



**T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARIŞTIRICI TANKLARDA FARKLI AÇILARDAKİ KANAT
YAPILARININ KARIŞIMA OLAN ETKİLERİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa SECGİL
(20179240006)**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK**

**SİVAS
OCAK 2021**

Mustafa SECGİL'in hazırladığı ve “**KARIŞTIRICI TANKLARDA FARKLI AÇILARDAKİ KANAT YAPILARININ KARIŞIMA OLAN ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Coşkun ÖZALP Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Koray KARABULUT Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mustafa SECGİL, 2021

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)’nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

14.01.2021

Mustafa SECGİL

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum bu çalışmanın sektördeki ilgili araştırmalara ve araştırmacılara katkı sağlamasını ümit ediyorum.

Tüm üniversite öğrenim hayatım süresince yanımda olan, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, her konuda destek olan ve kendisini kişiliğiyle ve duruşuyla örnek olarak benimsediğim danışman hocam Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK 'a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ümit Nazlı TEMEL 'e ve Arş. Gör. Dr. Ferhat KOCA 'ya teşekkür ederim.

Lise, lisans ve yüksek lisans hayatımda bana yoldaş olan, yardım ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Kadir YURT ve Alperen İSTİFOĞLU 'na teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca varlıklarından destek aldığım ve almaya devam edeceğim, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Hadice SECGİL 'e, babam Orhan SECGİL 'e ve kardeşlerime gönülden teşekkür ederim.

ÖZET

KARIŞTIRICI TANKLARDA FARKLI AÇILARDAKİ KANAT YAPILARININ KARIŞIMA OLAN ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa SECGİL

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK

2021, 80+xiv sayfa

Karıştırma kapları kullanılarak karıştırma sistemlerinin tasarımı ve çalışmasının tespiti, çark kaynaklı türbülans yoğunluğu nedeniyle oldukça zordur. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin (HAD) kullanımı, bu tür sistemlerin ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilir. Bu çalışma da genel anlamda endüstride en çok kullanılan Rushton türbini kanat yapısına benzer fakat farklı açılarla yerleştirilmiş kanat yapıları kullanılarak akış karakteristikleri elde edilmiştir. CFD modelleri, ANSYS Fluent 18 ticari yazılımı ve standart k-epsilon(ϵ) türbülans modeli kullanılarak benzeri karıştırma düzenlemeleri için geliştirilmiştir. Çark dönüşünü simüle etmek için Çoklu Referans Çerçevesi (MRF) yaklaşımı kullanılmıştır. Simülasyonlardan elde edilen hız profilleri, deneysel tahminlerle ve önceki çalışmaların sonuçlarıyla bir uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir. HAD analiziyle, karıştırma aparatının en uygun şekilde tasarlandığı ve ayrıntılı bilgilerin elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, en iyi karıştırma ekipmanının seçilmesi ile ilgilidir ve daha büyük sistemlerde karıştırma işlemlerinin büyütülmesi için bir temel oluşturulması hedeflenmiştir. Karıştırma kaplarıyla oluşturulmuş olan karıştırma sistemlerinin tasarımı ve çalışması, çark nedeniyle oluşan türbülans hakkında doğru bilgi edinme zorluğu nedeniyle sınırlıdır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanılarak bu sistemler doğru bir şekilde incelenebilmektedir.

Bu çalışmada farklı tipte kanat açıları, farklı tasarım özelliklerinin, karıştırılan bir kapta akış özelliklerini nasıl etkilediğinin belirlenmesi için modellenmiştir.

Anahtar kelimeler: Karıştırıcı tank, karıştırıcı, pervane tasarımı, hesaplamalı akışkanlar mekaniği, türbülanslı akış, HAD simülasyon, sonlu hacimler metodu, Ansys Fluent.

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE PROPELLER STRUCTURES AT DIFFERENT ANGLES' EFFECT ON MIXING IN MIXING TANKS

Mustafa SECGİL

Master of Science Thesis

Department of Energy Science and Technology Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK

2021, 80+xiv pages

Determination of the design and working of mixing systems by using mixing tanks is highly difficult because of the turbulence density caused by vessel. The use of Computational Fluid Dynamics (CFD) can provide a detailed understanding of such systems. Generally, in this study fluid characteristics were obtained by using propeller designs that were similar to Rushton turbine propeller design, which is most commonly used industry, but in difference on angles of placement. CFD models have been developed for arrangements of similar mixing by using ANSYS Fluent 18 commercial software and the standard k-epsilon (ϵ) turbulence model. The Multiple Reference Frame (MRF) approach has been used to simulate the rotating of the propeller. The speed profiles obtained from the simulations have been shown to be in harmony with the experimental estimations and the results of previous studies. With the CFD analysis, it was concluded that the mixing tool was designed in the most appropriate way and detailed information was obtained. These findings are about the selection of the best mixing equipment and it is intended to create a basis for enlarging the mixing processes in larger systems. The design and working of mixing systems created with mixing tanks is problematic due to the difficulty of obtaining accurate information about the turbulence caused by the propeller. These systems can be accurately investigated by using Computational Fluid Dynamics.

In this study, different types of propeller angles are modelled to determine how different design features affect features of fluid in a mixing tank.

Key Words: Mixing tank, mixer, impeller design, Computational Fluid Dynamics, turbulence fluids, CDF simulation, finite volume method, Ansys Fluent.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Karıştırıcı Tanklar ile İlgili Literatür Araştırması.....	1
2. ÇALKALAMA VE KARİŞTİRMA İŞLEMLERİNE GİRİŞ	8
2.1. Karıştırma İşlemlerinin Türleri	8
2.1.1. Kuru maddelerin birbiriyle karıştırılması	8
2.1.1.1. Zıd sıralama yöntemi	8
2.1.1.2. Devirme usulü	9
2.1.2. Nemli ve yumuşak haldeki maddelerin karıştırılması	9
2.1.2.1. Taşlı ve silindirli araçlar	10
2.1.2.2. Yoğurma makinaları	10
2.1.3. Katı maddelerin sıvılarla karıştırılması.....	10
2.1.3.1. Mekanik karıştırıcılar	10
2.1.3.2. Hava karıştırıcıları	12
2.1.3.3. Kolloid değirmenleri	12
2.1.4. Sıvıların sıvılarla karıştırılması.....	14
2.1.5. Gazların karıştırılması.....	14
2.1.5.1. Gazların sıvılarla karıştırılması	14
2.1.5.2. Gazların katı maddelerle karıştırılması	15
2.1.5.3. Gazların gazlarla karıştırılmaları	15
2.2. Karıştırıcı Ekipmanları.....	15
2.2.1. Motorlar	16
2.2.1.1. Elektrik motorları	16
2.2.1.2. Hava motorları	18
2.2.1.3. Hidrolik motorlar	18
2.2.2. Tanklar	18
2.2.3. Akım kırıcılar.....	21
2.2.4. Pervaneler	21
2.3. Karıştırıcı Tasarımı	26
2.3.1. Tank tasarımı	27
2.3.2. Akım kırıcılar.....	27
2.3.3. Akış borusu	27
2.3.4. Çarklar.....	28
2.3.4.1. Çark boyutları	28
2.3.4.2. Çark hızı	28
2.3.4.3. Çark yerleşimi	28
2.3.4.4. Çark tipleri.....	29
2.4. Tasarım Değişkenleri	29
2.5. Boyutsuz Sayılar	30
2.5.1. Reynolds sayısı	30
2.5.2. Power sayısı	32

2.5.3. Froude sayısı	32
2.5.4. Blend sayısı	32
2.5.5. Pumping Sayısı	33
2.5.6. Weber sayısı	33
3. SONLU HACİM METODU	35
3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	35
3.1.1. Pre-processing	36
3.1.2. Solver	36
3.1.3. Post-processor	36
3.2. Ansys Hakkında	37
3.2.1. Ansys mechanical	37
3.2.2. Ansys fluent	37
3.3. Sonlu Hacimler Uygulaması	38
4. MATERYAL VE METOT	44
4.1. Geometrik Model	44
4.2. Ağ Yapısı	44
4.3. Sonlu Hacimler Yöntemi Uygulaması	45
4.3.1. 600 devirde farklı açıdaki pervanelerin karıştırma işleminin incelenmesi ..	45
4.3.2. 750 devirde farklı açıdaki pervanelerin karıştırma işleminin incelenmesi ..	53
4.3.3. 1000 devirde farklı açıdaki pervanelerin karıştırma işleminin incelenmesi	61
5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	69
5.1. 600 Devir İçin Kanatların Karşılaştırılması	69
5.2. 750 Devir İçin Kanatların Karşılaştırılması	71
5.3. 1000 Devir İçin Kanatların Karşılaştırılması	72
6. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Zıd sıralama yöntemi.....	9
Şekil 2.2 Devirme usulü yönteminde kullanılan kendi etrafında dönen silindirler.	9
Şekil 2.3 Kollerganga benzeyen taşlı araç.....	10
Şekil 2.4 Mekanik karıştırıcılar.	11
Şekil 2.5 Helis şeklinde ve çapa şeklinde yapılmış karıştırıcılar.	12
Şekil 2.6 Plauson değirmeni.	12
Şekil 2.7 Karıştırıcıların akış şekilleri; (a) Çark tank merkezine dik olarak yerleştirilmiş ve tank kenarlarına akım kırıcı yerleştirilmemiş; (b) Çark merkez dışına dik olarak yerleştirilmiş; (c) Çark merkeze dik olarak yerleştirilmiş ve tank kenarlarına akım kırıcı eklenmiş; (d) Radyal çark tank merkezine dik olarak yerleştirilmiş ve tank kenarlarına akım kırıcı eklenmiş.	13
Şekil 2.8 Akım kırıcı, ceket ve bombeli taban ile karıştırma tankı (Brodkey, 1988).....	16
Şekil 2.9 Tepeden giren karıştırıcı ile geleneksel karıştırıcı tank (Paul, 2013).....	19
Şekil 2.10 Alttan giren karıştırıcı (Paul, 2013).....	19
Şekil 2.11 Büyük ürün depolama ve karıştırma tankları için yandan giren karıştırıcı (Paul, 2013).	20
Şekil 2.12 Taşınabilir karıştırıcılar ile küçük tanklar için açısız üstten giren karıştırıcı (Paul, 2013).	20
Şekil 2.13 Yatay silindirik tanklar için yan giren karıştırıcı (Paul, 2013).....	20
Şekil 2.14 Yatay silindirik tank için üstten giren karıştırıcı (Paul, 2013).	20
Şekil 2.15 Yaygın cam dolgulu akım kırıcı çeşitleri (Paul, 2013).	21
Şekil 2.16 Bazı yaygın pervane tasarımları, türbülanslı akış için pervaneler (Brodkey, 1988).....	23
Şekil 2.17 Bazı yaygın pervane tasarımları, laminar akış için pervaneler (Brodkey, 1988).....	23
Şekil 2.18 Karıştırma akış rejimleri (Brodkey, 1988).	24
Şekil 2.19 Akış sistemleri ve türbülanslı girdaplar (Brodkey, 1988).	25
Şekil 2.20 Akım kırıcısız bir tankta girdap oluşumu.	25
Şekil 2.21 Ölçekli olmayan, akış borusuna yerleştirilmiş daha düşük bir radyal çarkı ve bir üst eksenel çarkı gösteren basit bir tank tasarımı.	27
Şekil 2.22 Akım kırıcılı tank için bazı türbin pervanelerinin Re sayısına göre güç sayıları (Brodkey, 1988).	34
Şekil 3.1 Karıştırıcı tank boyutlarını gösteren diyagram.....	39
Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan pervane modelleri.	44
Şekil 4.2 Oluşturulan meshin yapısal görünümü.....	45
Şekil 4.3 600 devirde düz kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	46
Şekil 4.4 600 devirde 10° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	47
Şekil 4.5 600 devirde 20° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	48
Şekil 4.6 600 devirde 30° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	49
Şekil 4.7 600 devirde 40° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	50
Şekil 4.8 600 devirde 50° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	51

Şekil 4.9 600 devirde 60° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	52
Şekil 4.10 750 devirde düz kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	54
Şekil 4.11 750 devirde 10° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	55
Şekil 4.12 750 devirde 20° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	56
Şekil 4.13 750 devirde 30° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	57
Şekil 4.14 750 devirde 40° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	58
Şekil 4.15 750 devirde 50° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	59
Şekil 4.16 750 devirde 60° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	60
Şekil 4.17 1000 devirde düz kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	62
Şekil 4.18 1000 devirde 10° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	63
Şekil 4.19 1000 devirde 20° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	64
Şekil 4.20 1000 devirde 30° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	65
Şekil 4.21 1000 devirde 40° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	66
Şekil 4.22 1000 devirde 50° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	67
Şekil 4.23 1000 devirde 60° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri.....	68
Şekil 5.2 x ve y düzleminde karşılaştırma için alınan veriler.....	69
Şekil 5.3 Basınç grafiklerinin 600 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması	70
Şekil 5.4 Türbülans kinetik enerji grafiklerinin 600 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.5 Hız grafiklerinin 600 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması	71
Şekil 5.6 Basınç grafiklerinin 750 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması	71
Şekil 5.7 Türbülans kinetik enerji grafiklerinin 750 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.8 Hız grafiklerinin 750 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması	72
Şekil 5.9 Basınç grafiklerinin 1000 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması	73
Şekil 5.10 Türbülans kinetik enerji grafiklerinin 1000 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.11 Hız grafiklerinin 1000 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması	73

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Viskoziteye göre pervane sayıları ve mesafeleri (Shah, 2012).....	29
Tablo 2.2 Karıştırma da tasarım değişkenleri (Brodkey, 1988).....	30
Tablo 2.3 Karıştırma da boyutsuz sayılar (Brodkey, 1988).	31
Tablo 3.1 Karıştırıcı tank boyutları	39



SİMGELER DİZİNİ

B	Akım kırııcı genişliği, m
L	Akım kırııcı uzunluğu, m
H	Karıştırma tankı yüksekliği, m
C	Tank tabanı ile kanat merkezi arasındaki mesafe, m
D	Çark çapı, m
T	Karıştırma tankı çapı, m
W	Çark genişliği, m
Z	Tanktaki sıvı derinliği,
μ	Dinamik viskozite, Ns/ m ²
ν	Kinematik viskozite, m ² /s
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
σ	Gerilme, N
k	Isıl iletkenlik, W/mK
c_p	Isı kapasitesi, J/kg°C
N	Çark devri, rpm
P	Güç, W
T_q	Tork, Nm
V	Tork hacmi, m ³
ν_t	Çevresel hız, m/s
N_b	Blend sayısı
N_{Fr}	Fraude sayısı
N_{Nu}	Nusselt sayısı
N_{Po}	Power sayısı
N_{Pr}	Prandtl sayısı
N_P	Pumping sayısı
N_{Re}	Reynolds sayısı
N_{Sc}	Schmidt sayısı
N_{We}	Weber sayısı
Q	Birim zamanda pervane alanı boyunca hacimsel akış oranı
ν_t	Eddy viskozitesi
x, y	Kartezyen koordinatları
θ	Karışım zamanı, s
g	Yerçekimi ivmesi, m/s ²
t	Birim zaman, s
u	Hız, m/s
e	Birim hacim başına toplam enerji, J
q	Kinetik enerji, J
ϵ	Dağılma oranı
u, v, w	x, y ve z bileşenlerindeki hızlar, m/s

1. GİRİŞ

Bu çalışmada karıştırma, karıştırıcı cihazlar ve tasarım esasları ele alınmıştır. Karışımın homojenliği arttırmak amacıyla iki ya da daha fazla malzemenin fiziksel ya da kimyasal veya her iki yolla oluşturulmasına karıştırma denir. Karıştırma işleminin temel amacı homojenliği arttırmaktır. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlara mikser veya karıştırıcı adı verilmektedir. Malzemelerin fiziksel özellikleri ve karışım oranları, karıştırma işlemini etkileyen en önemli nedenlerden biridir. İnsanoğlunun varlığından itibaren karıştırma işlemleri sürekli araştırılmıştır ve oluşturulan karışımlar için bir standart oluşturulmaya çalışılmıştır.

Karıştırıcılar, birkaç ekipmandan oluşmaktadır. Bu kısımlar bir karıştırıcı, tank ve tahrik mekanizmasıdır. Karıştırılan malzemelerin özelliklerine göre bu karıştırıcılar ek donanıma ihtiyaç duyabilmektedirler. Dolayısıyla malzemelerin özelliklerine göre değişiklik gösteren bu ek donanımlar ve karıştırıcı tankın sahip olduğu mekanizmalar için karıştırma tanklarında çeşitlilik ve değişiklik söz konusudur. Karıştırıcılar için geçmişten günümüze, malzemelerin fiziksel durumlarına göre (katı, sıvı, gaz) karıştırıcılar çeşitlendirilmiş ve kullanım esnasında karşılaşılan güçlükler en aza indirilmiştir.

1.1. Karıştırıcı Tanklar ile İlgili Literatür Araştırması

Gu vd. (2019) tarafından tasarlanan, dört bıçaklı kanatları fraktal yapıda olan pervanenin hidrodinamiği, sayısal çalışmayla incelemiştir. Dört kanatlı, kanatları düz pervane ile dört kanatlı, kanatları fraktal olan iki pervane ve tasarımsal olarak biri diğerine göre kanadında daha fazla fraktal yapı bulunduran üç pervane arasındaki farkları incelemiştir. Fraktal pervane tasarımının, dört bıçaklı pervaneye kıyasla pervane enerji kullanım oranını arttırdığını ve fraktal örgü oranı arttıkça enerji kullanım oranını arttırdığını belirtmiştir. Ayrıca fraktal örgü sayısı arttıkça katı parçacık süspansiyon kalitesinin arttığını da göstermiştir.

Naeeni ve Pakzad (2019), çalışmasında sıvı-sıvı dispersiyonunun karışımını simüle etmiştir. Standart Rushton Türbini kullanılan bir tankta, ham petrole suyun karışmasını HAD ile simüle etmişlerdir. Çalışmada dört farklı ham petrol ve musluk suyu kullanılmıştır. Pervane hızının artmasıyla viskozitenin arttığı, damlacıkların boyutunun küçülmesiyle homojenliğin arttığını doğrulamışlardır.

Janiga (2019), CFD kullanarak, bir karıştırıcı tankta zamana bağlı üç boyutlu hidrodinamiği incelemiştir. Model olarak tabanı silindirik bir tank ile üç kanatlı bir pervane kullanmıştır. Bu tür sistemler karmaşık yapıda olduğundan, sistemin üç boyutlu olarak araştırılıp analiz edilmesinin önemini anlatmıştır. Bu sebepten modeli POD analizi ile inceleyip hidrodinamiğinin ayrıntılı olarak incelenmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca POD yönteminin DMD (zamana bağlı) yönteminden daha iyi sonuç verdiğini savunmuştur ve POD yöntemiyle verileri çekerek farklı parametrelerin analizini gerçekleştirmiştir.

Kang vd. (2019), yapmış oldukları çalışmada, DEM-VOF yöntemiyle ilk kez tank geometrisinin, pervane dönme hızının, parçacık yoğunluğunun, çap ve hacim fraksiyonunun serbest yüzey girdabı üzerindeki etkilerini, akım çizgilerini ve partikül süspansiyon dinamiklerini araştırmıştır. Araştırmada dört bıçaklı, kanatları 45 derece eğimli pervane ile profilli taban kullanılmıştır. Profilli taban kullanmak, alt kısımdaki partiküllerin akış yönündeki ani değişimi ortadan kaldıracaklarını savunmuştur. Parçacık büyüklüğünün artmasıyla serbest yüzey girdabının ortadan kalkacağını ve daha homojen bir dağılım olacağını söylemiştir. Ayrıca merkezi çıkıntının yüksekliğinin ve genişliğinin artmasıyla parçacık dağılımının homojenliğini önemli ölçüde arttıracaklarını söylemiştir.

Tamburini vd. (2018), akım kırıcılı ve akım kırıcısız tanklarda erken türbülanslı akışın sonuçlarını incelemişlerdir. Simülasyonları bir Rushton türbini aracılığıyla düz tabanlı tanklarda gerçekleştirmişlerdir. Akım kırıcılı ve akım kırıcısız tanklar için, güç ve hızlar eşit olduğunda Reynold sayısı 150' ye kadar eşittirler. Çalışmaya göre Re 150' den sonra farklılaşma başlar. Türbülans direk bu aşamada başlamaz, daha sonra ortaya çıkmaya başlar. Aslında bu aşamanın akım kırıcı ile akış arasında etkileşimin ve türbülans oluşumunun başladığını ifade etmişlerdir. Re 150 ile 300 arasında frekanslar kararsız olmakla beraber Re 600 de akış artık türbülanslı akış olduğunu belirtmişlerdir.

Shu ve Yang (2018) çalışmasında standart Rushton türbini kullanılan bir akım kırıcılı tankın, grafik işlemci kullanarak, LBM-LES (Lattice-Boltzman Metodu-Large Eddy Simulation) çözücüsünü geliştirmiş ve simülasyonu yaklaşık 1500 kat hızla çözümünü sağlamıştır. Karıştırma tankları için kolaylıkla erişilebilir tek bir grafik işlemci kartı ile standart bir masaüstü bilgisayarda uygulanan hızlı ve ekonomik bir çözücü geliştirmişlerdir.

Hartmann vd. (2004) standart Rushton türbini kullanılan bir tankta yaptığı simülasyonları LDA (Laser Dropper Flowmetri) aracılığıyla gerçekleştirmişlerdir. RANS ve LES yöntemlerini detaylı şekilde karşılaştırmıştır.

Xu vd. (2020) çalışmalarında yüzey girdabının karıştırma tanklarında yüzen parçacıklar üzerinde hareketlerini incelemişlerdir. Katı parçacıkların, sıvı içerisinde dağılımını, güç tüketimini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Akım kırıncılı bir tank ve Rushton türbini kullanmışlardır. Karıştırma tankındaki yüzey girdabının, parçacıkların çekilme hızını arttıracaklarını, partikül dağılımını, homojenliğini ve güç tüketimini azaltacaklarını söylemişlerdir. Ayrıca pervane derinliğini arttırarak ve azaltarak yaptıkları çalışmada, derinlik arttıkça girdabın arttığını yorumlamıştır. Birincil amaç olan homojenliği arttırmak ise yüzey geriliminin bölmeler kullanılarak engellenmesini önermişlerdir.

Ameur (2016), silindirik karıştırma tanklarındaki pervane şaftının eksantrikliğinin ve pervane dönüş yönünün etkilerini sayısal olarak incelemiştir. Akım kırıncısız tanklarda eksantrik şaft kullanmak karıştırma karakteristiklerini arttırmak için uygulanmıştır fakat başarısız olmuştur. Altı kanatlı kavisli bir pervane kullanmıştır. Pervane dönme yönü üzerindeki etkilerini araştırdığında ters dönüş yönü enerji güç tüketimini azaltabileceği sonucuna varmıştır ve daha iyi bir sirkülasyon sağladığını göstermiştir. Eksantrik şaft konumunda analiz yaptığında ise eksantrik şaft konumunun enerji tüketimini arttırdığı sonucuna varmıştır.

Ein-Mozaffari vd. (2019) pervane tipinin yüksek konsantrasyonlu karışımların karıştırılması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 3 farklı pervane tipi kullanmışlardır; standart I pervanesi, PF3 pervanesi ve 4 bıçaklı pervane. Bunların içerisindeki en verimli pervanenin 4 bıçaklı pervane olduğunu göstermiştir. Karışım homojenliği daha fazladır, aynı güç tüketiminde daha verimli ve katı partiküllerin askıya alınmasında daha verimlidir.

Ameur vd. (2017), viskoz Newtoniyen bir sıvının silindirik karıştırma tankında radyal pervanelerle Rushton türbini arasındaki farkların akış modellerini incelemiştir. Düşük Re değerinde radyal pervane verimsizdir, artan Re değeri ile jet daha güçlü hale gelir ve böylece gelişmiş eksenel sirkülasyon sağlanır. Tam türbülanslı rejimde radyal çark Rushton türbininden daha güçlü radyal jet akışı göstermiştir. Rushton türbininin diğer radyal pervaneye göre daha güçlü teğetsel akış sağladığını göstermiş ve daha verimli olduğunu, homojenliği artmış bölgeyi arttırdığını göstermiştir.

Lane (2017), hidrofil pervane kullanılan karıştırma tankında CFD tahminlerinin doğruluğunu iyileştirme üzerine çalışmıştır. CFD tahmin doğruluğu, türbülansa göre uygun türbülans modeline, yüksek sayıda doğru mesh yapısına bağlıdır. Mesh atma parametrelerinin atılma şeklini incelemiştir. Standart k- ϵ türbülans modeli, daha hassas detayların yetersiz tahmininden dolayı oldukça kötü bir performans göstermiştir. SST modelini bu sebepten ötürü daha başarılı bulmuştur. Fakat yine de k- ϵ türbülans modeli daha çok kullanılmaktadır.

Gu vd. (2017) iki pervane arasına delikli rijit bir cisim koyarak tasarlanan bu yeni pervanenin sayısal simülasyonunu yapmışlardır. Ayrıca araya rijit cismi koymadan ve rijit cismi deliksiz olarak koydukları modellerle de kıyaslama yapmışlardır. Çeşitli nitelikler üzerinde araştırma yaparak tasarlanan bu yeni pervanelerden delikli rijit cisme sahip olan daha verimli bulunmuş, deliksiz olan ise iki pervaneli sisteme göre daha verimli bulunmuştur.

Kumaresan ve Josh (2006) pervane tasarımının akış paternine etkisini toplam 18 farklı pervane ile karıştırma tanklarında inceleyerek çok kapsamlı bir çalışma yapmıştır.

Liu vd. (2014) iki Rushton pervane arasına rijit-elastik kombinasyonlu parça koyarak çarkı iyileştirmişlerdir. Birbirine karışmayan iki sıvı içeren tankı deneysel olarak incelemişlerdir. Bu yeni tasarım iki pervane arasındaki karıştırma bölgelerinin sınırlarını ortadan kaldırmış ve daha kaotik bir karıştırma bölgesi oluşumu sağlanmıştır. Tankın tümünde enerji dağılımının homojenliğini artırarak verimin artmasına fayda sağlamıştır.

Zadghaffari vd. (2010) Rushton Türbini kullanılan bir karıştırma tankında türbülanslı akışın Large Eddy simülasyonunu yapmışlardır. Akım kırıcılı tankta üretilen türbülanslı akış alanı, Smagorinsky Modeli (tamamen küçük ölçekli ve büyük ölçeklere karşılık gelen tüm enerji dağılımı anlamına gelen denge hipotezi) ile birlikte LES kullanılarak simüle edilmiştir. Literatürde mevcut olan deneysel verilerle karşılaştırılarak mükemmel bir uyum olduğu gösterilmiştir.

González-Neria vd. (2019) çalışmalarında v yivli bir dört bıçaklı pervane tarafından karıştırılan bir karıştırma tankında türbülanslı akışın PIV ve dinamik LES analizini dört bıçaklı bir pervane kullanılan karıştırma tankıyla sayısal olarak inceleyerek karşılaştırmıştır. Çalışma sonucuna göre v yivli pervane, daha yüksek bir performans göstermiştir ve daha hızlı bir karıştırma sağlamıştır.

Wadnerkar vd. (2019) düşük ile yoğun katı yükleme sistemlerinde katı sıvı karıştırmalı tankların CFD simülasyonunu yapmış ve incelemiştir. Akım kırıcılı, silindirik ve düz tabanlı bir tank ile altı kanatlı bir Rushton türbini kullanmıştır. Euler-euler çoklu faz modelini kullanarak simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Pervane bölgesinde maksimum türbülans kinetik enerjisi olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca katının konsantrasyonu arttıkça türbülansın yok olduğunu söylemişlerdir.

Zamiri ve Chung (2018) çalışmasında Rushton Türbini kullanılan bir karıştırma tankında ölçek uyarlamalı bir simülasyon gerçekleştirmiştir ve türbülanslı akış yapısının sayısal değerlendirmesini sunmuştur. Tank içindeki akış yapılarını incelemek için SAS türbülans modeli ile üç boyutlu URANS tabanlı bir yaklaşım sayısal olarak incelenmiştir. SAS modeli, deneysel verilere kıyasla teğetsel hızları daha iyi tahmin eder. SAS modelinin, DES (Detached Eddy Simulations) veya LES ile kıyaslandığında en düşük hesaplama süresinde makul derecede doğru bir çözüm sağladığı için en doğru seçimdir.

Montante vd. (2011), sürüklenme zayıflatıcı bir etken kullanarak karıştırma tankının performansını incelemiştir. Akım kırıcılı bir tank ve iki çeşit pervane kullanmışlardır; ilki standart Rushton türbini, ikincisi ise Lightnin A310 çarkıdır. Sürüklenme zayıflatıcı maddenin her iki pervane için az varlığı ve yokluğunun durumları incelenerek kararlı sonuçlar elde etmişlerdir. Bu etken maddenin kullanımı oluşan hız dalgalanmalarını azaltır, güç çekişinde azalma meydana getirir ve karıştırma süresini uzatacağı bilgisine ulaşmışlardır.

Qi vd. (2013) karıştırma tankında partikül süspansiyonunun CDF simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Smith türbini kullanılan bir akım kırıcılı tank modellemişlerdir. $k-\epsilon$ ve Eulerian-Eulerian türbülans modeli kullanmışlardır. Tankın dibinde katı partikül birikimine bağlı olarak, katı ve sıvının düşük hıza sahip olduğu bir bölge görmüşlerdir. Daha yüksek yoğunlukta ve daha küçük çaplı parçacıkların, süspansiyon homojenliğine etkisinin, parçacıkların daha viskoz bir sıvı içerisine konulduğunda en aza indirildiğini söylemişlerdir.

Khopkar ve Ranade (2006), gaz-sıvı karıştırma tankının CFD simülasyonları üzerine çalışmışlardır. Akım kırıcılı bir tankta standart Rushton türbini ve Eulerian-Eulerian türbülans modeli kullanılarak CFD simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Bu modelleme için üç farklı akış rejimi kullanmışlardır. Hesaplanan modelde, gaz akış oranlarının/rejimlerinin pompalama sayısı ve güç sayısı gibi özellikleri üzerindeki kabaca etkisini en

azından niteliksel olarak tahmin etmişlerdir. Model, pervane kanatlarının arkasında oluşan gaz birikimini tespit etmiş ancak simüle edememiştir.

Wadnerkar vd. (2016) katı yükleme sistemleri için katı-sıvı karıştırma tanklarında CFD simülasyonu üzerine çalışmışlardır. Simülasyonda düz tabanlı akım kırıcılı bir tank ile tankın eksenine eş merkezli, altı kanatlı, kanatları 45 derece eğimli bir dört bıçaklı pervane kullanılmışlardır. Eulerian-eulerian akış ile kinetik granüler akış karşılaştırılmıştır. Eulerian-eulerian ve kinetik granüler akış yaklaşımında düşük konsantrasyonlu katı yüklemelerinde parçacıkların etkileri minimal olduğundan pek farklılık göstermeyeceğini fakat konsantrasyonun yükselmesiyle kinetik granüler akış yaklaşımında akış tank tabanına çarpmadan önce akışın sapmalarını doğru tahmin edeceğini söylemişlerdir. Kinetik granüler akış yaklaşımı model için daha uygun olsa da tankın merkezinde abartı tahminler yaptığını görmüşlerdir.

Alcamo vd. (2005) akım kırıcısız bir tankta türbülanslı akışı Smagorinsky modeli ile LES kullanılarak modellemişlerdir. Pervane olarak standart Rushton türbini kullanmışlardır. Yazılım olarak ANSYS-CFX 4.4 kullanmışlardır. Akım kırıcılı tanklarda var olduğu bilinen arka girdapların akım kırıcısız tanklarda da olduğunu doğrulamışlardır ve bunun doğru şekilde simüle edildiğini göstermişlerdir. Bulunan sonuçları deneysel verilerle kıyaslamışlardır ve uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca LES yönteminin akış simülasyonları için de çok güçlü bir araç olduğunu bir kez daha doğrulamışlardır.

