın nem miktarına ait ölçümler EK E’de yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, kondisyonlanmış havanın bahsedilen pozitif etkilerini elde etmek amacıyla bir pnömatik şartlandırıcı kullanılarak düzeye beslenen havanın bağıl nemi %100 bağıl nem değerine yükseltilerek, iplik üretimleri sağlanmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Pnömatik şartlandırıcı ile düzelere %100 bağıl nem’e sahip kondisyonlanmış havanın verilmesi

3.2.7. Kullanılan istatistiki yöntem ve sonuçların analizi

Hava düzesine ait büküm odası çapı, enjektör çapı, enjektör açısı ve çevresel enjektör adedi gibi yapısal parametrelerin ve düzeye uygulanan hava basıncı parametresinin tüylülük, mukavemet, düzgünsüzlük ve kopma uzaması gibi

iplik özellikleri üzerinde etkisini araştırmak için cevap (tepki) yüzey metodolojisi (Response Surface Methodology) kullanılmıştır.

Cevap yüzey metodolojisi, deneysel model oluşturma için matematiksel ve istatistiksel tekniklerden oluşmaktadır. Bu metottaki amaç, deneylerin dikkatli bir şekilde tasarlanması ile birden fazla bağımsız faktörlerden (giriş değişkenleri) etkilenen bir yanıtının (çıkış değişkeni) optimize edilmesidir.

Tez çalışmasında cevap yüzey analizini gerçekleştirmek için Design Expert 11.0 programı kullanılmıştır. Cevap yüzey metodunda regresyon analizleri ve optimizasyonlar sonucunda bir istatistiki model ortaya konmaktadır. Bu istatistiki model faktörlerin seviyelerine ve modelin anlamlı değişkenlerine göre lineer, kuadratik, kübik, kuartik ya da daha üst dereceden bir polinoma sahip olabilecektir. Design Expert 11.0 programında yapılan cevap yüzey metodolojisinde regresyon analizlerini çözmek için kullanılan polinomların derecesi, en düşük seviyeye sahip faktörün derecesine eşittir. Minimum seviye sayısına göre seçilebilecek polinom seviyeleri, Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Cevap yüzey metodunda kullanılan polinom mertebeleri ve faktör seviyeleri

Polinom mertebesi	Faktör Seviyesi
Lineer ve 2FI	2
Kuadratik	3
Kübik	4
4. seviyeden kuartik	5
5. seviyeden kuartik	6

Seçilen modelin deneysel veriyi ne ölçüde karşıladığı ise varyans analizi (ANOVA) ile %95 güven aralığında belirlenmektedir. Varyans analizi mevcut modelin gözlemlenen verileri açıklayıp açıklamadığını belirlemek için tasarlanmıştır. Her şeyden önce, düzeltilmiş (adjusted) R-kare ve öngörülen (tahmin edilen, predicted) R-kare değerlerine odaklanılmalıdır. R-kare değeri, terimler istatistiksel olarak anlamlı olmasa bile, modele terimler eklemeye devam ederek yapay olarak arttırılabilir. Modele önemsiz terimler eklendiğinde

düzenlenmiş R-kare değeri ve çok fazla önemsiz terim olduğunda, öngörülen R-kare değeri azalacaktır. Temel bir kural, düzeltilmiş ve öngörülen R kare değerleri farkının 0.2 (%20) içinde olması gerektiğidir.

Model satırı, cevaptaki değişkenliğin, model için tüm test modelinin yanı sıra önemi ile açıklandığını göstermektedir. Artıklar (residuals), yanıtta ne kadar varyasyonun hala açıklanamadığını ifade etmektedir. Karelerin toplamı (sum of squares), genel ortalama ile bu satırlar kaynağı tarafından açıklanan varyasyon miktarı arasındaki kare farklarının toplamıdır. Serbestlik derecesi (df) kaynağın kareler toplamını hesaplamak için kullanılan tahmini parametrelerin sayısıdır. Ortalama kare (mean square), karelerin toplamının serbestlik derecesine oranını ifade etmektedir.

Varyans olarak da ifade edilebilen F değeri, kaynağın ortalama karesini artıkların ortalama karesiyle karşılaştırmak için yapılan testtir. Prob>F (p-değeri), gözlenen F-değerini görme olasılığıdır (faktör etkisi yoktur). Olasılık, gözlenen F değerinin ötesinde kalan F dağılımının eğrisi altındaki integraline eşittir. Prob>F değeri çok küçükse (varsayılan olarak 0.05'ten az), kaynağın anlamlı şekilde test edildiğinin göstergesidir. Önemli model terimlerinin muhtemelen yanıt üzerinde gerçek bir etkisi vardır. Önemli uygunluk eksikliği, modelin gözlemlenen kopya varyasyonundaki verilere uymadığını göstermektedir.

Standart sapma (Std Dev), artıkların ortalama karesinin kareköküdür. Ortalama, tüm yanıt verisi varyasyon katsayısının (C.V.) genel ortalamasıdır ve standart sapma yüzdesi olarak ifade edilir.

$$C.V. (\%) = \frac{Std\ Dev}{Mean} \cdot 100 \quad (3.7)$$

Yeterli hassasiyet, sinyal-gürültü oranıdır. Adequate precision değeri tasarım noktalarında öngörülen değerlerin aralığını ortalama tahmin hatası ile karşılaştırır. 4'ten büyük oranlar, yeterli model ayrımı olduğunu göstermektedir.

Sonuçların analizinde, eğirme işleminde kullanılan hava düzelerine ait incelenen yapısal parametrelerin iplik özelliklerinde neden olduğu değişimi değerlendirmek amacıyla, yüzey grafikleri ve incelenen parametre için optimum aralığın tanımlanabilmesi için kontur grafikleri elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Konvansiyonel Ring İplik Eğirme Makinesinde Üretilen İpliklerin İplik Özellikleri Referans Değerleri

Hava düzelerinin iplik özellikleri üzerindeki performansının belirlenebilmesi için öncelikle konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde üretilen ipliklerin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde üretilen ipliklerin iplik özellikleri ile hava düzeleri kullanılarak üretilen ipliklerin iplik özellikleri karşılaştırılarak, hava düzelerinin performansı belirlenebilecektir. %100 pamuk elyafından Merlin SP43 model numaralı konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde Ne 30/1 numaralı 4 adet iplik üretilmiş ve test edilmiştir. Numunelere ait iplik kalite değerleri, Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde düze kullanılmadan üretilen numunelere ait iplik özellikleri ve ortalama değerleri.

	Tüylülük (H)	Düzensizlik (%CV m)	Kopma uzaması (%)	Mukavemet (cN/tex)
Numune 1	5.60	13.08	5.922	18.324
Numune 2	6.20	12.95	5.340	15.828
Numune 3	6.07	12.79	5.748	17.167
Numune 4	6.21	12.99	5.256	15.097
Ortalama	6.02	12.95	5.567	16.604

4.2. Düze Tasarımının İplik Özellikleri Üzerine Etkisi

4.2.1. Lineer/2FI cevap yüzey metodu analizi

Çizelge 3.3’e göre konvansiyonel düzeye ait olmak üzere yapısal parametrelerde 4 farklı faktör bulunmaktadır. Bunlar, enjektör çapı, enjektör açısı, büküm odası çapı ve çevresel enjektör adedidir. Düzenin yapısal bir faktörü olmayan, ancak iplik özellikleri üzerinde etkisi olan bir faktör de hava basıncıdır.

Cevap yüzey metodunda cevaplara ulaşmak için faktörler, seviyelerine göre analize dâhil edilmektedir. Çizelge 3.3’de de görüldüğü gibi enjektör çapı Ø0.5, Ø0.6, Ø0.7, Ø0.8 ve Ø0.9 olmak üzere en fazla 5 adet seviyede ele alınabilir. Benzer şekilde enjektör açısı en fazla 5, büküm odası çapı en fazla 3, çevresel enjektör adedi ve hava basıncı 2 adet seviyeye sahip olabilir.

Daha öncede belirtildiği gibi, polinom mertebesinde otürü analiz edilen faktörlere ait seviyelerin Lineer 2FI için en az 2, kuadratik cevap yüzey metodu analizi için en az 3, dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu analizi için de en az 5 olması gerektirmektedir. Çizelge 3.3’de verilen düze yapısal parametreleri ve deneme planına göre, çevresel enjektör adedi ve basınç parametreleri 2’şer seviyeden oluşmaktadır. Çevresel enjektör adedinin ve düzeye beslenen hava basıncının iplik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için bu faktör seviyelerine uygun lineer/2FI cevap yüzey metodu analizi yapılmıştır.

Lineer/2FI cevap yüzey metodu analizinin amacı 2 seviyeye sahip çevresel enjektör adedi ve hava basıncı faktörleri incelenerek iplik özellikleri üzerinde optimum sonuç veren faktörlerin belirlenmesidir. Bu faktörler belirlendiğinde sabit tutularak büküm odası çapı, enjektör çapı ve enjektör açısı yapısal parametreleri üzerinde daha üst polinom fonksiyonlar kullanılarak kuadratik cevap yüzey analizi yapılabilecektir.

Lineer/2FI cevap yüzey metodu analizi yapılırken büküm odası çapı Ø2.5 mm ve enjektör çapı Ø0.5 mm değerinde sabit tutulmuştur. Lineer/2FI cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler Çizelge 4.2’de, deney tasarımı ile cevaplar ise Çizelge 4.3’de verilmiştir. Lineer/2FI cevap yüzey metodu analizine ait detaylı istatistiki veriler EK F’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hava düzeleri için yapılan lineer/2FI cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler

Faktörler	Seviyeler	S[1]	S[2]	S[3]	S[4]	S[5]
Çevresel enjektör adedi (adet)	2	3	4			
Gösterge basıncı (kPa)	2	75	125			
Enjektör açısı (°)	5	20	25	30	35	40

Çizelge 4.3. Lineer/2FI cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları

No	Çevresel enjektör adedi	Basınç (kPa)	Enjektör açısı (°)	Tüylülük (H)	Düzensüzlük (%CV m)	Kopma uzaması (%)	Mukavemet (cN/tex)
1	3	75	20	6.41	12.34	5.472	14.119
2	3	75	25	6.31	12.65	4.980	13.661
3	3	75	30	6.15	12.44	5.328	13.897
4	3	75	35	5.91	12.47	5.148	13.630
5	3	75	40	5.97	12.62	5.316	14.187
6	3	125	20	5.90	12.62	5.304	12.737
7	3	125	25	6.36	13.13	5.124	13.646
8	3	125	30	6.32	12.68	5.172	14.353
9	3	125	35	6.24	12.22	5.472	14.931
10	3	125	40	5.89	12.56	5.376	14.607
11	4	75	20	5.78	13.15	5.232	14.060
12	4	75	25	5.79	13.07	4.716	13.450
13	4	75	30	6.22	12.89	5.244	15.425
14	4	75	35	5.55	13.49	4.572	13.354
15	4	75	40	6.02	13.24	5.040	15.584
16	4	125	20	6.02	12.93	4.764	13.340
17	4	125	25	5.66	13.01	5.208	13.717
18	4	125	30	5.50	13.28	4.680	13.476
19	4	125	35	5.40	13.25	4.872	14.473
20	4	125	40	5.74	13.29	5.016	14.577

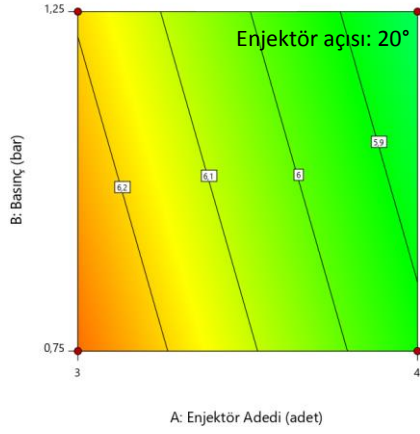
4.2.1.1. İplik tüylülüğü sonuçları

Çizelge 4.3’de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, tüylülük cevabı için Design Expert 11.0 tarafından lineer model önerilmiştir (Çizelge F.1).

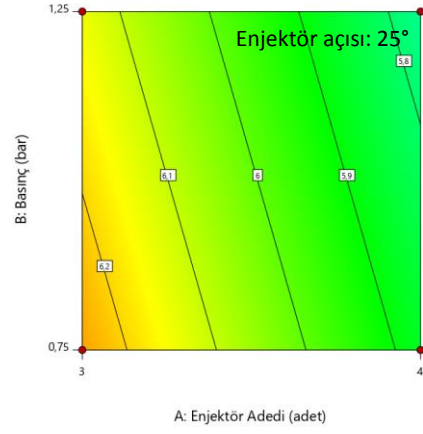
Seçilen lineer modele göre, ngrlen R^2 0.2417, düzenlenmiş R^2 ise 0.4193'dr. ngrlen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 6.7144 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (izelge F.2).

Çizelge F.3'de de görüldüğü gibi 5.57 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.82 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A modelin önemli terimidir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

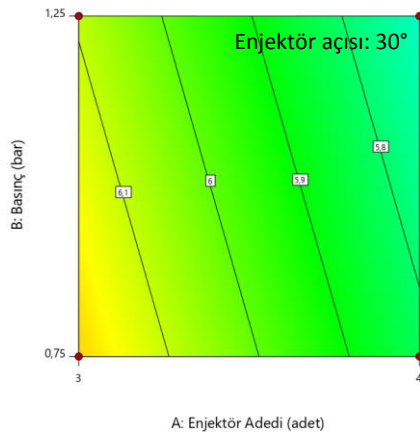
ANOVA sonucunda modele göre çizilen enjektör yapısal parametreleri - tüylülük grafiği şekil 4.1'de verilmiştir. Grafiğe göre 3 faktörün de (enjektör adedi, basınç ve enjektör açısı) artması tüylülüğü azaltmaktadır. Tüylülük üzerinde faktörlerin etki sıralaması en glden en zayıfa doğru enjektör adedi, basınç ve enjektör açısı olarak sıralanmaktadır. Modele göre benzer konfigürasyonlarda enjektör adedinin bir seviye artışı tüylülüğü ortalama 0.3, basının bir seviye artışı ortalama 0.1, enjektör açısının bir seviye artışı ise ortalama 0.05 düşürmektedir.



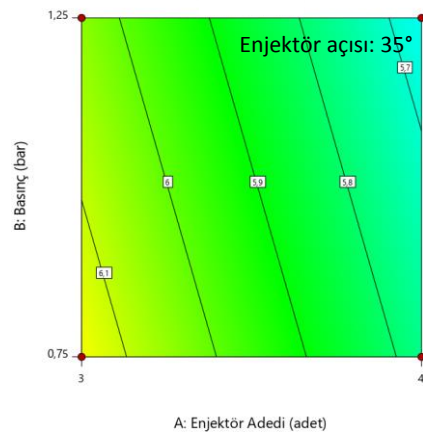
(a)



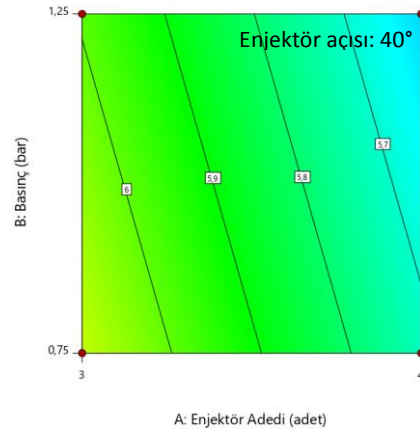
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.1. Çevresel enjektör adedi ve basınç değişiminin tüylülük üzerine etkisi: enjektör açısı a)20°, b)25°, c)30°, d)35°, e)40°

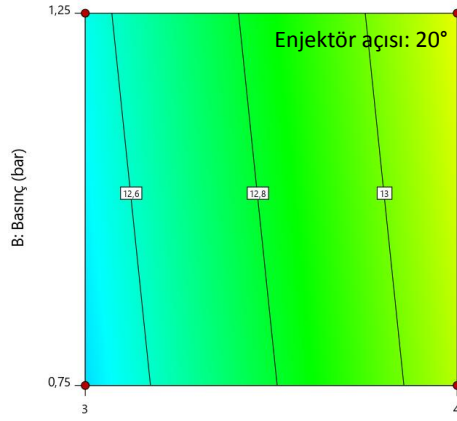
4.2.1.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları

Çizelge 4.3’de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevaplarına göre, düzgünsüzlük cevabı için Design Expert 11.0 tarafından lineer model önerilmiştir (Çizelge F.4).

Seçilen lineer modele göre, öngörülen R^2 0.5281, düzenlenmiş R^2 ise 0.6256’dır. Öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2’den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 7.3383 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge F.5).

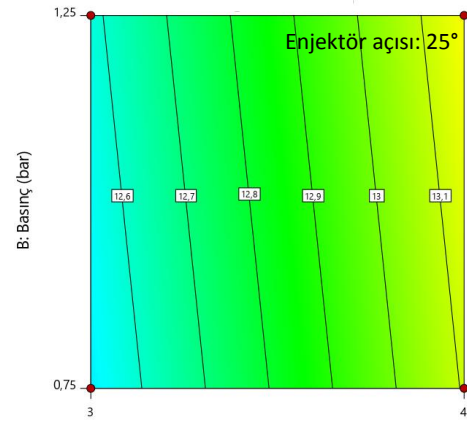
Çizelge F.6’da görüldüğü gibi 11.58 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.03 ihtimalle mümkündür. 0.05’ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A modelin önemli terimidir. 0.1’den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

ANOVA sonucunda modele göre çizilen enjektör yapısal parametreleri - düzgünsüzlük grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. Grafiğe göre 3 faktörün de (enjektör adedinin, basıncın ve enjektör açısının) artması düzgünsüzlüğü arttırmaktadır. Şekil 4.1 ile Şekil 4.2 kıyaslanırsa, iplik tüylülüğü düşürüldüğü düze yapısal konfigürasyonlarında iplik düzgünsüzlüğü artmaktadır. Modele göre iplik tüylülüğünün minimum olduğu düze yapısal konfigürasyonunda, iplik düzgünsüzlüğü maksimum değerde, iplik tüylülüğünün maksimum olduğu düze yapısal konfigürasyonunda ise iplik düzgünsüzlüğü minimum değerde olduğu anlaşılmaktadır.



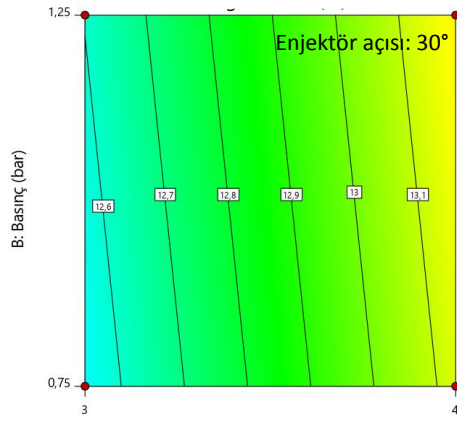
A: Enjektör Adedi (adet)

(a)



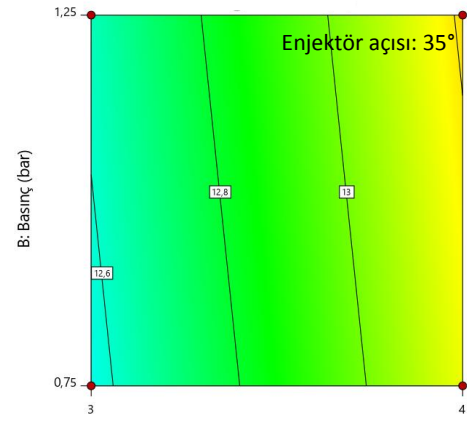
A: Enjektör Adedi (adet)

(b)



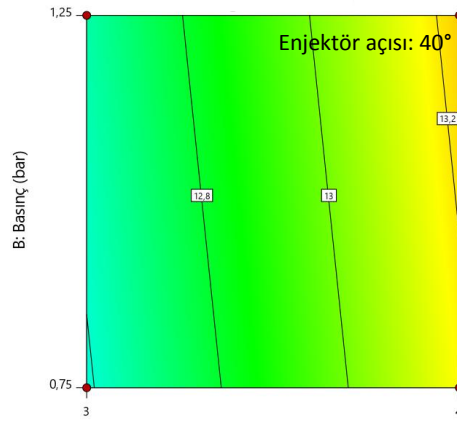
A: Enjektör Adedi (adet)

(c)



A: Enjektör Adedi (adet)

(d)



A: Enjektör Adedi (adet)

(e)

Şekil 4.2. Çevresel enjektör adedi ve basınç değişiminin düzgünlük üzerine etkisi: enjektör açısı a)20°, b)25°, c)30°, d)35°, e)40°

4.2.1.3. Kopma uzaması sonuçları

Çizelge 4.3'de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, kopma uzaması cevabı için Design Expert 11.0 programı tarafından lineer model önerilmiştir (Çizelge F.7).

Seçilen lineer modele göre, öngörülen R^2 0.1114, düzenlenmiş R^2 ise 0.3080'dir. Öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 3.4570 oranı yetersiz bir sinyal olduğunu göstermektedir ve bu modelin kullanılamayacağını göstermektedir. (Çizelge F.8).

4.2.1.4. İplik mukavemeti sonuçları

Çizelge 4.3'de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, iplik mukavemeti cevabı için Design Expert 11.0 tarafından lineer model önerilmiştir (Çizelge F.9).

Seçilen lineer modele göre, öngörülen R^2 0, 0039, düzenlenmiş R^2 ise 0.2259'dır. Öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'nin üzerindedir. Model yeterli hassasiyet oranı 5.1017 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge F.10).

Çizelge F.11'de görüldüğü gibi 2.85 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %7.04 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda C modelin önemli terimidir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir. Model p değeri de 0.05'den yüksek olduğu için bu varyans analizinin anlamlı olmadığını göstermektedir. Lineer cevap yüzey metodunda, enjektör adedi ve basınç faktörlerinden, kopma uzaması ve iplik mukavemeti cevapları için anlamlı bir veri elde edilememiştir.

4.2.2. Kuadratik cevap yüzey metodu analizi

Çizelge 3.5’de de görüldüğü gibi kuadratik cevap yüzey metodu analizinin yapılabilmesi için ele alınan faktörlerin en düşük seviyesinin 3 olması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı bu bölümdeki analizde bir önceki bölüm olan lineer/2FI cevap yüzey metodu analizine göre optimum sonuç veren 2 seviyeli faktörler olan çevresel enjektör adedi (4 adet) ve hava basıncı faktörü ($P_{gösterge} = 125 \text{ kPa}$) olarak sabit tutulmuştur.

Yapılan kuadratik cevap yüzey metodu analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler, Çizelge 4.4’de ve deney tasarımı ile cevaplar ise Çizelge 4.5’de verilmiştir. Kuadratik cevap yüzey metodu analizine ait detaylı istatistiki veriler EK G’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çevresel 4 adet enjektöre sahip hava düzeleri için yapılan kuadratik cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler

Faktörler	Seviyeler	S[1]	S[2]	S[3]	S[4]	S[5]
Büküm odası çapı (mm)	3	2	2.5	3		
Enjektör çapı (mm)	5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Enjektör açısı (°)	5	20	25	30	35	40

Çizelge 4.5. Kuadratik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları

No	Büküm odası çapı (mm)	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)	Tüylülük (H)	Düzgünsüzlük (%CV m)	Kopma uzaması (%)	Mukavemet (cN/tex)
1	2	0.5	20	5.87	12.78	5.244	14.247
2	2	0.5	25	5.53	13.12	5.100	14.505
3	2	0.5	30	6.14	13.06	5.376	16.681
4	2	0.5	35	5.33	13.05	5.100	14.876
5	2	0.5	40	5.92	13.07	4.884	14.836
6	2	0.6	20	6.32	12.46	5.448	12.854
7	2	0.6	25	6.26	12.91	5.028	13.125
8	2	0.6	30	6.16	12.64	5.040	12.792
9	2	0.6	35	5.75	12.62	5.412	14.405
10	2	0.6	40	5.72	12.59	5.232	14.561
11	2	0.7	20	5.79	12.87	5.244	13.637

Çizelge 4.5. Kuadratik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları (devam)

No	Büküm odası çapı	Enjektör çapı	Enjektör açısı	Tüylülük	Düzgünsüzlük	Kopma uzaması	Mukavemet
	(mm)	(mm)	(°)	(H)	(%CV m)	(%)	(cN/tex)
12	2	0.7	25	6.04	13.11	5.184	14.602
13	2	0.7	30	5.47	13.15	4.908	12.937
14	2	0.7	35	5.38	13.60	5.064	14.560
15	2	0.7	40	5.86	13.72	4.872	13.636
16	2	0.8	20	6.51	12.57	5.676	14.766
17	2	0.8	25	6.49	12.81	5.472	14.519
18	2	0.8	30	6.28	12.72	5.448	14.791
19	2	0.8	35	5.89	13.03	5.688	15.799
20	2	0.8	40	5.94	12.87	5.580	15.530
21	2	0.9	20	5.92	13.04	5.520	15.498
22	2	0.9	25	6.05	13.28	4.908	14.045
23	2	0.9	30	5.50	13.45	4.668	12.899
24	2	0.9	35	5.42	13.85	4.956	14.349
25	2	0.9	40	5.88	13.51	5.172	14.702
26	2.5	0.5	20	6.02	12.93	4.764	13.340
27	2.5	0.5	25	5.66	13.01	5.208	13.717
28	2.5	0.5	30	5.50	13.28	4.680	13.476
29	2.5	0.5	35	5.40	13.25	4.872	14.473
30	2.5	0.5	40	5.74	13.29	5.016	14.577
31	2.5	0.6	20	6.41	13.05	5.424	13.060
32	2.5	0.6	25	6.34	12.93	5.448	14.282
33	2.5	0.6	30	6.09	12.67	5.304	13.510
34	2.5	0.6	35	5.85	12.95	5.724	14.869
35	2.5	0.6	40	5.89	12.81	5.472	14.297
36	2.5	0.7	20	5.82	12.99	5.544	14.020
37	2.5	0.7	25	6.07	13.19	5.160	14.344
38	2.5	0.7	30	5.59	13.36	5.004	13.898
39	2.5	0.7	35	5.48	13.22	5.436	15.062
40	2.5	0.7	40	5.89	13.29	4.896	13.415
41	2.5	0.8	20	6.07	12.99	5.352	12.819
42	2.5	0.8	25	6.30	12.72	5.220	13.895
43	2.5	0.8	30	6.18	12.93	5.136	14.163
44	2.5	0.8	35	6.07	11.92	5.184	13.777
45	2.5	0.8	40	5.93	12.81	5.568	15.521
46	2.5	0.9	20	6.01	12.91	5.628	15.462
47	2.5	0.9	25	6.12	13.28	4.800	13.114
48	2.5	0.9	30	5.76	13.16	4.908	14.198

Çizelge 4.5. Kuadratik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları (devam)

No	Büküm odası çapı	Enjektör çapı	Enjektör açısı	Tüylülük	Düzgünsüzlük	Kopma uzaması	Mukavemet
	(mm)	(mm)	(°)	(H)	(%CV m)	(%)	(cN/tex)
49	2.5	0.9	35	5.48	13.36	5.052	14.908
50	2.5	0.9	40	6.07	13.19	4.800	14.023
51	3	0.5	20	6.02	12.83	5.040	16.427
52	3	0.5	25	6.46	13.24	4.464	14.420
53	3	0.5	30	5.70	12.93	4.224	14.168
54	3	0.5	35	5.98	13.21	4.080	13.953
55	3	0.5	40	6.24	13.06	4.308	14.097
56	3	0.6	20	6.77	12.42	5.316	14.202
57	3	0.6	25	6.63	12.90	5.232	14.753
58	3	0.6	30	6.59	12.63	5.232	15.331
59	3	0.6	35	6.24	12.52	5.424	15.940
60	3	0.6	40	6.26	12.64	5.076	13.956
61	3	0.7	20	6.22	12.95	5.340	15.094
62	3	0.7	25	6.72	12.95	5.292	15.803
63	3	0.7	30	6.13	12.84	5.376	17.107
64	3	0.7	35	6.31	13.05	5.232	16.216
65	3	0.7	40	6.38	13.00	4.968	15.288
66	3	0.8	20	6.92	13.03	4.704	13.807
67	3	0.8	25	6.63	13.33	4.728	15.829
68	3	0.8	30	6.64	12.82	4.656	14.891
69	3	0.8	35	6.21	12.98	4.644	14.327
70	3	0.8	40	6.26	12.84	5.088	15.490
71	3	0.9	20	6.29	13.20	4.644	13.396
72	3	0.9	25	6.85	13.19	4.860	14.938
73	3	0.9	30	6.39	13.78	4.140	12.812
74	3	0.9	35	6.14	13.45	4.200	13.778
75	3	0.9	40	6.35	13.25	4.392	14.322

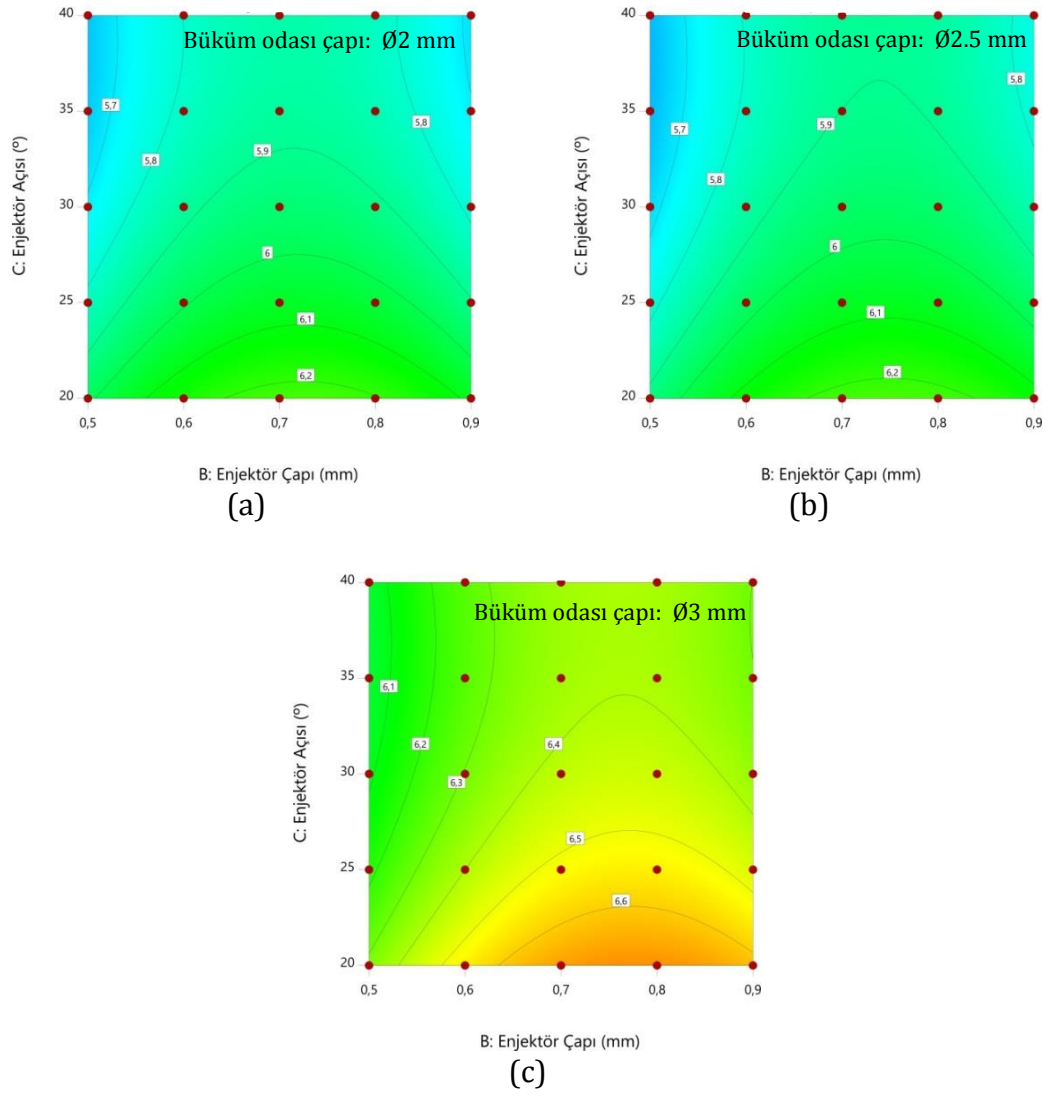
4.2.2.1. İplik tüylülüğü sonuçları

Çizelge 4.5’de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, tüylülük cevabı için Design Expert 11.0 tarafından kuadratik model önerilmiştir (Çizelge G.1).

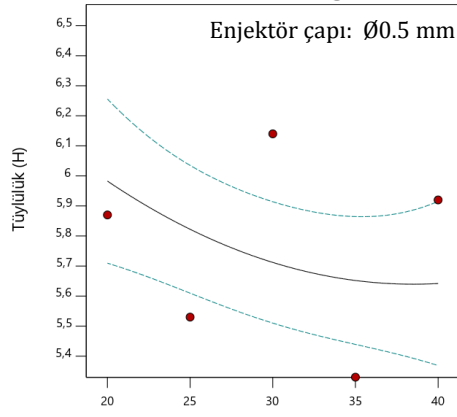
Seçilen kuadratik modele göre, ngrlen R^2 0.4089, düzenlenmiş R^2 ise 0.4934'dır, ngrlen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 11.077 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (izelge G.2).

Çizelge G.3'de görüldüğü gibi 9.01 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.01 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A, C, A^2 , B^2 modelin önemli terimleridir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Enjektör apı ve açısının tüylülük üzerindeki değişim grafiği şekil 4.3'de verilmektedir. Enjektör açısı ve çapının değişimi,  büküm odası çapında da benzer davranış göstermektedir. Enjektör açısı 20°'den 35°'ye kadar arttığında tüylülük değeri azalmaktadır. Modele göre enjektör açısının 35°'nin üzerine çıkması durumunda tüylülük değerinin önemli bir derecede değişmediği görülmektedir (şekil 4.4). Büküm odası apı Ø2 mm değerinde sabit tutularak, beş farklı enjektör çapındaki düze konfigürasyonlarında, enjektör açısının tüylülük üzerine değişimi şekil ile gösterilmiştir. şekil 4.4'deki grafiklerdeki yer alan siyah çizgi istatistiki model'e ait eğriyi, kırmızı noktalar ise deneysel ölçüm değerlerini sembolize etmektedir. Sadece enjektör çapının Ø0.6 mm (şekil 4.4) olduğu konfigürasyonda, enjektör açısının 40° olması tüylülüğü azaltmakta, diğer enjektör çaplarında ise tam tersi olarak arttırmaktadır.

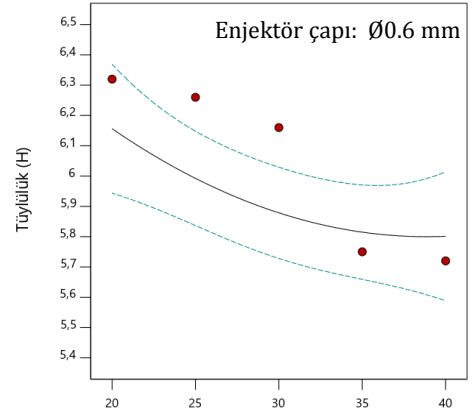


Şekil 4.3. Enjektör çapı ve açısının tüylülük üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm



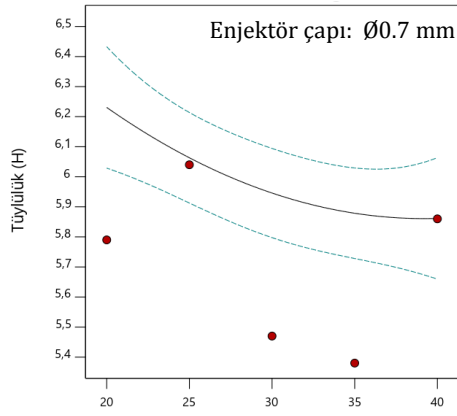
C: Enjektör Açısı (°)

(a)



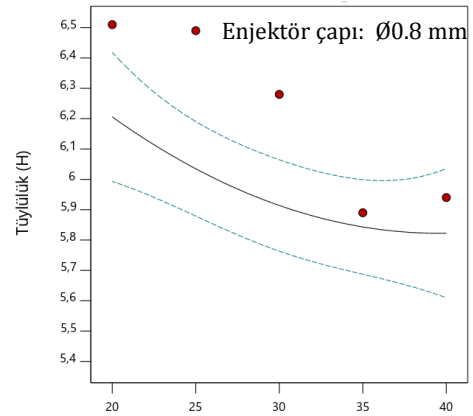
C: Enjektör Açısı (°)

(b)



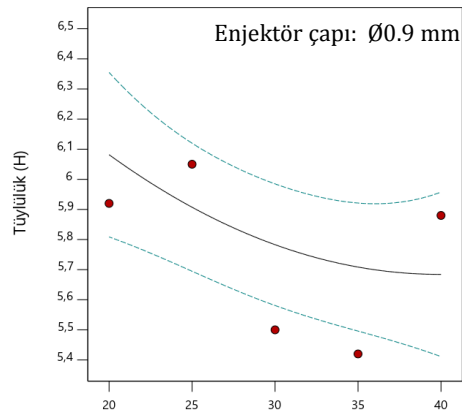
C: Enjektör Açısı (°)

(c)



C: Enjektör Açısı (°)

(d)

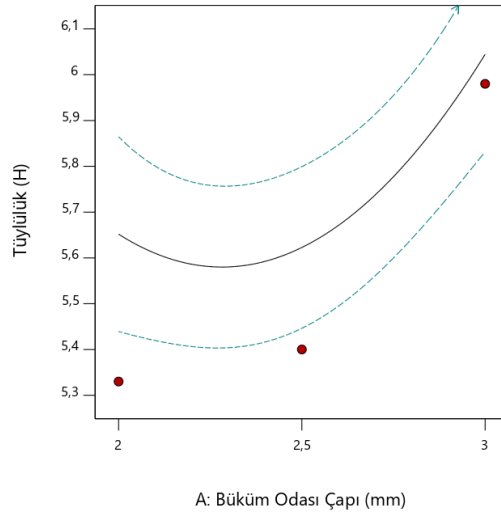


C: Enjektör Açısı (°)

(e)

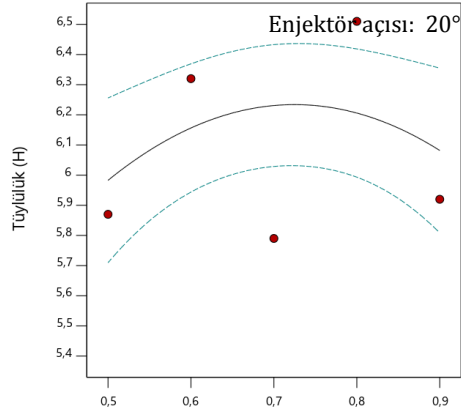
Şekil 4.4. Büküm odası çapı faktörü Ø2 mm’de sabit tutularak, enjektör açısının tüylülük üzerine değişimi: enjektör çapı a) Ø0.6 mm, b) Ø0.7 mm, c) Ø0.8 mm, d) Ø0.9 mm, e) Ø0.1 mm

Büküm odası çapının tüylülük üzerindeki değişim grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu grafik çizilirken enjektör çapı Ø0.5 mm ve enjektör açısı 35° olarak sabit tutulmuştur. Grafiğe göre deneysel veriler ile model eğrisi uyum içerisindedir. Ø2 mm ve Ø2.5 mm büküm odası çapına sahip numuneler düşük tüylülük değerini vermesine rağmen, Ø3 mm büküm odası çapına sahip numuneler tüylülüğü azaltmakta başarılı olamamıştır. Enjektör çapı Ø0.5 mm ve enjektör açısı 35° olan düze konfigürasyonlarında en düşük tüylülük değerini Ø2 mm büküm odası çapına sahip düze tipi vermiştir. Fakat, genel olarak Ø2 mm ve Ø2.5 mm büküm odası çapına sahip düzeler benzer tüylülük sonuçlarına sahiptir.



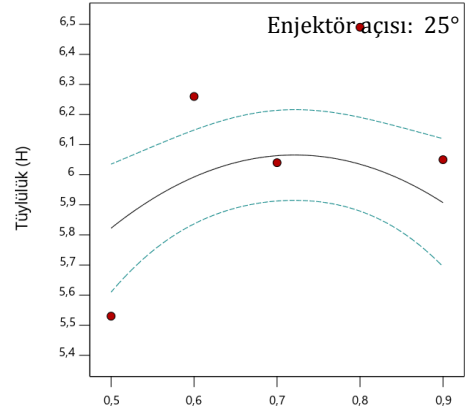
Şekil 4.5. Enjektör çapı Ø0.5 mm ve enjektör açısı 35° de çerçerindeki büküm odası çapı-tüylülük değeri tek faktör grafiğı

Modele göre en düşük tüylülük değeri Ø0.5 mm enjektör açısında ölçülmüştür. Bu tüylülük değerine en yakın değerlere Ø0.9 mm çapındaki enjektöre sahip düzeler takip etmektedir (Şekil 4.6) Enjektör çapındaki ara değerlerin modele göre iyi sonuç vermemesine karşın, bazı düze konfigürasyonlarına ait deneysel sonuçlarda Ø0.7 mm çaplı enjektörler en iyi tüylülük değerini vermektedirler (Şekil 4.6a ve 4.6c). Bununla beraber, büküm odası çapı Ø2 mm ve Ø0.8 mm enjektör çapına sahip düzeler tüm enjektör aç konfigürasyonlarında en kötü tüylülük değerine neden olmaktadır.



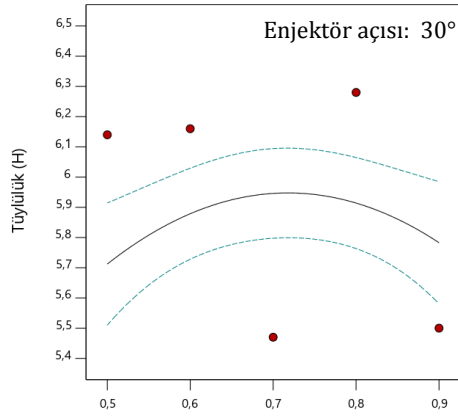
B: Enjektör Çapı (mm)

(a)



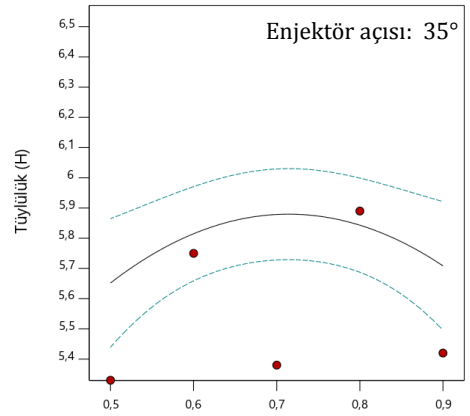
B: Enjektör Çapı (mm)

(b)



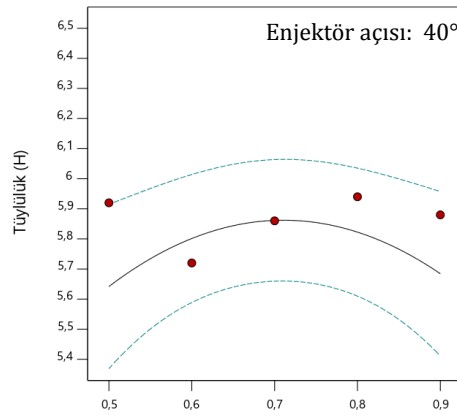
B: Enjektör Çapı (mm)

(c)



B: Enjektör Çapı (mm)

(d)



B: Enjektör Çapı (mm)

(e)

Şekil 4.6. Büküm odası çapı faktörü Ø2 mm’de sabit tutularak, enjektör çapının tüylülük üzerine değişimi: enjektör açısı a)20°, b)25°, c)30°, d)35°, e)40°

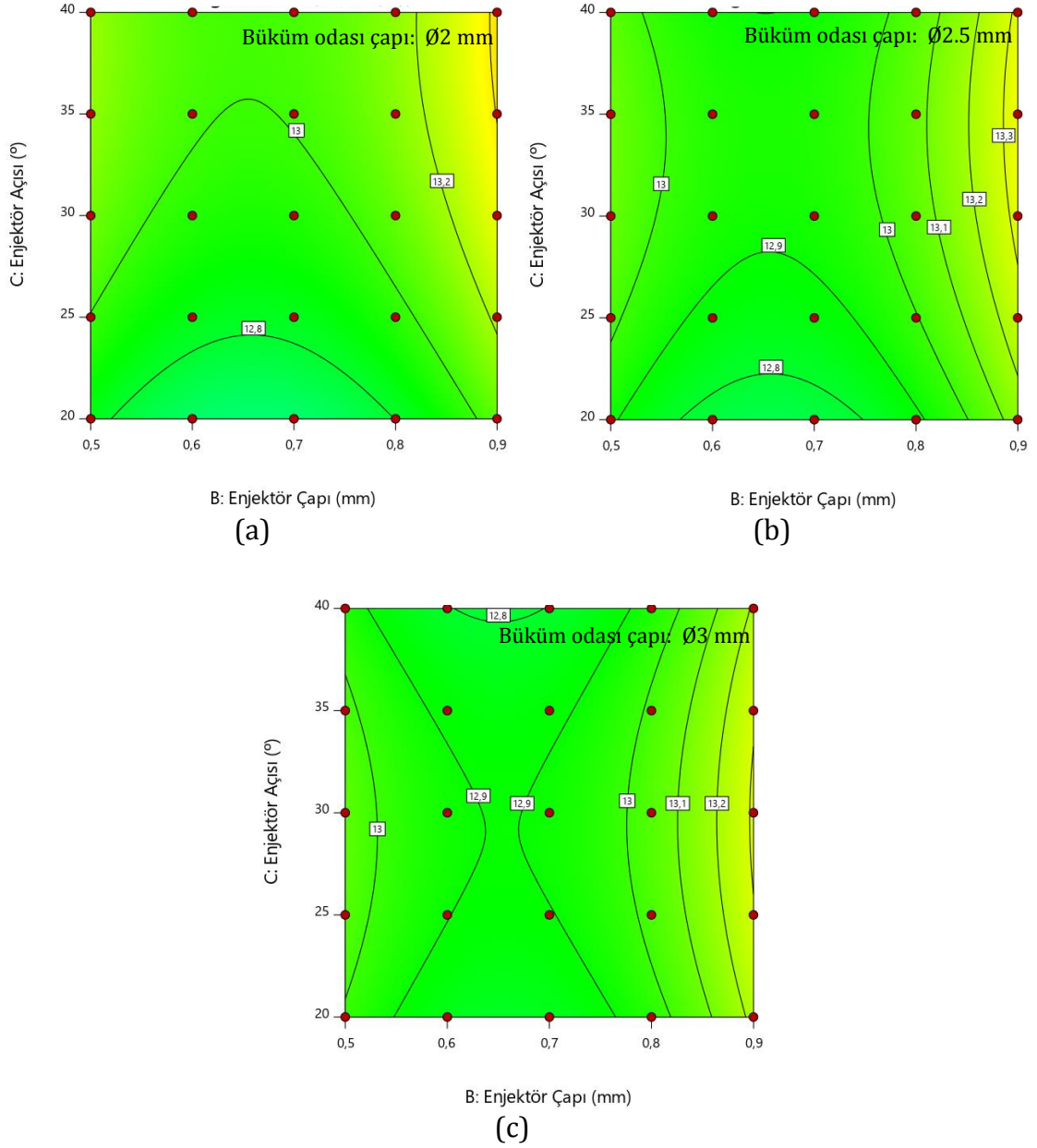
4.2.2.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları

Çizelge 4.5’de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, düzgünsüzlük cevabı için Design Expert 11.0 tarafından kuadratik model önerilmiştir (Çizelge G.4).

Seçilen kuadratik modele göre, öngörülen R^2 0.0884, düzenlenmiş R^2 ise 0.1771’dir, öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2’den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 6.977 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge G.5).

Çizelge G.6’da da görüldüğü gibi 2.77 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.83 ihtimalle mümkündür. 0.05’ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda B, B^2 modelin önemli terimleridir. 0.1’den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Enjektör çapı ve açısının düzgünsüzlük üzerindeki değişim grafiği Şekil 4.7’de verilmektedir. Modele göre düzgünsüzlük değerleri 12.8-13.3 değerleri arasında değişmektedir. Çizelge 4.1’de verilen konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde düze kullanılmadan üretilen numunelere ait ortalama düzgünsüzlük değeri ise 12.95’dir. Modele göre hava düzeleri iplik düzgünsüzlüğünü azaltma konusunda yeterli bir katkı sunamamaktadır. Modele göre en düşük iplik düzgünsüzlüğü, Ø2 mm büküm odası çapı için 20° enjektör açısı ve 0.6-0.8 mm enjektör çap aralığında, Ø2.5 mm büküm odası çapı için 20° enjektör açısında ve 0.6-0.7 mm enjektör çap aralığında, Ø3 mm büküm odası çapı için 40° enjektör açısı ve 0.6-0.7 mm enjektör çap aralığındaki düzeler ile üretilmiş ipliklerde meydana geleceği tahmin edilmektedir.



