

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE SIKMA VERİMİNİN İNCELENMESİ

MEHMET MUSTAFA KEMAL TOZYILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ALİ PINARBAŞI**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE SIKMA VERİMİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Mustafa Kemal TOZYILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 26.10.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nader JAVANI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Işıl UZUN
Okan Üniversitesi

Bu alışma, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0050.STZ.2013-1 kodlu SAN-TEZ projesi olarak desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği olarak iki bölümde çalıştığım bu tezde katkılarını ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen proje koordinatörü ve ayrıca tez danışmanım olan Prof. Dr. Ali PINARBAŞI'na, yine bu projede birlikte yer almaktan gurur duyduğum Prof. Dr. İsmail TEKE, Doç. Dr. K. Melih GÜLEREN ve Arş. Gör. Dr. Mustafa Kemal SEVİNDİR'E teşekkürlerimi sunarım.

Projede birlikte çalıştığımız, yardımları, destek ve fikirleriyle bu tezin ortaya çıkmasında emeği olan ARÇELİK A.Ş'nin kıymetli ar-ge mühendisi Mak. Y. Müh. Fatih KASAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca fikir ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Mak. Müh. Ebru ECE, Mak. Müh. Merve ÖZTÜRK ve Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Isı Porses Anabilim Dalı'nda ki araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak daima arkamda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme çok teşekkür ederim.

Ekim 2015

M. M. Kemal TOZYILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.2 Sıkma verimi.....	2
1.1.3 Tekstilden Mekanik Etkilerle Suyun Uzaklaştırılması.....	3
1.1.3.1 Tekstil Kurutma.....	3
1.1.3.2 Damlayan Su.....	4
1.1.3.3 Yüzey Suyu.....	4
1.1.3.4 Kapılar Suyu.....	4
1.1.3.5 Şişme Suyu.....	4
1.1.3.6 Kristal Suyu (doğal nem).....	4
1.1.4 Ön Kurutma.....	5
1.1.4.1 Sıkma.....	6
1.1.4.2 Santrifüjleme.....	6
1.1.4.3 Emme ve Püskürtme.....	6
1.1.4.3 Kılcal Emme.....	7
1.1.5 Patent Araştırmaları.....	7
1.1.6 Geçirgenlik Korelasyonları.....	9
1.1.7 Porozite ve Geçirgenlik İle İlgili Çalışmalar.....	15
1.2 Tezin Amacı.....	21
1.3 Orijinal Katkı.....	21

BÖLÜM 2

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
2.1 Deney Düzeneği Katı Modelin Oluşturulması	23
2.1.1 Metal Karkas Katı Modeli.....	24
2.1.2 Alt ve Üst Delikli Tambur Plakası Katı Modeli.....	24
2.1.3 Piston-Silindir Sistemi Katı Modeli.....	27
2.1.4 Su Pompası Katı Modeli	27
2.1.5 Pres Katı Modeli.....	28
2.1.6 Katı Modelin Montajı	29
2.2 Deney Düzeneği İçin Seçilen Elemanlar	29
2.2.1 Su pompası.....	30
2.2.2 Hidrolik Pres.....	31
2.2.3 Alt ve Üst Delikli Plaka	31
2.2.4 Piston – Silindir Sistemi.....	33
2.2.5 Su Toplama Haznesi	34
2.2.6 Hortumlar, Vanalar ve Pislik Tutucu	34
2.2.7 Ölçüm Sistemleri ve kontrolü	35
2.2.7.1 Su Sıcaklığı Takip ve Kontrolü.....	35
2.2.7.2 Su Debisi Ölçümü.....	35
2.2.7.3 Hidrolik Basınç Takip ve Kontrolü	36
2.2.7.4 Pres Basıncı Takip ve Kontrolü.....	37
2.2.7.5 Seçilen Deney Düzeneği Elemanlarının Montajı ve Güvenlik...37	
2.3 Deneyde Kullanılan Tekstil Mamülü	38
2.4 Deneyin Şematik Gösterimi	40
2.5 Deneyin Yapılışı	41
2.5.1 Deney Öncesi Hazırlık	41
2.5.2 Deney Sırasında Yapılması Gerekenler	42
2.5.3 Deney Sonrası	42
2.6 Rejim Süresinin Tayini.....	42
2.7 Deney Listesinin Oluşturulması.....	44
2.8 Deney Sonuçları	44

BÖLÜM 3

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZLERİ.....	46
3.1 Türbülans Modellerine Genel Yaklaşım	47
3.1.1 $k - \epsilon$ Modellerinin İncelenmesi.....	49
3.1.1.1 Standart $k - \epsilon$ Modeli	50
3.1.1.2 Realizable $k - \epsilon$ Modeli	50
3.1.1.3 Renormalization Group (RNG) $k - \epsilon$ Modeli	50
3.1.2 $k - \omega$ türbülans modellerinin incelenmesi	51
3.1.2.1 Standart $k - \omega$ türbülans modeli	51
3.1.2.2 Shear-Stress Transport (SST) $k - \omega$ modeli.....	52
3.1.3 Ölçek Uyarlamalı Simülasyon (SAS) Teorisi.....	52
3.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çalışmaları	52
3.2.1 Akış modelinin oluşturulması.....	53

3.2.2	Ağ yapısının oluşturulması	55	
3.2.3	Analizler için Hazırlık	57	
BÖLÜM 4			
SONUÇ VE ÖNERİLER			59
4.1	DeneySEL Çalışmaların Sonuçları	61	
4.2	Analizler	70	
4.2.1	Delik Analizleri	70	
4.2.2	Tambur Kanatlarının Akışa Etkisi	88	
KAYNAKLAR.....			94
EK-A			
PRES YAĞ BASINCININ OLUŞTURDUĞU KUVVETLER.....			96
EK-B			
PARAMETRELERDEN OLUŞTURULAN DENEY LİSTESİ			98
EK-C			
DENEY SONUÇLARI			100
EK-D			
HESAPLANAN BOYUTSUZ GEÇİRGENLİKLER.....			102
EK-E			
HAD ANALİZLERİNDE KULLANILAN SINIR ŞARTLARI			109
EK-F			
HAD ANALİZLERİNDE KULLANILAN UDF KODLARI			113
ÖZGEÇMİŞ			114

SİMGE LİSTESİ

A	Alan
A_B	Pres Bilezik Alanı
b	Happel Küre Çapı
D	Poroz Partikül Çapı
D_B	Pres Bilezik Çapı
F_p	Pres Kuvveti
k	Türbülans Kinetik Enerji
k_{CM}	Hücre Modeli Geçirgenliği
k_{HPA}	Happel Akışa Paralel Silindirlerin Geçirgenliği
k_{HPE}	Happel Akışa Dik Silindirlerin Geçirgenliği
k_{RG}	Rumph ve Gumpste Geçirgenliği
k_{BK}	Blake-Kozeny Geçirgenliği
k_D	Darcy Geçirgenliği
k_{KC}	Kozeny-Carman Geçirgenliği
k_0	Kapiler Şekil Faktörü
K_0	Kozeny Faktörü
K_{DI}	Davies Ingmansion Faktörü
L	Uzunluk
L_e	Akışkanın yol aldığı etkin uzunluk
M_r	Çamaşırın Islak Ağırlığı
M	Çamaşırınj Kuru Ağırlığı
Re	Reynold Sayısı
P_p	Pres Yağ Basıncı
S_0	Küresel Partikül Boyutu
u_{KC}	Kozeny-Carman Yüzeysel Hız
u_H	Happel Yüzeysel Hız
q	Anlık Debi
Q	Debi
V_v	Poroz Maddede ki Boşluk Hacmi
V	Poroz Maddenin Toplam Hacmi
β	Paketlemiş Kürelerin Yoğunluğu
ϵ	Porozite
ε	Yayılma Oranı

ω	Özgöl yayınma oranı
μ	Dinamik Viskozite
ρ_b	b noktasında ki basınç
ρ_a	a noktasında ki basınç
$\nabla\rho$	Basınç Farkı
ϑ	Akışkan Hızı

KISALTMA LİSTESİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
CFM	Continous Flament Mat
CSM	Chopped Strand Mat
DES	Detached Eddy Simulation
DNS	Direct Numerical Simulation
HAP	Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği
IEC	International Electrotechnical Comission
LES	Large Eddy Simulation
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
RMC	Remaining Moisture Content
RNG	Renormalization Group
SAS	Scalable Adaptive Simulation
SKE	Standart k-epsilon
SST	Shear Stress Transport
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
URANS	Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çamaşır makineleri için enerji kartı [1].....	3
Şekil 1.2 Dokunmamış dikey poroz cam elyafı liflerinin mikroskop altında görünümü [4]	8
Şekil 1.3 Dokunmamış yatay poroz cam elyafı liflerinin mikroskop altında görünümü [4]	9
Şekil 1.4 Darcy yasası için kullanılan terimler ve yönleri [6].....	9
Şekil 1.5 Doğal poroz madde örnekleri [9]	11
Şekil 1.6 Alüminyum piston-silindir sistemi [14].....	16
Şekil 1.7 Deney düzeneğinin şematik gösterimi [14].....	16
Şekil 1.8 Polyester materyalin sıkıştırılması sonucu elde edilen su basınçları [14]	16
Şekil 1.9 Sıkıştırma ile CFM'den dataların toplanması (a) Farklı sıkıştırma hızlarının geçirgenliğe etkisi (b) Tek bir test örneğinin arkaya arkaya sıkıştırma etkileriyle oluşan geçirgenlik [14].....	17
Şekil 1.10 Sıkıştırma ile CFM'den dataların toplanması (a) Farklı sıkıştırma hızlarının geçirgenliğe etkisi (b) Tek bir test örneğinin arkaya arkaya sıkıştırma etkileriyle oluşan geçirgenlik [14].....	18
Şekil 1.11 Piston-silindir deney düzeneği [15]	19
Şekil 1.12 Geçirgenlik ölçüm cihazı test düzeneği [15].....	19
Şekil 1.13 (a) Malzeme A'nın bozuk yüzey ve bozulmamış yüzeyli olarak porozitesinin geçirgenliğe etkisi (b) bozulmamış yüzeyli malzemelerin porozitelerinin geçirgenliğe etkisi [15]	20
Şekil 1.14 Üç farklı materyalin farklı geçirgenlik bağıntıları ile karşılaştırılması [15]	21
Şekil 2.1 Metal Karkas Katı Modeli	24
Şekil 2.2 Alt delikli plaka katı modeli	25
Şekil 2.3 Alt delikli plaka teknik resmi.....	25
Şekil 2.4 Üst delikli plakanın katı modeli	26
Şekil 2.5 Üst delikli plakanın pres başına katı model montajı	26
Şekil 2.6 Piston-silindir sistemi katı modeli	27
Şekil 2.7 Su pompası katı modeli	28
Şekil 2.8 Pres yağ deposu, elektrik motoru ve manometre katı modeli.....	28
Şekil 2.9 Oluşturulan katı modellerin montajlanması	29
Şekil 2.10 Seçilen frekans konvertörlü su pompası	30
Şekil 2.11 Seçilen pompa için pompa eğrileri	30
Şekil 2.12 Seçilen hidrolik pres, manometre ve elektrik motoru	31

Şekil 2.13 Üretimi tamamlanmış üst delikli plakanın pres başına montajı ve sızdırmamazlık için kullanılan o-ringler.....	32
Şekil 2.14 Alt delikli plakadan suyun rahatça akabilmesi için oluşturulan havşa başı teknik resmi	32
Şekil 2.15 Havşa başı açılmış alt delikli plaka.....	33
Şekil 2.16 Montajı tamamlanmış piston-silindir sistemi.....	33
Şekil 2.17 Hazne boşaltma vanası, pislik tutucu, check valf ve flex borusu	34
Şekil 2.18 Soldan sağa sıcaklık kontrol cihazı ve sensörü	35
Şekil 2.19 Pulse tipi çıkış veren debimetre ve montajı	36
Şekil 2.20 Pulse tipi çıkışı anlık olarak lt/dk'ya çeviren takometre.....	36
Şekil 2.21 Su pompası üzerinde bulunan hidrolik basınç ayar ekranı.....	36
Şekil 2.22 Solda sağa; manometre, basınç transduseri ve transduserden gelen veriyi okunabilir hale getiren proses kontrol cihazı	37
Şekil 2.23 Seçilen komponentlerin montajlanmış hali.....	38
Şekil 2.24 Tekstil mamulünün kesilip ve üst üste düzgün bir biçimde serilerek deneyler için hazırlanması	40
Şekil 2.25 Deney tesisatının şematik gösterimi	41
Şekil 2.26 Rejim süresinin belirlenmesi için yapılan deneyler	43
Şekil 3.2 Akış Formları.....	46
Şekil 3.3 Doğrudan sayısal simülasyon (DNS)	47
Şekil 3.4 Büyük eddy simülasyonu (LES)	48
Şekil 3.5 Reynold Ortalama Navier-Stokes Simülasyonu (RANS).....	48
Şekil 3.6 Akışın duvarda uzaklaştıkça değişen türbülans modeli.....	51
Şekil 3.7 Delikli üst-alt plaka arasına tekstil mamulünün katı modellenmesi	53
Şekil 3.8 Analizler için akış modelinin oluşturulması	54
Şekil 3.9 Oluşturulan akış modelinin yandan görünümü.....	54
Şekil 3.10 Tek delik için akış modeli.....	55
Şekil 3.11 Ağ yapısının oluşturulması.....	55
Şekil 3.12 Ağ örgüsü elemanlarının kaliteleri	56
Şekil 3.13 Ağ örgüsü elemanlarının bozukluk faktörleri	56
Şekil 4.1 30 katman, 1 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi	61
Şekil 4.2 30 katman, 2 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi	62
Şekil 4.3 30 katman, 4 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi	62
Şekil 4.4 60 katman, 1 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi	63
Şekil 4.5 60 katman, 2 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi	64
Şekil 4.6 60 katman, 4 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi	65
Şekil 4.7 1 bar su basıncında porozitenin debiye etkisi	66
Şekil 4.8 2 bar su basıncında porozitenin debiye etkisi	66
Şekil 4.9 4 bar su basıncında porozitenin debiye etkisi	66
Şekil 4.10 Deney 1'den deney 36'ya kadar Darcy hariç geçirgenliklerin kıyaslanması ...	68
Şekil 4.11 Deney 1'den deney 36'ya kadar Darcy geçirgenlikleri	68

Şekil 4.12 Deney 36'dan deney 44'e kadar Darcy hariç geçirgenliklerin kıyaslanması...	69
Şekil 4.13 Deney 36'dan deney 44'e kadar Darcy geçirgenlikleri	69
Şekil 4.14 Poroz tekstil mamülü olmadan yapılan birinci deney analizi	70
Şekil 4.15 1.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	71
Şekil 4.16 2.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	71
Şekil 4.17 3.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	71
Şekil 4.18 4.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	72
Şekil 4.19 5.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	72
Şekil 4.20 6.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	72
Şekil 4.21 7.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	73
Şekil 4.22 8.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	73
Şekil 4.23 9.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	73
Şekil 4.24 10.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	74
Şekil 4.25 11.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	74
Şekil 4.26 12.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	74
Şekil 4.27 13.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	75
Şekil 4.28 14.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	75
Şekil 4.29 15.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	75
Şekil 4.30 16.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	76
Şekil 4.31 17.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	76
Şekil 4.32 18.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	76
Şekil 4.33 19.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	77
Şekil 4.34 20.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	77
Şekil 4.35 21.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	77
Şekil 4.36 22.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	78
Şekil 4.37 23.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	78
Şekil 4.38 24.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	78
Şekil 4.39 25.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	79
Şekil 4.40 26.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	79
Şekil 4.41 27.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	79
Şekil 4.42 28.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	80
Şekil 4.43 29.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	80
Şekil 4.44 30.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	80
Şekil 4.45 31.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	81
Şekil 4.46 32.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	81
Şekil 4.47 33.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	81
Şekil 4.48 34.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	82
Şekil 4.49 35.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	82
Şekil 4.50 36.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	82
Şekil 4.51 37.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	83
Şekil 4.52 38.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	83
Şekil 4.53 39.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	83
Şekil 4.54 40.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	83
Şekil 4.55 41.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	84
Şekil 4.56 42.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	84
Şekil 4.57 43.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	84
Şekil 4.58 44.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri.....	84

Şekil 4.59 Deneysel ve CFD'den Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması	85
Şekil 4.60 Deney 27'de oluşan basınç farkı	86
Şekil 4.61 Basınç farkı ile oluşan debi	86
Şekil 4.62 5 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları.....	87
Şekil 4.63 7 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları.....	87
Şekil 4.64 8 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları.....	87
Şekil 4.65 9 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları.....	88
Şekil 4.66 10 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları.....	88
Şekil 4.67 800 d/d 'da durağan halde ki akış	89
Şekil 4.68 1200 d/d'da durağan halde ki akış	89
Şekil 4.69 800 d/d 'da 0.01 sn'de akışın durumu	90
Şekil 4.70 1200 d/d'da 0.01 sn'de akışın durumu	90
Şekil 4.71 800 d/d 'da 0.1 sn'de akışın durumu	91
Şekil 4.72 1200 d/d'da 0.1 sn'de akışın durumu	91
Şekil 4.73 800 d/d 'da 0.1 sn'de akışın durumu	92
Şekil 4.74 1200 d/d'da 0.1 sn'de akışın durumu	92

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Sıkma verimi yüzdesinin enerji sınıflarına etkisi [1]	2
Çizelge 1.2 Bazı kaya tipleri için Darcy geçirgenlikleri [8]	10
Çizelge 1.3 Farklı sarmal yapılara göre porozite, Kozeny-Carman ve Cell Model geçirgenliği [11].....	14
Çizelge 2.1 Deneylerde kullanılan tekstil mamülünün özellikleri	38
Çizelge 2.2 Deneylerde kullanılan tekstil mamülünün özellikleri (devamı)	39
Çizelge 2.3 Rejim süresini belirlemek için kullanılan parametreler	43
Çizelge 2.4 Deney listesi oluşturulurken kullanılan parametreler	44
Çizelge 2.5 Pres kuvveti olmadan yapılan deneyler için kullanılan parametreler	44
Çizelge 3.1 Ağ örgüsü eleman kalitesinin min. maks. ve ortalamaları	56
Çizelge 3.2 Ağ örgüsü elemanları bozukluk faktörlerinin min.maks. ve ortalamaları	56
Çizelge 4.1 30 katman, 1 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi .	61
Çizelge 4.2 30 katman, 2 bar su basıncı altında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi	62
Çizelge 4.3 30 katman, 4 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi ...	63
Çizelge 4.4 60 katman, 1 bar su basıncı altında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi	63
Çizelge 4.5 60 katman, 1 bar su basıncı altında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi (devamı)	64
Çizelge 4.6 60 katman, 2 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi .	64
Çizelge 4.7 60 katman, 4 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi .	65

ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE SIKMA VERİMİNİN İNCELENMESİ

M. M. Kemal TOZYILMAZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Türkiye'nin 2014-Aralık itibariyle nüfusu yaklaşık 76,5 milyon ve hane sayısı 2014 yılı için yaklaşık olarak 27,7 milyondur (TUİK). Metropol yaşamının artması ve küçük illerimizdeki şehirleşme nedeniyle yaşam standartlarını arttıran, zamandan tasarruf sağlayan elektrikli ev aletlerinin kullanımı günden güne artmaktadır. Enerji talebinin artmasıyla birlikte elektrik tüketiminin hane kullanımında, genel elektrik tüketiminin %25'ini oluşturduğu belirtilmektedir (TEDAŞ 2014).

Evlerde en fazla enerji tüketen grup ise elektrikli ev aletleridir. Ev aletlerinin verimliliği ile ilgili çalışmalar uzun süredir devam etmektedir. Bu çalışmada çamaşır makinesinin sıkma verimine etki eden parametreleri saptamak, deneysel ve HAD analizleri ile yapılan çalışmalarla model oluşturmak istenmiştir.

İlk aşamada deney tesisatı modellenmiş ve üretimi yaptırılmıştır. Deneysel çalışmalar ile tekstil porozitesi ve poroziteye bağlı geçirgenlik korelasyonları irdelenmiştir. Elde edilen porozite ve geçirgenliklere bağlı olarak debi değişimleri arasında bağlantı kurulmaya çalışılmıştır.

İkinci aşamada deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak HAD analizleri yapılmıştır. Deney tesisatının akış modeli çıkartılmıştır. Bu modele uygun olan türbülans modeli için deneysel veriler ve HAD ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Türbülans modeli ve ağ yapısı oluşturulduktan sonra tambur delik çaplarının debiye olan etkisi incelenmiştir.

Üçüncü aşamada tambur ve kazanın iki boyutlu yüzey modeli oluşturulmuştur. Zamana bağlı ve iki fazlı olarak analizler yapılmıştır. Burada ki amaç sıkma sırasında kanat konstrüksiyonunun tambur içinde ki akışkana etkisini görmektir. Ayrıca uygun türbülans modeli seçilerek, ileri ki çalışmalarda tekstil mamülü ile yapılacak analizlerde altyapı oluşturması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deneysel çalışma, çamaşır makinesi, tambur, sıkma verimi, porozite, geçirgenlik, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, türbülans modelleri

INVESTIGATION OF SQUEEZING EFFICIENCY AT WASHING MACHINE

M. M. Kemal TOZYILMAZ

Department of Mechanical Engineering

M.Sc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Turkey's population is approximately 75.5 million and the number of households is about 24.7 million for the year 2012 as of December (TUIK). The use of time-saving electrical household appliances that increase standards of living is increasing day by day due to growing metropolitan life and urbanization of small towns. With the increasing demand for energy in the use of household electricity consumption, generates about 25% of the overall electricity consumption indicated (TEDAŞ 2012).

The largest energy consumers in the houses are household electrical appliances. Studies on the efficiency of household appliances continues for a long time. In this study, to determine the parameters affecting the efficiency of the washing machine squeezing, aimed to create experimental models and studies with CFD.

In the first stage, the experimental apparatus was built, modeled and manufactured. By experimental studies, textile porosity and porosity dependent permeability correlations were analyzed. Depending on the porosity and permeability was tried to establish a connection between the flow rate changes.

In the second stage, the CFD analyzes were performed using data obtained in experimental studies. Flow model of the experimental apparatus have been established. This model is compared with the data obtained from experimental data and CFD for appropriate turbulence model. After the turbulence model and the mesh structure is created, the effects of flow rate of the drum diameter hole was investigated.

In the third stage, the two-dimensional surface model is created in the drum. With this model, time dependent analysis was conducted as a two-phase flow. The purpose here is to see the effect wing structures in the drum of fluid during spinning. In addition, selecting the appropriate turbulence models, the analysis of textile products to be made in future studies aimed to build infrastructure.

Key words: Experimental study, washing machine, drum, squeezing efficiency, porous, permeability, computational fluid dynamics, turbulence models

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar bütün teknoloji alanlarında yoğun bir biçimde görülmektedir. Özellikle hane halkının yoğun bir biçimde kullanıldığı elektrikli ev aletlerindeki verimliliğinin önemi kullanıcılar tarafından önem arz etmektedir. Çamaşır makinesinin enerji etiketlerinde de yayınlanan sıkma verimi, doğrudan tüketilen enerji değeri ile ilgili olması sebebiyle böyle bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda, çamaşır makinelerindeki sıkma verimini etkileyen parametreler ve sıkma fiziği üzerine yeterli miktarda çalışma olmadığı görülmektedir. Özellikle yapılmış olan araştırmaların 40-50 yıllık geçmişi olduğu düşünülürse, günümüzde kullanılan gelişmiş ölçüm yöntemleri ve HAD analizleri yardımıyla sıkma verimini etkileyen parametreleri incelemenin söz konusu bu ve benzeri konularda mevcut eksikliği gidereceği gibi ileri ki çalışmalara da ışık tutacaktır.

Tekstilden suyun uzaklaştırılabilmesi öncelikle poroz bir yapı olan tekstili anlamak gerekir. Su, tekstilin içinden geçerken poroziteden dolayı bir dirence maruz kalmaktadır. Suyun poroz maddeden geçme kabiliyeti için ise geçirgenliğini bilmemiz gerekir. Geçirgenlik ile ilgili ilk çalışma Darcy tarafından 1800'lerin ortalarında yapılmıştır. Bu çalışmalar, toplu halde bulunduğu poroz bir yapı oluşturan kum birikintisi üzerinde yapılmıştır. 1900'lü yılların ortalarında ise geçirgenlik ile çalışmalar daha mikroskobik ölçeğe inmiştir. Bu süreçte deneysel ve ampirik bir çok geçirgenlik ifadesi literatürde yer almıştır. Bazı geçirgenlik ifadeleri araştırmacılar tarafından daha çok benimsenmiştir. Özellikle bu çalışma literatürde geniş kesimler tarafından kabul edilen geçirgenlik

ifadelerini deneysel olarak karşılaştırmıştır. Ayrıca sıcaklık, çamaşır katmanı ve porozite gibi parametrelerin hem debi üzerinde hem de geçirgenlik üzerinde etkisi irdelenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerine yer verilmiştir. HAD çalışmalarında kullanılan türbülans modelleri ayrıca bu bölüm altında incelenmiştir. Kullanılan modellerin oluşturan teoriler ve birbirleriyle olan kıyası yine bu bölüm altında incelenmiştir.

1.1.2 Sıkma verimi

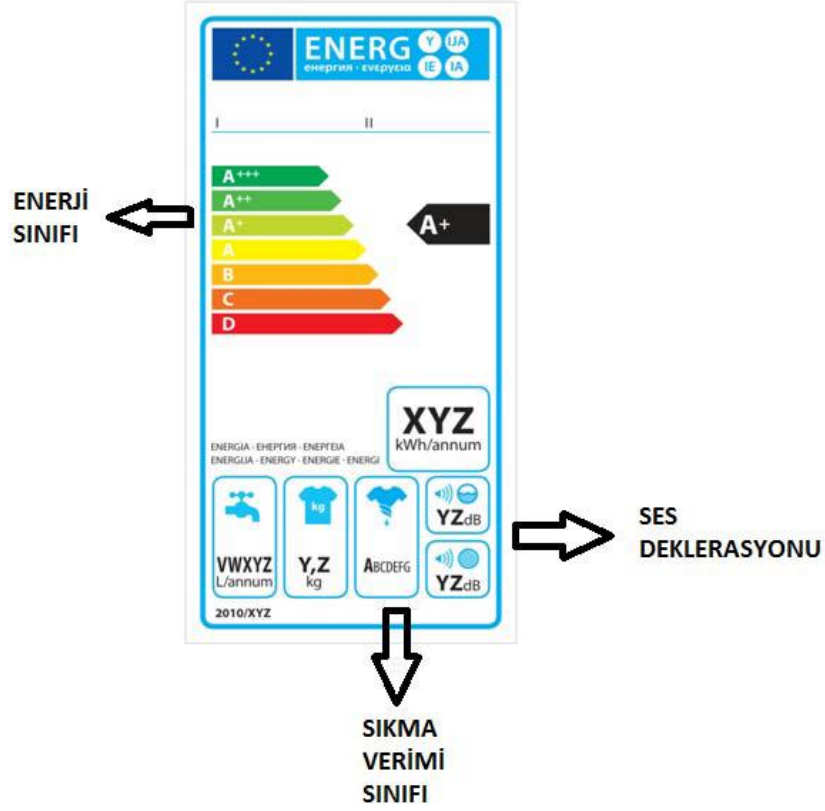
Bu çalışma çamaşır sıkma verimine etkileyen parametrelerin incelenmesini kapsamaktadır. Çamaşır verimi (1.1)'den bulunabilmektedir [1].

$$RMC = \frac{M_r - M}{M} \quad (1.1)$$

Sıkma verimi çamaşır makinesi enerji kartlarında bulunan bir unsurdur. Çamaşır içinde kalan suyun miktarına göre bir enerji sınıfı Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Sıkma verimi yüzdesinin enerji sınıflarına etkisi [1]

SINIFLAR	SIKMA VERİMİ YÜZDESİ (RMC * 100)
A	$RMC*100 < \%45$
B	$\%45 < RMC*100 < \%54$
C	$\%54 < RMC*100 < \%63$
D	$\%63 < RMC*100 < \%72$
E	$\%72 < RMC*100 < \%81$
F	$\%81 < RMC*100 < \%90$
G	$\%90 \leq RMC*100$



Şekil 1.1 Çamaşır makineleri için enerji kartı [1]

Çamaşır makinesi enerji kartlarının bulunması zorunludur. Şekil 1.1’de sıkma verimi sınıfının bulunduğu pozisyon görülebilir.

Kurutma prosesinde mekanik veya kimyasal işlemler kullanılmaktadır. Hanelerde kullanılan beyaz eşyalarda tekstil kurutma işlemi mekanik etkilerle yapılmaktadır. Sıkma verimini direkt olarak etki eden suyun uzaklaştırılması için öncelikle tekstilde bulunan suyun durumuna bakmak gereklidir.

1.1.3 Tekstilden Mekanik Etkilerle Suyun Uzaklaştırılması

1.1.3.1 Tekstil Kurutma

Esas olarak suyun kumaştan mekanik ve ısı enerjisi ile uzaklaştırılmasıdır. Yaş işleme tabi tutulmuş veya yıkanmış bir tekstil mamülü, banyodan hiç sıkmadan çıkarıldığında üzerinde ağırlığının %150-500’ü kadar fazla bulunmaktadır. Bu fazla su mamülün değişik bölgelerinde bulunmaktadır. Yaş bir tekstil mamülü üzerindeki suyun hepsi aynı durumda bulunmayıp, bulunduğu yere ve tekstil mamülüyle arasındaki bağ durumuna göre farklılıklar gösterir.

1.1.3.2 Damlayan Su

Liflere hiçbir şekilde bağılı olmayan suyun bu kısmı, kendi ağırlığının (yer çekiminin) etkisiyle aşağıya doğru akar ve kumaşın alt kısmından damlar. Bu şekildeki suyun mekaniksel etkilerle (ön kurutmayla) uzaklaştırılması oldukça kolaydır [2]

1.1.3.3 Yüzey Suyu

İpliklerin yüzeyine adhezyon kuvvetleriyle bağılı olan bu suyun uzaklaştırılması için, daha yoğun mekaniksel kuvvetlere gerek duyulur. Fakat bu suyun tamamı da ön kurutma ile uzaklaştırılabilir [2].

1.1.3.4 Kapilar Suyu

İpliklerin içerisinde lifler arasındaki kapılarda (kılcal boşluklarda) bulunan ve liflerin yüzeyine adhezyon kuvvetleriyle bağılı olan bu suyun, ön kurutma sonucu, ön kurutmanın etkinlik derecesine bağılı olarak, az veya çok bir kısmı uzaklaştırılabilmektedir [2].

1.1.3.5 Şişme Suyu

Liflerin içerisinde miseller arasında bulunan bu su kısmı, lif kesitlerinin şişmesine yol açmaktadır. Lif moleküllerine dipol kuvvetleriyle bağılı olan bu su kısmının mekaniksel kuvvetlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Şişme suyu liflerden ancak ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılabilir [2].

1.1.3.6 Kristal Suyu (doğal nem)

Şişme suyu gibi liflerin içerisinde miseller arasında bulunan bu su, normal kuru bir tekstil mamülünde bulunması gereken nemdir. Bu nedenle iyi bir kurutmanın sonunda, bu su kısmının liflerde kalması gerekmektedir [2].

Kurutmalar sırasında suyun ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılması, mekaniksel kuvvetlerle uzaklaştırmaya nazaran çok daha pahalıya mal olmaktadır. Liflerin doğal nemi, hiçbir şekilde uzaklaştırılmamalıdır. Doğal nemin uzaklaştırılması, kurutmanın başına nazaran çok daha yavaş bir şekilde meydana geldiğinden, kurutucu verimi düşer. Dolayısıyla kurutma maliyetinin artmasına sebep olur. Bu arada doğal nemi uzaklaştırılan

kumaşın tutumu sertleşmekte ve yün gibi bazı liflerin doğal nemleri bir defa uzaklaştırıldı mı, ileride havadan bir daha aynı miktarda nem almamaktadır.

Tekstil mamüllerinin kurutulması sırasındaki en önemli nokta, suyun ısı enerjisi ile uzaklaştırılmasının mekanik kuvvetler yardımıyla uzaklaştırmaya nazaran çok daha pahalı olduğudur. İyi bir kurutmanın iki kuralı vardır [2]:

- Suyun mümkün olan kısmı (damlayan su ve yüzey suyunun tamamı, kapılar suyunun mümkün derece büyük kısmı) mekanik kuvvetlerle uzaklaştırılmalıdır.
- Liflerin doğal nemi (kristal suyu) hiçbir şekilde uzaklaştırılmamalıdır. Suyun uzaklaştırılması, mekanik ve ısı enerjisi kullanılarak yapılaş şekillerine göre; ön kurutma ve asıl kurutma olarak iki ana kısımda incelenebilir.

1.1.4 Ön Kurutma

Ön kurutma fiziksel ve mekaniksel yöntemlerle yapıldığı için ısı enerjisi ile yapılan kurutmaya göre son derece hızlı ve ucuz bir kurutmadır. Ancak adı kurutma olmakla birlikte, bu yöntemlerle kumaşın tam anlamı ile kuruması söz konusu değildir. Sadece uygulanan yöntemin etkisi, lifin, dokunun cinsine göre belli miktarda ve ancak kolay uzaklaşabilen bir miktar suyun kumaştan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Ön kurutmanın etkili ve düzgün yapılmasının en önemli avantajlarından birisi de, yalnızca ön kurutma yaparak ve yaştan-yaşa aplikasyon yöntemleri ile çalışarak, her seferinde ısı enerjisi ile yapılan pahalı bir kurutmanın saf dışı bırakılmasıdır. Tekstil mamüllerinden suyun ön kurutma yöntemleriyle uzaklaştırılması dört şekilde yapılabilir. Aşağıda bu yöntemler kısaca anlatılmıştır [2].

Ön Kurutma Yöntemleri:

- Sıkma
- Santrifüjleme
- Emme ve Püskürtme
- Kılcal Emme

1.1.4.1 Sıkma

Suyu uzaklaştırılacak mamülü belirli bir basınç altında bulunan merdaneler arasından geçirmek esasına dayanır. Kesintisiz çalışabilen en kolay ve en ucuz ön kurutma yöntemidir.

Halat halindeki kumaşların sıkılması, hem kırık tehlikesinin yüksek olması hem aşırı sıkma etkisinin düzensüz olması nedeniyle çok yaygın değildir. Enine açık kumaşların sıkılmasında (ön kurutmasında) kullanılan cihazlara “su kalandır” da denilmektedir. Fulardlarda kavislenme olayı nedeniyle, kenarların ortaya nazaran daha fazla sıkılması problemi burada da söz konusudur.

Merdanelerin yüzeyinin sertliği arttıkça, merdanelerin çapı küçüldükçe ve merdaneler arasındaki sıkma bacinı arttıkça, ön kurutma etkisi artmaktadır. Kumaşta kalan su miktarı azalmaktadır. Ancak bu artış da bir sınır olup, çok yüksek sıkma basınçlarıyla çalışıldığında kumaşta kalan su miktarı azalmazken, kumaşın ezilmesi artmaktadır. Genellikle halat halinde çalışılan yuvarlak örgü kumaşların sıkılması amacıyla 1980’li yıllarda balon sıkma makinaları geliştirilmiştir. Bunlarda sıkma merdaneleri arasına gelmeden önce hortumun içerisine hava basılarak balon gibi şişmesi ve böylece kumaşın merdaneler arasına hiç kırışksız durumda girmesi sağlanmaktadır [2].

1.1.4.2 Santrifüjleme

Santrifüjlerde suyun uzaklaştırılması merkezkaç kuvvetinin etkisiyle sağlanmakta olup, delikli santrifüj sepetinin çevresel hızının karesiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Terbiye dairelerinde kullanılan santrifüjlerin devir sayısı genellikle 500-1500 dev/dk’dır. Santrifüjlerin iyi bir ön kurutma avantajına karşılık, kırık tehlikesi ve kesintili çalışma gibi dezavantajları vardır. Santrifüjlemede çalışırken en çok dikkat edilmesi gereken malın santrifüj sepetine düzgün bir şekilde yerleştirilmesidir. Yuvarlak örgü kumaşların ön kurutmasında balon sıkmanın yaygınlaşmasıyla önemi azalan santrifüjleme; elyaf, çile iplik ve dikilmiş parçaların ön kurutmasında tek etkili yöntemdir [2].

1.1.4.3 Emme ve Püskürtme

Emme makinaları özellikle, kırık meydana gelme tehlikesi fazla ve bastırmaya karşı hassas olan kumaşların ön kurutmalarında kullanılmaktadır. Bunlarda enine açık

durumdaki kumaş, bir veya birkaç tane emme yarığının üzerinden geçirilmektedir. Vakum pompaları yardımıyla bu yarıklardan 500-600 lt/dk' ya kadar çıkabilen miktarlarda hava emilmektedir. Kumaş içerisinde emilen bu hava, beraberinde kumaştaki suyun bir kısmını da alıp götürmektedir [2].

1.1.4.3 Kılcal Emme

Sıkmalarda normal lastik kaplı veya çelik merdaneler yerine üzeri binderlerle yapıştırılmış, hidrofil elyafla kaplı özel merdaneler kullanıldığında, hidrofil liflerin emiciliği nedeniyle kumaşta kalan su miktarı %10-25 kadar daha düşük olmaktadır. Sıkma-emme tekniğinde emdirilmiş ve sıkılmış kumaş, kuru kumaşla birlikte bir sıkmadan daha geçirilmektedir. Bu esnada yaş kumaştaki flottenin bir kısmı, kuru kumaş tarafından emildiğinden yaş kumaşta kalan flotte(su) miktarı azalmış olmaktadır [2].

1.1.5 Patent Araştırmaları

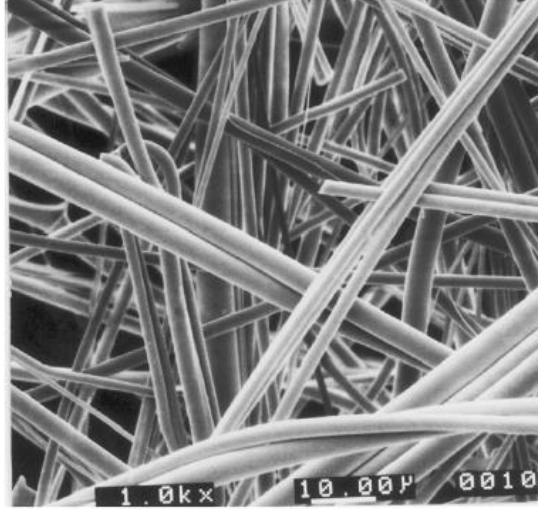
Suyun uzaklaştırılabilmesi için dünya çapında firmaların çalışmaları ve patenleri mevcuttur.. JP7222894 numaralı patentte çamaşırın tambura sıvanmasının ardından tahliye pompasına ek bir pompanın çalıştırılması ve bu sayede makina içinde oluşacak negatif basınç sayesinde nemin çamaşır üzerinden alınabileceği anlatılmaktadır. Bu sayede sıkma devirleri düşürülebilecek ve titreşimler azaltılabilecektir. US2003233766 numaralı patentte ıslak çamaşırın absorban bir malzeme ile temas ettirilerek üzerindeki nemin alınması anlatılmaktadır. Bu sayede çamaşıra az zarar verildiği ve enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmektedir. EP 0711860 numaralı patent başvurusunda sıkma sırasında pompa belli aralıklarla durdurulup basınç kontrolü gerçekleştirilerek art arda duruşlardaki basınç farkı ayarlanan ön değer ile karşılaştırılması ile sıkma adımının otomatik olarak sonlandırılması koruma altına alınmak istenmiştir. EP 0483906 numaralı patent başvurusunda çamaşır cinsini algılayıp ona göre sıkma profilinin çalıştırılabilmesi, ayrıca sıkma öncesinde ve sonrasında çamaşır ağırlığının ölçülüp, sıkma veriminin hesaplanabilmesi koruma altına alınmak istenmiştir. WO 2007114670 numaralı patent başvurusunda sıkma adımında ilk olarak yüksek devirde dönülerek çamaşırdaki suyun alınmasını, ikinci olarak tamburun devri düşürülerek (kazandaki merkezkaç kuvveti azaltılıyor) bu suyun tahliye edilmesi koruma altına alınmak istenmiştir. Görüldüğü üzere dünya çapında birçok firma sıkma verimi konusuna eğilmiştir.