Roudsari vd. (2012) yağ emülsiyonlarıyla su karışımını CFD modellemesini gerçekleştirmişlerdir.

Singh vd. (2011) farklı türbülans modellerini, Rushton türbini bulunan akım kırıcılı bir karıştırma tankında karşılaştırmışlardır. $k-\epsilon$, SST, SSG-RSM ve SAS-SST modellerinin simülasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmaya göre tüm türbülans modelleri ortalama eksenel ve teğetsel hızları makul şekilde tahmin eder fakat ortalama radyal hızın çarktan uzamasını az tahmin ederler. $k-\epsilon$ türbülans modeli, pervane çevresinde oluşmuş olan dalgalanma hareketlerinin kinetik enerjisinin rastgele ve periyodik bileşenlerini tahmin edemez. SAS-SST, SST-RSM ve SST modelleri, ikincil hareketlere sahip, süreleri uzayan girdapları tahmin eder ancak ağı çok fazla iyileştirilmesi gerektiğinden pratik bir yöntem olmadığını söylemişlerdir.

Buwa vd. (2006) kare ızgara pervane, radyal ızgara pervane, üç kanatlı pervane ve dairesel dolu disk şeklinde pervane ile akım kırıcısız bir tankta tek fazlı akış yardımıyla

deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Radyal ve kare ızgaralı pervanelerin ürettiği akışta önemli bir fark gözlememişlerdir fakat ızgara aralık mesafesinin ve pervane çapının performansını önemli ölçüde arttırdığını göstermişlerdir. Bu yeni tasarlanmış olan ve önerilen bu ızgara tipi pervanenin umut verici olduğunu söylemişlerdir.

Chara vd. (2016), standart Rushton türbininin bulunduğu akım kırıcılı bir karıştırma tankında sıvı akışını incelemişlerdir. Girdapların ortalama hızları ve pozisyonları sistem aracılığıyla belirlenmiştir. Büyük girdap simülasyonu ise Ansys Fluent'te akış alanının simüle edilmesi için kullanılmıştır. Çark bölgesine yakın ortalama akış hızları bağımsız girdapların simülasyonu aracılığıyla, radyal ve eksenel yönlerde tahmin edilen sonuçlarını vermişlerdir. Teğet yönde tahmin edilen akışı, buldukları deneysel verilerle kıyasladıklarında daha küçük olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca ayrılmış girdap simülasyonunun Rushton türbini kullanan bir karıştırıcı tank için uygun bir araç olduğunu söylemektedirler.

Cudmore vd. (2015) akım kırıcılı bir karıştırma tankında bir pervane modelinin karıştırmasını incelemişlerdir. Çalışmada eğimli dört kanatlı bir pervane kullanılmıştır. Çalışmada akışın kararsız olduğu durumlar için seçenekler araştırılmıştır.

Panneerselvam vd. (2008), gaz-sıvı-katı mekanik karıştırma tankının CFD modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Standart Rushton türbini ve dört bıçaklı pervane bulunan akım kırıcılı standart bir karıştırma tankı kullanmışlardır. Mevcut çalışmada, standart k-ε türbülans modeliyle birlikte Euler-Euler çoklu akışkan yaklaşımı kullanılarak gaz-sıvı-katı mekanik olarak karıştırılan tanktaki katı süspansiyonu incelemek için CFD simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmayı deneysel çalışmayla desteklemişlerdir ve uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Pervane tasarımı, parçacık boyutu ve hava akış hızının, gaz-sıvı-katı mekanik karıştırma tankındaki katı süspansiyon için kritik pervane hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

2. ÇALKALAMA VE KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNE GİRİŞ

En genel anlamda bir kütleye bir şey karıştırma işlemi sonrasında ortaya çıkan malzemeye karışım denir. Karıştırma işlemi iki veya daha fazla malzemenin birbiriyle karıştırılmasıdır. Ortaya çıkan malzemenin yoğunluk, sıcaklık veya diğer özellikleri kullanılan malzemelerden farklıdır. Ortaya çıkan toplam kütle, en yüksek homojenliğe ulaştığında tam karışım gerçekleşmiş olur. Tam karışım kavramında artık moleküler difüzyon, sıcaklık, basınç ve konsantrasyon eğilimleri ortadan kalkar. Ayrıca en fazla reaksiyonun görüldüğü ve tamamlandığı aşamadır.

2.1. Karıştırma İşlemlerinin Türleri

Karıştırma işlemi, fazların birbiriyle karıştırılmasının gerçekleştirilebildiği ve fazlar arasında veya dış yüzeyler ile fiziksel ve kimyasal özelliklerin arttırılabildiği bir kavramdır. En temel anlamıyla karıştırma işlemi aşağıda belirtilen faz kombinasyonlarının oluşumlarıyla meydana gelebilir:

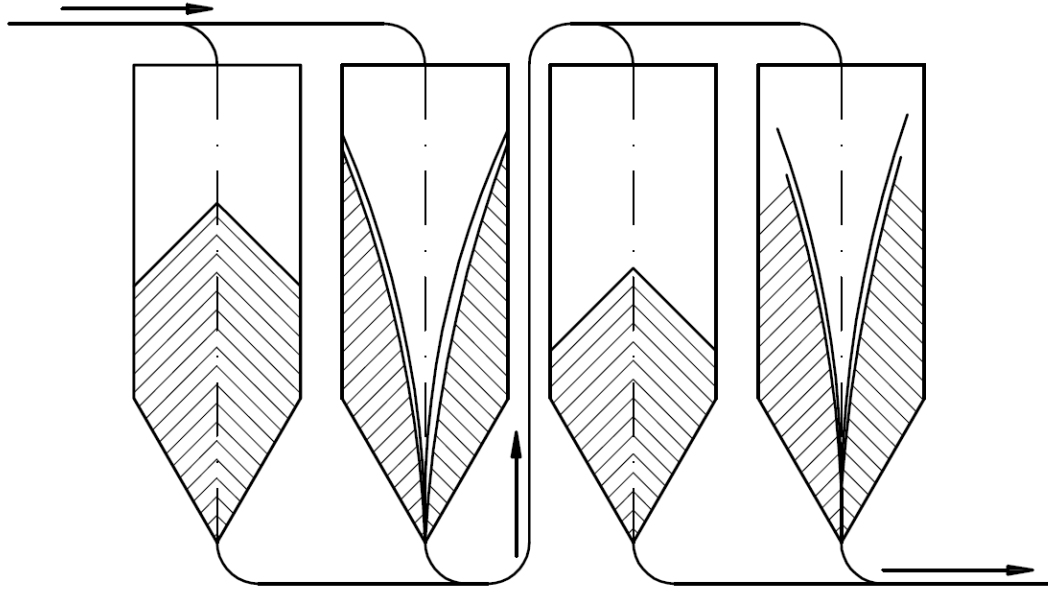
- Kuru maddelerin birbiriyle karıştırılması,
- Nemli ve yumuşak haldeki maddelerin karıştırılması,
- Katıların sıvılarla karıştırılması,
- Sıvıların sıvılarla karıştırılması,
- Gazların karıştırılması.

2.1.1. Kuru maddelerin birbiriyle karıştırılması

Kuru maddelerin karıştırma türünde madde ne kadar ufak taneli yapıya sahipse homojenlik o kadar yüksek seviyelerde olur. Bu maddelerin yoğunlukları da karışımın iyileştirilmesinde oldukça önemlidir. Yoğunluk farkının oluşturduğu etkiyi en aza indirmek ve homojenliği en üst seviyelere çıkarmak için zıd sıralama yöntemi veya devirme yöntemi kullanılır. Bu iki yöntemde de amaç karışımı düzenli aralıklarla altını üstüne getirmek esastır.

2.1.1.1. Zıd sıralama yöntemi

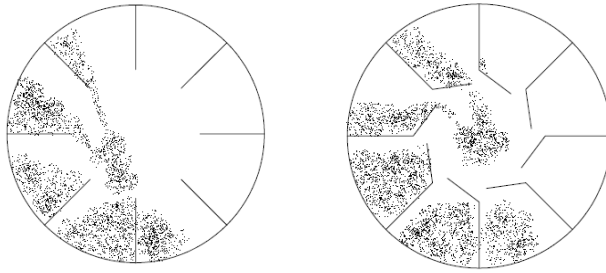
Şekil 2.1’ de gösterilen siloların içerisinden, karışım istenildiği oranlarda konik şekilde dökülen malzemeler, alt taraflardan da kanallar aracılığıyla ters silolara dalgalar şeklinde gönderilir. Karışımın homojenliği istenen seviyelere ulaşana kadar işlem tekrarlanır. Elde edilen sonuçlar iyi seviyelerde olmamasına rağmen sıkça kullanılan yöntemlerden biridir.



Şekil 2.1 Zid sıralama yöntemi.

2.1.1.2. Devirme usulü

Kuru madde karışımlarının daha homojen istendiği durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.2’ de gösterilen kendi etrafında dönen örnek silindirlerde malzemelerin dönerken bölmelerde tutunması ve bölmenin üst seviyelere çıktıkça diğer malzemelerin üzerine devrilmesi prensibine dayanır.



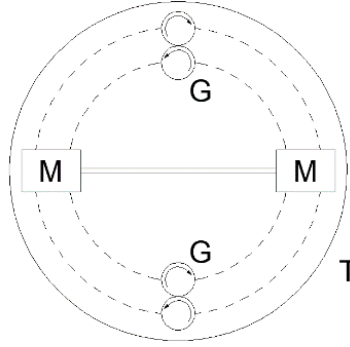
Şekil 2.2 Devirme usulü yönteminde kullanılan kendi etrafında dönen silindirler.

2.1.2. Nemli ve yumuşak haldeki maddelerin karıştırılması

Bu malzemelerin birbiriyle karıştırılması zordur ve ayrıca bir kuvvete ihtiyaç duyulur. Yapışkanlığı fazla olmayan malzemeler için taşlı ve silindirli ekipmanlar kullanılır. Yapışkanlığı yüksek olan malzemeler için malzemenin yapısına uygun şekilde tasarlanmış yoğurma makinaları kullanılır.

2.1.2.1. Taşlı ve silindirli araçlar

Taşlı ve silindirli araçlar sabit veya döner tipte olabilir. Bu araçların bir örneği Şekil 2.3 'te üstten kesit görünüşü ile gösterilmiştir. Kollerganga benzer yapısı vardır. T alanından yüklenen malzeme önce yatay olarak bir mil ile birbirine bağlı M taşları ile ezilmektedir. Ezilen malzeme G taşları arasında yoğurulduktan sonra ezilmeden önce tekrar eski haline gelir. Bu işlem istenilen homojenlik elde edilene kadar devam eder.



Şekil 2.3 Kollerganga benzeyen taşlı araç.

2.1.2.2. Yoğurma makinaları

Yoğurma kolu bulunan, açık veya silindirik kaplardan oluşmuşlardır. Yoğurma kolları yatay veya dikey ekseninde bağlanabilir. Silindirik tank, kullanım yerlerine ve şartlarına göre hareketli veya sabit olabilir. Karıştırma işlemi sıcak gerçekleşecekse ona göre sistemler eklenebilmektedir.

2.1.3. Katı maddelerin sıvılarla karıştırılması

Katı malzemelerin sıvılarla karışabilmesi için katı madde sıvıda çözdürülür veya katı süspansiyon haline getirilir. Döner kollar veya hava yardımıyla karışım şartları sağlanır. Katı maddeleri sıvılarla karıştıran cihazlar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

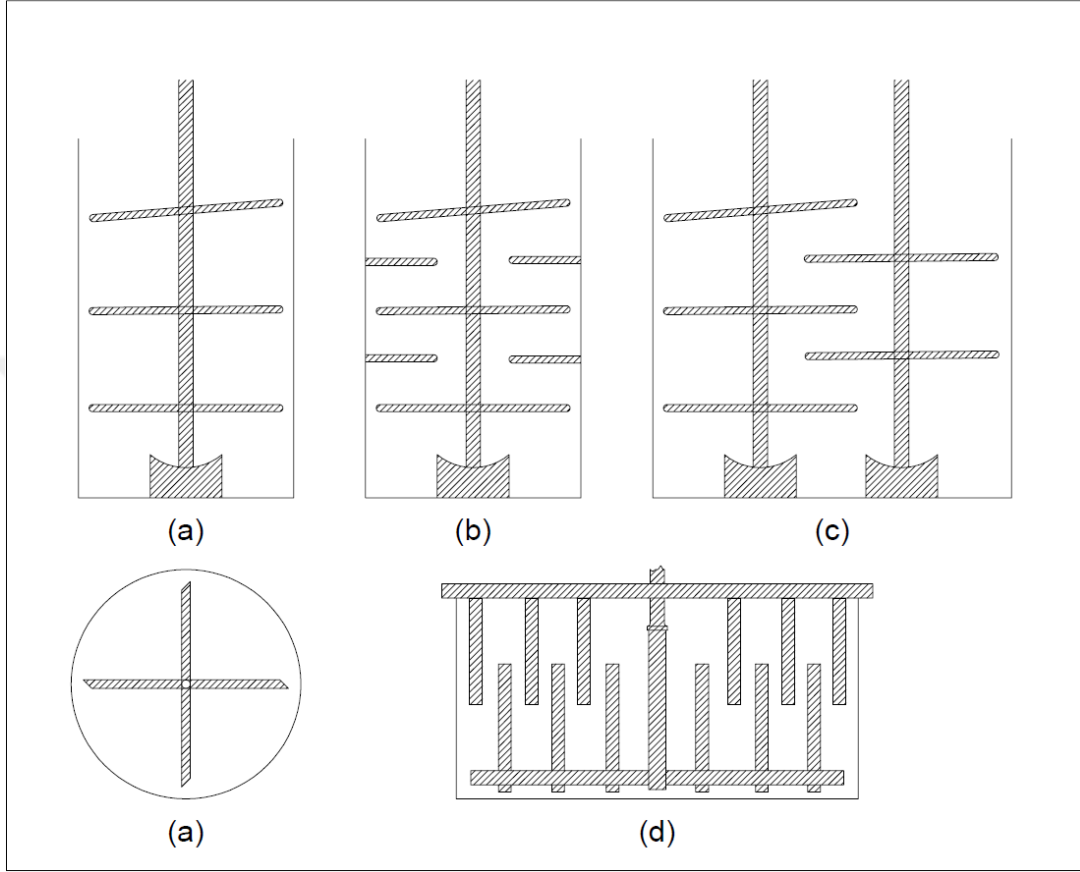
- Mekanik karıştırıcılar
- Hava karıştırıcıları
- Kolloid değirmenleri

2.1.3.1. Mekanik karıştırıcılar

Mekanik karıştırıcılar kütle olarak hafif malzemeler için kullanılır. Dikey bir silindir içerisinde karıştırıcı ekipmanın dönmesiyle alttaki malzeme yukarıya çıkar. Bu sayede homojenliğin istendiği seviyeye kadar bu işlem devam ettirilir. Döner ekipmanın,

literatürde yapılan deneylere ve araştırmalara göre en uygun dönme hızı 20-25 dev/dak olduğu belirlenmiştir.

Viskozitesi çok yüksek olmayan sıvının, küçük tanecikli katı ile karıştırılması için düz kanatlı türbin kullanılarak süspansiyon oluşturulabilir.

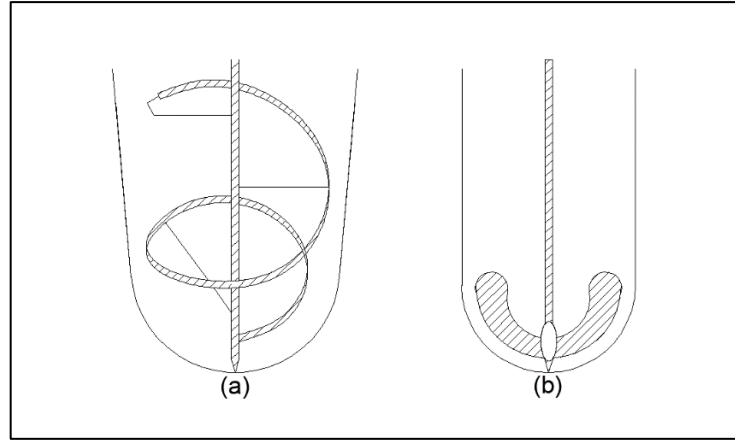


Şekil 2.4 Mekanik karıştırıcılar.

Örnek olarak vermek gerekirse çimento endüstrisinde kullanılan malzemelerin karışımında kullanılır. Kil ve kirecin su ile daha homojen bir hale getirilmesi için ideal karıştırma yöntemidir. Bu işlemlerde kullanılan bu araçların çevre ile temasının kesilmesi sağlanır.

Karışım malzemeleri ağır kütlede olduğunda Şekil 2.5 (a)' da görülen helis tipi ekipmanlar kullanılmaktadır.

Karışım malzemelerinden biri çökme eğilimi içinde ise tank dibi dışa bükümlü oval yapılı ve Şekil 2.5 (b)' de görülen çöküntüyü kaldıracak şekilde çapa tipi ekipmanlar kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Helis şeklinde ve çapa şeklinde yapılmış karıştırıcılar.

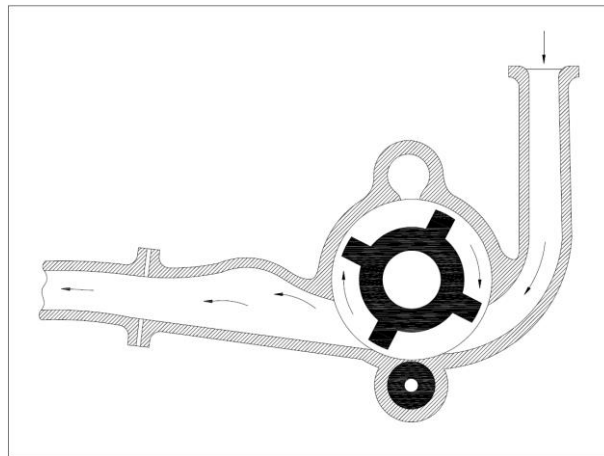
2.1.3.2. Hava karıştırıcıları

Bu tür karıştırıcılarda, basınçlı havanın kuvveti kullanılarak, sıvılar katılarla karıştırılır. Kimya endüstrisinde sıkça kullanılır. Bu tip karıştırıcılar barut, çimento ve bira fabrikalarında sıkça görülmektedir.

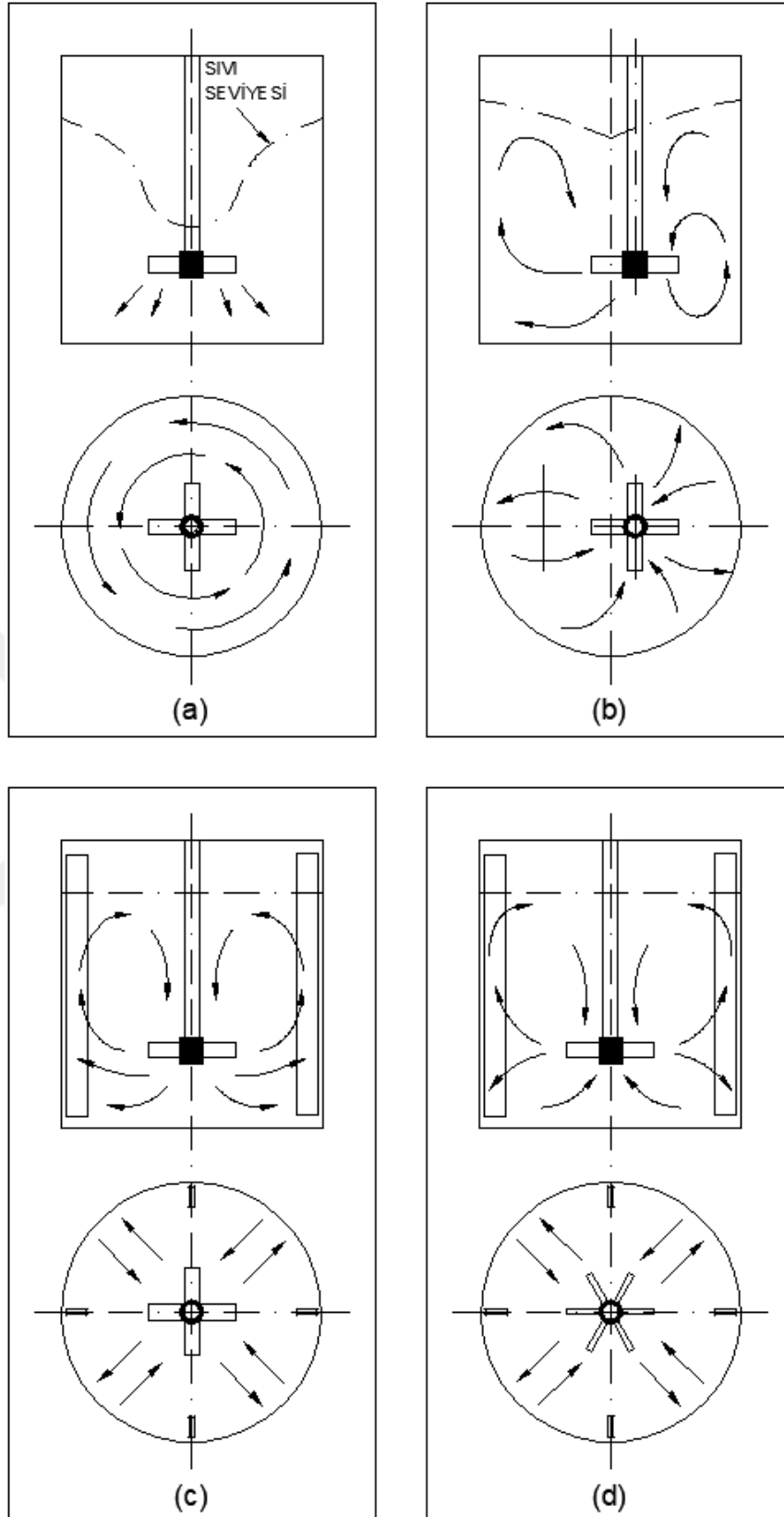
2.1.3.3. Kolloid değirmenleri

İnce taneli malzemelerin sıvı içerisinde homojen olarak dağıtılmasını sağlar. Sıvı içerisinde homojen olarak dağılan bu ince taneli katı karışımı, kolloidal süspansiyonların oluşmasını sağlar.

Şekil 2.6' da örnek olarak gösterilen Plauson değirmeni bu makinalara örnektir. Silindirik tanka giren malzemeler çok yüksek devirde (~ 14000 dev/dak) dönen türbin aracılığıyla oldukça homojen bir karışım olarak çıkmaktadır (Çataltaş, 1986).



Şekil 2.6 Plauson değirmeni.



Şekil 2.7 Karıştırıcıların akış şekilleri; **(a)** Çark tank merkezine dik olarak yerleştirilmiş ve tank kenarlarına akım kırıcı yerleştirilmemiş; **(b)** Çark merkez dışına dik olarak yerleştirilmiş; **(c)** Çark merkeze dik olarak yerleştirilmiş ve tank kenarlarına akım kırıcı eklenmiş; **(d)** Radyal çark tank merkezine dik olarak yerleştirilmiş ve tank kenarlarına akım kırıcı eklenmiş.

2.1.4. Sıvıların sıvılarla karıştırılması

Sıvıların sıvılarla karıştırılması için kullanılan makinalar, pervaneler ve türbinleri içerecek şekilde standartlaştırılabilir. Basit pervaneler gün geçtikçe önemini kaybetmektedir ve kullanımları da azalmaktadır. Pervaneler günümüzde çok büyük önem teşkil etmektedir.

Pervaneler tank içerisinde farklı şekillerde ve yöntemlerle yerleştirilebilmektedirler. Akım kırıcı kullanımı da zaman içerisinde yaygınlaşmıştır. Çünkü akım kırıcı kullanıldığında pervanelerden daha iyi verim alındığı görülmüştür. Bunun sebebi tank merkezine dikey olarak yerleştirilmiş bir pervane dönme hareketi gerçekleştirirken, akım kırıcılar pervaneye doğru bir akım göbeğini meydana getirir (Şekil 2.7).

Akım kırıcılar tank içerisinde 4 adet olarak, 90° aralıklarla tank duvarlarına yerleştirilir. Akım kırıcılar genellikle yaklaşık tank çapının 1/10 ile 1/12' si genişliğinde olacak şekilde seçilir.

Pervanenin şekli, karıştırma tankının şekli, pervanenin tank içindeki konumu ve duruş açısının karışımın homojenliğinin değişmesinde çok büyük etkileri vardır. Pervanenin eksantirik şekilde tank içine konumlandırılması merkeze konumlandırılmasına göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

2.1.5. Gazların karıştırılması

Gazların gazlarla, gazların sıvılarla ve gazların katılarla olan karışımları üç başlık altında incelenmiştir.

2.1.5.1. Gazların sıvılarla karıştırılması

Gazların sıvılarla karıştırılması işlemi üç ana bölümde incelenebilir:

- Sıvının, gazlarla çok küçük tanecikler haline getirilerek karıştırılması yöntemiyle homojen bir karışım elde edilmesi,
- Sıvılar ile gazların kimyasal reaksiyonlarla homojen bir karışım elde edilmesi,
- Sıvının viskozitesinin arttırıldıktan sonra ısı verilerek, sıvının gaz ile temas ettirilmesi ile homojen bir karışım eldesi.

Sıvının, gazlarla çok küçük tanecikler haline getirilerek karıştırılması: Sıvının çok ufak zerreler haline getirdikten sonra, sıkıştırılmış olan gazın üzerine püskürtülür. İşlemin sonunda homojen bir karışım elde edilmiş olur.

Sıvılar ile gazların kimyasal reaksiyonlarla homojen bir karışım elde edilmesi veya sıvının viskozitesinin arttırıldıktan sonra ısı verilerek, sıvının gaz ile temas ettirilmesi ile homojen bir karışım eldesi: Bu yöntemde bazı sıvı haldeki gazları çözelti olarak vermek veya absorpsiyon olaylarının gerçekleşmesini sağlamak önemlidir. Çözelti olarak verilen gaz, sıvının gaza tutunmasını sağlar. Diğer yöntemde ise sıvı ile gaz arasında bir ısı alışverişi sağlanır. Kimyasal reaksiyon gerçekleştirildikten sonra homojen bir karışım elde edilir.

2.1.5.2. Gazların katı maddelerle karıştırılması

Katı cisimler ile gazlar arasında meydana gelen oksidasyon, redüksiyon, sementasyon, nitrürasyon gibi kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesiyle homojen bir karışım elde edilmesi esastır. Bu reaksiyonların tümünde gazlar, katı maddeler arasında ve veya içerisinde (gözenekli yapılarından ötürü) dolaşımıyla meydana gelir. Katı maddenin yüzey alanı genişliği ve gözenekli yapısı karışımın hızlanması için gerekli kimyasal reaksiyon hızlarını önemli ölçüde etkiler.

2.1.5.3. Gazların gazlarla karıştırılmaları

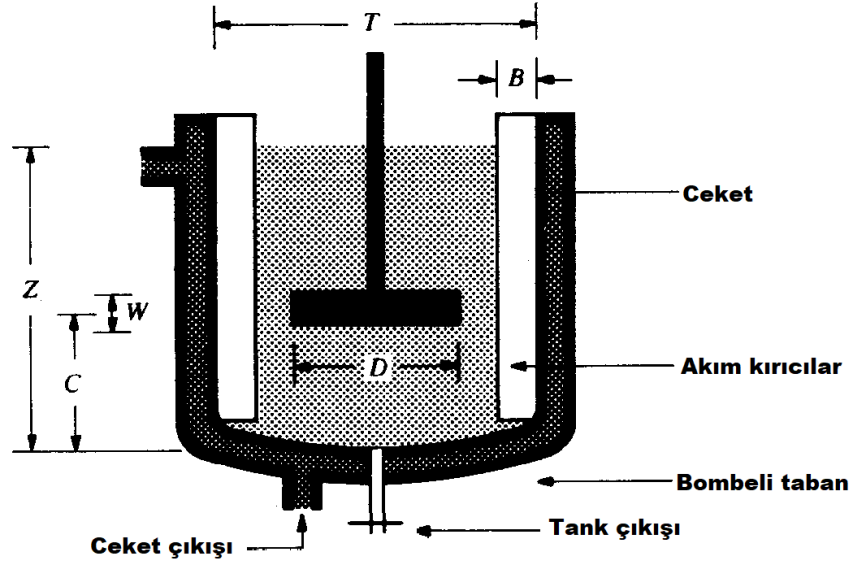
Gazların birbiriyle karıştırılması, kullanılan gazların yoğunluklarına, çevre koşullarına ve diğer fiziksel özelliklerine göre değişen, kendiliğinden veya bir araç kullanılarak oluşturulan yöntemdir.

Bu karışımların homojenliğini ve karışım hızını arttırmak için vantilatör, enjektör vb. araçlar kullanılabilir.

2.2. Karıştırıcı Ekipmanları

Karıştırıcılar donanım olarak, sürüklenmeyi sağlayan bir çarktan, çarkı döndürmek için bir motor veya hareketi sağlayan başka bir araçtan, genellikle akım kırıcılardan ve bunların hepsini içeren bir tanktan meydana gelir. Akım kırıcılar, tankın iç duvarına teğet, akışı daha iyi getirmek için kullanılan uzunlamasına setlerdir.

Aşağıdaki şekil gerekli ısı transferini sağlayan bir akış içeren yanlardan ve alttan bir ceket ile çevrelenmiş bir karıştırma tankını göstermektedir (Brodkey, 1988).



Şekil 2.8 Akım kırıcı, ceket ve bombeli taban ile karıştırma tankı (Brodkey, 1988)

Altı eğimli veya bombeli bir tabanlı tank daha fazla önerilir ancak kenar duvarlarının tabana dik olan tanklar da sıklıkla kullanılmaktadır.

Çökmenin en aza indirgenmesi ve katıların askıya alınması için genellikle altı bombeli tanklar kullanılır.

Bazı tanklarda meydana gelen ısıyı transfer etmek veya ısıtmayı sağlamak amacıyla tank etrafını çevreleyen kanallar vardır. Aynı durum pervanelerde de görülebilmektedir. Bazı malzemelerin karışımını kolaylaştırmak ve homojenliğini arttırmak için bu gereklidir. Şekil 2.8’ de ceketli bir tank görülmektedir.

2.2.1. Motorlar

Motorlar, piyasada mevcut olan ve tercih edilen birçok karıştırıcının en önemli parçalarından biridir. Çünkü motora bağlı dönen pervaneli bir mile bağlı karıştırıcı tanklar en yaygın sistemlerdir. Elektrik motorları bu tip karıştırıcılar için ana güç kaynağıdır. Bazı karıştırma uygulamaları için hava ve hidrolik motorlar kullanılmaktadır. Dizel motorlar ise elektrik gücünün olmadığı veya elektriğin güvenilir olmadığı yerlerde kullanılır.

2.2.1.1. Elektrik motorları

Elektrik motorları karıştırıcıların tipine göre birçok şekilde ve tipte üretilmektedir. Bu motorları boyutuna göre, gücüne göre, güç kaynağına göre, uygulama yöntemine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Motorun üzerinde bilgi plakası mevcut olmalıdır.

