

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNELERİNDE KULLANILAN FİLTRELERİN
YAPI VE MALZEMELERİNİN BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi GÜNEŞ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNELERİNDE KULLANILAN FİLTRELERİN
YAPI VE MALZEMELERİNİN BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN
MODELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ezgi GÜNEŞ
503111110**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111110 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi, **Ezgi GÜNEŞ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNELERİNDE KULLANILAN FİLTRELERİN YAPI VE MALZEMELERİNİN BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN MODELLENMESİ**”başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU**.....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Ş.Özgür ATAYILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **7 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, çamaşır kurutma makinelerinde kullanılan filtrelerin sistem içerisinde neden oldukları basınç düşümünü belirleyebilmek için, makine dışındaki bir deney düzeneğinde ölçüm yapılmasına olanak sağlanmış, filtreler arasındaki malzeme ve geometrik farklar göz önüne alınarak iki sistem arasında makinedeki basınç düşümünü veren bağıntılar kurulmuştur.

Yüksek lisans çalışmalarımı yürüten, değerli fikirleri ile çalışmalarına her noktasına yön veren, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve özellikle tez aşamasında beni her zaman daha iyi ve daha doğruya yönlendiren kıymetli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU'na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleşmesi için bana imkan ve olanak sağlayan, çalışmalarımı destekleyen Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Cem KURAL, Sn. Mak. Yük. Müh. Yalçın GÜLDALI ve Temizleme Teknolojileri Arge Ailesi Takım Lideri Sn Kimya Yük. Müh. Zehra ÜLGER'e teşekkür ederim.

Arçelik A.Ş.'de bulunduğum süre içerisinde, çalışma hayatımın ve tez çalışmalarımın her noktasında bana her zaman fazlasıyla yardımcı olan ve beni yönlendiren, bilgi ve tecrübesini büyük bir anlayışla benimle paylaşan ve bilgi birikiminin artmasını sağlayan, samimiyetiyle bir danışmandan çok benim için bir ağabeyden farksız olan Sn. Mak. Yük. Müh. Onur HARTOKA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Birlikte yürüttüğümüz işler dahilinde her zaman bana destek olan, çalışma hayatımı bilgi ve birikimleriyle kolaylaştıran ve bu doğrultuda ufkumu genişleten Sn Mak. Yük. Müh. Yavuz ŞAHİN, Sn Mak. Yük. Müh. Celal VATANSEVER, Tekstil Yük. Müh. Başak ARSLAN İLKİZ, Mak. Yük. Müh. Emre AYAROĞLU, Mak. Yük. Müh. Mehmet MUTLUDOĞAN, Sn Mak. Yük. Müh. Vasi Kadir ERTİŞ ve Mak. Müh Batu ÇOLAK'a teşekkürlerimi sunmaktan mutluluk duyarım.

Deneysel çalışmalar sırasında ve deney düzeneklerinin kurulması noktasında bana yardımcı olan, teknik sorunların çözümünde farklı bakış açıları geliştirmemi sağlayan, öneri, eleştiri ve sabırlarıyla bana daha doğru ve dikkatli çalışmayı öğreten, Sn. Mehmet KAYA, Sn. Nihat KANDEMİR, Sn. Şaban AVCI, Sn. Murat ELGÜN, Sn Ümit PEHLİVAN, Sn. Erkan BAŞTAN ve Sn. İlyas AYDIN başta olmak üzere tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Temizleme Teknolojileri Ailesi ve Akışkanlar Dinamiği Teknoloji Ailesi teknisyenlerine teşekkürlerimi sunarım.

Arçelik A.Ş. dahilinde sürdürdüğüm çalışma hayatı ve yüksek lisans eğitimi döneminde birikim ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, tüm samimiyetleriyle beni yönlendiren Sn Mak. Yük. Müh. Fatih KASAP, Sn Mak. Yük. Müh. Gökhan SIR, Sn Mak. Yük. Müh. Onur POYRAZ, Sn Kimya Yük. Müh. Burcu YAKARTAS, Sn Tekstil Müh. Merve GÜRSES, Sn Mak. Yük. Müh. Demet BÜYÜKKOYUNCU ve Mak. Müh Güven ERAKTAŞ'a teşekkür ederim.

Gerek yüksek lisans çalışmalarımızı, gerek çalışma hayatımızı birlikte sürdürdüğümüz, bu süreçlerde yaşadığımız sıkıntılı zamanları birlikte aştığımız, desteklerini her zaman yakından hissettiğim, düşüncelerine daima önem verdiğim, çok kıymetli

arkadaşlarım Işıl USLU, Mehmet Onur DİNÇER, Pervin SAYGIN, Bükra KALAYCI, Buse GERÇEK, Merve AYDIN, Betül BULUT, Onur TEMEL, Hüsnü Anıl DÖRTOK başta olmak üzere tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Temizleme Teknolojileri Ailesi, Termodinamik Teknoloji Ailesi ve Akışkanlar Dinamiği Teknoloji Ailesi yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarıma, birlikte geçirdiğimiz ve geçirmeye devam edeceğimizden şüphe duymadığım keyifli zamanlar ile bana göstermiş oldukları samimiyet için tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Arçelik A.Ş.'nin bana kazandırdığı değerli insanlardan biri olan Sn. Tekstil Müh. Hanife Eda BUDAK'a, tez çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Serkan YİĞİT'e ve tanıştığımız ilk günden beri hayatımı renklendiren Sn. İlke CEYHAN'a, benden esirgemedikleri dostlukları, destekleri ve anlayışları için çok teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca beni her aşamada koşulsuz destekleyen, ellerinden gelen herşeyin en iyisi ve en güzelini daima bana veren, sevgileriyle beni koruyan, bu seviyeye gelmemde benden çok emek harcayan ve hayatımın her aşamasından benimle olmasını dilediğim annem Sn. Feray GÜNEŞ, babam Sn. Mehmet Sabri GÜNEŞ ve anneannem Sn. Fevziye ÖZKAN ile birlikte tüm aileme teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunuyorum.

Mayıs 2013

Ezgi GÜNEŞ
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY... ..	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çamaşır Kurutma Makinesi Çeşitleri Hakkında Genel Bilgiler.....	1
1.2 Filtreler Hakkında Genel Bilgiler	3
1.2.1 Filtre Çeşitleri	6
1.2.2 Dokuma Filtreler	9
1.2.3 Dokusuz Yüzeyli Filtreler	14
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
2.1 Tekstil Üzerindeki Akışın Modellenmesi İle İlgili Literatür Araştırması.....	19
2.2 Monofilament Tekstiller Üzerindeki Akışın Modellenmesi	23
3. MATEMATİK MODEL VE DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI	31
3.1 Matematik Model	31
3.2 Deney Düzenliğinin Tanıtılması.....	35
3.3 Deney Düzenliğine Ait Ölçüm Sistemleri ve Belirsizlik Analizi	39
3.4 Deney Numuneleri	44
4. DENEY DÜZENİĞİ VE MAKİNEDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	47
4.1 Deney Düzenliğinden Elde Edilen Sonuçlar	47
4.2 Çamaşır Kurutma Makinesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	54
4.3 Deney Düzenliği ile Makineden Elde Edilen Sonuçların İlişkilendirilmesi.....	64
5. SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	115

KISALTMALAR

ANSI : American National Standards Institute
AMCA : Air Movement and Control Association

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Malzeme boyutuna göre tutulabilen en küçük partikül boyutu[2].	7
Çizelge 1.2 : Malzemeye göre filtrelerde görülen en büyük açık alan oranı [2].	9
Çizelge 1.3 : İplik türlerinin filtre performansına etkisi [2].	10
Çizelge 1.4 : Malzemeye göre filtrelerin kimyasal maddelere dayanımı [2].	11
Çizelge 1.5 : Malzemeye göre filtrelerin en yüksek çalışma sıcaklıkları [2].	11
Çizelge 1.6 : Dokuma türlerinin filtre performansına etkisi [2].	13
Çizelge 1.7 : Dokusuz yüzeyli tekstil üretiminde kullanılan malzemeler[2].	15
Çizelge 1.8 : Çeşitli proseslerde kullanılan dokusuz yüzeyli filtrelerin üretim.....	17
Çizelge 1.9 : Toz filtreleri için kullanılan tekstil türlerine ait hava.....	17
Çizelge 3.1 : Sensörlerin sistem içindeki görevi ve hata oranları.....	42
Çizelge 3.2 : Belirsizlik analizinde kullanılan değerler.	44
Çizelge 3.3 : Deneylerde kullanılan numunelere ait özellikler.....	45
Çizelge 4.1 : Gooijer ve Rushton modellerine göre hesaplanan açık alan ve.....	47
ıslak çevre değerleri.	47
Çizelge 4.2 : Gooijer ve Rushton modellerinden elde edilen denklemler.	53
Çizelge 4.3 : Gooijer ve Rushton modelleri kullanılarak makine üzerinde her	63
Çizelge 4.4 : 75 mikrondan küçük gözenekli filtreler için kurulan korelasyona.....	67
ait örnek hata değerleri tablosu	67
Çizelge 4.5 : 75 mikrondan büyük gözenekli polyester filtreler için kurulan	67
korelasyona ait örnek hata değerleri tablosu.	67
Çizelge 4.6 : 75 mikrondan büyük gözenekli metal filtreler için kurulan	67
korelasyona ait örnek hata değerleri tablosu.	67
Çizelge 4.7 : Doğrulama için kullanılacak filtrelere ait özellikler.....	69
Çizelge 4.8 : Doğrulama için kullanılan filtreler için örnek sonuçlar.	69
Çizelge 4.9 : Ölçülen basınç değerine göre izin verilen fark değerleri.	70
Çizelge A.1 : Gooijer modeline göre deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar için	
hata tablosu.....	81
Çizelge A.2 : Rushton modeline göre deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar için	
hata tablosu.....	83
Çizelge A.3 : Gooijer modeline göre makineden elde edilen sonuçlar için hata	
tablosu	85
Çizelge A.4 : Rushton modeline göre makineden elde edilen sonuçlar için hata	
tablosu	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kondenserli çamaşır kurutma makinesine ait şematik gösterim	2
Şekil 1.2 : Isı pompalı Çamaşır Kurutma Makinesine Ait Şematik Gösterim	2
Şekil 1.3 : Bacalı çamaşır kurutma makinesine ait şematik gösterim.	3
Şekil 1.4 : Durdurma mekanizmasına ait şematik gösterim.	4
Şekil 1.5 : Atalet mekanizmasına ait şematik gösterim.	4
Şekil 1.6 : Difüzyon mekanizmasına ait şematik gösterim.	5
Şekil 1.7 : Kek filtrasyon mekanizmasına ait şematik gösterim.	5
Şekil 1.8 : Standart filament türleri	10
Şekil 1.9 : Temel dokuma çeşitleri	12
Şekil 1.10 : (a) Monofilament dimi dokuma (b) Monofilament bez ayağı dokuma..	13
Şekil 1.11 : Dokusuz yüzeyli tekstillerde bulunan liflere ait kesitler	16
Şekil 2.1 : Dokuma türlerine göre dört temel gözenek şekline ait şematik	22
gösterimler.	22
Şekil 2.2 : Gözeneklerin kesit alanlarının büküm sayısı ve şekline bağlı olarak	23
Şekil 2.3 : Sınır şartlarına ait şematik gösterim.	27
Şekil 2.4 : Gooijer modeline göre dört temel gözenek tipine için projeksiyon alanı.	30
Şekil 3.1 : Mikrodalga İki iplik arasında oluşan en dar kesit	32
Şekil 3.2 : Bez ayağı dokuma tipine ait tek bir gözenğin Gooijer modelinde	33
Şekil 3.3 : Deney düzeneğine ait şematik resim.	36
Şekil 3.4 : Filtrelerin düzeneğe yerleştirilebilmesi için tasarlanan kaset.	37
Şekil 3.5 : Deney düzeneği için Catia programı ile oluşturulmuş katı model.	38
Şekil 3.6 : Deney düzeneği.	39
Şekil 3.7 : Deney düzeneğinin debi ölçümünde kullanılan sensör ve annubar.	39
Şekil 3.8 : Deney düzeneğinin debi ölçümü için kalibrasyonu.	40
Şekil 3.9 : Debi ölçümünde kullanılan sensöre ait kalibrasyon eğrisi.	41
Şekil 3.10 : Basınç problemlerinin deney düzeneği üzerindeki yerleşimi.	42
Şekil 4.1 : Filtrelerin deney düzeneği üzerine yerleştirilmesi.	47
Şekil 4.2 : Gooijer'in modeline göre tüm numuneler için sonuçlar.	48
Şekil 4.3 : Gooijer'in modeline göre polyester numuneler için sonuçlar.	49
Şekil 4.4 : Gooijer'in modeline göre gözenek aralığı 100 mikrondan küçük.	49
numuneler için sonuçlar.	49
Şekil 4.5 : Gooijer'in modeline göre gözenek aralığı 75 mikrondan küçük.	50
numuneler için sonuçlar.	50
Şekil 4.6 : Rushton modeline göre tüm numuneler için sonuçlar.	50
Şekil 4.7 : Rushton modeline göre polyester numuneler için sonuçlar.	51
Şekil 4.8 : Rushton modeline göre gözenek aralığı 100 mikrondan küçük.	52
numuneler için sonuçlar.	52
Şekil 4.9 : Rushton modeline göre gözenek aralığı 75 mikrondan küçük.	52
numuneler için sonuçlar.	52
Şekil 4.10 : ANSI/AMCA 210-07 standardına göre kurulmuş rüzgar tüneline ait ...	55
Şekil 4.11 : Çamaşır kurutma makinesinin rüzgar tüneline bağlanması.	55
Şekil 4.12 : Makineye yerleştirilen örnek filtre.	56

Şekil 4.13 : Gooijer modeline göre makine üzerinden tüm numuneler için alınan sonuçlar.....	57
Şekil 4.14 : Gooijer modeline göre makine üzerinden polyester numuneler için alınan sonuçlar	57
Şekil 4.15 : Gooijer modeline göre makine üzerinden 100 mikrondan küçük gözenek aralığına sahip numuneler için alınan sonuçlar.	58
Şekil 4.16 : Gooijer modeline göre makine üzerinden 75 mikrondan küçük gözenek aralığına sahip numuneler için alınan sonuçlar.	59
Şekil 4.17 : Rushton modeline göre makine üzerinden tüm numuneler için alınan sonuçlar.....	60
Şekil 4.18 : Rushton modeline göre makine üzerinden polyester numuneler için alınan sonuçlar	60
Şekil 4.19 : Rushton modeline göre makine üzerinden gözenek aralığı 100 mikrondan küçük numuneler için alınan sonuçlar.....	61
Şekil 4.20 : Rushton modeline göre makine üzerinden gözenek aralığı 75 mikrondan küçük numuneler için alınan sonuçlar	62
Şekil 5.1 : Oluşturulması muhtemel yazılım içi örnek akış şeması.	76
Şekil B.1 : 38/31 numaralı filtre ve $Re=5-7$ için kıyaslama grafiği.....	91
Şekil B.2 : 38/31 numaralı filtre ve $Re=10-12$ için kıyaslama grafiği.....	91
Şekil B.3 : 47/31 numaralı filtre ve $Re=5-7$ için kıyaslama grafiği.....	92
Şekil B.4 : 47/31 numaralı filtre ve $Re=10-12$ için kıyaslama grafiği.....	92
Şekil B.5 : 47/31 numaralı filtre ve $Re=15-17$ için kıyaslama grafiği.....	93
Şekil B.6 : 53/40 numaralı filtre ve $Re=5-7$ için kıyaslama grafiği.....	93
Şekil B.7 : 53/40 numaralı filtre ve $Re=10-12$ için kıyaslama grafiği.....	94
Şekil B.8 : 55/31 numaralı filtre ve $Re=5-7$ için kıyaslama grafiği.....	94
Şekil B.9 : 55/31 numaralı filtre ve $Re=10-12$ için kıyaslama grafiği.....	95
Şekil B.10 : 55/31 numaralı filtre ve $Re=15-17$ için kıyaslama grafiği.....	95
Şekil B.11 : 73/33 numaralı filtre ve $Re=5-7$ için kıyaslama grafiği.....	96
Şekil B.12 : 73/33 numaralı filtre ve $Re=10-12$ için kıyaslama grafiği.....	96
Şekil B.13 : 73/33 numaralı filtre ve $Re=15-17$ için kıyaslama grafiği.....	97
Şekil B.14 : 73/33 numaralı filtre ve $Re=20-22$ için kıyaslama grafiği.....	97
Şekil B.15 : 95/27 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği.....	98
Şekil B.16 : 95/27 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği.....	98
Şekil B.17 : 95/27 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği.....	99
Şekil B.18 : 95/27 numaralı filtre ve $Re= 20-22$ için kıyaslama grafiği.....	99
Şekil B.19 : 120/41 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği.....	100
Şekil B.20 : 120/41 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği.....	100
Şekil B.21 : 120/41 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği.....	101
Şekil B.22 : 120/41 numaralı filtre ve $Re= 20-22$ için kıyaslama grafiği.....	101
Şekil B.23 : 190/38 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği.....	102
Şekil B.24 : 190/38 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği.....	102
Şekil B.25 : 190/38 numaralı filtre ve $Re= 15$ için kıyaslama grafiği	103
Şekil B.26 : 190/38 numaralı filtre ve $Re= 18-20$ için kıyaslama grafiği.....	103
Şekil B.27 : 43/30 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği.....	104
Şekil B.28 : 43/30 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği.....	104
Şekil B.29 : 74/34 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği.....	105
Şekil B.30 : 74/34 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği.....	105
Şekil B.31 : 74/34 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği.....	106
Şekil B.32 : 74/34 numaralı filtre ve $Re= 20-22$ için kıyaslama grafiği.....	106
Şekil B.33 : 187/35 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği.....	107

Şekil B.34 : 187/35 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği	107
Şekil B.35 : 187/35 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği	108
Şekil B.36 : 187/35 numaralı filtre ve $Re= 18-20$ için kıyaslama grafiği	108
Şekil B.37 : 53/35 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği	109
Şekil B.38 : 53/35 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği	109
Şekil B.39 : 53/35 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği	110
Şekil B.40 : 125/35 numaralı filtre ve $Re= 5-7$ için kıyaslama grafiği	110
Şekil B.41 : 125/35 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği	111
Şekil B.42 : 125/35 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği	111
Şekil B.43 : 125/35 numaralı filtre ve $Re= 20-22$ için kıyaslama grafiği	112
Şekil B.44 : 250/37 numaralı filtre ve $Re= 10-12$ için kıyaslama grafiği	112
Şekil B.45 : 250/37 numaralı filtre ve $Re= 15-17$ için kıyaslama grafiği	113
Şekil B.46 : 250/37 numaralı filtre ve $Re=20-22$ için kıyaslama grafiği	113
Şekil B.47 : 250/37 numaralı filtre ve $Re=25$ için kıyaslama grafiği.....	114

SEMBOL LİSTESİ

A	: Akışın en çok daraldığı bir gözeneğe ait efektif akış alanı
A,B	: Kat sayılar
A_E	: Alan katsayısı
A_m	: Malzemeye bağlı bir katsayı
a,b	: Elipse ait kenar uzunlukları
C_D	: Basınç kayıp katsayısı
C_{DM}	: Makinede gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen basınç kayıp katsayısı
C_{DD}	: Deney düzeneğinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen basınç kayıp katsayısı
D	: Efektif gözenek aralığı
D_k	: Kanal çapı
d	: İplik çapı
d_p	: Gözenek çapı
d₁	: Çözümlü ipliği çapı
d₂	: Atkı ipliği çapı
d_k	: Çözümlü ipliği çapı
d_i	: Atkı ipliği çapı
f	: Sürtünme faktörü
g	: Yer çekimi ivmesi
h_k	: Sürekli yük kaybı
h_y	: Yersel yük kaybı
Δh_{top}	: Kanalda gerçekleşen toplam kayıp
K_K	: Keskin daralmalar için kayıp katsayısı
k	: Geçirgenlik
k₀	: Kozény sabiti
L	: Gözenekli yüzey kalınlığı
l_f	: İki atkı ipliği arasındaki uzaklık
l_w	: İki çözgü ipliği arasındaki uzaklık
l₁	: Gooijer modeline göre iki atkı ipliği arasındaki uzaklık
l₂	: Gooijer modeline göre iki çözgü ipliği arasındaki uzaklık
n	: Kulichenko modeline göre akışa ait bir parametre
n_k	: Bir metredeki atkı ipliği sayısı
n_i	: Bir metredeki çözgü ipliği sayısı
Q	: Debi
Q_M	: Makine üzerindeki hava debisi
Q_{DD}	: Deney düzeneğindeki hava debisi
Re	: Reynolds sayısı
Re_{Makine}	: Makine üzerinde kullanılan Reynolds sayısı
Re_{Düzenek}	: Deney düzeneğinde kullanılan Reynolds sayısı
R	: Sistemde ölçülmesi gereken büyüklük
U_∞	: Serbest akış hızı

V	: Voltaj
v	: Bir gözenek içerisindeki akış hızı (v'/α)
v'	: Filtre yüzeyine gelen akışa ait hız
v_M	: Makine üzerinde kullanılan bir gözenek içerisindeki akış hızı
v_D	: Deney düzeneği üzerinde kullanılan bir gözenek içerisindeki akış hızı
W	: Islak çevre
W_e	: Elipse ait ıslak çevre
w_{CD}	: Basınç kayıp katsayısı büyüklüğünün toplam belirsizliği
w_R	: R büyüklüğünün toplam belirsizliği
w_{ΔP}	: Basınç büyüklüğünün toplam belirsizliği
w_v	: Hız büyüklüğüne ait belirsizlik
x_n	: R büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler
α	: Efektif açık alanın toplam filtre alanına oranı (yüzde açık alan)
ΔP	: Basınç farkı
ΔP_M	: Makine üzerinde oluşan basınç farkı
ΔP_D	: Deney düzeneği üzerinde oluşan basınç farkı
ε	: Gözeneklilik
ζ	: Rushton modeline göre ikinci derece eliptik integral
λ	: Kulichenko modeline göre basınç kayıp katsayısı
μ	: Akışkan vizkozitesi
ρ	: Akışkanın yoğunluğu
Ψ	: Rushton modeli için geometrik boyutsuz bir sayı ($(n_k [d_i + d_k])^{-1}$)

ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNELERİNDE KULLANILAN FİLTRELERİN YAPI VE MALZEMELERİNİN BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN MODELLENMESİ

ÖZET

Birçok sektörde etkin biçimde kullanılmakta olan kurutma işlemi, özellikle tekstillerin kurutulması noktasında gündelik yaşantımızda sık sık karşımıza çıkmaktadır. Modern şehir yaşantısı ile gelişen teknoloji, tekstillerin kurutulmasında geleneksel yöntemlerin yavaş yavaş terkedilmesine yol açmış ve bu noktada çamaşır kurutma makineleri lüks tüketim araçları olmaktan çıkıp birer ihtiyaç haline dönüşmüştür.

Çamaşır kurutma makineleri, tambur içerisine yerleştirilen tekstiller üzerine farklı prensiplerle ısıtılan havayı yönlendirerek, tekstillerin hızlı ve istenilen seviye kurumasını sağlamaktadır. Fakat bu işlem sırasında, tekstil üzerinde kullanımdan, çamaşır makinesindeki sıkma işleminden ve çamaşır kurutma makinesindeki mekanik ve ısı etkileri nedeniyle oluşan lif parçacıkları kopmaktadır. Lifler, makine içerisinde filtre kullanılmaması halinde, komponentler üzerinde birikimler yaratmaktadır. Makine performansını önemli ölçüde etkileyen bu birikimler zamanla makine üzerinde arızalara neden olmaktadır. Bu amaçla kullanılan filtreler, sistem içindeki en önemli parametrelerin başında gelen debi ve basınç ile yakından ilişkili olup, sistemde sorun yaratabilecek başka bir konu haline gelmektedir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında literatürde tekstillerin neden olduğu basınç düşümü için geliştirilmiş modellerden yararlanılarak, oluşturulan deney düzeneği ile çamaşır kurutma makinesi arasında, filtrenin makine içerisindeki basınç düşümünü veren bağıntılar elde edilmiştir. Bu şekilde daha önce literatürde tekstile ait basınç kaybını modelleyen teorik çalışmalar, endüstriyel bir uygulama içerisine entegre edilmiştir.

Tezin ilk bölümünde çamaşır kurutma makineleri ve filtreler hakkında detaylı bilgiler paylaşılmıştır. Bu bölümde filtreler, dokuma veya dokusuz yüzeyli olmalarına göre sınıflandırılmış ve dokuma türünün, iplik çeşidinin, malzemenin filtrasyon verimi ile ilişkisi anlatılmıştır. Gerçekleştirilecek olan ayırma işlemine uygun olmasına, sistemin çalışacağı sıcaklık ve kimyevi özelliğe göre filtre belirlenebilmesi için çeşitli parametreler sunulmuştur.

İkinci bölümde tekstil üzerindeki akışın incelenmesine dair yapılmış olan çalışmalar hakkında genel bilgi verilip, monofilament dokuma tekstiller özelinde gerçekleştirilen literatür araştırması sunulmuştur. Burada tekstilin dokuma ve iplik türü göz önüne alınarak kurulan pek çok model ve bu modellere ait kabuller incelenmiştir. Kurulan modellerin birbirleri ile ilişkileri açıklanmış ve baskın parametreler hakkında bilgi aktarılmıştır. Buna ek olarak bu bölümde açıklanmış olan modellerden, deneysel çalışmalar kısmında kullanılacak olanlar seçilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde yapılan deneysel çalışmalarda kullanılacak olan modeller detaylı biçimde anlatılmış ve modele ilişkin eşitlikler sunulmuştur. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda monofilament iplik türüne sahip bez ayağı dokuma filtreler

kullanılması sebebiyle, seçilen modellerde bu tip dokumalar için verilen eşitlikler dikakte alınmış olup, saten ve dimi gibi diğer dokuma tiplerine ait uygulamalar üzerinde durulmamıştır. Buna ek olarak bu bölümde deneylerde kullanılacak numunelere ait geoemtrik özellikler ile malzeme bilgisi paylaşılmıştır. Katalog verilerine göre gözenek boyutu temel parametre olmak şartıyla çok geniş aralıkta numuneler seçilmiştir. Bu numunelerin malzemeleri de paslanmaz çelik ve polyester olarak tercih edilmiştir. Deney düzeneğinin tasarımıyla ilgili çalışmalar da yine bu bölümde aktarılmıştır. Deney düzeneğinde ölçüm amacıyla kullanılan sensörler, deney düzeneğinin tasarımına ilişkin hesaplamalar ve ölçüm sistemine ait belirsizlik analizi paylaşılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların tamamı üçüncü bölüm içerisinde açıklanmıştır. kurulan deney düzeneğinde gerçekleştirilen ölçümler Rushton ve Gooijer isimli araştırmacılara ait modellerden faydalanılarak değerlendirilmiş olup, elde edilen sonuçlar çeşitli geometrik kısıtlar doğrultusunda incelenmiştir. Benzer biçimde çamaşır kurutma makinesi üzerinden alınan ölçümler de aynı modeller aracılığıyla benzer geometrik kısıtlar eşliğinde incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında belirlenen kısıtlar geometri ve malzemeye göre seçilmiş olup, modellerden dolayı dikkat edilmesi gereken nokta; bir gözenek için Reynolds sayısının 25'ten küçük olmasının gerekliliğidir. Yapılan tüm testlerde bu parametrenin takip edilmesi, modellerin doğru uygulanabilmesi açısından önem arz etmektedir. Deney düzeneği ve makine üzerinden alınan ölçümler doğrultusunda Reynolds sayısına bağlı, basınç kayıp katsayısını veren eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerden elde edilen sonuçlar ölçülen değerlerden eldilen sonuçlar ile kıyaslanmış ve hesaplanan her bir değer için hata tabloları oluşturulmuştur. Deneysel çalışmaların sonucunda, çamaşır kurutma makinesinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen denklemler ile deney düzeneğinde oluşturulan eşitlikler arasında bir ilişki kurularak, makinede filtrelerin sebep olduğu basınç kaybının deney düzeneğinde belirlenmesi için yeni bağıntılar önerilmiştir. Bu bağıntıları sonrasında yapılan test sonuçları ile doğrulanmıştır.

Tezin son bölümünde elde edilen sonuçlar ile öneriler sunulmuştur. Basınç düşümünde etkin olan parametreler belirlenmiş ve kurulan denklemler doğrulanmıştır.

MODELLING OF PRESSURE DROP EFFECT OF FILTERS ON TUMBLE DRYERS DEPEND ON MATERIALS AND STRUCTURES

SUMMARY

Different kind of drying processes that are used widely in industrial application. In our daily routine, we need this kind of processes to dry textiles that we use. Because of modern city life and developing technology, conventional methods for drying textiles are given up and tumble dryers become a need for a lot of people instead of luxury consumption.

Tumble dryers are the household appliances which are used to dry textile at determined degree of dryness swiftly, by means of hot air that is heated by using different methods. During this process, because of usage, spinning cycles on washing machines and mechanic and thermal effects on tumble dryers, lints are separated from textiles and lints are accumulated on the components of machine. Therefore in tumble dryers, the generated lint is removed by the means of the filters of different fabrics and geometries, to prevent the damaging to the machine components. But these filters effects the basic parameters of machine like flow rate and pressure drop and because of these reason, another problems can occur in the machine like high energy consumption. Hence, in this thesis, the relations are gained to determine the pressure drop of filters on the machine by availing developed models for pressure drop of textiles in literature and a testing unit that measures pressure drop of filters. These relations are associated between machine and the testing unit. By the way, theoretic models for pressure drop in literature are integrated into a industrial application.

In the first chapter, informations about tumble dryers and filters are explained in detail. Accordingly filters are categorized as woven and nonwoven filters and relation between filtration performance and characteristics of filters like type of weaves, yarns and materials. In addition to this, the parameters like processes of separation and operating temperature depends on materials which should analyse to determine the most suitable filters are given in this section.

General information about flow through the textiles is given in the second part of this study. After general information, it is presented informations especially flow through monofilament woven filters. Models which are described depends on type of yarns and weaves in literature, assumptions in these studies and relations between these models are referred. According to literature survey in this thesis, theoretic models are chosen for using in the experiments.

In the third part of this study, the chosen models for experiments are given chapter and verse and the equations belonging to model are shown. Test specimens are preferred as monofilament plain filters, for this reason, equations for the other woven characteristics like sateen or twill are ignored. Furthermore, materials and geometric properties like mesh count or yarn diameter of test specimens are represented in this

section. A large number of monofilament and plain filters with varying pore diameters and rate of open area, are tested in experiments and there are stainless steel and polyester filters to determine effect of material. Testing apparatus for measuring of pressure drop through the filter is designed as a wind channel. It has three cassettes for positioning the filters, by the way pressure drop of maximum three filters can be measure at the same time. For measuring pressure drop and air flow rate, sensing elements and an annubar are used and uncertainty of measurements for these sensing elements are calculated.

All of the experimental studies are explained on the fourth chapter of thesis. Measurements on the testing unit are evaluated by means of Rushton and Gooijer models and using limiting geometric parameters increase the rate of accuracy for the results. The same test steps are repeated for the experiments on the tumble dryer and the results of machine are analysed with the same geometric limits. Another constraint is indicated in the models that Reynolds number for only one pore is smaller than 25. This constraint is a important role to gain true results from the models. According to measurements from testing unit and tumble dryer, equations for discharge coefficient are constituted depend on Reynolds number. Calculated values from these equations and measured values are compared and these results are shown on the error charts. By means of these equations, for determining the pressure drop of filters on the tumble dryer, new correlations are suggested depends on Reynolds number on the testing apparatus, air flow rates of machine and testing unit and filter areas. These correlations are validated by using the measurements.

Finally in the fifth section, summary of results and suggestions are obtained. The important parameter are determined and validation of chosen correlations are shown. It is necessary that results sum up;

- It is determined that the differences between definitions of geometric parameters like open area ratio, wetted perimeter and pore area have very important effects on pressure drop of textiles.
- The mesh size is an important parameter to decide which model we should use when the pressure drop is determined. According to test results, Gooijer Model is a good choice for filters having small mesh size. In contrast with, pressure drop of filters having bigger mesh size should be calculated by means of Rushton Model.
- In this thesis, effects of filters' materials are examined. Especially for Rushton Model, it is indicated that the discharge coefficient of metal filters are bigger than the polyester filters' discharge coefficient by means of calculations. The reason of this situation is metallic yarn diameter is different from the polyester yarn for the same mesh size and open area ratio according to manufacturer data.
- The results of experiments, which were performed on tumble dryers and testing unit, are shown that measurements are constituted the similar distributions for all filters. Therefore, the equations gaining from distributions are determined. These equations which have small error margins, were

chosen for combining the results of tumble dryer and testing unit. Thus three correlations are defined to calculate the pressure drop of filters on dryers without measurements on dryers.

- Suggested correlations are validated by using test samples and three new filters. All of results are examined according to uncertainty analyses and it is determined that the correlations are working correctly.

For future studies, some suggestions are given below.

- In this thesis, only one type of yarn and weave are tested in experiments. Because of this reason, effects of different yarn and weave types should be examined.
- Both of filters' cassettes in tumble dryer and testing unit are flat. By the way, differences in air flow between dryer and testing unit are decreased. Therefore cassettes having several shapes like pleated could be tested in dryer.
- A_E is a coefficient that was defined in this study for determining the ratio between filter areas in dryer and testing unit. Value of A_E is bigger than one in this thesis, thus experiments should be repeated for values of A_E which is smaller than one.
- Theoretical models in literature are used for a industrial application, therefore the same procedures should be implemented for different applications.
- Another limit, which is similar to mesh size's limit or a ratio between open area and mesh size, can be determined for new correlations.
- Correlations, which have been gained in thesis, can be validated with CFD applications.
- In this study equations which show alterations depend on materials and mesh size, are defined. If the some parameters that belong to testing unit and fluid flow like Reynolds Number, flow rate and filter area, pressure drop of filter in tumble dryers can be calculated. An algorithm or an application should be constituted to simplify the calculations.

1. GİRİŞ

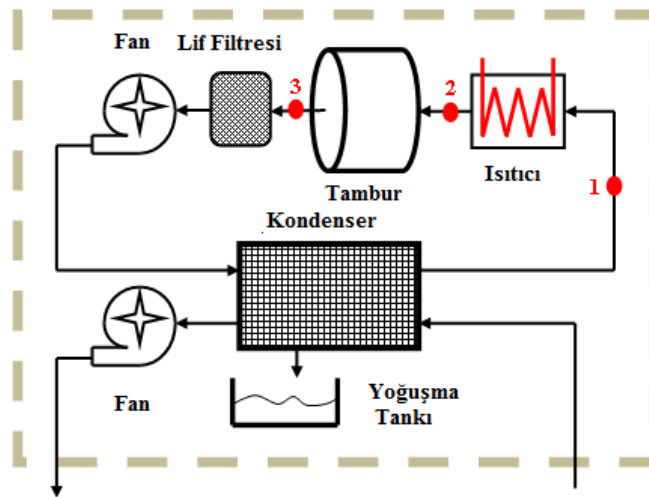
Kurutma, kelime anlamıyla katıların üzerinde barındırdıkları su veya diğer sıvıların sıcaklık etkisiyle gaz fazına geçerek uzaklaşmasıdır. Birçok sektörde etkin olarak kullanılan kurutma işlemi, tekstillerin kurutulma gereksinimi nedeniyle günlük yaşamımızda önemli bir yer teşkil etmektedir.

Suyu tekstillerden uzaklaştırmak için mekanik ve termal yöntemler olmak üzere iki temel prensipten yararlanılır. Yıkanan tekstillerden fazla suyu önceleri, sadece mekanik etkiler yardımıyla uzaklaştırmak mümkün iken 1930’lu yıllardan günümüze uzanan süreçte, santrifüj kuvvetler yardımıyla bu işlem çamaşır makinelerinde bulunan sıkma fazı ile çözüme kavuşmuştur. Tekstillerden suyun uzaklaştırılması için kullanılan yöntemlerden biri de termal yöntemlerdir. Güneşin ısısından yararlanılarak tekstillerin kurutulması yüzyıllardır kullanılan en bilindik ve en basit yöntemdir. İlerleyen yıllar ile vantilatör tipi kurutucular geliştirilmiş, sonrasında ise günümüzde kullanılan elektrik motoru ile çalışan ve dönen bir tambura sahip kurutucular kullanılmaya başlanmıştır.

1.1 Çamaşır Kurutma Makinesi Çeşitleri Hakkında Genel Bilgiler

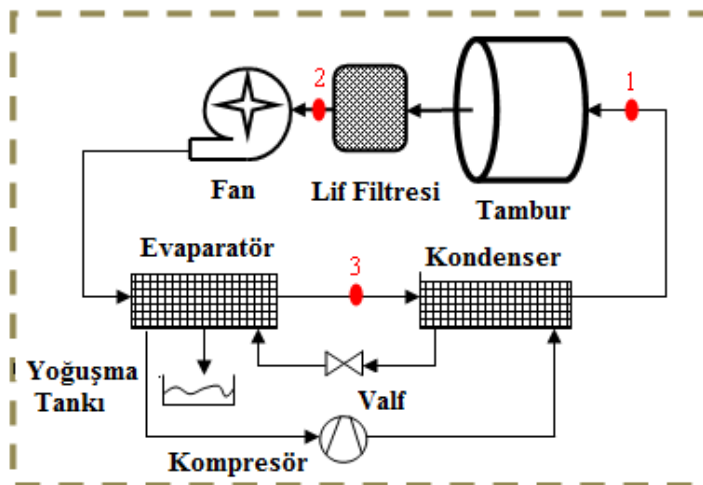
Tekstil kurutma ihtiyacını karşılamak üzere geliştirilen çamaşır kurutma makineleri farklı çalışma prensipleriyle kullanıcılara ulaşmaktadır. Çamaşır kurutma makinelerinde kullanılan 3 farklı çalışma mekanizması bulunmaktadır. Bunlar;

1. Kondenserli Çamaşır Kurutma Makinesi: Bu tip çamaşır kurutma makinelerinde Şekil 1.1’de gösterildiği üzere proses havasının sirkülasyonu kapalı bir çevrim içinde gerçekleşmektedir. Proses havası bir fan yardımıyla ısıtıcı üzerinden geçirilerek tambur içine yönlendirilip, burada sıcak havanın çamaşır üzerindeki nemi alması sağlanır. Nemli havanın, çapraz akışlı bir yoğuşturucudan geçirilerek, soğutma fanı olarak isimlendirilen ikinci bir fan tarafından yönlendirilen ortam havası vasıtasıyla neminin uzaklaştırılması sağlanır ve yeniden fana yönlendirilir[1].



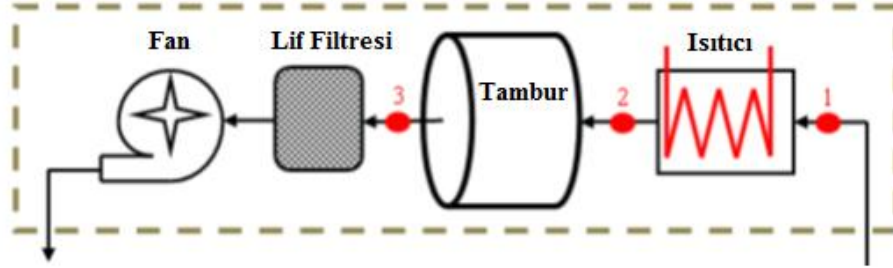
Şekil 1.1 : Kondenserli çamaşır kurutma makinesine ait şematik gösterim [1].

2. Isı Pompalı Çamaşır Kurutma Makinesi : Proses havası sirkülasyonu kondenserli kurutucuya benzer biçimde kapalı bir çevrim içinde gerçekleşmektedir. Bu sistemde kondenserli kurutucudan farklı olarak ısıtıcı bulunmamaktadır ve proses havasının soğutulması buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi ile gerçekleştirilmektedir. Tamburdan çıkan nemli hava önce soğutma çevriminin evaporatörüne yönlendirilerek burada havanın nemi alınır. Evaporatörden sonra soğutma çevriminin kondenserine yönlendirilen havanın ısınması sağlanır ve hava, fan yardımıyla yeniden tambur içine yönlendirilir. Soğutma çevriminin bir kompresör yardımıyla sağlandığı sistemde soğutucu akışan olarak R134 A veya R407 C kullanılmaktadır. Çevrime ait şematik gösterim şekil 1.2’de bulunmaktadır [1].



Şekil 1.2 : Isı pompalı Çamaşır Kurutma Makinesine Ait Şematik Gösterim [1].

3. Bacalı Çamaşır Kurutma Makinesi: Bu sistemde hava sirkülasyonu açık çevrim esaslarına göre gerçekleştirilmektedir. Fan yardımıyla ısıtıcıdan geçirilen hava tamburdan geçirildikten sonra herhangi bir yoğuşturucudan geçirilmeden ortama atılmaktadır.



Şekil 1.3 : Bacalı çamaşır kurutma makinesine ait şematik gösterim [1].

1.2 Filtreler Hakkında Genel Bilgiler

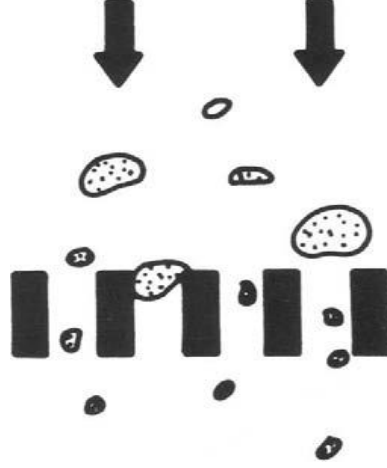
Filtre, çalışma koşulları altında, bir karışım, çözelti veya süspansiyona ait bileşenlerden bir veya daha fazlası için geçirgen olan, geriye kalan bileşenleri ise tutarak ayırıştıran bir araçtır. Çeşitli endüstrilerde ve evlerde kullanılmakta olan, malzeme ve uygulama açısından oldukça çeşitlilik gösteren filtrasyon yöntemlerinin ortak iki amacı bulunmaktadır. Bunlar;

- Mevcut karışımdan kirleri uzaklaştırmak,
- Bir karışım içerisindeki değerleri bileşenleri elde etmektir.

Mekanik, kimyasal ve elektriksel yöntemlerden yararlanarak çeşitli filtrasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kimyasal ve elektriksel yöntemler daha çok sıvı karışımların ayırıştırılmasında tercih edilmekte olup, aynı zamanda katı-gaz karışımları için çoğunlukla sterilizasyon amacıyla mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır [2]. Tez kapsamında incelenecek filtreler katı-gaz karışımlarındaki katı partiküllerin tutulmasını sağlayacak olan filtreler olup, bu yöntem mekanik filtrasyon uygulamaları arasında yer almaktadır.

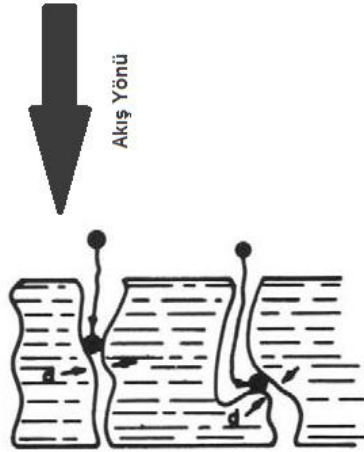
Filtrelerin partikül yakalama performanslarını etkileyen en önemli faktörler, partikül boyutu ve filtrelerin gözenek boyutlarıdır. Özellikle partikül boyutu göz önüne alınarak filtrelerin partikül yakalama mekanizmaları 4 temel grup altında toplanmıştır. Filtrasyon prosesi boyunca tek bir mekanizma işleyebileceği gibi bu mekanizmaların kombinasyonları da kullanılabilir[2].

Durdurma : Gözenek boyutundan büyük partiküllerin filtre yüzeyine tutanarak birikmesi esastır. Bir etki yardımıyla filtrenin temizlenme işlemi gerçekleşmedikçe partiküller filtre yüzeyi üzerinde tutunur. Özellikle membran ve monofilament filtrelerde en çok gerçekleşen mekanizmadır.



Şekil 1.4 : Durdurma mekanizmasına ait şematik gösterim [2].

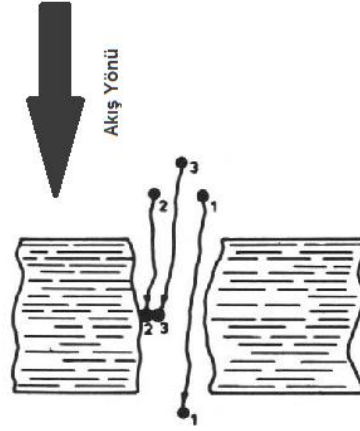
Atalet: Filtre kalınlığının gözenek genişliğine oranla daha büyük olduğu ortamlarda, katı partiküller delik boyunca ilerleyerek, delik çapının küçüldüğü bir noktada filtreye tutunurlar. Dokuma olmayan filtrelerde etkin olarak görülebilecek yakalama mekanizmasıdır.



Şekil 1.5 : Atalet mekanizmasına ait şematik gösterim [2].

