

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONİK SİLİNDİRLER ARASINDAKİ NEWTONYEN-
OLMAYAN TAYLOR-COUEFFE AKIŞININ SAYISAL
İNCELENMESİ

Yusuf Bekir ÖZDEMİRLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR

Aralık, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONİK SİLİNDİRLER ARASINDAKİ NEWTONYEN-
OLMAYAN TAYLOR-COUETTE AKIŞININ SAYISAL
İNCELENMESİ**

Yusuf Bekir ÖZDEMİRLER tarafından hazırlanan tez çalışması 23.12.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin ELÇİÇEK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Cihad DELEN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan **“KONİK SİLİNDİRLER ARASINDAKİ NEWTONYEN-OLMAYAN TAYLOR-COUETTE AKIŞININ SAYISAL İNCELENMESİ”** başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yusuf Bekir ÖZDEMİRLER

İmza



*Aileme
ve Arkadaşlarıma*

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın gerçekleşmesinde bana bilgilerini ve birikimlerini daima aktaran çok kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR’a ve her zaman desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf Bekir ÖZDEMİRLER



İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür özeti.....	1
1.1.1 Kısa tarihçe.....	2
1.1.2 Taylor coutte akışı.....	3
1.1.3 Literatür çalışmaları.....	4
1.2 Tezin amacı.....	18
1.3 Hipotez.....	19
2 METOT	20
2.1 Problemin öncül geometriler.....	20
2.2 Kullanılan ağ yapısı.....	21
2.3 Ağdan bağımsızlık çalışmaları.....	22
2.4 Akışkan tanımları.....	25
2.5 Çalışmada kullanılan akışkanların tanımları.....	26
2.5.1 Kullanılan newtonyan akışkan bilgisi.....	26

2.5.2 Kullanılan newtonyan olmayan akışkan bilgisi.....	26
2.6 İlgili denklemler.....	26
3 BULGULAR	28
3.1 Bulgular.....	28
3.2 Sayısal modelin doğrulanması.....	28
3.3 Simülasyon modelinin seçilmesi ve doğrulanması.....	29
3.4 Silindir geometrisinde TC akışı karşılaştırılması.....	30
3.5 Konik silindir ve ters konik silindir çalışmaları.....	32
3.5.1 Konik silindir çalışması.....	32
3.5.2 Ters-Konik silindir çalışması.....	35
4 SONUÇ	43
KAYNAKÇA	45
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	49

SİMGE LİSTESİ

n	Akışkanın durum gösterge değeri
Γ	En-boy oranı
Ω_2	Dış silindir dönüş hızı
R_o	Dış silindir yarıçapı (denklem)
R_2	Dış silindir yarıçapı
R_i	İç silindir yarıçapı (denklem)
R_1	İç silindir yarıçapı
Ω_1	İç silindir dönüş hızı
a_{opt}	İdeal dönme oranı
Re_s	Kayma reynold sayısı
κ	Kıvam gösterge değeri
ν	Kinematik viskozite
Nu_ω	Nusselt sayısı açısal hız oranı
Re	Reynolds Sayısı
ω	Silindir dönüş hızı (rad/s)
Ta	Taylor Sayısı
η	Yarıçaplar oranı
ρ	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

CCF	Dairesel Couette akışı
CFD	Computational fluid dynamic
CSTR	Sürekli Karıştırılmalı Tank Reaktörü
DNS	Doğrudan sayısal simülasyon
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
PBE	Popülasyon Uyum Denklemi
PLIF	Düzlemsel Lazer Kaynaklı Işınım
PTV	Tabana Etkiyen Düşey Basınç Kuvveti
RBC	Rayleigh-Benard Taşınımı
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı
SCDM	Kendi kendine yeten tambur motoru
SSHE	Scraped Surface Heat Exchanger
TC	Taylor-Couette
TCP	Taylor-Couette-Poiseuille akımı
TCR	Taylor-Couette Reaktörü
TVF	Taylor Girdap Akışı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Taylor couette akış düzeneği görünümü	2
Şekil 1.2 Taylor sayılarına göre couette-taylor akışının dalga boyu grafiği.....	9
Şekil 1.3 Profil kıyaslamaları	10
Şekil 1.4 Grashof sayısına göre frekans ve genliğin değişimi	12
Şekil 2.1 Silindir TC akışı, Konik silindir TC akışı	21
Şekil 2.2 Silindir ağ yapısının görünümü, Silindir TC akışı görünümü	21
Şekil 2.3 Ters konik silindir ağ yapısının görünümü, Konik silindir ağ yapısının görünümü	22
Şekil 2.4 Ağdan bağımsızlık çalışması için kullanılan ağ elemanı sayısı ve basınç (Pa) değişimi ($\omega=1100$).....	23
Şekil 2.5 Ağdan bağımsızlık çalışması için kullanılan ağ elemanı sayısı ve basınç (Pa) değişimi ($\omega=1100$).....	24
Şekil 2.6 Kayma gerilimi ve kayma oranı grafiği	25
Şekil 3.1 Bu çalışmanın literatürdeki deneysel ve sayısal verilerle karşılaştırılması ($\omega =1100$)	29
Şekil 3.2 Newtonyen ve Newtonyen-olmayan akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri.....	31
Şekil 3.3 Silindirler arası newtonyen ve newtonyen-olmayan akışın basınç dağılımları	32
Şekil 3.4 Newtonyen ve newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı $\omega=1100$ kıyaslama	33
Şekil 3.5 Newtonyen ve newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı $\omega=5000$ kıyaslama	33
Şekil 3.6 Konik silindir geometrisinde newtonyen olmayan akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri	34
Şekil 3.7 Konik silindir geometrisinde newtonyen akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri.....	34
Şekil 3.8 Newtonyen ve newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı $\omega=1100$ kıyaslama	35
Şekil 3.9 Newtonyen ve newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı $\omega=3700$ kıyaslama	35

Şekil 3.10 Ters-konik silindir geometrisinde newtonyen akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri	36
Şekil 3.11 Ters-konik silindir geometrisinde newtonyen olmayan akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri	37
Şekil 3.12 Newtonyen akışkan ait akış çizgilerinin dağılımı.....	38
Şekil 3.13 Newtonyen olmayan akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı (N1)	39
Şekil 3.14 Newtonyen olmayan akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı (N2)	40
Şekil 3.15 Newtonyen olmayan akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı (N3)	40
Şekil 3.16 Newtonyen olmayan akışkana ait farklı hızlardaki akış geçişleri (N3).....	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Silindir ağdan bağımsızlık çalışması.....	23
Tablo 2.2 Konik silindir ağdan bağımsızlık çalışması.....	24
Tablo 3.1 $\omega = 1100$ rad/s için elde edilen sonuçlar ve karşılaştırma tablosu.....	30
Tablo 3.2 Akışkan özellikleri.....	39



KONİK SİLİNDİRLER ARASINDAKİ NEWTONYEN- OLMAYAN TAYLOR-COUPETTE AKIŞININ SAYISAL İNCELENMESİ

Yusuf Bekir ÖZDEMİRLER

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR

Taylor-Couette (TC) akışı biri veya her ikisi de aynı/zıt yönlerde dönen eş eksenli silindirler arasındaki akışı ifade etmekte olup bu tür akışlara enerji santrallerinde, filtreleme işlemlerinde, havacılıkta, polimerizasyonda, fotokataliz işlemlerinde, hücre yetiştirmede ve su arıtma sistemlerinde kullanılan reaktörlerde rastlanmaktadır. Silindir(ler) daha hızlı döndükçe aralarında yer alan akış alanında kararsızlıklardan dolayı farklı akış yapıları oluşur ve Taylor sayısı arttıkça bu akış alanı da giderek değişir ve yeni bir karaktere bürünür. Hızın belirli bir değerin üzerine çıkarılmasıyla akış tamamen kararsız hale gelir. Taylor-Couette akışı, eş eksenli, aynı veya ters yönde dönen iki silindir arasındaki akış, akışkanlar fiziğindeki tipik sistemlerden biridir. TC akışı temel olarak, iç ve dış silindirlerin açısal hızları ve silindirlerin yarıçapları ile karakterize edilmektedir.

Newtonyen akışkanlarla yapılan çoğu araştırmadan farklı olarak bu çalışmada, Newtonyen-olmayan bir akışkan için TC akışının hidrodinamik davranışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Akışın

türbülanslı olarak kabul edildiği bu çalışmada standart k-omega türbülans modeli tercih edilmiştir. Kurulan HAD modelinin doğruluğu literatürde newtonyen akışkanlar kullanılarak gerçekleştirilen deneysel ve sayısal çalışmalar ile mukayese edildikten sonra 4 farklı hız değeri kullanılarak 2 farklı konik silindir geometrisinde newtonyen olmayan bir akışkanın hidrodinamik davranışı incelenmiştir. Elde edilen hız dağılımlarına göre, newtonyen olmayan akışkanın hız grafiği ile newtonyan akışkanın hız grafiğinde farklılıklar tespit edilmiştir. Aynı zamanda basınç konturları gözlemlendiğinde vorteks sayısı ve basınç değerleri birbirinden farklıdır. İncelenen akış şartları korunarak ayrıca konik silindir geometrisi ile deneyler simüle edilmiştir. Konik silindir TC reaktöründe farklı hızlarda ve farklı karakteristik özelliğe sahip Newtonyen olmayan akışkanların akış davranışı incelenmiştir. Newtonyan olmayan akışkanlar ile yapılan bu incelemeler sonucunda, akışkan davranışındaki hız, basınç ve akış yapılarında değişkenlik gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taylor-Couette akışı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (had), newtonyen akışkan, newtonyen-olmayan akışkan, konik silindir

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF NON- NEWTONIAN TAYLOR-COUEFFE FLOW BETWEEN CONICAL CYLINDERS

Yusuf Bekir ÖZDEMİRLER

Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR

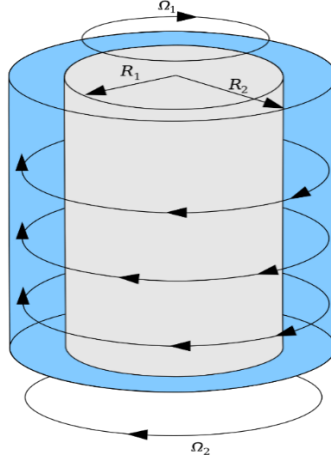
A fluid confined in the space between two coaxial cylinders, just one or both of which rotate, is what makes up the Taylor-Couette flow. This kind of flow is frequently seen in power plants, filtration processes, aviation, polymerisation, photocatalysis, cell-cultivation and reactors used in water treatment. As the cylinder(s) rotate faster, different flow structures are formed due to instabilities in the flow field between them, and as the Taylor number increases, this flow field gradually changes and takes on a new character. As the speed is increased above a certain value, the flow becomes completely unstable. Taylor-Couette flow, the flow between two coaxial, co-rotating or counter-rotating cylinders, is one of the paradigmatic systems in fluid physics. In its simplest form, Taylor-Couette flow arises from the shear flow between a rotating inner cylinder and a concentric, fixed outer cylinder. The Taylor-Couette flow is mainly characterized by: The angular velocities of the inner and outer cylinders and the inner and outer radius.

Unlike most studies on Newtonian fluids, in this study, the hydrodynamic behavior of TC flow for a non-Newtonian fluid is investigated using computational fluid dynamics (CFD) technique. In this study, where the flow is assumed to be turbulent, the standard k-omega turbulence model was preferred. After comparing the accuracy of the established CFD model with experimental and numerical studies carried out using Newtonian fluids in the literature, the hydrodynamic behavior of a non-Newtonian fluid in 2 different conical cylinder geometry was investigated using 4 different velocity values. According to the obtained velocity distributions, differences were detected between the velocity graph of the non-Newtonian fluid and the velocity graph of the Newtonian fluid. At the same time, when the pressure contours were observed, the vortex number and pressure values were different from each other. Experiments were also simulated with the conical cylinder geometry while preserving the investigated flow conditions. The flow behavior of non-Newtonian fluids with different velocities and different characteristics in the conical cylinder TC reactor was investigated. As a result of these investigations with non-Newtonian fluids, variability in the speed, pressure and flow structures in the fluid behavior was observed.

Keywords: Taylor-Couette flow, computational fluid dynamics (cfd), non-newtonian fluids, newtonian fluids, conical cylinder

1.1 Literatür özeti

Son yıllarda döner tip reaktörler içerisinde Taylor-Couette (TC) reaktörü deney düzeneği kurulumunun basitliği ve içerisindeki akış yapılarının kontrol edilebilme kolaylığı gibi avantajları nedeniyle mühendislikte yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu reaktörlerin kullanıldığı alandaki sıvılar dikkate alındığında bunların yağ ve yakıt karışımları, çamur çözeltileri, petrol sondaj sıvıları ve grafen çözeltileri gibi Newtonyen-olmayan akışkanların çok fazla kullanıldığı görülmektedir. Bundan dolayı özellikle Newtonyen-olmayan akışkanların TC reaktörü içerisindeki davranışının belirlenmesi işlem verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. TC akış düzenekleri, akış yapılarının rejim geçişleriyle birlikte ortaya çıkan ikincil akış yapıları nedeniyle yüksek karıştırma verimi ve enerji dağılımı sağlarlar. Bundan dolayı arıtma işlemlerinde sağlamış oldukları yüksek verimlilik nedeniyle alternatif olarak değerlendirilmektedir. Fransız fizikçi Maurice Couette (1890), içteki dönmekte olan ve dıştaki sabit eş merkezli iki silindirin arasındaki boşluğa viskoz bir sıvı koyarak deneysel bir düzenek tasarlamıştır ve dış silindir üzerindeki torku kullanıp akışkanın viskozitesini belirlemek istemiştir. Bu yöntem günümüze kadar gelerek modern çalışmaların yapıtaşına haline gelmiştir [1]. İngiliz fizikçi ve matematikçi Geoffrey Ingram Taylor (1923), her iki silindirin de aynı yönde ve zıt yönde döndüğü genel viskoz akış durumları için doğrusal kararlılık teorisini incelenmiştir ve ayrıca mürekkep görselleştirme kullanarak yaptığı deneysel cihaz ile ilk kez kararsız akıştaki desenlerin fotoğraflarını ve ölçümlerini almıştır. Bu nedenle, dönen silindirler arasındaki akışa bu iki bilim insanının ismi verilmiştir [2]. TC akış düzeneği görünümü Şekil 1.1' de verilmektedir.



Şekil 1.1 Taylor Couette akış düzeneği görünümü [3]

1.1.1 Kısa Tarihçe

Eşmerkezli dönen silindirlerdeki bir akışkanın dairesel hareketi Newton tarafından 1687'de açıklanmıştır. Stokes, 1848'de bu akışı teorik olarak ele alan ilk kişidir ve günümüzde kaymama sınır koşulu olarak bilinen silindirin duvarlarındaki sınır koşullarındaki zorluğu araştırdı. İç silindirin belli bir hızda dönmesi durumunda girdapların oluşacağını belirtti. Bu önemli bakış açısı, girdapların görselleştirilmesinden seneler önce ortaya konmuştu. Sadece dış silindir döndüğünde veya iç silindirin dönüş hızı kritik bir değerde olduğunda akış kararludur ve girdaplı akış gözlenemez. Mallock ve Couette, akıştaki sıvının viskozitesini ölçmek için birbirinden bağımsız, differansiyel olarak dönen eşmerkezli iki silindir tasarladılar. Couette (1890) sıvıyı, dış silindir dönerken ve iç silindir sabitken döndürdü [1]. Bu durumda akış stabil bir durum sergiler ve dikey yapılar gözlemlenmez. Mallock (1888) farklı olarak dış silindiri sabit tutarak, iç silindiri döndürdü [4][5]. Sonuçlar Taylor girdaplarının bir sonucuydu. Bu gözlemlerden yola çıkarak Rayleigh (1916), iç silindiri döndürerek eşmerkezli silindirler arasındaki görünmez akışı analiz ederek, girdap yapılarının fiziksel temelini açıkladı [6]. Basınç gradyanı kuvveti ve merkezkaç kuvveti arasındaki dengesizliğe dayanan kararsızlıkla ilgili viskoz olmayan bir yaklaşım ortaya koydu. Eğer momentumun radyal bileşeni, içteki dönen ve dıştaki sabit bir silindir tasarımında olduğu gibi radyal yönde azalırsa böylelikle akışın da kararsız olduğunu iddia etti. Sonunda Taylor, doğrusal stabilite teorisini baz alarak silindirik Couette akışındaki stabiliteye ilişkin teori ve deneyi, kaymama sınırı

koşulları olmaksızın viskoz akış için Navier Stokes denklemleriyle ilişkilendirmeyi başarılı bir şekilde sonuçlandırdı. Aynı zamanda kararlı akış yapısından, girdaplı TC akışına geçişin deneysel sonuçlarını başarılı bir şekilde tahmin etmiştir. Taylor (1923), hız ve basınç alanlarındaki küçük bozulmalara dikkat çekerek, doğrusal stabilite çalışma analizlerini kullanarak viskozitenin düşük dönme hızlarında, akışı nasıl stabilize ettiğini ortaya koydu [2]. Kritik Taylor sayısını (T_{crit}), merkezkaç (veya eylemsizlik) kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak ifade edilen boyutsuz bir sayı olarak tanımladı. Kritik Taylor sayısının altındaki değerlerde akış, vortikal bir yapı olmadan kararlıdır, bunun üzerindeki değerlerde ise akış, toroidal vortekslerle kararsızdır. Couette tipindeki akışlar, viskoz bir sıvıyı sınırlayan bir duvarın yönlendirmesiyle hareket eden akışlar olarak tanınır. Vorteksli Taylor-Couette akışı, akış kararsız hale geldiği zaman, eşmerkezli sabit bir dış silindir ile dönen bir iç silindir arasındaki kayma akışı sebebiyle meydana gelir. Kararsızlık, iç silindirin dönme hızı arttıkça meydana gelir ve bunun neticesinde birbirinin zıttı yönünde dönen, eksenel ve aynı zamanda simetrik, toroidal Taylor vorteks çiftleri meydana gelir.

1.1.2 Taylor Couette Akışı

Taylor couette akışının, akışkanlar mekaniği alanında modern çalışmalarda önemli bir rol oynamasının başlıca sebeplerini sıralanacak olursa;

- 1) Birçok araştırmacı tarafından, kayma yüzeyi ile temas eden bir parçacığın hızının, kayma yüzeyi ile aynı hızda olduğu kaymama sınır koşulunun başarılı bir ispatı olarak gösterildi. Bu teori, akışkan akışının incelenmesi için önemli bir yapıtaş konumuna gelmesine rağmen sorgulanmıştı. Taylor, Couette akışının kararlılığını analiz ederek, dikkate değer bir şekilde kanıtlamıştır [7].
- 2) Taylor, Navier-Stokes denklemleri için Newtonyan tipi bir akışkan akışını, temel akışla birlikte, aynı zamanda ikincil akışların ve kararsızlıkların analizinin de yapılabilmesine olanak tanıyan bir durumda, başarılı bir şekilde açıkladığını gösterdi [1].
- 3) Taylor, yaptığı çalışmaların deneysel sonuçlarında, kararlı akıştan vorteksli Taylor-Couette akışına geçişi kabul gören bir şekilde ispat ederek, kararlılık analizinde bu başarılı uygulamaya imza atan ilk kişi olmuş oldu [8].

Taylor-Couette kararsızlığı, akışın dönme hızı kritik bir değeri geçtiği zaman,

diferansiyel olarak dönen eş merkezli silindirler arasında oluşur. TC akışı, dönen silindir arasındaki boşlukta hapsolmuş viskoz bir sıvıdan meydana gelir ve Reynolds sayısı (Re) ile ölçülen düşük açısal hızlar için TC akışı karardır. Aynı zamanda bu akış, dairesel akış olarak ifade edilir. Dönme hızı belirli bir eşiğin üzerine çıktığı zaman, akış kararsız hale gelir. En basit haliyle ifade etmek gerekirse Taylor-Couette akışı, eşmerkezli sabit bir dış silindir ile dönmekte olan bir iç silindir arasındaki kayma akışından kaynaklanır. Bu akışı, iç ve dış silindirlerin açısal hızları ve yarıçapları karakterize eder.