Bu plaka üzerinde motorun bilgilerinin alınabilmesi için gerekli bilgiyi kullanıcıya sağlayacaktır. Motorun üzerindeki bilgi plakası sayesinde mevcut motorunun durumunun anlaşılması veya ihtiyaç halinde ihtiyaç şartlarına uygun yeni bir motor belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bilgi plakası üzerindeki bazı bilgiler üreticilere özgü olabileceği gibi, birçok bilgi motorun düzgün çalışması ve uygulamanın düzgün gerçekleşmesi için gereklidir

Aşağıdaki bilgilerin bazıları veya tamamı tipik bir motor etiketi üzerinde bulunabilir:

- **Katalog numarası:** üreticiye özel.
- **Model numarası:** üreticiye özel.
- **Faz:** tek faz, üç faz veya doğru akım.
- **Tip:** sınıflandırma üreticiye bağlıdır.
- **NEMA (National Electrical Manufacturers Association):** B, C ve D en bilinenleridir ve motorun tork özelliklerini temsil ederler.
- **Görev:** çoğu motor özellikle mikserler için sürekli çalışmaya ayarlanmıştır. Bununla birlikte, 15, 30 veya 60 dakikalık görevler için motorlar mevcuttur.
- **Frekans (Hz):** Saniyede döngü halinde elektrik frekansı.
- **Hız(rpm):** tam yükte milin dakika başına devir sayısı.
- **Gerilim:** sargılara bağlı olarak tek veya çok sayıda voltaj.
- **Amperaj:** tam yükte motor akımı.
- **Güç(hp):** nominal tam yük hızında beygir gücü.
- **Şasi boyutu:** boyutların standart ölçüsü.
- **Maksimum çevre sıcaklığı(C°):** Genellikle 40°C [104° F].
- **İzolasyon sınıfı:** standart izolasyon sınıfları motor için maksimum güvenli çalışma sıcaklığını sağlayan B, F ve H'dir.
- **Muhafaza:** motorun çevreden nasıl korunduğunu ve mühürlendiğini gösterir.
- **Servis faktörü:** sürekli aşırı yük kapasitesinin bir ölçüsüdür.

Katalog numarası, model numarası, türü ve benzeri gibi üreticiye özel bilgilerin kapsamlı bir açıklaması şirketin kataloğunda bulunabilir. Pek çok katalogda, daha kapsamlı tablo boyutlarına, kasa özelliklerine ve tasarım hesaplamalarına sahip olabilecek bir mühendislik verisi bölümü bulunur. Bazıları ayrı teknik veri kitaplarına bile sahiptir. Çünkü elektrik motorları çok çeşitli uygulamalar için kullanılır ve birçok benzersiz spesifikasyona göre üretilmiştir.

2.2.1.2. Hava motorları

Gerekli dönme hareketinin oluşturulması için sıkıştırılmış hava kullanan motorlardır. Motorun içinden akan basınçlı hava kanatlar yardımıyla rotoru hareket ettirir. Motorda gerekli akışın ve basıncın sağlanması için yeterli miktarda hava sıkıştırılmalıdır. Hava akışının sağlandığı borularda, valflerde, filtrelerde vb. ekipmanlardaki kayıpların dikkate alınması oldukça önemlidir.

Hava akış hattında bulunan bir vana sayesinde akışın hız ayarı yapılabilmektedir. Hava motorları ve elektrik motorlarını karşılaştıracak olursak, hava motorları daha kompakt bir yapıda, portatif ve daha hafiftir. Gürültülü çalışmaları ve verimlerinin düşük olması da dezavantajlarıdır.

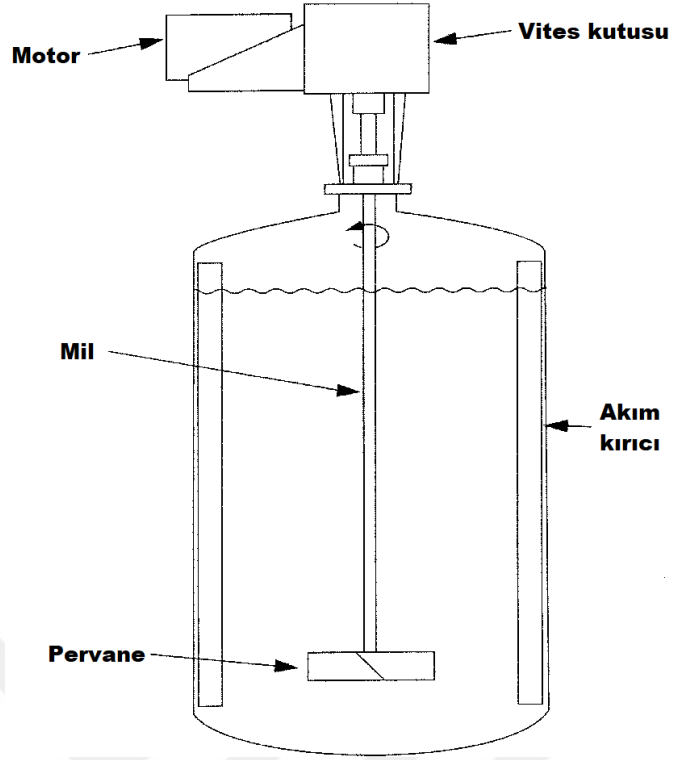
2.2.1.3. Hidrolik motorlar

Hava motorları ile prensip olarak benzerdir. Sadece hava yerine ve pompaya geri dönme olayları ve kullanılan akışkanın hava değil de hidrolik akışkan olması yönünden hava motorlarından ayrılır. Hidrolik motor, karıştırıcıdan bağımsız çalıştırılabilir. Karıştırıcının tehlikeli çalıştığı sistemler için tercih edilir. Değişken hızlarda yüksek torkta çalışabilirler.

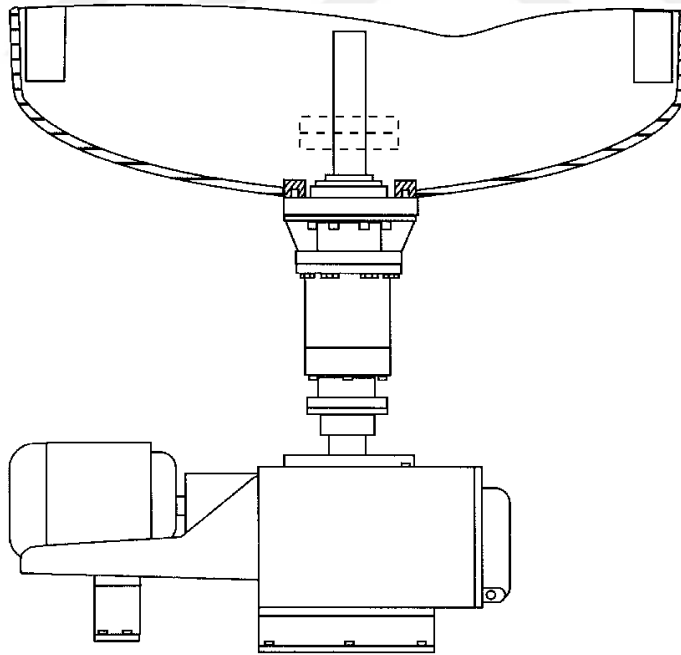
2.2.2. Tanklar

Karışımın gerçekleştiği, malzemeyi ve karışımı gerçekleştiren ekipmanların hepsini bünyesinde toplayan ana ekipmandır. Genellikle dikey bir silindir formunda tercih edilir. Kare formunda, dikdörtgen formunda veya yatay silindir formunda da standart olmayan tipleri mevcuttur.

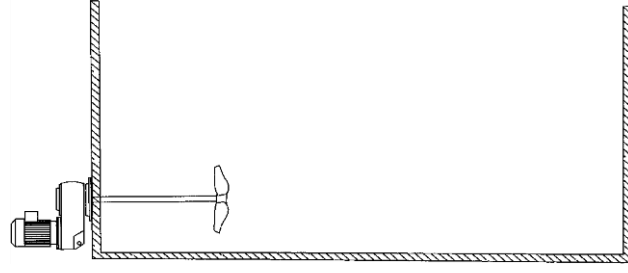
Kullanım amacına göre tankın uzun seçildiği durumlarda, şaft uzunluğunu azaltmak ve mekanik olarak en iyi çalışmayı sağlayarak gücü minimuma indirmek için karıştırıcı tabana monte edilebilir (Şekil 2.10). Bazı tank modelleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir:



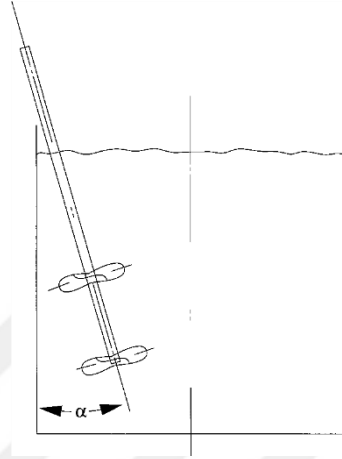
Şekil 2.9 Tepeden giren karıştırıcı ile geleneksel karıştırıcı tank (Paul, 2013).



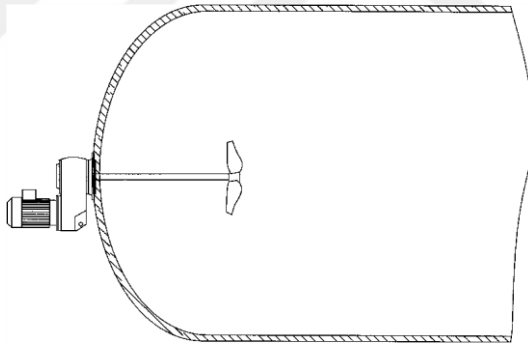
Şekil 2.10 Alttan giren karıştırıcı (Paul, 2013).



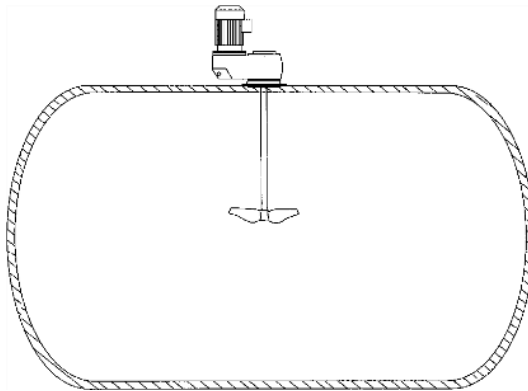
Şekil 2.11 Büyük ürün depolama ve karıştırma tankları için yandan giren karıştırıcı (Paul, 2013).



Şekil 2.12 Taşınabilir karıştırıcılar ile küçük tanklar için açılabilir üstten giren karıştırıcı (Paul, 2013).



Şekil 2.13 Yatay silindirik tanklar için yan giren karıştırıcı (Paul, 2013).



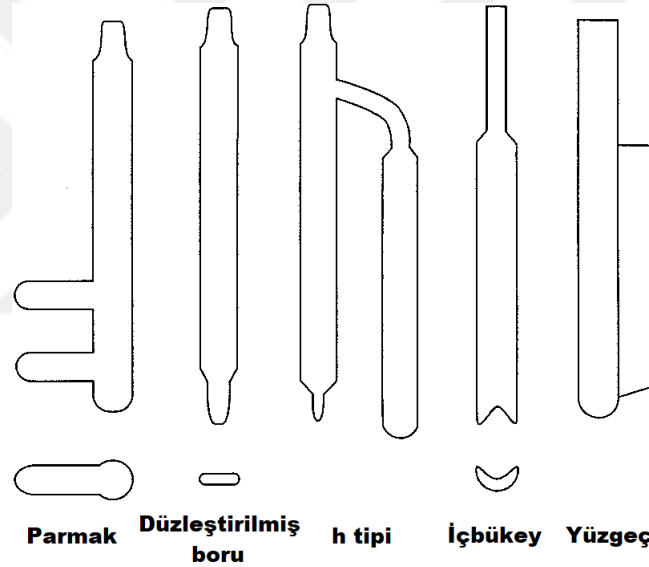
Şekil 2.14 Yatay silindirik tank için üstten giren karıştırıcı (Paul, 2013).

2.2.3. Akım kırıcılar

Akım kırıcılar pervane tarafından oluşan teğet akışın önüne konumlanmış plakalardır. Akışın hareketinde ve sonucunda akışın karıştırma kalitesi üzerinde önemli rol oynar. Teğet akışların, dikey akışlara dönüştürülmesinde, dolayısıyla girdapsız olarak akışın alttan üste veya üstten alta olacak şekilde karıştırılmasında önemli bir rol üstlenir.

Akım kırıcılar, sıklıkla temizlenmesi gereken kirletici sistemlerin dışında, türbülanslı karıştırma için genellikle kullanılmaktadırlar. Viskoz akışkanlar için akım kırıcıların kullanılmasına ihtiyaç yoktur. Aynı şekilde kare ve dikdörtgen formundaki tanklar için de akım kırıcılara ihtiyaç duyulmaz.

Cam tanklar, geri eğimli pervaneler ve cam kaplı türbinler için çeşitli akım kırıcılar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları Şekil 2.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Yaygın cam dolgulu akım kırıcı çeşitleri (Paul, 2013).

2.2.4. Pervaneler

Pervaneler tank içerisinde bulunan, elektrik motorundan veya kullanılan ekipmandan bir shaft aracılığıyla aldığı hareketi akışı oluşturmak ve karışımı sağlamak üzere kendi etrafından dönen ekipmanlardır. Pervane tasarımları, karıştırma özelliklerinde ve sistemin ihtiyaç duyduğu enerji üzerinde doğrudan önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 2.16’ da hem türbülanslı akış için hem de laminar akış için yaygın olan bazı pervane tasarımlarını göstermektedir. Laminar akış için kullanılan pervaneler genel olarak tank kadar büyüklüktedir. Akışın laminar veya türbülanslı olup olmadığı kuvvete bağlıdır.

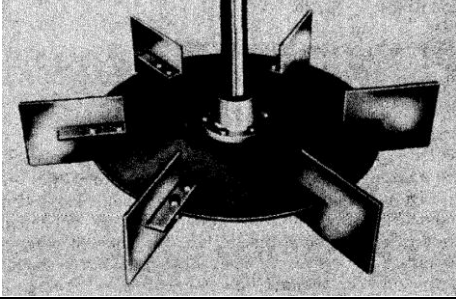
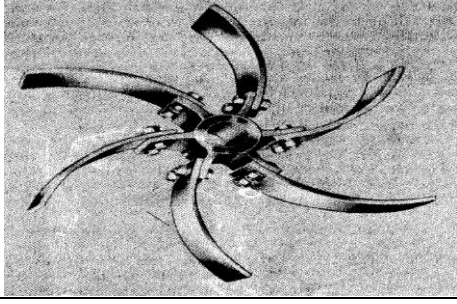
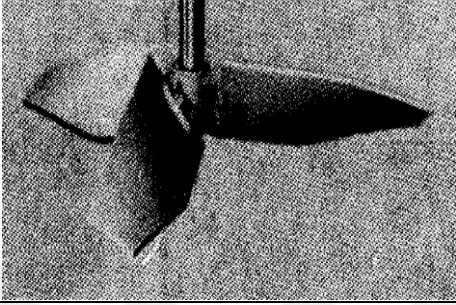
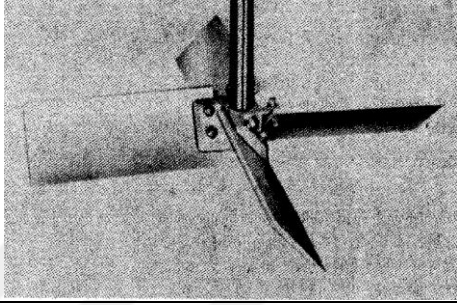
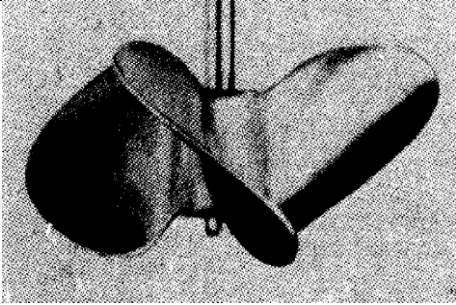
Laminer akış, momentumu ve türbülansı aktaramadığından, tankın her tarafına kuvvetin aktarılması için laminar akışta kullanılan pervaneler büyük olmalıdır.

Şekil 2.18' de karıştırma ekipmanlarında mevcut olan dört önemli akış tipi kabaca gösterilmektedir. Şekil 2.18 (a)' da gösterilen eksenel akış modeline, kanatları eğimli türbinler ve su pervaneleri neden olur. Bu tip pervaneler katıyı süspansiyon haline getirmek, sıvı içerisinde askıda kalmasını sağlamak için kullanılırlar. Görülen akış modeli sayesinde katılar çökelmeden tank dibinden süpürülmesi sağlanır.

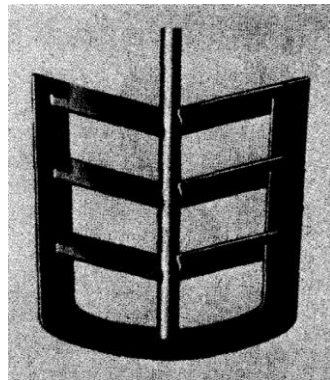
Şekil 2.18 (b) ve (c)' de radyal akış modeline sebep olan pervaneler dikey düz kanatlı pervanelerdir.

Şekil 2.18 (d)' deki çapa ve helis pervaneler, çok yüksek viskoziteye sahip olan sıvılar içindir. Çapa ve helis pervanelerin kullanıldığı sıvılarda laminar akış koşulları mevcuttur. Newtoniyen olmayan yüksek viskoziteye sahip birçok çözelti için bu pervaneler kullanılır. Bu sıvılarda çapa, sarmal şerit, vida tipinde pervanelerde kullanılmaktadır. Ebatlarının büyüklüğü ve mekanik olarak elverişsiz oluşundan ötürü pervane hızları düşüktür. Bu pervanelerin kullanıldığı sistemlerde hem akım kırıcılar için uygun yer yoktur, hem de kullanılmasına ihtiyaç yoktur.

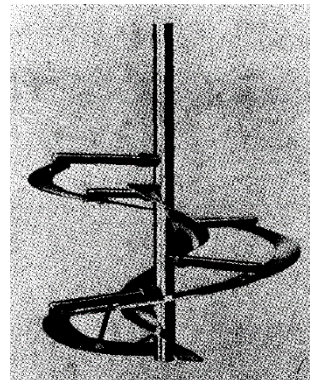
Şekil 2.16 (a)(1)' de gösterilen altı diskli türbin pervanesi, karıştırma işlemlerinde en çok kullanılan pervane türüdür. Bu pervaneye karıştırma alanında çalışmalarıyla öncü olan J. H. Rushton' dan ötürü Rushton çarkı da denmektedir.

	
Disk kanatlı türbin	Kavisli kanatlı türbin
	
Açık kanatlı sıvı itici eksenel çark	45° eğimli türbin çarkı, açık tip
	
Üç kanatlı pervane	

Şekil 2.16 Bazı yaygın pervane tasarımları, türbülanslı akış için pervaneler (Brodkey, 1988).

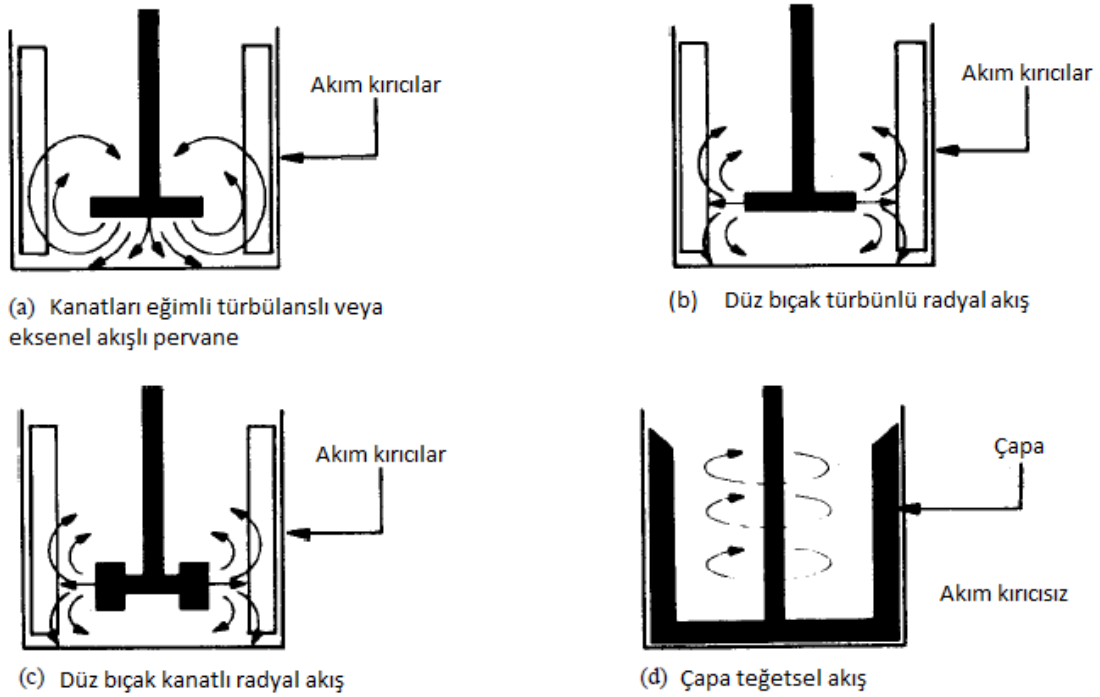


(1) Çapa tip



(2) Helis tip

Şekil 2.17 Bazı yaygın pervane tasarımları, laminar akış için pervaneler (Brodkey, 1988).

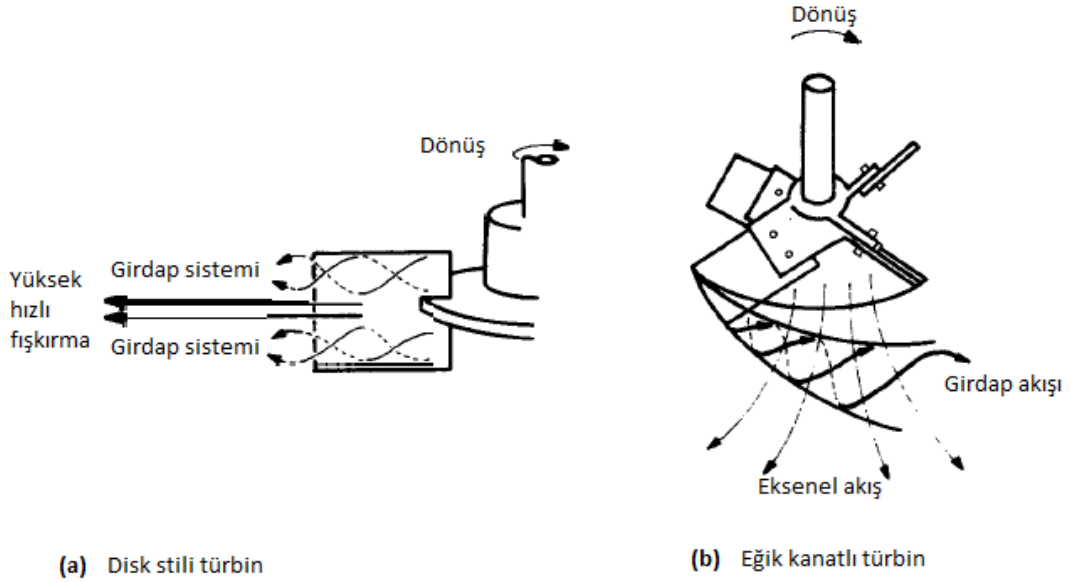


Şekil 2.18 Karıştırma akış rejimleri (Brodkey, 1988).

Çarkın etrafında oluşan akış modellerinin görselleştirilmesi birçok önemli çalışmaya kaynak olmuştur. Özellikle çark çevresinde karmaşık akış hareketleri ve yüksek hızlı sapmalar gözlemlenmiştir. Bir akışkanın dairesel olarak hareket oluşturmaya girdap (vorteks) denir. İki ana akış hareketinden bahsetmek için girdap terimi kullanılır. Bu akış hareketlerinden ilki pervane yakınlarında oluşan girdaptır. İkincisi ise akım kırıcısız bir tankın merkezinde oluşan girdaptır.

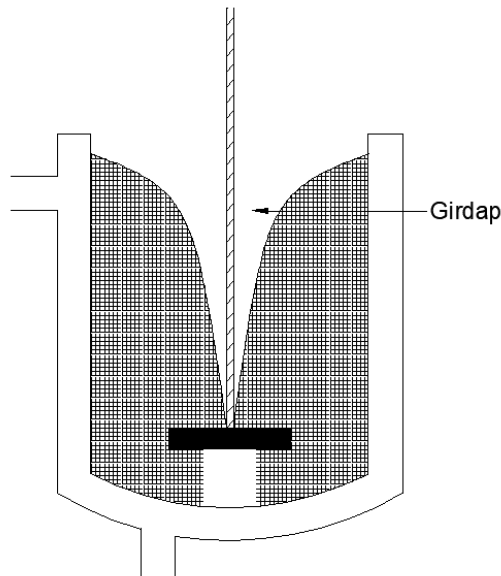
Pervane yakınlarında oluşan girdap yerel türbülanslı akışa bağlıdır. Şekil 2.19(a)' da gösterilen disk tipi pervane, radyal yönde yüksek hacimde bir akış boşaltmasıyla kanadın önündeki sıvı kanat boyunca kanadı zorlar. Kanat akışın üzerinden geçtikten sonra kanadın arkasında akışkan yeniden kendine yer bulmaya çalışır. Bu da girdapların ortaya çıkmasına sebep olur.

Şekil 2.19 (b)' de gösterilen kanatları eğimli pervanelerin, kanatları arkasında oluşan girdaplar uçağın kanatlarında meydana gelen girdaplara benzemektedir. Bu girdapların daha iyi anlaşılması için sürekli çalışmalar devam etmektedir ve daha da fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2.19 Akış sistemleri ve türbülanslı girdaplar (Brodkey, 1988).

Hemen hemen tüm endüstriyel uygulamalarda, türbülanslı bölgede girdap oluşması için akım kırıcıların konulması gereklidir. Akım kırıcılar olmadan Şekil 2.20’ de gösterildiği gibi merkezde bir girdap oluşur, akışkan ve sınır tabaka arasında kayma ile akışkan sadece kap etrafında döner. Buna örnek olarak bir bardak çayı, bir bardak kahveyi veya bir bardak ayranı kaşıkla karıştırma verilebilir. Bu olaylar yukarıda bahsedilen iki ana akış türünden ikincisini yani akım kırıcısız tankta meydana gelen türünü anlatmaktadır. Akım kırıcı konulmamış bir tankta sisteme güç girişi daha azdır. Güç girişinin az olması bir dezavantajdır.



Şekil 2.20 Akım kırıcısız bir tankta girdap oluşumu.

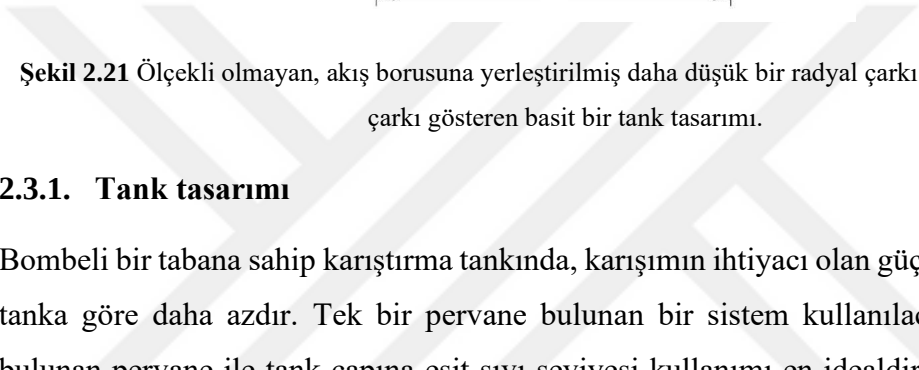
Şekil 2.20' de gösterilen girdap türü, bazı nedenlerden dolayı karıştırma işlemlerinde istenmemektedir. Bunun sebeplerinden birincisi, akışkan, temas bölgeleri boyunca kayma hareketiyle kayar ve bu temas bölgelerinde çok zayıf bir karıştırma meydana gelir. Çünkü pervane ve akışkan yaklaşık olarak aynı açısal hızlarda hareket ederler. İkinci sebebi, yine Şekil 2.20' ye bakıldığında sıvı pervanesinin üst noktasından daha düşük seviyeye düşebileceğinden, hava düşük pervane devirlerinde bile sıvıya tutunup kabarcıklara neden olabilir. Üçüncü sebep ise girdap oluşumu sıvı seviyesini yükselteceğinden taşmaya sebebiyet verebilir. Fakat bu girdap türü çöktürme uygulamalarında katıları batırma mekanizması olarak kullanılabilir.

Akım kırıcıların, bilimsel çalışmalara ve araştırmalara göre dört tane eşit aralıklı kullanılması en iyi performansı verdiği görülmüştür. Ayrıca büyük tanklarda tank içerisinde akım saptırmalarını sağlamasının yanı sıra, yüzey dalgalarını da kırmak için akım kırıcı akışkanın yüzeyine kadar yükseltilebilir.

Ayrıca Şekil 2.20 merkeze yerleştirilmiş pervaneyi göstermektedir. Alternatif tasarımlarda, yandan giren pervaneler, aynı mil üzerinde çoklu pervaneler, merkez dışına konulmuş pervaneler ve her biri kendi tahrik motoruna ve dişli tahrikine sahip tankın etrafında ayrı olarak konulmuş çoklu pervaneler de dahil olmak üzere başka seçenekleri mevcuttur.

2.3. Karıştırıcı Tasarımı

Bir tankın tasarımında, kullanılacak olan akışkanın boyutları, pervanesinin yapısı, sayısı ve boyutları, akım kırıcıların ve diğer iç yapıların sayıları, boyutları ve dizilişleri, tank tasarımı istenilen karıştırma kalitesinin elde edilmesi için gerekli olan enerji miktarını belirleyen faktörlerdir. Bu faktörler karıştırma işleminin amacına bağlıdır. Bu amaç karışımın homojenliğini korumak, çöktürme işlemini gerçekleştirmek, gaz dağıtmak, karışımın reaksiyona girmesini sağlamak, çözeltinin ısı ve kütle transferini arttırmak veya azaltmak olabilir. Bu amaçlar doğrultusunda temel tasarım faktörleri, örnek olarak Şekil 2.21' de gösterilmiştir.



2.3.1. Tank tasarımı

2.3.2. Akım kırıcılar

2.3.3. Akış borusu

2.3.4. arklar

arklar yani pervaneler, çark boyutlarına göre, hızlarına göre, yerleşimlerine göre ve tiplerine göre sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırma, istenildiğı taktirde arttırılabilir fakat temel olarak bu çalışma için böyle sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

2.3.4.1. ark boyutları

Bu, ark türüne ve etkileri ilişkilendirilmiş özgün nitelikleriyle birlikte Reynolds, Froude ve Power sayıları tarafından belirtilen çalışma koşullarına bağılıdır. En çok kullanılan türbin çarkı için, gaz dispersiyonunda pervane ve tank çaplarının oranı yüksek devirlerde daha düşük değerlerdedir.

2.3.4.2. ark hızı

Piyasada bulunan motorların ve hız düşürücülerin standart hızları 37, 45, 56, 68, 84, 100, 125, 155, 190 ve 320 devirdedir. ark hızları da motor hızına bağımlı hareket ettiğinden ek bir aktarma organı kullanılmadığı taktirde bu devirlerde hareket edecektir. ark hızı karışım hızını doğrudan etkileyen önemli faktörlerden biridir.

2.3.4.3. ark yerleşimi

Literatürde farklı uzmanlara ve kaynaklara göre farklı yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımlardan biri pervanenin tabandan $1/16$ oranında sıvı seviyesine yerleştirilmesidir. Pervanenin mil üzerindeki konumu da uygulamaya göre farklılık gösterebilir. Karışım katının çökmesi istendiğı durumlarda pervane tank tabanından $1/3$ mesafesindeki uzaklığa yerleştirmek gerekir. Bu varsayımlar temel olarak Dickey (1984)' in tarafından geliştirilen kriterlere (sıvının viskozitesine ve sıvı derinliğinin tank çapına oranına) dayanmaktadır.