Çamaşır makinelerinde sıkma verimine geçmeden önce kullanılan çamaşırların suya karşı olan dirençlerini ve geçirgenliklerini anlamamız gerektiğini daha önce belirtmişti . Bu sebeple çalışma iki kısımdan oluşmaktadır.

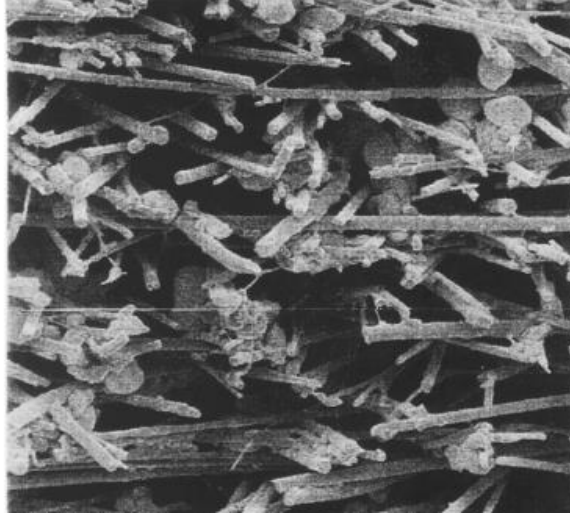
- Deneysel çalışmalar,
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) çalışmaları,

Deneysel çalışmalar için deney düzeneği oluşturulmadan önce çamaşır geçirgenliği hakkında literatür araştırılması yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucu en çok kabul görmüş geçirgenlik korelasyonları belirlenmiştir. Geçirgenlik korelasyonlarını incelemeden önce poroziteyi anlamak gerekir. Çünkü geçirgenliğin olabilmesi için maddenin poroz olması gerekmektedir. Poroz madde gözenekli maddeyi ifade eder. Poroz cam elyafın mikroskop altında görüntüsü Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'te verilmiştir. Porozite ise maddede ki boşluk hacminin maddenin hacmine oranıdır [3].

$$\epsilon = \frac{V_p}{V} \quad (1.3)$$



Şekil 1.2 Dokunmamış dikey poroz cam elyafı liflerinin mikroskop altında görünümü [4]

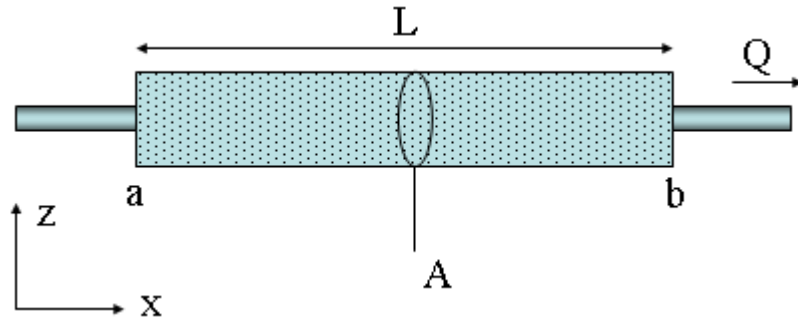


Şekil 1.3 Dokunmamış yatay poroz cam elyafı liflerinin mikroskop altında görünümü [4]

1.1.6 Geçirgenlik Korelasyonları

Geçirgenlik ile ilgili korelasyonların başlangıç noktası Darcy yasasıdır. Bu yasa Fransız mühendis olan Henry Darcy (1856) tarafından ortaya konulmuştur. Darcy yasası poroz bir maddenin için akışı açıklayan temel bir yasadır. Henry Darcy bu yasayı, kum yatağının içinden akan su üzerinde yaptığı deneyler sonucu oluşturmuştur [5]. Özellikle hidrojeoloji alanında yapılan çalışmalarda temel görevi görmektedir. Ayrıca Darcy yasası petrol rezervleri boyunca akan petrol ve gaz gibi akışkanlar içinde kullanılmaktadır.

Darcy yasası sabit yükseklikte poroz bir maddenin için geçen akışkanın debisinin viskozite, yola bağlı olarak basınç düşüşü arasında basit bir bağlantı olduğunu gösterir. Şekil 1.4'te darcy yasasında tarif edilen değişkenler yönleriyle gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Darcy yasası için kullanılan terimler ve yönleri [6]

A alanında L uzunluğunda bir poroz madde x koordinatı boyunca Q debisinde akmaktadır. Buradan Darcy yasasına göre geçirgenlik;

$$Q = \frac{-k_D A (\rho_b - \rho_a)}{\mu L} \quad (1.4)$$

Geçirgenlik ifadesinde negatif işaretinin olmasının nedeni akışkanın yüksek basınçtan düşük basınca doğru akmasındandır. Bu formülün iki tarafını alana bölerek sadeleştirme yapılabilir. Her iki taraf akış alanına bölüldüğünde;

$$q = -\frac{k_D}{\mu} \nabla p \quad (1.5)$$

elde edilir [7].

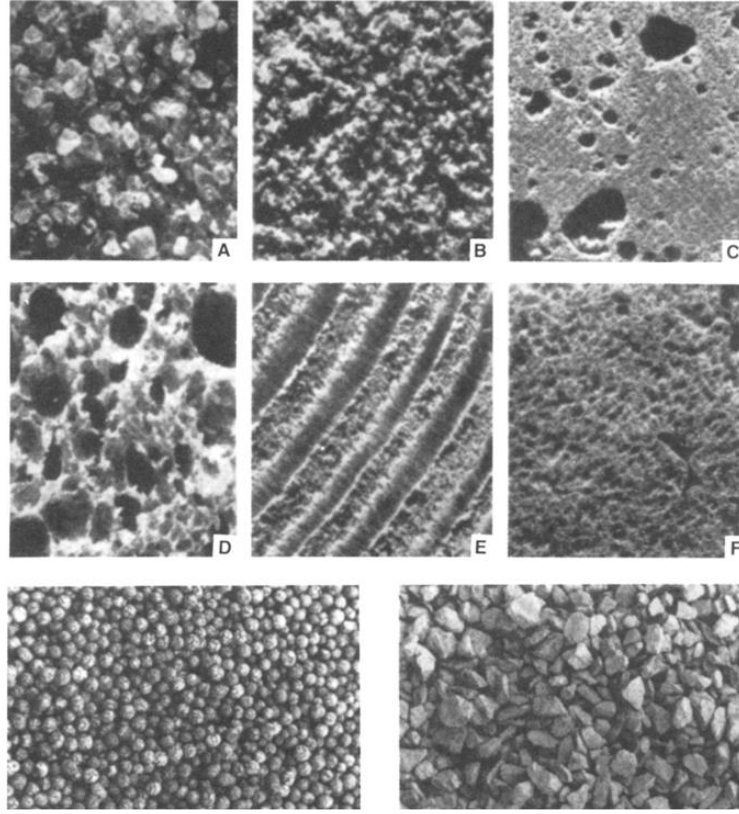
Darcy yasası incelendiğinde aşağıda ki çıkarımlar yapılabilir;

- Eğer yol herhangi bir basınç gradyeni yoksa, orda akış yoktur.
- Eğer yol boyunca basınç gradyeni oluşuyorsa, akış yüksek basınçtan alçak basınca doğrudur.
- Daha büyük basınç gradyeninin olması daha büyük debileri oluşturur.
- Farklı malzemelerde ve aynı malzemelerinin farklı yönlerinde akışın debisi farklı olur.

Doğal olarak bulunan bazı kaya tipleri için Darcy Geçirgenlikleri Çizelge 1.2'de ve doğal poroz madde örnekleri Şekil 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.2 Bazı kaya tipleri için Darcy geçirgenlikleri [8]

Kaya Tipi	Darcy Geçirgenliği
İri Çakıl	10^3-10^4
Kum, Çakıl	10^0-10^3
İnce Kum, Toz	$10^{-4}-10^0$
Kil, Killi Şist	$10^{-9}-10^{-6}$
Kireçtaşı	10^0-10^2
Kumtaşı	$10^{-5}-10^1$
Parçalanmış Tebeşirtaşı	10^0-10^2
Granit, Gnays	$10^{-8}-10^{-4}$



Şekil 1.5 Doğal poroz madde örnekleri [9]

Darcy yasası, poroz maddelerinin geçirgenliği için geniş çaplı kullanım alanı sunmaktadır. Ayrıca geçirgenlik için ortaya atılmış ilk formül özelliği de vardır. Ama darcy yasası geçirgenliği daha çok makroskopik düzeyde incelemektedir. Gelişen bilimsel çalışmalar ile birlikte geçirgenlik mikroskopik ölçülerde incelenmiştir. Bu çalışmalar altında ortaya birçok geçirgenlik korelasyonları sunulmuştur. Bu korelasyonların ortak özelliği maddelerin porozitelerini kullanmalarıdır. Literatürde incelenen çalışmalara göre en çok kabul gören geçirgenlikler şunlardır;

- Kozeny - Carman geçirgenliği,
- Hücre modeli (Cell Model) geçirgenliği,
- Rumpf - Gumppte geçirgenliği,
- Blake – Kozeny gerçirgenliği,
- Happel geçirgenliği,
- Davies-Ingmansion Kozeny faktörü türetimi

Kozeny – Carman gerçirgenlik korelasyonu diğer geçirgenlik bağıntılarına göre daha fazla eleştiri almıştır ama yine de diğer ,geçirgenlik korelasyonlarına göre, yüksek porozite

aralığında en fazla kullanılan korelasyon olmuştur. Kozeny-Carman modeli poroz yatak içinde oluşan akış alanı için çok detaylı bir bakış açısı sunmuştur [10].

$$k_{KC} = \frac{\epsilon D^2}{180} \left(\frac{\epsilon}{(1-\epsilon)} \right)^2 \quad (1.7)$$

(1.7) denklemini Kozeny-Carman denklemidir. Poroz madde üzerinden akışın geçirgenliği ölçmek için kullanılan önemli bir korelasyondur. Kozeny-Carman'a göre akış dolambaçlı bir yoldan gerçekleşmektedir. Bu yüzden akışından dolaştığı yol ile görünen yol arasındaki orana eğrilik faktörü denilen bir tanım oluşturulmuştur [11].

$$\frac{L_e}{L} = \text{Eğrilik Faktörü} > 1 \quad (1.8)$$

Kozeny –Carman (1.8)'i kullanarak yüzeysel hız değeri için bir formül türetmiştir.

$$u_{KC} = \frac{\epsilon^3}{k_0 \mu S_0^2 (1-\epsilon)^2} \left(\frac{L}{L_e} \right)^2 \left(\frac{\Delta p}{L} \right) \quad (1.9)$$

Burada;

$$k_0 \left(\frac{L_e}{L} \right)^2 = \text{Kozeny Faktörü} = K_0 \quad (1.10)$$

Eğer ortalama akış yönü poroz medyada 45° ise $(L_e/L)^2 = 2$ dir. k_0 ise kapiler şekil faktörüdür. Küresel kapiler için $k_0 = 2$, dikdörtgen, halka ve eliptik için ise 2-2,5 arasında değişir. (1.9)'a $(L_e/L)^2 = 2$ ve $k_0 = 2$ koyulursa eğer;

$$u_{KC} = \frac{\epsilon^3}{5 \mu S_0^2 (1-\epsilon)^2} \frac{\Delta p}{L} \quad (1.11)$$

(1.11) denklemini elde edilir.

Daha önce Kozeny – Carman korelasyonunun çok fazla eleştirildiğini belirtilmiştir. Happel temel eksiklikleri tamamlayarak bu eleştirilerin üstesinden gelmiştir ve mikroskobik akış alanını tanımlayan daha iyi bir korelasyon ortaya koymuştur. Happel poroz medya yatağını dolambaçlı, eğri büğrü demet yerine, poroz maddeyi oluşturan tanelerin sanki birbirine montaj içindeymişçesine gibi hareket eden ama aslında birbirinden ayrı olan ve buradan hareketle akış alanı için ortalama küreler ve silindirler tanımlamıştır. Happel birbiriyle montaj halinde kabul edilen küreleri yarıçapı b olan küresel bir kılıfa koyarak hacimsel bir poroz ortam oluşturmuştur [11].

$$\frac{x}{2b} = \beta^{0.33} = (1 - \epsilon)^{0.33} \quad (1.12)$$

Happel daha sonra Kozeny-Carman geçirgenlik korelasyonunu (1.7) kullanarak akışkan için yüzeysel hız değeri türetmiştir.

$$u_H = \left(\frac{x^2}{36} \frac{6 - 9\beta^{0.33} + 9\beta^{1.67} - 6\beta^2}{\beta(3 + 2\beta^{1.67})} \right) \frac{\Delta p}{\mu L} \quad (1.13)$$

Bu denklem $0,4 < \epsilon < 0,7$ porozite aralığı için Kozeny-Carman geçirgenliği ile oldukça uyumludur. Daha yüksek porozite değerlerinde ise Happel'in modeli çok daha iyi olduğu kabul edilmiştir [12].

Kozeny-Carman korelasyonunu veya Happel'in hız formülünü Darcy (1.4) denklemiyle eşitlendiğinde ise;

$$\frac{dp}{dz} = - \frac{\Delta p}{L} \quad (1.14)$$

Kabul edilerek (1.15) denklemi elde edilir.

$$k_{KC} = \frac{\epsilon^3}{5S_0^2(1-\epsilon)^2} = \frac{\epsilon^3 x^2}{180(1-\epsilon)^2} \quad (1.15)$$

Kozeny-Carman korelasyonunu kullanılıncaya (1.15) elde edilmektedir. Geçirgenlik, eşdeğer küresel partikül boyutu olan S_0 'a bağlıdır;

$$S_0 = \frac{6}{x} \quad (1.16)$$

Küresel hücre modelinden türetilen geçirgenlik için eşitlik (1.17)'de verilmiştir;

$$k_{CM} = \frac{x^2}{36} \frac{6 - 9(1-\epsilon)^{0.33} + 9(1-\epsilon)^{1.67} - 6(1-\epsilon)^2}{(1-\epsilon)(3 + 2(1-\epsilon)^{1.67})} \quad (1.17)$$

Bazı sarma yapıları için porozite ve geçirgenlik değerleri Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.3 Farklı sarmal yapılara göre porozite, Kozeny-Carman ve Cell Model geçirgenliği [11]

Packing	Coordination number	Porosity ϵ	$\frac{\epsilon^3}{180(1-\epsilon)^2}$	$\frac{6-9\beta^{0.33} + 9\beta^{1.67} - 6\beta^2}{36\beta(3 + 2\beta^{1.67})}$
	3	0.7766	-	0.0373
	4	0.6599	0.0138	0.0119
	5	0.5969	0.00727	0.00662
Cubic	6	0.4764	0.00219	0.00202
	7	0.4388	0.00149	0.00134
Ortho-rhombic	8	0.3955	0.000941	0.000808
	9	0.3866	0.000853	0.000723
Tetragonal	10	0.3019	0.000314	0.000203
	11	0.2817	0.000241	0.000135
Rhombohedral	12	0.2595	0.000177	0.0000787

Happel poroz maddeyi oluşturan silindirik partiküllerin sıralanmasına göre iki farklı korelasyon önermiştir. Poroz medya geometrisi için hücre yaklaşımı modeli benimsenmiştir. Yani silindirleri saran başka tek bir silindir yaklaşımı oluşturulmuştur. Silindirler akışa göre paralel veya dik olarak sıralanmış olabilirler. Oluşturulan silindirin içerisinde ki boşluk hacmi ile silindirin hacminin oranı , poroz maddenin porozitesine denktir. Böylece silindir içinde ki akışın özellikleri poroz medyada akışı tamamen temsil edecektir. Happel bu yöntemle birlikte iki sınır şartı kabul ederek çözüm yapmıştır [12].

- Silindir yüzeylerinde kaymamazlık şartı
- Silindir yüzeylerinde sıfır kayma gerilmesi

İki farklı silindir dizilimi için çözümler Happel tarafından önerilmiştir.

Akışa paralel sıralanmış silindirler için;

$$k_{HPA} = \frac{D^2}{16(1-\epsilon)} \left[-\ln(1-\epsilon) - 1,5 + 2(1-\epsilon) - \frac{(1-\epsilon)^2}{2} \right] \quad (1.18)$$

Akışa dik sıralanmış silindirler için

$$k_{HPE} = \frac{D^2}{32(1-\epsilon)} \left[-\ln(1-\epsilon) + \frac{(1-\epsilon)^2-1}{(1-\epsilon)^2+1} \right] \quad (1.19)$$

Kozeny faktörünün şekil faktörü olduğu daha öncede belirtilmişti. Bu faktörün aldığı değerler kum, toz ve cam küresel taneciklerinden oluşan malzemelerle yapılan deneylerde teyit edilmiştir. Ancak Davies ve Ingmansion tarafından Kozeny faktörünün özellikle yüksek poroziteli lifli maddeler için porozitenin bir fonksiyonu olduğunu belirtmiştir [12].

$$K_{DI} = \frac{3,5\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^{1/2}} [1 + 57(1 - \varepsilon)^3] \quad (1.20)$$

Rumpf ve Gumpert ise yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda aşağıda ki ampirik korelasyonu önermişlerdir [13].

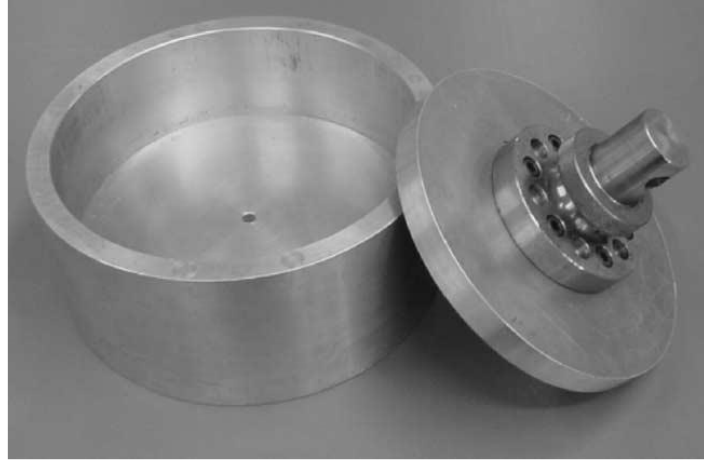
$$k_{RG} = \frac{\varepsilon^{5,5}}{5,6} D^2 \quad (1.21)$$

Poroz maddenin geçirgenliği için birçok çalışma yapıldığı ve ortaya birden fazla geçirgenlik korelasyonları konduğu daha önce birçok kez belirtildi. Poroz medyanın geçirgenliği en basit ve yalın değişkenler üzerinden yaklaşan kişi sayısı buna nazaran fazladır. Blake-Kozeny, porozite ile geçirgenlik arasında kurduğu ilişki için aşağıdaki ampirik korelasyonu önermiştir [13].

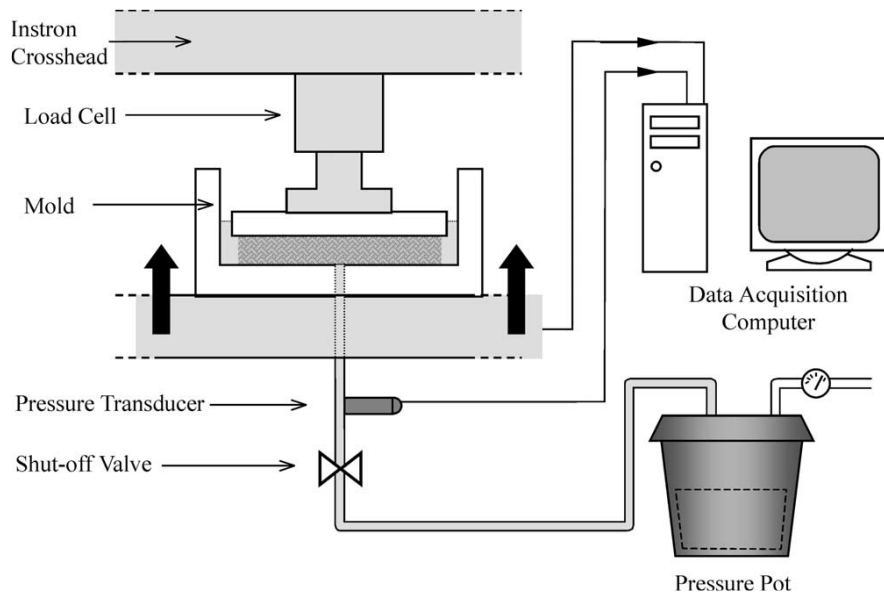
$$k_{BK} = \frac{D^2 \varepsilon^3}{150(1-\varepsilon)^2} \quad (1.22)$$

1.1.7 Porozite ve Geçirgenlik İle İlgili Çalışmalar

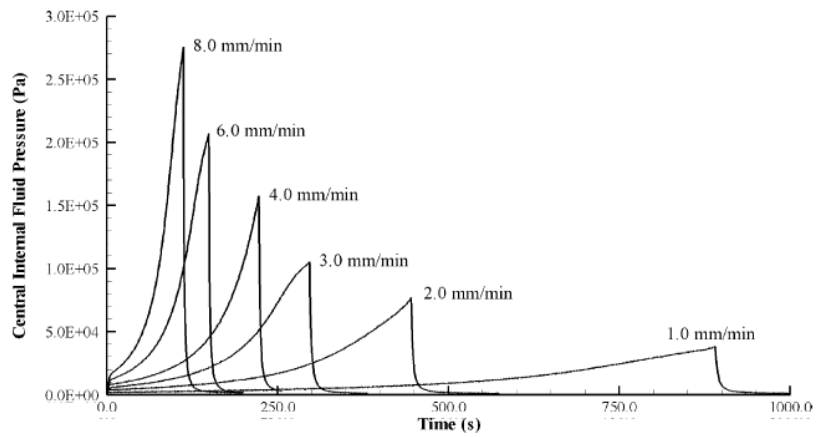
Buntin ve Bickerton (2003), poroz fiber maddelerin porozitelerini ölçmek için alüminyum bir kalıp oluşturmuşlardır (Şekil 1.6). Bu kalıp piston silindir sistemine benzerdir ve bu kalıbın arasına poroz fiber materyal koyarak kalıbı kapalı bir hale getirmişlerdir. Daha sonra poroz materyal doyana kadar tam ortasından su enjekte etmişlerdir. Ardından doyan materyalin üzerine istenilen porozite değerine gelene kadar dikey bir kuvvet uygulamışlardır. Kalıbın altından su verilen kısımda ki basınç ölçer sayesinde zamana bağlı olarak poroz materyal üzerinde ki kalıbın sıkıştırmasıyla oluşan basıncın değişimlerini göstermişlerdir (Şekil 1.7).



Şekil 1.6 Alüminyum piston-silindir sistemi [14]

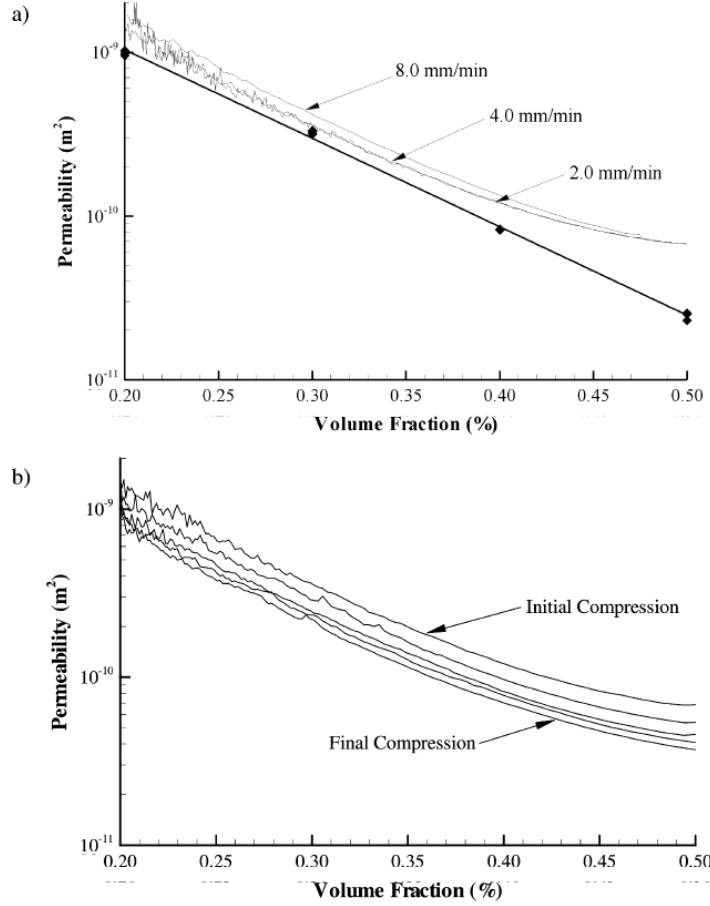


Şekil 1.7 Deney düzeneğinin şematik gösterimi [14]

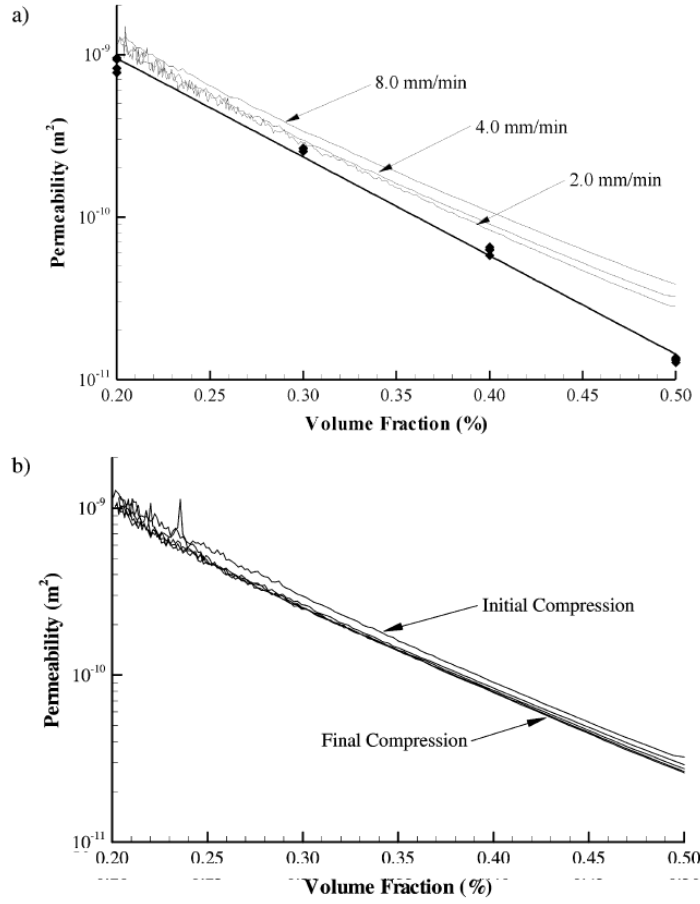


Şekil 1.8 Polyester materyalin sıkıştırılması sonucu elde edilen su basınçları [14]

Üç farklı sıkıştırma hızı ile oluşan poroziteye bağlı geçirgenlik grafikleri oluşturmuşlardır (Şekil 1.8). Bu çalışmada iki farklı fiber poroz medya kullanışlardır. Bunlar sürekli lifli keçe (CFM, 450 g/m²) ve kesilmiş ipli keçe (CSM, 430 g/m²) dir. Bu iki poroz medya ayrı ayrı kalıp arasına yerleştirilmiştir ve belli sürelerde sıkıştırma hızıyla sıkıştırılmıştır. Değişen poroziteye göre elde edilen geçirgenlik değerleri Şekil 1.9 ve Şekil 1.10 gösterilmiştir.

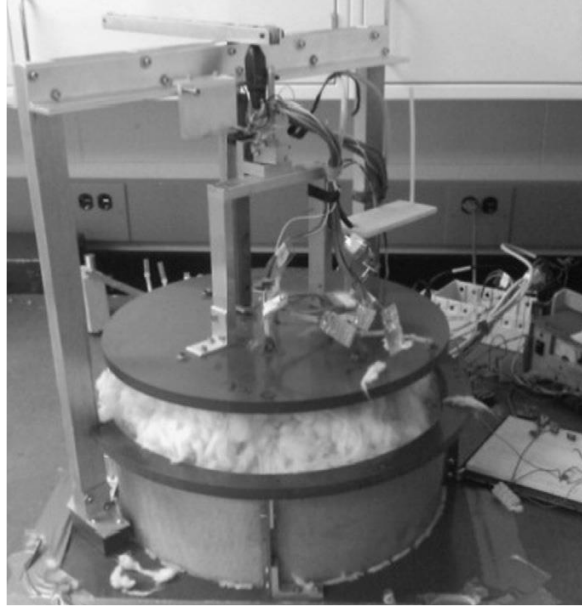


Şekil 1.9 Sıkıştırma ile CFM'den dataların toplanması (a) Farklı sıkıştırma hızlarının geçirgenliğe etkisi (b) Tek bir test örneğinin arkaya arkaya sıkıştırma etkileriyle oluşan geçirgenlik [14]



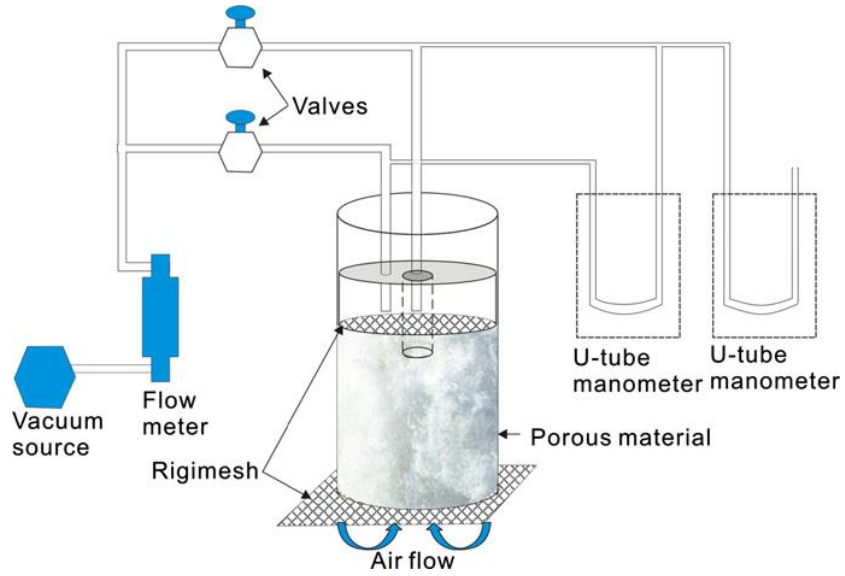
Şekil 1.10 Sıkıştırma ile CFM'den dataların toplanması (a) Farklı sıkıştırma hızlarının geçirgenliğe etkisi (b) Tek bir test örneğinin arkaya arkaya sıkıştırma etkileriyle oluşan geçirgenlik [14]

Crawford vd. (2011) benzer bir çalışma yapmışlardır. Fiber poroz materyalleri sıkıştırarak elde edilen poroziteye göre farklı materyallerin geçirgenliklerini hesaplamışlardır. Deneysel çalışmaları piston-silindir sisteminden oluşmaktadır (Şekil 1.11).



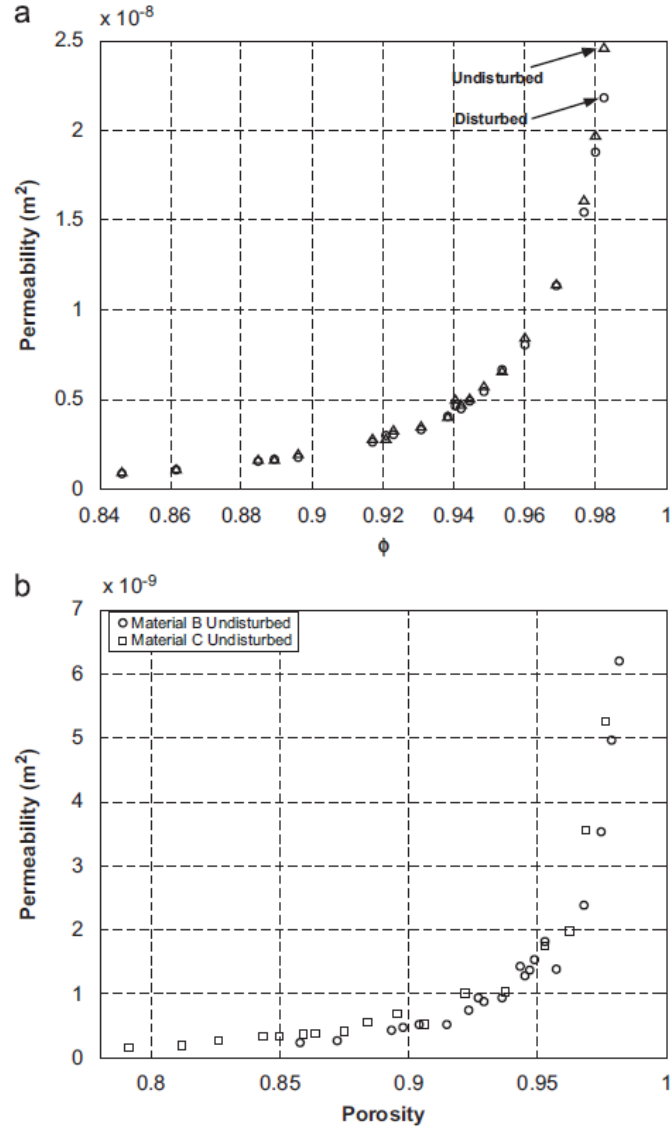
Şekil 1.11 Piston-silindir deney düzeneği [15]

Burada akışkan olarak hava kullanılmıştır. Vakum pompası yardımıyla hava üsten çekilmiştir ve böylece alttan hava girerek sirkülasyon oluşturulmuştur. Çıkışa bağlı manometre vasıtasıyla basınç ölçümü yapılmıştır (Şekil 1.12).



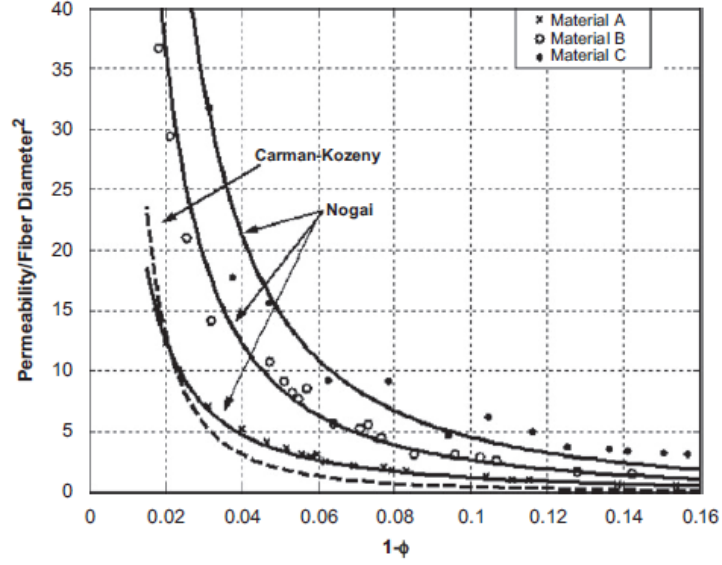
Şekil 1.12 Geçirgenlik ölçüm cihazı test düzeneği [15]

Deney yapılmadan önce poroz materyal bozuk yüzeyli, kabarık ve bozulmamış yüzeyli olarak üçe ayrılmıştır. Daha sonra yapılan deneylerde poroziteye bağlı geçirgenlik için Şekil 1.13 elde edilmiştir.



Şekil 1.13 (a) Malzeme A'nın bozuk yüzey ve bozulmamış yüzeyli olarak porozitesinin geçirgenliğe etkisi (b) bozulmamış yüzeyli malzemelerin porozitelerinin geçirgenliğe etkisi [15]

Carman-Kozeny ve Nogai geçirgenlik bağıntıları birbirleri arasında kıyaslanmıştır. Kıyaslamada bozuk yüzeyli (materyal A), bozulmamış yüzeyli (materyal B) ve kabarık (materyal C) poroz materyalleri kullanılarak Şekil 1.14 oluşturulmuştur.



Şekil 1.14 Üç farklı materyalin farklı geçirgenlik bağıntıları ile karşılaştırılması [15]

1.2 Tezin Amacı

Tekstil mamülü ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlıdır. Çamaşırın farklı yükler altında, katmanlarda ve sıcaklıklarda oluşturduğu porozite ve çamaşırdan boylu boyunca akan debinin hangi parametrelere bağlı olduğu incelenmiştir. Ayrıca literatürde bulunan farklı geçirgenlik korelasyonlarının etkisi ve aralarında ki bağlantı karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen veriler ile HAD analizleri için temel görevi göreceklerdir. Deneysel çalışmanın HAD ile modellenmesi sayesinde deneylerin yapılmasına gerek kalmayacaktır. Böylece hem paradan hem de zamandan tasarruf edilecek ve farklı delik, kanat konstrüksiyonları ve tasarımlar hızlı bir biçimde yapılabilecektir.

Son olarak yapılacak tasarımlar ışığında çamaşır makinesi sıkma veriminin iyileştirilmesi öngörülmektedir.

1.3 Orijinal Katkı

Yapılan deneysel çalışmalar ve oluşturulan model sayesinde çamaşır makinesi tambur, kazan ve poroz tekstil mamulünün HAD modellenmesi sağlanabilecektir. Böylece tambur ve delik geometrisinin akış üzerinde etkisi detaylı bir incelenebilecektir. Geçirgenlik- debi, porozite-debi, porozite-geçirgenlik, sıcaklık-debi gibi oluşturulan şekil ve çizelgeler ile birlikte çamaşır içinde akış daha iyi anlaşılacaktır.

Çamaşır makinesi ve poroz tekstil mamulünün modellenmesi ve görselleştirme çalışmalarını özgün değerler taşımaktadır ve literatüre katkısı olacaktır.

BÖLÜM 2

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yapılan deney çalışmalarda kullanılan deney düzeneği, ölçüm sistemleri ve deney hakkında bilgiler verilecektir.

Deney düzeneği oluşturulmadan önce bilgisayar destekli dizayn (CAD) ortamında deney amacına uygun olarak katı modellenmesi yapılmıştır. Katı model üzerinde gerekli düzeltmeler yapılarak zaman ve harcamalardan tasarruf edilmiştir. Ayrıca ileride deneyde veya deney tesisatında revizyon yapılması istenmesi durumunda daha önceden hazırlanmış katı model kullanılabilir. Katı modelleme tamamlandıktan sonra, deney tesisatının firma tarafından üretilmesi için, oluşturulan model firmaya gönderilmiştir.