1.1.3 Literatür Çalışmaları

Konuyla ilgili bugüne kadar çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma gerçekleştirilip bunların büyük çoğunluğu Newtonyen akış kullanılarak gerçekleştirilmiş olup akış üzerine etki eden değişkenler incelenmiştir. Örneğin Li vd. [9] dış silindir şeklinin sabit ancak iç silindir şeklinin farklı kesitlerde olması durumunda oluşan Newtonyen akış yapısını Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metodu kullanarak incelemişlerdir. Reynolds-Gerilme türbülans modelinin kullanıldığı çalışmada klasik TC reaktörlerine nazaran bu tür bir reaktör tasarımının iç silindire yakın olan bölgedeki yüksek kayma gerilmesi karakteristiğini değiştirerek akışkanda bulunan parçacıkların daha homojen bir dağılım göstermesini sağladığını ve klasik TC reaktörlerinde mevcut olan kayma (kesme) hızının çok düşük değerlerine sahip olan bölgelerin bu tip bir modifiye TC reaktöründe kaldırıldığını raporlamışlardır. Alışlagelmiş TC reaktörüyle kıyaslandığında, sonuçlar düşük kesme hızında olan bölgelerin, değiştirilmiş TC reaktörlerinde başarılı bir şekilde azaldığını açıkça göstermektedir. Bunun sebebinin de boşlukta meydana gelen Taylor girdaplarının, sabit dış silindire göre zamansal-periyodik hale gelmesinden dolayı olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun dışında, belirli bir Reynolds sayısında modifiye TC reaktörü için elde edilen boyutsuz tork değerinin klasik TC reaktörüne nazaran çok daha küçük olduğu ve bunun da daha küçük güç girişlerine imkan tanıdığını göstermişlerdir. Yang ve Hwang [10] klasik bir TC akışında (dış silindir sabit iken içtekinin dönmesi) Newtonyen akışı basınçlandırılarak sağlanan bir eksenel akış olması durumu için ele almışlardır. Yapılan sayısal çalışmalar, böyle bir eksenel akışın TC akışını kararlı hale getirerek içteki dönen silindir için gereken tork değerini düşürdüğünü

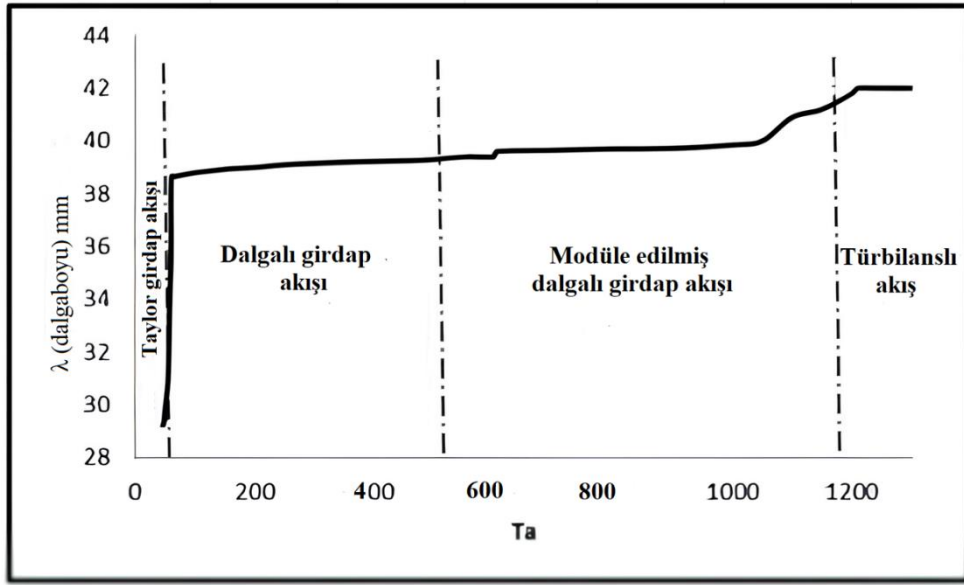
göstermiştir. Pawar ve Thorat [11] iç silindirin kanatlı bir ısı değiştirici olarak düşünüldüğü TC akışını Reynolds gerilme türbülans modelini kullanarak Taylor (Ta) sayısı $Ta > 300$ için incelemiştir. Basit dairesel akışta dönen kazıyıcının mevcut akış desenleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada her ne kadar bu tip bir düzenlemede ters yönde dönen girdap çiftleri oluşmasa da Taylor sayısının artışına göre akış laminar Couette akışı, laminar Taylor girdabı, dalgalı Taylor girdabı ve türbülanslı Taylor girdabı olarak tanımlanabilecek akış türleri gözlenmiştir. Radyal sıcaklık gradyanının olduğu bir düzenlemede Newtonyen TC akışını incelemek için yapılan DNS analizleri kaldırma kuvvetinin ve dış silindir dönüşünün türbülanslı TC akış sistemi üzerindeki etkisi, yarıçap oranının 0,912 olduğu durum için gerçekleştirilmiştir. Teng vd. [12] genel olarak akışkan hareketinin büyük ölçekli dalgalı Taylor girdapları ile karakterize edilen merkezkaçla tahrik edilen bir akış rejiminden, küçük ölçekli türbülans girdapları ile karakterize edilen kaldırma kuvvetinin hakim olduğu bir akış rejimine doğru değiştiğini incelemişlerdir. Küçük yarıçap oranlarına (0.2-0.5) sahip silindirler arasındaki Newtonyen akış analizleri Tanaka vd. [13] tarafından geniş Reynolds sayıları için laminar akıştan türbülanslı akış rejimine geçiş için doğrudan sayısal simülasyon (Direct Numerical Simulation, DNS) kullanılarak araştırılmıştır. Akış yapısı açısından kritik olarak değerlendirilebilecek yarıçap oranının 0.2-0.3 arasında olduğu saptanmış ve bu değer altında stabil dış silindir tarafı, iç taraftaki Taylor-vorteks akışından farklı bir modal yapı sergilediği görülmüştür. Razzak vd. [14] eksenel simetrik olmayan bozuklukların olası kaynaklarını ve bunların TC akışındaki yayılma mekanizmalarını iki silindir arasındaki genişliğin büyük değerleri ve Reynolds sayısı $Re=60-650$ için yine DNS kullanarak araştırmışlardır. Çalışmada esas olarak bu eksenel simetrik olmayan bozuklukların sebebi ve yayılması üzerine odaklanılmış ve bunun çepere yakın bölgelerdeki viskoz katmanın kalınlığına ve bunun eksenel yön boyunca olan dağılımına bakılmıştır. Elde edilen verilere göre $Re=68-425$ arasında akışta eksenel simetrik bir Taylor girdap akışının oluştuğunu, $Re=425$ 'in üzerindeki Reynolds sayısı değerlerinde ise dalgalı girdap akışının ortaya çıkmadan evvel $Re=575$ 'e kadar eksenel simetrik olandan eksenel olmayan simetrik akışa geçtiğini ortaya koymuştur.

Her ne kadar çalışmaların büyük çoğunluğu Newtonyen akışkanlar kullanılarak

gerçekleştirilmiş ise de Newtonyen-olmayan akışkanların TC akış karakteristiklerinin ele alındığı çalışmalar da mevcuttur. Sadece içteki silindirin döndüğü ve silindirler arasındaki yarıçap oranının 0,506 olduğu bir TC düzeneğinde Escudier vd. [15] newtonyen olan glukoz çözeltisinin ve newtonyen olmayan bir akışkan olan Xanthan zampının davranışını incelemişlerdir. Laser doppler hız ölçeri kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda newtonyen akışkanın kritik değerin çok üzerinde bir Taylor sayısında döndürülmesi durumunda teğetsel hız bileşeninin eksenel bileşenle aynı dalga boyunda periyodik bir yapıya sahip olduğunu bulunmuştur. Kaymayla incelen ve hafifçe elastik olan Xanthan zampının sulu bir çözeltisi için yapılan benzer ölçümler, maksimum eksenel hızlardaki asimetrinin, girdap gözünün konumunda önemli bir ralyal kaymanın olduğu newton durumuna göre daha belirgin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunun dışında, Newtonyen akışkandan farklı olarak girdapların, merkez gövde dönme vektörünün tersi yönde yavaş bir eksenel sürüklenme sergilediği de rapor edilmiştir. Czarny vd. [16] en-boy oranları için birbirinin zıttında dönen silindir duvarlarına sahip sonlu uzunluklu bir boşluktaki Taylor-Couette akışını araştırmıştır. Öncelikli olarak dalgalı girdap ve spirallerden oluşan iki farklı karmaşık rejim üzerinde durup, üç boyutlu spektral yöntem kullanarak doğrudan sayısal simülasyon yoluyla çözümlerin uzay-zamansal tepkileri analiz etmişler ve gerçekte mevcut olan sınırlı sayıdaki verilerle karşılaştırmışlardır. Zamana bağlı akışlarda geçişleri irdeleyerek; ardışık, eksenel, simetrik ve üç boyutlu çatallanmalar ile gerçekleştiği çözümler tespit etmişlerdir. Bu çözümler, bu tür bir konfigürasyonda kompleks davranışlar sergileyen ilk üç boyutlu sayısal sonuçlar olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda bu akışların uzay-zamansal davranışları, daha uzun boşluklarda elde edilen deneysel sonuçlarla niteliksel olarak tutarlıdır. Akonur vd. [17] dalgalı silindirik Couette akışında kaotik taşınma ve karışım ayrıntılı olarak incelemiştir. Yaptıkları çalışmalarda dalgalı girdap akışının son parçacık görüntülü hız ölçümlerinin dalgalı akışa geçişin fazlasındaki koşullarda deneysel üç boyutlu, üç bileşenli hız alanı sağladığını tespit etmişlerdir. Bu deneysel hız alanını kullanarak, karışımın doğasını tespit etmek için sıvı gözlemci parçacıkları ve hesaplamalar birlikte kontrol edilmiştir. Çalışmalarında meridyen, enlem ve çevresel yüzeylerde meydana gelen artan gerilme ve katlanmanın bir sonucu olarak artan Reynolds sayısı ile karıştırmanın nasıl arttığını göstermişler ve ilişkili olarak hesaplanan etkili dağılım katsayısının, deneysel ve hesaplamalı olarak

bulunana kıyasla çok benzer olduğunu tespit edip, dalgali girdap akışında artan karışımından sorumlu mekanizmanın kaotik adveksiyon olduğunu doğrulamışlardır. Böylelikle tutarlı sonuçlar elde edilen bu çalışmada; düzensiz yatay iletimden kaynaklanan dağılımın deneyselliği kanıtlanmıştır ve aynı zamanda dağılımı hesaplamak için kullanılan ifadenin, deneysel olarak belirlenen yayılmanın makul bir tahminini sağladığı gösterilmiştir. Laure vd.[18] Couette akışından Taylor hücrelerine geçişteki belirlenen özel bir durumu, Merkez Manifold teoremi kullanarak matematiksel olarak incelemişlerdir. Bu bahsedilen durumda, Taylor girdap akışının kararlılığı, genlikte beşinci dereceden terim ve teoremler kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada bu yüksek dereceli terimleri hesaplamak için bir yöntem açıklamışlardır ve ayrıca sayısal değerleri elde etmek için özel program kullanmışlardır. Bu program, merkez manifoldun boyutunun daha büyük olduğu durumu incelemek için dizayn edilmiştir. Üstelik bu programın Taylor serileri değiştirildiği anda, temel işlemleri yapan etkili program rutinleri mevcut olduğunda kullanılabildiği saptanmıştır. Park vd. [19] önceki çalışmalarında Taylor-Couette akışının dinamik özelliklerini ve parçacık sınıflandırma olanağını, sürekli bir sistemdeki dikey TCR durumu için sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Bu çalışmalarında devamlılık gösteren TCR'nin kristalleştirici ve sınıflandırıcı olarak performansını doğrulamak için bir HAD-PBE modeli geliştirmişlerdir. Numune madde olarak doymuş bir amonyum sülfat çözeltisi kullanmışlardır. Bu HAD-PBE modeli, sıvı-katı iki fazlı akışı tanımlamak için Euler çok fazlı modelini ve çekirdeklenme ve büyüme kinetiğini içeren ayrık yöntem PBE modelini temel almaktadır. Taylor-Couette kristalizatörü HAD ile modellenerek simüle edildi. Kristalleşmeyi açıklamak için popülasyon uyum denklemleri de modellendi. Kaynak üretimi hedefini karşılamak için Taylor-couette kristalizatörü CSTR kristalizatörüyle karşılaştırıldı. TCR'nin parçacık boyutu dağılımı ciddi anlamda CSTR'den çok daha dar olduğu için TCR'nin tohum üretim süreci için fizibilitesi doğrulanabildi. Kashanj vd. [20] oldukça ince bir hücrede Rayleigh-Benard taşınım akışının ağ yapısını ve sıcaklık dağılımını incelemek için 3 boyutlu alanda eşzamanlı hız ve sıcaklığını ölçmüşlerdir. Bu amaçla eş zamanlı zaman çözümlemeli 3 boyutlu PTV ve iki renkli PLIF uygulanması yapılmıştır. Hem PTV hem de iki renkli PLIF teknikleri için, zamanla çözümlenen 2 boyutlu hız ve sıcaklığı ölçmek için deney düzeneği ayrı ayrı uygulamışlardır. Ayrıca akış alanının farklı derinliklerindeki düzlemsel hızı yakalamak amacıyla, akış alanını

tarayan bir tarama sistemi de kullanmışlardır. 0,1 en boy oranına sahip oldukça ince bir hücrede RBC'nin incelenmesi sonucunda zamanla çözümlenen 2 boyutlu PTV ve iki renkli PLIF uygulama yöntemleri tüm detalarıyla incelenmiştir. Zamanla çözülen iki renkli PLIF için floresan boya seçimi ve kalibrasyon prosedürü bu çalışmada önemli bir yer edinmiştir. Ayrıca farklı zamanlara ait sıcaklık ve hız ölçümleri yapılarak, akış alanının farklı derinliklerinde 2 boyutlu PTV uygulamasının farklı derinliklerdeki pozitif sonuçları gösterilmiştir. Monfared vd. [21] TC akışının birbirinin aynı olmayan akış rejimlerindeki hidrodinamik aksiyonları sayısal ve deneysel olarak ayrı ayrı incelemişlerdir. Çalışmada Couette Taylor akışının iki önemli hidrodinamik özelliği olan, Taylor sayısının akışın dalga boyu üzerindeki etkileri incelenmiştir ve böylelikle hızların dağılımı, basınçlar ve ek olarak girdapların oluşumu mercek altına alınmıştır. Akışın kararlılığını ve girdap oluşumunu saptamak amacıyla hem deneysel hem de sayısal olarak veriler elde edilmiştir. Ayrıca akışın reolojik durumlarını anlamak için iki silindir arasındaki hız ve basınç değerleri gözlemlenmiş ve Ta 'lar kıyaslanmıştır. Sunulan detaylı incelemelerde; Taylor girdap akışından dalgalı girdap akışına geçişte, akış konfigürasyonundaki dalga boyunun keskin bir şekilde arttığı gösterilmiştir ve bunun sebebinin Taylor girdaplarının üzerine binen azimut dalgası olduğu belirlenmiştir. Ek bir bakış açısı sunmak adına çalışmada çalkantılı yapıların sebebi olarak; modüle edilmiş dalgalı-girdaplı akıştan türbülanslı akışa geçişte, dikkate değer bir şekilde akışın dalga boyunun orta dereceli bir eğimle arttığını tespit etmişlerdir. Bir sonraki çalışmalara da rehberlik sunan bir edininim olarak, her akış rejiminde akışın dalga boyu Taylor sayılarına göre yaklaşık olarak sabit olduğu gösterilmiştir [Şekil 1.2].

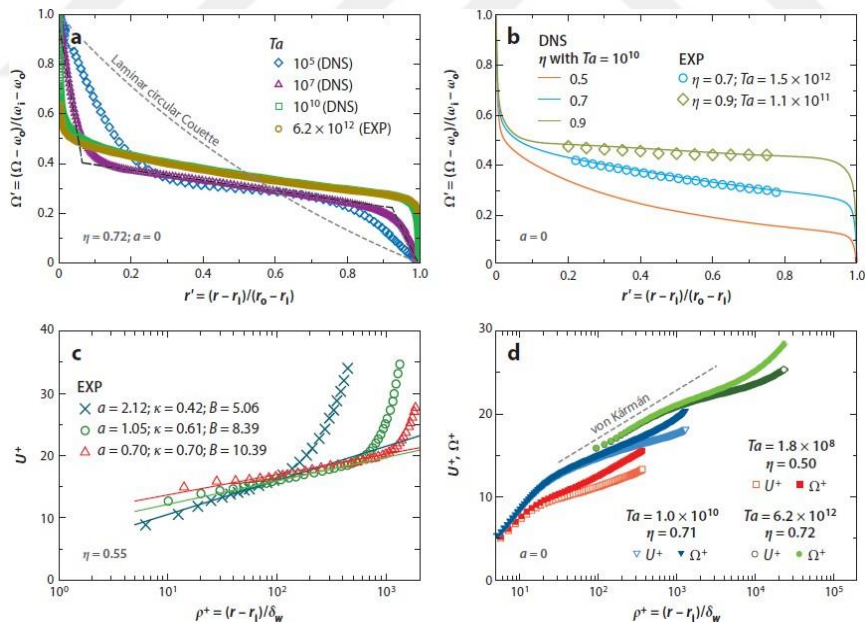


Şekil 1.2 Taylor sayılarına göre Taylor-Couette akışının dalga boyu grafiği [21]

Schrimp vd.[22] yaptıkları incelemede, TC reaktör tipini tanıtarak ve geçmişine, akış rejimlerinin ilkelerine, reaktörlerin ve elemanlarının tanımına ve tasarım yönlerine genel bir bakış sunmuşlardır. Ayrıca ek olarak homojen, foto ve enzimatik kataliz, polimer sentezi ve kristalizasyon proseslerindeki reaksiyonlar da dahil olmak üzere işlem teknolojisindeki çok sayıda uygulamayı da mercek altına almışlardır. Özellikle Taylor'ın olgusal yönlerine odaklanmışlardır. Taylor-Couette akışının temellerini belirledikten sonra, bir dizi karakterize edici değişken ve tasarım ögesi, kalma süresi dağılımı, kütle ve ısı taşıma özellikleri ve çok fazlı karışım için geliştirilen tasarım kuralları ve korelasyonların tüm ayrıntılarını dikkate alarak incelemişlerdir. Ayrıca, iç silindirin geometrisinde yapılan ve aparat içinde kalma süresini ve kesme hızını önemli ölçüde etkileyen değişiklikleri irdelemişlerdir. Uygulamalar arasındaki farklılıkları özümseyerek, doğadaki farklı katalizörler tarafından desteklenen kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların yanı sıra hücre büyümesi ve kristalizasyon dahil olmak üzere katıların işlenmesini içeren işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Taylor-Couette reaktörünün bu işlemlerde belirgin avantajlar sunduğunu göstermişlerdir. Yaptıkları tasarımlardaki kontrol edilebilir ve tekdüze kesme kuvvetleri kontrollü bir bozulmaya ve dolayısıyla da dar boyut dağılımlarına ve kontrollü yapıya sahip katı parçacıkların üretilmesine yol açtığından, katıların eklendiği uygulamaları özellikle ön plana çıkarmışlardır. Belirledikleri modeli kullanıp uygulamalar yaparak, elde edilen dar kalış süresi dağılımının, homojen olarak dönüştürebilen reaksiyonlarda reaksiyon sürelerine

yardımcı olduğu ve polimer sentezi için, bu tür ısı veren reaksiyonlarda önemli olan ısı transferini kolaylaştıran yüksek derecede spesifik yüzey alanları sağlandığını tespit etmişlerdir.