Bir veya iki pervanenin gerekip gerekmediğı ve uygulamaya göre tankın altındaki mesafeler Tablo 2.1' de gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Viskoziteye göre pervane sayıları ve mesafeleri (Shah, 2012).

Viskozite [cP(Pa·san)]	Maksimum seviye h/D_t	Çark sayısı	Çark Açıklığı	
			Alt	Üst
<25,000(<25)	1.4	1	$h/3$	-
>25,000(<25)	2.1	2	$D_t/3$	$(2/3)h$
>25,000(>25)	0.8	1	$h/3$	-
>25,000(>25)	1.6	2	$D_t/3$	$(2/3)h$

2.3.4.4. Çark tipleri

Sıvıyı eksenel olarak sirküle eden ve öncelikle radyal sirkülasyon oluşturanlar için temel bir sınıflandırma yapılacaktır. Kullanılmakta olan birçok şekilden bazıları kısaca açıklanacaktır.

Akış durumları eksenel veya radyal doğrultudadır. Bu akış durumlarından hangisi baskın ise akış ona uygun şekilde sınıflandırılır. Akışın, tank yüzeyine çarparak geri dönen yansımaları, akım kırıcıların ve tankın içerisindeki diğer ekipmanlar tarafından oluşan engelleri nedeniyle çoğu zaman akış modelleri karıştırılmıştır.

Belirli bir pervane şeklinin performansı genel olarak bir niceliğe bağlı olarak tahmin edilemediği için, pervane tasarımı büyük ölçüde bir yargılama uygulamasıdır. Bu sebepten dolayı çeşitli üreticiler ve araştırmacılar tarafından önemli bir çeşitlilik ortaya konmuştur.

2.4. Tasarım Değişkenleri

Şekil 2.8’ deki boyutlara ek olarak aşağıda bulunan Tablo 2.2’ de tanımlanan tasarım değişkenleri görülmektedir. Bu değişkenler güç ve tork hesabı için kullanılır.

Bir karıştırma ekipmanının asıl işletme maliyeti, güç maliyetidir. Türbülanslı akışta güç, sıvının yoğunluğuna, çarkın dönme hızına ve Tablo 2.2’ de gösterildiği gibi, çark çapına bağlıdır. Laminer akışta, P gücü viskoziteyle, dönüş hızıyla ve çark çapıyla orantılı olarak değişmektedir.

Tablo 2.2 Karıştırma tasarım değişkenleri (Brodkey, 1988).

Sembol	Öge	Türbülans eşitliği	Laminer eşitlik
P	Güç	$k_1 \rho N^3 D^5$	$k_2 \mu N^2 D^3$
V	Tank Hacmi	$k_3 T^3$	$k_3 T^3$
P/V	Birim hacim başına güç	$k_4 N^3 D^5 / T^3 = (k_4 \rho N^3 D^2)(D/T)^3$	$k_5 \mu N^2 D^3 / T^3 = k_5 \mu N^2 (D/T)^3$
T _q	Tork	$P/N = k_6 \rho N^2 D^5$	$k_7 \mu N D^3$
T _q /V	Birim hacim başına tork	$k_8 \rho N^2 D^5 / T^3 = k_8 \rho N^2 D^2 (D/T)^3$	$k_9 \mu N D^3 / T^3 = k_9 \mu N (D/T)^3$
U _t	Çevresel hız	$\pi N D$	$\pi N D$

2.5. Boyutsuz Sayılar

Tablo 2.3’ de, karıştırma işleminde kullanılan boyutsuz sayılar görülmektedir. Bu sayıların kullanılma açıklamalarına bu tabloda ufak olarak yer verilmiş olsa da aşağıda ayrı ayrı maddeler halinde incelenecektir. Bunlardan altı tanesi kişisel görüşlere açıktır ve oldukça önemlidir.

2.5.1. Reynolds sayısı

Karıştırma için Reynolds sayısı

$$N_{Re} = D^2 N \rho / \mu \quad [2.1]$$

Karıştırmada, boru akışı için üç akış bölgesi vardır: laminar, geçiş ve türbülanslı akış. Bir karıştırma ünitesi için, devir sıfırdan başlayarak yavaş yavaş artırıldığında, başlangıçta laminar akış rejimi vardır. İlerledikçe laminar akışın sonu ve türbülanslı akışın tamamen başladığı bir süreç vardır.

Büyük bir geçiş bölgesi $N_{Re}=10'$ dan $N_{Re}=10^3'$ e kadar olduğu bilinmektedir ve bu değer pervane tipine göre değişiklik göstermektedir. Reynolds sayısı yükselmeye başladıkça çarkın etrafında girdaplar görülmeye başlar (yüzey girdapları yoktur). Yüksek Reynolds sayılarında, güç sayısı, sadece pervane geometrisine bağlı olma eğilimindedir ve Reynolds sayısından bağımsızdır. Ayrıca D/T oranı genellikle sabit olduğundan ve ölçek büyütme üzerinde 1/3' e eşit olduğundan, çarkın Reynolds sayısı aynı dönme hızı N için tank büyüklüğünün karesiyle artar.

Tablo 2.3 Karıştırma boyutsuz sayılar (Brodkey, 1988).

İsim	Sembol	Tanımlama	Açıklamalar
Blend	N_b	NO	Düzgün karışma veya karıştırma ile ilgili
Froude	N_{Fr}	$N^2 D/g$	Akım kırıcısız sistemler için N_{Po} ve N_{Re} arasındaki bağıntı
Nusselt	N_{Nu}	hT/k	Bir karıştırma ünitesine (ceketli veya diğer şekillerde) ısı transferi
Power	N_{Po}	$P/(\rho N^3 D^5)$	Eğer $N_{Re} > 10\ 000$ ise akım kırıcılı sistemlerde sabittir
Prandtl	N_{Pr}	$c_p \mu/k$	Isı transfer ilişkisi için akışkan özellikleri
Pumping	N_P	$Q/(ND^3)$	Çark pompalama kapasiteleriyle ilgili
Reynolds	N_{Re}	$D^2 N \rho/\mu$	$N_{Re} < 10$ ise laminar akış, $N_{Re} > 10\ 000$ ise türbülanslı akış
Schmidt	N_{Sc}	$\mu/(\rho D_L)$	Kütle transfer ilişkisi için akış özellikleri
Shetwoodt	N_{Sh}	$k_L T/D_L$	Bir karıştırma ünitesinde çözücü ve çözünen arasında kütle aktarımı
Weber	N_{We}	$N^2 D^3 \rho/\sigma$	İki fazlı sistemler için yüzey davranışı ile ilgili

2.5.2. Power sayısı

Power sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N_{Po} = P / (\rho N^3 D^5) \quad J \cdot s^{-1} \quad [2.2]$$

Power sayısıyla, Şekil 2.22' de gösterildiği gibi akım kırıclı sistemler için Reynolds sayısı arasında orantılı bir ilişki görülmektedir. Şekil 2.22' de görülen bu sonuç, güç sayısının 10^3 - 10^4 Reynolds' un üzerindeki akım kırıclı sistemlerde Reynolds sayısının sabit ve bağımsız olmasıdır. Pervaneye bağlı olarak:

$$N_{Po} = \frac{P}{\rho N^3 D^5} = \text{sabit} \quad [2.3]$$

Aynı karışımı minimum maliyette gerçekleştirmek istendiğinde birtakım faktörler devreye girmektedir. Eşitlik (2.3)' deki denklemde, yüksek Reynolds sayılarında (yani N_{Po} ve D sabit) güç tüketiminin, hızın küpü olarak arttığı belirtilmektedir.

2.5.3. Froude sayısı

Karıştırma için Froude sayısı Eşitlik (2.4)' de tanımlanmıştır.

$$N_{Fr} = N^2 D / g \quad [2.4]$$

Bu sayı yerçekimi kuvvetlerini içerir ve güç sayısı üzerindeki yüzey hareketinin (örneğin merkez girdabı) etkisini hesaba katmak için kullanılır. Bu nedenle Froude sayısı, akım kırıclısız sistemler için N_{Re} ve N_{Po} bağıntısına eklenmiştir. Akım kırıclısız sistemlerde merkez girdabı oluşmaz ve bu nedenle Şekil 2.22' deki eğriler Froude sayısından bağımsızdır.

2.5.4. Blend sayısı

Blend sayısı Eşitlik (2.5)' de tanımlanmıştır.

$$N_b = N\theta \quad [2.5]$$

Karıştırma süresi, karıştırılabilir sıvıların veya gazların karıştırıcı tank hacmi boyunca homojen olarak karıştırılması için gerekli sürenin bir ölçüsüdür. Blend sayısı sabit ise karışım süresi, fan hızının tersi ile orantılıdır. Bağıntılar, Blend sayısının hem laminar hem de türbülanslı karıştırma için sabit olduğunu; ancak sabitin her iki rejim için farklı olduğunu gösterir.

2.5.5. Pumping Sayısı

Pumping sayısı N_p , pervane pompalama hızı Q (yani birim zamanda pervane alanı boyunca hacimsel akış oranı) ile pervanenin hızıyla ve boyutuyla ilişkilidir:

$$N_p = \frac{Q}{ND^3} \quad [2.6]$$

Eşitlik 2.6, aşağıda verilen eşitlik 2.7' de kullanışlı hale getirilmiştir ve burada y yaklaşık olarak 0.5' dir.

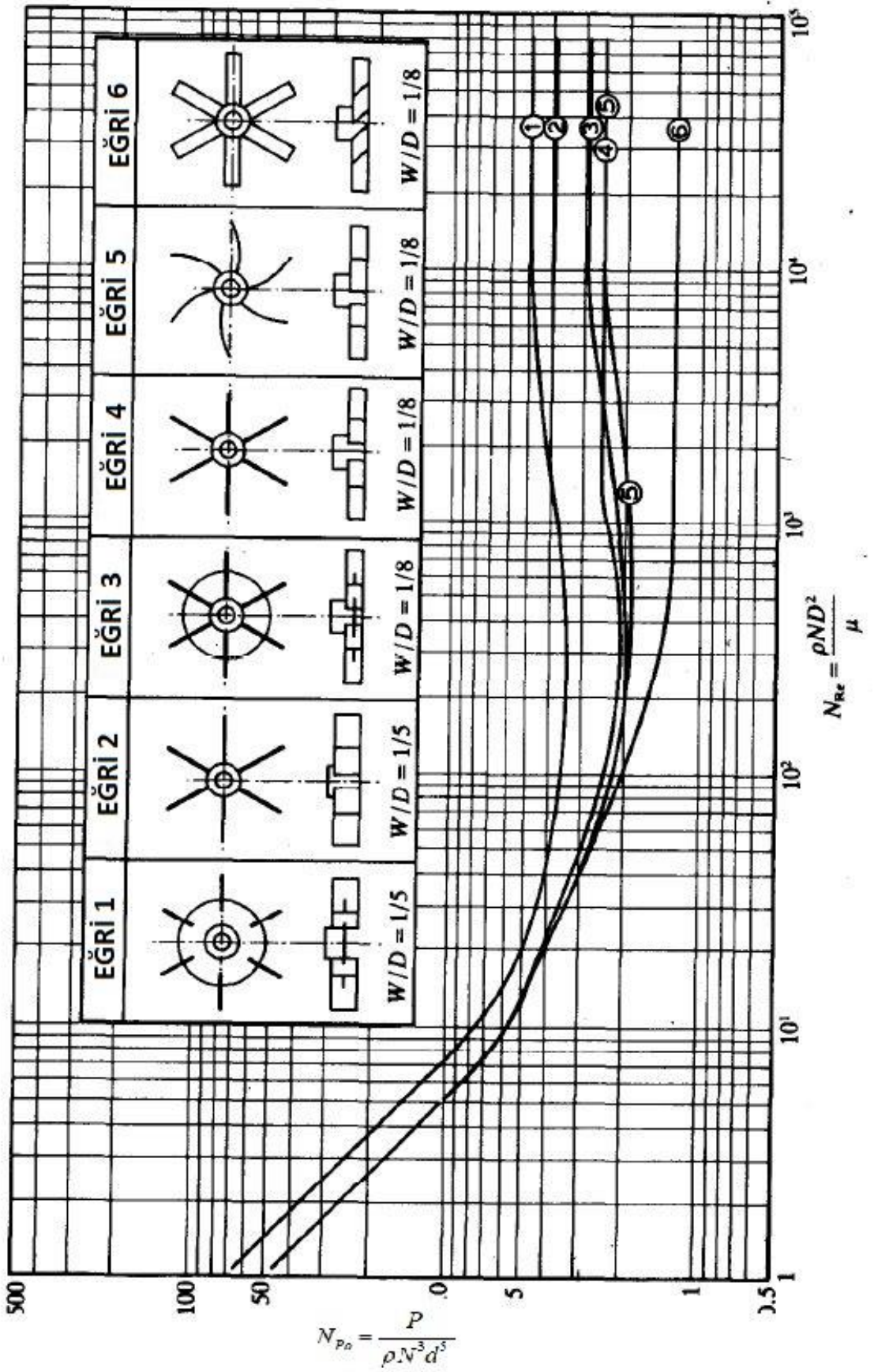
$$N_p = \frac{Q(D/T)^y}{ND^3} \quad [2.7]$$

2.5.6. Weber sayısı

Karıştırma için pervanenin Weber sayısı

$$N_{We} = N^2 D^3 \rho / \sigma \quad [2.8]$$

Birçok dispersiyon işleminde hem atalet hem de yüzey kuvvetlerinin öneminden dolayı, Weber sayısı önemlidir (Brodkey, 1988).



Şekil 2.22 Akım kırıcı tank için bazı türbin pervanelerinin Re sayısına göre güç sayıları (Brodkey, 1988).

3. SONLU HACİM METODU

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), bilgisayar destekli simülasyonlarla akışkanların, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonları gibi birbirleriyle ilişkili sistemlerin analizidir. Endüstriyel olan ve olmayan tüm alanlarda, güçlü çözüm tekniklerine sahip olmasından dolayı kendine uygulama alanı bulur. Bu alanlardan bazıları aşağıdadır:

- Taşıt aerodinamiği (uçaklar, kara taşıtları, trenler vs.)
- Gemi hidrodinamiği
- Türbin makinaları
- Elektronik cihaz ve devrelerin soğutulması
- Kimyasal olan karıştırma, ayrıştırma ve polimerleşme işlemleri
- Yapıların izolasyonu, ısıtma ve soğutma sistemleri
- Deniz yapılarına yüklenmiş yüklerin analizi
- Nehir, okyanus ve akarsu akışları
- Meteoroloji: hava tahmini
- Canlılar üzerindeki kan dolaşımı, damarlar ve arterlerde kan geçişinin analizi

HAD' nin deneysel olarak yapılan analizlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar:

- İlk tasarım sürecinin nihai sonuca ulaşma süresindeki önemli miktarda azalış ve tasarım maliyetinin minimuma düşmesi.
- Yeni tasarım süresinin ve maliyetinin kısalması.
- Kontrollü deneylerin yapılmasının çok zor veya imkânsız olan sistemlerin detaylıca araştırılması.
- Tehlikeli sistemlerin, güvenli biçimde incelenebilmesi.
- Sonuçların en ince ayrıntısına kadar detaylı şekilde inleyebilme.

CFD denklemleri, zorlu sistemlerde dahil olmak üzere parametrelerin incelenmesine olanak sağlayan sayısal akış problemlerinin üstesinden gelebilecek sayısal işlemler kümesi etrafında kolaylıkla çözümlenmektedir. Bu çözümlemelerin kolaylıkla yapılabilmesi için ticari CFD paket programları oluşturulmuştur. Bu paket programlar üç temel adım ile çalışmaktadır. Bunlar pre-processing, solution ve post- processing adımlarıdır.

3.1.1. Pre-processing

Pre-processing adımımda paket program arayüzü aracılığıyla problemin CFD programına aktarılması ve uygun bir biçimde uygun çözücüler yardımıyla işlenmeye uygun hale getirildiği süreçtir. Pre-processing adımımda yapılan işlemler sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- Geometriyi tanıma ve hesaplama hacmi ve alanının girdisi.
- Alanın sonlu elemanlara ayrılması, yani büyük parçacıkların daha kolay kontrol edilebilmesi için hacimlere bölme işlemi, hücrelere ayırma.
- Geometrinin fiziksel ve kimyasal şartlarını belirleme.
- Malzemenin özelliklerini belirtme.
- Alan sınır şartlarının belirlenmesi.

Akış probleminin hız, basınç, sıcaklık vb. özelliklerinin çözümü, sonlu elemanlara ayrılan her bir hücrenin birbiriyle bağlandığı düğüm noktalarında gerçekleşir. Bundan ötürü sonlu eleman sayısının yükselmesiyle doğru orantılı olarak çözüm doğruluğu da o denli yükseleceği bilinmelidir.

3.1.2. Solver

Bir akış, sonlu fark yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi veya spektral yöntemlerinden biriyle çözümlenebilir. Tezde sonlu hacim yöntemi, Ansys Fluent paket programı kullanıldığından sadece bu yöntemle ilgilenilmiştir. Bu adımda yapılan işlemler aşağıda sırasıyla belirtilmiştir:

- Sınır şartlarının tüm sonlu hacim kontrol sistemi üzerinde akış denklemlerine entegrasyonu.
- Ortaya çıkan akış denklemlerinin integral halinin cebirsel denklemlere dönüştürülmesi.
- Ortaya çıkan bu denklemlerin iteratif yöntemlerle çözümü.

Kontrol hacmi yöntemi, sonlu hacimler yönteminin tüm tekniklerinden ayrılır. Sonlu elemanlara ayrılan her bir hücrenin özelliklerinin tam olarak bilinmesini ifade eder. Meydana gelen akış değişimlerinde bu hücrelerin değişkenlerinin korunması ve akışın meydana getirdiği süreçlerin dengesini ifade etmektedir.

3.1.3. Post-processor

Bu adım diğer adımlarda elde edilen sonuçların görselleştirilmesi işlemidir. Bu adım ile aşağıdakiler elde edilebilir:

- Geometri alanı ve mesh görünümü,

- Vektör grafikleri, çizgi grafikleri, gölgeli analiz grafikleri,
- 2 boyutlu ve 3 boyutlu yüzey grafikleri,
- Sonlu hacimlere ayrılan bir hücre takibi,
- Oluşturulan verilerin renkli olarak çıktısı,
- Simülasyon eldesi.

3.2. Ansys Hakkında

Ansys endüstriyel ve endüstriyel olmayan alanda, mühendislik çalışmalarında analizlerin ve simülasyonların yapıldığı mühendisler için geliştirilmiş olan paket programıdır. Bu programda mekanik analizler, yapısal analizler, akışkan analizleri ve ısı transfer analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Çok yüksek maliyete sebebiyet veren karmaşık yapıların, ölçeği bir hayli büyük olan sistemlerin veya çalışma koşullarının tehlikeli olduğu sistemlerin analizi rahatlıkla sonlu elemanlara bölünerek, her bir hücrenin birleştiği birleşim noktasında ayrı ayrı sonuçların alınması ve elde edilen bu sonuçların birleştirilerek tutarlı bir sonuç alınmasını sağlayan ticari paket programıdır.

Günümüzde çok fazla tercih edilen, birçok mühendislik alanında aktif olarak kullanılan programlardan biridir. Birçok farklı alanda kullanılması ve farklı amaçlara hizmet edebilmesi için birçok bileşeni mevcuttur. Bu bileşenlerden en çok ve en etkin olarak kullanılan bileşenleri Mechanical ve Fluent bileşenleridir.

3.2.1. Ansys mechanical

Malzemelerin sahip olduğu esneklik, elastikiyet, dayanım ve çoğaltılabilir birçok özelliğin belirlenen sınır koşulları altında yüklerin, gerilmelerin, termal değişimlerin uygulandığı ve uygulamadan sonra sonuçların alındığı, elde edilen sonuçlara göre de grafiklerin ve bu grafik ve sonuçlara bağlı simülasyonların elde edildiği bölümdür.

3.2.2. Ansys fluent

Endüstriyel olan ve olmayan birçok uygulamada akışın, tübülansın, ısı transferinin ve bunlara bağlı reaksiyonların gerçekleştirildiği, yine belirlenen sınır koşulları altında basınç, sıcaklık, akış hızı vs. çoğaltılabilir birçok özelliğin sonuçlarını hesaplamalı akışkanlar dinamiği hesaplamalarıyla veren, bu sonuçlara göre grafik ve sonuca bağlı simülasyonların elde edildiği bölümdür. Tez çalışması Ansys Fluent bileşeni ile gerçekleştirilmiştir.

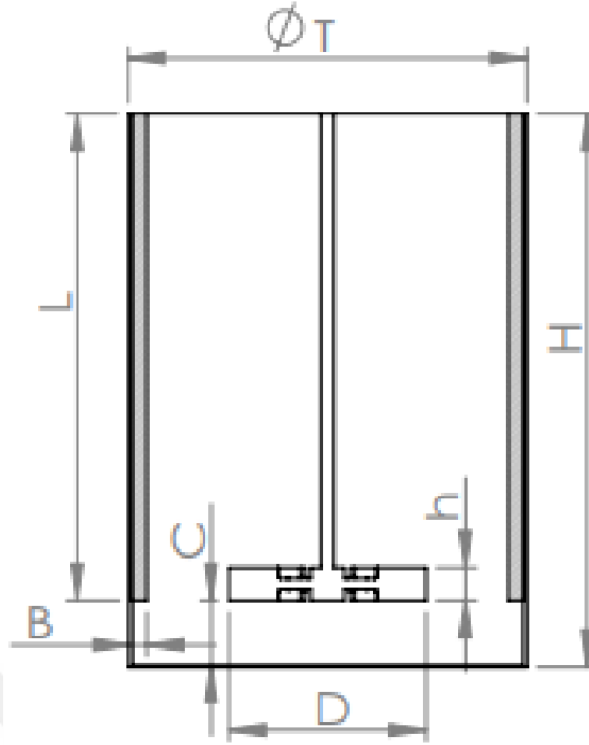
3.3. Sonlu Hacimler Uygulaması

Çalışmada ANSYS Fluent 18 programında gerekli simülasyonlar oluşturularak ve veriler raporlanarak yorumlanmıştır. Karıştırma işleminin simülasyonları, bir ANSYS Fluent 18 çözücüsü kullanılarak HAD’ de yapılmıştır. Kullanılan tasarım modeli literatürde bulunan ve ölçüleri bilinen bir modeldir (Şekil 3.1), (Tablo 3.1). Literatürle kıyaslama yapılmış ve kanat açıları değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Türbülans simülasyonunun amacı, sayısal yöntemlerle bir sistemde üretilen türbülanslı akışın fiziksel davranışını tahmin etmektir. Mühendislik uygulamalarındaki üç boyutlu hareketler, homojen ve izotrop değildir. Bu davranışı simüle etmenin çeşitli yöntemleri, işlem sonrası değişken akış alanlarının istatistiksel olarak tanımlanmasını sağlar. Kullanılan modelleme yöntemi doğruluk, basitlik ve hesaplama verimliliğini sağlamalıdır.

Karıştırılan tanklarda türbülanslı akış simülasyonu için birtakım yaklaşımlar kullanılmıştır. CFD durumunda, Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS), Large Eddy Simulation (LES) ve Direct Numerical Simulation (DNS) yaygın olarak kullanılan üç ana yöntemdir.

RANS tekniğinde, denklemlerin bir zaman aralığı boyunca veya eşdeğer alanların bir araya gelmesiyle ortalaması alınır. RANS hesaplamaları, kararlı durum çözümlerini tahmin etmek için pratik hesaplamalarda yaygın olarak kullanılır. Akış doğasındaki anizotropi, hesaplamada önemli bir belirsizlik getirmektedir.



Şekil 3.1 Karıştırıcı tank boyutlarını gösteren diyagram

Parametre	Sembol	Değer (mm)
Tank çapı	T	360
Tank yüksekliği	H	500
Çark çapı	$D = T/2$	180
Çark kanat genişliği	h	10
Akım kırıcı uzunluğu	L	440
Akım kırıcı genişliği	$B = D/12$	15
Çark açıklığı	$C = D/3$	60

Tablo 3.1 Karıştırıcı tank boyutları

Navier-Stokes denklemleri, türbülansın özelliklerini temsil etmek ve akış olaylarını tanımlamanın temelini oluşturmak için kullanılır. Türbülanslı akışların düzensiz yapısı, N-S denklemlerindeki doğrusal olmayan terimlerin doğrudan bir sonucu olarak hareket eder. Bu denklemler aşağıda verilen süreklilik, momentum ve enerji koruma yasalarına dayanmaktadır.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad [3.1]$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla \cdot p \quad [3.2]$$

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \nabla \cdot (e \mathbf{u}) = -\nabla \cdot (\mathbf{u} \cdot \mathbf{P}) - \nabla \cdot \mathbf{q} \quad [3.3]$$

Burada u , ρ , e ve q , sırasıyla hız bileşenleri, yoğunluk, birim hacim başına toplam enerji ve ısı akısıdır.

Newtonian bir akış için gerilme tensörü $\mathbf{P}$ aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\mathbf{P} = p(\rho, T) \mathbf{I} + \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} - \mu \left[(\nabla \mathbf{u}) + (\nabla \mathbf{u})^T \right] \quad [3.4]$$

Burada, p (ρ , T) skaler basınç, $\mathbf{I}$ birim diyagonal tensördür, T sıcaklıktır ve μ dinamik viskozite katsayısıdır. Böylece, Navier-Stokes denklemi verilebilir:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{P}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad [3.5]$$

K- ϵ modeli, RANS yaklaşımı altında iki denklemlilik bir yöntemdir ve burada değişken olmayan alanları tanımlamak için türbülanslı kinetik enerji (TKE) ve dağılıma oranı (ϵ) kullanılmıştır. Bu iki parametre, modellenmiş kısmi diferansiyel transport denklemlerini çözerek akış alanında elde edilmiştir.

Standart k- ϵ modeli, yüksek Reynolds sayı durumlarını çözer. Bu model, Reynolds gerilmesinin ortalama hız gradiyenti ile orantılı olduğu varsayımı üzerine formüle edilmiştir (Launder, 1974). Orantılılık sabiti, aşağıdaki gibi verilen eddy viskozitesi olarak alınır:

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad [3.6]$$

Burada k kinetik enerji, ε dağılma oranı ve C_μ , k- ε türbülans modeline bağlı bir parametredir.

Üç boyutlu akışlar için TKE' yi gösteren denklem aşağıdaki gibi temsil edilebilir:

$$k = \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) \quad [3.7]$$

Standart k- ε modeli için yönetimsel taşınım denklemleri (k-denklemleri ve ε -denklemleri) sırasıyla Denklemler (3.8) ve (3.9) ile verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \rho(P - \varepsilon) \quad [3.8]$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + \rho \frac{1}{\tau_d} (C_{1,\varepsilon} P - C_{2,\varepsilon} \varepsilon) \quad [3.9]$$

Burada, τ_d enerji spektrumundaki dinamik süreci karakterize eden dağılım oranı zaman ölçeği ve P türbülansın ölçeğidir. Sırasıyla,

$$\tau_d = \frac{k}{\varepsilon} \quad [3.10]$$

$$P = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad [3.11]$$

Standart k- ε modelinin ampirik sabitlerinin değerleri $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1$, $\sigma_\varepsilon = 1.314$, $C_{1,\varepsilon} = 1.44$ ve $C_{2,\varepsilon} = 1.92$ dir.

Standart k- ε modeli, çok çeşitli türbülanslı akışlar için makul doğruluk, zaman ekonomisi ve sağlamlığı bir araya getirir. K- ε modellerinin tahmin doğruluğunu arttırmak için daha

fazla denklem türetilmiştir. Bunlar gerçekleştirilebilir $k-\varepsilon$ ve $k-\varepsilon$ RNG (renormalizasyon grubu) yöntemlerini içerir.

Genel olarak, RANS modelleriyle ilişkili ana zayıflık, karmaşık akışların açık karakteristiklerini tatmin edici bir şekilde öngörememekte, çünkü $k-\varepsilon$ modeli türbülansının izotropisini varsaymaktadır. Karmaşık üç boyutlu akışların simülasyonunda Reynolds Stres Modeli (RSM), DNS ve LES modeli gibi anizotropik modeller uygulanmıştır.

RSM, girdap, rotasyon ve yüksek gerilim oranları ile akışları tahmin etmede iyi bir doğruluk sunar. Reynolds gerilmeleri için altı taşıma denkleminde ve dağılma oranı için bir denklemden oluşuyor, bu da hesaplama açısından daha zor hale geliyor. Bu model aynı zamanda parametrelerinde evrensellikten yoksundur ve akışın zamana bağlı sonucunu doğru olarak yakalayamamaktadır.

DNS, Navier-Stokes denklemlerinin üç boyutlu ve dengesiz bir çözümüne dayanmaktadır. Bununla birlikte, bu modelin dezavantajı Reynolds sayısı sınırlamalarıdır, çünkü yüksek bir Reynolds akış miktarının tüm ince ölçeklerinin çözünürlüğü muazzam hesaplama kapasitesine ihtiyaç duyar. Buna ek olarak, tam çözümlenmiş girdaplar sağlayıp sağlamadığını ispat etmek zordur, çünkü yetersiz hesaplama yeteneği ile pratik olmaz.

LES, akışa zamana bağlı davranışların çözüldüğü modelleme için olası bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Ortalama akışta üretilen büyük girdapların anizotropik olduğu ve uzun ömürlü olduğu fikrine dayanır. Öte yandan, atalet transferi ile üretilen küçük girdaplar daha fazla evrensel özelliklere sahiptir ve kısa bir ömre sahip izotropiktir ve bu nedenle modeli nispeten kolaydır. Bu modeli açıklayan denklemler, Navier – Stokes denkleminin filtrelenmesiyle elde edilir [kaynak]. Bu, ağ yapısında kullanılan boyut ölçekleri normal ölçekten daha küçüktür ki girdapları etkin bir şekilde birbirinden ayırır. Elde edilen denklemler, orijinal denklemin yapısını ve sonuçta ortaya çıkan alt-grid skala gerilmelerini (SGS) içerir. Büyük girdaplar doğrudan çözülürken, küçük girdaplar mevcut alt-grid-ölçekli modeller kullanılarak modellenmiştir.