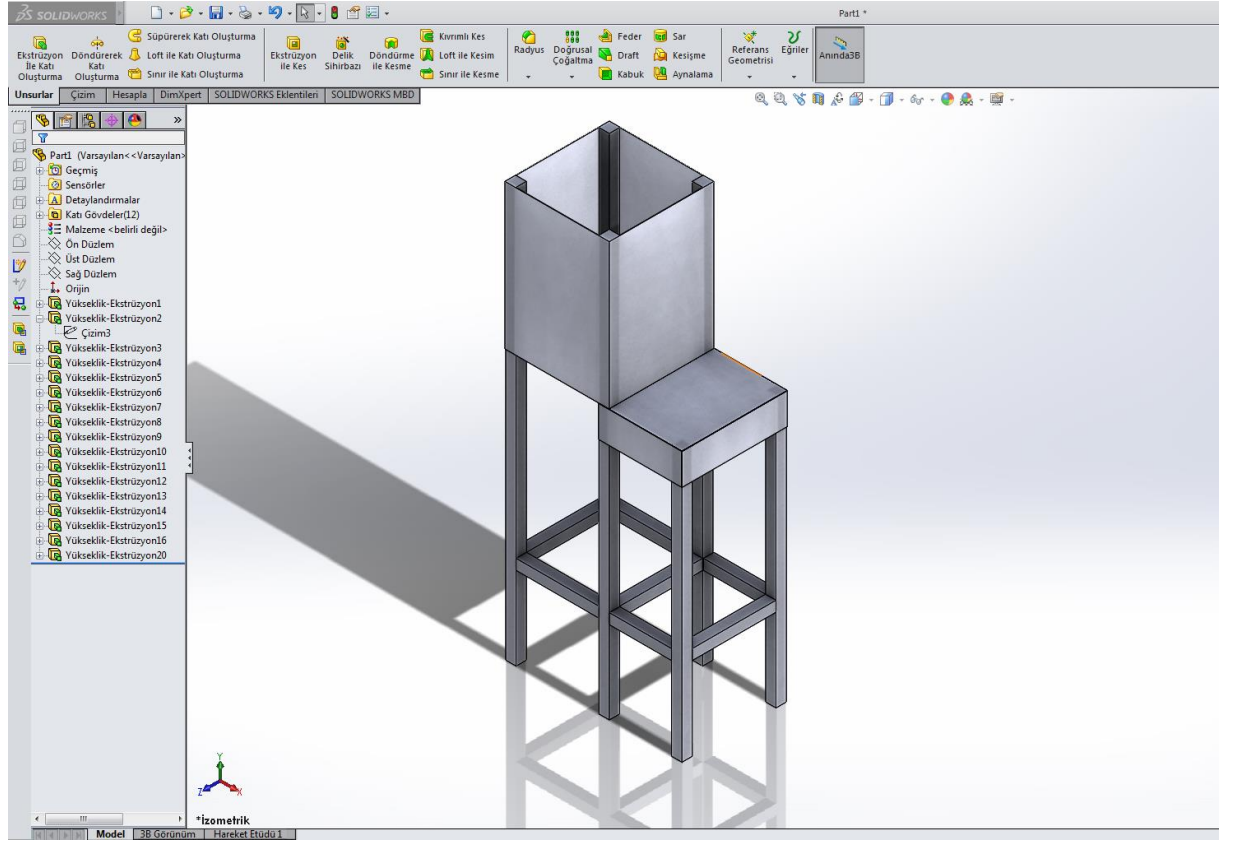
2.1 Deney Düzeneği Katı Modelin Oluşturulması

Günümüzde bilgisayar destekli tasarım programları, üretimden önce oluşabilecek tasarım hataları, imalat hataları ve ölçüm hatalarını asgari düzeye indirebilmek için çoğu firmalar ve araştırma merkezleri tarafından faal olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada çamaşırın porozite ve geçirgenliğini ölçmek için deney düzeneği tasarlanmıştır. Deney tesisatı metal karkas, alt ve üst delikli tambur sacı, su pompası, pres, piston- silindir sistemi ve ölçüm cihazlarından oluşmaktadır.

2.1.1 Metal Karkas Katı Modeli

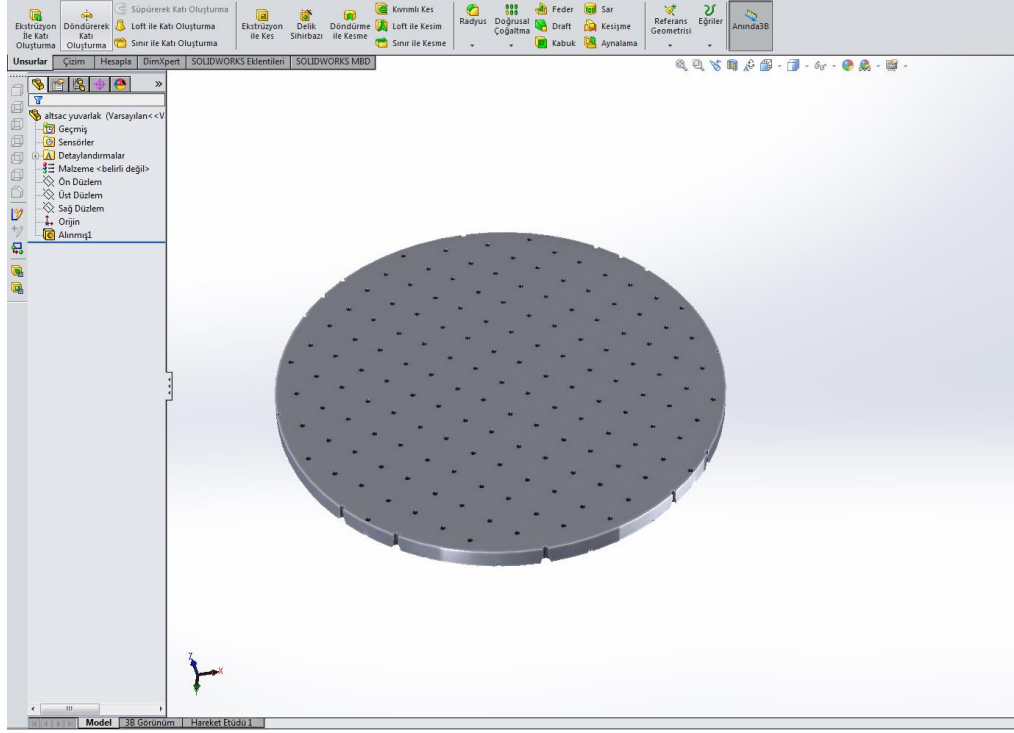
Karkasın tamamını suyun oluşturacağı korozyondan etkilenmemesi için paslanmaz çelik profil ve saclardan imal edilmiştir. Yer kaplamaması ve taşmasının kolay olması için su pompası ve hidrolik pres karkas üzerine montaj edilmiştir. Karkas; hidrolik pres, su pompası, ve piston- silindir mekanizmasını taşıyacak sağlamlıktadır (Şekil 2.1).



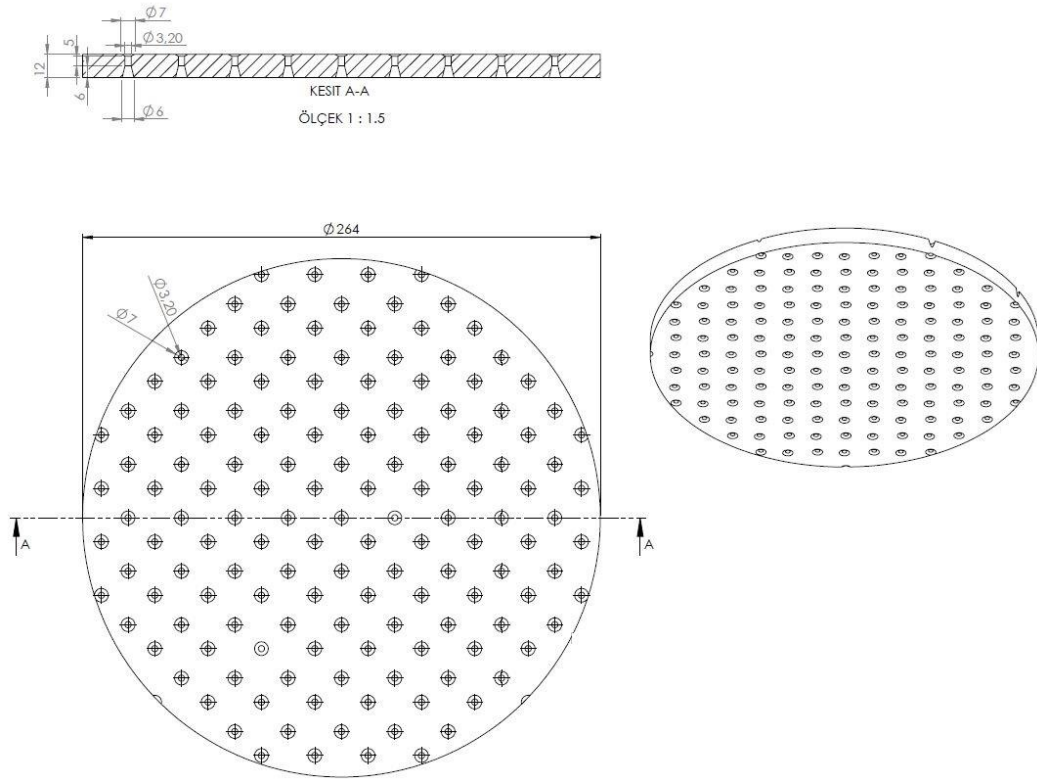
Şekil 2.1 Metal Karkas Katı Modeli

2.1.2 Alt ve Üst Delikli Tambur Plakası Katı Modeli

Çamaşırın serileceği plaka alt delikli plaka olup delik konstrüksiyonu Arçelik A.Ş. tarafından çamaşır makinelerinde kullandıkları tambur saclarıyla aynı ölçülere sahiptir . Hidrolik pres ile üzerine büyük yükler etki edeceği için kalınlığı 2mm den 12 mm ye çıkarılmıştır (Şekil 2.2). Paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Kalınlığı arttırıldığı için suyun çıkışı etkilenmemesi amacıyla deliğin çıkışına havşa başı açılmıştır (Şekil 2.3). Gerektiğinde çıkarılabilmesi için bu plaka sabitlenmemiştir.

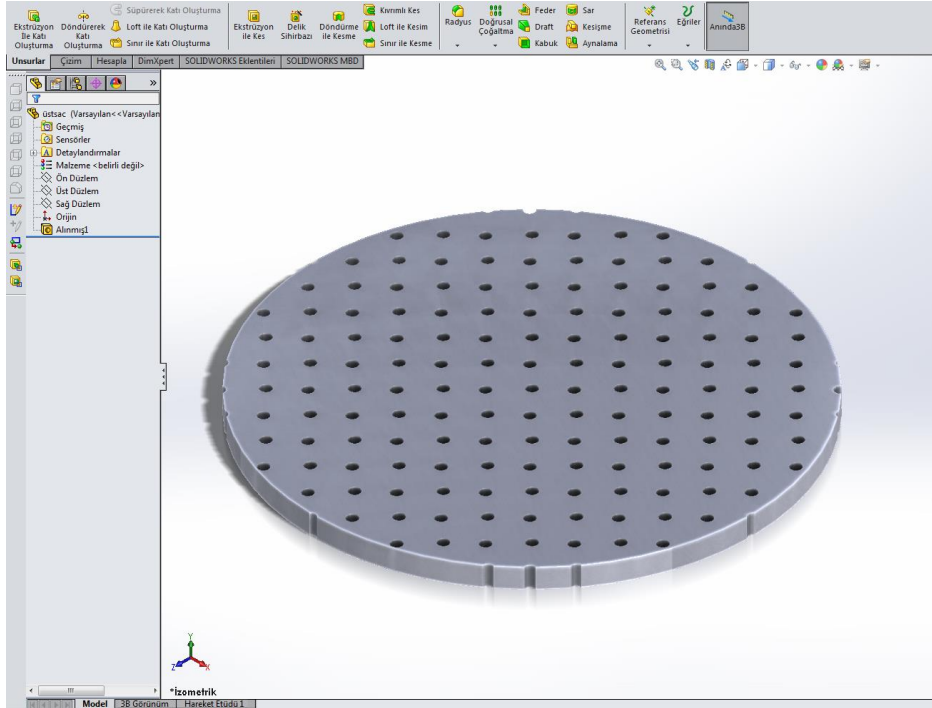


Şekil 2.2 Alt delikli plaka katı modeli



Şekil 2.3 Alt delikli plaka teknik resmi

Üst delikli plaka ise havşa başı dışında ölçü ve malzeme olarak alt delikli plaka ile birebir aynıdır (Şekil 2.4). Üst delikli sac pres koluna sabitlenmiştir. Suyun sızması için üst delikli plakanın yan yüzeyine iki adet o-ring için kanal açılmıştır (Şekil2.5).



Şekil 2.4 Üst delikli plakanın katı modeli

Üst delikli plaka pres kolunda bulunan flanşa 4 adet civata somun ile bağlanmıştır.



Şekil 2.5 Üst delikli plakanın pres başına katı model montajı

Alt ve üst plakalar tambur sacından farklı olarak düzlemsel hale getirilmiştir. Bunun sebebi Tambur içinde bulunan çamaşırlara etki eden santrifüj kuvvetini dikey kuvvet halinde plaka üzerine serili çamaşıra uygulamaktır.

2.1.3 Piston-Silindir Sistemi Katı Modeli

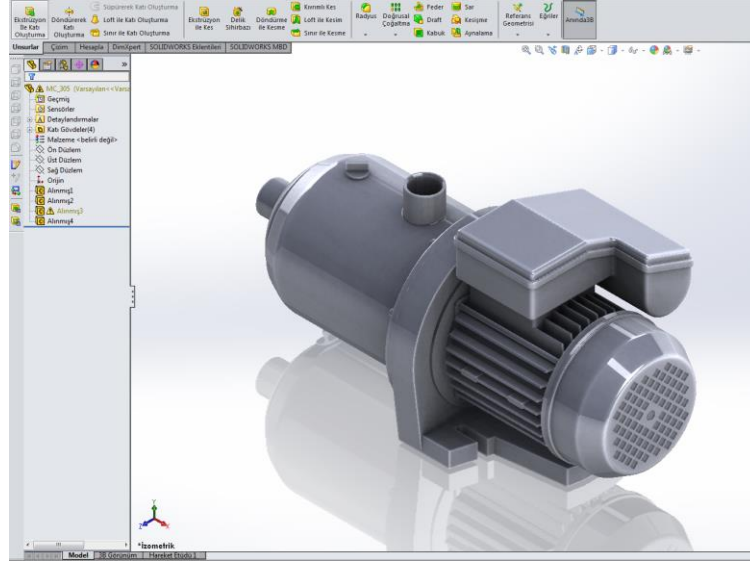
Çamaşırın porozitesinin farklı yükler altında ölçmek için kullanılmıştır. Pres başına bağlı bir yuvarlak plaka (üst delikli sac) ve plakanın yerleştiği silindirden oluşmaktadır (Şekil 2.6). Plaka ve Silindirin birleştiği noktada o-ring sızdırmazlık elemanı olduğu için su sızmamaktadır.



Şekil 2.6 Piston-silindir sistemi katı modeli

2.1.4 Su Pompası Katı Modeli

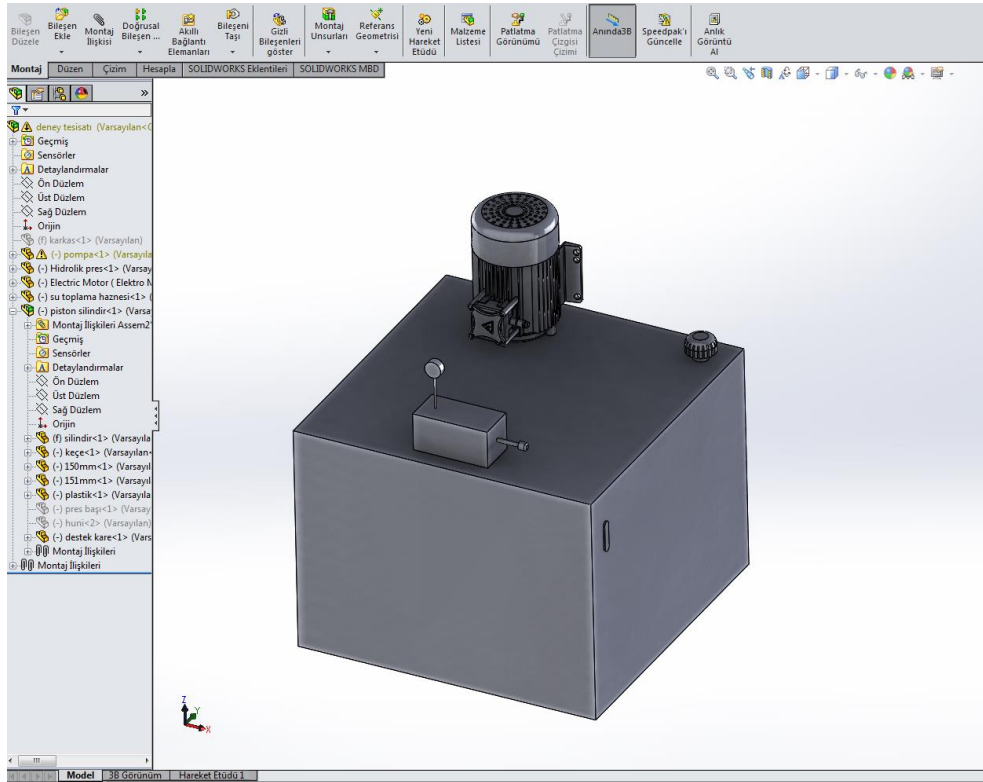
İstenilen değerlerde suyun basınçlandırılması ve su sirkülasyonunu sağlanması için frekans konvertörlü santrifüj su pompası seçilmesi uygun görülmüştür (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Su pompası katı modeli

2.1.5 Pres Katı Modeli

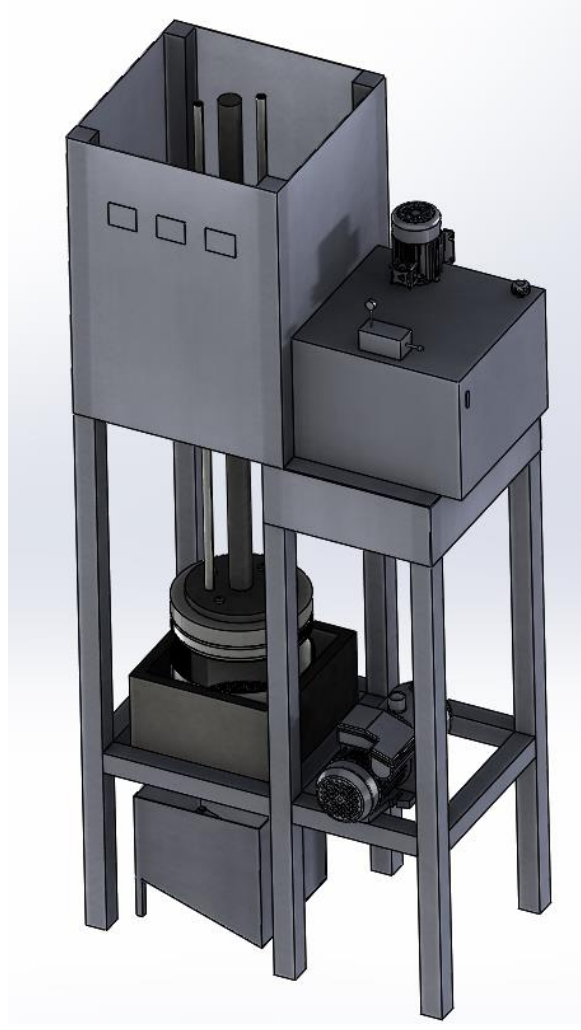
Çamaşıra etkiyen santrifüj kuvveti dikey kuvvete çevirmek için hidrolik pres kullanılmıştır. Max. 5 ton yük oluşturabilmektedir. Presin yağ basıncını ölçmek için üzerinde analog ve dijital manometreler bulunmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Pres yağ deposu, elektrik motoru ve manometre katı modeli

2.1.6 Katı Modelin Montajı

Yapılması planlanan deneylerin amacına uygun olarak deney düzeneğinin bütün ana parçaları bilgisayar ortamında tasarlanmıştır. Daha sonra bu parçalar bilgisayar ortamında montajlanmıştır. Şekil 2.9'da tasarlanan ve Şekil 2.23'te üretilen deney tesisatları görülebilir.



Şekil 2.9 Oluşturulan katı modellerin montajlanması

2.2 Deney Düzeneği İçin Seçilen Elemanlar

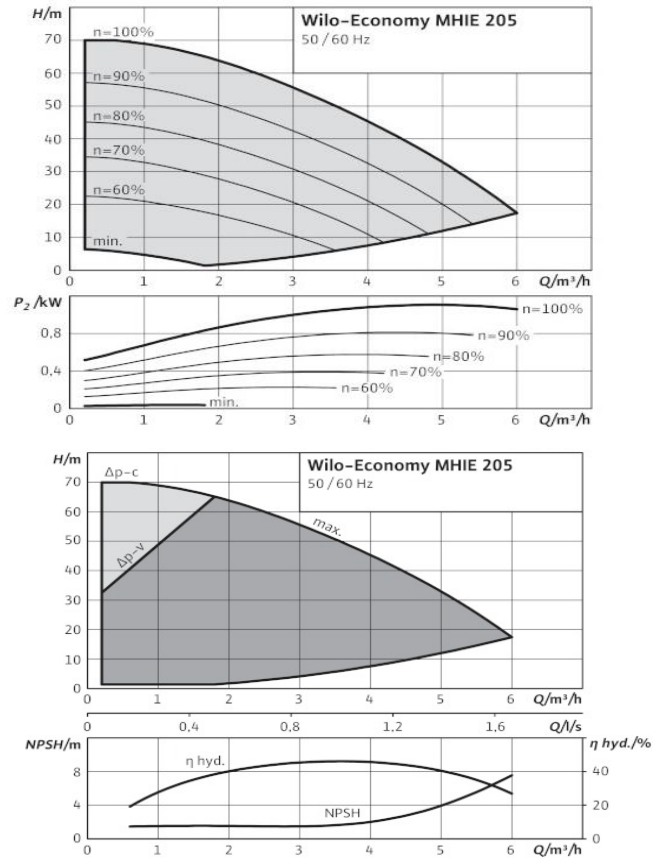
Katı model oluşturulduktan ve tasarım hataları düzeltildikten sonra deney düzeneğini oluşturacak elemanların seçimi yapılmıştır.

2.2.1 Su pompası

Deney Listesinde ki değişken su basıncını karşılayabilmesi için Wilo marka MHIE 205 model numaralı frekans konvertörlü santrifüj su pompası seçilmiştir. Frekans konvertörü sayesinde 0'dan max. 10 bar'a kadar istenilen su basıncı 0,1 bar aralıklarla elde edilebilmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Seçilen frekans konvertörlü su pompası



Şekil 2.11 Seçilen pompa için pompa eğrileri

2.2.2 Hidrolik Pres

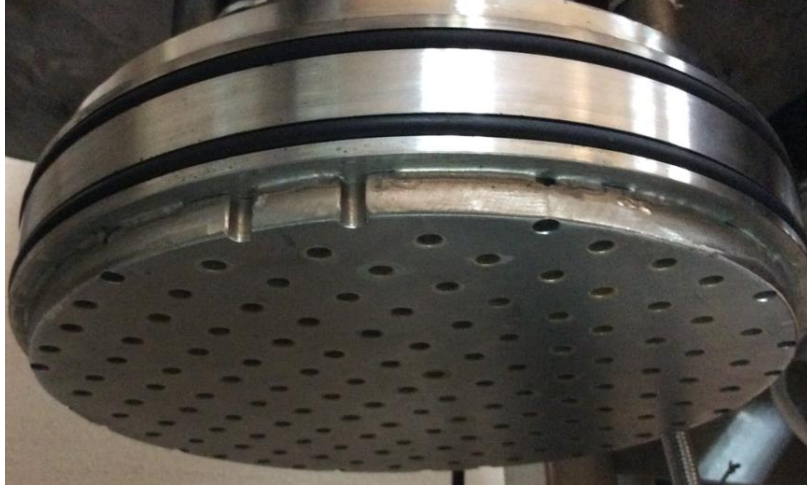
Max. 5 ton yüke uygun olarak seçilmiştir. Hidrolik basınç değiştirilerek istenilen yük değerine ulaşılabilmektedir. Hidrolik basınç hem analog hem de dijital olarak kontrol edilebilmektedir. Basıncın arttırılması veya azaltılması kısılma vanası sayesinde el ile sağlanmaktadır. Presin çalışması kademeli (el ile) sağlanmaktadır. Kademeli sistemde aşağı yukarı butonlarına basıldığı sürece pres hareket eder (Şekil2.12).



Şekil 2.12 Seçilen hidrolik pres, manometre ve elektrik motoru

2.2.3 Alt ve Üst Delikli Plaka

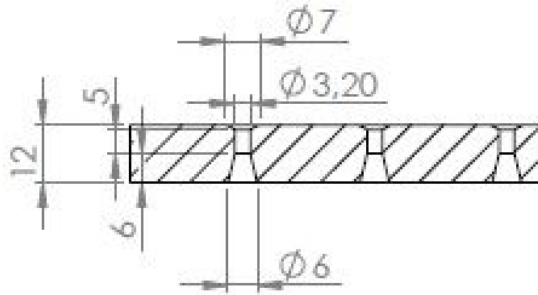
Daha önceden katı modeli oluşturulmuş plakalar 12 mm 'lik paslanmaz çelik plakadan üretilmiştir. Üst plaka kenarından kaynaklanmış olup içinden geçen suyun homojen bir biçimde dağılması için iki noktadan kollektör sistemi kurulmuştur.



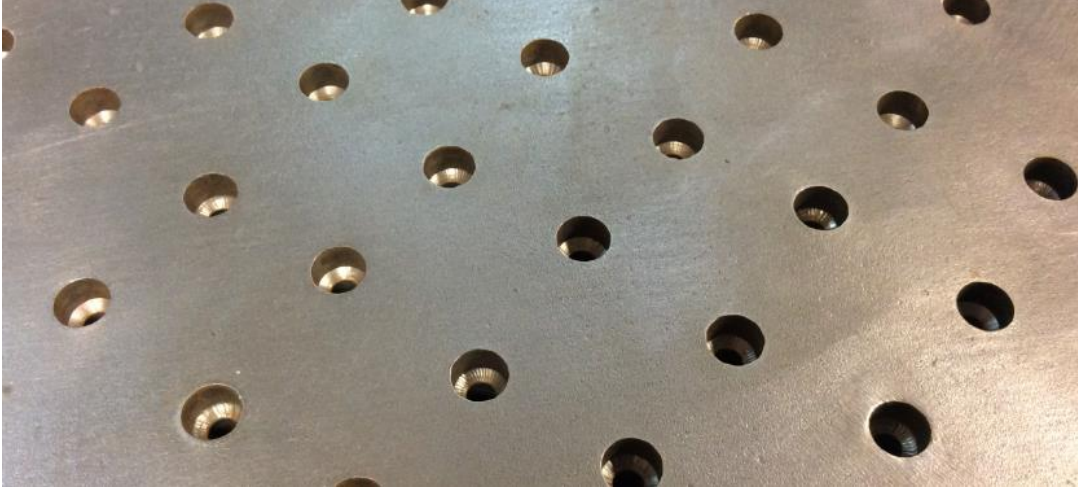
Şekil 2.13 Üretimi tamamlanmış üst delikli plakanın pres başına montajı ve sızdırmamazlık için kullanılan o-ringler

Üst plaka silindire girdiği zaman ve suyun plaka çeperlerinden sızması için sızdırmamazlık elemanı olan iki tane o-ring yerleştirilmiştir. Yapılan testlerde herhangi bir sızmaya rastlanmamıştır (Şekil 2.13).

Alt delikli plaka ile üst delikli plaka aynı malzeme ve ölçülerde üretilmiştir. Alt plakanın üst plakadan farkı, suyun akışını rahatlatmak için deliklerin su çıkış taraflarına havşa başı açılmasıdır (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15). Alt plaka çıkarılabilir olması için sabitlenmemiştir.



Şekil 2.14 Alt delikli plakadan suyun rahatça akabilmesi için oluşturulan havşa başı teknik resmi



Şekil 2.15 Havşa başı açılmış alt delikli plaka

2.2.4 Piston – Silindir Sistemi

Piston başına flanşla bağlı üst plaka, alt plaka ve silindirden oluşur (Şekil 2.16). Piston – silindir sistemi benzer bir mekanizma olduğu için bu şekilde isimlendirilmiştir. Üst plaka piston koluyla beraber silindire girerek alt plaka üzerinde serili çamaşır katmanlarını sıkıştırmaktadır. Üst plaka çeperi tam anlamıyla sızdırmazdır. Su alt plakadan geçerek toplama haznesine akmaktadır. Bu sisteme, pompa flex borularla direkt bağlanmıştır. Basınçlandırılmış su üst plakada dağılarak homojen bir içimde tüm deliklerden mümkün olduğunca homojen akması sağlanmıştır.



Şekil 2.16 Montajı tamamlanmış piston-silindir sistemi

2.2.5 Su Toplama Haznesi

Düzenekte sirküle olan suyun toplandığı yerdir. Tamamı paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Sirküle olan suyun tamamını toplayacak kadar boş hacmi vardır. Hazne içinde ki su ilk olarak pompa tarafından çekilir ve döngüyü tamamladıktan sonra tekrar bu hazneye geri gelir. Ayrıca içindeki elektrikli rezistans sayesinde suyun sıcaklığı istenilen değerde tutulabilir.

2.2.6 Hortumlar, Vanalar ve Pislik Tutucu

Hortumların tamamı flex su borusudur. Pompa, toplama haznesinden yüksekte olduğundan pompaya giren suyun geri kaçmasını önlemek amacıyla toplama haznesi çıkışına check valf konulmuştur. Ayrıca sirkülasyon sistemi açık olduğu için ve deney yapılan ortamdan gelen pisliklerin engellenmesi için bir adet pislik tutucu yerleştirilmiştir (Şekil 2.17).

Gerektiği durumlarda suyun sistemden boşaltılabilmesi için ise toplama haznesine küçük bir küresel vana eklenmiştir.



Şekil 2.17 Hazne boşaltma vanası, pislik tutucu, check valf ve flex borusu

2.2.7 Ölçüm Sistemleri ve kontrolü

Deney tesisatında kullanılan ölçüm sistemleri ve araçları bu bölüm altında tanıtılacaktır.

2.2.7.1 Su Sıcaklığı Takip ve Kontrolü

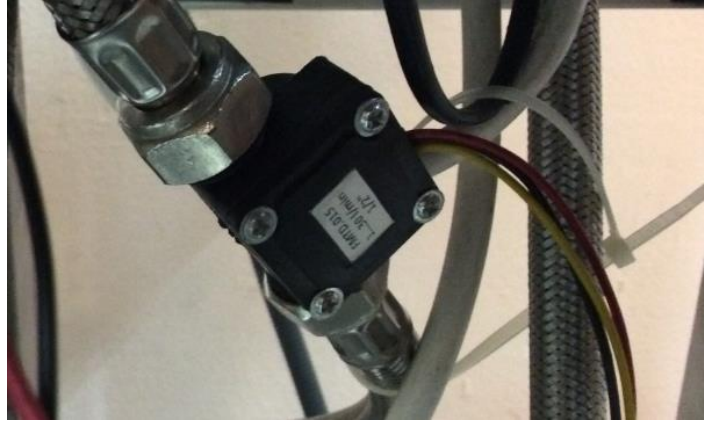
Su toplama haznesinde bulunan suyun sıcaklığını kontrol ve takibi için Enda EDT2411 on-off sıcaklık kontrol cihazı ve NTC-LPS sıcaklık sensörü kullanılmıştır (şekil 2.18). Seçilebilir ısıtma soğutma kontrolü bulunmaktadır. Sıcaklık kontrol cihazı su toplama haznesi içerisinde ki elektrikli rezistansa bağlıdır. Sensör vasıtasıyla ölçülen sıcaklık değeri kurulan sıcaklığa göre ± 1 °C'de on/off durumuna gelmektedir.



Şekil 2.18 Soldan sağa sıcaklık kontrol cihazı ve sensörü

2.2.7.2 Su Debisi Ölçümü

Pompa çıkışına bağlanan minyatür türbin tipi debimetre ile suyun debisi ölçülmüştür (Şekil 2.19). Debimetrenin doğruluğu %1'dir. Çıkışı pulse tipi olduğu için debimetre ile birlikte EMKO EZM-4950 takometre kullanılmıştır (Şekil 2.20). Debimetre çıkışı ~298 pulse/l dir. Takometrede debi anlık olarak lt/dk olarak okunabilmektedir.



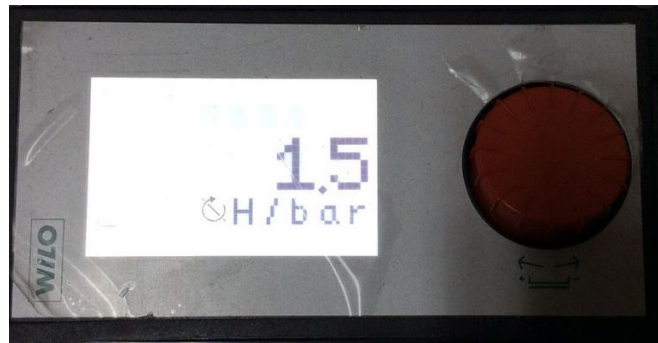
Şekil 2.19 Pulse tipi çıkış veren debimetre ve montajı



Şekil 2.20 Pulse tipi çıkışı anlık olarak lt/dk'ya çeviren takometre

2.2.7.3 Hidrolik Basınç Takip ve Kontrolü

Deneyde kullanılan su, pompa vasıtasıyla basınçlandırılmaktadır. Frekans konvertörü sayesinde pompa devri ayarlanarak istenilen basınçlandırma yapılabilmektedir (Şekil 2.21).

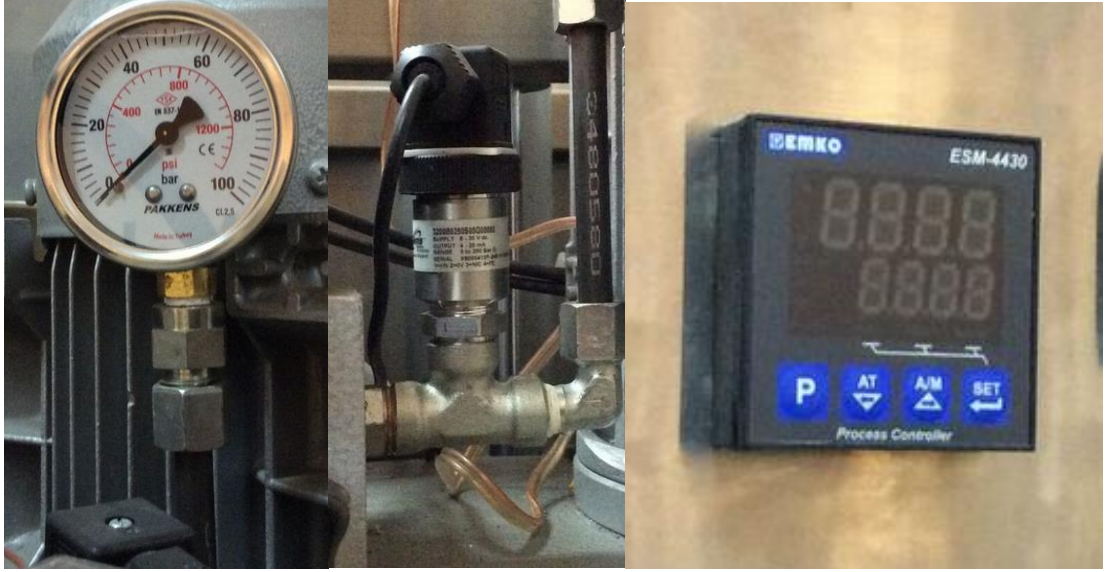


Şekil 2.21 Su pompası üzerinde bulunan hidrolik basınç ayar ekranı

2.2.7.4 Pres Basıncı Takip ve Kontrolü

Pres basıncı için basınç transduseri ve dijital proses kontrol cihazı kullanılmıştır. Transduser sayesinde, basıncın fiziksel büyüklüğü proses kontrol cihazının okuyabileceği sinyale çevrilebilmektedir. Ayrıca dijital cihazda sorun olması durumunda basınç takibini sağlamak amacıyla analog manometre de kullanılmıştır (Şekil 2.22).

Basınç kontrolü el ile manuel yapılmaktadır. Vidalı bir kol vasıtasıyla, manometrelerden basınç kontrolü yapılarak istenilen yağ basıncı sağlanmaktadır.



Şekil 2.22 Solda sağa; manometre, basınç transduseri ve transduserden gelen veriyi okunabilir hale getiren proses kontrol cihazı

2.2.7.5 Seçilen Deney Düzenegi Elemanlarının Montajı ve Güvenlik

Seçilen elemanlar montajı yapacak firma tarafından temin edildikten sonra daha önce oluşturulmuş katı modellemelere uygun olarak montajı yapılmıştır (Şekil 2.23). Bütün boru bağlantıları sızdırmamazlık için teflonla kaplanmıştır. Güvenlik için bütün elektriği kesen acil kapatma anahtarı ve topraklama eklenmiş, pres için yüksek basınç anahtarları yerleştirilmiştir. Yüksek kuvvetlere maruz kalacak olan alt plakanın altına suyun geçişini engellemeyecek şekilde paslanmaz çelik destekler atılmıştır. Su toplama haznesinde su taşmaması için su seviye anahtarı eklenmiştir. Elektrikli rezistans akım korumalıdır. Pompa susuz kaldığında otomatik olarak durmaktadır. Bütün deney tesisatı mermer destekler ile yerden 7 cm yukarı kaldırılmıştır.



Şekil 2.23 Seçilen komponentlerin montajlanmış hali

2.3 Deneyde Kullanılan Tekstil Mamülü

DeneySEL çalışmada sadece tek tip tekstil mamülü kullanılmıştır. Kullanılan mamül havludur. Havlular IEC 60456 standartlarına göre üretilmiştir. Havlu ile ilgili özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Deneylerde kullanılan tekstil mamülünün özellikleri

Koşullandırılmış Yeni Tekstil Kriterleri	Havlular
Yüzey	Uzun Elyaf Saf Pamuk
İplik	Halka Eğrilmiş
İplik Bükümü (T/m)	
Çözü	610 ± 20
Örgü	490 ± 15

Çizelge 2.2 Deneyleerde kullanılan tekstil mamülünün özellikleri (devamı)

Dokuma	Havluluk Kumaş
Tutturma Sayısı (Tutturma/cm)	
Uzunluk	20 ± 1
Genişlik	12 ± 1
Birim Alan Başına Düşen Kütle (g/m²)	220 ± 10
Ölçüler (mm)	
Uzunluk	1000 ± 50
Genişlik	500 ± 30
Birim Başına Ağırlık (g)	
Bitim İşlemi	Haşıl Sökme, Zamk Giderme, İplik Yakma, Beyazlatma, Dolgu veya Sertleştirme Yapılmamıştır
Su Alımı %	250 ± 15
Örgü Çekilmesi %	
5. Test Sonrası Yeni Tekstile Kıyasla	-11 ± 1
25. Test Sonrası 5. Tesle Kıyasla	-3 ± 1

Kullanılan tekstil mamülü, piston-silindir içinde ki alt delikli plakanın üzerine kenarlardan boşluk kalmayacak şekilde serilmelidir. Bu sebeple tekstil, plaka çapı kadar kesilmiştir. Kesilen uygun çapta ki tekstil mamülleri, üst üste 30 ve 60 adet olarak yerleştirilip deneyler için hazırlanmıştır (Şekil 2.24).



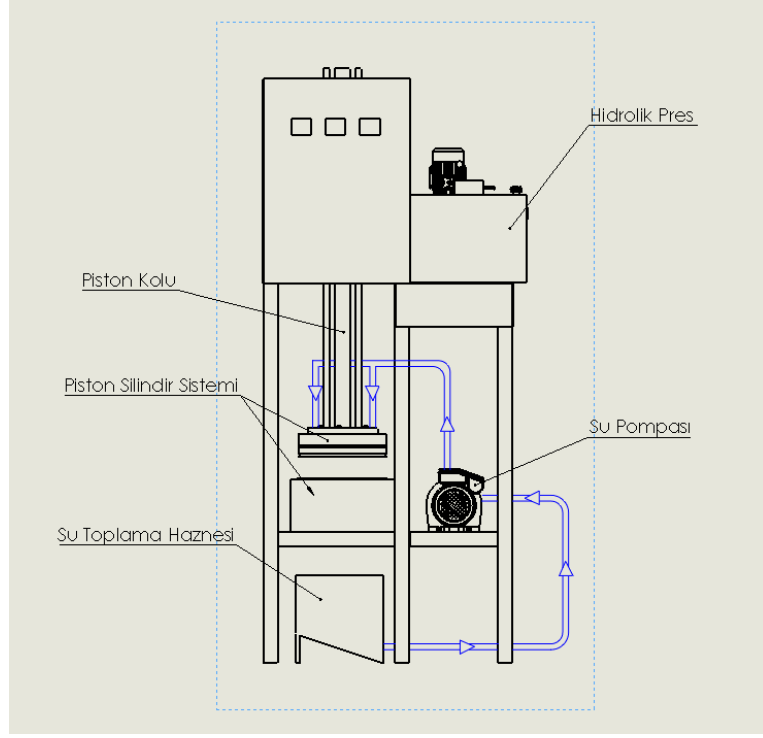
Şekil 2.24 Tekstil mamulünün kesilip ve üst üste düzgün bir biçimde serilerek deneyler için hazırlanması

2.4 Deneyin Şematik Gösterimi

Deneylerde kullanılan çamaşırın porozitesini belirlemek için oluşturulan deney düzeneğinin temelde 6 bileşenden oluştuğu daha önce belirtilmiştir. Bunlar;

- Su pompası,
- Hidrolik Pres,
- Piston - Silindir Sistemi,
- Su toplama Haznesi,
- Kontrol ve ölçüm sistemleridir.