Grossman vd.[23] Taylor-Couette akışında hız profilleri ve sınır katmanları dahil olmak üzere torkun değişken bağımlılığını ve yerel akış organizasyonunu incelemişlerdir. Ek olarak farklı (türbülanslı) akış durumları arasındaki geçişleri üzerine de çalışmışlardır. Ayrıca bu sistemin astrofizik diskler ile olan ilişkisini de detaylandırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda bu alanda her araştırmacının dikkate alması gereken bazı önemli edinimler elde etmişlerdir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir; 1) Yeterince büyük Taylor sayılarında açısal hız taşınımının en uygun olduğu $a_{opt} > 0$ 'da belirgin bir maksimum ile dönme oranı (negatif) a 'da tekdüze olmayan bir bağımlılığa sahiptir. a_{opt} değeri η 'ya bağlıdır: $\eta < 0,8$ için η arttıkça artar ve daha büyük η 'de doyuma ulaştığı tespit edilir. 2) Optimum $Nu\omega$ için açısal hız profili düzdür ve akış güçlü türbülansa rağmen belirgin Taylor dalgalanmaları gösterir. Silindir yapısı, farklı taşıma ve akış özelliklerine sahip bir çok türbülanslı durumun gerçekleşmesini sağlar. Şekil 1.3 te gösterilmiştir.

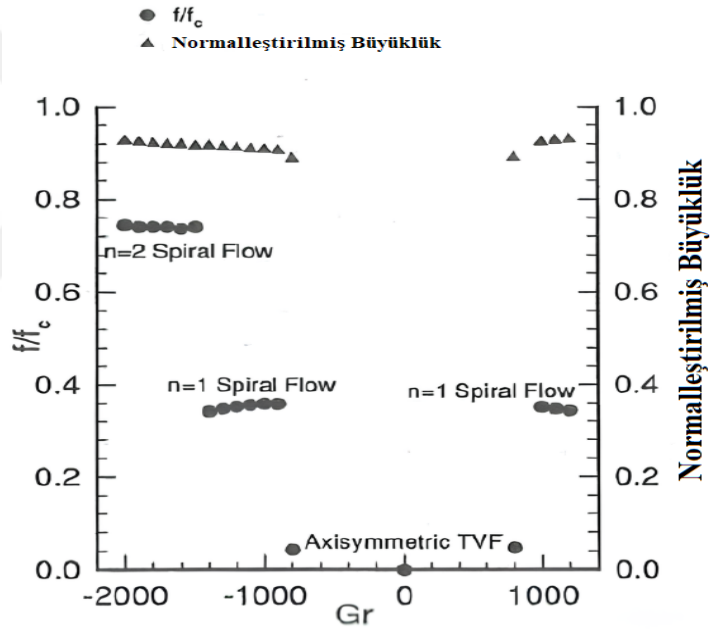


Şekil 1.3 Profil kıyaslamaları [24]

Yavuz vd.[24] yaptıkları çalışmada newtonyen olmayan bir akışkan modelini araştırarak, akış geometrisi için bir HAD çözümü sunmaktadırlar. Silindir içindeki farklı akış parametreleri için hız, basınç, dinamik viskozite ve Reynolds sayısı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Newtonyen olmayan akış analizi, akışı

engellenen bir boruda gerçekleştirilmiştir. Araştırmada birbirinden farklı n (akışkanın durum gösterge değeri) ve κ (kıvam gösterge değeri) katsayılarının etkisi sayısal analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. κ sayısı sabit iken n sayısının artması akış hızının artmasını sağlamıştır. Hız artışı yapıldıktan sonra daha parabolik bir akış hızı profili oluşmuştur. 0,01 m/s olan akış hızı $n=0,25$ olduğu zaman 0,023 m/s'ye kadar çıkmıştır. Engeli geçme anında engelin önündeki ve arkasındaki hız $n=2$ anında azalmış, ama diğer n değerlerinde ise azalma saptanmamıştır. Tam tersi durumda n değerinin artması sonucu boruda daha düşük bir basınç profili görülmüştür. Bu da akışın daha düşük bir basınçla sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca akış davranış indeksi, n arttığında hız profilinin arttığını göstermektedir ve daha parabolik bir eğim elde edilmektedir. Araştırmacılar viskoz akışın daha hassas veriler sağlayan $n=0,25$ katsayısı için farklı κ katsayılarını incelemişlerdir. κ katsayısının artmasıyla verilerde daha yüksek basınç değerleri görülmüş ve $\kappa = 2$ olduğunda dinamik viskozitenin en yüksek değeri, ancak en düşük Re sayısı elde edilmiştir. Re sayısı engelin önünde ve arkasında en yüksek değere ulaşırken, akışın engeli geçtiği kısımda anlık azalmalar gözlemlenmiştir. Pattankar vd.[7] Taylor-Couette Akışının geliştirilmesine yönelik bir aparat oluşturulması yönünde bazı çalışmalar yürütmüşlerdir ve sıvı akışının analizini yapmışlardır. Ekip gliserol ve su karışımını belirli bir bileşim haline getirerek, elde edilen sıvı akışını ve sıvının ideal davranışını incelemişlerdir. Dış silindirin Reynolds sayısını sabit tutarak, iç silindirin Reynolds sayısı değiştikçe sıvı akış disiplindeki davranışlar arasındaki ilişkiye odaklanmışlardır. Deney düzeğinde üç farklı durum incelenmiştir; İlk olarak sade su kullanılmış, ikincisinde oran olarak sırasıyla %40 ila %60 oranında gliserol su karışımı, üçüncü durumda ise aynı iki sıvının oran olarak sırasıyla %80 ila %20'si kullanıldı. Her üç durumda da ortaya çıkan hava kabarcıklarından dolayı üç farklı belirgin bant gözlemlenmiştir. Ardından HAD simülasyonu ile sadece iç silindirin hızı değiştirilerek, Reynolds sayısı değiştirildi ve böylece birbirinden farklı Reynolds sayıları için farklı Taylor girdap akışları gözlemlenmiştir. Elde edilen simülasyon verilerine bakıldığında, Reynolds sayısının 500 - 600 civarında olduğu zaman Taylor Vortex Akışı elde edildiği ve rejim haritasına uyduğu tespit edilmiştir. Kedia vd.[25] yerçekimi ve merkezkaç potansiyellerinin ısıtılmış, sıkıştırılamaz Taylor-Couette akışının kararlılığı üzerindeki etkilerini incelemek için, bazı sayısal simülasyon çalışmaları

yapmışlardır. Akış, diferansiyel olarak ısıtılan iki eşmerkezli silindir arasında sınırlandırılmaktadır ve iç silindir dönmektedir. Navier-Stokes denklemleri ve birleşik enerji denklemi, spektral bir yöntem tercih edilerek çözülür. Tespit ettikleri kodu doğrulamak için mevcut doğrusal stabilite analizi ve deneylerle karşılaştırmalar yapmışlardır. Bahsi geçen kod, sabit bir Reynolds sayısı ($Re = 100$) ve bir dizi Grashof sayısı için yerel ve ortalama ısı transfer katsayılarını hesaplamak için kullanılır. Çalışmada Prandtl sayısı yaklaşık 0,7 olan akışkanlar için 0,5 ve 0,7 yarıçap oranlarıyla sınırlandırılmıştır. Silindir yüzeyindeki ısı transferi katsayılarının değişimi araştırılmış ve akışın farklı kararlı durumlarını gösteren veriler tespit edilmiştir. Sonuçlar eksenel simetrik Taylor vorteks akış rejiminde, ısı transferinin Grashof sayısı ile azaldığını, akışın eksenel olmayan hale gelmesinden sonra ise Grashof sayısı ile arttığını göstermektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Grashof sayısına göre frekans ve genliğin değişimi [27]

Bu çalışmalardan değerlendirmeler ele alındığında, kritik Reynolds sayısının ve dalga hızının hesaplanmasının doğrusal kararlılık teorisine uygun olduğu görülmektedir. Belirli bir Grashof sayısı (Gr) aralığı için, iç ve dış silindir üzerindeki ısı transferinin uzaysal değişimi sinüs eğrisi şeklinde olduğu ve Nusselt sayısının büyüklüğünün Reynolds sayısı ile birlikte arttığı görülmektedir. Ayrıca iç silindirden dış silindire uzay ve zaman ortalamalı ısı transferi yapılır ve uygulanan eksenel dalga boyuna duyarlı olduğu ve eksenel simetrik TVF rejiminde ısıtmanın artmasıyla ortalama ısı transferinin de azaldığı ortaya çıkmıştır. Armbruster

vd.[26] bir silindirin tamamında öteleme ve yansıma simetrisine sahip sonsuz uzunlukta bir Taylor-Couette problemini incelemektedirler. Eksenel yönde yansıma simetrisinin bozulduğunda Taylor girdaplarının çatallanmasını araştırmışlardır. İlk olarak eksenel yönde sabit bir basınç gradyanı uygulamışlar, ikinci olarak silindirleri birbirine göre kaydırmışlardır. Böylelikle bu simetriyi bozan tedirginliklerin etkisini hesaplamış ve her iki durumda da Taylor girdaplarının eksenel yön boyunca yavaş bir şekilde kaydığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda eksenel yön boyunca öteleme ve yansıma simetrisinin toplam simetri kırılmasını da ele almışlardır. Bu ele alış sistemi ya belirgin olmayan sistemin durum çemberinden bir durum seçmeye ya da homojen olmayan bir sürüklenme durumuna ittiği ortaya çıkmıştır. İlgi çekici çalışmada, sonsuz uzun bir Taylor-Couette aygıtında öteleme ve yansıma değişmezliği tarafından oluşturulan oksijen simetrisini kıran küçük terimlerin etkisini de görmekteyiz. Yansıma simetrisi kırılmasının Couette akışından Taylor Vortex girdaplarına doğru devam eden çatallanmalar üzerindeki etkisine odaklanılarak, özellikle iki ön modelin, basınç eğimi tarafından oluşturulan akışlar ve kayma akışına sahip akışların her ikisinin de silindirin eksen boyunda, girdapların kaymaya yol açtığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bu girdapların artan basınç ve sürüklenen dış silindir boyunca kayma hareketi yaptığı gösterilmiştir. Wereley vd. [27] basınçlandırılarak döndürülen eksenel akışa sahip, bir dış sabit silindir ile eşmerkezli dönen bir iç silindir arasındaki boşluktaki akışı inceleyen ekip, parçacık görüntülü hız ölçümü PIV kullanarak incelemeler yapmıştır. Dalgalı ve dalgalı olmayan sarmal girdapların eksenel hızı, iç silindirin dönme frekansının iki katı olduğunu tespit etmişlerdir ve girdapların eksenel ötelenmesi ile silindirin dönüşü arasında bir bağlantı bulmuşlardır. Dalgalı girdap akışı için girdaplar arasında, eksenel akışa sahip olmayan kritik silindirik Couette akışına uyan ciddi miktarda aktarım olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmada dalgalı olmayan girdaplar için hız alanları, girdapları engelleyerek girdapların görünür olmamasına sebep olmuştur ve eksenel akışa rağmen, dalgalı olmayan girdaplarda bağımsız girdap hücreleri çalışmasıyla tutarlılık göstererek, sıvının girdaptan girdaba transferinde azalma olduğu saptanmıştır. Hwang vd. [10] iç taraftaki dönen ve basınçla tahrik edilen eksenel akışa sahip iki eşmerkezli silindir arasındaki akışı, sayısal simülasyon kullanılarak incelemişlerdir. Araştırmalarında, meridyen düzleminde daha ayrıntılı hız alanları görüntülemek için parçacık görüntülü hız ölçümleri yapmışlardır. Wereley vd. [27]'nin deneysel

sonuçlarını sayısal olarak doğrulayarak ve uygulanan eksenel akışta, Taylor-Couette akışıyla ilgili ayrıntılı akış alanlarını ve çatallanmaları araştırmışlardır. Eksenel akışın uygulandığı Taylor-Couette akışında, kaydırma ve yansıtma simetrisinin, dairesel Poiseuille akışı çıkarıldıktan sonra kalan hız alanı için genellikle geçerli olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda eksenel akışın, akış alanını stabilize ettiği ve iç silindirin kesin bir hızda döndürülmesi için ihtiyaç duyulan tork değerini azalttığı ispatlanmıştır. Elde edilen hız vektör alanları aynı zamanda Wereley vd. [27] çalışmalarında ortaya konan girdap özellikleri ile örtüştüğünü ve aynı zamanda kaydırma-yansıtma simetrisinin, eksenel bir akış olmadan Taylor-Couette akışında geçerli olduğunu tespit etmişlerdir. Tokgöz [28] Taylor-Couette akışındaki tork değerlerinin, silindirlerin dönüş hızlarıyla değişimini araştırmış ve bunun tutarlı türbülanslı akış yapılarıyla ilişkisini incelemiştir. Çalışmasında her üç hız bileşenini de çözen tam hacimsel bir ölçüm yöntemi olan tomografik PIV kullanmıştır. Böylelikle farklı akış durumlarını ve bunların Reynolds gerilmelerine katkısını ortaya koymuştur. İlk olarak tomografik PIV uygulamasının doğrulamasını, kayma reynolds sayısı $Re_s = 615$ olan ve analitik olarak iyi tanımlanmış laminar Taylor-Couette akışı kullanılarak yapmıştır. Elde ettiği veriler, ölçülen hızların, analitik çözümden %3,2'den fazla sapmadığını gösterdi. Çalışmada görüleceği üzere, tomografik PIV' in uzaysal çözünürlüğünün, çalışılan aralıktaki sorgulama hacimlerinin örtüşmesiyle birlikte artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Kim vd. [29] Taylor-Couette reaktöründe Taylor vorteks akışının hareketi ve parçacıklarının ayrılması ile ilgili dinamik özellikleri sayısal ve deneysel olarak mercek altına almıştır. Ekip Taylor vorteks akışının, akışkan dinamiğinin ve parçacık sınıflandırma sistemini hesaplamak ve simüle etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı kullanmıştır. Çalışmalarında, iç silindirin çeşitli dönme hızları ve başlangıç akış hızlarına odaklanarak, Taylor girdabının hareket hızı ve hareket bölgesini belirleyerek, parçacık sınıflandırmasının etkilerini irdilemişlerdir. Aynı zamanda çeşitli boyutlardaki parçacıkları, parçacık takip etme simülasyonları ile reaktörün merkezine enjekte etmişlerdir. İç silindirin dönme hızı arttığında veya besleme akış hızı azaldığında Taylor girdabının eksenel hareket hızının kademeli olarak düştüğünü göstermişlerdir. Dherbécourt vd. [30] ardışık akış çatallanmalarının etkisini ve azimut dalga durumlarının Taylor-Couette akışlarında enjekte edilen boya dağılımının etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında parçacık boyutu ve

konsantrasyonun, girdap derinlikleri ve çeşitli akış rejimleri arasındaki geçiş noktaları üzerindeki etkisini, elde edilen akışların görselleştirmelerini PIV ölçümlerini kullanarak araştırmışlardır. İki fazlı akışta karıştırma artışı, iki birleşik etkinin sonucunda olduğu görülmüştür. İlk olarak, parçacıklar rejimlerin kararlılığı ve eksenel dalga boyunu değiştirir. İkinci olarak, parçacıklar arası etkileşimlerin sebebi olarak sonlu boyutlu parçacıkların bazı etkileri, karıştırmayı önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Doğru ölçekte karıştırmayı ölçmeyi amaçlayan ekip, karıştırmanın spesifik verimliliğini keşfetmek için, bu küçük ölçekli gözlemleri akışın küresel dağılım katsayısıyla uyumlu olduğunu gösterecek bir ilişki kurmuştur. Araştırmalarında kullandıkları hidrodinamik özellikler, akış rejiminden farklı olarak parçacıkların mevcudiyeti nedeniyle karıştırmada büyük bir artış olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, incelemelerin sonuçlarını doğru şekilde sentezleyebilmek için, Taylor-Couette akışlarındaki parçacık kaynaklı karışımın önemini gösteren PLIF deneylerini uygulamışlardır. Teamah vd. [31] çok fazlı, geçici, yatay olarak konumlanmış bir Taylor-Couette akışını sayısal olarak incelemişlerdir. HAD programı olan ANSYS-CFX kullanılarak sayısal simülasyonları yapıp, veriler elde etmişlerdir. Geçici akış ve termal alanlar, ilk baştaki durağan durum anından başlayarak yarı kararlı duruma gelinceye kadar ki aralıklarda incelenmiştir. Aynı zamanda dönüş hızının ve yağ seviyesinin SCDM tahrik sisteminin termal performansına etkisi araştırmışlardır. Çalışmalarında 0-150 rpm arasındaki dönme hızları ve %0 ile %100 yağ seviyesi arasına odaklanmışlardır. Deneysel verileri kullanarak birçok sayısal çıkarımda bulunmuşlardır. Limitler içinde kalabilecek en düşük SCDM sistem sıcaklıklarını veren optimum yağ seviyesi belirleyerek, bunun tamburun dönme hızı ile orantılı olduğunu tespit etmişlerdir. Sistemin %100 yağla doldurulduğu zaman en iyi termal performansı sağlamadığını da göstermişlerdir. İç silindir etrafındaki Nusselt sayısının, dönme Reynolds sayısı ve yağ seviyesinin bir fonksiyonu olduğunu sayısal olarak vermişlerdir. Geliştirdikleri ilişki, belirli bir dönme hızında iken optimum yağ seviyesini belirleyerek sistemin termal performansını maksimum seviyede tutmuştur. Coşgun [32] yaptığı çalışmada, akım ayrılması sebebiyle TCP akımındaki hidrodinamik alan ve türbülans yapısındaki etkileri araştırmıştır. Step akımı geometrilerini kullanarak yeni bir akım sistemi oluşturmuştur. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinden faydalanarak, derin bir eksenel akım ve Taylor sayısı sınırları için yeni oluşturulan akım geometrisinin sayısal çözümünü yapmıştır.