Şekil 4.7. Enjektör çapı ve açısının düzgünlük üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm

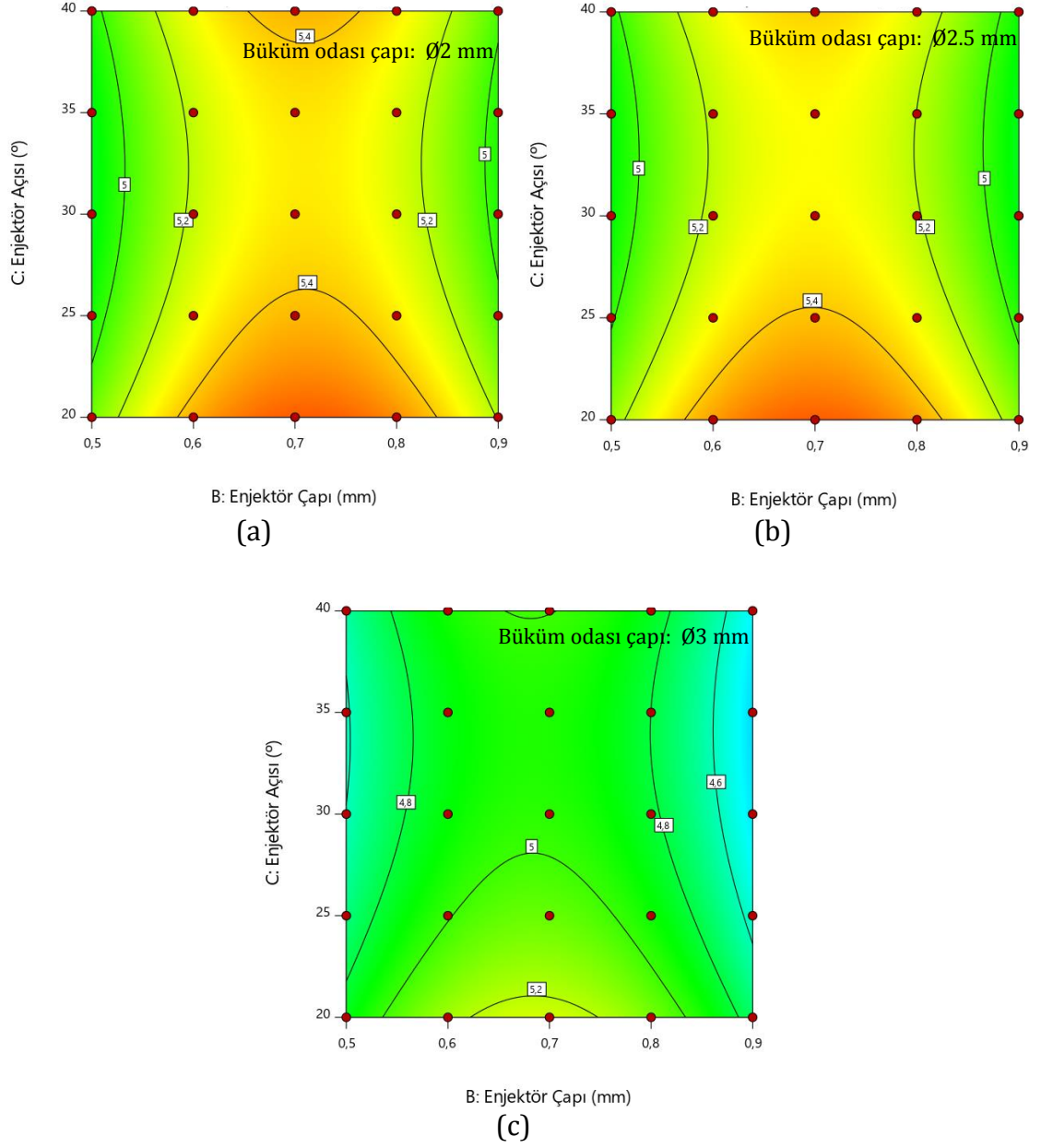
4.2.2.3. Kopma uzaması sonuçları

Çizelge 4.5’de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, kopma uzaması cevabı için Design Expert 11.0 tarafından kuadratik model önerilmiştir (Çizelge G.7).

Seçilen kuadratik modele göre, ngrlen R^2 0.3544, düzenlenmiş R^2 ise 0.4482'dir. ngrlen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 11.043 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (izelge G.8).

Çizelge G.9'da da görüldüğü gibi 7.68 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca % 0.01 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A, C, A^2 , B^2 modelin önemli terimleridir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Enjektör apı ve açısının kopma uzaması üzerindeki değişim grafiği, büküm odası apı Ø2, 2.5 ve 3 mm olan konfigürasyonlar şekil 4.8a, şekil 4.8b ve şekil 4.8c'de verilmektedir. Çizelge 4.1'de verilen konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde düze kullanılmadan üretilen numunelere ait ortalama kopma uzaması değeri %5.567'dir. Modele göre hava dzelerindeki bütün konfigürasyonların kopma uzaması değerleri, hava düzesi kullanılmadan üretilen ipliklerden daha düşük değerlere sahip olduğu yani hava düzeleri kopma uzaması özelliğini negatif yönde etkilediği görülmektedir. Kopma uzaması değerindeki azalma en düşük Ø2 mm büküm odasına sahip düzelerde, en yüksek ise Ø3 mm büküm odasına sahip düzelerde düşüş belirlenmiştir. Kopma uzaması değer düşmesinden en az etkilenen enjektör apı Ø0.7 mm, en fazla düşüş gösteren enjektör çapları ise Ø0.5 mm ve Ø0.9 mm olan düze konfigürasyonlarıdır. Kopma uzamasındaki azalmadan en az etkilenen enjektör açısı ise 20° olan düze konfigürasyonlarıdır.



Şekil 4.8. Enjektör çapı ve açısının kopma uzaması üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm

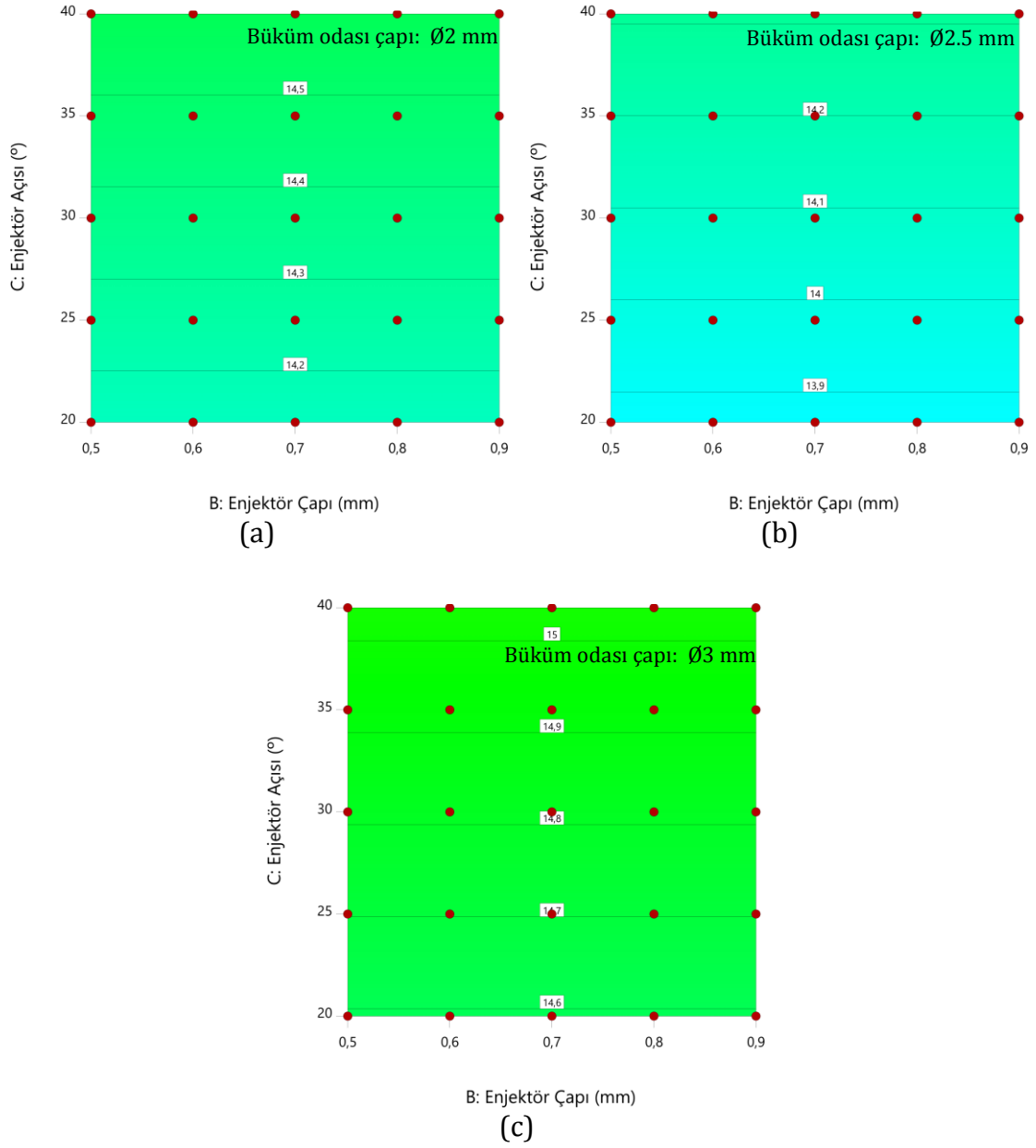
4.2.2.4. İplik mukavemeti sonuçları

Çizelge 4.5’de verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, iplik mukavemeti cevabı için Design Expert 11.0 tarafından kuadratik model önerilmiştir (Çizelge G.10).

Seçilen kuadratik modele göre, ngrlen R^2 0.0286, düzenlenmiş R^2 ise 0.0894'dr, ngrlen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 5.550 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (izelge G.11).

Çizelge G.12'de de görüldüğü gibi 3.42 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca % 2.17 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda sadece A^2 modelin önemli terimidir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Enjektör apı ve açısının iplik mukavemeti üzerindeki değişim grafiği, büküm odası apı Ø2, 2.5 ve 3 mm olan konfigürasyonlar şekil 4.9a, şekil 4.9b ve şekil 4.9c'de verilmektedir. Çizelge 4.1'de verilen konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde düze kullanılmadan üretilen numunelere ait ortalama iplik mukavemeti değeri 16.604 cN/tex'dir. Modele göre hava dzelerindeki bütün konfigürasyonların iplik mukavemeti değerleri hava düzesi kullanılmadan üretilen ipliklerden daha düşük değerlere sahiptir. Dolayısıyla hava düzeleri iplik mukavemeti özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Enjektör apı faktörü modele göre iplik mukavemeti cevabı üzerinde anlamlı olmadığı için grafik üzerinde de bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Modele göre, enjektör açısı ve büküm odası delik çapının azalması iplik mukavemetinin de azalmasına yol açmaktadır.



Şekil 4.9. Enjektör çapı ve açısının iplik mukavemeti üzerindeki değişimi, büküm odası çapı a) Ø2 mm, b) Ø2.5 mm, c) Ø3 mm

4.2.3. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu analizi

Dördüncü seviyeden kuartik analiz, kuadratik analize göre daha yüksek derecede polinom fonksiyon içerdiğinden model daha hassas bir şekilde ele alınabilir. Fakat Çizelge 3.5’de de görüldüğü gibi dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey analizinin yapılabilmesi için ele alınan faktörlerin en düşük seviyesinin 5 olması gerekmektedir. Bu tanıma uyan enjektör çapı ve enjektör

açısı olmak üzere iki faktör bulunmaktadır. Bu yüzden dördüncü seviyeden kuartik analizde diğer faktörler dahil edilememiştir. Çevresel 4 adet enjektöre sahip büküm odası çapı Ø2.5 mm olan hava düzeleri için yapılan dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler Çizelge 4.6’da, deney tasarımı ile cevaplar ise Çizelge 4.7’de verilmiştir. Basınç değeri ise lineer ve kuadratik cevap yüzey metodunda da olduğu gibi bütün numunelerde 125 kPa gösterge basınç değerinde sabit tutulmuştur. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu analizine ait detaylı istatistiki veriler EK H’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey analizine ait faktörler ve faktörlere ait seviyeler

Faktörler	Seviyeler	S[1]	S[2]	S[3]	S[4]	S[5]
Enjektör çapı (mm)	5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Enjektör açısı (°)	5	20	25	30	35	40

Çizelge 4.7. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları

No	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)	Tüylülük (H)	Düzgünsüzlük (%CV m)	Kopma uzaması (%)	Mukavemet (cN/tex)
1	0.5	20	5.87	12.78	5.244	14.247
2	0.5	25	5.53	13.12	5.100	14.505
3	0.5	30	6.14	13.06	5.376	16.681
4	0.5	35	5.33	13.05	5.100	14.876
5	0.5	40	5.92	13.07	4.884	14.836
6	0.6	20	6.32	12.46	5.448	12.854
7	0.6	25	6.26	12.91	5.028	13.125
8	0.6	30	6.16	12.64	5.040	12.792
9	0.6	35	5.75	12.62	5.412	14.405
10	0.6	40	5.72	12.59	5.232	14.561
11	0.7	20	5.79	12.87	5.244	13.637
12	0.7	25	6.04	13.11	5.184	14.602
13	0.7	30	5.47	13.15	4.908	12.937
14	0.7	35	5.38	13.60	5.064	14.560
15	0.7	40	5.86	13.72	4.872	13.636
16	0.8	20	6.51	12.57	5.676	14.766
17	0.8	25	6.49	12.81	5.472	14.519
18	0.8	30	6.28	12.72	5.448	14.791

Çizelge 4.7. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları (devam)

No	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)	Tüylülük (H)	Düzgünsüzlük (%CV m)	Kopma uzaması (%)	Mukavemet (cN/tex)
19	0.8	35	5.89	13.03	5.688	15.799
20	0.8	40	5.94	12.87	5.580	15.530
21	0.9	20	5.92	13.04	5.520	15.498
22	0.9	25	6.05	13.28	4.908	14.045
23	0.9	30	5.5	13.45	4.668	12.899
24	0.9	35	5.42	13.85	4.956	14.349
25	0.9	40	5.88	13.51	5.172	14.702

4.2.3.1. İplik tüylülüğü sonuçları

Çizelge 4.6'da verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, tüylülük cevabı için Design Expert 11.0 tarafından dördüncü seviyeden kuartik model önerilmiştir (Çizelge H.1).

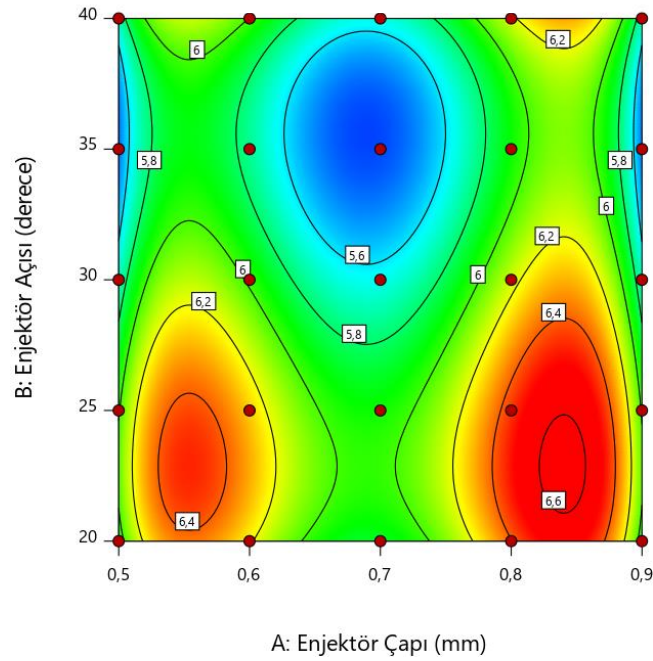
Seçilen dördüncü seviyeden kuartik modele göre, öngörülen R^2 0.3474, düzenlenmiş R^2 ise 0.5628'dir, öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'nin üzerindedir. Model yeterli hassasiyet oranı 8.215 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge H.2).

Çizelge H.3'de de görüldüğü gibi 5.41 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.21 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda B, A^2 , B^3 , A^4 modelin önemli terimleridir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

ANOVA sonucunda, modele göre çizilen enjektör yapısal parametreleri - tüylülük grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Grafiğe göre, enjektör açısının artması tüylülük değerini düşürmektedir. Modele göre en kötü tüylülük değerleri 20° - 25° enjektör açısı aralığında, en iyi tüylülük değerleri ise 35° - 40° enjektör açısı

aralığında yer almaktadır. Özellikle 35° enjektör açısı, farklı enjektör çaplarına sahip numunelerin tamamı modele göre en iyi tüylülük değerlerini vermektedir. Bu durumda, en iyi tüylülük değeri için optimum enjektör açısının 35° olduğu anlaşılmaktadır.

Enjektör çapının tüylülük üzerindeki etkisinin tahmini enjektör açısından daha güçtür. Ø0.5 mm, Ø0.7 mm ve Ø0.9 mm enjektör çapına sahip olan numuneler düşük, Ø0.6 mm ve Ø0.8 mm enjektör çapına sahip olan numuneler yüksek tüylülük değeri vermektedir. Özellikle en yüksek tüylülük değerleri Ø0.8 mm enjektör çap değerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Enjektör çapı ve açısının tüylülük üzerindeki değişimi

4.2.3.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları

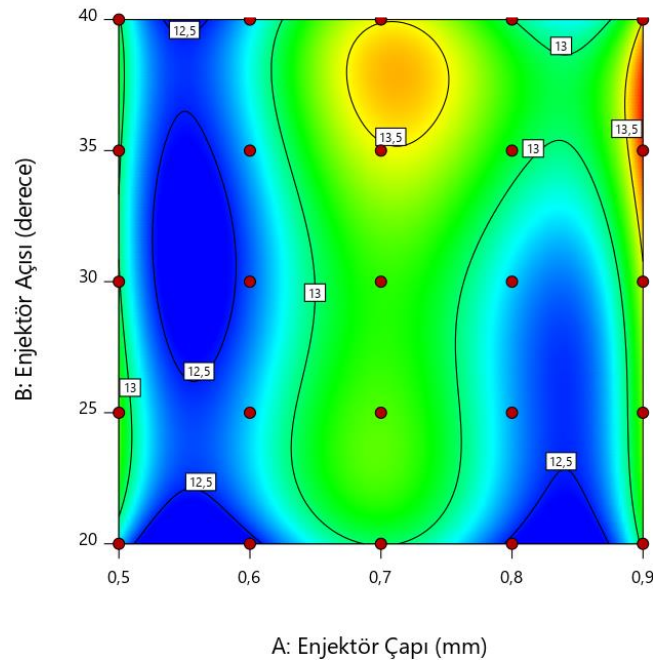
Çizelge 4.6'da verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, düzgünsüzlük cevabı için Design Expert 11.0 tarafından dördüncü seviyeden kuartik model önerilmiştir (Çizelge H.4).

Seçilen dördüncü seviyeden kuartik modele göre, öngörülen R^2 0.4575, düzenlenmiş R^2 ise 0.8092'dir, öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark

0.2'nin üzerindedir. Model yeterli hassasiyet oranı 11.0497 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge H.5).

Çizelge H.6'da da görüldüğü gibi 8.27 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.10 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A^2 ve A^4 modelin önemli terimleridir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Cevap yüzey analizi sonucunda modele göre çizilen enjektör yapısal parametreleri – düzgünsüzlük (% CV m) grafiği, Şekil 4.11'de verilmiştir. Grafiğe göre, düzgünsüzlük değişiminin enjektör açısı değişimine bağımlı olmadığı görülmektedir. Modele göre, Ø0.5-Ø0.6 mm ve Ø0.8-Ø0.9 mm enjektör çap aralığında en iyi düzgünsüzlük değerleri elde edilmektedir. Ø0.6-Ø0.8 mm enjektör çap aralığında ise en yüksek düzgünsüzlük değerleri elde edilmektedir.



Şekil 4.11. Enjektör çapı ve açısının düzgünsüzlük üzerindeki değişimi

Hava düzeleri genel olarak iplik tüylülüğünü düşürmekte başarılı olmasına rağmen, düzgünsüzlük üzerinde başarılı olamamış hatta daha kötü sonuçlar meydana getirmiştir (Hoseinpour vd., 2012; Yılmaz ve Usal, 2013b). Bu çalışmada, Çizelge 4.1’de verilen düze kullanılmadan üretilen Ne 30 ipliklerin ortalama düzgünsüzlük değeri 12.95 olarak belirlenmiştir. Düze kullanılarak üretilen Ne 30 ipliklerin düzgünsüzlük değerleri ise 12.67 ile 13.57 arasında değişmektedir.

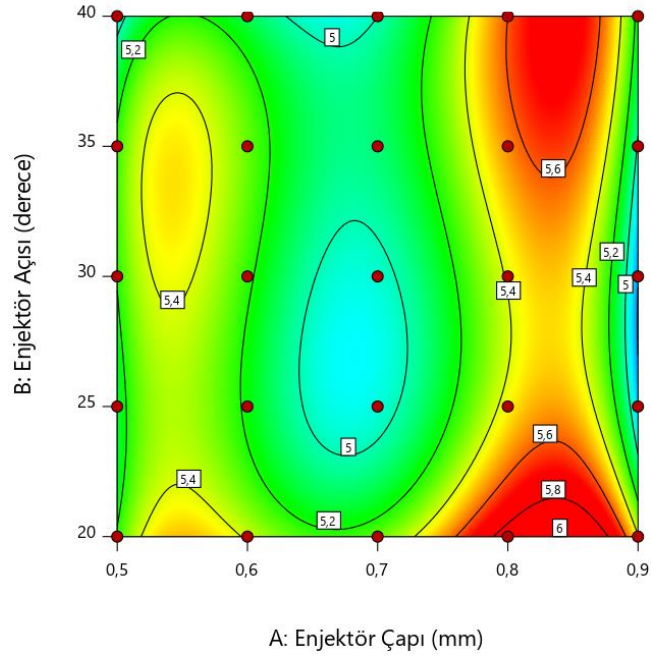
4.2.3.3. Kopma uzaması sonuçları

Çizelge 4.6’da verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, kopma uzaması cevabı için Design Expert 11.0 tarafından dördüncü seviyeden kuartik model önerilmiştir (Çizelge H.7).

Seçilen Dördüncü seviyeden kuartik modele göre, öngörülen R^2 0.5481, düzenlenmiş R^2 ise 0.727’dir. Öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2’den az olması modelin açıklanabilirliğinin göstergesidir. Model yeterli hassasiyet oranı 11.726 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge H.8).

Çizelge H.9’da da görüldüğü gibi 8.10 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %0.02 ihtimalle mümkündür. 0.05’ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A , A^2 , B^2 , AB^2 , A^3 , B^3 , A^4 modelin önemli terimleridir. 0.1’den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Cevap yüzey analizi sonucunda modele göre çizilen enjektör yapısal parametreleri – kopma uzaması grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafiğe göre Ø0.5 mm - Ø0.6 mm ve Ø0.8 mm - Ø0.9 mm aralığındaki enjektör çapı değerlerinde kopma uzaması değerleri en iyi sonucu vermektedir. Ø0.6 mm - Ø0.8 mm aralığındaki enjektör çapı değerlerinde ise kopma uzamasının en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. Enjektör çapı ve açısının kopma uzaması üzerindeki değişimi

Enjektör açısı parametresi tarafından değerlendirirsek, 20° - 25° ve 35° - 40° enjektör açısı aralığında kopma uzaması değerleri en iyi sonucu vermektedir. Fakat 25° - 35° enjektör açısı aralığında kopma uzamasının en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Yılmaz ve Usal, (2013b) ring iplik eğirme makinelerinde çeşitli hava düzeleri kullanarak ürettiği ipliklerde kopma uzaması değerinin artmadığını, aksine az miktarda azaldığını gözlemlemiştir. Hoseinpour vd. (2012), düze içerisine uygulanan basıncın artması durumunda ipliğin kopma uzaması değerini arttırdığını gözlemlemiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, düze kullanılmadan üretilen Ne 30 ipliklerin kopma uzaması değerleri 5.567 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Düze kullanılarak üretilen Ne 30 ipliklerin kopma uzaması değerleri ise 4.68 ile 5.72 arasında değişmektedir.

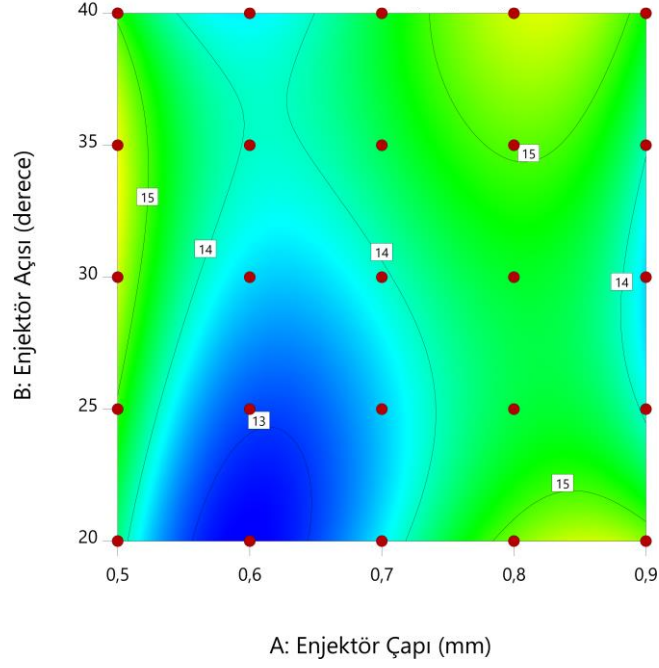
4.2.3.4. İplik mukavemeti sonuçları

Çizelge 4.6'da verilen cevap yüzey analizi deney tasarımı ve cevapları çizelge verilerine göre, iplik mukavemeti cevabı için Design Expert 11.0 tarafından kübik model önerilmiştir (Çizelge H.10).

Seçilen kübik modele göre, öngörülen R^2 0.1783, düzenlenmiş R^2 ise 0.4301'dir. Öngörülen R^2 ile düzenlenmiş R^2 arasındaki fark 0.2'nin üzerindedir. Model yeterli hassasiyet oranı 6.2332 olup, yeterli bir sinyali belirtmektedir (Çizelge H.11).

Çizelge H.12'de görüldüğü gibi 3.01 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak F değerinin bu değerde, gürültü nedeniyle oluşması yalnızca %2.87 ihtimalle mümkündür. 0.05'ten küçük olan p değerleri ise model terimlerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda A, AB^2 , A^3 modelin önemli terimleridir. 0.1'den büyük değerler, model terimlerinin anlamlı olmadığını göstermektedir.

Cevap yüzey analizi sonucunda modele göre çizilen enjektör yapısal parametreleri – iplik mukavemeti grafiği Şekil 4.13'de verilmiştir. Modele göre en yüksek mukavemet değerini veren enjektör çapı değerinin $\emptyset 0.8$ mm, en düşük mukavemet değerini veren enjektör çapı değerinin ise $\emptyset 0.6$ mm olan konfigürasyonlar olduğu anlaşılmaktadır. Enjektör açısı değeri 35° olan konfigürasyonlar mukavemet değerinin en az azaldığı düze konfigürasyonlarıdır.



Şekil 4.13. Enjektör çapı ve açısının iplik mukavemeti üzerindeki değişimi

Yılmaz ve Usal (2013b), ring iplik eğirme makinelerinde çeşitli düzeler kullanarak ürettiği ipliklerin konvensiyonel ring iplik ipliklere göre mukavemet değerinin azaldığını, kompakt-jet sisteminde ise kompakt iplik eğirme sistemine kıyasla iplik mukavemetlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Hoseinpour vd., (2012), düze içerisindeki basıncın 100 kPa değerinin üzerine çıktığında iplik kopma mukavemetinin önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir. Liu ve Su (2017), S ve Z bükümlü ipliklere bir hava düzesi kullanarak, saat yönünde hava akışıyla ipliğe yalancı büküm vermişlerdir. Hava düzesi uygulanan tüm numunelerin mukavemet değerlerinde bir artış gözlemlemişlerdir. Bu tez çalışmasında Çizelge 4.1’de verilen hava düzesi kullanılmadan üretilen Ne 30 ipliklerin ortalama iplik mukavemeti değeri 16.604 olarak belirlenmiştir. Hava düzesi kullanılarak üretilen Ne 30 ipliklerin iplik mukavemeti değerleri ise 12.797 ile 15.062 arasında değişmektedir.

4.2.3.5. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodu optimizasyonu

Literatüre göre kaliteli iplik, düşük tüylülük ve düzgünsüzlüğe, yüksek kopma uzaması ve mukavemet değerine sahip olmalıdır (Oxenham ve Basu, 1993; Jeon,

2000; Dou ve Liu, 2011; Shang vd., 2015; Han vd., 2016; Li, 2016; Qiu vd., 2016). Bahsedilen kaliteli iplik eldesi için, uygun düze konfigürasyonunun belirlenmesi için Design Expert 11.0 programında cevap yüzey metodu optimizasyonu yapılmıştır. Cevap yüzey metodu optimizasyonu için iplik özelliklerinin limit aralıkları ve önem yükleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. İplik kalitesini belirleyen en önemli özelliğin tüylülük olduğu göz önüne alınmış ve optimizasyonda tüylülük önem yükü en yüksek değer olan 5, düzgünsüzlük, kopma uzaması ve mukavemet önem yükleri ise en düşük değer olan 1 olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.8. Cevap yüzey metodu kullanılarak optimum düze konfigürasyonu seçimi

Değişken	Hedef	Alt limit	Üst limit	Önem yükü
A:Enjektör çapı (mm)	aralık	0.5	0.9	3
B:Enjektör açısı (°)	aralık	20	40	3
Tüylülük (H)	en düşük değer	5.4	6.4	5
Düzgünsüzlük (%CV m)	en düşük değer	12.6	13.6	1
Kopma uzaması (%)	en yüksek değer	4.6	5.8	1
İplik mukavemeti (cN/tex)	en yüksek değer	12.7	15.1	1

İstenilen kriterlere göre yapılan optimizasyon sonucu önerilen en uygun 10 düze yapısal konfigürasyonu, Çizelge 4.9’da verilmiştir. Cevap yüzey metodu optimizasyonu sonucunda, enjektör çapı Ø0.5 mm ve enjektör açısı 35° olarak belirlenmiştir. Model ile bu düze yapısal konfigürasyonunda düze kullanılmadan üretilen iplikler ile karşılaştırıldığında (Çizelge 4.1), tüylülük değeri %9.2 oranında azalmıştır. Fakat düzgünsüzlük değeri %0.7, kopma uzaması değeri %6.2 ve iplik mukavemet değeri ise %5.6 oranında kötüleşmiştir. Aslında bütün düze konfigürasyonlarında düze kullanılmayan ipliklere kıyasla iplik mukavemet değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Seçilen bu yapısal konfigürasyondaki düzenin deneysel ölçümdeki iplik özellikleri değerleri ise: tüylülük değeri, 5.48, düzgünsüzlük değeri, 13.2, kopma uzaması değeri, 5.43 ve mukavemet değeri 15.062’dir. Çizelge 4.8’de verilen uygunluk değerlerinin 1’e ne kadar yakın olması, arzu edilen optimizasyona o kadar uygun olduğunun göstergesidir. Çizelge 4.9’un ilk sırasında çıkan düze konfigürasyonun uygunluk

değeri 0.754 çıkmıştır. Bu değer bu konfigürasyonun optimizasyon kriterlerine göre %75.4'lük bir değerle uygun olduğunun göstergesidir.

Çizelge 4.9. Cevap yüzey metodu iplik özellikleri optimizasyon sonuçları

No	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)	Tüylülük (H)	Düzgünsüzlük (%CV m)	Kopma uzaması (%)	İplik mukavemeti (cN/tex)	Uygunluk
1	0.5	35	5.466	13.041	5.224	15.672	0.754
2	0.5	30	5.695	13.021	5.210	15.542	0.642
3	0.7	35	5.416	13.478	5.065	14.408	0.640
4	0.6	35	5.750	12.729	5.279	13.977	0.583
5	0.5	40	5.712	13.026	4.924	14.903	0.566
6	0.7	30	5.645	13.212	4.970	13.939	0.547
7	0.9	40	5.708	13.493	5.152	14.742	0.547
8	0.7	40	5.662	13.485	5.000	14.565	0.539
9	0.9	20	5.926	13.071	5.413	15.288	0.528
10	0.8	35	5.930	13.097	5.547	15.066	0.528

4.2.4. Basınç değişiminin iplik özellikleri üzerine etkisi

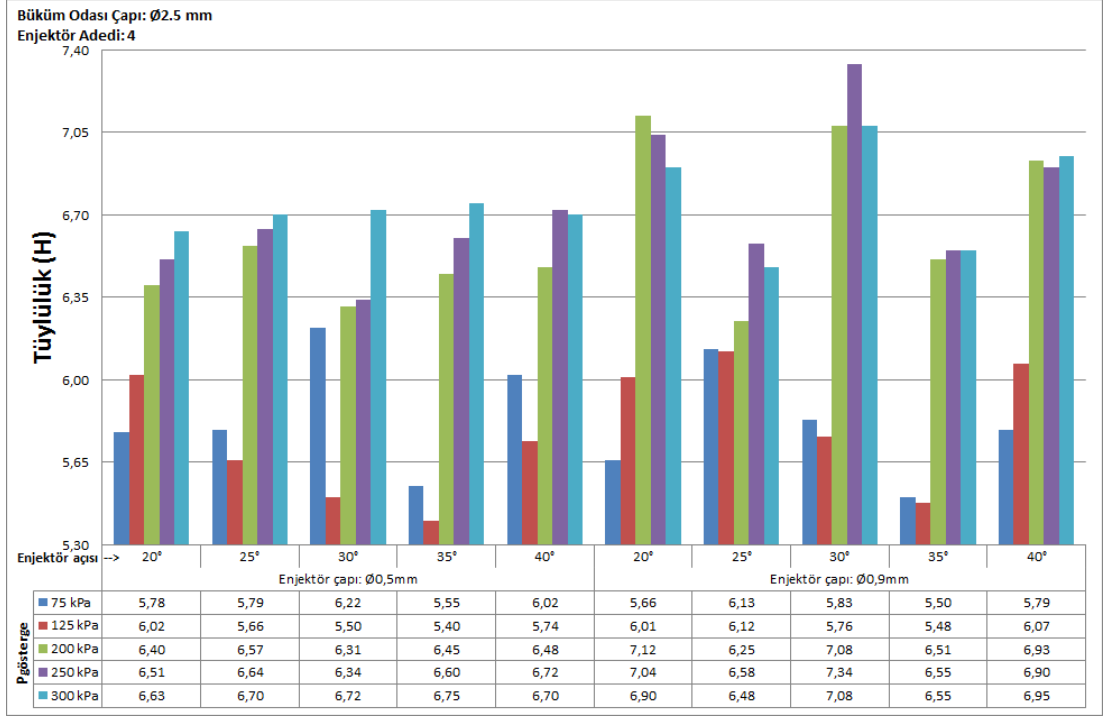
Bir önceki bölümde (lineer/2FI cevap yüzey metodu analizi) 2 farklı gösterge basıncı değerinin (75 kPa ve 125 kPa) iplik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmişti. İncelenen sonuçlara göre hava basıncının 75 kPa değerinden 125 kPa değerine arttırılması özellikle iplik tüylülüğü ve iplik düzgünsüzlüğü üzerinde az da olsa olumlu bir etki gösterdiği anlaşılmıştır. Fakat daha yüksek basınçlarda nasıl bir etki vereceğinin anlaşılması için 3 farklı gösterge basınç değerleri (200, 250 ve 300 kPa) daha eklenerek, tekrar iplik performans testleri yapılmıştır. İplik üretiminde, düzenin yapısal konfigürasyonlarından büküm odası çapı Ø2.5 mm ve çevresel enjektör adedi 4 olarak sabit tutulmuştur. Ø0.5 mm ve Ø0.9 mm enjektör çaplarında ve 5 farklı enjektör açısı değerlerinde (20°, 25°, 30°, 35° ve 40°) 1'er numune Ne 30/1 iplik üretimleri gerçekleştirilmiştir. Basınç değişiminin iplik özellikleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiş olup, sonuçlar sütun grafiği şeklinde incelenmiştir.

4.2.4.1. İplik tüylülüğü sonuçları

Değişen hava basıncının iplik tüylülüğü üzerindeki etkisi, Şekil 4.14'de verilmiştir. 200 kPa ve üzeri gösterge basınçlarına çıkıldığında, seçilen tüm düze yapısal konfigürasyonlarında iplik tüylülüğünde azalma beklenirken aksine arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise 125 kPa üzerindeki gösterge basınçlarında, düze içerisindeki basınçlı ve türbülanslı havanın iplik bükümünde dolayısıyla iplik tüylülüğünde olumsuz bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.1.). Grafikte de görüldüğü gibi iplik tüylülüğü için optimum hava basıncı 125 kPa'dır.

Benzer sonuç, literatürdeki diğer çalışmalarda da rastlanmaktadır. Yılmaz (2011), gösterge basıncının 50 kPa'dan 100 kPa'a kadar arttırıldığında tüylülük değerlerinin azaldığı, 100 kPa'da ise iplik tüylülüğünün bir miktar arttığını gözlemlenmiş ve optimum hava basıncının 75 kPa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 15° enjektör açısı konfigürasyonuna sahip düze üzerinde 125 kPa gösterge basıncında bir tüylülük testi daha yapmış ve tüylülük sonucunun bir miktar daha arttığını gözlemlemiştir.

Benzer olarak, Hoseinpour vd. (2012) çalışmalarında, hava basıncının iplik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için 6 farklı gösterge basıncı değerinde (20, 50, 80, 100 ve 150 kPa) iplik üretimleri gerçekleştirmiştir. En düşük tüylülük değeri veren optimum hava basıncının 80 kPa olduğunu belirtmişlerdir. 20, 50 ve 100 kPa gösterge basıncı değerinde üretilen ipliklerin tüylülük değerlerinin birbirlerine yakın değerde olduğu ve 80 kPa gösterge basıncı ile üretilen ipliklerin tüylülük değerlerinden bir miktar yüksek olduğu belirtilmiştir.



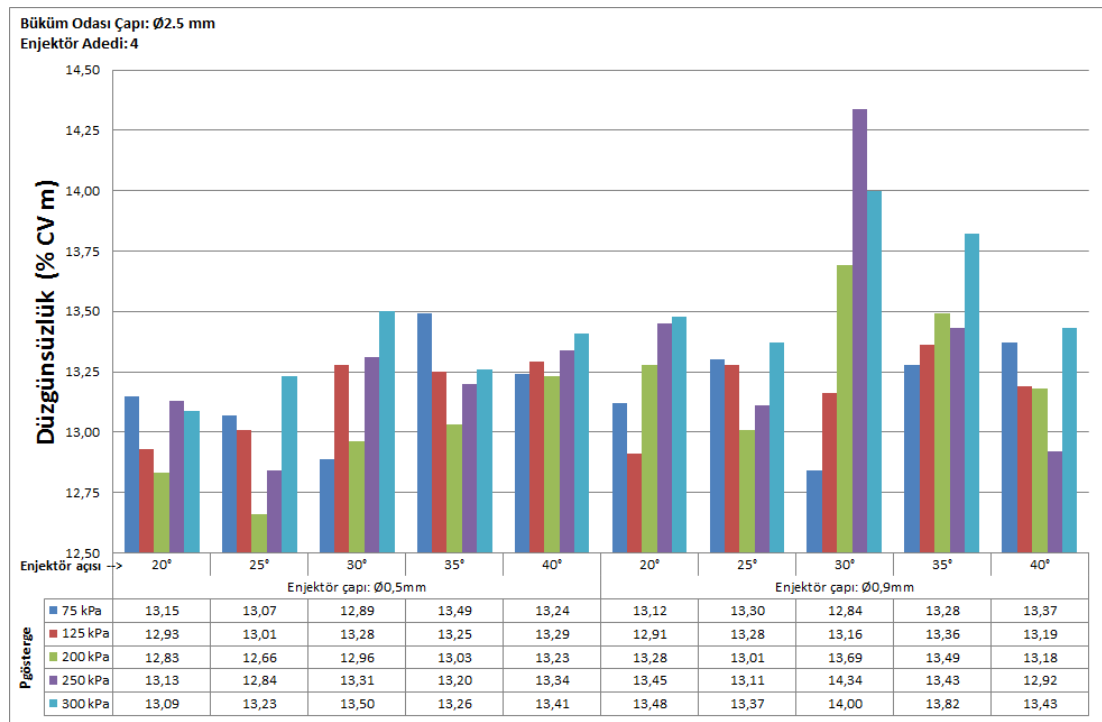
Şekil 4.14. Hava basıncı - iplik tüylülüğü karşılaştırılması

4.2.4.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları

Değişen hava basıncının iplik düzgünsüzlüğü üzerindeki etkisi, Şekil 4.15’de verilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi, hava basıncının artışı iplik düzgünsüzlüğünü bir miktar da olsa arttırmıştır. Fakat düzgünsüzlük sonuçları tüylülük sonuçları kadar kötü değerlere ulaşmamış, hatta bazı düz konfigürasyonlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Düz ile 5 farklı hava basınç değerinde üretilen iplikler, düz kullanılmadan üretilen iplikler (Çizelge 4.1.) ile benzer düzgünsüzlük değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca grafikten anlaşıldığı gibi Ø0.5 mm enjektör çapına sahip düzeler ile üretilen ipliklerin düzgünsüzlük değerleri Ø0.9 mm enjektör çapına sahip düzeler ile üretilen ipliklerin düzgünsüzlük değerlerinden daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Her iki enjektör çapına sahip düzelerde ise en kötü düzgünsüzlük değeri 30° ve 35° enjektör açılarında elde edilmiştir.

Hava basıncının artmasının düzgünsüzlük üzerindeki değişimi de literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir. Hoseinpour vd. (2012) çalışmalarında, hava basıncının iplik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için 6 farklı

gösterge basıncı değerinde (20, 50, 80, 100 ve 150 kPa) iplik üretimleri gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında, hava basıncı 20 kPa değerinden, 50 kPa değerine çıktığında iplik düzgünsüzlüğün arttığını, 80 kPa değerine çıkıldığında 20 kPa değeri ile benzer düzgünsüzlük değerine düştüğünü, 100 kPa değerine çıkıldığında düzgünsüzlük değeri 20 kPa değerinde elde edilen değer de altına düştüğünü, fakat 125 ve 150 kPa değerlerinde ise kademeli olarak artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Benzer olarak Yılmaz (2011), hava basıncının 25 kPa'dan 50 kPa'a çıkartıldığında düzgünsüzlük değerleri artarken, 75 kPa'da az miktarda da olsa azalmakta olduğunu, 100 kPa'da tekrar artış eğilimi gösterdiğini belirtmiştir.



Şekil 4.15. Hava basıncı - iplik düzgünsüzlüğü karşılaştırılması

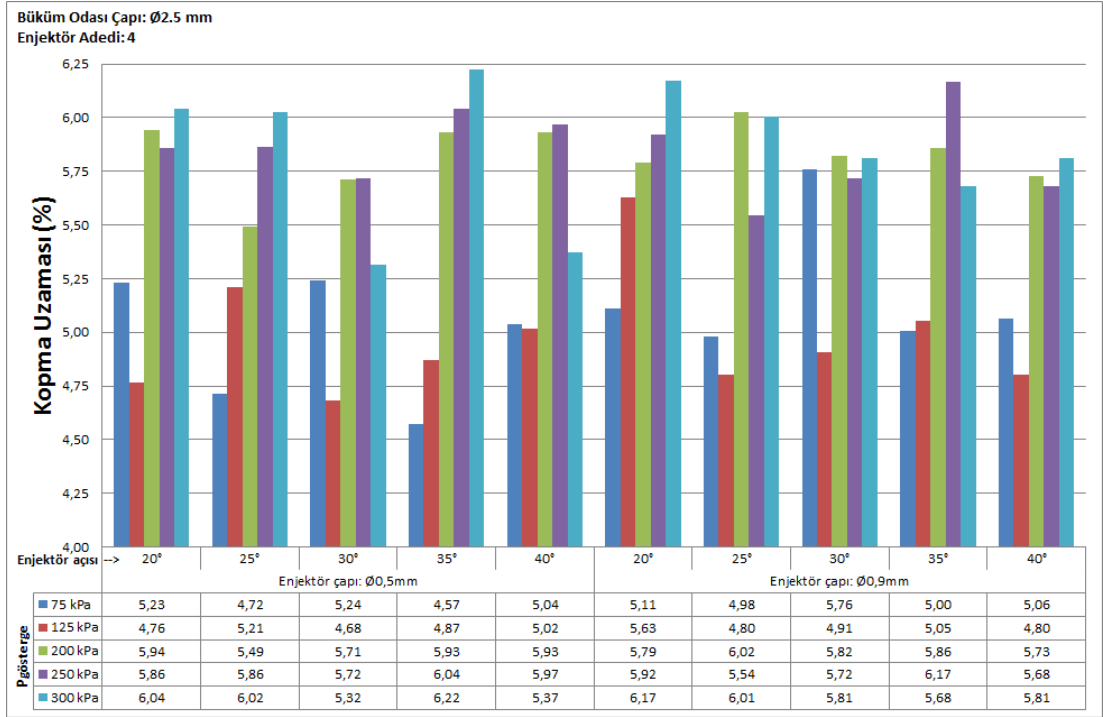
4.2.4.3. Kopma uzaması sonuçları

Değişen hava basıncının kopma uzaması üzerindeki etkisi, Şekil 4.16'da verilmiştir. Seçilen tüm düze yapısal konfigürasyonlarında yapılan testlere göre 200 kPa ve üzeri gösterge basınçlarına çıkıldığında, kopma uzaması değerlerinde artış meydana gelmektedir. Düze kullanılmadan üretilen iplik numunelerinin ortalama kopma uzaması değeri %5.567 olarak hesaplanmıştır

(Çizelge 4.1.). Yani, 200 kPa ve üstü gösterge basınçlarında, kopma uzaması değerinin %11'e varan olumlu yönde geliştiği görülmektedir. Ayrıca, kopma uzaması değerini maksimize eden enjektör açısının 35° olduğu, fakat enjektör çapının kopma uzaması üzerine herhangi bir etkisi bulunmadığı da grafikten anlaşılmaktadır.

Benzer durum literatürde de rastlanmaktadır. Yılmaz (2011) 25 kPa ve 50 kPa gösterge basıncı değerlerinde üretilen Jetring iplikler hariç, diğer Jetring iplikler ile konvansiyonel ring ipliklerin kopma uzaması değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmadığını belirtmiştir. Dolayısıyla, 75 kPa ve 100 kPa gösterge basıncı değerlerinde Jetring ve ring iplikler benzer kopma uzaması değerlerine sahiptir. Hava basıncı arttıkça, iplik mukavemeti azalmasına karşın kopma uzaması değerlerinin artma eğilimi gösterdiğini tespit etmiştir..

Benzer olarak Hoseinpour vd. (2012) çalışmalarında, hava basıncı 20 kPa değerinden 100 kPa değerine arttırılırken kopma uzaması değerinin kademeli olarak azaldığını, fakat 100 kPa değerinden 150 kPa değerine arttırıldığında ise kopma uzaması değerinin tekrar artış eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen hava basıncı kopma uzaması arasındaki ilişki, bu tezde üretilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Bu tezde elde edilen sonuçlarda da gösterge basıncının 75 kPa değerinden 125 kPa değerine arttırıldığında kopma uzaması değerleri bir miktar düşmekte, fakat 125 kPa değerinin üzerine çıkıldığında ise kopma uzaması değeri tekrar artış göstermektedir.