Suyun sirküle olduğu yol ve içinden geçtiği bileşenler Şekil 2.25'te görülebilir.



Şekil 2.25 Deney tesisatının şematik gösterimi

2.5 Deneyin Yapılışı

Deneylerin sorunsuz tamamlanabilmesi için deney öncesi, deney sırasında ve deney sonrasında yapılacak çalışmaların düzgün bir biçimde uygulanması çok önemlidir. Ayrıca hidrolik pres ile çalışmalarda güvenliğe çok daha önem verilmelidir.

2.5.1 Deney Öncesi Hazırlık

- Deneyde kullanılacak sarf malzemeleri (çamaşırlar) alt plaka çapında kesilerek hazırlanır ve istenilen katman sayısında üst üste düzgünce yerleştirilir. Çamaşır kalınlığı ölçümü yapılır. Aynı merkez üzerinde düzgünce yerleştirilen katmanlar alt plakanın üzerine serilir. Bu katmanlar yerleştirilirken dikkat edilecek en önemli husus, çamaşırlarda herhangi bir katlanma olmamalıdır.
- Toplama haznesi suyu kontrol edilmelidir. Eğer kirli olduğu düşünülüyorsa hazne üzerinde ki vanadan su boşaltılmalıdır. İçinde herhangi bir kalıntı kalmışsa hazne tamamen sökülerek temizlenmelidir.
- Haznede ki su miktarı yaklaşık 21 lt olmalıdır. Eğer su miktarından eksiklik duyuluyorsa gerekli su miktarı hazneye eklenmelidir.

2.5.2 Deney Sırasında Yapılması Gerekenler

- Yerleştirilen katmanların üzerine pres vasıtasıyla üst plaka indirilir.
- Gerekli olan kuvvet yağ basıncı yardımıyla belirlenir.
- Haznede bulunan su istenen sıcaklığa termostat vasıtasıyla getirilir.
- Su pompası ile önce istenilen su basıncı kurulur ve pompa çalıştırılır. Sistem başta soğuk olduğu için su sıcaklığının rejime girmesi beklenir. Ayrıca çamaşırın suya doyması beklenir.
- Sıkıştırılan çamaşırın kalınlığı düzener üzerindeki cetvel vasıtasıyla ölçülür.
- Deney düzeneği rejime girdikten sonra debi kontrol edilerek sonuçlar alınır.

2.5.3 Deney Sonrası

- Sonuçlar alındıktan sonra önce pompa durdurulur ve sistemde sirküle olan suyun hazneye dönmesi için 1-2 dk beklenir.
- Üst plaka pres vasıtasıyla çamaşırdan ayrılır. Eğer deneye devam edilmeyecekse termostat durdurulur.
- Sıkışmış ıslak çamaşırlar çıkarılır ve su dolu bir kovaya bırakılarak eski hallerine geri dönmesi sağlanır. Eski hallerine dönen çamaşırların diğer deneylerde kullanılmasına devam edilebilmesi için kuruması sağlanır.
- Su toplama haznesinden boşaltılır.

2.6 Rejim Süresinin Tayini

Deneylerden elde edilen verilerin doğruluğu için rejim süresi çok önemlidir. Rejim süresini belirlemek için iki değişken göz önüne alınmıştır.

- Suyun Sıcaklığı
- Çamaşırın suya doyması

Suyun sıcaklığı su sıcaklık kontrolü cihazından görsel olarak yapılmıştır. Deney düzeneği çalıştırılmadan önce haznede ki su, istenilen sıcaklığa getirilmiştir. Sirkülasyon sırasında suyun geçtiği komponentlerden ısı kaybı olduğu için ilk çalıştırıldığında su sıcaklığı düşmektedir. Su sirküle edildiği için sıcaklığının istenilen değere ulaşması set edilen değere göre 5-15 dk sürmektedir.

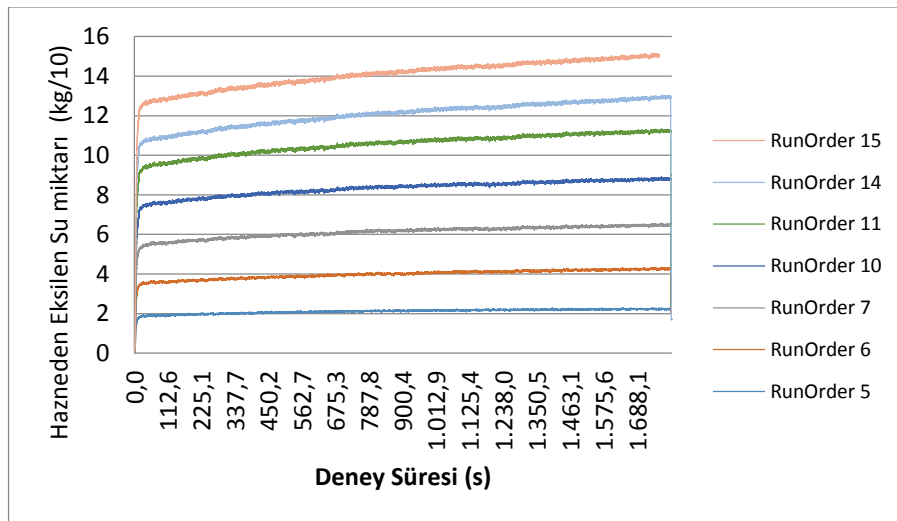
Sirküle edilen suyun bir kısmı çamaşır tarafından emilmekte bir kısmı ise borular ve pompada yer kaplamaktadır. Pompa çalışır çalışmaz haznede eksilen su miktarı su borusu ve pompa hacmi kadardır ayrıca çamaşırın emdiği su serilen katman sayısına göre değişmektedir.

Suyun çamaşır tarafından emilerek doymun hale gelmesi için belli bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu süreyi belirleyebilmek için hazne altına bir gram hassasiyetli rs232 iletişim portu bulunan bir hassas terazi konulmuştur. Zamana göre alınan ölçümlerde, haznede eksilen suyun sabit kaldığında geçen süre rejim süresi olarak kabul edilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2 3 Rejim süresini belirlemek için kullanılan parametreler

Deney No	Sıcaklık	Devir	Çamaşır Katmanı
5	40	1800	60
6	60	1400	60
7	40	1800	30
10	20	1400	30
11	60	1800	60
14	60	1400	30
15	20	1800	60

Yedi farklı deneyin sonucu elde edilen grafik ile rejim süresinin minimum 45 dk olduğu görülmüştür. Ve bundan sonra yapılacak bütün deneyler için minimum 45 dk rejime girmesi beklenmiştir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 Rejim süresinin belirlenmesi için yapılan deneyler

2.7 Deney Listesinin Oluşturulması

Porozite ve geçirgenlik ölçümü için u farklı pres kuvveti, u farklı su basıncı, iki farklı sıcaklık ve iki farklı çamaşır katmanı değeri çaprazlanarak 36 farklı deney oluşturulmuştur (izelge 2.3).

Çizelge 2.4 Deney listesi oluşturulurken kullanılan parametreler

Pres Kuvveti (kgf)	Su Basıncı (bar)	Sıcaklık (°C)	amaşır Katmanı (adet)
1026	1	30	30
2052	2	50	60
3078	4		

Daha sonra çamaşır üzerine etkiyen kuvvetler çıkarılarak (sabit porozite ile) ve sadece iki farklı su basıncı , iki farklı sıcaklık ve iki farklı çamaşır katmanı kullanılarak sekiz ayrı deney eklenmiştir. Sonuç olarak toplamda 44 deney yapılmış ve sonucu alınmıştır (izelge 2.4).

Çizelge 2.5 Pres kuvveti olmadan yapılan deneyler için kullanılan parametreler

Su Basıncı (bar)	Sıcaklık (°C)	amaşır Katmanı (adet)
1	30	30
4	50	60

Pres yağ basıncının oluşturduğu kuvvet piston kolu ile çamaşıra aktarılmaktadır. amaşıra aktarılan kuvvet hesaplanırken pres yağının pres kolunda bulunan bileziğe etki eden kuvvetin (2.2) hesaplanması gerekmektedir. Burda oluşan kuvvet pres başında bulunan uşt delikli plaka vasıtasıyla çamaşıra verilmektedir.

2.8 Deney Sonuçları

Presin kolunda bulunan pres bileziğinin çapı bilindiği sürece kuvvet řu şekilde hesaplanabilir.

$$A_B = \frac{\pi D_B^2}{4} \quad (2.1)$$

Burada $D_B = 8$ cm'dir.

$$F_P = A_B P_P \quad (2.2)$$

Denklem (2.1) ve (2.2) kullanılarak yapılan hesaplarda 20, 40 ve 60 bar pres yağı basıncında 44 deney için EK A'da çizelge oluşturulmuştur.

Deneye başlanmadan önce Çizelge 2.3'te belirtilen dört ve Çizelge 2.4'te belirtilen üç farklı parametre çaprazlanarak 44 ayrı deney için çizelge oluşturulmuştur (EK B).

Hazırlanan 44 deneyin tamamı yapılmış ve debimetreden takometre vasıtasıyla sonuçlar alınmıştır. Çamaşırların ilk kalınlıkları deney öncesi, son kalınlıkları ise deney sırasında pres koluna bağlı çubuk vasıtasıyla düzenek üzerinden ölçülmüştür (EK C).

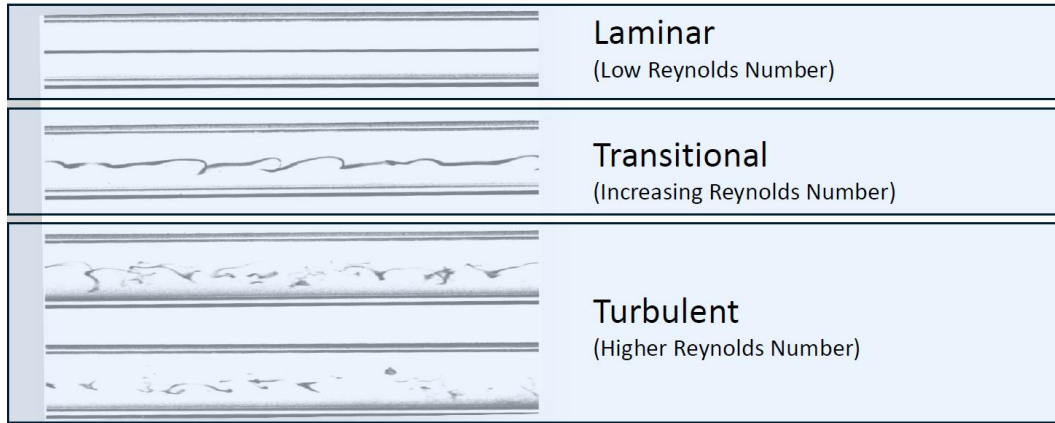
Çamaşırların ilk ve son kalınlıklarının ölçülmesinin amacı farklı kuvvetler altında oluşan poroziteyi ölçmektir. Ayrıca oluşturulan bu tablolardan sıcaklığın debi üzerinde ki etkisi incelenmiştir.

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI ANALİZLERİ

Bu bölümde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilen HAP analizlerinde kullanılan türbülans modelleri hakkında bilgiler verilecektir.

Akış üç farklı formda ifade edilebilir;

- Laminar (düşük reynold sayısı)
- Geçiş bölgesi (artan reynold sayısı)
- Türbülanslı bölge (yüksek reynold sayısı)



Şekil 3.1 Akış Formları

Reynold sayısı, akışın laminar veya türbülanslı olduğunu belirlememiz için kullanabildiğimiz boyutsuz bir sayıdır. Atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranını (1.23) temsil eder .

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (1.23)$$

Akışın iç ve dış olması ve reynold sayısının değeri akışın laminar, geçiş veya türbülanslı olup olmadığını anlamamızı sağlamaktadır. Laminar dışında akışlar için (geçiş ve türbülanslı akış)

İç akış için;

Bir boru akışında $Re > 2300$

Dış akış için;

Bir yüzey boyunca $Re > 500000$

Bir engel etrafında $Re > 20000$

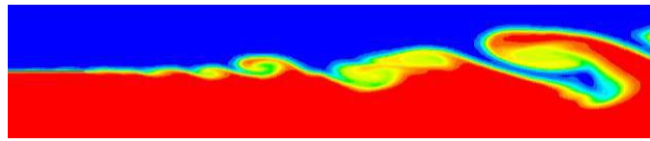
Geçiş bölgesi veya türbülanslı akış bölgesidir .

3.1 Türbülans Modellerine Genel Yaklaşım

Temelde türbülans modelini çözmek için üç farklı yaklaşım bulunmaktadır.

Doğrudan Sayısal Simülasyon (DNS);

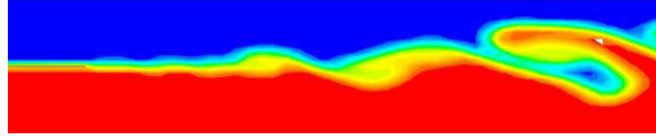
- Tamamen zamana bağlı Navier-Stokes denklemleri ile sayısal olarak çözüm yapılır.
- Ölçeklerin tüm spektrumlarında çözüm yapar.
- Modellemeye gerek yoktur.
- Maliyeti çok fazladır.
- Endüstriyel çalışmalar için çok pratik değildir.



Şekil 3.2 Doğrudan sayısal simülasyon (DNS)

Büyük Eddy Simülasyonu (LES)

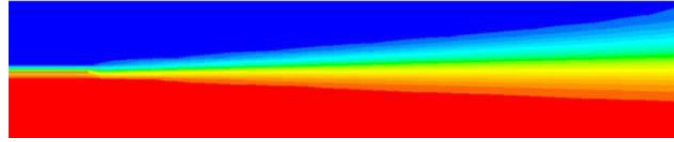
- Basitleştirilmiş Navier-Stokes denklemleri ile çözüm yapılır
- Bazı türbülansları direkt olarak çözdürür.
- DNS'ten daha ucuzdur ama yine endüstride pratik kullanım için çok fazla efor ve bilgisayar gücü kaynağı gerekmektedir.



Şekil 3.3 Büyük eddy simülasyonu (LES)

Reynold Ortalama Navier-Stokes Simülasyonu (RANS)

- Navier-Stokes denklemleri ortalama zaman olarak çözüm yapar.
- Bütün türbülans hareketleri modellenir.
- Birçok değişik türbülans modelleri bulunur.
- Endüstriyel için en fazla kullanılan yöntemdir.



Şekil 3.4 Reynold Ortalama Navier-Stokes Simülasyonu (RANS)

Türbülans, kararsız hız alanları tarafından oluşturulan akış biçimidir []. Bu kararsızlıklar taşınabilir nicelikler olan momentum ve enerji içerirler. Bu kararsızlıklar küçük ölçekli ve yüksek frekanslı olsa da direkt olarak modellemesini yapmak hem pratik değildir hem de çok fazla bilgisayar gücü gerekmektedir. Bunu yerine korunum denklemleri, zamana göre ortalama ve grup ortalaması ile oluşturulabilir veya aksi durumda küçük ölçekli çözümleri silip manipüle ederek çözüm için daha az kaynak harcanarak daha pratik veya bilgisayar gücü bakımından ucuz olması sağlanır. Fluent aşağıda ki türbülans modellerini sağlayabilir;

- Spalart-Allmaras Modeli,
- $k - \varepsilon$ modelleri,
 - Standard $k - \varepsilon$ modeli,
 - Renormalization – group (RNG) $k - \varepsilon$ modeli,
 - Realizable $k - \varepsilon$ modeli,
- $k - \omega$ modelleri,
 - Standard $k - \omega$ modeli,
 - Shear-stress transport (SST) $k - \omega$ modeli,

- Transition $k - kl - \omega$ modeli,
- Transition SST modeli,
- Reynolds Stress Modeli (RSM),
 - Linear pressure strain RSM modeli,
 - Quadratic pressure strain RSM modeli,
 - Low-Re stress omega RSM modeli,
- Detached eddy Simülasyonu (DES) modeli , bu model aşağı RANS modellerini içermektedir.
 - Spalart Allmaras RANS modeli,
 - Realizable $k - \varepsilon$ RANS modeli,
 - SST $k - \omega$ RANS modeli,
- Large eddy simülasyon (LES) modeli,
 - Smagorinsky – Lilly subgrid scale modeli,
 - WALE subgrid scale modeli,
 - Dynamic Smagorinsky modeli,
 - Kinetic-energy transport subgrid scale modeli,

3.1.1 $k - \varepsilon$ Modellerinin İncelenmesi

Hiçbir türbülans modeli herhangi bir problem için kesin çözüm yolu değildir. Veya bir türbülans modeli bütün problem çözümleri için herkes tarafından kabul edilmiş mükemmel sonuçlar veren model de olamaz. Türbülans modelinin seçimi problemin kendisine, akışı modeline, sınır şartlarına, çözümden beklentiye, çözümün pratikliğine, bilgisayar kaynaklarına, çözüm süresine, zamana bağlı olup olmaması vb. faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin tamamına uymak bazı durumlarda mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda mümkün olduğunca zorunlu olan faktörleri uygulamak gerekir.

Bu çalışmada kullanılan türbülans modelleri mümkün olduğunca yukarıda ki faktörler göz önüne alınarak seçilmiştir. Türbülans modelleri;

- $k - \varepsilon$ modelleri,

- $k - \omega$ modelleri,
- Detached eddy simülasyon modelleri (DES)
- Scale adaptive simülasyon modeli (SAS)

Bu çalışmanın üçüncü bölümü olan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kısmında kullanılan modellerdir. Bu modeller hakkında kapsamlı bilgi aşağıda verilmiştir.

3.1.1.1 Standart $k - \varepsilon$ Modeli

Bu model endüstriyel uygulamarda mühendisler arasında en çok kullanılan türbülans modelidir. Modelde kullanılan parametreler deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara dayanır, örneğin boru içinde akış, levha üzerinden akış vb. Uygulamaların büyük bir çoğunluğunda sağlıklı ve kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Sıkıştırılabilirlik, yüzerlik, yanma vb. altmodeller içerir.

Bu model büyük basınç gradyenleri, güçlü ayrışma, yüksek türbülans ve geniş akım çizgisi eğrilerinde zayıf bir modeldir. Jet akışların yayılımı için hatalı sonuç verme olasılığı yüksektir. Deformasyon oranı yüksek bölgelerde (örneğin durağan bir noktanın çevresi) k 'nın üretim hızı fazla olması, hatalı sonuçlara neden olmaktadır.

3.1.1.2 Realizable $k - \varepsilon$ Modeli

Yayılm oranı (ε), ortalama girdap dalgalanmasının karesi alınarak elde edilir, bu yüzden temel olarak SKE'den tamamen farklıdır. Yüzey ve jet akışı çevrelerinde çözümleri tutarlıdır. Hızlı dönüşlerde, yüksek basınç gradyeni altında kalan sınır tabakalarında, ayrışmalarda, devirdaim durumlarında çok iyi sonuç verir. Ayrıca çoğu zaman SKE yerine tercih edilmesi tavsiye edilir.

3.1.1.3 Renormalization Group (RNG) $k - \varepsilon$ Modeli

RNG $k - \varepsilon$ modeli kesin istatistiksel teknik (renormalization group teorisi ile adlandırılan) ile türetilmiştir. SKE modeli ile benzer formdadır ama aşağıdaki bazı düzeltmeleri içermektedir.

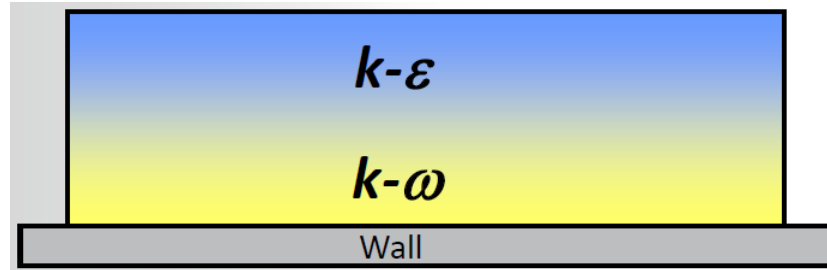
- RNG modeli ε denkleminde ekstra bir terime sahiptir ve bu sayede zorlanmış akış çözümlerinde tutarlılığı önemli bir biçimde arttırmaktadır.

- Türbülansla ki girdap etkileri RNG modelinde yer almaktadır ve girdaplı akışlarda çözüm tutarlılığını arttırmaktadır.
- RNG modeli türbülans Prandtl sayısı için sayısal bir formüle sahipken SKE modeli kullanıcı tanımlı sabit değerler kullanır.

Bu özellikler RNG modelinin SKE modelinden çok daha gelişmiş olduğunu göstermektedir.

3.1.2 $k - \omega$ türbülans modellerinin incelenmesi

Bu bölüm shear stress transport (SST) ve standard $k - \omega$ türbülans olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Taşınım denklemleri iki türbülans modelleri içinde benzer yapıdadır. $k - \omega$ modelleri, $k - \varepsilon$ türbülans modellerinden farklı olarak taşınım denkleminde bulunan türbülans yayılım oranı (ε) yerine, özgül yayılım oranı (ω) kullanılmıştır. SST $k - \omega$ türbülans modelinin standart $k - \omega$ türbülans modelinden farkı, sınır tabakanın iç bölgelerinde standart $k - \omega$ türbülans modeli ile yapılan çözüm, kademeli olarak dış bölgelerde $k - \varepsilon$ türbülans modeline dönmektedir.



Şekil 3.5 Akışın duvarda uzaklaştıkça değişen türbülans modeli

$k - \omega$ türbülans modeli son yıllarda çok kullanılmaya başlanmıştır. Bunu nedeni sınır tabaka akışlarında $k - \varepsilon$ türbülans modellerinden daha tutarlı çözümler yapabilmesidir. Ayrılmalarda, geçişlerde, düşük reynold etkilerinde, akış çarpmalarında $k - \omega$ türbülans modeli $k - \varepsilon$ türbülans modellerine göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Çok geniş basınç gradyeni altında ki sınır tabaka akışlarında tutarlılığı yüksektir.

3.1.2.1 Standart $k - \omega$ türbülans modeli

Bu türbülans modeli Wilcox $k - \omega$ modeli üzerinden geliştirilmiştir. Bu model, düşük reynold sayısı etkilerini ve sıkıştırılabilirlik için yapılan modifikasyonları bileştirmiştir.

Yıllar içinde $k - \omega$ modeli modifiyeye uğramıştır ve kullanılan denklemlere k ve ω eklenmiştir.

3.1.2.2 Shear-Stress Transport (SST) $k - \omega$ modeli

SST modeli Menter tarafından geliştirilen, sınır tabaka yakını bölgede $k - \omega$ modeli, sınır tabakadan uzak bölgede ise $k - \varepsilon$ modelinin kullanıldığı türbülans modelidir [1]. Bunu başarmak için $k - \varepsilon$ modeli, $k - \omega$ formülüne çevrilir. SST $k - \omega$ modeli standart $k - \omega$ modeline benzerdir ama bu modelde bazı düzeltmeler yapılarak birçok akış tipi için standart $k - \omega$ modeline göre güvenilir ve kullanışlı olmasını sağlamıştır.

3.1.3 Ölçek Uyarlamalı Simülasyon (SAS) Teorisi

Bu model, zamana bağlı Reynold ortalama Navier-Stokes (URANS) denkleminin geliştirilmiş halidir. Böylece kararsız akış koşullarında türbülans tayfını görüntülenebilmektedir. SAS teorisi, von-Karman'ın uzunluk-ölçek denkleminin türbülans ölçek denkleminde kullanımı temeline dayanır. Bu durumda von Karman uzunluk-ölçek denklemi sayesinde URANS simülasyonunda çözülmüş yapıların dinamik olarak ayarlanabilmesine imkan vermektedir. Akış alanında kararsız bölgelerde LES'e benzer bir sonuç bu sayede oluşabilmektedir. Aynı zamanda bu model kararlı durumlarda standart RANS modellerinin kullanımını da sağlayabilmektedir.

Bu bölümde son model versiyonu olan SST-SAS modeli incelenecektir. SST-SAS modelinde kullanılan korunum denklemleri, taşınım denklemine ek olarak gelen Q_{SAS} terimi sebebiyle, SST-RANS denklemlerinden farklıdır.

3.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çalışmaları

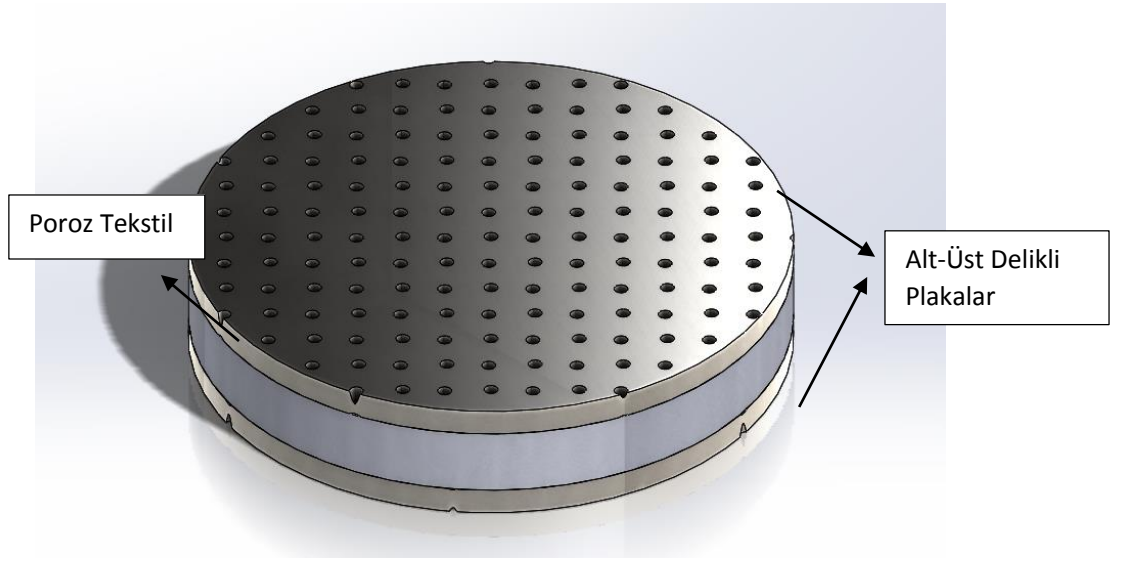
Deneyel çalışmalar ile direnç korelasyonları incelenmiş, farklı korelasyonlar birbiriyle karşılaştırılmış ve debiye etki eden parametreler irdelenmiştir. Bu bölümde ise 44 deneyden elde edilen darcy geçirgenlik değerleri ve tekstil poroziteleri kullanılarak HAD çalışmalarına devam edilmiştir.

Akış modelinin oluşturulması, uygun ağ (mesh) yapısı, uygulanan sınır şartları, kullanılan türbülans modelleri, çok fazlı akış modelinin oluşturulması gibi konular yine bu bölümde ele alınmıştır.

Deney tesisatında yapılan deney sonuçları kullanılarak akış modeli kütle korunum yasalarına uygun olarak tekrar düzenlenmiş ve en uygun şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan akış modelinde ki akış incelenmiştir. Tambur delik çaplarının debi üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Son olarak ise tambur kanatlarının yüksek devirlerde akışkan üzerinde ki etkisi zamana bağlı olarak incelenmiştir.

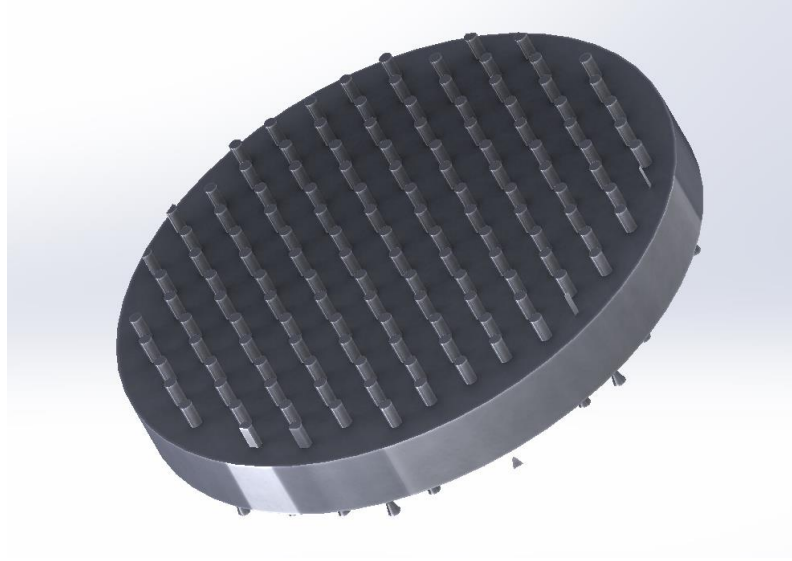
3.2.1 Akış modelinin oluşturulması

DeneySEL çalışma için oluşturulan düzenekte, tekstil mamulünün koyulduğu ve yükün uygulandığı yerin piston-silindir sistemi olduğu daha önce belirtilmiştir. Üst ve alt delikli plaka arasına konan tekstil mamulünün içinden akan suyun oluşturduğu debi ve basınç, yükün oluşturduğu porozite geçirgenlik hesaplamaları için çok önemlidir. Akışkan modeli oluşturulurken bu husus göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak akış modeli üst-alt delikli plaka ve tekstil mamulünü kapsamaktadır.

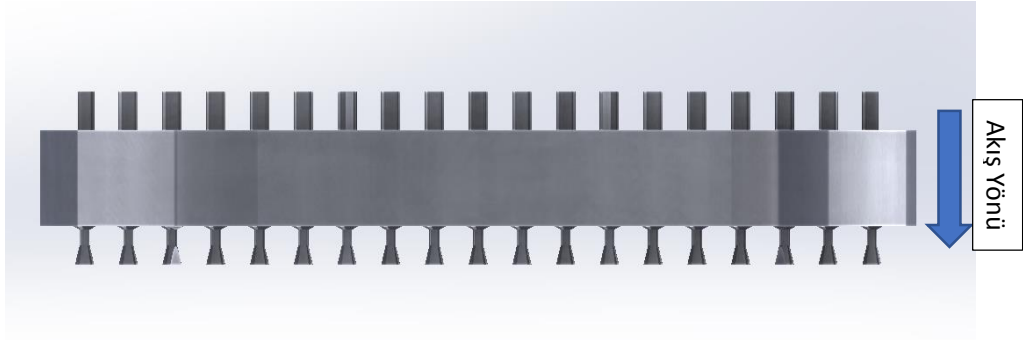


Şekil 3.6 Delikli üst-alt plaka arasına tekstil mamulünün katı modellenmesi

Önce katı modeli oluşturulan plakalar ve tekstil mamulünün akış modeli oluşturulmuştur.



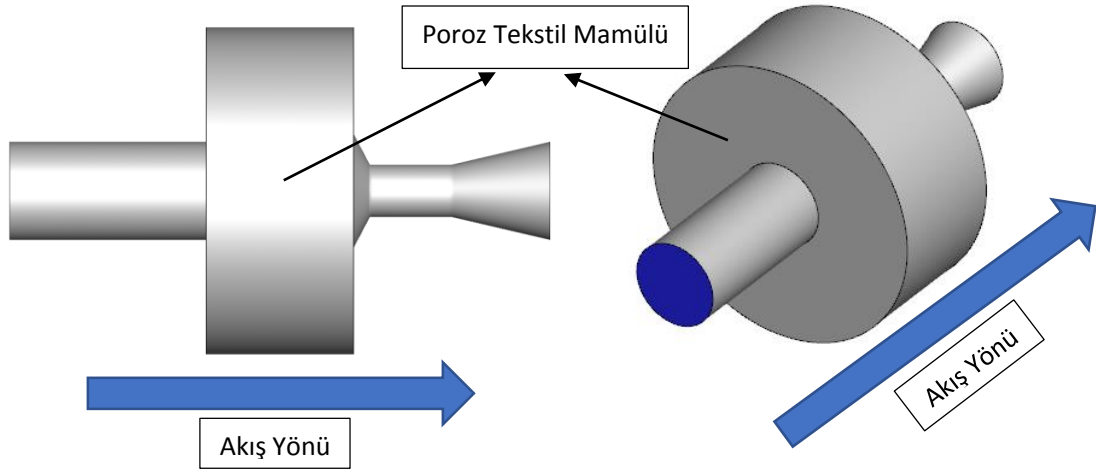
Şekil 3.7 Analizler için akış modelinin oluşturulması



Şekil 3.8 Oluşturulan akış modelinin yandan görünümü

Dikkat edilirse poroz tekstil mamül katı olduğu halde akışkan modelinde tamamen sıvı olarak kabul edilmiştir. Bunun sebebi akışın poroz mamülde analizinin olanak sağlabilmemesinden kaynaklanmaktadır. İleriki aşamada bu sıvı hacime porozite ve geçirgenlik değerleri verilecektir.

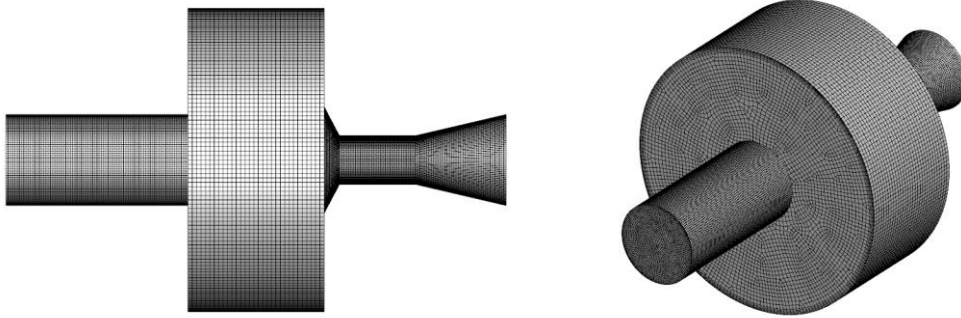
Analizleri yaparken akış modelinin bu haliyle kullanılması ağ örgüsü oluşturmada ve analiz sonrası süreçte çok zorlayıcı olacaktır. Deneyler yapılırken akışın bütün deliklerden homojen bir biçimde aktığı kabulü yapılmıştır. Bu sebeple toplam debi delik sayısına bölünerek her bir delikten akan suyun kütleli debisi bulunmuştur. Analizlere tek delik üzerinden devam edilmiştir.



Şekil 3.9 Tek delik için akış modeli

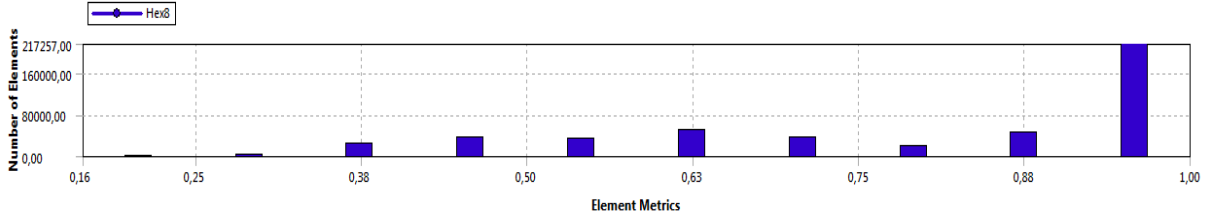
3.2.2 Ağ yapısının oluşturulması

Tek delik sayesinde ağ yapısı hem sadeleşmiştir hem de sayısı azalmıştır. Böylece çözüm için harcanan bilgisayar gücünde azalmıştır. Akışkana atılan ağ örgüsü 6 yüzlü ve 8 köşelidir.



Şekil 3.10 Ağ yapısının oluşturulması

Örnek vermek gerekirse, 9mm poroz tekstil bulunan bir akış modelinde toplam düğüm sayısı 488564, eleman sayısı ise 465874'tür. Ağ örgüsünün uygun olup olmadığını kontrol etmek için ağ örgüsünde ki eleman kalitesi ve bozukluk istatistiklerine bakmak gerekmektedir. Tek delik akış modeli için;

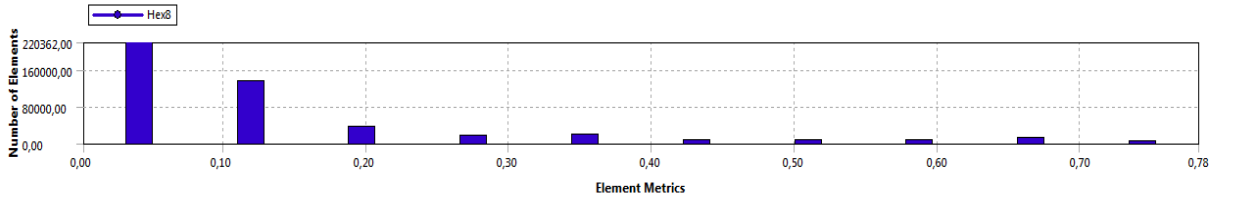


Şekil 3.11 Ağ örgüsü elemanlarının kaliteleri

Çizelge 3.1 Ağ örgüsü eleman kalitesinin min. maks. ve ortalamaları

Mesh Metric	Element Quality
Min	0,16473
Max	0,99981
Average	0,79369
Standard Deviation	0,20971

Ortalama eleman kalitesi için 0'da 1'e doğru kalite artmaktadır. Bu akış modeli için ortalama yaklaşık 0.8'dir ve uygun olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.12 Ağ örgüsü elemanlarının bozukluk faktörleri

Eleman bozukluk değeri için 1'de 0'a doğru bozukluk faktörü azalmaktadır. Yapılan çalışmalarda bozukluğun 0.25'den küçük olması ağ örgüsü kalitesinin mükemmel olduğunun işareti olduğu bildirilmiştir. Tek delik akış modeli için ortalama bozuk yaklaşık 0.136'dır. Bu değer için ağ yapısının ve kalitesinin uygun olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 3.2 Ağ örgüsü elemanları bozukluk faktörlerinin min.maks. ve ortalamaları

Mesh Metric	Skewness
Min	2,2543e-003
Max	0,78304
Average	0,13666
Standard Deviation	0,15766

3.2.3 Analizler için Hazırlık

Bu bölümde ağ örgüsü tamamlanmış tek delik akış modeli için sınır şartlarının hazırlanması (EK E) ve kullanılan akış modeli ve çözüm yöntemi hakkında bilgi verilecektir. Tek delik üzerinde yapılan çalışmaların tamamı daimidir.

Adım 1;

Çözüm basınç bazlıdır ve daimidir. Basınç bazlı çözüm ile yoğunluk bazlı çözüm arasında ki fark yüksek mach sayılı akışkanlarda yoğunluk bazlı çözüm tercih edilir. Yer çekimi ivmeii akış yönünde olarak koordinatlara uygun olarak verilmiştir. Ağ yapısında sorun olup olmadığını öğrenmek için “check” ile kontrol etmek çok önemlidir. Herhangi bir sorun olması durumunda çözüme başlanmadan müdahale edilebilir.

Adım 2;

Kullanılan türbülans modeli realizable $k - \varepsilon$ modelidir. Bu modelin kullanılmasının sebebi gelişmiş bir model olması ve jet akışı olan bölgede tutarlı sonuç vermesidir.

Adım 3;

Analizlerde kullanılan akışkan su seçilmiştir.

Adım 4;

Tek delik akış modeli iki ayrı bölgeye ayrılmıştır; akış bölgesi ve poroz bölgesi (Şekil 3.4). Akış bölgesi ,poroz bölgesi, hariç giriş (inlet) ve çıkış (outlet) arasında kalan bölgedir. Poroz bölgesi ise tekstil mamulünün bulunduğu bölgedir. Poroz bölgesinde viskoz direnci, atalet direnci ve porozite olmak üzere üç ayrı alan bulunur. Viskoz direnci Darcy geçirgenliğinin tersidir. Atalet direnci ise Ergun denkleminde bulunabilmektedir.

$$C_2 = \frac{3,5 (1-\epsilon)}{D_p \epsilon^3} \quad (3.1)$$

Analizlerde kullanılan viskoz direnci,atalet direnci EK E’de gösterilmiştir.