Sonrasında akım ayrılmasını inceleyerek, oluşturulmuş yeni akım alanı geometrisinin sayısal verilerini sunmuş ve elde ettiği sonuçları aynı eksenel akım ve Taylor sayısı aralığında yineleyerek sayısal çözümler sunmuştur. Uygulanan eksenel akımın, TCP akımındaki iç silindir dönüşünün stabilitenin negatif yöndeki etkisini yavaşlattığını ve dönüş etkisinin akım alanının iç taraflarına doğru yönelimi azalttığını tespit etmiştir. Sınır tabaka yapısındaki evrensel profile uyum sağlayan davranışın tam zıttına döndüğünü ve akım alanındaki türbülans gerilmelerinin dengesini farklılaştırdığını göstermiştir. Ayrılma bölgesindeki büyüklüklerin ve bazı dinamiklerin, hızların durumuna göre değiştiğini gözlemlemiş ve çok karmaşık bir türbülans yapısı ortaya çıktığını farketmiştir. Ayrıca, akım ayrılmasının TCP sistemi içerisindeki akışın mekanik bozulmasını arttırarak hidrodinamik bölgede kayda değer değişimlere sebebiyet verdiğini vurgulamıştır. Tespit ettiği bulguları, hız bileşenleri, türbülans yoğunlukları, sınır yapıları ve Reynolds gerilme tensörü bileşenleri vb. parametreler üzerinden sunmuştur. Demir [33] dört farklı geometride, viskoz iki akışkandan oluşan ve sıkıştırılamayan karışım için zamana bağlı Couette akımı ile ilgili bazı problemleri incelemiş ve karışım teorisini kullanarak hareket denklemleri elde etmiştir. İlk olarak karışım konusuyla ilgilenmiş, bu tarz problemlerin çözümünde kullanılan metotlar irdelenmiş ve incelenen problemlerin verileri sunulmuştur. Sonrasında; karışım teorisinin tarihsel gelişimi, korunum yasaları ve viskoz akışkanın bünye denklemlerini göstermiştir. Bu denklemleri kullanarak her iki bileşen için hareket denklemlerini vektörel formda vermiştir. Ayrıca, karışımlar için bulunacak çözümler ile karşılaştırma yapmak için, belirli problemleri viskoz ve sıkıştırılamayan bir akışkan için daimi ve zamana bağlı olarak çözmüştür. Viskoz ve sıkıştırılamayan iki akışkandan oluşan karışım için, her iki akışkanın Couette akımına ait hız verilerinin, integral yardımı ile sayısal çözümünü sunmuştur. Elde ettiği verileri, dikdörtgen kesitli bir kanalda, halka kesitli bir kanalda ve yarım daire kesitli bir kanal ile ayrı ayrı çözmüştür. Elçiçek [34] Taylor-Couette reaktöründe Newtonyen ve Newtonyen olmayan akışkanlar kullanarak akış yapıları ve kritik rejim geçiş değerleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Newtonyen ve shear-thinning (kayma incelmesi gösteren) akışkanlar için, akış yapılarının kritik değerlerini ve akış durumlarını özelliklerini Reynolds sayısından faydalananak karşılaştırmıştır. İncelemeler sonucu belirlenen vorteks yapılarının shear-thinning akışkanlarda eksenel doğrultuda kaydığını ve farklı eksenel dalga boyuna sahip olduğunu tespit etmiştir. Shear-thinning akışkanlarda

viskozitenin gösterilen boşluk boyunca değiştiğini ve Reynolds sayısı tanımındaki değişikliklerin kritik akış yapılarının tanımlanmasında tutarsız veriler verdiğini tespit etmiştir. Aynı zamanda, kritik geçiş değerlerini uyumlu bir şekilde kıyaslayabilmek için üç farklı Reynolds sayısı kullanmıştır. Ek olarak belirtmek gerekirse, shear-thinning özelliği gösteren akışkanlarda, Taylor vorteks akış yapısından dalgalı vorteks akış yapısına geçiş aşamalarındaki farklılıkları ele almıştır. Deneysel çalışmalara ek olarak sayısal simülasyon çalışmalarına da yer vermiştir. Newtonyen olmayan akışkanların $\eta=0,868$ boşluk oranında olan TC reaktöründe kullanılması doğrultusunda, TVF akış yapısı öncesi ve sonrasında simetrik olmayan akış yapılarını farkederek bu yapıları ayrıntılı olarak irdelemiştir. İç silindir yüzeyinin süper hidrofobik kaplayıp, ortaya çıkan akış yapılarında ve kritik rejim geçiş değerlerinde kaydam değer farklılıklar bulmuştur. İncelenen akış yapısının, CCF akış yapısından TVF akış yapısına geçişte Reynolds sayısının % 8 – 30 aralığında arttığını gözlemlemiştir. Dong vd. [50] çalışmasında, yarı katı sulandırılmış karışımın görünür viskozite ölçüm sürecini HAD programı olan ANSYS Fluent ile simüle etmiştir ve karışımın ölçüm sistemindeki akış durumunun geçiş sürecini görselleştirmiş ve analiz etmişlerdir. Taylor girdablarının etkisini bloklamak için, Taylor'ın akış stabilitesi üzerine çalışmasından faydalanmıştır. Akışölçerin 3 boyutlu bir modelini oluşturarak ve ANSYS Fluent'e dayalı yarı katı karışımın, görünür viskozite ölçüm sürecinin simülasyonunu göstermişlerdir. Karışımın ölçüm sistemindeki akış durumunu analiz etmişler ve Searle ve Couette tipi akışölçerlerin ölçüm sisteminde kullanılan karışımın ölçüm bozukluklarına dikkat çekmişlerdir. Belirli koşullar altında, Searle tipi akışölçer görünür viskozite bağıl hatasının (ϵ), Couette akış ölçerikinden 3 kat daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir ve Taylor girdabının görünümünün, akışölçer silindiri üzerindeki basınç çizgilerini değiştirerek, kademeli yüksek basınç ve alçak basınç kuşağı oluşturduğunu sunmuşlardır. Lalaoua [45] dış silindirin sabit olup iç silindirin sabit bir açısal hız ile döndüğü bir HAD simülasyonu kullanarak sayısal bir çalışma yapmıştır. Dış silindir ile iç silindir arasındaki tepe açısını 0'dan 12 dereceye kadar artırmış ve dış silindirin konik bir silindir geometrisine sahip olmasını sağlamıştır. Akıştaki geçiş olaylarını tepe açısını değiştirerek incelemiştir. İki silindir arasındaki akışta oluşan girdap sayısının tepe açılarıyla ters bir orantıda sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Aynı zamanda girdaplara ait eksenel uzunluklar, iki silindir arasındaki mesafe

değiştğinde mesafenin genişliği azaldıkça eksenel uzama ölçülerinde azaldığını göstermiştir. Xu vd. [46] dıştaki sabit ve içteki dönen iki konik silindir arasındaki Taylor-Couette akışının davranışındaki değişimleri sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada taylor girdaplarının oluşması özellikle sistemli bir şekilde dikkat çekilmiştir. İncelenen akıştaki girdapların daha küçük yarıçapa sahip konik silindirlere doğru oluştuğu görülürken, kararsız girdaplar yapılarında ise daha büyük yarıçapa sahip konik silindire doğru oluştuğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda meridyenal etkiyi de incelediklerinde, küçük tepe açısında en belirgin yapıda oluştuğunu bulmuşlardır. Lalaoua vd. [47] dış silindirin eğik konik bir şekle sahip olduğu ancak iç silindirin düz bir silindir geometrisine sahip olduğu iki silindir arasındaki TC akışını incelemişlerdir. Silindirler arasındaki tepe açılarını değiştirerek akış rejimindeki değişkenlerin etkilerini sunmuşlardır. Sayısal hesaplamalar HAD simülasyonu kullanılarak yapılmıştır ve viskoz akışı 3 boyutlu olarak araştırmışlardır. Taylor sayısı ile iç silindirin açısız hızı arasındaki orantıya detaylıca odaklanmışlar ve doğrulama için literatürdeki benzer deneysel çalışmalardan faydalanmışlardır. Girdap sayıları, basınç ve akım çizgilerinin tepe açısına ve Taylor sayısına göre değiştiğini tespit etmişlerdir. Taylor girdaplarının, silindirler arasındaki mesafenin geniş olduğu yerlerde büyük, dar olduğu bölgelerde ise daha küçük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, girdapların boyutunun tepe açısına göre değiştiğini bulmuşlardır. Sunulan literatür çalışmalarında silindir ve konik silindir geometrileri kullanılarak, iki silindir arasındaki Taylor-Couette akışı hem sayısal hem de deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada farklı olarak konik silindirler arasındaki mesafe sabit tutularak hem içteki konik hemde dıştaki konik silindir olan bir geometride newtonyan olmayan bir akışkanın davranışları sayısal olarak incelenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

1.2 Tezin amacı

Birçok sektörde özellikle endüstri alanında newtonyen-olmayan akışkanların Taylor-Couette reaktöründeki davranışının belirlenmesi süreç dinamiklerini ve verimliliğini fazlasıyla etkilemektedir. Bu araştırmanın amacı, akışın davranışını ve yapısını araştırmak için farklı akış rejimlerinde TC akışındaki değişimleri saptamaktır. Böylece hız ve basınç dağılımlarının oluşumuna ait değişimler dikkate alınarak, TC akışı içerisinde oluşan girdap sınır tabakalarının davranışları tespit

etmek amaçlanmıştır. Öncelikli olarak bu çalışmada newtonyen akışkan kullanarak bir doğrulama yapılmıştır. Bu alanda yapılmış bazı çalışmalar referans alınarak HAD çalışması icra edilmiştir [41][43]. Doğrulama yapılan ağ ve model ile newtonyen olmayan akış kullanılarak, akış yapılarındaki değişimleri tespit edilmiştir. Literatürde silindirler arası newtonyan akış çalışmaları oldukça yaygın ve fazladır. Özellikle konik silindir geometrisinde newtonyen olmayan akışkan çalışmaları oldukça kısıtlı ve azdır. Newtonyan olmayan akışkanın karakteristik özelliklerinin ve davranışlarının, silindirler arasındaki boşluk oranı ve silindirlerin dönme hızlarını nasıl etkilediği sayısal yöntemlerle incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, silindirler arasındaki mesafe korunarak, eş merkezli konik silindir yapısı kullanılarak hem newtonyan hem de newtonyen olmayan sıvı ile TC akışı oluşturulup, akışkanlar arasındaki davranışların karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu karşılaştırma ile akışta oluşan girdaplar arasındaki sınır tabaka geçişleri ve dalga yapılarındaki değişimi tespit etmek amaçlanmıştır.

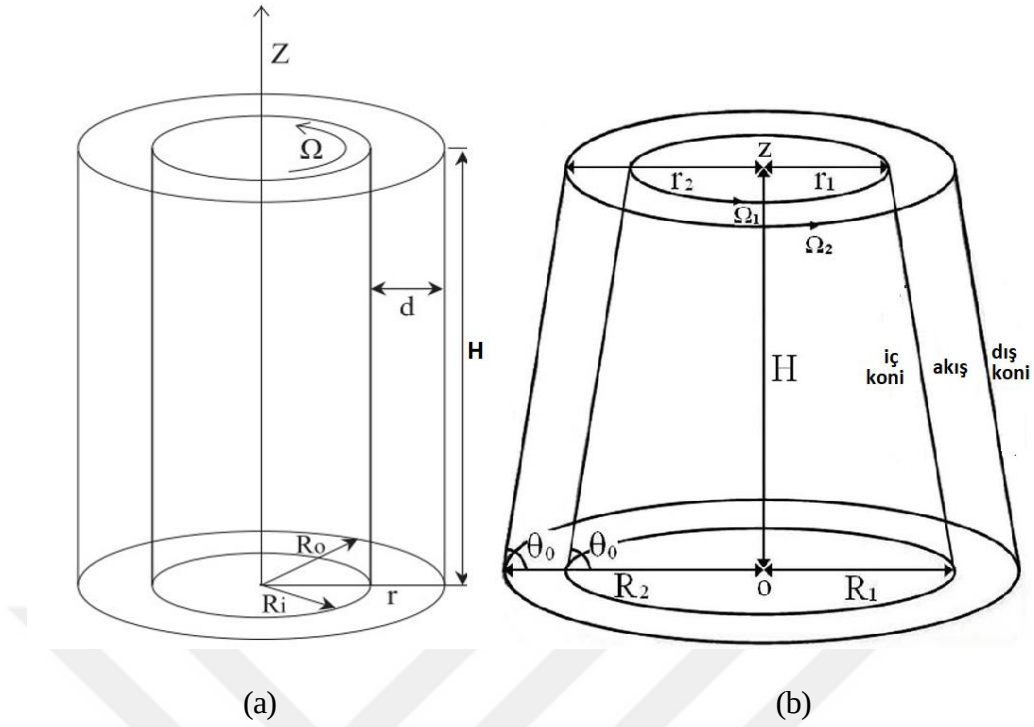
1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında, sırasıyla silindir ve konik silindir yapılara sahip iki farklı geometri ile Taylor-Couette reaktörü kullanılarak Newtonyen ve newtonyen olmayan akışkanların, TC düzeneği içerisindeki davranışları sayısal olarak incelenecektir. Newtonyen olmayan akışkanların TC reaktöründe farklı dalga yapıları göstermesi, farklı akış yapıları arasındaki kıyaslamaları yapabilmemize olanak sağlamaktadır. Özellikle konik silindir geometrisinde yapılacak çalışmalarda farklı akışkanların hız değişimi ile nasıl davranış farklılıkları gösterdiği incelenecektir. Dalga yapılarında ve hız grafiklerindeki değişkenlikleri gözlemleyerek veriler elde edilecektir. Yapılacak olan çalışmada laminar akıştan türbilanslı akışa geçiş yapılarının davranışlarının anlaşılması iç içe geçmiş reaktörlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Konik silindirler endüstriyel cihazlarda sık olarak kullanılmasından dolayı ortaya çıkacak analiz ve verilerin, gemilerde kullanılan seperatörlerin modellenmesi ve bu ekipmanların verimliliğinin artırılmasına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.1 Problemin Öncül Geometrileri

Eş-eksenli iki silindir arasındaki TC akışına ait geometrik yapı ve temel değişkenler Şekil 2.1a'da gösterilmiş olup R_i ve R_o sırasıyla iç ve dış silindir yarıçaplarını, H silindirlerin yüksekliğini, r ve z ise radyal ve eksenel (düşey) yönleri temsil etmektedir. Bu çalışmada ele alınan değerler Nicoli vd.[41] tarafından incelenen çalışma ile aynı olup, bu çalışmada kullanılan HAD sonuçlarının doğruluğunu göstermek için tercih edilmiştir. Silindirlerin iç ve dış yarıçapları sırasıyla 0,0349 ve 0,0476 m olan çalışma bölgesi bu iki eşmerkezli silindirden oluşmaktadır. Silindirlerin yüksekliği ise $H = 0,432$ m olup $d = 0,0127$ m'lik boşluk boyutuna ($R_o - R_i$) bağlı olarak geometrinin en-boy (aspect ratio) oranı 34'tür. Geometri, 0,733'lük bir yarıçap oranına (η) sahiptir ve bu da kritik Reynolds sayısı $Re_c = 83,6$ 'ye tekabül etmektedir.

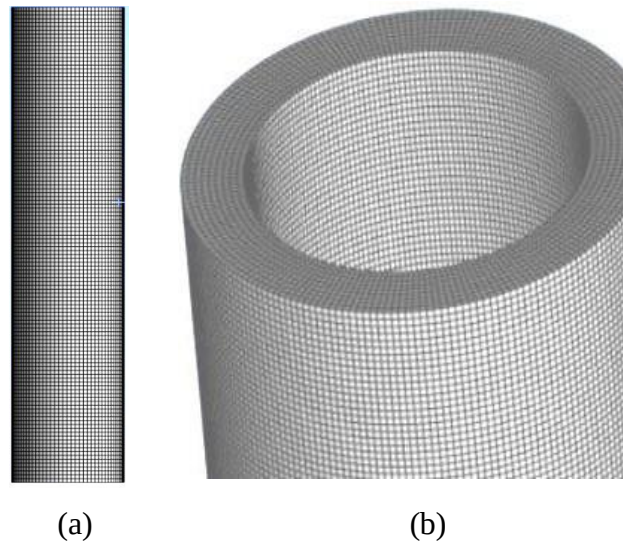
Çalışmadaki diğer probleme ait konik silindir geometrisinin görüntüsü Şekil 2.1b'de verilmiştir. Konik silindirlerin çapları küçük olan tarafı, öncül geometrideki silindirlerin iç ve dış yarıçapları ile aynıdır. Yani sırasıyla iç yarıçap $r_1 = 0,0349$ ve dış yarıçap $r_2 = 0,0476$ m olan çalışma bölgesi bu iki eşmerkezli silindirden oluşmaktadır. Silindir çaplarının daha geniş olan kısmında ise, iç yarıçap $R_1 = 0,0705$ ve dış yarıçap $R_2 = 0,0832$ m olarak belirlenmiştir. Silindirlerin yüksekliği $H = 0,432$ m olarak korunmuş olup silindirler arasındaki mesafe 0,0127 m olarak korunmuştur.



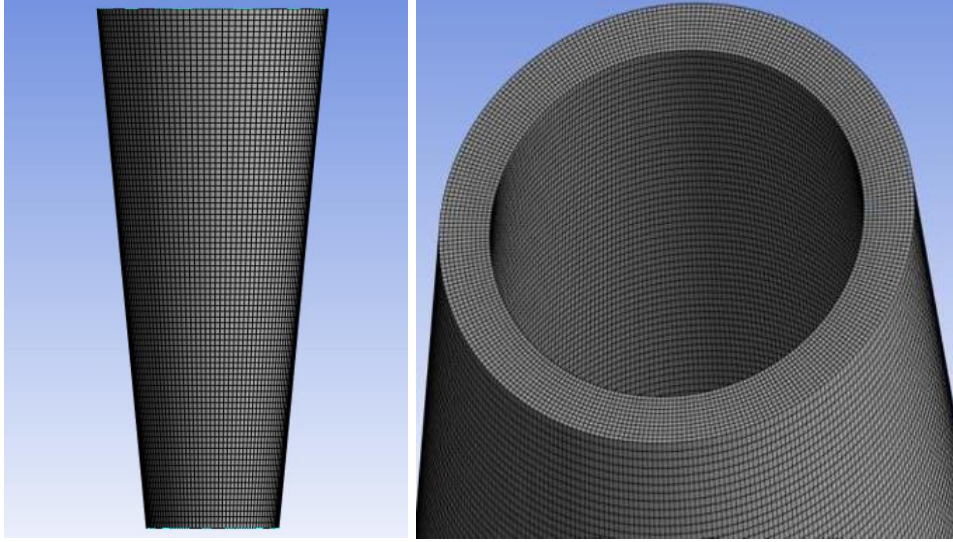
Şekil 2.1 Silindir TC akışı (a), Konik silindir TC akışı (b)

2.2 Kullanılan ağ yapısı

Silindir geometrisi için Şekil 2.2a’da silindirlerin yüzeylerinde oluşturulan ağ ve Şekil 2.2b’de ise akışkanın bulunduğu hesaplama bölgesi (silindirler arasındaki boşluk) için oluşturulan ağ yapısı gösterilmiştir. Benzer şekilde konik ve ters konik silindir geometrisi için konik silindirlerin yüzeylerinde oluşturulan ağ yapısı ve akışkanın bulunduğu bölgenin ağ yapısı Şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Silindir ağ yapısının görünümü (a), Silindir TC akışı görünümü (b)



Şekil 2.3 Ters Konik silindir ağ yapısının görünümü (a), Konik silindir ağ yapısının görünümü (b)

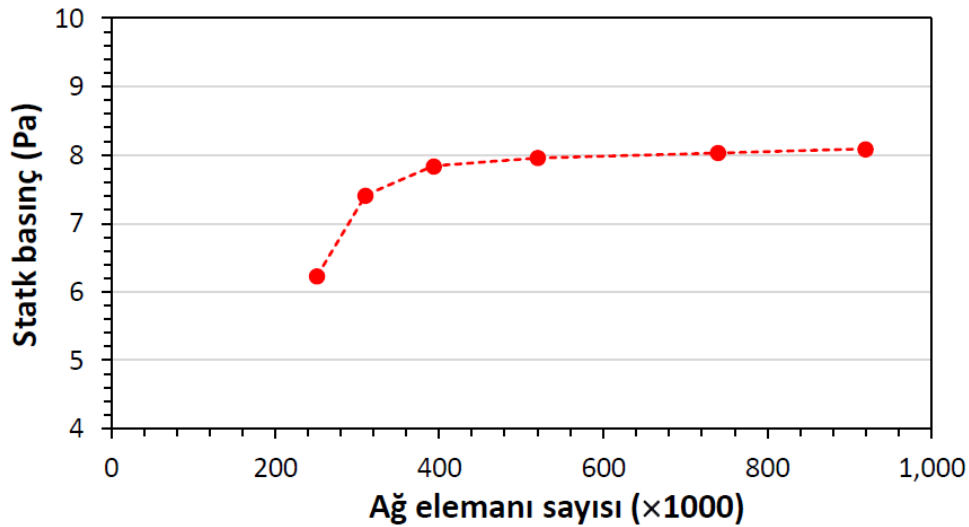
2.3 Ağdan Bağımsızlık Çalışmaları

Silindir geometrisinde sonuçların ağdan bağımsız olduğundan emin olmak için, sırasıyla 251.000'den 920.000'ye altı (6) farklı ağ elemanı kullanılarak ağdan bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiştir. Her bir ağ elemanı sayısı, bir öncekinin yaklaşık olarak %25 artırılmasıyla bulunmuş ve sonuçlar statik basınç değerindeki değişimlerle beraber Tablo 2.1'de sunulmuştur. Görüleceği üzere ağ elemanı sayısı 393.000 olduğunda statik basınç neredeyse %6 değişmekte iken ağ elemanı sayısının daha da artırılması basıncı sadece %1,5 değiştirmektedir. Daha yüksek ağ elemanları ile yapılan analizlerin basınç değerini önemli ölçüde etkilemediği açıktır. Daha yüksek ağ elemanı sayıları kullanıldığında statik basınçtaki değişimler sırasıyla %0,8 ve %0,7 olduğundan dolayı geri kalan tüm analizler 520.000 adet ağ elemanı içeren D isimli ağ ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.1 Silindir ağdan bağımsızlık çalışması

Ağ adı	Ağ elemanı sayısı (hücre)	Statik basınç değeri (Pa)	Basınçtaki değişim (%)
A	251.000	6,23	-
B	310.000	7,41	18
C	393.000	7,84	5,5
D	520.000	7,96	1,5
E	740.000	8,03	0,8
F	920.000	8,09	0,7

Kullanılan ağ elemanı sayısına göre statik basınçtaki değişimler $\omega=1100$ rad/s için Şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Grafikten görülebileceği gibi, ağ elemanlarının sayısı arttıkça basınç neredeyse sabit kalmaktadır.