Şekil 4.16. Hava basıncı – kopma uzaması karşılaştırılması

4.2.4.4. İplik mukavemeti sonuçları

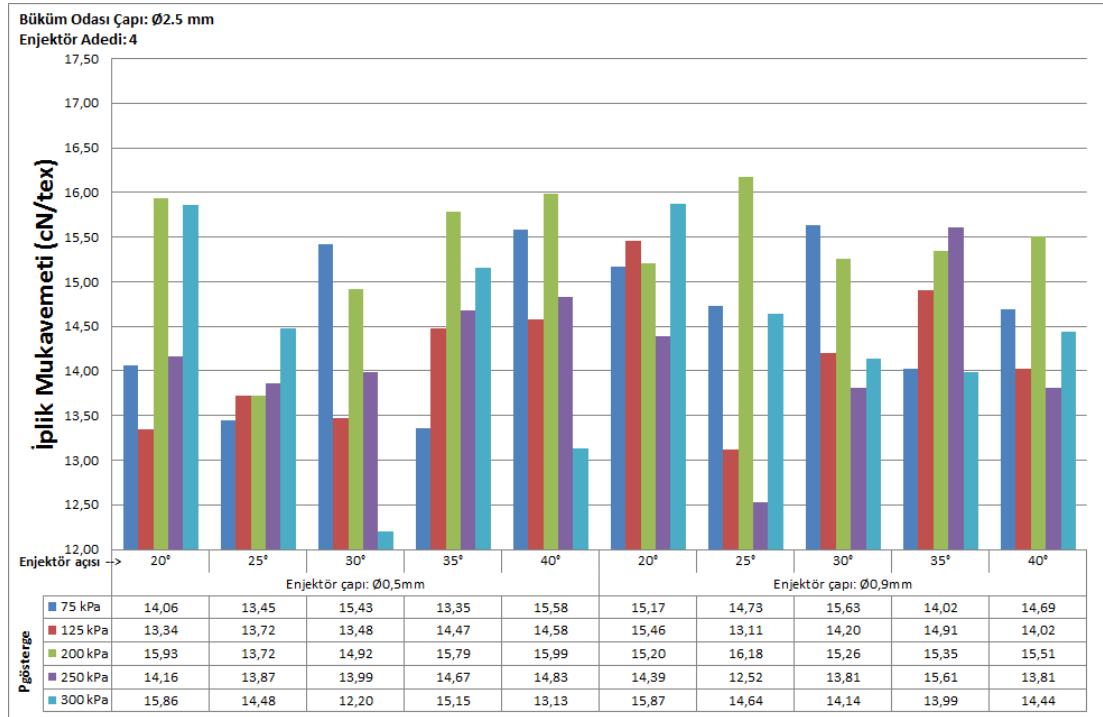
Değişen hava basıncının iplik mukavemeti üzerindeki etkisi Şekil 4.17’de verilmiştir. Seçilen tüm düze yapısal konfigürasyonlarında yapılan testlere göre iplik mukavemeti ile hava basıncı arasında anlamlı bir ilişki ortaya konulamamıştır. Örnek olarak Ø0.5 mm enjektör çapına ve 30° enjektör açısına sahip düze konfigürasyonunda 250 kPa gösterge basıncı değerinde elde edilen mukavemet değeri 300 kPa gösterge basıncında elde edilen mukavemet değerinden yüksek iken Ø0.9 mm enjektör çapına ve 25° enjektör açısına sahip düze konfigürasyonunda ise tam tersi bir durum gözlemlenmekte, Ø0.9 mm enjektör çapında ve 30° enjektör açısındaki düze konfigürasyonunda ya da Ø0.5 mm enjektör çapında ve 35° enjektör açısındaki düze konfigürasyonunda ise iki mukavemet değeri birbirine yakın değerde olduğu görülmektedir.

Hava düzesi kullanımı iplik tüylülüğünü azaltıcı yönde etki ederken, iplik mukavemetine etkisi konusunda literatürdeki mevcut bulgular tek bir eğilimle ifade edilememektedir. Bazı araştırmacılar Jetring ipliklerin konvansiyonel ring ipliklere kıyasla mukavemet ve kopma uzaması değerlerinin daha yüksek

olduğunu belirlemiş olmasına karşın (Jeon, 2000; Subramanian vd., 2007), bazı araştırmacılar ise her iki iplik tipinin benzer mukavemet ve kopma uzaması değerleri verdiğini tespit etmiştir (Wang vd., 1997; Cheng ve Li, 2002; Ramachandralu ve Dasaradan, 2003; Patnaik vd., 2005; Rengasamy vd., 2006).

Benzer olarak Hoseinpour vd. (2012), çalışmalarında en yüksek iplik mukavemetinin 100 kPa gösterge basıncında elde edildiğini belirtmiştir. Hava basıncının 100 kPa'ın üzerine çıktığında iplik mukavemetinin önemli ölçüde azaldığını fakat kopma uzaması değerinin ise arttığını gözlemlemiştir. Bu sonucu hava düzesi içerisindeki türbülans oluşumuna bağlamakta ve dolayısıyla büküm odasının içerisindeki iplik içeriğindeki lif yönünün bozulmasına neden olduğunu düşünmektedir.

Yılmaz (2011) çalışmasında, düze yüksek hava basıncı değerlerinde konvansiyonel ring ipliklere kıyasla daha düşük iplik mukavemeti değerlerinin elde edilmesine neden olduğunu belirtmiştir. Bu durum, düze içerisinde meydana gelen açma-kapama hareketi ile iplik yapısında meydana gelen değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir.



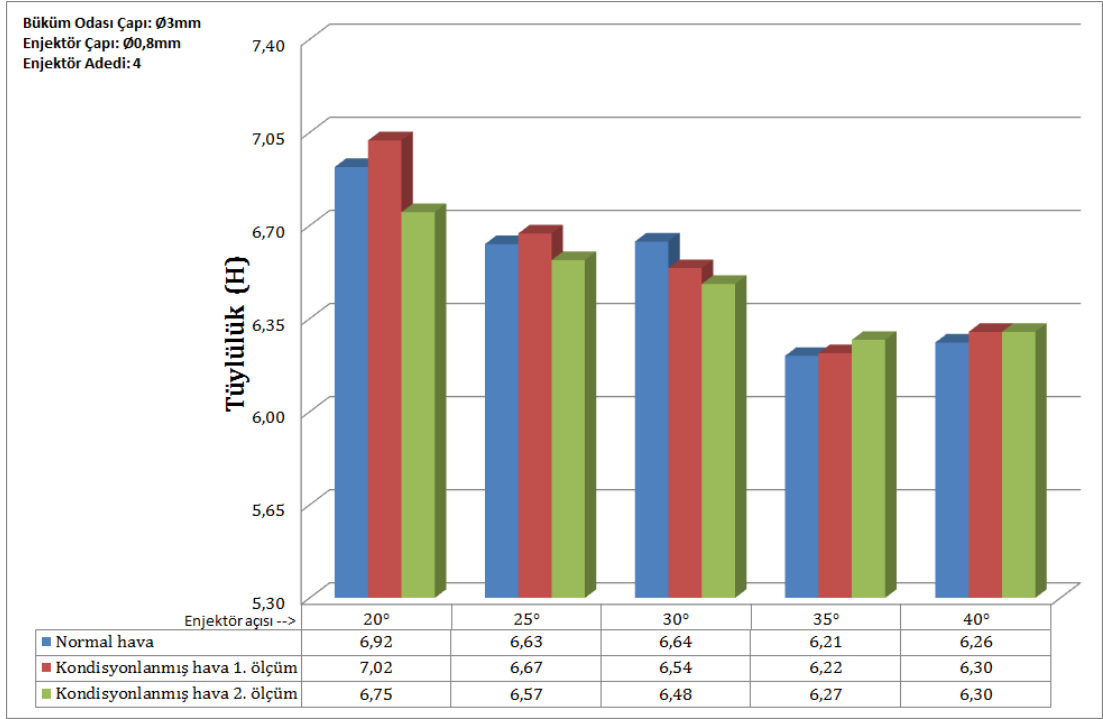
Şekil 4.17. Hava basıncı – iplik mukavemeti karşılaştırılması

4.3. Kondisyonlanmış Havanın İplik Özellikleri Üzerine Etkisi

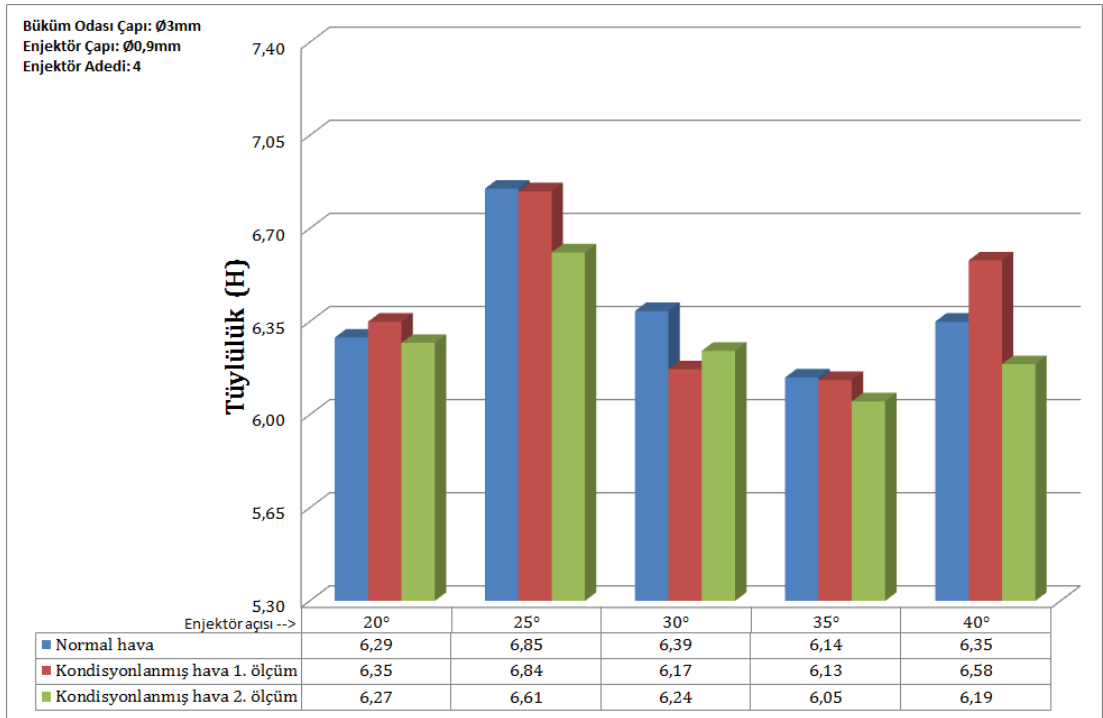
Kondisyonlanmış (%100 bağıl neme sahip) havanın iplik özellikleri üzerine nasıl bir katkısının olduğunun araştırılması için içi su dolu pnömatik bir şartlandırıcı kullanılarak, havanın bağıl nemi %100 değerine çıkarılmıştır (Şekil E.1). Kondisyonlanmış havanın iplik özelliklerine etkisinin incelenmesi için karşılaştırılan düze konfirürasyonlarına ait özellikler şöyledir: Büküm odası çapı Ø3 mm, çevresel enjektör adedi 4, enjektör çapı Ø0.8 mm ve Ø0.9 mm, enjektör açısı 20°, 25°, 30°, 35° ve 40°'dir. Kondisyonlanmış hava ile üretilen ipliklere ait iplik özelliklerinin ölçümü yapılırken ilk ölçüm iplik üretiminden 72 saat sonra, ikinci ölçüm ise kondisyonlanmış hava uygulanan ipliğin tamamen kurummasının beklendiği süre olan ilk ölçümden 1 hafta sonra ölçümler sonucu elde edilen iplik özelliği (tüylülük, düzgünlük, kopma uzaması ve mukavemet) değerini ifade etmektedir. Normal hava ile üretilen ipliklere ait iplik özellikleri ile birlikte toplam 3 ölçüm karşılaştırılarak kondisyonlanmış havanın iplik özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bölümde incelenen tüm iplik üretimleri 125 kPa gösterge basıncı kullanılarak üretilmiştir.

4.3.1. İplik tüylülüğü sonuçları

Kondisyonlanmış ve normal havanın iplik tüylülüğü üzerine etkisi enjektör çapı Ø0.8 ve Ø0.9 mm için sırasıyla, Şekil 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. İki enjektör çapı değerinde de normal hava ile kondisyonlanmış havanın 1. ölçümleri birbirine yakın tüylülük değerleri vermektedir. Bir hafta sonra 1 hafta sonra ölçümler sonucu elde edilen kondisyonlanmış hava 2. ölçüm tüylülük değerleri ise diğer ölçüm sonuçlarına kıyasla yaklaşık 0.1-0.2 kadar tüylülük değerinde düşüş göstermiştir. Tüylülük değerlerindeki azalma tüm aç parametrelerinde elde edilmiştir. Sonuçlara göre kondisyonlanmış havanın iplik tüylülüğünü yaklaşık %1.5-3.5 oranında düşürdüğü gözlemlenmektedir.



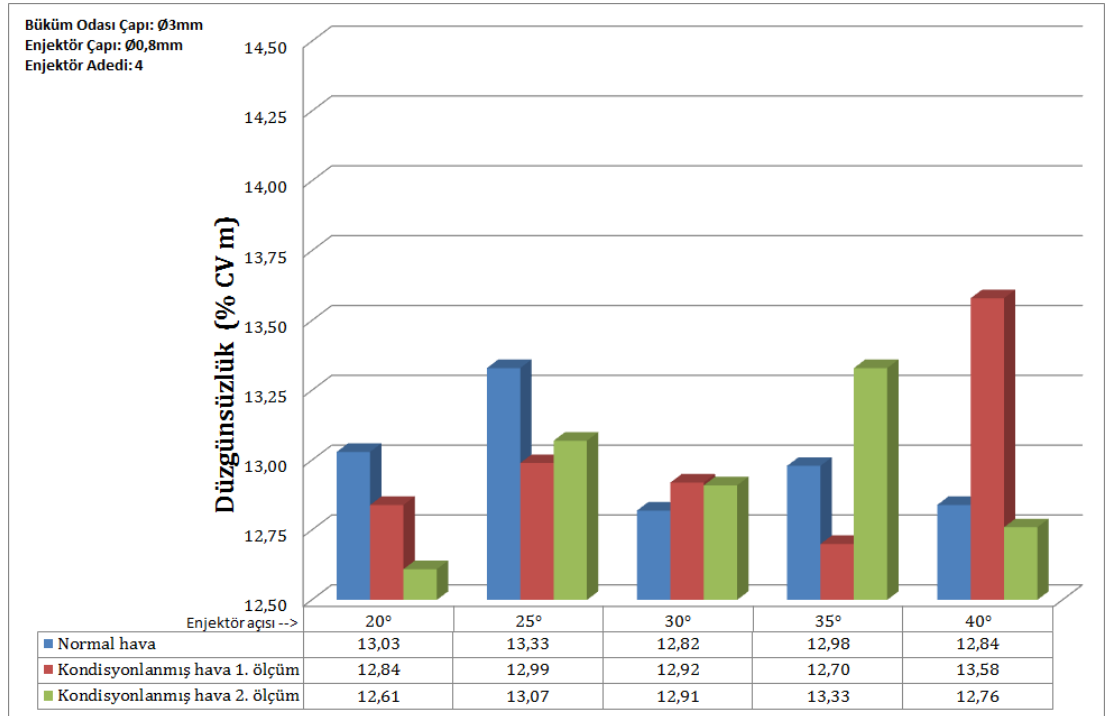
Şekil 4.18. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik tüylülüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm)



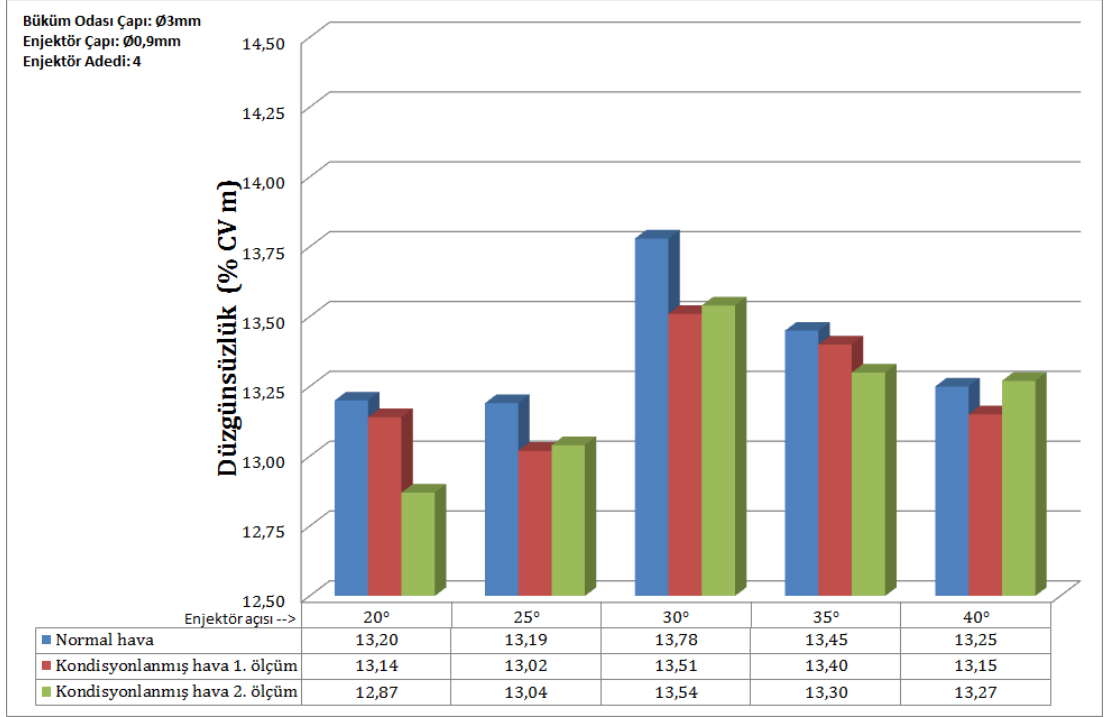
Şekil 4.19. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik tüylülüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm)

4.3.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları

Kondisyonlanmış ve normal havanın iplik düzgünsüzlüğü üzerine etkisi enjektör çapı Ø0.8 ve Ø0.9 mm için sırasıyla, Şekil 4.20 ve 4.21’de verilmiştir. Ø0.9 mm enjektör çapında kondisyonlanmış hava ölçümlerine göre iplik düzgünsüzlüğünde bir miktar da olsa düşüş gözlemlenmiştir. Ø0.8 mm enjektör çapındaki konfigürasyonlarda üretilen ipliklerin kondisyonlanmış hava ölçümlerine göre 20° ve 25°’lik düze konfigürasyonlarında iplik düzgünsüzlüğünde düşüş gözlemlenmiştir. Ancak 30°’lik düzede her iki kondisyonlanmış ölçümde, 35°’lik düzede ikinci kondisyonlanmış ölçümde, 40°’lik düzede ise ilk kondisyonlanmış ölçümde düzgünsüzlük değeri normal hava ile çalışan düzelere göre yüksek çıkmıştır. Ø0.8 mm enjektör çapındaki konfigürasyonlarda üretilen ipliklerin kondisyonlanmış hava ölçümlerinde 40°’lik düzenin ikinci kondisyonlanmış ölçümü dikkate alınmazsa kondisyonlanmış havanın iplik düzgünsüzlüğünün ortalama %0.1-0.4 oranında azalttığı sonucuna ulaşılabilir.



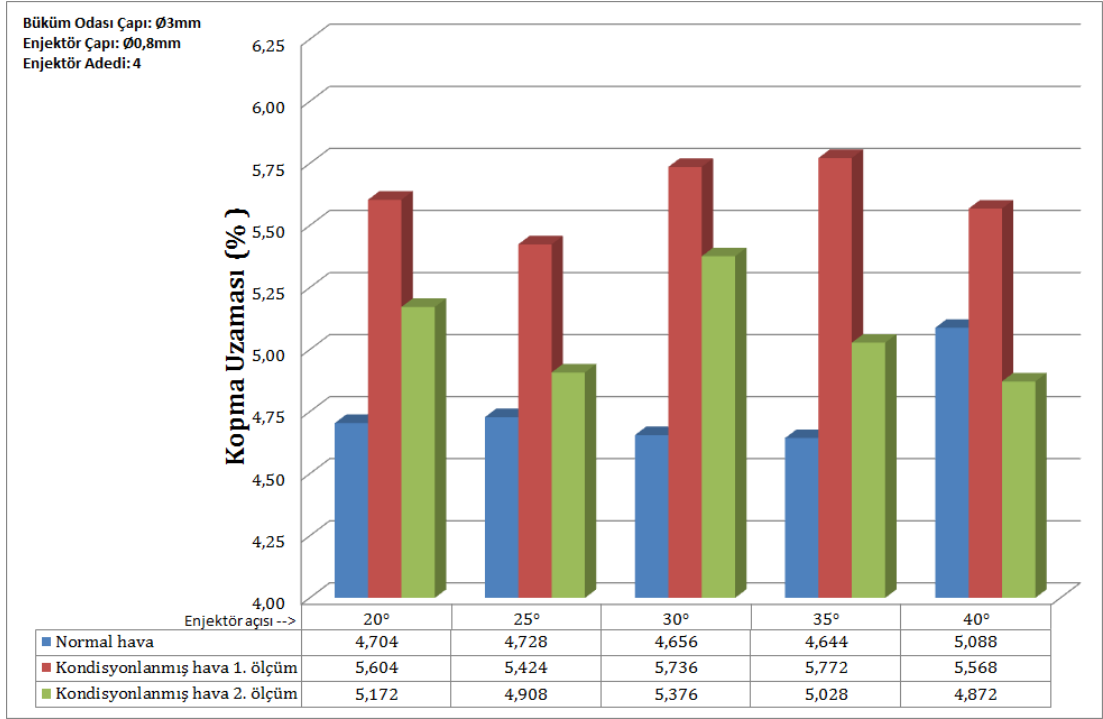
Şekil 4.20. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik düzgünsüzlüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm)



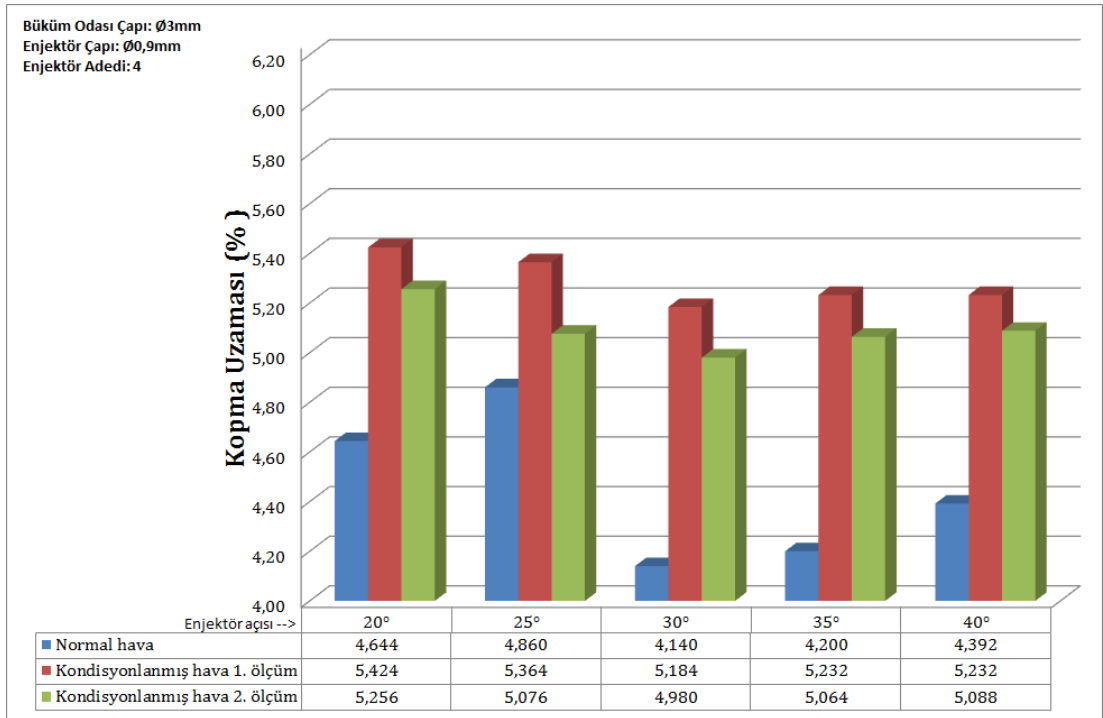
Şekil 4.21. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik düzgünsüzlüğüne etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm)

4.3.3. Kopma uzaması sonuçları

Kondisyonlanmış ve normal havanın kopma uzaması üzerine etkisi enjektör çapı Ø0.8 ve Ø0.9 mm için sırasıyla, Şekil 4.22 ve 4.23’de verilmiştir. Ø0.8 mm enjektör çapında ve 40° lik düzenin ikinci kondisyonlanmış ölçümü dikkate alınmazsa, kondisyonlanmış hava ile üretilen tüm numunelerde kopma uzaması ilk ölçümde % 0.5-1 aralığında, ikinci ölçüme göre de %0.2-0.8 aralığında artış gözlemlenmiştir. Kondisyonlanmış hava 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasında kopma uzaması değerinde %0.2-0.3 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir.



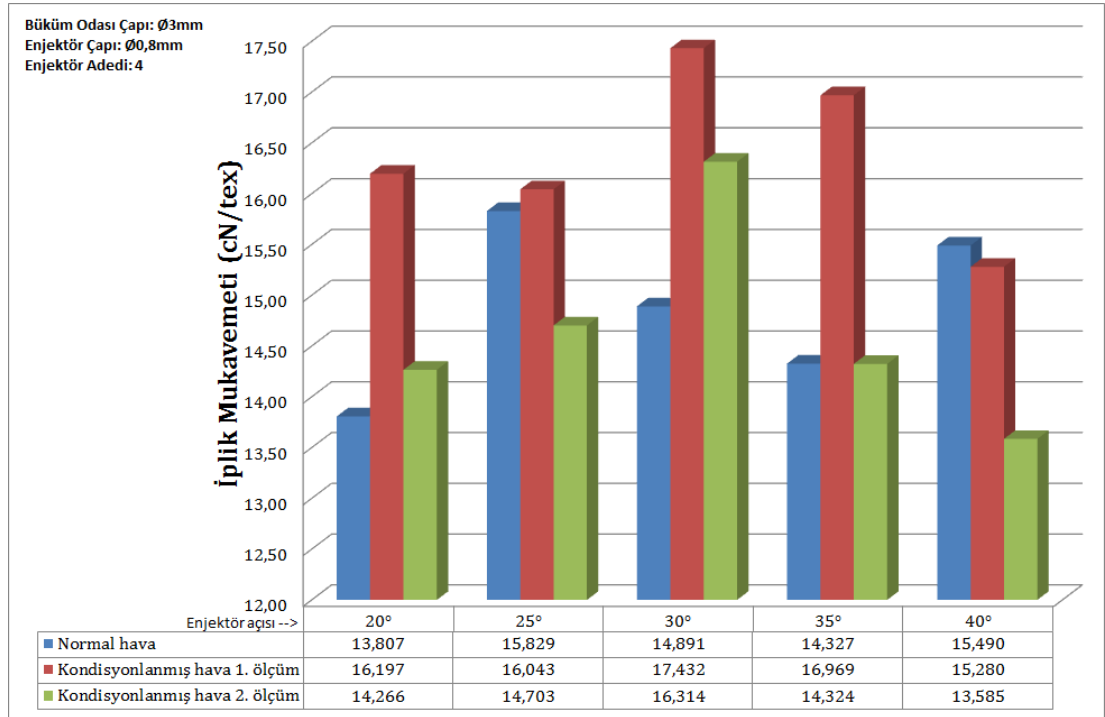
Şekil 4.22. Normal ve kondisyonlanmış havanın kopma uzamasına etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm)



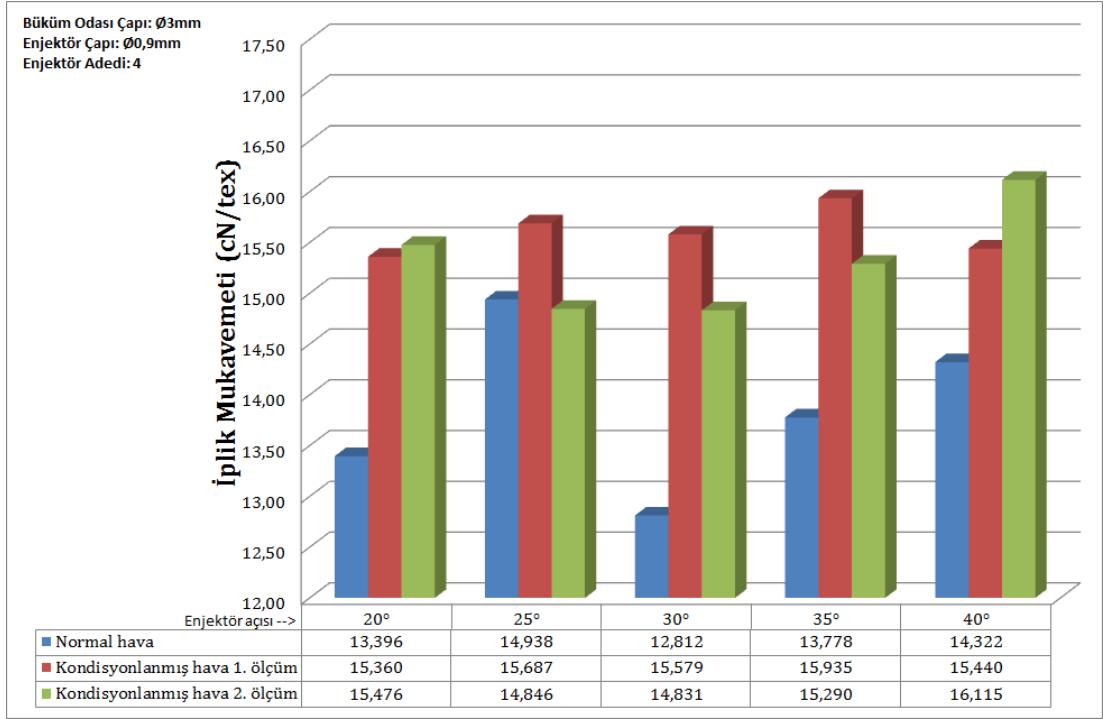
Şekil 4.23. Normal ve kondisyonlanmış havanın kopma uzamasına etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm)

4.3.4. İplik mukavemeti sonuçları

Kondisyonlanmış ve normal havanın iplik mukavemeti üzerine etkisi enjektör çapı Ø0.8 ve Ø0.9 mm için sırasıyla, Şekil 4.24 ve 4.25’de verilmiştir. Ø0.8 mm enjektör çapındaki düze konfigürasyonlarında kondisyonlanmış hava ilk ölçümünde mukavemet değerleri yükselmiş, fakat ikinci kondisyonlanmış hava numune ölçümlerinde ise mukavemet değerleri normal hava ile yapılan mukavemet ölçümleri ile benzer sonuçlar vermiştir. Ø0.9 mm enjektör çapında 25° enjektör açısı konfigürasyonu hariç diğer tüm düze konfigürasyonlarında kondisyonlanmış hava numune ölçümlerinin her ikisinde de tüm numunelerde iplik mukavemetinde ortalama 0.9-1.8 cN/tex kadar artış gözlemlenmektedir. Yani 25° hariç diğer tüm düze konfigürasyonlarında kondisyonlanmış havanın uygulanması, iplik mukavemetinde yaklaşık %11-16 kadar bir artış meydana getirmektedir.



Şekil 4.24. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik mukavemetine etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.8 mm)



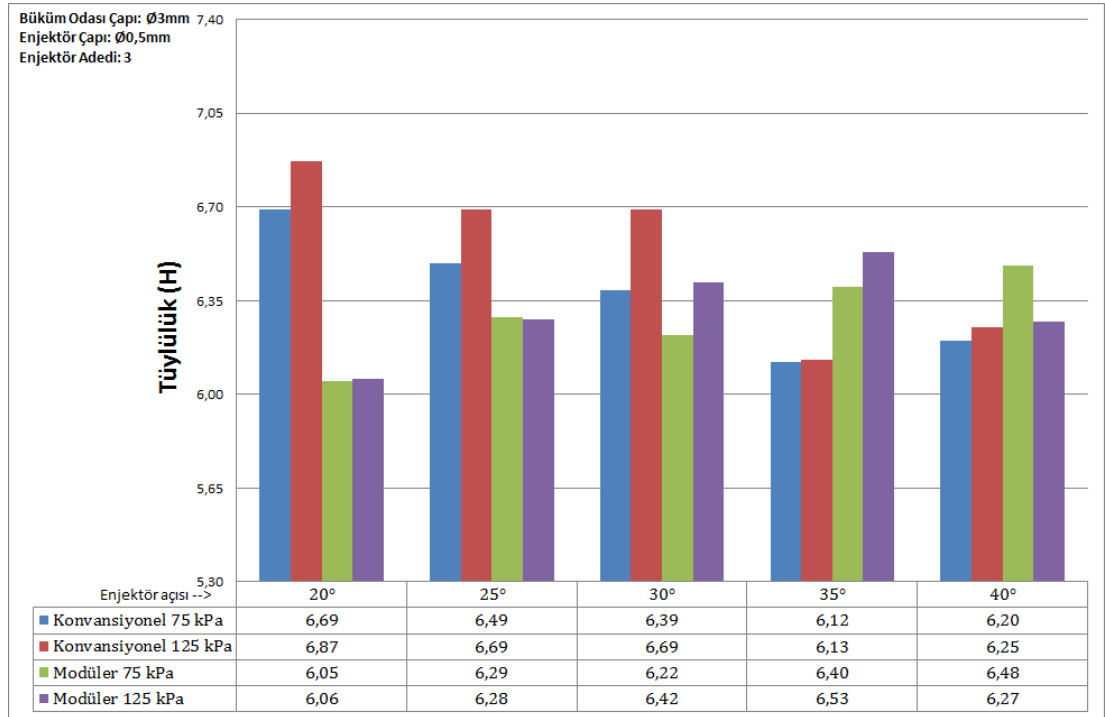
Şekil 4.25. Normal ve kondisyonlanmış havanın iplik mukavemetine etkisinin karşılaştırılması (Büküm odası çapı: Ø3 mm, Enjektör çapı: Ø0.9 mm)

4.4. Modüler ile Konvansiyonel Düzey Kullanılarak Üretilen İpliklerin İplik Özelliklerinin Karşılaştırılmaları

Tez çalışmasının ilk bölümlerinde düze yapısal parametreleri, hava basıncı ve kondisyonlanmış hava parametreleri sistematik şekilde incelenerek iplik özellikleri üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Buradaki amaç, kullanılacak modüler hava düzesi tasarımında hangi parametrelere odaklanması gerektiğinin belirlenmesidir. Bu bölümde ise modüler hava düzesinin, konvansiyonel hava düzeleri ile benzer sonuçları verip vermediğinin belirlenmesi amacıyla için iplik özellikleri üzerinden karşılaştırılmaların yapılması amaçlanmıştır. Bu bölümde ayrıca her iki düze tipi kullanılarak üretilen iplikler ile düze kullanılmadan üretilen ipliklerin iplik özellikleri sonuçları da kıyaslanmıştır. Karşılaştırılacak hava düzelerinin büküm odası çapı, Ø3 mm, enjektör çapı, Ø0.5 mm, çevresel enjektör adedi 3 ve hava basıncı 125 kPa değerinde sabit tutulmuştur.

4.4.1. İplik tüylülüğü sonuçları

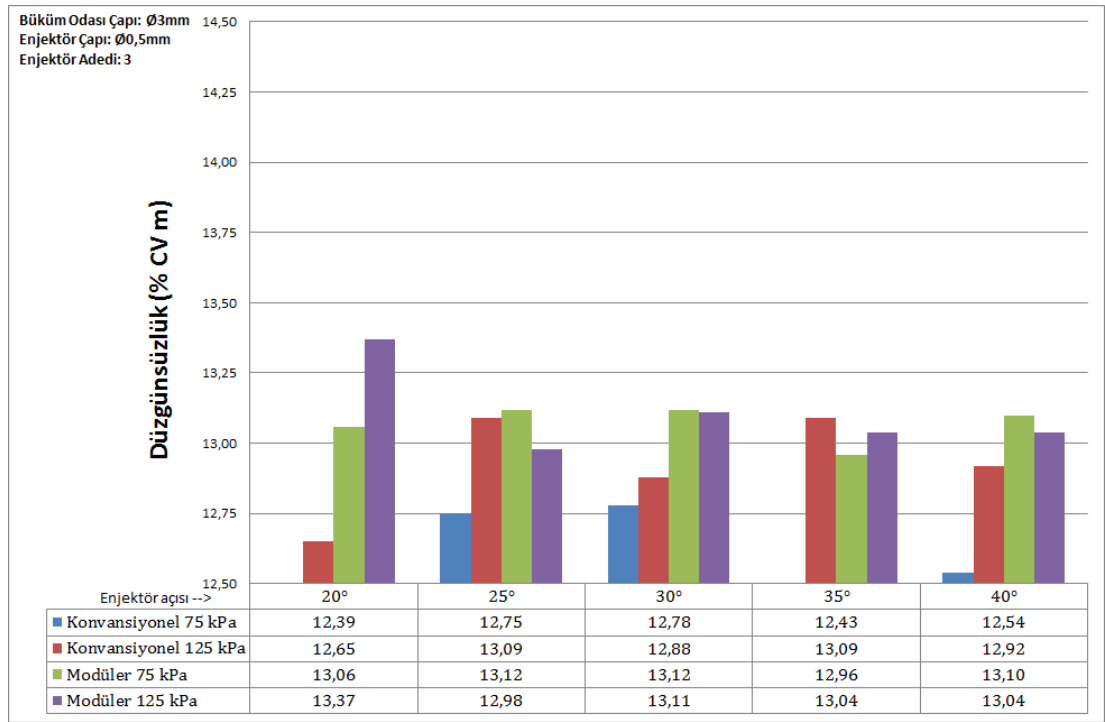
Modüler ve konvansiyonel düzeler kullanılarak üretilen ipliklerin iplik tüylülüğü karşılaştırılmaları Şekil 4.26'da verilmiştir. Çizelge 4.1'de verilen hava düzesi kullanılmadan üretilen Ne 30 iplikler ile karşılaştırıldığında modüler ve konvansiyonel düzeler, düze kullanılmadan üretilen numunelere göre daha kötü sonuçlar vermektedir. 20°, 25° ve 30° enjektör açısına sahip modüler düze ile üretilmiş ipliklerde ise bu kötüleşme daha düşük düzeydedir ve konvansiyonel düzelere göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. 35° ve 40° enjektör açısına sahip modüler düzede üretilmiş iplikler ise konvansiyonel düzeler ile üretilmiş numunelere göre daha kötü sonuç verdiği belirlenmiştir. Genel itibariyle denenen yapısal konfigürasyonlara sahip modüler ve konvansiyonel düzelerde basınç artışı, iplik tüylülüğünde de artışa neden olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.26. Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik tüylülüğü karşılaştırılmaları

4.4.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları

Modüler ve konvansiyonel düzeler kullanılarak üretilen ipliklerin iplik düzgünsüzlüğü karşılaştırılmaları, Şekil 4.27’de verilmiştir. Denenen yapısal konfigürasyonlara sahip konvansiyonel düzelerde basınç artışı, iplik düzgünsüzlüğünde de artışa neden olmaktadır. Modüler düzede ise, basınç artışının 20° ve 35° enjektör açısı değerlerinde düzgünsüzlükte artışa, diğer açısı değerlerinde ise azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Genel itibariyle modüler düzelerde üretilen ipliklerin düzgünsüzlük değerleri konvansiyonel düzeler ile üretilen ipliklere kıyasla daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

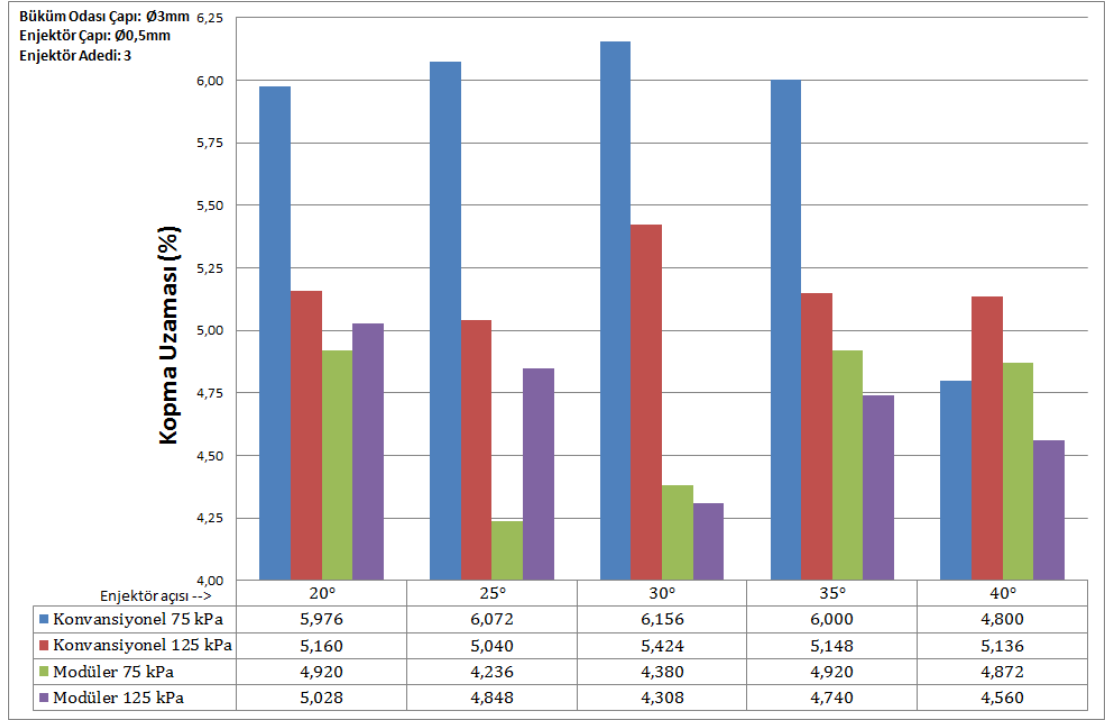


Şekil 4.27. Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik düzgünsüzlüğü karşılaştırılmaları

4.4.3. Kopma uzaması sonuçları

Modüler ve konvansiyonel düzeler kullanılarak üretilen ipliklerin kopma uzaması karşılaştırılmaları Şekil 4.28’de verilmiştir. Denenen yapısal konfigürasyonlara sahip konvansiyonel düzelerde basınç artışı 40° enjektör açısına sahip düze hariç kopma uzamasında ciddi bir azalmaya neden olduğu

belirlenmiştir. Modüler düzede ise basınç artışı 20° ve 25° enjektör açısı değerlerinde kopma uzaması değerini arttırdığı, diğer enjektör açısı değerlerinde ise azalttığı tespit edilmiştir. Genel itibarıyla modüler düzelerde üretilen ipliklerin kopma uzaması değerleri konvansiyonel düzeler ile üretilen ipliklere kıyasla daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

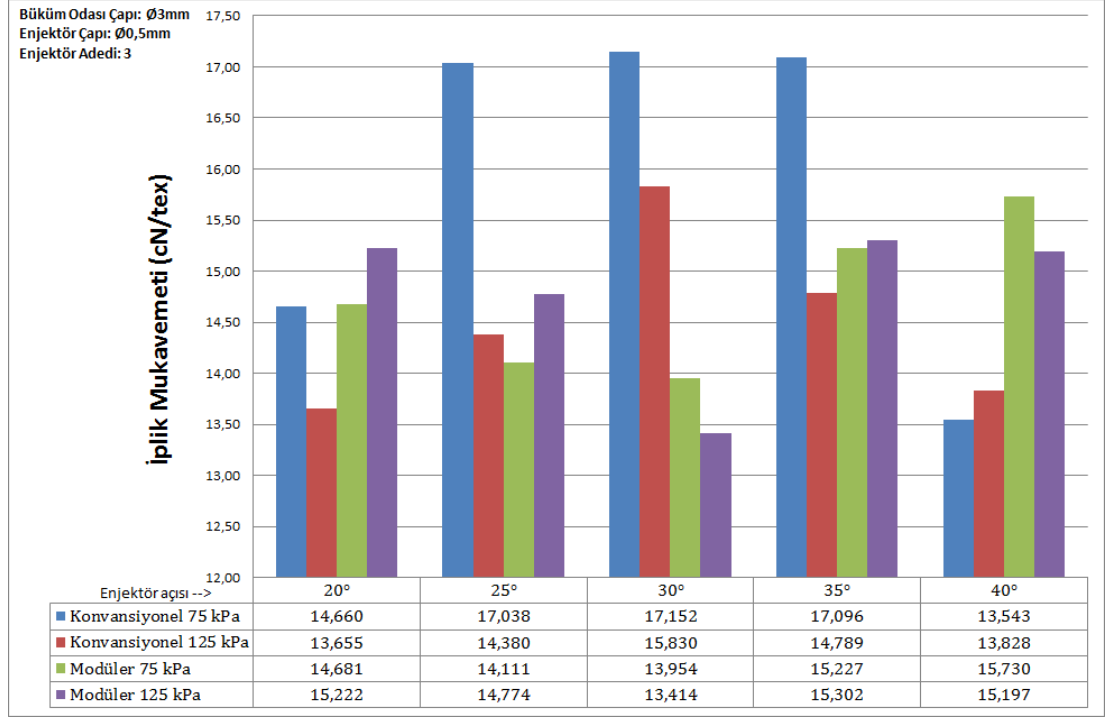


Şekil 4.28. Modüler ve konvansiyonel düzelerin kopma uzaması karşılaştırmaları

4.4.4. İplik mukavemeti sonuçları

Modüler ve konvansiyonel düzeler kullanılarak üretilen ipliklerin kopma uzaması karşılaştırmaları Şekil 4.29'da verilmiştir. Denenen yapısal konfigürasyonlara sahip konvansiyonel düzelerde basınç artışı 40° enjektör açısına sahip düze hariç iplik mukavemetinde kopma uzamasında olduğu gibi ciddi bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Modüler düzede ise basınç artışı 20°, 25° ve 35° enjektör açısı değerlerinde iplik mukavemetini arttırmakta, diğer enjektör açısı değerlerinde ise düşürmektedir. 75 kPa gösterge basıncı değerinde iplik mukavemeti değerleri konvansiyonel düzelerde, 125 kPa gösterge basıncı değerinde ise modüler düzede üretilen ipliklerde daha yüksek

olduğu görülmektedir. İplik mukavemeti açısından modüler düzenin basınç değişiminden daha az etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu sonuç modüler düze kullanılarak iplik kopuşu yaşanmadan daha yüksek hava basıncı değerlerine çıkılabileceğini de göstermektedir.

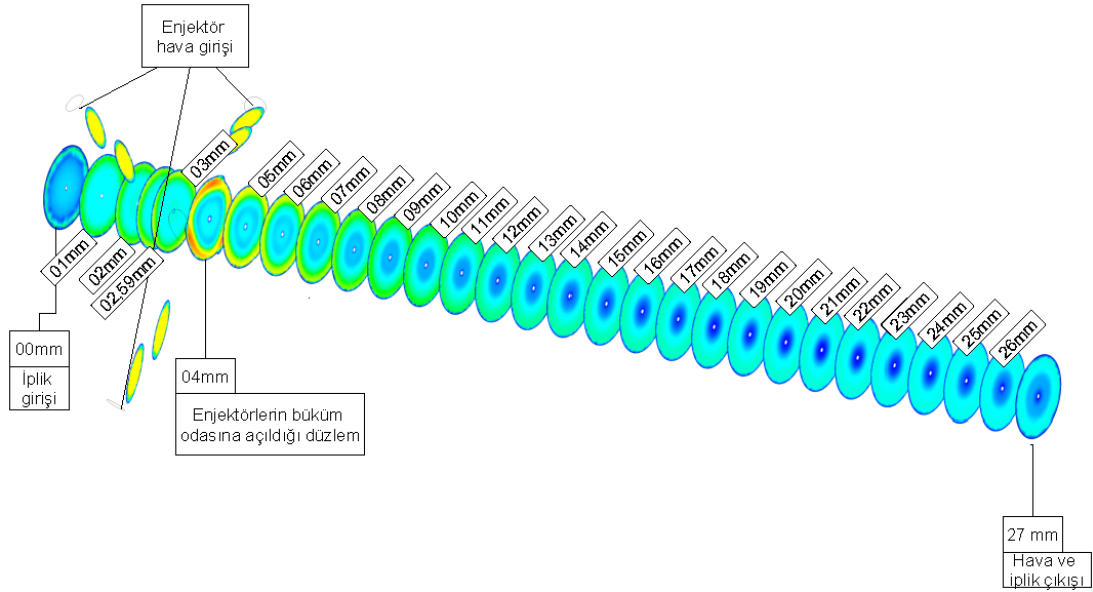


Şekil 4.29. Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik mukavemeti karşılaştırılmaları

4.5. Konvansiyonel Düzeler Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği Analiz Sonuçları

HAD sonuçlarını yorumlayabilmek ve diğer düze konfigürasyonları ile karşılaştırabilmek için Şekil 3.13'de gösterilen 27 mm uzunluğunda olan düze z eksenini (düze büküm odası eksenini) boyunca 1'er mm aralılarla düzlemlere (plane) bölünmüştür. Enjektörlerin düzenin büküm odasına bağlandığı düzlem düzenin iplik girişinden 4 mm ilerisinde yer almaktadır. Tanımlanan düzlemlerin düze üzerinde gösterimi, Şekil 4.30'da yer almaktadır. Bu bölümde 125 kPa gösterge basıncına sahip konvansiyonel düzelerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçları karşılaştırılarak, düzeye ait yapısal parametrelerin hava akımı üzerindeki etkileri kıyaslanmaya çalışılmıştır. 125

kPa gösterge basıncı için ANSYS CFX 18.0 programında sınır şartı olarak 225 kPa mutlak basınç olarak tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 4.30. 3 enjektörlü bir düzeye ait düzlemlerin görünümü

Ansyes Workbench 18.0 programında parametrik analiz yapılırken, optimum ağ örme, çözüm kolaylığı ve modüler düze ile daha kolay kıyaslama yapmak için 3 enjektörlü ve 4 enjektörlü parametrik düze konfigürasyonları ayrı ayrı incelenmiştir.