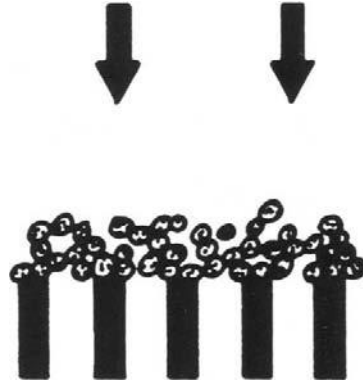
Difüzyon: Partikül boyutunun delik çapına göre küçük olduğu durumlarda atalet kuvveti gibi çeşitli etkiler yardımıyla partiküller delik duvarına tutunurlar. Diğer partiküller ise öncesinde delik duvarına tutunan partiküllere Van der Waals gibi

yüzey kuvvetleri etkisiyle tutunurlar. Yüksek verimli hava filtrelerin bu mekanizmanın işlediği filtrelere örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.6 : Difüzyon mekanizmasına ait şematik gösterim [2].

Kek Filtrasyon: Mekanizma, partiküllerin filtre yüzeyinde birikerek bir tabaka oluşturması esasına dayanmaktadır. Partiküllerin gözenek çapından daha büyük olması halinde mekanizma yüzey filtrasyonu ile başlar. Küçük partiküllerde bu mekanizma konsantrasyonun yüksek olması halinde gerçekleşir. Yüzeyde biriken partiküller gözenek girişlerinde köprü vazifesi görür.



Şekil 1.7 : Kek filtrasyon mekanizmasına ait şematik gösterim [2].

Tez kapsamında incelenecek filtreler katı-gaz karışımlarındaki katı partiküllerin tutulmasını sağlayacak olan filtreler olup, bu yöntem mekanik filtrasyon uygulamaları arasında yer almaktadır. Çamaşır kurutma makinelerinde, bahsedilen katı-gaz karışımı proses havası ile tekstillerden ayrılan liflerden oluşmaktadır. Kurutma prosesi boyunca sıcaklık ve tamburun dönüş hareketinden dolayı oluşan mekanik etkilere maruz kalan tekstillerden hav adını verdiğimiz partiküller ayrılmaktadır. Filtre kullanılmaması halinde havlar, proses havasının geçtiği kanal

içindeki komponentler üzerinde birikmekte ve bu birikim zamanla makine performansı ve ömrünü olumsuz etkilemektedir.

1.2.1 Filtre Çeşitleri

Filtrasyon yöntemleri kullanılan malzeme, filtrelenecek partikül, partikül boyutu, sistemin çalışma koşulları ve kullanılacak yönteme göre çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle filtrasyon yöntemlerinde bir çok farklı sınıflandırma ile karşılaşmak mümkündür. En temel sınıflandırma filtrasyon yöntemlerinin gaz veya sıvı karışımlara uygun olmasına göre gerçekleştirilmiştir [2].

Filtrenin kullanıldığı ortam dışında kullanılan filtre malzemesinin de göz önünde bulundurulmasıyla filtreler arasında bir inceleme yapmak mümkündür. Gözenek aralıklarının ölçülebildiği metal tabanlı filtrelerden, mikrogözenekli membranlara ve dokuma filtre bezlerine kadar malzemenin yapısına göre değişiklik sergileyen bir çok filtre bulunmaktadır. Filtrelerde kullanılmak üzere tercih edilen malzemeler aşağıda sıralanmıştır [2].

- İnorganik mineraller
- Karbon
- Cam
- Metaller
- Metal oksitler ve seramikler
- Doğal organik lifler
- Sentetik lifler

Filtrelerde kullanılan malzemelerin çeşitliliğine göre tuttıkları partikül boyutları ve kullanım şekilleri değişim göstermektedir. Malzeme yapısına göre değişen bu özellikler bazı materyaller için Çizelge1.1’de gösterilmektedir [2].

Çizelge 1.1 : Malzeme boyutuna göre tutulabilen en küçük partikül boyutu[2].

Malzeme Tipi	Gözenek Yapısı	Tutulan En Küçük Partikül Boyutu (µm)
Metal Sac	Delikli	20
	Sinterlenmiş Dokuma tel	1
Plastik Sac	Delikli	10
	Sinterlenmiş Dokuma İplik	5
	Dokuma mono veya multifilament	10
Dokuma	Polimer içerikli iplik	5
Dokuma Olmayan Filtreler	Keçe (kuru)	10
	Kağıt (ıslak)	2
	Plaka /Sac (ıslak)	0.5
	Özel Polimerler	0.1

Kullanılan bir filtrenin başarılı olduğunu söyleyebilmek için filtrasyon karakteristiğinden kimyasal dayanımına kadar bir çok farklı özelliğin uygun biçimde kombinasyonu gereklidir. Yirmiden fazla önemli özelliğin filtreler açısından belirleyici olduğu belirtilmektedir. Bu özellikler üç temel kategoriye ayrılmıştır.

İşlem Görme Özellikleri: Filtrelere ait mekanik özellikleri içinde barındıran kategoridir. Bu özelliklerin en başında rijitlik gelmektedir. Malzemeye göre değişen Young modülü değeri filtrelerin elastisite değerini doğrudan etkilemektedir. Filtrelerde dikkat edilen ikinci önemli parametre ise malzemenin dayanımına ait özelliklerdir. Çekme dayanımı en çok kullanılan parametre olmakla birlikte, kopma mukavemeti, elastik limit ve son uzama değerleri de kullanılan malzemeye incelenen diğer parametrelerdir. Filtre endüstrisinde gözenekli seramikler için çekme mukavemeti ve kırılma dayanımı önem kazanırken, dokuma filtre bezlerinde son uzama değeri de incelenmektedir.

Özellikle sıvı filtrasyonunda kullanılan kayış tipi filtre yapılarında ve çoğunlukla çeşitli tekstillerin tercih edildiği toz filtrelerinde dikkat edilmesi gerekli özelliklerden biri malzemenin uzama ve sürtünmeye karşı olan direncidir. Toz filtresi uygulamalarında, üreticiler, belirledikleri özellikler doğrultusunda tekstil üzerinde

Üretim sırasında oluşacak diğer büyük kuvvetler düşünülerek yaklaşık olarak 10 kgf/5cm mertebesinde en fazla %2-2,5 oranında uzamaya izin verirler. Titreşime olan dayanım, retilabilirlik, sızdırmazlık, aşınma dayanımı ve boyut kısıtları İşlem Görme zellikleri başlığı altında değerlendirilen diğer parametrelerdir[2].

Uygulanabilirlik : Bu kategoride filtrasyon prosesinin gereksinimleri doğrultusunda filtre malzemesi için önemli olan özellikler birleştirilmiştir. Kimyasal, termal ve biyolojik dayanım ile birlikte absorban, elektrostatik özellikleri, güvenilirliği, insan sağlığına uygun olması ve suya olan duyarlılığı bu grupta yer almaktadır [2].

Filtrasyon zellikleri: nc kategoride toplanan özellikler filtrasyon sürecinin kontrolü için gereklidir. Burada dikkat edilmesi gereken başlıca iki parametre bulunmaktadır. Bunlar filtrenin yakalayabileceği en küçük partikül boyutu ile partikül boyutuna göre yakalama verimidir. Malzemesine göre filtrelerin yakalayabildiği en küçük partikül boyutu daha önce izelge 1.1’de gösterilmiştir. Bununla birlikte özellikle yakalama verimi, filtrasyon mekanizması, partikülün şekli ve filtrenin yapısıyla da doğrudan ilişkilidir [2].

Filtrenin gözenek boyutu ve şekli, filtrenin düz veya bükümlü olması, birim alandaki gözenek sayısı gibi filtrenin yapısı ile ilişkili ve filtrasyon prosesini etkileyen parametreler, kullanılan malzemenin özelliğine bağlı olarak farklılık gösterebileceği gibi çeşitli üretim teknikleri kullanılarak da değiştirilebilmektedir. Dokuma tekstillerden üretilen filtrelerde, iplik çapının seçilebilir ve uniform olması sebebiyle daha esnek ve düzgün bir yapı elde edilebilmektedir. Metal tellerden üretilen filtreler de yapılan testler ve ölçümler sonucunda uygun gözenek boyutuna sahip olarak retilenmektedir [2].

Filtre alanının akışa gösterdiği direnç sonucu oluşan basınç kaybı, özellikle endüstriyel uygulamalarda tüm sistemi etkileyebilmesi sebebiyle maliyet açısından oldukça önemli bir parametredir. Filtrenin sebep olduğu basınç düşümü, delik boyutuna ve birim alandaki gözenek sayısına bağlı olarak değişmektedir. İdeal bir filtre, mümkün olan en ince duvarlar ile maksimum açık alan kalacak şekilde bölünmüş olmalıdır. Bu durum pratikte ise malzemenin yapısına, kullanılan üretim yöntemlerine göre değişiklik göstermektedir. Malzemenin değişmesi sonucunda değişen toplam açık alanlar izelge 1.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 1.2 : Malzemeye göre filtrelerde görülen en büyük açık alan oranı [2].

Malzeme Tipi	Gözenek Yapısı	Toplam Açık Alan (%)
Metal Sac	Delikli	30-40
	Sinterlenmiş Metal Tel	70-80
	Sinterlenmiş Toz	25-55
Dokuma	Kare	25-50
Seramik / Plastik	Köpük	93

Filtreler için birçok sınıflandırma tercih edilmesine karşılık bu tez kapsamında tercih edilen filtreler dokuma ve dokusuz yüzeyli filtreler olarak sınıflandırılarak incelenecektir.

1.2.2 Dokuma Filtreler

Sentetik veya doğal filament ve ipliklerden üretilen, diğer birçok filtre türüne göre daha yumuşak ve esnek olan dokuma filtreler, pazarda en geniş kullanım alanına sahip filtrelerdir.

Dokuma filtrelerin üretildiği filament ve elyaflar, yün, pamuk, ipek, keten gibi bitkisel ve hayvansal tabanlı ürünlerden üretilebileceği gibi cam, seramik, metal ve çeşitli termoplastik polimerler gibi yapay malzemelerden de üretilmektedir. Yapay malzemelerin doğal malzemelerden en temel farkı iplik oluşturmak için kullanılacak filamentlerin boylarının istenilen uzunlukta imal edilebilmesidir. Yapay malzemenin üretilen filamentler malzemenin ergitilmesinin ardından çeşitli ekstrüzyon yöntemleri uygulanarak metrelerce uzunlukta üretilmektedir. Buna karşılık doğal liflerden üretilen filamentler kısa olup, uzunlukları santimetre seviyesinde ölçülmektedir.

Filamentlerden yararlanılarak üretilen iplikler ince, parlak ve düzgün yüzeylere sahip olup bir veya birden fazla filamentten yararlanılarak üretilmektedir. Bu iplikler monofilament ve multifilament iplikler olarak ikiye ayrılmaktadır. Monofilament iplikler, tek ve sürekli bir yapıya sahip sentetik malzemenin üretilen filamentten oluşmuş iplik türüdür. Multifilament iplikler ise sürekli, birbirine dolanmış veya

ayrık biçimde duran birçok filamentin birleşmesiyle oluşur. Bunlara ek olarak elyaftan üretilen iplikler de bulunmaktadır. Kalın, tüylü ve mat olan bir iplikler, elyafların birbirlerine dolanması veya eğrilmesiyle üretilir.



Şekil 1.8 : Standart filament türleri [2].

Dokuma tekstiller atkı ve çözgü iplikleri olarak adlandırılan ipliklerin dokunması sonucunda üretilir. Çözgü iplikleri daha güçlü iplikler olup, atkı iplikleri yığın şeklinde ve daha gevşek sarılmış ipliklerdir. Atkı ve çözgü iplikleri aynı malzemeden üretilebileceği gibi farklı malzemelerin kullanıldığı uygulamalar da görülmektedir.

İplik malzemesi ve üretim biçimden kaynaklanan tüm bu fiziksel farklılıklar, dokuma tekstillerin filtrasyon karakteristiğine önemli etkilerde bulunmaktadır. Üretim biçiminin çeşitli performans kriterlerine olan etkisi aşağıda bulunan Çizelge 1.3’de özetlenmektedir.

Çizelge 1.3 : İplik türlerinin filtre performansına etkisi [2].

Performans Kriteri	Derecelendirme		
	İyi	Orta	Kötü
Maksimum Filtrasyon Alanı	Elyaf	Multifilament	Monofilament
Akışa Uygulanan En Küçük Direnç	Monofilament	Multifilament	Elyaf
En Uzun Tekstil Ömrü	Elyaf	Multifilament	Monofilament
Tıkanmaya Olan Minimum Eğilim	Monofilament	Multifilament	Elyaf

Doğal lifler ve hızla büyüyen bir çeşitliliğe sahip, polyester ve polipropilen gibi sentetik lifler farklı kimyasal yapılara sahip olduklarından kimyasal etkilere karşı

gösterdikleri direnç de değişiklik göstermektedir. Malzemelere ve etkiyen maddeye göre tekstillerin kimyasal davranışları Çizelge 1.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 1.4 : Malzemeye göre filtrelerin kimyasal maddelere dayanımı [2].

Lif Malzemesi	Etken Malzemeye Göre Kimyasal Direnç					
	Biyolojik Faktör	Mineral Asitleri	Organik Asitler	Alkali	Oksidasyon	Organik Solventler
Pamuk	Zayıf	Zayıf	Zayıf	İyi	Zayıf	İyi
Poliamid	Mükemmel	Zayıf	Orta	Mükemmel	Orta	İyi
Polyester	Mükemmel	İyi	Mükemmel	Zayıf	Orta	İyi
Polipropilen	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Orta	Orta
Polietilen	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Orta	Orta

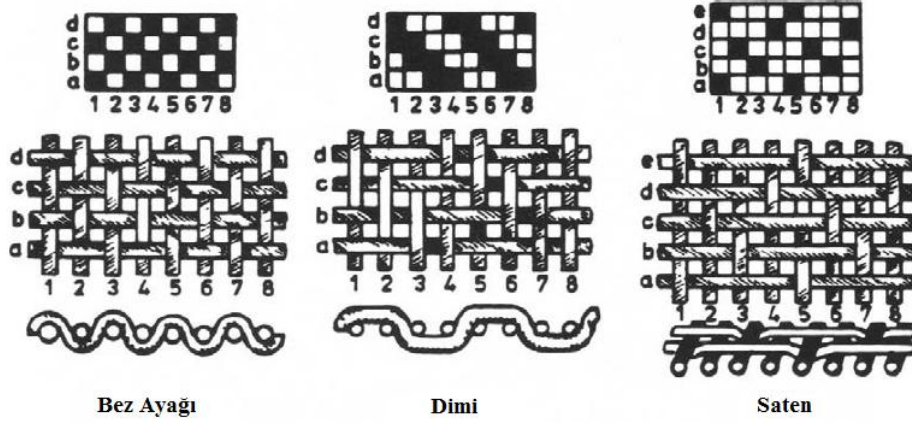
Bunlara ek olarak özellikle gaz içindeki katı partikülleri tutan filtreler proses gereği belirli sürelerde sıcaklık altında çalışabilmektedirler. Bu nedenle filtrasyon verimini etkileyen en önemli parametrelerden biri sıcaklıktır. Çizelge 1.5’te bazı malzemelerin en yüksek çalışma sıcaklıkları gösterilmiştir.

Çizelge 1.5 : Malzemeye göre filtrelerin en yüksek çalışma sıcaklıkları [2].

Malzeme	Maksimum Sıcaklık (°C)	
	Sürekli	Anlık Yükselme
Pamuk	80	95
Yün	95	110
Poliamid	95	120
Polyester	150	180
Polipropilen	95	105
Metal / Seramik Oksitleri	760	1200

Dokuma tekstiller, kimyasal ve fiziksel özellikleriyle birlikte düzenli yapıları nedeniyle filtre olarak oldukça değerli malzemelerdir. Düzenli yapılarını oluşturabilmek için kullanılan üç temel dokuma çeşidi bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır [2].

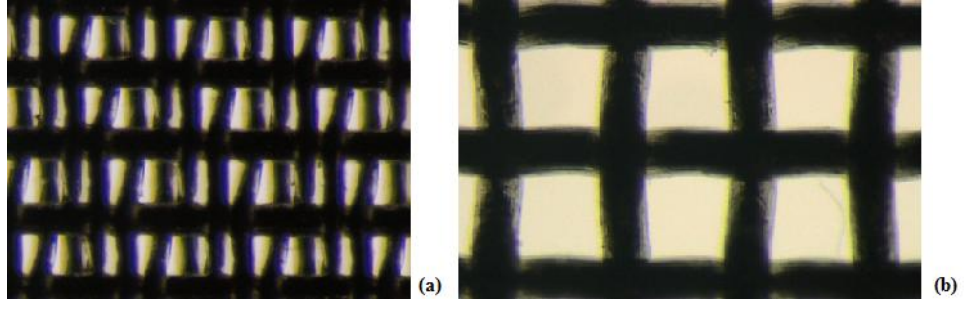
- Bez ayağı dokuma,
- Dimi dokuma,
- Saten dokuma



Şekil 1.9 : Temel dokuma çeşitleri [2].

Bu yöntemler endüstriyel tekstillerde tercih edilen kompleks yöntemlerdir. Atkı ve çözgü ipliklerinin birbirlerine göre olan konumlarına yapılan bu sınıflandırma filtre tekstilleri açısından büyük önem arz etmektedir. Bez ayağı dokumalarda atkı iplikleri çözgü ipliklerinin altından ve üstünden geçer. Bu durum rijitlik açısından incelendiğinde bez ayağı dokumaları diğer dokuma yöntemlerine kıyasla en üst seviyeye taşır ve en yüksek filtrasyon veriminin elde edildiği dokuma türü olarak belirtilir. Dimi dokumalarda diagonal bir dokuma hattı bulunmaktadır. Atkı iplikleri iki veya daha fazla çözgü ipliğinin üzerinden geçtikten sonra bir veya daha fazla çözgü ipliğinin altında geçer. Bez ayağı dokumalara göre daha esnek olmasıyla birlikte filtre olarak kullanmak daha kolaydır [2].

Saten dokuma, iki dokuma türüne göre biraz daha farklılık göstermektedir. Gözenek aralıkları diğerlerine kıyasla çok daha geniş olup, düzenli bir örgü yapısı bulunmamaktadır. Gözenek boşluklarının büyük olması sebebiyle kaygan ve parlak yüzeyli olup, filtrasyon verimleri çok yüksek olmayan tekstillerdir [2].



Şekil 1.10 : (a) Monofilament dimi dokuma (b) Monofilament bez ayağı dokuma

Elyaf ipliklerden üretilen filtrelerin geçirgenlik derecelerinin geniş bir aralığa sahip olması nedeniyle çoğunlukla dimi dokuma yöntemi tercih edilir. Bu tür filtrelerin su filtrasyonunda kullanılması halinde poliamid, polipropilen, toz filtrasyonunda aramid ve polyester gibi malzemeler kullanılır [2].

Monofilament bez ayağı dokumalardan üretilen filtreler, 5 μm 'den 5 mm'ye kadar olan gözenek aralığındaki çeşitliliğin yanı sıra oldukça hafif olmalarıyla da dikkat çekmektedir. Daha esnek ve yumuşak bir yapıya sahip olan monofilament bez ayağı filtrelerin, filament sayılarının artmasıyla rijitlik seviyeleri arttırılabilmektedir. Bu tip filtrelerde malzeme olarak sıklıkla polyester, poliamid ve polipropilen gibi hafif sentetik polimerlerin tercih edildiği görülmektedir. Vakum ve basınç altındaki su filtrasyonu proseslerinde tercih edilen bez ayağı filtreler, yatay kayış şeklindeki filtrasyon proseslerinde de görülmektedir. Dokuma türünün çeşitli performans kriterlerine etkisi Çizelge 1.6'da gösterilmektedir [2].

Çizelge 1.6 : Dokuma türlerinin filtre performansına etkisi [2].

Performans Kriteri	Derecelendirme		
	İyi	Orta	Kötü
Maksimum Filtrasyon Alanı	Bez Ayağı	Dimi	Saten
Akışa Uygulanan En Küçük Direnç	Saten	Dimi	Bez Ayağı
En Uzun Tekstil Ömrü	Dimi	Bez Ayağı	Saten
Tıkanmaya Olan Minimum Eğilim	Saten	Dimi	Bez Ayağı

1.2.3 Dokusuz Yüzeyli Filtreler

INDA (Association of the Nonwoven Fabric Industry - ABD) kurumuna göre “İplik haline getirilmemiş ve birbirine çeşitli yöntemler ile bağlanmış, kağıt haricinde, doğal ve yapay kesik veya kesiksiz liflerden oluşan tabak, tülbent (web) veya vatka (batt)” dokusuz yüzeyli tekstil olarak adlandırılmaktadır. Bilinen en eski tekstil türü olan dokusuz yüzeyli tekstiller, farklı üretim tekniklerinden yararlanılarak çok çeşitli amaçlar doğrultusunda birçok sektörde kullanılmaktadır [3].

İplik üretimi sırasında elyaf hammaddesinin %10-20 seviyesindeki kısmının döküntü ile atıldığına farkedilmesiyle, bu ısrarı önlemek adına yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile üretilmeye başlayan dokusuz yüzeyli tekstiller sayesinde yün ve keçe gibi malzemelerin de üretimi başlamıştır [3].

Dokusuz yüzeyli tekstillerin üretiminde polipropilen, polyester, elastomer gibi polimerlerin yanı sıra cam, karbon ve metal gibi özel malzemelerden üretilmiş lifler de kullanılmaktadır. Bununla birlikte bağlayıcı olarak kullanılan kullanılan hammaddelerin çoğu ko-polimerlerden üretilmektedir. Üretimde kullanılan çeşitli malzemelerin temel özellikleri Çizelge 1.7’de özetlenmektedir. Malzeme seçimi gerçekleştirilirken, nihai ürün özellikleri üzerinde etkili olan lif özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

- Lif inceliği,
- Lif uzunluğu,
- Kesit şekli,
- Nem tutma,
- Esneklik,
- Mukavemet,
- Uzama.

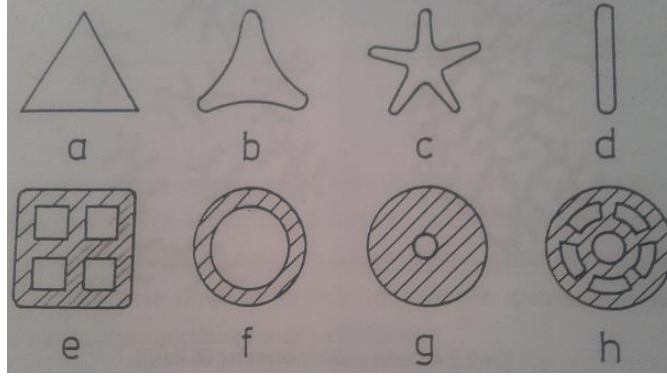
Bu malzemeler haricinde sıcaklığa ve kimyasallara karşı dayanıklı olan novoloid ve aramid lifleri ile süper emini özellik gösteren selüloz esaslı lifler ve kurşun geçirmez yeleklerin ve denizcilik sektöründeki halatların imal edildiği yüksek mukavemetli polietilen lifler de dokusuz yüzeyli tekstillerin üretiminde kullanılır [3].

Çizelge 1.7 : Dokusuz yüzeyli tekstil üretiminde kullanılan malzemeler[2].

Malzeme	Olumlu Özellik	Olumsuz Özellik
Polyester	Elastizitesi yüksek, Asit ve alkalın dışındaki kimyasallara karşı yüksek dayanım, Islak mukavemeti yüksek	Statik elektriklenmeye eğilim
Polipropilen	Kimyasallara karşı yüksek dayanım, Aşınma dayanımı yüksek, Mikroorganizmalara karşı dayanıklı, Yoğunluğu düşük	UV ışınlarına karşı mukavemeti düşük, Elastizitesi düşük, Higroskopik özelliği düşük
Poliamid	Islak mukavemeti yüksek	Asitlere karşı oldukça dayanıksız
Pamuk	Aşınma mukavemeti yüksek, Islak mukavemeti yüksek, Mükemmel emme kabiliyeti	Kırışik oluşumu fazla, Lif uniformitesi kötü
Yün	Elastizitesi yüksek, Emme kabiliyeti yüksek, Yumuşak	Aşınma mukavemeti düşük, Çekme oranı yüksek, Kopma mukavemeti düşük
Cam lifi	Tutuşma sıcaklığı yüksek, Yüksek ısı direnç, Yüksek gerilme modülü	Düşük kopma uzaması, Kırılgan
Karbon lifi	Yüksek mukavemet, Yüksek gerilme mukavemeti, Kimyasallara karşı yüksek dayanım, Yüksek ısı dayanım, Elektriksel iletkenlik yüksek	-

Liflerin kesit şekilleri, özellikle filtrasyon amaçlı kullanılan dokusuz yüzeyli tekstillerde önemli bir etki haline gelmektedir. Aşağıda Şekil 1.10’da gösterilmekte olan (b), (c), (d) kesitli lifler bağlanmayı kolaylaştırdıkları için filtrasyon ve sıvı taşınımı işlemlerini iyileştirmektedir. Bununla birlikte kabarık ve dallanan bir lif yapısına sahip polyester lifleri de filtrasyon özelliği yüksek dokusuz yüzeyli tekstillerin üretiminde kullanılmaktadır. Lif inceliği, nihai ürünü etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Çünkü lif kalınlığı azaldıkça üretimde zorluklar yaşanmakta ve ısı iletkenliği azalmaktadır. İnce liflerden üretilen dokusuz yüzeyli tekstillerin filtrasyon verimliliğinin arttığı ve yüksek basınç düşümüne sebep olduğu gözlemlenmiştir [3]. Diğer önemli bir parametre liflerin gerilme ve uzama davranışlarıdır. Young modülü, kopma uzaması ve mukavemet değerleri liflerin işlenebilirlik seviyelerini ortaya koymaktadır. Sentetik kesik liflerin kopma uzaması %10-80 arasında değişirken anorganik liflerde bu değer %2’den az bir değerde olup

bu liflerin kırılğan yapıda olmalarına sebep olmuştur. Lifin yüksek sıcaklıklar altında kısılması olarak tanımlanan çekme, boyutlarda değişikliğe sebep olduğundan çoğunlukla istenmeyen bir durumdur. Ancak çekme yüzdesi yüksek olan lifler ile üretilen, iğneleme yöntemi ile üretilmiş dokusuz yüzeyli tekstillerde bu durum mukavemet arttırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 1.11 : Dokusuz yüzeyli tekstillerde bulunan liflere ait kesitler [2].

Liflerin haricinde dokusuz yüzeyli tekstillerin üretiminde kullanılan ikinci ana hammadde bağlayıcılarıdır. Bağlayıcıların kimyasal özellikleri, ısı ve diğer kimyasallara karşı olan direncini, hijyenik ve mekanik özellikleri ile yapıştırıcılıklarını etkiler. Üretim aşamasında kullanılan bağlayıcı çeşitleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Polimer çözeltileri
- Polimer dispersiyonları (lateks):
- Köpük halde polimer dispersiyonları
- Polimer patları

Dokusuz yüzeyli tekstillerin üretimi, liflerin mekanik, ısıl veya kimyasal yöntemler ile birbirine bağlanması temeline dayanmaktadır. Bu nedenle birbirinden farklı dokusuz yüzeyli tekstil oluşturma yöntemleri bulunmaktadır [3].

Kuru Yöntemler: Bu yöntemle üretilen dokusuz yüzeyli tekstiller çoğunlukla kuru temizlik bezleri ve tıbbi tekstil olarak kullanılmaktadır.

Sulu Yöntemler: Temizlik ürünlerinin, filtrelerin, çay poşetlerinin ve tıp alanında kullanılan tek seferlik ürünlerin imalatında kullanılırlar.

Filament Serme Yöntemleri: Tekstil üzerinde oluşan gözeneklerin boyutları çok küçük olduğu için, bu şekilde üretilen dokusuz yüzeyli tekstillerin ısı yalıtımı ve filtrasyon amaçlı kullanıldıklarında verimlerinin çok yüksek olduğu bilinmektedir.

Filtrasyon amacıyla kullanılacak dokusuz yüzeyli tekstillerin üretiminde bahsedilen teknikler içerisinde ıslak yöntemler, ergiyik üfleme ve spunbonding tekniği oldukça tercih edilen yöntemlerdendir [3].

Çizelge 1.8 : Çeşitli proseslerde kullanılan dokusuz yüzeyli filtrelerin üretim yöntemleri [2].

Komponent Türü	Üretim Yöntemi				
	İğnelenmiş Keçe	Kuru Yöntemler	Islak Yöntemler	Spunbonding	Ergiyik Püskürtme
HVAC Hava Filtreleri		X		X	X
Toz Filtreleri	X				
Elektrik Süpürgesi Torbaları	X		X		
Maskeler	X	X			
Ters Ozmos			X	X	X
Kartuş Filtreler			X	X	
Çay Poşetleri			X		

Geçmişte dokuma tekstiller hem gaz hem de sıvı filtrasyonunda etkin olarak kullanılırken, günümüzde dokusuz yüzeyli tekstiller özellikle gaz filtrasyonu için dokuma tekstillere göre daha çok tercih edilmektedir. Sıvı filtrasyonunda, mekanik dayanımın gerekliliği ve daha kompleks filtrasyon komponentleri nedeniyle dokuma yüzeylerin yaygınlığı sürmektedir. Gaz filtrasyonu amacıyla kullanılan dokuma ve dokusuz yüzeyli filtrelere ait hava geçirgenliği seviyeleri aşağıdaki ta Çizelge 1.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 1.9 : Toz filtreleri için kullanılan tekstil türlerine ait hava geçirgenlik değerleri [2].

Filtre Malzemesi	Hava geçirgenliği	
	Ağırlık (g/ m ²)	Debi (m ³ /m ² /min) 12.7 mm WG için
Polyester Elyaf Dokuma	305-408	09-30
Polyester Multifilament Dokuma	185	6
Poliamid Elyaf Dokuma	300	6
Polyester İğnelenmiş Keçe	340-460	7,5 -17
Poliamid İğnelenmiş Keçe	340-500	12-25

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, tekstil genelinde inceleme yapıldığında, tekstillerin hava geçirgenliği ve akışa uyguladıkları direnç için tekstile ait parametrelerden faydalanarak yapılmış pek çok inceleme ve modelleme mevcuttur. Özellikle filtreler incelendiğinde ise neden oldukları basınç kayıpları ve filtrasyon verimleri nedeniyle endüstriyel sistemler için araştırma konusu olmuşlardır.

2.1 Tekstil Üzerindeki Akışın Modellenmesi İle İlgili Literatür Araştırması

Literatürde, gözenekli yüzeyler üzerinden gerçekleşen akışı incelemek için özellikle tekstil tipi materyallerden faydalanılmıştır. Yapılan bir çok araştırma sonucunda farklı yaklaşımların bulunmasına karşın, bu yaklaşımlar temel olarak üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; gözenek modeli, direnç modeli ve orifis modelidir [4].

Gözenek modeli, Darcy Yasası temel alınarak oluşturulmuş, gözenekli materyalin düz ve ince bir tabaka halinde incelendiği bir modeldir. İçinden akışın geçtiği gözeneklerin yüzeye dik olduğu kabulü yapılmaktadır. Darcy yasasına göre gözenekli ortamlar için kullanılan, hız ve basınç kaybının hesaplanabildiği ifade (2.1)'de sunulmuştur.

$$v = -\frac{k \Delta p}{\mu L} \quad (2.1)$$

Burada k geçirgenlik, μ akışkana ait viskozite, L gözenekli yüzeylin kalınlığı, Δp basınç farkı ve v hız yüzeydeki hızı temsil etmektedir. Gözenek modelinde geçirgenlik de önemli bir parametre olarak incelenmektedir. Geçirgenlik, akış direnci ile ters orantılı olup her malzeme ve geometrik yapıya göre değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir. Geçirgenliği inceleyen en önemli modellerden biri Carman –Kozeny modelidir. Bu modeldeki en önemli kabuller akışın laminar olmasının yanı sıra deliklerin de silindirik olmasıdır. Bu modelden yola çıkarak elde edilen geçirgenlik ifadesi (2.2) gibidir [4].

$$k = \frac{\epsilon d_p^2}{16k_0} d \quad (2.2)$$

Burada k_0 , tekstil üzerindeki tüylülük ve deliklerin silindirik halini kaybetmesinden dolayı eklenen bir katsayıdır. Kozeny sabiti olarak adlandırılan bu değer porozite ve delik çapının bir fonksiyonudur. Özellikle dokusuz yüzeyli tekstiller için ampirik ifadelerin türetilmesi dışında çoğunlukla 5,5-6 arası alınmaktadır. Porozitenin 0,8 - 0,9 değerinden fazla olması halinde ise k_0 artmaktadır. Bu model tüylü, dokusuz yüzeyli ve üç boyutlu gözenekli ortamlar için daha çok kullanılan bir yöntemdir. Bunun sebebi Kozeny sabitinin porozitenin bir fonksiyonu olmasıdır [4].

Tekstiller üzerindeki akışı inceleyen bir diğer yaklaşım ise direnç modelidir. Bu modelde gözenekli yüzey nedeniyle oluşan boşluklardan geçen akışın, aynı yönde ince silindirlerden oluşan bir sistem şeklinde olduğu kabul edilmektedir. Buradaki kabuller de gözenek modeliyle benzer olup, akışın laminar olduğu belirtilmiştir. Akış direnci, Carman-Kozeny eşitliklerinin kapileri şeklindeki akışa göre türetilmesiyle hesaplanır [4].

Model içerisinde tek bir silindirden başlayarak tüm silindir konfigürasyonları arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu şekilde akış sırasında silindirlerin birbirlerine olan etkileri incelenmiştir. Düşük porozite değerleri için yağlama teorisinden faydalanırken , yüksek porozite değerleri için serbest yüzey teorisi tercih edilmektedir. Serbest yüzey modelinde, akış yönünde uzanan silindirin etrafında fluidum olarak isimlendirilen bir akışın varlığı kabul edilir ve bu sebepten dolayı dış yüzeyde kayma gerilmesinin sıfır olduğu belirtilmektedir. Gerilmenin sıfır olmasından dolayı yakındaki diğer akışın etkilenmediği savunulmaktadır [4].

Sistemin tanımlanması için tercih edilen geometriler çoğunlukla paralel silindirler şeklindedir. Bunun haricinde çapraz silindir dizilerinden oluşan akış sistemleri için de benzer çalışmalar yürütülmesine karşın elde edilen sonuçlar yeterli doğrulukta olmamıştır. Multifilament ve tüylü iplik türlerinden üretilmiş tekstiller için yeterli sayıda çalışma bulunmamakla birlikte, bu tip dokuma tekstiller için uygulanması zor bir modeldir. Buna ek olarak dokusuz yüzeyli tekstillerde geometrik özellikler ile geçirgenlik arasında sürtünme modelinden yararlanarak bir korelasyon oluşturmak pratik değildir [4].

Literatürde konuyla ilgili olarak ortaya konulmuş üçüncü model, bir çok araştırmacı tarafından da tercih edilmiş olan orifis modelidir. Bu modelde, akışın tekstil üzerindeki gözeneklerden geçerken daralıp, tekstil sonrasında aniden genişlemesi nedeniyle orifis etkisinin oluşacağı belirtilmektedir. Bu model özellikle dokuma tekstiller için kullanılmakta olup, tekstil bir orifis sistemi olarak nitelendirilmektedir. Bir çok araştırmacı akışı karakterize etmek için, (2.3)'de verilen bir basınç kayıp katsayısı tanımlamaktadır [4].

$$C_D = \sqrt{\frac{\rho v^2 (1 - \alpha^2)}{2\Delta p \alpha^2}} \quad (2.3)$$

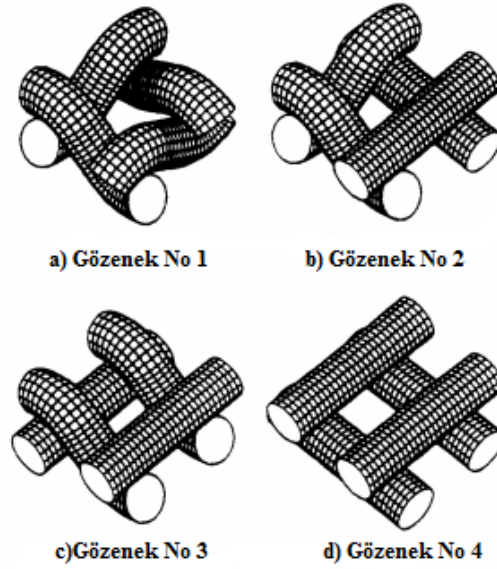
Bu bağıntıda, α ifadesi efektif açık alanın toplam alana oranını ifade etmektedir ve (2.4)'te tanımı yapılmaktadır. Bununla birlikte basınç kayıp katsayısı, sürtünme faktörünün kare kökü ile ters orantılı olduğu için aynı zamanda Reynolds sayısının bir fonksiyonu olmaktadır. Reynolds sayısına ait ifade de karakteristik uzunluk yerine, açık alan oranına bağlı olan hidrolik çap ifadesi yazılarak, ifade yeniden düzenlenmiştir ve bu ifade (2.5)'te sunulmuştur.

$$\alpha = A_{eff} n_i n_k \quad (2.4)$$

$$Re = \frac{4\rho v}{W n_i n_k \mu} \quad (2.5)$$

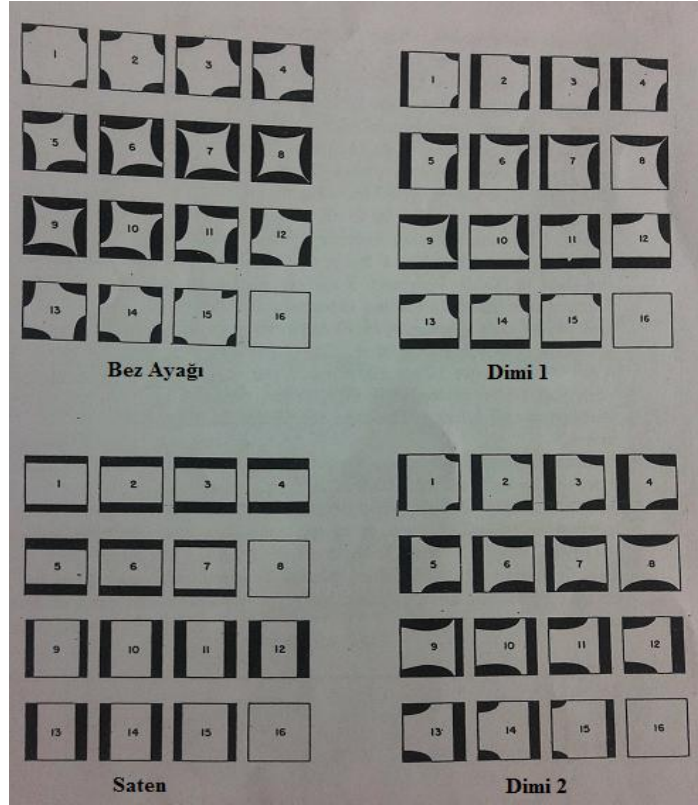
Bu modelin kullanılmasındaki en önemli zorluk, tekstil ile ilgili geometrik ifadeler için doğru tanımlamalarda bulunmaktır. Bazı araştırmacılar bu noktada alan, ıslak çevre ve oransal açık alan ifadesi için çeşitli eşitlikler oluşturulmuş fakat bu eşitliklerin bazıları üçüncü boyutun ihmal edilmesi nedeniyle doğruluk noktasında bir dezavantaja sahiptir. Bu durumun giderilebilmesi için yapılan çalışmalar sonucunda 4 numaralı referansta bulunan çalışmada Rushton isimli araştırmacının, farklı dokuma türlerine ait gözenek alanını hesaplarken üçüncü boyutu dikkate almazken, Gooijer'in kurduğu modelde üçüncü boyutun da etkisini hesaba katarak incelemelerde bulunduğu ve sonuçlarını Rushton ile kıyaslandığı görülmüştür. Farklı dokuma türlerinin sebep olduğu farklı iplik birleşimlerine sahip tekstillerin aynı korelasyonlar ile çözümlenemeyeceğini ortaya koymuştur. Birleşim şekillerindeki bu değişim projeksiyon alanı ile gerçek alan arasındaki bağıntıyı değiştirmektedir [4].

9 numaralı kaynakçada belirtilen çalışmada ise Backer isimli araştırmacı, dokuma türlerini 4 temel gözenek yapısına indirgeyerek tekstil üzerindeki akışı orifis modelini kullanarak incelemiş ve her gözeneğin akış direncine eşit oranda katkı sağladığını ortaya koymuştur. Şekil 2.1’de görülen ve Backer’ın araştırmasında incelediği örnek dokuma tiplerinden 1 numara bez ayağı dokumaya, 2 ve 3 numara farklı dimi dokuma çeşitlerine ve 4 numara ise saten dokuma tipine aittir [9].



Şekil 2.1 : Dokuma türlerine göre dört temel gözenek şekline ait şematik gösterimler [9].

Dokuma tiplerinin farklı olmasından ötürü ipliklerin birbirlerine bağlanma şekilleri ve bağlantı sayılarında da farklılık gözlemlenmektedir. Bu nedenle gözeneklerin kesit alanlarında da farklılıklar oluşmaktadır. 1 numaralı gözenek tipi en fazla büküm oluşturan dokuma türüne ait olduğu için en dar gözenek alanı ve buna bağlı olarak en büyük direnç bez ayağı dokumalarda görülmektedir. 4 numaralı gözenek tipinde ise kesit alanı en geniş olduğu için en büyük geçirgenlik değerlerine saten tipi dokumalarda ulaşılmaktadır. Kesit alanının büyüklüğünü belirleyen en önemli parametre ipliklerin bağlantı noktalarında oluşturduğu bükümlerdir. Buna karşın bükümlerin hava akışına etkisini doğrudan belirlemek çok fazla yapısal değişkenin olması sebebiyle zordur [9].



Şekil 2.2 : Gözeneklerin kesit alanlarının büküm sayısı ve şekline bağlı olarak değişimi [9].

Orifis modeli ile yapılan çalışmaların en önemli avantajı elde edilen bağıntıların daha basit olması ve farklı dokuma tiplerine kolaylıkla uygulanabilir oluşudur. Özellikle monofilament dokumalar için literatürde yapılmış bir çok deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu durum dokuma tekstiller için en uygun modelin orifis modeli olduğunu kanıtlamaktadır.

2.2 Monofilament Tekstiller Üzerindeki Akışın Modellenmesi

Monofilament dokumalar, tek ve çok uzun ipliklerden üretilmektedir. Çoğunlukla sentetik malzemeden üretilen monofilament dokumalar filtrasyon teknolojisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunun haricinde multifilament dokumalara göre ipliklerin daha az deformasyona uğraması, multifilament ipliklerde görülen iç gözeneklerin oluşmaması ve dokuma tipi tekstillerde en basit geometrik yapıya sahip olmaları nedeniyle yeni filtrelerin tasarımında sıkça tercih edilmektedirler. Literatürde, açıklanan üç model içinden monofilament tekstillere en uygun olanın orifis modeli olduğu belirlenmekle birlikte yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [4].

Robertson isimli araştırmacı, orifis modelini kullanarak gözenekli yüzeyler ve filtreler üzerindeki akışın incelendiğ temel sayılan çalışmalarından birini gerçekleştirmiştir. Ağ yapılarına ait boyutsuz parametrelerden ve geometrik özelliklerden yararlanarak monofilament tekstiller için oldukça güvenilir basınç kayıp katsayısı ile Reynolds ifadesi tanımlamıştır [5].

Çalışmalarını metalik malzemeler kullanılarak üretilen ağ yapıları haricinde tekstil materyalleri için de tekrarlamıştır. Metalik ağ yapıların için yürüttüğü çalışmalarda gözeneklilik analizlerini Reynolds sayısı ve basınç kayıp katsayısı olmak üzere iki adet boyutsuz parametreden faydalanarak gerçekleştirmektedir. Akış modellenlenirken, paralel duvarlar arasına yerleştirilmiş çok sayıda nozulun varlığı düşüncesi ile hareket edilmiştir. Her bir gözenegin aynı boyutta olması nedeniyle, her gözenekten geöen debi oransal olarak küçölerek aynı olmaktadır. Bu nedenle basınç kayıp katsayısı da (C_D) aynı değerde kalmaktadır. Böylelikle akışa ait tüm karakteristik bir gözenekteki Reynolds sayısı ve basınç kayıp katsayısı ile anlaşılmaktadır. Basınç kayıp katsayısı akışın debisini belirlemek için gereklidir. Reynolds sayısının değeri yükseldiköe nozul ve orifis geometrileri için bu değeri sabit bir değeri yaklaşmaktadır. Reynolds sayısının küçük değeri için bu tarz bir yaklaşımda bulunmak mümkün değildir [6].

Robertson metal filtreler için yaptığı çalışmalarda bir inöteki tel sayısının 8 ile 120 arasında değıştiğı yapılar kullanmış, açık alan ile projeksiyon alanı arasında geometrik bir oran elde etmiştir. Bu doğrultuda elde edilen korelasyonun 20 ile 4000 arasında kalan Reynolds sayıları için son derece güvenilir olduğı belirtilmiştir. Gözenek boyutuyla birlikte deneylerin gerçekleştiğı kanalın da etkisinin varlığı ortaya konulmuştur. Dokuma sebebiyle oluşan bükümlerin etkisi adet olarak kıyaslandığında etkinin minör seviyelerde kaldığı gözlenmiş olup büküm oranının %11 ile %25 arasında kaldığı durumlarda daha doğru sonuçlar elde edilmektedir [6].

Robertson metal yapılar haricinde farklı gözeneklilik değeriğine sahip pamuklu tekstiller için de benzer çalışmaları aynı metodolojiyi kullanarak yürütmüştür. Bu iki çalışmaya ait sonuçlar çok benzer çıkmakla birlikte, benzer Reynolds sayılarında basınç kayıp katsayıları bir miktar daha düşüktür [10].