Şekil 2.4 Ağdan bağımsızlık çalışması için kullanılan ağ elemanı sayısı ve basınç (Pa) değişimi ($\omega=1100$ rad/s).

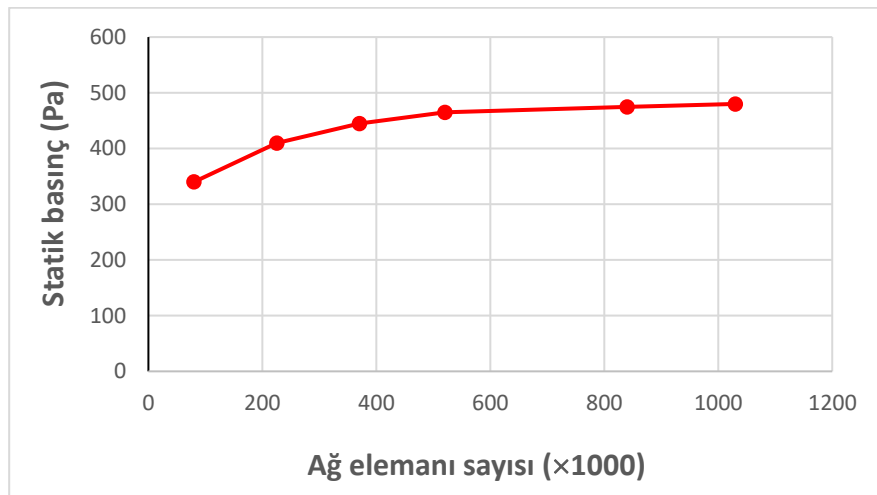
Konik silindir ile yapılacak çalışmaların sonuçlarının ağdan bağımsız olduğundan emin olmak için, sırasıyla 80.000 'den 1.030.000'e kadar altı (6) farklı ağ elemanı kullanılarak ağdan bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar statik basınç değerindeki değişimlerle beraber Tablo 2.2' de sunulmuştur. Görüleceği üzere ağ elemanı sayısı 370.000 olduğunda statik basınç yaklaşık %8 değişmekte iken ağ elemanı sayısının daha da artırılması basıncı sadece %1-4 aralığında

değiştirmektedir. Daha yüksek ağ elemanları ile yapılan analizlerin basınç değerini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Daha yüksek ağ elemanı sayıları kullanıldığında statik basınçtaki değişimler sırasıyla %2,15 ve %1,05 olduğundan dolayı geri kalan tüm analizler 520.000 adet ağ elemanı içeren 4 numaralı ağ ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo. 2.2 Konik silindir ağdan bağımsızlık çalışması

Ağ numarası	Ağ elemanı sayısı (hücre)	Statik basınç değeri (Pa)	Basınçtaki değişim (%)
1	80.000	340	-
2	225.000	410	20,58
3	370.000	445	8,53
4	520.000	465	4,49
5	840.000	475	2,15
6	1.030.000	480	1,05

Kullanılan ağ elemanı sayısına göre statik basınçtaki değişimler $\omega=5000$ rad/s için Şekil 2.5 'de gösterilmiştir. Grafikten görülebileceği gibi, ağ elemanlarının sayısı arttıkça basınç neredeyse sabit kalmaktadır.

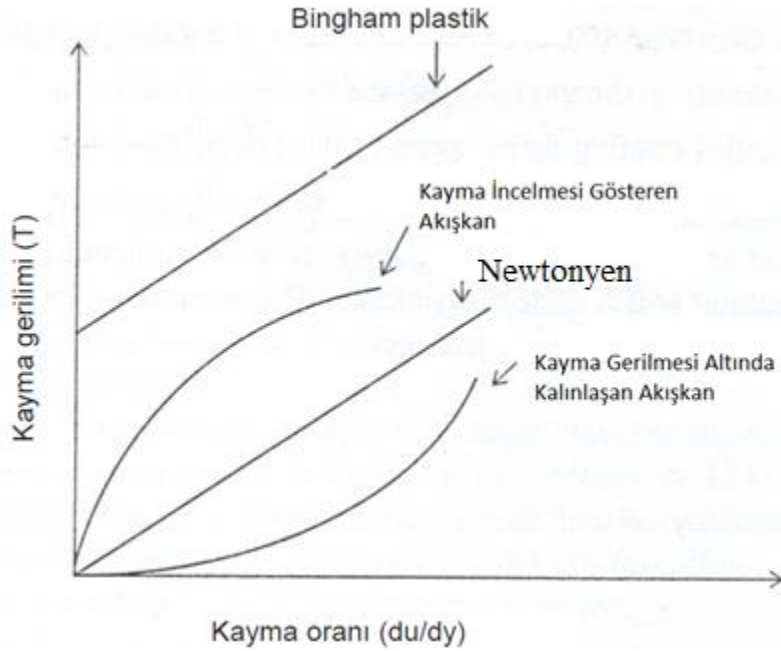


Şekil 2.5 Ağdan bağımsızlık çalışması için kullanılan ağ elemanı sayısı ve basınç (Pa) değişimi ($\omega=5000$ rad/s).

2.4 Akışkan Tanımları

Newtonyen akışkanlar, uygulanan kayma gerilimi ile oluşan deformasyon hızı (kayma hızı) arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu akışkandır. Bu yüzden belirli bir sıcaklıkta sabit viskoziteleri vardır. Newtonyen olmayan akışkan ise uygulanan kayma gerilimi ile kayma hızının doğrusal olarak değişmediği akışkandır. Viskozite hız gradyanından bağımsız değildir, sabit sıcaklıkta bile değişkenlik gösteren viskoziteye sahiptirler. Newtonyen olmayan akışkanlar iki kategoriye ayrılırlar, zamana bağlı olmayan Newtonyen olmayan akışkanlar (Sözde plastik, Kayma İncelmesi, Bingham Akışkanlar) ve zamana bağlı Newtonyen olmayan akışkanlar (Tiksotropik, Reopektik).

Şekil 2.6'da verilen grafikte görüldüğü gibi kayma incelmesi gösteren akışkanın eğrisi aşağı doğru konkavdır. Viskozite, düşük kayma kuvvetinde yüksektir. Kayma kuvveti arttıkça viskozite azalır. Çünkü, katmanlar arasındaki sürtünme azalır. Fakat kayma gerilmesi altında kalınlaşan akışkanlarda tam tersi bir durum olarak iç sürtünme artar. Bu tip akışkanlar kayma oranı arttıkça daha viskoz hale gelir. Kayma oranı ve kayma gerilimine göre çizilen grafikte eğrinin eğimi Newtonsal olmayan akışkanlar için sabit değildir.



Şekil 2.6 Kayma gerilimi ve kayma oranı grafiği

2.5 Çalışmada kullanılan akışkanların tanımı

2.5.1 Kullanılan newtonyen akışkan bilgisi

Çalışmada kullanılan akışkanın yoğunluğu 1055 kg/m^3 , dinamik viskozitesi ise 1.097×10^{-3} olarak alınmıştır. Nicoli vd.[41]

2.5.2 Kullanılan newtonyen olmayan akışkan bilgisi

Simülasyonda, toz halindeki xanthan ile su uygun oranlarda karıştırılarak elde edilen, yüzde 0,2 konsantrasyondaki newtonyen olmayan xanthan çözeltisinin değerleri baz alınmıştır. Xanthan ilaç ve gıda endüstrilerinde yaygın şekilde tercih edilen, moleküler ağırlığı yüksek olan bir polisakkarit biyopolimeridir. Xanthan tozu karakter özellikleri: $\rho=1500 \text{ kg/m}^3$, ortalama molekül ağırlığı: $4 \times 10^6 - 12 \times 10^6 \text{ Da}$ Elçiçek [34].

Kullanılan newtonyen olmayan akışkan shear thinning akışkan türüne sahiptir. İlgili akışkanın durum gösterge (shear thinning indeks - n) değeri 0,38 ve kıvam gösterge (consistency index - κ) değeri 0,674 dür.

2.6 İlgili denklemler

Taylor-Couette (TC) akışı farklı değişkenlerle tanımlanabilir. TC reaktörlerinde ortaya çıkan akış yapıları, iç ve dış silindirin dönme hızlarından elde edilmiş Reynolds sayıları ile tanımlanmaktadır (Re_i ve Re_o). [35] [36]

$$Re_i = \frac{r_i \Omega_i d}{\nu} \quad Re_o = \frac{r_o \Omega_o d}{\nu} \quad (1)$$

Bu eşitliklerde sırasıyla; iki silindir arasındaki boşluk $d=(R_o-R_i)$, iç ve dış silindirin açısal hızları Ω_i ve Ω_o , kinematik viskoziteyi ν , iç ve dış silindirin yarıçapları (R_i ve R_o) ifade edilmektedir. Kritik Reynolds sayısı çap (η) ve en-boy (Γ) oranına bağlı olarak değişmektedir. Bu ifadeler aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir. [37] [38]

$$\eta = \frac{r_i}{r_o} \quad \Gamma = \frac{H}{d} \quad (2)$$

TC akışında bir diğer önemli boyutsuz ifade Taylor sayısı (Ta) olup Reynolds sayısının bütünleştirilmesiyle elde etmiştir. Taylor sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir. [2]

$$Ta = \frac{(1 + \eta)^4 (R_o - R_i)^2 (R_o + R_i)^2 (\omega_i - \omega_o)^2}{64\eta^2 \nu^2} \quad (3)$$

Aynı zamanda çalışmalarda kullanılan bir diğer boyutsuz sayı “kayma ya da kesme” Reynolds sayısı Denklem 4’teki gibidir.

$$Re_s = \frac{2R_i R_o (R_o - R_i)}{\nu (R_o + R_i)} |\omega_o - \omega_i| \quad (4)$$

Newtonyen-olmayan akışkan akışı üs yasası fonksiyonu dikkate alınarak dikkate alınmıştır. Burada viskozite kritik bir değişken olup akış koşullarına göre değişebilir. Kayma gerilmesinin (τ) temel formu aşağıda verilmiştir (Denklem 5).

$$\tau = K \times \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (5)$$

Burada K =Akış tutarlılık indeksi, n =Akış davranışı indeksi ve du/dy ise kayma(kesme) gerilmesidir. Bunların dışında aşağıda verilen parametreler sıkıştırılamaz akışa ait Navier-Stokes denklemleridir. Fizik kanunları akışkanlar mekaniği problemlerine uygulandığında elde edilen korunum prensiplerinden ilki kütle korunumu (Denklem 6), ikincisi ise momentumun korunumu denklemdir (Denklem 7) [39].

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_{x_i} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \right) \quad (7)$$

Bu denklemlerde ν kinematik viskoziteyi, ρ yoğunluğu göstermektedir. Yönetici denklemlerden biri olan kesme duvar hızı (Denklem 8) ve Taylor sayısının bir fonksiyonu olarak çeşitli en-boy oranları (Denklem 9) takip edilerek tanımlanmıştır [40].

$$Ta' = Ta \cdot \sqrt{\frac{2d}{d_i}} \quad (8)$$

$$\frac{\gamma_w}{\omega} = a \cdot Ta'^{-2} + b \cdot Ta'^c \quad (9)$$

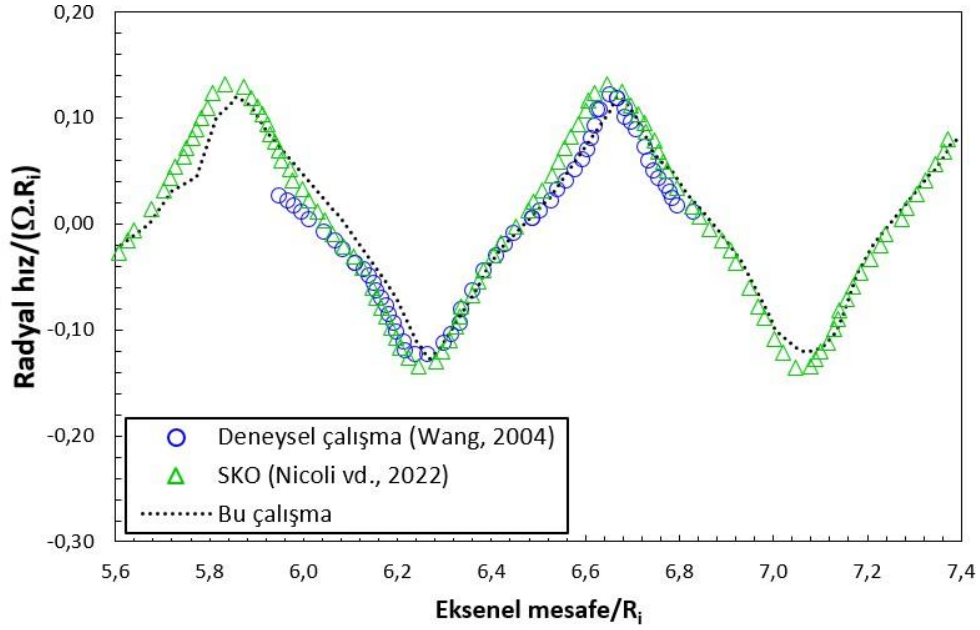
3.1 Bulgular

Bu bölümde silindir geometrisi ile kurulan HAD modelinin doğruluğu ve elde edilen temel bulgular sunulmuştur. Model doğrulaması Newtonyen akışkan kullanılarak iç silindir dönme hızı olan $\omega=1100$ rad/s için yapılarak gösterildikten sonra çalışmalar Newtonyen-olmayan akışkan kullanılarak $\omega =1100$ rad/s ve $\omega =2400$ rad/s için derinleştirilmiştir. Çalışmanın devamında konik silindir geometrisi ile 4 farklı açısal hız değeri ($\omega =1100, 2400, 3700, 5000$ rad/s) için sayısal çalışmalar yapılmış ve elde edilen bulgular ve çıktılar belirtilmiştir.

3.2 Sayısal Modelin Doğrulanması

Kritik Reynolds sayısı (Re_c), Taylor girdaplarının başlangıcının meydana geldiği açısal hıza bağlı Reynolds sayısı olarak tanımlanmaktadır Monfared vd.[21]. Kritik Reynolds sayısının değeri, Donnelly vd. [42] tarafından sunulan teorinin sayısal enterpolasyonu ile bulunmuş olup değeri $Re_c=83.6$ olarak verilmiştir Nicoli vd.[41]. Dönme Reynolds sayısının kritik Reynolds sayısına oranı olan, Reynolds sayısı oranı da TC akışlarında önemli bir değişken olup $R=Re/Re_c$ olarak tanımlanır. Bu çalışmada iki Reynolds sayısı oranı, $R=100$ ve $R=220$ değerlerinin açısal hızları olarak bulunan $\omega =1100$ rad/s ve $\omega = 2400$ rad/s dikkate alınmıştır. TC geometrisine uygulanabilecek en uygun türbülans modelleme stratejisini belirlemek için Nicoli vd.[41] türbülans modellerini açıklayarak, bu modelleri hem maksimum hem de minimum radyal hızlar dahil olmak üzere Wang [43]'ün parçacık görüntüleme hız ölçeri (PIV) kullanarak yaptıkları deneysel boyutsuz hız profilleriyle karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan ağın uygunluğu ve modelin doğruluğunun gösterilmesi için $\omega = 1100$ rad/s değerindeki türbülans modellerinden elde edilen sonuçlar, literatürden bulunan deneysel (Wang [43]) ve sayısal (Nicoli vd.[41]) hız profilleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi $5.9 < (\text{eksenel hız}/R_i) < 6.8$ arasında Nicoli vd.[41] ve bu çalışma Wang [43] 'ün deneysel verileriyle uyum içerisinde iken, bu değerlerin dışında deneysel verilerden sapma göstermektedir.

Belirtilen grafikte newtonyan akışkana ait taylor vorteks girdapları oluştuğu görülmüştür. Dolayısıyla verilen eksenel mesafe aralığı dış silindir ile iç silindir arasında olduğu için hız değeri dalgalanma göstermektedir.



Şekil 3.1 Bu çalışmanın literatürdeki deneysel ve sayısal verilerle karşılaştırılması ($\omega = 1100$).

3.3 Simülasyon modelinin seçilmesi ve doğrulanması

Model doğrulaması yapılırken doğru girdap modelinin seçilmesi doğru sonuçlar elde edebilmek için önem arz etmektedir. Nicoli vd.[41] çalışmasındaki farklı modeldeki veriler ve bu çalışmadaki veriler aşağıda verilen Tablo 3.1’de Wang [43]’ın deneysel verileri ile kıyaslanmıştır. Diğer modeller ile karşılaştırıldığında standart k-omega modelinin en yakın değerleri verdiği ve en uyumlu model olduğu gösterilmiştir.

Tablo 3.1 $\omega = 1100$ rad/s için elde edilen sonuçlar ve karşılaştırma tablosu

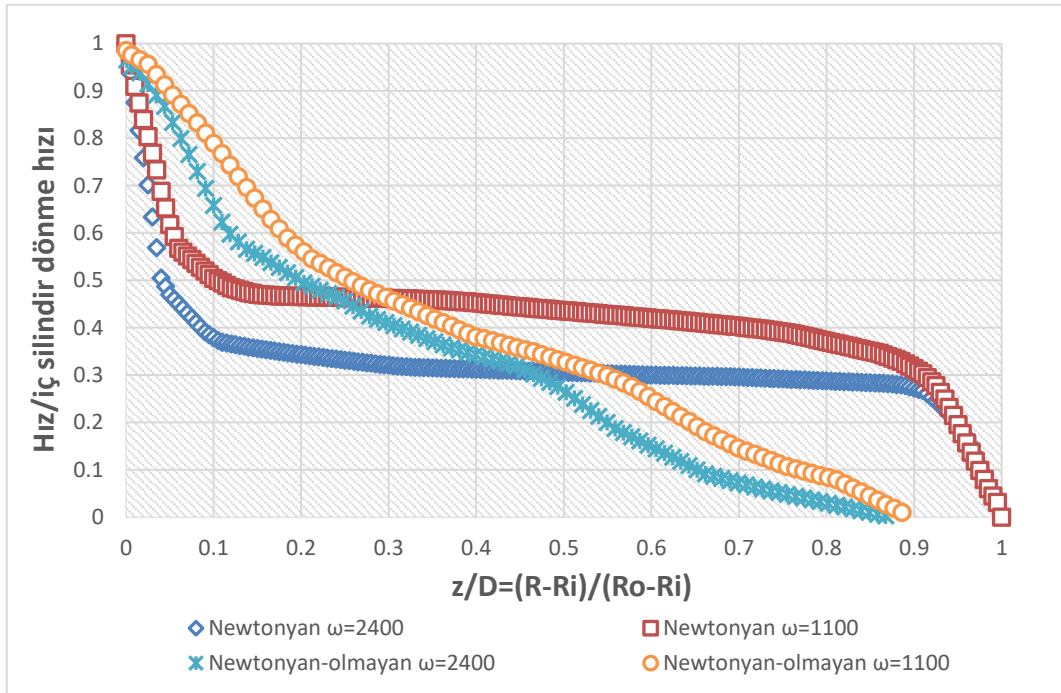
Türbülans modeli/deneyi	Azami içeriye akış	Azami dışarıya akış	Dalga boyu
Wang / deney	-0.1248	0.1201	0.826
Nicoli / Standart k- ϵ	-0.0361	0.0485	0.796
Nicoli /Standard k-ω	-0.1353	0.1330	0.806
Nicoli /SST k- ω	-0.1367	0.1340	0.786
Nicoli /RSM	-0.2120	0.1894	0.786
Nicoli /BSL k- ω	-0.1378	0.1347	0.784
Bu çalışma / Standard k-ω	-0.1364	0.1336	0.802

Seçilen simülasyon modelinde zamana bağlı (unsteady) akış seçilmiştir. Aynı zamanda simülasyon çalışmalarında yüksek Re değerleri kullanıldığından dolayı, kurulan ağ yapısıyla y^+ değeri 50 ile 500 arasında olmasına dikkat edilmiştir.