4.5.1. Kütlesel debi karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektör hava girişinde kütlesel debi değerinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı $\varnothing 3$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.9$ mm, enjektör açısı 40° ve çevresel 4 enjektöre sahip düze tipi (KD 4E DP 75), kütlesel debi değeri 0.001558 kg/s'dir. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 75) kütlesel debi değeri ise 0.001160 kg/s'dir. Kütlesel debi değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı $\varnothing 2$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.5$ mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 3 enjektöre sahip düze olup (KD 3E DP 1), kütlesel debi değeri 0.000308 kg/s'dir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarına göre kütlesel debi değeri en yüksek olan düze

ile en düşük olan düzenin enjektör hava girişi kütlelel debi değeri oranı 5.058'dir.

$$\frac{\dot{m}_{HAD} (KD 4E DP 75)}{\dot{m}_{HAD} (KD 3E DP 1)} = \frac{0.001558}{0.000308} \cong 5.058 \quad (4.1)$$

Bunun anlamı hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarına göre KD 4E DP 75 analiz nolu düze KD 3E DP 1 analiz nolu düzeye göre yaklaşık 5 katı kütlelel debi değeriinde hava tüketmesi beklenmektedir.

Deneysel ölçümlere göre ise kütlelel debinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 4 enjektöre sahip düze olup (KD 4E DP 71), kütlelel debi değeri 0.001178 kg/s olarak ölçülmüştür. Kütlelel debi değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 3 enjektöre sahip düze olup (KD 3E DP 1), kütlelel debi değeri 0.000862 kg/s ölçülmüştür. Deneysel sonuçlara göre kütlelel debi değeri en yüksek olan düze ile en düşük olan düzenin enjektör hava girişi kütlelel debi oranı 1.367 olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\dot{m}_{deneyse} (KD 4E DP 71)}{\dot{m}_{deneyse} (KD 3E DP 1)} = \frac{0.001178}{0.000862} \cong 1.367 \quad (4.2)$$

Bunun anlamı ise deneysel sonuçlara göre en fazla hava tüketen KD 4E DP 71 analiz nolu düze, KD 3E DP 1 analiz nolu düzeye göre yaklaşık 1.4 katı kütlelel debi değeriinde hava tüketmektedir.

EK I'daki verilerden de anlaşıldığı gibi, çevresel enjektör adedi, enjektör çapı ve açısının ve büküm odası çapının artması düzeye giren kütlelel debiyi arttırmaktadır.

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, iplik girişi kütlelel debisinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.6 mm, enjektör açısı 40° ve çevresel 3 enjektöre sahip

düzedir (KD 3E DP 60) ve kütleli debi değeri 0.000343 kg/s olarak belirlenmiştir. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 4 enjektöre sahip olan düzenin (KD 4E DP 60) kütleli debi değeri ise 0.000306 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütleli debi değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 21) ve kütleli debi değeri -0.000385 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütleli debi değerinin negatif çıkması iplik girişinde hava girişine göre dışarı çıkan hava miktarının daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, büküm odası çapının Ø2 mm olduğu konfigürasyonların çoğunda (DP1 - DP25) iplik girişinden dışarıya doğru hava çıkışının daha baskın olduğu olduğu, büküm odası çapının Ø3 mm olduğu konfigürasyonların çoğunluğu ise (DP51 - DP75) dışarıdan iplik girişine doğru hava emişinin daha baskın olduğu olduğu görülmektedir. Büküm odası çapı Ø2.5 mm olan konfigürasyonlar (DP26 - DP50) ise iplik girişinde hava çıkış ya da emiş miktarları sıfır değerine en yakın olan konfigürasyonlardır. Özellikle DP35 - DP40 arasındaki konfigürasyonlarda iplik girişinden hava emişi ya da hava çıkışının çok az miktarlarda olduğu görülmektedir.

EK I'dan da anlaşıldığı gibi, büküm odası çapının ve enjektör açısının artması iplik girişi kütleli debi miktarını arttırmakta, çevresel enjektör adedinin ve enjektör çapının artması ise iplik girişi kütleli debi miktarını azaltmaktadır.

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, düze çıkışı kütleli debi grafiğine göre kütleli debinin en yüksek olduğu (negatif yönde) düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° ve çevresel 4 adet enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 75) ve kütleli debi değeri -0.001456 kg/s olarak belirlenmiştir. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 75) kütleli debi değeri ise -0.001190 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütleli debi değeri en düşük olan (negatif yönde) düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel

3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 1) ve kütleli debi değeri -0.000349 kg/s olarak belirlenmiştir.

EK I'dan da anlaşıldığı gibi, çevresel enjektör adedi, enjektör çapı, büküm odası çapı ve enjektör açısının artması düze çıkışı kütleli debi miktarını arttırmaktadır.

4.5.2. Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısı karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesit) Swirl sayısının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 51) ve Swirl sayısı 3.380 olarak belirlenmiştir. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 4 enjektöre sahip olan düzenin (KD 4E DP 51) Swirl sayısı ise 3.231 olarak belirlenmiştir. Swirl sayısı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 25) ve Swirl sayısı 0.908 olarak belirlenmiştir. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, çevresel enjektör adedi, enjektör çapı ve açısının artması Swirl sayısını azaltmakta, büküm odası çapının artması ise Swirl sayısını arttırmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalara göre (Chen vd., 2006; Parra-Santos vd., 2016) bu çalışmada yapılan konvansiyonel düze HAD analizlerinin tamamı yüksek dereceden helisel dönen akış kabul edilmektedir.

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, geometrik swirl sayısının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2.5 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 25° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 27) ve geometrik swirl sayısı 5.330 olarak belirlenmiştir. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 27) geometrik swirl sayısı ise 4.166 olarak belirlenmiştir. Geometrik swirl sayısı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° ve çevresel 4 enjektöre

sahip düzedir (KD 4E DP 25) ve geometrik swirl sayısı 1.672 olarak belirlenmiştir. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, çevresel enjektör adedi, enjektör çapı ve açısının artması geometrik swirl sayısını azaltmakta, büküm odası çapının artması ise geometrik swirl sayısını arttırmaktadır. Chang ve Dhir (1994) ve Guo vd.'nin, (Guo, Xu, vd., 2011; Guo, Yu, vd., 2011) çalışmalarında verilen geometrik swirl sayısı (Sg) formülüne göre enjektör açısı arttıkça geometrik swirl sayısı artmasına rağmen EK I'daki verilere göre azalmasının sebebi bu tez çalışmasında enjektör açısı olarak yatayla yapılan açı yerine dikeyle yapılan açı baz alınmasıdır. Fakat geometrik swirl sayısı hesaplamasında yatayla yapılan açı alınarak literatürle aynı şekilde hesaplama yapılmıştır.

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, Sn ve Sg değerlerinin birbirleriyle uyumlu ve doğru bir orantıda eğilim gösterdiği görülmektedir. Denklem (1.135)'de verilen Swirl sayısı (Sn) denkleminde bahsedilen momentum değerleri önceden bilinemeyeceği için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi öncesi helisel dönüş yoğunluğu tahmininde geometrik swirl sayısı da kullanılabilir.

4.5.3. Toplam basınç ve akış basıncı karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte toplam basıncın en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 21) ve 134.833 kPa basınç değeri hesaplanmıştır. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 21) toplam basınç değeri ise 118.753 kPa değerinde hesaplanmıştır. Toplam basınç değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 35° ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 54) ve toplam basınç değeri 41.793 kPa olarak belirlenmiştir. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, çevresel enjektör adedinin ve enjektör çapının artması toplam basınç değerini arttırmakta, büküm odası çapı ve enjektör açısının artması ise toplam basınç değerini azaltmaktadır.

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte akış basıncının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 21) ve 59.540 kPa basınç değeri hesaplanmıştır. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 21) dinamik basınç değeri ise 44.984 kPa değerinde hesaplanmıştır. Akış basıncı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 51) ve toplam basınç değeri 6.375 kPa olarak belirlenmiştir. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, enjektör çapı, enjektör açısı ve çevresel enjektör adedinin artması akış basıncı değerini arttırmakta, büküm odası çapının artması ise akış basıncı değerini azaltmaktadır.

4.5.4. Reynolds sayısı karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede Reynolds sayısının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 71) ve 80,234 olarak hesaplanmıştır. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 7E DP 71) Reynolds sayısı 73,571 olarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 30° ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 3) ve 33,746 hesaplanmıştır. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, enjektör çapı ve çevresel enjektör adedinin artması ise Reynolds sayısını arttırmakta, enjektör açısının artması ise Reynolds sayısını azaltmaktadır. Büküm odası çapının artması ise Reynolds sayısı üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

4.5.5. Hız ve z yönündeki hızın karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede hava hızının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 30° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 23) ve 417.2 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu hız değeri ses hızının üzerinde yer almaktadır (1.22 Mach). Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 23) hava hızı ise 389.9 m/s olarak hesaplanmıştır ve aynı şekilde bu hız değeri de ses hızının üzerinde yer almaktadır (1.14 Mach) . Hava hızının en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 25° ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 52) ve 201.1 m/s olarak hesaplanmıştır ve ses hızının yaklaşık yarısı kadardır (0.59 Mach). EK I'dan da anlaşıldığı gibi, enjektör çapının ve çevresel enjektör adedinin artması hava akış hızını arttırmakta, büküm odası çapının artması ise hava akış hızını azaltmaktadır. Aynı yapısal konfigürasyonlarda enjektör açısının hava akış hızı üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede hava hızı z bileşeninin (iplik eksenini) en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 25) ve 262.1 m/s olarak hesaplanmıştır. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 25) hızı ise 211.9 m/s olarak hesaplanmıştır. Hava hızı z bileşeninin en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 51) ve 64.7 m/s olarak hesaplanmıştır. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, enjektör açısının, enjektör çapının ve çevresel enjektör adedinin artması hava akış hızı z bileşeni değerini arttırmakta büküm odası çapının artması ise hava akış hızı z bileşeni değerini azaltmaktadır.

4.5.6. Vortisite değerinin karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede vortisitenin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı  2 mm, enjektör çapı  0.6 mm, enjektör açısı 25  ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 7) ve 1,098,280 olarak hesaplanmıştır. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 4 enjektöre sahip olan düzenin (KD 4E DP 7) vortisite değeri 1,082,380 olarak hesaplanmıştır. Vortisitenin en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı  3 mm, enjektör çapı  0.5 mm, enjektör açısı 35  ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 54) ve 657,734 olarak hesaplanmıştır. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, büküm odası çapının artması vortisiteyi azaltmaktadır. Aynı yapısal konfigürasyonlarda çevresel enjektör adedinin, enjektör çapının ve enjektör açısının değişiminin vortisite üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

4.5.7. Helisite gerçek öz değerinin karşılaştırılması

EK I'da verilen konvansiyonel düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede helisite gerçek öz değerinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı  2 mm, enjektör çapı  0.5 mm, enjektör açısı 30  ve çevresel 4 enjektöre sahip düzedir (KD 4E DP 3) ve 842,376 olarak hesaplanmıştır. Aynı yapısal konfigürasyona sahip fakat çevresel 3 enjektöre sahip olan düzenin (KD 3E DP 3) helisite değeri 813,694 olarak hesaplanmıştır. Helisite gerçek öz değerinin en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı  3 mm, enjektör çapı  0.5 mm, enjektör açısı 40  ve çevresel 3 enjektöre sahip düzedir (KD 3E DP 55) ve 522,006 olarak hesaplanmıştır. EK I'dan da anlaşıldığı gibi, büküm odası çapı artması helisite gerçek öz değerini azaltmaktadır. Aynı yapısal konfigürasyonlarda çevresel enjektör adedinin, enjektör çapının ve enjektör açısının değişiminin helisite gerçek öz değeri üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

4.5.8. Konvansiyonel düze yapısal parametre değişiminin HAD sonuçları üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Çizelge 4.10’da düze yapısal parametre değerlerinin arttırıldığında hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuç parametrelerinin hangi yönde değiştiği verilmiştir. Bu sayede her sonuç parametresi için hangi yapısal parametrenin o sonuç üzerinde olumlu ya da olumsuz yönde etki ettiği anlaşılmaktadır. Burada (+) işareti o değerin arttığını (-) işareti o değerin azaldığını (o) işareti ise o değerin kayda değer bir değişme göstermediğini belirtmektedir.

Çizelge 4.10. Düze yapısal parametrelerin değişiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuç parametreleri üzerindeki etkileri

		Enjektör adedi (adet)	Enjektör açısı (°)	Enjektör çapı (mm)	Büküm odası çapı (mm)
(+) artıyor (o) değişmiyor (-) azalıyor					
Enjektör hava girişi kütleli debi	(kg/s)	+	+	+	+
İplik girişi kütleli debi	(kg/s)	-	+	-	+
Düze çıkışı kütleli debi	(kg/s)	+	+	+	+
Swirl sayısı	(Sn)	-	-	-	+
Geometrik swirl sayısı	(Sg)	-	-	-	+
Toplam basınç	(kPa)	+	-	+	-
Akış basıncı	(kPa)	+	+	+	-
Reynolds sayısı	(Re)	+	-	+	0
Hız	(m/s)	+	0	+	-
Hız (z ekseninde)	(m/s)	+	+	+	-
Vortisite	(1/s)	0	0	0	-
Helisite gerçek öz değeri	(1/s)	0	0	0	-

- Ek l’da yer alan enjektör hava girişi kütleli debi verileri ile Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısını verileri karşılaştırıldığında, enjektör hava girişi kütleli debisi’nin minimum olduğu yapısal konfigürasyonda Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısının maksimum değerde olduğu ve aralarında ters bir orantının var olduğu görülmektedir.

- Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısını arttıran tek parametre büküm odası çapındaki artıştır. Diğer yapısal parametrelerin pozitif yönde değişimi Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısını düşürmektedir.
- Ek I'da da görüldüğü üzere tüm yapısal parametrelerin pozitif yönde değişimi enjektör hava girişi kütleli debi ile düze çıkışı kütleli debi değerini arttırmaktadır.
- Vortisite ve helisite gerçek öz değeri sadece büküm odası çapı parametresine bağlıdır ve aralarında ters bir orantı bulunmaktadır. Vortisite ve helisite gerçek öz değeri büküm odası çapı Ø2 mm olan konfigürasyonlarda maksimum değerlere ulaşmaktadır.

4.6. Konvansiyonel Düze HAD Analiz Sonuçları - İplik Tüylülüğü Karşılaştırılması

Jetring, Nozzle-ring, Murata Air-Jet gibi ve benzer yapıya sahip bütün hava düzelerinin nihai amacı iplik tüylülüğünün düşürülmesidir. Literatürde yapılan hava düzesi konulu çalışmalarda iplik tüylülüğünün yanında iplik düzgünsüzlüğü, kopma uzaması ve iplik mukavemeti değerleri de ölçülmüş ve konvansiyonel yöntemler ile kıyaslanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan sistematik deneysel çalışmalar ve istatistiki hesaplamalar sonucunda hava düzeleri iplik tüylülüğünü düşürmekte olumlu katkı sunmasına rağmen diğer iplik özellikleri üzerinde (iplik düzgünsüzlüğü, kopma uzaması ve iplik mukavemeti) olumlu bir katkı sunamamış, aksine bu değerleri bir miktar kötüleştirmiştir. Benzer sonuçlara literatürde de rastlanmaktadır (Zeng ve Yu, 2003, 2004; Rengasamy vd., 2005, 2008; Patnaik vd., 2005, 2006, 2007, 2008; Yılmaz ve Usal, 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Ahmed vd., 2018;). Yani tüylülüğün iyileştirilmesi diğer iplik özelliklerinden feragat edilmesi anlamına gelmektedir. Bu yüzden bu bölümde HAD sonuçları ile sadece iplik tüylülüğü arasındaki ilişkinin kurulmasına odaklanılacağından diğer iplik özellikleri arasındaki ilişki kapsam dışı bırakılmıştır. 150 farklı konvansiyonel düzenin 225 kPa basınç altında yapılan deneysel çalışmalara göre iplik tüylülüğü en düşük çıkan 5 farklı düze konfigürasyonu - HAD analizi akış parametreleri karşılaştırmaları Çizelge 4.11'de, en yüksek çıkan 5 farklı düze

konfigürasyonu - HAD analizi akış parametreleri karşılaştırmaları ise Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. İplik tüylülüğü en düşük çıkan 5 farklı düze konfigürasyonu - HAD analizi akış parametreleri karşılaştırmaları (225 kPa mutlak basınç)

İplik tüylülüğü	(H)	5.33	5.37	5.38	5.40	5.41
HAD analiz no	-	4E DP 4	3E DP 68	4E DP 14	4E DP 29	3E DP 58
Fiziksel düze no	-	29	118	39	79	108
Ana delik çapı	(mm)	2	3	2	2.5	3
Enjektör çapı	(mm)	0.5	0.8	0.7	0.5	0.6
Çevresel enjektör adedi	(adet)	4	3	4	4	3
Enjektör açısı	(°)	35	30	35	35	30
Enjektör hava girişi kütleli debi	(kg/s)	0.000444	0.000876	0.000803	0.000448	0.000505
İplik girişi kütleli debi	(kg/s)	0.000046	0.000120	-0.000138	0.000168	0.000253
Düze çıkışı kütleli debi	(kg/s)	-0.000490	-0.000996	-0.000665	-0.000616	-0.000758
Swirl sayısı	(Sn)	2.110	2.429	1.586	2.436	2.785
Geometrik swirl sayısı	(Sg)	2.687	3.139	2.436	2.711	3.204
Toplam basınç	(kPa)	66.196	75.026	90.693	58.413	55.488
Akış basıncı	(kPa)	19.491	15.735	32.376	14.727	11.196
Reynolds sayısı	(Re)	37,755	57,747	46,353	41,823	47,061
Hız	(m/s)	291.7	297.2	357.9	258.5	242.4
Hız (z ekseninde)	(m/s)	135.2	118.9	183.6	105.2	89.7
Vortisite	(1/s)	1,021,140	764,610	1,027,440	804,629	716,609
Helisite gerçek öz değeri	(1/s)	763,389	624,639	744,513	6752,46	559,051

Çizelge 4.12. İplik tüylülüğü en yüksek çıkan 5 farklı düze konfigürasyonu - HAD analizi akış parametreleri karşılaştırmaları (225 kPa mutlak basınç)

İplik tüylülüğü	(H)	6.92	6.87	6.85	6.83	6.77
HAD analiz no	-	4E DP 66	3E DP 51	4E DP 72	3E DP 61	4E DP 56
Fiziksel düze no	-	141	101	147	111	131
Ana delik çapı	(mm)	3	3	3	3	3
Enjektör çapı	(mm)	0.8	0.5	0.9	0.7	0.6
Çevresel enjektör adedi	(adet)	4	3	4	3	4
Enjektör açısı	(°)	20	20	25	20	20
Enjektör hava girişi kütleli debi	(kg/s)	0.001057	0.000336	0.001346	0.000648	0.000612
İplik girişi kütleli debi	(kg/s)	-0.000023	0.000217	-0.000144	0.000147	0.000156
Düze çıkışı kütleli debi	(kg/s)	-0.001034	-0.000553	-0.001202	-0.000795	-0.000768
Swirl sayısı	(Sn)	2.376	3.380	2.058	2.839	2.861
Geometrik swirl sayısı	(Sg)	3.450	4.166	3.157	3.825	3.728
Toplam basınç	(kPa)	92.042	44.161	99.804	69.503	65.561
Akış basıncı	(kPa)	19.035	6.375	24.213	11.162	10.459
Reynolds sayısı	(Re)	70531	39820	71335	56368	53193
Hız	(m/s)	329.4	202.9	350.3	273.1	265.7
Hız (z ekseninde)	(m/s)	118.4	64.7	141.8	92.5	90.2
Vortisite	(1/s)	760,455	708,257	750,588	755,237	760,553
Helisite gerçek öz değeri	(1/s)	590,404	599,981	548,778	602,590	634,624

Çizelge 4.11 ve 4.12’de verilen Swirl sayısı, toplam basınç, akış basıncı, reynolds sayısı, hız, z eksenindeki hız, vortisite ve helisite gerçek öz değerleri enjektörlerin büküm odasına açıldığı düzlemde yani iplik girişinden 4 mm ileride yer alan düzlemdeki hesaplamalardır.

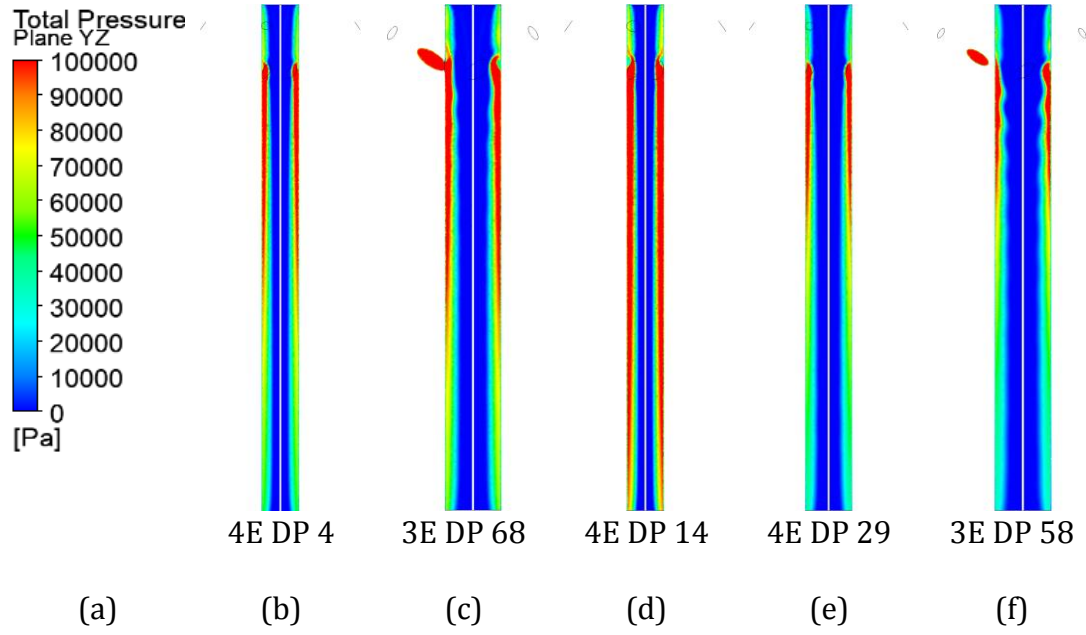
Çizelge 4.11’de verilen iplik tüylülüğü en düşük çıkan 5 farklı konvansiyonel düze konfigürasyonunun YZ düzlemindeki toplam basınç dağılımı Şekil 4.31’de, hız dağılımı Şekil 4.43’de, z eksenindeki hız dağılımı Şekil 4.35’de, vortisite dağılımı Şekil 4.37’de, helisite gerçek öz değeri dağılımı ise Şekil 4.41’de verilmiştir. İplik tüylülüğü en düşük çıkan 5 farklı düze konfigürasyonunun vortisite akım iplikçikleri Şekil 4.39’da, helisite gerçek öz değeri akım iplikçikleri ise Şekil 4.43’de verilmiştir.

Benzer olarak Çizelge 4.12’de verilen iplik tüylülüğü en yüksek çıkan 5 farklı konvansiyonel düze konfigürasyonunun YZ düzlemindeki toplam basınç dağılımı Şekil 4.32’de, hız dağılımı Şekil 4.34’de, z eksenindeki hız dağılımı Şekil 4.36’da, vortisite dağılımı Şekil 4.38’de, helisite gerçek öz değeri dağılımı ise Şekil 4.42’de verilmiştir. İplik tüylülüğü en yüksek çıkan 5 farklı düze konfigürasyonunun vortisite akım iplikçikleri Şekil 4.40’da, helisite gerçek öz değeri akım iplikçikleri ise Şekil 4.44’de verilmiştir.

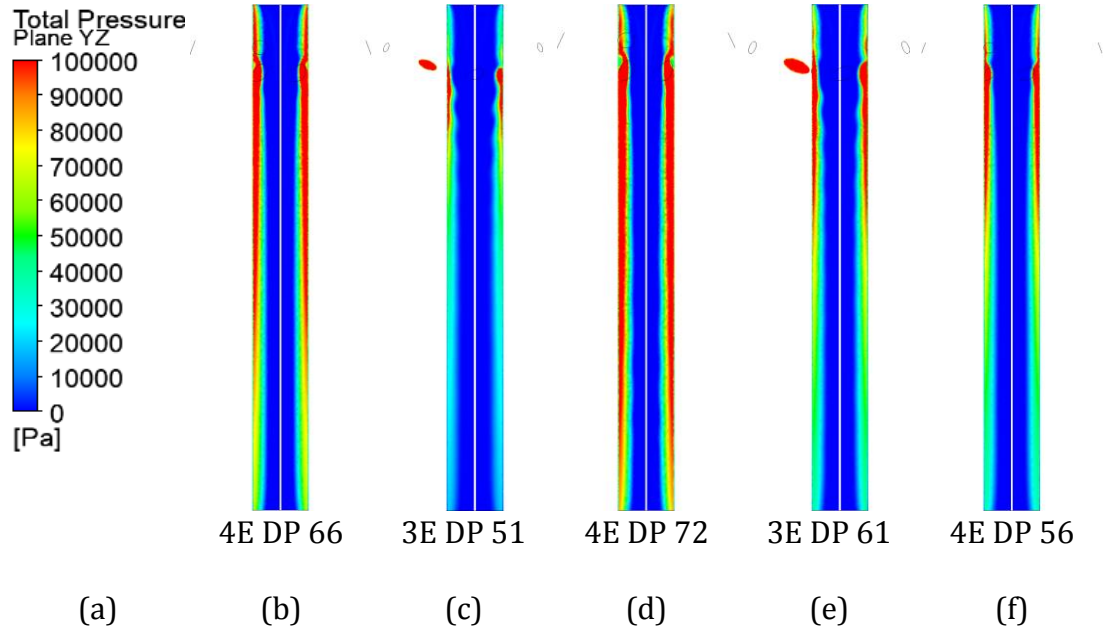
Bu dağılımları incelemeyen önce hava düzesi kullanılmadan üretilen %100 pamuk ipliklerin tüylülük sonuçlarını da göz önüne almak gerekmektedir. Çizelge 4.1’de verilen konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde düze kullanılmadan üretilen numunelere ait iplik özellikleri ve ortalama değerlerine göre test edilen 4 numunenin ortalama iplik tüylülük değeri (H) 6.02 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.11’de verilen 5 farklı düze tipi ile üretilen ipliklerin tüylülük değerlerinde konvansiyonel ring iplik eğirme makinası ile üretilen ipliklere kıyasla %10.1 ile %11.5 aralığında bir iyileşme söz konusu iken, Çizelge 4.12’de verilen 5 farklı düze tipi ile üretilen Ne 30 ipliklerin tüylülük değerlerinde %12.5 ile %15 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Yani bazı konfigürasyondaki hava düzeleri iplik tüylülüğünü azaltmak yerine aksine daha da kötüleştirmektedir.

İplik tüylülüğü en düşük ve en yüksek çıkan konvansiyonel düzelerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz sonuçları karşılaştırıldığında, toplam basınç, hız ve z ekseninde hız parametrelerinde benzer dağılımlar oluşturduğu görülmektedir. Fakat vortisite ve helisite gerçek öz değerlerinde farklılıklar

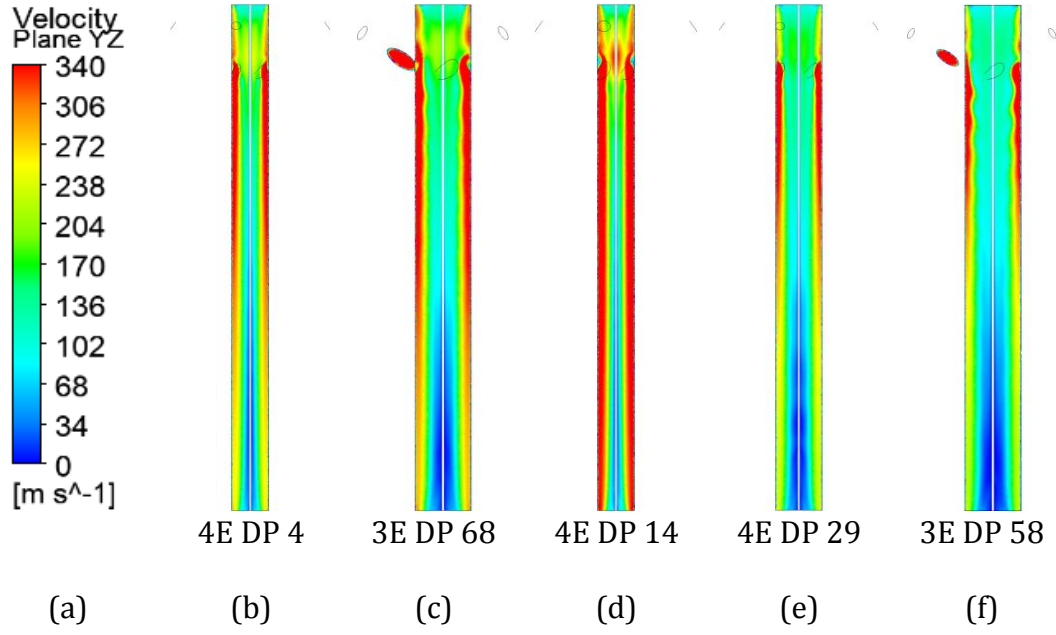
mevcuttur. Çizelge 4.11’de verilen iplik tüylülüğü en düşük olan 5 konvansiyonel düzenin vortisite ortalaması 866,886, helisite gerçek öz değeri ortalaması ise 673,368’dir. Çizelge 4.12’de verilen iplik tüylülüğü en yüksek olan 5 konvansiyonel düzenin vortisite ortalaması 747,018, helisite gerçek öz değeri ortalaması da 595,275’dir. Yani iplik tüylülüğü en düşük olan 5 konvansiyonel düze, iplik tüylülüğü en yüksek olan 5 konvansiyonel düzeye göre vortisite oranı %16.1, helisite gerçek öz değeri oranı ise %13.1 daha yüksektir.



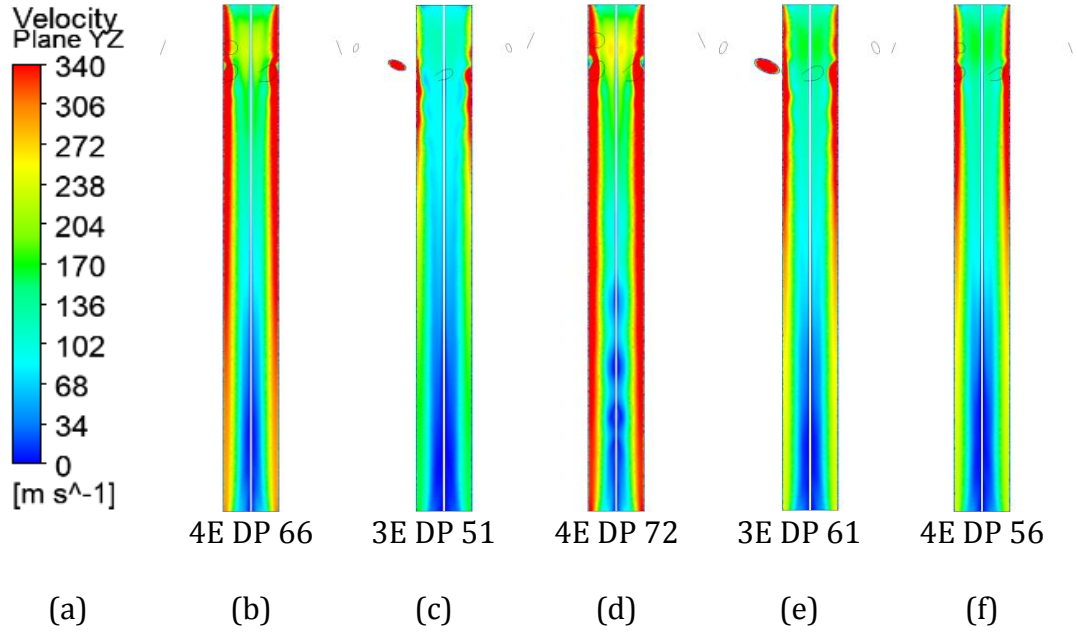
Şekil 4.31. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 4, c) KD 3E DP 68, d) KD 4E DP 14, e) KD 4E DP 29, f) KD 3E DP 58



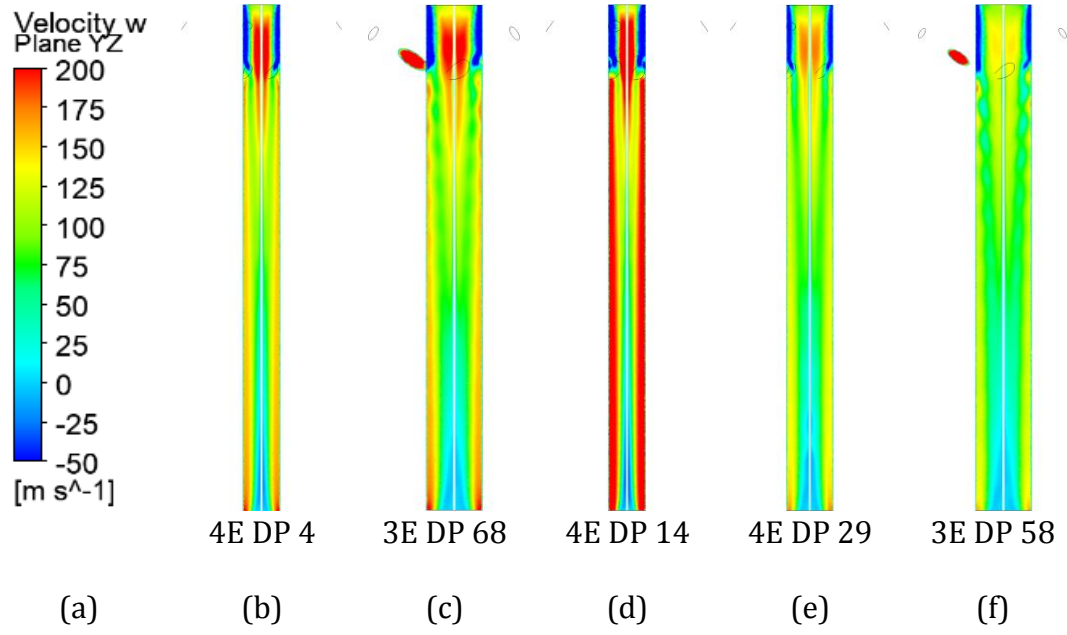
Şekil 4.32. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56



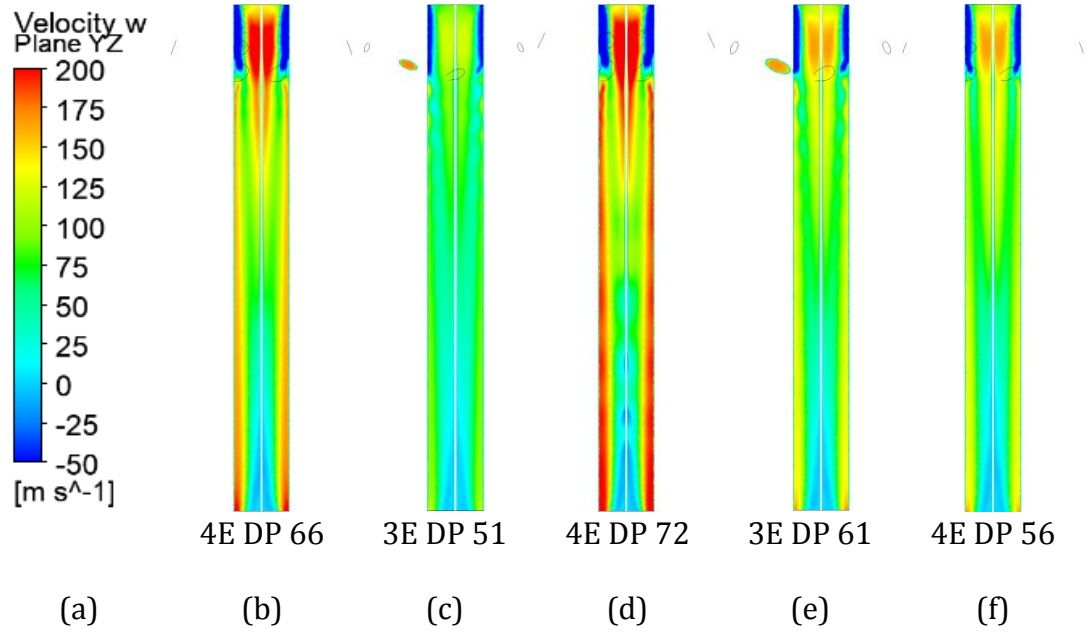
Şekil 4.33. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi toplam hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 4, c) KD 3E DP 68, d) KD 4E DP 14, e) KD 4E DP 29, f) KD 3E DP 58



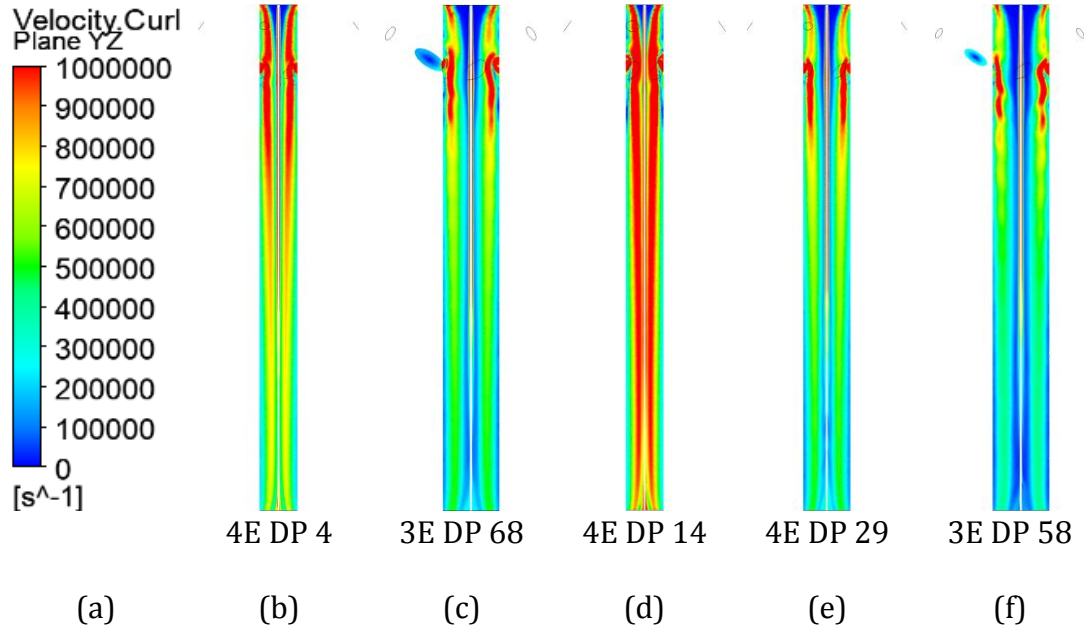
Şekil 4.34. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi toplam hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56



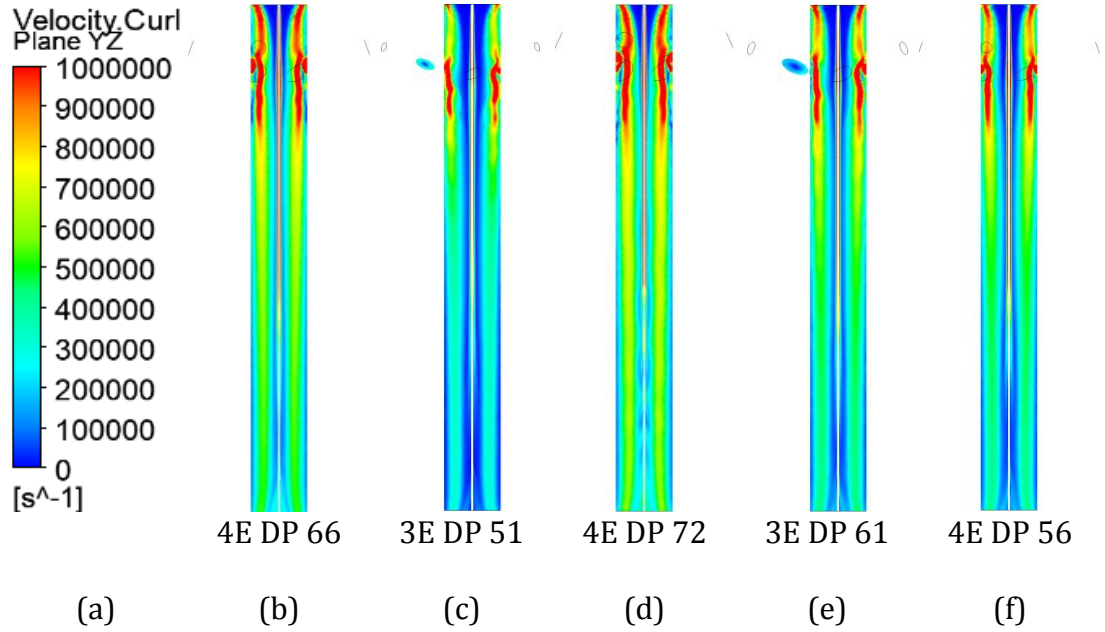
Şekil 4.35. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 4, c) KD 3E DP 68, d) KD 4E DP 14, e) KD 4E DP 29, f) KD 3E DP 58



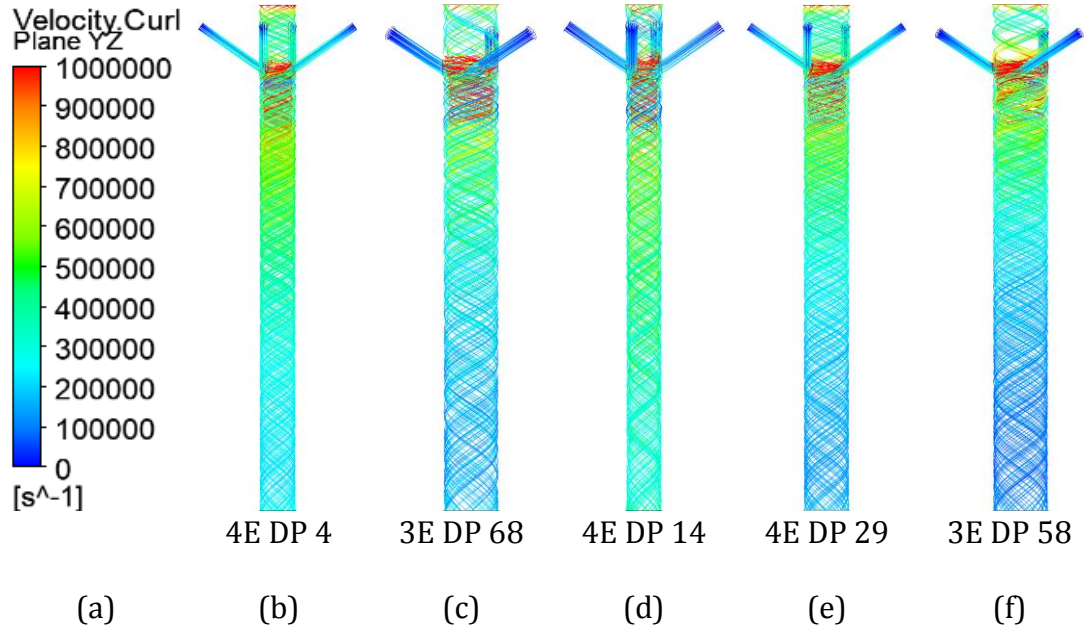
Şekil 4.36. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56



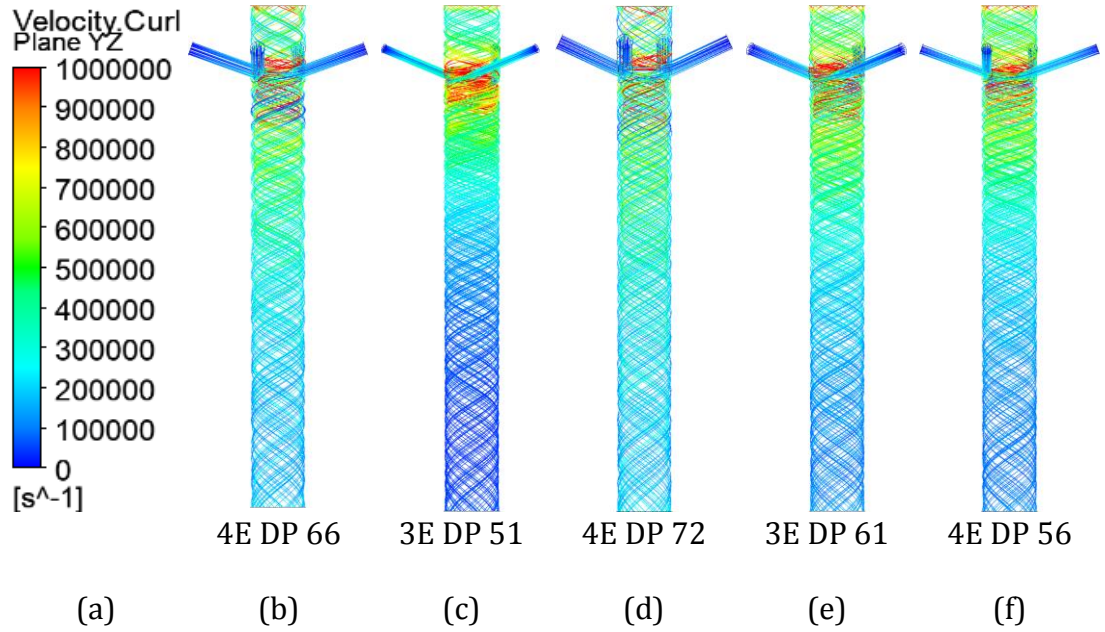
Şekil 4.37. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 4, c) KD 3E DP 68, d) KD 4E DP 14, e) KD 4E DP 29, f) KD 3E DP 58



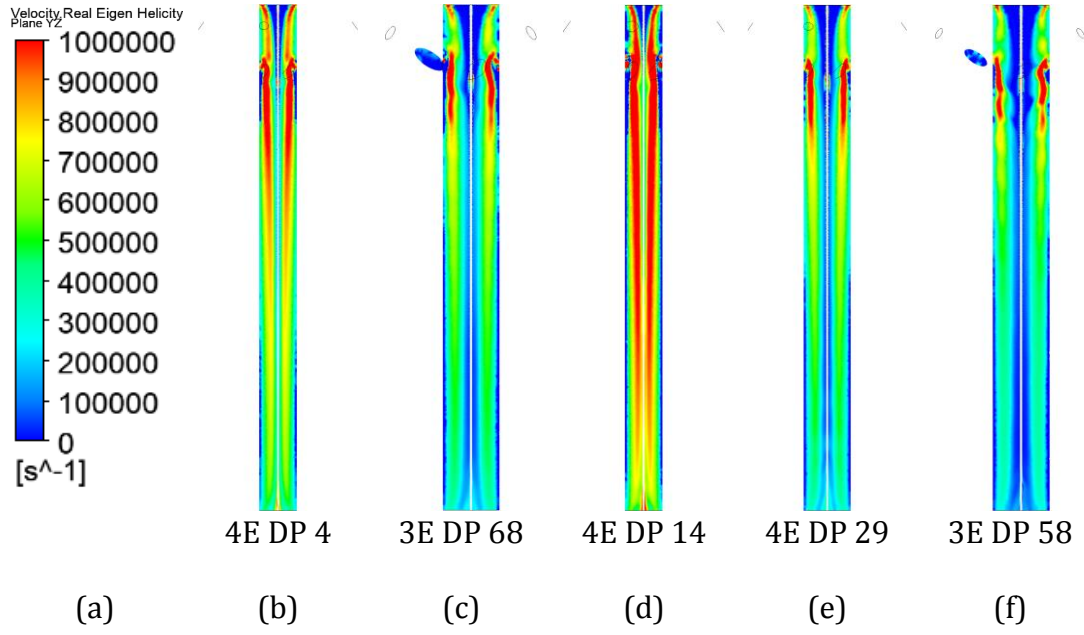
Şekil 4.38. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56