Filtrelenmiş Navier-Stokes ve sıkıştırılamaz akışlar için LES'in koruma denklemi aşağıda gösterilmiştir:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad [3.12]$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad [3.13]$$

SGS' nin etkileri, aşağıdaki gibi temsil edilen altgrup ölçekli gerilme tensörüne yansır:

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \quad [3.14]$$

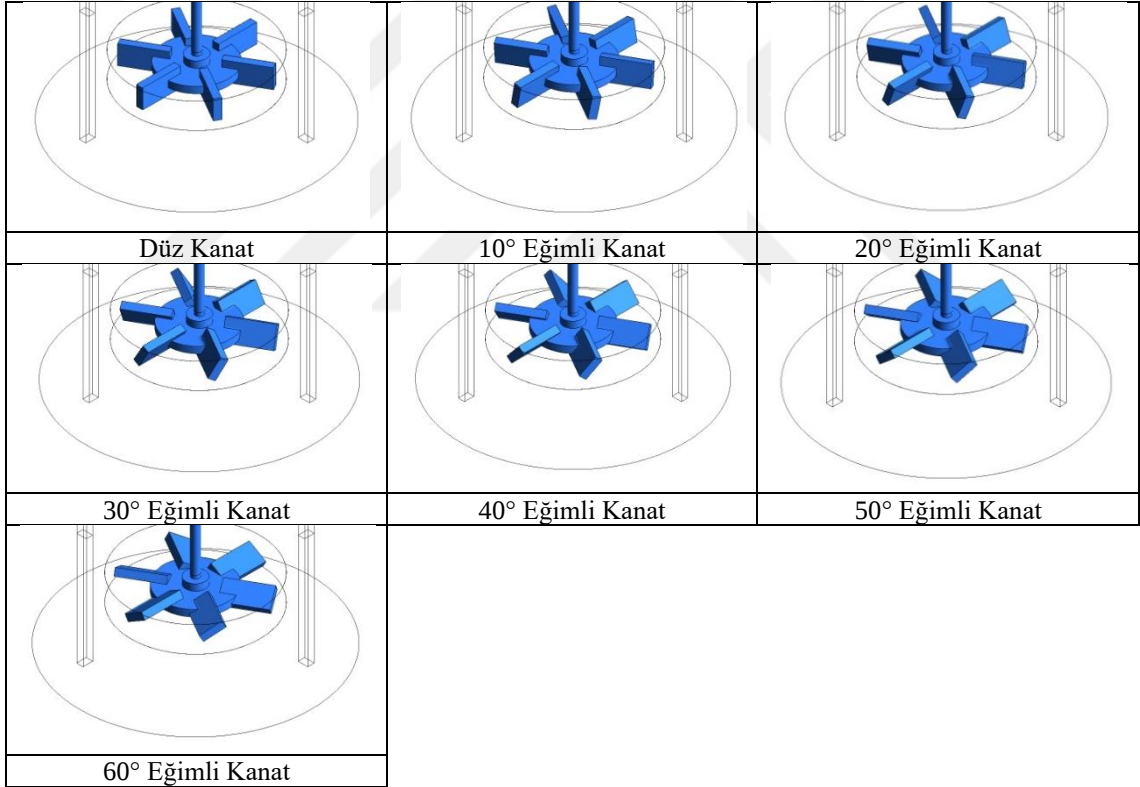
LES modeli, tüm akışkan ölçeklerini karmaşık bir akışta çözebilir: ancak sınırlı bilgisayar gücünün zorluğu hâlâ geçerlidir ve bu nedenle pratik endüstriyel uygulamalar için uygun değildir. Dahası, başlangıçta küçük ajitasyonun büyümesi sonucu ortaya çıkan, tam olarak türbülanslı akıma giden akışlarda aşırı yayılım söz konusudur [kaynak göster].

Bu nedenlerden dolayı türbülans modellemesi için RANS denklemlerinin türbülanslı karıştırma şemalarının gerçekçi ve ekonomik çalışması için kullanılan en uygun CFD aracı olduğu kabul edilir. Bu modeli kullanan simülasyonlardan elde edilen sonuçlar, çalışılan çarkların beklenen davranışının bir tahminidir ve hesaplamaların ölçeği ve aparatın yetersizliği nedeniyle deneylerde tam olarak doğrulanmamıştır. Bu etki için, gelecekteki çalışma, lazer Doppler velosimetri (LDV) veya parçacık görüntü velosimetresi (PIV) gibi güvenilir deneysel prosedürleri kullanmalıdır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Geometrik Model

Çalışmada, Rushton türbin modeli kullanılarak sayısal çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar literatürle uyumlu olarak tespit edilmiştir. Daha sonra bu modele düz model adı verilmiştir. Modelde 6 kanatlı bir pervane kullanılmış ve karıştırıcı tanka 4 adet akım kırıcı yerleştirilmiştir. Seçilen tank modeli düz tabanlı silindirik kap şeklindedir. Düz modelde kullanılan pervane kanatlarına açılar verilerek (10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60°) sırasıyla sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Farklı dönüş (600 rpm, 750 rpm, 1000 rpm) hızlarındaki bu sonuçlar oluşturulan her açıdaki model için tekrarlanmıştır. Modeller Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.

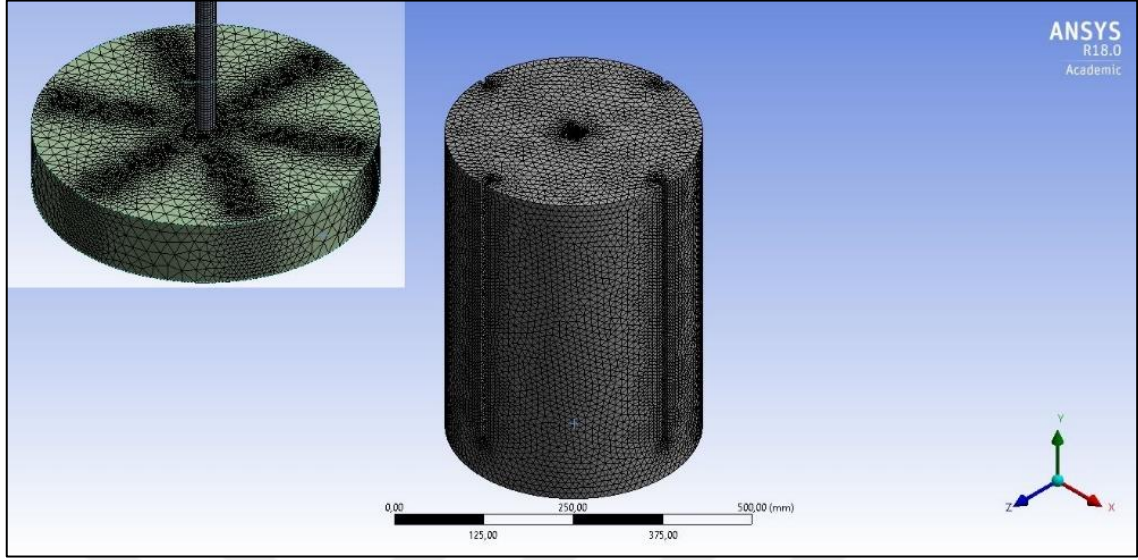


Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan pervane modelleri.

4.2. Ağ Yapısı

Çalışmada karma mesh yapısı kullanılmıştır. Modelin toplam mesh sayısı 922973 adet olarak seçilmiştir. Mesh bağımsızlığı olarak sayılmış 4 farklı mesh sayısı referans olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu referans mesh sayılarının karşılaştırmasında seçilen mesh

sayısının üzerine çıkıldığında sonuçlarda herhangi bir değişim görülmemiştir. Modelin mesh yapısı Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Oluşturulan meshin yapısal görünümü

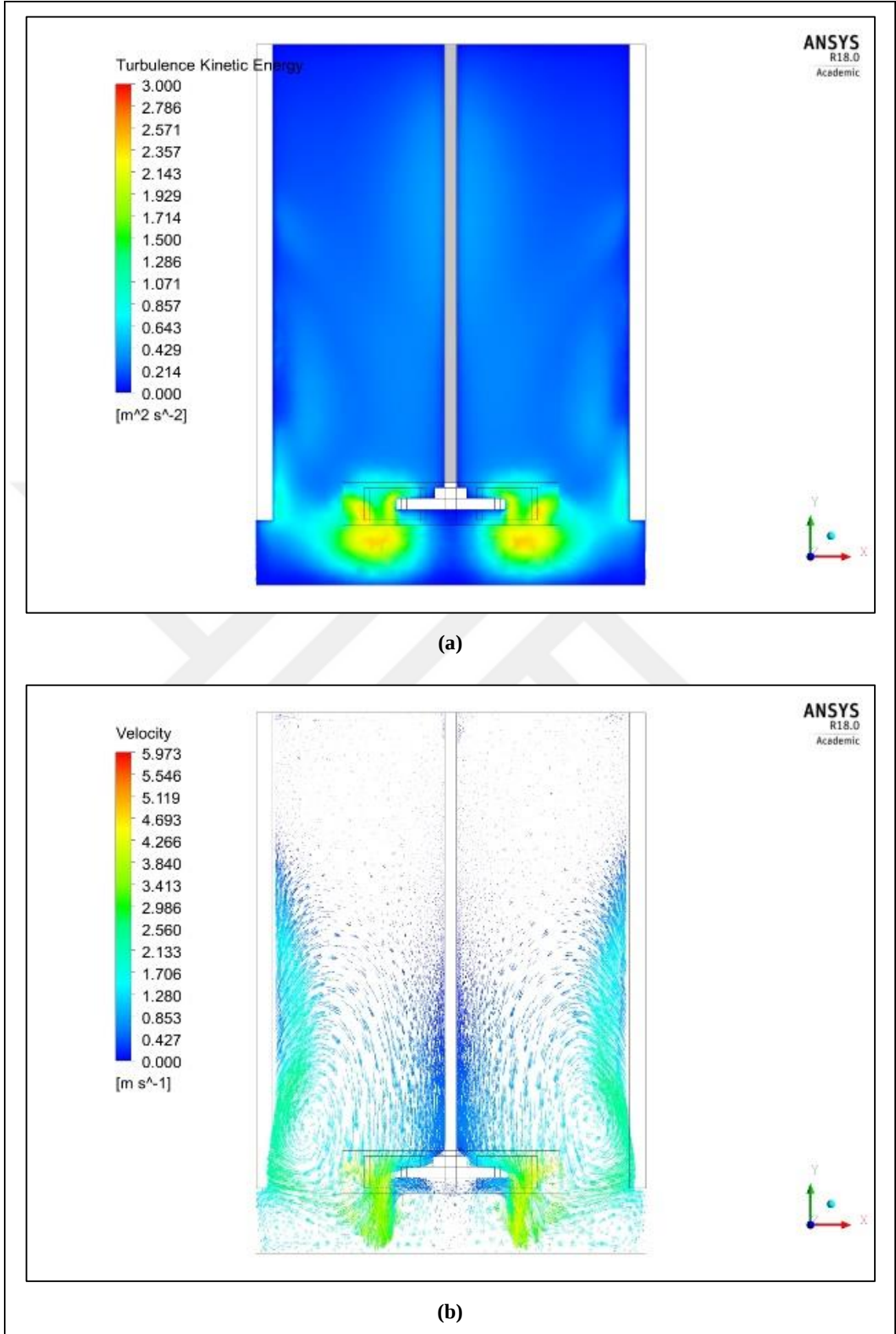
4.3. Sonlu Hacimler Yöntemi Uygulaması

4.3.1. 600 devirde farklı açıdaki pervanelerin karıştırma işleminin incelenmesi

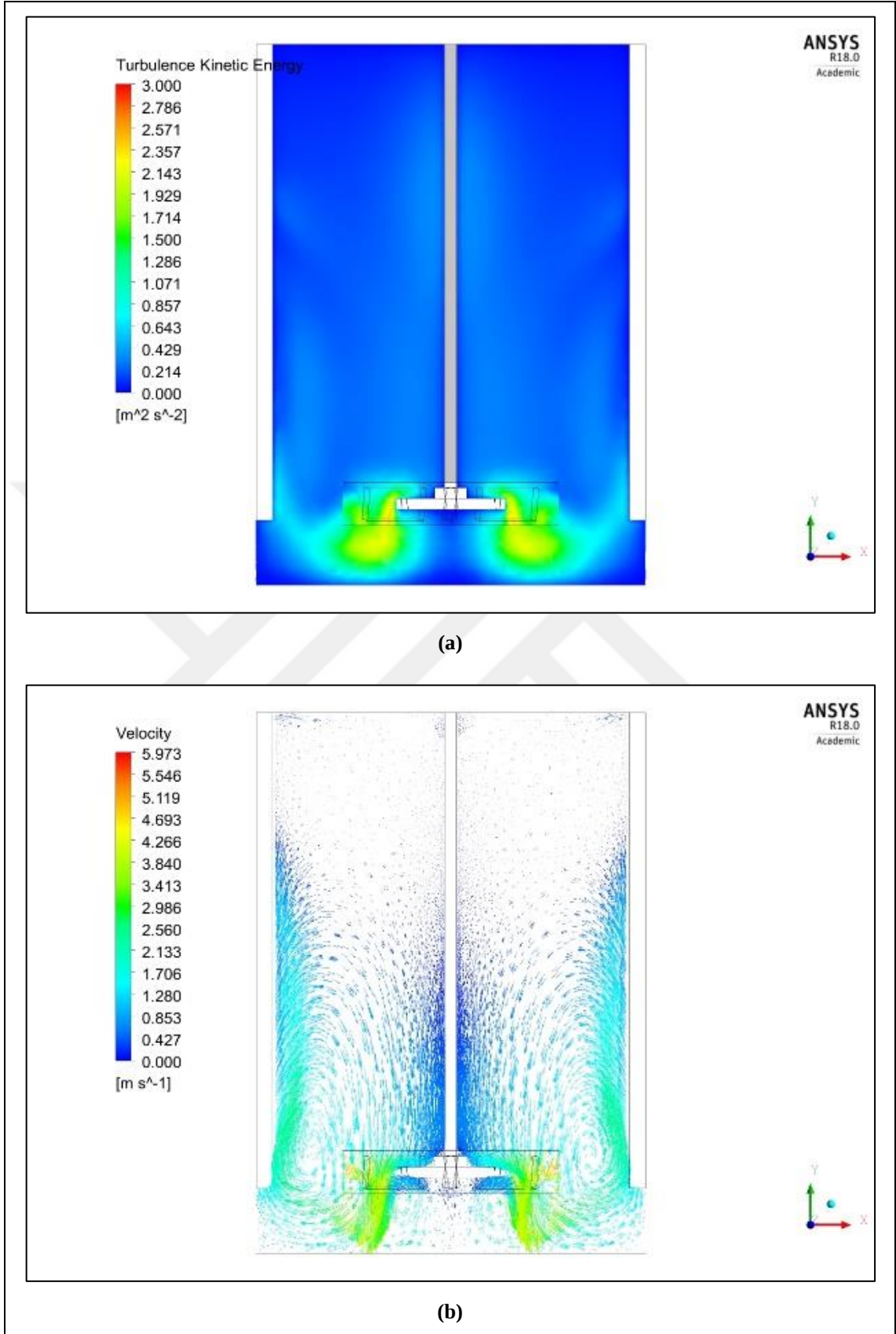
600 rpm hızında döndürülen pervanelerin nümerik incelemesi yapılmıştır. Elde edilen türbülans kinetik enerji grafikleri ve hız vektörleri düz, 10° eğimli, 20° eğimli, 30° eğimli, 40° eğimli, 50° eğimli ve 60° eğimli kanatlar için sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’ da verilmiştir.

Bu şekiller incelendiğinde kanat uç noktalarında türbülans kinetik enerji değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kanatçıkların arkasında türbülans ve akım girdaplarının oluşumu, akışın o bölgelerde hızlanmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla akışın hızlandığı bu bölgelerde atalet kuvvetlerinin de artması ve akım kırıncıların etkisiyle duvardan yansıyan ters akışın birbiriyle çakışması, türbülans kinetik enerjiyi arttırmıştır. Ayrıca bu şekillerde türbülans kinetik enerjinin kanatlara yakın bölgelerde daha yüksek olduğu da açık şekilde görülmektedir.

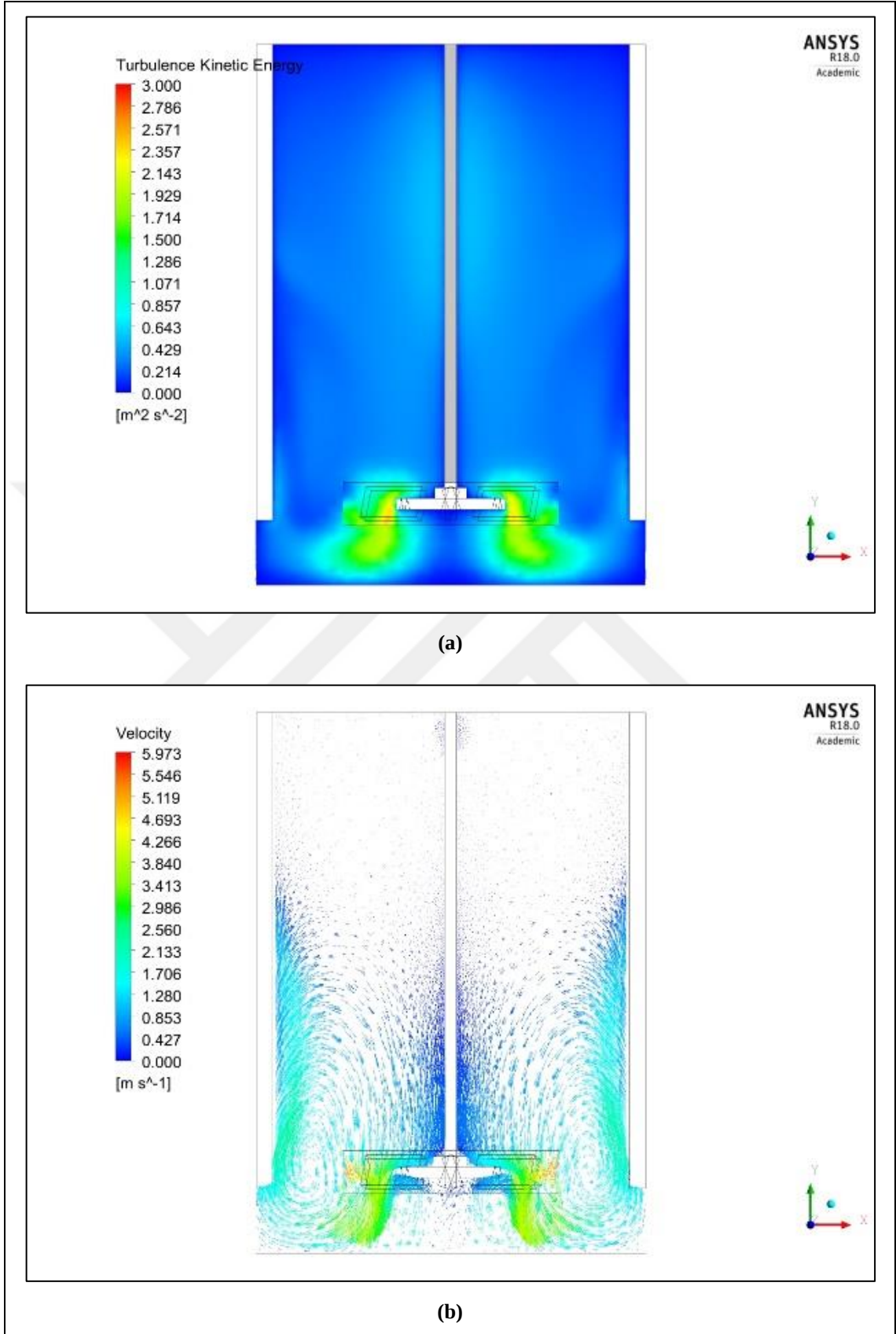
Yine bu devirde, diğer kanat yapılarına göre türbülans kinetik enerjilerinin anlık değişimlerinin en yüksek düz kanatta görülmesine karşın, tank genelinde en yüksek olduğu kanat yapıları 40° ve 50° eğimli olduğu gözlemlenebilmektedir. Genel olarak tank genelinde türbülans kinetik enerjisinin en düşük kaldığı kanatlar 10° ve 60° eğimli kanatlardır olduğu görülmektedir.



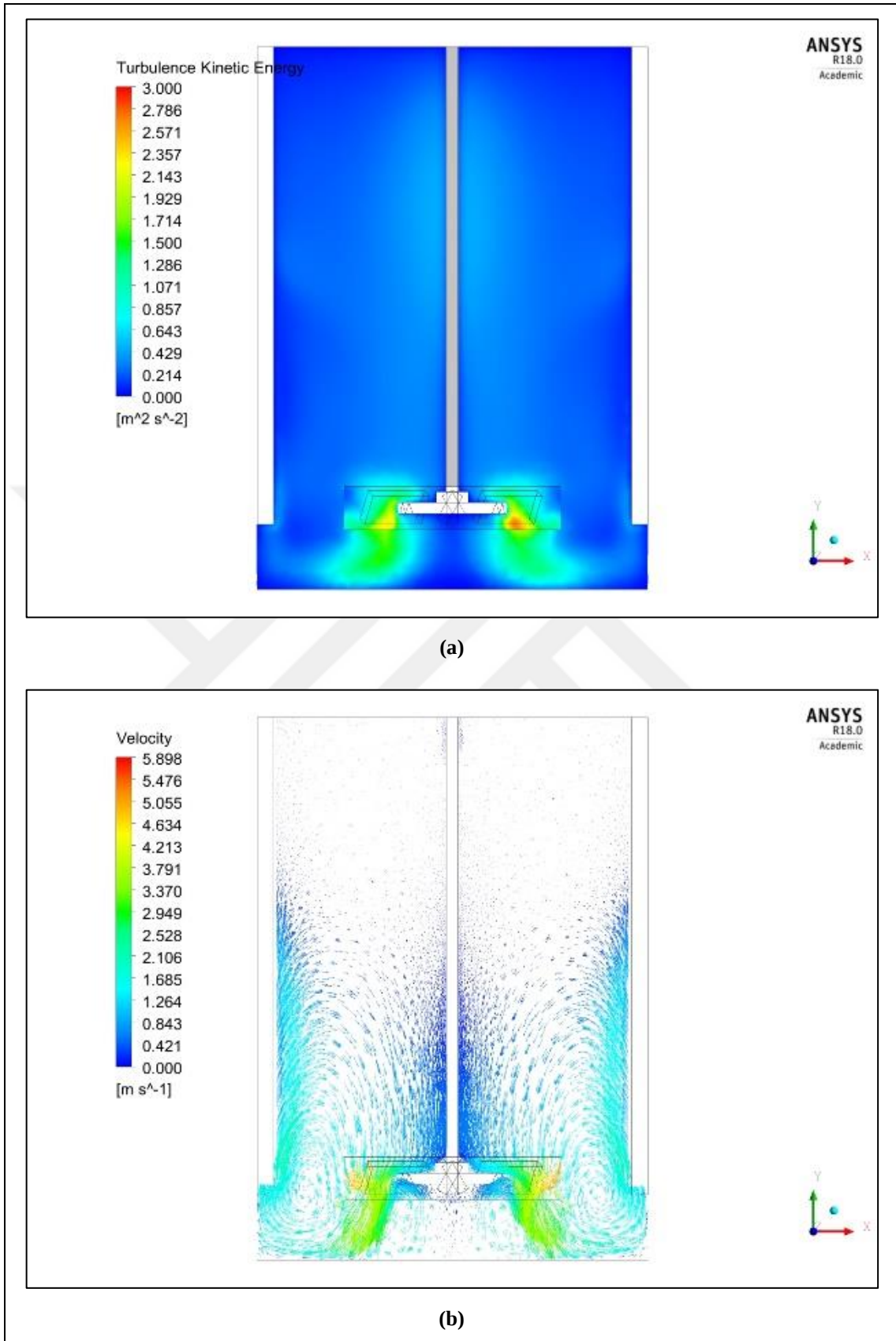
Şekil 4.3 600 devirde düz kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



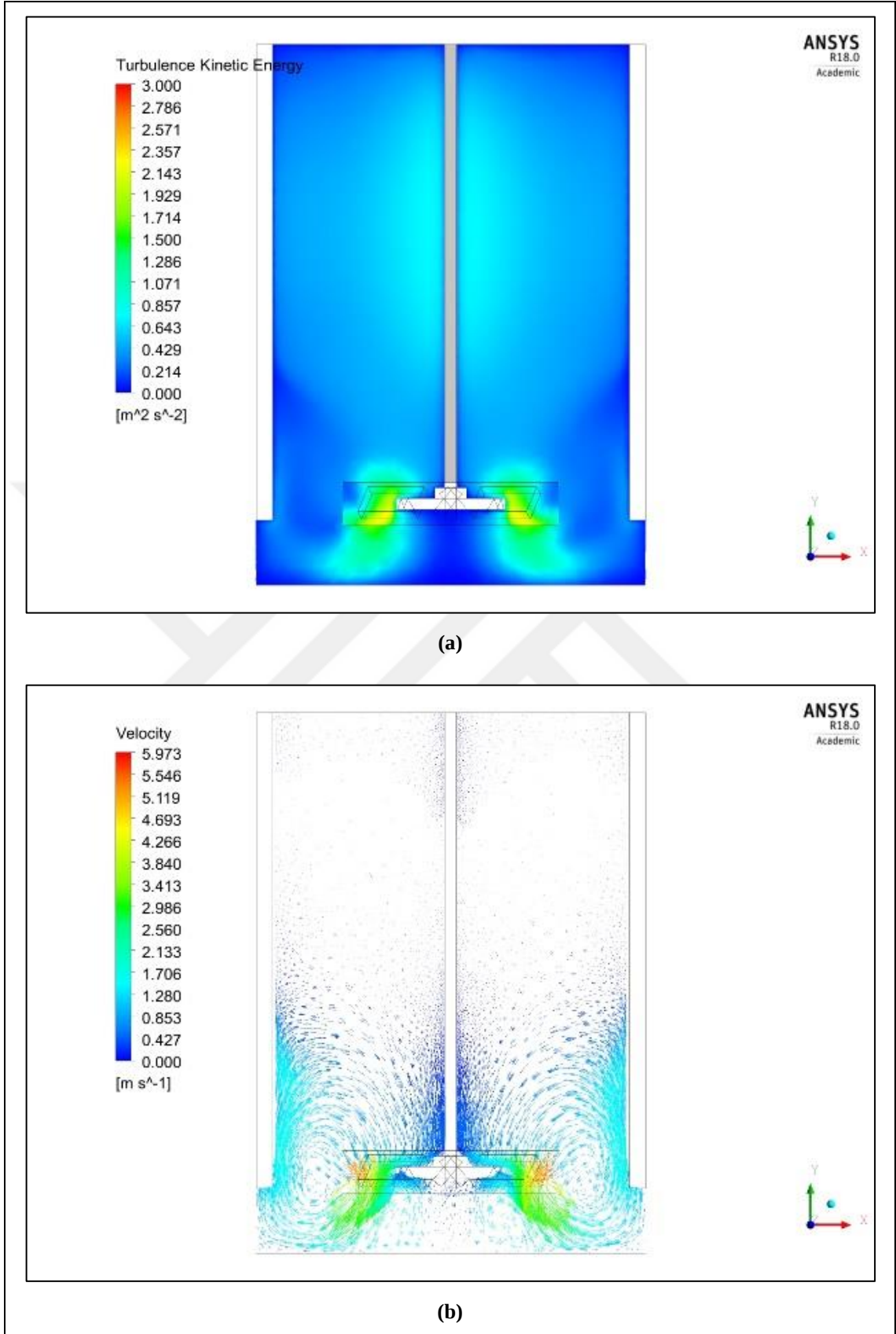
Şekil 4.4 600 devirde 10° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



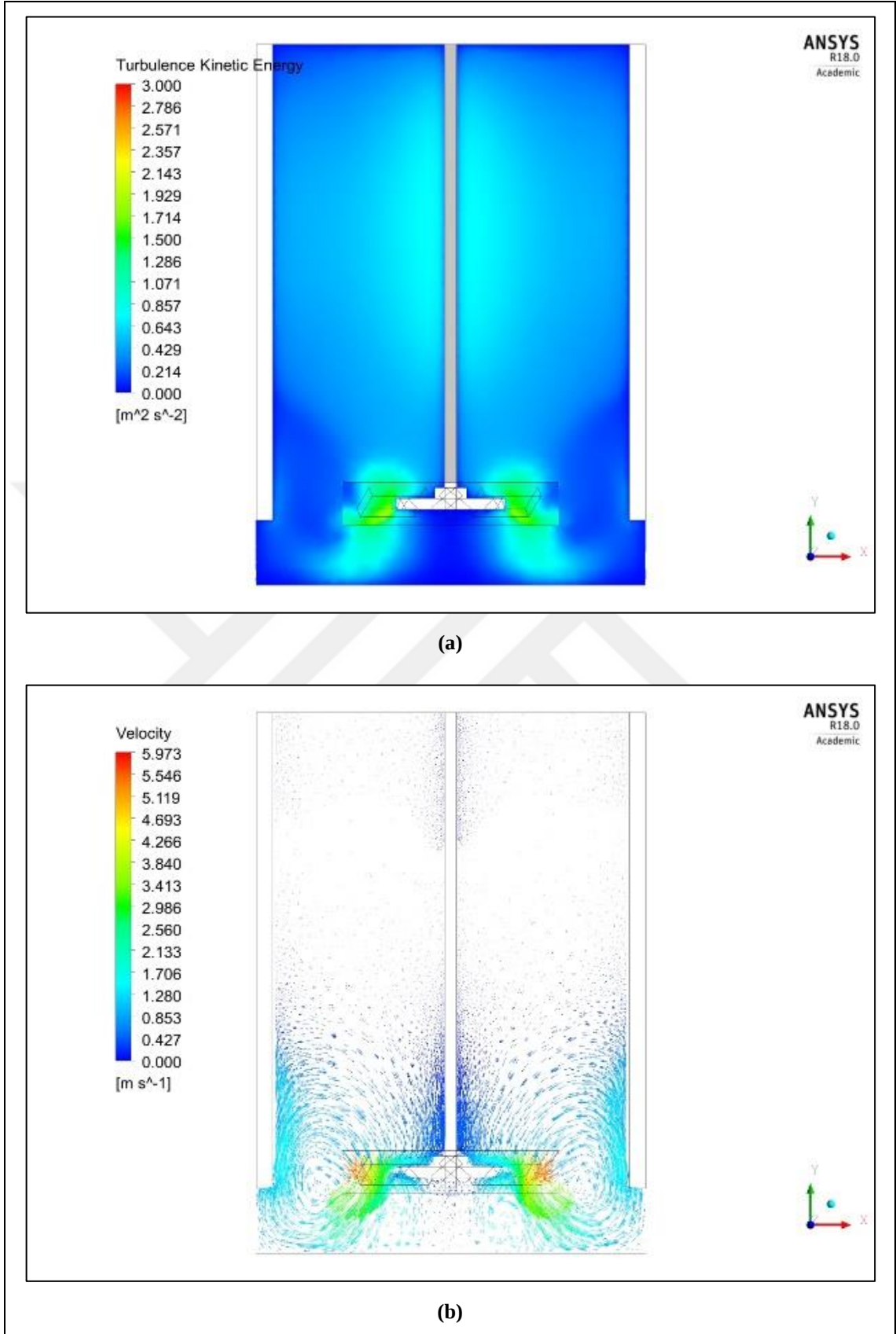
Şekil 4.5 600 devirde 20° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



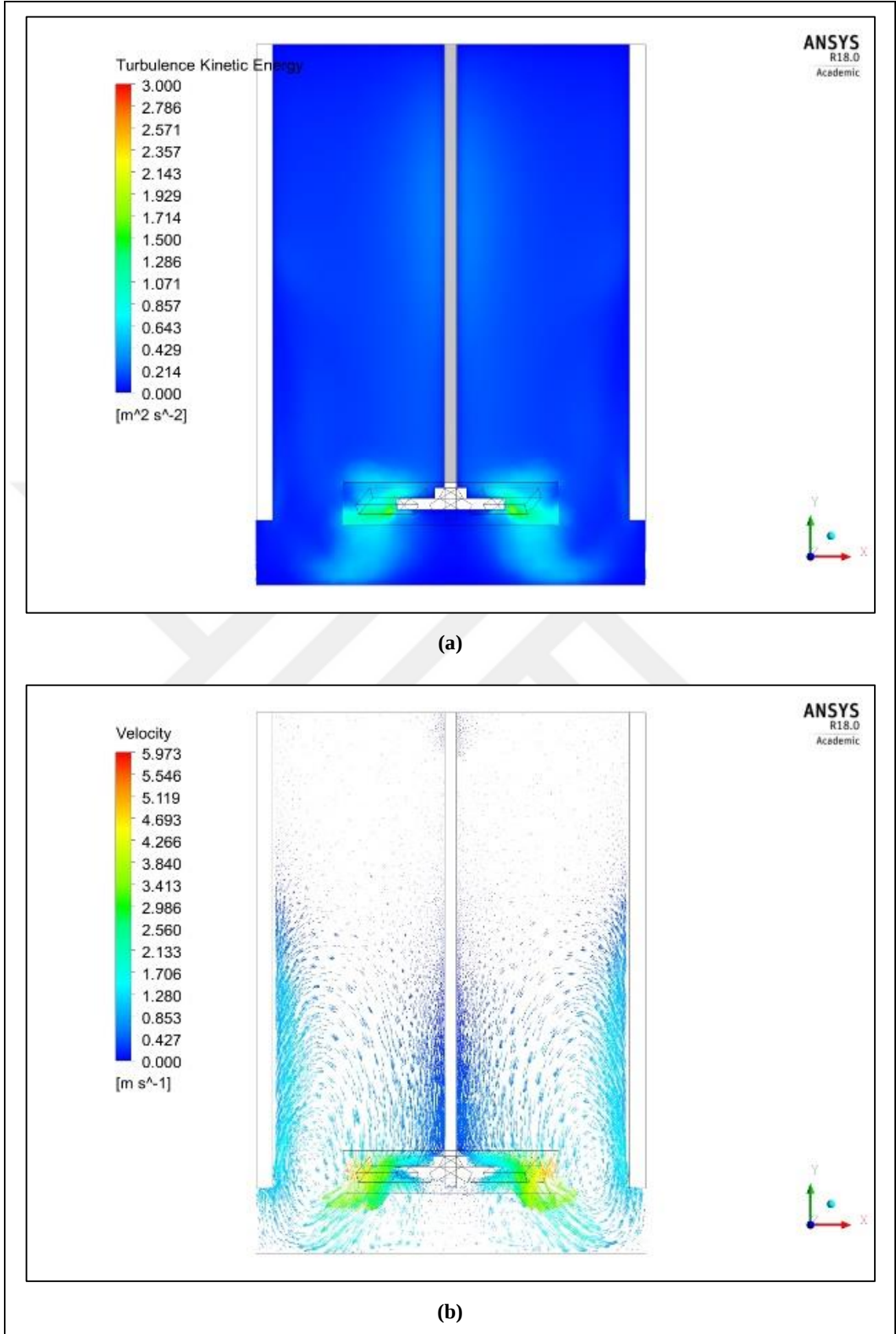
Şekil 4.6 600 devirde 30° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.7 600 devirde 40° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.8 600 devirde 50° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.9 600 devirde 60° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri

Şekiller incelendiğinde hız vektörlerinde oluşan değişimde akışın hızlandığı bölgeler, kanatların çevresi ve tank çeperlerine yakın bölgeler olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kanatların akış üzerinde oluşturmuş olduğu girdap hareketleri ve kanada uygulanan basıncın yükselmesi ile tank çeperlerine çarparak yansıyan karşı akışların kanattan gelen akışlarla kesiştiği noktalar. Hız vektörlerinin kanatların çevresinde girdap hareketleri yaptığı gözlenmektedir. Kanat çevresinde oluşan vektörleri kanadın çevresinde onu takip eden çizgiler şeklinde olduğu ve takip eden bu çizgilerin hızlarının gittikçe yavaşladığı gözlemlenmektedir.