3.4 Silindir geometrisinde TC akışı karşılaştırması

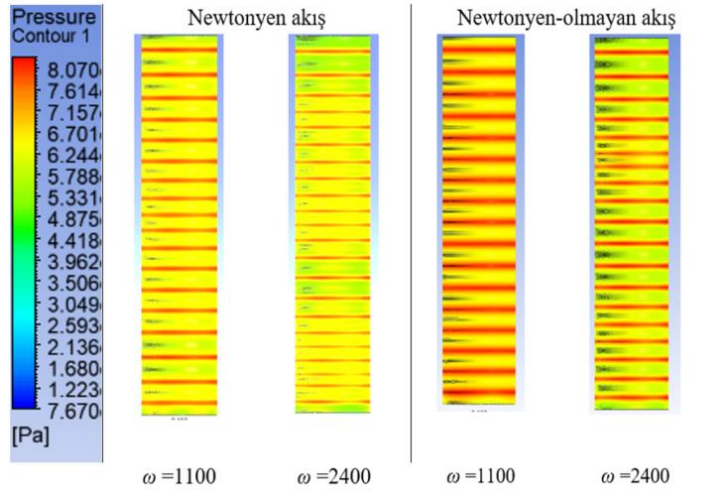
Modelin doğruluğundan emin olunduktan sonra seçilen türbülans modeli ve hücre sayısı kullanılarak, Newtonyen-olmayan akışkan için TC akışının hidrodinamik davranışı incelenmiştir. Doğrulama işlemleri esnasında dikkate alınan çalışmalarda dış silindir sabit tutulduğunda, dönen iç silindir ile dış silindir arasındaki bölgede hidrodinamik olarak durağan bir akış yapısı oluşmakta ve bu bölgede boyutsuz hız büyüklüğü sabit silindirde sıfıra yaklaşmaktadır. Aynı zamanda Newtonyen-olmayan akışkan ile yapılan analizlerde simetrik olmayan akış yapılarının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metodu kullanılarak Newtonyen ve Newtonyen-olmayan akışkanların eşeksenli iki silindir arasındaki davranışının incelendiği bu çalışmada boyutsuz hız büyüklüğünün iki silindir arasındaki boşluk boyunca olan değişimleri $\omega = 1100$ rad/s ve $\omega = 2400$ rad/s için Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Akışkanların newtonyen olup olmamasına göre hız değişimlerinin Reynolds sayısı oranlarından bağımsız olarak davranış gösterdiği oldukça açıktır. Newtonyen-olmayan akışkanın silindirler arasındaki boşlukta döndürülmesiyle boyutsuz hız hareketli iç silindirden hareketsiz olan dış silindire kadar doğrusal olarak azalırken benzer bir durum Newtonyen akışkanın hareketi için gözlenmemektedir. Newtonyen akışkan hızı, dönmekte olan iç silindirde en yüksek hıza sahip olup iç silindirden

uzaklaştıkça hızlı bir şekilde yarıçap değerine bağlı olarak, iç silindir dönüş hızının yaklaşık %30 ya da %50'sine kadar düşmekte ve belirli bir aralıkta bu değerlerde sabit olarak kalmaktadır. Newtonyen-olmayan akışkanların hızlarının mesafeye göre olan doğrusal şeklindeki değişimleri değişen kesme hızı ile akışkanın reolojik özellikleri arasındaki etkileşimden dolayıdır. Burada viskozite sabit olmayıp uygulanan kesme (kayma) gerilmesine göre değişmektedir. Newtonyen olmayan akışkanın 2 farklı hızda, farklı kayma hızı profillerinin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.2 Newtonyen ve Newtonyen-olmayan akışkan akışında silindirlere arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri.

İki farklı akışkanın TC akışı esnasındaki basınç değişimleri ise Şekil 3.3'te kıyaslanmış ve gösterilmiştir. Newtonyen akışkan olarak Nicoli vd.[41] çalışmasındaki akışkan kullanılmış olup, newtonyen olmayan akışkan olarak Fenstermacher vd.[44] deneysel verilerindeki değişkenler kullanılarak akışkanların davranışları incelenmiştir. Newtonyen-olmayan akışkanın dönüşünde daha yüksek basınç değerleri elde edilmiştir. Ayrıca oluşan Taylor girdaplarının sayılarının da akış türü ve açısal hız ile değiştiği saptanmıştır. Basınç değerleri 3.3 pascal ile 8.1 pascal değişkenlik göstermektedir.



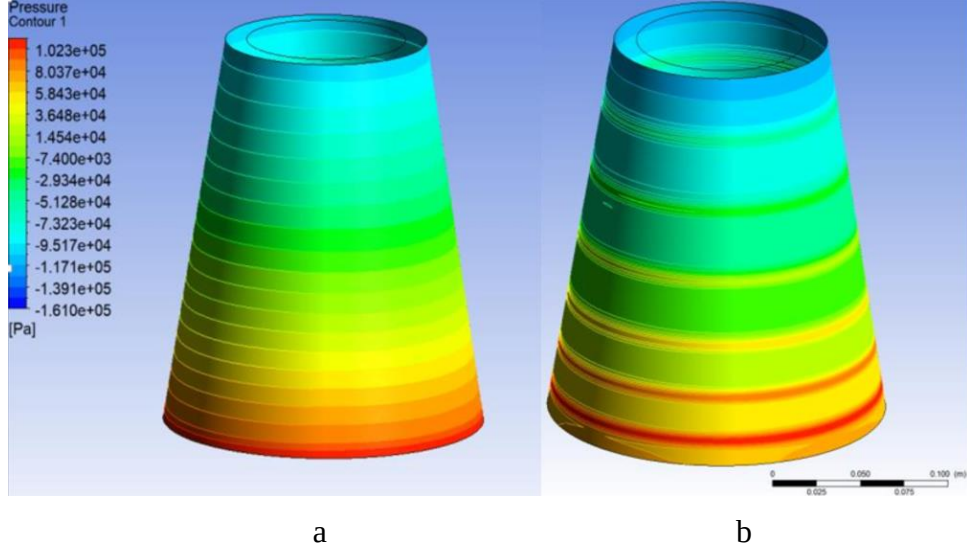
Şekil 3.3 Silindirler arası newtonyen ve newtonyen-olmayan akışın basınç dağılımları

3.5 Konik silindir ve ters konik silindir çalışmaları

3.5.1 Konik silindir çalışması

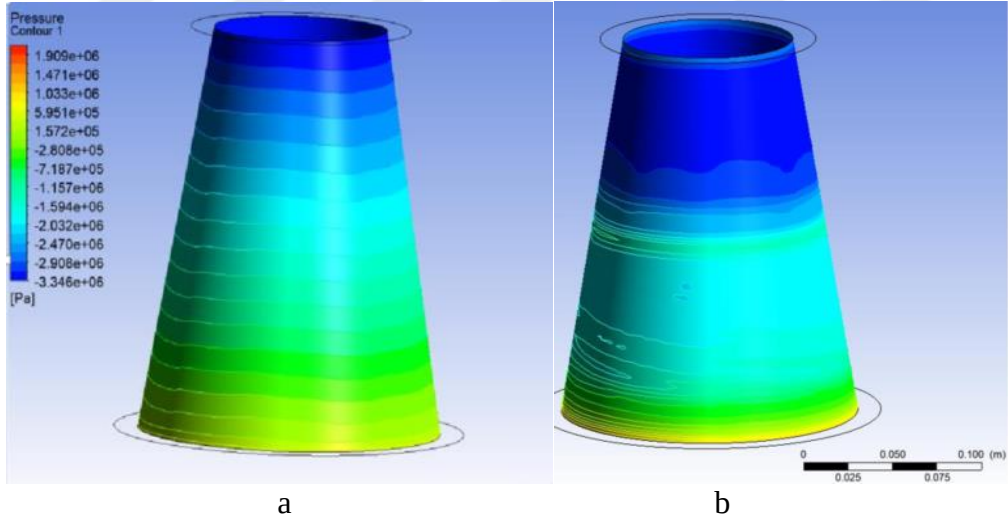
Konik silindir geometrisi kullanılarak 4 farklı hız değeri ($\omega = 1100, 2400, 3700, 5000$ rad/s) için HAD modeli ile sayısal çalışmalar yapılmıştır. Konik silindir geometrisi ile 4 farklı hız değerinde yapılan çalışmalarda iç ve dış silindir üzerindeki basınç değişimleri araştırılmıştır ve hız değerlerine göre farklılaşan dalga ve akış yapılarında sonuçlar gözlemlenmiştir. Üzerinde çalışan farklı hız değerleri ve akışkanlar için gözlemlenen bulgulara ait görüntüler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.4, 3.5, 3.8, 3.9).

Akışkanlar arası farklılığın gösterildiği ilgili kontur gösterimde newtonyan ve newtonyen olmayan akışkanın dönüşleri sonucunda farklı basınç yapıları ve girdap sayıları elde edilmiştir. Newtonyan olmayan akışta newtonyan akışın aksine dalga yapılarının oluştuğu Şekil 3.4’te gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4 a) $\omega = 1100$ rad/s newtonyen akışkan basınç dağılımı b) $\omega = 1100$ rad/s newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı

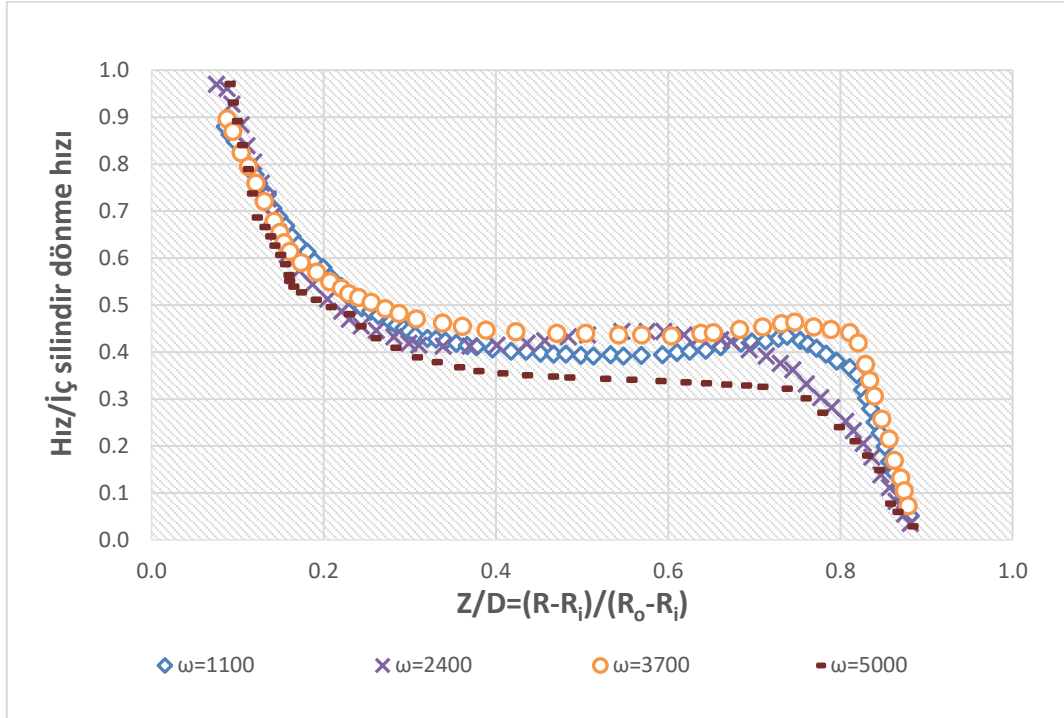
Aynı hız değerine sahip fakat farklı akışkanlara sahip 2 farklı modelde, akış yapılarında ve basınç dağılımında oluşan değişimler Şekil 3.5 te gösterilmiştir.



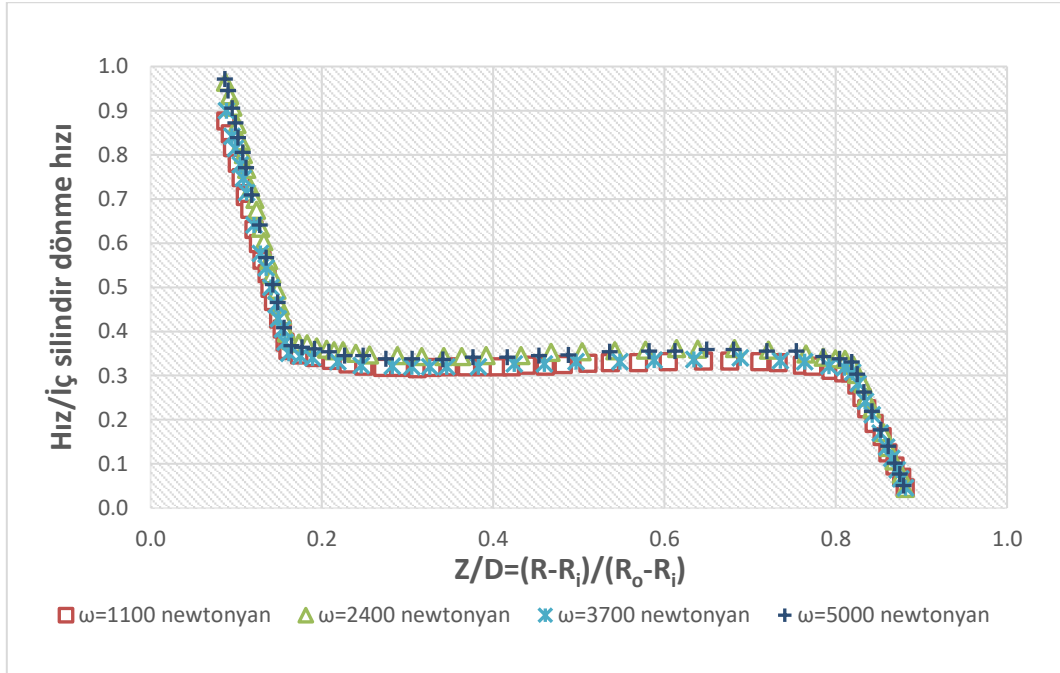
Şekil 3.5 A) $\omega = 5000$ rad/s newtonyan akışkan basınç dağılımı b) $\omega = 5000$ rad/s newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı

Konik silindir geometrisi ile yapılan HAD çalışmasından alınan veriler doğrultusunda silindirler arasındaki akışkan akışına ait hız dağılımları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Görüldüğü üzere newtonyan olmayan akışkanlar daha doğrusal bir grafik çizmektedir. Newtonyan akışkanlar silindirler arasında yer alan

$Z/D = 0,275$ ile $0,775$ değerleri arasında neredeyse sabit kalmaktadır. Belirli bir noktadan sonra Şekil 3.6’da ve Şekil 3.7’de gösterildiği gibi hız grafikleri düşüşe geçmektedir.



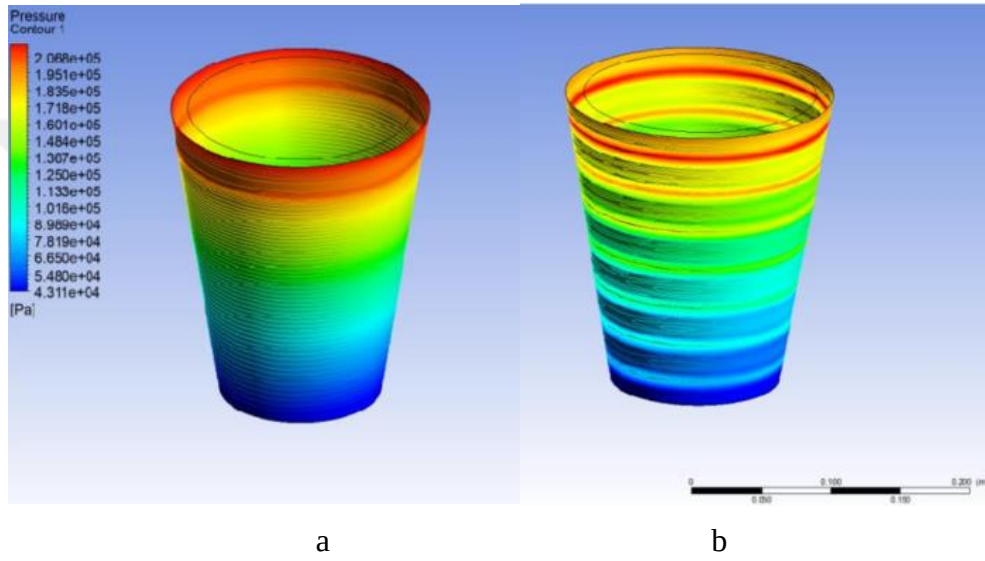
Şekil 3.6 Konik silindir geometrisinde newtonyen olmayan akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri.



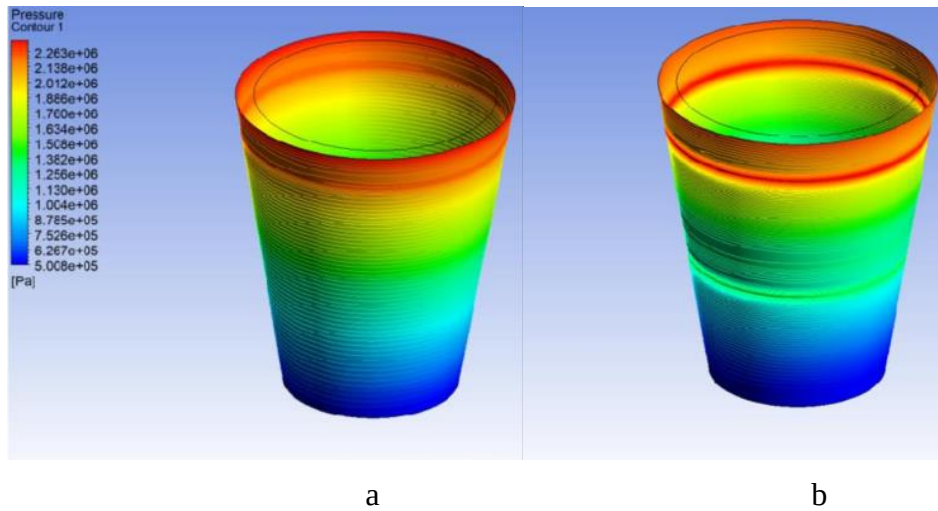
Şekil 3.7 Konik silindir geometrisinde newtonyen akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri.

3.5.2 Ters-Konik silindir çalışması

Ters-Konik silindir geometrisi ile 4 farklı hız değerinde yapılan çalışmalarda iç ve dış silindir üzerindeki basınç ve akış değişimleri kaydedilmiştir. Gözlemlenen bulgulara ait görüntüler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.8, 3.9). Ters-Konik silindir geometrisi kullanılması sonucu ortaya çıkan bulgulara, dış silindir yüzeyindeki aksel akış nedeniyle özellikle newtonyen olmayan sıvı kullanılan modelde farklı ölçüde dalga ve akış yapıları gözlemlenmiştir.