Adım 5;

Toplam debi delik sayısına bölünerek her bir delik için kütleli debi bulunmuştur. Giriş debisi ve basıncı için oluşturulan tablo aşağıdadır.

Fluent basınç tabanlı çözüm yaptığı için delik çıkışı için herhangi bir debi veya basınç değeri girmemize gerek yoktur. Analiz sonrası kütlenin korunumu sebebiyle kütleli debi değişmeyecektir ama çıkış basıncı analiz ile birlikte hesaplanacaktır.

Akışkanın giriş (inlet) ve çıkışı (outlet) hariç geri kalan bütün yüzeyler duvar (wall) olarak tanımlanmıştır. Duvarlar sınırları oluşturmaktadır. Bu duvarlar sabittir ve kaymazlık sınır şartı ile tanımlanmıştır.

Çözümler daimi olarak yapılmıştır. Kullanılan iterasyon sayısı 2000'dir ve 44 deneyin ve delik çapının debiye olan etkisi ile ilgili analizlerin tamamı için sonuçlar yakınsamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma için amacına uygun bir biçimde literatürde yapılan çalışmalara dayanılarak deney tesisatı oluşturulmuştur. Bu tesisatta poroz materyal olan çamaşırlar farklı kalınlıklarda oluşturulduktan sonra üzerilerine kuvvet uygulanmış ve poroziteleri ölçülmüştür. Bu methot, literatürde anlatıldığı gibi basınç etkisiyle değişen porozitelerin bulunmasıdır.

Poroz mamül olan çamaşırdan, sabit hidrolik basınçta geçen debi, porozitenin artmasıyla artmıştır. Kuvvet arttırılıp porozite azaltıldığı zaman ise sabit hidrolik basınçta su debisinin azaldığı görülmüştür.

Sıcaklık her zaman poroz mamulden geçen debiyi arttırıcı etki yapmıştır. Bunun sebebi sıcaklık etkisiyle kapiler boşluklarda oluşan kapiler direncin azalmasına bağlanmıştır.

Deneylerden elde edilen porozite değerleri ile sekiz farklı geçirgenlik korelasyonu hesaplanmıştır. Bu korelasyonlardan Darcy geçirgenliğini diğerlerinden ayırmak gereklidir. Darcy geçirgenliği bilimin bütün dallarında kullanılabilen son derece genel bir denklemdir. Geçirgenliğe porosite gibi mikroskobik açı yerine makroskopik açıdan bakmaktadır. Özel geçirgenlik hesapları için Darcy geçirgenliği yapılan araştırma için çok genel olabilir, bu durumda literatürde bulunan ve poroziteyi bir fonksiyon olarak kullanan diğer geçirgenlik korelasyonlarını kullanmak gerekebilir. Darcy ve diğer geçirgenlik korelasyonları deneysel çalışma altında karşılaştırılarak incelenmiştir. Diğer geçirgenlik korelasyonları değerlerinin aynı deneylerde artışı veya azalışı paralellik göstermektedir.

Darcy geçirgenliğinde porozite bir fonksiyon değildir. Bunun yerine poroz medyadan geçen debi, kinematik viskozite, basınç farkı ve akışkanın aldığı yol büyük önem sağlar.

Deneysel alışma poroz maddeleri incelemek için bir altyapı oluşturmuştur. İleri ki çalışmalarda sadece poroz tekstil mamülü değil, doğal olarak bulunabilen poroz maddelerinde kuvvetler altında poroziteleri ölçülebilir ve geçirgenlikleri hesaplanabilir.

Deneysel çalışmada elde edilen porozite, debi ve Darcy geçirgenliği HAP analizleri için sınır şartlarını oluşturmuştur. Tesisata göre oluşturulan katı ve akış modelleri ile poroz madde modellenmiş ve kullanılan çözüm metodu ve türbülans modellerinin deney tesisatından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Delik konstrüksiyonunda yapılabilecek bir işlemin gerçek hayatta uyarlanabilmesi hem maliyetli hem de zaman almaktadır. Bu sebeple elde edilen model ile devam edilerek delik çapının çıkış debisi üzerinde ki etkisi incelenmiştir. Yapılan 44 deneyin tamamı için akış modeli oluşturulmuş kullanılan türbülans modelinin uygunluğu kontrol edilmiştir. Uygun bulunan modeller ile delik çıkış çapı arttırlara debi kontrolü sonucunda 8 mm çaptan itibaren debinin arttığı görülmüştür. Sonra alışmalar için bu bilgi ile birlikte i ve dış bükey delikler için incelemelere uygun olacaktır.

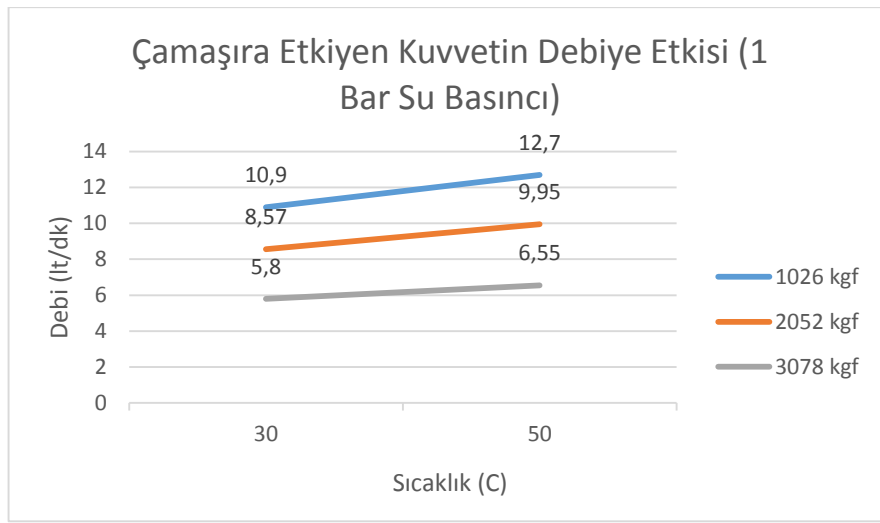
Tambur kanatlarının zamana bağlı olarak akışkan üzerinde ki etkisinin incelemek için iki boyutlu tambur-kazan akış modeli oluşturulmuştur. Yüksek hızlarda dönen modellerde ve çok fazla olan girdaplarda son derece iyi iş çıkan LES'e benzer bir türbülans modeli SAS ile analizler yapılmıştır. Bu model girdaplar LES zm modelini kullanırken geri kalan akışlarda RANS modelleri kullanarak hem hızlıdır hem de çok tutarlıdır. Oluşturulan modelde tamburun dönüşünü sağlayabilmek için dinamik ağ yapısı kullanılmış ve bunun için UDF yazılmıştır. Analiz sonucu kanatların çevresinde büyüklü küçüklü girdaplar ve kanatların arkasında suyun takıldığı belirlenmiştir. Yüksek devirlerde ise suyun büyük bir çoğunluğu kazana sıvanmış ve tambur içinde bulunan suyun daha toplu olduğu görülmüştür.

Oluşturulan bu modeller ve elde edilen porozite ve geçirgenlikler sayesinde tambur içine poroz maml yerleştirilebilir. İki kanat arasına yerleştirilen poroz maml tamamen HAP ile doygun hale getirilebilir. Sıkma ile birlikte poroz mamulden akan sıvının maddeden ve düşünülen delik konstrüksiyonunda geçirilen akışın incelenmesi mümkün olacaktır.

4.1 Deneysel Çalışmaların Sonuçları

30 çamaşır katmanı için;

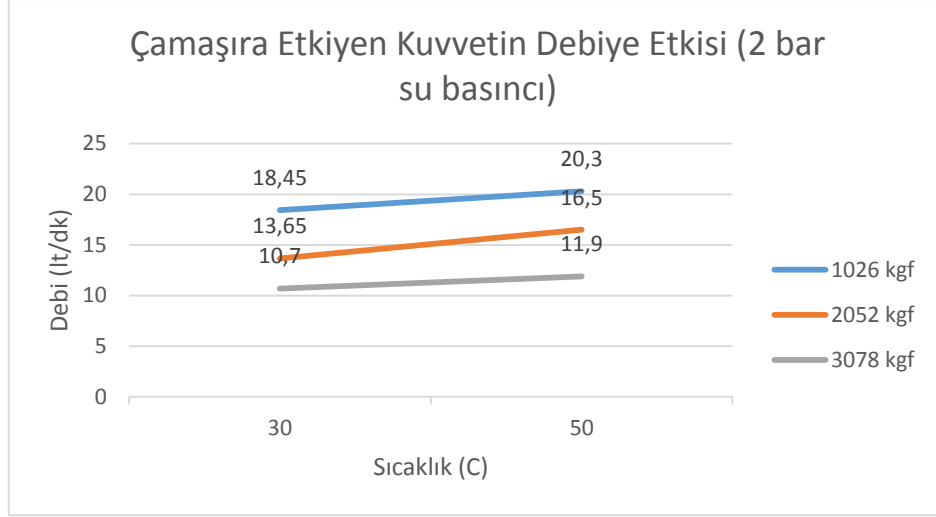
Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'e göre su sıcaklığının artışı, aynı su basıncı ve aynı pres kuvvetinde, debi üzerinde her zaman arttırıcı bir parametre olmuştur. Aynı sıcaklıklarda ise çamaşıra uygulanan kuvvet arttıkça debide azalma görülmüştür. Düşük su basınçlarında ise farklı sıcaklıklarla birlikte artan debi artış oranının daha yüksek olduğu söylenebilir. Su basıncı arttıkça debi artış oranı 30°C ve 50°C için azalmaktadır (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3).



Şekil 4.1 30 katman, 1 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi

Çizelge 4.1 30 katman, 1 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi

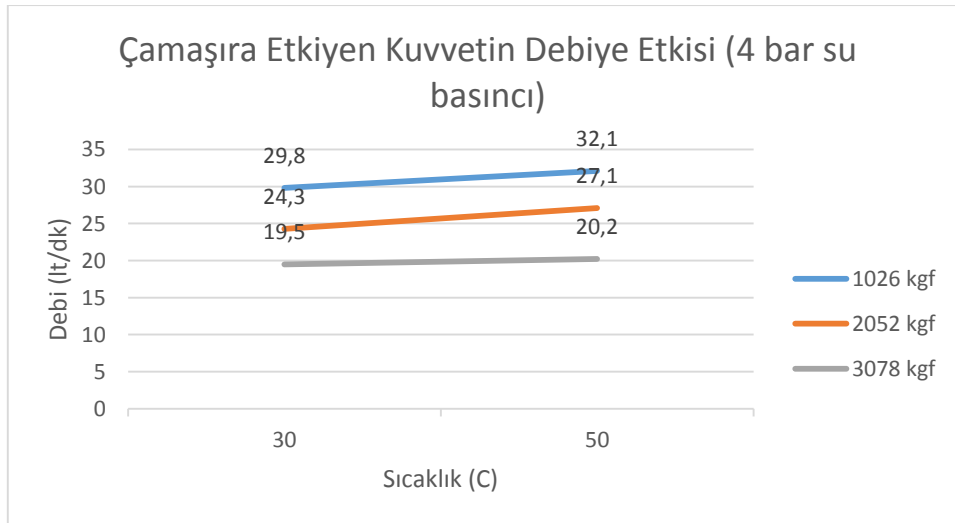
Su Basıncı (bar)	Çamaşıra Uygulanan Kuvvet (kgf)	Sıcaklık	Debi	Debi Artış Oranı (%)
1	1024	30	10,9	16,51
1	1024	50	12,7	
1	2048	30	8,57	16,10
1	2048	50	9,95	
1	3072	30	5,8	12,93
1	3072	50	6,55	



Şekil 4.2 30 katman, 2 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi

Çizelge 4.2 30 katman, 2 bar su basıncı altında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi

Su Basıncı (bar)	Çamaşıra Uygulanan Kuvvet (kgf)	Sıcaklık	Debi	Debi Artış Oranı (%)
2	1024	30	18,45	10,03
2	1024	50	20,3	
2	2048	30	13,65	20,88
2	2048	50	16,5	
2	3072	30	10,7	11,21
2	3072	50	11,9	



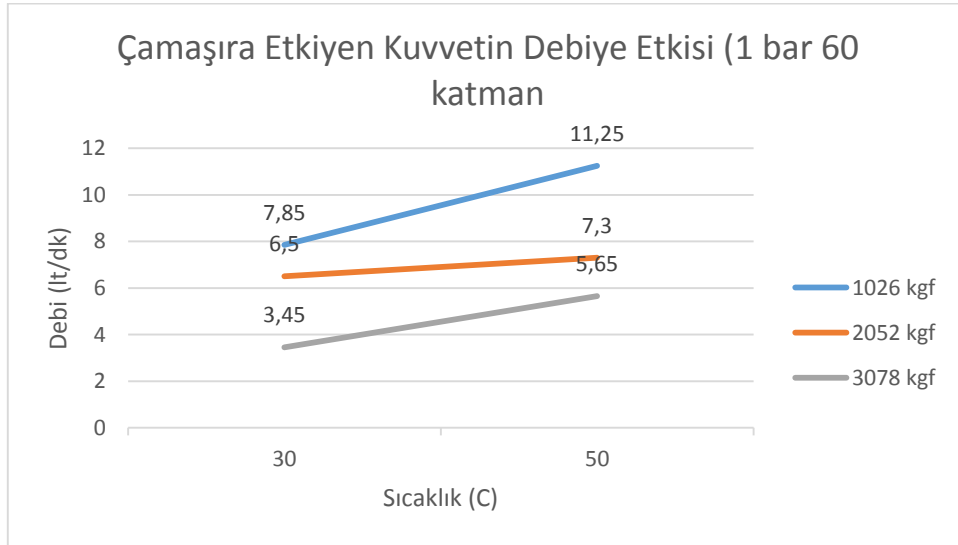
Şekil 4.3 30 katman, 4 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi

Çizelge 4.3 30 katman, 4 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi

Su Basıncı (bar)	Çamaşıra Uygulanan Kuvvet (kgf)	Sıcaklık	Debi	Debi Artış Oranı (%)
4	1024	30	29,8	7,72
4	1024	50	32,1	
4	2048	30	24,3	11,52
4	2048	50	27,1	
4	3072	30	19,5	3,59
4	3072	50	20,2	

60 Çamaşır Katmanı İçin;

60 katman çamaşır ve 30 katman çamaşırın oluşturduğu sonuçlar oldukça benzerdir. Sıcaklık artışı debiyi arttırmış, sabit sıcaklıkta pres kuvveti artışı debiyi azaltmıştır (Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7). Aralarında ki en büyük fark 60 katman çamaşır için debi artış oranı 30 katman çamaşıra göre çok daha yüksek olduğu söylenebilir (Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).



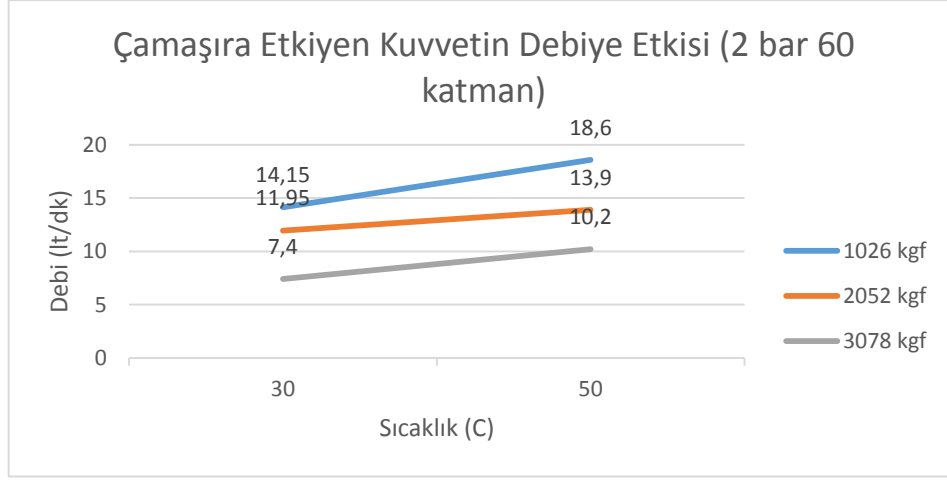
Şekil 4.4 60 katman, 1 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi

Çizelge 4.4 60 katman, 1 bar su basıncı altında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi

Su Basıncı (bar)	Çamaşıra Uygulanan Kuvvet (kgf)	Sıcaklık	Debi	Debi Artış Oranı (%)
1	1024	30	7,85	43,31
1	1024	50	11,25	

Çizelge 4.5 60 katman, 1 bar su basıncı altında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi (devamı)

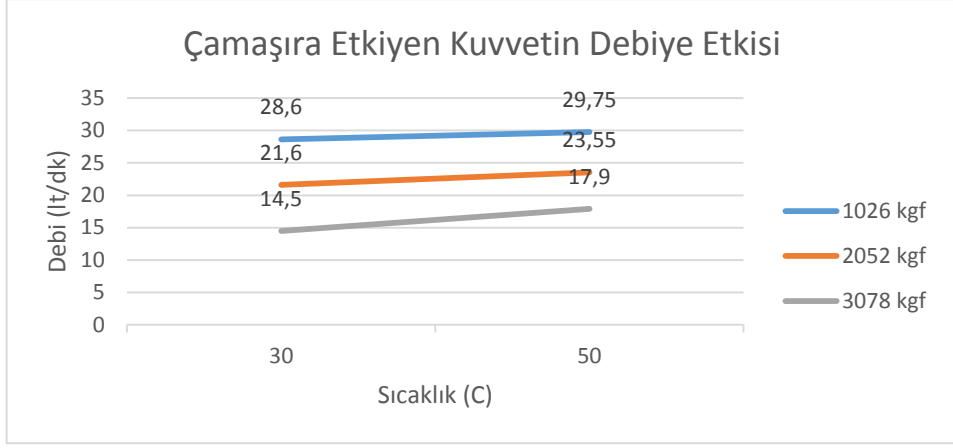
1	2048	30	6,5	12,31
1	2048	50	7,3	
1	3072	30	3,45	63,77
1	3072	50	5,65	



Şekil 4.5 60 katman, 2 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi

Çizelge 4.6 60 katman, 2 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi

Su Basıncı (bar)	Çamaşıra Uygulanan Kuvvet (kgf)	Sıcaklık	Debi	Debi Artış Oranı (%)
2	1024	30	14,15	31,45
2	1024	50	18,6	
2	2048	30	11,95	16,32
2	2048	50	13,9	
2	3072	30	7,4	37,84
2	3072	50	10,2	



Şekil 4.6 60 katman, 4 bar su basıncında uygulanan farklı kuvvetler altında, su sıcaklıklarının debiye etkisi

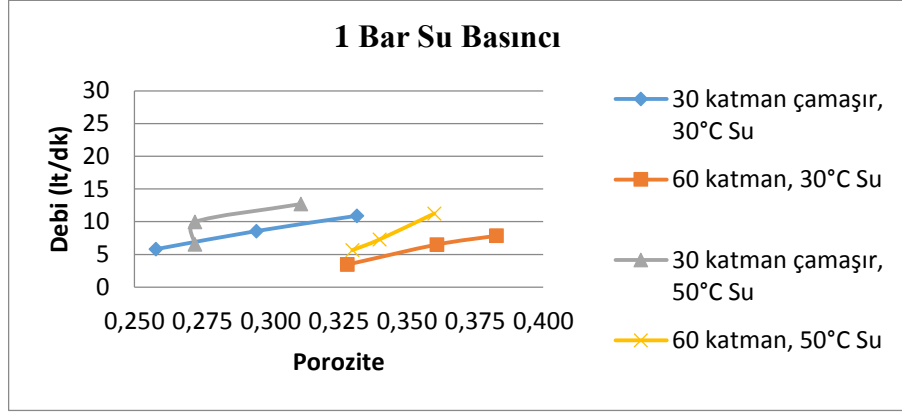
Çizelge 4.7 60 katman, 4 bar su basıncında su sıcaklığı değişiminin debiye olan etkisi

Su Basıncı (bar)	Çamaşıra Uygulanan Kuvvet (kgf)	Sıcaklık	Debi	Debi Artış Oranı (%)
4	1024	30	28,6	4,02
4	1024	50	29,75	
4	2048	30	21,6	9,03
4	2048	50	23,55	
4	3072	30	14,5	23,45
4	3072	50	17,9	

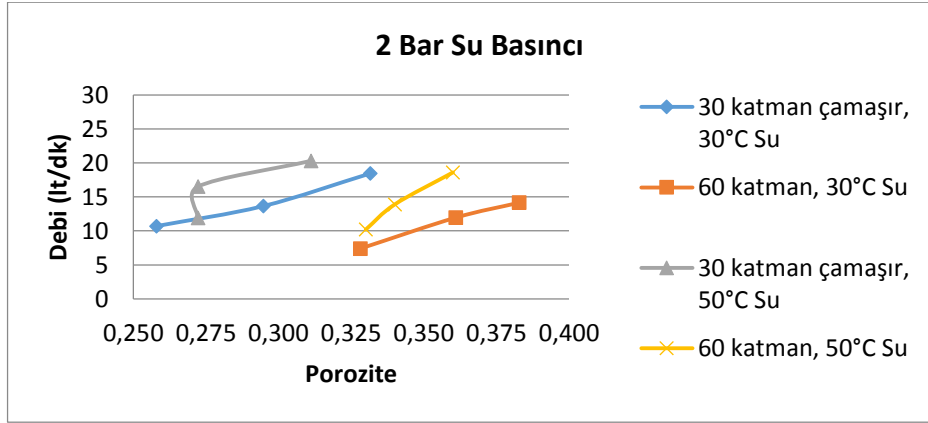
Çamaşırın porozitesi, porozitenin tanımı gereği ilk ve son kalınlığına bağlıdır. İlk kalınlık sadece katman sayısı ile ilgili iken son kalınlık hem katman sayısı hem de çamaşırın üzerine etkiyen yükü belirler. EK C’de aynı katman sayısında ki çamaşırların farklı ilk kalınlıklarında olmasının sebebi çamaşırın düzgün bir biçimde ölçmenin zorluğundan kaynaklanmaktadır. Çamaşır yapısı gereği porozitesinin fazla olması ve bir çok fiber iplikçikten meydana gelmesi, kırışması, tüylenmesi vb. sebeplerden dolayı her ölçümde farklı sonuç alınmaktadır. Bu yüzden ölçüm alınırken tekstil mamulünün kenarı görsel olarak 4 eşit parçaya bölünüp çamaşırın kalınlıklarının ortalaması alınmıştır.

Kullanılan geçirgenlik hesapları için Darcy yasası hariç bu çalışmada kullanılan bütün geçirgenlik denklemleri için önemlidir. Bunun sebebi Darcy’nin geçirgenliğe makroskopik diğer geçirgenlik denklemlerinin ise mikroskopik açıdan bakmasından kaynaklanmaktadır.

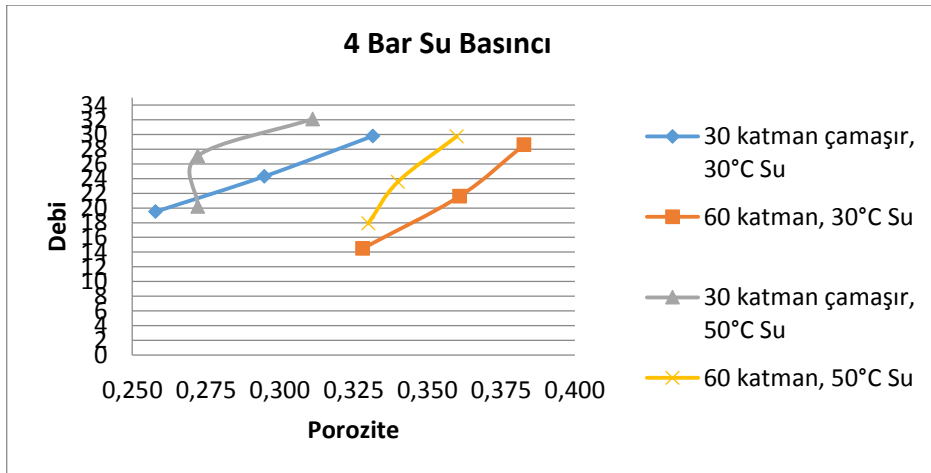
Porozitenin tanımı gereği oluşan boşluklu yapı çamaşır üzerine etki eden kuvvete bağlıdır. Bu kuvvet ile oluşturulan porozite ile değişen debilerin grafikleri;



Şekil 4.7 1 bar su basıncında porozitenin debiye etkisi



Şekil 4.8 2 bar su basıncında porozitenin debiye etkisi



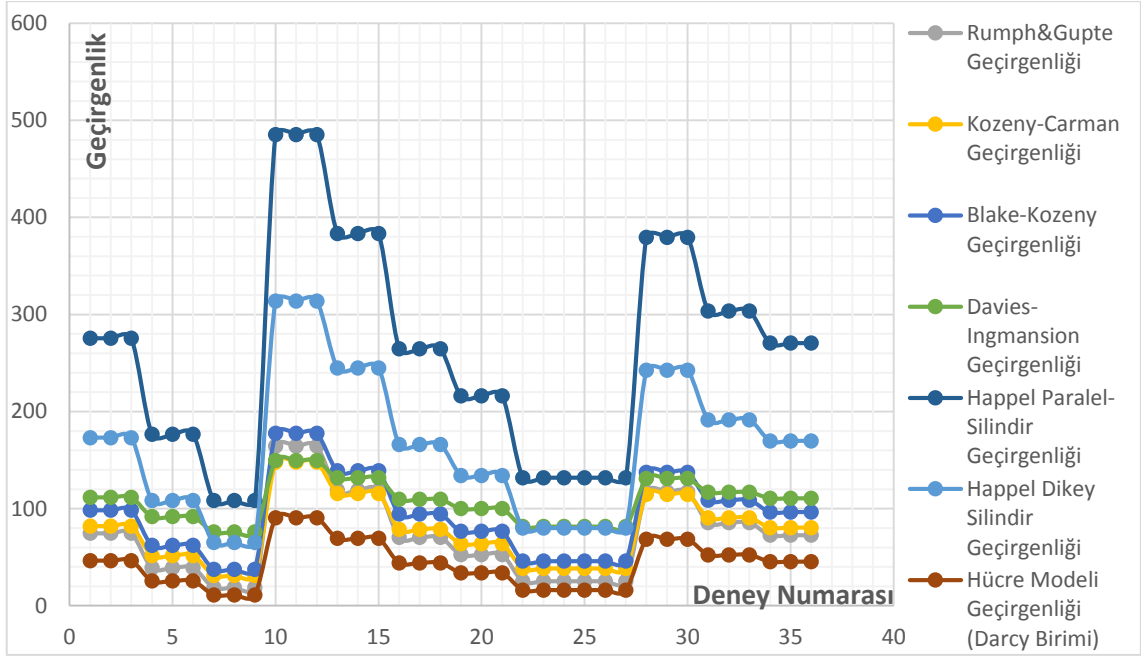
Şekil 4.9 4 bar su basıncında porozitenin debiye etkisi

Beklenildiği üzere su basıncı arttığı için debide artmıştır. Ayrıca grafiklerde ki dağılımlar birbiriyle çok benzerdir. Grafikler kendi içinde Değerlendirilecek olunursa aynı katmanlarda porozite arttıkça debide artmaktadır. Ayrıca sıcaklık artışıda debinin artmasına sebep olmuştur. Daha önce bahsedilen sıcaklık debi grafiklerinde de bu belirtilmiştir. Özet olarak sıcaklık ve porozitenin artması debi artışına sebep olmuştur.

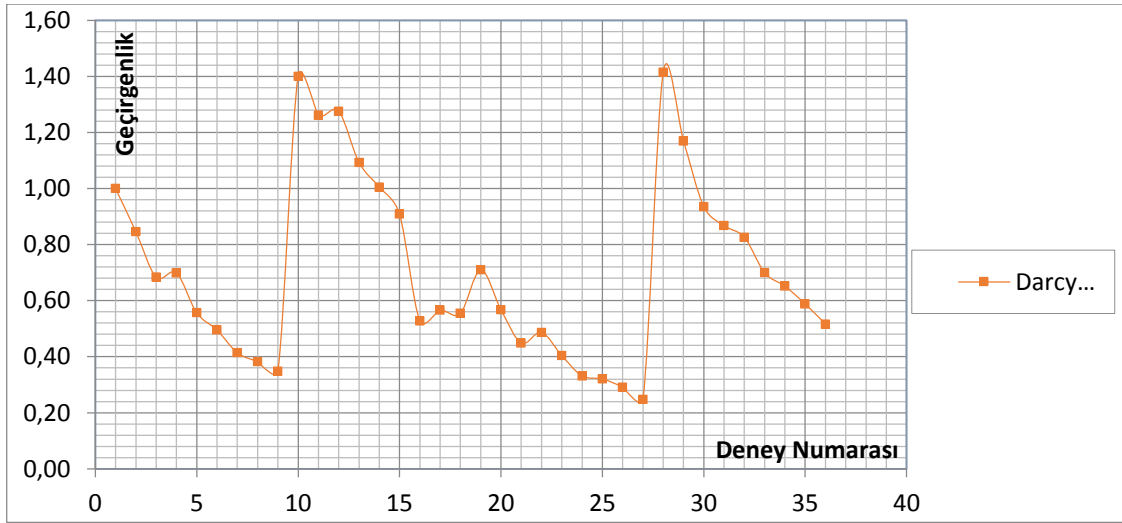
Bu çalışmada literatürde belirtilen ve bu çalışmada kullanılan geçirgenlik denklemleri şunlardır (EK D);

- Kozeny - Carman geçirgenliği,
- Hücre modeli (Cell Model) geçirgenliği,
- Rumpf - Gumppte geçirgenliği,
- Blake – Kozeny geçirgenliği,
- Happel geçirgenliği,
- Davies-Ingmansion geçirgenliği
- Darcy geçirgenliği,

Burada Darcy geçirgenliğini ayrı incelemek gerekmektedir. Çünkü darcy yasasına göre akışkanın vizkozitesi, debisi ve poroz medyadan giriş çıkışı arasında ki basınç farkı geçirgenlik ifadesini oluşturmaktadır. Diğer geçirgenlik ifadeleri geçirgenliğe mikroskobik açıdan yaklaşmışlardır ve poroziteyi geçirgenliğin bir fonksiyonu olarak kullanışlardır. Bu sebeple Darcy'nin oluşturduğu geçirgenlik grafiği ve diğerleri ayrılmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere geçirgenlik ifadelerinin geçirgenlik değerleri farklı olsa bile görünüm olarak oldukça paraleldir. Bunun sebebi bu geçirgenlik ifadelerinde porozitenin geçirgenliğin fonksiyonu olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.11'de ise Darcy geçirgenliği, akışın debisine, kesit alanına ve kinematik vizkozitesi ve basınç farkına bağlı olduğu için (1.4) geçirgenlik değerleri diğer geçirgenlik korelasyonlarına göre oldukça küçük ve grafiği farklıdır. Benzer durum sadece geçirgenlik değerlerinin arttığı veya azaldığı deneylerdir. Bu beklenen bir durumdur.

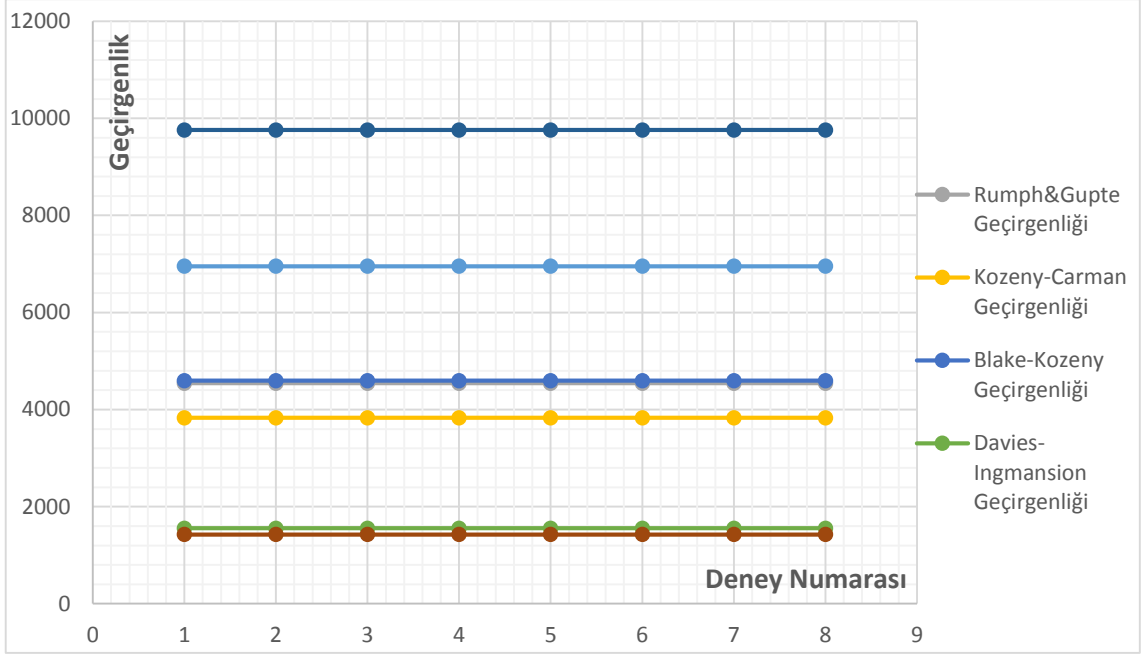


Şekil 4.10 Deney 1'den deney 36'ya kadar Darcy hariç geçirgenliklerin kıyaslanması

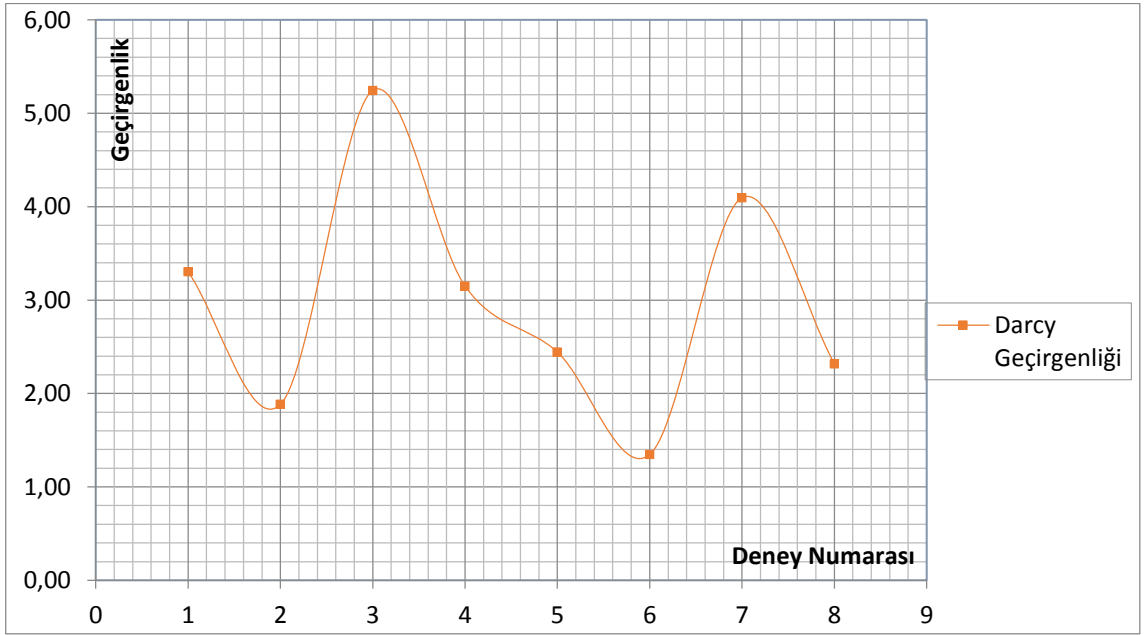


Şekil 4.11 Deney 1'den deney 36'ya kadar Darcy geçirgenlikleri

Şekil 4.12'de ise çamaşır üzerinde herhangi bir kuvvet bulunmadığı için porozite sabittir. Korelasyonların tamamında porozite geçirgenliğin fonksiyonu olduğu için geçirgenlik değerleri değişmemiştir ama değerler porozite maksimum olduğu için çok artmıştır. Şekil 4.13 ise (1.4) denkleminde ki birden fazla terime bağlı olduğu için farklılık göstermektedir.



Şekil 4.12 Deney 36'dan deney 44'e kadar Darcy hariç geçirgenliklerin kıyaslanması

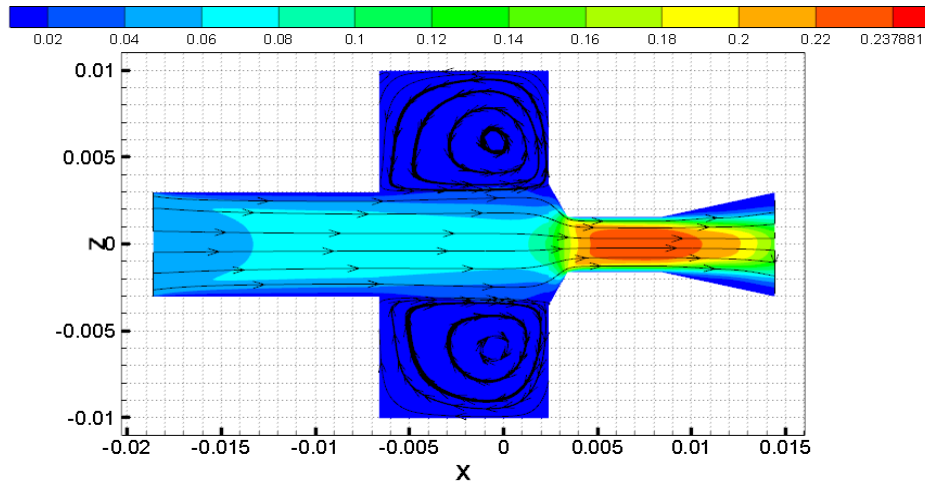


Şekil 4.13 Deney 36'dan deney 44'e kadar Darcy geçirgenlikleri

4.2 Analizler

4.2.1 Delik Analizleri

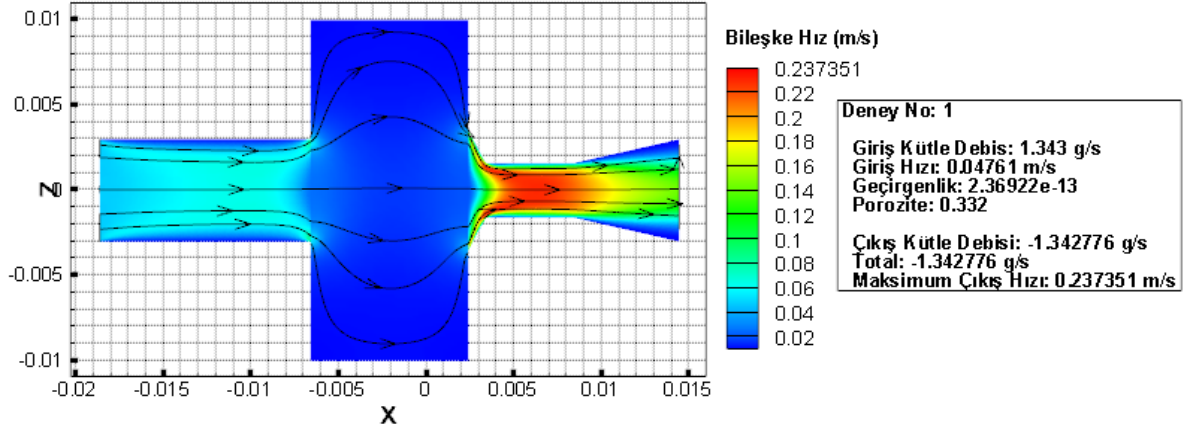
Yapılan analizlerin sonuçlarını yorumlamak çok önemlidir. İlk aşamada deliklerin arasında herhangi bir poroz materyal olmadan analiz yapılmıştır. Şekilde görüldüğü üzere akış delik boyunca devam etmiş ve deliğin daraldığı yerde hızı artmıştır. Delik hızasının dışında ki alanlarda ise girdaplar oluşmuştur (Şekil 4.14).