Yapılan çalışmalar aynı kabuller altında yapılmış olup, tekstillerin açık alan oranına, gözenekliliğine ve geçirgenliğine karar verilmesi noktasında iplik bükümlerinin

önemli olduğu vurgulanmıştır. Büküm sayılarının artmasıyla gözeneklilik artış göstermektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda üç farklı miktarda büküm barındıran tekstiller üzerinde incelemeler yapılmıştır. Geçirgenlik üzerinde etkili diğer bir parametre kullanılan dokuma çeşididir. Bununla ilgili olarak başka çalışmalarda da belirtildiği gibi efektif çap ifadesi elde edilmiştir [10].

Yapılan çalışmalar ile gözlemlenen diğer bir durum ise sıkı tekstillerdeki basınç kayıp katsayısının daha yüksek olduğudur. Bu duruma ipliklere ait filamentlerin arasından geçen akışın sebep olduğu düşünülmektedir. Fakat gerçekte ne olduğunu anlamak adına araştırma ekibi iki veya 3 kat kaplama yaparak aynı deneyleri tekrarlamıştır. Üçüncü kat kaplamadan sonra tekstilin oldukça katılaştığı görüldüğü için filamentler arası boşlukların tamamen kapandığı kabulü yapılmaktadır. Elde edilen gözeneklilik değerlerine göre kaplamalı tekstillerin işlem barındırmayan tekstillere göre %10 daha yüksek bir basınç kayıp katsayısına sahip olduğu belirtilmektedir. Bu durum en sıkı tekstiller göz önüne alındığında hava akışına mücadele etmeyen ipliklerin birer bariyer görevi yaptığını ortaya koymuştur [10].

Ekibin yaptığı çalışmalar doğrultusunda, açık alan oranı %3 değerinden düşük olan tekstillerde, elde edilen verilerin saçılımının fazla olması nedeniyle gözeneklilik ile basınç kayıp katsayısı arasında ilişki kurmanın zorlaştığı anlaşılmıştır. Bu nedenle dimi tekstiller için elde edilen sonuçlar diğer dokuma türlerine göre daha fazla değişkenlik göstermektedir. Bu durumun diğer bir sebebinin de dimi dokuma türünün gereği olarak ipliklerin birbirlerine göre bağıl hareket yapması sonucunda açık alanın değişmesi olabileceği de belirlenmiştir [10].

Armour ve ekibinin yaptığı çalışmalar doğrultusunda; Reynolds sayısı ve açık alanın önemli parametrelerin başında geldiği belirtilmiştir. Bazı bilimsel araştırmalarda bu gözenekli yapıların üç boyutlu olduğu durumlar ele alınarak açık alandan farklı olarak yüzey alanı ile hacim arasındaki oran (a) ve boş hacim ϵ gibi farklı geometrik parametrelerden faydalanılmıştır. Ağ yapılarındaki basınç düşümüne atalet ve viskoz dirençlerin sebep olduğu anlaşılmıştır. Laminer akış bölgelerinde basınç düşümüne viskoz sürtünmeler sebep olurken, türbülanslı akışlarda küçük girdapların oluşması sonucunda viskoz sürtünmeler ihmal edilebilir seviyelerde kalarak önemli parametrenin atalet kayıpları olduğu ortaya çıkmıştır [7].

Wang, Maze, Pourdeyhimi ve Tahreshi tarafından yapılan, monofilament tekstiller üzerinde basınç düşümünün incelendiği başka bir çalışmada orifis analojisi ile basınç kayıp katsayısı ile Reynolds sayısı için yeni birer ifade belirlenmiştir. Orifis analojisine bağlı kalınarak yapılan çalışmalarda, bu analojiye ait bazı kabuller yerine başka detaylardan faydalanılmıştır. Orifis analojisinde, orifis olarak tanımlanan gözeneğin ıslak çevresi karakteristik uzunluk olarak belirlenmekte ve buna bağlı olarak yeni bir Reynolds ifadesi ile basınç katsayısı belirlenir. Bununla birlikte tüm atkı ve çözgü ipliklerine gelen kuvvetin eşit olduğu ve iplik kesidinin daire olduğu kabulü yapılmaktadır [8].

Lu, Tun ve Hwang birlikte yaptığı çalışmalarda filtrenin sahip olduğu dokuma yapısının akışın hidrodinamik yapısına olan etkisini incelemektedir. Kompleks dokuma sistemlerinde, çeşitli bağıntılar kurulurken karşılaşılan zorlukların ve sonuçlar arasındaki farklılıkların en temel sebebi iplik veya fiberlerden kaynaklanan kıvrımlı geometriler arasında akışın yönlendiriliyor oluşudur. Bu nedenle makalede irdelenen filtre bezlerinde monofilament, düzgün, silindirik yapıda olan ve geçirgenlik özelliği olmayan filamentler tercih edilmiştir. Örnek olarak kullanılan filtreler metalik malzemeye sahiptir. Hidrolik çap ve gözenekliliğe karar verebilmek için ipliklerin silindirik olduğu kabulü yapılmış olup, atkı ve çözgü ipliklerinin oluşturduğu bükümlerin çapı, iplik çaplarının aritmetik ortalaması olarak hesaplanmaktadır [5].

Ekibin yaptığı çalışmalar kapsamında Panner ve Pedersen isimli araştırmacıların yaptığı incelemeler de göz önüne alınmıştır. Panner, delikten geçen debinin, deliğin kesit alanı ve takip eden akışın hızı ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Pedersen, efektif karakteristik uzunluğu bulmak için bilinen hidrolik çap formülünü kullanmıştır. Buradaki alan akışın en dar olduğu kesitteki alan olup, çevre için de aynı konumdaki uzunluklar kullanılmıştır. Pedersen, Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısının ayrı ayrı logaritmik ifadelerini kullanarak güvenilir ve tutarlı bir korelasyon bulmuştur. Bunlar bez ayağı ve dimi monofilament dokumalarda denendiğinde hatanın %12 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Efektif açık alana bağlı olarak kayıp katsayısı ve Reynolds sayısı hesaplanırken saçınlığın azaltılması için Pedersen aşağıdaki kabulleri yapmıştır [5].

- 1- Atkı iplikleri düz olduğu kabulü yapılarak örgünün hatasız olduğu belirtilmiştir.

2- İplikler silindirik yapıdadır.

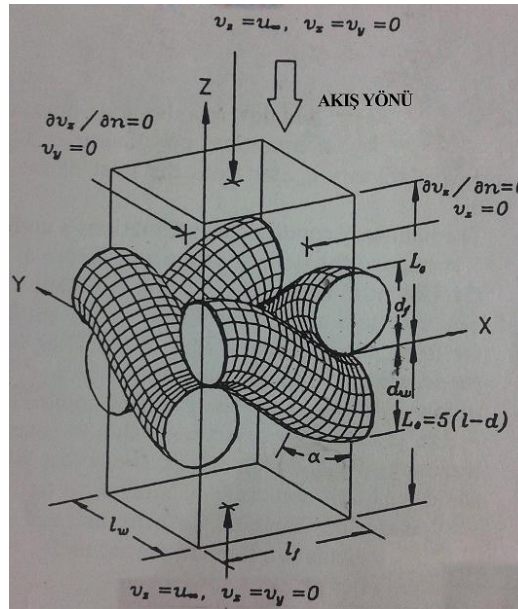
3- Atkı ipliklerine benzer biçimde çözgü iplikleri de düz olup, herhangi bir büküme sahip değildir.

Bu kabuller doğrultusunda Pedersen'in tanımladığı basınç kayıp katsayısı formülü, (2.4) numaralı eşitlikte verilmiş olup, birçok çalışmada temel alınan bir eşitlik olduğu görülmüştür. Bu noktadan hareketle elde edilen Reynolds ifadesi (2.6)'da verilmiştir [5].

$$Re^* = \frac{4\rho U_\infty (l_f l_w)}{W\mu} \quad (2.6)$$

Bu denklemde W ıslak çevre (m), U_∞ serbest akış hızını (m/s) ve l_f ve l_w ise atkı ve çözgü ipliklerini temsil etmektedir. Bunun haricinde açık alanı ve ıslak çevreyi belirlemek adına dokuma çeşidine göre geometrik ifadeler türetilmiştir [5].

Makalede yapılan deneylerde akışın sürekli ve laminar olduğu kabulü yapılmıştır. Akış alanının süreklilik ve momentum denklemlerinden yararlanılarak çözümlendiği çalışmada kullanılan sınır şartları aşağıdaki biçimdedir.



Şekil 2.3 : Sınır şartlarına ait şematik gösterim. [5]

1- Filtrenin giriş ve çıkışından uzakta hızlar üniform. Hesaplama yapılan uzaklık, giriş ve çıkış için ayrı ayrı $L=5*(1-d)$ ifadesi ile hesaplanır [5].

$$z = \infty \quad V_z^* = \frac{V_z}{U_\infty} = 1$$

2- Tekstil yüzeyinde geçirmezlik ve kaymama koşulu geçerlidir.

$$V_z^* = V_y^* = V_x^* = 0$$

3- y-z düzleminde;

$$V_x^* = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{dV_z^*}{dx^*} = 1$$

4- x-z düzleminde

$$V_y^* = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{dV_z^*}{dy^*} = 1$$

Akışı etkileyen diğer bir önemli fiziksel parametre ise aynı hız koşullarında filtrenin kirlenme hızıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda hızın daha düşük olduğu yerlerde birikimin daha hızlı gerçekleşeceği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte dört gözenek şekline ait akış alanları da belirlenmiştir [5].

Konuyla ilgili olarak Kulichenko yaptığı araştırmalarda, tekstiller üzerindeki gaz akışlarının ve akış hidrodinamiğinin hava geçirgenliği ile olan ilişkisini incelemektedir. Tekstillerin sahip olduğu kompleks geometrinin, gözeneklerin hidrolik çapı, kalınlık ve gözeneklilik gibi baskın parametreler ile incelenerek akış üzerine etkileri araştırılmıştır [11].

Sıvı veya gaz akışları gözenekli bir ortam veya yüzeyden geçtiğinde atalet kuvvetlerini ve bariyer etkisi yapan ipliklerin sebep olduğu direnci yenmek için bir miktar enerji harcamaktadırlar. Sürtünmeden meydana gelen kayıplar, delik çapı azaldıkça artmaktadır. Bu durum için Blasius denkleminde yararlanarak elde edilen ve (2.7)'de verilen Reynolds sayısına bağlı bir basınç kayıp katsayısı formülü bulunmaktadır [11].

$$\lambda = A_m \cdot Re^{-n} \quad (2.7)$$

Denklemden, A materyalin yapısına bağlı olan bir fonksiyonu temsil ederken, n akış rejimini karakterize eden bir katsayıdır. n değerinin 0 ile 1 arasında olduğu durum için akışın laminar olduğu belirtilmiştir. Gözenekli yüzeyler üzerinde akışın laminar olma durumunda ise akış, birbirine paralel kanallar sistemi olarak kabul edilir. Bu nedenden ötürü Poiseuille akış kabulü yapılmaktadır ve bir kapileri için debi denklemi (2.8)'deki şekilde tanımlanmaktadır [11].

$$Q = k \frac{\Delta P}{L} d^4 \quad (2.8)$$

Kulichenko, araştırmalarında “Ideal Soil” isminde bir model tanımlamıştır. Akışın belirlenmesinde yararlanılan hidrolik çap ifadesi yanı sıra deliklerin uzunluğu da önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Delik uzunluğunun, delik girişinden belirli bir uzaklıkta olan L_{in} mesafesini aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak da oransal dağılımın parabolik dağılımından farklılaşması gösterilmektedir. Bu durumla ilişkili olarak Poiseuille akış için gözenek tipine göre hesaplanan kayıp katsayısı deneysel olarak elde edilen değerlere göre daha yüksek çıkmaktadır [11].

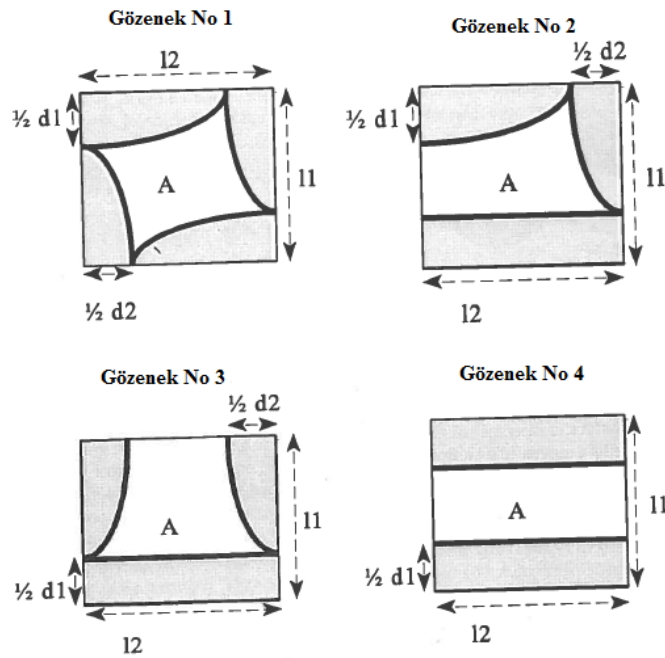
alışmalar sırasında gözeneklilik ifadesini tanımlamak için üç farklı yöntem tanımlanmıştır. Bu yöntemlerden ilkinde ipliklerin zamanla ve bitirme işlemleri sonucu düzleşmesi ve tüylülüğü hesaba katılmadan gözeneklilik hesaplanmaktadır. Buna ek olarak iplik kesitlerinin değişmediği kabulü yapılması sebebiyle, hidrolik çap ve gözenek alanı gerçek değerlere göre oldukça büyük çıkmaktadır. İkinci yöntemde ise ipliğin mevcut durumdaki kesit alanı dikkate alındığı için ilk yönteme göre daha güvenilir değerler elde edilebilmektedir. İplik apı farklı düzlemlerden mikroskoplar yardımıyla ölçülerek gözenek alanı ve hidrolik çap hesaplandığı için hata oranları çok daha düşük çıkmaktadır. İpliğin kesit alanının bir fonksiyonu olacak şekilde kurulan bağıntı ile gözeneklilik hesaplanmaktadır. Projeksiyon yöntemi olarak isimlendirilen üçüncü seçenek ise tüylülük ve ipliğin şekil değiştirmesinin tahmin yoluyla belirlenmesine izin vermektedir. Bu yöntemle elde edilen değerler çoğunlukla gerçeğe göre daha düşük değerdedir. Bunun sebebi ipliklerin yzeyeye yakın filamentlerinin, tekstilin oluşturduğu dirence önemli bir katkısı olmamasıdır [11].

Gooijer ve arkadaşları yayınladıkları makalelerde, akış direnci ile geometri arasındaki ilişki, çoğunlukla kullanılan Orifis analogisinin aksine yeni bir model geliştirilerek, monofilament ve multifilament tekstiller için incelenmektedir. Makalede orifis modelinden yararlanarak yeni bir geometrik model geliştirilmiştir. Dokuma tekstillerdeki akış direnci olarak tanımlanan kayıp katsayısı Reynolds sayısının bir fonksiyonu şeklinde tanımlanır [12].

Efektif akış alanı ve ıslak çapa bağlı olarak elde edilen efektif delik çapı ifadesi ve efektif açık alan ile toplam alan arasındaki orana ait bağıntı kullanılarak yeni bir Reynolds sayısı elde edilmiştir [12].

Makale kapsamında W , A ve α arasındaki bağıntı Rushton modeli ile yeni geometrik gözenek modeli ile hesaplanmaktadır. Rushton modelinde ipliklerin bağlanma şekilleri iki boyutlu yaklaşımda kıyaslanamayacağı belirtilerek üç boyutlu birim gözenek yapısı, iki boyutlu deliğin projeksiyon alanı olacak şekilde modifiye edilmektedir. Bağlama tipi, Backer'i dört temel gözenek yapısı tanımına uygun olarak kullanılmıştır ve delikler eşit dirence sahiptir [12].

Modelde kabul edilen boyutsal 3 temel parametre oldukça önemlidir. Bunlardan en önemlisi deformasyona uğramış bir silindir gibi kabul edilen ipliğin en dar kesitine ait ıslak çevredir. Bu durumda bir elipsin dörtte birine ait kısım oluşur. Şekil 3,4'te gösterilen kalın çizgiler elipsin bir parçası olarak kabul edildiğinden, elipse ait ıslak çevreyi ve alanı veren ifadelerden yararlanarak delik tiplerine uygun geometrik eşitlikler elde edilmiştir [12].



Şekil 2.4 : Gooijer modeline göre dört temel gözenek tipine için projeksiyon alanı.

Tez çalışmaları kapsamında kullanılacak deney düzeneğinin doğrulanması amacıyla Gooijer isimli araştırmacıya ait olan 4 ve 12 numaralı kaynaklardan yararlanılacaktır. Bu nedenle bu araştırmacıya ait çalışmalar sonraki aşamada detaylı olarak anlatılacaktır.

3. MATEMATİK MODEL VE DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI

3.1 Matematik Model

Oluşturulan deney düzeneğinde elde edilen sonuçların doğruluğunun incelenmesi için literatürde yapılmış çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu doğrultuda 4 ve 12 numaralı referanslarda yer alan Gooijer ve arkadaşlarına ait çalışmalarda oluşturulan model temel alınmıştır. Çalışmada orifis modelinde yararlanılarak matematik ifadeler elde edilmiştir.

Modelde daha önce bir çok çalışmada kullanılan ve (2.3)'te verilen basınç kayıp katsayısına ait formülasyondan yararlanarak modelde kullanılacak diğer ifadeler elde edilmiştir. Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Orifis modeli kapsamında, Reynolds sayısının bilinen ifadesi, tekstile ait geometrik parametrelerden yararlanarak yeniden düzenlenmektedir ve bu ifade (3.1)'de sunulmaktadır [12].

$$Re = \frac{\rho v' D}{\mu} \quad (3.1)$$

Bu denklemde v' tekstil üzerindeki efektif hızı temsil etmekle birlikte, $v' = v / \alpha$ şeklinde hesaplanmaktadır. D ise efektif gözenek aralığıdır.

$$D = \frac{4A}{W} \quad (3.2)$$

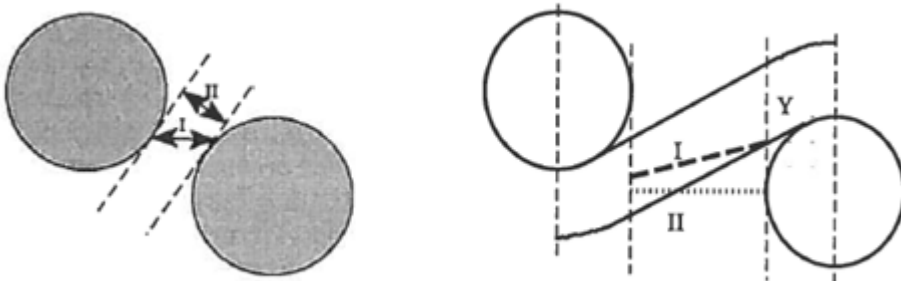
$$\alpha = An_i n_k \quad (3.3)$$

A , orifis olarka kabul edilen, akışın en daraldığı kısma ait efektif akış alanı, W aynı yerdeki ıslak çevre, n_k 1 metredeki atkı ipliği sayısı, n_i ise aynı uzunluktaki çözgü ipliği sayısıdır. (3.2) ve (3.3) numaralı denklemler, Reynolds sayısına ait (3.1) numaralı ifadede yerine yazılması sonucunda elde edilen denklem aşağıdaki şekildedir.

$$Re = \frac{4v\rho}{Wn_in_k\mu} \quad (3.4)$$

Alan ve ıslak çevre ifadeleri için literatürde kurulan modellerin bir çoğunda, her bir gözenek türü için ayrı ayrı ifadeler tanımlanmaktadır. Gooijer'in kurduğu bu modelde ise Rushton ve Robertson isimli araştırmacıların denklemlerine sadık kalınarak yeni geometrik ifadeler tanımlanmıştır. Yapılan çalışmalar kapsamında bu iki model ile yeni geometrik model için hesaplamalar yapılmıştır. [4] Robertson modelinde fotografik tekniklerden yararlanarak iplikler arasında oluşan deliğin projeksiyon alanı incelenmiş ve buna bağlı olarak ıslak çevre , alan ve efektif açık alan hesaplanmıştır. Bu modelin en önemli dezavantajı; dokumanın 3 boyutlu yapısının ihmal edilmesidir. Bu durum gözenek alanının, dokumanın türüne bağlı olarak kalınlık boyunca belirli bölümlerde sıfıra yaklaşması nedeniyle hata oranını arttırabilmektedir.[4,5] Ruston'un modelinde ise birbirinden farklı dört temel gözenek tanımlanarak bu gözenek tiplerindeki ipliklerin bağlanma şekilleri ve bu bağlantı noktalarının gözenek alanına olan etkisi incelenmektedir. Tüm gözeneklerin eşit direnç uygulaması kabulü ile yola çıkılarak dokumada bulunan üçüncü boyutun etkisi de göz önüne konulmuştur [4].

Gooijer tarafından kurulan yeni modelde ise amaç, 3 boyutlu gözenek yapısının sebep olduğu alan değişikliği, 2 boyutlu bir ifade de tanımlayarak tekstillerin sahip olduğu basınç kayıp katsayısını hesaplamaktır. Oluşturulan bu modelde yine 9 numaralı kaynakta verilmiş ve Backer tarafından tanımlanmış 4 temel gözenek modeli temel alınmıştır. Bu modelde de her gözeneğin eşit direnç sağladığı belirtilmiş olup, gözeneğin en dar olduğu kesit dikkate alınmıştır [4].



Şekil 3.1 : Mikrodalga İki iplik arasında oluşan en dar kesit

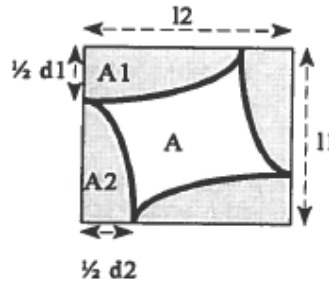
Şekil 3.1’de görüldüğü üzere havanın akışın bükümler arasında kıvrılması nedeniyle her zaman yüzeye dik olmadığı düşünülerek I numaralı kesitin II numaralı kesitten büyük olduğu görülmektedir. I numaralı düzlem Y ipliğinin ıslak çevresinin belirlendiği kesit olarak kabul edilmektedir. İpliklerin deforme olması sebebiyle kesitlerinin daire yerine elips şeklinde olması nedeniyle I numaralı çizgi gerçekte bir elipsin dörtte birini temsil edecek şekildedir. Alanın belirlenmesi aşamasında I numaralı çizgiden yararlanılırken II numaralı düzlem deliğin ıslak çevresinin belirlenmesinde kullanılmaktadır [4].

Daha önce Şekil 2.4’de gösterilen dört temel gözenek tipine ait projeksiyon alanları, ipliklerin bağlantı sayılarının değişken olması nedeniyle farklılık göstermektedir. Burada A kesit alanını, d1 ve d2 iplik çaplarını, l1 ve l2 ise iki komşu ipliğin merkezleri arasındaki uzaklıkları belirtmektedir. Şekil 3.2’de görülen taralı alanlar, elipse ait bir parça şeklinde kabul edilmektedir. Bu nedenle sırasıyla (3.5) ve (3.6) numaralı denklemlerde verilmiş olan, elipse ait alan (A_e) ve ıslak çevre (W_e) formüllerinden yararlanılmaktadır.

$$w_e = 2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \quad (3.5)$$

$$A_e = \pi ab \quad (3.6)$$

Tez kapsamında çalışılacak filtrelerin monofilament ve bez ayağı dokuma tekniği ile üretilmiş olmasından ötürü şekil 3.2’de gösterilen bu gözenek tipine uygun geometrik ifadeler incelenmiştir.



Gözenek No 1
(Bez Ayağı Dokuma)

Şekil 3.2 : Bez ayağı dokuma tipine ait tek bir gözenegın Gooijer modelinde tanımlanan geometrik yapısı [9].

Şekil 3.2’de görülen bez ayağı dokumaya ait şematik resimde 1 numara atkı ipliğine ait sistemi, 2 numara ise çözgü ipliğine ait sistemi temsil etmektedir. Elipse ait temel geometrik formüllerden yararlanarak A_1 ve A_2 alanları için yeni ifadeler geliştirilmiştir. Bunun sonucunda toplam alandan A_1 ve A_2 alanları çıkartılarak, akışın gerçekleştiği en küçük alanı temsil eden A değeri hesaplanmıştır.

$$A = l_1 l_2 - 2A_1 - 2A_2 \quad (3.7)$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \frac{d_1}{2} \left(l_2 - \frac{d_2}{2} \right) \quad (3.8)$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \frac{d_2}{2} \left(l_1 - \frac{d_1}{2} \right) \quad (3.9)$$

(3.8) ve (3.9) numaralı denklemlerin (3.7) numaralı denklemde yerine konulması sonucunda bir gözeneğe ait alanı hesaplamak için kullanılan ifade, (3.10) eşitliğinde verilmiş olup bulunan değer, (3.3) denklemi yardımıyla hesaplanan açık alan oranı α değerinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

$$A = l_1 l_2 - \frac{\pi}{4} d_1 \left(l_2 - \frac{d_2}{2} \right) - \frac{\pi}{4} \left(l_1 - \frac{d_1}{2} \right) d_2 \quad (3.10)$$

Alan ifadesine benzer biçimde şekil 3.2’de gösterilen elipsten yararlanarak belirtilen kısımlar için ıslak çevre tanımı da yapılmaktadır. Islak çevreyi hesaplamak için kullanılan denklemler (3.11), (3.12) ve (3.13) numaralı denklemlerde verilmiştir.

$$W = 2W_1 + 2W_2 \quad (3.11)$$

$$W_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\left(d_1/2 \right)^2 - \left(l_2 - d_2/2 \right)^2}{2}} \quad (3.12)$$

$$W_2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\left(d_2/2 \right)^2 - \left(l_1 - d_1/2 \right)^2}{2}} \quad (3.13)$$

Denklemlerde kullanılan d_1 ve d_2 sırasıyla çözgü ve atkı ipliklerinin çapını belirtmektedir. Bununla birlikte l_1 ve l_2 çözgü ve atkı iplikleri yönünde iki ipliğin merkezi arasındaki uzaklığı belirtmektedir.

Gooijer'in kendi modelini kıyasladığı Rushton'a ait model, deney düzeneğinin doğrulanması sırasında ikinci bir yöntem olarak kullanılmıştır. Rushton'a ait α ve W değerleri sırasıyla (3.14), (3.15) ve (3.16) numaralı denklemlerde gösterilmektedir.

$$\alpha = \frac{\psi}{2} \ln\left(\frac{1 + \sqrt{1 + \psi^2}}{\psi}\right) + \frac{\sqrt{1 + \psi^2}}{2\psi} - n_k d_i - n_k n_i d_i^2 \sqrt{\left(\frac{1}{n_k} - d_k\right)^2 + 1} \quad (3.14)$$

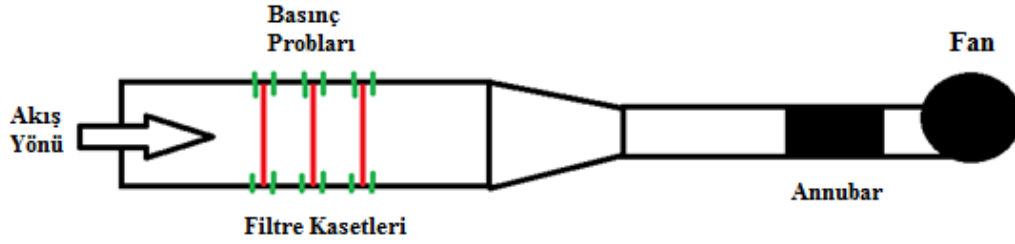
$$W = 2 \sqrt{\left[\left(\frac{1}{n_k} - d_k\right)^2 + d_i^2\right]} * \xi \left[1 / \sqrt{1 + \left(\frac{d_i}{\frac{1}{n_k} - d_k}\right)^2}, \frac{\pi}{2} \right] + \frac{2}{n_i} \sqrt{1 + (d_i + d_k)^2 n_i^2} \quad (3.15)$$

$$\psi = \frac{1}{n_i(d_i + d_k)} \quad (3.16)$$

Burada ψ geometrik boyutsuz bir sayıyı temsil etmektedir. d_i atkı ipliği çapını, d_k ise çözgü ipliği çapını belirtmektedir.

3.2 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Filtrelerin basınç kayıplarını ölçebilmek için rüzgar tüneline benzer ve içine üç tane filtre yerleştirilebilecek bir sistem tasarlanmıştır. Aşağıdaki şekilde deney düzeneğine ait şematik resim görülmektedir.



Şekil 3.3 : Deney düzeneğine ait şematik resim.

Bu çalışma sırasında test düzeneğinin sürekliliğini sağlamak amacıyla makine içinde filtre üzerine gelecek akış hızı yaklaşık olarak belirlenmiş ve en önemli tasarım parametresi olarak kabul edilmiştir. Çamaşır kurutma makinelerinde filtre üzerine gelen hızın 1,5-2 m/s mertebelerinde olduğu daha önce yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir ve tez kapsamında üst sınır olarak bu değerler kabul edilmiştir. Bununla birlikte kullanılan modelde akışın laminar ve filtre üzerinde Reynolds sayısının 25'ten küçük olması gerektiği belirtilmektedir [4]. Sistemde buna göre yük kaybı hesabı yapılarak oluşan basınç kaybı belirlenmiştir.

Tasarım sırasında kanal için akış için kullanılan temel prensiplerden yararlanılmıştır. Tünelde yapılan kayıp hesabı, filtrelerin yerleştirildiği test alanı ve bu kısmı fana bağlayan, debi ölçümünün gerçekleştiği iki kısımda ayrı ayrı incelenmiştir.

Yük kaybı hesabı yapılırken, kanal içindeki yersel kayıplar ile sürekli kayıplar dikkate alınmıştır. Belirtilen hız ve boru çapı değeri için basınç düşümü hesaplamak için literatürde kullanılan ampirik ifadelerden yararlanılmıştır. Colebrook tarafından geliştirilen, pürüzlü ve pürüzsüz borularda geçiş ve türbülanslı akışlar için geçerli olan, sürtünme faktörü f 'e göre kapalı olan bağıntı aşağıda sunulmuştur [13].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D_K}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (3.17)$$

Bu denklemin daha sonrasında Haaland tarafından açık halde yazılan formu (3.18) numaralı denklemde verilmiştir. Bu denklemden elde edilen sonuçlar Colebrook denkleminde %2 farklıdır. Hesaplamalar sırasında Haaland'a ait denklem kullanılmıştır. [13]

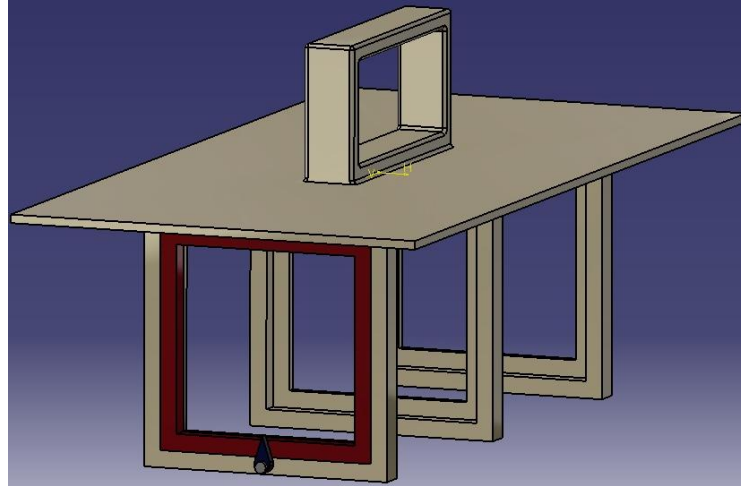
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \quad (3.18)$$

Denklemden görülen ϵ değeri pürüzlülük olup tez kapsamında ticari çelikler için 0.045 mm olan değer ile deney düzeneğinin ilk kısmı için kanal çapı D için, önceden belirlenen 0.15 m değeri kullanılmıştır. Buradan belirlenen f değeri ile yük kaybı h_k ifadesinin hesaplanabilmesi için (3.19) numaralı denklem kullanılmıştır [13].

$$h_k = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3.19)$$

Bu eşitlikte L kanal uzunluğunu, g yer çekimi ivmesini, v ise kanal içindeki hızı temsil etmektedir. Filtre takılacak üç kasette anlık olarak hava akışının daraldığı ve genişlediği bölümler Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Burada üç kaset boyunca filtrenin dar bir kanal içerisinde hareket ettiği kabulü yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu durumda yük kaybı hesabı için kullanılan eşitlik, (3.20) numaralı denklemde verilmiştir.

$$h_y = K_K \frac{v^2}{2g} \quad (3.20)$$



Şekil 3.4 : Filtrelerin düzeneğe yerleştirilebilmesi için tasarlanan kaset.

K_K , keskin daralamalar için kullanılan kayıp katsayısını temsil etmektedir. Ani ve keskin daralmalar için K_K değeri 0.50 olarak belirlenmiş ve (3.20) numaralı denklem kullanılarak h_k hesaplanmıştır. Benzer biçimde filtrelerin takılı olduğu kasetlerin çıkışındaki ani genişleme bölümü için de kinetik düzeltme faktörü kullanılmaktadır.

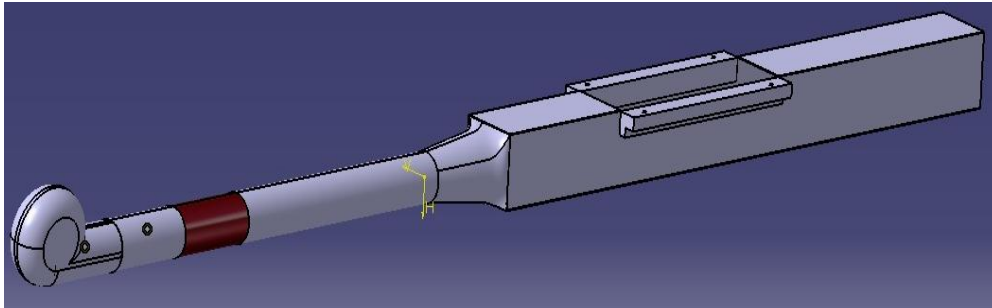
Bu değer türbülanslı akışlar için 1.05 olup, yük kaybı bu değere göre hesaplanmıştır [13].

Bunun haricinde havanın akış yönünde, sürekli ve konik bir biçimde daralmasını sağlayan bir eleman bulunmaktadır. Sürekli daralma sağlayan elemanlarda çoğunlukla kayıp katsayısı oldukęa düşük seviyelerdedir. Bu eleman için d/D oranı 0,67 mertebelerinde olup, kayıp katsayısı koni ağısına göre değişiklik sergilemektedir. Koni ağısı bu kısım 30° seviyelerindedir ve buna denk gelen K_K değeri 0.02'dir [14].

Sistemde oluşan tüm yersel ve sürekli kayıplar aşağıdaki verilen eşitlik ile hesaplanabilmektedir.

$$\Delta h_{top} = h_k + \sum h_y = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_K \right) \frac{v^2}{2g} \quad (3.21)$$

Yapılan işlemler sonucunda ilk bölümde hesaplanan kayıp 0.33 m seviyelerinde hesaplanmıştır. İkinci kısımda herhangi bir yersel kayıp bulunmadığı için denklem 4.19'dan sadece sürekli kayıp hesaplanmıştır. Deney düzeneğindeki toplam kayıp 0,40 m. olup, yaklaşık 4.75 Pa basınę düşümüne sebep olmaktadır.



şekil 3.5 : Deney düzeneği için Catia programı ile oluşturulmuş katı model.

Deney düzeneği ile ilgili hesaplamaların tamamlanması sonrasında Catia programı kullanılarak düzeneğe ait katı model oluşturulmuştur ve katı modele ait görüntü şekil 3.5'te verilmektedir. Katı modeli oluşturulan düzenek, 1 mm'lik ęelik sactan üretilmiştir. Kurulan deney düzeneğine ait görünüş şekil 3.6'da sunulmaktadır.

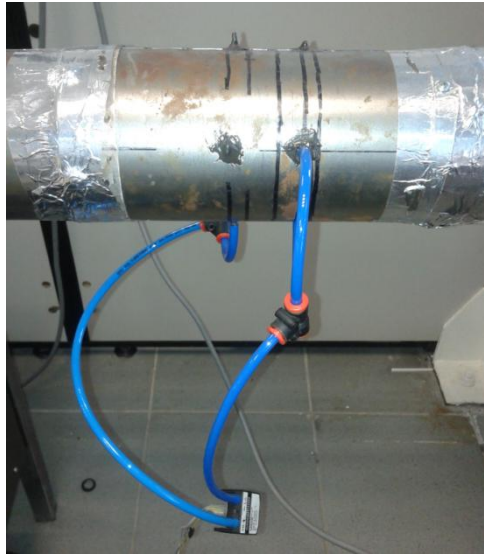


Şekil 3.6 : Deney düzeneği.

Deney düzeneği ile ilgili hesaplamaların tamamlanması sonrasında Catia programı kullanılarak düzeneğe ait katı model oluşturulmuştur. Katı modeli oluşturulan düzenek, 1 mm'lik çelik sactan üretilmiştir. Kurulan deney düzeneğine ait görünüş Şekil 3.6'da sunulmaktadır.

3.3 Deney Düzeneğine Ait Ölçüm Sistemleri ve Belirsizlik Analizi

Test düzeneğinde, filtrenin sebep olduğu basınç kaybını ve buna karşılık gelen debiyi ölçmek amacıyla iki sistem bulunmaktadır. Bu iki değeri belirleyebilmek için ölçüm sistemleri dahilinde basınç problarından, sensörlerden ve annubardan yararlanılmaktadır.



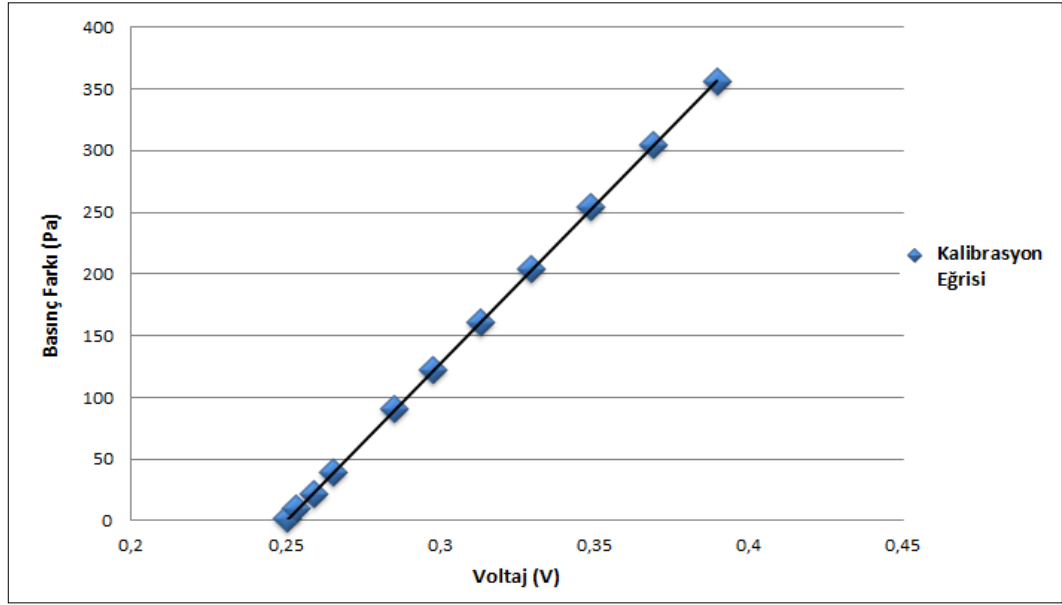
Şekil 3.7 : Deney düzeneğinin debi ölçümünde kullanılan sensör ve annubar.

Test düzeneğindeki debi ölçümü, Şekil 3.7'de gösterilen annubar ve annubara bağlı bir adet sensör ile gerçekleştirilmektedir. Annubar, pitot tüpüne benzer bir prensip ile çalışmaktadır. Üzerinde bulunan girişler yardımıyla toplam basınç ile statik basınç arasındaki farkın ölçülmesi sağlanmaktadır. Toplam ve statik basınç arasındaki fark bir basınç sensörü yardımı ile belirlenmektedir. Bu sensör ve annubar, Şekil 3.8'da gösterildiği şekilde ANSI/ASHREA 51-07 standardına göre kurulmuş bir rüzgar tüneline bağlanarak kalibre edilmiştir.



Şekil 3.8 : Deney düzeneğinin debi ölçümü için kalibrasyonu.

Deney düzeneğine ait fanın bir frekans değiştirici yardımıyla farklı devirlerde çalışması sağlanmış ve sistem üzerinden geçen havanın sebep olduğu basınç farkı, rüzgar tüneline ait bir lüleye bağlı olan mikromanometreden okunmuştur. Annubar üzerindeki basınç sensörü ise voltaj çıkışlı bir sensör olup, hava akışının sebep olduğu basınç düşümüne karşılık bir gerilim üretmektedir. Annubarda gerçekleştirilecek ölçüm için Sensirion SDP 1000-L fark basınç sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.9'de bu sensöre ait kalibrasyon eğrisi gösterilmektedir.



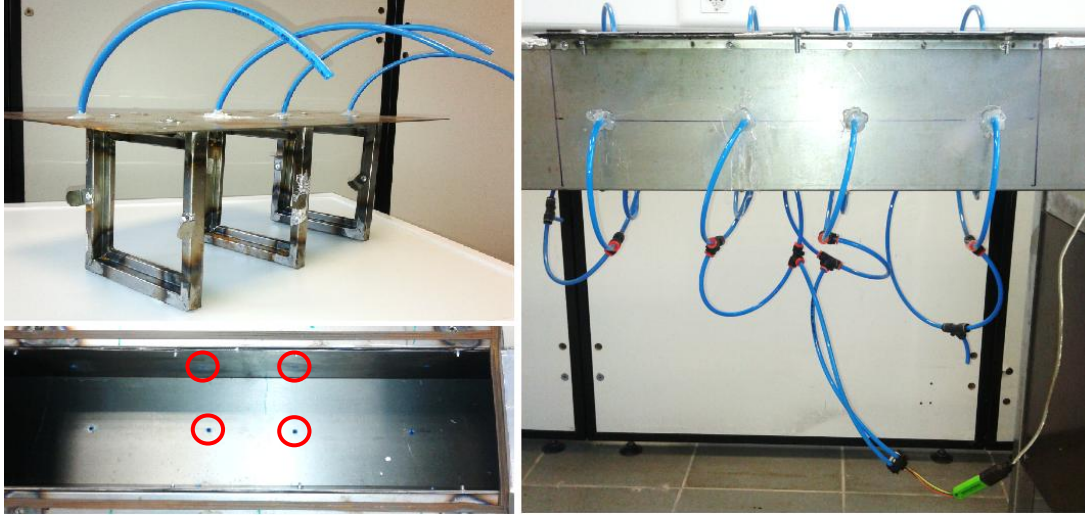
Şekil 3.9 : Debi ölçümünde kullanılan sensöre ait kalibrasyon eğrisi.

Yapılan çalışmalar sonucunda sensöre ait kalibrasyon eğrisi, (3.22) numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$\Delta p = 2549,82 * V - 637,50 \quad (3.22)$$

Deney düzeneği üzerindeki ikinci ölçüm sistemi filtrelerin sebep olduğu basınç düşümünü belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 3.10'da görüldüğü üzere filtre kasetinin önüne ve arkasına dörder tane olmak üzere toplamda sekiz adet basınç probundan ölçüm alınmaktadır. Basınç problemleri rüzgar tünelleri için kullanılan standartlardan yararlanılarak yerleştirilmiş olup, ölçüm yapılan numunenin dört tarafına birbirlerine göre 90° açı ile yerleştirilmiştir. Buna ek olarak basınç problemlerinin, numuneye olan uzaklıklarının 3,8 mm ± 6 mm seviyesinde olmasına dikkat edilmiştir [16]. Filtrenin sebep olduğu basınç düşümü problemlerin birleşerek bağlandığı ikinci bir basınç sensörü ile okunmaktadır. Bu ölçümler için tercih edilen sensör, Sensirion SDP 600/125 olup, basınç düşümünü doğrudan okuyabilmektedir.

Her iki sistemde de kullanılan sensörler okudukları değerler için belirli hata değerlerine sahiptir. Bu hata değerlerinin sisteme yansımaları görmek için ayrı ayrı belirsizlik analizi hesabı yapılmıştır. Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan, oldukça hassas olduğu belirtilen bir yöntem belirsizlik analizi için kullanılmıştır [15].



Şekil 3.10 : Basınç problemlerinin deney düzeneği üzerindeki yerleşimi.

Bu analiz yöntemine göre ölçülmesi gereken büyüklük ve bu büyüklüğün ölçümü sırasında etkili olan bağımsız değişkenler bulunmaktadır. Her bir değişkenin hata oranı ile ölçülmek istenen büyüklüğün toplam hata oranı arasında (3.23) numaralı denklemde sunulan bağıntı ortaya konulmuştur [15].

$$w_R = \left[\left(\frac{\delta R}{\delta x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta R}{\delta x_n} w_n \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.23)$$

Denklemde w hata oranını tanımlarken, R ölçülmesi gereken büyüklüğü, x ise bağımsız değişkenleri göstermek için kullanılmaktadır.[15] Denklem (3.23) kullanılarak her iki sensör için de ayrı ayrı belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Her iki sensör için de firmaya ait kataloglardan hata oranları tespit edilmiş ve bu oranlar Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Her iki belirsizlik analizi işlemi için testler sırasında ölçülen en yüksek değerler kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 : Sensörlerin sistem içindeki görevi ve hata oranları.