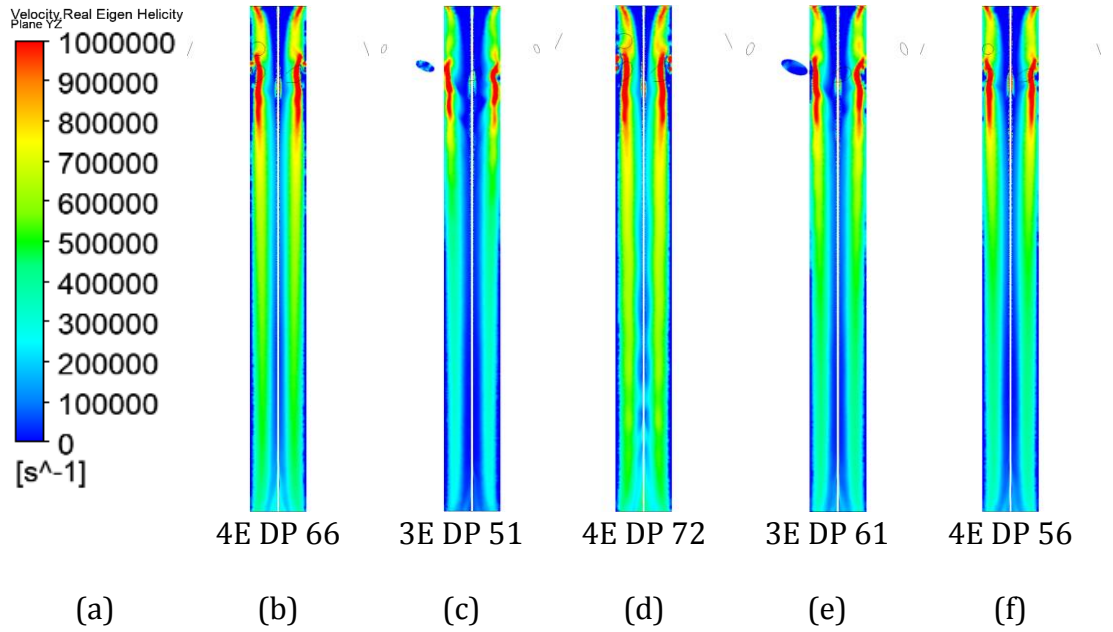
Şekil 4.39. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58



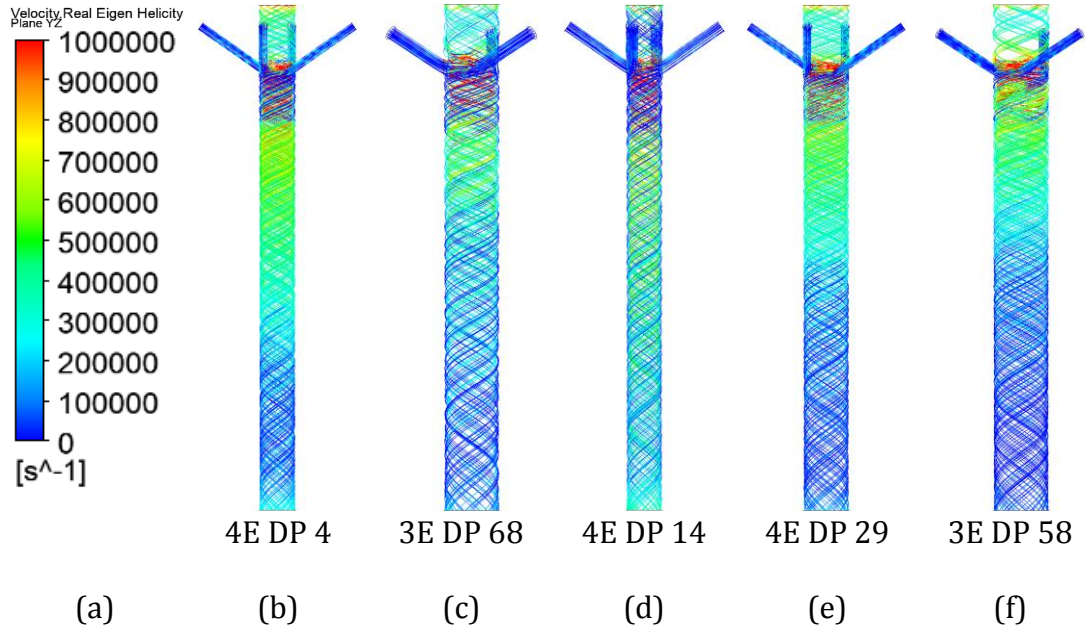
Şekil 4.40. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56



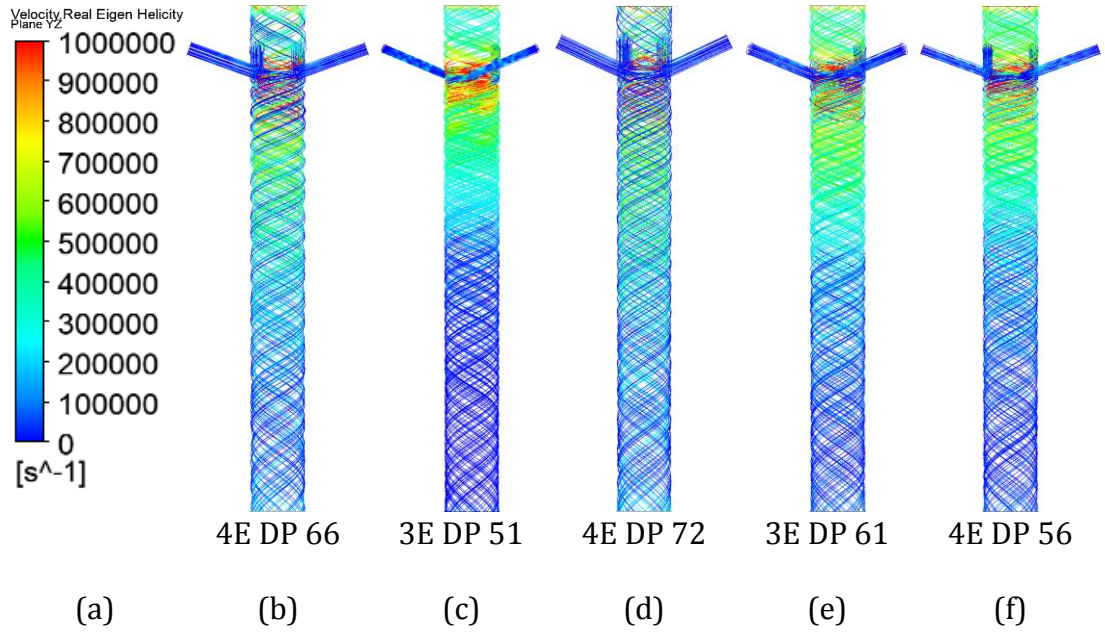
Şekil 4.41. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58



Şekil 4.42. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56



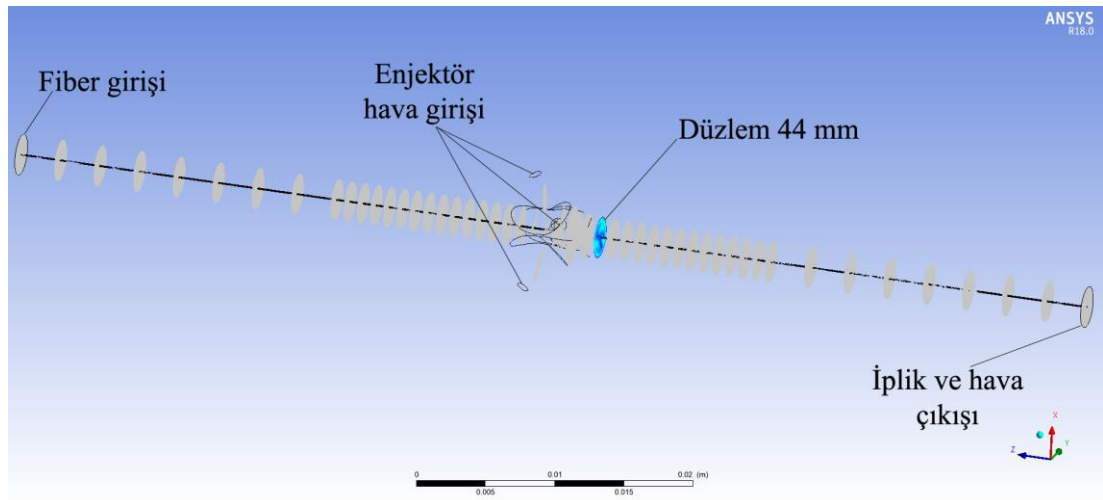
Şekil 4.43. Tüylülük değeri en düşük olan konvansiyonel düzeler helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) 4E DP 4, c) 3E DP 68, d) 4E DP 14, e) 4E DP 29, f) 3E DP 58



Şekil 4.44. Tüylülük değeri en yüksek olan konvansiyonel düzeler helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) KD 4E DP 66, c) KD 3E DP 51, d) KD 4E DP 72, e) KD 4E DP 61, f) KD 3E DP 56

4.7. Modüler Düze Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği Analiz Sonuçları

Modüler düzenin uzunluğu (81 mm), konvansiyonel düzeye (27 mm) kıyasla tam 3 katı uzunluğundadır. Modüler düze için de HAD sonuçlarını yorumlayabilmek ve diğer düze konfigürasyonları ile karşılaştırabilmek için 81 mm uzunluğunda olan modüler düze z eksenini (düzeye eksenini) boyunca 3'er mm aralıklarla düzlemlere (plane) bölünmüştür. Ayrıca 24 mm ve 57 mm düzlemleri arası 1'er mm mesafe aralıklarında ek düzlemler tanımlanmıştır. Enjektörlerden gelen havanın büküm odasına bağlandığı düzlem (alt milin başladığı ilk düzlem), düzenin iplik girişinden 44 mm ilerisinde yer almaktadır (konvansiyonel düzede 4 mm olan mesafe). Tanımlanan düzlemlerin düze üzerinde gösterimi, Şekil 4.45'de yer almaktadır. Bu bölümde 125 kPa gösterge basıncına sahip konvansiyonel düzelerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçları karşılaştırılarak, düzeye ait yapısal parametrelerin hava akımı üzerindeki etkileri kıyaslanmaya çalışılmıştır. 125 kPa gösterge basıncı için ANSYS CFX 18.0 programında sınır şartı olarak 225 kPa mutlak basınç tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 4.45. Modüler düzeye ait düzlemlerin görünümü

4.7.1. Kütlesel debi karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektör hava girişinde kütlesel debi değerinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düze (MD 3E DP 75) olup, kütlesel debi değeri 0.001344 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütlesel debi değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° konfigürasyonuna sahip düze (MD 3E DP 51) olup, kütlesel debi değeri 0.000375 kg/s olarak belirlenmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarına göre kütlesel debi değeri en yüksek olan düze ile en düşük olan düzenin enjektör hava girişi kütlesel debi değerleri oranı 3.584 olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\dot{m}_{HAD (MD 3E DP 75)}}{\dot{m}_{HAD (MD 3E DP 51)}} = \frac{0.001344}{0.000375} \cong 3.584 \quad (4.3)$$

Bunun anlamı hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarına göre MD 3E DP 75 analiz nolu düze MD 3E DP 51 analiz nolu düzeye göre yaklaşık 3.584 katı kütlesel debi değerinde hava tüketmesi beklenmektedir. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapı ve açısının ve büküm odası çapının artması düzeye giren kütlesel debiyi arttırmaktadır.

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, iplik girişi kütlesel debisinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2.5 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 40° düzedir (MD 3E DP 30) ve kütlesel debi değeri 0.000046 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütlesel debi değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.7 mm, enjektör açısı 30° konfigürasyona sahip düzedir (MD 3E DP 63) ve kütlesel debi değeri -0.000257 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütlesel debi değerinin negatif çıkması iplik girişinde hava girişine göre dışarı çıkan hava miktarının daha baskın olduğu anlamına gelmektedir. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapının artması düze iplik girişi açıklığından dışarı çıkan hava miktarını arttırmakta, enjektör açısının artması ise tam tersi olarak

düşürmektedir. Büküm odası çap değişiminin iplik girişi kütleli debi değişimi üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, modüler düze düze çıkışı kütleli debi grafiğine göre kütleli debinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyona sahip düzedir (MD 3E DP 75) ve kütleli debi değeri -0.000344 kg/s olarak belirlenmiştir. Kütleli debi değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 20° konfigürasyona sahip düzedir (MD 3E DP 1) ve kütleli debi değeri -0.000279 kg/s (negatif yönde en küçük) olarak belirlenmiştir. Kütleli debi değerinin negatif çıkması havanın çıkış yönünün içeriden dışarıya doğru olduğu içindir. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapının, enjektör açısının ve büküm odası çapının artması düzeden çıkan kütleli debi miktarını arttırmaktadır.

4.7.2. Swirl sayısı ve geometrik swirl sayısı karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte Swirl sayısının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 5) ve Swirl sayısı 1.247 olarak belirlenmiştir. Swirl sayısı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 75) ve Swirl sayısı 0.455 olarak belirlenmiştir. Modüler düzede Swirl sayısı değerinin düze yapısal parametreleri ile herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Literatürde yapılan çalışmalara göre (Chen vd., 2006; Ahmed vd., 2018; Parra-Santos vd., 2016) bu çalışmadaki modüler düze HAD analizleri bir konfigürasyon dışında tamamı düşük helisel dönen akış sınıfında yer almaktadır. Modüler düzede yer alan bir konfigürasyon ise (MD 3E DP 5) orta dereceden helisel dönen akış sınıfındadır.

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, geometrik swirl sayısının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı $\varnothing 3$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.5$ mm, enjektör açısı 20° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 51) ve geometrik swirl sayısı 14.920 olarak belirlenmiştir. Geometrik swirl sayısı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı $\varnothing 2$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.9$ mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 25) ve geometrik swirl sayısı 1.680 olarak belirlenmiştir. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapı ve açısının artması geometrik swirl sayısını azaltmakta, büküm odası çapının artması ise geometrik swirl sayısını arttırmaktadır.

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, S_n ve S_g değerlerinin birbirleriyle uyum içerisinde olmadığı görülmektedir. Konvansiyonel düzelerde ise S_n ve S_g değerleri bir uyum içerisinde yer aldığı belirlenmiştir.

4.7.3. Toplam basınç ve akış basıncı karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte toplam basıncın en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı $\varnothing 2$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.9$ mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 25) ve 54.989 kPa basınç değeri hesaplanmıştır. Toplam basınç değeri en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı $\varnothing 3$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.7$ mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 65) ve toplam basınç değeri -2.303 kPa olarak belirlenmiştir. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, Enjektör açısı ve çapının artması toplam basınç değerini arttırmakta, büküm odası çapının artması ise toplam basınç değerini azaltmaktadır.

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte akış basıncının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı $\varnothing 2$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.9$ mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 25) ve 17.742 kPa basınç değeri hesaplanmıştır. Akış basıncı en düşük olan düzenin yapısal

konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.7 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 65) ve basınç değeri - 7.707 kPa olarak belirlenmiştir. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı ve toplam basınç değerinde olduğu gibi Enjektör açısı ve çapının artması akış basıncını arttırmakta, büküm odası çapının artması ise akış basınç değerini azaltmaktadır.

4.7.4. Reynolds sayısı karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte Reynolds sayısının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.8 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 70) ve 38,069 olarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısı en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 30° ve konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 53) ve 9,359 olarak hesaplanmıştır. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapının ve enjektör açısının artması Reynolds sayısını arttırmaktadır. Büküm odası çapı değişiminin ise Reynolds sayısı üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

4.7.5. Hız ve z yönündeki hızın karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede hava hızının en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 25) ve 274.9 m/s olarak hesaplanmıştır. Hava hızının en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 30° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 53) ve 48.2 m/s olarak hesaplanmıştır. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapının ve enjektör açısının artması akış hızını arttırmakta, büküm odası çapının artması ise akış hızını azaltmaktadır.

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte yani iplik girişinden 4 mm ilerideki mesafede hava hızı z bileşeninin (büküm odası ekseni) en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 40° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 25) ve 233.9 m/s olarak hesaplanmıştır. Hava hızı z bileşeninin en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 25° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 53) ve 10.1 m/s olarak hesaplanmıştır. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı ve bir önceki hız grafiğinde de olduğu gibi enjektör çapının ve enjektör açısının artması akış hızını arttırmakta, büküm odası çapının artması ise akış hızını azaltmaktadır.

4.7.6. Vortisite değerinin karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte vortisitenin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 25° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 22) ve 780,865 olarak hesaplanmıştır. Vortisitenin en düşük olan düzenin yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2.5 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 30° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 28) ve 175,635 olarak hesaplanmıştır. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapının artması vortisiteyi arttırmakta, büküm odası çapının artması ise vortisiteyi azaltmaktadır. Aynı yapısal konfigürasyonlarda enjektör açısının değişimi vortisite üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

4.7.7. Helisite gerçek öz değerinin karşılaştırılması

EK J'de verilen modüler düze HAD sonuçlarına göre, enjektörlerin büküm odasına açıldığı kesitte helisite gerçek öz değerinin en yüksek olduğu düze yapısal konfigürasyonu: Büküm odası çapı Ø2 mm, enjektör çapı Ø0.9 mm, enjektör açısı 20° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 21) ve 619,117 olarak hesaplanmıştır. Helisite gerçek öz değerinin en düşük olan düzenin

yapısal konfigürasyonu ise: Büküm odası çapı Ø2.5 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, enjektör açısı 35° konfigürasyonuna sahip düzedir (MD 3E DP 29) ve 137,343 olarak hesaplanmıştır. EK J'deki verilerden de anlaşıldığı gibi, enjektör çapının artması helisiteyi arttırmakta, büküm odası çapının artması ise helisiteyi azaltmaktadır. Aynı yapısal konfigürasyonlarda enjektör açısının değişimi helisite üzerinde

4.7.8. Modüler düze yapısal parametre değişiminin HAD analiz sonuçları üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Çizelge 4.13'de düze yapısal parametre değerlerinin arttırıldığında hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuç parametrelerinin hangi yönde değiştiği verilmiştir. Bu sayede her sonuç parametresi için hangi yapısal parametrenin o sonuç üzerinde olumlu ya da olumsuz yönde etki ettiği anlaşılmaktadır. Burada (+) işareti o değerin arttığını (-) işareti o değerin azaldığını (o) işareti ise o değerin kayda değer bir değişme göstermediğini belirtmektedir.

Çizelge 4.13. Modüler düze yapısal parametrelerin değişiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonuç parametreleri üzerindeki etkileri

		Enjektör açısı	Enjektör çapı	Büküm odası çapı
(+) artıyor				
(o) değişmiyor				
(-) azalıyor		(°)	(mm)	(mm)
Enjektör hava girişi kütleli debi	(kg/s)	+	+	+
İplik girişi kütleli debi	(kg/s)	+	-	o
Düze çıkışı kütleli debi	(kg/s)	+	+	+
Swirl sayısı	(Sn)	o	o	o
Geometrik swirl sayısı	(Sg)	-	-	+
Toplam basınç	(kPa)	+	+	-
Dinamik basınç	(kPa)	+	+	-
Reynolds sayısı	(Re)	+	+	o
Hız	(m/s)	+	+	-
Hız (z ekseninde)	(m/s)	+	+	-
Vortisite	(1/s)	o	+	-
Helisite gerçek öz değeri	(1/s)	o	+	-

4.8. Modüler ve konvansiyonel düzelerin Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği Analiz Karşılaştırmaları

Önceki bölümde, modüler düze ve konvansiyonel düzeler ile üretilmiş Ne 30/1 numara %100 pamuk ipliklerin iplik özellikleri (tüylülük, düzgünsüzlük, kopma uzaması ve iplik mukavemeti) karşılaştırılmıştır (Şekil 4.26-4.29). Karşılaştırmalara göre modüler düze ile konvansiyonel düzelerin enjektör açısı değişim parametresine göre iplik özellikleri üzerinde farklı cevaplar verdiği gözlenmiştir. Sonraki bölümlerde ise konvansiyonel ve modüler düzenin farklı konfigürasyonlardaki parametrik HAD analiz çalışması incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Bu bölümde ise modüler düze ile konvansiyonel düzelerin HAD sonuçları karşılaştırılacak ve bu düzeler ile üretilen iplik özellikleri üzerinden kıyaslanacaktır. Şekil 4.26-4.29’da görüldüğü gibi kıyaslanan modüler ve konvansiyonel düzelerin büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm ve çevresel 3 adet enjektör olmak üzere bu parametreler sabit tutulmuştur. 5 farklı enjektör açısı konfigürasyonundaki konvansiyonel düzelerin HAD parametre karşılaştırılması Çizelge 4.14’de, modüler düzenin HAD parametre karşılaştırılması ise Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm ve çevresel 3 enjektöre sahip konvansiyonel düzelerin HAD analiz sonuçları (225 kPa mutlak basınç)

Enjektör açısı	(°)	20	25	30	35	40
HAD analiz no	-	3E DP 51	3E DP 52	3E DP 53	3E DP 54	3E DP 55
Fiziksel düze no	-	101	102	103	104	105
Enjektör hava girişi kütleli debi	(kg/s)	0.000336	0.000343	0.000349	0.000358	0.000376
İplik girişi kütleli debi	(kg/s)	0.000217	0.000241	0.000267	0.000301	0.000332
Düze çıkışı kütleli debi	(kg/s)	-0.000553	-0.000584	-0.000616	-0.000659	-0.000708
Swirl sayısı	(Sn)	3.380	3.175	2.908	2.626	2.308

Çizelge 4.14. Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm ve çevresel 3 enjektöre sahip konvansiyonel düzelerin HAD analiz sonuçları (225 kPa mutlak basınç) (devam)

Enjektör açısı	(°)	20	25	30	35	40
Geometrik swirl sayısı	(Sg)	4.166	3.746	3.333	2.903	2.597
Toplam basınç	(kPa)	44,161	42,443	41,943	41,793	41,972
Akış basıncı	(kPa)	6,375	7,625	8,576	9,075	9,399
Reynolds sayısı	(Re)	39,820	39,047	39,543	40,456	41,238
Hız	(m/s)	202.9	201.1	203.7	208.4	212.4
Hız (z ekseninde)	(m/s)	64.7	68.6	72.5	77.6	84.4
Vortisite	(1/s)	708,257	687,890	675,408	675,006	682,107
Helisite gerçek öz değeri	(1/s)	599,981	574,558	541,261	537,100	522,006

Çizelge 4.15. Büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm olan modüler düzelerin HAD analiz sonuçları (225 kPa mutlak basınç)

Enjektör açısı	(°)	20	25	30	35	40
HAD analiz no	-	MD 3E DP 51	MD 3E DP 52	MD 3E DP 53	MD 3E DP 54	MD 3E DP 55
Enjektör hava girişi kütleli debi	(kg/s)	0.000375	0.000394	0.000397	0.000397	0.000399
İplik girişi kütleli debi	(kg/s)	-0.000049	-0.000018	-0.000011	-0.000024	0.000010
Düze çıkışı kütleli debi	(kg/s)	-0.000326	-0.000375	-0.000386	-0.000374	-0.000410
Swirl sayısı	(Sn)	0.433	0.395	0.306	0.343	0.348
Geometrik swirl sayısı	(Sg)	14.920	11.968	10.972	11.114	8.710
Toplam basınç	(kPa)	-493	1,026	-428	-650	143
Akış basıncı	(kPa)	-1,036	72	-1,934	-2,539	-1,390
Reynolds sayısı	(Re)	12,552	14,671	9,359	11,246	9,666
Hız	(m/s)	64.6	75.6	48.2	57.9	49.8
Hız (z ekseninde)	(m/s)	14.2	10.1	21.0	16.6	24.2
Vortisite	(1/s)	225,448	223,036	197,273	233,608	230,605
Helisite gerçek öz değeri	(1/s)	172,484	156,333	138,241	171,569	171,734

Çizelge 4.14’de verilen konvansiyonel düzelere ait Swirl sayısı, toplam basınç, akış basıncı, reynolds sayısı, hız, z eksenindeki hız, vortisite ve helisite gerçek öz değerleri enjektörlerin büküm odasına açıldığı düzlemde yani iplik girişinden 4

mm ileride yer alan düzlemdeki hesaplamalardır. Çizelge 4.15’de verilen modüler düzeye ait Swirl sayısı, toplam basınç, akış basıncı, reynolds sayısı, hız, z eksenindeki hız, vortisite ve helisite gerçek öz değerleri enjektörlerin büküm odasına açıldığı düzlemde yani iplik girişinden 44 mm ileride yer alan düzlemdeki hesaplamalardır.

Çizelge 4.14’de verilen 5 farklı konvansiyonel düze konfigürasyonunun YZ düzlemindeki toplam basınç dağılımı Şekil 4.46’da hız dağılımı Şekil 4.47’de, z eksenindeki hız dağılımı Şekil 4.48’de, vortisite dağılımı Şekil 4.49’da, helisite gerçek öz değeri dağılımı ise Şekil 4.51’de verilmiştir. Vortisite akım iplikçikleri Şekil 4.50’de, helisite gerçek öz değeri akım iplikçikleri ise Şekil 4.52’de verilmiştir.

Benzer olarak Çizelge 4.15’de verilen 5 farklı modüler düze konfigürasyonunun YZ düzlemindeki toplam basınç dağılımı Şekil 4.53’de, hız dağılımı Şekil 4.54’de, z eksenindeki hız dağılımı Şekil 4.55’de, vortisite dağılımı Şekil 4.56’da, helisite gerçek öz değeri dağılımı ise Şekil 4.58’de verilmiştir. Vortisite akım iplikçikleri Şekil 4.57’de, helisite gerçek öz değeri akım iplikçikleri ise Şekil 4.59’da verilmiştir.

Enjektör hava girişi kütleli debi değerleri göz önüne alınırsa, aynı yapısal konfigürasyonlara sahip ve aynı basınç değerinde (225 kPa mutlak basınç) analiz edilen modüler düze konvansiyonel düzelere kıyasla ortalama %11.5 daha fazla hava tüketmektedir. İplik girişi kütleli debi değerleri göz önüne alınırsa, konvansiyonel düzelerin iplik girişlerinden enjektör hava girişi kütleli debi değerinin ortalama 0.77 katı bir emiş gerçekleştirilmektedir (minimum 0.65 - maksimum 0.88). Modüler düzelerde ise bu katsayı -0.05 değerinde yer almaktadır. Yani aynı yapısal konfigürasyonlarda iplik girişinden hava emilememekte aksine bu açıklıktan hava çıkışı gerçekleşmektedir.

Kütlenin korunumu prensibine göre, düze çıkışı kütleli debi miktarları, enjektörlerden gelen havanın kütleli debisi ile ipliklerden varsa emilen kütleli miktarının toplamı ya da iplik girişinden dışarı atılan hava miktarının

farkını oluşturmaktadır. Bahsedilen yapısal konfigürasyonlarda modüler düze iplik girişinden hava emişi konvansiyonel düzelere göre çok daha az gerçekleştiği için konvansiyonel düzelerdeki düze çıkışı kütleli debi miktarı modüler düzeye göre daha yüksek (negatif yönde) olarak belirlenmiştir. Düze çıkışı kütleli debi değerlerinin negatif çıkması hava miktarının dışarı çıkması anlamına gelmektedir.

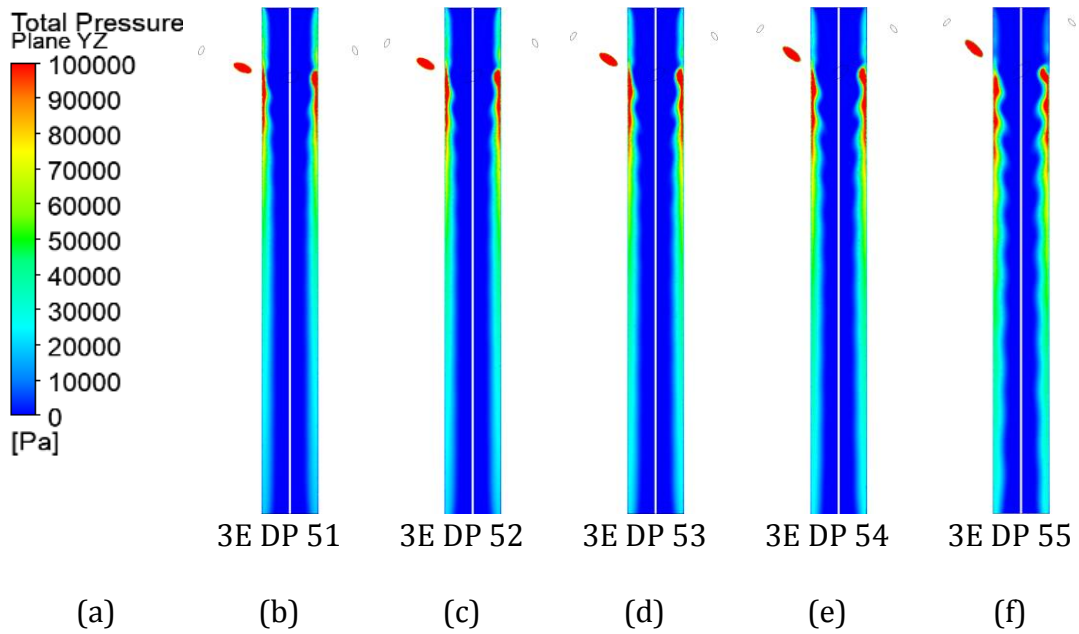
Modüler düze konfigürasyonlarının hava akış hızı değeri ve hıza bağımlı olan z eksenindeki hız, Reynolds sayısı, vortisite ile helisite gerçek öz değerleri, konvansiyonel düzelere göre yaklaşık 3'te biri kadardır.

Çizelge 4.15'de verilen modüler düzelerin swirl sayıları (S_n) konvansiyonel düzelerden düşük olmasına rağmen geometrik swirl sayıları (S_g) ise konvansiyonel düzelere görece yüksektir. Ayrıca konvansiyonel düzelerde swirl sayıları ile geometrik swirl sayıları arasında anlamlı bir bağıntı kuruluyor iken modüler düzede ise Swirl sayısı ile geometrik swirl sayısı arasında anlamlı bir bağıntı kurulamamaktadır.

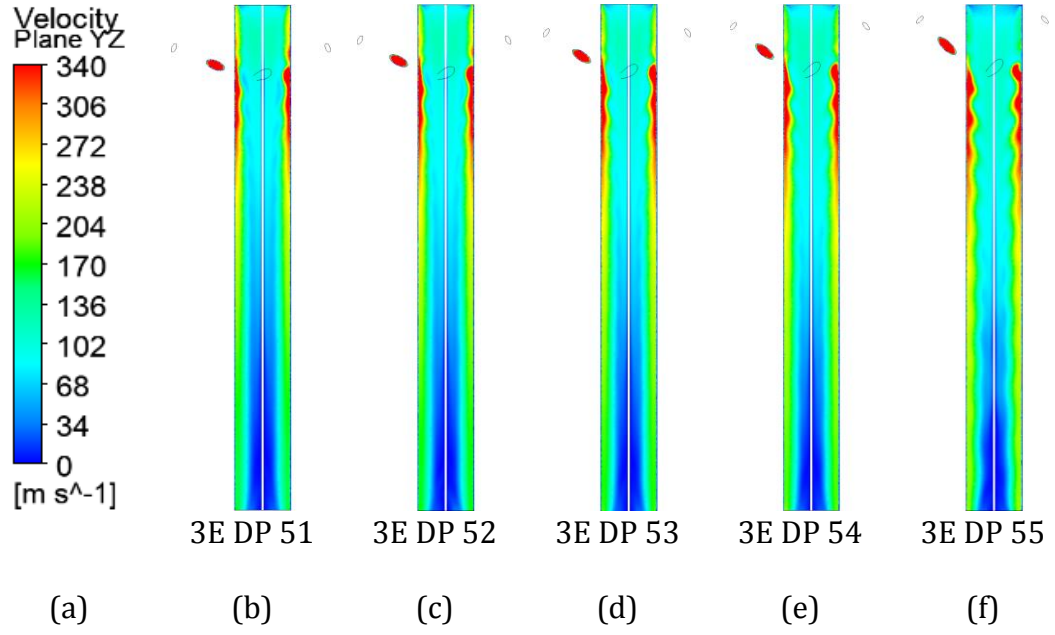
Karşılaştırılan yapısal konfigürasyonlarda enjektörlerin büküm odasına açıldığı düzlemde yapılan hesaplamalara göre, konvansiyonel düzelerin toplam basınç değerleri 40 kPa değerinin üzerinde iken, modüler düzelerde toplam basınç değeri 0 kPa değerinin hemen altında ya da hemen üzerinde yer almaktadır. Aynı şekilde konvansiyonel düzelerin akış basıncı değeri 6 kPa değerinin üzerinde iken, modüler düzelerin akış basınç değeri 0 kPa'nın altında yer almaktadır.

Şekil 4.26'da yer alan Modüler ve konvansiyonel düzelerin iplik tüylülüğü karşılaştırılma grafiğine göre, 125 kPa gösterge basıncı uygulanan (225 kPa mutlak basınç) modüler düzelerde en düşük iplik tüylülükleri en azdan en çoğa olacak şekilde sırasıyla 20°, 40°, 25°, 30° ve 35° konfigürasyonlarıdır. Şekil 4.56' de yer alan modüler düze YZ düzlemi vortisite dağılımına göre de vortisite dağılımı en çoktan en aza olacak şekilde sırasıyla 20°, 25°, 30°, 35° ve 40° olarak görülmektedir. Şekil 4.26'da yer alan 40° olan ölçüm dikkate alınmazsa vortisite

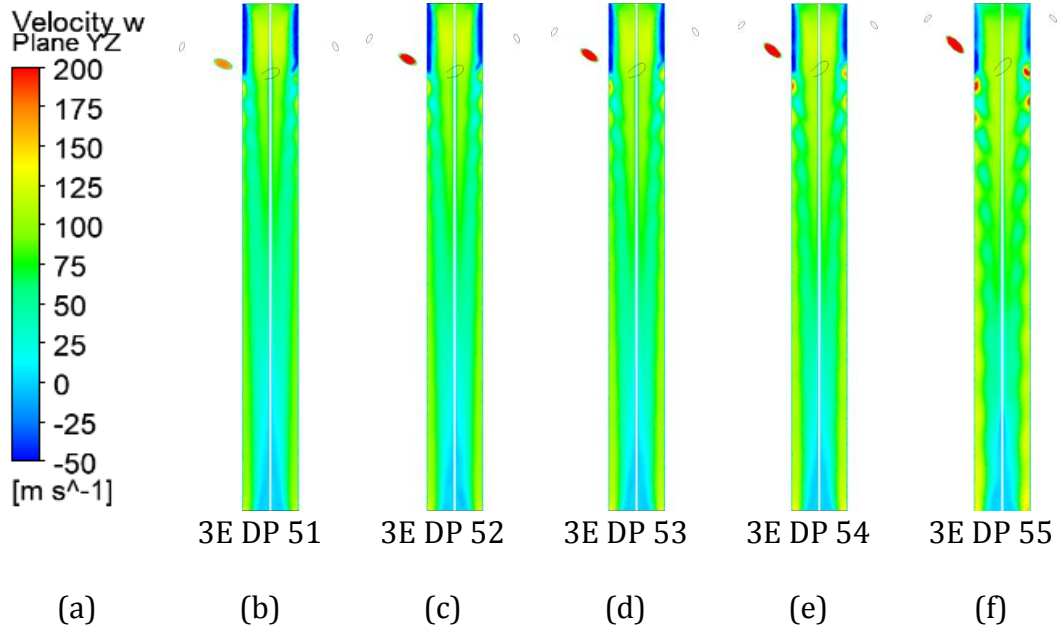
miktarının artması iplik tüylülüğünün düşmesini sağladığı anlaşılmaktadır. Benzer durum Şekil 4.58’de yer alan YZ düzlemindeki helisite gerçek öz değeri dağılımında da mevcuttur. Şekil 4.26’daki 125 kPa gösterge basıncı uygulanan konvansiyonel düzelerdeki en düşük iplik tüylülükleri en azdan en çoğa olacak şekilde sırasıyla 35°, 40°, 30°, 25° ve 20° konfigürasyonlarıdır. Şekil 4.49’de yer alan konvansiyonel düze YZ düzlemi vortisite dağılımına göre de vortisite dağılımı en çoktan en aza olacak şekilde sırasıyla 40°, 35°, 30°, 25° ve 20° olarak görülmektedir. Şekil 4.26 ve Şekil 4.49’deki verilerin karşılaştırılmasına göre, konvansiyonel düzelerde modüler düzedeği gibi aynı şekilde vortisite miktarının artması iplik tüylülüğünün düşmesini sağladığı anlaşılmaktadır.



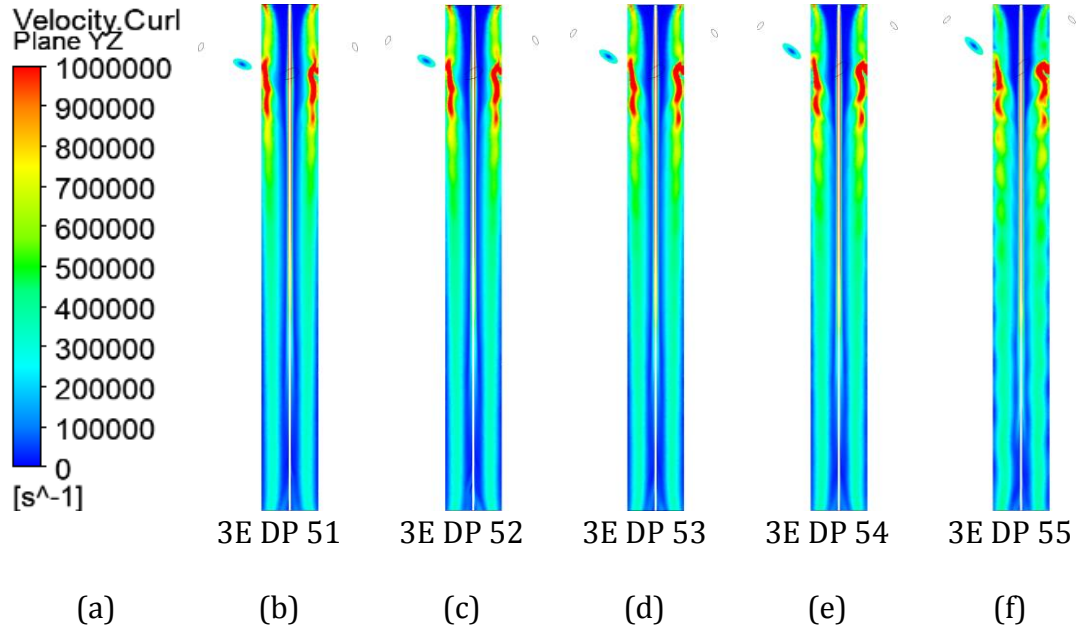
Şekil 4.46. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



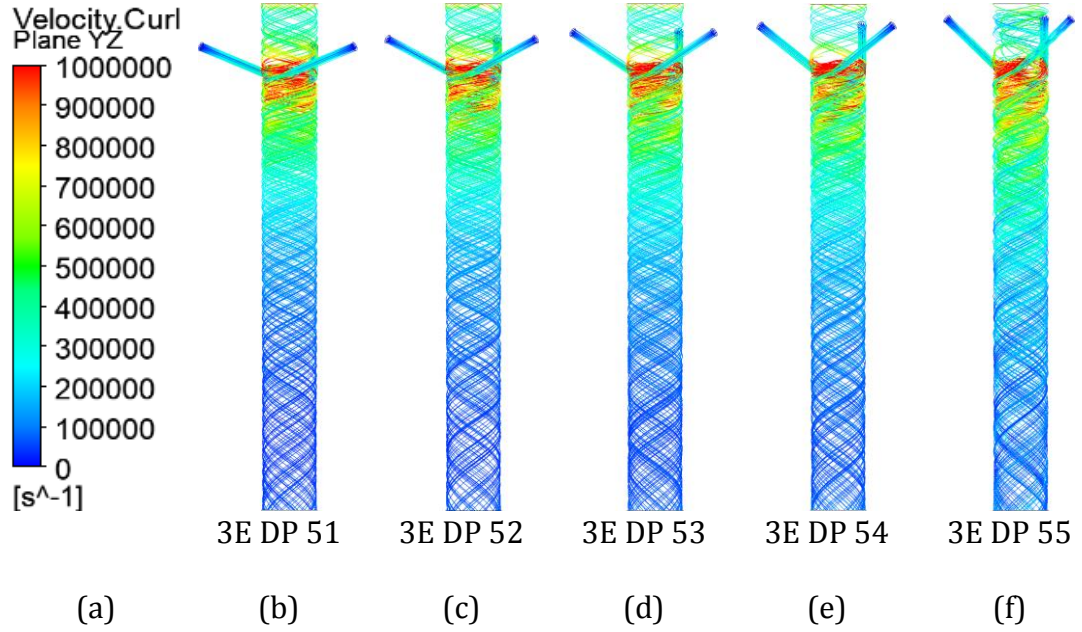
Şekil 4.47. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



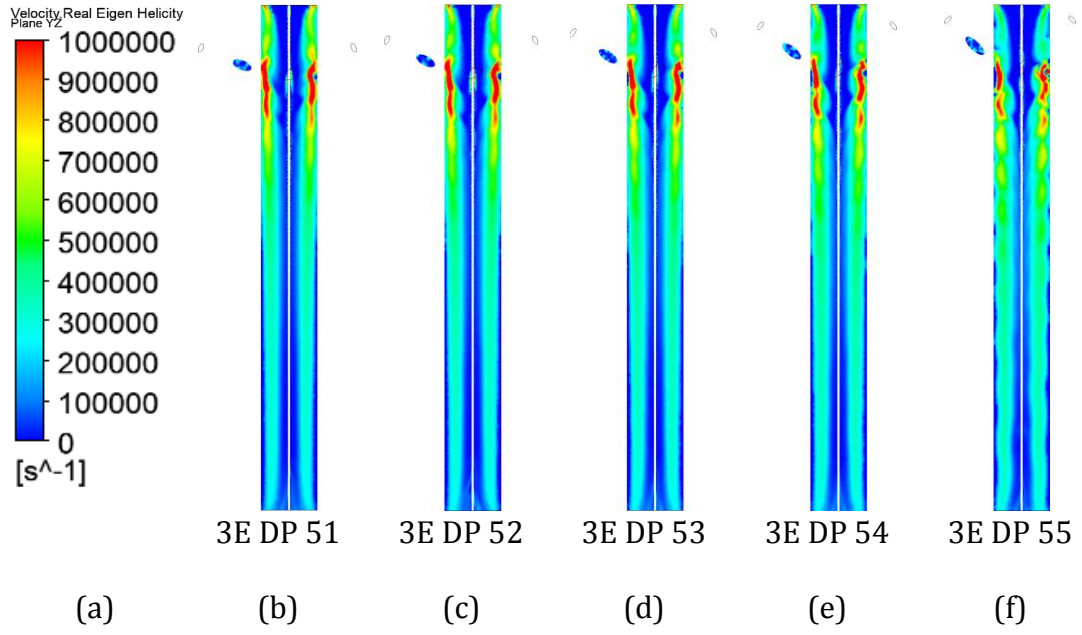
Şekil 4.48. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



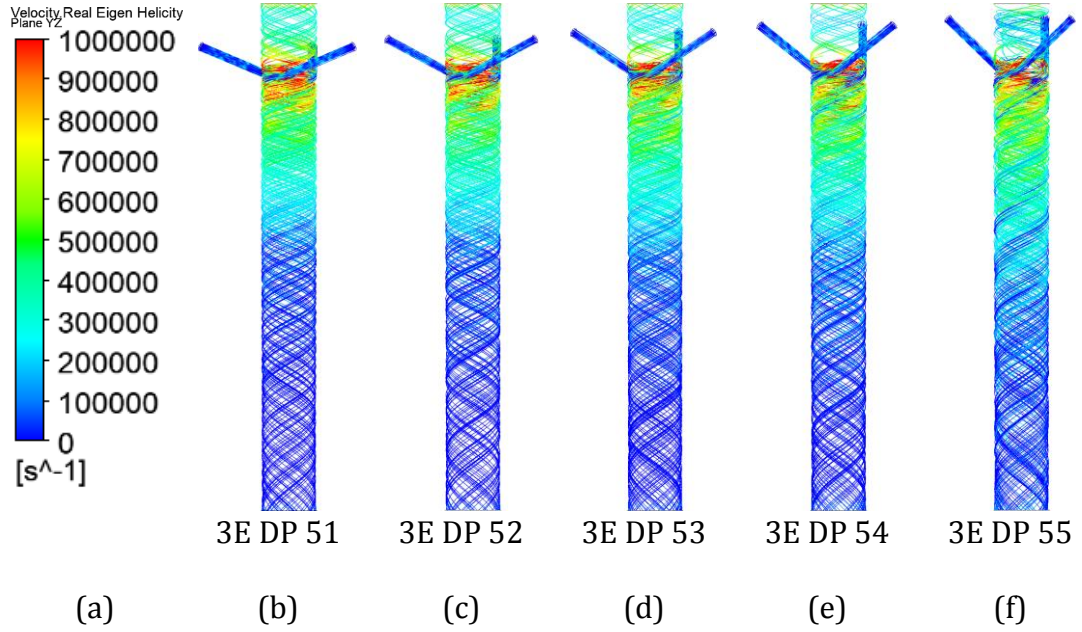
Şekil 4.49. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



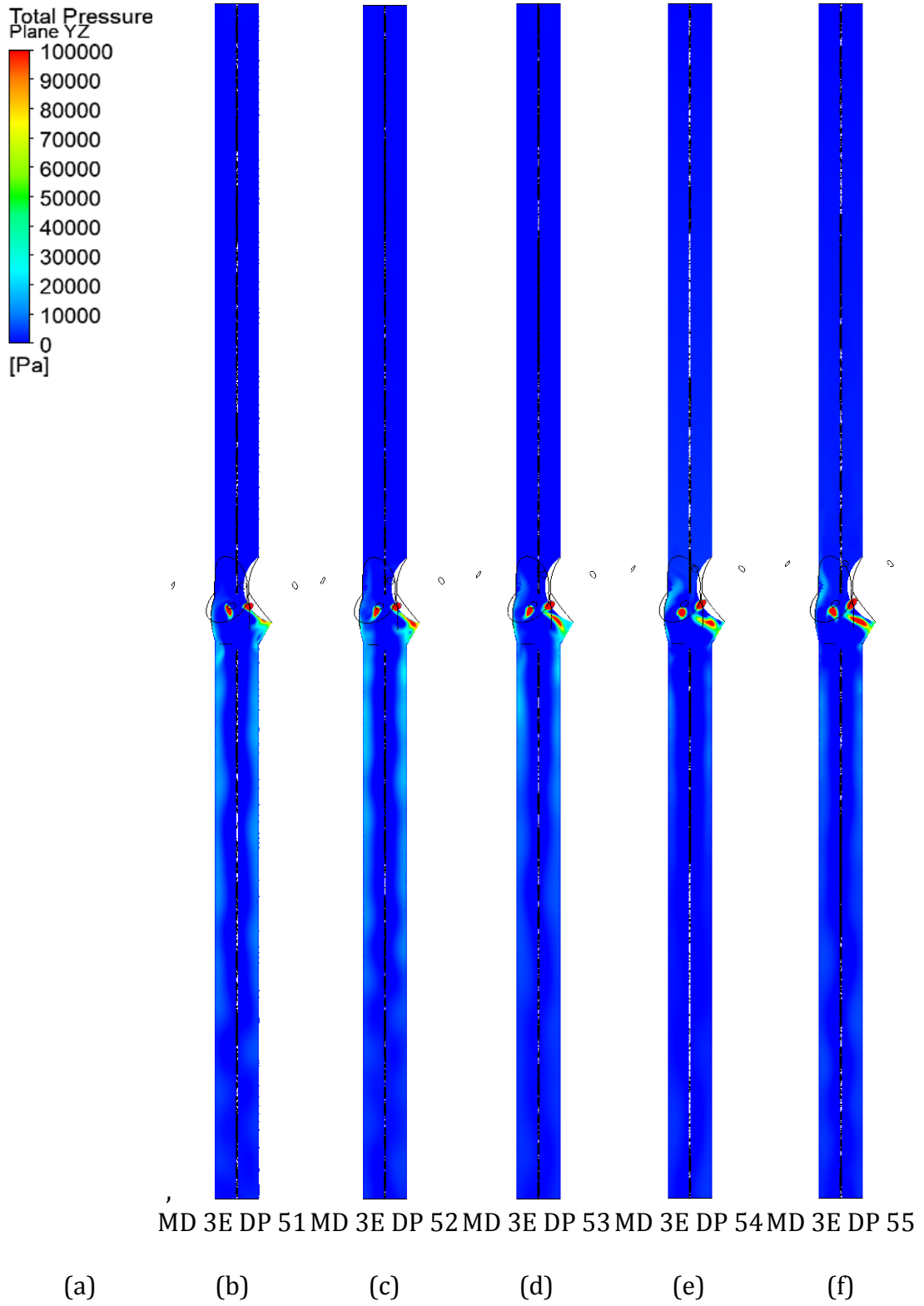
Şekil 4.50. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