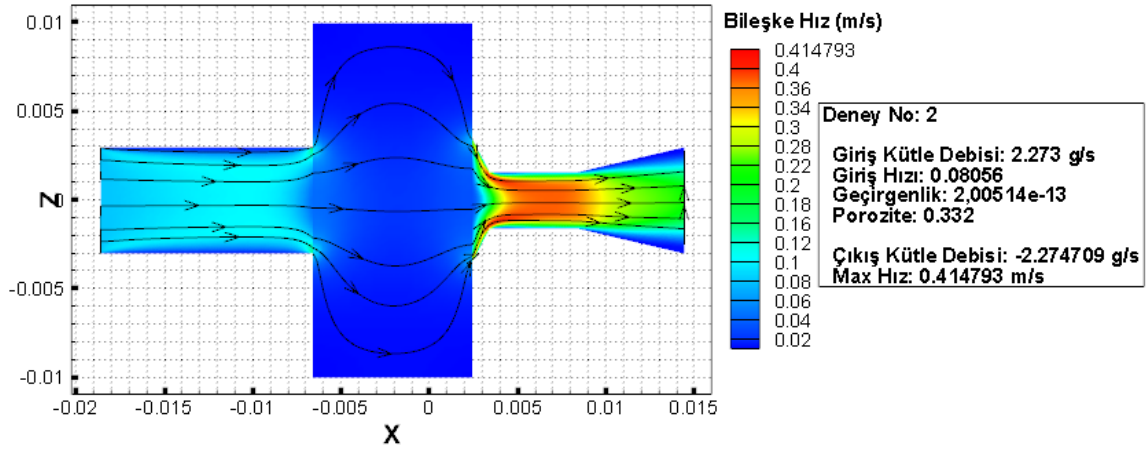
Şekil 4.14 Poroz tekstil mamülü olmadan yapılan birinci deney analizi

Daha sonra iki delik arasına poroz materyal olarak tekstil mamülü tanımlanmıştır. Porozite ve geçirgenlikle ilgili veriler deneysel çalışmalardan alınmıştır. Her bir deneyin geçirgenlik, porozite veya tekstil kalınlığı farklılık gösterebileceği için 44 deneyin analizi yapılmıştır.

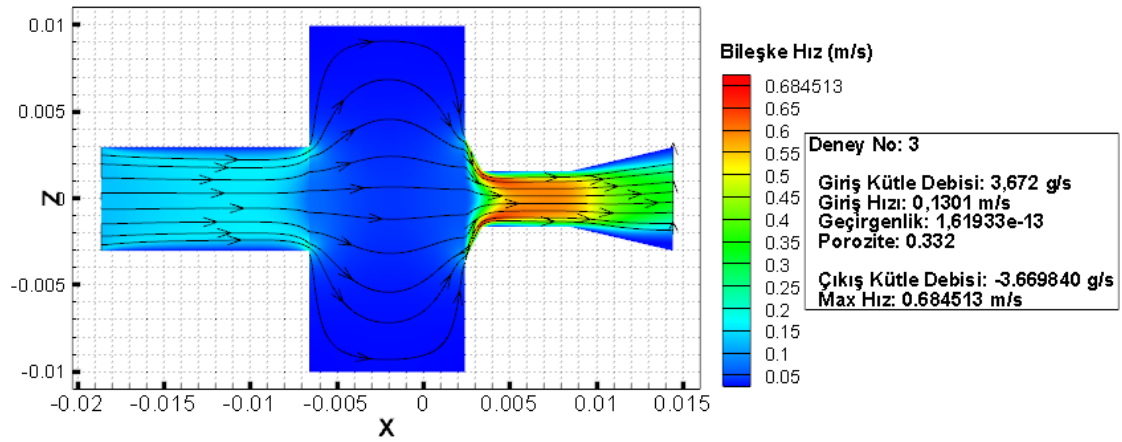
Porozite: 0.332 için;



Şekil 4.15 1.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

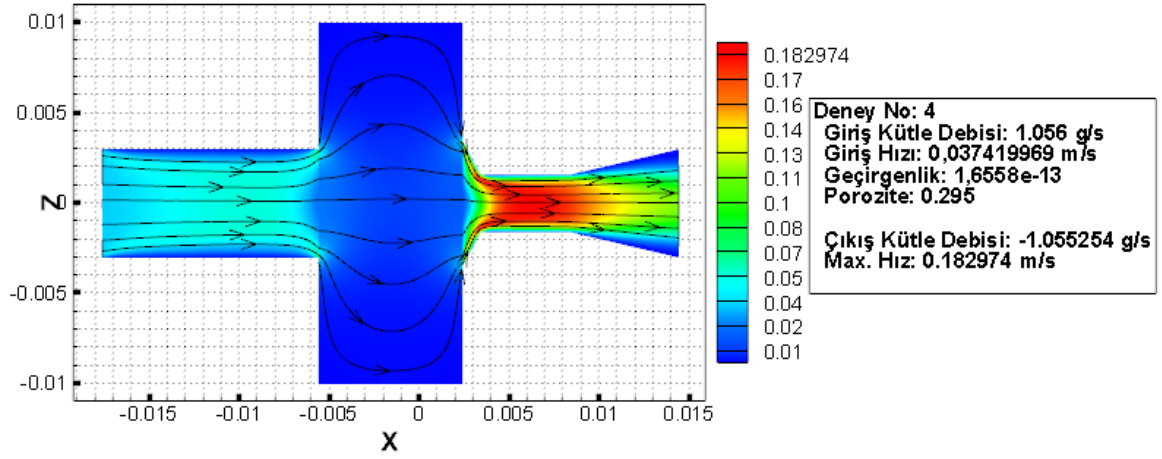


Şekil 4.16 2.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

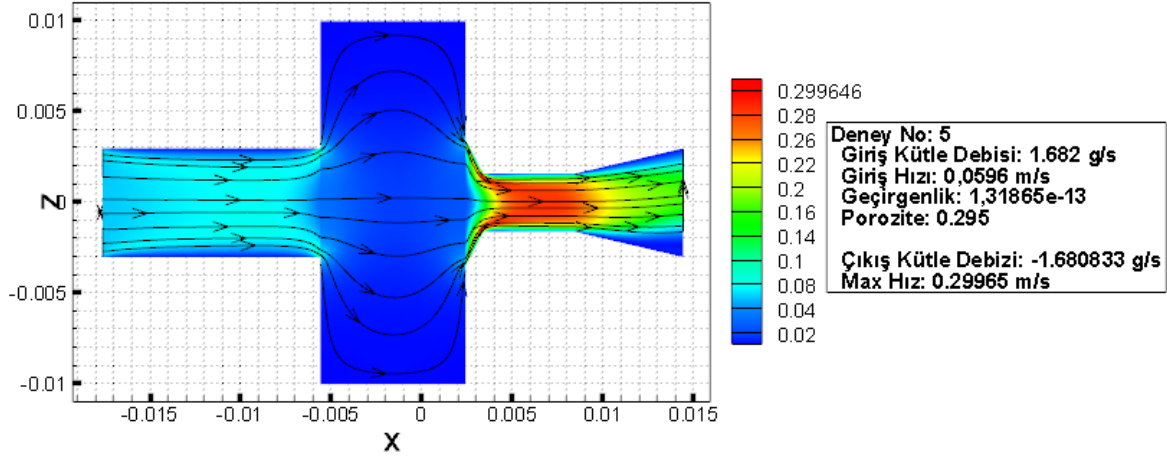


Şekil 4.17 3.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

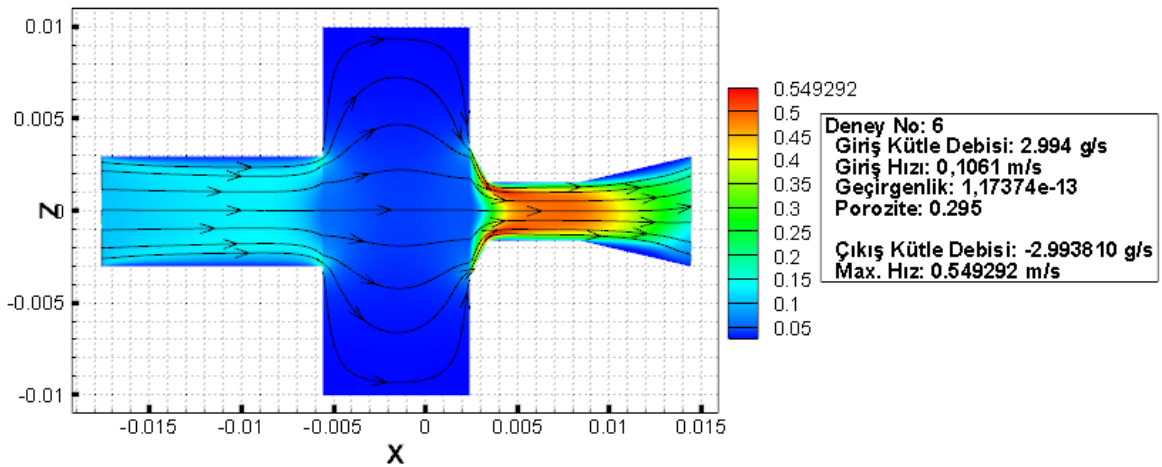
Porozite: 295 için;



Şekil 4.18 4.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

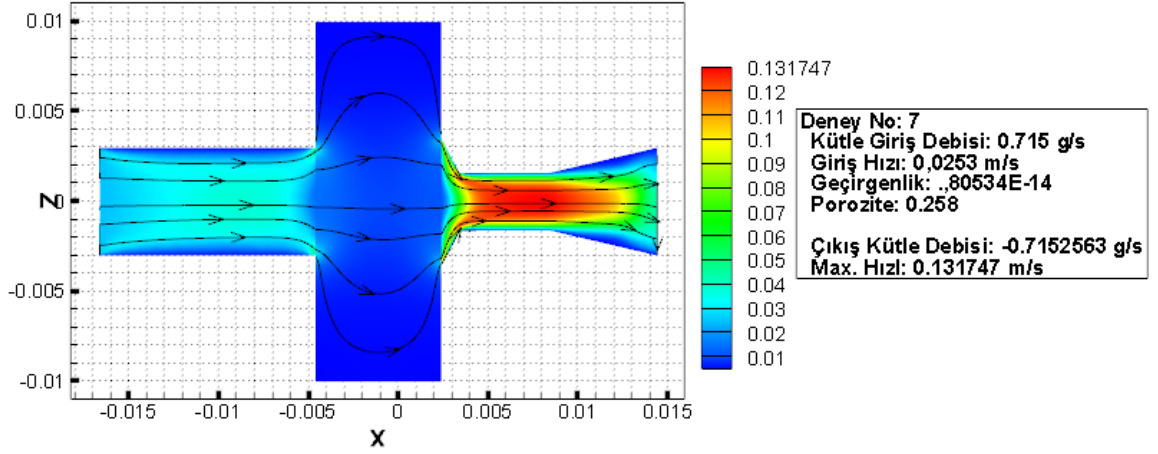


Şekil 4.19 5.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

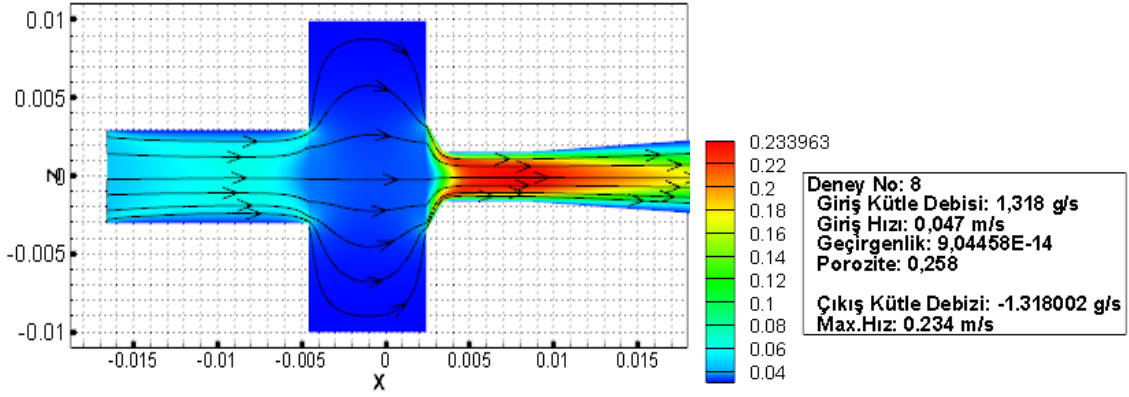


Şekil 4.20 6.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

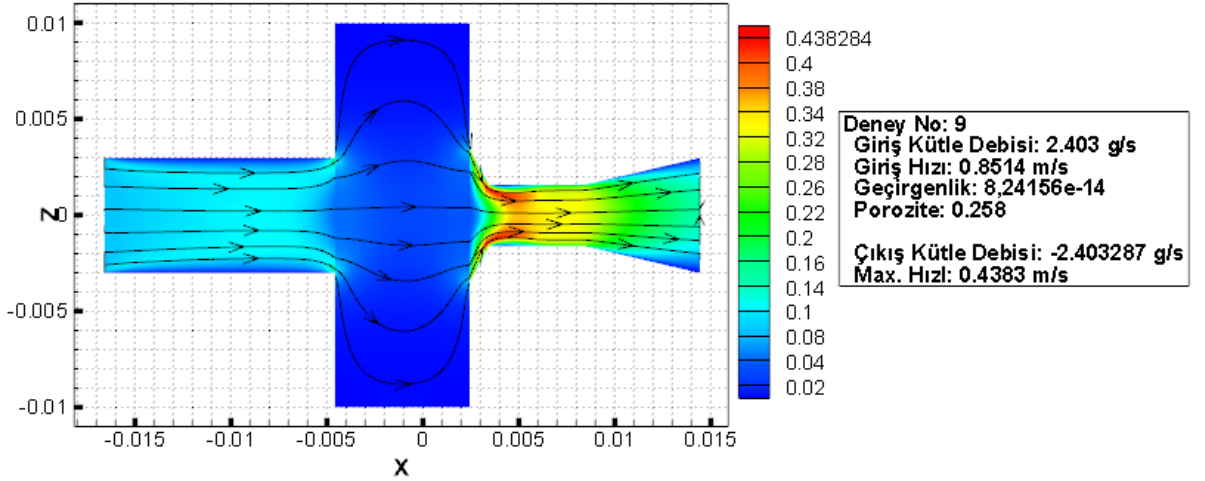
Porozite: 0.258 için;



Şekil 4.21 7.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

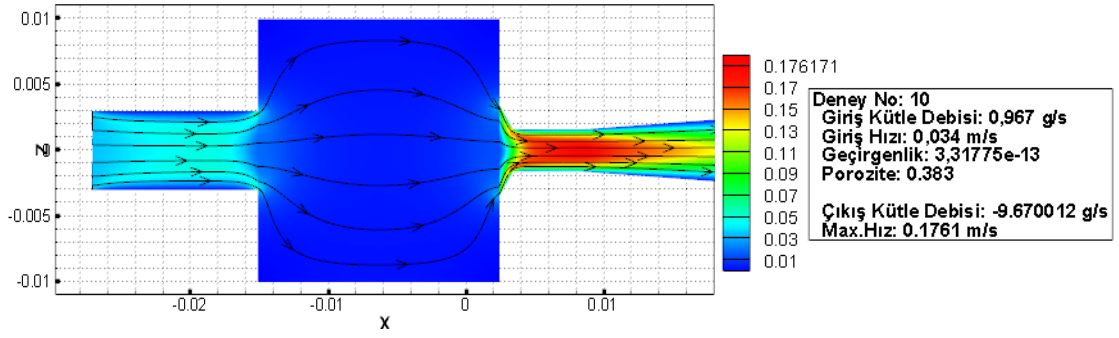


Şekil 4.22 8.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

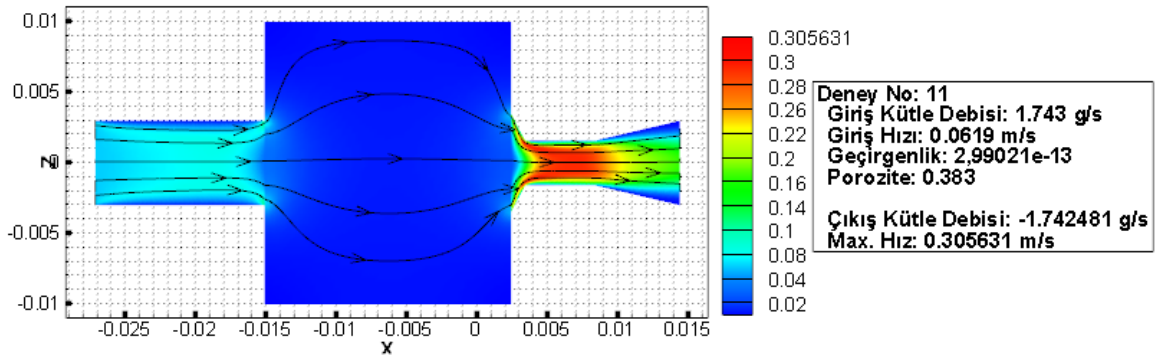


Şekil 4.23 9.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

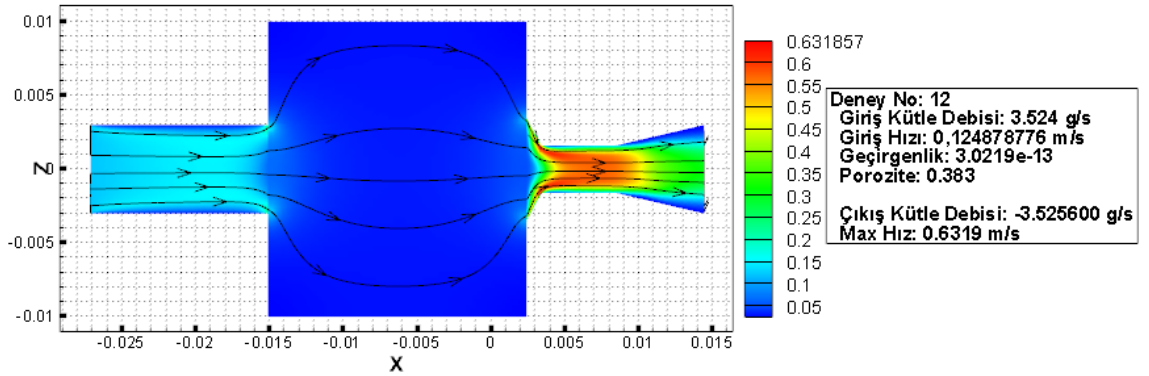
Porozite: 0.383 için;



Şekil 4.24 10.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

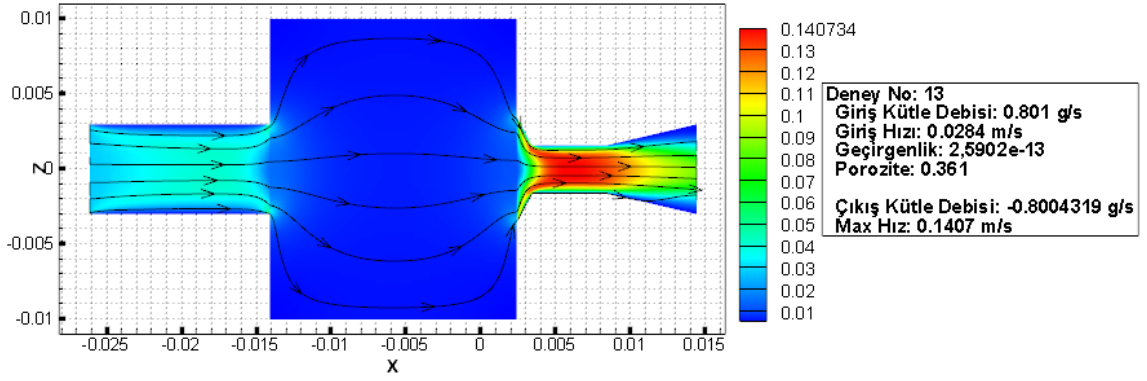


Şekil 4.25 11.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

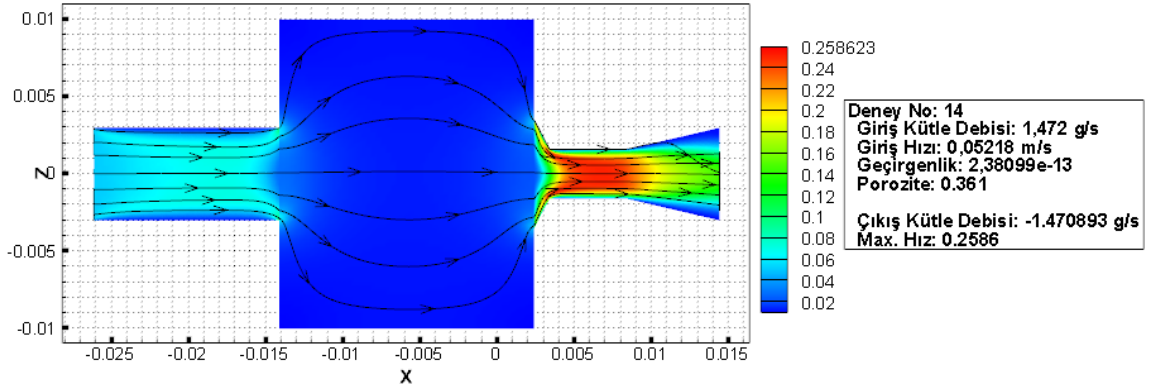


Şekil 4.26 12.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

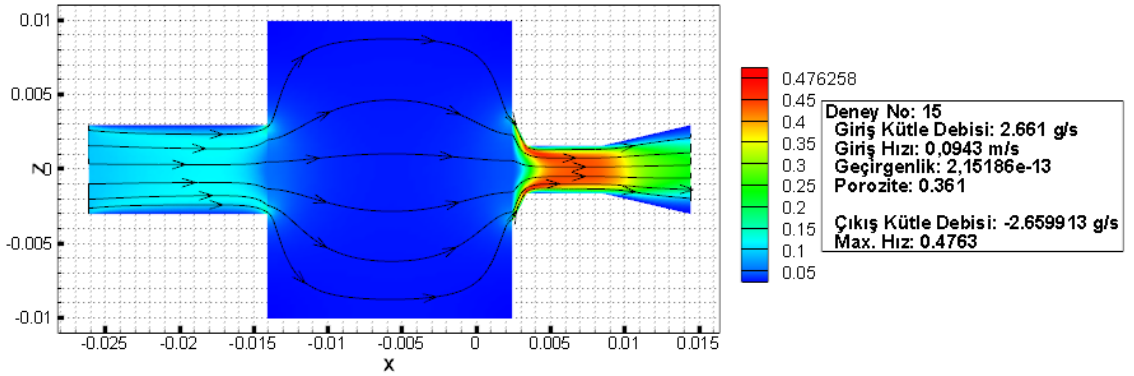
Porozite: 0.361 için;



Şekil 4.27 13.deneysel analizinin hız konturları ve akım çizgileri

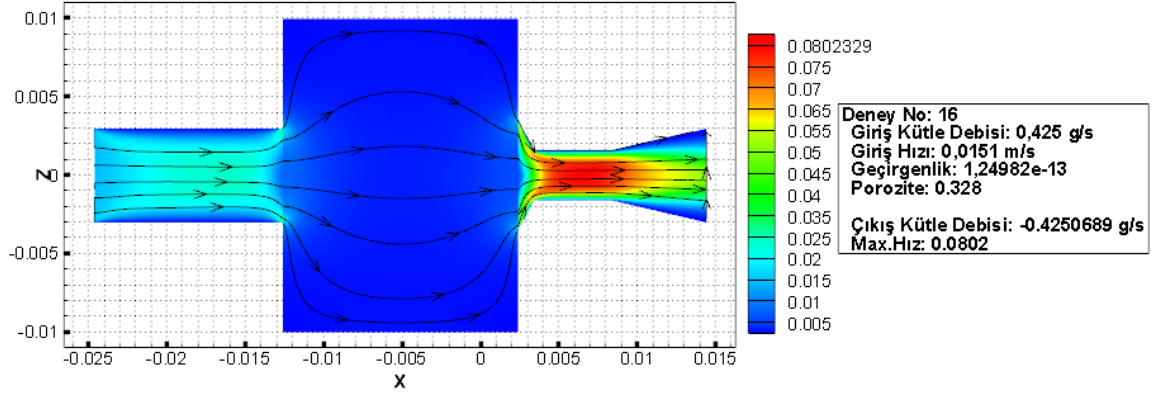


Şekil 4.28 14.deneysel analizinin hız konturları ve akım çizgileri

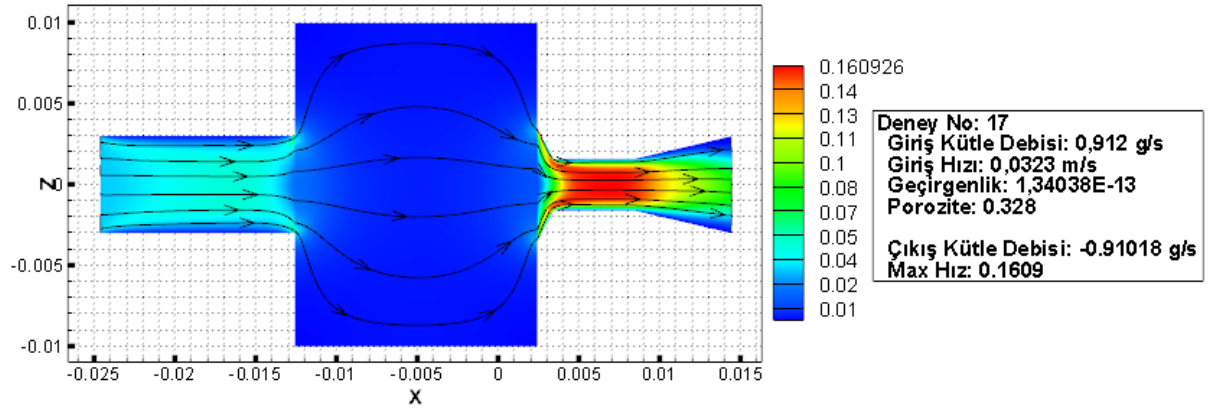


Şekil 4.29 15.deneysel analizinin hız konturları ve akım çizgileri

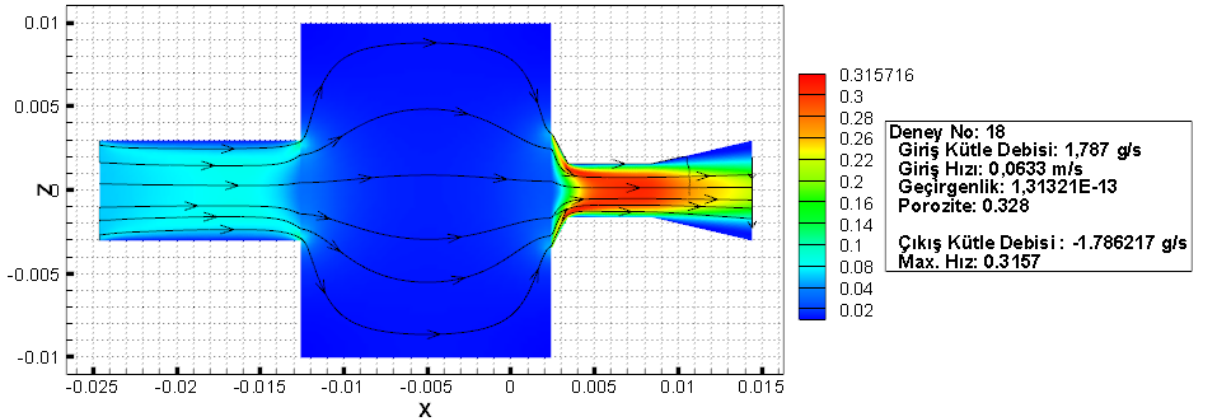
Porozite: 0.328 için;



Şekil 4.30 16.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

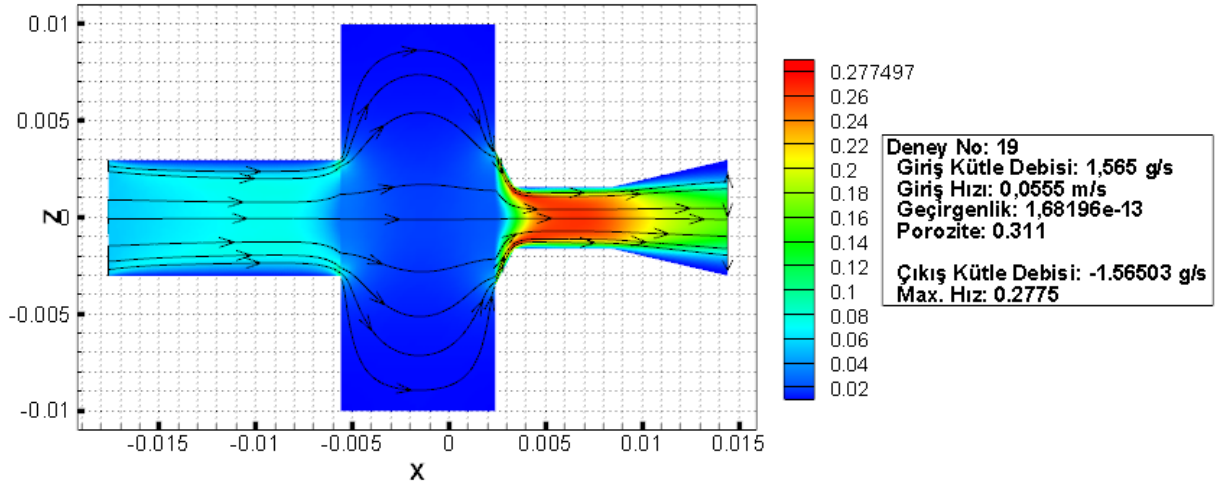


Şekil 4.31 17.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

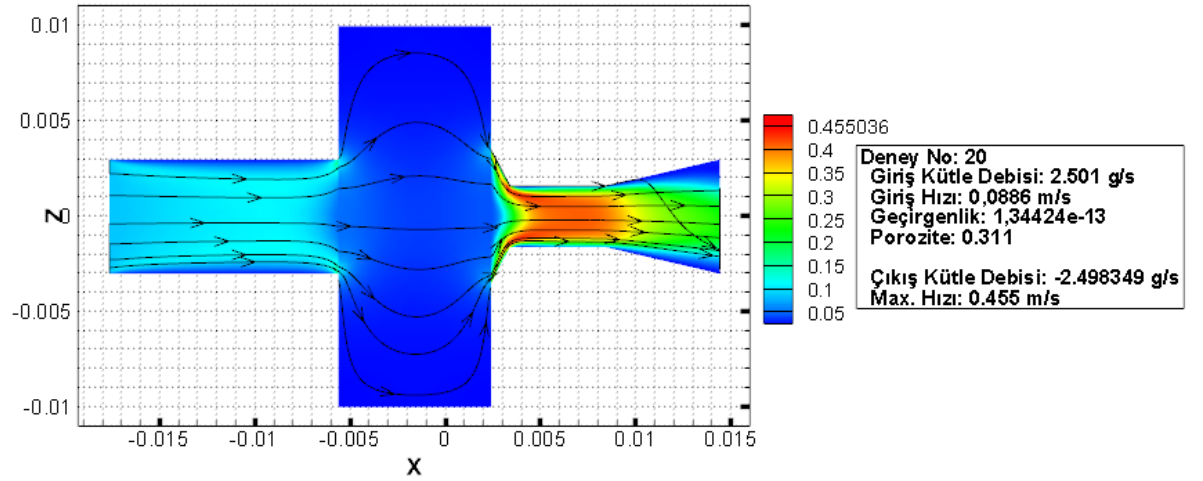


Şekil 4.32 18.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

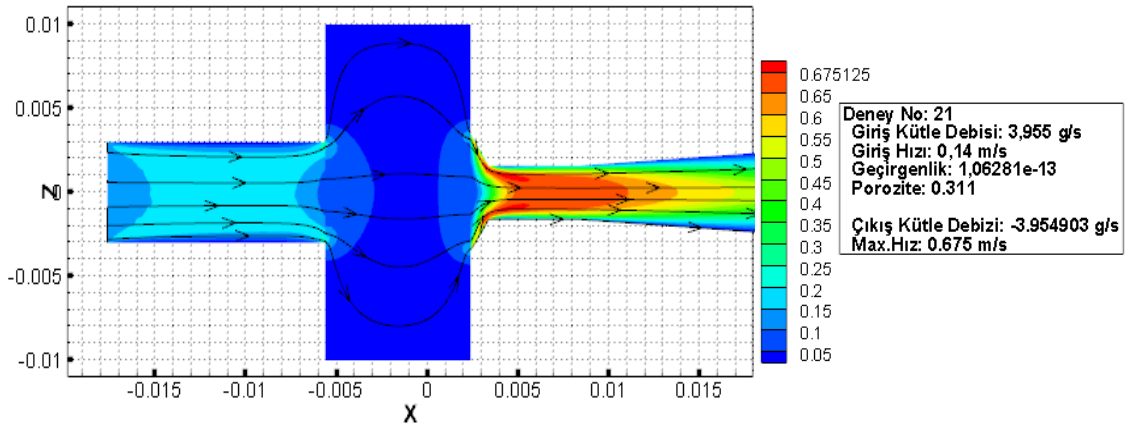
Porozite: 0.311 için;



Şekil 4.33 19.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

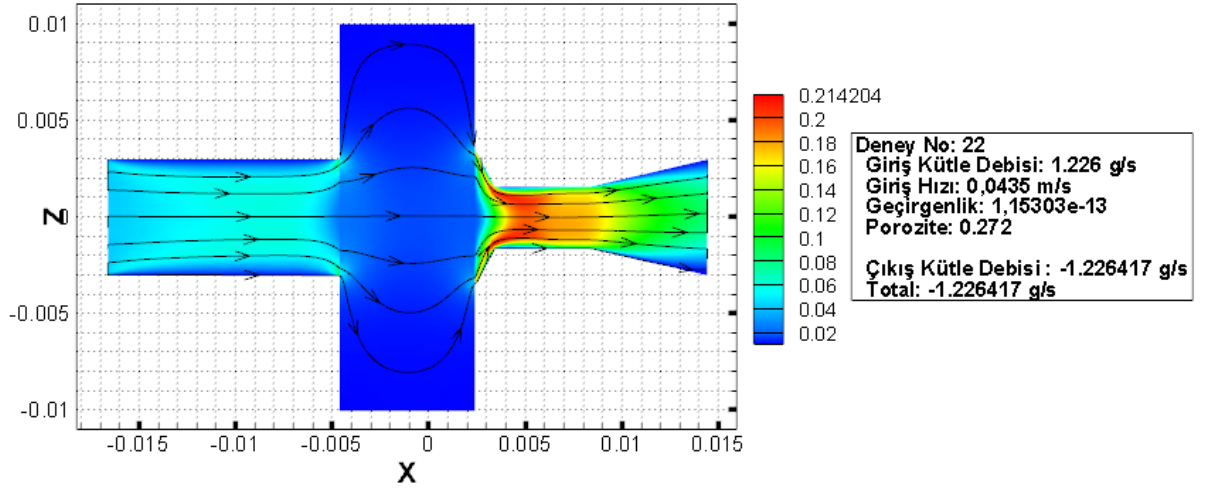


Şekil 4.34 20.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

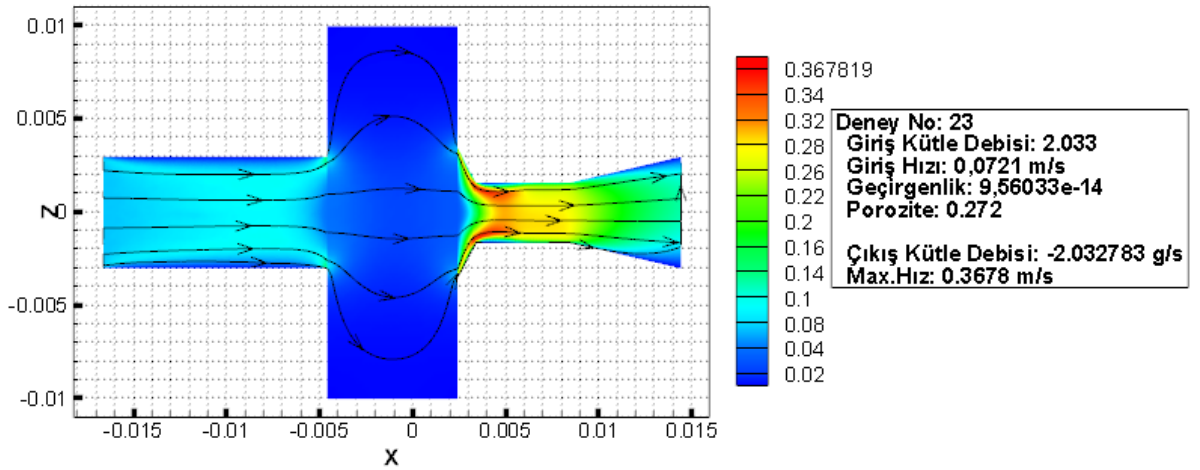


Şekil 4.35 21.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

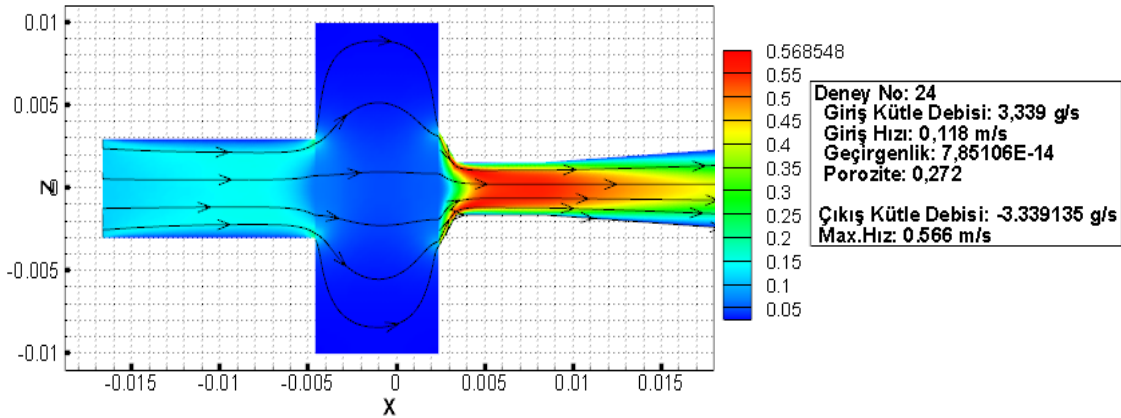
Porozite: 0.272 için;



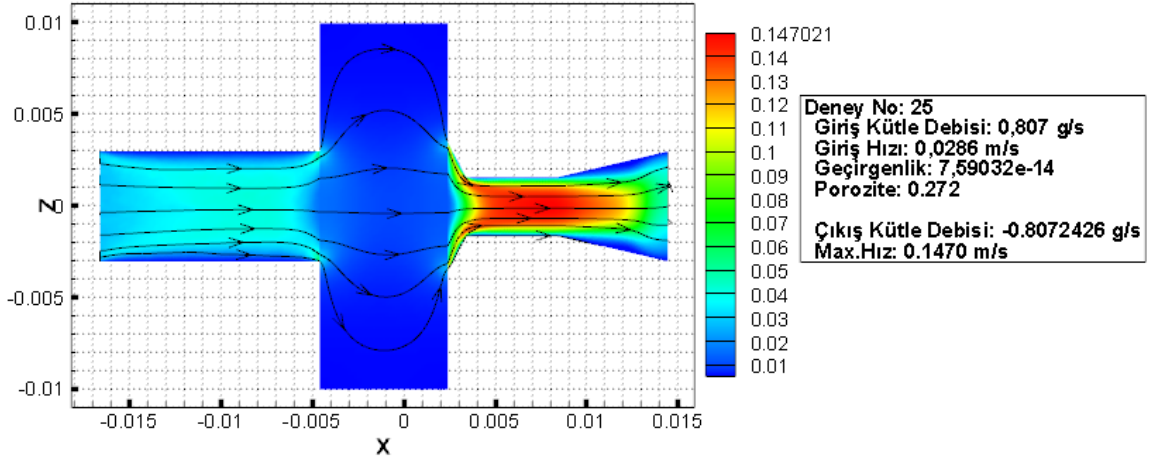
Şekil 4.36 22.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