Sensör No	Yaptığı Ölçüm	Hata Oranı
Sensör 1	Debi	1%
Sensör 2	Filtredeki Basınç Kaybı	3%

Debi ölçümünde kullanılan bir numaralı sensör için yapılan belirsizlik analizinde, voltaj ve basınç farkı arasındaki bağıntının kurulduğu , (3.24) numaralı denklem kullanılmıştır.

$$w_{\Delta p} = \sqrt{\left[\frac{\delta \Delta p}{\delta V} w_v \right]^2} \quad (3.24)$$

Burada, w_v değerinin belirlemek için belirlenen en yüksek basınç değerine karşılık gelen voltaj değeri kullanılmıştır. Bu parametreye ait en yüksek değer, hesaplanan en büyük debi değerinden elde edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde 120/41 numaraya ait filtrede yapılan ölçümler doğrultusunda yaklaşık 27,63 lt/s değerine ulaşıldığı görülmüştür. Bu değer hesaplanan en yüksek debi değeridir. Hesaplanan bu değerden yola çıkarak 1 numaralı sensörün okuduğu en yüksek voltaj değeri (3.22) numaralı eşitlik yardımıyla 0.363 V olarak belirlenmiş olup, bu değer %1 oranında hatalı olduğu bilinmektedir. Bu veri, (3.24)'te yerine yazıldığında, debi ölçüm sisteminde ortaya çıkan belirsizlik %3,20 mertebesindedir.

Filtrelerin sebep olduğu basınç düşümünün belirlendiği kısımdaki asıl amaç filtrelerle ait basınç kayıp katsayısı C_D , değerini hesaplamaktır. Bu değeri hesaplamak için kullanılan eşitlik, Denklem (3.23)'te sunulmaktadır. Eşitlik incelendiğinde, C_D değerini etkileyen parametrelerin basınç düşümü, hız ve açık alan oranı olduğu görülmektedir. Bu parametrelerden açık alan olan filtrenin geometrik özelliklerine bağlı olup, verilen katalog değerlerine göre hesaplandığı için belirsizlik analizine etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle C_D değerinin hesaplanmasında oluşan belirsizlik aşağıda gösterilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$w_{C_D} = \left[\left(\frac{\delta C_D}{\delta v} w_v \right)^2 + \left(\frac{\delta C_D}{\delta \Delta p} w_{\Delta p} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.25)$$

$$w_{C_D} = \left[\left(\sqrt{\frac{\rho(1-\alpha^2)}{2\Delta p \alpha^2}} * w_v \right)^2 + \left(\sqrt{\frac{\rho v^2(1-\alpha^2)}{2\alpha^2}} * \frac{-1}{2\Delta p^{\frac{3}{2}}} * w_{\Delta p} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.26)$$

Denklem (3.24) içinde görülen hız ifadesi debinin ölçülmesiyle hesaplanabilen bir değerdir. Bu nedenle debi ölçümü sırasında oluşan %3.20 hata payı, hesaplanan en yüksek hız değeri olan 2,284 m/s ile ilişkilendirilmiştir ve w_v değeri için bu şekilde belirlenmiştir. Denklemdeki ölçülen diğer değer ise basınç kaybıdır. Basınç düşümü doğrudan basınç okuyan ve okuduğu değer %3'ü kadar hata yapan bir sensördür.

$w_{\Delta p}$ değerini belirlemek için ölçülen en büyük basınç kaybı değeri olan ve 38/31 numaralı filtrede görülen 34,40 Pa dikkate alınan değer olmuştur. Hesaplanan en büyük C_D değeri, 187/35 numaralı filtreden elde edilen 0,85'tir. Belirsizlik analizinin bu kısmında kullanılan değerler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Belirsizlik analizinde kullanılan değerler.

Hesaplanan En Büyük C_D Değeri	C_D Değerine Karşılık Gelen Basınç	C_D Değerine Karşılık Gelen Hız
0,850	5,292 Pa	1,072 m/s
Hesaplanan En Büyük Hız Değeri	Ölçülen En Büyük Basınç Kaybı Değeri	α
2,284 m/s	34,40	0,391

Bu değerler ile yapılan hesaplamalar doğrultusunda basınç kaybı ölçüm sistemindeki belirsizlik yaklaşık % 11 olarak belirlenmiştir.

3.4 Deney Numuneleri

Filtreler, iplik türü, dokuma tipi ve malzeme tipi değiştirilerek çok farklı şekillerde üretilmektedir. Bu parametrelerin kombinasyonu filtrelerin çalışma koşullarına göre belirlenerek, farklı kombinasyonlar ile çeşitli filtre üretimleri gerçekleştirilmektedir. Tez kapsamında incelenen filtreler, çamaşır kurutma makineleri içerisinde kullanılan ve gaz-katı karışımını ayırmaya yarayan dokuma filtrelerdir. Çamaşır kurutma makinelerinde kullanılan filtreler, çoğunlukla bez ayağı dokuma karakteristiğine sahip, monofilament ipliklerden üretilen filtrelerdir. Tablo 1.3 ve 1.6 incelendiğinde bu durumun en önemli sebebi, bez ayağı dokuma türünün en büyük filtrasyon alanına, buna karşılık monofilament ipliklerin ise en az akış direncine sahip olması şeklinde açıklanabilmektedir. Bununla birlikte, iplik çapında yapılacak değişiklikler ile çok farklı gözenek aralığı ve esneklik değerlerine sahip filtreler elde edilebilmektedir [2].

Tablo 1.5 incelendiğinde filtrelerin üretildiği malzemeye göre sıcaklık dayanıkları görülmektedir. Çamaşır kurutma makinelerinde karşılaştığımız sıcaklıklar düşünülerek test edilen filtrelerin malzemeleri polyester ve metal olarak belirlenmiştir. Malzeme farkının neden olacağı etkiyi belirleyebilmek için katalog

verilerine göre benzer gözenek aralığı ve açık alan değerlerine sahip paslanmaz çelikten üretilen filtreler tercih edilmiştir.

Testlerde kullanılan tüm numuneler monofilament iplik kullanılmış, farklı gözenek aralıklarına ve açık alan değerlerine sahip bez ayağı dokumadır. Testlerde kullanılacak numunelerin özellikleri Çizelge 3.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 : Deneylerde kullanılan numunelere ait özellikler.

Filtre No	Malzeme	Numune Kodu	l (µm)	d₁ (µm)	d₂ (µm)	n_i (adet/m)	n_k (adet/m)
1	Polyester	38/31	65	27	27	15001	15001
2		47/31	81	34	34	12001	12001
3		53/40	84	31	31	12001	12001
4		55/31	95	40	40	10001	10001
5		73/33	121	48	48	7901	7901
6		95/27	175	80	80	5501	5501
7		120/41	184	64	64	5501	5501
8		190/38	310	120	120	3601	3601
9	Paslanmaz Çelik	43/30	78	35	35	12801	12801
10		74/34	127	53	53	7901	7901
11		187/35	317	130	130	3201	3201

4. DENEY DÜZENEGİ VE MAKİNEDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

4.1 Deney Düzeneginden Elde Edilen Sonuçlar

Belirlenen deney numuneleri Şekil 4.1’de gösterildiği biçimde deney düzeneğine yerleştirilmiş olup, filtrelerle air basınç kayıpları belirlenmiştir.



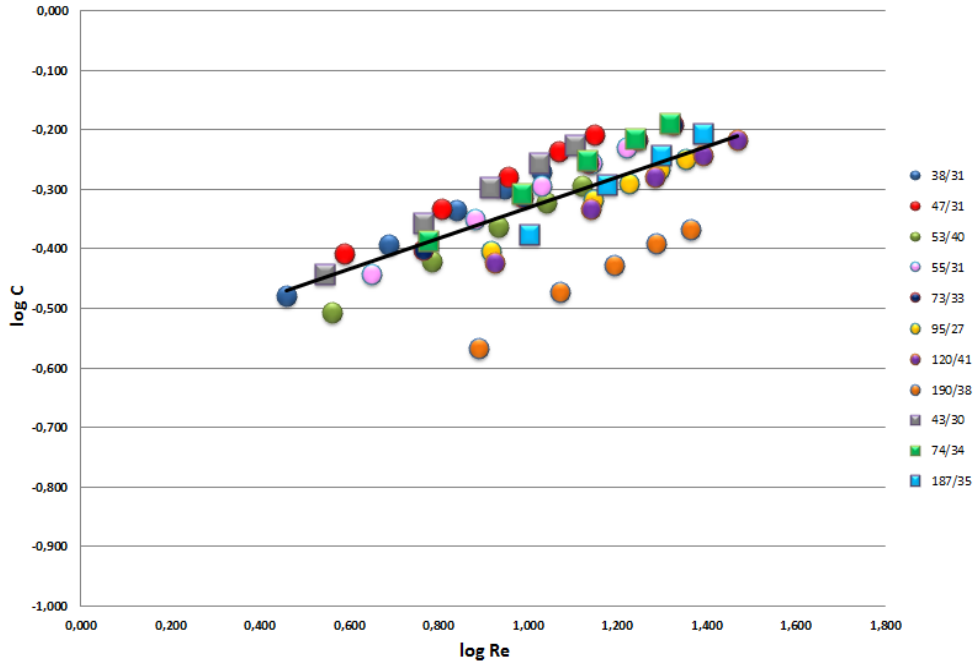
Şekil 4.1 : Filtrelerin deney düzeneği üzerine yerleştirilmesi.

Testlerden elde edilen ölçümlerin hesaplanabilmesi için öncelikli olarak, Gooijer ve Rushton modellerine ait, sırasıyla (3.3) ve (3.14) denklemlerinde sunulan açık alan formülleri ile (3.11) ve (3.15) eşitliklerinde gösterilen ıslak çevre formülleri aracılığıyla her bir filtre için bu değerler hesaplanmış ve Çizelge 4.1’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Gooijer ve Rushton modellerine göre hesaplanan açık alan ve ıslak çevre değerleri.

Numune	Malzeme	α (Gooijer)	α (Rushton)	W (Gooijer)	W (Rushton)
38/31	Polyester	0,4590	0,4040	0,0002	0,0003
47/31		0,4530	0,4010	0,0003	0,0004
53/40		0,5360	0,4420	0,0003	0,0004
55/31		0,4316	0,4097	0,0003	0,0005
73/33		0,4580	0,4340	0,0004	0,0006
95/27		0,4140	0,3640	0,0006	0,0009
120/41		0,5620	0,4660	0,0007	0,0009
190/38		0,6350	0,3730	0,0011	0,0014
43/30	Paslanmaz Çelik	0,4520	0,3550	0,0003	0,0004
74/34		0,4850	0,3880	0,0005	0,0006
187/35		0,5030	0,3910	0,0011	0,0015

Sonuçlar tüm filtreler ve sadece polyester filtreler için her iki model kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir. İncelenen tüm verilerde Reynolds sayısının 25'ten küçük olmasına dikkat edilmiştir.



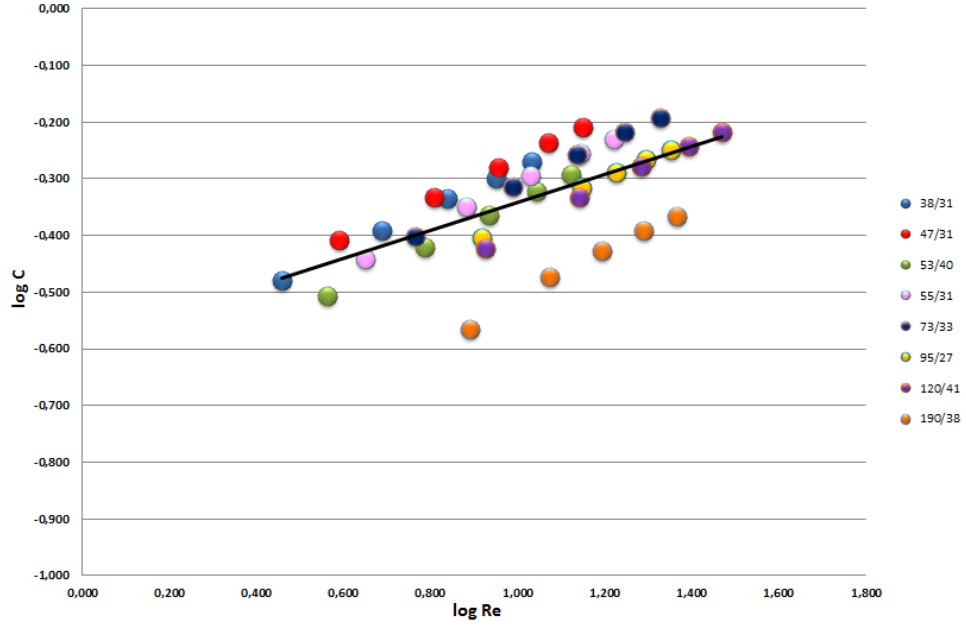
Şekil 4.2 : Gooijer'in modeline göre tüm numuneler için sonuçlar.

Gooijer'in kurduğu model kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.2'de incelenmiş olup, 190/38 numaralı polyester numunenin log C değerinin diğer tüm filtrelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, geniş gözenek boyutları nedeniyle hızın düşük, ıslak çevre değerinin ise tüm filtrelere göre daha büyük olmasıdır. Gooijer'in modeli kullanılarak tüm numuneler için elde edilen eşitlik **(4.1)** numaralı denklemde verilmiştir.

$$C_D = 0,257 Re^{0,258} \quad (4.1)$$

Metal ve polyester filtreler arasındaki farkı belirleyebilmek amacıyla, polyester numunelere ait sonuçlar Şekil 4.3'da sunulmuştur. Aynı model kullanılarak incelenen sonuçlardan elde edilen ve **(4.2)**'de verilen eşitlik, tüm numuneler için elde edilen denkleme göre farklılık göstermektedir. Malzemeden bağımsız olarak gözenek boyutu daha baskın bir parametre olarak görülmektedir.

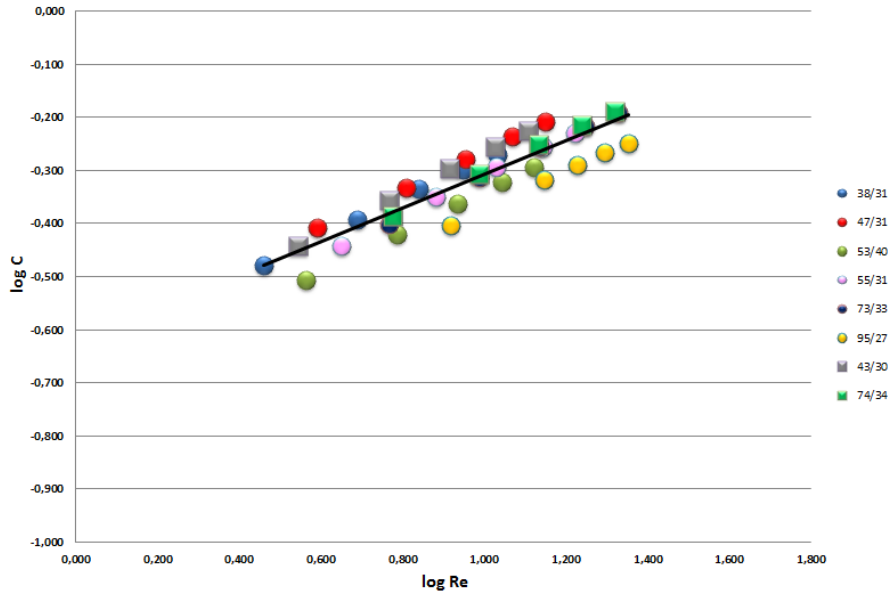
$$C_D = 0,259 Re^{0,246} \quad (4.2)$$



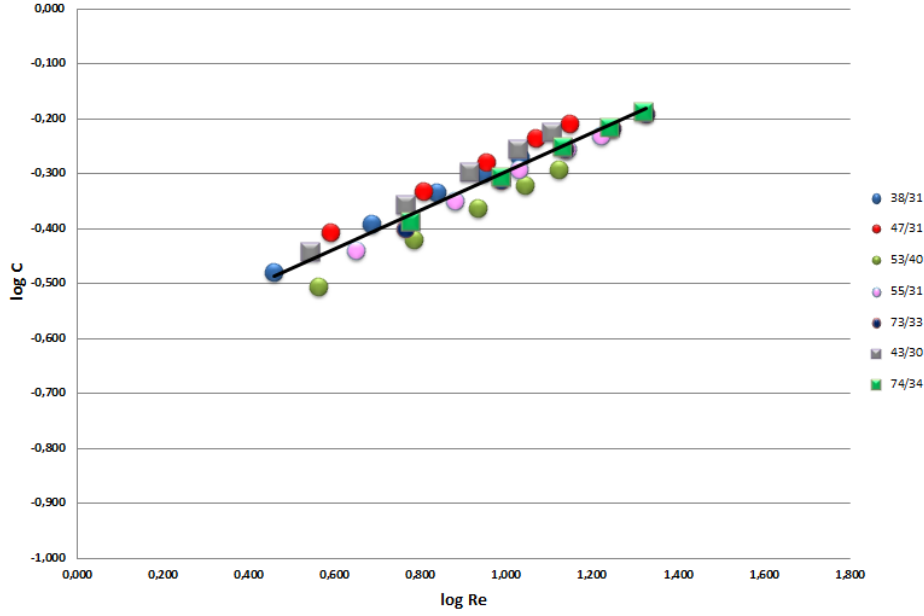
Şekil 4.3 : Gooijer'in modeline göre polyester numuneler için sonuçlar.

Sonuçlar, Gooijer'in modelinden faydalanarak katalog değerine göre gözenek boyutları 100 mikrondan daha düşük olan filtreler için Şekil 4.4 yardımıyla incelendiğinde daha kararlı ve hata değeri daha düşük bir eşitlik elde edilmiştir. 100 mikrondan düşük gözenek boyutuna ait filtrelerle uygun şekilde hesaplanan eşitlik, (4.3) numaralı denklemde verilmiştir.

$$C_D = 0,238 Re^{0,316} \quad (4.3)$$



Şekil 4.4 : Gooijer'in modeline göre gözenek aralığı 100 mikrondan küçük numuneler için sonuçlar.

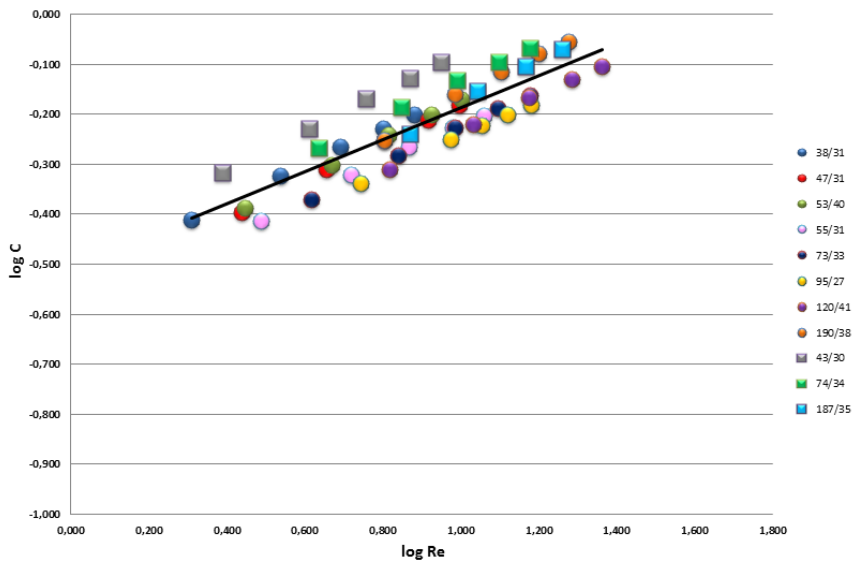


Şekil 4.5 : Gooijer'in modeline göre gözenek aralığı 75 mikrondan küçük numuneler için sonuçlar.

Bu aralık daha da daraltıldığında elde edilen sonuçların gerçeğe daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. 75 mikrondan daha küçük gözenek boyutuna sahip numunelere ait sonuçlar Şekil 4.5'de sunulmaktadır.

$$C_D = 0,224 Re^{0,353} \quad (4.4)$$

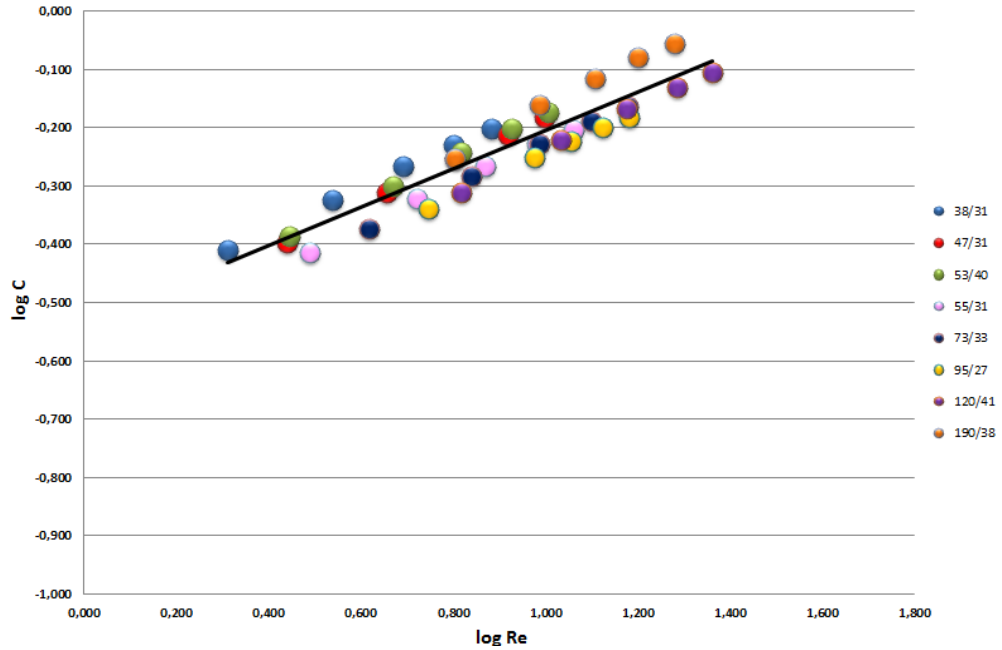
Yapılan testler aynı koşullar için Rushton tarafından kurulan başka bir model aracılığıyla da incelenmiş sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 4.6 : Rushton modeline göre tüm numuneler için sonuçlar.

Rushton'un modeline göre elde edilen sonuçların genelinde daha yüksek logC değerlerinin hesaplandığı görülmüştür. Şekil 4.6 incelendiğinde numunlerin birbirlerine göre olan konumlarının da değiştiği belirlenmiştir. Gooijer'in modelindeki durumun aksine 190/38 numaralı filtre için diğer numunlere daha yakın değerler hesaplanmış ve metal ile polyester numuneler arasındaki farklar belirginleşmiştir. Gooijer modelinde 190/38 ile benzeri olan 187/35 numaralı filtre birbirlerine göre oldukça farklı değerler alırken, Rushton modelinde bu durumun benzeri daha küçük gözenekli metal filtreler ile benzeri olan filtreler arasında görülmektedir. Bu nedenle elde edilen (4.5) numaralı eşitlik, Gooijer'in modeli ile oluşturulan eşitliğe göre farklılık göstermektedir.

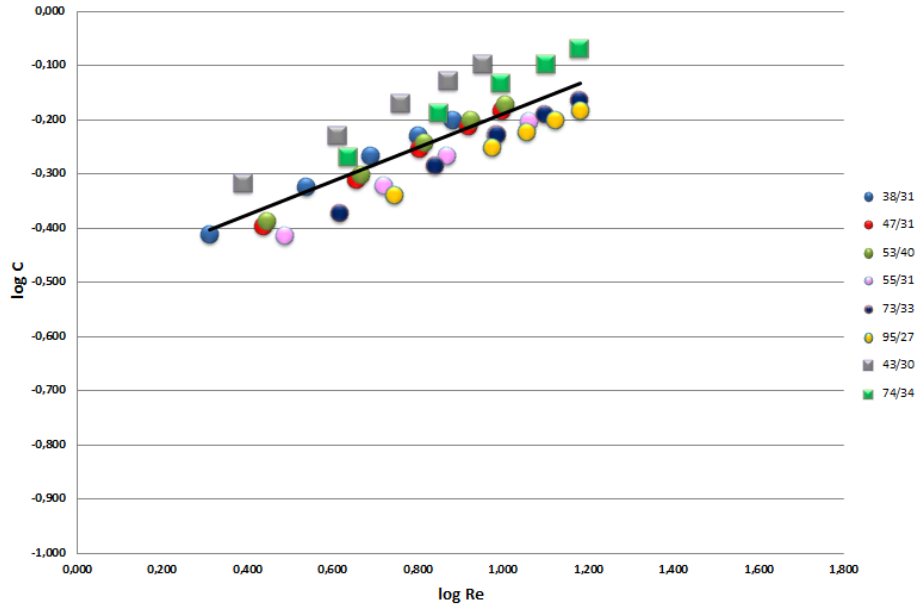
$$C_D = 0,312 Re^{0,320} \quad (4.5)$$



Şekil 4.7 : Rushton modeline göre polyester numuneler için sonuçlar.

Şekil 4.7 'de sadece polyester numunler için Rushton değeri ile hesaplanan sonuçlar sunulmuştur. Gooijer'in kurduğu modelin aksine bu model aracılığı ile polyester filtreler için hata oranı daha düşük bir eşitlik elde edilmiş ve bu eşitlik (4.6) numaralı denklemde sunulmuştur.

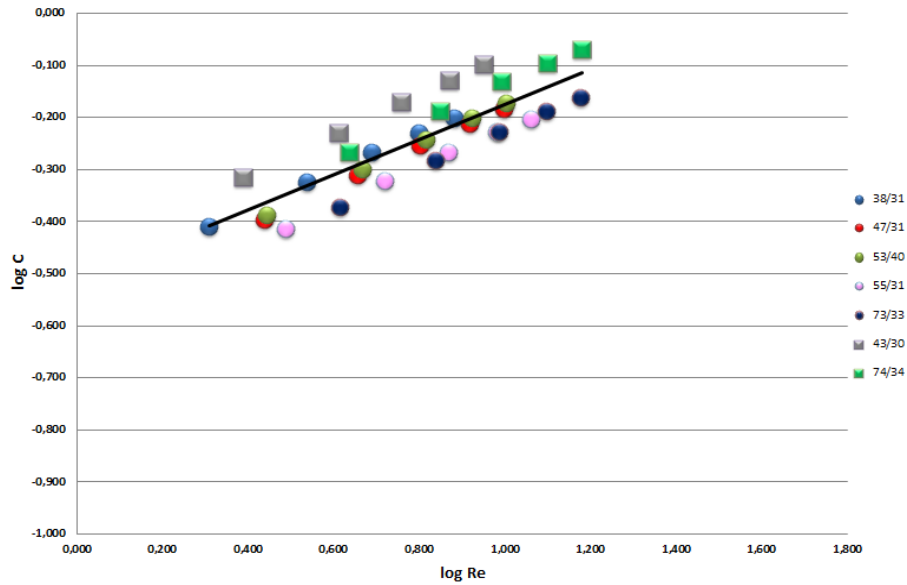
$$C_D = 0,293 Re^{0,328} \quad (4.6)$$



Şekil 4.8 : Rushton modeline göre gözenek aralığı 100 mikrondan küçük numuneler için sonuçlar.

Gooijer modeli göz önüne alınarak gözenek boyutuna göre yapılan kısıtlamalar, aynı şekilde Rushton modeli için de tekrarlanmıştır. Burada metal malzemeden üretilen 74/34 ve 43/30 numaralı numunelerin polyester filtrelerden daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Şekil 4.8'e bağlı olarak 100 mikrondan küçük gözenek boyutları için elde edilen eşitlik, (4.6) numaralı denklemde verilmiştir.

$$C_D = 0,293 Re^{0,328} \quad (4.7)$$



Şekil 4.9 : Rushton modeline göre gözenek aralığı 75 mikrondan küçük numuneler için sonuçlar.

Gooijer'e ait modelde olduğu 75 mikrondan küçük gözenekli filtreler malzeme ayırt etmeksizin Şekil 4.9 yardımıyla incelenmektedir. Bu dağılımdan elde edilen eşitlik denklem (4.8)'de sunulmaktadır.

$$C_D = 0,306 Re^{0,340} \quad (4.8)$$

Tüm filtrelere ait denklemler Çizelge 4.2’da sunulmaktadır. Bu denklemler incelendiğinde model farkı olmaksızın $C_D=A*Re^B$ formunda elde edilen denklemlerde B katsayısının aynı olduğu görülmüştür. Buna ek olarak katalog değerlerinden belirlenen gözenek aralığı arttıkça A katsayısının genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Gooijer ve Rushton modellerinden elde edilen denklemler.

Malzeme	Numune Kodu	Gooijer	Rushton
Polyester	38/31	$C_D=0,226 Re^{0,366}$	$C_D=0,300 Re^{0,366}$
	47/31	$C_D=0,239 Re^{0,359}$	$C_D=0,273 Re^{0,384}$
	53/40	$C_D=0,190 Re^{0,384}$	$C_D=0,275 Re^{0,384}$
	55/31	$C_D=0,209 Re^{0,370}$	$C_D=0,370 Re^{0,256}$
	73/33	$C_D=0,204 Re^{0,376}$	$C_D=0,251 Re^{0,376}$
	95/27	$C_D=0,185 Re^{0,360}$	$C_D=0,248 Re^{0,360}$
	120/41	$C_D=0,170 Re^{0,378}$	$C_D=0,241 Re^{0,378}$
	190/38	$C_D=0,117 Re^{0,418}$	$C_D=0,261 Re^{0,417}$
Paslanmaz Çelik	43/30	$C_D=0,222 Re^{0,388}$	$C_D=0,341 Re^{0,388}$
	74/34	$C_D=0,213 Re^{0,367}$	$C_D=0,316 Re^{0,367}$
	187/35	$C_D=0,156 Re^{0,434}$	$C_D=0,243 Re^{0,434}$

Deney düzeneğinde yapılan testler sonucunda elde edilen eşitliklerin doğruluk derecelerinin belirlenmesi için, ölçülen her bir değere karşılık gelecek şekilde belirlenen denklemler ile hesaplamalar yapılmıştır. EK A dahilinde verilen çizelge A.1 ve çizelge A.2’de, türetilen denklemlerden elde edilen sonuçlar ile ölçümler sonucu belirlenen değerler karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda, kullanılacak olan denklemler belirlenmiştir.

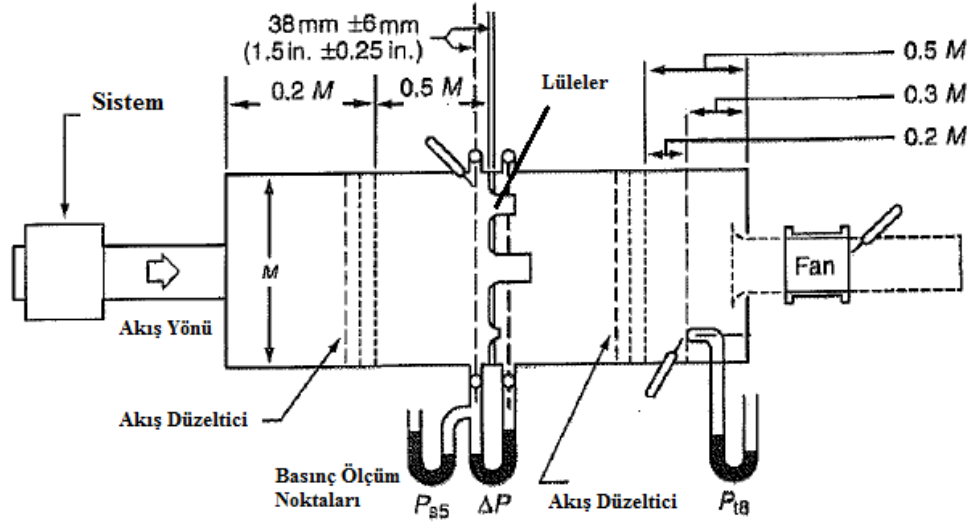
Her bir değer için belirlenen hata değerleri incelendiğinde, Gooijer modelinin kullanıldığı hesaplamalarda gözenek aralığına ait değerin artmasıyla hata oranlarının da kabul edilemez seviyelere ulaştığı görülmüştür. lm belirsizliğine ek olarak hesaplamalar esnasında oluşabilecek hataların da göz önüne alınmasıyla %10 mertebelerindeki farklar kabul edilebilir olarak belirlenmiştir. Gözenek aralığı 100 mikronun altına indiğinde hesaplanan hata değerlerinden ölçüm belirsizi içerisinde kalanların sayısının fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle 100 ve 75 mikron altındaki gözenek aralığı değerlerine sahip filtreler için belirlenen denklemlerin uygun olduğu belirlenmiştir.

izgelge A.2’de Rushton modeli uygulandığında elde edilen sonuçlar için hata değerleri sunulmaktadır. Bu hata değerleri incelendiğinde, Rushton modelinin, Gooijer modelinin aksine gözenek aralığındaki artışa duyarlı olmadığı gözlemlenmiştir. 100 ve 75 mikronun altı için yapılan hata hesaplarında diğer durumlara göre daha yüksek hata değerleri görülmüş olup, tüm numuneler ile sadece polyester malzemeye sahip filtreler için belirlenen denklemlerin kullanılabileceği grlmştir.

4.2 Çamaşır Kurutma Makinesi zerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Çamaşır kurutma makinelerinde kullanılan filtrelerin sistem içinde sebep oldukları basınç kaybının makine üzerinde ölçülmesi, tüm makinenin standart bir rüzgar tüneline bağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu yöntemin zaman alması ve makineye ölçüm sırasında zarar verilmesi sebebiyle filtrelerin makine üzerinde sebep oldukları basınç kayıplarının, makineden bağımsız bir deney düzeneği ile ölçülmesi istenmektedir.

Makine üzerinden ölçümler alabilmek ve bu ölçümlerin deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslayabilmek için standart bir rüzgar tüneli ile deneyler yapılmıştır. Bu tünel, ANSI/AMCA 210-07 standartlarına göre kurulmuş bir rüzgar tüneli olup, düşük debi ve basınç değerlerine sahip fanlar ile üzerine bağlanan sistemlerin basınç kayıplarını ölçmek için kullanılmaktadır. Tünelde kullanılan tüm ekipmanlar şekil 4.10’da gösterilen şematik resme uygun olacak şekilde yerleştirilmiş ve aynı standartta verilen geometrik parametrelere bağlı kalınarak sisteme dahil edilmiştir. [16]



Şekil 4.10 : ANSI/AMCA 210-07 standardına göre kurulmuş rüzgar tüneline ait şematik resim.

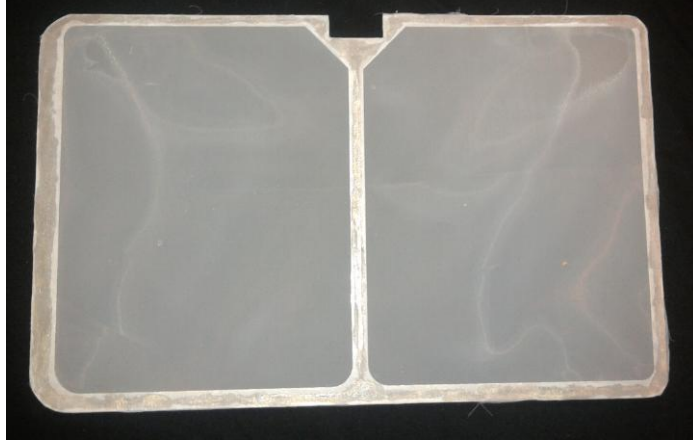
Tünelde bulunan üç lüle, tünele bağlanan sistemin kapasitesine ve ölçülmek istenen değer aralığına bağlı olarak değiştirilmektedir. Ölçümler, lülelerin ön ve arkalarında bulunan basınç prizleri yardımıyla alınmaktadır. Lülerin oluşturduğu basınç kaybı lülelerden ölçülerek deneyde kullanılan debi değeri belirlenmektedir. [16]



Şekil 4.11 : Çamaşır kurutma makinesinin rüzgar tüneline bağlanması.

Tünelde yapılan deneylerde, daha önce deney düzeneğinde kullanılan aynı numuneler test edilmiştir. Makine üzerinde alınan ölçümlerde, ilk olarak makinede

filtrenin olmadığı durum için sistemin toplam basınç kaybı belirlenmiş, ardından filtreler değiştirilmek suretiyle her bir filtre için sisteme ait basınç kaybı ölçülmüştür. Bu iki ölçüm arasındaki farktan yararlanarak, filtrenin sistem içinde neden olduğu basınç düşümü belirlenmiştir. Bu deneyler süresince kullanılan filtre yapısı Şekil 4.12’de sunulmaktadır.



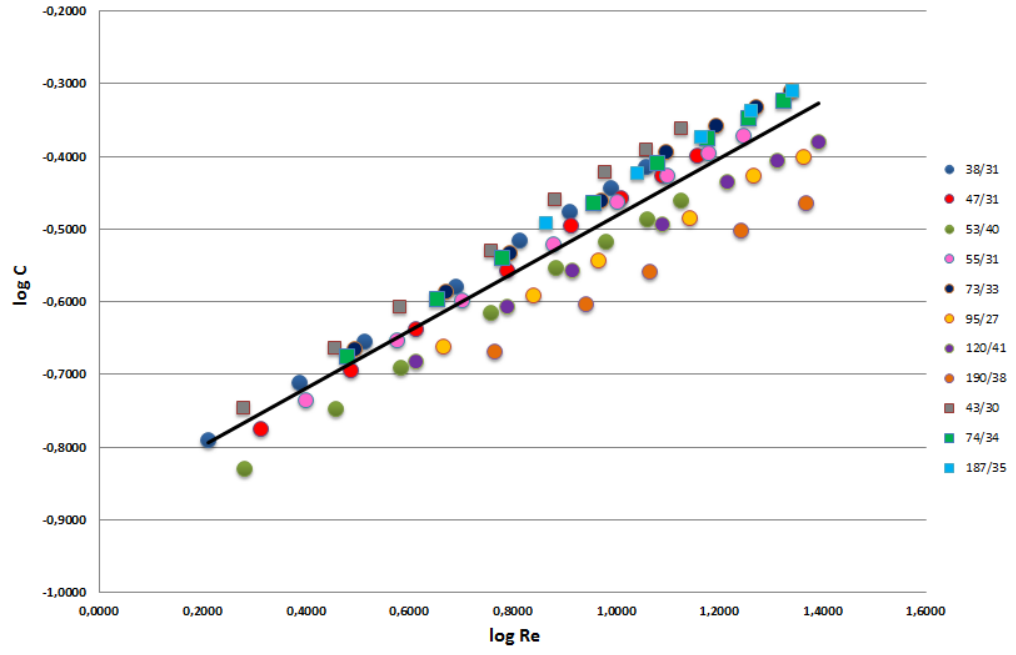
Şekil 4.12 : Makineye yerleştirilen örnek filtre.

Yapılan ölçümlerin ardından Gooijer ve Rushton’a ait modeller deney düzeneğine benzer biçimde buradaki değerler için uygulanmıştır.

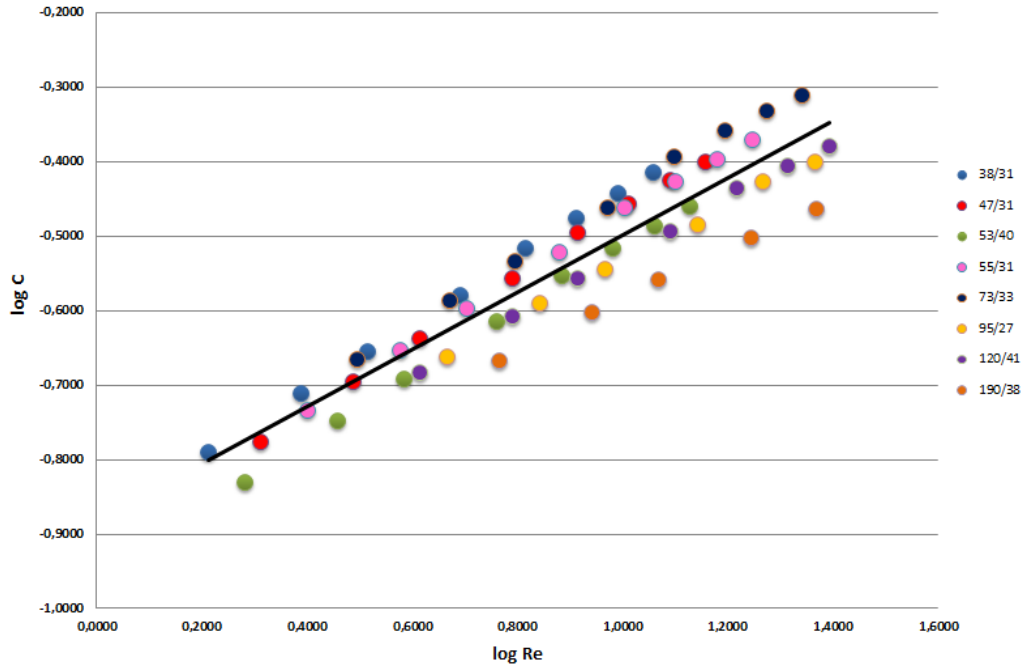
Şekil 4.13’de makine üzerinde test edilen tüm numunelere ait Gooijer Modelinden yararlanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Burada deney düzeneğindeki ölçümlere benzer biçimde 190/38 numaralı numunenin diğer filtrelerle göre daha düşük logC değerine sahip olduğu görülmüştür. Makine üzerinden alınan ölçümlerde numunelerin birbirlerine göre konumları da benzerlik göstermesine karşın, ölçümlerin saçınıklığında azalma gözlemlenmiştir.

Bu dağılım sonucu elde edilen eşitlik, **(4.9)** numaralı denklemde sunulmuştur.

$$C_D = 0,132 Re^{0,396} \quad (4.9)$$



Şekil 4.13 : Gooijer modeline göre makine üzerinden tüm numuneler için alınan sonuçlar.



Şekil 4.14 : Gooijer modeline göre makine üzerinden polyester numuneler için alınan sonuçlar.

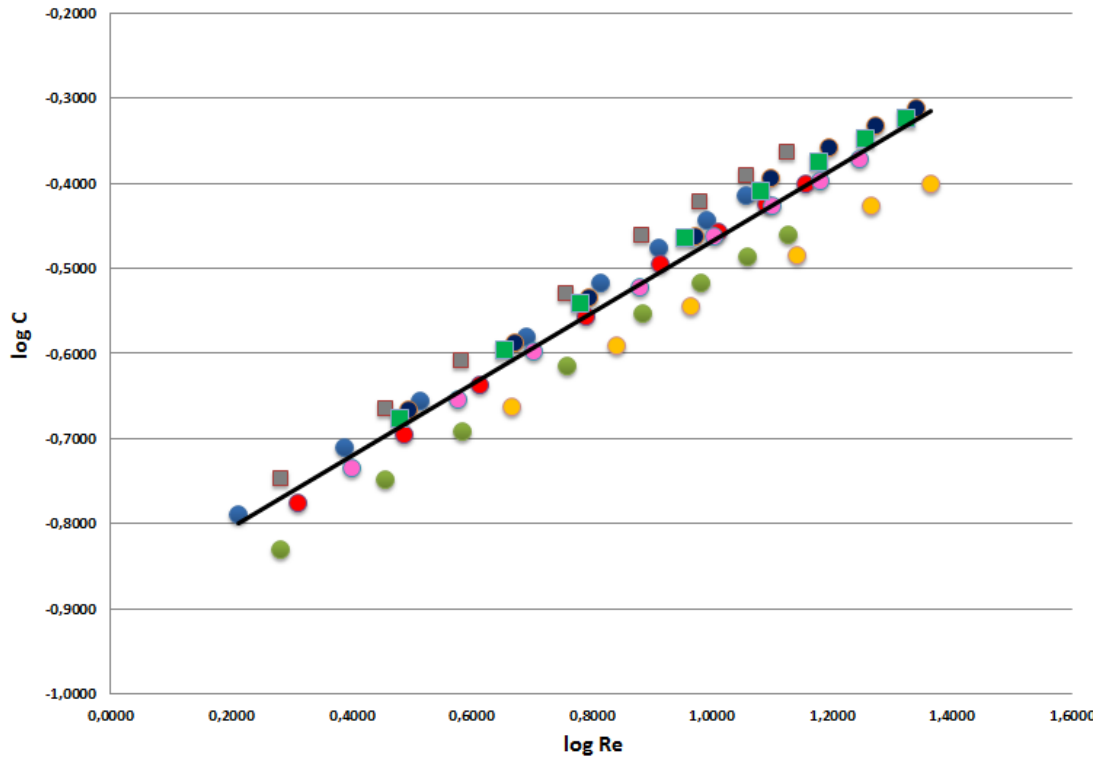
Deney düzeneğinde yapılan testler sırasında farklı parametrelerin etkisi görebilmek için kullanılan kısıtlar makine üzerinde yapılan sonuçlar incelenirken de göz önüne alınmıştır. Bu nedenle makine üzerinde test edilen numunelerden yalnızca polyester filtreler için sonuçlar Şekil 4.14'da ayrıca incelenmiştir. Dağılımda ciddi bir

değişiklik görülmemekle birlikte bu dağılımdan elde edilen eşitlik, (4.10)'te sunulmuştur.

$$C_D = 0,131 Re^{0,383} \quad (4.10)$$

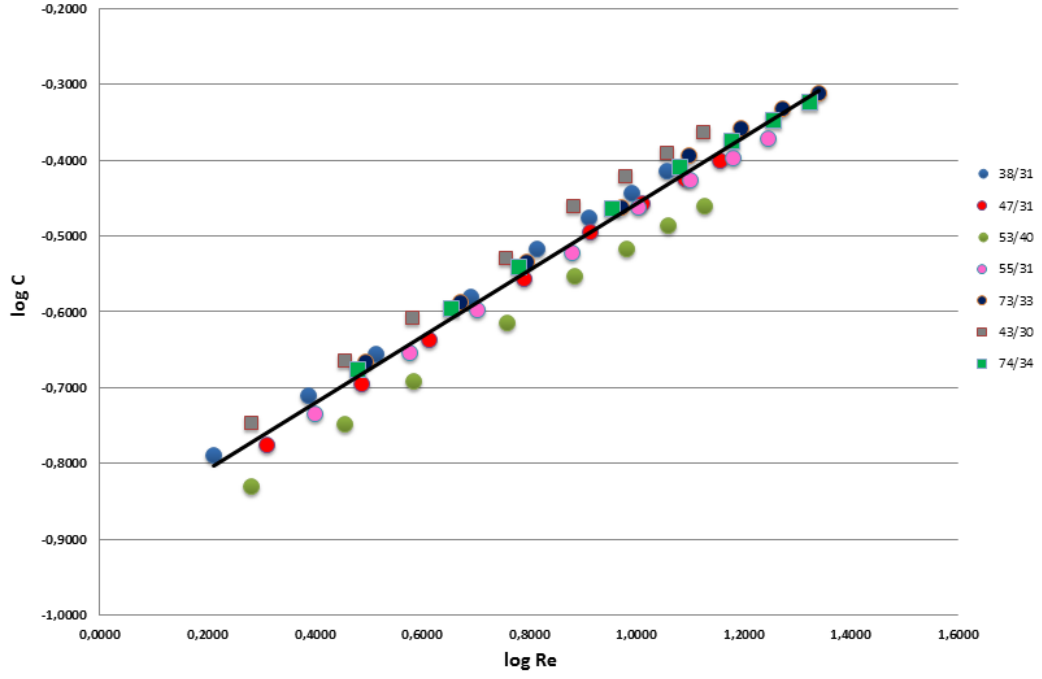
Gözenek aralığı 100 mikrondan küçük numunelerden alınan sonuçların birlikte irdelenmesiyle elde edilen dağılım Şekil 4.15'de sunulmuş olup, bu dağılımda diğer numunelere göre en farklı sonucun 95/27 numaralı filtreye ait olduğu görülmüştür. Bu durum için elde edilen bağıntı, (4.11)'da verilmiştir.

$$C_D = 0,129 Re^{0,420} \quad (4.11)$$



Şekil 4.15 : Gooijer modeline göre makine üzerinden 100 mikrondan küçük gözenek aralığına sahip numuneler için alınan sonuçlar.