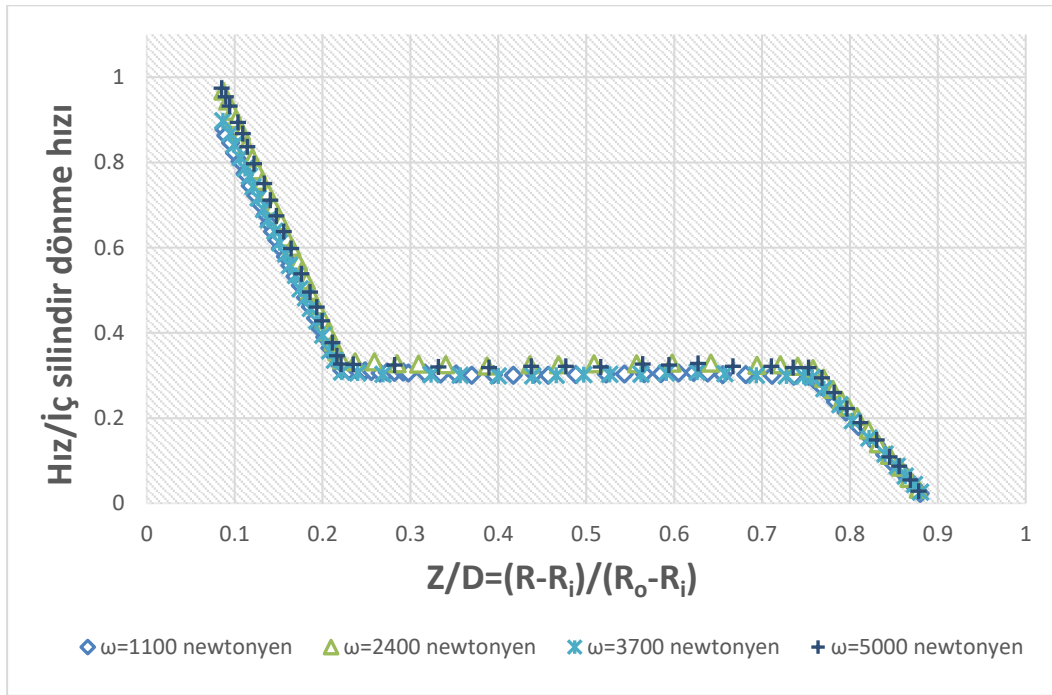


Şekil 3.8 a) $\omega = 1100$ newtonyen akışkan basınç dağılımı b) $\omega = 1100$ newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı

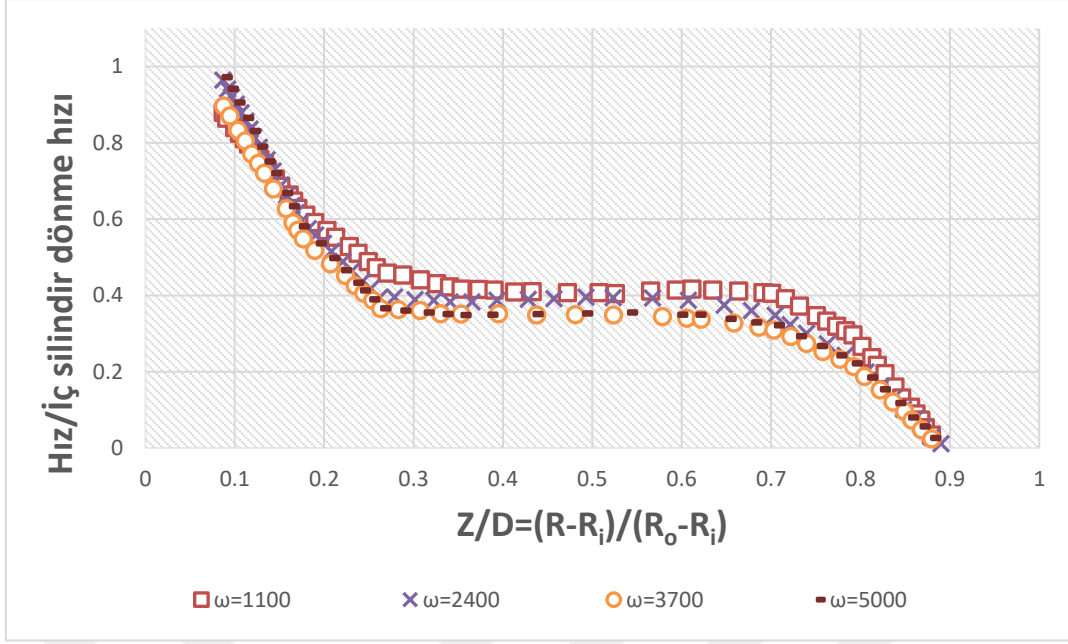


Şekil 3.9 a) $\omega = 3700$ newtonyen akışkan basınç dağılımı b) $\omega = 3700$ newtonyen olmayan akışkan basınç dağılımı

Ters-Konik silindir geometrisi çalışmasından alınan veriler doğrultusunda silindirler arasındaki akışkan akışına ait hız dağılımları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre newtonyan olmayan akışkanlar daha doğrusal bir grafik çizmektedir. Fakat newtonyan akışkanlar için aynı durum söz konusu değildir. Silindirler arasındaki ortalama olarak orta noktaya denk gelen kısımda hemen hemen sabit kalmaktadır. Sonrasında $Z/D = 0,775$ noktasından itibaren hız grafikleri düşüşe geçmektedir. (Şekil.3.10, 3.11)

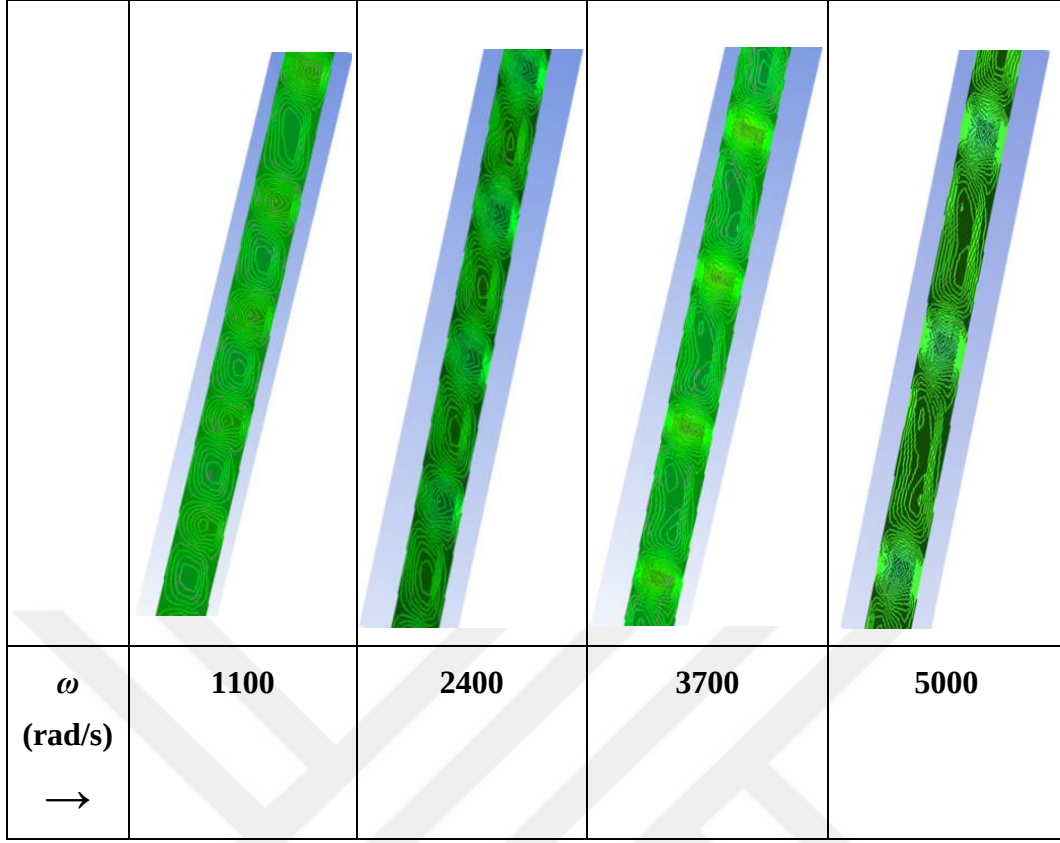


Şekil 3.10 Ters-Konik silindir geometrisinde newtonyen akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri



Şekil 3.11 Ters-Konik silindir geometrisinde Newtonyen olmayan akışkan akışında silindirler arasındaki boşlukta oluşan hız değişimleri.

Ters-Konik geometrisi kullanılarak HAD simülasyon çalışmasında elde edilen veriler doğrultusunda, silindir arasında oluşan akış yapıları incelendiğinde hız değeri arttıkça akış yapısında oluşan vorteks sayılarının azaldığı ve aynı zamanda girdap genişliklerinin önemli ölçüde artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Elde edilen bu gözlem Şekil 3.12’ de gösterilmiştir.



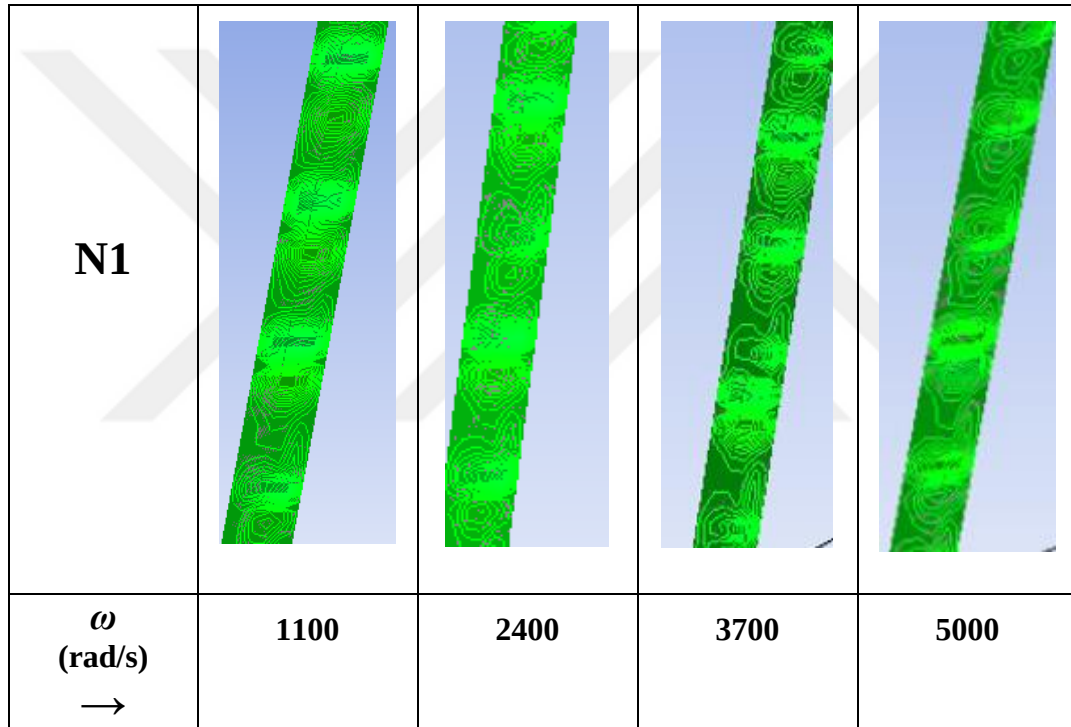
Şekil 3.12 Newtonyen akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı

Ters-Konik geometrisi kullanılarak HAD simülasyon çalışmasında geometri ölçüleri değiştirilmeden, 3 farklı reolojik özelliğe sahip newtonyen olmayan akışkan kullanılarak, 4 farklı hız değerinde, silindir arasında oluşan akış yapıları incelenmiştir. N1 , N2, N3 olarak belirtilen akışkan çeşitlerinin özellikleri sırasıyla ; akışkanın durum gösterge (shear thinning indeks - n) değeri 0.38 , 0.45 ve 0.28 ve kıvam gösterge (consistency index - κ) değeri 0.674, 0.236 ve 0.72 dir. Tablo 3.2 ‘de gösterilmiştir. N1 ve N2 olarak belirtilen akışkanlar, Elçiçek [34] deneysel çalışmasında kullandığı akışkanlar olup, N3 olarak belirtilen akışkan Cagney vd. [48] deneysel çalışmasında kullanmış olduğu akışkanlardan biridir. Yapılan simülasyon çalışmalarında 3 farklı akışkan içinde hız değeri arttıkça akış yapısındaki farklılık ve bozulmaların arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki konik geometri gemilerde kullanılan seperatörlerdeki sıvı ayrıştırma süreçlerine benzerken seçilen N3 akışkanı ise gerçekte gemilerdeki seperatörlerde kullanılan sıvı-katı karışımına benzer özelliklerdedir. Seperatörde akışkan vizkozitesi değişkendir, bu sebeple aşağıda 3 farklı akışkan ile 4 farklı hız boyutunda yani totalde 12 farklı durum incelemesi yapılmak istenmiştir. Her hızda ve akış

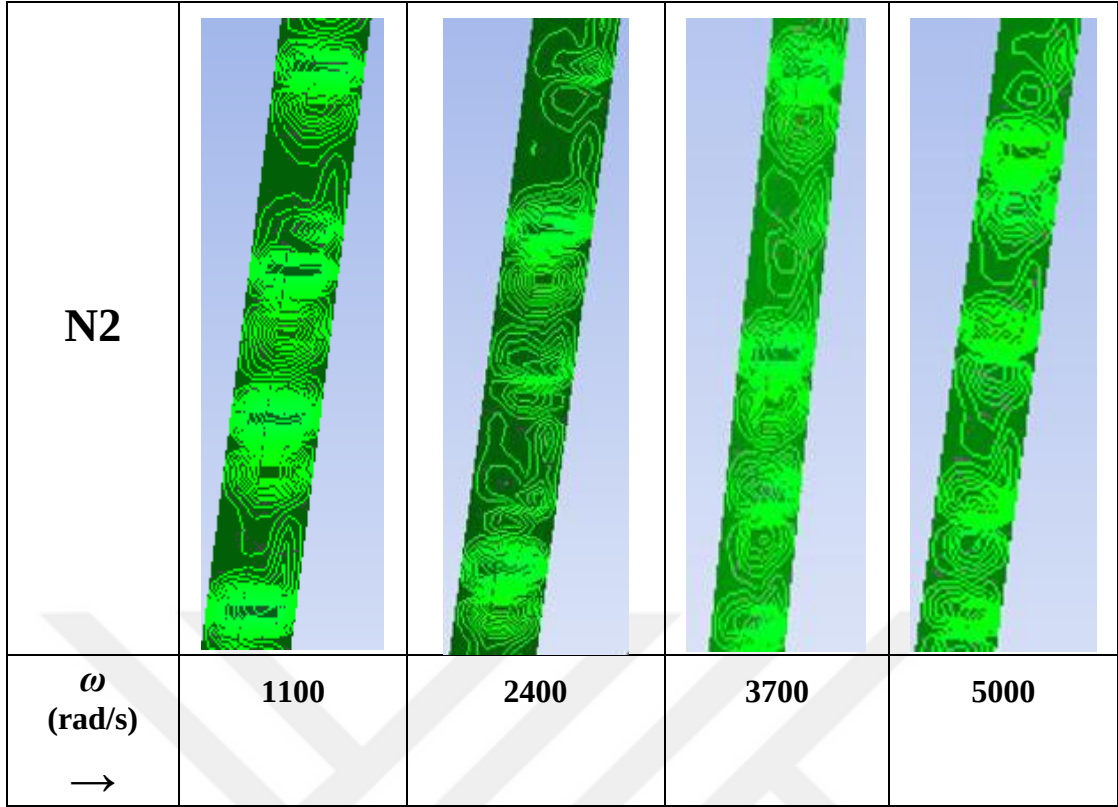
yapısında geçişler değişmektedir. Elde edilen akış yapıları 4 farklı hız boyutunda Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Akışkan özellikleri

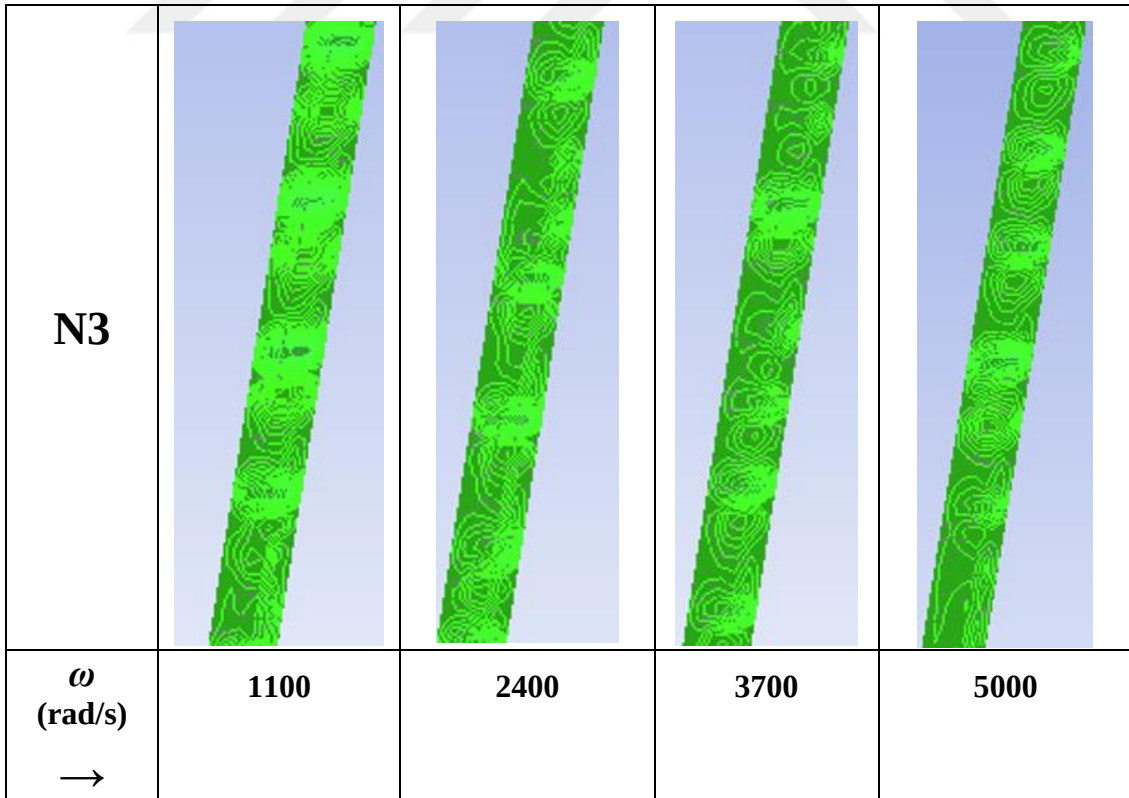
	n (akışkanın durum gösterge değeri)	κ (kıvam gösterge değeri)
N1	0.38	0.674
N2	0.45	0.236
N3	0.28	0.72



Şekil 3.13 Newtonyan olmayan akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı (N1)