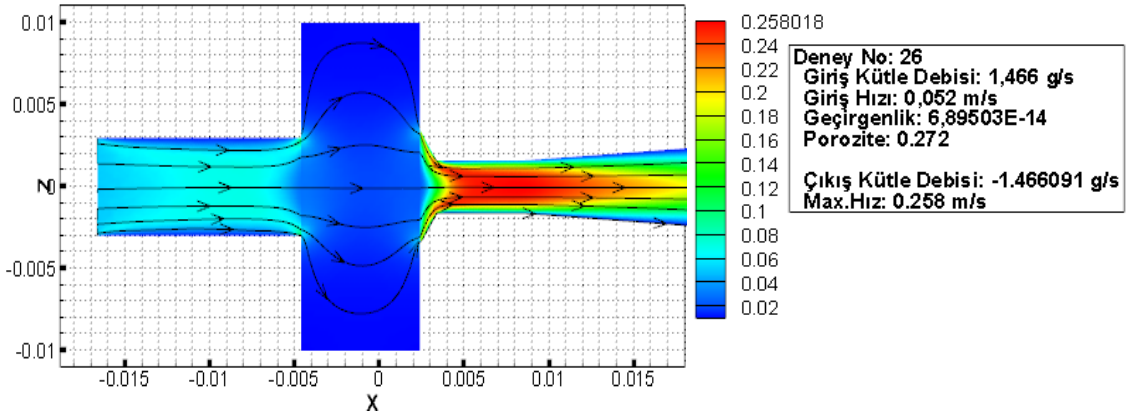
Şekil 4.37 23.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



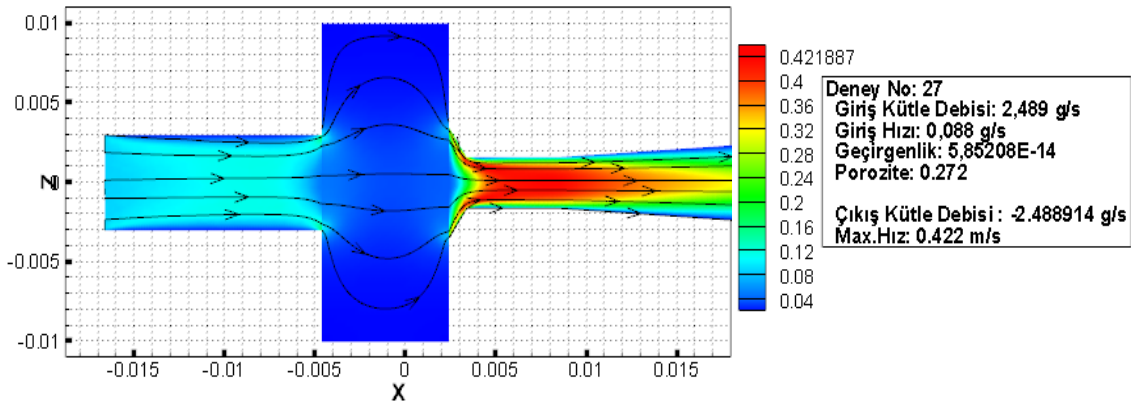
Şekil 4.38 24.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



Şekil 4.39 25.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

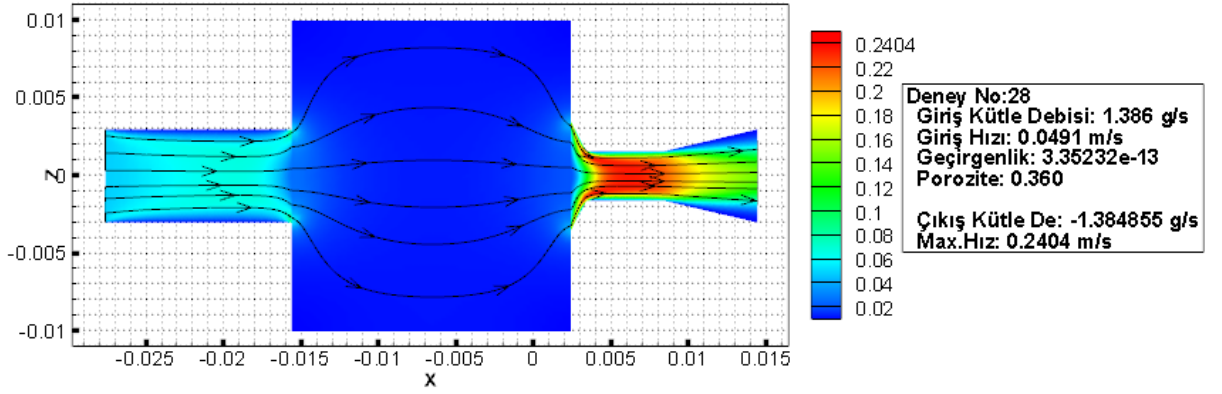


Şekil 4.40 26.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

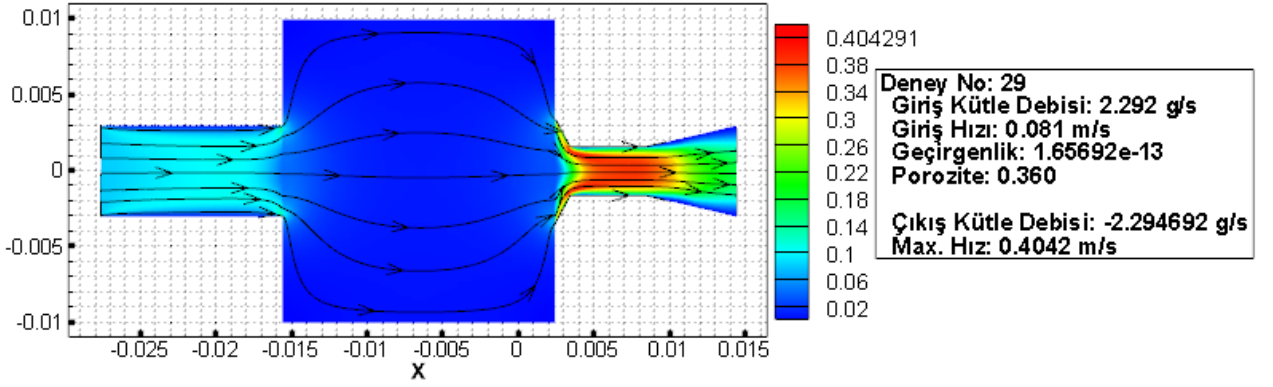


Şekil 4.41 27.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

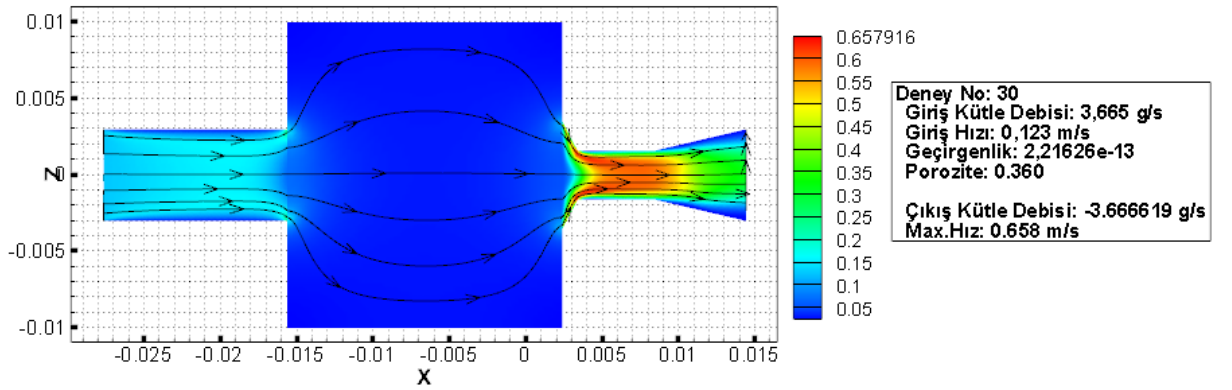
Porozite: 0.360 için;



Şekil 4.42 28.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

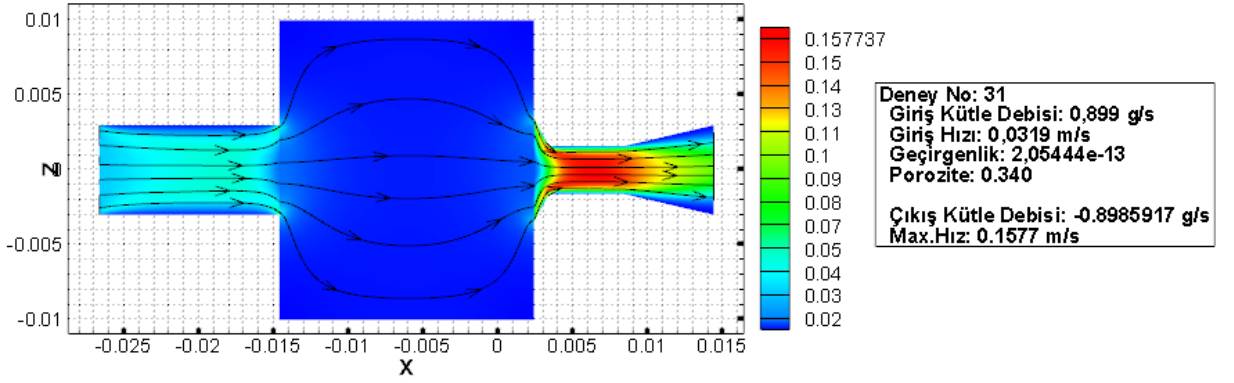


Şekil 4.43 29.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

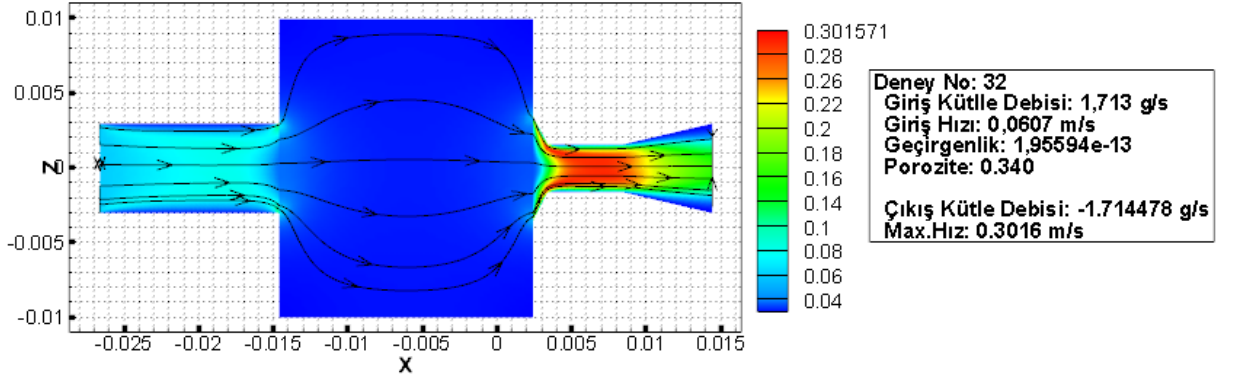


Şekil 4.44 30.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

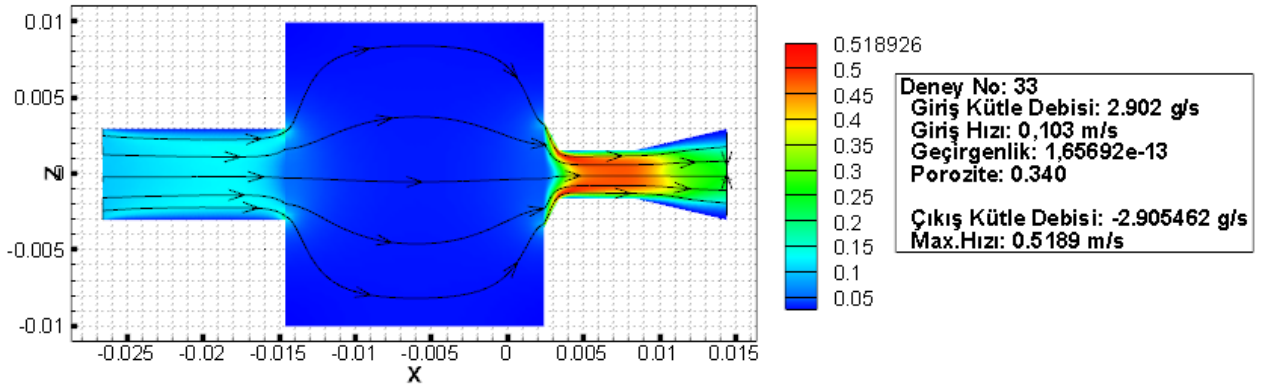
Porozite: 0.340 için;



Şekil 4.45 31.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

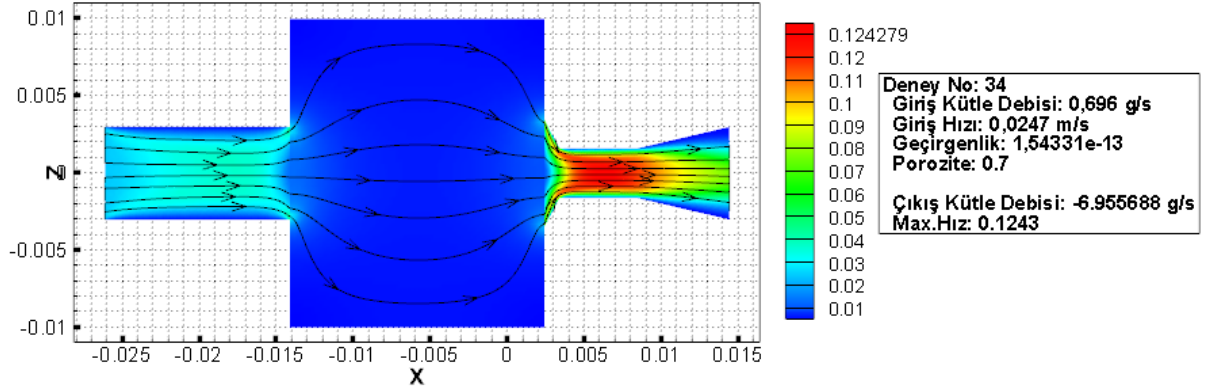


Şekil 4.46 32.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

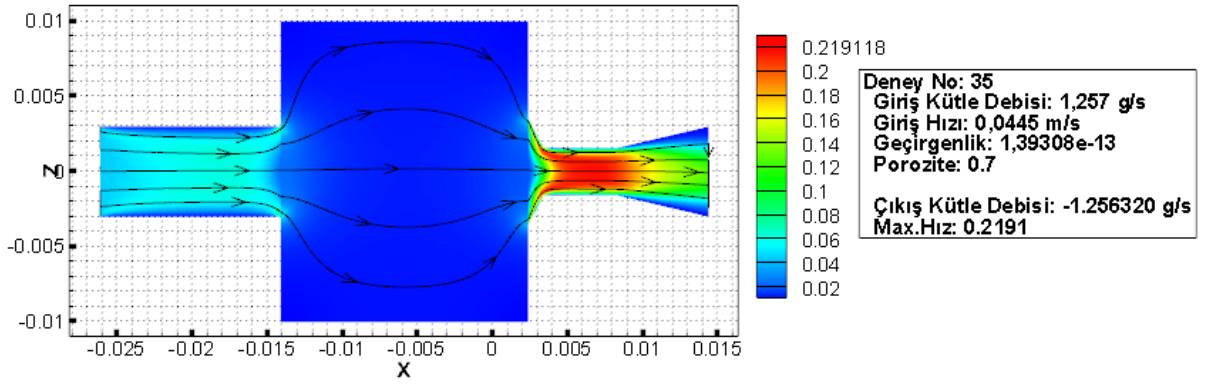


Şekil 4.47 33.deneý analizinin hız konturları ve akım çizgileri

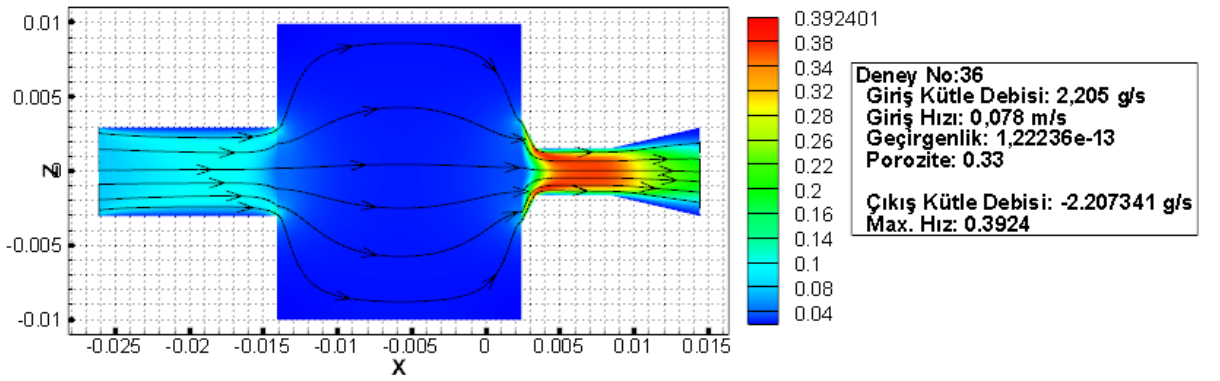
Porozite: 0.7 için;



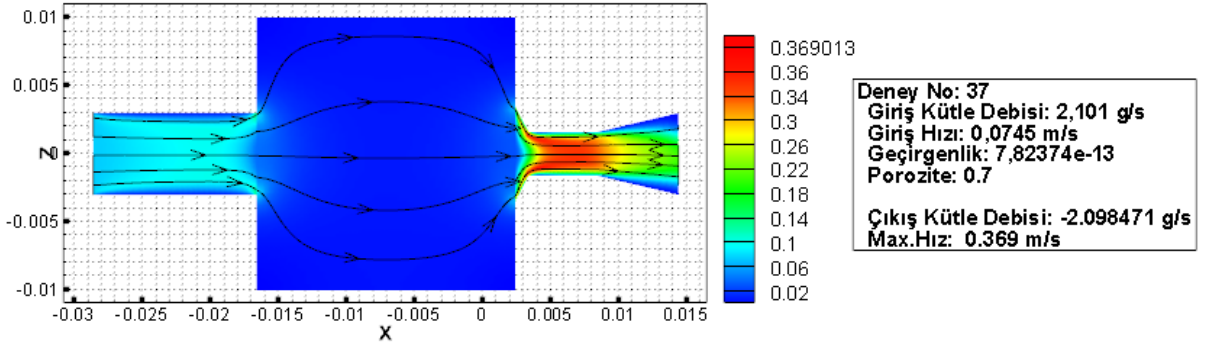
Şekil 4.48 34.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



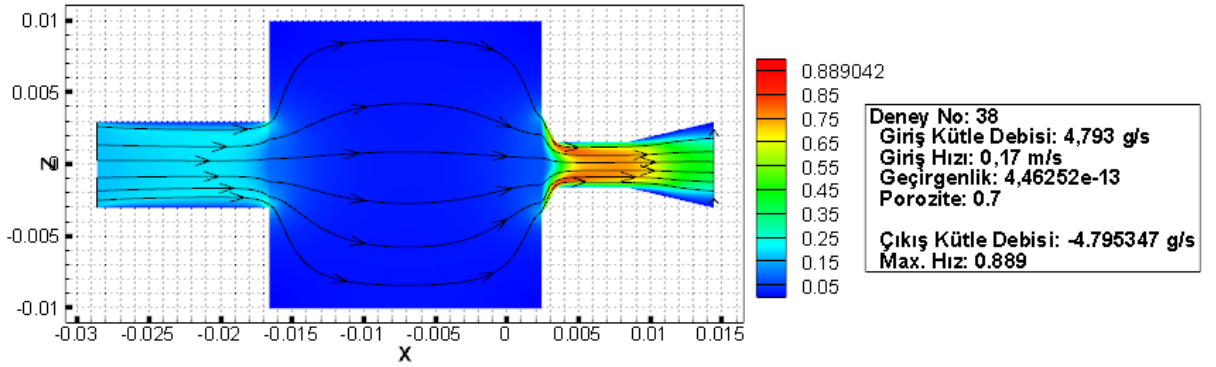
Şekil 4.49 35.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



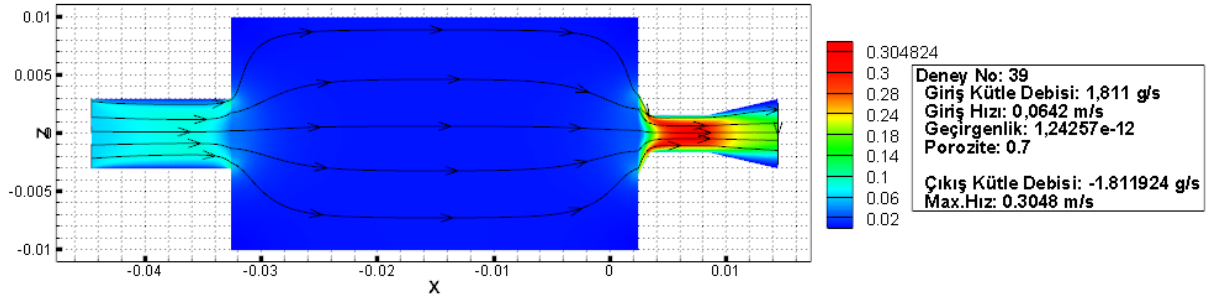
Şekil 4.50 36.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



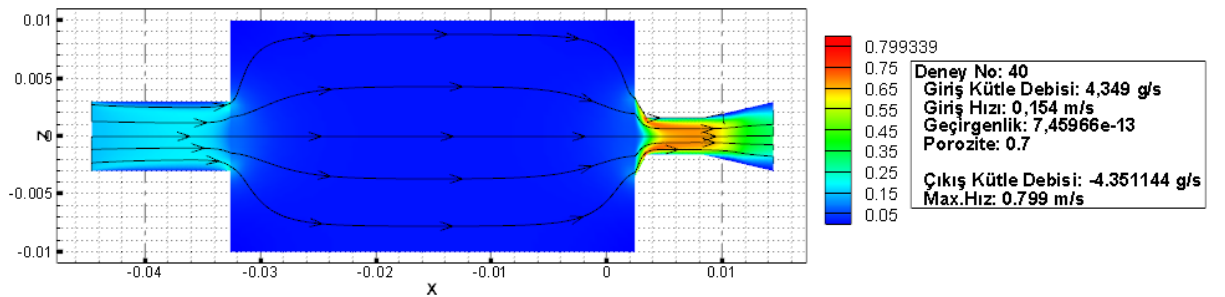
Şekil 4.51 37.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



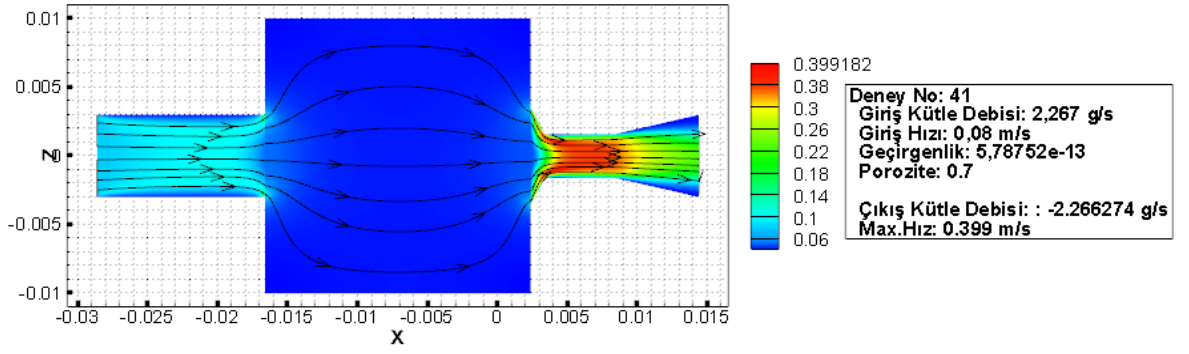
Şekil 4.52 38.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



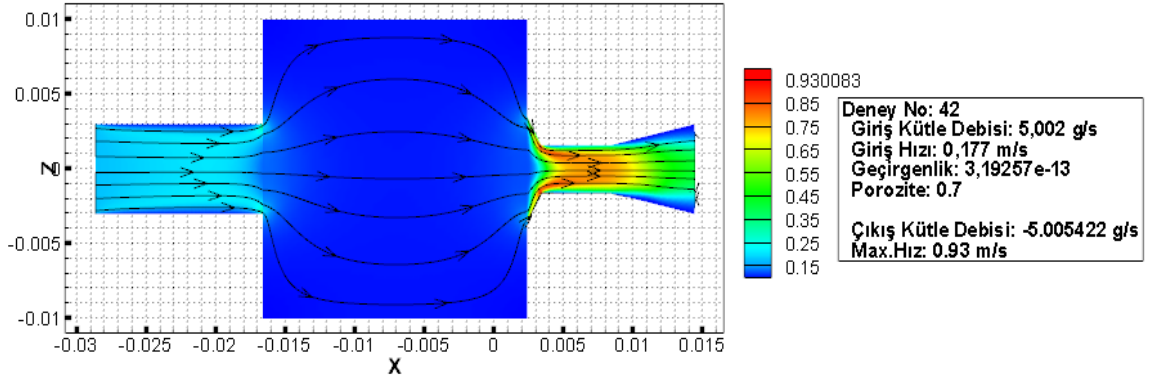
Şekil 4.53 39.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



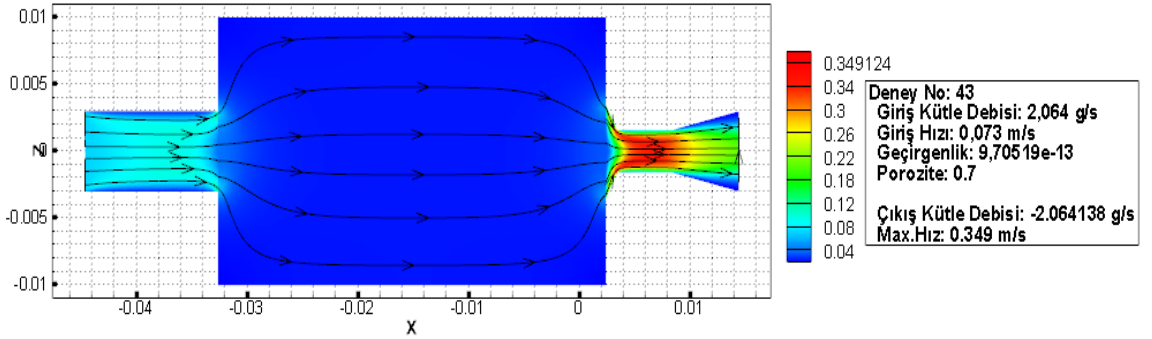
Şekil 4.54 40.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



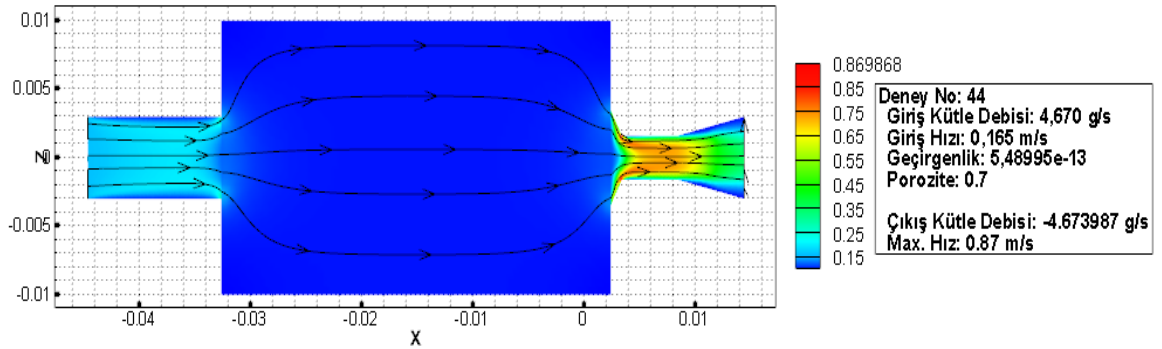
Şekil 4.55 41.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



Şekil 4.56 42.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



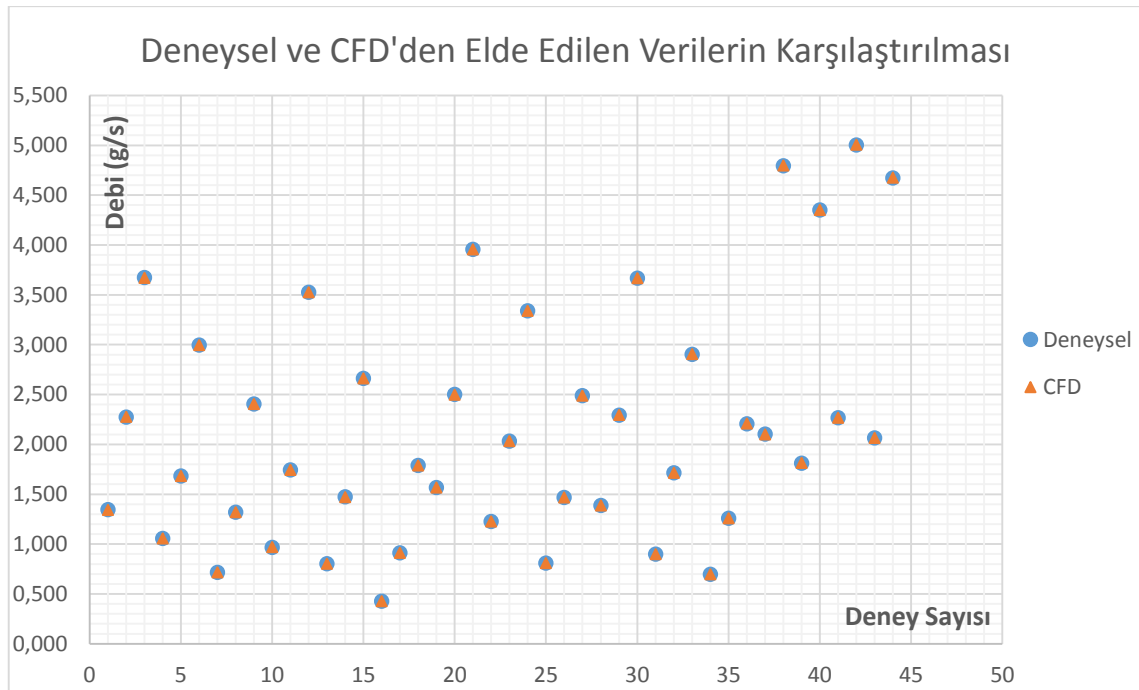
Şekil 4.57 43.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri



Şekil 4.58 44.deney analizinin hız konturları ve akım çizgileri

Şekil 4.15'ten Şekil 4.58'e kadar olan analizlerin ortak noktası, geçirgenliği, porozitesi ve katman kalınlığı ne olursa olsun akış poroz mamül içinden laminer bir biçimde akmaktadır ve hızlanarak akışını tamamlamaktadır. Akış poroz mamüle girerken yavaşlamış çıkarken hızlanmıştır.

Kütle korunum yasalarına göre girişte ki kütleli debi ile çıkışta ki kütleli debi aynı olmalıdır. Yapılan analizlerde Tecplot programı ile analiz sonucu elde edilen çıkış debileri hesaplanmıştır (Şekil 4.59). Bunu sebebi delik çapı ile ilgili analiz çalışmalarında kullanılacak türbülans modeli ve çözüm yönteminin doğruluğu ölçmektir.

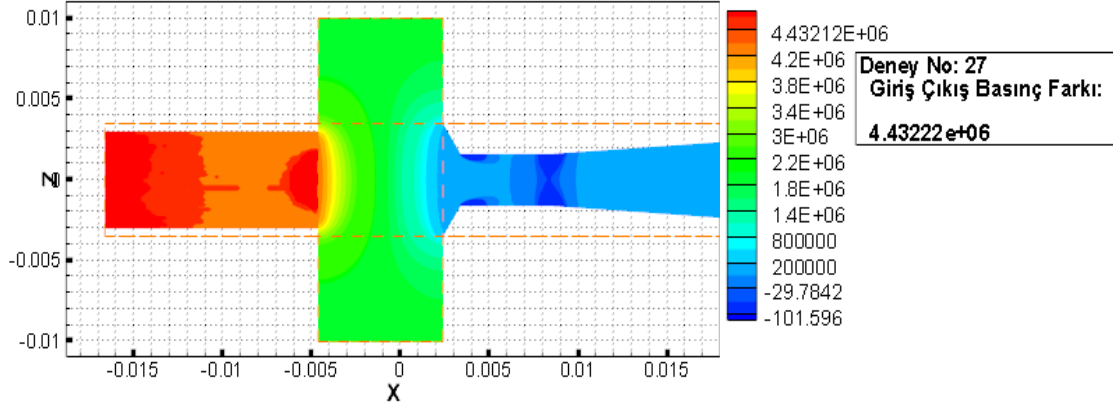


Şekil 4.59 Deneyel ve CFD'den Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması

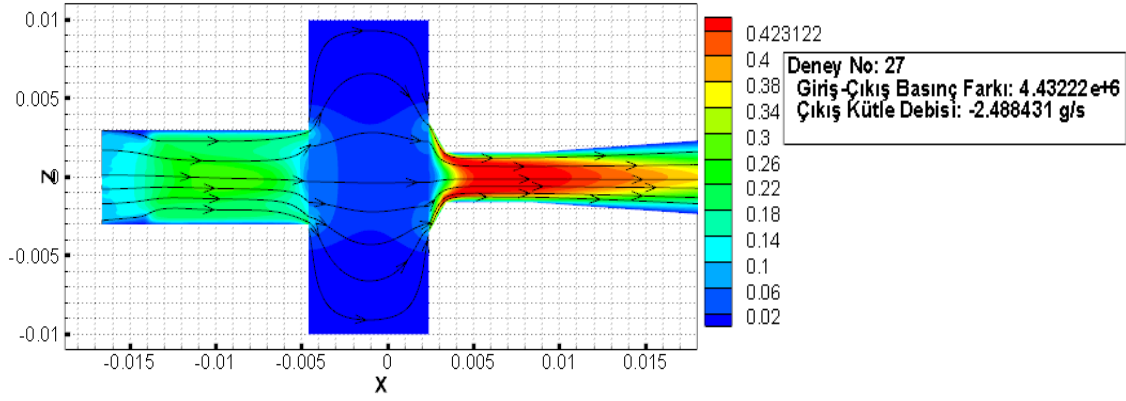
Deneyel olarak elde edilen debilerle CFD çalışmalarından elde edilen debileri karşılaştırıldığında aralarında ki farkın yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Sonuç olarak CFD için oluşturulan modelin uygunluğu teyit edilmiştir.

Kullanılan türbülans modelinin uygunluğunun kabulünden sonra delik çapının debiye olan etkisini incelemek için analizlere devam edilmiştir. 44 adet deneyin tümüne bu analizleri yapmak büyük depolama kaynağı ve zaman gerekeceği için bir tane deney seçilmiştir.

Delik çapı analizlerin giriş ve çıkış arasında ki basınç farkı kullanılmıştır (Şekil 4.60). İlk aşamada basınç farkı kullanılarak delik çapı değiştirilmeden analiz yapılmıştır (Şekil 4.61).



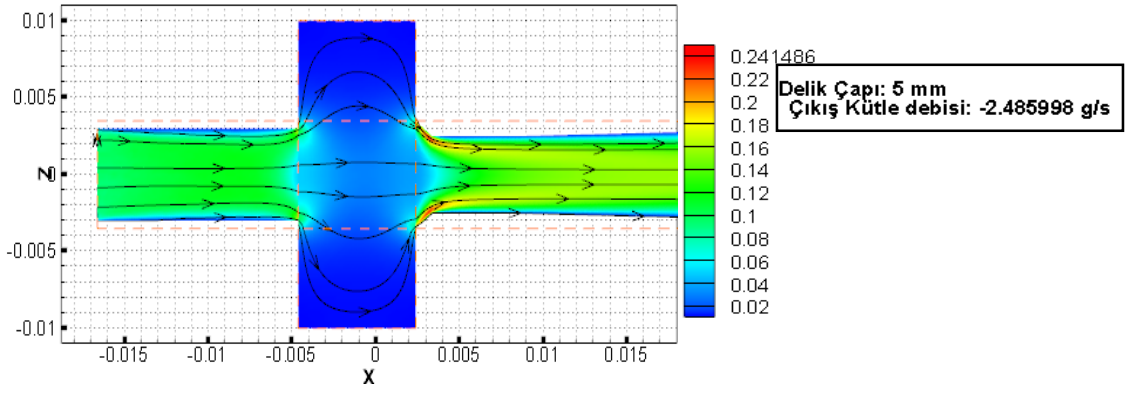
Şekil 4.60 Deney 27'de oluşan basınç farkı



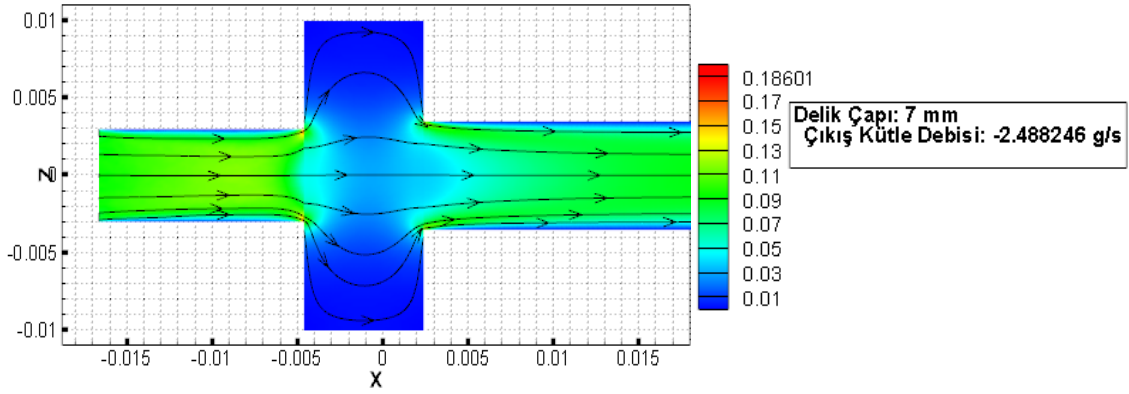
Şekil 4.61 Basınç farkı ile oluşan debi

Deney 27 analizinde uygulanan basınç farkı ile elde edilen çıkış kütle debisi yaklaşık 2.488 g/s dir. Deneysel analizlerde ise elde edilen debi 2.489 dur. Yani hata oranı %0.04 dür. Bu durumda basınç farkında kullanılan metot ve türbülans modeli delik çapı ile ilgili yapılacak çalışmalar için uygundur.

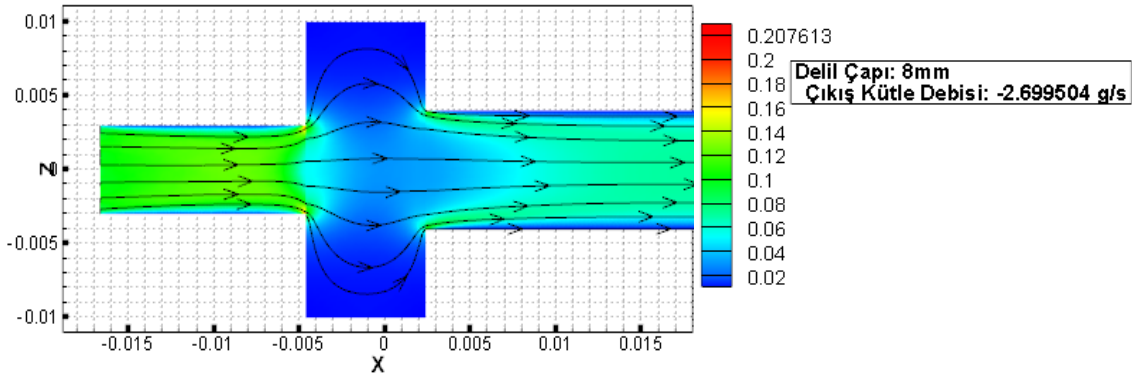
Deneylerde ve analizlerde kullanılan delik çapı 3.2 mm 'dir. Bu değer referans bir çamaşır makinesinden alınmıştır. Çıkış delik çapı sırasıyla 5 mm (Şekil 4.62), 7 mm (Şekil 4.63), 8 mm (Şekil 4.64), 9 mm (Şekil 4.65) ve 10 mm (Şekil 4.66) olarak arttırılmıştır. Toplam basınç farkı kullanılarak deneyler yapıldığında debi artışı 8mm' de %8, 9mm'de %15.5 ve 10 mm'de %21.4 olmaktadır.