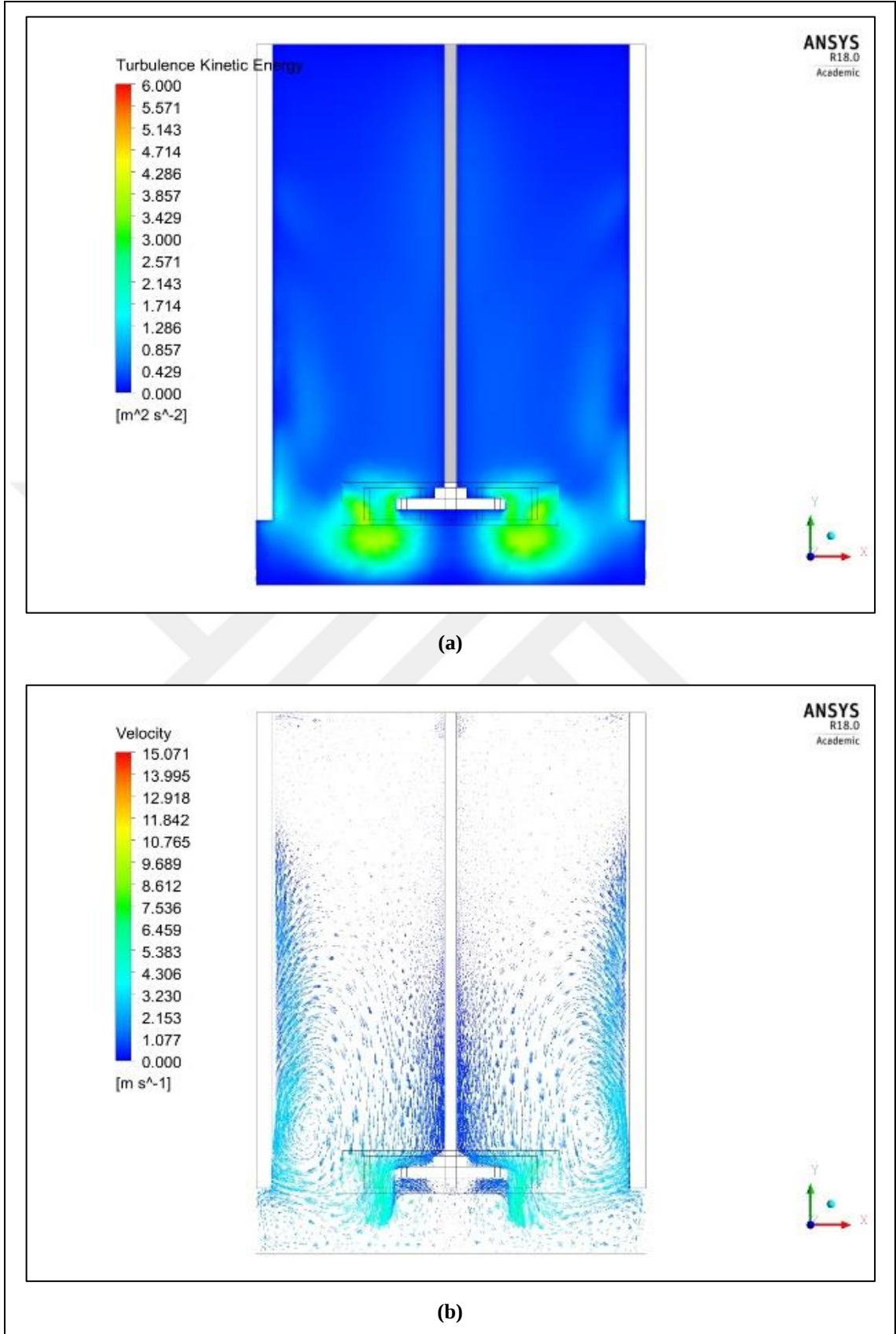
4.3.2. 750 devirde farklı açıdaki pervanelerin karıştırma işleminin incelenmesi

750 rpm hızında döndürülen pervanelerin nümerik incelemesi yapılmıştır. Elde edilen türbülans kinetik enerji grafikleri ve hız vektörleri düz, 10° eğimli, 20° eğimli, 30° eğimli, 40° eğimli, 50° eğimli ve 60° eğimli kanatlar için sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16' da verilmiştir.

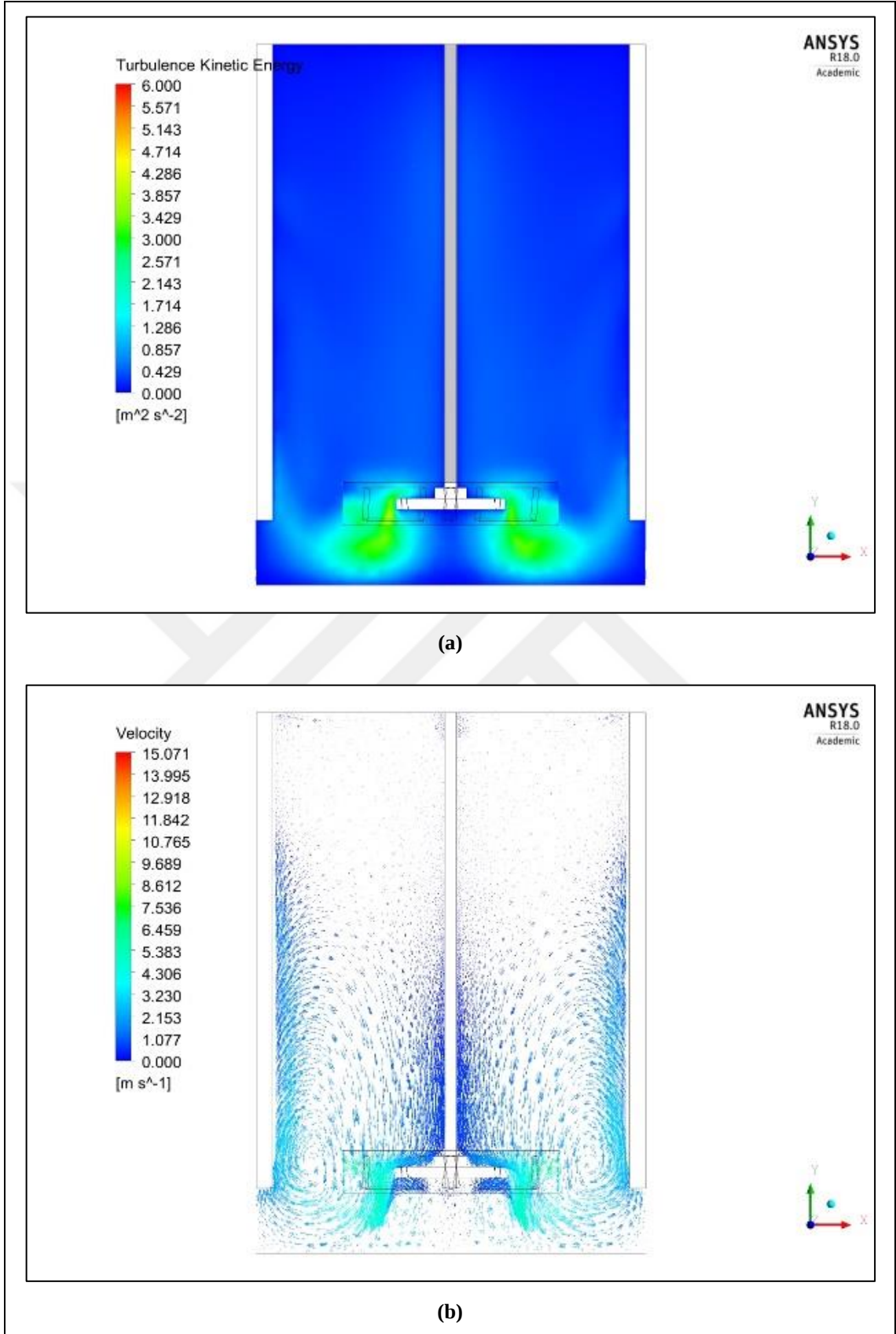
Bu şekiller incelendiğinde 600 devirde incelenen görsellerde olduğu gibi kanat uç noktalarında türbülans kinetik enerji değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kanadın çevresindeki girdap hareketleri türbülans kinetik enerjinin ve hızların yüksek olduğu sonuçlardan görülebilmektedir. Kanatların tank tabanı ile arasında kalan bölgelerde girdap hareketleri nedeniyle akışın yön değiştirdiği ve akışın bu bölgelerde azaldığı görülmektedir.

Elde edilen verilere göre 600 devirdeki maksimum türbülans kinetik enerji 3000 m²/s² seviyelerinden 750 devirde 6000 m²/s² seviyelerine çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde hız vektörlerine bakıldığında maksimum hızın 5,973 m/s seviyelerinden 15,071 m/s seviyelerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu da devir artışıyla beraber karışımın daha iyi sonuçlara ulaştığını ve dolayısıyla karışımın artık 600 rpm hızlarındaki karışımlara göre daha homojen hale geldiğini söyleyebiliriz.

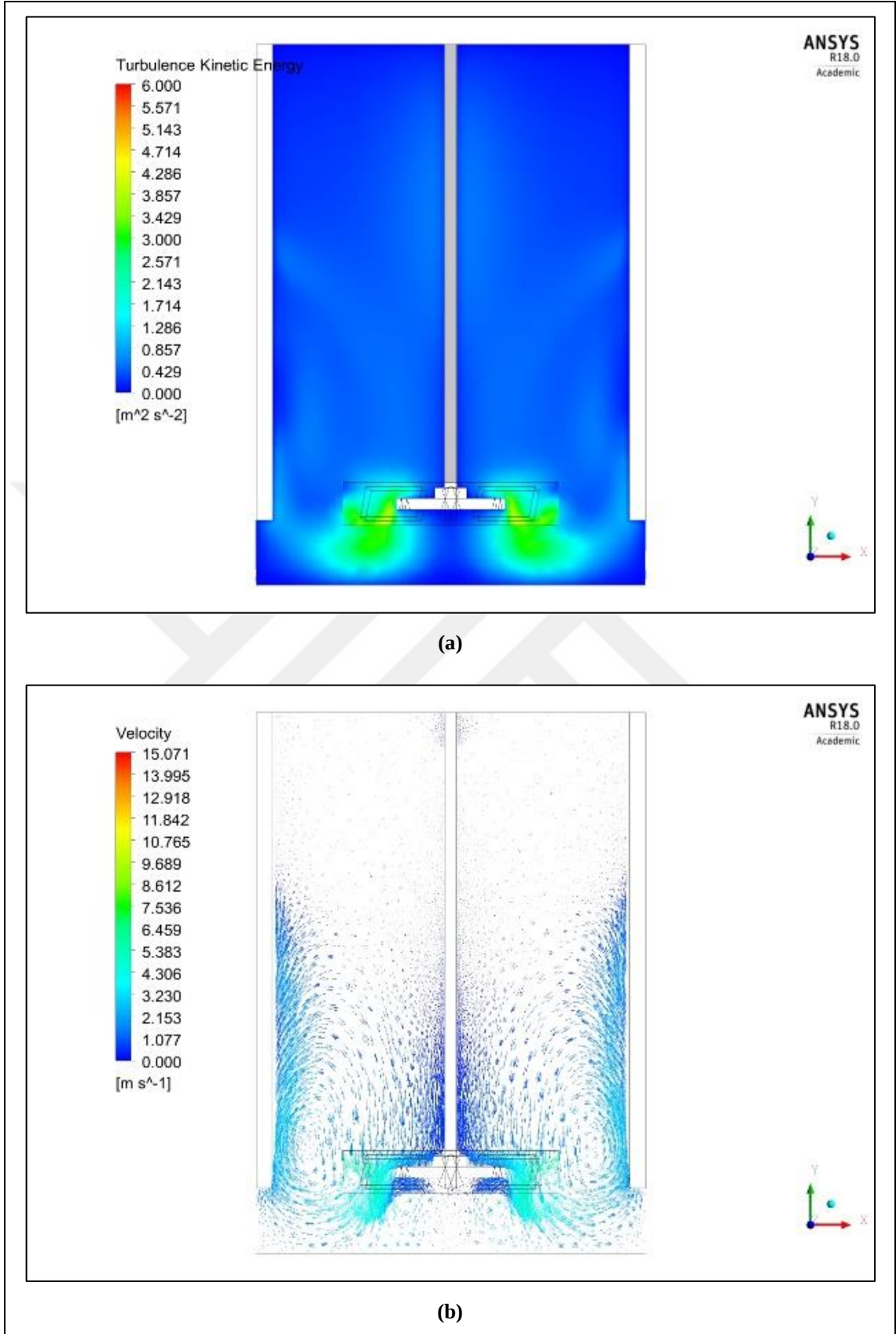
Bu devirde, diğer kanat yapılarına oranla türbülans kinetik enerjisi tank genelinde en yüksek 40° ve 60° eğimli kanatlarda olduğu görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisinin en düşük seviyelerde 50° eğimli kanatta kaldığı Şekil 4.15' de görülmüştür.



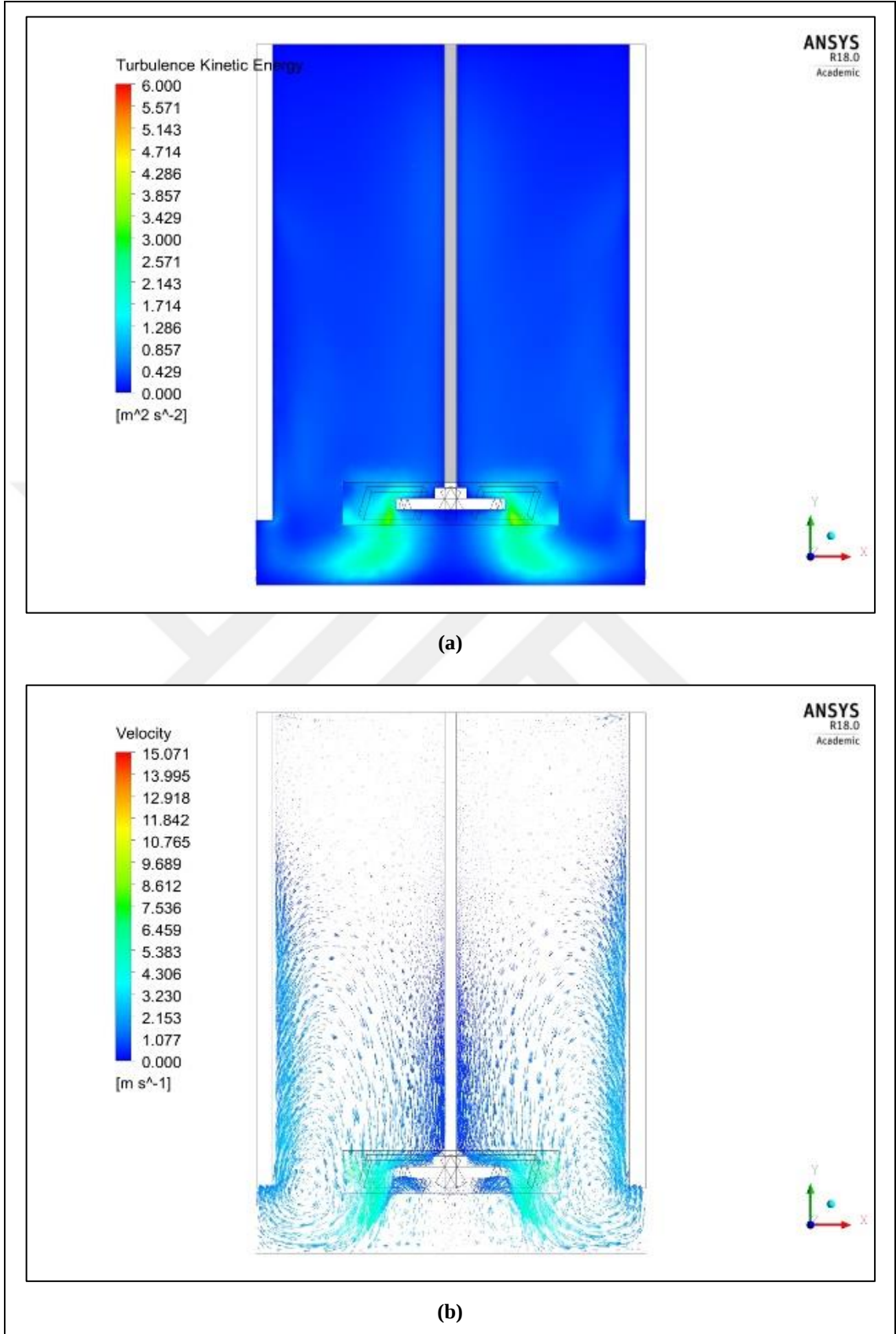
Şekil 4.10 750 devirde düz kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



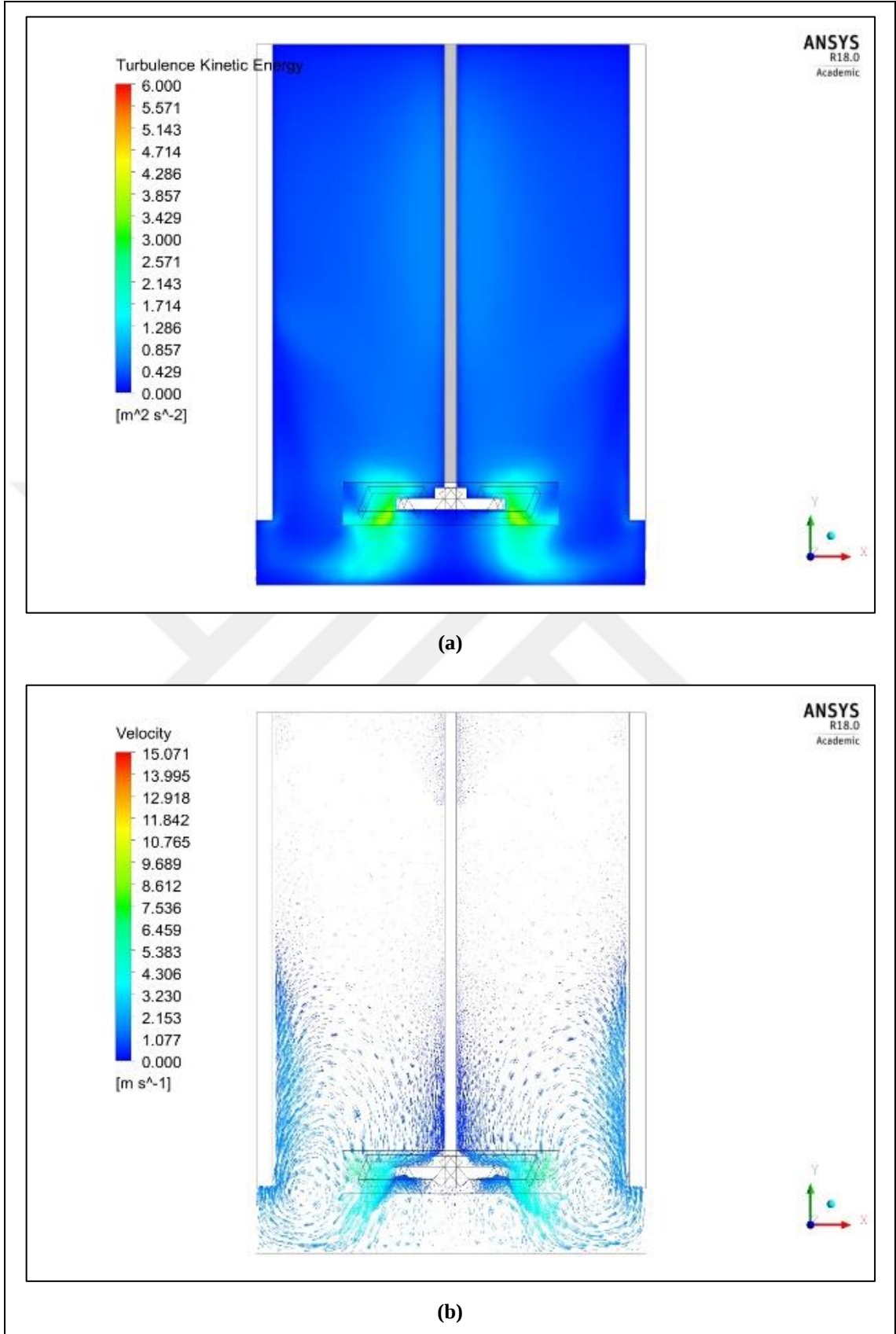
Şekil 4.11 750 devirde 10° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



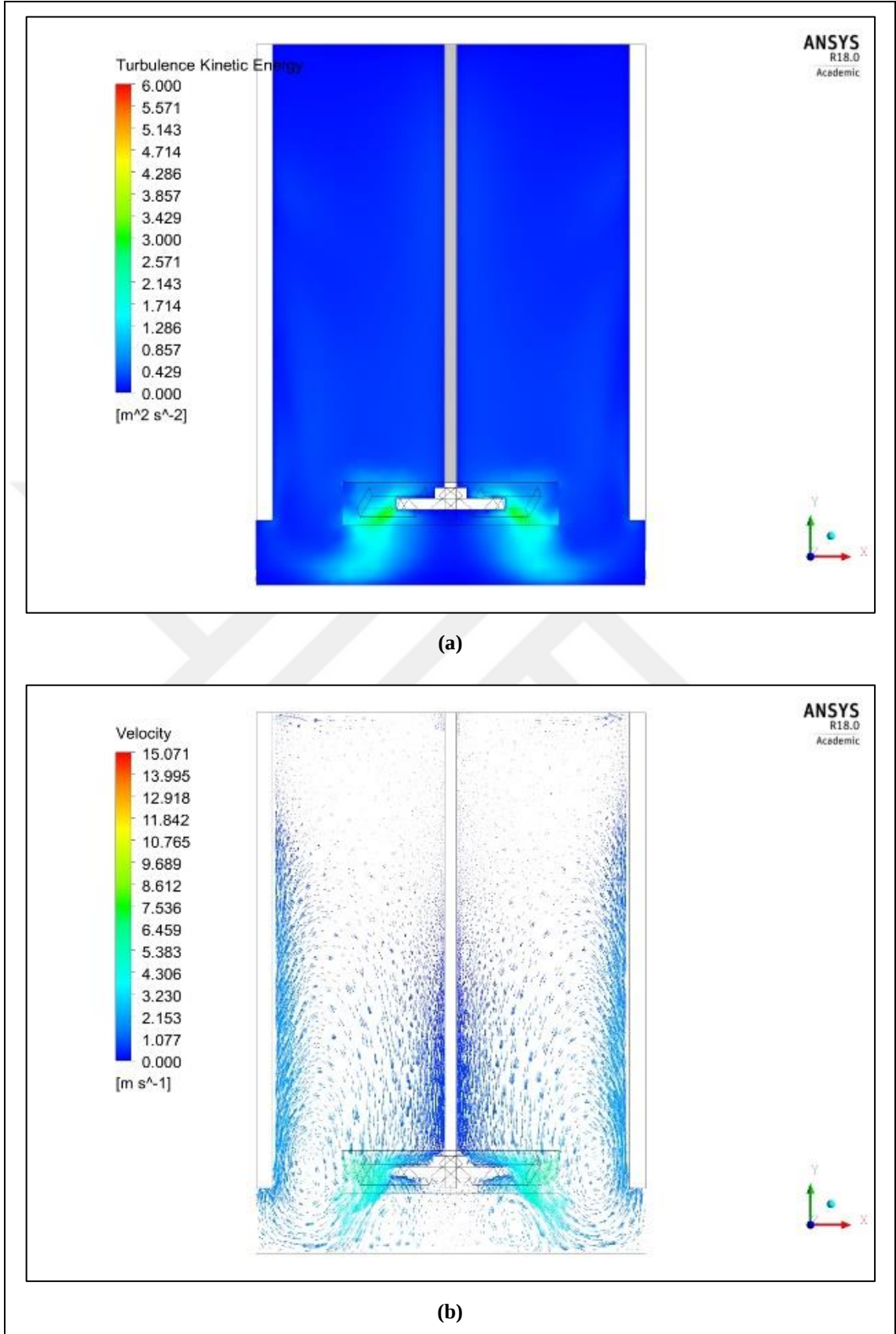
Şekil 4.12 750 devirde 20° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



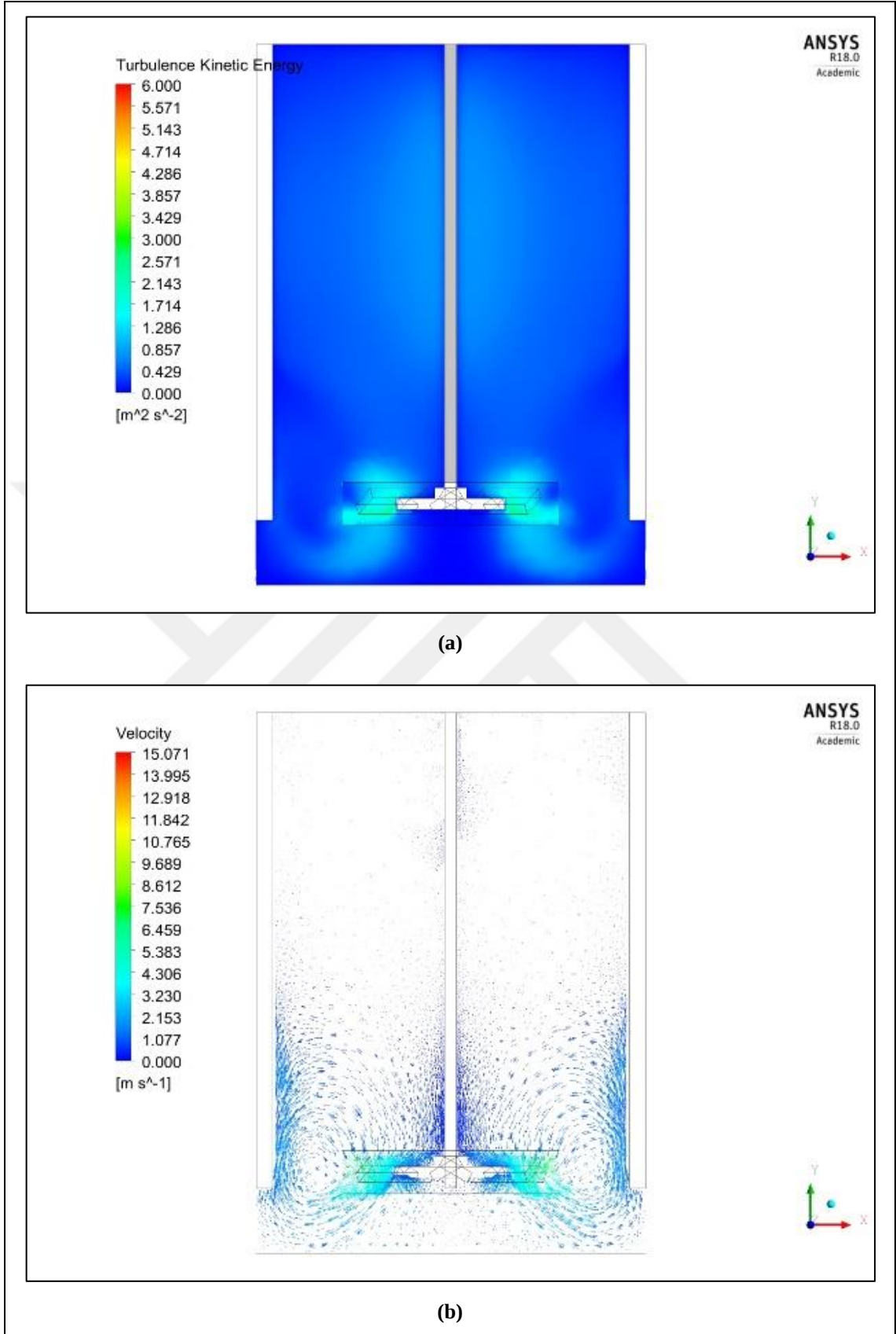
Şekil 4.13 750 devirde 30° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.14 750 devirde 40° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.15 750 devirde 50° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.16 750 devirde 60° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri

750 devire ait şekiller incelendiğinde hız vektörlerinde oluşan değişimde akışın hızlandığı bölgeler, 600 devirde olduğu gibi kanatların çevresi ve tank çeperlerine yakın bölgeler olduğu görülmektedir. Aynı şekilde hız vektörlerinin kanatların çevresinde girdap hareketleri oluşturduğu gözlenmektedir. Kanatların altında kalan bölgelerde tankın merkezine doğru akışın hareketsiz bölgeleri gözlemlenmiştir.

750 devirde 40° ve 60° eğimli kanatlarda, kanat etrafında çok yüksek türbülans kinetik enerji değerleri görülmemesine rağmen genel olarak türbülans kinetik enerjinin yüksek olduğu Şekil 4.14 ve 4.16' dan gözlemlenebilmektedir.