Gözenek aralığı 75 mikrondan küçük tercih edildiğinde dağılımın daha kararlı olduğu gözlemlenmektedir. Diğer numunelere göre en farklı sonuç veren filtre 53/40 numaralı filtredir. Bu filtrenin diğer numunelerden en önemli farkı yüzde açık alan değerinin diğer filtrelerle göre oldukça büyük olmasıdır.



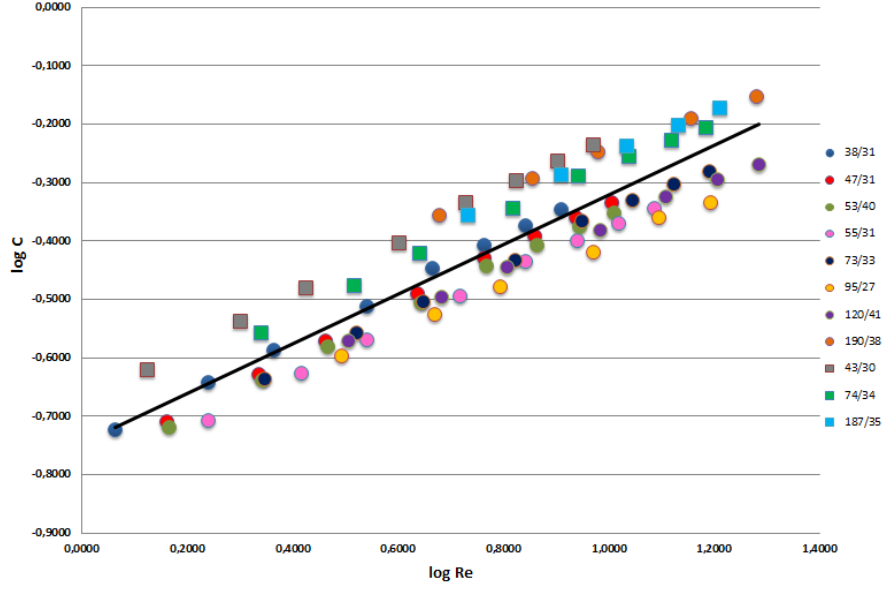
Şekil 4.16 : Gooijer modeline göre makine üzerinden 75 mikrondan küçük gözenek aralığına sahip numuneler için alınan sonuçlar.

Bu dağılımdan elde edilen bağıntı, (4.12) numaralı denklemde sunulmuştur.

$$C_D = 0,126 Re^{0,440} \quad (4.12)$$

Makine üzerinde Gooijer modeli baz alınarak yapılan incelemelerin tamamı Rushton modeline uygun olacak şekilde tekrarlanmıştır. Şekil 4.17’de Rushton modelinin tüm numuneler için kullanılması sonucunda ortaya çıkan dağılım sunulmuştur. bu dağılım deney düzeneğinde karşılaşılan dağılıma benzerlik göstermektedir ve log C değerleri aynı mertebelerdedir. Bu dağılıma ait bağıntı aşağıda verilmektedir.

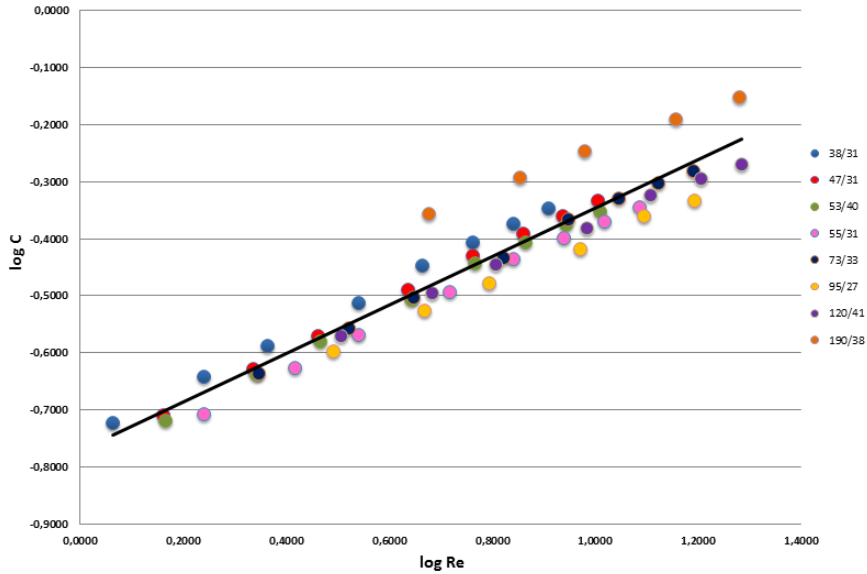
$$C_D = 0,179 Re^{0,426} \quad (4.13)$$



Şekil 4.17 : Rushton modeline göre makine üzerinden tüm numuneler için alınan sonuçlar.

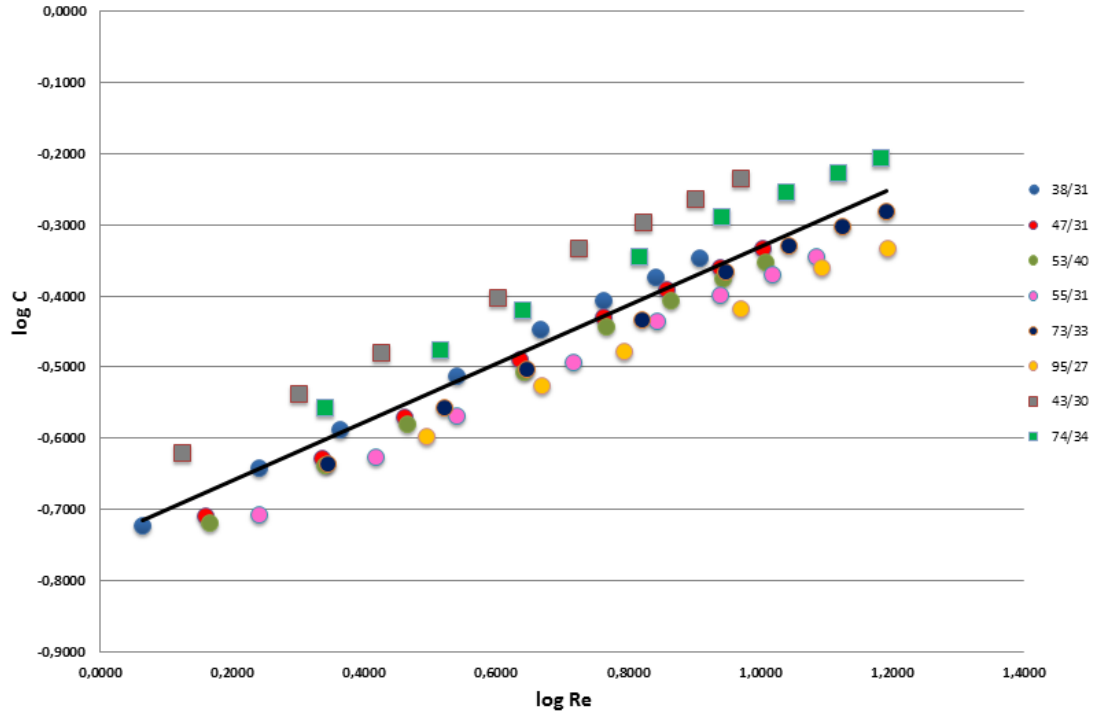
Aynı model kullanılarak sadece polyester filtreler için sonuçların incelendiği durum Şekil 4.18'de gösterilmektedir. burada Gooijer Modelinin aksine 190/38 numaralı filtrenin en büyük log C değerlerine sahip olduğu ve diğer polyester filtreler için oldukça farklı konumlandığı görülmüştür. Dağılım sonucu oluşturulan bağıntı, (4.14) numaralı denklem ile görülmektedir.

$$C_D = 0,170 Re^{0,423} \quad (4.14)$$



Şekil 4.18 : Rushton modeline göre makine üzerinden polyester numuneler için alınan sonuçlar.

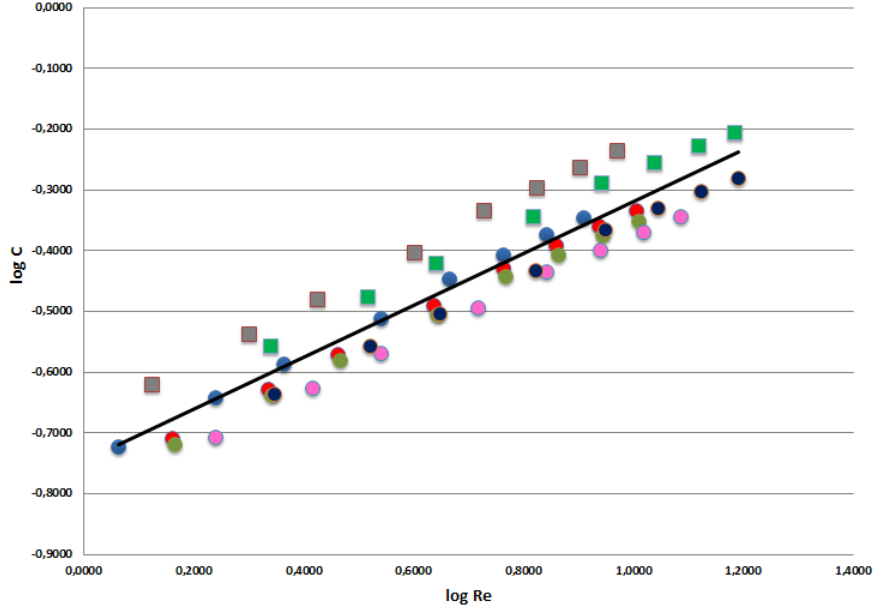
Malzeme dışında gözenek boyutunun da etkili bir parametre olduğunun bilinmesi sebebiyle daha önceki testlerdeki gibi 100 mikrondan düşük gözenek aralığına sahip numunelere ait sonuçlar ayrıca incelenmiş ve Şekil 4.19'te sunulmuştur. Bu dağılımda 74/34 ve 43/30 numaralı filtrelerin sonuçlarının en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Gooijer modelinin aksine metal filtreler, benzer gözenek boyutuna sahip polyester filtrelerden daha farklı sonuçlar sergilemiştir.



Şekil 4.19 : Rushton modeline göre makine üzerinden gözenek aralığı 100 mikrondan küçük numuneler için alınan sonuçlar.

Bu dağılım için dikkate alınan ölçümlerden yola çıkarak elde edilen denklem (4.15) numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$C_D = 0,181 Re^{0,410} \quad (4.15)$$



Şekil 4.20 : Rushton modeline göre makine üzerinden gözenek aralığı 75 mikrondan küçük numuneler için alınan sonuçlar.

75 mikrondan daha küçük gözenek aralığına sahip numuneler için Şekil 4.20'te incelenen sonuçlar ile 100 mikrondan küçük durumda incelenen sonuçlar arasından dağılım açısından benzerlik görülmüş ve metal filtrelerin diğer filtrelerden ayrıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle Gooijer modelinde küçük gözenekli filtreler için daha kararlı bir denklem elde edilmesine karşılık, bu denklem için sonuçlar saçınıklık arz etmektedir. Bu dağılımdan elde edilen eşitlik **(4.16)** numaralı denklemde sunulmuştur.

$$C_D = 0,179 Re^{0,427} \quad (4.16)$$

Makine üzerinde yapılan testler sonucunda her bir filtreye ait basınç kayıp katsayısını veren denklem Çizelge 4.5'de sunulmaktadır. Elde edilen denklemler, deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında denkleme ait katsayıların oldukça farklı olduğu görülmektedir. Buna ek olarak makine üzerindeki sonuçlar için de aynı farklılığın iki model arasında da olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak denklemdeki katsayıları ile gözenek boyutları arasında deney düzeneğindeki sonuçların aksine doğrudan bir ilişkisi belirlenememektedir.

Çizelge 4.3 : Gooijer ve Rushton modelleri kullanılarak makine üzerinde her bir filtre için elde edilen sonuçlar.

Malzeme	Numune Kodu	Çamaşır Kurutma Makinesi	
		Gooijer	Rushton
Polyester	38/31	$C_D=0,130 \text{ Re}^{0,447}$	$C_D=0,178 \text{ Re}^{0,447}$
	47/31	$C_D=0,122 \text{ Re}^{0,448}$	$C_D=0,166 \text{ Re}^{0,448}$
	53/40	$C_D=0,112 \text{ Re}^{0,439}$	$C_D=0,163 \text{ Re}^{0,439}$
	55/31	$C_D=0,125 \text{ Re}^{0,432}$	$C_D=0,156 \text{ Re}^{0,432}$
	73/33	$C_D=0,134 \text{ Re}^{0,427}$	$C_D=0,166 \text{ Re}^{0,427}$
	95/27	$C_D=0,123 \text{ Re}^{0,377}$	$C_D=0,166 \text{ Re}^{0,377}$
	120/41	$C_D=0,120 \text{ Re}^{0,391}$	$C_D=0,172 \text{ Re}^{0,391}$
	190/38	$C_D=0,119 \text{ Re}^{0,339}$	$C_D=0,260 \text{ Re}^{0,339}$
Paslanmaz Çelik	43/30	$C_D=0,134 \text{ Re}^{0,459}$	$C_D=0,210 \text{ Re}^{0,457}$
	74/34	$C_D=0,135 \text{ Re}^{0,418}$	$C_D=0,203 \text{ Re}^{0,418}$
	187/35	$C_D=0,150 \text{ Re}^{0,385}$	$C_D=0,230 \text{ Re}^{0,385}$

Makine üzerinden alınan ve sırasıyla Gooijer ile Rushton modelleri için incelenen sonuçlara ait hata tabloları sırasıyla , EK A bölümünde Çizelge A.3 ve Çizelge A.4’te sunulmuştur. Hata oranları incelendiğinde, genel eğilimin deney düzeneğindeki sonuçlara benzediği görülmüştür. Gooijer modeli kullanılarak oluşturulan denklemlerde, büyük gözenek aralıkları için hata oranlarının deney düzeneğine göre daha az olduğu fakat halen kabul edilebilir hedef değerlerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Rushton modelinde ise deney düzeneğine göre daha yüksek hata oranları görülmüştür. Buna karşılık tüm numuneler için belirlenen denklem özellikle her gözenek aralığındaki metal filtreler için daha kararlı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu denklemin metal filtreler için kullanılması mümkün olmaktadır.

4.3 Deney Düzeneği ile Makineden Elde Edilen Sonuçların İlişkilendirilmesi

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerin amacı, kurulan test düzeneği ile makine arasında bir bağıntı oluşturarak, deney düzeneğini kullanılabılır hale getirmek ve makineye yerleştirilecek herhangi bir filtrenin sistemde sebep olacağını basınç düşümünü rahat bir biçimde belirlemektir. Bu amaçtan yola çıkarak, makine üzerinde ve deney düzeneğinde yapılan testlerin sonuçlarına ait, EK A dahilindeki tablolarda gösterilen hata oranları dikkate alınarak çamaşır kurutma makinesi ile deney düzeneği arasındaki bağıntılar oluşturulmuştur. Buna ek olarak deney sonuçlarının incelenmesi sırasında belirlenen kısıtlar, elde edilecek olan bağıntıların belirlenmesinde de önemli bir rol oynamıştır.

Yapılan testler sonucunda ortaya çıkan hata oranları Çizelge A.1 ve Çizelge A.3 incelendiğinde Gooijer modelinden yararlanılarak, 75 mikrondan küçük gözenek aralığına sahip filtreler için elde edilen sonuçların daha doğru olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, Gooijer modeli ile makine üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen (4.12) numaralı bağıntı ile deney düzeneğinden elde edilen denklem (4.4) verilen düzeneğe ait eşitlik arasında bir oran kurulmuştur.

$$\frac{C_{DM}}{C_{DD}} = \frac{0,126 Re_{Makina}^{0,44}}{0,224 Re_{Düzenek}^{0,353}} \quad (4.17)$$

Bu eşitlikte matematik modelde sırasıyla (2.3) ve (3.4)'te tanımlanmış olan C_D ve Re ifadeleri yerine yazılarak, her bir filtre için sabit olan geometrik ifadeler sadeleştirilmiştir. Gerekli sadeleştirmelerin yapılması sonucunda eşitlik, denklem (4.18)'de gösterilen forma getirilmiştir.

$$\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{\sqrt{\Delta P_M}} = 0,562 \left(\frac{4\rho v_D}{W n_k n_i \mu} \right)^{0,087} \left(\frac{v_D}{v_M} \right)^{0,56} \quad (4.18)$$

Burada v_D ve v_M sırasıyla deney düzeneği ve makinede filtre üzerine gelen hızı temsil etmekte olup, hacimsel debinin filtrenin toplam alanına oranı şeklinde ifade edilmiştir. Bu parametreler üstte verilmiş olan (4.18)'de yerine yazılıp gerekli düzenlemeler yapıldığında aşağıda sunulan denklem elde edilmiş olup, 75 mikrondan küçük gözenekli filtreler için makine üzerindeki basınç kaybını veren ifade oluşturulmuştur.

$$\Delta P_{M_1} = \left[\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{0,562 Re_{D_{\text{düzenek}}}^{0,087}} \left(\frac{Q_M}{Q_D A_E} \right)^{0,56} \right]^2 \quad (4.19)$$

Bu ifadede görülen ve (4.20) numaralı denklemde tanımlanan A_E parametresi, makine içerisindeki filtrenin toplam alanının, düzenepteki filtre alanına oranı şeklinde tanımlanmaktadır ve ifadeyi sadeleştirmesi amacıyla kullanılmaktadır.

$$A_E = \frac{A_M}{A_D} \quad (4.20)$$

Benzer ifadeler 75 mikrondan büyük gözenekli polyester ve metal filtreler için de türetilmiştir. Gözenek aralığı 75 mikrondan büyük polyester filtreler için Rushton modeli kullanılarak sadece polyester filtreler için, deney düzeneğı ve makine üzerinden belirlenmiş olan (4.6) ve (4.14) numaralı denklemler kullanılmıştır. Bir önceki durumda uygulanan işlemler sırasıyla bu bağıntının elde edilişı sırasında da kullanılmıştır.

$$\frac{C_{DM}}{C_{DD}} = \frac{0,170 Re_{Makina}^{0,423}}{0,293 Re_{D_{\text{düzenek}}}^{0,328}} \quad (4.21)$$

$$\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{\sqrt{\Delta P_M}} = 0,580 \left(\frac{4\rho v_D}{W n_k n_i \mu} \right)^{0,095} \left(\frac{v_D}{v_M} \right)^{0,577} \quad (4.22)$$

Denklem (4.22)'nin düzenlenmesi sonucunda gözenek aralığı 75 mikrondan büyük polyester filtreler için kullanılabilecek olan denklem, (4.23) numaralı eşitlikte sunulmuştur.

$$\Delta P_{M_2} = \left[\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{0,580 Re_{D_{\text{düzenek}}}^{0,095}} \left(\frac{Q_M}{Q_D A_E} \right)^{0,577} \right]^2 \quad (4.23)$$

Bu denklemden elde edilen sonuçların yaklaşık %15 mertebelerinde gerçek değerden farklı olduğu görülmüştür. Bu nedenle aynı değerdeki bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sonuçlar gerçek değerlerin seviyelerine çekilmiştir. Güvenlik katsayısının eşitliğe eklenmiş hali denklem (4.24)'da sunulmuştur.

$$P_{M_2} = 3,418 \left[\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{Re_{D\underline{u}zenek}^{0,095}} \left(\frac{Q_M}{Q_D A_E} \right)^{0,577} \right]^2 \quad (4.24)$$

Buna ek olarak, belirlenen bu denklem tüm polyester filtreler için geçerli olup, büyük gözenekli filtrelerde daha doğru sonuçlar vermesi nedeniyle özellikle 75 mikrondan büyük gözenekli filtreler için kullanılmaktadır.

Benzer yöntemle oluşturulan son eşitlik 75 mikrondan büyük gözenekli metal filtreler için kullanılmaktadır. Burada da Rushton modelinden türetilen tüm filtreler için türetilen denklem (4.5) ve (4.13)'de verilmiş olan denklemler kullanılmaktadır. Aynı prosedürün izlenmesi sonucunda (4.27) numaralı eşitlikte verilen ve 75 mikrondan büyük metal filtreler için kullanılması önerilen denklem aşağıda gösterilmektedir.

$$\frac{C_{DM}}{C_{DD}} = \frac{0,179 Re_{Makina}^{0,426}}{0,312 Re_{D\underline{u}zenek}^{0,320}} \quad (4.25)$$

$$\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{\sqrt{\Delta P_M}} = 0,573 \left(\frac{4\rho v_D}{W n_k n_i \mu} \right)^{0,106} \left(\frac{v_D}{v_M} \right)^{0,574} \quad (4.26)$$

$$\Delta P_{M_3} = \left[\frac{\sqrt{\Delta P_D}}{0,573 Re_{D\underline{u}zenek}^{0,106}} \left(\frac{Q_M}{Q_D A_E} \right)^{0,574} \right]^2 \quad (4.27)$$

Elde edilen korelasyonların doğruluğunun kanıtlanması için makinede yapılan ölçümler referans alınarak belirlenen parametreler doğrultusunda ölçülen basınç kaybı değerleri ile hesaplanan değerler Çizelge 4.4'te kıyaslanmaktadır.

Çizelge 4.4 : 75 mikrondan küçük gözenekli filtreler için kurulan korelasyona ait örnek hata değerleri tablosu

Filtre	Makine Debisi - 30 lt/s $Re_D = 5-10$		Makine Debisi - 50 lt/s $Re_D = 5-10$	
	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı
38/31	29,600	29,932	51,02	53,040
47/31	27,554	23,507	48,47	41,655
53/40	23,140	23,068	40,85	40,877
55/31	26,434	26,833	47,42	47,548
73/33	17,366	19,309	30,02	34,215
43/30	24,390	25,082	41,46	44,447
74/34	15,110	16,687	27,92	29,570

Çizelge 4.5 : 75 mikrondan büyük gözenekli polyester filtreler için kurulan korelasyona ait örnek hata değerleri tablosu.

Filtre	Makine Debisi - 30 lt/s $Re_D = 5-10$		Makine Debisi - 50 lt/s $Re_D = 5-10$	
	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı
95/27	29,600	24,744	51,02	46,750
120/41	11,525	12,583	21,32	22,688
190/38	8,170	8,881	17,27	16,013

Çizelge 4.6 : 75 mikrondan büyük gözenekli metal filtreler için kurulan korelasyona ait örnek hata değerleri tablosu.

Filtre	Makine Debisi - 30 lt/s $Re_D = 5-10$		Makine Debisi - 50 lt/s $Re_D = 5-10$	
	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı
187/35	6,741	7,160	12,600	12,870

Makine üzerinden alınan ölçümler ile belirlenen korelasyonlar doğrultusunda hesaplanan değerlerin kıyaslanması sırasında oluşan farkı oransal olarak gösteren ifade **(4.28)** numaralı eşitlikte verilmektedir.

$$Fark = \frac{(\Delta P_{ölçüm} - \Delta P_{hesap})}{\Delta P_{ölçüm}} * 100 \quad (4.28)$$

Çizelge 4.4, çizelge 4.5 ve çizelge 4.6'da örnek hata tabloları sunulmuş olup, EK B içerisinde yer alan grafikler ile elde edilen korelasyonlar ile hesaplanan ve makine üzerinden ölçülen değerlerin tamamı incelenmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde Gooijer modeline göre incelenen 75 mikrondan küçük gözenekli tüm numuneler için Reynolds sayısının 10'dan küçük olduğu durumlarda seçilen tüm debi değerlerinde sonuçların en fazla 5 Pa fark ile ölçülen değere yaklaştığı görülmüştür. Sadece 47/31 numaralı filtrede düşük Reynolds sayılarında dahi özellikle yüksek debilerde hesaplanan sonuçlar ile ölçülen değerler arasında 10 Pa'dan daha fazla fark olduğu görülmektedir. Makinenin toplam basınç kaybı yapılan testler sonucunda yaklaşık 500 Pa seviyelerinde olup, 5 Pa seviyelerindeki farklar kabul edilebilmektedir.

Çizelge 4.5 baz alınarak 75 mikrondan daha büyük gözenek boyutuna sahip polyester filtreler için Rushton modeli kullanılarak elde edilen **(4.24)** numaralı denkleme ait sonuçların tamamı EK B tablolarından yararlanılarak incelendiğinde Gooijer modelinin aksine Reynolds sayısının artmasıyla ölçüm ile yapılan hesap arasındaki fark azalmaktadır. Buna ek olarak yüksek makine debilerinde elde edilen sonuçlara ait hata oranlarının diğerlerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir.

Son olarak 75 mikrondan büyük metal filtreler için elde edilen denkleme ait sonuçlar incelendiğinde Rushton modelinin kullanılması sebebiyle, polyester filtreler için elde edilen eğilime benzer biçimde 10'dan büyük Reynolds sayılarında ve yüksek makine debilerinde elde edilen sonuçların daha tutarlı olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen eşitliklerin doğruluğunun kanıtlanması amacıyla, denklemler elde edilirken kullanılmayan üç numunenin makine üzerinde ve deney düzeneğindeki ölçümleri, ilgili eşitlikler kullanılarak kıyaslanmıştır. Çizelge 4.7'de kullanılan numunelere ait özellikler verilmektedir.

Çizelge 4.7 : Doğrulama için kullanılacak filtrelerle ait özellikler.

Numune Kodu	Malzeme	l (µm)	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	n _i (adet/m)	n _k (adet/m)	Kullanılacağı Denklem
53/35	Polyester	87	34	34	11001	11001	4,19
250/37		380	160	160	2401	2401	4.24
125/35	Metal	215	90	90	4801	4801	4.27

Seçilen filtreler için deney düzeneği ve makine üzerinde ölçümler alınmış ve denklemlerin doğruluğu incelenmiştir. Bununla ilgili olarak filtrelerden elde edilen sonuçların bir bölümü çizelge 4.8’de sunulmaktadır. Sonuçların tamamı EK B kısmında detaylı olarak paylaşılmaktadır.

Çizelge 4.8 : Doğrulama için kullanılan filtreler için örnek sonuçlar.

Filtre	Makine Debisi - 30 lt/s		Makine Debisi - 50 lt/s		Re _D
	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı	Ölçülen Basınç Kaybı (Makine)	Hesaplanan Basınç Kaybı	
53/35	23,456	22,251	44,379	39,430	5
250/37	6,519	6,659	9,717	12,007	25
125/35	11,105	12,774	21,6553	22,962	20

Çizelge 4.8 incelendiğinde Gooijer modelinin uygulandığı 53/35 numaralı filtrede en iyi koşulların önceki deneylere benzer biçimde düşük debi düşük Reynolds sayılarında sağlandığı görülmüştür. Rushton modelinde ise 125 /35 numaralı filtre için Reynolds sayısı arttıkça ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki farkın azaldığı görülmüştür. 250/37 numaralı filtrenin oldukça büyük gözenek aralığına sahip olması nedeniyle Reynolds sayısının 25’ten büyük olduğu durumlarda daha tutarlı sonuçlar vereceği öngörülmektedir. Bu filtre için mertebe olarak yakın değerler elde edilmiştir.

Ölçülen ve hesaplanan değerlerin kıyaslanması sırasında oransal olarak fark kullanmak yerine deney düzeneğinde yapılan belirsizlik analizi sonucunda ortaya çıkan %11’lik oran kullanılmıştır. Belirsizlik analizinde testler sırasında ölçülen en yüksek basınç kaybı değeri olan yaklaşık 35 Pa değerinin %11’i alınarak bu değer için yaklaşık 4 Pa’lık bir farka izin verilebileceği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle 10 Pa’dan başlayıp 70 Pa’a kadar olan bir aralık için izin verilebilecek en büyük fark değerleri ortaya konmuştur. Bu farklar temel alınarak sonuçlar yorumlandığında

47/31 numaralı filtrede Reynolds sayısının herhangi bir değerinde özellikle yüksek debiler için geçerli sonuçların elde edilemediği, bu numune dışında kullanılan tüm numunelerde, uygulanan model ve bu modele bağlı olarak tercih edilen Reynolds sayılarında geçerli sonuçların elde edildiği saptanmıştır.

Çizelge 4.9 : llen basınç değerine göre izin verilen fark değerleri.

llen Basınç Değeri	İzin Verilen Fark (Pa)
10	1,1
20	2,2
30	3,3
35	3,85
40	4,4
50	5,5
60	6,6
70	7,7

5. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, çamaşır kurutma makinesi dahilinde kullanılan filtrelerin sistemde neden oldukları basınç kaybını belirlemek için literatürdeki modellerden faydalanarak farklı geometrik özelliklere sahip, monofilament bez ayağı dokuma filtreler için çeşitli bağıntılar oluşturmak hedeflenmiştir. Literatürde oluşturulan modeller endüstriyel bir makineye uygulanabilir hale getirilmiştir. Makine üzerinde basınç kaybını belirlemek için makineden bağımsız bir deney düzeneği oluşturulmuş ve bu deney düzeneği ile makine arasında elde edilen bağıntılar birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada, filtreler ve çamaşır kurutma makineleri ile ilgili genel bilgilerin verilmesinin ardından, tekstiller üzerindeki akış incelenmektedir. Literatür araştırmasına, monofilament bez ayağı dokuma örgüsüne sahip tekstillerin geçirgenliği ve akışa etkisi özelinde devam edilmiş ve kullanılacak olan modeller sunulmuştur.

Tez çalışmasının başında literatürden faydalanarak bir deney düzeneği kurulmuş ve bu deney düzeneğinde çeşitli monofilament bez ayağı dokuma filtrelerin basınç kayıpları ölçülmüştür. Bu ölçümler doğrultusunda literatürden seçilen modellerden faydalanılarak her bir filtre için farklı Reynolds sayılarına karşılık gelen boyutsuz basınç kayıp katsayısı C_D belirlenmiştir. Bu işlemler iki farklı model kullanılarak ve çeşitli kısıtlar çerçevesinde incelenmiş, bu koşullara ait sonuçlar grafikler halinde detaylı bir biçimde sunulmuş ve her bir koşul için farklı bağıntılar elde edilmiştir. İki model ve belirlenen kısıtlara ait sonuçlar birbirleri ile kıyaslanarak, hata oranları belirlenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerin ikinci aşamasında ise çamaşır kurutma makinesi üzerinde aynı iki model kullanılarak aynı numunelerin sistem içerisinde neden olduğu basınç kaybı belirlenmektedir. Makine içerisine yerleştirilen filtreler farklı bir geometri kullanılarak makineye yerleştirilmiş olup, deneylerden elde edilen sonuçlar aynı kısıtlar kullanılarak incelenmiş ve her durum için aynı bir eşitlik belirlenmiştir. Belirlenen bu eşitlikler için makine ve deney düzeneği arasında bir ilişki kurularak, filtrelerin çamaşır kurutma makinesi üzerinde sebep olduğu

basınç kaybının deney düzeneğine yapılan ölçümler ile belirlenmesine olanak sağlanmıştır.

Deney düzeneği ve makine üzerinde yapılan tüm deneylerde Gooijer modelinde Reynolds sayısı için 25 sınırı bulunduğundan Rushton modelindeki sınırın çok yukarıda olmasına karşılık kıyaslama adına Reynolds sayısının üst limiti olarak 25 seçilmiştir.

Yapılan yüksek lisans tez çalışması dâhilinde ulaşılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Gooijer ve Rushton isimli araştırmacılara ait modellerden faydalanarak ortaya konulan sonuçlarda görülen farklılığın, iki modelde tanımlanan açık alan ve ıslak çevre formüllerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Her iki araştırmacı da ıslak çevre ve açık alan formüllerinde iplik çapı, gözenek aralığı ve gözenek sayısı gibi benzer parametreleri kullanmasına karşılık, iki model içerisinde yapılan kabullerdeki farklılık bu denklemlerin birbirlerinden oldukça farklı olmasına neden olmuştur. Yapılan ıslak çevre ve açık alan gibi geometrik tanımlamaların basınç kayıp katsayısının belirlenmesinde oldukça önemli olduğu ortaya konmuştur.
- Deney düzeneğinde gerçekleştirilen ve Gooijer modeli ile değerlendirilen sonuçlarda gözenek aralığının önemli bir parametre olduğu, 75 mikrondan daha küçük gözenek aralığına sahip filtrelerde belirlenen eşitlik ile ölçülen değer arasındaki farklılığın üst sınırının %10 mertebelerinde kaldığı görülmüştür. 100 mikronun üzerinde gözenek aralığına sahip özellikle polyester filtrelerde görülen hata oranları kabul edilemeyecek seviyelerdedir.
- Deney düzeneğinde Rushton modeli ile değerlendirilen sonuçlarda ise özellikle sadece polyester filtrelerin kullanıldığı koşulda elde edilen sonuçlarda gözenek aralığında herhangi bir kısıt olmaksızın en çok %12 seviyelerinde hata belirlenmiştir. Bunun haricinde açık alan ifadesi azaldıkça Rushton modeli kullanılarak hesaplanan sonuçlarda hata oranının arttığı gözlemlenmiştir.
- Deneysel çalışmalar sırasında polyester ve paslanmaz çelikten üretilen filtreler kullanılarak geometrik özelliklerin yanı sıra malzeme farkının da etkisi incelenmek istenmiştir. Gooijer modelinde katalog verilerine benzer

gözenek aralığına sahip metal ve polyester filtrelerin sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülürken, Rushton modelinde metal filtrelerin en yüksek $\log C_D$ değerine sahip oldukları ve benzer gözenek aralığına sahip polyester filtrelerden oldukça farklı sonuçlara ulaştıkları görülmüştür. Bu farkın gözenek açık alan değerinin arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Bu duruma etki eden parametrenin, modelde malzemeye ait herhangi bir katsayının bulunmaması nedeniyle, malzeme yerine filtrelerdeki farklılığın olduğu belirlenmiştir. Benzer gözenek aralığı ve açık alan değerlerine sahip olmalarına karşın, paslanmaz çelikten üretilen filtrelerdeki iplik çapının ve iki iplik arasındaki uzaklığın daha büyük olduğu belirlenmiştir. Buna bağlı olarak filtredeki gözenek sayısında azalma Gooijer modeline göre kıyasla hesaplanan açık alanlarda düşüşe sebep olmuştur. Yapılan matematiksel işlemler nedeniyle bu düşüş, C_D değerinde artışa sebep olmuştur.

- Gooijer modelinin küçük gözenekli filtrelerde, Rushton modelinin ise büyük gözenekli ve sık olmayan filtrelerde kullanılmasının daha uygun olduğu belirlenmiştir.
- Deney düzeneğinden elde edilen sonuçlara ait hata oranları incelendiğinde çeşitli geometrik kısıtlara göre en doğru sonuçları veren denklemler hesaplamalarda kullanılmak üzere seçilmiştir. **(4.4)** numaralı denklem, 75 mikrondan küçük gözenek aralığına sahip tüm numunelerin, **(4.6)** numaralı denklem, gözenek aralığı 75 mikrondan büyük polyester numunelerin ve **(4.5)** numaralı denklem ise 75 mikrondan büyük gözenek aralığına sahip metal filtrelerin basınç kayıp katsayısının belirlenmesi amacıyla kullanılmasına karar verilmiştir.
- Makine üzerinde yapılan testlerde, elde edilen sonuçların sayısal olarak farklı görünmesine karşın filtreler benzer eğilimler sergilemiştir. Kullanılan iki modele ait sonuçlar kendi içerisinde incelendiğinde elde edilen $\log C_D$ değerleri yakın sonuçlar vermesine karşılık elde edilen bağıntıların birbirlerinden oldukça farklı olduğu görülmüştür.
- Makine üzerinde yapılan ölçümlerde elde edilen bir başka sonuç ise, çok daha yüksek debilerde dahi bir gözenek içerisindeki akışa ait Reynolds sayısının 25'ten küçük olmasıdır. Bunun sebebi, makine içerisindeki filtre alanının

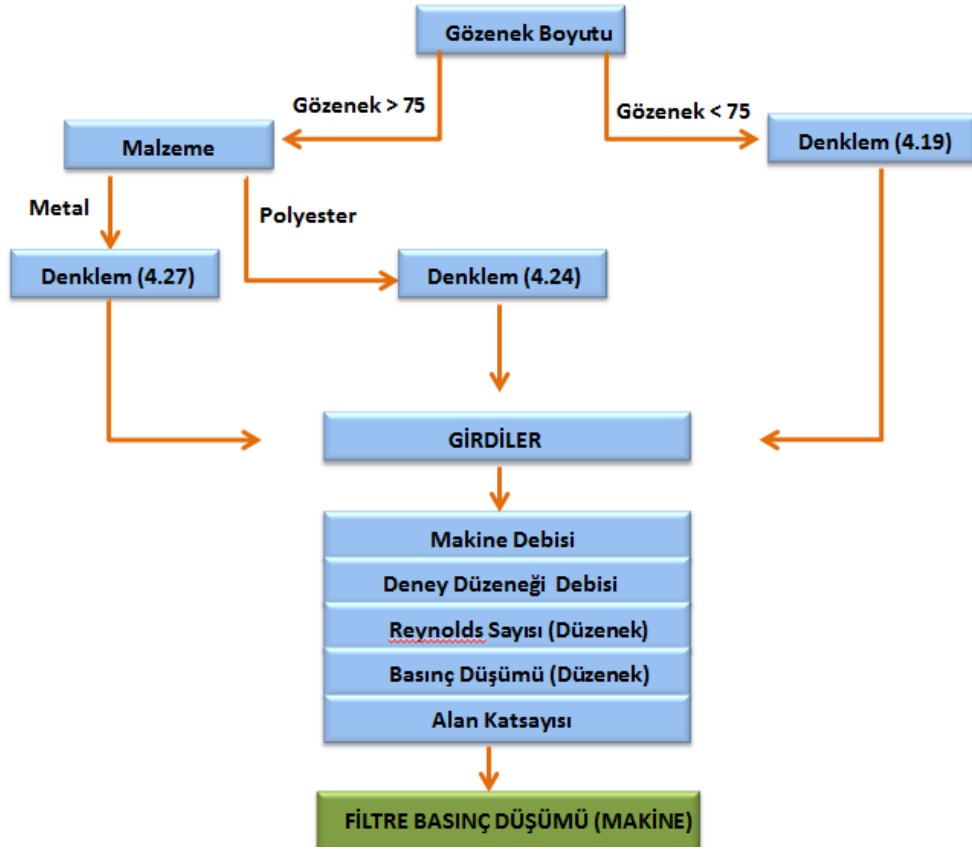
deney düzeneğine göre oranla çok daha büyük olması ve bu nedenle hızın daha düşük mertebelerde hesaplanmasıdır.

- Makine üzerindeki sonuçlar, deney düzeneğinde belirlenen kısıtlar doğrultusunda incelenmiştir. Makine üzerindeki sonuçlarda da bahsedilen kısıtların belirleyici olduğu görülmüş ve sırasıyla **(4.12)**, **(4.13)** ve **(4.14)** numaralı denklemler, gözenek aralığı 75 mikrondan küçük tüm numuneler, gözenek aralığı 75 mikrondan büyük metal filtreler ve 75 mikrondan büyük polyester filtreler için kullanılmak üzere seçilmiştir.
- Deney düzeneği ve makine ölçümlerinden seçilen denklemler arasında bağıntılar kurularak her üç koşul için de makine üzerinde filtrenin neden olduğu basınç kaybını veren üç farklı denklem elde edilmiştir. Bu denklemler, sırasıyla **(4.19)**, **(4.24)** ve **(4.27)** numaralı eşitliklerde gösterilmiştir.
- Elde edilen bu denklemler, düzenekteki Reynolds sayısına, düzeneğin içerisindeki debiye ve alana bağlı bir denklemdir. Makine parametrelerinden sadece debi ve filtre alanının belirlenmesi yeterli gelmektedir.
- Gooijer modelinden yararlanarak türetilen ve 75 mikrondan küçük gözenekli filtreler için kullanılan denklem **(4.19)** yardımıyla elde edilen sonuçlar incelendiğinde Reynolds sayısının 5-10 mertebelerinde olduğu durumlarda en en yakın sonuçlar alınmıştır. 75 mikrondan büyük polyester ve metal filtreler için türetilen ve Rushton modeli temel alınarak oluşturulan sırasıyla **(4.24)** ve **(4.27)** numaralı denklemlerin kullanıldığı sonuçlar da ise Reynolds sayısının 15'ten büyük olduğu durumlarda daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Testler sırasında kullanılmayan üç farklı filtre ile yapılan testlerde ise yakın sonuçlar elde edilmiş ve denklemlerin doğru çalıştığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasından yola çıkılarak aşağıda önerilen konu başlıklarının çalışılabileceği düşünülmektedir.

- Tez kapsamında sadece monofilament iplik türü ile dokunmuş bez ayağı filtreler denenmiş olup, farklı iplik türü ve dokuma örgüsüne sahip filtreler ile çalışmalar yürütülebilir.

- Makine ve deney düzeneğinde kullanılan filtre geometrilerinin ikisinin de düz olması sebebiyle akış şekli nedeniyle oluşabilecek farklılık belirli ölçüde azaltılmıştır. Bu nedenle farklı geometrilere sahip kasetlere yerleştirilen filtreler için benzer çalışmaların tekrarlanabileceği düşünülmektedir.
- Tez dahilinde tanımlanan alan katsayısı A_E , yapılan testlerin tamamında birden büyük değerler için incelenmiştir. Deney düzeneğindeki filtre alanının, referans sisteme göre daha büyük olduğu durumlar incelenebilir.
- Bu çalışma, literatürde kurulmuş olan modellerin endüstriyel bir uygulama için kullanıldığı bir örnek olup, yapılan deneyler farklı uygulamalar için yapılabilir hale gelmiştir.
- Yapılan tez çalışmaları dahilinde gözenek boyutu baz alınarak bir sınır belirlenmiştir. Aynı çalışmalar, oransal açık alan ifadesi için tekrarlanabilir veya gözenek aralığı ile açık alan ifadeleri arasında bir oran ifadesi tanımlanarak bu orana göre yeni korelasyonlar oluşturulabilir.
- Korelasyonların doğruluğunun incelenmesi için CFD çalışmaları yürütülebilir.
- Tezde elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, gözenek aralığı ve malzemeye göre değişim gösteren denklemler elde edilmiş olup, çeşitli parametrelerin bilinmesi durumunda basınç kaybı hesaplabilmektedir. Bu durumu kolaylaştırmak için aşağıdaki akış şemasına uygun olacak biçimde bir yazılım oluşturulması mümkün olabilir.



Şekil 5.1 : Oluşturulması muhtemel yazılım içi örnek akış şeması.