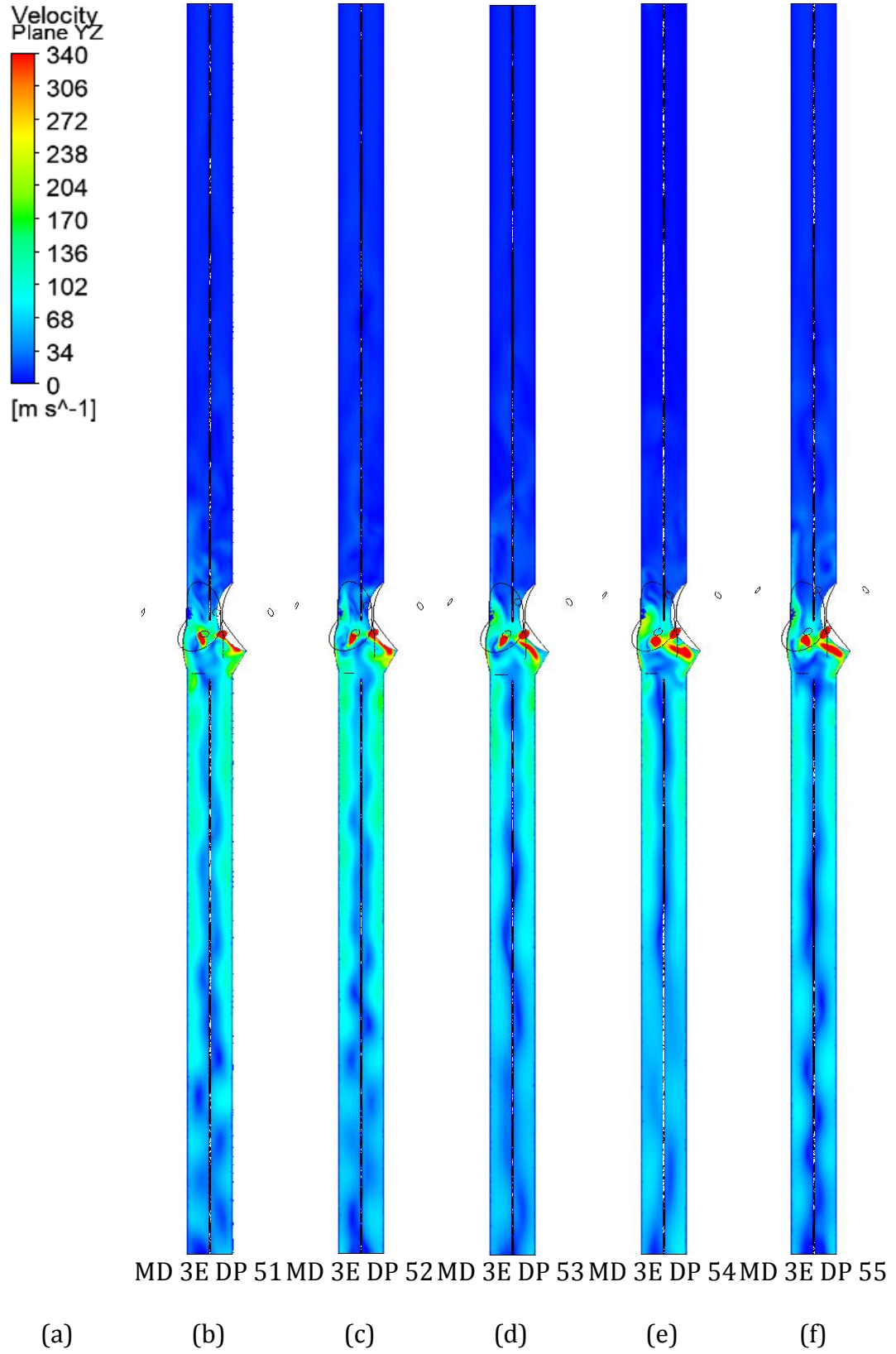
Şekil 4.51. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



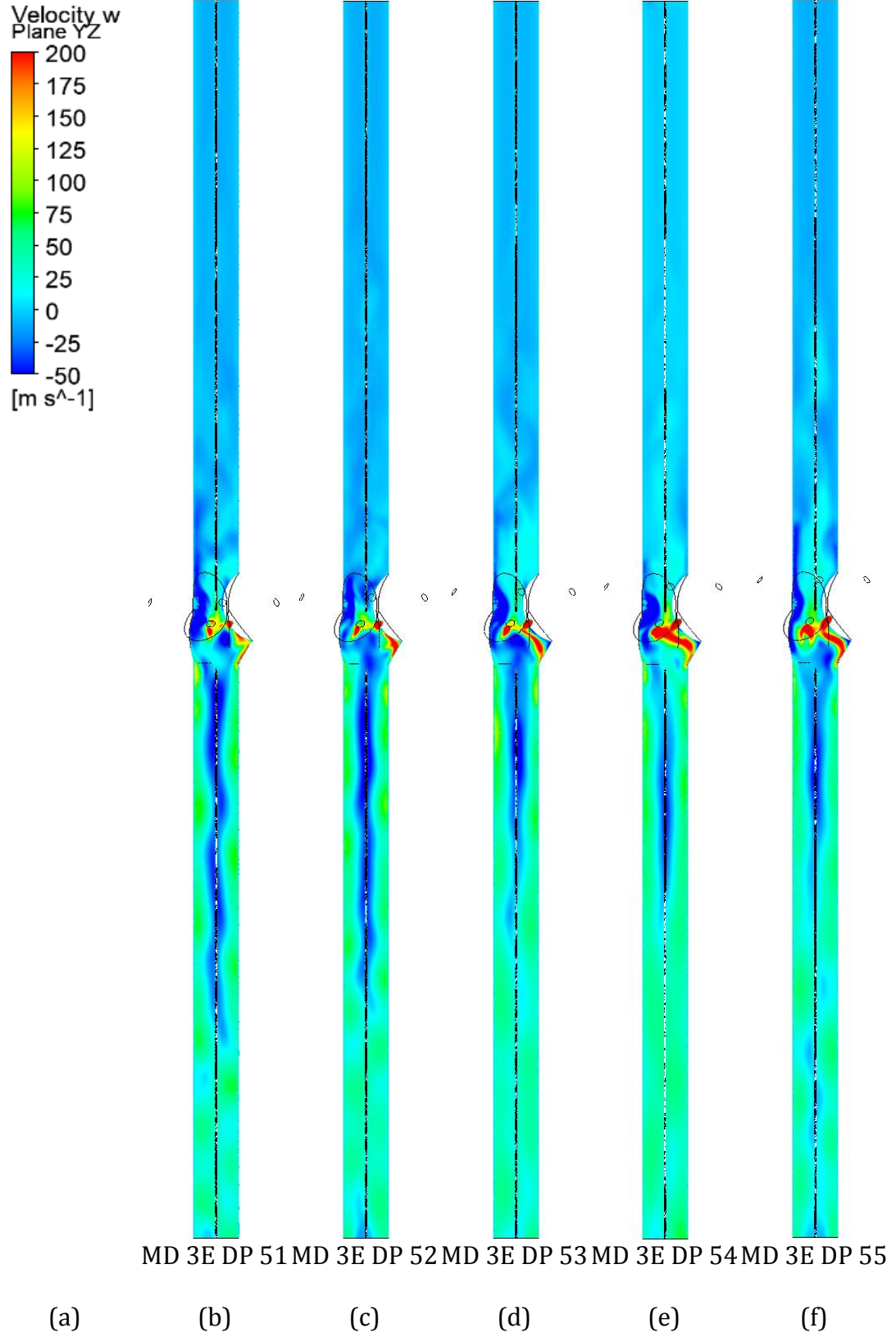
Şekil 4.52. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm konv. düze helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



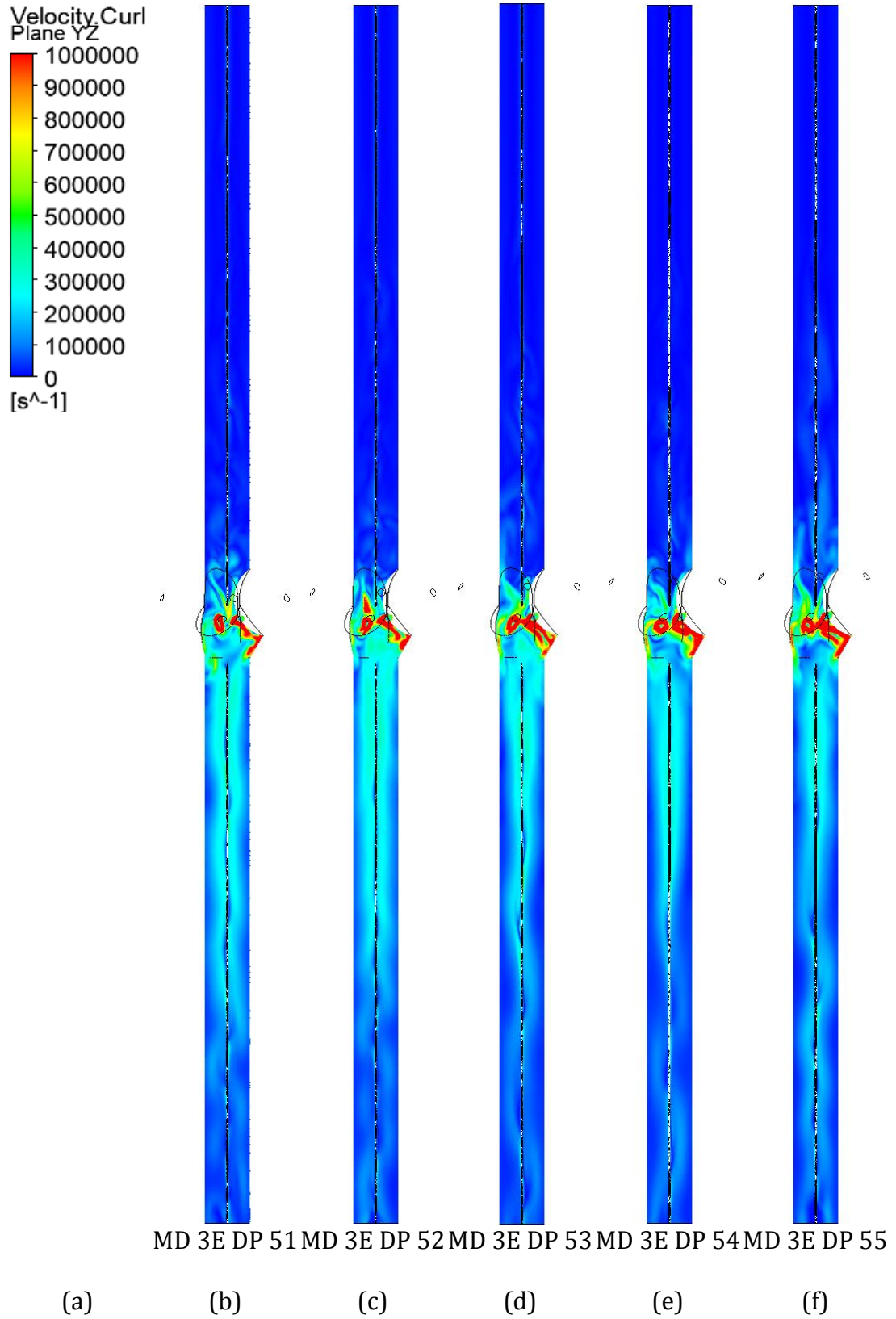
Şekil 4.53. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi toplam basınç dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



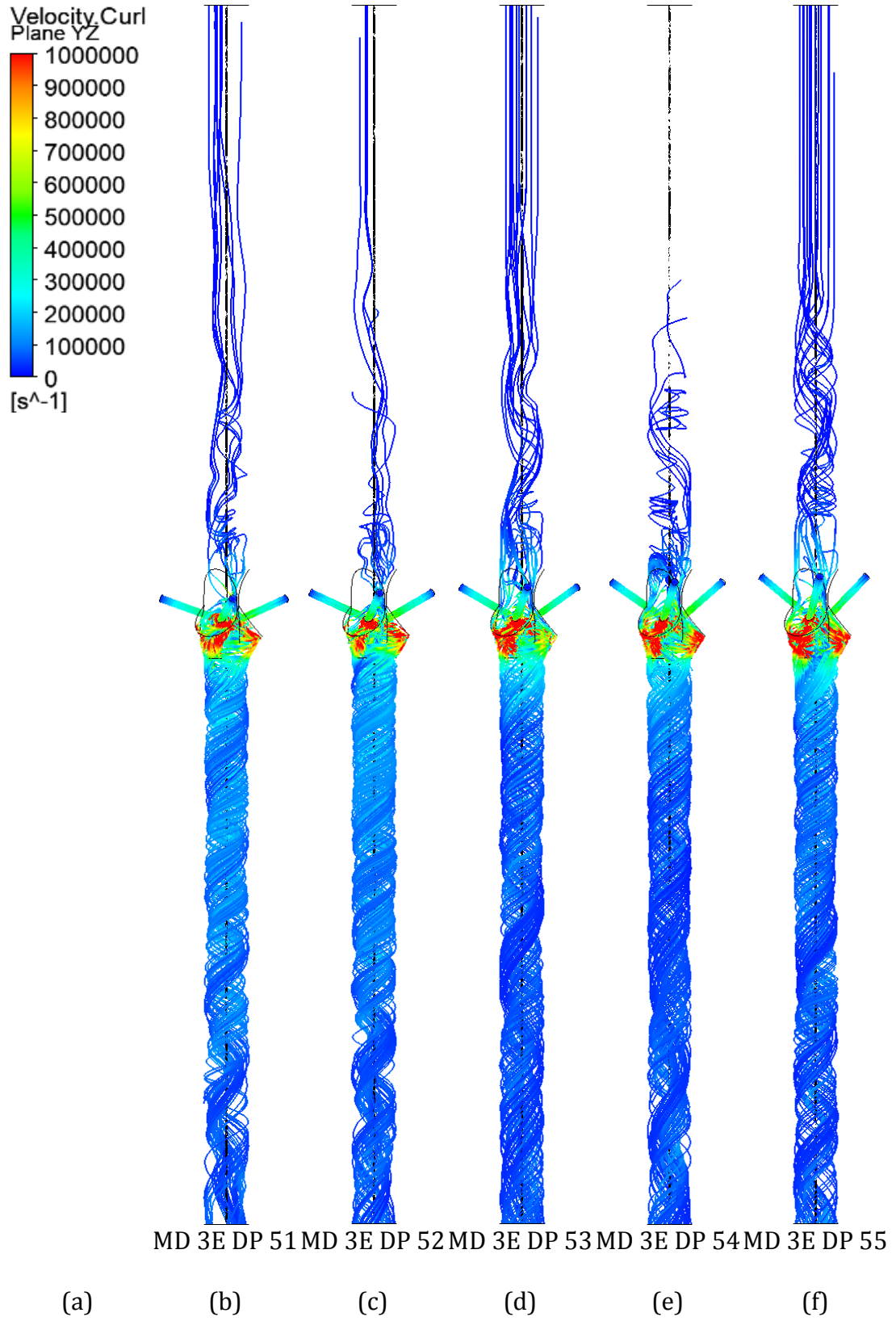
Şekil 4.54. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



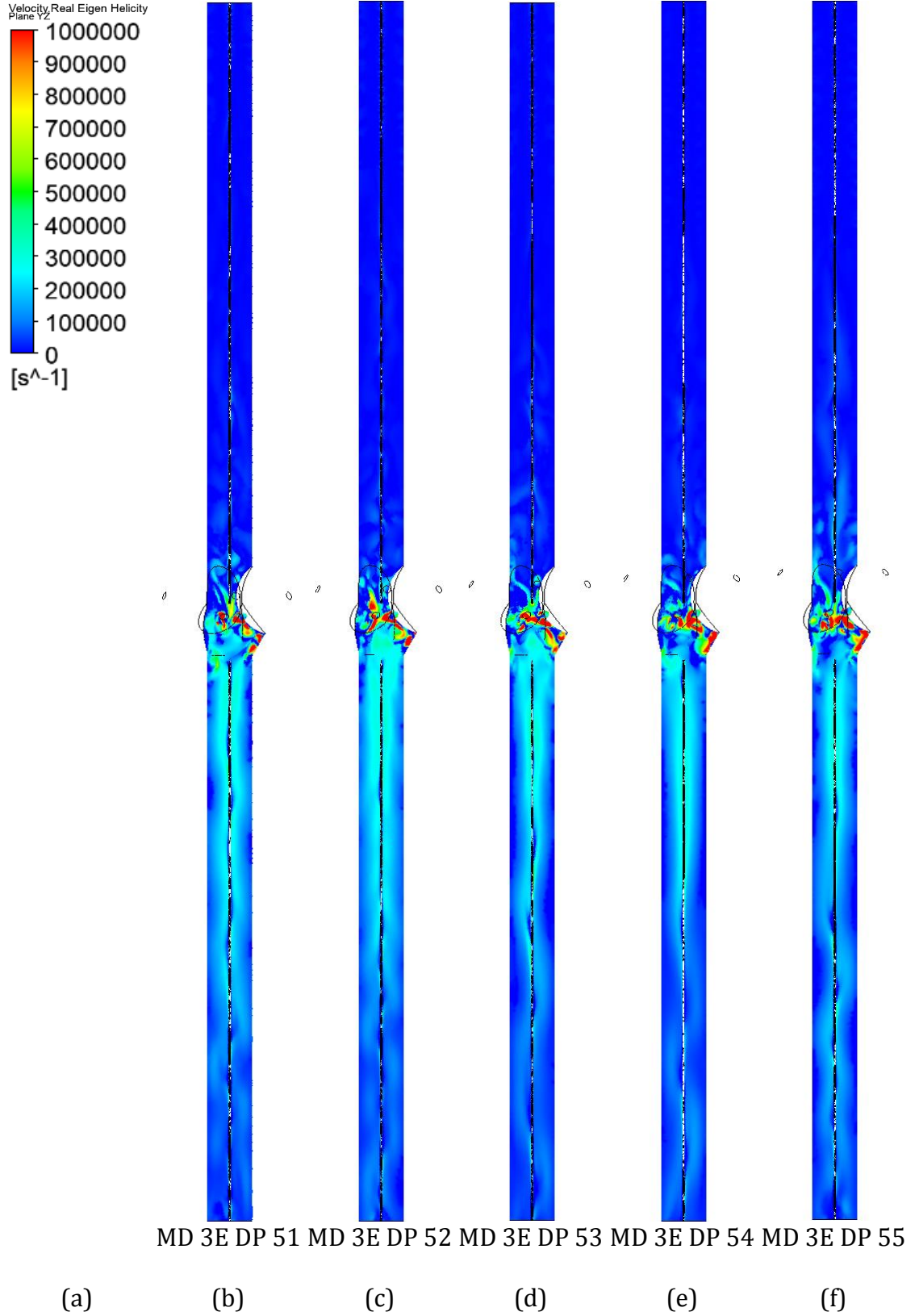
Şekil 4.55. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi z eksenindeki hız dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



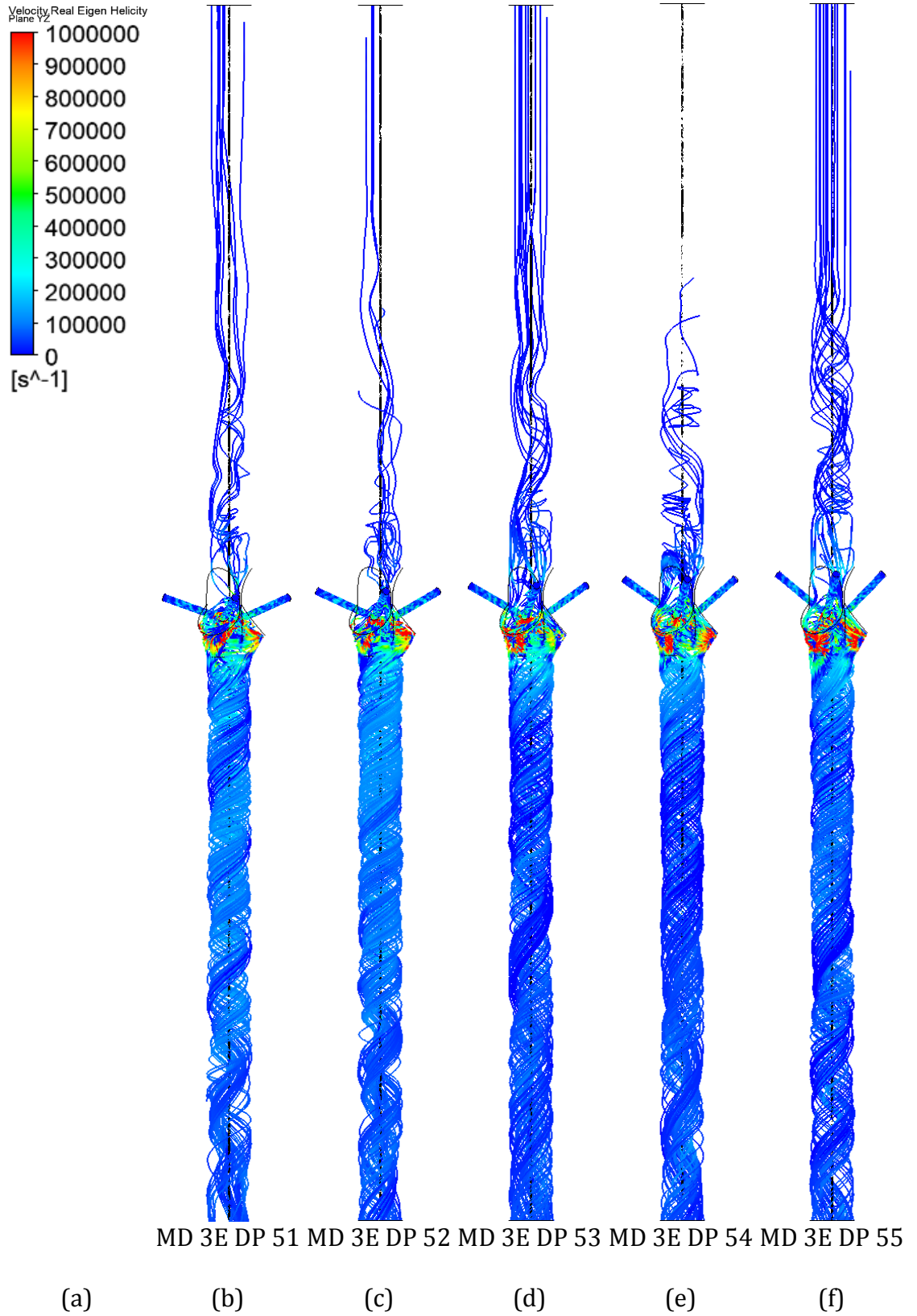
Şekil 4.56. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi vortisite dağılımı (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



Şekil 4.57. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze vortisite dağılımı (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



Şekil 4.58. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze YZ düzlemi helisite gerçek öz değeri dağılımı (225 kPa mutlak basınç)
a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°



Şekil 4.59. Büküm odası Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm modüler düze helisite gerçek öz değeri (akım iplikçikleri) (225 kPa mutlak basınç) a) renk skalası, b) enjektör açısı 20°, c) enjektör açısı 25°, d) enjektör açısı 30°, e) enjektör açısı 35°, f) enjektör açısı 40°

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, yapısal parametreleri ayarlanabilir, modüler bir hava düzesinin geliştirilmesi ile modüler düzenin performansını değerlendirmek amacıyla konvansiyonel ve modüler düzelerin sistematik olarak incelenmesi planlanmıştır. Konvansiyonel düzelerin sistematik incelenmesi için öncelikle literatür taranarak, incelenecek düze yapısal parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen yapısal parametreler ile 150 farklı konvansiyonel düze konfigürasyonu oluşturulmuştur. 4995-D1-17 no'lu Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında 150 farklı konvansiyonel ve modüler düzenin üretimi ile düzelere hassas bir şekilde havanın basıncını ayarlayabilen, havanın sıcaklık ve nem değerlerini ölçebilen otomatik kontrol malzeme ve donanımları temin edilmiştir.

Hava düzesi kullanılarak konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminde üretilen iplikler literatürdekine benzer şekilde "Jetring iplik" olarak isimlendirilmiştir. 150 farklı konvansiyonel ve modüler düzenin performans testlerinin yapılabilmesi için Merlin SP43 konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde aynı anda 10 adet konvansiyonel hava düzesi ve modüler hava düzesi entegre edilmiş ve iki farklı gösterge basınç değerinde (75 kPa ve 125 kPa) Jetring iplikler üretilmiştir. Parametrik deney çalışması esnasında tekstil sektöründe yaygın kullanılan iplik malzemelerinden biri olan %100 pamuk lifleri kullanılarak Ne 30/1 iplik inceliğine sahip tek katlı iplikler üretilmiştir. Gerek yalancı bükümün etkisini, gerekse de hava düzelerinin performansını değerlendirmek amacıyla referans kalite değeri olarak aynı şartlarda üretilen konvansiyonel ring iplikler değerlendirilmiştir. Bu nedenle, Jetring ve konvansiyonel ring iplik üretimi sırasında aynı fitiller kullanılmış, aynı büküm katsayısı, çekim, iğ devri ve kopça tipleri ile çalışılmasına dikkat edilmiştir.

Hava düzesine ait büküm odası çapı, enjektör çapı, enjektör açısı ve çevresel enjektör adedi gibi yapısal parametrelerin ve düzeye uygulanan hava basıncı parametresinin tüylülük, mukavemet, düzgünsüzlük ve kopma uzaması gibi iplik özellikleri üzerinde etkisini araştırmak için cevap yüzey metodolojisi

kullanılmıştır. İplik özellikleri ile hava düzesi yapısal parametreleri arasında ilişki kurulabilmesi için kuadratik, kuartik ve lineer olmak üzere 3 farklı cevap yüzey metodolojisi istatistik analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise kondisyonlanmış havanın iplik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Son olarak ise aynı yapısal konfigürasyonlara sahip konvansiyonel ve modüler düzeler ile üretilen Jetring ipliklerin iplik özellikleri kıyaslanmıştır.

Jetring, Nozzle-ring, Murata Air Jet gibi ve benzer yapıya sahip bütün hava düzelerinin nihai amacı iplik tüylülüğünün düşürülmesidir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan sistematik deneysel çalışmalar ve istatistiki hesaplamalar sonucunda hava düzeleri iplik tüylülüğünde iyileşme sağlamasına rağmen diğer iplik özellikleri üzerinde (iplik düzgünsüzlüğü, kopma uzaması ve iplik mukavemeti) olumlu bir katkı sunamamış, aksine bu değerleri bir miktar kötüleştirmiştir. Benzer sonuçlara literatürde de rastlanmaktadır. Yani tüylülüğün iyileştirilmesi diğer iplik özelliklerinden feragat edilmesi anlamına gelmektedir.

Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde hava düzesi olmadan üretilen %100 pamuk Ne 30/1 iplikler değerlendirme kriteri olarak alınırsa, bazı yapısal konfigürasyonlardaki hava düzelerinin iplik tüylülüğünü düşürmesine rağmen bazı konfigürasyonların ise aksine iplik tüylülüğünü arttırdığı gözlemlenmiştir. Cevap yüzey metodolojisi istatistiki sonuçlarına göre, genellikle büküm odası çapı Ø2 - Ø2.5 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm, Ø0.7 mm ve Ø0.9 mm, enjektör açısı ise 30° - 40° aralığında olan yapısal parametrelere sahip konvansiyonel düze konfigürasyonlarında iplik tüylülüğü düşük, büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.6 mm ve Ø0.8 mm, enjektör açısı ise 20° - 25° olan yapısal parametrelere sahip konvansiyonel düze konfigürasyonlarında ise iplik tüylülüğü yüksek olarak belirlenmiştir. Çevresel enjektör adedinin 3'den 4 adet'e çıkarılması ve hava basıncının 75 kPa'dan 125 kPa değerine arttırılması durumunda lineer cevap yüzey metodolojisi istatistiki sonucunda görüldüğü gibi bir miktar da olsa tüylülüğü düşürmektedir.

Konvansiyonel düzelerde iplik tüylülüğünün düşürülmesi amacına göre hava düzelerinin hangi yapısal konfigürasyonlarda olması gerektiğinin anlaşılması için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinden faydalanılmıştır. Hava düzesi içerisinde nasıl bir hava akımı meydana geldiğinin ve bu hava akımı parametrelerinin düze yapısal parametre değişimine göre nasıl şekillendiğinin anlaşılması için 150 farklı konvansiyonel düze konfigürasyonun tamamını kapsayacak şekilde parametrik bir çalışma çerçevesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları kıyaslanmıştır.

Bir sonraki aşamada konvansiyonel düzeler ile üretilen ipliklerin tüylülük sonuçları ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi akış parametreleri karşılaştırmaları yapılarak, iplik kalitesini belirleyen en önemli özellik olan tüylülüğün düşürülmesi için nasıl bir akışa ihtiyaç olduğu ve bu akışın gerçekleştirilmesi için nasıl bir yapısal parametre değişimine ihtiyaç duyulduğu araştırılmıştır. Bu araştırma için bu tez çalışması kapsamında belirlenen iplik tüylülüğü en düşük 5 ve en yüksek 5 düze konfigürasyonu seçilmiştir. Seçilen bu 10 düze konfigürasyonu hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi akış parametreleri karşılaştırılmış ve bu HAD analiz akış parametrelerinin ile kıyaslama yapılmıştır. İplik tüylülüğü en düşük ve en yüksek çıkan konvansiyonel düzelerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz sonuçları karşılaştırıldığında, toplam basınç, hız ve z ekseninde hız parametrelerinde benzer dağılımlar oluşturduğu belirlenmiştir. Fakat vortisite ve helisite gerçek öz değerlerinde farklılıkların mevcut olduğu tespit edilmiştir. İplik tüylülüğü en düşük olan 5 konvansiyonel düzenin vortisite ortalaması 866,886, helisite gerçek öz değeri ortalaması ise 673,368'dir. İplik tüylülüğü en yüksek olan 5 konvansiyonel düzenin vortisite ortalaması 747,018, helisite gerçek öz değeri ortalaması da 595,275'dir. Yani iplik tüylülüğü en düşük olan 5 konvansiyonel düze, en yüksek 5 konvansiyonel düzeye göre, vortisite oranı %16.1, helisite gerçek öz değeri oranı ise %13.1 daha yüksektir.

Konvansiyonel düzelerde olduğu gibi modüler düzede de 150 farklı modüler düze konfigürasyonun tamamını kapsayacak şekilde parametrik hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri yapılmıştır. Yapılan hesaplamalı akışkanlar

dinamiği analiz çalışmalarına göre konvansiyonel düzeler ile modüler düze analiz sonuçlarında benzerlikler olduğu gibi farklılıklar da mevcut olduğu görülmüştür. Farklılıklardan en belirgin olanı Swirl sayısındadır. Konvansiyonel düzelerde hesaplanan Swirl sayısı (S_n) ve geometrik swirl sayısı (S_g) düze yapısal parametrelerine göre, anlamlı bir değişim göstermektedir. Modüler düzede ise sadece geometrik swirl sayısı yapısal parametre değişimleri ile anlamlı bir değişim göstermiş, ancak Swirl sayısı ile düze yapısal parametre değişimi arasında hiçbir bağıntı kurulamamıştır. Konvansiyonel düzelerde swirl ve geometrik swirl sayıları birbirleri ile uyum içerisinde bir değişim gösteriyor iken, modüler düzede ise iki parametre arasında da bir bağıntı olmadığı görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalara göre, konvansiyonel düze hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin tamamı yüksek dereceden helisel dönen akış, modüler düze hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ise bir konfigürasyon dışında tamamı düşük seviyede helisel dönen akış sınıfında yer almaktadır. Modüler düzede yer alan MD 3E DP 5 HAD analiz no'lu konfigürasyonu ise orta dereceden helisel dönen sınıfındadır. Modüler düze konfigürasyonlarının swirl sayıları konvansiyonel düzelere göre düşük çıkmasına rağmen, geometrik swirl sayıları ise konvansiyonel düzelerden daha yüksek olarak belirlenmiştir.

İplik tüylülüğü – HAD analizi akış parametreleri karşılaştırıldığında, vortisite ya da helisite gerçek öz değerlerinin artması iplik tüylülüğünü düşürdüğü anlaşılmıştır. Vortisite ve helisite gerçek öz değerleri birbirleri ile doğru bir orantıda eğilim göstermektedir. Konvansiyonel düzelerde vortisite ya da helisite gerçek öz değerlerini maksimize eden yapısal konfigürasyonlara göre, büküm odası çapının minimumda ($\varnothing 2$ mm değerinde) olması gerekmektedir. Konvansiyonel düzelerde diğer yapısal parametreler ile vortisite ya da helisite gerçek öz değerleri arasında anlamlı bir bağıntı bulunamamıştır. Ama genelde konvansiyonel düzelerde $35^\circ - 40^\circ$ enjektör açısı konfigürasyonlarında vortisite ya da helisite gerçek öz değerleri yüksek olarak belirlenmiştir. Modüler düze de ise tam tersi olarak $20^\circ - 25^\circ$ enjektör açısı konfigürasyonlarında vortisite ya da helisite gerçek öz değerleri yüksek, $35^\circ - 40^\circ$ enjektör açısı konfigürasyonlarında ise düşüktür. İşte tam da bu nedenden dolayı modüler düzeler kullanılarak

üretmiş ipliklerde düşük enjektör açısı ile ayarlandığında düşük tüylülük değerine, yüksek enjektör açısına ayarlandığında ise yüksek tüylülük değerine sahip olması vortisite ya da helisite gerçek öz değerleri karşılaştırıldığında mantıklı bir şekilde açıklanabilmektedir. Hem konvansiyonel düzeler hem de modüler düzelerde iplik tüylülüğünü düşürmek için vortisite ya da helisite gerçek öz değerlerini maksimum yapabilecek yapısal konfigürasyonları kullanılırsa iplik tüylülüğü minimize edilebilecektir.

Modüler ve konvansiyonel düzelerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz sonuçlarını kıyaslarsak, aynı yapısal konfigürasyonlara sahip ve aynı basınç değerinde (225 kPa mutlak basınç) analiz edilen modüler düze konvansiyonel düzelere kıyasla ortalama %11.5 daha fazla hava tüketmektedir. İplik girişi kütleli debi değerleri göz önüne alınırsa, konvansiyonel düzelerin iplik girişinden enjektör hava girişi kütleli debi değerinin ortalama 0.77 katı bir emiş gerçekleştirmektedir (minimum 0.65 - maksimum 0.88). Modüler düzelerde ise bu katsayı -0.05 değerinde yer almaktadır. Yani aynı yapısal konfigürasyonlarda iplik girişinden hava emilememekte aksine bu açıklıktan hava çıkışı gerçekleşmektedir. Kütleli korunumu prensibine göre, düze çıkışı kütleli debi miktarları, enjektörlerden gelen havanın kütleli debisi ile ipliklerden varsa emilen kütleli miktarının toplamı ya da iplik girişinden dışarı atılan hava miktarının farkını oluşturmaktadır. Bahsedilen yapısal konfigürasyonlarda modüler düze iplik girişinden hava emişi konvansiyonel düzelere göre çok daha az gerçekleştiği için konvansiyonel düzelerdeki düze çıkışı kütleli debi miktarı modüler düzeye göre daha yüksek (negatif yönde) olarak belirlenmiştir. Düze çıkışı kütleli debi değerlerinin negatif çıkması havanın düzeden dışarıya doğru çıkması anlamına gelmektedir.

Modüler düze konfigürasyonlarının hava akış hızı değeri ve hıza bağımlı olan z eksenindeki hız, Reynolds sayısı, vortisite ile helisite gerçek öz değerleri, konvansiyonel düzelere göre yaklaşık 3'te biri kadardır. Vortisite ve helisite gerçek öz değerlerinin artması iplik tüylülüğü üzerinde pozitif bir etkisi bulunmasına rağmen modüler düzenin vortisite ve helisite gerçek öz değerlerinin aynı yapısal konfigürasyondaki ve aynı basınç değerindeki

konvansiyonel düzelere göre yaklaşık 3'te biri kadar olması ise arzu edilmeyen bir sonuçtur. Diğer yandan, modüler düzelerde enjektör çapının artması vortisite ya da helisite gerçek öz değerini arttırmasına rağmen konvansiyonel düzelerde ise vortisite ya da helisite gerçek öz değeri üzerinde anlamlı bir değişim gözlemlenmemiştir.

Bu tez çalışmasının özgün yanlarından biri olan bütün yapısal konfigürasyonlarının tek bir yapı içerisinde ayarlanabildiği ya da parça değişimi ile revize edilebildiği modüler bir helisel dönen hava düzesi geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının diğer bir özgün yanı ise, geliştirilen bu modüler düzede enjektörlerin büküm odasına teğetliği ayarlanabilmekte, istenildiğinde büküm odası merkezine doğru yaklaştırılabilmektedir. Aynı teğetlik ayarıyla, saat yönü helis ya da saatin ters yönü helis olmak üzere iki farklı helisel yönde akış oluşturulabilmektedir.

Bu tez çalışmasının diğer bir özgün yanı ise, modüler düze büküm odasının alt ve üst mil olmak üzere iki parçaya ayrılmasıdır. Düze fiber girişinden hava çıkışı olmaması ve oluşabilecek akış ayrılmaları, resirkülasyon akışları ve vorteks bozulmaların önüne geçilebilmesi için üst mil büküm odası çapı, alt mil büküm odası çapından daha küçük seçilebilir. Böylece ayarlanabilir kademeli bir büküm odası elde edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasının diğer bir özgün yanı ise, modüler düzede hava akımının açısai momentumunun dengelenmesi amacıyla beslenen hava akımıyla birlikte serbest dönebilen bir büküm odasının tasarlanmasıdır. Rulman ile yataklanacak serbest dönebilen bahsedilen alt mil tasarımı ile helisel dönen akışın açısai momentumunun dengeleneceği, akış kuvvetinin tek bir noktadan daha geniş bir alana yayılacağı düşünülmektedir. Bu şekilde optimize bir helisel dönen akışın meydana gelmesi, daha yüksek hava akımı basınç değerlerine çıkılabilmesi ve iplik kopuşlarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

Problemin konusu tekstil sektörü ve iplik eğirme prosesi olmasına rağmen, helisel dönen akışa sahip düzeler birçok alanda kullanılmaktadır. İlerideki çalışmalarda araştırmacılar aynı metodolojiyi modüler / yapısal parametreleri ayarlanabilen helisel dönen akışa sahip alev düzeleri, vorteks tüpleri, püskürterek kurutma gibi vb. teknolojilerde uygulayabilir.

Tekstil sektörü ve iplik eğirme prosesi için de, bu tez çalışmasında bahsedilen konvansiyonel düzeler dışında iplik eğirmede kullanılan Murata firmasının geliştirdiği Murata Air-Jet ya da aynı prensiple çalışan farklı geometrilere sahip hava düzeleri de yapısal parametreleri ayarlanabilir ve modüler hale getirilebilir.

Bu tez çalışmasında geliştirilen modüler hava düzesinde, tezde de bahsedildiği gibi yapısal parametre değişiklikleri çeşitli parça değişimleri ile gerçekleştirilmektedir. İlerideki çalışmalarda bir otomatik kontrol otomasyonu geliştirildiği takdirde bu işlemler daha hızlı yapılabilecek ve araştırma hızı arttırılabilecektir.

Bu tez çalışmasının sonucu olarak düze içerisinde akan akışın vortisite ya da helisite gerçek öz değerinin arttırılması, iplik tüylülüğünün düşürülmesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda bu durumun göz önüne alınması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, H. A. H., Afify, R. S., Hassanin, A. H., El-Hawary, I. A., Mashaly, R. I. 2018. Numerical and experimental study of the influence of nozzle flow parameters on yarn production by jet-ring spinning. Alexandria Engineering Journal, 57(4), 2975–2989.
- Akansu, S. O. 2006. Heat transfers and pressure drops for porous-ring turbulators in a circular pipe. Applied Energy, 83(3), 280–298.
- Ansys Inc. 2001. Ansys Fluent Theory Guide. İçinde Ansys Fluent Theory Guide, Canonsburg USA, 868p, California.
- Ansys Inc. 2017a. ANSYS CFD-Post Users Guide 18.0. Canonsburg USA, 384p, California.
- Ansys Inc. 2017b. Solver Theory Guide, ANSYS. Inc Canonsburg USA, 364p, California.
- Ashrul Ishak, M. S., Mohd Jaafar, M. N., A Eldrainy, Y. 2009. The Effect of Radial Swirl Generator on Reducing Emissions from Bio-fuel Burner System. Modern Applied Science, 3(6), 45-51.
- Bayraktar, S. 2008. Çapraz Akıştaki Türbülanslı Jet Akışlarının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 193s, İstanbul.
- Cassidy, J. J., Falvey, H. T. 1970. Observations of unsteady flow arising after vortex breakdown. Journal of Fluid Mechanics, 41(4), 727–736.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., Engin, T. 2008. Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları. Güven Kitabevi.
- Champagne, F. H., Kromat, S. 2000. Experiments on the formation of a recirculation zone in swirling coaxial jets. Experiments in Fluids, 29(5), 494–504.
- Chanaud, R. C. 1963. Experiments concerning the vortex whistle. The Journal of the Acoustical Society of America, 35(7), 953–960.
- Chanaud, R. C. 1965. Observations of oscillatory motion in certain swirling flows. Journal of Fluid Mechanics, 21(1), 111–127.
- Chang, F., Dhir, V. K. 1994. Turbulent flow field in tangentially injected swirl flows in tubes. International Journal of Heat and Fluid Flow, 15(5), 346–356.

- Chen, J., Haynes, B., Fletcher, D. 2006. A numerical and experimental study of tangentially injected swirling flow. 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process, 6-8 December, Sydney, 485–490.
- Cheng, K. P. S., Li, C. H. L. 2002. JetRing Spinning and Its Influence on Yarn Hairiness. *Textile Research Journal*, 72(12), 1079–1087.
- Dabirian, F., Hosseini, S. A. 2009. Novel method for nanofibre yarn production using two differently charged nozzles. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 74(3), 45–47.
- Dou, H., Liu, S. 2011. Trajectories of fibers and analysis of yarn quality for compact spinning with pneumatic groove. *Journal of the Textile Institute*, 102(8), 713–718.
- Eldeeb, M., Moučková, E. 2017. Numerical simulation of the yarn formation process in Rieter air jet spinning. *Journal of the Textile Institute*, 108(7), 1219–1226.
- Escudier, M. P. 1984. Observations of the flow produced in a cylindrical container by a rotating endwall. *Experiments in fluids*, 2(4), 189–196.
- Escudier, M. P., Zehnder, N. 1982. Vortex-flow regimes. *Journal of Fluid Mechanics*, 115, 105–121.
- Festo. 2017. VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 Oransal Regulator Kataloğu. Festo Yayınları, 2s, İstanbul.
- Forgacs, O. L., Mason, S. G. 1959. Particle motions in sheared suspensions: IX. Spin and deformation of threadlike particles. *Journal of colloid science*, 14(5), 457–472.
- Giannadakis, A., Perrakis, K., Panidis, T. 2008. A swirling jet under the influence of a coaxial flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32(8), 1548–1563.
- Goldsmith, H. L., Mason, S. G. 1967. *The microrheology of dispersions*. Rheology Elsevier, 250p, California.
- Guo, H., An, X., Yu, C. 2007. Numerical study on the principle of yarn formation in Murata air-jet spinning. *Journal of Textile Engineering*, 53(5), 173–178.
- Guo, H. F., Chen, Z. Y., Yu, C. W. 2008. Numerical study of an air-jet spinning nozzle with a slotting-tube. *Journal of Physics: Conference Series*, 96(1).
- Guo, H. F., Chen, Z. Y., Yu, C. W. 2009. Simulation of the effect of geometric parameters on tangentially injected swirling pipe airflow. *Computers and Fluids*, 38(10), 1917–1924.

- Guo, H. F., Xu, B. G., Yu, C. W., Li, S. Y. 2011. Simulating the motion of a flexible fiber in 3D tangentially injected swirling airflow in a straight pipe - Effects of some parameters. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(21-22), 4570-4579.
- Guo, H. F., Yu, C. W., Xu, B. G., Li, S. Y. 2011. Effect of the geometric parameters on a flexible fiber motion in a tangentially injected divergent swirling tube flow. *International Journal of Engineering Science*, 49(10), 1033-1046.
- Gölsevinçler, E. 2013. Sıkıştırılabilir Akışkanların Akışında Kullanılan Türbülans Modelleri ve Simülasyonları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, Isparta.
- Hall, M. G. 1972. Vortex breakdown. *Annual review of fluid mechanics*, 4(1), 195-218.
- Han, C., Xue, W., Cheng, L., Zou, Z. 2016. Comparative analysis of different jet vortex spinning hollow spindle groove structures on yarn mechanism and yarn properties. *Textile Research Journal*, 86(19), 2022-2031.
- Harvey, J. K. 1962. Some observations of the vortex breakdown phenomenon. *Journal of Fluid Mechanics*, 14(4), 585-592.
- Hoseinpour, A. R., Shaikhzadeh Najar, S., Bakhshi Jooybari, M. 2012. The effect of air-jet nozzle structural parameters on new cotton rotor-jet spun yarn properties. *Journal of the Textile Institute*, 103(6), 595-603.
- İpek, S. 2011. Doğru Mesh Üretiminin Çözüm Üzerindeki Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103s, Isparta.
- Jeon, B. S. 2000. Effect of an Air-Suction Nozzle on Yarn Hairiness and Quality. *Textile Research Journal*, 70(11), 1019-1024.
- Juraeva, M., Song, D. J., Ryu, K. J. 2016. Influences of the air inlet and yarn-loading slit on the performance of an air-twist nozzle. *Textile Research Journal*, 86(3), 311-317.
- Kim, H. A., Kim, S. J. 2018. Mechanical Properties of Micro Modal Air Vortex Yarns and the Tactile Wear Comfort of Knitted Fabrics. *Fibers and Polymers*, 19(1), 211-218.
- Krause, E. 1985. A contribution to the problem of vortex breakdown. *Computers & fluids*, 13(3), 375-381.
- Kurosaka, M. 1982. Acoustic streaming in swirling flow and the Ranque—Hilsch (vortex-tube) effect. *Journal of Fluid Mechanics*, 124, 139-172.

- Lee, Y.-T., Lim, H.-C. 2013. Effect of turbulent boundary layer on the surface pressure around trench cavities. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(9), 2673–2681.
- Leibovich, S. 1978. The Structure of Vortex Breakdown. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 10(1), 221–246.
- Leibovich, S. 1984. Vortex stability and breakdown-Survey and extension. *AIAA journal*, 22(9), 1192–1206.
- Li, M. 2016. Effect of the distance between jet orifice and nozzle Alex on properties of vortex spun yarn. *Journal of the Textile Institute*, 107(1), 81–90.
- Liu, X., Su, X. 2017. Research on flow field in a modified ring spinning system with the air nozzle. *The Journal of The Textile Institute*, 108(4), 489–499.
- Lowson, M. V. 1964. Some experiments with vortex breakdown. *The Aeronautical Journal*, 68(641), 343–346.
- Lucca-Negro, O., O'Doherty, T. 2001. Vortex breakdown: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 27(4), 431–481.
- Luginsland, T., Kleiser, L. 2015. Effects of boundary conditions on vortex breakdown in compressible swirling jet flow simulations. *Computers and Fluids*, 109, 72–84.
- Menter, F. 1993. Zonal two equation k-w turbulence models for aerodynamic flows. İçinde 23rd fluid dynamics, plasmadynamics, and lasers conference 6-9 July, Orlando, USA, 2906-2937.
- O'Doherty, T., Griffiths, A. J., Syred, N., Bowen, P. J., Fick, W. 1999. Experimental analysis of rotating instabilities in swirling and cyclonic flows. *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, 7(3–4), 245–267.
- Oxenham, W., Basu, A. 1993. Effect of Jet Design on the Properties of Air-Jet Spun Yarns. *Textile Research Journal*, 63(11), 674–678.
- Öz, F. 2013. Bir Boru İçerisindeki Fiber Etrafında Dönerek İlerleyen Helisel Hava Akımı Üzerindeki Basınç Farkı Etkilerinin Sayısal Akışkanlar Dinamiği Metotları İle İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 200s, Isparta.
- Panda, J., McLaughlin, D. K. 1994. Experiments on the instabilities of a swirling jet. *Physics of Fluids*, 6(1), 263–276.

- Pandey, K. M., Roga, S., Choubey, G. 2015. Computational analysis of hypersonic combustor using strut injector at flight Mach 7. *Combustion Science and Technology*, 187(9), 1392–1407.
- Parra-Santos, M. T., Perez, R., Mendoza, V., Rodriguez, M. A., Castro, F. 2016. Influence of swirl number on semi-confined flames. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 4(3), 65–67.
- Parra-Santos, M. T., Perez, R., Rodriguez, M. A., Castro, F., Szasz, R. Z., Gutkowski, A. 2015. Numerical Simulation of Swirling Flows - Heat Transfer Enhancement. *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer*, 2(1), 1-6.
- Patnaik, A., Rengasamy, R. S., Ishtiaque, S. M., Ghosh, A. 2007. Hairiness of spun yarns and their reduction using air-nozzle in winding. *Journal of the Textile Institute*, 98(3), 243–249.
- Patnaik, A., Rengasamy, R. S., Kothari, V. K., Punekar, H. 2006. Airflow simulation in nozzle for hairiness reduction of ring spun yarns. Part II: Influence of nozzle parameters. *Journal of the Textile Institute*, 97(1), 97–101.
- Patnaik, A., Rengasamy, R. S., Kohari, V. K., Ghosh, A. 2005. Hairiness reduction of yarns by nozzles at ring spinning airflow stimulation approach. *J Textil Apparel Technol Manag*, 4, 1–11.
- Patnaik, A., Rengasamy, R. S., Kothari, V. K., Bhatia, S. K. 2008. Some studies on hairiness reduction of polyester ring spun yarns by using air-nozzles during winding. *Journal of the Textile Institute*, 99(1), 17–27.
- Patnaik, A., Rengasamy, R. S., Kothari, V. K., Ghosh, A. 2005. Hairiness Reduction of Yarns by Nozzles at Ring Spinning:. *J Textil Apparel Technol Manag*, 4(4), 1–11.
- Payne, F. M., Ng, T., Nelson, R. C., Schiff, L. B. 1988. Visualization and wake surveys of vortical flow over a delta wing. *AIAA journal*, 26(2), 137–143.
- Pei, Z., Hu, B., Diao, C., Yu, C. 2012. Investigation on the motion of different types of fibers in the vortex spinning nozzle. *Polymer Engineering & Science*, 52(4), 856–867.
- Qiu, H., Luan, Q., Jiang, H., Fu, Y., Liu, J. 2016. Effect of airway angle of a swirl nozzle on performance of ring-spun yarn. *Industria Textila*, 67(1), 10–16.
- Qiu, H., Zhang, Y., Xu, Z. L., Ge, M. Q. 2012. A novel method to reduce hairiness level of ring spun yarn. *Fibers and Polymers*, 13(1), 104–109.
- Ramachandralu, K., Dasaradan, B. S. 2003. Design and fabrication of air jet nozzles for air vortex ring spinning system to reduce the hairiness of yarn. *IE (I) Journal-TX*, 84, 6–9.