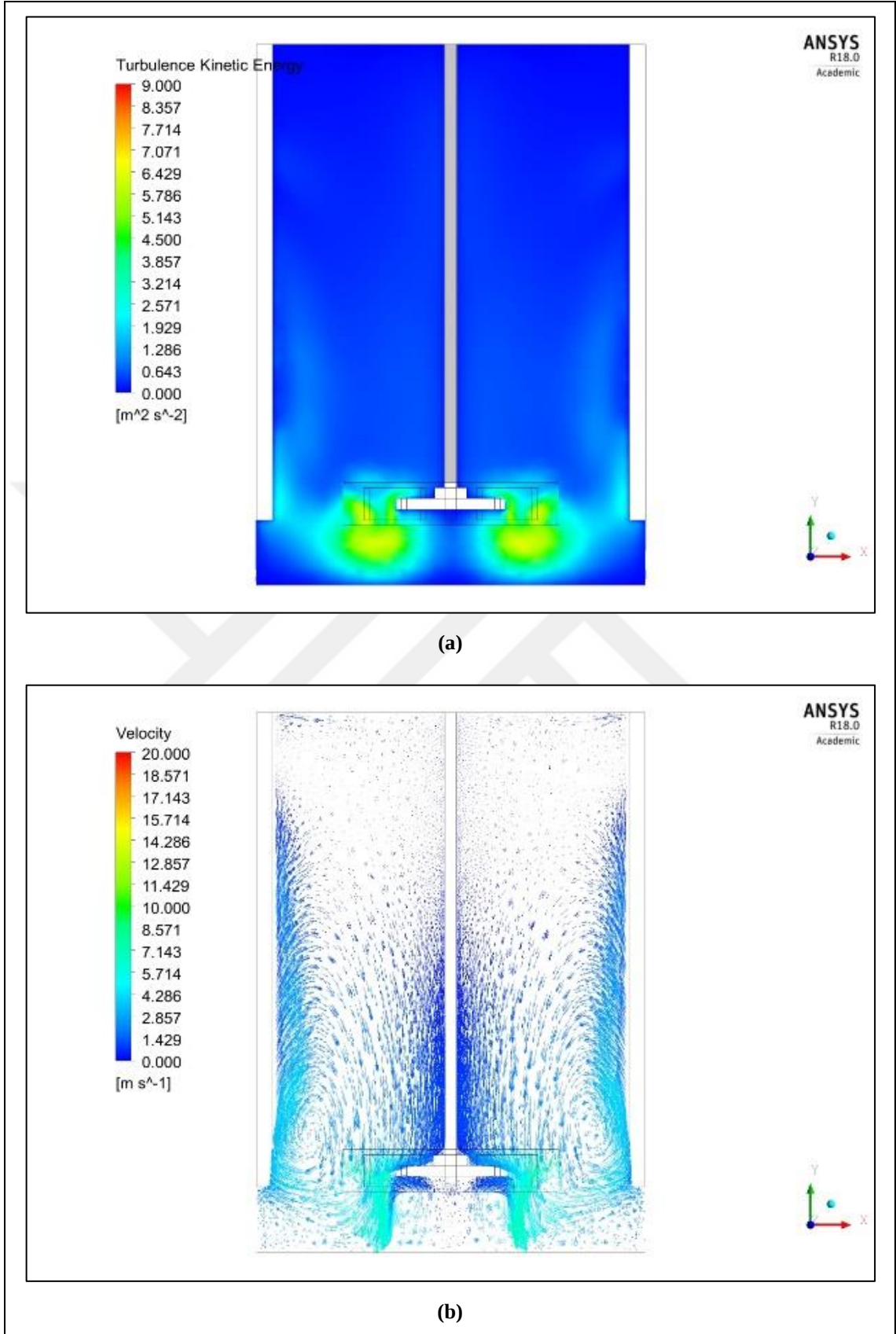
4.3.3. 1000 devirde farklı açılardaki pervanelerin karıştırma işleminin incelenmesi

1000 rpm hızında döndürülen pervanelerin nümerik incelemesi yapılmıştır. Elde edilen türbülans kinetik enerji grafikleri ve hız vektörleri düz, 10° eğimli, 20° eğimli, 30° eğimli, 40° eğimli, 50° eğimli ve 60° eğimli kanatlar için sırasıyla Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' te verilmiştir.

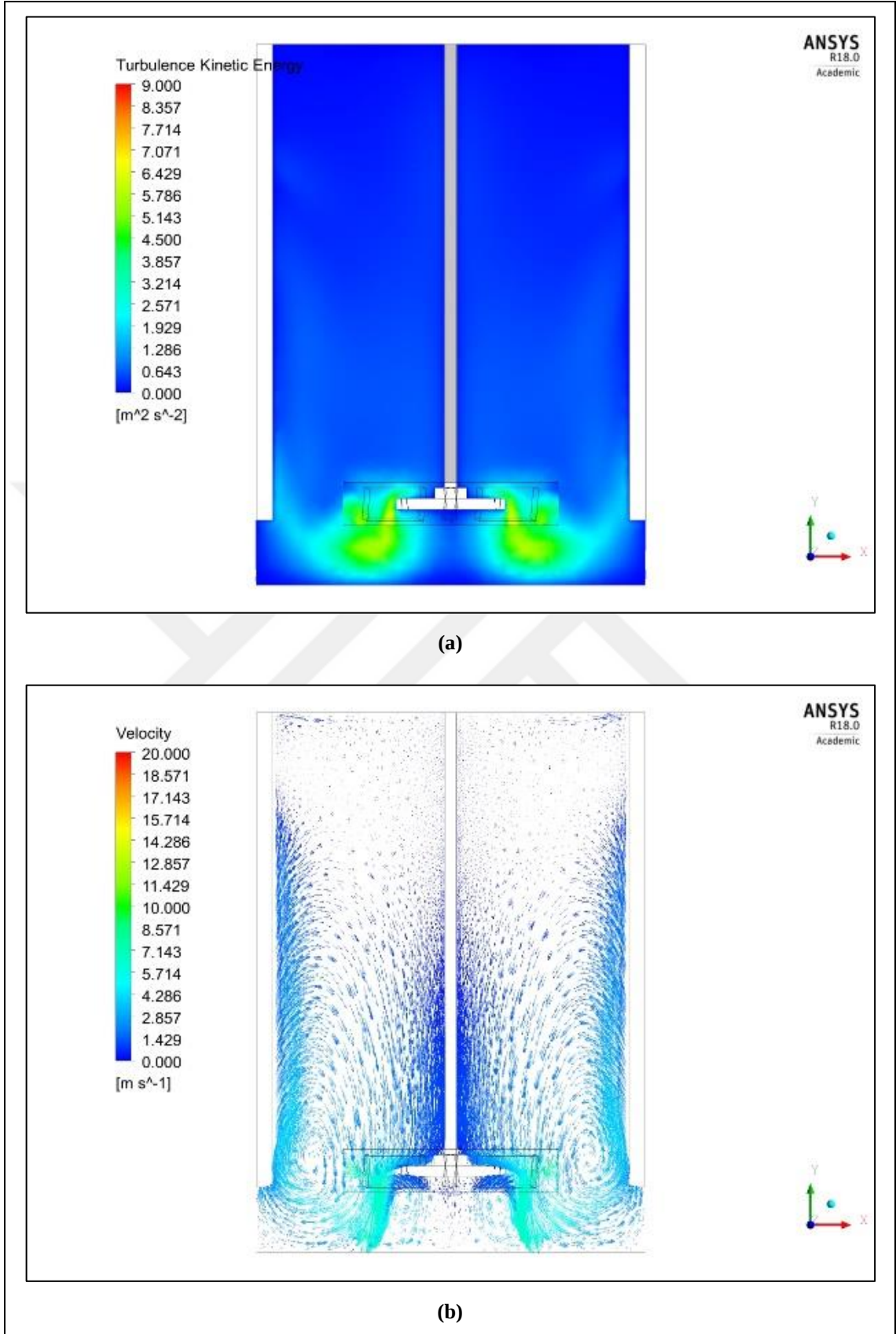
Bu şekiller incelendiğinde 600 ve 750 devirlerinde incelenen görsellerde olduğu gibi kanat uç noktalarında türbülans kinetik enerji değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Diğer devirlerde olduğu gibi girdap yine kanat çevrelerinde türbülans ve akım girdaplarının oluşumu gözlemlenmiştir. Devirin artmasıyla tankın her tarafında oluşan türbülans kinetik enerji değerleri ve akış hızlarıyla orantılı olarak daha da yükseldiği görülmektedir.

Elde edilen verilere göre 600 devirdeki maksimum türbülans kinetik enerji $3000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ seviyelerinden 750 devirde $6000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ seviyelerine çıktığı ve 1000 devirde $9000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Hız vektörlerine bakıldığında maksimum hızın 600 devirde 5,973 m/s seviyelerinden 750 devirde 15,071 m/s seviyelerine ve 1000 devirde 20000 m/s seviyelerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu da yukarıda belirttiğimiz gibi devir artışıyla beraber karışımın daha iyi karıştığı, elde edilen türbülans kinetik enerji ve akış hızlarının değerlerine bakarak söylemek mümkündür.

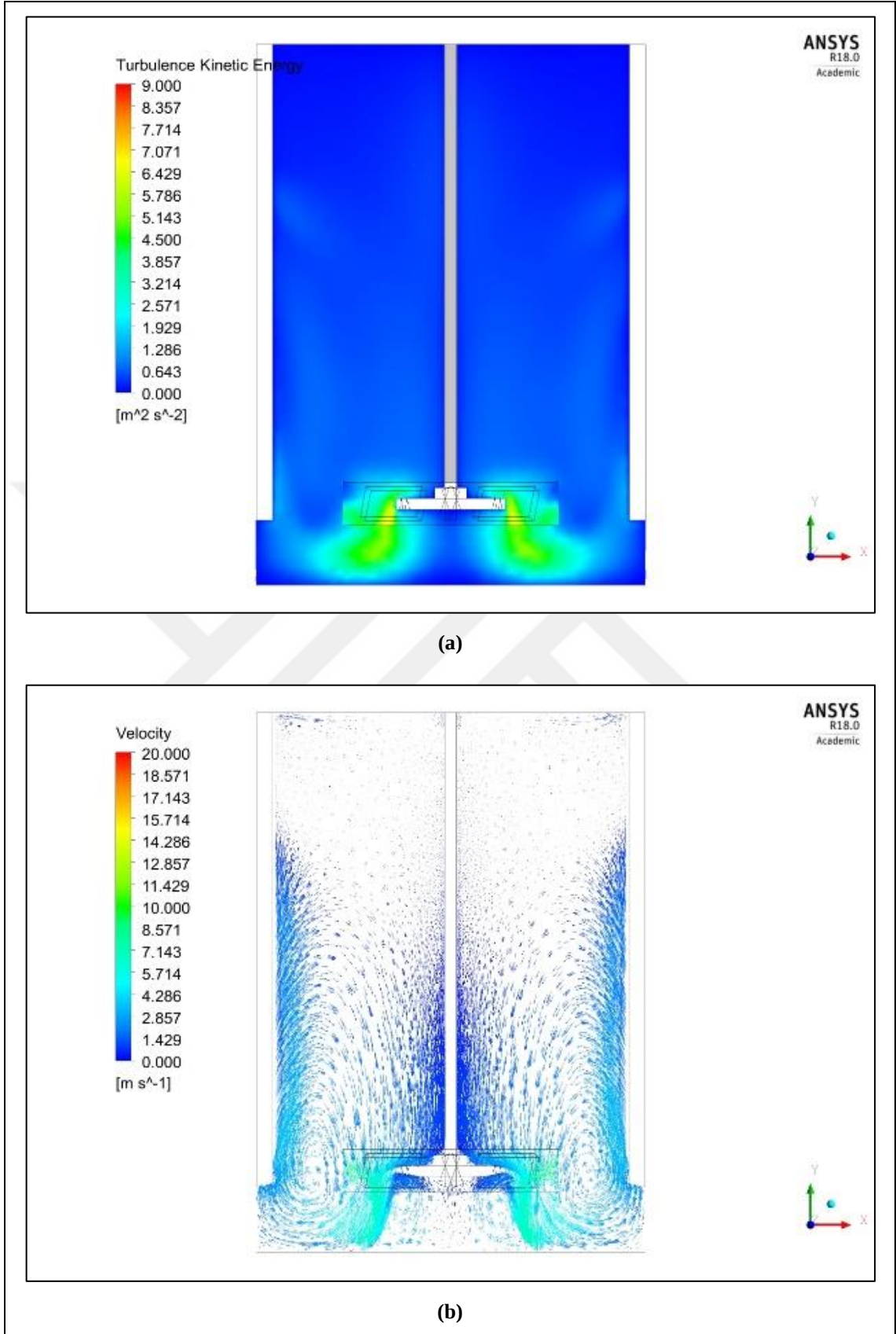
Bu devirde, diğer kanat yapılarına oranla türbülans kinetik enerjisi tank genelinde en yüksek 40° ve 50° eğimli kanatlarda olduğu görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisinin en düşük seviyelerde düz kanat ve 10° eğimli kanatta kaldığı aşağıdaki incelenen şekillerde görülmüştür.



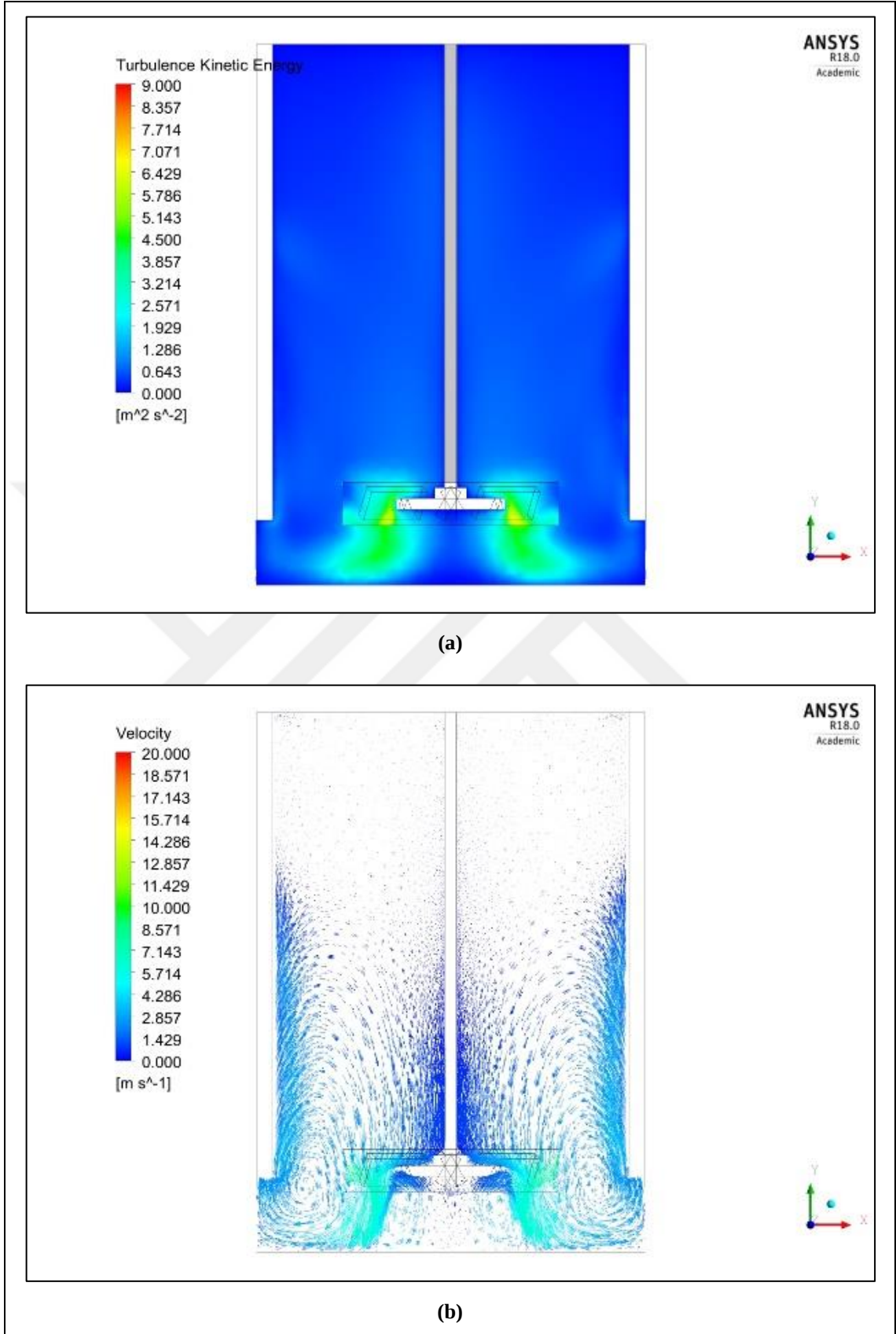
Şekil 4.17 1000 devirde düz kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



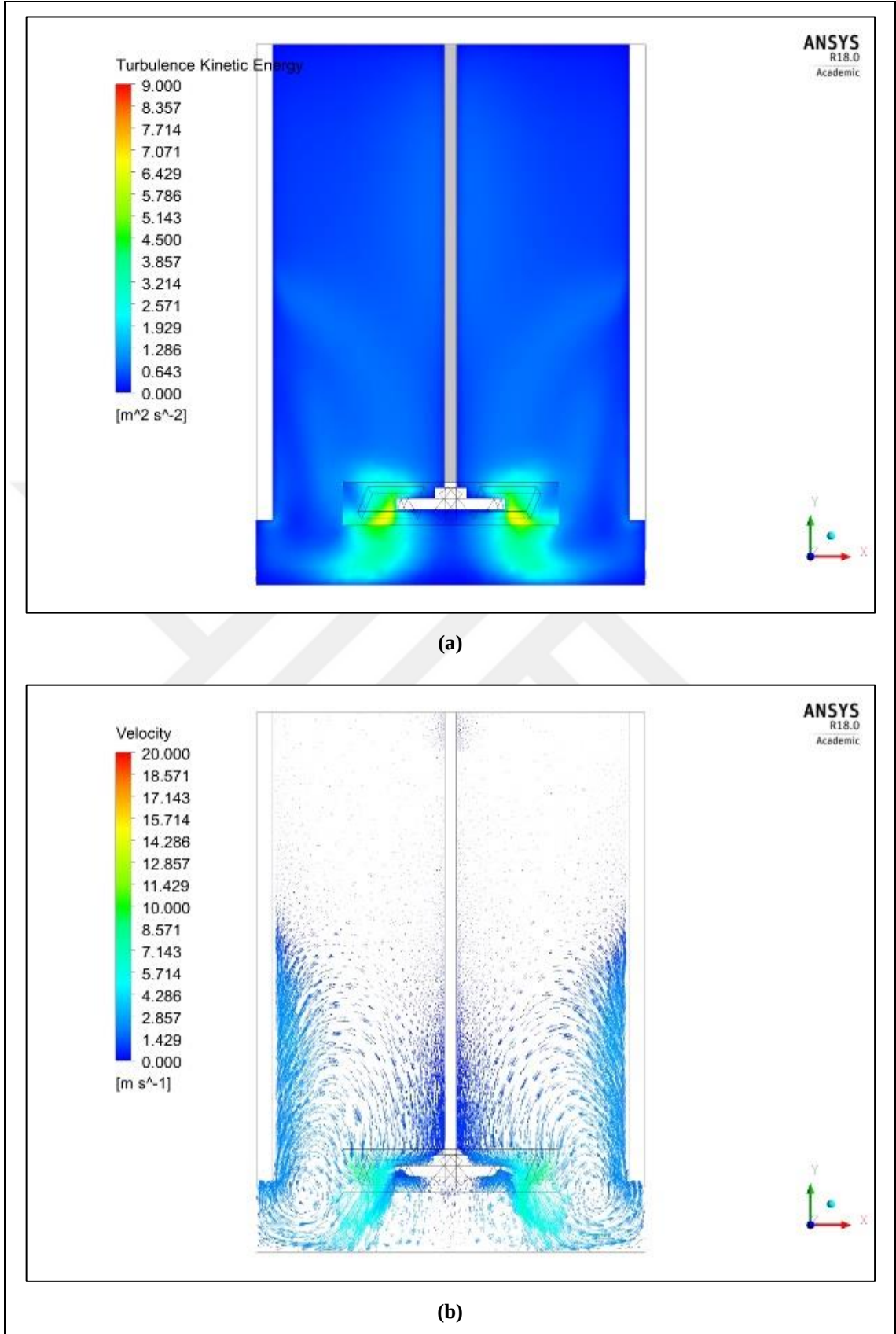
Şekil 4.18 1000 devirde 10° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



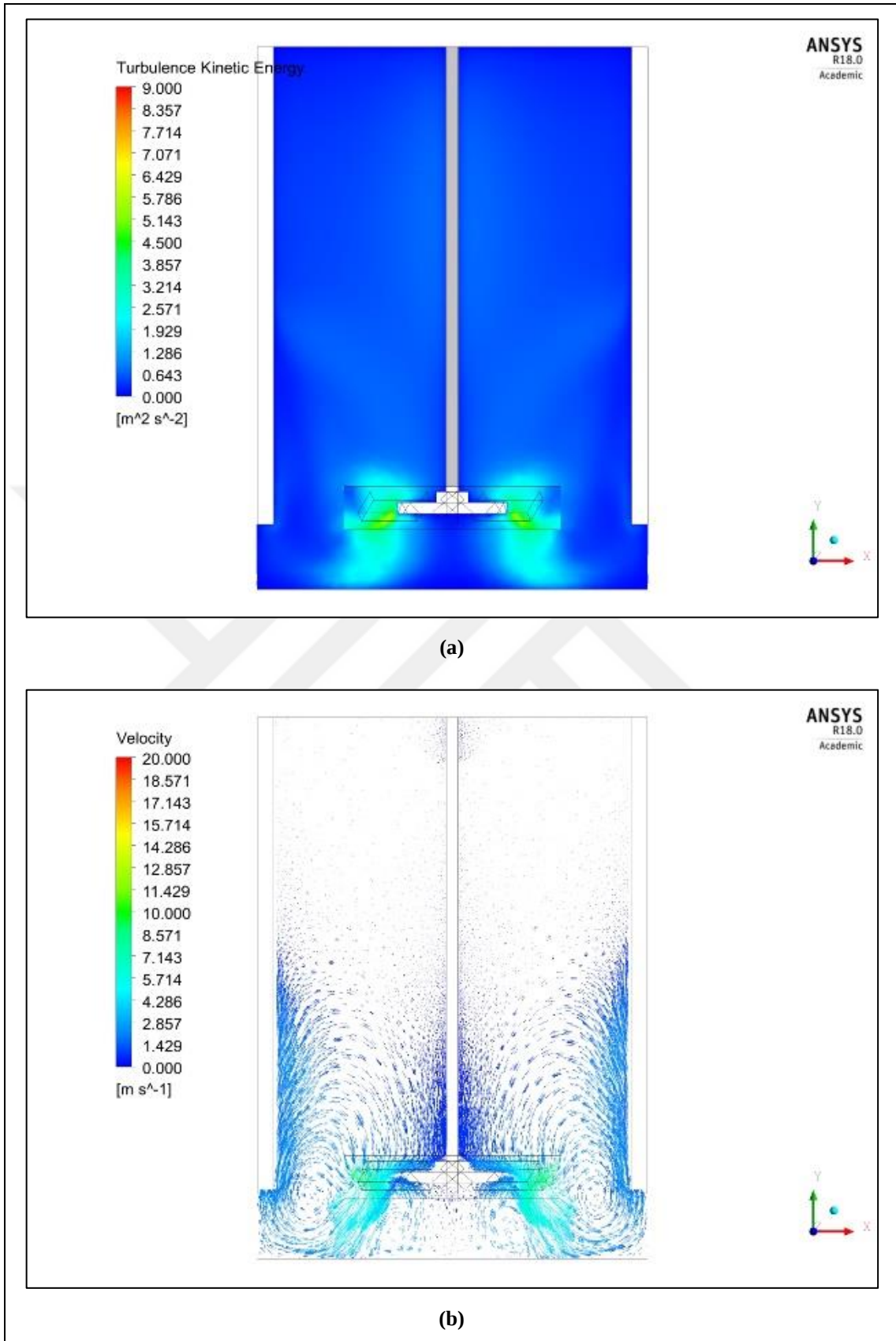
Şekil 4.19 1000 devirde 20° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



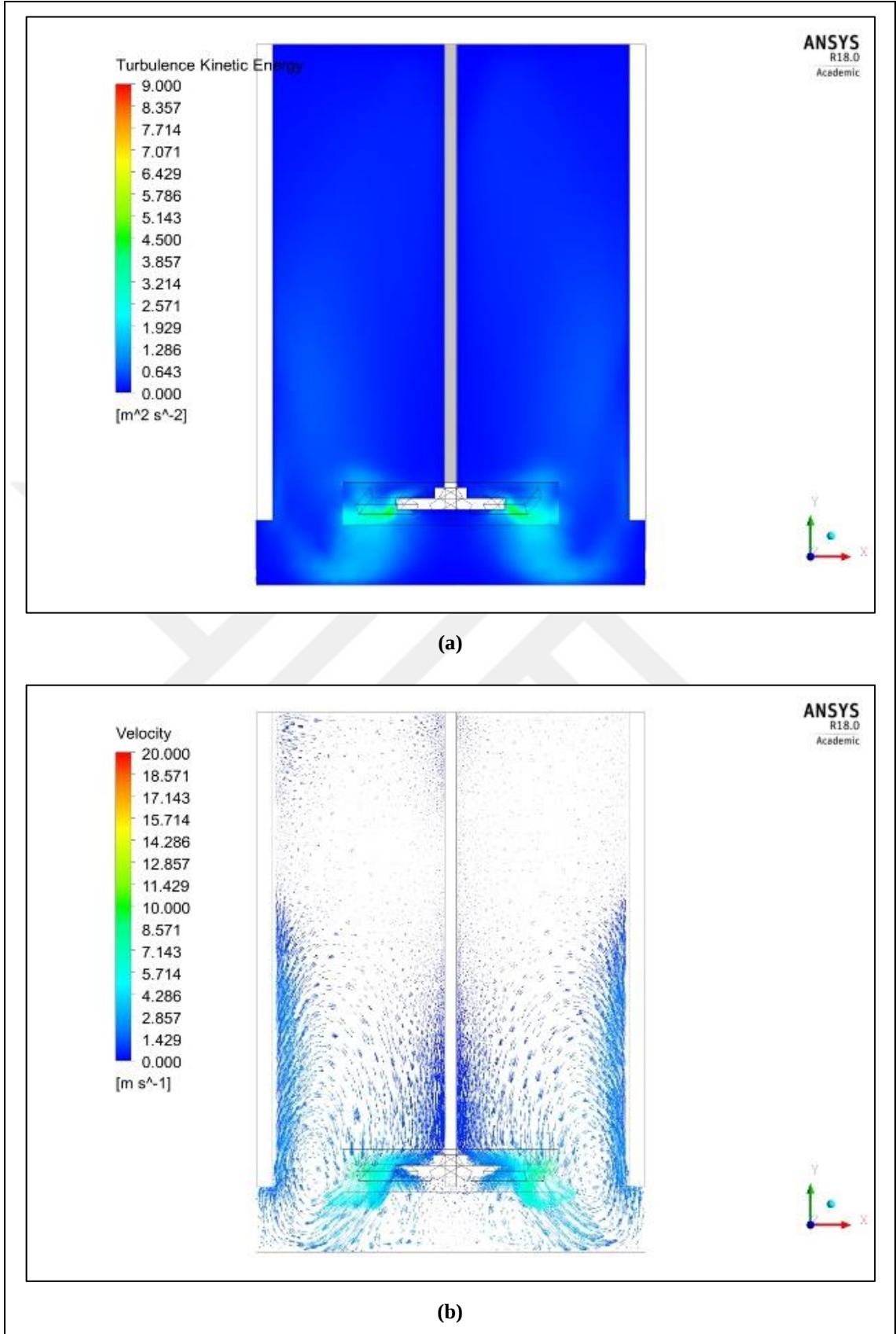
Şekil 4.20 1000 devirde 30° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.21 1000 devirde 40° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



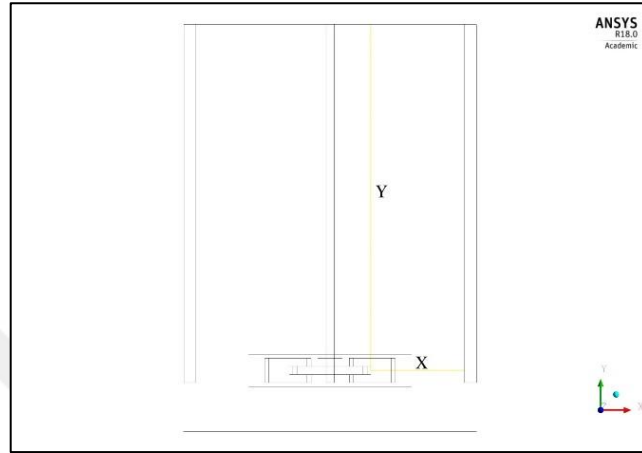
Şekil 4.22 1000 devirde 50° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri



Şekil 4.23 1000 devirde 60° eğimli kanat için (a) türbülans kinetik enerji grafiği (b) hız vektörleri

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Elde edilen sonuçlar x ve y düzlemine göre basınç, türbülans kinetik enerji ve hız vektörlerine göre karşılaştırılmıştır. Aşağıda karşılaştırma için alınan veriler Şekil 5.1’ de gösterildiği şekilde x ve y düzleminden alınmış verilerdir.



Şekil 5.1 x ve y düzleminden karşılaştırma için alınan veriler

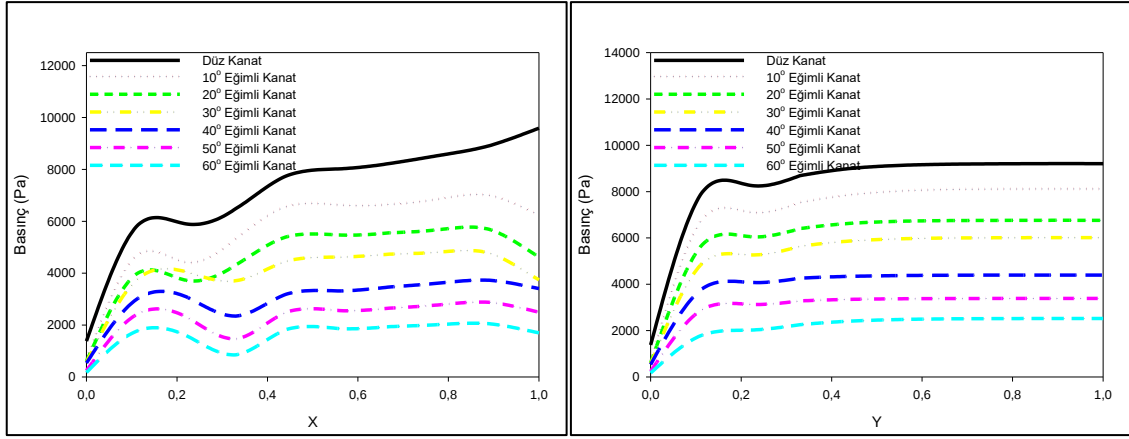
5.1. 600 Devir İçin Kanatların Karşılaştırılması

Yapılan analizlerin 600 devirde Şekil 5.1 referans alınarak x ve y düzleminde sırasıyla basınç, türbülans kinetik enerji ve hız grafiklerinin karşılaştırması Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’ te gösterilmiştir.

Şekil 5.2’ de basınç grafiklerinin x düzleminde bakıldığında tankın yüzeylerine gidildikçe basıncın arttığı gözlemlenmiştir. Arada görülen düşüş ise bize kanatların ardında meydana gelen girdapların sonucunda oluşan basınç kayıplarını göstermektedir. Düz kanat hariç diğer tüm kanatlarda tank çeperlerine uygulanan basınçlarda ufak da olsa bir düşüş gözlemlenirken düz kanatta bir artış gözlemlenmektedir.