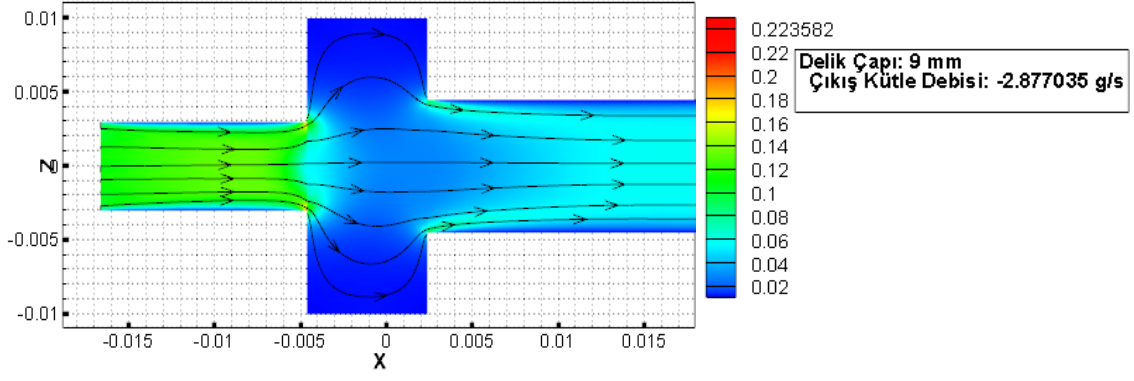
Şekil 4.62 5 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları



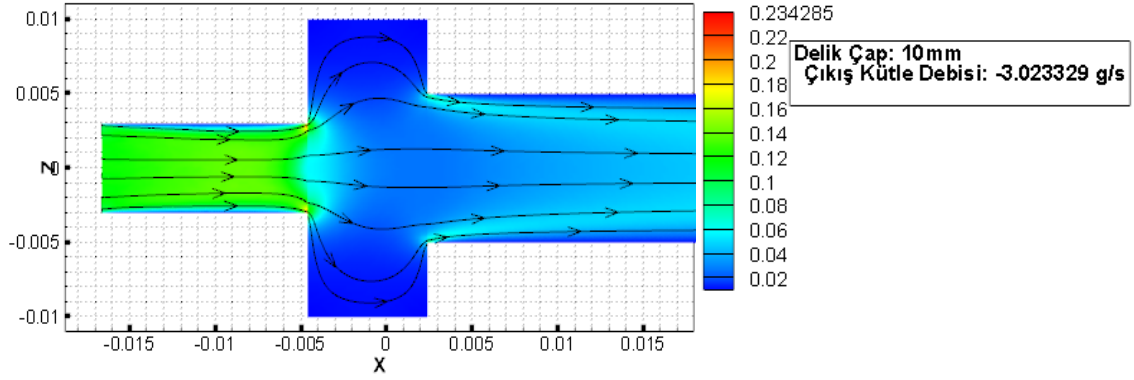
Şekil 4.63 7 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları



Şekil 4.64 8 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları



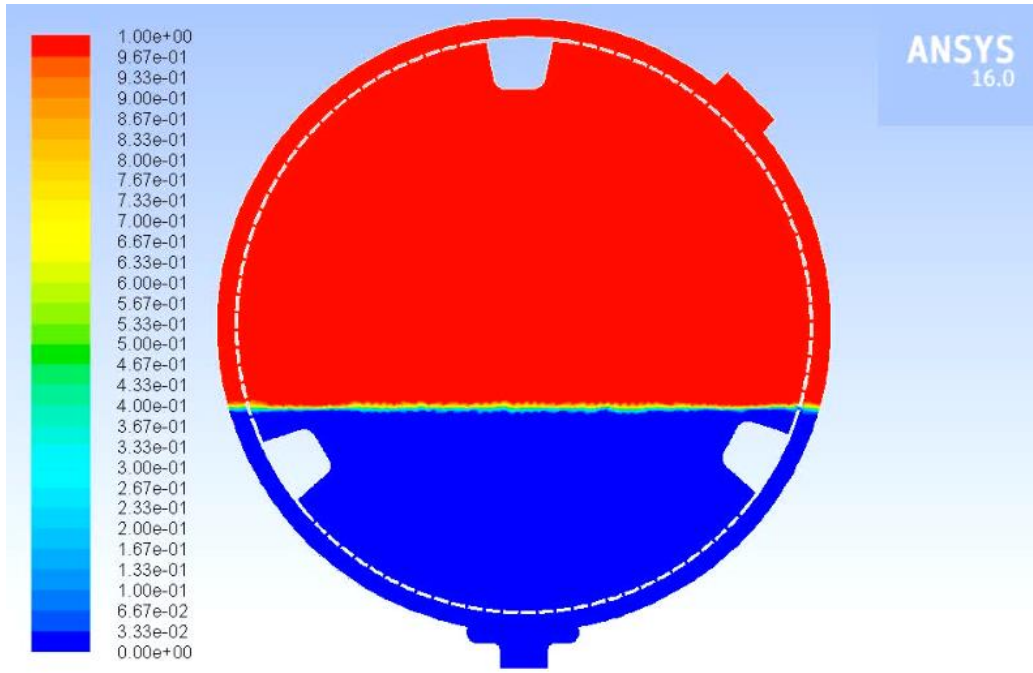
Şekil 4.65 9 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları



Şekil 4.66 10 mm delik çapı için çıkış debisi ve hız konturları

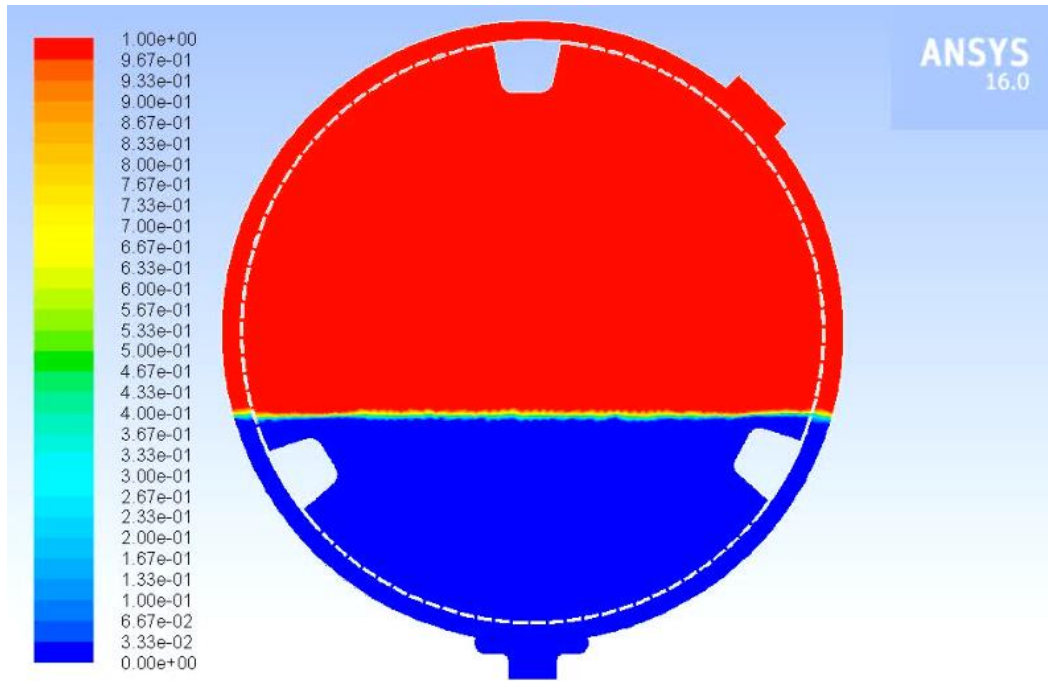
4.2.2 Tambur Kanatlarının Akışa Etkisi

Tambur kanatlarının sıkma esnasında akışa olan etkisinin görebilmek için üç boyutlu tambur-kazan konstrüksiyonu sadeleştirilerek iki boyutluya çevrilmiştir. Tamburun fiziksel olarak sabit 800 dd (Şekil 4.67, 4.69, 4.71 ve 4.73) ve 1200 dd'de (Şekil 4.68, 4.70, 4.72 ve 4.74) dönebilmesi için UDF yazılmıştır (EK G). Çözüm zamana bağlı ve bir saniyedir. Kullanılan türbülans modeli SAS'tır. İki fazlı akış modellemesi yapılmıştır. Bu modelde kazanın 3'de 1'i su ile doldurulmuştur ve geri kalanı havadır. Solda bulunan lejant hava-su oranıdır. Sıfıra doğru ortamda ki su oranı artarken bire doğru azalış göstermektedir. Dinamik ağ yapısı kullanıldığı için her 0.0001 sn'de ağ yapısı tekrar oluşturulup çözüm yapılmaktadır.



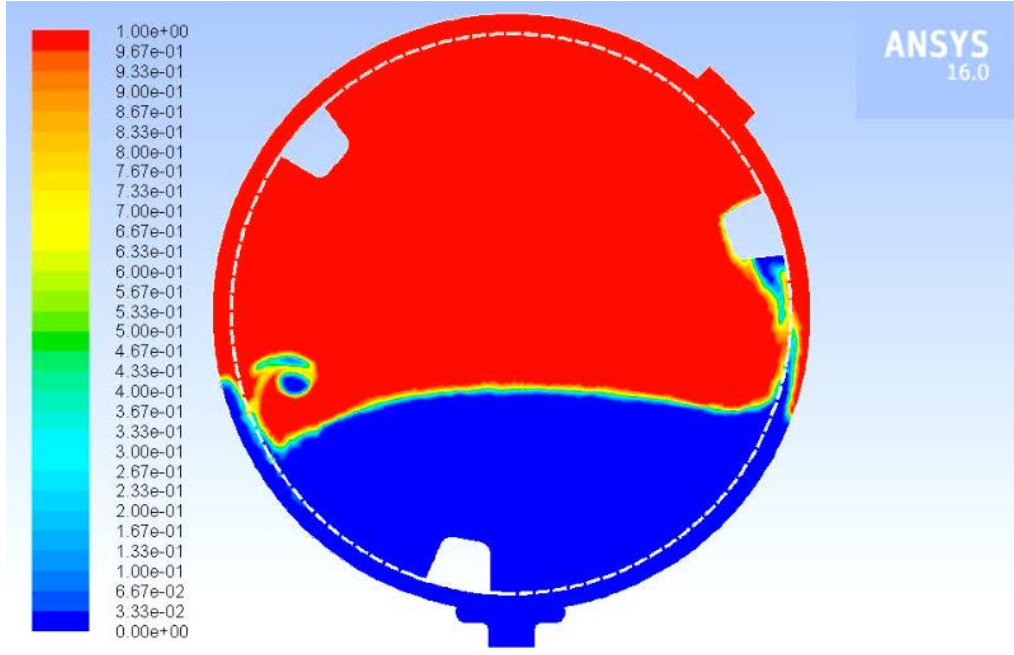
Contours of Total Pressure (mixture) (Time=1.0000e-04) Sep 18, 2015
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dyanemesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.67 800 d/d 'da durağan halde ki akış



Contours of Volume fraction (phase-1) (Time=1.0000e-04) Sep 30, 2015
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dyanemesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.68 1200 d/d'da durağan halde ki akış

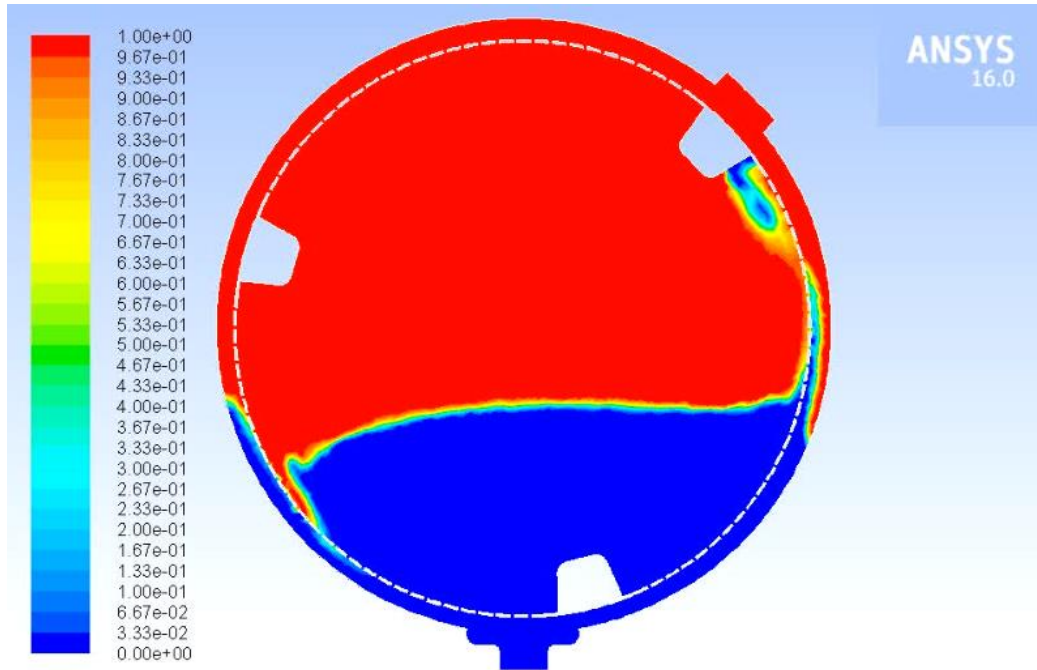


Contours of Total Pressure (mixture) (Time=1.0100e-02)

Sep 18, 2015

ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dynamesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.69 800 d/d 'da 0.01 sn'de akışın durumu

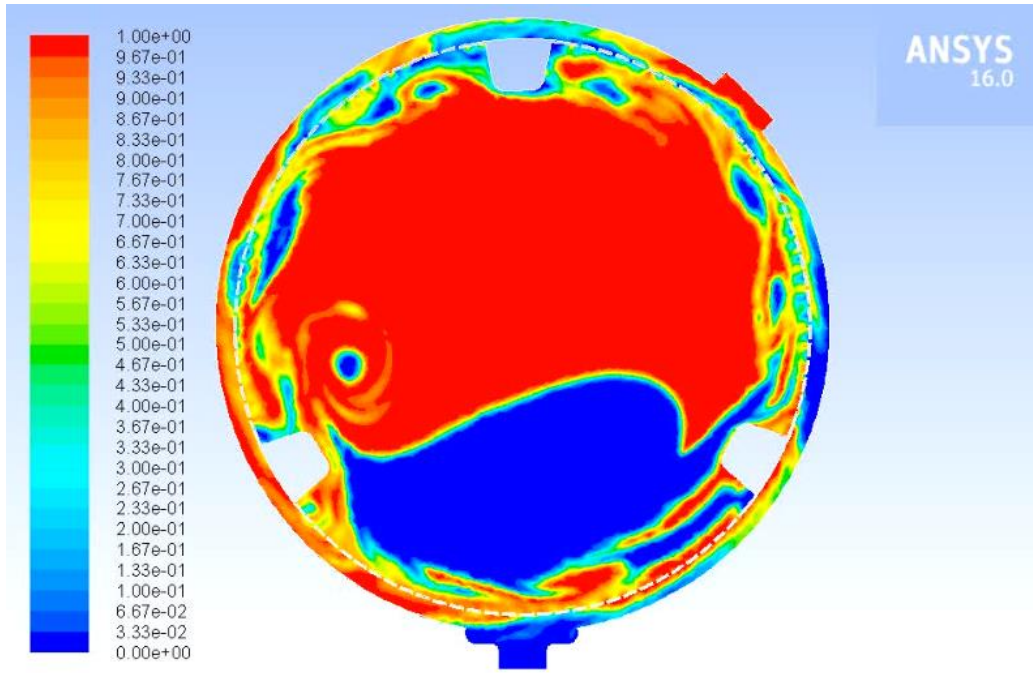


Contours of Volume fraction (phase-1) (Time=1.0200e-02)

Sep 30, 2015

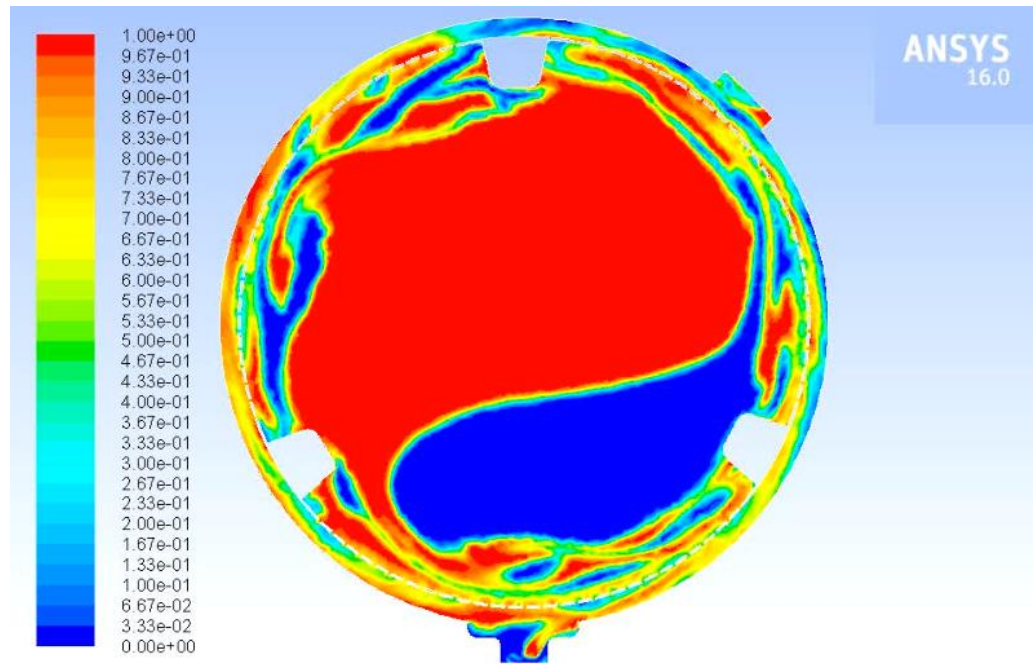
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dynamesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.70 1200 d/d'da 0.01 sn'de akışın durumu



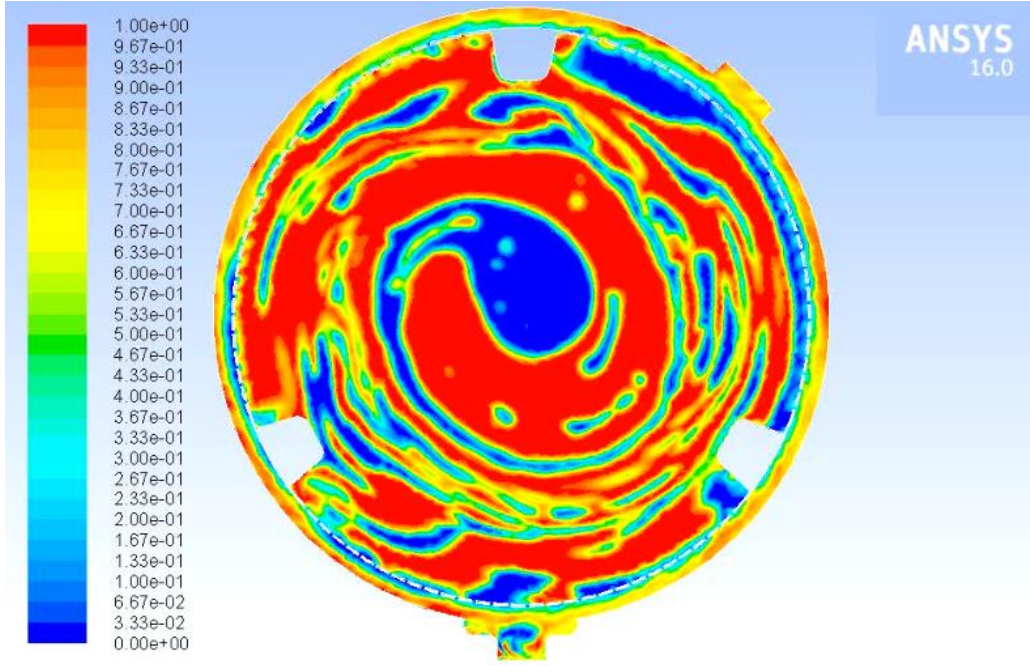
Contours of Total Pressure (mixture) (Time=1.0010e-01) Sep 18, 2015
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dynamesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.71 800 d/d 'da 0.1 sn'de akışın durumu



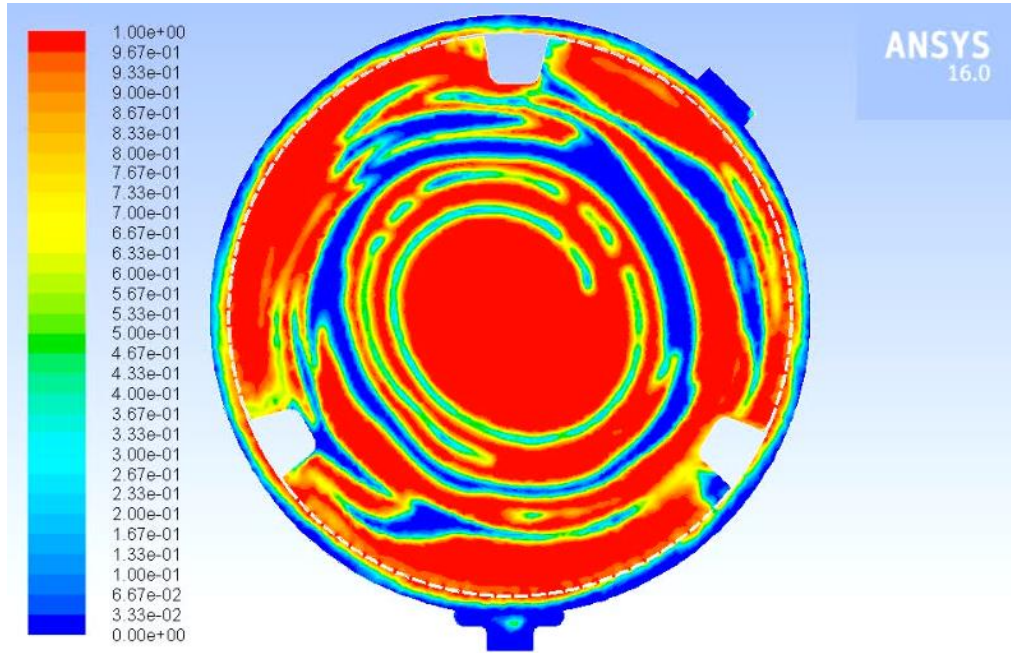
Contours of Volume fraction (phase-1) (Time=1.0020e-01) Sep 30, 2015
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dynamesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.72 1200 d/d'da 0.1 sn'de akışın durumu



Contours of Total Pressure (mixture) (Time=9.9985e-01) Sep 18, 2015
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dynamesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.73 800 d/d 'da 0.1 sn'de akışın durumu



Contours of Volume fraction (phase-1) (Time=9.9985e-01) Sep 30, 2015
ANSYS Fluent Release 16.0 (2d, pbns, dynamesh, vof, SAS, transient)

Şekil 4.74 1200 d/d'da 0.1 sn'de akışın durumu

Şekil 4.69 ve Şekil 4.70’de kanat arkasında oluşan negatif basıncın etkisiyle sıvı akışkanın bir kısmı koparak kanatı izlemektedir. Tamburun hızlı dönüşünden dolayı son derece karışık ve hareketli akış olayları meydana gelmektedir. Özellikle kanat arkalarında küçük veya büyük girdaplar oluşmaktadır. Kaymamazlıktan dolayı sıvı akışkan özellikle delik çevresinde ve kanatlarda bir süre tamburla dönmeye devam etmektedir. 1 sn’lik analiz boyunca kanat arkasında ve çevresinde sıvı akışkanın toplandığı görülebilir.

Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’te ise sıkma devrinin artmasıyla birlikte sıvı akışkanın büyük bir kısmının deliklerden geçip kazan duvarlarında toplanması görülebilir. Şekil 4.73’de sıvı akışkan tambur içinde dağınık bir biçimde bulunurkeni şekil 4.74’te tamburun ortasında ki sıvı akışkanın dağıldığı ve sıvı akışkan kopmalarının daha az olduğu görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] IEC 60456 (2003), Clothes Washing Machine For Household Use – Methods for Measuring The Performance, IEC, Switzerland.
- [2] Eren, H.A., Tekstil Terbiyesinde Yıkama ve Kurutma Teknolojisi, <http://aksel.home.uludag.edu.tr/dersler.htm>, 12.07.2005
- [3] Rushton, A., (1985), Mathematical Models and Design Methods in Solid-Liquid Separation, Third Edition, Martinus Nijhoff Publishers, Boston.
- [4] Woudberg, S., Van Vayningen, M. C., Le Coq, L., Legrang, J. ve Du Plessis, J. P., (2014), “Analytical Determination Of The Effect Of Compression On The Permeability Of Fibrous Porous Media, Chemical Engineering Science”, 112:108-115.
- [5] Darcy, H., (1856). “Appendice D - Filtrage: expériences concernant la loi de l'écoulement de l'eau à travers les sables, et des considérations générales relatives aux sources”.Les Fontaines publiques de la ville de Dijon. 559-603.
- [6] Wikipedia, Darcy Law, https://en.wikipedia.org/wiki/Darcy%27s_law, 17 Ağustos 2006.
- [7] Hwang, K. J. ve Chou, K. H., (2007), “Effect of Cake Compression on the Performance of Centrifugal Dewatering”, Drying Technology, 24:1263-1270
- [8] Bejan, A., Dincer, İ. ve Lorente, S., (1984), Porous and Complex Flow Structures in Modern Technologies, First Edition, Springer-Verlag, New York.
- [9] Lustenberger, C., (2004), Solid-Liquid Separation and Drying Under Static and Dynamic Pressure Conditions, Doktora Tezi, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- [10] Wakeman, R. J. ve Tarleton, T. S., Solid/Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration, First Edition, Elsevier Advanced Technology, Oxford.
- [11] Zhu, S., Pelton, R. H. ve Collver, K., “Mechanistic Modelling of Fluid Permeation Through Compressible Porous Media”, Chemical Engineering Science, 50:3557-3572.

- [12] Friedman, T. E., (1999), Flow of Non-Newtonian Fluids Through Compressible Porous Media in Centrifugal Filtration Processing, Doktora Tezi, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- [13] Buntain, M. J. ve Bickerton, S., (2003), "Compression Flow Permeability Measurement: A Continuous Technique", Composites:Applied Science and Manufacturing, 34:445-457.
- [14] Crawford, R., Jones, G. F., You, L. ve Wu, Q., "Compression Dependent Permeability Measurement For Random Porous Media and Its Implications to Lift Generation", Chemical Engineering Science, 66:294-302.

PRES YAĞ BASINCININ OLUŞTURDUĞU KUVVETLER

Deney No	Press_Basıncı(bar)	Pres Kuvveti (kgf)
1	20	1026
2	20	1026
3	20	1026
4	40	2052
5	40	2052
6	40	2052
7	60	3078
8	60	3078
9	60	3078
10	20	1026
11	20	1026
12	20	1026
13	40	2052
14	40	2052
15	40	2052
16	60	3078
17	60	3078
18	60	3078
19	20	1026
20	20	1026
21	20	1026
22	40	2052
23	40	2052
24	40	2052
25	60	3078
26	60	3078
27	60	3078

28	20	1026
29	20	1026
30	20	1026
31	40	2052
32	40	2052
33	40	2052
34	60	3078
35	60	3078
36	60	3078
37	0,01	0,513
38	0,01	0,513
39	0,01	0,513
40	0,01	0,513
41	0,01	0,513
42	0,01	0,513
43	0,01	0,513
44	0,01	0,513

PARAMETRELERDEN OLUŞTURULAN DENEY LİSTESİ

Deney No	Press Basıncı (bar)	Pres Kuvveti (kgf)	Hidrolik Basıncı (bar)	Katman	Su Sıcaklığı (°C)
1	20	1026	1	30	30
2	20	1026	2	30	30
3	20	1026	4	30	30
4	40	2052	1	30	30
5	40	2052	2	30	30
6	40	2052	4	30	30
7	60	3078	1	30	30
8	60	3078	2	30	30
9	60	3078	4	30	30
10	20	1026	1	60	30
11	20	1026	2	60	30
12	20	1026	4	60	30
13	40	2052	1	60	30
14	40	2052	2	60	30
15	40	2052	4	60	30
16	60	3078	1	60	30
17	60	3078	2	60	30
18	60	3078	4	60	30
19	20	1026	1	30	50
20	20	1026	2	30	50
21	20	1026	4	30	50
22	40	2052	1	30	50
23	40	2052	2	30	50
24	40	2052	4	30	50
25	60	3078	1	30	50

26	60	3078	2	30	50
27	60	3078	4	30	50
28	20	1026	1	60	50
29	20	1026	2	60	50
30	20	1026	4	60	50
31	40	2052	1	60	50
32	40	2052	2	60	50
33	40	2052	4	60	50
34	60	3078	1	60	50
35	60	3078	2	60	50
36	60	3078	4	60	50
37	0,01	0,513	1	30	30
38	0,01	0,513	4	30	30
39	0,01	0,513	1	60	30
40	0,01	0,513	4	60	30
41	0,01	0,513	1	30	50
42	0,01	0,513	4	30	50
43	0,01	0,513	1	60	50
44	0,01	0,513	4	60	50

DENEY SONUÇLARI

Deney No	Takometre(lt/dk)	İlk Kalınlık(mm)	Son Kalınlık(mm)
1	10,9	19	9
2	18,45	19	9
3	29,8	19	9
4	8,57	19	8
5	13,65	19	8
6	24,3	19	8
7	5,8	19	7
8	10,7	19	7
9	19,5	19	7
10	7,85	32	17,5
11	14,15	32	17,5
12	28,6	32	17,5
13	6,5	32	16,5
14	11,95	32	16,5
15	21,6	32	16,5
16	3,45	32	15
17	7,4	32	15
18	14,5	32	15
19	12,7	18	8
20	20,3	18	8
21	32,1	18	8
22	9,95	18	7
23	16,5	18	7
24	27,1	18	7
25	6,55	18	7

26	11,9	18	7
27	20,2	18	7
28	11,25	35	18
29	18,6	35	18
30	29,75	35	18
31	7,3	35	17
32	13,9	35	17
33	23,55	35	17
34	5,65	35	16,5
35	10,2	35	16,5
36	17,9	35	16,5
37	17,05	19	19
38	38,9	19	19
39	14,7	35	35
40	35,3	35	35
41	18,4	19	19
42	40,6	19	19
43	16,75	35	35
44	37,9	35	35

HESAPLANAN BOYUTSUZ GEÇİRGENLİKLER

Deney No	Boyutsuzlaştırılmış Darcy Geçirgenliği	Boyutsuzlaştırılmış Rumph&Gupte geçirgenliği	Boyutsuzlaştırılmış Kozeny-Carman geçirgenliği
1	1.000	74.5	82.0
2	0.846	74.5	82.0
3	0.683	74.5	82.0
4	0.699	39.0	51.7
5	0.557	39.0	51.7
6	0.495	39.0	51.7
7	0.414	18.7	31.3
8	0.382	18.7	31.3
9	0.348	18.7	31.3
10	1.400	164.3	148.0
11	1.262	164.3	148.0
12	1.275	164.3	148.0
13	1.093	118.9	115.7
14	1.005	118.9	115.7
15	0.908	118.9	115.7
16	0.528	70.4	78.6
17	0.566	70.4	78.6
18	0.554	70.4	78.6
19	0.710	52.5	63.8
20	0.567	52.5	63.8
21	0.449	52.5	63.8

22	0.487	25.2	38.3
23	0.404	25.2	38.3
24	0.331	25.2	38.3
25	0.320	25.2	38.3
26	0.291	25.2	38.3
27	0.247	25.2	38.3
28	1.415	117.2	114.4
29	1.170	117.2	114.4
30	0.935	117.2	114.4
31	0.867	85.6	90.7
32	0.826	85.6	90.7
33	0.699	85.6	90.7
34	0.651	72.6	80.4
35	0.588	72.6	80.4
36	0.516	72.6	80.4
37	3.302	4541.4	3829.3
38	1.884	4541.4	3829.3
39	5.245	4541.4	3829.3
40	3.149	4541.4	3829.3
41	2.443	4541.4	3829.3
42	1.348	4541.4	3829.3
43	4.096	4541.4	3829.3
44	2.317	4541.4	3829.3
Deney No	Boyutsuzlaştırılmış Hücre-Model Geçirgenliği	Boyutsuzlaştırılmış Blake-Kozeny Geçirgenliği	
1	46.4	98.4	
2	46.4	98.4	
3	46.4	98.4	
4	25.4	62.1	
5	25.4	62.1	
6	25.4	62.1	

7	11.2	37.6
8	11.2	37.6
9	11.2	37.6
10	90.6	177.6
11	90.6	177.6
12	90.6	177.6
13	69.3	138.8
14	69.3	138.8
15	69.3	138.8
16	44.1	94.4
17	44.1	94.4
18	44.1	94.4
19	33.8	76.5
20	33.8	76.5
21	33.8	76.5
22	16.0	45.9
23	16.0	45.9
24	16.0	45.9
25	16.0	45.9
26	16.0	45.9
27	16.0	45.9
28	68.4	137.3
29	68.4	137.3
30	68.4	137.3
31	52.3	108.8
32	52.3	108.8
33	52.3	108.8
34	45.3	96.5
35	45.3	96.5
36	45.3	96.5

37	1426.1	4595.1
38	1426.1	4595.1
39	1426.1	4595.1
40	1426.1	4595.1
41	1426.1	4595.1
42	1426.1	4595.1
43	1426.1	4595.1
44	1426.1	4595.1
Deney No	Davies-Ingmanson Kozeny Faktörü	Boyutsuzlaştırılmış Davies-Ingmanson Geçirgenliği
1	2,81	111.7
2	2,81	111.7
3	2,81	111.7
4	2,24	91.7
5	2,24	91.7
6	2,24	91.7
7	1,69	75.9
8	1,69	75.9
9	1,69	75.9
10	3,60	149.5
11	3,60	149.5
12	3,60	149.5
13	3,27	131.7
14	3,27	131.7
15	3,27	131.7
16	2,76	109.6
17	2,76	109.6
18	2,76	109.6
19	2,49	100.0
20	2,49	100.0
21	2,49	100.0

22	1,90	81.6
23	1,90	81.6
24	1,90	81.6
25	1,90	81.6
26	1,90	81.6
27	1,90	81.6
28	3,25	131.0
29	3,25	131.0
30	3,25	131.0
31	2,94	117.0
32	2,94	117.0
33	2,94	117.0
34	2,79	110.7
35	2,79	110.7
36	2,79	110.7
37	5,56	1554.2
38	5,56	1554.2
39	5,56	1554.2
40	5,56	1554.2
41	342,34	1554.2
42	342,34	1554.2
43	342,34	1554.2
44	342,34	1554.2
Deney No	Boyutsuzlaştırılmış Happel Paralel Silindir Modeli Geçirgenliği	Boyutsuzlaştırılmış Happel Dikey Silindir Modeli Geçirgenliği
1	275.4	173.0
2	275.4	173.0
3	275.4	173.0
4	176.5	108.4
5	176.5	108.4

6	176.5	108.4
7	108.4	65.0
8	108.4	65.0
9	108.4	65.0
10	485.3	313.8
11	485.3	313.8
12	485.3	313.8
13	383.4	245.0
14	383.4	245.0
15	383.4	245.0
16	264.6	165.9
17	264.6	165.9
18	264.6	165.9
19	216.1	134.1
20	216.1	134.1
21	216.1	134.1
22	131.8	79.8
23	131.8	79.8
24	131.8	79.8
25	131.8	79.8
26	131.8	79.8
27	131.8	79.8
28	379.5	242.4
29	379.5	242.4
30	379.5	242.4
31	303.4	191.6
32	303.4	191.6
33	303.4	191.6
34	270.4	169.7
35	270.4	169.7

36	270.4	169.7
37	9757.7	6953.8
38	9757.7	6953.8
39	9757.7	6953.8
40	9757.7	6953.8
41	9757.7	6953.8
42	9757.7	6953.8
43	9757.7	6953.8
44	9757.7	6953.8

HAD ANALİZLERİNDE KULLANILAN SINIR ŞARTLARI

Analiz Numarası	Viskoz Direnci	Atalet Direnci (1/m)
1	4,2208E+12	310018,0
2	4,98717E+12	310018,0
3	6,17539E+12	310018,0
4	6,03938E+12	465742,2
5	7,58352E+12	465742,2
6	8,51976E+12	465742,2
7	1,01985E+13	731536,1
8	1,10563E+13	731536,1
9	1,21336E+13	731536,1
10	3,01409E+12	186018,7
11	3,34425E+12	186018,7
12	3,30917E+12	186018,7
13	3,8607E+12	229797,3
14	4,19993E+12	229797,3
15	4,64714E+12	229797,3
16	8,00116E+12	321564,6
17	7,46054E+12	321564,6
18	7,6149E+12	321564,6

19	5,94546E+12	386812,3
20	7,43914E+12	386812,3
21	9,40901E+12	386812,3
22	8,67277E+12	609994,3
23	1,04599E+13	609994,3
24	1,27371E+13	609994,3
25	1,31747E+13	609994,3
26	1,45032E+13	609994,3
27	1,70879E+13	609994,3
28	2,983E+12	231937,1
29	3,60847E+12	231937,1
30	4,51211E+12	231937,1
31	4,86751E+12	283925,8
32	5,11264E+12	283925,8
33	6,0353E+12	283925,8
34	6,47958E+12	315232,3
35	7,17835E+12	315232,3
36	8,18092E+12	315232,3
37	1,27816E+12	14788,5
38	2,24089E+12	14788,5
39	8,04782E+11	14788,5
40	1,34054E+12	14788,5
41	1,72786E+12	14788,5
42	3,13227E+12	14788,5
43	1,03038E+12	14788,5
44	1,82151E+12	14788,5
Deney No	Hidrolik_Basınç(Pa)	Tek Delikteki Suyun Debisi (g/s)
1	100000,0	1,343
2	200000,0	2,273
3	400000,0	3,672

4	100000,0	1,056
5	200000,0	1,682
6	400000,0	2,994
7	100000,0	0,715
8	200000,0	1,318
9	400000,0	2,403
10	100000,0	0,967
11	200000,0	1,743
12	400000,0	3,524
13	100000,0	0,801
14	200000,0	1,472
15	400000,0	2,661
16	100000,0	0,425
17	200000,0	0,912
18	400000,0	1,787
19	100000,0	1,565
20	200000,0	2,501
21	400000,0	3,955
22	100000,0	1,226
23	200000,0	2,033
24	400000,0	3,339
25	100000,0	0,807
26	200000,0	1,466
27	400000,0	2,489
28	100000,0	1,386
29	200000,0	2,292
30	400000,0	3,665
31	100000,0	0,899
32	200000,0	1,713
33	400000,0	2,902

34	100000,0	0,696
35	200000,0	1,257
36	400000,0	2,205
37	100000,0	2,101
38	400000,0	4,793
39	100000,0	1,811
40	400000,0	4,349
41	100000,0	2,267
42	400000,0	5,002
43	100000,0	2,064
44	400000,0	4,670

HAD ANALİZLERİNDE KULLANILAN UDF KODLARI

800 d/d için;

```
#include "udf.h"

DEFINE_CG_MOTION(RS,dt,vel,omega,time,dttime)
{
    NV_S(vel, =, 0.0);
    NV_S(omega, =, 0.0);

    omega[2]=83.775;
}
```

1200 d/d için;

```
#include "udf.h"

DEFINE_CG_MOTION(RS,dt,vel,omega,time,dttime)
{
    NV_S(vel, =, 0.0);
    NV_S(omega, =, 0.0);

    omega[2]=125.66;
}
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : M.M.Kemal TOZYILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 18/04/1989 - Seyhan
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mtozyilmaz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise		Antalya Adem Tolunay Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	HSK Systemair	Stajyer
2010	Altek Döküm	Stajyer