- Ranque, G. J. 1933. Experiments on expansion in a vortex with simultaneous exhaust of hot air and cold air. *Le Journal de Physique et le Radium (Paris)*, 112–114.
- Rengasamy, R. S., Kothari, V. K., Patnaik, A., Ghosh, A., Puneekar, H. 2005. Reducing yarn hairiness in winding by means of jets: Optimisation of jet parameters, yarn linear density and winding speed. *Autex Research Journal*, 5(3), 127–132.
- Rengasamy, R. S., Kothari, V. K., Patnaik, A., Puneekar, H. 2006. Airflow simulation in nozzle for hairiness reduction of ring spun yarns. Part I: influence of airflow direction, nozzle distance, and air pressure. *Journal of the Textile Institute*, 97(1), 89–96.
- Rengasamy, R. S., Patanaik, A., Anandjiwala, R. D. 2008. Simulation of Airflow in Nozzle-ring Spinning using Computational Fluid Dynamics: Study on Reduction in Yarn Hairiness and the Role of Air Drag Forces and Angle of Impact of Air Current. *Textile Research Journal*, 78(5), 412–420.
- Rengasamy, R. S., Patnaik, A., Puneekar, H. 2006. Studies on reduction of yarn hairiness by nozzles in ring spinning and winding by airflow simulation. *Fibers and Polymers*, 7(3), 317–322.
- Rocklage-Marliani, G., Schmidts, M., Ram, V. I. V. 2003. Three-dimensional laser-Doppler velocimeter measurements in swirling turbulent pipe flow. *Flow, Turbulence and Combustion*, 70(1–4), 43–67.
- Sarpkaya, T. 1971a. On stationary and travelling vortex breakdowns. *Journal of Fluid Mechanics*, 45(3), 545–559.
- Sarpkaya, T. 1971b. Vortex breakdown in swirling conical flows. *AIAA journal*, 9(9), 1792–1799.
- Shang, S., Sun, na, yu, C., Chang, T., li, M. 2015. Optimization of nozzle structure parameters of vortex spinning. *Textile Research Journal*, 85(9), 998–1006.
- Sheen, H. J., Chen, W. J., Jeng, S. Y., Huang, T. L. 1996. Correlation of Swirl Number for a Radial-Type Swirl Generator. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 12(4), 444–451.
- Singh, N. K., Ramamurthi, K. 2009. Formation of Coanda jet from sharp-edged swirl nozzle with base plate. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(4), 675–682.
- Soltanipour, H., Mirzaei, I., Choupani, P. 2010. The Effect of Triangular Vortex Generators on Turbulent Flow and Heat Transfer in a Channel. *İçinde ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, İstanbul*, 505–510.

- Subramanian, S. N., Venkatachalam, A., Subramaniam, V. 2007. Effect of some nozzle parameters on the characteristics of jet ring-spun yarns. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 32(1), 47–52.
- Sun, L., Pei, Z. 2016. Effects of structural parameters on the tangentially injected swirling flow in concentric tubes with different lengths as a model of the vortex spinning nozzle. *Textile Research Journal*, 86(12), 1241–1258.
- Swithebanc, J., Chigier, N. A. 1969. Vortex mixing for supersonic combustion. *İçinde Symposium (International) on Combustion*, 12-16 October New York, 1153–1162.
- Syred, N., Beer, J. M. 1972a. Damping of precessing vortex cores by combustion in swirl generators. *Astronautica Acta*, 17(4), 783-799.
- Syred, N., Beer, J. M. 1972b. Vortex core precession in high swirl flows(Vortex core precession in water or air high swirl flows above critical Reynolds number). *Fluid machinery and fluidics*, 111–120.
- Syred, N., Beér, J. M. 1974. Combustion in swirling flows: A review. *Combustion and Flame*, 23(2), 143–201.
- Taşgetiren, M. A. 2019. İplikte Düzgünsüzlük Tayini. Erişim Tarihi: 03.05.2019. <https://www.kaygisiz.com/index.php/boya-terbiye-2/33-iplikte-duzgunsuzluk-tayini>.
- Türksoy, H. G., Akkaya, T., Vuruskan, D., Ustontag, S. 2018. A comparative analysis of air-jet yarn properties with the properties of ring spun yarns. *Industria Textila*, 69(1), 11–16.
- Uster Technologies AG. 2013. Uygulama Raporu: Tekstil Endüstrisi İçin Ortak Bir Kalite Dili. *Textile Technology*, 45s, İstanbul.
- Vonnegut, R. C. 1954. Experiments concerning the vortex whistle. *J Acoust Soc Am*, 35, 933–938.
- Wang, X., Miao, M., How, Y. 1997. Studies of JetRing Spinning Part I: Reducing Yarn Hairiness with the JetRing. *Textile Research Journal*, 67(4), 253–258.
- Wannassi, M., Monnoyer, F. 2015. Fluid flow and convective heat transfer of combined swirling and straight impinging jet arrays. *Applied Thermal Engineering*, 78, 62–73.
- Weber, R., Boysant, F., Swithenbankt, J., Roberts, P. A. 1986. Computations of near field aerodynamics of swirling expanding flows, 1435–1443.
- White, F. M., Kırkköprü, K., Ayder, E. 2006. Akışkanlar Mekaniği. *Literatür Yayıncılık* 910s, Ankara.

- Wilcox, D. C. 2002. Turbulence modeling for CFD. DCW Industries. Inc., 180p California, USA.
- Xue, W., Wei, M., Zhang, N., Cheng, L. 2012. Numerical simulation on the condensing effect of suction slot in compact spinning with lattice apron. *Journal of the Textile Institute*, 103(10), 1116–1126.
- Yilmaz, D., Usal, M. R. 2011a. A comparison of compact-jet, compact, and conventional ring-spun yarns. *Textile Research Journal*, 81(5), 459–470.
- Yilmaz, D., Usal, M. R. 2011b. Characterization of Jetring yarn structure and properties. *Science and Engineering of Composite Materials*, 18(3), 127–137.
- Yilmaz, D., Usal, M. R. 2012a. A study on siro-jet spinning system. *Fibers and Polymers*, 13(10), 1359–1367.
- Yilmaz, D., Usal, M. R. 2012b. Effect of Nozzle Structural Parameters on Hairiness of Compact-Jet Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(2), 56–65.
- Yilmaz, D., Usal, M. R. 2013a. Improvement in yarn hairiness by the siro-jet spinning method. *Textile Research Journal*, 83(10), 1081–1100.
- Yilmaz, D., Usal, M. R. 2013b. Investigation of Yarn Properties of Modified Yarn Spinning Systems with Air Nozzle Attachment. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 98(2), 43–50.
- Yılmaz, D. 2011. Yüksek Hızlı Hava Akımı ile Katlı İplik Üretim Prosesinin Geliştirilmesi ve Sayısal Modellenmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 330s, Isparta.
- Yüksel, Y. 2013. İleri Akışkanlar Mekaniği. Beta Basım Yayım, 804s, İstanbul.
- Zeng, Y. C., Yu, C. W. 2003. Numerical Simulation of Air Flow in the Nozzle of an Air-Jet Spinning Machine. *Textile Research Journal*, 73(4), 350–356.
- Zeng, Y. C., Yu, C. W. 2004. Numerical Simulation of Fiber Motion in the Nozzle of an Air-Jet Spinning Machine. *Textile Research Journal*, 74(2), 117–122.

EKLER

EK A. Düze konfigürasyonları

EK B. Modüler düze mil teğetlik ayarlama braketinin delik açısının belirlenmesi

EK C. Geometrik swirl sayısından faydalanılarak modüler düze çevresel enjektör adedinin belirlenmesi

EK D. Konvansiyonel hava düzeleri işletme maliyetleri

EK E. Kompresör içerisindeki havanın bağıl nem değerinin tespiti

EK F. Lineer/2FI cevap yüzey metodolojisi istatistikî veriler

EK G. Kuadratik cevap yüzey metodolojisi istatistikî veriler

EK H. Dördüncü seviyeden kuartik cevap yüzey metodolojisi istatistikî veriler

EK I. Konvansiyonel düzeler HAD akış parametreleri ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması

EK J. Modüler düze HAD ölçümleri

EK A. Düze Konfigürasyonları

Çizelge A.1. 3 enjektöre sahip düze konfigürasyonları

HAD analiz no	Fiziksel düze no	Büküm odası çapı	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)
		(mm)		
3E DP 1	1	2	0.5	20
3E DP 2	2			25
3E DP 3	3			30
3E DP 4	4			35
3E DP 5	5			40
3E DP 6	6		0.6	20
3E DP 7	7			25
3E DP 8	8			30
3E DP 9	9			35
3E DP 10	10			40
3E DP 11	11	2	0.7	20
3E DP 12	12			25
3E DP 13	13			30
3E DP 14	14			35
3E DP 15	15			40
3E DP 16	16		0.8	20
3E DP 17	17			25
3E DP 18	18			30
3E DP 19	19			35
3E DP 20	20			40
3E DP 21	21	2.5	0.9	20
3E DP 22	22			25
3E DP 23	23			30
3E DP 24	24			35
3E DP 25	25			40
3E DP 26	51		0.5	20
3E DP 27	52			25
3E DP 28	53			30
3E DP 29	54			35
3E DP 30	55			40
3E DP 31	56	2.5	0.6	20
3E DP 32	57			25
3E DP 33	58			30
3E DP 34	59		0.7	35
3E DP 35	60			40
3E DP 36	61			20
3E DP 37	62			25

Çizelge A.1. 3 enjektöre sahip düze konfigürasyonları (devam)

HAD analiz no	Fiziksel düze no	Büküm odası çapı	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)
		(mm)		
3E DP 38	63	2.5	0.7	30
3E DP 39	64			35
3E DP 40	65			40
3E DP 41	66			20
3E DP 42	67		0.8	25
3E DP 43	68			30
3E DP 44	69			35
3E DP 45	70			40
3E DP 46	71		0.9	20
3E DP 47	72			25
3E DP 48	73			30
3E DP 49	74			35
3E DP 50	75		0.5	40
3E DP 51	101			20
3E DP 52	102			25
3E DP 53	103			30
3E DP 54	104	3	0.6	35
3E DP 55	105			40
3E DP 56	106			20
3E DP 57	107			25
3E DP 58	108		0.7	30
3E DP 59	109			35
3E DP 60	110			40
3E DP 61	111			20
3E DP 62	112		0.8	25
3E DP 63	113			30
3E DP 64	114			35
3E DP 65	115			40
3E DP 66	116		0.9	20
3E DP 67	117			25
3E DP 68	118			30
3E DP 69	119			35
3E DP 70	120		0.8	40
3E DP 71	121			20
3E DP 72	122			25
3E DP 73	123			30
3E DP 74	124		0.9	35
3E DP 75	125			40

Çizelge A.2. 4 enjektöre sahip düze konfigürasyonları

HAD analiz no	Fiziksel düze no	Büküm odası çapı	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)
		(mm)		
4E DP 1	26	2	0.5	20
4E DP 2	27			25
4E DP 3	28			30
4E DP 4	29			35
4E DP 5	30			40
4E DP 6	31		0.6	20
4E DP 7	32			25
4E DP 8	33			30
4E DP 9	34			35
4E DP 10	35			40
4E DP 11	36	2	0.7	20
4E DP 12	37			25
4E DP 13	38			30
4E DP 14	39			35
4E DP 15	40			40
4E DP 16	41		0.8	20
4E DP 17	42			25
4E DP 18	43			30
4E DP 19	44			35
4E DP 20	45			40
4E DP 21	46	2.5	0.9	20
4E DP 22	47			25
4E DP 23	48			30
4E DP 24	49			35
4E DP 25	50			40
4E DP 26	76		0.5	20
4E DP 27	77			25
4E DP 28	78			30
4E DP 29	79			35
4E DP 30	80			40
4E DP 31	81		0.6	20
4E DP 32	82			25
4E DP 33	83			30
4E DP 34	84			35
4E DP 35	85			40
4E DP 36	86	2.5	0.7	20
4E DP 37	87			25
4E DP 38	88			30
4E DP 39	89			35
4E DP 40	90			40
4E DP 41	91		0.8	20

Çizelge A.2. 4 enjektöre sahip düze konfigürasyonları (devam)

HAD analiz no	Fiziksel düze no	Büküm odası çapı	Enjektör çapı (mm)	Enjektör açısı (°)
		(mm)		
4E DP 42	92	2.5	0.8	25
4E DP 43	93			30
4E DP 44	94			35
4E DP 45	95			40
4E DP 46	96			20
4E DP 47	97		0.9	25
4E DP 48	98			30
4E DP 49	99			35
4E DP 50	100			40
4E DP 51	126			20
4E DP 52	127	3	0.5	25
4E DP 53	128			30
4E DP 54	129			35
4E DP 55	130			40
4E DP 56	131			20
4E DP 57	132		0.6	25
4E DP 58	133			30
4E DP 59	134			35
4E DP 60	135			40
4E DP 61	136			20
4E DP 62	137		0.7	25
4E DP 63	138			30
4E DP 64	139			35
4E DP 65	140			40
4E DP 66	141			20
4E DP 67	142	3	0.8	25
4E DP 68	143			30
4E DP 69	144			35
4E DP 70	145			40
4E DP 71	146			20
4E DP 72	147		0.9	25
4E DP 73	148			30
4E DP 74	149			35
4E DP 75	150			40

EK B. Modüler Düze Mil Teğetlik Ayarlama Braketi Delik Açısının Belirlenmesi

Çizelge B.1. Mil teğetlik ayarlama braketi delik açısı belirleme tablosu

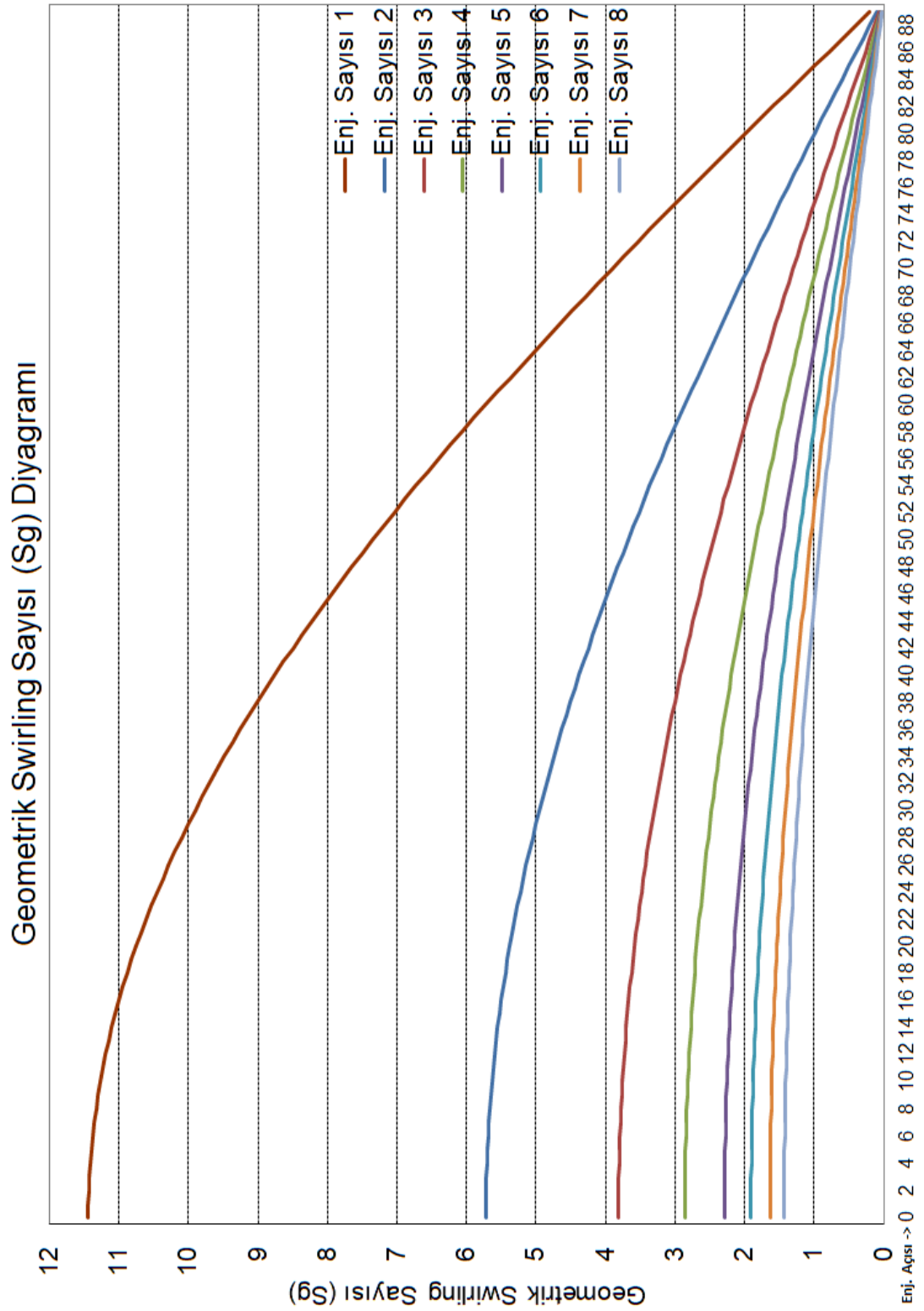
Büküm odası çapı	Enjektör çapı	Mil teğetlik braketi delik konumlandırma açısı
(mm)	(mm)	(°)
Ø2	Ø1	6.5
	Ø0.9	7
	Ø0.8	8
	Ø0.7	8.5
	Ø0.6	9.5
	Ø0.5	10
Ø2.5	Ø1	10
	Ø0.9	11
	Ø0.8	11.5
	Ø0.7	12.5
	Ø0.6	13
	Ø0.5	14
Ø3	Ø1	14
	Ø0.9	15
	Ø0.8	15.5
	Ø0.7	16.5
	Ø0.6	17.5
	Ø0.5	18
Ø3.5	Ø1	18
	Ø0.9	19
	Ø0.8	19.5
	Ø0.7	20.5
	Ø0.6	21.5
	Ø0.5	22.5

EK C. Geometrik Swirl Sayısından Faydalanılarak Modüler Düze Çevresel Enjektör Adedinin Belirlenmesi

Hava düzelerinin büküm odası çapı, enjektör çapı, enjektör açısı, enjektör sayısı gibi bazı geometrik parametreler değişebilmektedir. Bu parametreler geometrik swirl sayısını ve bu nedenle helisel dönüş yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir.

Şekil C.1’de enjektörlerden sağlanan toplam kütleli debi 0.0008399 kg/s, büküm odası kesit çıkışındaki toplam kütleli debi 0.0005890 kg/s, büküm odası çapı Ø3 mm, enjektör çapı Ø0.5 mm olarak seçilerek enjektör sayısı 1-8, enjektör açıları da 1° aralıklarla 1° ile 90° aralığında belirlenerek geometrik swirl sayısı hesaplanmıştır (Şekil C.1, C.2). Dikkat edilmelidir ki bu hesaplama yaklaşık bir hesaplama. Enjektörlerdeki ve büküm odası çıkış kesidindeki kütleli debi değerleri, düze yapısal konfigürasyonlarına göre de değişmektedir. Kesin geometrik swirl sayıları hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz sonuçlarına göre hesaplanmış ve bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

Toplam Kütlesel Debi Enjektörler	Toplam Kütlesel Debi Büküm Odası Kesidi (Çıkış)	Büküm Odası Çapı	Enjektör Çapı	Enjektör açısı	θ (Yatayla yapılan açı)	Sin Teta	Enj. Sayısı 1	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 2	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 3	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 4	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 5	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 6	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 7	Geo. Swirl Sayısı	Enj. Sayısı 8	Geo. Swirl Sayısı
mt	Mt	D	d	°	°	sin °	N	Sg	N	Sg	N	Sg	N	Sg	N	Sg	N	Sg	N	Sg	N	Sg
0.0003722	0.0006602	3	0.5	0	90	1.000	1	11.44	2	5.72	3	3.81	4	2.86	5	2.29	6	1.91	7	1.63	8	1.43
				1	89	1.000		11.44		5.72		3.81		2.86		2.29		1.91		1.63		1.43
	0.963762588			2	88	0.999		11.43		5.72		3.81		2.86		2.29		1.91		1.63		1.43
				3	87	0.999		11.43		5.71		3.81		2.86		2.29		1.90		1.63		1.43
				4	86	0.998		11.41		5.71		3.80		2.85		2.28		1.90		1.63		1.43
				5	85	0.996		11.40		5.70		3.80		2.85		2.28		1.90		1.63		1.42
Swirling Sayısı Denklemi (Guo, 2011) $S_g = \left(\frac{m_k}{M_t} \right)^2 \left(\frac{D}{d} \right)^3 \frac{\sin \theta}{N}$				6	84	0.995		11.38		5.69		3.79		2.84		2.28		1.90		1.63		1.42
				7	83	0.993		11.36		5.68		3.79		2.84		2.27		1.89		1.62		1.42
				8	82	0.990		11.33		5.67		3.78		2.83		2.27		1.89		1.62		1.42
				9	81	0.988		11.30		5.65		3.77		2.83		2.26		1.88		1.61		1.41
				10	80	0.985		11.27		5.63		3.76		2.82		2.25		1.88		1.61		1.41
				11	79	0.982		11.23		5.62		3.74		2.81		2.25		1.87		1.60		1.40
				12	78	0.978		11.19		5.60		3.73		2.80		2.24		1.87		1.60		1.40
				13	77	0.974		11.15		5.57		3.72		2.79		2.23		1.86		1.59		1.39
				14	76	0.970		11.10		5.55		3.70		2.78		2.22		1.85		1.59		1.39
				15	75	0.966		11.05		5.53		3.68		2.76		2.21		1.84		1.58		1.38
				16	74	0.961		11.00		5.50		3.67		2.75		2.20		1.83		1.57		1.37
				17	73	0.956		10.94		5.47		3.65		2.74		2.19		1.82		1.56		1.37
				18	72	0.951		10.88		5.44		3.63		2.72		2.18		1.81		1.55		1.36
				19	71	0.946		10.82		5.41		3.61		2.70		2.16		1.80		1.55		1.35
				20	70	0.940		10.75		5.38		3.58		2.69		2.15		1.79		1.54		1.34
				21	69	0.934		10.68		5.34		3.56		2.67		2.14		1.78		1.53		1.34
				22	68	0.927		10.61		5.30		3.54		2.65		2.12		1.77		1.52		1.33
				23	67	0.921		10.53		5.27		3.51		2.63		2.11		1.76		1.50		1.32
				24	66	0.914		10.45		5.23		3.48		2.61		2.09		1.74		1.49		1.31
				25	65	0.906		10.37		5.18		3.46		2.59		2.07		1.73		1.48		1.30
				26	64	0.899		10.28		5.14		3.43		2.57		2.06		1.71		1.47		1.29
				27	63	0.891		10.19		5.10		3.40		2.55		2.04		1.70		1.46		1.27
				28	62	0.883		10.10		5.05		3.37		2.53		2.02		1.68		1.44		1.26
				29	61	0.875		10.01		5.00		3.34		2.50		2.00		1.67		1.43		1.25
				30	60	0.866		9.91		4.95		3.30		2.48		1.98		1.65		1.42		1.24
				31	59	0.857		9.81		4.90		3.27		2.45		1.96		1.63		1.40		1.23
				32	58	0.848		9.70		4.85		3.23		2.43		1.94		1.62		1.39		1.21
				33	57	0.839		9.60		4.80		3.20		2.40		1.92		1.60		1.37		1.20
				34	56	0.829		9.49		4.74		3.16		2.37		1.90		1.58		1.36		1.19
				35	55	0.819		9.37		4.69		3.12		2.34		1.87		1.56		1.34		1.17
				36	54	0.809		9.26		4.63		3.09		2.31		1.85		1.54		1.32		1.16
				37	53	0.799		9.14		4.57		3.05		2.28		1.83		1.52		1.31		1.14
				38	52	0.788		9.02		4.51		3.01		2.25		1.80		1.50		1.29		1.13
				39	51	0.777		8.89		4.45		2.96		2.22		1.78		1.48		1.27		1.11
				40	50	0.766		8.76		4.38		2.92		2.19		1.76		1.46		1.25		1.10
				41	49	0.755		8.64		4.32		2.88		2.16		1.73		1.44		1.23		1.08
				42	48	0.743		8.50		4.25		2.83		2.13		1.70		1.42		1.21		1.06
				43	47	0.731		8.37		4.18		2.79		2.09		1.67		1.39		1.20		1.05
				44	46	0.719		8.23		4.12		2.74		2.06		1.65		1.37		1.18		1.03
				45	45	0.707		8.09		4.05		2.70		2.02		1.62		1.35		1.16		1.01
				46	44	0.695		7.96		3.97		2.65		1.99		1.59		1.32		1.14		0.99
				47	43	0.682		7.80		3.90		2.60		1.95		1.56		1.30		1.11		0.98
				48	42	0.669		7.66		3.83		2.55		1.91		1.53		1.28		1.09		0.96
				49	41	0.656		7.51		3.75		2.50		1.88		1.50		1.25		1.07		0.94
				50	40	0.643		7.36		3.68		2.45		1.84		1.47		1.23		1.05		0.92
				51	39	0.629		7.20		3.60		2.40		1.80		1.44		1.20		1.03		0.90
				52	38	0.616		7.04		3.52		2.35		1.76		1.41		1.17		1.01		0.88
				53	37	0.602		6.89		3.44		2.30		1.72		1.38		1.15		0.98		0.86
				54	36	0.588		6.73		3.36		2.24		1.68		1.35		1.12		0.96		0.84
				55	35	0.574		6.56		3.28		2.19		1.64		1.31		1.09		0.94		0.82
				56	34	0.559		6.40		3.20		2.13		1.60		1.28		1.07		0.91		0.80
				57	33	0.545		6.23		3.12		2.08		1.56		1.25		1.04		0.89		0.78
				58	32	0.530		6.06		3.03		2.02		1.52		1.21		1.01		0.87		0.76
				59	31	0.515		5.89		2.95		1.96		1.47		1.18		0.98		0.84		0.74
				60	30	0.500		5.72		2.86		1.91		1.43		1.14		0.95		0.82		0.72
				61	29	0.485		5.55		2.77		1.85		1.39		1.11		0.92		0.79		0.69
				62	28	0.469		5.37		2.69		1.79		1.34		1.07		0.90		0.77		0.67
				63	27	0.454		5.19		2.60		1.73		1.30		1.04		0.87		0.74		0.65
				64	26	0.438		5.02		2.51		1.67		1.25		1.00		0.84		0.72		0.63
				65	25	0.423		4.84		2.42		1.61		1.21		0.97		0.81		0.69		0.60
				66	24	0.407		4.65		2.33		1.55		1.16		0.93		0.78		0.66		0.58
				67	23	0.391		4.47		2.24		1.49		1.12		0.89		0.75		0.64		0.56
				68	22	0.375		4.29		2.14		1.43		1.07		0.86		0.71		0.61		0.54
				69	21	0.358		4.10		2.05		1.37		1.03		0.82		0.68		0.59		0.51
				70	20	0.342		3.91		1.96		1.30		0.98		0.78		0.65		0.56		0.49
				71	19	0.326		3.73		1.86		1.24		0.93		0.75		0.62		0.53		0.47
				72	18	0.309		3.54		1.77		1.18		0.88		0.71		0.59		0.51		0.44
				73	17	0.292		3.35		1.67		1.12		0.84		0.67		0.56		0.48		0.42
				74	16	0.276		3.15		1.58		1.05										



Şekil C.2. Düze geometrisi için geometrik swirl sayısı (Sg) grafiği

Şekil C.2'deki bu hesaplama sonuçları, Şekil 3.23'de grafik haline getirilmiştir. Arzu edilen geometrik swirl sayısı grafikten seçilerek, uygun enjektör sayısı ve enjektör açısı tayin edilebilir.

Şekil C.2'deki verilere ve dolaylı olarak Şekil 3.23'deki grafik sonuçlara göre, büküm odası çapı $\varnothing 3$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.5$ mm, çevresel 4 enjektöre ve 45° ($\theta=45^\circ$) enjektör açısına sahip düze konfigürasyonunun geometrik swirl sayısı $S_g=2.02$ 'dir. Büküm odası çapı $\varnothing 3$ mm, enjektör çapı $\varnothing 0.5$ mm, çevresel 3 enjektöre ve 58° enjektör açısına sahip ($\theta=90^\circ-58^\circ=32^\circ$) düze konfigürasyonunun geometrik swirl sayısı ise $S_g=2.02$ 'dir. Bu iki düze konfigürasyonunun geometrik swirl sayıları eşit olduğu görülmektedir. Böylece çevresel 4 yada daha fazla enjektör adedinin geometrik swirl sayısı karşılığı olarak çevresel 3 adet enjektöre sahip düze konfigürasyonu oluşturulabilir ve bu konfigürasyon var olan modüler düze tasarımında uygulanabilir.

Çevresel 4 ve üstü enjektör sayısına göre bir modüler düze üretilse dahi mekanizmanın boyutu büyüyecek, maliyeti artacak ve daha karmaşık bir mekanizma haline gelecektir, ayarı ve bakımı güçleşecektir. Bütün bu nedenlerden dolayı çevresel 3 adet enjektör, modüler düze için optimum bir değer olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen modüler düze tasarımında çevresel enjektör adedinin arttırılması mümkün olmamasına rağmen arzu edildiğinde 1 veya 2 adet enjektörü kör enjektör ile değiştirilerek veya bu enjektörlere giden hava akımı kesilerek çevresel enjektör sayısı 2 ya da 1'e indirgenebilir.

EK D. Konvansiyonel Hava Düzeleri İşletme Maliyetleri

Hava düzelerinin çalışabilmesi için sadece basınçlı hava verilmesi yeterlidir. Basınçlı havanın sağlanması için de kompresör (ya da blower, radyal fan gibi benzer mantıkla çalışan bir basınçlı hava sağlayıcısı) gerekmektedir. Kompresör (veya farklı bir basınçlı hava sağlayıcı) ise bu havayı sağlamak için elektrik enerjisi harcamaktadır. Hava düzeleri debi ölçümlerine göre, 125 kPa gösterge basıncında çeşitli düze konfigürasyonlarına göre minimum 27.3 lt/dak, maksimum 37.5 lt/dak olmak üzere ortalama 31.4 lt/dak hava tüketmektedir. Maliyet hesaplarında hava tüketimini hesaplarken en yüksek değer olan 37.5 lt/dak değeri göz önüne alınmıştır.

Enerji maliyetlerini hesaplamak için önce kompresör seçimini yapmak gerekmektedir. Hesaplamalar için 5.5 kW (7.5 hp) gücünde pistonlu kompresör seçilmiş ve seçilen kompresöre ait teknik veriler, Çizelge D.1’de verilmiştir.

Çizelge D.1. 5.5 kW (7.5 hp) gücünde seçilen pistonlu kompresörün teknik verileri

Motor gücü	5.5 kW / 7.5 Hp
Voltaj	380V
Serbest hava emişi	985 lt/dak
Motor devri	973 dev/dak
Tank kapasitesi	500 lt
Çalışma basıncı	800 kPa
Piston adedi	3
Ebatlar	205* 70* 140 cm
Ağırlık	238 kg

Şekil 3.30’da verilen Festo VPPE 3-1-1/8-6-420-E1 oransal basınç regülatörü hacimsel debi-basınç kaybı grafiğine göre oransal valfin çalışabilmesi için giriş basıncının $p_1=800$ kPa olması gerekmektedir. Bu yüzden çalışma basıncı 800 kPa olan bir kompresör seçilmiştir. Seçilen bu kompresörde bir adet düzenin harcadığı maksimum hacimsel debi miktarı olan 37.5 lt/dak ele alınarak hesaplama yapıldığında maksimum beslenebilecek düze sayısı:

$$DS_{max} = \frac{\text{Komp.serbest hava emişi}}{1 \text{ adet düze hava tüketim miktarı}} = \frac{985}{37.5} \cong 26 \text{ adet} \quad (D.1)$$

Burada, DS_{max} kompresörün besleyebileceği maksimum düze sayısı olup bu sayı 26 olarak hesaplanmıştır.

Kompresörün harcadığı elektrik enerjisi:

$$E_{komp} = P_{komp} \cdot t = 5.5 \text{ kW} \cdot 1 \text{ saat} = 5.5 \text{ kW saat} \quad (D.2)$$

Burada, E_{komp} kompresörün harcadığı elektrik enerjisi, P_{komp} kompresörün motor gücü, t ise kompresörün çalışma zamanıdır.

Bir adet hava düzesine harcanan elektirik enerjisi:

$$E_{düze} = \frac{E_{komp}}{DS_{max}} = \frac{5.5 \text{ kW saat}}{\sim 26} \cong 0.212 \text{ kW saat} \quad (D.3)$$

Burada, $E_{düze}$ bir adet hava düzesine harcanan elektirik enerjisidir.

Düzeler için harcanan toplam elektrik enerjisi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$E_{düze_top} \cong E_{düze} \cdot DS \cdot t \quad (D.4)$$

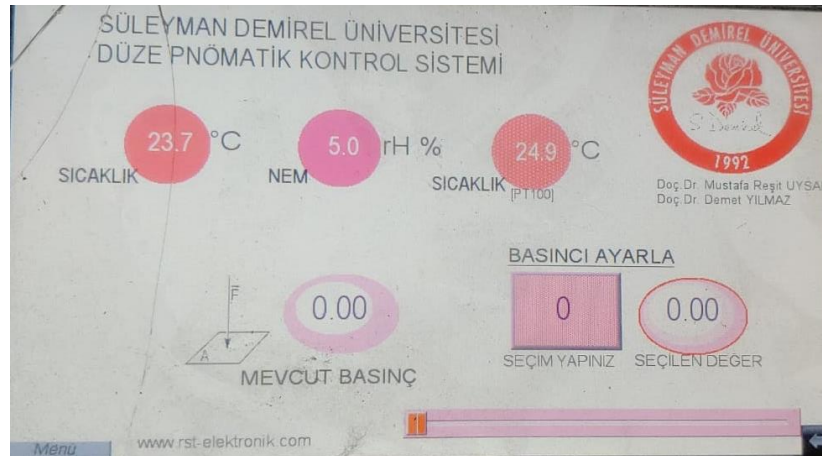
EK E. Kompresör İçerisindeki Havanın Bağıl Nem Değerinin Tespiti

İplik üretiminde düzeye beslenen havanın nem değerinin tespiti, hesaplamalı akışkanlar mekaniği analizi başlangıç koşullarının tayini için önem arz etmektedir. Bunun için bir bağıl nem tespit aparatı tasarlanmış (Şekil E.1) ve E+E marka EE160 sıcaklık ve bağıl nem sensörü (Şekil 3.23) bu aparat içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil E.1. Bağıl nem ölçüm aparatı

Bu aparat yardımıyla düzeye beslenen havanın bağıl nemi %5 olarak ölçülmüştür (Şekil E.2). Bu değer, düzeye beslenen havanın ihmal edilebilecek kadar düşük bir bağıl nem değerine sahip olduğunu ve kuru hava olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.



Şekil E.2. Bağıl nem ölçüm sonucu

EK F. Lineer/2FI Cevap Yüzey Metodolojisi İstatistik Veriler

Çizelge F.1. İplik tüylülüğü model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R ²	Öngörülen R ²	Önerilen model
Lineer	0.0082	0.4193	0.2417	Önerilmiştir
2FI	0.7671	0.3434	-0.2457	
Kuadratik	0.9422	0.2890	-0.5888	Tanımlanamamıştır

Çizelge F.2. İplik tüylülüğü lineer model istatistikleri

Standart sapma	0.2285
Ortalama	5.9570
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	3.8351
R ²	0.5110
Düzenlenmiş R ²	0.4193
Öngörülen R ²	0.2417
Yeterli hassasiyet	6.7144

Çizelge F.3. Lineer model için yapılan iplik tüylülüğüne ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	0.8727	3	0.2909	5.57	0.0082	Anlamlı
A-Enjektör adedi	0.7144	1	0.7144	13.69	0.0019	
B-Basınç	0.0583	1	0.0583	1.12	0.3062	
C-Enjektör açısı	0.1	1	0.1	1.92	0.1853	
Artıklar	0.8351	16	0.0522			

Çizelge F.4. İplik düzgünsüzlüğü model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R ²	Öngörülen R ²	Önerilen model
Lineer	0.0003	0.6256	0.5281	Önerilmiştir
2FI	0.3386	0.6411	0.4330	
Kuadratik	0.8327	0.6127	0.3346	Tanımlanamamıştır

Çizelge F.5. İplik düzgünsüzlüğü lineer model istatistikleri

Standart sapma	0.2252
Ortalama	12.8665

Çizelge F.5. İplik düzgünsüzlüğü lineer model istatistikleri (devam)

Varyasyon katsayısı (%C.V.)	1.7501
R^2	0.6847
Düzenlenmiş R^2	0.6256
Öngörülen R^2	0.5281
Yeterli hassasiyet	7.3383

Çizelge F.6. Lineer model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	1.76	3	0.5874	11.58	0.0003	Anlamlı
A-Enjektör adedi	1.72	1	1.72	33.98	< 0.0001	
B-Basınç	0.0186	1	0.0186	0.3669	0.5532	
C-Enjektör açısı	0.0207	1	0.0207	0.4083	0.5319	
Artıklar	0.8113	16	0.0507			

Çizelge F.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.0308	0.3080	0.1114	Önerilmiştir
2FI	0.7478	0.2221	-0.1932	
Kuadratik	0.2464	0.2501	-0.1358	Tanımlanamamıştır

Çizelge F.8. Kopma uzaması lineer model istatistikleri

Standart sapma	0.2212
Ortalama	5.1018
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	4.3360
R^2	0.4173
Düzenlenmiş R^2	0.3080
Öngörülen R^2	0.1114
Yeterli hassasiyet	3.4570

Çizelge F.9. İplik mukavemeti model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.0704	0.2259	0.0039	Önerilmiştir
2FI	0.4405	0.2201	-0.2710	
Kuadratik	0.8040	0.1596	-0.5254	Tanımlanamamıştır

Çizelge F.10. İplik mukavemeti lineer model istatistikleri

Standart sapma	0.6360
Ortalama	14.0612
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	4.5229
R^2	0.3481
Düzenlenmiş R^2	0.2259
Öngörülen R^2	0.0039
Yeterli hassasiyet	5.1017

Çizelge F.11. Lineer model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	3.46	3	1.15	2.85	0.0704	Anlamlı değil
A-Enjektör adedi	0.1425	1	0.1425	0.3522	0.5611	
B-Basınç	0.114	1	0.114	0.2819	0.6028	
C-Enjektör açısı	3.2	1	3.2	7.91	0.0125	
Artıklar	6.47	16	0.4045			

EK G. Kuadratik Cevap Yüzey Metodolojisi İstatistiki Veriler

Çizelge G.1. İplik tüylülüğü model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R ²	Öngörülen R ²	Önerilen model
Lineer	< 0.0001	0.3774	0.3354	
2FI	0.8347	0.3581	0.2877	
Kuadratik	0.0004	0.4934	0.4089	Önerilmiştir
Kübik	0.0842	0.5452	0.4135	Tanımlanamamıştır

Çizelge G.2. İplik tüylülüğü kuadratik model istatistikleri

Standart sapma	0.2658
Ortalama	6.06
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	4.39
R ²	0.555
Düzenlenmiş R ²	0.4934
Öngörülen R ²	0.4089
Yeterli hassasiyet	11.077

Çizelge G.3. Kuadratik model için yapılan iplik tüylülüğüne ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	5.73	9	0.6364	9.01	< 0.0001	Anlamlı
A-Büküm odası çapı	2.8400	1.0000	2.8400	40.1500	< 0.0001	
B-Enjektör çapı	0.2799	1.0000	0.2799	3.9600	0.0507	
C-Enjektör açısı	1.0400	1.0000	1.0400	14.7000	0.0003	
AB	0.0650	1.0000	0.0650	0.9204	0.3409	
AC	0.0083	1.0000	0.0083	0.1172	0.7332	
BC	0.0037	1.0000	0.0037	0.0530	0.8186	
A ²	0.8468	1.0000	0.8468	11.9900	0.001	
B ²	0.5170	1.0000	0.5170	7.3200	0.0087	
C ²	0.1318	1.0000	0.1318	1.8600	0.1768	
Artıklar	4.59	65	0.0707			

Çizelge G.4. İplik düzgünsüzlüğü model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.0458	0.0682	0.0112	
2FI	0.5248	0.0583	-0.0291	
Kuadratik	0.0082	0.1771	0.0884	Önerilmiştir
Kübik	0.5242	0.1666	-0.0121	Tanımlanamamıştır

Çizelge G.5. İplik düzgünsüzlüğü kuadratik model istatistikleri

Standart sapma	0.2923
Ortalama	13.02
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	2.24
R^2	0.2772
Düzenlenmiş R^2	0.1771
Öngörülen R^2	0.0884
Yeterli hassasiyet	6.9773

Çizelge G.6. Kuadratik model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	2.13	9	0.2366	2.77	0.0083	Anlamlı
A-Büküm odası çapı	0.0141	1	0.0141	0.1652	0.6857	
B-Enjektör çapı	0.5655	1	0.5655	6.6200	0.0124	
C-Enjektör açısı	0.2344	1	0.2344	2.7400	0.1024	
AB	0.0004	1	0.0004	0.0052	0.9429	
AC	0.2190	1	0.2190	2.5600	0.1142	
BC	0.0011	1	0.0011	0.0131	0.9091	
A^2	0.0000	1	0.0000	0.0003	0.9867	
B^2	0.9779	1	0.9779	11.4500	0.0012	
C^2	0.1167	1	0.1167	1.3700	0.2468	
Artıklar	5.55	65	0.0854			

Çizelge G.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.0011	0.1680	0.1062	
2FI	0.8450	0.1416	0.0293	

Çizelge G.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu (devam)

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Kuadratik	< 0.0001	0.4482	0.3544	Önerilmiştir
Kübik	0.0330	0.5286	0.3593	Tanımlanamamıştır

Çizelge G.8. Kopma uzaması kuadratik model istatistikleri

Standart sapma	0.2838
Ortalama	5.07
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	5.59
R^2	0.5153
Düzenlenmiş R^2	0.4482
Öngörülen R^2	0.3544
Yeterli hassasiyet	11.0434

Çizelge G.9. Kuadratik model için yapılan kopma uzamasına ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	5.57	9	0.6185	7.68	< 0.0001	Anlamlı
A-Büküm odası çapı	1.83	1	1.83	22.71	< 0.0001	
B-Enjektör çapı	0.0079	1	0.0079	0.0987	0.7544	
C-Enjektör açısı	0.3422	1	0.3422	4.25	0.0433	
AB	0.0879	1	0.0879	1.09	0.3002	
AC	0.0135	1	0.0135	0.1682	0.6831	
BC	0.0011	1	0.0011	0.0132	0.909	
A^2	0.461	1	0.461	5.72	0.0196	
B^2	2.51	1	2.51	31.21	< 0.0001	
C^2	0.3087	1	0.3087	3.83	0.0546	
Artıklar	5.24	65	0.0806			

Çizelge G.10. İplik mukavemeti model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.1859	0.0256	-0.0464	
2FI	0.6762	0.0051	-0.1254	
Kuadratik	0.1545	0.0393	-0.1562	Önerilmiştir
Kübik	0.0059	0.2452	-0.0836	Tanımlanamamıştır

Çizelge G.11. İplik mukavemeti kuadratik model istatistikleri

Standart sapma	0.9119
Ortalama	14.42
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	6.32
R^2	0.1263
Düzenlenmiş R^2	0.0894
Öngörülen R^2	0.0286
Yeterli hassasiyet	5.5500

Çizelge G.12. Kuadratik model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	8.54	3	2.85	3.42	0.0217	Anlamlı
A-Büküm odası çapı	2.51	1	2.51	3.01	0.0869	
C-Enjektör Açısı	1.85	1	1.85	2.22	0.1406	
A^2	4.19	1	4.19	5.03	0.028	
Artıklar	59.05	71	0.8317			

EK H. Dördüncü Seviyeden Kuartik Cevap Yüzey Metodolojisi İstatistiki Veriler

Çizelge H.1. İplik tüylülüğü model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.1228	0.0985	-0.0514	
2FI	0.7051	0.0621	-0.1378	
Kuadratik	0.3657	0.0676	-0.2498	
Kübik	0.3581	0.1021	-0.3296	
Dördüncü seviyeden kuartik	0.0836	0.5628	0.3474	Önerilmiştir
5. Dereceden	0.1954	0.6065	-4.7651	Tanımlanamamıştır

Çizelge H.2. İplik tüylülüğü dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri

Standart sapma	0.2225
Ortalama	5.8968
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	3.7733
R^2	0.6903
Düzenlenmiş R^2	0.5628
Öngörülen R^2	0.3474
Yeterli hassasiyet	8.2151

Çizelge H.3. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik tüylülüğüne ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	1.8800	7	0.2680	5.4100	0.0021	Anlamlı
A-Enjektör çapı	0.0802	1	0.0802	1.6200	0.2202	
B-Enjektör açısı	0.5977	1	0.5977	12.0700	0.0029	
A^2	0.6418	1	0.6418	12.9600	0.0022	
B^2	0.0704	1	0.0704	1.4200	0.2494	
A^3	0.0662	1	0.0662	1.3400	0.2634	
B^3	0.3378	1	0.3378	6.8200	0.0182	
A^4	0.7760	1	0.7760	15.6700	0.0010	
Artıklar	0.8416	17	0.0495			

Çizelge H.4. İplik düzgünsüzlüğü model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R^2	Öngörülen R^2	Önerilen model
Lineer	0.0210	0.2321	0.1016	
2FI	0.3927	0.2237	0.0755	
Kuadratik	0.1984	0.2763	0.1023	
Kübik	0.9979	0.0910	-0.3721	
Dördüncü seviyeden kuartik	0.0005	0.8092	0.4575	Önerilmiştir
5. Dereceden	0.0124	0.9518	0.1837	Tanımlanamamıştır

Çizelge H.5. İplik düzgünsüzlüğü dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri

Standart sapma	0.1619
Ortalama	13.0352
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	1.2418
R^2	0.9205
Düzenlenmiş R^2	0.8092
Öngörülen R^2	0.4575
Yeterli hassasiyet	11.0497

Çizelge H.6. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	3.03	14	0.2168	8.27	0.001	Anlamlı
A-Enjektör çapı	0.027	1	0.027	1.03	0.3341	
B-Enjektör açısı	0.0525	1	0.0525	2	0.1872	
AB	0.1065	1	0.1065	4.06	0.0715	
A^2	1.04	1	1.04	39.6	< 0.0001	
B^2	0.0834	1	0.0834	3.18	0.1048	
A^2B	0.0091	1	0.0091	0.3481	0.5683	
AB^2	0.001	1	0.001	0.0373	0.8507	
A^3	0.0048	1	0.0048	0.1833	0.6777	
B^3	0.0008	1	0.0008	0.0305	0.8648	
A^2B^2	0.0263	1	0.0263	1	0.3401	
A^3B	0.0049	1	0.0049	0.187	0.6746	
AB^3	0.093	1	0.093	3.55	0.0889	

Çizelge H.6. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik düzgünsüzlüğüne ait ANOVA analizi (devam)

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri
A ⁴	1.39	1	1.39	52.92	< 0.0001
B ⁴	0.1001	1	0.1001	3.82	0.0791
Artıklar	0.262	10	0.0262		

Çizelge H.7. Kopma uzaması model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R ²	Öngörülen R ²	Önerilen model
Lineer	0.4910	-0.0226	-0.1988	
2FI	0.9400	-0.0710	-0.2873	
Kuadratik	0.2497	-0.0229	-0.3408	
Kübik	0.0586	0.2685	-0.0708	
Dördüncü seviyeden kuartik	0.0310	0.7270	0.5481	Önerilmiştir
5. Dereceden	0.1137	0.7929	-0.8816	Tanımlanamamıştır

Çizelge H.8. Kopma uzaması dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri

Standart sapma	0.1432
Ortalama	5.21
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	2.75
R ²	0.8294
Düzenlenmiş R ²	0.7270
Öngörülen R ²	0.5481
Yeterli hassasiyet	11.726

Çizelge H.9. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan ANOVA analizi (kopma uzaması)