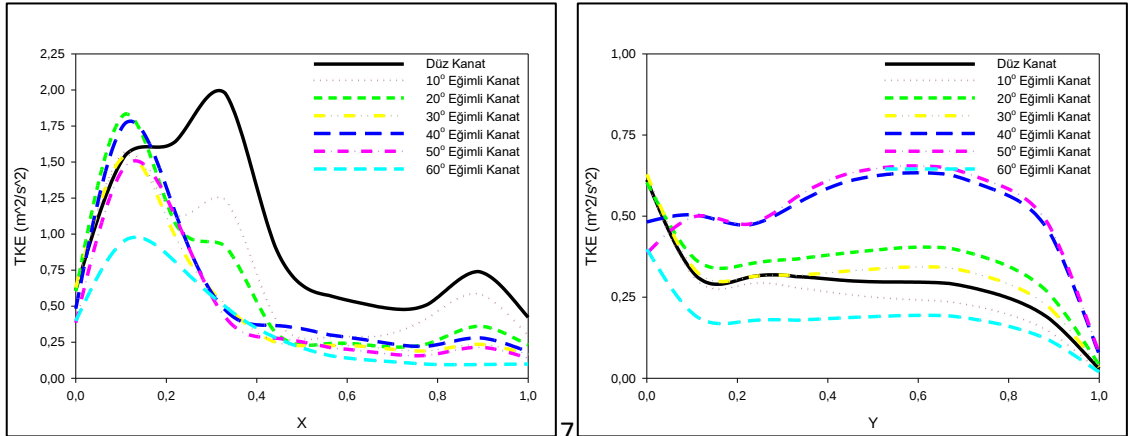
Yine Şekil 5.2’ de basınç grafiklerinin y düzlemine bakıldığında düz kanadın oluşturduğu basınç da dahil olmak üzere, eğriler tüm kanatlarda doğrusal bir yol izlemektedir. Koordinat düzleminde orjin noktasından uzaklaştıkça düz kanadın oluşturduğu basıncın 8 kPa civarında seyrederken diğer kanatlarda açı arttıkça dikey ekseninde oluşan bu basınç değeri düşük seviyelerde kalmıştır.

Basıncın yüksek olması karışma için harcanan gücü arttırdığından ötürü burada en yüksek güç tüketimi ihtiyacı düz kanatta görülmüştür. Basıncın en düşük görüldüğü 60° kanadında ise daha düşük güç tüketimi gerçekleşeceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.2 Basınç grafiklerinin 600 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması

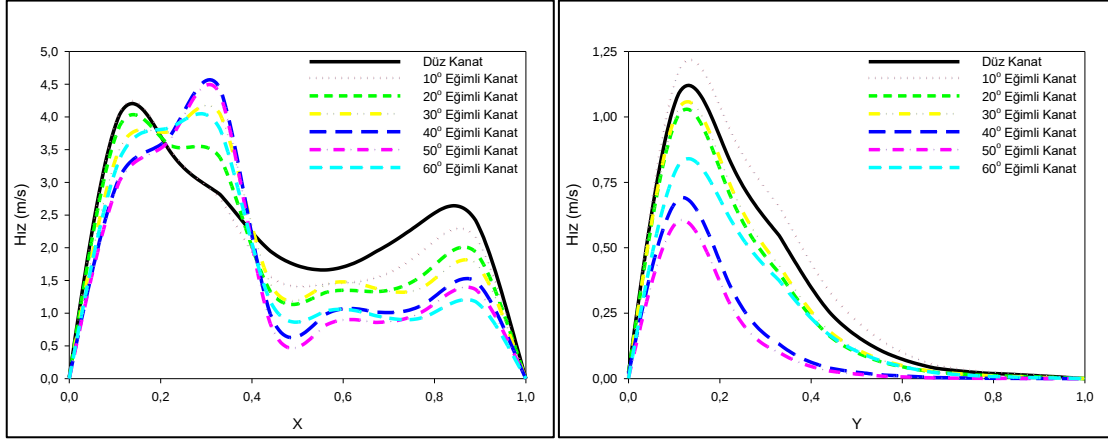
Türbülans kinetik enerjinin x ekseninde merkezden kenarlara doğru ilerledikçe düştüğü Şekil 5.3' te görülmektedir. Şekil 5.2' de basınç grafiklerinde görülen, kanatların arkasındaki türbülans oluşumunun türbülans kinetik enerjiye etkileri de yine Şekil 5.3' te gözlemlenebilmektedir. Aynı şeklin y düzleminde tankın üst yüzeyine çıktıkça türbülans kinetik enerjisinin 40° ve 50° eğimli kanatlar hariç belli seviyeye kadar stabil olduğunu söyleyebiliriz. Fakat 40° ve 50° eğimli kanatların tam bu noktada tankın içerisinde genel olarak türbülans kinetik enerjisinin arttığını ve diğer tüm kanatlara oranla daha yüksek seviyelere çıktığını söylemek mümkün. Kinetik enerjideki bu artış bize türbülansın tankın genelinde daha fazla olduğunu ve dolayısıyla 40° ve 50° eğimli kanatların, düz ve diğer eğimdeki kanatlara oranla daha homojen bir karışım sağladığını gösterir. Bunun tam tersi bir durumun ise 10° ve 60° eğimli kanatlarda olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 5.3 Türbülans kinetik enerji grafiklerinin 600 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması

Şekil 5.4' te 600 devirdeki hız grafiklerine bakıldığında, x düzleminde kanatların arkasında oluşan türbülansın etkilerini geçtikten sonra bir düşüş ve düşüşün ardından hemen sonra akım kırıcılarından ve tank çeperlerinden dönen karşı akışların etkisiyle ani

bir çıkış gerçekleşmiştir. y düzleminde tankın üstlerine gidildikçe 10° eğimli ve düz kanatlarda akış hızlarının diğer kanatlara oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

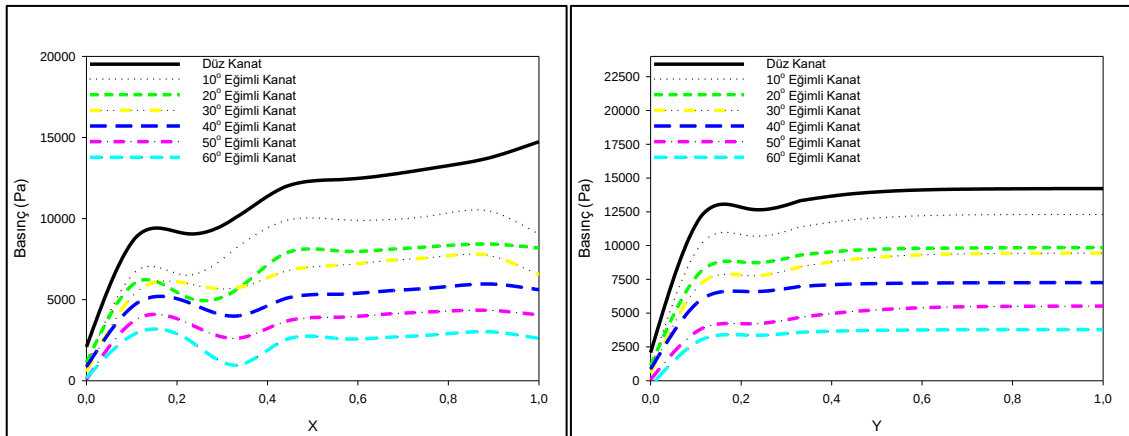


Şekil 5.4 Hız grafiklerinin 600 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması

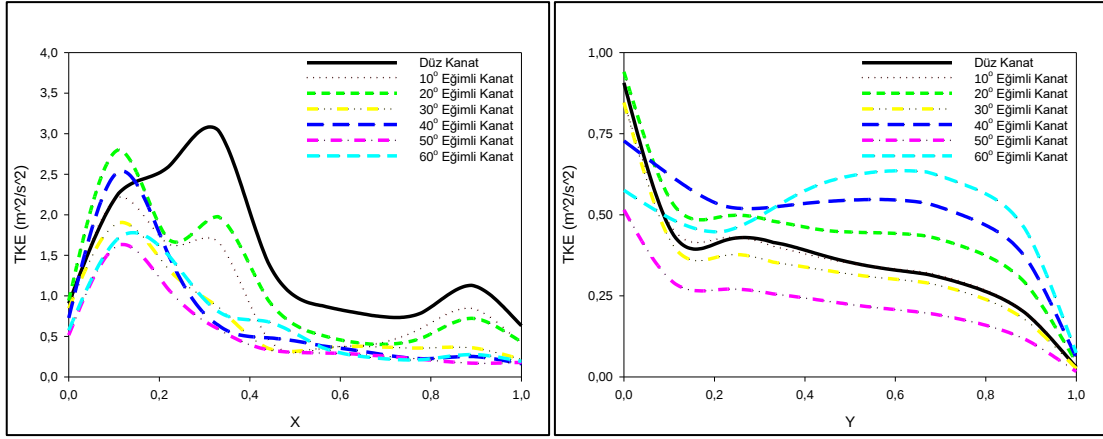
5.2. 750 Devir İçin Kanatların Karşılaştırılması

Şekil 5.5’ te görülen 750 devirdeki basınç grafiklerine bakıldığında düz kanadın basıncı diğer kanatlara oranla daha yüksektir. Basıncın yüksek olması bize güç tüketim ihtiyacının da düz kanat için daha fazla olduğunu göstermektedir. Basıncın en düşük olduğu 60° eğimli kanatta ise en düşük güç tüketim ihtiyacı oluşacaktır.

Şekil 5.6’ da türbülans kinetik enerji grafiklerine bakıldığında, x ekseninde (çark hizasında) merkezden tank çeperlerine ilerledikçe düşüş gözlenmektedir. Çark hizasında en yüksek türbülans kinetik enerjiye sahip kanat düz kanattır. Fakat y ekseninde, yani tankın üstlerine doğru çıktıkça 40° ve 60° eğimli kanadın en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisinin en düşük olduğu kanat ise 50° eğimli kanattır.

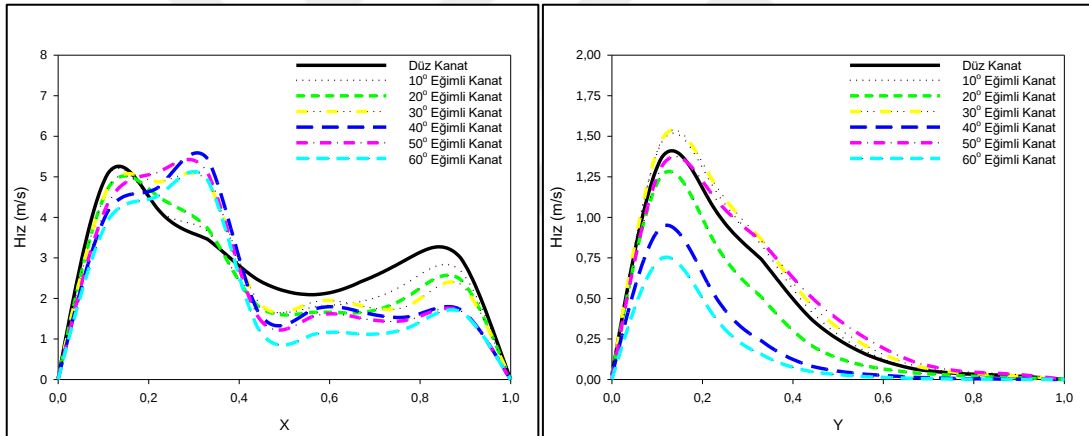


Şekil 5.5 Basınç grafiklerinin 750 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması



Şekil 5.6 Türbülans kinetik enerji grafiklerinin 750 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması

Şekil 5.7’ de 750 devirdeki hız grafiklerine bakıldığında x ekseninde kanat kenarlarında en yüksek hıza sahip olan kanatlar 40°, 50° ve 60° eğimli kanatlar iken tank çeperlerine gidildikçe düz, 10° eğimli ve 20° eğimli kanatlardır. y eksenine bakıldığında 10°, 30° ve 50° eğimli kanatlar en yüksek hızlara ulaşmışlardır.



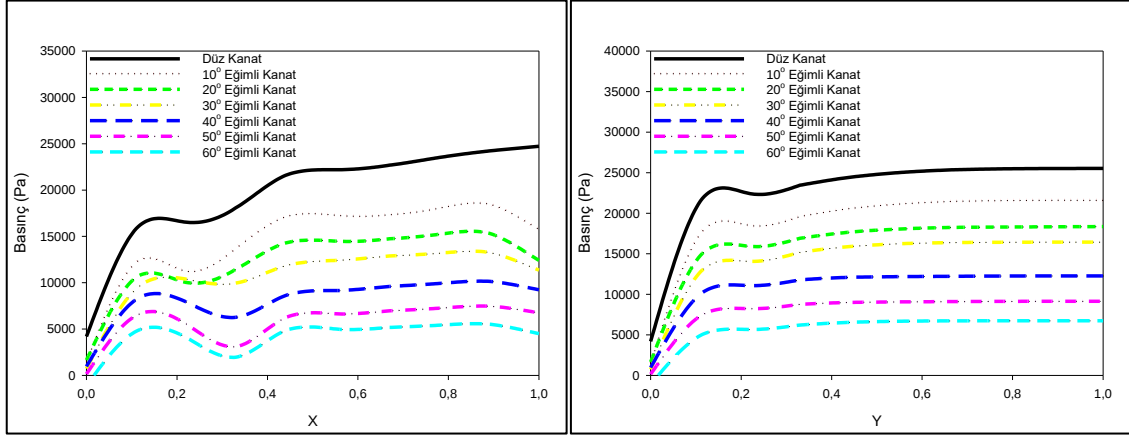
Şekil 5.7 Hız grafiklerinin 750 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması

5.3. 1000 Devir İçin Kanatların Karşılaştırılması

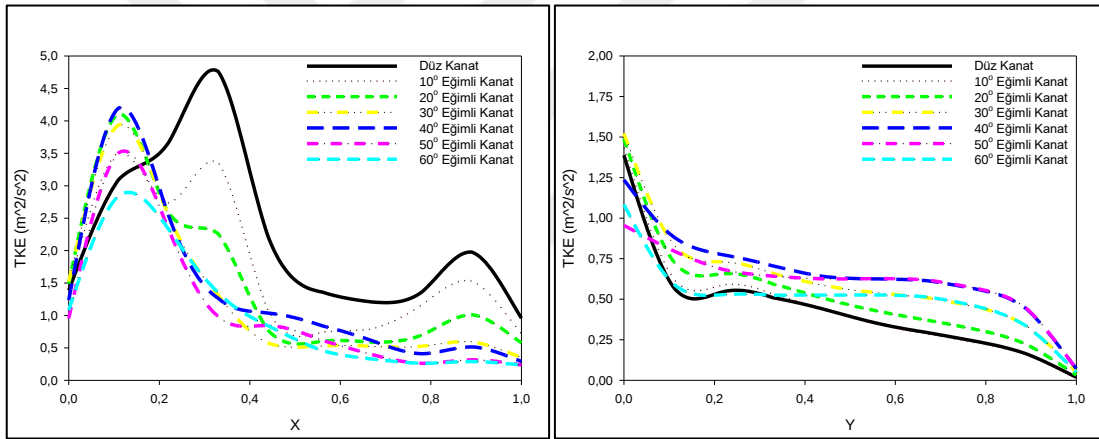
Şekil 5.8’ de görülen 1000 devirdeki basınç grafiklerine bakıldığında düz kanadın basıncı diğer kanatlara oranla daha yüksektir. Basıncın diğer devirlerde olduğu gibi düz kanatta yüksek olması bize güç tüketim ihtiyacının da düz kanat için en fazla olduğunu göstermektedir. Yine basıncın en düşük olduğu 60° eğimli kanatta ise en düşük güç tüketim ihtiyacı oluşacaktır.

Şekil 5.9’ da türbülans kinetik enerji grafiklerine bakıldığında x ekseninde yani çark hizasında merkezden tank çeperlerine ilerledikçe düşüş gözlenmektedir. Çark hizasında en yüksek türbülans kinetik enerjiye sahip kanat düz kanattır. Fakat y ekseninde yani tankın üstlerine doğru çıktıkça 40° ve 50° eğimli kanadın en yüksek değerlerde olduğu

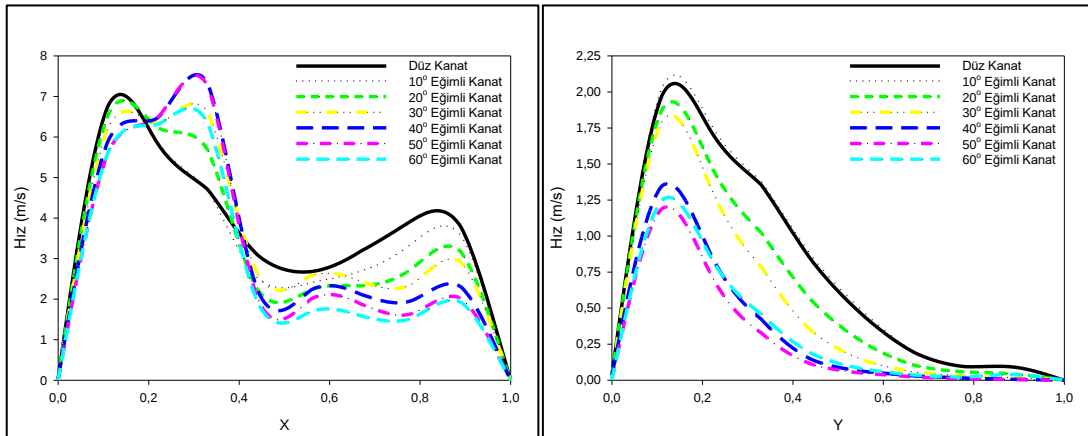
görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisi en düşük olan kanat düz kanat ve 60° eğimli kanattır.



Şekil 5.8 Basınç grafiklerinin 1000 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması



Şekil 5.9 Türbülans kinetik enerji grafiklerinin 1000 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması



Şekil 5.10 Hız grafiklerinin 1000 devirde x ve y düzleminde karşılaştırılması

Şekil 5.10' da hız grafiklerine bakıldığında, x ekseninde 40° ve 50° derece eğimli kanadın en yüksek seviyelere çıktığı görülmektedir. y eksenine bakıldığında ise 10° derece eğimli kanatta hızın en yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada sırasıyla düz, 10° eğimli, 20° eğimli, 30° eğimli, 40° eğimli, 50° eğimli ve 60° eğimli kanat tipleri nümerik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçların tamamının uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Devir artışının, basınç grafiklerine bakıldığında güç tüketim değerlerini arttığı sonucuna varılmıştır. Fakat buna karşın türbülans kinetik enerji grafiklerine bakıldığında ise homojenliği daha iyi seviyelere taşıdığı sonucuna varılmıştır. Kullanılmak istenen en uygun devir hızının seçimi için; kullanılacak malzemeye, güç ihtiyacına ve uygulamadaki yerine bakılarak karar verilmesi en doğru sonuç olacaktır.

Sonuçların tamamına bakıldığında, eğim açısının artmasıyla birlikte güç tüketiminin düştüğü bulgusuna rastlanmıştır. Kanatların güç tüketim ihtiyacı, yüksekten düşüğe düz, 10° eğimli, 20° eğimli, 30° eğimli, 40° eğimli, 50° eğimli ve 60° eğimli kanat olarak sıralanacaktır.

600 devirde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 40° ve 50° eğimli kanatların bu devir için en ideal kanatlar olduğu bulgusuna rastlanmıştır. Bu kanatların, basınç değerlerinin düşük seviyelerde olmasından ötürü düşük güç tükettiği belirlenmiştir. Ayrıca türbülans kinetik enerji değerlerinin yüksek olması ve akış hızlarının düşük seviyelerde olması sebebiyle homojenliğinin de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Düşük devirlerde bu kanattan sonra sırasıyla 20° eğimli, 30° eğimli, düz, 10° eğimli ve 60° eğimli kanatlar tercih edilmelidir.

750 devirde elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, en düşük basınca sahip olmasından ötürü en az güç tüketimine ihtiyaç duyması, en yüksek türbülans kinetik enerjisine sahip olmasından ötürü ve akış hızlarının ideal olmasından ötürü homojenliğinin diğer modellere göre daha iyi olması sebebiyle bu devirdeki en ideal kanat yapısının 60° eğimli kanat olduğu bulgusuna rastlanmıştır. Ortalama devirlerde bu kanattan sonra sırasıyla 40° eğimli, 20° eğimli, 10° eğimli, düz, 30° eğimli ve 50° eğimli kanat tercih edilmelidir.

1000 devirde elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise düşük basınçlarda, yüksek türbülans kinetik enerjisine ve ideal akış hızlarına sahip olması sebebiyle 40° ve 50° eğimli kanat yapılarının düşük güç tüketiminde en yüksek homojenliğe sahip olduğu görülmüştür. Yüksek devirlerde bu kanat yapısından sonra sırasıyla 30° eğimli, 60° eğimli, 10° eğimli ve son olarak düz kanat tercih edilmelidir.

Bütün kanat yapıları ve yapıların incelendiği tüm devirler göz önünde bulundurulduğunda, en yüksek türbülans kinetik enerji değişiminin x ve y ekseninde 40° eğimli kanatta olduğu belirlenmiştir. En az basıncın ve dolayısıyla en az güç tüketiminin 60° eğimli kanatta olduğu görülsede, bu modelin türbülans kinetik enerji değerlerinin düşük seviyelerde kalmasından ötürü en verimli model olmadığı sonucuna varılacaktır. Fakat basınç değişimleri, kinetik enerji değişimleri ve akış hızları bir arada kıyaslandığında en ideal modelin 40° ve 50° eğimli kanatlar olduğunu söylemek mümkündür.



KAYNAKLAR

- [1] **Brodkey, R. S., Hershey, H. C.** (1988). *Transport Phenomena: A Unufied Approach*, McGraw-Hill Book Co, 847p, Singapore.
- [2] **Paul, E. L., Atiemo-Obeng, V. A., Kresta, S. M.** (2013). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*, John Wiley & Sons, 1448p, New Jersey.
- [3] **Banchero J. T., Badger W. L.** (1986). *Kimya Mühendisliğine Giriş: Ünit Operasyonlar, İnkılap Kitabevi (Çeviri: Çataltaş, İ.), 885s, İstanbul.*
- [4] **Hazer, B.** (1997). *Genel Kimya, Akademi LTD. ŞTİ. Yayınları*, 571s, Trabzon.
- [5] **Shah, M.**, *Process Engineering: Agitation & Mixing, Dharmsinh Desai University, Hindistan.*
(<https://www.dduanchor.org/site/wp-content/uploads/2014/11/Process-Engineering-Agitation-Mixing.pdf>). Erişim Tarihi: 01.11.2020.
- [6] **Versteeg H.K., Malalasekera W.** (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, Pearson Education, 520p, Harlow.
- [7] **Anderson, J.D., Degroote, J., Degrez G., Dick, E., Grundmann, R., Vierendeels, J.** (2009). *Computational Fluid Dynamics: An Introduction*, Springer-Verlag, 328p., Berlin.
- [8] **Gu, D., Cheng, C., Liu, Z. Ve Wong, Y.** (2019). Numerical simulation of solid-liquid mixing characteristics in a stirred tank with fractal impellers. *Advanced Powder Technology*, 30 (10), 2126–2138.
- [9] **Naeeni, S.K., Pakzad, L.** (2019). Droplet size distribution and mixing hydrodynamics in a liquid–liquid stirred tank by CFD modeling. *International Journal of Multiphase Flow*, 120.
- [10] **Janiga, G.** (2019). Large-eddy simulation and 3D proper orthogonal decomposition of the hydrodynamics in a stirred tank. *Chemical Engineering Science*, 201, 132–144.
- [11] **Kang, Q., He, D., Zhao, N., Feng, X.** (2019). Hydrodynamics in unbaffled liquid-solid stirred tanks with free surface studied by DEM-VOF method. *Chemical Engineering Journal*, 122846.
- [12] **Tamburini, A., Gagliano, G., Micale, G., Brucato, A., Scargiali, F., Ciofalo, M.** (2018). Direct numerical simulations of creeping to early turbulent flow in unbaffled and baffled stirred tanks. *Chemical Engineering Science*, 192, 161-175.
- [13] **Shu, S., Yang, N.** (2018). GPU-accelerated large eddy simulation of stirred tanks. *Chemical Engineering Science*, 181, 132-145.
- [14] **Hartmann, H., Derksen, J.J., Montavon, C., Pearson, J., Hamill, J.S., van der Akker, H.E.A.** (2004). Assessment of large eddy and RANS stirred tank simulations by means of LDA. *Chemical Engineering Science*, 59(12), 2419-2432.
- [15] **Xu, W., Tan, Y., Li, M., Sun, J., Xie, D., Liu, Z.** (2020). Effects of surface vortex on the drawdown and dispersion of floating particles in stirred tanks. *Particuology*, 49, 159-168.
- [16] **Ameur, H.** (2016). Effect of the shaft eccentricity and rotational direction on the mixing characteristics in cylindrical tank reactors. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(12), 1647-1654.

- [17] **Kazemzadeh, A., Ein-Mozaffari, F.** (2019). Effect of impeller type on mixing of highly concentrated slurries of large particles. *Particuology*, baskıda, düzeltilmiş ispat.
- [18] **Ameur, H., Kamla, Y., Shale, D.** (2017). Data on the agitation of a viscous Newtonian fluid by radial impellers in a cylindrical tank. *Data in Brief*, 15, 752-756.
- [19] **L.Lane, G.** (2017). Improving the accuracy of CFD predictions of turbulence in a tank stirred by a hydrofoil impeller. *Chemical Engineering Science*, 169, 188-211.
- [20] **Gu, D., Liu, Z., Xie, Z., Li, J., Tao, C., Wang, Y.** (2017). Numerical simulation of solid-liquid suspension in a stirred tank with a dual punched rigid-flexible impeller. *Advanced Powder Technology*, 28(10), 2723-2734.
- [21] **Kumaresan, T., B.Joshi, J.** (2006). Effect of impeller design on the flow pattern and mixing in stirred tanks. *Chemical Engineering Journal*, 115(3), 173-193.
- [22] **Liu, Z., Zheng, X., Liu, D., Wang, Y., Tao, C.** (2014). Enhancement of liquid-liquid mixing in a mixer-settler by a double rigid-flexible combination impeller. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 86, 69-77.
- [23] **Zadghaffari, R., Moghaddas, J.S., Reusted, J.** (2010). Large-eddy simulation of turbulent flow in a stirred tank driven by a Rushton turbine. *Computers & Fluids*, 39(7), 1183-1190.
- [24] **González-Neria, I., Alonzo-Garciab, A., Martínez-Delgadillo, S.A., Mendoza-Escamilla, V.X., Yáñez-Varela, J.A., Verdin, P.G., Rivadeneyra-Romero, G.** (2019). PIV and dynamic LES of the turbulent stream and mixing induced by a V-grooved blade axial agitator. *Chemical Engineering Journal*, 374, 1138-1152.
- [25] **Wanderkar, D., Utikar, R.P., Tade, M.O., Pareek, V.K.** (2019). CFD simulation of solid-liquid stirred tanks. *Advanced Powder Technology*, 23(4), 445-453.
- [26] **Zamiri, A., Chung, J.T.** (2018). Numerical evaluation of turbulent flow structures in a stirred tank with a Rushton turbine based on scale-adaptive simulation. *Computers & Fluids*, 170, 236-248.
- [27] **Montante, G., Laurenzi, F., Paglianti, A., Magelli, F.** (2011). A study on some effects of a drag-reducing agent on the performance of a stirred vessel. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(11), 2262-2267.
- [28] **Qi, N., Zhang, H., Xu, G., Yang, Y.** (2013). CFD simulation of particle suspension in a stirred tank. *Particuology*, 11(3), 317-326.
- [29] **Khopkar, A.R., Ranade, V.V.** (2006). CFD simulation of gas-liquid stirred vessel: VC, S33, and L33 flow regimes. *Aiche Journal*, 52(5), 1654-1672.
- [30] **Wadnerkar, D., Tade, M.O., Pareek, V.K., Utikar R.P.** (2016). CFD simulation of solid-liquid stirred tanks for low to dense solid loading systems. *Particuology*, 29, 16-33.
- [31] **Alcamo, R., Micale, G., Grisafi, F., Brucato, A., Ciofalo, M.** (2005). Large-eddy simulation of turbulent flow in an unbaffled stirred tank driven by a Rushton turbine. *Chemical Engineering Science*, 60(8-9), 2303-2316.
- [32] **Singh, H., Fletcher, D.F., Nijdam, J.J.** (2011). An assessment of different turbulence models for predicting flow in a baffled tank stirred with a Rushton turbine. *Chemical Engineering Science*, 66(23), 5976-5988.
- [33] **Buwa, V., Dewan, A., Nassar, A.F., Durst, F.** (2006). Fluid dynamics and mixing of single-phase flow in a stirred vessel with a grid disc impeller: Experimental and numerical investigations. *Chemical Engineering Science*, 61(9), 2815-2822.
- [34] **Chara, Z., Kysela, B., Konfrst, J., Fort, I.** (2016). Study of fluid flow in baffled vessels stirred by a Rushton standard impeller. *Applied Mathematics and Computation*, 272(Part 3), 614-628.

- [35] **Panneerselvam, R., Savithri, S., Surrender, G.D.** (2008). CFD modeling of gas–liquid–solid mechanically agitated contactor. *Chemical Engineering Research and Design*, 86(12), 1331-1344.
- [36] **Leschziner, M.A., Drikakis, D.** (2002). Turbulence and turbulent flow computation in aeronautics. *The Aeronautical Journal*, 106, 349–384.
- [37] **Tatterson, G.B.** (1994). Scale-Up and Design of Industrial Mixing Processes, *McGraw-Hill*, 312p, New York.
- [38] **Ansys Inc** (2017). Ansys Fluent Tutorial Guide, 1052s, USA.
(<http://users.abo.fi/rzevenho/ansys%20fluent%2018%20tutorial%20guide.pdf>).
Erişim Tarihi: 08.11.2020.
- [39] **Launder, B.E., Spalding D.B.** (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269-289.
- [40] **Tamburini, A., Cipollina, A., Micale, G., Brucato, A., Ciofalo, M.** (2011). CFD simulations of dense solid–liquid suspensions in baffled stirred tanks: Prediction of suspension curves. *Chemical Engineering Journal*, 178, 324-341.
- [41] **Kresta, S.M., Wood, P.E.** (1991). Prediction of the three-dimensional turbulent flow in stirred tanks. *AIChE J*, 37(3), 448-460.
- [42] **Pope, S.B.** (2000). Turbulent Flows. *Cambridge University Press*, UK, 740p.
- [43] **Leonard, A.** (1975). Energy Cascade in Large-Eddy Simulations of Turbulent Fluid Flows. *Advances in Geophysics*, 18(Part A), 237-248.
- [44] **Launder, B.E., Spalding, D.B.** (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269-289.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Mustafa Secgil
Doğum Yeri ve Tarihi	Fatih, 26.05.1995
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Hürriyet Mah. Eski Edirne Asfaltı Cad. No: 74/3 Gaziosmanpaşa/İSTANBUL
E-posta Adresi	mustafasecgil@outlook.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Vefa Poyraz Anadolu Lisesi, 2013.
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, 2017.
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği, 2021.

İş Tecrübesi

Yücesan Otomotiv	Otomotiv Mühendisi, Temmuz 2019-...
------------------	-------------------------------------

Başarılar ve Ödüller

Cumhuriyet Üniversitesi	Otomotiv Mühendisliği Bölüm 1.ligi, 2017. Teknoloji Fakültesi Fakülte 3.lüğü, 2017.
-------------------------	--