KAYNAKLAR

- [1] **Hartoka, O.** (2009). *Design of Efficient Condenser for Tumble Dryers* (Yüksek Lisans Tezi), Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Derek, B. P. and Sutherland, L.** (2002). *Handbook of Filter Media*, (2. Sürüm) (Sf. 1-116), Elsevier Science Ltd., Philadelphia, ABD.
- [3] **Sadıkoğlu, T. G.** (2003). Nonwoven Tekstil Malzemeleri Ders Notu. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [4] **Gooijer, H.** (1998). *Flow Resistance of Textile* (Doktora Tezi), Twente Üniversitesi, Hollanda.
- [5] **Lu, W. M. and Tung, K. L.** (1996). Fluid Flow Through Basic Weaves of Monofilament Filter Cloth. *Textile Research Journal*, 66(5), 311-323.
- [6] **Robertson, A. F.** (1950). Air Porosity of Open Weave Fabrics Part I: Metallic Meshes. *Textile Research Journal*, 20, 838- 844
- [7] **Armour, J. C. and Cannon J. N.** (1968). Fluid Flow Through Woven Screens. *AIChE Journal*, 14(3), 415-420
- [8] **Wang, Q., Maze, B., Tafreshi, H. V. and Pourdeyhimi B.** (2007). On The Pressure Drop Modelling of Monofilament- Woven Fabrics. *Chemical Engineering Science*, 62, 4817-4821.
- [9] **Backer, S. D.** (1951). The Relationship Between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability. *Textile Research Journal*, 21, 703-714.
- [10] **Robertson, A. F.** (1950). Air Porosity of Open Weave Fabrics Part II: Textile Fabrics. *Textile Research Journal*, 20, 838- 857.
- [11] **Kulichenko, A. V.** (2005). Theoretical Analysis, Calculation and Prediction of the Air Permeability of Textiles. *Fibre Chemistry*, 37(5), 371-380.
- [12] **Gooijer, H., Warmoeskerken, M. M. C. G. and Wassink, J. G.** (2003). Flow Resistance of Textile Materials: Part I: Monofilament Fabrics. *Textile Research Journal*, 73, 437- 443.
- [13] **Çengel, Y. A. and Cimbala, J. M.** (2008). *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları* (1. Sürüm) (Sf. 321- 364), Çeviren; Engin, T., Öz, H. R., Küçük H., Çeşmeci, Ş., Güven Kitabevi, İzmir.
- [14] **White, F. M.** (2004). *Akışkanlar Mekaniği*, (4. Sürüm) (Sf. 401-477), Çeviren; Kırkköprü K., Ayder E., Literatür Yayınları, İstanbul.
- [15] **Genceli, O.F.** (2005). *Ölçme Tekniği*, (1. Sürüm) (Sf. 30-60), Birsen Yayınevi, İstanbul

- [16] **ANSI/AMCA 210-07 ANSI/ASHREA 51-07**, (2007). Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating, Air Movement and Control Association International Inc., ABD.
- [17] **Pedersen, G. C.** (1974). Fluid Flow through Monofilament Fabrics. *Filtration Seperation*, 11-12, 586-587. [4] ve [12] numaralı kaynaklardan alınmıştır.
- [18] **Rushton, A., Griffiths, P.** (1971). Fluid Flow in Monofilament Filter Media, *Trans. Inst, Chem, Eng.*, 49, 49-59. [4] ve [12] numaralı kaynaklardan alınmıştır.
- [19] **Rushton, A., Green, D. J. and Khoo, H. E.** (1968). Flow of Fluids in Filter Clothes. *Filtration and Seperation*, 5, 213-216. [5] numaralı kaynaktan alınmıştır.

EKLER

EK A: Deney Sonuçlarına Ait Hata Tabloları

EK B: Deney ve Doğrulama Sonuçları

EK A

Çizelge A.1 : Gooijer modeline göre deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar için hata tablosu

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.1)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.2)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.3)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.4)	Hata 4 (%)
38/31	0,331	0,338	1,874	0,336	1,371	0,333	0,315	0,325	1,919
	0,405	0,387	4,555	0,382	5,623	0,393	3,107	0,391	3,456
	0,462	0,423	8,444	0,417	9,847	0,438	5,155	0,442	4,303
	0,503	0,452	10,141	0,443	11,786	0,475	5,535	0,484	3,813
	0,537	0,474	11,612	0,465	13,428	0,504	6,051	0,517	3,681
47/31	0,391	0,365	6,562	0,362	7,360	0,366	6,367	0,362	7,451
	0,464	0,415	10,506	0,409	11,800	0,428	7,680	0,431	7,093
	0,525	0,453	13,713	0,445	15,307	0,477	9,221	0,486	7,521
	0,581	0,485	16,544	0,475	18,344	0,518	10,849	0,533	8,316
	0,618	0,509	17,680	0,497	19,633	0,549	11,118	0,569	7,985
53/40	0,311	0,359	15,464	0,356	14,567	0,359	15,279	0,354	13,681
	0,379	0,410	8,084	0,404	-6,586	0,422	11,165	0,423	11,666
	0,433	0,447	3,299	0,439	-1,453	0,469	8,358	0,477	10,185
	0,477	0,478	0,189	0,468	1,899	0,508	6,648	0,522	9,437
	0,509	0,500	1,687	0,489	3,946	0,538	5,759	0,556	9,237
55/31	0,362	0,198	45,397	0,374	3,333	0,382	5,441	0,379	4,730
	0,447	0,209	53,289	0,427	4,564	0,452	1,077	0,457	2,338
	0,508	0,216	57,520	0,464	8,624	0,504	0,868	0,516	1,617
	0,556	0,221	60,263	0,495	10,980	0,547	1,653	0,566	1,759
	0,588	0,224	61,879	0,517	11,974	0,579	1,507	0,603	2,579
73/33	0,396	0,405	2,142	0,400	0,783	0,415	4,772	0,417	5,068
	0,487	0,462	4,963	0,453	6,805	0,489	0,433	0,499	2,598
	0,554	0,505	8,917	0,493	11,045	0,544	1,834	0,562	1,513
	0,606	0,539	11,026	0,525	13,369	0,589	2,683	0,615	1,561
	0,643	0,565	12,168	0,549	14,670	0,625	2,896	0,656	2,015

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.1)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.2)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.3)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.4)	Hata 4 (%)
95/27	0,394	0,443	12,407	0,435	10,448	0,464	17,651	-	-
	0,482	0,508	5,341	0,496	2,849	0,548	13,707	-	-
	0,514	0,533	3,602	0,519	0,927	0,581	13,028	-	-
	0,542	0,555	2,288	0,539	0,540	0,611	12,617	-	-
	0,564	0,574	1,714	0,557	1,255	0,637	12,847	-	-
120/41	0,378	0,445	17,793	0,438	15,711	-	-	-	-
	0,465	0,506	8,954	0,494	6,393	-	-	-	-
	0,526	0,551	4,752	0,536	1,886	-	-	-	-
	0,573	0,588	2,562	0,570	0,541	-	-	-	-
	0,607	0,615	1,439	0,596	1,840	-	-	-	-
190/38	0,272	0,436	60,362	0,429	57,687	-	-	-	-
	0,337	0,486	44,440	0,476	41,310	-	-	-	-
	0,374	0,522	39,486	0,509	36,012	-	-	-	-
	0,406	0,552	35,994	0,537	32,261	-	-	-	-
	0,430	0,578	34,582	0,561	30,610	-	-	-	-
43/30	0,361	0,355	1,658	-	-	0,354	2,064	0,348	3,571
	0,440	0,405	7,957	-	-	0,416	5,567	0,417	5,287
	0,505	0,443	12,341	-	-	0,463	8,267	0,470	6,858
	0,556	0,473	15,009	-	-	0,502	9,735	0,514	7,504
	0,596	0,496	16,790	-	-	0,532	10,669	0,549	7,848
74/34	0,410	0,408	0,594	-	-	0,419	2,110	0,420	2,490
	0,493	0,462	6,308	-	-	0,488	0,999	0,499	1,128
	0,560	0,504	10,052	-	-	0,543	3,101	0,561	0,175
	0,609	0,537	11,796	-	-	0,587	3,609	0,612	0,540
	0,648	0,562	13,193	-	-	0,621	4,133	0,652	0,649
187/35	0,421	0,466	10,634	-	-	-	-	-	-
	0,512	0,517	1,047	-	-	-	-	-	-
	0,572	0,556	2,860	-	-	-	-	-	-
	0,622	0,588	5,485	-	-	-	-	-	-

Çizelge A.2 : Rushton modeline göre deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar için hata tablosu

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.5)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.6)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.7)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.8)	Hata 4 (%)
38/31	0,388	0,392	1,021	0,370	4,587	0,396	1,908	0,390	0,506
	0,475	0,464	2,221	0,440	7,259	0,466	1,879	0,467	1,691
	0,541	0,519	4,154	0,494	8,839	0,519	4,154	0,525	2,960
	0,589	0,563	4,441	0,536	8,927	0,561	4,683	0,573	2,760
	0,629	0,598	4,890	0,571	9,218	0,595	5,311	0,611	2,848
47/31	0,401	0,431	7,636	0,408	1,902	0,434	8,261	0,431	7,721
	0,488	0,506	3,592	0,481	1,534	0,506	3,674	0,511	4,716
	0,558	0,564	1,096	0,537	3,645	0,562	0,834	0,574	2,889
	0,614	0,613	0,069	0,586	4,555	0,610	0,590	0,628	2,240
	0,656	0,651	0,753	0,622	5,069	0,646	1,452	0,668	1,913
53/40	0,410	0,433	5,627	0,410	0,012	0,436	6,224	0,434	5,743
	0,500	0,510	2,067	0,485	2,962	0,511	2,119	0,516	3,232
	0,571	0,569	0,376	0,542	5,026	0,567	0,662	0,579	1,448
	0,629	0,617	1,849	0,589	6,241	0,614	2,378	0,631	0,455
	0,671	0,654	2,596	0,626	6,820	0,649	3,297	0,672	0,053
55/31	0,386	0,447	15,946	0,424	9,870	0,449	16,485	0,449	16,305
	0,476	0,530	11,384	0,505	5,997	0,530	11,309	0,538	12,925
	0,541	0,592	9,391	0,565	4,387	0,589	8,942	0,604	11,668
	0,592	0,643	8,637	0,615	3,884	0,639	7,911	0,660	11,476
	0,626	0,682	8,878	0,653	4,265	0,676	7,954	0,702	12,130
73/33	0,424	0,491	15,953	0,467	10,136	0,492	16,150	0,496	16,999
	0,520	0,579	11,380	0,552	6,228	0,577	10,998	0,591	13,546
	0,592	0,646	9,013	0,617	4,253	0,641	8,271	0,663	11,889
	0,647	0,700	8,181	0,671	3,668	0,694	7,172	0,723	11,600
	0,688	0,743	8,024	0,713	3,670	0,735	6,819	0,769	11,851

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.5)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.6)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ - Denklem(4.7)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.8)	Hata 4 (%)
95/27	0,459	0,540	17,746	0,514	12,103	0,539	17,600	-	-
	0,561	0,640	14,040	0,612	9,037	0,636	13,295	-	-
	0,598	0,679	13,443	0,650	8,625	0,673	12,494	-	-
	0,631	0,714	13,102	0,684	8,435	0,707	11,980	-	-
	0,657	0,745	13,392	0,715	8,828	0,736	12,119	-	-
120/41	0,489	0,570	16,632	0,543	11,192	-	-	-	-
	0,600	0,668	11,248	0,639	6,481	-	-	-	-
	0,680	0,742	9,164	0,712	4,762	-	-	-	-
	0,741	0,804	8,546	0,773	4,376	-	-	-	-
	0,784	0,851	8,552	0,820	4,531	-	-	-	-
190/38	0,557	0,564	1,233	0,537	3,516	-	-	-	-
	0,689	0,645	6,390	0,617	10,479	-	-	-	-
	0,767	0,705	8,043	0,676	11,865	-	-	-	-
	0,832	0,756	9,127	0,726	12,752	-	-	-	-
	0,880	0,800	9,076	0,769	12,579	-	-	-	-
43/30	0,483	0,416	13,937	-	-	0,418	13,337	0,415	14,067
	0,589	0,490	16,845	-	-	0,491	16,694	0,494	16,114
	0,675	0,546	19,112	-	-	0,545	19,241	0,555	17,842
	0,744	0,593	20,325	-	-	0,590	20,655	0,605	18,661
	0,797	0,629	21,092	-	-	0,625	21,564	0,644	19,144
74/34	0,540	0,499	7,540	-	-	0,499	7,426	0,504	6,619
	0,649	0,583	10,180	-	-	0,581	10,507	0,595	8,397
	0,737	0,649	11,970	-	-	0,644	12,582	0,666	9,622
	0,801	0,702	12,345	-	-	0,695	13,169	0,724	9,561
	0,853	0,744	12,758	-	-	0,736	13,735	0,770	9,660
187/35	0,576	0,592	2,805	-	-	-	-	-	-
	0,700	0,674	3,743	-	-	-	-	-	-
	0,783	0,737	5,839	-	-	-	-	-	-
	0,850	0,790	7,147	-	-	-	-	-	-

Çizelge A.3 : Gooijer modeline göre makineden elde edilen sonuçlar için hata tablosu

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.9)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.10)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.11)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.12)	Hata 4 (%)
38/31	0,162	0,160	0,958	0,158	2,332	0,158	2,064	0,156	3,399
	0,194	0,188	3,230	0,185	5,074	0,188	3,375	0,187	3,916
	0,221	0,211	4,584	0,206	6,752	0,212	4,067	0,212	4,054
	0,263	0,248	5,935	0,241	8,555	0,251	4,500	0,253	3,710
	0,305	0,277	8,944	0,269	11,811	0,284	6,915	0,288	5,603
	0,334	0,303	9,287	0,293	12,398	0,312	6,768	0,317	5,031
	0,361	0,326	9,652	0,314	12,957	0,336	6,736	0,344	4,651
	0,385	0,346	9,981	0,333	13,447	0,359	6,731	0,368	4,352
47/31	0,168	0,175	4,599	0,173	2,841	0,174	4,001	0,173	3,054
	0,202	0,206	1,986	0,202	0,255	0,207	2,394	0,207	2,288
	0,231	0,231	0,094	0,225	2,471	0,233	1,191	0,235	1,668
	0,278	0,271	2,424	0,263	5,424	0,277	0,390	0,280	0,895
	0,320	0,304	4,974	0,293	8,240	0,312	2,321	0,318	0,490
	0,349	0,332	4,938	0,320	8,471	0,343	1,759	0,351	0,530
	0,375	0,357	4,892	0,343	8,643	0,370	1,280	0,380	1,389
	0,398	0,379	4,798	0,364	8,736	0,395	0,817	0,407	2,180
53/40	0,148	0,171	15,419	0,168	13,579	0,170	14,572	0,168	13,373
	0,179	0,201	12,234	0,196	9,865	0,201	12,500	0,201	12,230
	0,203	0,225	10,463	0,219	7,727	0,227	11,491	0,228	11,865
	0,243	0,264	8,810	0,256	5,558	0,269	10,897	0,272	12,176
	0,280	0,296	5,750	0,286	2,205	0,304	8,525	0,309	10,409
	0,304	0,323	6,190	0,311	2,334	0,333	9,562	0,341	11,963
	0,326	0,347	6,467	0,334	2,357	0,360	10,329	0,369	13,158
	0,346	0,369	6,704	0,354	2,380	0,384	10,984	0,395	14,182

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.9)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.10)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.11)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.12)	Hata 4 (%)
55/31	0,184	0,190	3,354	0,187	1,345	0,190	3,272	0,189	2,753
	0,222	0,224	0,679	0,218	1,797	0,226	1,583	0,226	1,896
	0,253	0,251	0,855	0,243	3,654	0,255	0,729	0,257	1,622
	0,301	0,294	2,338	0,284	5,594	0,302	0,192	0,307	1,904
	0,345	0,330	4,342	0,317	7,877	0,341	1,184	0,348	1,084
	0,375	0,360	3,917	0,346	7,735	0,374	0,212	0,384	2,535
	0,401	0,387	3,575	0,371	7,626	0,404	0,582	0,416	3,729
	0,425	0,411	3,238	0,393	7,489	0,431	1,307	0,446	4,799
73/33	0,216	0,207	4,192	0,203	6,315	0,208	3,774	0,208	3,847
	0,259	0,243	6,034	0,237	8,599	0,247	4,701	0,249	3,997
	0,293	0,273	6,901	0,264	9,781	0,278	4,927	0,282	3,672
	0,345	0,320	7,302	0,309	10,642	0,330	4,411	0,337	2,361
	0,404	0,359	11,099	0,345	14,622	0,373	7,691	0,383	5,167
	0,438	0,392	10,479	0,375	14,275	0,409	6,548	0,422	3,563
	0,466	0,421	9,558	0,403	13,599	0,442	5,173	0,458	1,787
	0,489	0,448	8,471	0,427	12,735	0,471	3,677	0,490	0,071
95/27	0,218	0,242	11,314	0,236	8,291	0,246	12,860	-	-
	0,257	0,284	10,851	0,275	7,274	0,291	13,489	-	-
	0,286	0,319	11,517	0,307	7,515	0,329	14,962	-	-
	0,328	0,374	14,139	0,359	9,465	0,390	18,816	-	-
	0,375	0,419	11,960	0,401	6,974	0,440	17,355	-	-
	0,398	0,458	15,238	0,436	9,788	0,483	21,440	-	-
120/41	0,208	0,231	11,322	0,225	8,467	-	-	-	-
	0,247	0,271	9,740	0,263	6,363	-	-	-	-
	0,277	0,304	9,670	0,294	5,899	-	-	-	-
	0,321	0,357	11,249	0,343	6,858	-	-	-	-
	0,367	0,400	44,310	0,383	38,097	-	-	-	-
	0,393	0,437	36,191	0,417	29,950	-	-	-	-
	0,417	0,470	28,076	0,447	21,918	-	-	-	-

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.9)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.10)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.11)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.12)	Hata 4 (%)
190/38	0,215	0,265	23,572	0,257	19,855	-	-	-	-
	0,249	0,312	24,977	0,301	20,581	-	-	-	-
	0,276	0,349	26,557	0,336	21,650	-	-	-	-
	0,315	0,410	30,181	0,392	24,476	-	-	-	-
	0,344	0,460	33,681	0,438	27,345	-	-	-	-
43/30	0,179	0,170	4,907	-	-	0,252	40,341	0,167	6,612
	0,217	0,200	7,641	-	-	0,303	39,822	0,200	7,664
	0,247	0,224	9,263	-	-	0,329	32,897	0,227	8,130
	0,296	0,263	10,976	-	-	0,353	19,252	0,271	8,243
	0,347	0,295	14,885	-	-	0,401	15,624	0,308	11,153
	0,378	0,322	14,758	-	-	0,400	5,624	0,340	10,144
	0,407	0,347	14,928	-	-	0,401	1,458	0,368	9,600
	0,434	0,368	15,206	-	-	0,405	6,877	0,394	9,282
74/34	0,211	0,204	3,158	-	-	0,209	0,912	-	-
	0,254	0,240	5,358	-	-	0,261	2,980	-	-
	0,288	0,269	6,724	-	-	0,287	0,370	-	-
	0,344	0,316	8,177	-	-	0,312	9,317	-	-
	0,390	0,354	9,250	-	-	0,328	15,777	-	-
	0,422	0,387	8,313	-	-	0,314	25,523	-	-
	0,449	0,415	7,536	-	-	0,301	32,944	-	-
	0,474	0,442	6,815	-	-	0,289	39,051	-	-
187/35	0,322	0,290	9,716	-	-	-	-	-	-
	0,378	0,341	9,753	-	-	-	-	-	-
	0,423	0,382	9,550	-	-	-	-	-	-
	0,459	0,417	9,133	-	-	-	-	-	-
	0,491	0,449	8,566	-	-	-	-	-	-

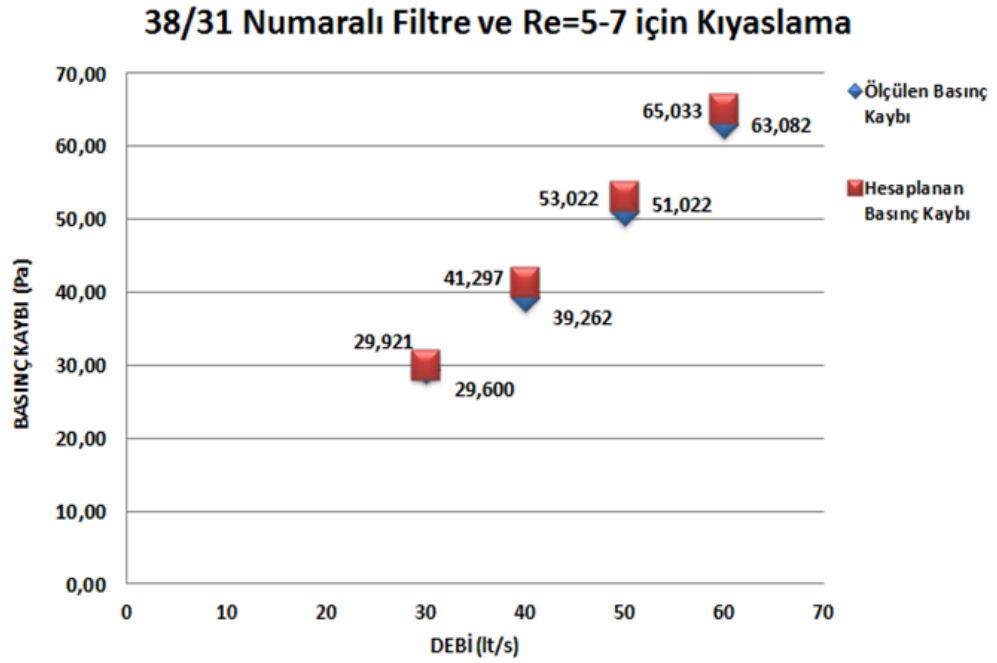
Çizelge A.4 : Rushton modeline göre makineden elde edilen sonuçlar için hata tablosu

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.13)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.14)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.15)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.16)	Hata 4 (%)
38/31	0,190	0,191	0,537	0,181	4,560	0,192	1,421	0,191	0,552
	0,228	0,227	0,567	0,215	5,723	0,227	0,341	0,227	0,512
	0,259	0,256	1,109	0,243	6,318	0,255	1,339	0,256	1,026
	0,308	0,304	1,316	0,288	6,627	0,302	2,182	0,305	1,193
	0,357	0,344	3,645	0,325	8,909	0,339	4,929	0,345	3,497
	0,391	0,378	3,363	0,357	8,705	0,372	4,992	0,379	3,194
	0,422	0,409	3,225	0,386	8,623	0,401	5,132	0,410	3,037
	0,451	0,437	3,129	0,412	8,576	0,427	5,273	0,437	2,927
47/31	0,195	0,209	7,447	0,199	1,931	0,211	8,007	0,210	7,486
	0,235	0,249	6,044	0,236	0,479	0,249	5,909	0,249	6,127
	0,268	0,281	4,979	0,266	0,617	0,280	4,363	0,282	5,090
	0,323	0,334	3,591	0,316	2,050	0,330	2,317	0,335	3,743
	0,372	0,378	1,758	0,357	3,866	0,372	0,045	0,379	1,936
	0,406	0,416	2,480	0,393	3,248	0,407	0,396	0,417	2,683
	0,436	0,449	3,092	0,424	2,724	0,439	0,702	0,450	3,315
	0,463	0,480	3,672	0,453	2,222	0,468	1,019	0,481	3,913
53/40	0,191	0,210	10,432	0,200	4,760	0,212	10,989	0,211	10,474
	0,230	0,250	8,699	0,237	2,991	0,250	8,541	0,250	8,785
	0,262	0,283	7,911	0,268	2,156	0,281	7,259	0,283	8,027
	0,312	0,336	7,598	0,318	1,735	0,332	6,256	0,337	7,757
	0,360	0,380	5,478	0,359	0,355	0,373	3,683	0,381	5,664
	0,392	0,418	6,628	0,394	0,664	0,409	4,441	0,419	6,841
	0,420	0,452	7,492	0,426	1,425	0,441	4,981	0,453	7,726
	0,446	0,482	8,231	0,455	2,074	0,470	5,442	0,483	8,483

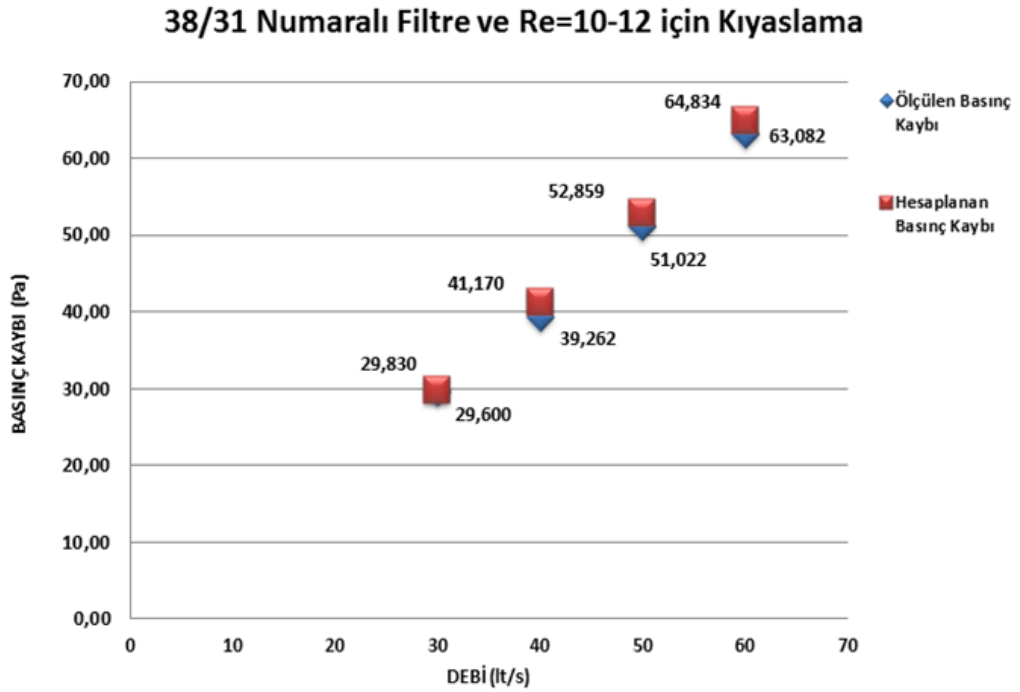
Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.9)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.10)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.11)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.12)	Hata 4 (%)
55/31	0,196	0,227	15,520	0,215	9,530	0,227	15,780	0,227	15,584
	0,237	0,269	13,908	0,255	7,870	0,268	13,426	0,270	14,017
	0,269	0,305	13,145	0,288	7,055	0,302	12,149	0,305	13,287
	0,321	0,362	12,816	0,342	6,614	0,356	11,100	0,363	13,003
	0,367	0,409	11,459	0,386	5,240	0,401	9,259	0,410	11,675
	0,399	0,450	12,707	0,425	6,348	0,439	10,088	0,451	12,951
	0,428	0,486	13,728	0,459	7,253	0,474	10,762	0,487	13,995
	0,453	0,519	14,654	0,489	8,075	0,504	11,389	0,521	14,941
73/33	0,231	0,251	8,679	0,238	2,968	0,251	8,502	0,251	8,765
	0,277	0,299	7,894	0,283	2,100	0,296	7,022	0,299	8,024
	0,313	0,338	7,824	0,319	1,946	0,333	6,461	0,338	7,985
	0,369	0,401	8,674	0,379	2,625	0,394	6,606	0,402	8,880
	0,431	0,454	5,126	0,428	0,811	0,443	2,652	0,455	5,356
	0,468	0,499	6,570	0,470	0,484	0,485	3,692	0,500	6,827
	0,498	0,539	8,257	0,508	2,019	0,523	5,026	0,541	8,537
	0,523	0,576	10,066	0,542	3,676	0,557	6,519	0,577	10,369
95/27	0,253	0,290	14,727	0,275	8,588	0,288	13,919	-	-
	0,299	0,345	15,648	0,326	9,327	0,341	14,091	-	-
	0,333	0,390	17,351	0,369	10,841	0,383	15,239	-	-
	0,382	0,464	21,581	0,438	14,697	0,453	18,621	-	-
	0,436	0,524	20,294	0,494	13,384	0,509	16,825	-	-
	0,463	0,577	24,648	0,543	17,409	0,558	20,623	-	-
120/41	0,268	0,294	9,624	0,278	3,749	-	-	-	-
	0,320	0,350	9,389	0,330	3,401	-	-	-	-
	0,358	0,395	10,267	0,373	4,140	-	-	-	-
	0,415	0,470	13,223	0,443	6,802	-	-	-	-
	0,474	0,531	11,975	0,500	5,534	-	-	-	-
	0,508	0,584	14,869	0,550	8,189	-	-	-	-
	0,539	0,631	16,981	0,594	10,118	-	-	-	-

Filtre	Test Sonucu C Katsayısı	Tüm Numuneler Denklem(4.9)	Hata 1 (%)	Sadece Polyesterler Denklem(4.10)	Hata 2 (%)	Gözenek Boyutu < 100 µ Denklem(4.11)	Hata 3 (%)	Gözenek Boyutu < 75 µ Denklem(4.12)	Hata 4 (%)
190/38	0,440	0,348	20,784	0,329	25,119	-	-	-	-
	0,511	0,414	18,903	0,391	23,434	-	-	-	-
	0,565	0,468	17,166	0,442	21,861	-	-	-	-
	0,645	0,556	13,751	0,524	18,739	-	-	-	-
	0,704	0,629	10,665	0,592	15,904	-	-	-	-
43/30	0,240	0,202	15,569	-	-	0,204	15,019	0,202	15,545
	0,290	0,241	16,993	-	-	0,241	16,992	0,241	16,936
	0,331	0,272	17,744	-	-	0,271	18,121	0,272	17,663
	0,396	0,323	18,310	-	-	0,320	19,210	0,324	18,196
	0,464	0,365	21,219	-	-	0,360	22,445	0,366	21,087
	0,506	0,402	20,572	-	-	0,394	22,087	0,403	20,421
	0,545	0,434	20,295	-	-	0,425	22,043	0,435	20,129
	0,581	0,464	20,188	-	-	0,452	22,130	0,465	20,009
74/34	0,278	0,286	3,149	-	-	0,285	2,476	-	-
	0,334	0,340	2,039	-	-	0,336	0,717	-	-
	0,379	0,385	1,437	-	-	0,378	0,336	-	-
	0,453	0,457	1,079	-	-	0,446	1,330	-	-
	0,513	0,517	0,764	-	-	0,502	2,090	-	-
	0,555	0,569	2,489	-	-	0,551	0,768	-	-
	0,591	0,615	3,924	-	-	0,593	0,328	-	-
	0,624	0,656	5,219	-	-	0,632	1,328	-	-
187/35	0,440	0,418	4,981	-	-	-	-	-	-
	0,517	0,497	3,858	-	-	-	-	-	-
	0,578	0,562	2,806	-	-	-	-	-	-
	0,628	0,618	1,703	-	-	-	-	-	-
	0,671	0,668	0,547	-	-	-	-	-	-

EK B

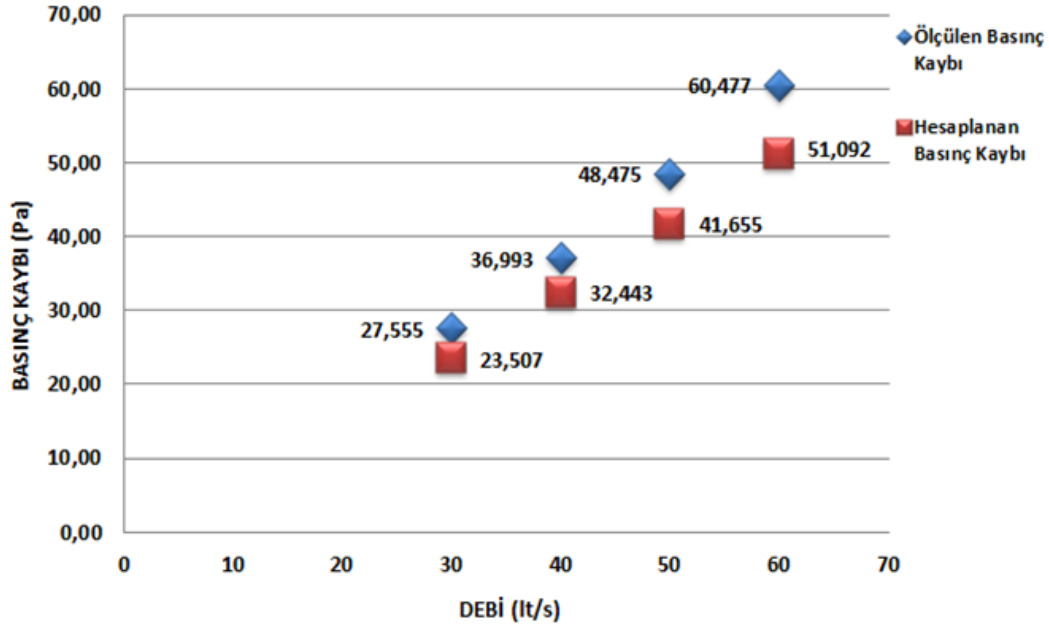


Şekil B.1 : 38/31 numaralı filtre ve Re=5-7 için kıyaslama grafiği.



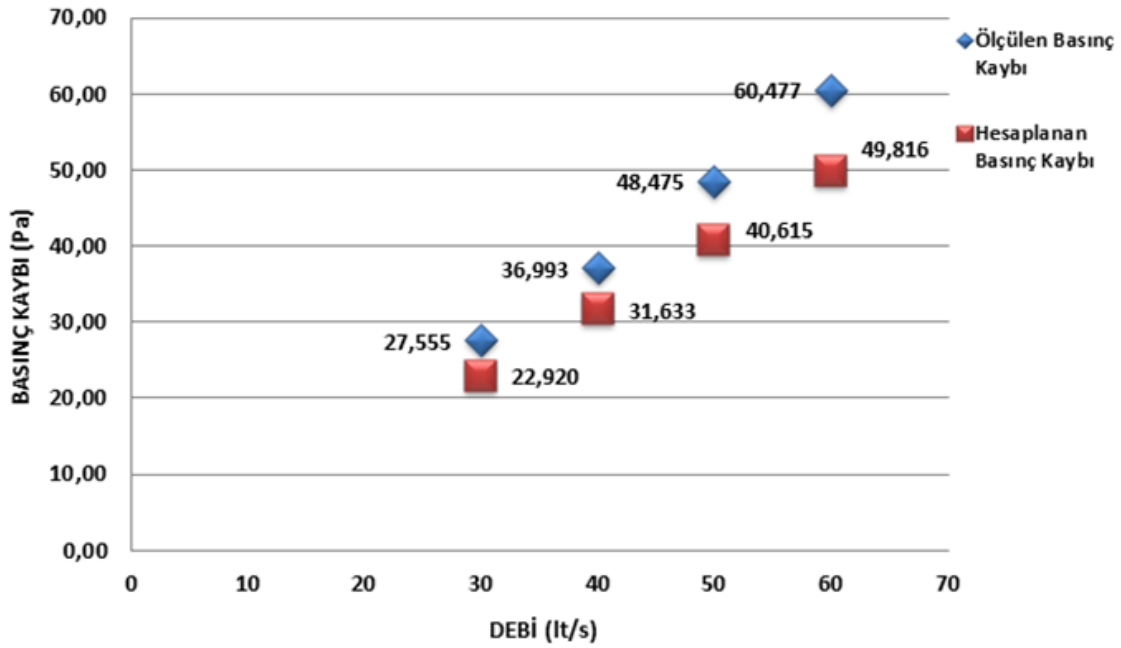
Şekil B.2 : 38/31 numaralı filtre ve Re=10-12 için kıyaslama grafiği

47/31 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



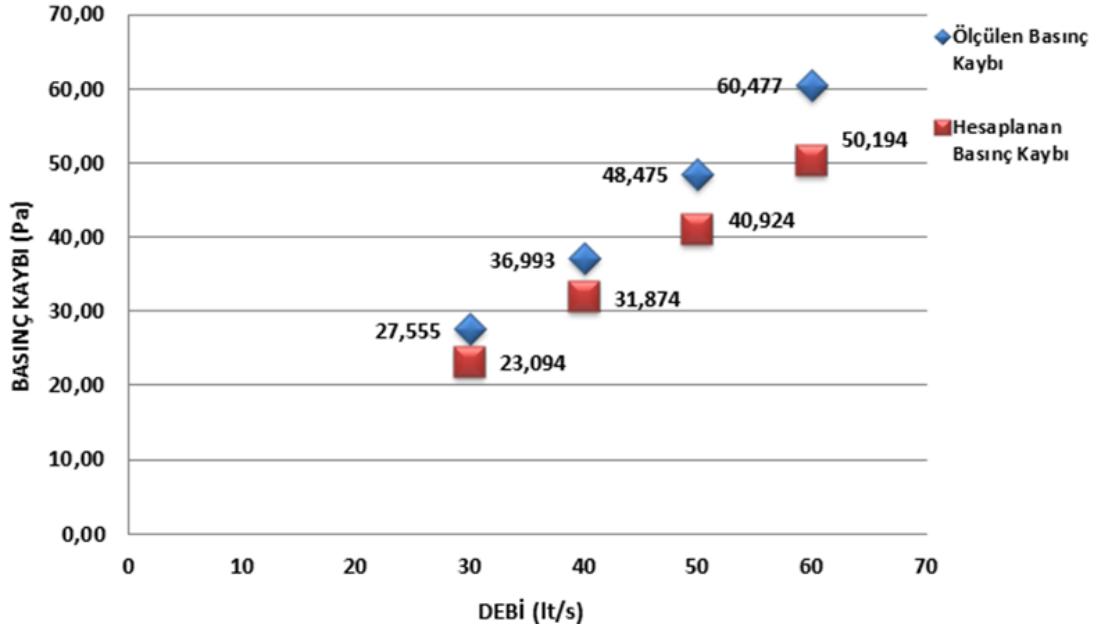
Şekil B.3 : 47/31 numaralı filtre ve Re=5-7 için kıyaslama grafiği

47/31 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



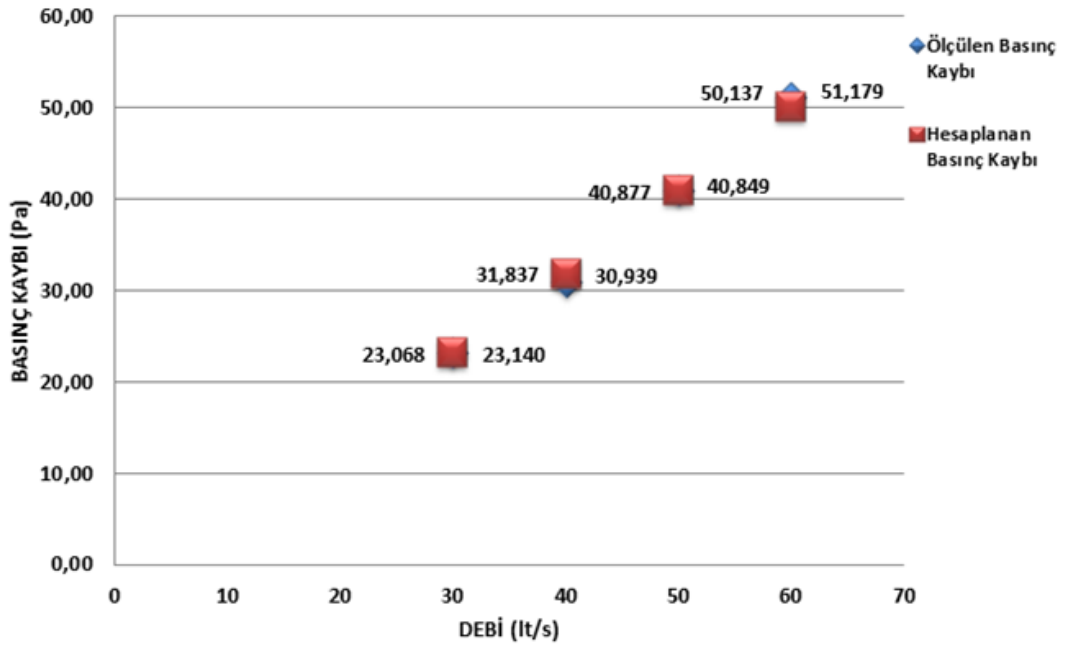
Şekil B.4 : 47/31 numaralı filtre ve Re=10-12 için kıyaslama grafiği

47/31 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama

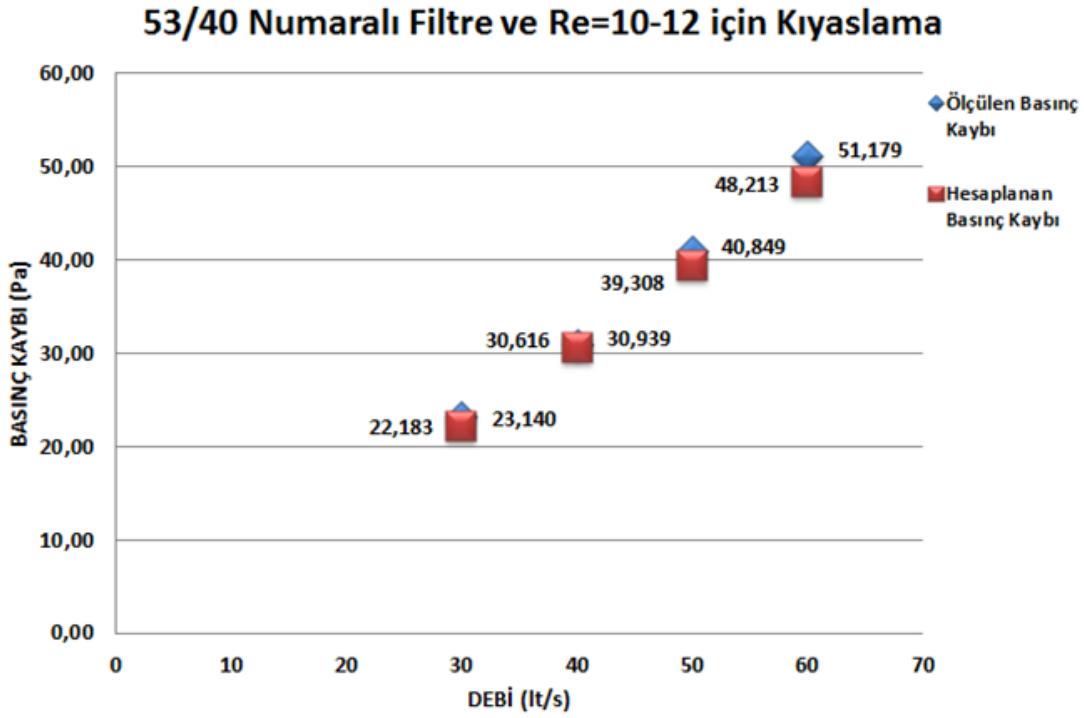


Şekil B.5 : 47/31 numaralı filtre ve Re=15-17 için kıyaslama grafiği

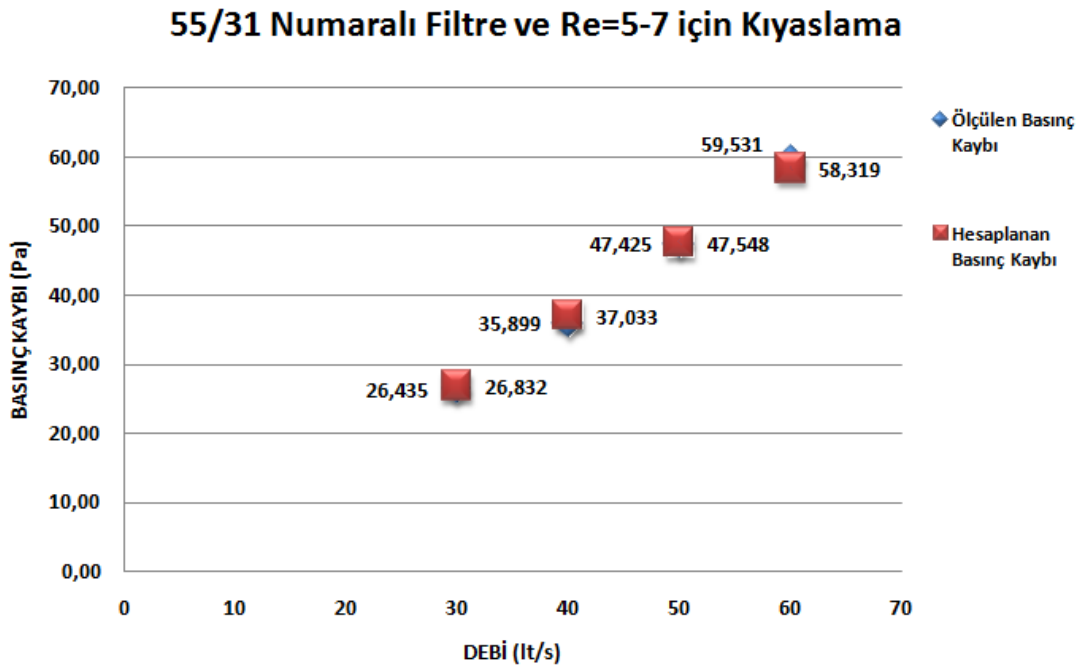
53/40 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