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri
Model	1.5	9	0.1661	8.1	0.0002 Anlamlı
A-Enjektör çapı	0.12	1	0.12	5.85	0.0287
B-Enjektör açısı	0.0485	1	0.0485	2.37	0.1448
AB	0.0005	1	0.0005	0.0228	0.8821
A ²	0.4325	1	0.4325	21.09	0.0004
B ²	0.1245	1	0.1245	6.07	0.0263

Çizelge H.9. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan ANOVA analizi
(kopma uzaması) (devam)

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri
AB ²	0.2064	1	0.2064	10.07	0.0063
A ³	0.3023	1	0.3023	14.74	0.0016
B ³	0.1199	1	0.1199	5.85	0.0288
A ⁴	0.5235	1	0.5235	25.53	0.0001
Artıklar	0.3076	15	0.0205		

Çizelge H.10. İplik mukavemeti model seçim özet tablosu

Model	Sıralı p değeri	Düzenlenmiş R ²	Öngörülen R ²	Önerilen model
Lineer	0.5539	-0.0339	-0.2049	
2FI	0.4588	-0.0545	-0.2495	
Kuadratik	0.3814	-0.0530	-0.3784	
Kübik	0.0090	0.4301	0.1783	Önerilmiştir
Dördüncü seviyeden kuartik	0.9143	0.2498	-0.8973	
5. Dereceden	0.2491	0.4303	-3.3439	Tanımlanamamıştır

Çizelge H.11. İplik mukavemeti dördüncü seviyeden kuartik model istatistikleri

Standart sapma	0.7364
Ortalama	14.37
Varyasyon katsayısı (%C.V.)	5.13
R ²	0.6438
Düzenlenmiş R ²	0.4301
Öngörülen R ²	0.1783
Yeterli hassasiyet	6.2332

Çizelge H.12. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	14.7	9	1.63	3.01	0.0287	Anlamlı
A-Enjektör çapı	2.98	1	2.98	5.5	0.0332	
B-Enjektör açısı	1.13	1	1.13	2.09	0.1691	
AB	0.5715	1	0.5715	1.05	0.3209	

Çizelge H.12. Dördüncü seviyeden kuartik model için yapılan iplik mukavemetine ait ANOVA analizi (devam)

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri
A^2	1.85	1	1.85	3.42	0.0843
B^2	0.1799	1	0.1799	0.3318	0.5731
A^2B	0.3393	1	0.3393	0.6257	0.4413
AB^2	3.02	1	3.02	5.56	0.0324
A^3	7.21	1	7.21	13.3	0.0024
B^3	0.34	1	0.34	0.6269	0.4408
Artıklar	8.13	15	0.5423		

EK I. Konvansiyonel Düzeler HAD Akış Parametreleri ile İplik Tüylülüğü Ölçümünün Kıyaslanması

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel) (H)
	(kg/s)	(kg/s)		(kg/s)	(kg/s)	
KD 3E DP 1	0.000308	0.000862	0.000041	-0.000349	-0.000317	6.51
KD 3E DP 2	0.000315	0.000903	0.000055	-0.000370	-0.000330	6.37
KD 3E DP 3	0.000324	0.000913	0.000069	-0.000392	-0.000347	6.19
KD 3E DP 4	0.000338	0.000895	0.000081	-0.000419	-0.000343	5.81
KD 3E DP 5	0.000355	0.000922	0.000088	-0.000444	-0.000357	5.94
KD 3E DP 6	0.000435	0.000958	-0.000009	-0.000427	-0.000333	5.89
KD 3E DP 7	0.000449	0.000937	0.000000	-0.000448	-0.000325	6.29
KD 3E DP 8	0.000459	0.000962	0.000008	-0.000466	-0.000363	5.76
KD 3E DP 9	0.000473	0.000952	0.000014	-0.000487	-0.000375	5.52
KD 3E DP 10	0.000495	0.000988	0.000020	-0.000515	-0.000413	5.88
KD 3E DP 11	0.000574	0.000995	-0.000076	-0.000498	-0.000327	6.51
KD 3E DP 12	0.000584	0.001012	-0.000065	-0.000520	-0.000377	6.41
KD 3E DP 13	0.000600	0.001008	-0.000063	-0.000537	-0.000418	6.23
KD 3E DP 14	0.000615	0.001027	-0.000055	-0.000560	-0.000413	5.88
KD 3E DP 15	0.000655	0.001027	-0.000053	-0.000602	-0.000452	5.91
KD 3E DP 16	0.000731	0.001040	-0.000154	-0.000577	-0.000355	5.82
KD 3E DP 17	0.000741	0.001068	-0.000139	-0.000602	-0.000385	6.20
KD 3E DP 18	0.000753	0.001070	-0.000131	-0.000622	-0.000408	5.66

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 3E DP 19	0.000769	0.001060	-0.000119	-0.000651	-0.000402	5.53
KD 3E DP 20	0.000793	0.001078	-0.000112	-0.000681	-0.000463	5.81
KD 3E DP 21	0.000903	0.001113	-0.000238	-0.000665	-0.000417	6.54
KD 3E DP 22	0.000921	0.001105	-0.000227	-0.000693	-0.000402	6.39
KD 3E DP 23	0.000930	0.001112	-0.000206	-0.000724	-0.000458	6.27
KD 3E DP 24	0.000940	0.001127	-0.000190	-0.000750	-0.000468	5.85
KD 3E DP 25	0.000957	0.001122	-0.000179	-0.000778	-0.000440	5.93
KD 3E DP 26	0.000325	0.000878	0.000129	-0.000453	-0.000295	5.90
KD 3E DP 27	0.000331	0.000892	0.000144	-0.000475	-0.000335	6.36
KD 3E DP 28	0.000339	0.000913	0.000167	-0.000505	-0.000362	6.32
KD 3E DP 29	0.000349	0.000910	0.000189	-0.000537	-0.000363	6.24
KD 3E DP 30	0.000364	0.000920	0.000222	-0.000586	-0.000367	5.89
KD 3E DP 31	0.000460	0.000975	0.000094	-0.000554	-0.000338	5.88
KD 3E DP 32	0.000474	0.000928	0.000108	-0.000582	-0.000355	6.03
KD 3E DP 33	0.000493	0.000942	0.000127	-0.000620	-0.000375	5.65
KD 3E DP 34	0.000513	0.000958	0.000145	-0.000657	-0.000395	5.50
KD 3E DP 35	0.000533	0.000967	0.000162	-0.000694	-0.000402	5.89
KD 3E DP 36	0.000614	0.000988	0.000034	-0.000648	-0.000387	6.55
KD 3E DP 37	0.000631	0.000985	0.000042	-0.000673	-0.000347	6.42

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 3E DP 38	0.000650	0.000990	0.000051	-0.000701	-0.000362	6.36
KD 3E DP 39	0.000671	0.001008	0.000060	-0.000731	-0.000390	6.17
KD 3E DP 40	0.000699	0.000995	0.000074	-0.000773	-0.000438	6.25
KD 3E DP 41	0.000776	0.001045	-0.000047	-0.000729	-0.000380	6.08
KD 3E DP 42	0.000796	0.001063	-0.000037	-0.000759	-0.000435	6.34
KD 3E DP 43	0.000817	0.001070	-0.000031	-0.000786	-0.000430	5.95
KD 3E DP 44	0.000842	0.001087	-0.000015	-0.000827	-0.000468	5.79
KD 3E DP 45	0.000883	0.001080	-0.000022	-0.000861	-0.000442	6.09
KD 3E DP 46	0.000961	0.001113	-0.000123	-0.000838	-0.000435	6.48
KD 3E DP 47	0.000978	0.001142	-0.000119	-0.000859	-0.000453	6.18
KD 3E DP 48	0.000989	0.001150	-0.000099	-0.000889	-0.000480	6.35
KD 3E DP 49	0.001032	0.001143	-0.000096	-0.000936	-0.000480	5.93
KD 3E DP 50	0.001093	0.001140	-0.000116	-0.000977	-0.000483	5.86
KD 3E DP 51	0.000336	0.000892	0.000217	-0.000553	-0.000288	6.87
KD 3E DP 52	0.000343	0.000875	0.000241	-0.000584	-0.000273	6.69
KD 3E DP 53	0.000349	0.000893	0.000267	-0.000616	-0.000300	6.69
KD 3E DP 54	0.000358	0.000877	0.000301	-0.000659	-0.000330	6.13
KD 3E DP 55	0.000376	0.000908	0.000332	-0.000708	-0.000352	6.25
KD 3E DP 56	0.000479	0.000922	0.000195	-0.000674	-0.000300	5.92

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütlelel debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütlelel debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütlelel debi (deneysel)	İplik girişi kütlelel debi	Düze çıkışı kütlelel debi (HAD)	Düze çıkışı kütlelel debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 3E DP 57	0.000492	0.000922	0.000220	-0.000712	-0.000305	6.49
KD 3E DP 58	0.000505	0.000925	0.000253	-0.000757	-0.000350	5.41
KD 3E DP 59	0.000518	0.000955	0.000298	-0.000816	-0.000358	5.61
KD 3E DP 60	0.000535	0.000957	0.000343	-0.000878	-0.000380	5.72
KD 3E DP 61	0.000648	0.000977	0.000147	-0.000794	-0.000318	6.83
KD 3E DP 62	0.000671	0.000962	0.000174	-0.000844	-0.000363	6.62
KD 3E DP 63	0.000692	0.000978	0.000197	-0.000889	-0.000350	6.61
KD 3E DP 64	0.000713	0.000973	0.000223	-0.000936	-0.000398	6.05
KD 3E DP 65	0.000744	0.000967	0.000250	-0.000995	-0.000362	6.25
KD 3E DP 66	0.000826	0.001032	0.000076	-0.000901	-0.000367	6.00
KD 3E DP 67	0.000850	0.001060	0.000092	-0.000942	-0.000397	6.56
KD 3E DP 68	0.000876	0.001070	0.000120	-0.000996	-0.000447	5.37
KD 3E DP 69	0.000903	0.001045	0.000132	-0.001035	-0.000397	5.80
KD 3E DP 70	0.000941	0.001055	0.000130	-0.001070	-0.000448	5.90
KD 3E DP 71	0.001019	0.001102	-0.000009	-0.001010	-0.000397	6.68
KD 3E DP 72	0.001042	0.001095	0.000002	-0.001044	-0.000450	6.45
KD 3E DP 73	0.001068	0.001152	0.000015	-0.001083	-0.000447	6.64
KD 3E DP 74	0.001095	0.001155	0.000034	-0.001129	-0.000525	5.97
KD 3E DP 75	0.001160	0.001148	0.000031	-0.001190	-0.000482	6.18

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 4E DP 1	0.000392	0.000922	0.000007	-0.000399	-0.000332	5.87
KD 4E DP 2	0.000402	0.000917	0.000022	-0.000423	-0.000345	5.53
KD 4E DP 3	0.000420	0.000972	0.000033	-0.000452	-0.000400	6.14
KD 4E DP 4	0.000444	0.000932	0.000046	-0.000491	-0.000370	5.33
KD 4E DP 5	0.000466	0.000952	0.000035	-0.000501	-0.000407	5.92
KD 4E DP 6	0.000560	0.001007	-0.000071	-0.000489	-0.000357	6.32
KD 4E DP 7	0.000580	0.001025	-0.000065	-0.000515	-0.000403	6.26
KD 4E DP 8	0.000600	0.000987	-0.000062	-0.000538	-0.000355	6.16
KD 4E DP 9	0.000619	0.001005	-0.000050	-0.000569	-0.000415	5.75
KD 4E DP 10	0.000638	0.001025	-0.000048	-0.000590	-0.000437	5.72
KD 4E DP 11	0.000745	0.001038	-0.000164	-0.000582	-0.000362	5.79
KD 4E DP 12	0.000770	0.001030	-0.000159	-0.000611	-0.000390	6.04
KD 4E DP 13	0.000785	0.001047	-0.000147	-0.000638	-0.000415	5.47
KD 4E DP 14	0.000803	0.001075	-0.000138	-0.000665	-0.000448	5.38
KD 4E DP 15	0.000829	0.001065	-0.000122	-0.000707	-0.000473	5.86
KD 4E DP 16	0.000955	0.001082	-0.000271	-0.000684	-0.000343	6.51
KD 4E DP 17	0.000976	0.001090	-0.000259	-0.000717	-0.000377	6.49
KD 4E DP 18	0.001000	0.001105	-0.000243	-0.000757	-0.000380	6.28
KD 4E DP 19	0.001026	0.001098	-0.000228	-0.000799	-0.000432	5.89

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 4E DP 20	0.001070	0.001097	-0.000223	-0.000847	-0.000413	5.94
KD 4E DP 21	0.001194	0.001120	-0.000385	-0.000809	-0.000378	5.92
KD 4E DP 22	0.001215	0.001103	-0.000372	-0.000843	-0.000387	6.05
KD 4E DP 23	0.001252	0.001147	-0.000355	-0.000896	-0.000428	5.50
KD 4E DP 24	0.001290	0.001163	-0.000344	-0.000946	-0.000450	5.42
KD 4E DP 25	0.001333	0.001150	-0.000330	-0.001002	-0.000435	5.88
KD 4E DP 26	0.000411	0.000947	0.000104	-0.000515	-0.000362	6.02
KD 4E DP 27	0.000422	0.000927	0.000013	-0.000435	-0.000348	5.66
KD 4E DP 28	0.000433	0.000923	0.000141	-0.000574	-0.000360	5.50
KD 4E DP 29	0.000448	0.000932	0.000168	-0.000616	-0.000385	5.40
KD 4E DP 30	0.000478	0.000922	0.000203	-0.000680	-0.000377	5.74
KD 4E DP 31	0.000590	0.000968	0.000036	-0.000626	-0.000337	6.41
KD 4E DP 32	0.000615	0.001002	0.000048	-0.000664	-0.000390	6.34
KD 4E DP 33	0.000649	0.000992	0.000065	-0.000714	-0.000350	6.09
KD 4E DP 34	0.000666	0.000982	0.000070	-0.000736	-0.000392	5.85
KD 4E DP 35	0.000691	0.000987	0.000096	-0.000787	-0.000417	5.89
KD 4E DP 36	0.000789	0.001025	-0.000059	-0.000729	-0.000400	5.82
KD 4E DP 37	0.000810	0.001005	-0.000048	-0.000762	-0.000403	6.07
KD 4E DP 38	0.000845	0.001032	-0.000044	-0.000801	-0.000422	5.59

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 4E DP 39	0.000860	0.001040	-0.000037	-0.000823	-0.000455	5.48
KD 4E DP 40	0.000892	0.001027	-0.000031	-0.000862	-0.000408	5.89
KD 4E DP 41	0.001005	0.001068	-0.000160	-0.000845	-0.000418	6.07
KD 4E DP 42	0.001036	0.001080	-0.000155	-0.000881	-0.000400	6.30
KD 4E DP 43	0.001050	0.001087	-0.000136	-0.000915	-0.000433	6.18
KD 4E DP 44	0.001080	0.001098	-0.000112	-0.000968	-0.000432	6.07
KD 4E DP 45	0.001155	0.001100	-0.000128	-0.001027	-0.000493	5.93
KD 4E DP 46	0.001250	0.001117	-0.000283	-0.000967	-0.000442	6.01
KD 4E DP 47	0.001275	0.001138	-0.000263	-0.001012	-0.000437	6.12
KD 4E DP 48	0.001298	0.001125	-0.000244	-0.001054	-0.000437	5.76
KD 4E DP 49	0.001340	0.001133	-0.000225	-0.001115	-0.000453	5.48
KD 4E DP 50	0.001400	0.001135	-0.000217	-0.001183	-0.000470	6.07
KD 4E DP 51	0.000427	0.000943	0.000196	-0.000624	-0.000335	6.02
KD 4E DP 52	0.000434	0.000925	0.000221	-0.000655	-0.000332	6.46
KD 4E DP 53	0.000446	0.000922	0.000248	-0.000694	-0.000313	5.70
KD 4E DP 54	0.000459	0.000942	0.000282	-0.000740	-0.000360	5.98
KD 4E DP 55	0.000492	0.000908	0.000325	-0.000817	-0.000317	6.24
KD 4E DP 56	0.000612	0.001003	0.000156	-0.000768	-0.000367	6.77
KD 4E DP 57	0.000630	0.000963	0.000186	-0.000816	-0.000365	6.63

Çizelge I.1. Konvansiyonel düzeler HAD kütleli debi hesaplamaları ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Enjektör hava girişi kütleli debi (HAD)	Enjektör hava girişi kütleli debi (deneysel)	İplik girişi kütleli debi	Düze çıkışı kütleli debi (HAD)	Düze çıkışı kütleli debi (deneysel)	Tüylülük (deneysel)
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(H)
KD 4E DP 58	0.000647	0.000967	0.000217	-0.000864	-0.000362	6.59
KD 4E DP 59	0.000673	0.000975	0.000257	-0.000930	-0.000378	6.24
KD 4E DP 60	0.000712	0.001007	0.000306	-0.001018	-0.000413	6.26
KD 4E DP 61	0.000829	0.001045	0.000073	-0.000903	-0.000422	6.22
KD 4E DP 62	0.000864	0.001040	0.000085	-0.000949	-0.000392	6.72
KD 4E DP 63	0.000897	0.001025	0.000114	-0.001011	-0.000373	6.13
KD 4E DP 64	0.000924	0.001043	0.000124	-0.001048	-0.000420	6.31
KD 4E DP 65	0.000964	0.001018	0.000178	-0.001141	-0.000422	6.38
KD 4E DP 66	0.001057	0.001078	-0.000023	-0.001034	-0.000412	6.92
KD 4E DP 67	0.001091	0.001082	-0.000026	-0.001066	-0.000397	6.63
KD 4E DP 68	0.001126	0.001083	-0.000010	-0.001117	-0.000442	6.64
KD 4E DP 69	0.001162	0.001085	-0.000009	-0.001153	-0.000458	6.21
KD 4E DP 70	0.001242	0.001115	0.000038	-0.001280	-0.000460	6.26
KD 4E DP 71	0.001307	0.001178	-0.000147	-0.001160	-0.000452	6.29
KD 4E DP 72	0.001346	0.001155	-0.000144	-0.001202	-0.000460	6.85
KD 4E DP 73	0.001373	0.001165	-0.000110	-0.001264	-0.000483	6.39
KD 4E DP 74	0.001415	0.001110	-0.000116	-0.001300	-0.000423	6.14
KD 4E DP 75	0.001558	0.001133	-0.000101	-0.001456	-0.000452	6.35

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı (Sn)	Geometrik swirl sayısı (Sg)	Toplam basınç (kPa)	Akış basıncı (kPa)	Reynolds sayısı (Re)	Hız (m/s)	z eksenindeki hız (m/s)	Vortisite (1/s)	Helisite gerçek öz değeri (1/s)
KD 3E DP 1	2.888	3.897	60.301	11.589	37032	264.5	96.6	1066480	826076
KD 3E DP 2	2.784	3.508	57.599	12.220	34343	261.1	103.0	1061870	824095
KD 3E DP 3	2.620	3.145	55.818	13.899	33746	260.7	108.9	1043090	813694
KD 3E DP 4	2.410	2.835	55.433	15.968	33749	260.7	115.6	1017580	791788
KD 3E DP 5	2.231	2.618	56.136	17.131	34130	263.7	121.6	1000590	797778
KD 3E DP 6	2.511	3.625	75.494	17.059	45508	305.8	116.8	1078910	789126
KD 3E DP 7	2.404	3.362	70.530	16.831	40717	300.2	125.6	1098280	814270
KD 3E DP 8	2.316	3.099	68.906	18.066	38882	298.5	130.5	1064910	771176
KD 3E DP 9	2.194	2.865	66.258	19.801	38015	293.7	135.7	1069110	759408
KD 3E DP 10	2.003	2.621	67.727	23.030	38320	296.1	143.4	968859	734911
KD 3E DP 11	2.233	3.395	91.237	24.979	54585	341.4	132.9	1041510	707046
KD 3E DP 12	2.114	3.120	84.150	22.503	47619	335.9	145.5	1083290	731310
KD 3E DP 13	2.033	2.944	79.329	23.513	43579	328.1	151.0	1098080	762712
KD 3E DP 14	1.934	2.693	77.697	25.214	41958	323.9	156.2	1079560	722404
KD 3E DP 15	1.703	2.471	78.024	29.347	41422	320.0	164.1	1004720	752811
KD 3E DP 16	1.981	3.138	104.174	34.446	63350	367.6	148.9	995117	655544
KD 3E DP 17	1.842	2.863	97.813	30.460	54504	364.7	163.3	1050420	684090
KD 3E DP 18	1.738	2.645	93.190	29.991	49311	360.3	172.6	1057930	719472

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 3E DP 19	1.645	2.386	88.271	29.688	46549	355.6	181.5	1069290	744032	5.53
KD 3E DP 20	1.534	2.161	87.716	32.487	45545	351.9	186.6	1029120	747807	5.81
KD 3E DP 21	1.772	2.849	118.753	44.984	72611	389.6	161.4	910977	632294	6.54
KD 3E DP 22	1.609	2.631	111.490	40.157	61873	390.3	180.9	967146	681993	6.39
KD 3E DP 23	1.479	2.353	107.206	36.731	55572	389.9	196.4	1005280	702010	6.27
KD 3E DP 24	1.385	2.117	101.944	36.219	51287	383.8	204.9	1034900	729352	5.85
KD 3E DP 25	1.304	1.909	98.909	37.379	49029	377.9	211.9	1044060	731706	5.93
KD 3E DP 26	3.207	4.019	53.022	7.804	38968	233.5	76.9	859053	717912	5.90
KD 3E DP 27	3.078	3.667	50.377	9.507	37070	228.8	81.5	828230	703155	6.36
KD 3E DP 28	2.844	3.243	49.786	10.709	37383	231.0	86.4	814428	680786	6.32
KD 3E DP 29	2.608	2.873	48.865	11.898	37555	232.1	91.9	797700	622965	6.24
KD 3E DP 30	2.338	2.461	50.772	12.265	39083	241.6	100.4	811167	614609	5.89
KD 3E DP 31	2.837	3.756	65.987	10.737	46808	270.5	95.1	875964	665986	5.88
KD 3E DP 32	2.756	3.481	62.423	12.019	43397	265.1	100.2	873588	687602	6.03
KD 3E DP 33	2.592	3.165	61.927	13.764	43001	265.8	106.2	862315	698766	5.65
KD 3E DP 34	2.420	2.881	61.417	15.163	43258	267.4	112.7	848072	691319	5.50
KD 3E DP 35	2.220	2.609	61.152	17.131	43628	269.6	119.5	827072	670727	5.89
KD 3E DP 36	2.550	3.588	79.716	14.607	55631	306.8	110.0	892089	709190	6.55

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 3E DP 37	2.485	3.383	75.606	14.975	50235	300.1	116.7	903740	681000	6.42
KD 3E DP 38	2.409	3.162	72.990	16.525	48176	297.1	122.3	883602	717331	6.36
KD 3E DP 39	2.286	2.935	71.458	18.603	47761	295.2	127.1	868297	654031	6.17
KD 3E DP 40	2.108	2.664	72.944	21.937	48370	299.0	136.0	795727	616916	6.25
KD 3E DP 41	2.343	3.469	92.946	20.743	64202	335.5	122.3	871613	607268	6.08
KD 3E DP 42	2.243	3.243	86.331	19.439	56644	328.5	131.9	916960	640244	6.34
KD 3E DP 43	2.174	3.045	83.599	20.618	53150	324.5	138.4	908148	640070	5.95
KD 3E DP 44	2.016	2.763	80.542	23.427	51612	319.0	145.7	881883	647644	5.79
KD 3E DP 45	1.857	2.620	82.633	28.573	52204	322.6	149.5	814402	633205	6.09
KD 3E DP 46	2.097	3.178	107.760	25.930	74496	367.4	136.2	836245	575515	6.48
KD 3E DP 47	2.008	3.020	99.972	24.239	64307	359.2	147.8	878350	593418	6.18
KD 3E DP 48	1.920	2.753	94.541	24.404	58748	352.0	156.2	898664	624417	6.35
KD 3E DP 49	1.798	2.559	92.188	26.785	56535	348.7	166.5	864453	626010	5.93
KD 3E DP 50	1.633	2.466	91.694	34.027	54747	338.4	167.8	827617	634058	5.86
KD 3E DP 51	3.380	4.166	44.161	6.375	39820	202.9	64.7	708257	599981	6.87
KD 3E DP 52	3.175	3.746	42.443	7.625	39047	201.1	68.6	687890	574558	6.69
KD 3E DP 53	2.908	3.333	41.943	8.576	39543	203.7	72.5	675408	541261	6.69
KD 3E DP 54	2.626	2.903	41.793	9.075	40456	208.4	77.6	675006	537100	6.13

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 3E DP 55	2.308	2.597	41.972	9.399	41238	212.4	84.4	682107	522006	6.25
KD 3E DP 56	3.108	3.950	56.465	8.330	47820	238.5	79.0	744555	613507	5.92
KD 3E DP 57	2.987	3.601	54.107	9.958	45711	235.1	83.5	730461	608754	6.49
KD 3E DP 58	2.785	3.204	55.488	11.196	47061	242.4	89.7	716609	559051	5.41
KD 3E DP 59	2.542	2.752	56.437	11.163	48672	250.7	97.1	727723	552389	5.61
KD 3E DP 60	2.219	2.372	56.158	11.402	49251	253.7	104.8	728778	549749	5.72
KD 3E DP 61	2.839	3.825	69.503	11.162	56368	273.1	92.5	755237	602590	6.83
KD 3E DP 62	2.730	3.500	67.375	12.048	53228	271.5	99.6	757035	627181	6.62
KD 3E DP 63	2.613	3.213	64.844	13.345	52440	270.1	105.7	745191	592183	6.61
KD 3E DP 64	2.449	2.912	64.661	15.212	52878	272.3	111.3	724315	580103	6.05
KD 3E DP 65	2.192	2.625	63.226	18.118	52454	270.2	117.8	720670	578729	6.25
KD 3E DP 66	2.615	3.696	80.302	14.544	64315	300.3	103.9	766299	598479	6.00
KD 3E DP 67	2.539	3.455	76.069	14.728	58740	294.9	111.1	777148	625956	6.56
KD 3E DP 68	2.429	3.139	75.026	15.735	57747	297.2	118.9	764610	624639	5.37
KD 3E DP 69	2.308	2.923	74.162	18.552	57294	295.1	123.4	737753	565705	5.80
KD 3E DP 70	2.064	2.775	73.020	23.010	56526	291.1	129.4	661495	522165	5.90
KD 3E DP 71	2.407	3.541	92.823	18.499	73571	329.3	115.0	745848	544328	6.68
KD 3E DP 72	2.334	3.345	88.736	17.827	66186	325.0	123.7	769944	563500	6.45

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD3E DP 73	2.270	3.119	84.713	19.457	62303	318.8	129.6	775980	575090	6.64
KD 3E DP 74	2.162	2.856	84.186	21.693	61983	319.2	135.6	756547	565142	5.97
KD 3E DP 75	1.920	2.696	85.523	27.075	62536	322.1	142.4	678737	535344	6.18
KD 4E DP 1	2.648	3.625	69.582	15.843	40622	290.4	108.8	1066720	806781	5.87
KD 4E DP 2	2.498	3.264	65.238	15.770	37476	284.8	117.1	1061840	839309	5.53
KD 4E DP 3	2.325	2.983	63.994	17.255	36936	285.4	125.0	1044980	842376	6.14
KD 4E DP 4	2.110	2.687	66.196	19.491	37755	291.7	135.2	1021140	763389	5.33
KD 4E DP 5	2.025	2.650	62.882	20.577	36967	285.6	137.2	985160	801947	5.92
KD 4E DP 6	2.304	3.425	88.186	24.307	49722	334.6	131.2	1041370	700831	6.32
KD 4E DP 7	2.136	3.190	79.954	22.316	44375	327.5	143.0	1082380	768216	6.26
KD 4E DP 8	2.016	2.992	77.451	23.759	42142	323.5	150.6	1063700	758524	6.16
KD 4E DP 9	1.876	2.695	75.340	24.226	41582	321.3	157.0	1030400	753032	5.75
KD 4E DP 10	1.763	2.487	76.454	27.712	41710	322.2	161.6	997832	745304	5.72
KD 4E DP 11	2.013	3.149	104.755	34.804	58768	368.7	149.2	964834	679101	5.79
KD 4E DP 12	1.830	2.935	96.968	31.471	51714	365.0	166.4	1023030	730475	6.04
KD 4E DP 13	1.696	2.673	92.586	30.593	48047	361.7	176.7	1042620	735409	5.47
KD 4E DP 14	1.586	2.436	90.693	32.376	46353	357.9	183.6	1027440	744513	5.38
KD 4E DP 15	1.443	2.151	90.875	33.890	46424	358.7	193.2	1014520	734273	5.86

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 4E DP 16	1.763	2.859	122.846	46.596	67985	394.5	164.2	867592	630498	6.51
KD 4E DP 17	1.568	2.625	113.329	41.513	58814	393.6	186.3	951285	698270	6.49
KD 4E DP 18	1.409	2.362	108.100	38.550	53958	394.3	205.3	989273	721992	6.28
KD 4E DP 19	1.276	2.113	103.460	38.456	50961	389.4	217.1	1020910	736660	5.89
KD 4E DP 20	1.151	1.912	101.698	40.885	49870	385.3	227.4	1010920	743723	5.94
KD 4E DP 21	1.539	2.526	134.833	59.540	76276	409.3	180.3	820241	614130	5.92
KD 4E DP 22	1.336	2.324	126.305	52.902	65229	411.5	206.0	886266	674559	6.05
KD 4E DP 23	1.159	2.084	120.724	47.987	59466	417.2	231.6	962517	721289	5.50
KD 4E DP 24	1.022	1.881	114.224	45.816	55237	413.3	249.4	1009730	762413	5.42
KD 4E DP 25	0.908	1.672	112.678	45.729	53323	411.0	262.1	1020120	764717	5.88
KD 4E DP 26	2.952	3.746	59.917	10.128	42337	253.8	88.0	859227	719696	6.02
KD 4E DP 27	3.202	5.330	54.759	18.951	35352	218.2	71.2	757713	635626	5.66
KD 4E DP 28	2.651	3.079	57.519	13.148	40877	252.6	97.9	818573	681068	5.50
KD 4E DP 29	2.436	2.711	58.413	14.727	41823	258.5	105.2	804629	675246	5.40
KD 4E DP 30	2.185	2.359	60.436	15.463	43331	267.8	117.2	792386	595509	5.74
KD 4E DP 31	2.615	3.623	76.394	15.169	51248	296.2	105.9	892193	681728	6.41
KD 4E DP 32	2.484	3.384	73.124	15.375	47967	293.1	114.4	889049	714746	6.34
KD 4E DP 33	2.303	3.105	70.600	16.575	47117	291.2	123.8	868587	711812	6.09

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 4E DP 34	2.210	2.911	69.558	18.215	47017	290.6	127.3	834564	672025	5.85
KD 4E DP 35	2.023	2.565	71.915	20.527	48158	297.6	137.6	779596	606824	5.89
KD 4E DP 36	2.367	3.502	93.147	21.942	60354	333.0	122.0	870043	653893	5.82
KD 4E DP 37	2.231	3.268	85.982	20.625	54451	325.7	132.0	897232	659814	6.07
KD 4E DP 38	2.117	3.072	83.971	21.502	52702	325.0	140.7	887981	670682	5.59
KD 4E DP 39	2.031	2.855	83.986	23.775	52732	325.9	144.3	869847	654009	5.48
KD 4E DP 40	1.891	2.619	83.579	26.869	52800	326.3	151.3	828454	605340	5.89
KD 4E DP 41	2.122	3.248	106.124	29.166	69333	362.4	138.4	833030	572434	6.07
KD 4E DP 42	1.966	3.060	100.172	27.028	61660	357.6	151.2	874706	629466	6.30
KD 4E DP 43	1.860	2.789	97.088	27.157	58174	355.1	160.8	880100	623300	6.18
KD 4E DP 44	1.729	2.488	95.373	27.907	57608	356.1	170.4	877211	651222	6.07
KD 4E DP 45	1.571	2.365	97.900	34.251	57279	354.0	178.9	821412	612979	5.93
KD 4E DP 46	1.917	3.030	121.261	37.342	78820	389.0	152.0	768432	536455	6.01
KD 4E DP 47	1.738	2.774	114.511	33.567	69186	386.7	170.3	824435	572979	6.12
KD 4E DP 48	1.605	2.534	109.214	32.939	63838	382.8	184.0	854798	596732	5.76
KD 4E DP 49	1.484	2.282	108.101	33.555	62133	383.3	195.7	857775	598097	5.48
KD 4E DP 50	1.344	2.070	108.034	36.547	61999	383.2	206.5	851492	604445	6.07
KD 4E DP 51	3.231	3.970	50.574	7.980	43497	221.5	72.9	711526	604764	6.02

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 4E DP 52	3.091	3.576	48.792	9.294	42695	219.9	76.9	685892	573959	6.46
KD 4E DP 53	2.886	3.222	49.525	10.782	43671	224.9	81.2	671309	564760	5.70
KD 4E DP 54	2.650	2.828	49.994	11.630	44976	231.6	87.1	657734	568994	5.98
KD 4E DP 55	2.407	2.501	51.521	12.219	46538	239.7	96.3	667933	525626	6.24
KD 4E DP 56	2.861	3.728	65.561	10.459	53193	265.7	90.2	760553	634624	6.77
KD 4E DP 57	2.731	3.378	63.261	12.238	50736	260.9	96.3	729943	605824	6.63
KD 4E DP 58	2.577	3.036	63.143	14.139	50999	262.7	101.7	723856	580776	6.59
KD 4E DP 59	2.364	2.682	64.788	15.288	52607	271.0	109.9	708957	542167	6.24
KD 4E DP 60	2.175	2.339	67.461	14.496	55085	283.7	121.8	733374	561079	6.26
KD 4E DP 61	2.602	3.641	78.770	14.500	61427	297.9	105.1	762760	605720	6.22
KD 4E DP 62	2.490	3.447	74.999	15.179	57271	292.2	111.8	762138	622358	6.72
KD 4E DP 63	2.336	3.131	74.027	16.356	56999	293.6	120.0	740860	608295	6.13
KD 4E DP 64	2.238	2.926	74.338	18.353	57404	295.7	124.8	717981	565004	6.31
KD 4E DP 65	2.002	2.508	76.178	20.825	58657	302.1	137.5	658692	525978	6.38
KD 4E DP 66	2.376	3.450	92.042	19.035	70531	329.4	118.4	760455	590404	6.92
KD 4E DP 67	2.284	3.341	86.608	19.340	64038	321.8	126.2	770349	603084	6.63
KD 4E DP 68	2.178	3.098	85.130	20.694	62280	320.6	133.4	762053	596910	6.64
KD 4E DP 69	2.090	2.926	85.268	23.133	62626	322.6	138.2	745580	554688	6.21

Çizelge I.2. Konvansiyonel düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 4 mm ilerideki kesitte) ile iplik tüylülüğü ölçümünün kıyaslanması (devam)

Konvansiyonel düze HAD no	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri	Tüylülük
	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)	(H)
KD 4E DP 70	1.845	2.536	90.829	25.715	64973	334.6	155.6	688975	538048	6.26
KD 4E DP 71	2.199	3.311	106.534	24.316	80234	359.6	131.5	716350	534484	6.29
KD 4E DP 72	2.058	3.157	99.804	24.213	71335	350.3	141.8	750588	548778	6.85
KD 4E DP 73	1.943	2.842	96.420	23.959	68285	349.5	152.0	762580	559900	6.39
KD 4E DP 74	1.845	2.699	96.401	28.168	67477	347.5	156.1	749486	549099	6.14
KD 4E DP 75	1.622	2.435	102.101	30.831	69617	358.6	176.7	698866	530775	6.35

EK J. Modüler Düze HAD Ölçümleri

Çizelge J.1. Modüler düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 44 mm ilerideki kesitte)

Modüler düze HAD no	Enjektör hava girişi kütlesel debi	İplik girişi kütlesel debi	Düze çıkışı kütlesel debi	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)
MD 3E DP 1	0.000382	-0.000103	-0.000279	0.300	0.459	4.077	0.991	12340	95.3	46.3	434492	320839
MD 3E DP 2	0.000385	-0.000102	-0.000282	0.649	4.941	6.751	3.556	12660	97.8	65.9	306414	258652
MD 3E DP 3	0.000394	-0.000069	-0.000325	0.453	6.117	8.367	3.349	14223	109.9	80.8	347348	287460
MD 3E DP 4	0.000391	-0.000032	-0.000359	0.410	5.340	8.661	1.951	14539	112.3	91.8	297220	216098
MD 3E DP 5	0.000390	-0.000067	-0.000324	1.247	3.320	11.801	5.700	17870	138.1	79.2	451659	412231
MD 3E DP 6	0.000542	-0.000163	-0.000379	0.357	4.767	8.511	4.259	15796	122.0	67.1	551956	420638
MD 3E DP 7	0.000548	-0.000137	-0.000411	0.400	3.943	10.108	0.222	15579	120.4	99.6	358832	256966
MD 3E DP 8	0.000557	-0.000140	-0.000417	0.358	3.302	15.095	3.680	16317	126.1	109.1	395314	251155
MD 3E DP 9	0.000563	-0.000072	-0.000491	0.306	4.214	17.312	5.115	19492	150.6	128.4	406378	323549
MD 3E DP 10	0.000564	-0.000026	-0.000537	0.322	3.395	21.201	7.383	21001	162.2	135.2	457050	345995
MD 3E DP 11	0.000719	-0.000196	-0.000523	0.422	2.423	18.840	4.070	21613	167.0	114.1	690074	524182
MD 3E DP 12	0.000721	-0.000193	-0.000528	0.356	2.516	18.523	5.660	21590	166.8	111.5	697480	530296
MD 3E DP 13	0.000730	-0.000159	-0.000571	0.358	2.757	24.258	5.006	22316	172.4	142.6	557124	355470
MD 3E DP 14	0.000747	-0.000110	-0.000637	0.323	2.771	27.513	9.702	24903	192.4	160.9	478643	385665
MD 3E DP 15	0.000766	-0.000077	-0.000689	0.445	2.438	32.143	10.063	26207	202.5	175.8	443403	369167

Çizelge J.1. Modüler düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 44 mm ilerideki kesitte) (devam)

Modüler düze HAD no	Enjektör hava girişi kütlesel debi	İplik girişi kütlesel debi	Düze çıkışı kütlesel debi	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)
MD 3E DP 16	0.000899	-0.000237	-0.000662	0.318	1.808	29.281	8.604	25784	199.2	148.2	764406	577312
MD 3E DP 17	0.000902	-0.000207	-0.000695	0.306	2.081	31.050	8.471	26397	203.9	157.4	749925	577742
MD 3E DP 18	0.000906	-0.000181	-0.000724	0.305	1.961	35.179	11.656	28009	216.4	171.5	687549	537414
MD 3E DP 19	0.000910	-0.000147	-0.000763	0.301	1.891	39.535	13.336	29185	225.5	186.1	641992	506973
MD 3E DP 20	0.000915	-0.000120	-0.000796	0.314	1.737	42.821	14.094	30459	235.3	200.7	613809	485018
MD 3E DP 21	0.001045	-0.000250	-0.000795	0.303	1.543	39.838	12.850	30897	238.7	185.7	779792	619117
MD 3E DP 22	0.001054	-0.000229	-0.000825	0.302	1.607	43.572	14.032	31959	246.9	194.1	780865	615320
MD 3E DP 23	0.001064	-0.000208	-0.000855	0.314	1.533	46.216	15.055	32476	250.9	205.9	720483	570150
MD 3E DP 24	0.001073	-0.000179	-0.000893	0.303	1.471	49.778	16.560	33769	260.9	219.6	685121	546507
MD 3E DP 25	0.001085	-0.000145	-0.000940	0.301	1.395	54.984	17.742	35586	274.9	233.9	651142	510827
MD 3E DP 26	0.000383	-0.000075	-0.000308	0.297	0.843	0.402	-0.559	11725	72.5	22.9	272925	206083
MD 3E DP 27	0.000395	-0.000099	-0.000297	0.305	7.002	0.942	-0.971	10492	64.8	27.0	246122	160488
MD 3E DP 28	0.000400	0.000005	-0.000405	0.345	13.436	3.550	1.243	10993	67.9	51.3	175635	142121
MD 3E DP 29	0.000396	0.000024	-0.000420	0.325	7.349	2.152	-0.720	10737	66.4	54.8	206303	137343
MD 3E DP 30	0.000389	0.000046	-0.000436	0.284	6.860	1.873	-1.405	11244	69.5	46.2	270901	178067
MD 3E DP 31	0.000548	-0.000131	-0.000417	0.248	4.976	4.324	1.108	14953	92.4	43.5	278001	176178
MD 3E DP 32	0.000557	-0.000129	-0.000428	0.346	5.544	2.373	0.526	17056	105.4	32.9	360838	257593
MD 3E DP 33	0.000569	-0.000132	-0.000436	0.311	5.201	5.349	3.405	13841	85.5	43.4	273320	210900

Çizelge J.1. Modüler düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 44 mm ilerideki kesitte) (devam)

Modüler düze HAD no	Enjektör hava girişi kütlesel debi	İplik girişi kütlesel debi	Düze çıkışı kütlesel debi	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)
MD 3E DP 34	0.000611	-0.000006	-0.000604	0.382	9.075	4.807	-1.225	17021	105.2	77.7	256433	209338
MD 3E DP 35	0.000594	0.000017	-0.000609	0.649	4.514	12.400	5.605	18965	117.2	96.5	246299	218556
MD 3E DP 36	0.000738	-0.000162	-0.000576	0.351	3.567	6.885	1.068	20030	123.8	63.0	400058	295277
MD 3E DP 37	0.000748	-0.000163	-0.000585	0.329	3.979	7.836	1.284	20593	127.3	65.4	431463	325388
MD 3E DP 38	0.000782	-0.000121	-0.000661	0.298	4.699	9.591	2.241	19508	120.6	89.5	378556	258496
MD 3E DP 39	0.000794	-0.000039	-0.000752	0.282	4.502	8.749	1.253	20055	124.0	101.2	280941	218879
MD 3E DP 40	0.000824	-0.000069	-0.000756	0.747	3.292	17.912	7.030	26457	163.5	115.5	365472	322584
MD 3E DP 41	0.000938	-0.000162	-0.000776	0.298	3.230	16.184	4.835	26220	162.1	98.7	533881	395496
MD 3E DP 42	0.000948	-0.000171	-0.000777	0.320	2.954	13.879	3.229	21400	132.3	99.9	398896	291774
MD 3E DP 43	0.000965	-0.000158	-0.000807	0.345	3.042	13.660	3.580	23375	144.5	106.7	434276	333654
MD 3E DP 44	0.001025	-0.000077	-0.000947	0.286	3.673	17.881	5.384	24895	153.9	123.9	434545	341100
MD 3E DP 45	0.001080	-0.000049	-0.001032	0.311	2.959	17.934	2.604	26946	166.5	144.7	416867	311992
MD 3E DP 46	0.001155	-0.000169	-0.000985	0.334	2.204	25.342	7.135	31477	194.5	134.5	570992	429291
MD 3E DP 47	0.001174	-0.000165	-0.001009	0.317	2.446	21.508	6.879	29190	180.4	129.8	498483	387516
MD 3E DP 48	0.001176	-0.000168	-0.001008	0.309	2.221	20.727	4.758	28503	176.2	133.9	527275	406578
MD 3E DP 49	0.001204	-0.000135	-0.001069	0.259	2.369	22.843	8.207	28537	176.4	139.2	456546	358897
MD 3E DP 50	0.001282	-0.000086	-0.001197	0.288	2.470	27.623	8.022	31604	195.3	161.6	521784	420308
MD 3E DP 51	0.000375	-0.000049	-0.000326	0.433	0.835	-0.493	-1.036	12552	64.6	14.2	225448	172484

Çizelge J.1. Modüler düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 44 mm ilerideki kesitte) (devam)

Modüler düze HAD no	Enjektör hava girişi kütlesel debi	İplik girişi kütlesel debi	Düze çıkışı kütlesel debi	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)
MD 3E DP 52	0.000394	-0.000018	-0.000375	0.395	14.460	1.026	0.072	14671	75.6	10.1	223036	156333
MD 3E DP 53	0.000397	-0.000011	-0.000386	0.306	10.993	-0.428	-1.934	9359	48.2	21.0	197273	138241
MD 3E DP 54	0.000397	-0.000024	-0.000374	0.343	9.205	-0.650	-2.539	11246	57.9	16.6	233608	171569
MD 3E DP 55	0.000399	0.000010	-0.000410	0.348	11.077	0.143	-1.390	9666	49.8	24.2	230605	171734
MD 3E DP 56	0.000550	-0.000111	-0.000438	0.387	8.938	-1.283	-2.847	15783	81.3	20.5	273366	201559
MD 3E DP 57	0.000552	-0.000149	-0.000403	0.370	6.382	1.457	-0.673	12451	64.1	19.6	281901	179576
MD 3E DP 58	0.000592	-0.000062	-0.000531	0.282	12.563	-0.144	-2.552	10694	55.1	32.8	198237	141201
MD 3E DP 59	0.000594	0.000004	-0.000597	0.295	8.607	0.218	-2.494	12214	62.9	44.2	224296	167045
MD 3E DP 60	0.000596	0.000029	-0.000625	0.374	7.000	2.953	0.117	13198	68.0	45.3	242556	169470
MD 3E DP 61	0.000721	-0.000154	-0.000566	0.409	4.727	-1.204	-4.624	17556	90.4	34.9	291846	202422
MD 3E DP 62	0.000731	-0.000176	-0.000555	0.455	5.335	3.499	0.017	16119	83.0	43.9	351442	236865
MD 3E DP 63	0.000745	-0.000257	-0.000488	0.405	4.098	0.931	-1.871	15570	80.2	30.1	287516	207159
MD 3E DP 64	0.000826	-0.000072	-0.000753	0.382	11.913	6.383	1.101	23157	119.3	68.1	220823	173273
MD 3E DP 65	0.000848	-0.000078	-0.000769	0.313	4.891	-2.303	-7.707	19586	100.9	70.8	235910	190893
MD 3E DP 66	0.000916	-0.000192	-0.000724	0.374	3.912	2.619	-1.864	20301	104.6	49.7	386753	272698
MD 3E DP 67	0.000924	-0.000218	-0.000705	0.435	4.021	6.703	2.193	19105	98.4	54.8	336611	250145
MD 3E DP 68	0.000942	-0.000245	-0.000697	0.403	3.967	1.843	-2.653	17278	89.0	53.2	270632	201492
MD 3E DP 69	0.001006	-0.000149	-0.000857	0.374	5.817	3.827	-0.754	19457	100.2	61.6	298644	242481

Çizelge J.1. Modüler düze HAD akış parametreleri (iplik girişinden 44 mm ilerideki kesitte) (devam)

Modüler düze HAD no	Enjektör hava girişi kütlesel debi	İplik girişi kütlesel debi	Düze çıkışı kütlesel debi	Swirl sayısı	Geometrik swirl sayısı	Toplam basınç	Akış basıncı	Reynolds sayısı	Hız	z eksenindeki hız	Vortisite	Helisite gerçek öz değeri
	(kg/s)	(kg/s)	(kg/s)	(Sn)	(Sg)	(kPa)	(kPa)	(Re)	(m/s)	(m/s)	(1/s)	(1/s)
MD 3E DP 70	0.001110	-0.000075	-0.001034	0.437	5.224	14.933	-6.912	38069	196.1	153.9	413006	262745
MD 3E DP 71	0.001129	-0.000205	-0.000923	0.404	2.774	11.076	2.027	21367	110.1	77.7	318320	214703
MD 3E DP 72	0.001141	-0.000229	-0.000913	0.357	3.287	7.528	0.105	21319	109.8	70.2	363226	255599
MD 3E DP 73	0.001151	-0.000232	-0.000917	0.374	3.235	10.855	3.697	21959	113.1	81.2	302539	204253
MD 3E DP 74	0.001173	-0.000239	-0.000933	0.368	3.139	3.136	-2.353	20719	106.7	64.2	341242	254869
MD 3E DP 75	0.001344	0.000010	-0.001351	0.246	5.947	9.062	-1.313	27875	143.6	124.8	313360	238691

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ekrem GÜLSEVİNÇLER

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : egulsevincler@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Karşıyaka Lisesi, 2003

Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği, 2008

Lisans Tamamlama : Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 2015

Yüksek Lisans : Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, 2011

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, 2013

Mesleki Deneyim

Akon Hidrolik A.Ş. 2008-2010

Kutlusan Kafes San. Tic. Ltd. Şti. 2010-2012

Kastamonu Üniversitesi - Abana Sabahat Mesut Yılmaz M.Y.O. 2012-..... (halen)

Yayınları

Gulsevincler, E., Usal, M. R., Yilmaz, D. 2019. Yarn evenness parameters optimization in Jetring spinning process. The Journal of The Textile Institute, 1-10.

Gulsevincler, E., Usal, M. R., Yilmaz, D. 2019. The effects of structural parameters on tangentially injected highly swirling turbulent tube air flow. SN Applied Sciences, 1(8), 1-26.