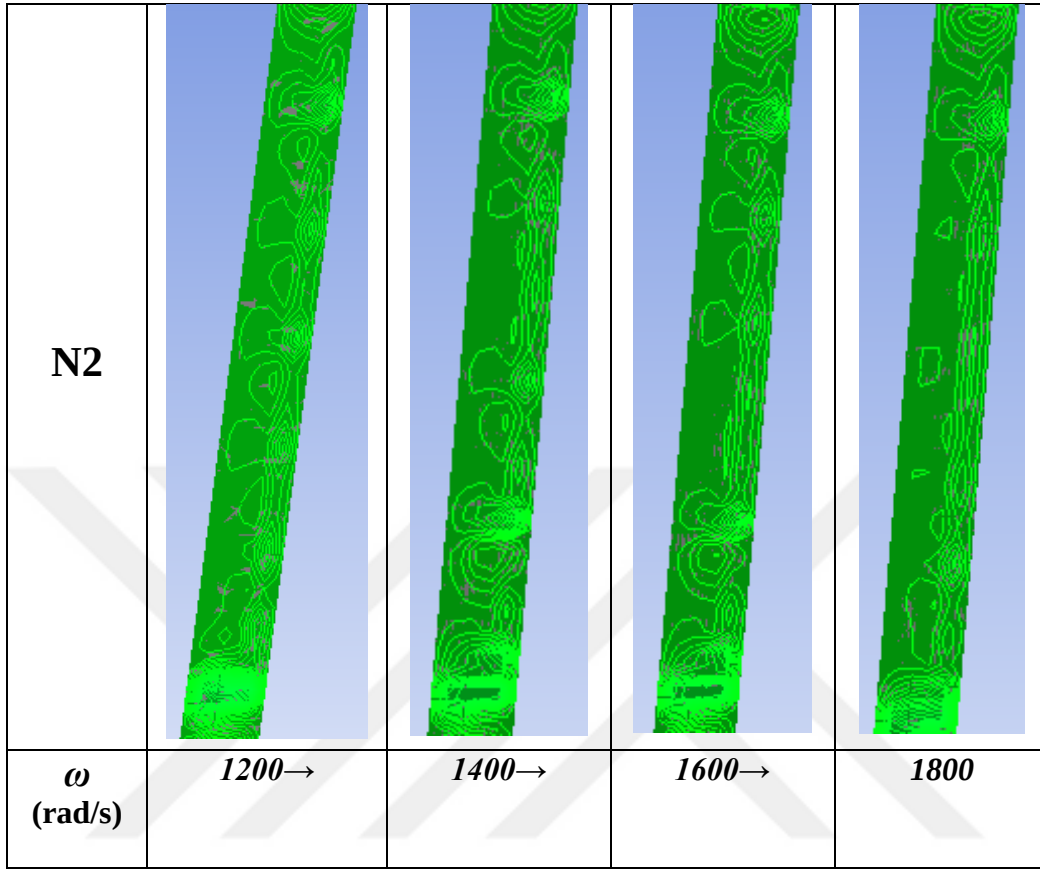


Şekil 3.14 Newtonyan olmayan akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı (N2)



Şekil 3.15 Newtonyan olmayan akışkana ait akış çizgilerinin dağılımı (N3)

Temel olarak ifade etmek gerekirse, hız arttıkça girdaplar arası sınır tabakasının kaybolduğu ve hız arttıkça girdapların iç içe girdiği görülmektedir. Newtonyan olmayan akışkanlar ile çalışma gerçekleştiren Lange vd. [49] kesme incelmesinin, Taylor-Couette akışında gözlemlenen girdap ve düzensiz geçiş rejimleri gibi birçok elastikiyete bağlı kararsızlığı bastırdığını göstermişlerdir. Cagney vd. [48] viskoelastik rejimlerde, hız arttıkça girdapların birleştiği ve dalga boyunda beklenmedik değişikliklere ve bozulmalara sebep olduğunu deneysel çalışmalarında göstermiştir. Bu sebeple çalışmada kullanılan newtonyan olmayan akışkanın elastik özellik göstermesinden dolayı ortaya çıkan faz değişimlerinin, akışkanın bu özelliklerinden etkilendiği düşünülmektedir. Ayrıca tüm akışlardaki akış çizgilerinde konik silindirin orta kısmında 2400 rad/s lik hıza geçişten sonra bozulmalar görülmektedir. Bundan dolayı bu hız değişimleri sonucunda meydana gelen bozulmanın tam olarak anlaşılabilmesi için farklı hız değerlerinde de simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 1100-2400 rad/s aralığında bu geçişin net olarak gözlemlendiği görülmüştür. Bu sebeple bu hız aralıklarında 4 farklı hızda incelemeler yapılmıştır. Şekil 3.16'te gösterilen akış çizgilerinde 1600 rad/s lik hızdan sonra belirgin şekilde bozulmaların arttığı gözlemlenmiştir. Gemilerde kullanılan seperatörlerdeki newtonyan olmayan akışkanlara benzer özellik gösteren N3 akışkanı ile yapılan çalışmada sınır tabakasının değişimi sonucu meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16 Newtonyan olmayan akışkana ait farklı hızlardaki akış geçişleri (N3)

4

SONUÇ

Bu çalışmada, Taylor-Couette akışının dinamik özellikleri ve TCR'deki akışın sınıflandırılması, sürekli dönen bir sistemde eş merkezli dikey TCR nin akış yapıları ve dalga yapıları sayısal olarak araştırıldı. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak gerçekleştirilen bu sayısal çalışmada, doğrulama yapmak için öncelikle iki farklı hız değeri, $\omega = 1100$ rad/s ve $\omega = 2400$ rad/s için Newtonyen ve Newtonyen-olmayan akışkanlar ele alınarak, dıştağinin sabit içteki silindirin ise döndüğü Taylor-Couette akış düzeneğinde dönmeleri sağlanmıştır. Çalışmada öncelikli olarak ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Kullanılan HAD modelinin ve ağ yapısının uygunluğu literatürdeki çalışmalarla doğrulanmıştır. Sonrasında akışkanlar tanımlanarak silindirler arasında akış oluşturulmuştur. Silindir geometrisinde elde edilen sonuçlara göre hız profilleri Newtonyen akışkanda iki silindir arasındaki mesafe arasında silindir çeperleri hariç neredeyse sabit iken, Newtonyen-olmayan akışkanların döndürölmesi durumunda iki silindir arasında teğetsel bir grafik oluştuğı gözlenmiştir. Ele alınan farklı hız değeri ve akışkan türüne göre de Taylor girdap sayılarının ve iki silindir arasında oluşan boşluktaki maksimum basınç değeri değıştiğı saptanmıştır. Daha sonrasında aynı newtonyen ve newtonyen-olmayan akışkan ile konik ve ters-konik silindir geometrisi kullanılarak $\omega = 1100, 2400, 3700, 5000$ rad/s hız değeri için HAD simölasyon çalışmaları yapılmıştır. Newtonyen-olmayan akışkandaki dalga yapıları ve hız grafikleri ifade edilmiştir. Konik silindir geometrisi ile 3 farklı akışkan kullanılarak 4 farklı hızda incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerde akış ve dalga yapılarında bozulmalar ve değışkenlikler saptanmıştır. Konik silindir geometrisinde hız değeri arttıkça dalga yapılarında ve sınır tabakalarında değışimler tespit edilmiştir. Özellikle silindirlerin orta kısmına denk gelen bölgede bozulmalar yoğunlaşmaktadır. Ayrıntılı olarak verilen analizde bozulmaların $\omega = 1600$ rad/s hız değeriinden sonra artarak devam ettiğı bulgusu elde edilmiştir. Bilindiğı üzere gemilerde yağ ve yakıt seperatörleri bulunmaktadır. Bu seperatörler içi içe

geçmiş konik silindir yapılarına sahiptirler Bu seperatörlerin performansları gemi seyir kondisyonlarını ve ana makine kondisyonlarını doğrudan etkilemektedir. Yapılan konik silindir çalışması, seperatörlerin modellenmesine ve seperatörün içerisinde dönen newtonyan olmayan akışkanların ayrıştırılma süreçlerine fayda sağlayacaktır. Aynı zamanda endüstriyel alandaki reaktörlerin bakım maliyetleri ve kullanım ömürleri, maliyetlerin belirlenmesinde önemli bir dizayn parametresidir. Bu çalışma endüstriyel alandaki reaktörlerin geliştirilmesine katkı sağlayarak dizaynsal açıdan avantaj sağlayacaktır. Elde edilen kazanımlar, bize yeni çalışmalar ve yeni düzenekler için önemli yol gösterici veriler sunmuştur.



- [1] Couette, M., (1890). *Études sur le frottement des liquides*, Gauthier-Villars, Paris
- [2] Taylor, G. I., (1923). "Stability of a viscous liquid contained between two rotating cylinders", *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 223: 289–343.
- [3] A. T. Mackay ve T. N. Phillips, "Compressible and nonisothermal viscoelastic flow between eccentrically rotating cylinders", *Theor. Comput. Fluid Dyn.*, c. 35, sy 5, ss. 731-756, Eki. 2021, doi: 10.1007/s00162-021-00582-y.
- [4] A. Mallock, "IV. Determination of the viscosity of water", *Proceedings of the Royal Society of London*, c. 45, sy 273-279, ss. 126-132, 1889.
- [5] A. Mallock, "III. Experiments on fluid viscosity", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, sy 187, ss. 41-56, 1896.
- [6] Lord Rayleigh, "On the dynamics of revolving fluids", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, c. 93, sy 648, ss. 148-154, Mar. 1917, doi: 10.1098/rspa.1917.0010.
- [7] R. Pattankar, S. Kishore, R. Lochan, "Analysis of taylor-couette flow between annulus of rotating cylinders", *BMS College of Engg. Bangalore, Karnataka*, 2016.
- [8] Pijush K. Kundu Ira m., Cohen David R., Dowling, "Fluid Mechanics", fifth edition, pp.171-196, pp.309-318.
- [9] G. Li, X. Yang, ve H. Ye, "CFD simulation of shear flow and mixing in a Taylor–Couette reactor with variable cross-section inner cylinders", *Powder Technol.*, c. 280, ss. 53-66, Ağu. 2015, doi: 10.1016/j.powtec.2015.04.050.
- [10] J.-Y. Hwang ve K.-S. Yang, "Numerical study of Taylor–Couette flow with an axial flow", *Comput. Fluids*, c. 33, sy 1, ss. 97-118, Oca. 2004, doi: 10.1016/S0045-7930(03)00033-1.
- [11] S. B. Pawar ve B. N. Thorat, "CFD simulation of Taylor–Couette flow in scraped surface heat exchanger", *Chem. Eng. Res. Des.*, c. 90, sy 3, ss. 313-322, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.cherd.2011.07.012.
- [12] H. Teng, N. Liu, X. Lu, ve B. Khomami, "Direct numerical simulation of Taylor-Couette flow subjected to a radial temperature gradient", *Phys. Fluids*, c. 27, sy 12, s. 125101, Ara. 2015, doi: 10.1063/1.4935700.
- [13] R. Tanaka, T. Kawata, ve T. Tsukahara, "DNS of Taylor–Couette flow between counter-rotating cylinders at small radius ratio", *Int. J. Adv. Eng. Sci. Appl. Math.*, c. 10, sy 2, ss. 159-170, Haz. 2018, doi: 10.1007/s12572-018-0217-x.

- [14] M. A. Razzak, B. C. Khoo, ve K. B. Lua, "Numerical study on wide gap Taylor Couette flow with flow transition", *Phys. Fluids*, c. 31, sy 11, s. 113606, Kas. 2019, doi: 10.1063/1.5125640.
- [15] M. P. Escudier, I. W. Gouldson, ve D. M. Jones, "Taylor Vortices in Newtonian and Shear-Thinning Liquids", *Proceedings: Mathematical and Physical Sciences*, c. 449, sy 1935, ss. 155-176, 1995.
- [16] O. Czarny, E. Serre, P. Bontoux, ve R. M. Lueptow, "Identification of complex flows in Taylor–Couette counter-rotating cavities", *Comptes Rendus Académie Sci. - Ser. IIB - Mech.*, c. 329, sy 10, ss. 727-733, Eki. 2001, doi: 10.1016/S1620-7742(01)01392-7.
- [17] A. Akonur ve R. M. Lueptow, "Chaotic mixing and transport in wavy Taylor–Couette flow", *Phys. Nonlinear Phenom.*, c. 167, sy 3-4, ss. 183-196, Tem. 2002, doi: 10.1016/S0167-2789(02)00529-8.
- [18] P. Laure ve Y. Demay, "Symbolic computation and equation on the center manifold: Application to the Couette-Taylor problem", *Comput. Fluids*, c. 16, sy 3, ss. 229-238, Oca. 1988, doi: 10.1016/0045-7930(88)90011-4.
- [19] K. Park ve D. R. Yang, "Modeling and Simulation for Feasibility Study of Taylor-Couette Crystallizer as Crystal Seed Manufacturing System", *IFAC-Pap.*, c. 48, sy 8, ss. 321-324, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.08.201.
- [20] S. Kashanj ve D. Nobes, "Application of simultaneous time-resolved 3-D PTV and Two Colour LIF in Studying Rayleigh-Benard Convection", *14th Int. Symp. Part. Image Velocim.*, c. 1, sy 1, Ağu. 2021, doi: 10.18409/ispiv.v1i1.164.
- [21] Monfared, M., Shirani, E., Aloui, F., Salimpour. M.R., 2016. Numerical and Experimental Study on the Effects of Taylor Number on the Wavelength of the Couette-Taylor Flow. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 9 (1), 49-58. ff10.36884/jafm.9.SI1.25826ff. fahal-03448182f.
- [22] M. Schrimpf, J. Esteban, H. Warmeling, T. Färber, A. Behr, ve A. J. Vorholt, "TAYLOR-COUPETTE reactor: Principles, design, and applications", *AIChE J.*, c. 67, sy 5, s. e17228, May. 2021, doi: 10.1002/aic.17228.
- [23] S. Grossmann, D. Lohse, ve C. Sun, "High Reynolds number Taylor-Couette turbulence", *Annu. Rev. Fluid Mech.*, c. 48, sy 1, ss. 53-80, Oca. 2016, doi: 10.1146/annurev-fluid-122414-034353.
- [24] M. murat Yavuz ve P. Çavdar, "CFD Modelling of Non-Newtonian Fluid Flow in a Pipe Including Obstacle", *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, c. 17, sy 2, ss. 129-136, Haz. 2021, doi: 10.18466/cbayarfbe.865261.
- [25] R. Kedia, M. L. Hunt, ve T. Colonius, "Numerical Simulations of Heat Transfer in Taylor-Couette Flow", *J. Heat Transf.*, c. 120, sy 1, ss. 65-71, Şub. 1998, doi: 10.1115/1.2830066.
- [26] D. Arrnbruster ve A. Mahalov, "On the explicit symmetry breaking in the Taylor-Couette problem", c. 167, sy 3, 1992.
- [27] S. T. Wereley ve R. M. Lueptow, "Velocity field for Taylor–Couette flow with an axial flow", *Phys. Fluids*, c. 11, sy 12, ss. 3637-3649, Ara. 1999, doi: 10.1063/1.870228.

- [28] S. Tokgöz, Coherent structures in Taylor-Couette flow: experimental investigation. S.l.: s.n., 2014.
- [29] J. S. Kim, D. H. Kim, B. Gu, D. Y. Kim, ve D. R. Yang, “Simulation of Taylor–Couette reactor for particle classification using CFD”, *J. Cryst. Growth*, c. 373, ss. 106-110, Haz. 2013, doi: 10.1016/j.jcrysgro.2012.12.006.
- [30] D. Dherbécourt, S. Charton, F. Lamadie, S. Cazin, ve E. Climent, “Experimental study of enhanced mixing induced by particles in Taylor–Couette flows”, *Chem. Eng. Res. Des.*, c. 108, ss. 109-117, Nis. 2016, doi: 10.1016/j.cherd.2016.02.025.
- [31] A. M. Teamah ve M. S. Hamed, “Investigation of transient multiphase Taylor-Couette flow”, *Alex. Eng. J.*, c. 61, sy 4, ss. 2723-2738, Nis. 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.07.046.
- [32] Taner Coşgun, “Taylor-Couette-Poiseuille Akışı Ve Akım Ayrılmasının Etkileri”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.
- [33] Mehmet Şirin Demir, “Viskoz Ve Sıkıştırılmayan İki Akışkandan Oluşan Karışım İçin Zamana Bağlı Genelleştirilmiş Couette Akımı İle İlgili Analitik Çözümler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [34] Hüseyin Elçiçek, “Newtonyen Olmayan Akışkanların Taylor-Couette Akışlarındaki Davranışlarının Deneysel Ve Nümerik Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2020.
- [35] M. Nemri, E. Climent, S. Charton, J.-Y. Lanoë, ve D. Ode, “Experimental and numerical investigation on mixing and axial dispersion in Taylor–Couette flow patterns”, *Chem. Eng. Res. Des.*, c. 91, sy 12, ss. 2346-2354, Ara. 2013, doi: 10.1016/j.cherd.2012.11.010.
- [36] M. V. Majji ve J. F. Morris, “Inertial migration of particles in Taylor-Couette flows”, *Phys. Fluids*, c. 30, sy 3, s. 033303, Mar. 2018, doi: 10.1063/1.5020220.
- [37] H. A. Snyder, “Change in wave-form and mean flow associated with wavelength variations in rotating Couette flow. Part 1”, *J. Fluid Mech.*, c. 35, sy 2, ss. 337-352, Oca. 1969, doi: 10.1017/S0022112069001145.
- [38] C. D. Andereck, S. S. Liu, ve H. L. Swinney, “Flow regimes in a circular Couette system with independently rotating cylinders”, *J. Fluid Mech.*, c. 164, ss. 155-183, Mar. 1986, doi: 10.1017/S0022112086002513.
- [39] Stokes, G.G., 1845. On the theories of the internal friction of fluids in motions, and the equilibrium and motion of elastic solids. Transaction of the Cambridge Philosophical Society, 8: pp. 75-129.
- [40] Sobolík V, Jirout T, Havlica J, Kristiawan M. Wall shear rates in taylor vortex flow. *J Appl Fluid Mech.* 2011;4(2):25-31.
- [41] A. Nicoli, K. Johnson, ve R. Jefferson-Loveday, “Computational modelling of turbulent Taylor–Couette flow for bearing chamber applications: A comparison of unsteady Reynolds-averaged Navier–Stokes models”, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J. Power Energy*, c. 236, sy 5, ss. 985-1005, Ağu. 2022, doi: 10.1177/09576509221075516.
- [42] Donnelly RJ, Schwarz KWand Roberts PH, “Experiments on the stability of

- viscous flow between rotating cylinders” *Proc R Soc A* 1964; 283: 531–556.
- [43] H. Wang, “Experimental and numerical study of Taylor-Couette flow”, Doctor of Philosophy, Iowa State University, Digital Repository, Ames, 2015. doi: 10.31274/etd-180810-4013.
- [44] P. R. Fenstermacher, H. L. Swinney, ve J. P. Gollub, “Dynamical instabilities and the transition to chaotic Taylor vortex flow”, *J. Fluid Mech.*, c. 94, sy 1, ss. 103-128, Eyl. 1979, doi: 10.1017/S0022112079000963.
- [45] A. Lalaoua, “Transition to Taylor vortex flow between combinations of circular and conical cylinders”, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, c. 77, sy 1, s. 11101, Oca. 2017, doi: 10.1051/epjap/2016160285.
- [46] X. Xu, P. Wen, L. Xu, ve D. Cao, “Occurrence of Taylor vortices in the flow between two rotating conical cylinders”, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, c. 15, sy 5, ss. 1228-1239, May. 2010, doi: 10.1016/j.cnsns.2009.05.061.
- [47] A. Lalaoua ve Z. Chaieb, “Flow patterns in a combined Taylor–Couette geometry”, *Topical Problems of Fluid Mechanics 2016*, Institute of Thermomechanics, AS CR, v.v.i., 2016, ss. 109-118. doi: 10.14311/TPFM.2016.016.
- [48] N. Cagney, T. Lacassagne, ve S. Balabani, “Taylor–Couette flow of polymer solutions with shear-thinning and viscoelastic rheology”, *J. Fluid Mech.*, c. 905, s. A28, Ara. 2020, doi: 10.1017/jfm.2020.701.
- [49] M. Lange ve B. Eckhardt, “Vortex pairs in viscoelastic Couette-Taylor flow”, *Phys. Rev. E*, c. 64, sy 2, s. 027301, Tem. 2001, doi: 10.1103/PhysRevE.64.027301.
- [50] E. Dong, G. Li, X. Hu, Z. Li, J. Chen, ve Q. Zhu, “Numerical Simulation of the Influence of Taylor Vortex on the Apparent Viscosity Measurement of Semi-Solid Metallic Based On ANSYS Fluent”, *J. Phys. Conf. Ser.*, c. 2152, sy 1, s. 012061, Oca. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2152/1/012061.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Y. B. Özdemirler ve S. Bayraktar “Computational Fluid Dynamics Prediction Of Non- Newtonian Taylor-Couette Flow Between Rotating Inner And Fixed Outer Cylinders” In 8th International Icontech Congress On Innovative Surveys In Positive Sciences, March 16-18, 2024 Azerbaijan Cooperation University, Baku.