Şekil B.6 : 53/40 numaralı filtre ve Re=5-7 için kıyaslama grafiği

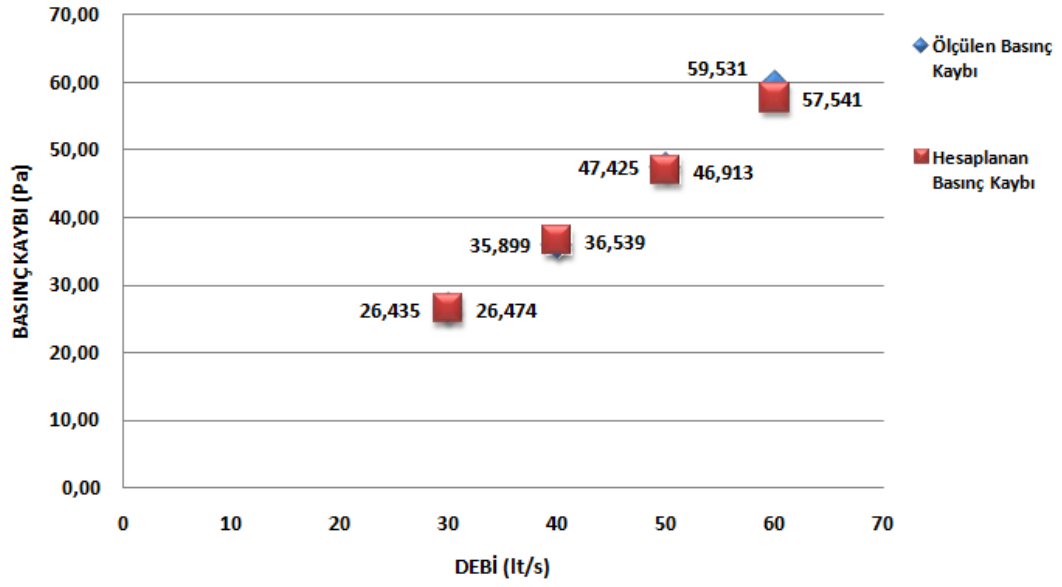


Şekil B.7 : 53/40 numaralı filtre ve Re=10-12 için kıyaslama grafiği



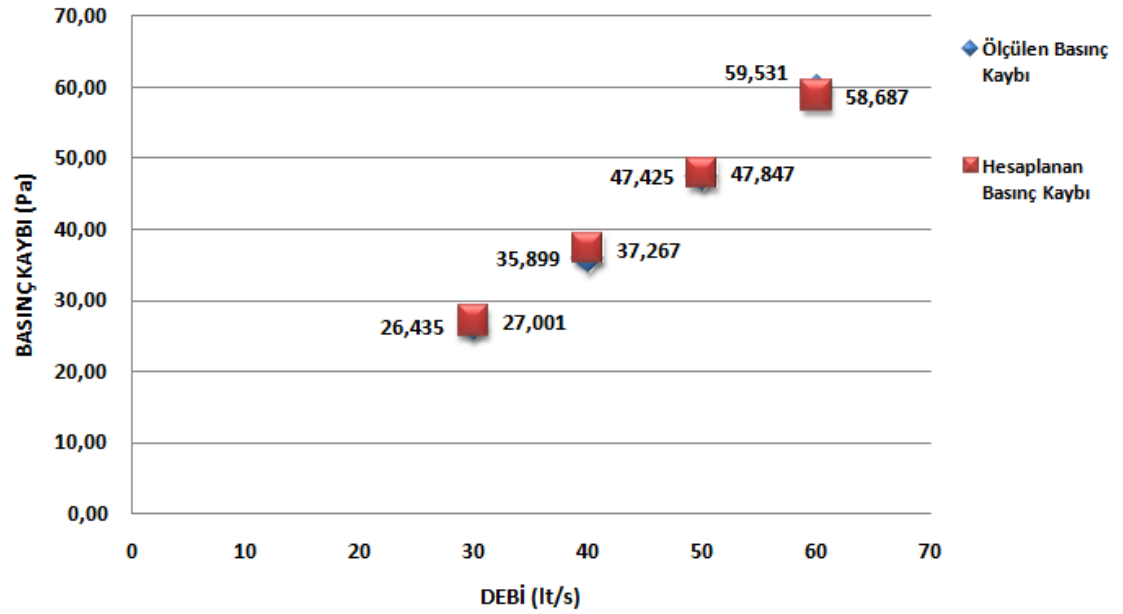
Şekil B.8 : 55/31 numaralı filtre ve Re=5-7 için kıyaslama grafiği

55/31 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama

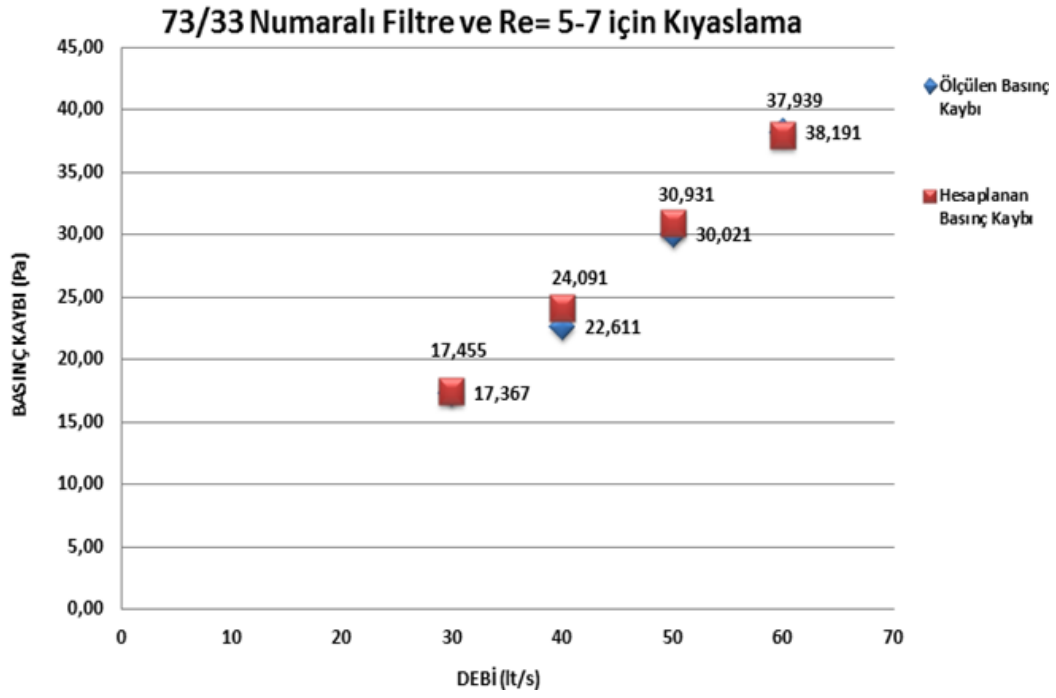


Şekil B.9 : 55/31 numaralı filtre ve Re=10-12 için kıyaslama grafiği

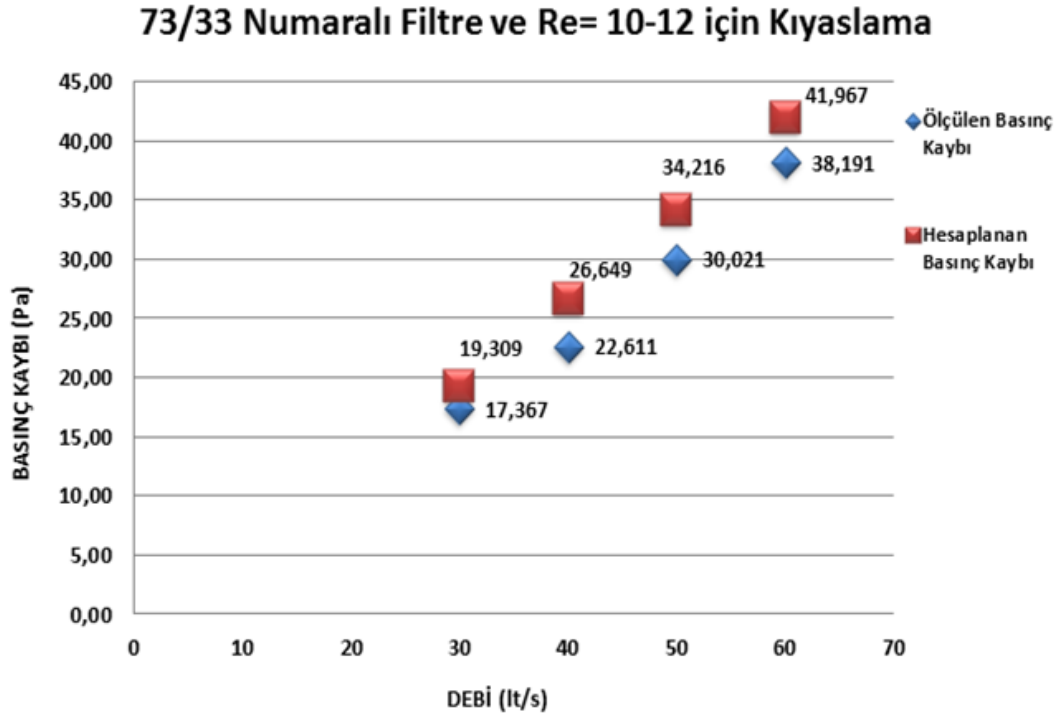
55/31 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama



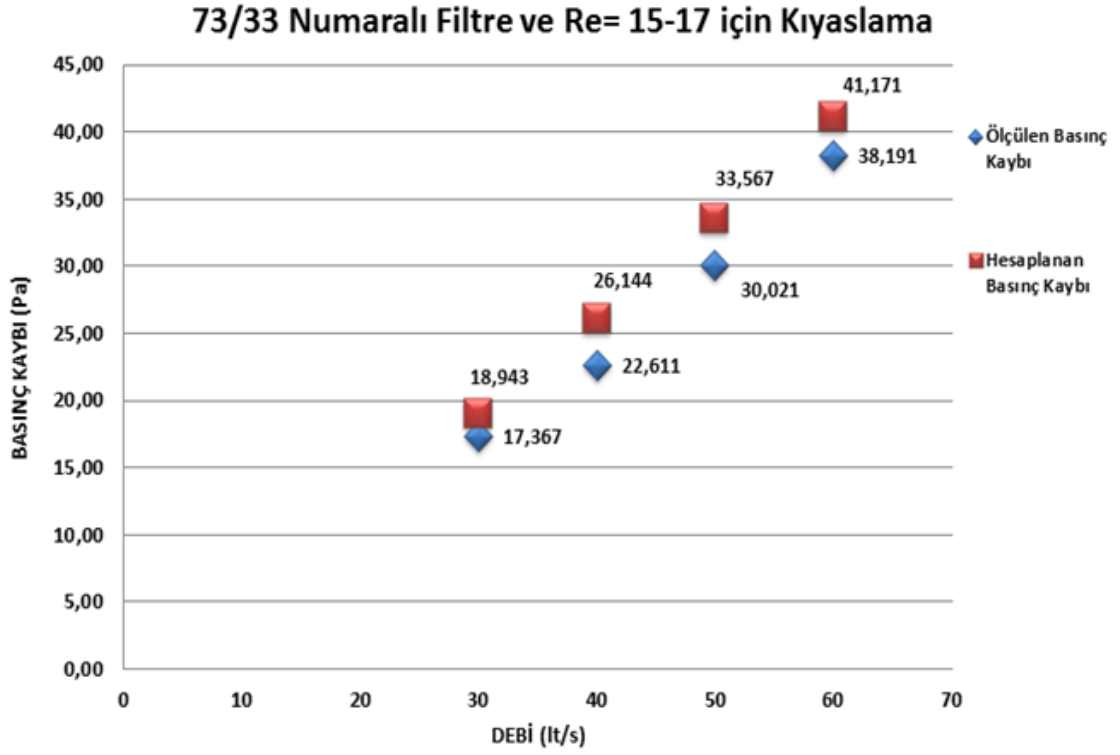
Şekil B.10 : 55/31 numaralı filtre ve Re=15-17 için kıyaslama grafiği



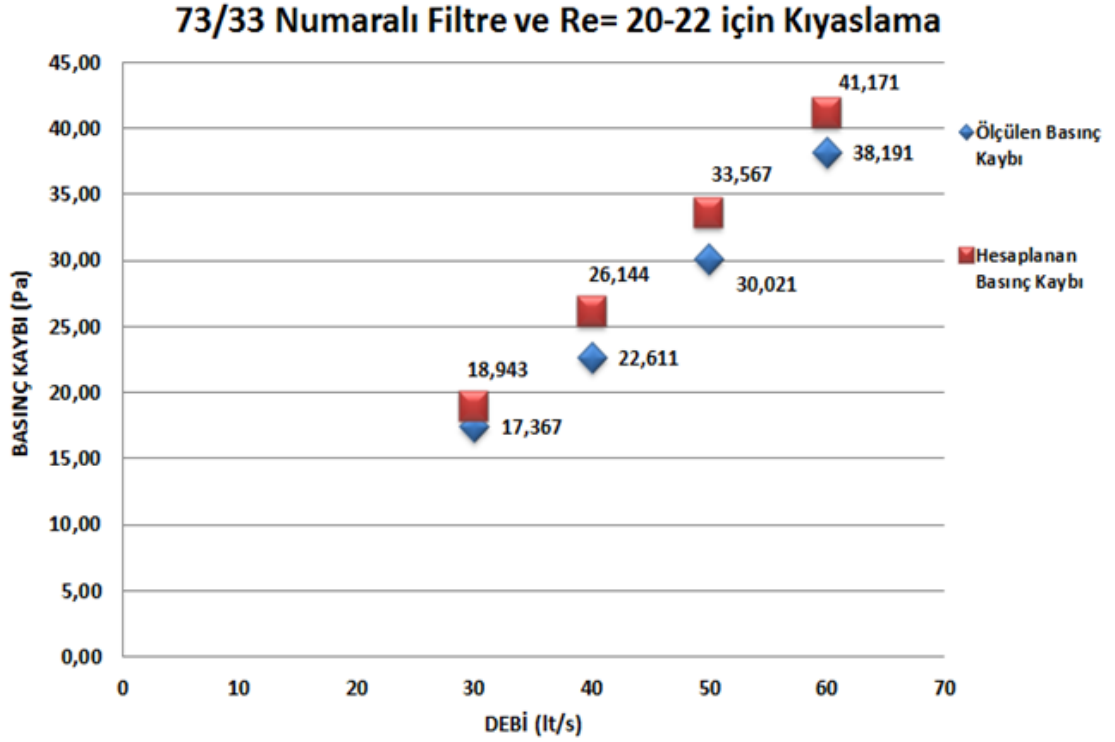
Şekil B.11 : 73/33 numaralı filtre ve Re=5-7 için kıyaslama grafiği



Şekil B.12 : 73/33 numaralı filtre ve Re=10-12 için kıyaslama grafiği

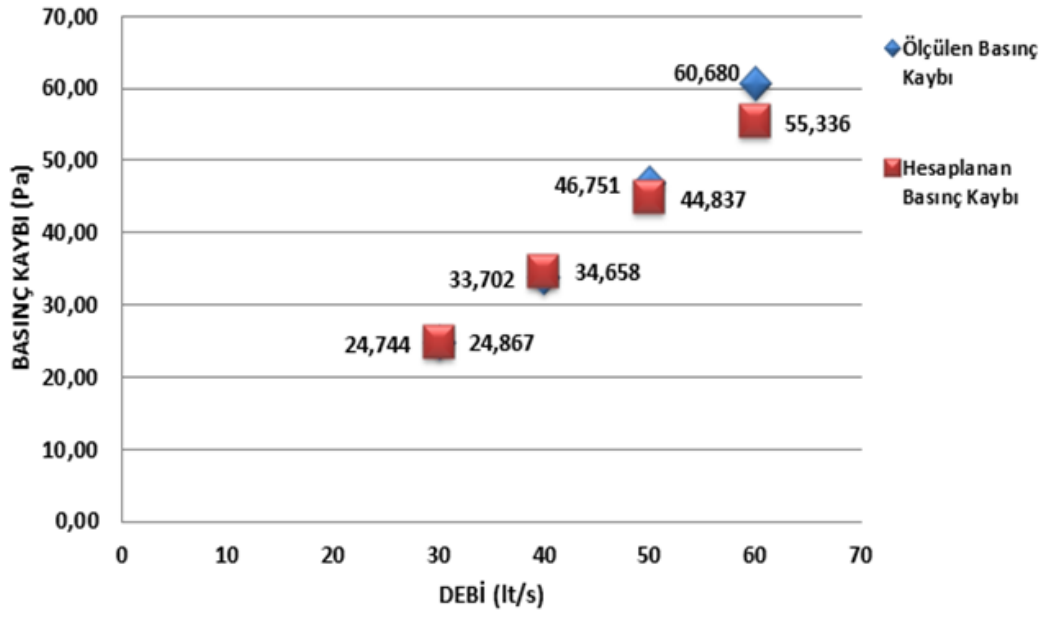


Şekil B.13 : 73/33 numaralı filtre ve Re=15-17 için kıyaslama grafiği



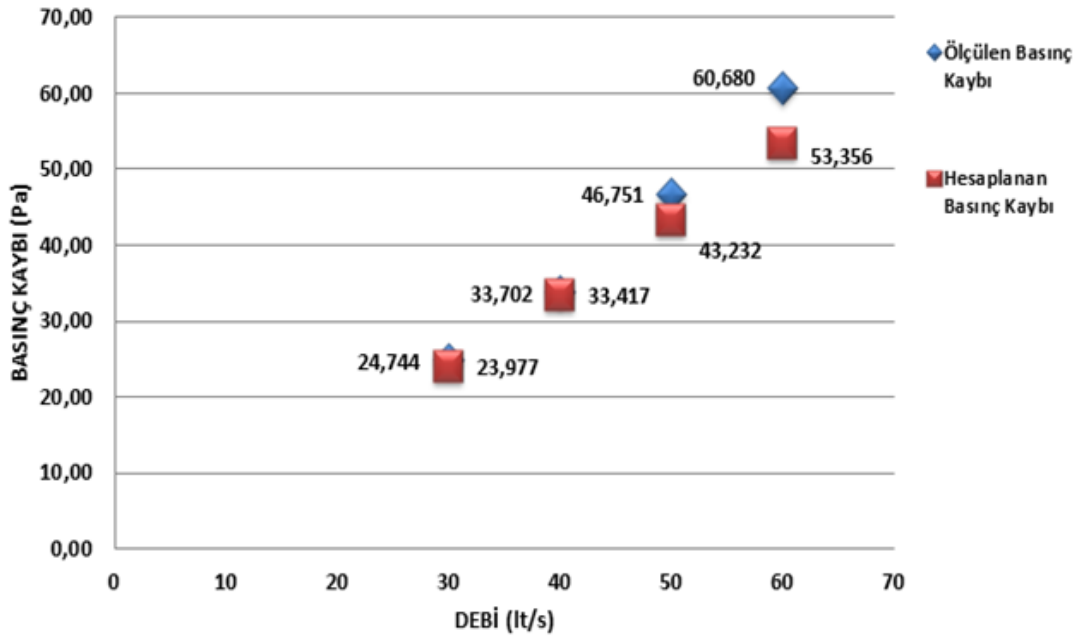
Şekil B.14 : 73/33 numaralı filtre ve Re=20-22 için kıyaslama grafiği

95/27 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



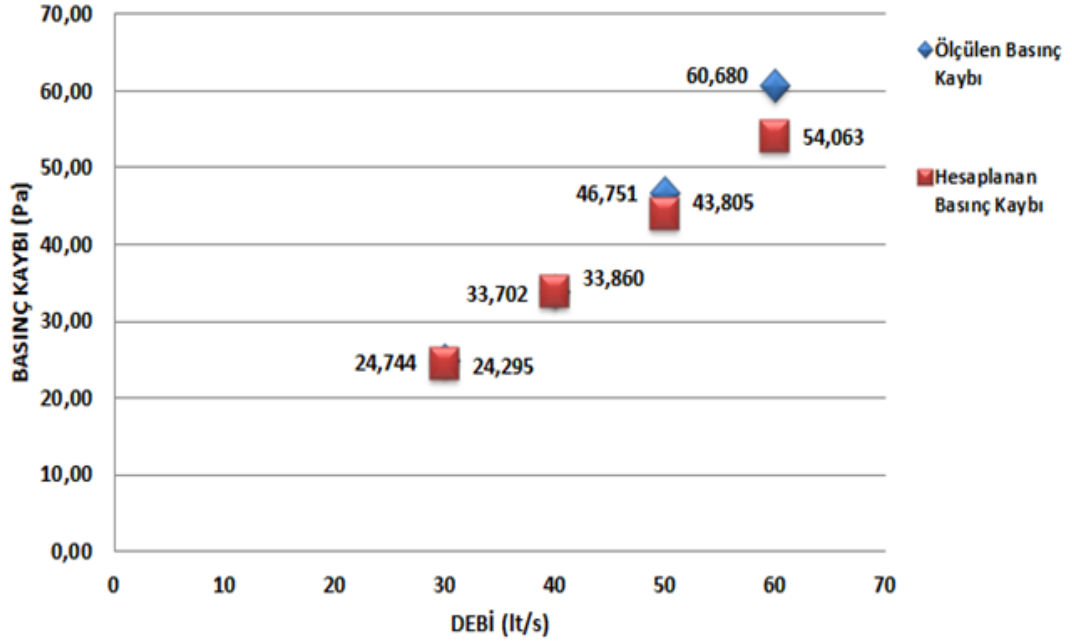
Şekil B.15 : 95/27 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

95/27 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



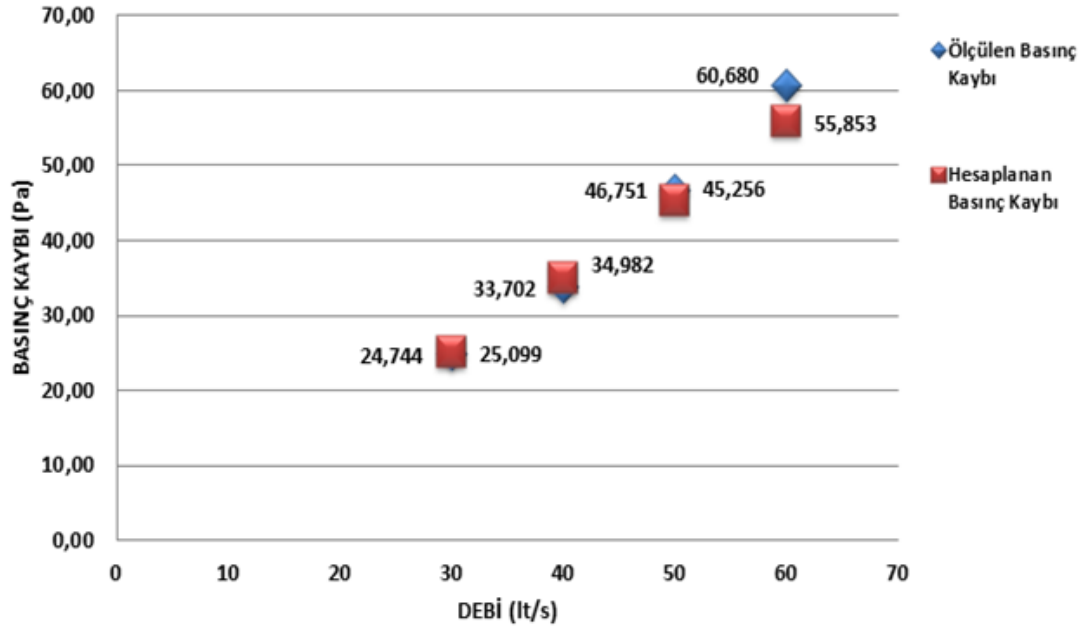
Şekil B.16 : 95/27 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

95/27 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama

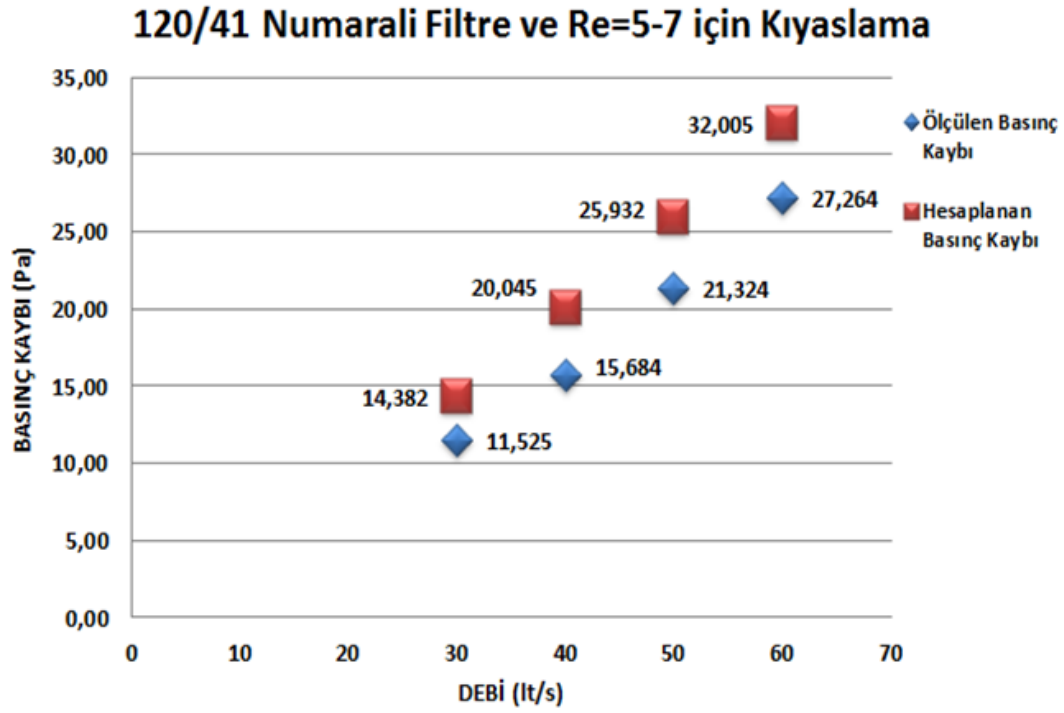


Şekil B.17 : 95/27 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği

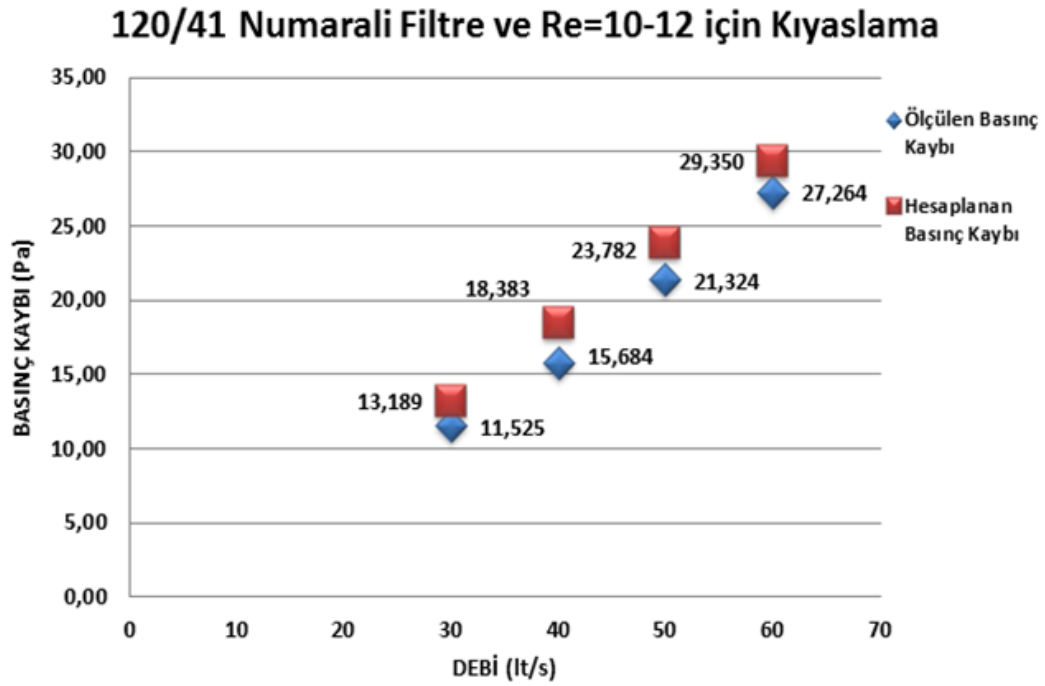
95/27 Numaralı Filtre ve Re=20-22 için Kıyaslama



Şekil B.18 : 95/27 numaralı filtre ve Re= 20-22 için kıyaslama grafiği

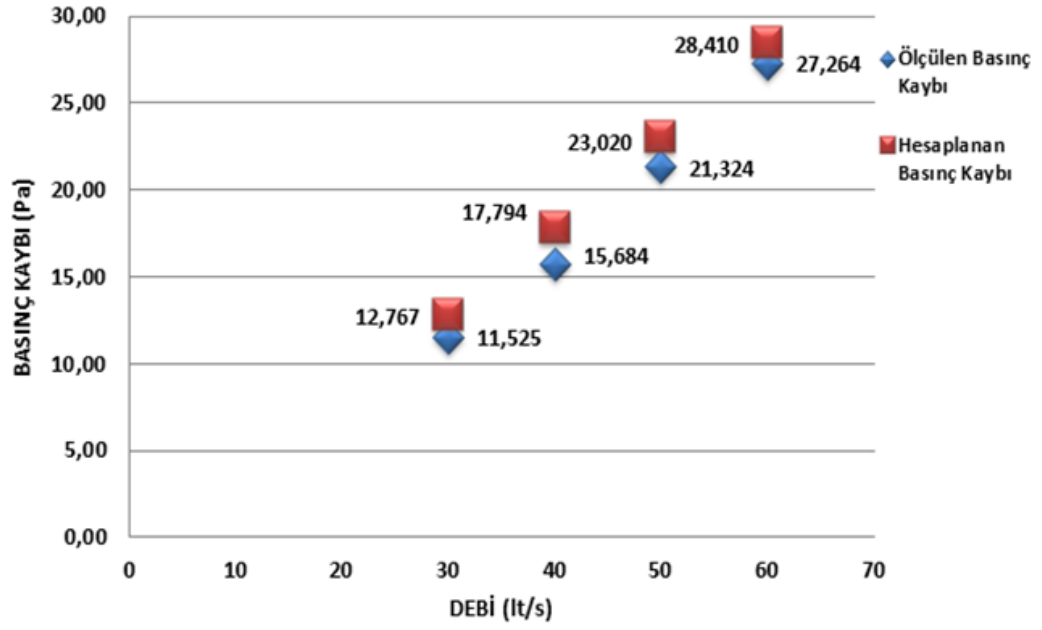


Şekil B.19 : 120/41 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği



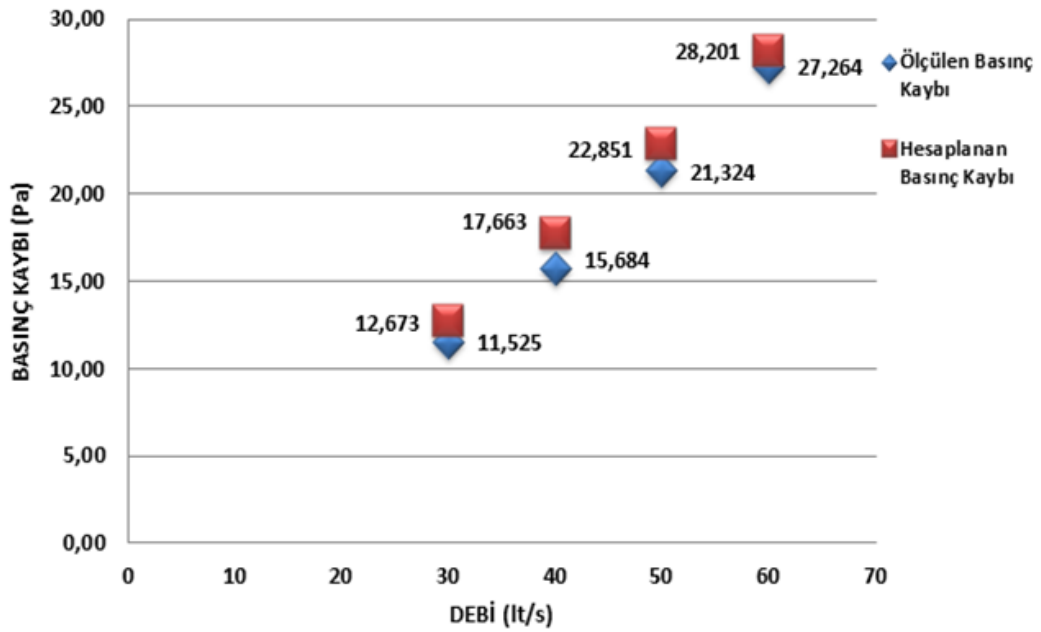
Şekil B.20 : 120/41 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

120/41 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama



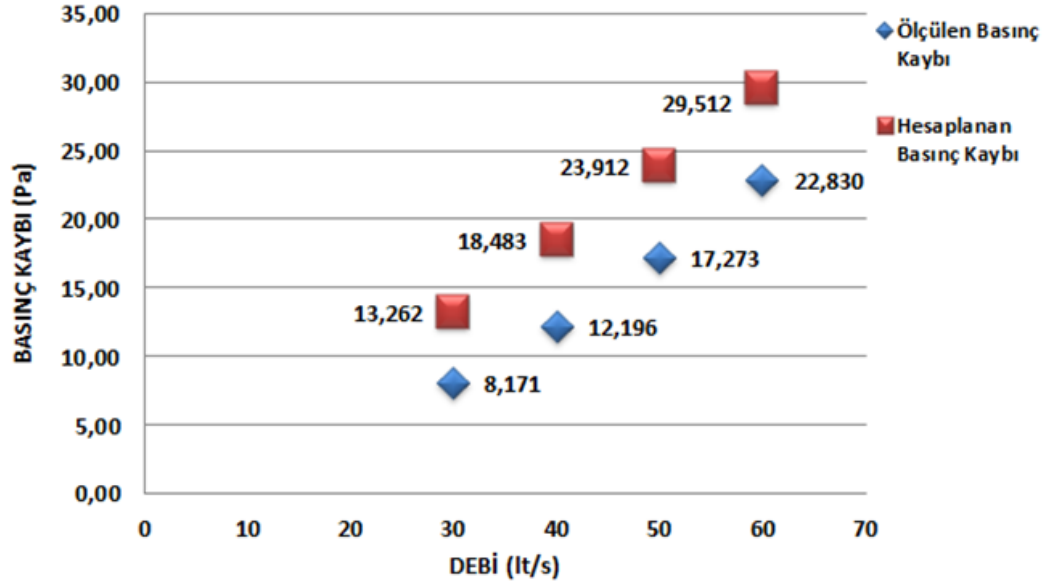
Şekil B.21 : 120/41 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği

120/41 Numaralı Filtre ve Re=20-22 için Kıyaslama



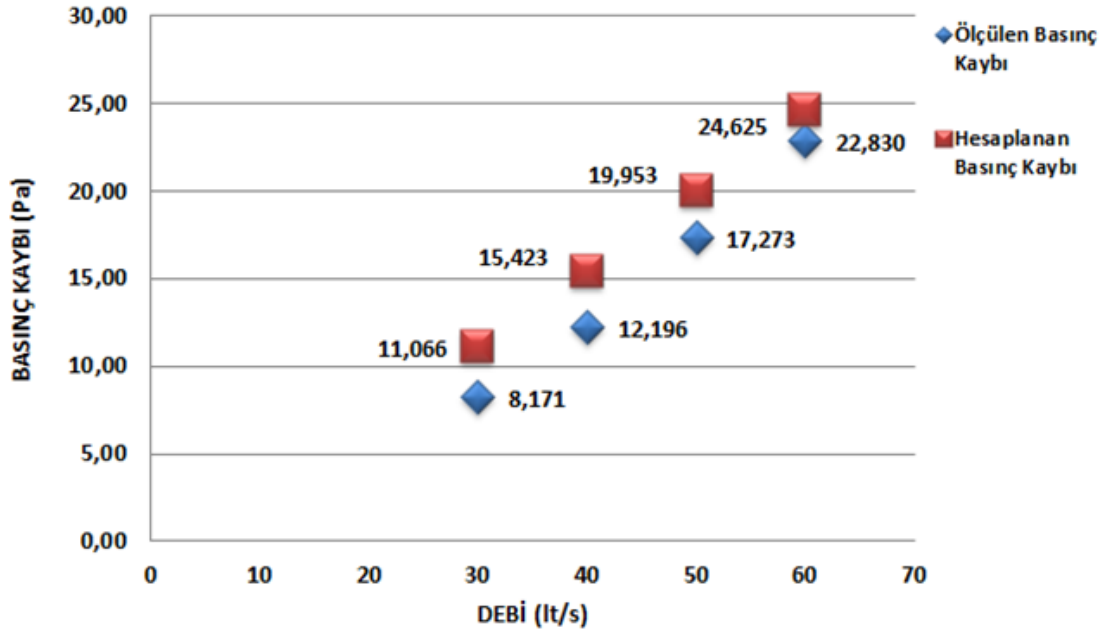
Şekil B.22 : 120/41 numaralı filtre ve Re= 20-22 için kıyaslama grafiği

190/38 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



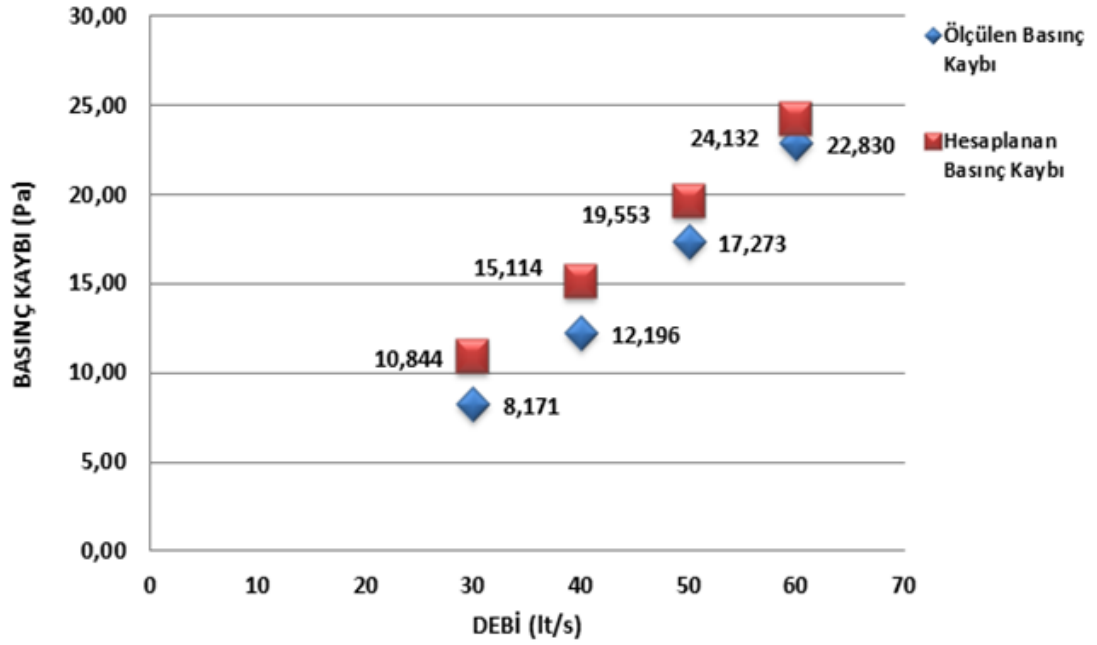
Şekil B.23 : 190/38 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

190/38 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



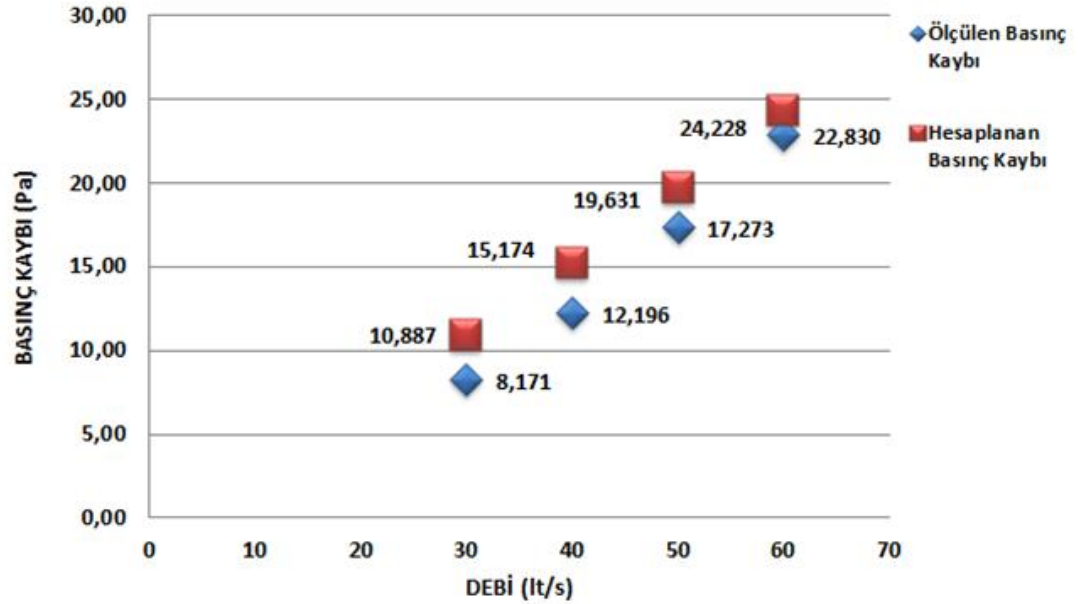
Şekil B.24 : 190/38 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

190/38 Numaralı Filtre ve Re=15 için Kıyaslama



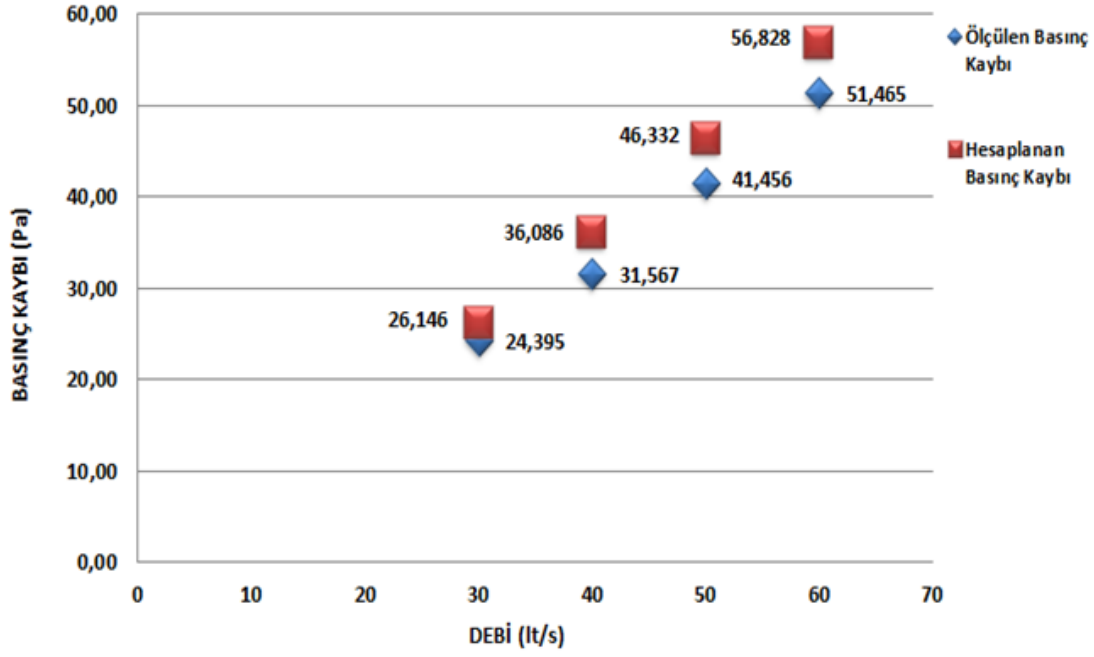
Şekil B.25 : 190/38 numaralı filtre ve Re= 15 için kıyaslama grafiği

190/38 Numaralı Filtre ve Re=18-20 için Kıyaslama



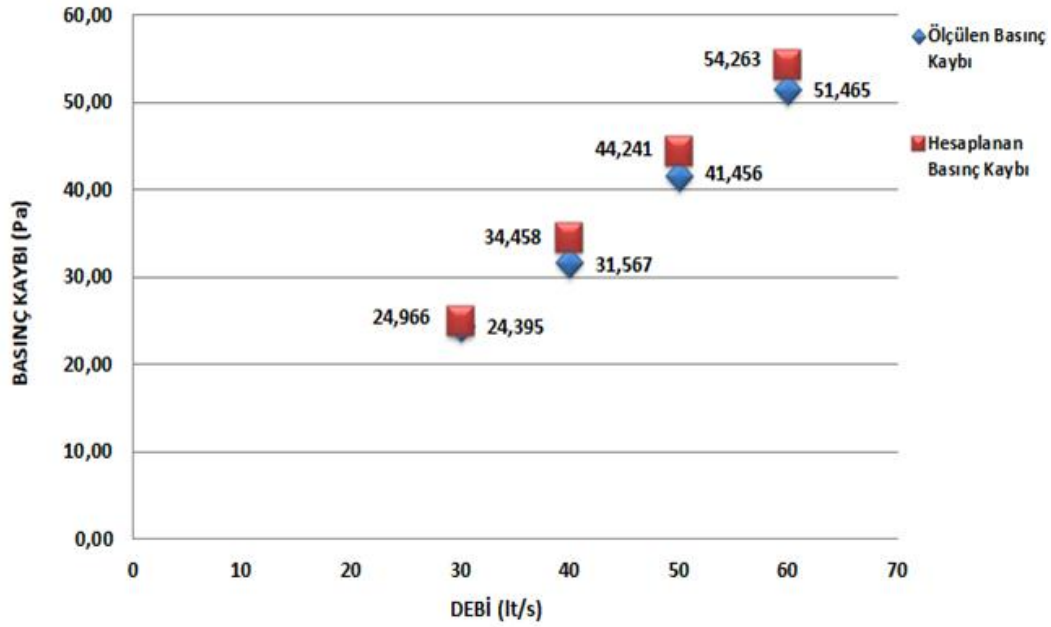
Şekil B.26 : 190/38 numaralı filtre ve Re= 18-20 için kıyaslama grafiği

43/30 Numaralı Filtre ve Re= 5-7 için Kıyaslama



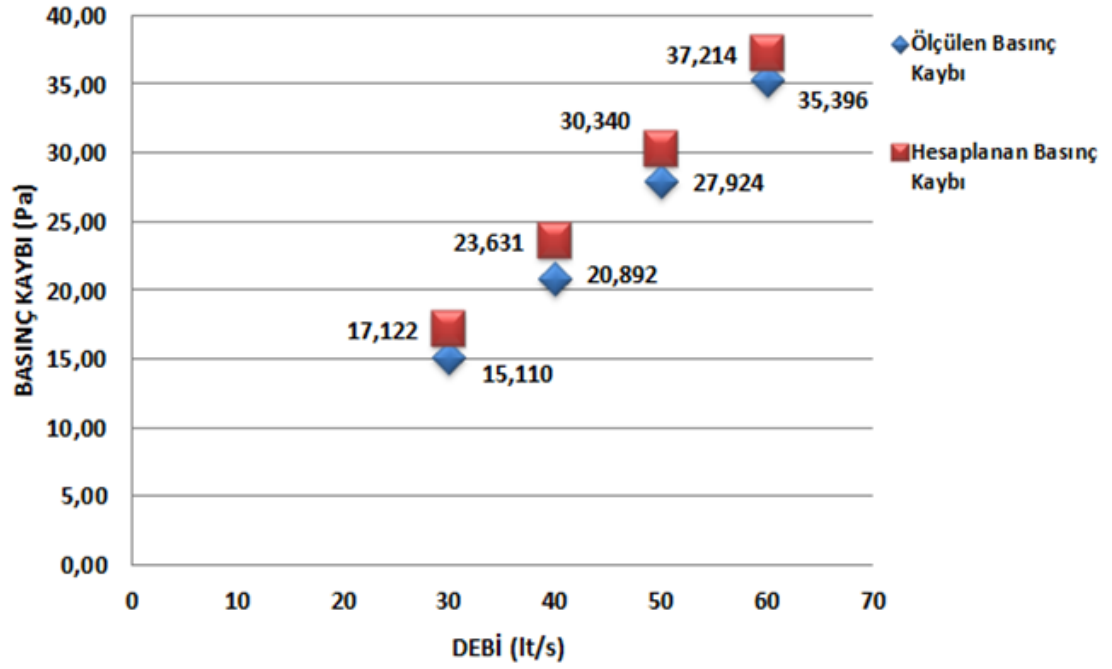
Şekil B.27 : 43/30 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

43/30 Numaralı Filtre ve Re= 10-12 için Kıyaslama



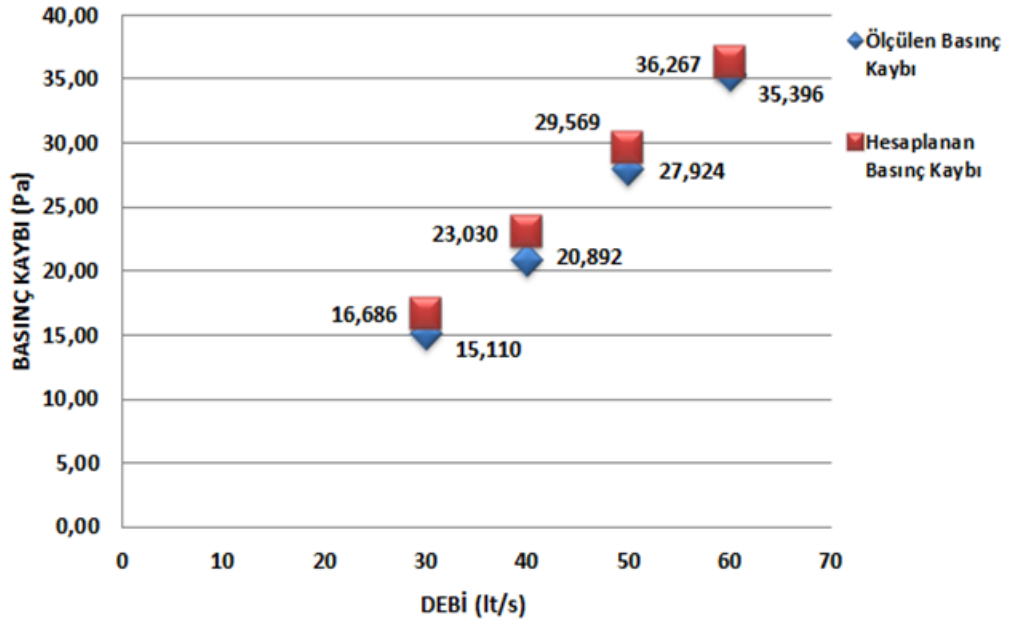
Şekil B.28 : 43/30 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

74/34 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



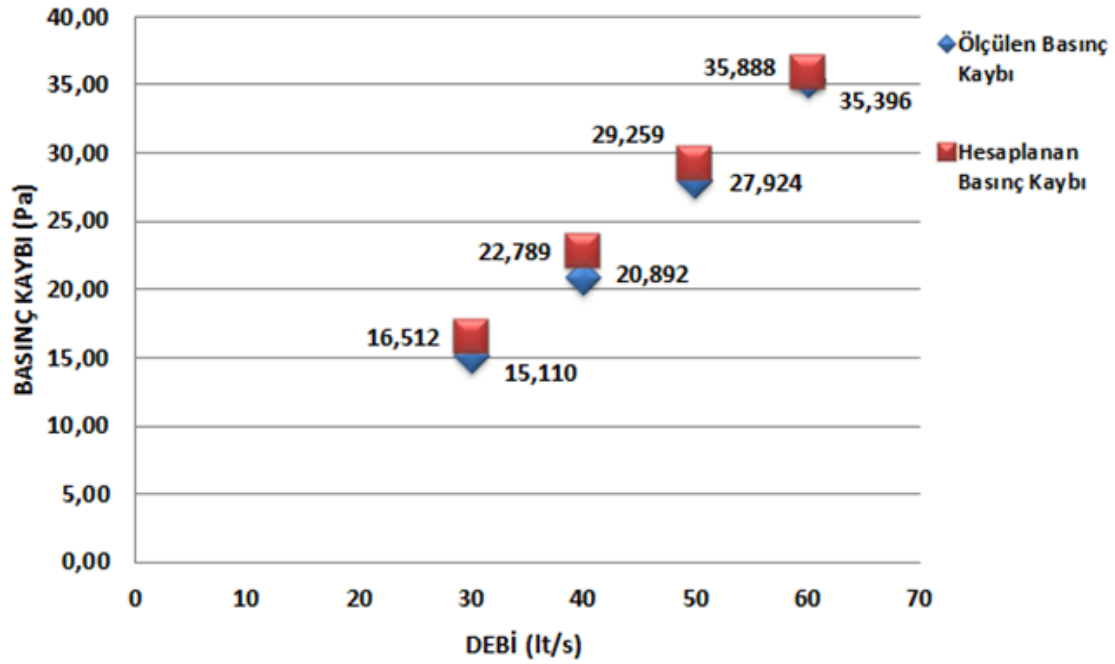
Şekil B.29 : 74/34 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

74/34 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



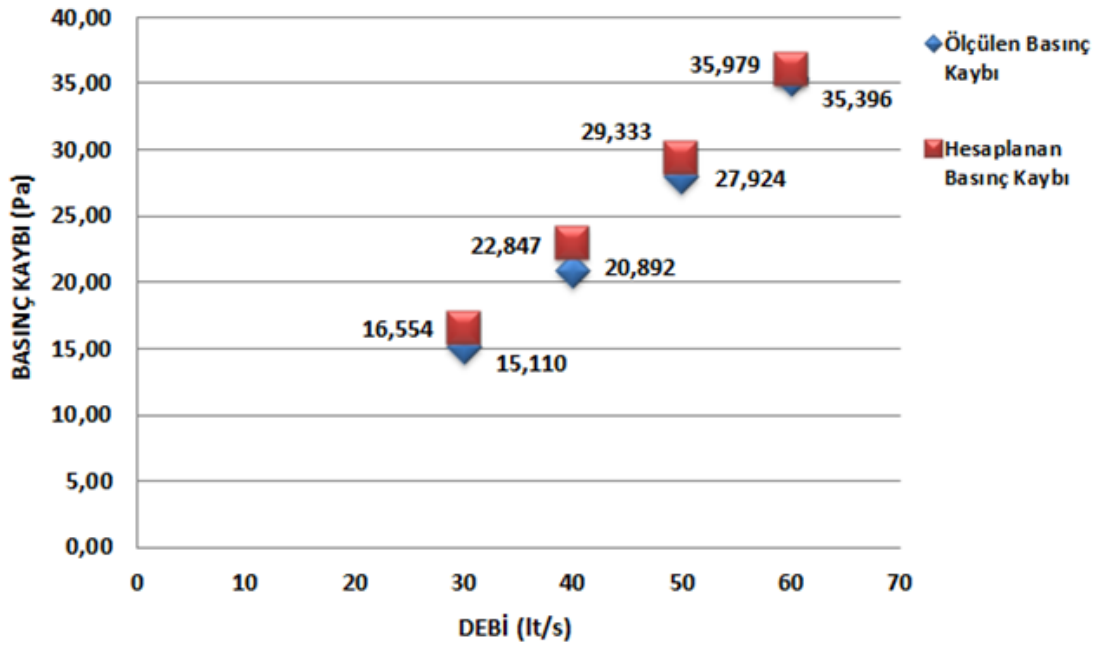
Şekil B.30 : 74/34 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

74/34 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama



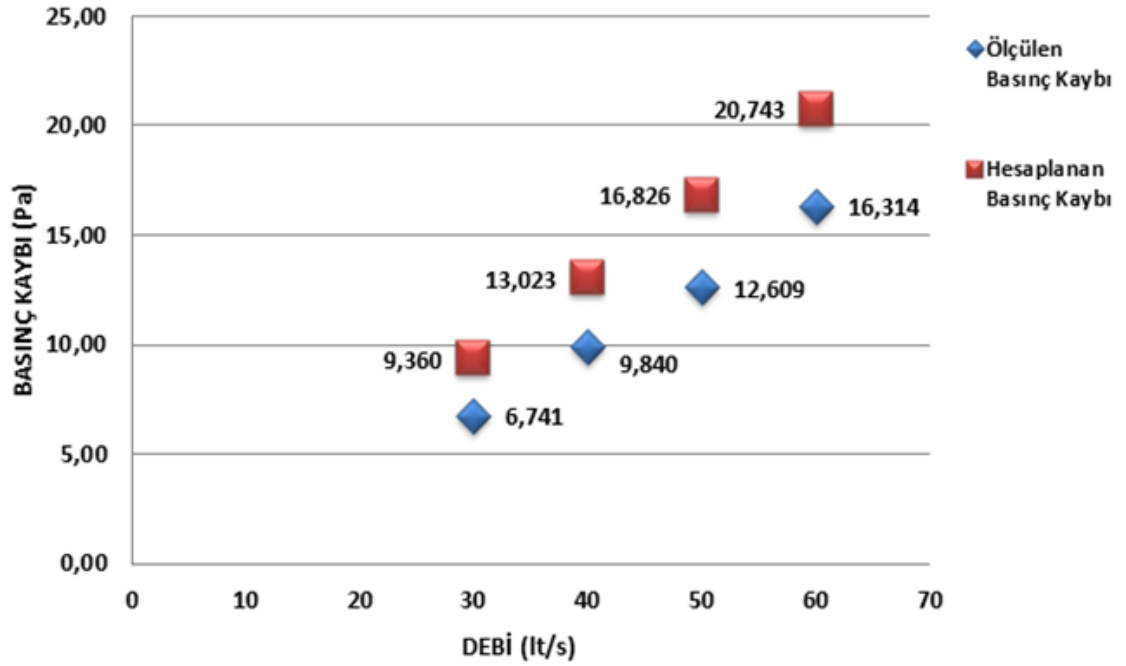
Şekil B.31 : 74/34 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği

74/34 Numaralı Filtre ve Re=20-22 için Kıyaslama



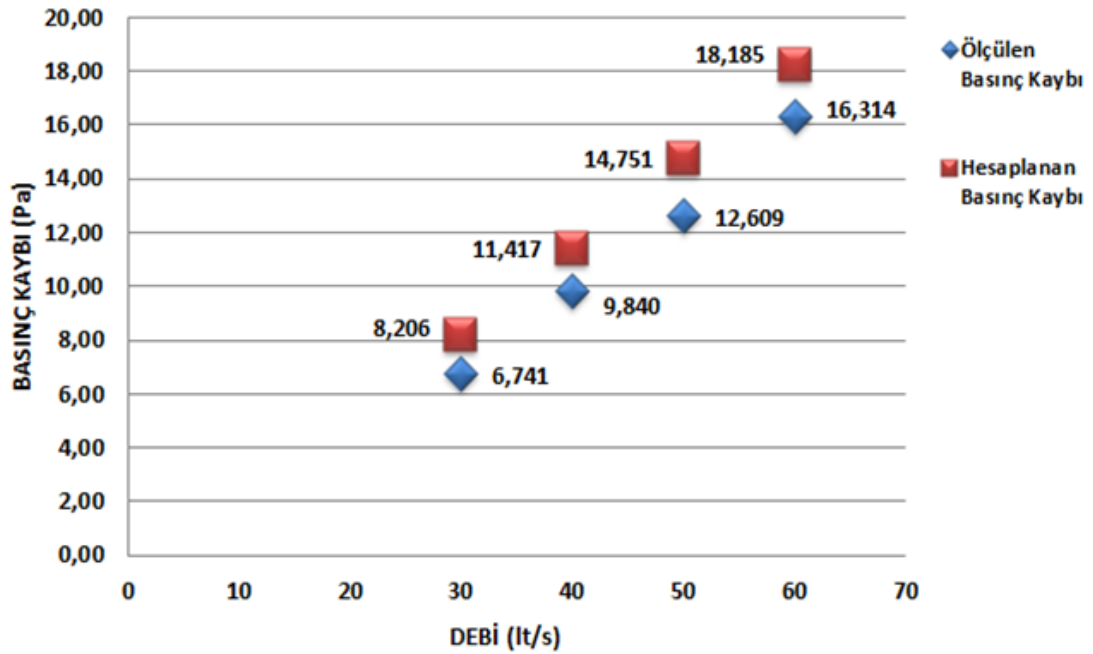
Şekil B.32 : 74/34 numaralı filtre ve Re= 20-22 için kıyaslama grafiği

187/35 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



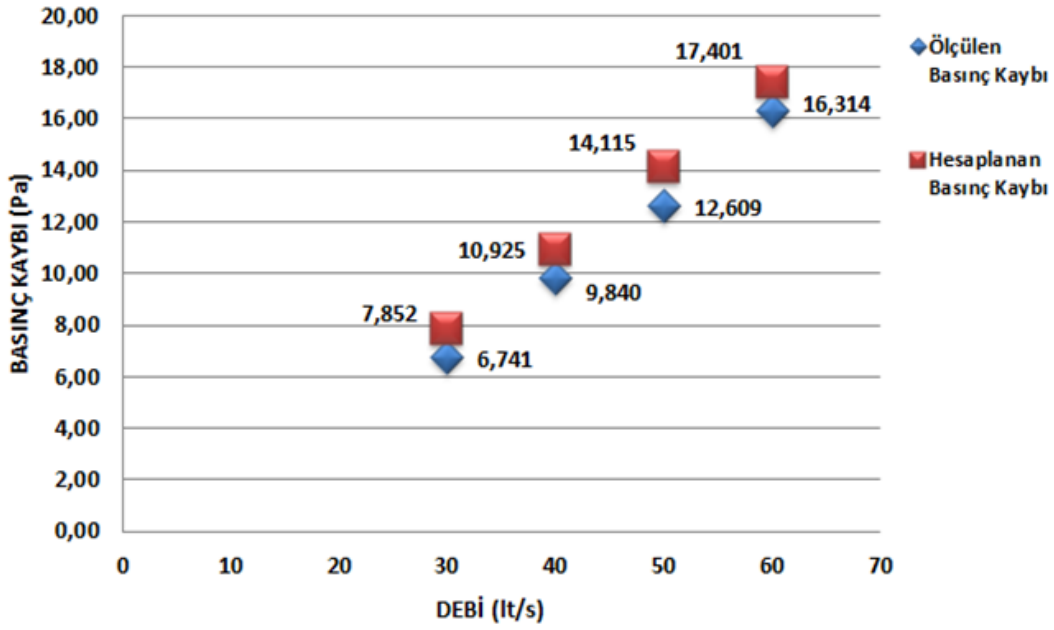
Şekil B.33 : 187/35 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

187/35 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



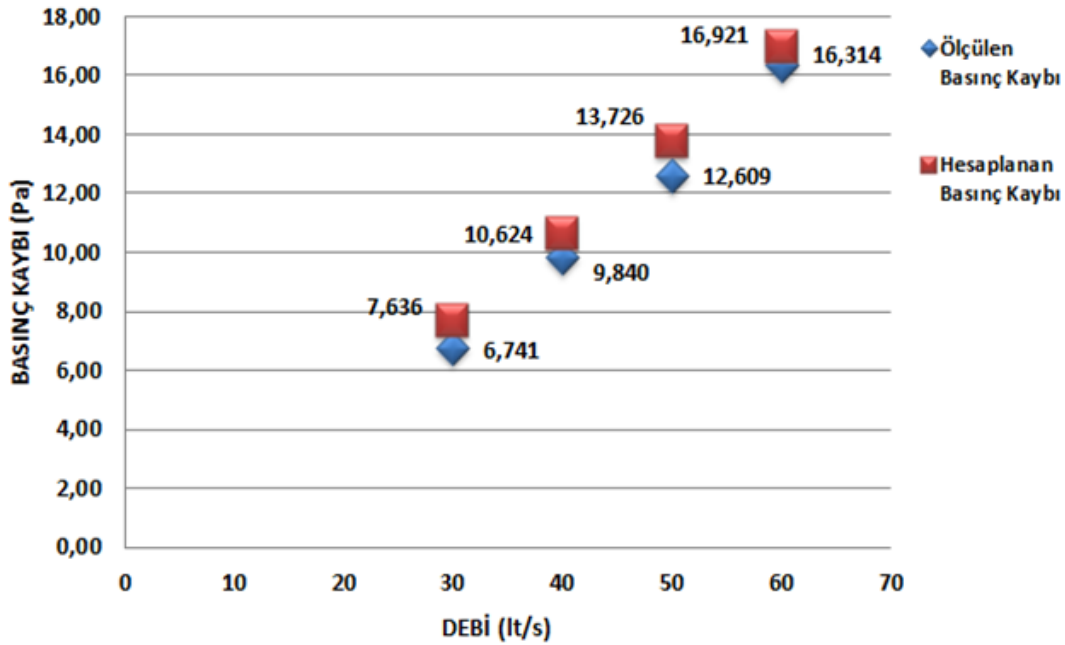
Şekil B.34 : 187/35 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

187/35 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama



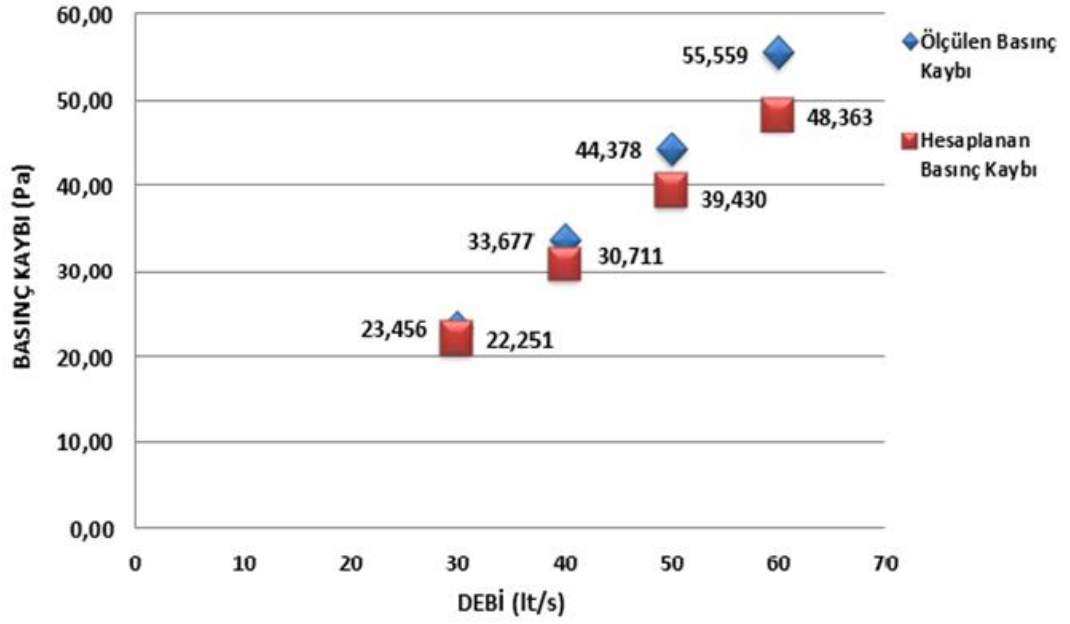
Şekil B.35 : 187/35 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği

187/35 Numaralı Filtre ve Re=18-20 için Kıyaslama



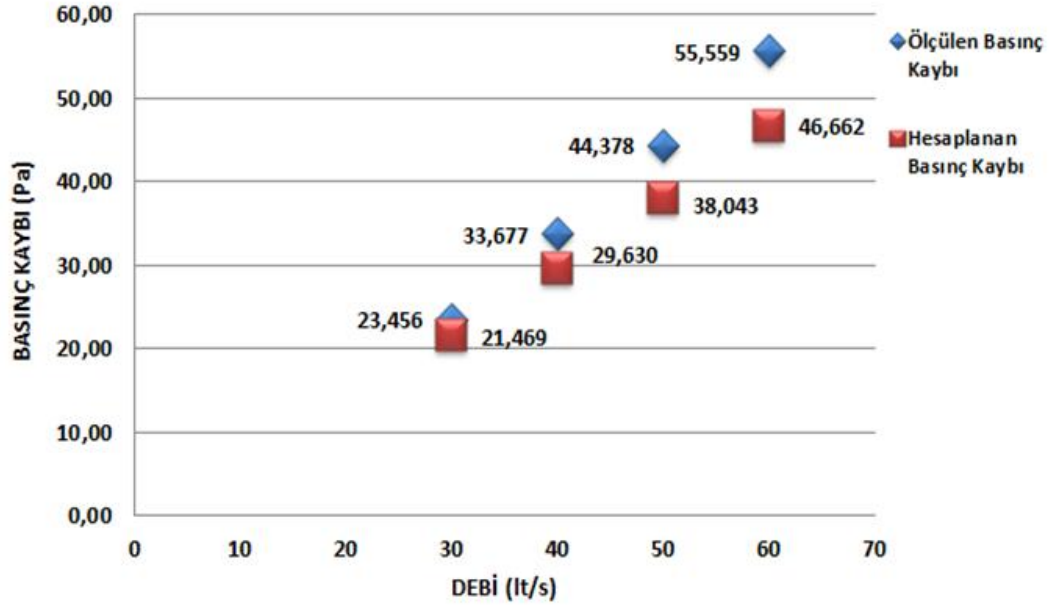
Şekil B.36 : 187/35 numaralı filtre ve Re= 18-20 için kıyaslama grafiği

53/35 Numaralı Filtre ve Re=5-7 için Kıyaslama



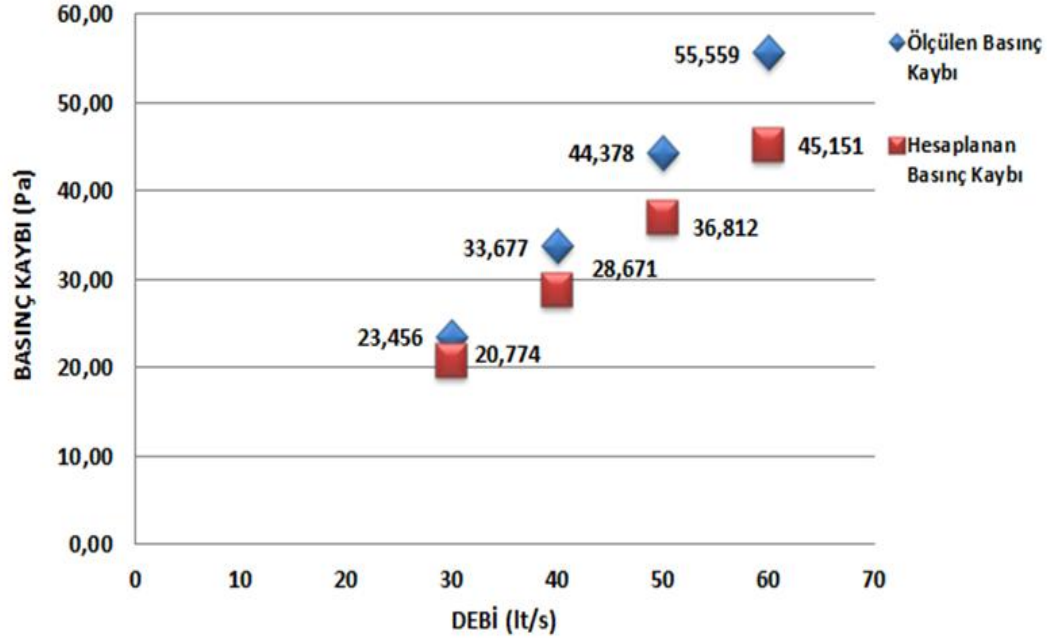
Şekil B.37 : 53/35 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

53/35 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



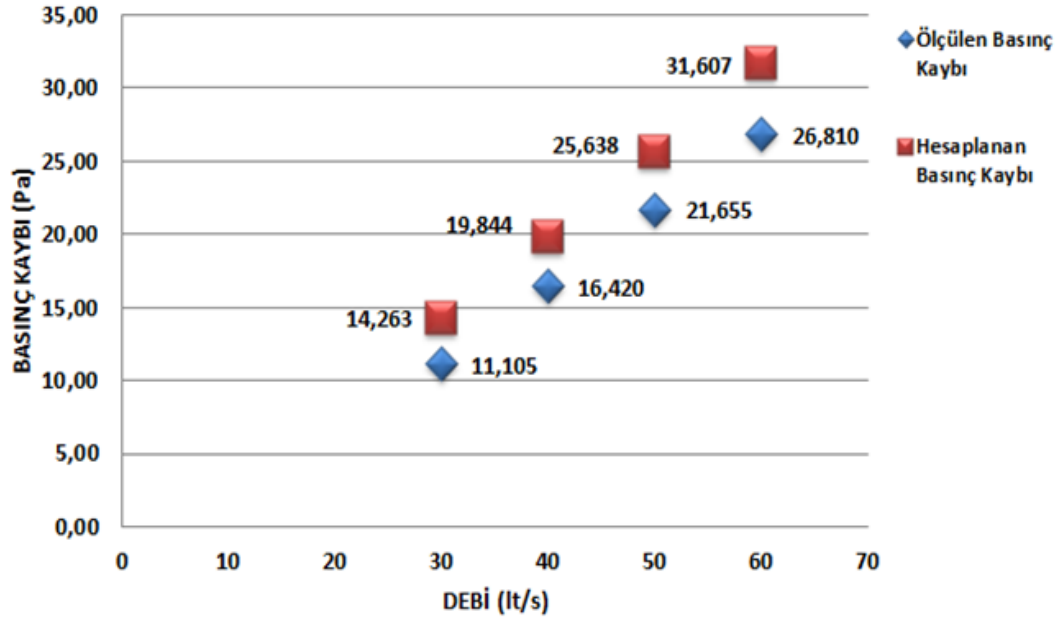
Şekil B.38 : 53/35 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

53/35 Numaralı Filtre ve Re=15-17 için Kıyaslama



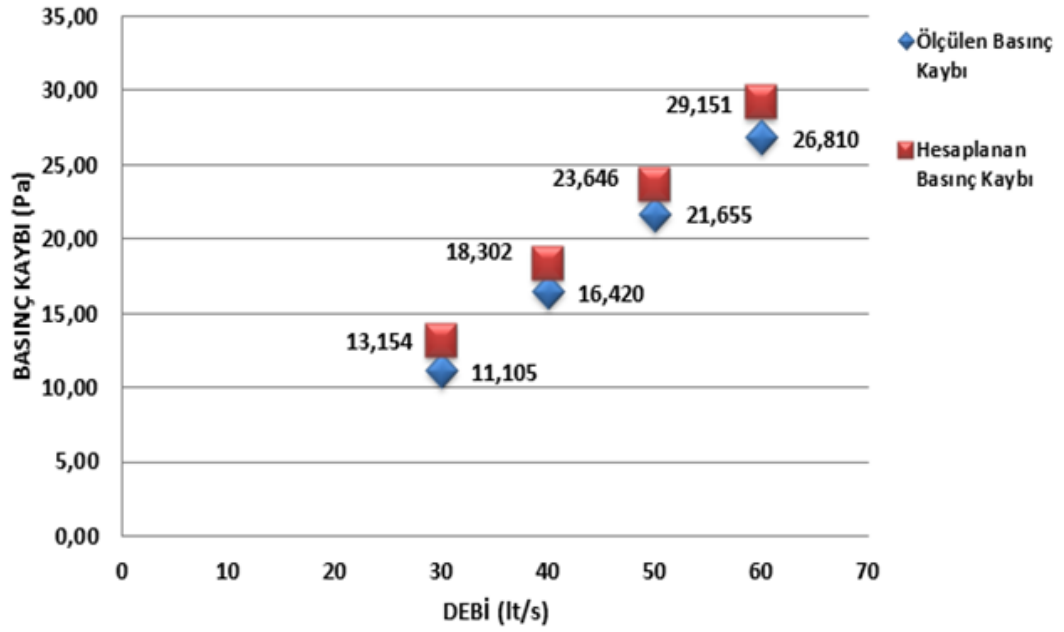
Şekil B.39 : 53/35 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği

125/35 Numaralı Filtre ve Re =5-7 için Kıyaslama



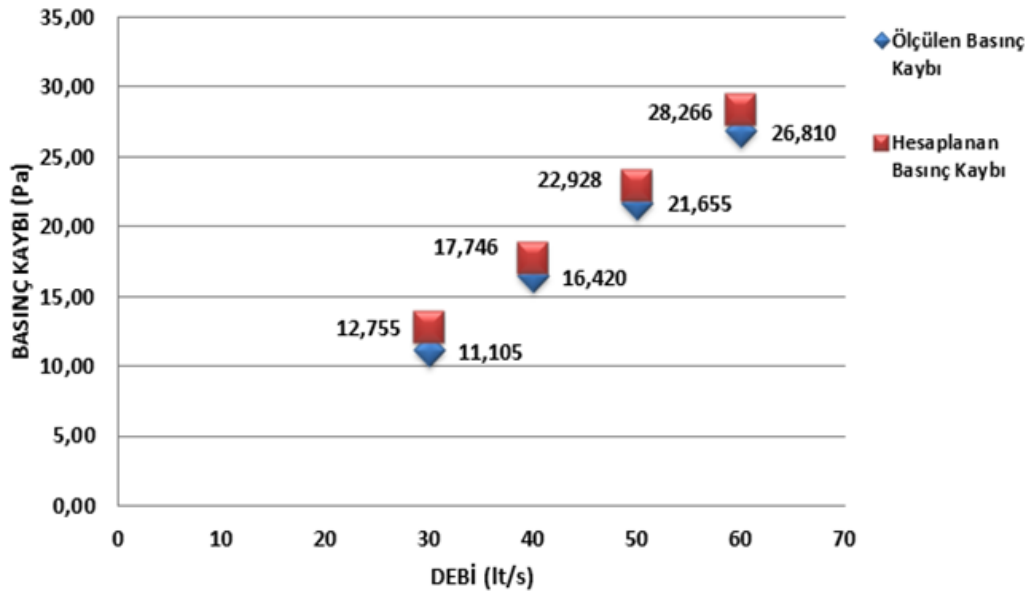
Şekil B.40 : 125/35 numaralı filtre ve Re= 5-7 için kıyaslama grafiği

125/35 Numaralı Filtre ve Re =10-12 için Kıyaslama



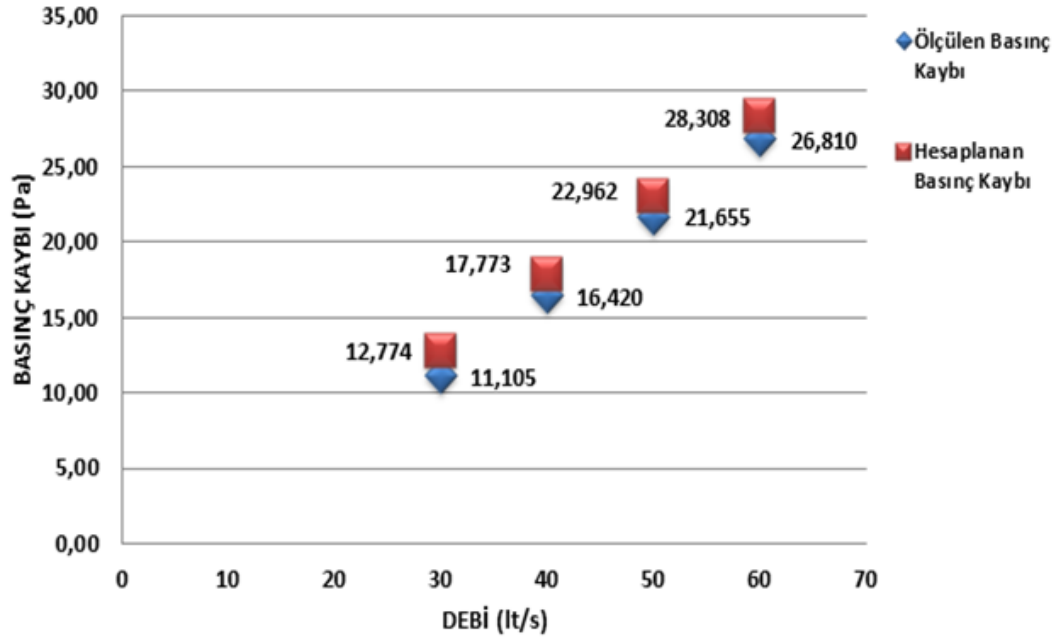
Şekil B.41 : 125/35 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği

125/35 Numaralı Filtre ve Re =15-17 için Kıyaslama



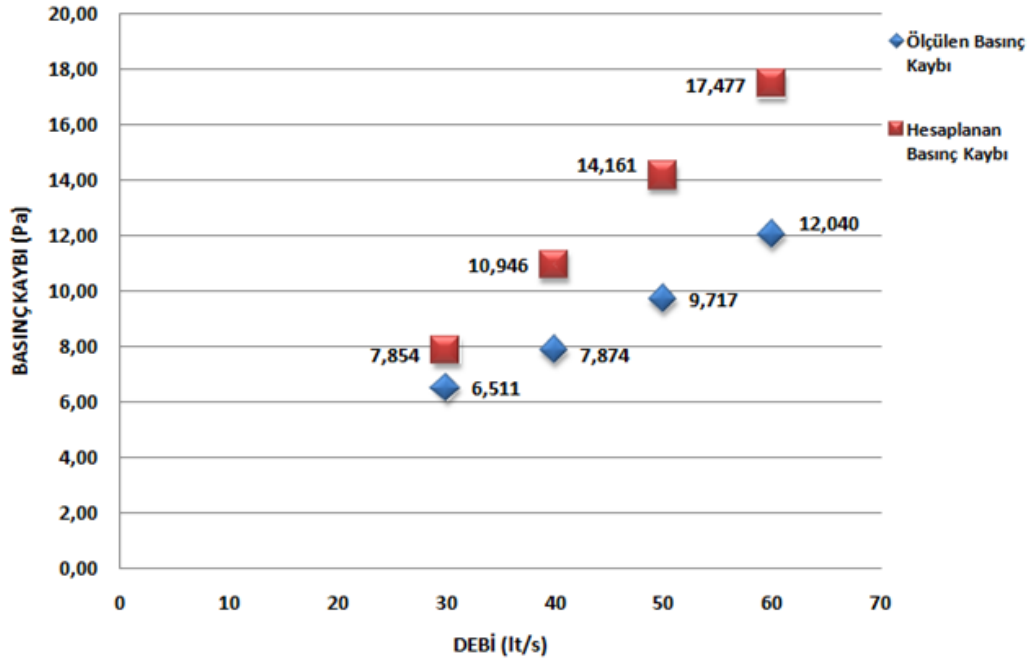
Şekil B.42 : 125/35 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği

125/35 Numaralı Filtre ve Re =20-22 için Kıyaslama

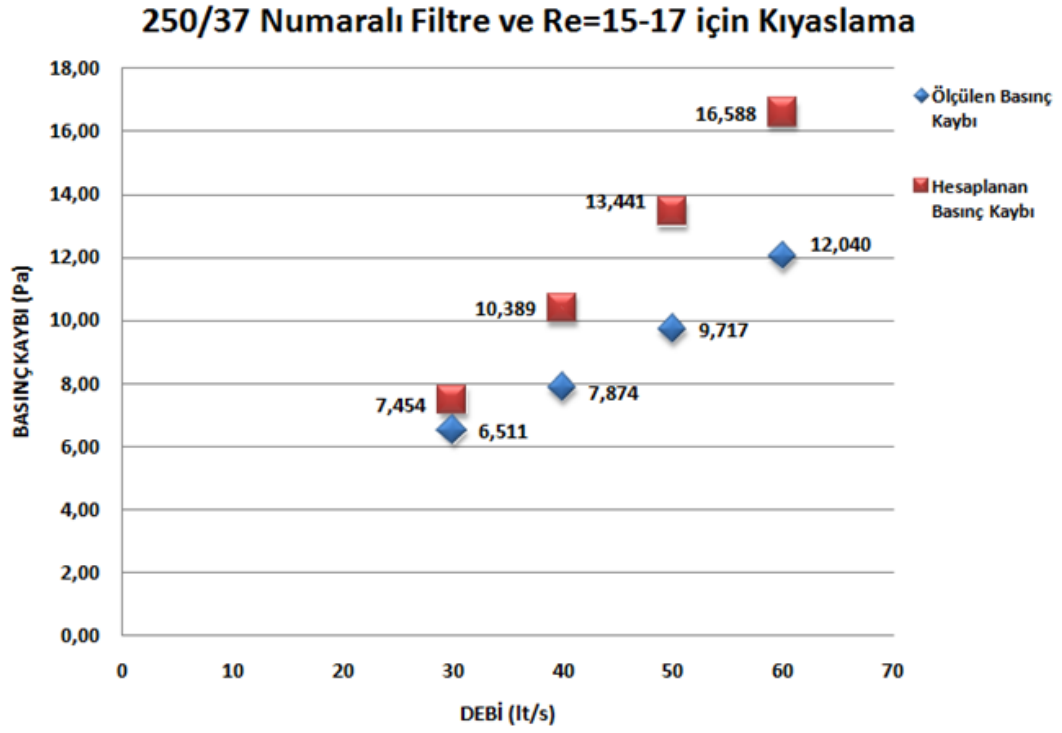


Şekil B.43 : 125/35 numaralı filtre ve Re= 20-22 için kıyaslama grafiği

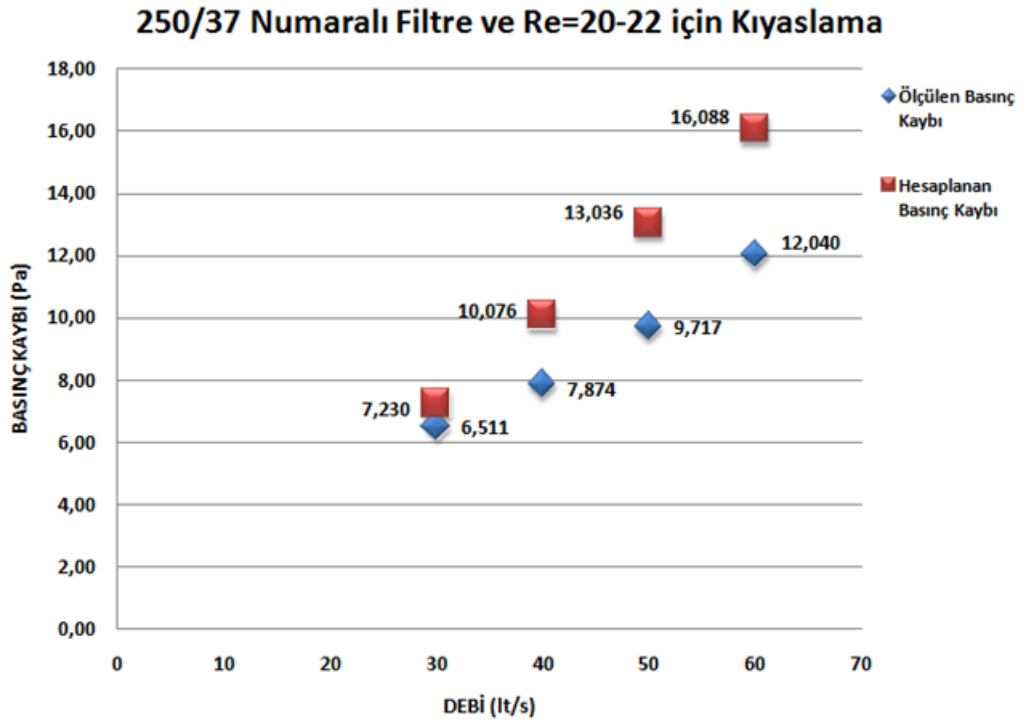
250/37 Numaralı Filtre ve Re=10-12 için Kıyaslama



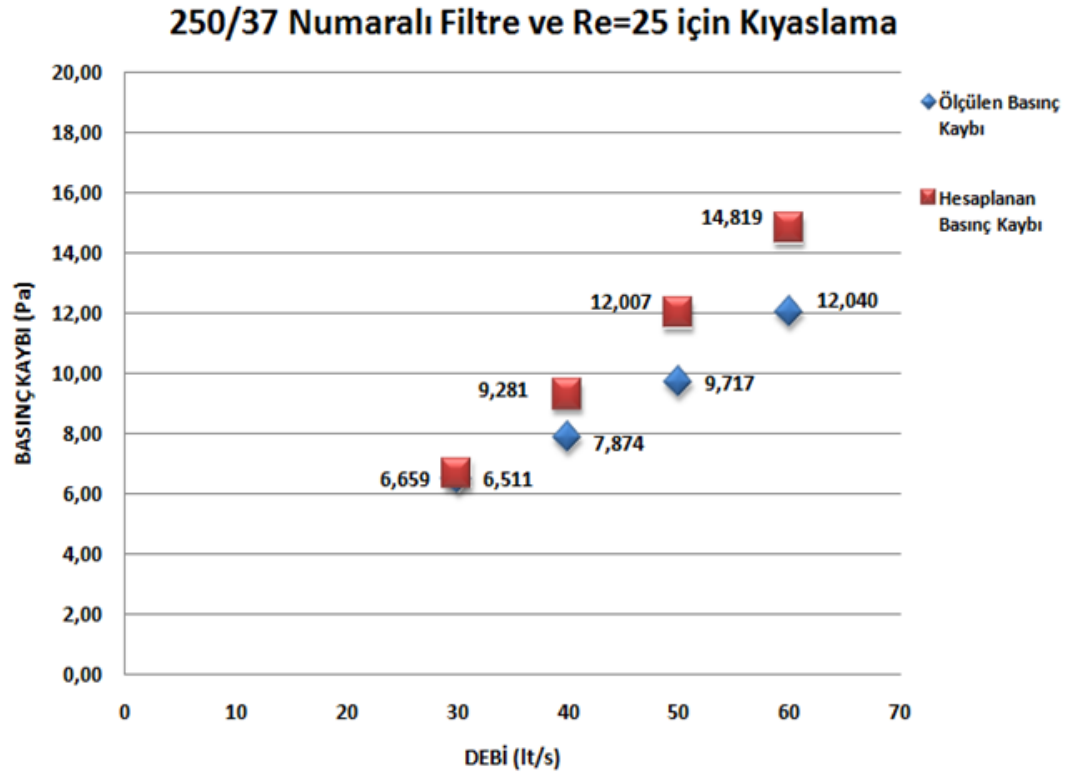
Şekil B.44 : 250/37 numaralı filtre ve Re= 10-12 için kıyaslama grafiği



Şekil B.45 : 250/37 numaralı filtre ve Re= 15-17 için kıyaslama grafiği



Şekil B.46 : 250/37 numaralı filtre ve Re=20-22 için kıyaslama grafiği



Şekil B.47 : 250/37 numaralı filtre ve Re=25 için kıyaslama grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ezgi GÜNEŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul-07/02/1989

E-Posta: ezgi.gunes7@gmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği (2007-2011)